

Risto Frenssen, Sander Selsvik Jacobsen, Trym Wangsfjord

## Batterisikkerhet på hurtigbåter

En sikker løsning?

Bacheloroppgave i Nautikk  
Veileder: Arnt Myrheim-Holm  
Juni 2023

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for havromoperasjoner og byggingteknikk



Foto: Norled



Risto Frenssen, Sander Selsvik Jacobsen, Trym Wangsfjord

## **Batterisikkerhet på hurtigbåter**

En sikker løsning?

Bacheloroppgave i Nautikk  
Veileder: Arnt Myrheim-Holm  
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende studieløp innen Nautikk ved Instituttet for havromsoperasjoner og byggeteknikk underlagt fakultetet for ingeniørvitenskap ved NTNU i Ålesund.

Vi ønsker å rette en stor takk til:

- Veileder Arnt Myrheim-Holm for god tilrettelegging og gode tilbakemeldinger underveis.
- Norled, som har gitt oss veldig god informasjon innen driften av elektriske fartøyer og gitt oss muligheten til å både ha skipsbesøk på MF Festøya, MF Tidefjord og MS Fjordled.
- GS Marine, for muligheten for besøk av MS Fjordled.
- Mannskapet om bord på MF Tidefjord og MF Festøya, som viste stor iver for å forklare oss blant annet de elektriske systemene og slukkesystemene. Vi satte pris på deres åpenhet og diskusjonsevne.
- Corvus, for å ha gi oss mer kunnskap om batterier generelt, og batteriene som brukes om bord på elektriske hurtigbåter.
- Sjøfartsdirektoratet, som kom oss i møte med både gode opplysninger om aktuelt regelverk og forståelse av slukkesystemer om bord på fartøyene.

## Sammendrag

Teknologien rundt elektriske hurtigbåter skyter fart rundt om i hele verden med Norge i spissen. Norge er et av de ledende landene, med flest fartøy som har batteriinstallasjoner om bord. Samferdsel skal bli mer grønn og bærekraftig. På flere og flere anbud er det gitt enten nullutslippskrav eller hybride løsninger for minimering av utslipp. For å nå dette satser flere rederier på batterier om bord.

Teknologien er forholdsvis ny, og forskningen er enda i gang. Forbundet med ny teknologi er også alltid sikkerhet. Problemstillingen “ Batteridrevne hurtigbåter, en sikkerløsning?” var dermed født.

Da vi ser på sikkerhet, er vi nødt til å forholde oss til relevant og pålitelig litteratur. På bakgrunn av dette har vi benyttet oss av utallige rapporter og presentasjoner, som vi i oppgaven vil ha bruk for. Fagstoffet er i stor grad utgitt av myndigheter.

For å få kvalitative svar, trengs det også kvalitative intervjuer. I oppgaven ble det valgt kvalitative intervjuer med fagpersonell. Deres meninger og kunnskap flyter inn kunnskapsgrunnlaget vi som gruppe skal danne oss. Ulike synspunkt om sikkerheten rundt batterisikkerhet gir rom for diskusjoner. Akkurat derfor har vi valgt å intervjuere personer med ulik bakgrunn og med ulike synspunkt.

Resultatene som fremmes ut fra intervjuene vil gi oss innsikt i både sikkerhet relatert til batterier og aktuelt regelverk.

I drøftingen vil problemstillingen bli satt opp mot diskusjon. Med utvalgte forskningsspørsmål skal vi som gruppe identifisere og analysere farer rundt sikkerheten om bord på en elektrisk hurtigbåt som har litium-ion batterier om bord.

Opgavens ende vil bestå av en konklusjon der vi som gruppe trekker slutninger rundt forskningsspørsmålene som har blitt diskutert.

## Summary

Technology related to electrical high-speed crafts is well under way in the whole world, with Norway leading the way. Norway is the leading country with the most vessels with batteries installed on board. Transport must be driven forward by green technology. Tenders within the transport sector require hybrid or zero-emission solutions to minimize greenhouse gas emissions. In order to achieve these goals, the maritime industry are investing in battery powered vessels.

The technology is relatively new, and research is still underway. New technology will always be associated with a security aspect. The statement “Battery-powered fast ferries, a safe solution?” was thus born.

When we deal with the topic safety, we must deal with relevant and reliable literature in order to ensure correct knowledge. Therefore, we have made use of countless reports and presentations published by the directorate and classification society which we will review in the thesis.

In order to get qualitative answers, qualitative interviews are needed. The thesis therefore consists of interviews with professionals within the industry. Their opinions and knowledge are included in the knowledge base that we will form in the thesis. Different point of views on the topic provide room for discussion. That is why we interview people with different backgrounds and point of views.

The results presented from the interviews will give us insight into both safety with batteries and current regulations. We will discuss the issue against the data that has been collected. With selected research questions, we will identify and analyze safety hazards on board an electric high-speed craft equipped with lithium-ion batteries.

The end of the assignment will consist of a conclusion where we draw conclusion about the questions that we have been researching about.

## Terminologi og forkortelser

Arrangement	Utrustning av rom og skott
BMS	Battery management system
Corvus Energy	Batteriprodusent
DBE	Direktoratet for brann- og elsikkerhet
DNV	Det norske veritas (DNV GL, frem til 2021)
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
EES	Electrical energy storage
EMS	Energy management system
EMSA	European Maritime Safety Agency
ESS	Energy storage system
HSC	High-speed craft
IEC	International Electrotechnical Commission
IMO	Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen
Kaskadebeskyttelse	Backup-beskyttelse som sørger for utkobling/ strømbegrensning ved kortslutninger
LEL	Lower explosive limit
Norled	Norsk fergerederi, driver med ferger og hurtigbåter i hele Norge
PMS	Power management system
Retroaktiv	Tilbakevirkende
RITS	Redningsinnsats til sjøs
SDIR	Sjøfartsdirektoratet
SHT	Statens havarikommisjon for transport
TR	Thermal runaway
UEL	Upper explosive limit



# Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling .....	1
1.2 Avgrensninger .....	2
1.3 Veien fram/nytteverdi .....	3
2 Teori.....	4
2.1 Hurtigbåt.....	4
2.2 Tidligere ulykker med hurtigbåter.....	8
2.3 Sikkerhet på hurtigbåt .....	9
2.4 Plassering av batteri om bord på hurtigbåter.....	9
2.5 Regelverk .....	10
2.5.1 Krav til batterisikkerhet DNV Part 6, chapter 2, section 1: .....	12
2.5.2 Propagerings tester.....	13
2.5.3 Veiledning for elektriske energilagringssystemer (maritime EES-systemer) på norske skip med lengde (L) under 24 meter .....	14
2.5.4 Veiledning til krav til opplæring om kjemiske lager for energi (maritime batterisystemer) om bord i norske skip.....	15
2.5.5 Tiltak etter MF Ytterøyningen og MS Brim .....	15
2.6 Litium-batteri .....	19
2.6.1 Historien til litium ion-batteriet .....	20
2.6.2 Batteridrevne fartøy: .....	22
2.6.3 Oppbygning av en batteripakke: .....	25
2.6.4 BMS .....	25
2.6.5 Ventilasjonssystem .....	27
2.6.6 Kjølesystem.....	28
2.7 Farer med batterier .....	29

2.7.1	Tom for strøm .....	29
2.7.2	Feil på kraftforskyvingssystem. ....	29
2.7.3	Kollisjon.....	29
2.7.4	Problem med fremdriftsløsningen.....	30
2.7.5	Kollisjon med flytende objekter i vannet.....	30
2.7.6	Operasjonelle sikkerhetsrisikoer med litium-ion batterier.....	30
2.8	Brann .....	32
2.8.1	Batteribrann.....	32
2.8.2	Farer med batteribrann .....	33
2.8.3	Farer med brann på litium-ion-batteri.....	33
2.8.4	Thermal Runaway .....	34
2.8.5	Årsaker til at det oppstår en brann .....	35
2.8.6	Tiltak for brannbekjempelse .....	36
2.8.7	Presentasjon av hendelsen på MS Brim.....	39
2.8.8	Presentasjon av hendelsen på MF Ytterøyningen.....	41
2.9	Fartøy .....	44
2.9.1	MS Medstraum.....	44
2.9.2	MF Festøya .....	46
2.9.3	MF Tidefjord.....	49
2.9.4	MS Fjordled .....	54
2.10	Risikovurdering .....	58
2.11	Introduksjon .....	58
2.12	Sikkerhetsanalyse .....	58
2.13	Formål med analysen .....	58
3	Metode .....	63
3.1	Kvalitativ Metode.....	63
3.2	Valg av tema.....	64

3.3	Kildebruk.....	65
3.4	Intervju .....	65
3.5	Intervjuobjekter .....	66
3.6	Analyse.....	66
3.6.1	Transkribering av intervju.....	67
3.6.2	Oppfølging .....	67
3.6.3	Analyse av skipsbesøk/feltarbeid.....	67
3.6.4	Analyse av intervju .....	68
3.7	Litteraturstudier .....	68
3.8	Feilkilder .....	68
3.8.1	Feilkilder ved intervju.....	68
4	Resultat .....	69
4.1	Intervju Norled: .....	69
4.2	Intervju Corvus.....	71
4.3	Intervju Sjøfartsdirektorat .....	74
4.4	Skipsbesøk/Feltarbeid .....	75
5	Drøfting .....	78
5.1	Regelverk .....	78
5.2	Brannbekjempelse .....	80
5.3	Tekniske tiltak .....	82
5.4	Prosedyre, opplæring og rutiner .....	84
5.5	Tiltak og endring for å sikre driften .....	85
6	Konklusjon.....	88
	Litteraturliste.....	91
	Figurliste .....	96

# 1 Innledning

## Batteridrevne hurtigbåter, en sikker løsning?

Det grønne skifte er på full fart frem i den maritime næringen, med Norge og Europa i spissen. For å komme seg vekk fra fossilt drivstoff, er elektriske fartøy en mulighet for enkelte fartøystyper. Elektriske fartøy er de mest miljøvennlige, men tidligere hendelser viser at de kanskje ikke er de mest sikre? Batterileverandørerne, SDIR og DNV jobber sammen for å forske på sikkerheten med litium-ion batterier. Særlig etter hendelsen på MF Ytterøyningen ble det satt ned en delegasjon av myndigheter og næringsliv (DSB, 2021). Kunnskapen rundt litium-ion batterier var for lav. Dette kom godt frem etter brannen på MF Ytterøyningen (Corvus, 2020). Dagens hurtigbåter skal bli mer miljøvennlige, men også så lette som mulig, det er ny teknologi som også er ny for mannskapet om bord. Dette kom fram i sikkerhetsmeldingen til SDIR i 2021'' *Opplæring og øvelse for hendelser med konvensjonell teknologi er ikke tilstrekkelig*''(SDIR, 2021). Da denne teknologien fortsatt er ny, vil vi se på hvordan batterier brukes på hurtigbåter. Vi vil i denne oppgaven ta for oss hvordan driften av en elektrisk hurtigbåt fungerer, og presentere de ulike sikkerhetsaspektene knyttet til elektrisk drift.

### 1.1 Problemstilling

Gruppen vil i denne oppgaven ta for seg sikkerheten ved bruk av litium-ion batterier på hurtigbåter. Vi vil se på sikkerheten om bord, det vil si tekniske tiltak som er gitt for å redusere eller forhindre skadeomfang i gitte hendelser og hvilke slukkesystemer som er installert om bord. Slukkesystemene er relevante i den forstand at de kan øke eller minke skadeomfanget. Sikkerhet innbefatter også opplæring og prosedyrer, samt oppbygning av regelverket som er gitt for bruken av litium-ion batterier. Da bruken av slike batterier er relativt nytt vil vi se på endringer i eventuelle regelverk etter hendelser med litium-ion batterier. Har regelverket endret seg? Hva har endret seg? Samtidig vil vi få et innblikk i dagens regelverk, dette vil gi oss mer kunnskap om bruken av litium-ion batterier.

I oppgaven skal studentene undersøke, utrede og trekke konklusjoner rundt:

- Hvordan regelverket har endret seg på bakgrunn av hendelsene med MS Brim og MF Ytterøyningen.
- Hvilke slukkesystem som finnes om bord og hvordan de fungerer?
- Hvilke tekniske tiltak og løsninger som settes i gang, for å sikre sikker drift på elektriske hurtigbåt-batterier?
- Hvilke prosedyrer/opplæringsrutiner/rutiner finnes om bord på elektrisk drevne fartøy, når brann oppstår i et av batterirommene?
- Hvilke hensyn tas i design- og byggefasen for å sikre et sikkert system for å operere hurtigbåter med batteridrift?

## 1.2 Avgrensninger

I denne oppgaven vil vi avgrense oss til hurtigbåter med litium-ion batterier om bord. Vi vil ta for oss bakgrunnen for elektrisk drift på hurtigbåter, teori om batteri og hurtigbåter, hvordan batterier er bygget opp, hvilket regelverk som skal følges og hvilke hjelpemidler man har for å begrense risiko, derav slukkemidler ved brann. Vi vil ikke ta for oss den operasjonelle driften av en hurtigbåt. Det vil si forbruk, energi-optimalisering, innkjøp og kostnader relatert til en elektrisk hurtigbåt. Dette vil også omfatte drift av hurtigbåter og framdriftsteknologi. Vi vil også avgrense oss til elektriske hurtigbåter i oppgaven. Det vil si at vi unnlater oss å se på konvensjonelle hurtigbåter med konvensjonell framdrift. Innen sikkerhet vil vi også avgrense oss til slukkesystemer, materialer som blir brukt, ventilasjonssystemer, overvåkningssystemer, opplæring og prosedyre innen drift av elektriske hurtigbåter. Redningsutstyr og evakuering av en hurtigbåt vil ikke bli presentert i denne oppgaven.

I oppgaven begrenser vi oss også til Corvus sine batterier om bord på Norled sine fartøy. Klasseregler som vi belyser rundt om i oppgaven er gitt ut av DNV. Vi ser ikke på andre klasseselskapenes regler.

### 1.3 Veien fram/nytteverdi

Vi vil i denne oppgaven starte med en teoridel, etter det vil vi ved en metodedel forklare hvordan vi gikk fram på intervjuene, etterfulgt av en resultatdel, drøfte-del og konklusjon. I metodedelen vil vi presentere hvordan vi før de ulike intervjuene gikk fram og hvordan innhenting av data har foregått. Hvordan vi gjennomførte intervjuene, og hva som lå bak valg av intervjuobjektene i denne oppgaven vil også bli presentert i metodedelen. Resultatdelen vil bestå av en sammenfatning av de ulike intervjuene. Drøfting vil bestå av teori satt opp mot resultatdelen. Konklusjonen vil være en sluttstrek, og belyse hvilke svar vi har tilegnet oss gjennom oppgaven opp mot problemstillingen vår.

## 2 Teori

I dette kapittelet vil relevant teori for oppgaven bli presentert. Dette gir leseren innsikt, og bedre forståelse om oppgavens tema. Teorigrunnlaget består av informasjon om hurtigbåter, samt regelverk og teori om litium-ion batterier. Vi vil presentere ulike fagstoff fra blant annet rapporter, artikler og intervju med fagpersoner. Med dette håper vi å kunne lage et bra klima for videre drøfting.

### 2.1 Hurtigbåt

De første hurtigbåtene kom på 1960-tallet. De ble bygget som en hydrofoilbåt (der båtene blir løftet ut av vannet med hjelp av en bæreplan (foils) som er montert på bein som stikker ned i vannet. Dette resulterer i betydelig mindre vannmotstand i høye hastigheter, kontra vanlig planede fartøy. Disse båtene gikk kun om sommeren da de først kom. "HF Vingtor" var en av de første hurtigbåtene som ble bygget slik. Båten var eid av DSD (Det Stavangerske Dampskipsselskap) og SDS (Sandnes Dampskipsselskap). Det var på den tiden ingen krav til kurs eller trening for mannskapet på disse båtene. Skipet seilte Bergen-Stavanger i 35 knop og kunne frakte 105 passasjerer. Etter hvert ble det mellomanløp, og det kom to fartøyer til.

I 1971 kom det en ny type hurtigbåt "Westamaran". Denne båten hadde større passasjerkapasitet og taklet dårligere vær enn de forrige. Det var fremdeles ingen krav til kurs eller trening i 1971. Flaggruten mellom Stavanger og Bergen fikk i 1974 flere anløp da DSD og SDS gikk sammen med HSD (Hardanger Sunnhordlandske Dampskipsselskap). Utviklingen av båtene fortsatte, og det kom flere båter av ulik størrelse. Vi fikk i tiden etter Westamaranene hurtigbåter som er bygd som slanke og symmetriske katamaraner. Disse fartøyene når hastigheter på cirka 35-40 knop, i løpet av de siste årene har det blitt lansert en 3. generasjon katamaran. Disse fartøyene har mulighet til å oppnå hastigheter opp mot 50-60 knops fart. Dette er mulig på grunn av en kombinasjon med 2 skrogs katamaran, som er kombinert med luftputeteknologi. Disse fartøyene er kjent som luftputekatamaraner og er ikke særlig utbredt i Norge (Regjeringen, Bogsnes, 1994).

Det var heller ikke noen krav til trening eller sertifisering tidligere, men man ser at det kom krav etter hvert som ulykkene oppsto. Hva som var grunnen til ulykken, hadde mye å si for hvilket krav som skulle bli innført i tiden etter. Dagens hurtigbåter krever mye kursing og sertifisering av de som skal bemanne båtene. Det er mellom 80-100 hurtigbåter i drift i Norge

i dag og det er cirka 80 ruter som er aktive. Det er klart flest båter som går på diesel, men vi ser på utviklingen at det er kommet flere diesel-elektriske og batteridrevne hurtigbåter. Klima er et punkt som står sentralt når det kommer til utviklingen av de båtene som kommer nå og i tiden fremover. Men som vi ser i problemstillingen i vår oppgave er det flere problemer man kan møte på i denne “grønne utviklingen” vi er inne i. Hurtigbåten har hatt en spennende historie og er inne i en spennende fase av sin utvikling, med tanke på miljøhensyn og hvilke løsninger man har tilgjengelig (NTNU Ocean Training, Hallgeir Giske, 2020).

En hurtigbåt defineres ofte som et skip med et lettbygget skrog som skal frakte passasjerer eller innehar et lasteskipsertifikat, skipet skal i tillegg oppnå en hastighet på over 20 knop når fartøyet er 24 meter eller mer. En hurtigbåt skal på ikke noe tidspunkt være mer enn 20 nautiske mil fra kysten, fartøyet må etter definisjonen frakte mer enn 12 personer for å være et hurtiggående passasjerskip.

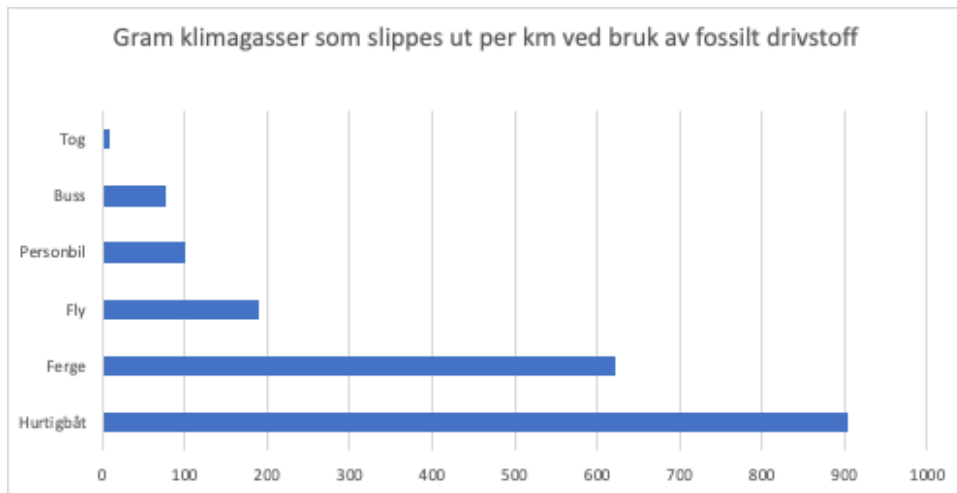
En hurtigbåt defineres ikke alltid slik, IMO har revidert i sin hurtigbåtkode at hurtigbåten skal oppnå lik fart eller høyere definert etter  $V=3,7 \times \nabla^{0,1667}$

$\nabla$  maksimalt volumdeplasement

$V$ = Service hastighet ved maksimalt volumdeplasement (Lovdata,2021).

De siste årene har batteri som energilagring sett en eventyrlig vekst i fremkomstmidler. Man begynte med elektriske kjøretøy, og har i dag tatt i bruk batterier på både ferger og hurtigbåter. Hurtigbåt har lenge vært en utslippsversting. Energibruk per setekilometer har med konvensjonelle hurtigbåter vært 50% enn for fly. Per kilometer er utslippene til hurtigbåt nesten fem ganger høyere enn for fly, ifølge en rapport fra Transportøkonomisk institutt.





Figur 1 Klimagasser per km ved bruk av fossilt drivstoff (Transportøkonomisk institutt, 2014)

Dette viser hvorfor man ønsker å kutte utslippene ved å benytte seg av null- og lavutslippsløsninger på hurtigbåt. Problemet man har møtt ved å bruke batterier på hurtigbåt er så enkelt som plass. Hurtigbåtene er bygget i lette materialer for å øke effektiviteten. Båtene er bygget så lette som mulig for å spare energi. På ferger har man store areal hvor batterier kan plasseres, dette er ikke tilfellet på hurtigbåter. Hurtigbåtene går i tillegg opp mot 40 knop og utfører lange ruter som krever mye energi. Selv om dagens hurtigbåter kun bruker halvparten så mye diesel som sine forgjengere er det fortsatt enorme mengder diesel som forbrukes. Forbruket varierer ut ifra størrelse, motor og fart, men et timesforbruk på et par hundre liter er ikke uvanlig. Når så store mengder energi skal erstattes med batterier ønsker man størst mulig energikapasitet, samtidig som at fartøyet skal opprettholde den samme farten som tidligere. M/S Medstraum som ble levert til Kolumbus sommeren 2022 har en batterikapasitet på 1.5MWh. Vekten til batteriet er på 12 tonn. (tramproject.com). Det sier seg selv at dersom en hurtigbåt skal være effektiv må vekten holdes nede, det finnes et skjæringspunkt mellom størrelse og vekt på batteriene, og størrelsen på båten.

Batteri som blir brukt i maritim sektor er ulike til de batteriene som brukes i biler. Batteriene som benyttes er de samme, nemlig litium-ion batteri. Det finnes dog ulike varianter av litium-batteri. De ulike variasjonene handler om oppbygging av batteriet. Hvilke material, og blandingsforholdet mellom disse. Selv batterier med like materialer i cellene kan ha ulike egenskaper ved at man endrer materialstrukturen til de forskjellige komponentene. Batteriene rangeres etter C-rate og energitetthet. C-rate ved utladning og ladning definerer effekten et batteri tåler. Man finner C-rate ved å ta forholdet mellom effekt og energi i batteriet. Energitetthet regnes ut ved å ta batteriets totale energikapasitet delt på vekten av batteriet.

Batterier som skal brukes på fartøy er store og tunge. Dersom man ser på energitettheten vil man også se at den er høyere på fartøy enn for eksempel elbiler. Passasjerfartøy er designet for å ha kort terminaltid, og er derfor avhengig av at ladingen går fort. På den første elektriske fergen MF Ampere har man to batterier á 500kWh på til sammen 10 tonn. Hun har en energitetthet på 100Wh/kg. I en Tesla har man batterier med energitetthet på 260 Wh/kg, men batteriet veier til gjengjeld bare 500 kg.

Levetid er en annen faktor som gjør at batteri til maritimt bruk er dyrt. Et batteri sin kapasitet blir gradvis redusert over tid. Man regner vanligvis et batteri som oppbrukt når den opprinnelige kapasiteten er redusert til 80%. Flere faktorer er avgjørende for et batteri sin levetid. Antall sykluser, (en syklus er når all strøm i et batteri blir brukt), batteriets alder, temperatur i batterirommet og hvor mye av batteriet som blir brukt i hver syklus (kjent som “Depth of Discharge” (DoD)). Batterilevetid blir ofte symbolisert ved å plote antall sykluser som en funksjon av utnyttelsesgrad, også kjent som Depth of Discharge (Flying Foil AS, 2018/2019). Et batteri til maritimt bruk antas å ha en levetid på 10 år (Corvus, 2023).

## 2.2 Tidligere ulykker med hurtigbåter

Siden de første hurtigbåtene kom på 60-tallet har man opplevd flere alvorlige hendelser. De mest kjente hendelsene er Sleipner og Sea Cat ulykkene. Sleipner var i rute fra Stavanger til Bergen 26.11.99 da hun kom ut av kurs og kolliderte med Store Bloksen. 16 mennesker omkom og 69 ble reddet. Ulykken er den som har krevd flest menneskeliv på hurtigbåter. Ulykken førte til skjerpede krav til trening for besetningen. Båten hadde et passasjersertifikat for 358 passasjerer, men hadde kun 76 passasjerer denne kvelden. Dette var antakeligvis en av grunnene til at ikke flere liv gikk tapt. En annen kjent ulykke er Sea Cat-ulykken 4.11.91. Sea Cat kom ut av kurs og gikk rett i fjellveggen på Risøy utenfor Mjømna. 104 mennesker ble skadd, og to mistet livet. Ulykken førte til at leden ble bedre merket, og det ble innført krav til eget HSC-kurs for offiserene. Dette er de eneste ulykkene som har krevd menneskeliv, men det oppstår mindre hendelser regelmessig. Faktum er at dersom ting går fort, øker sannsynligheten for ulykker. Hurtigbåter trafikkerer ofte trange farvann i høye hastigheter, dette er faktorer som øker faren som ulykker (NTNU Ocean Training, Hallgeir Giske, 2020).

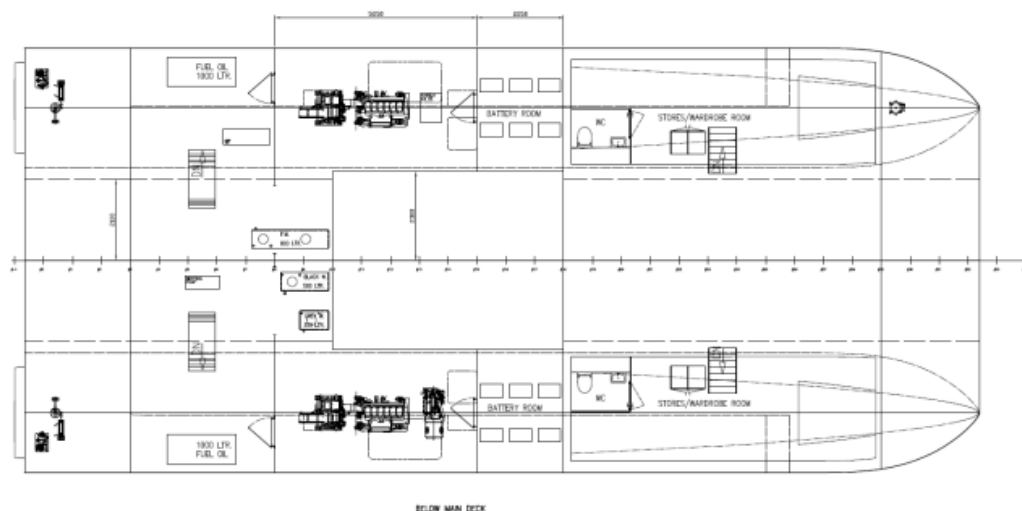
Den største faren til sjøs utenom grunnstøting er brann. Vi har ikke opplevd store ulykker som har vært forårsaket av brann så langt. Brann om bord på fartøy inntreffer. Hendelsene har stort sett dreid seg om røykutvikling, og mindre branntilløp som har blitt slukket tidlig. På grunn av dette har man ikke kunnet fastslå hva omfanget av en større brann vil være. Brann i ikke-elektriske komponenter er også enklere å slukke enn om det skulle oppstå brann i batterier. Ettersom teknologi med batterier om bord på hurtigbåter er fersk har man ennå ikke vært borti brann i disse.

### 2.3 Sikkerhet på hurtigbåt

Hurtigbåter, både konvensjonelle og elektriske vil være utsatt for risiko. Hurtigbåter trafikkerer i trange farvann og ved høy hastighet. De skal betjene utfordrende anløp langs hele kysten hele året. Sannsynligheten for at risiko vil oppstå varierer, til likhet med skadepotensiale ved hver enkelt risiko. Ulike risikomomenter for hurtigbåter vil her presenteres.

### 2.4 Plassering av batteri om bord på hurtigbåter

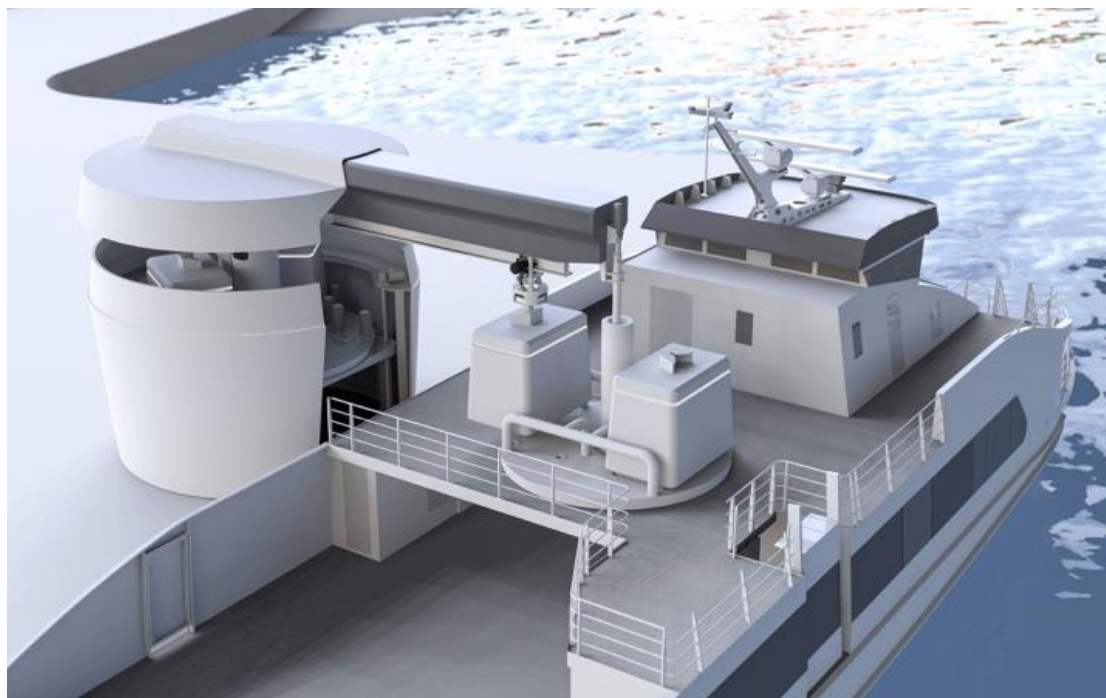
Plassering av batteriene på hurtigbåter kan variere i stor grad. På de fleste fartøyene er batteriene plassert under dekk i adskilte batterirom. Det er gitt ulike krav om brannsikkerhet. I stor grad bestemmer størrelsen av fartøy og klassing hvordan rommene skal være beskyttet mot brann.



Figur 2 General arrangement av maskinrom på MS Brim (Vestfold Interkommunale Brannvesen IKS, 2021)

På elektriske hurtigbåter kan plassering av batteri være under dekk, og på hoveddekket. På Medstraum valgte man å plassere batteriene på hoveddekket. Plassering av batteriene på hoveddekket reduserer risikoen for vanninntrenging, optimaliserer vektfordelingen og gir bedre vilkår for inspeksjon og utskiftning av batterimoduler (TU, 2022). I nyere tid har man også kommet til konklusjonen om at batteribytte underveis er løsningen for å nærme seg nullutslipp. Norled vil i 2024 sette inn sine første fartøy med batteribytteløsningen SHIFTR (Norled, u.å.). Konseptet går ut på at man på land har en batterirobot som bytter batterimodulen autonomt når fartøyet ligger ved kai. Denne løsningen sparer vekt, og er gunstig på lengre

strekninger der man ikke har plass til hele batterikapasiteten om bord. Ved bruk av batteribytte slipper man også krav til batterirom (Norled, 2023).



Figur 3 SHIFTR, Norleds batteribyttesløsning på hurtigbåter (Norled, 2021)

Batterimoduler som er tiltenkt brukt ved bruk av batteribytte reduserer også oppsamlingen av farlige gasser, og farene ved dette (SDIR, 2023).

## 2.5 Regelverk

SDIR (Sjøfartsdirektoratet) stiller krav om at alle batteriinstallasjoner over 20 kWh på norske skip som følger et anerkjent klasseselskaps regler. SDIR og andre flaggstater bruker klassereglene for store deler av sertifiseringsarbeidet for skip. I SOLAS kapittel II-1 regel 3-1 blir følgende nevnt:

“ In addition to the requirements contained elsewhere in the present regulations, ships shall be designed, constructed and maintained in compliance with the structural, mechanical and electrical requirements of a classification society which is recognized by the Administration in accordance with the provisions of regulation XI-1/1, or with applicable national standards of the Administration which provide an equivalent level of safety” (IMO, 2023). I norsk lov ble dette nedfelt i § 3 av forskrift om bygging av skip (Lovdata, 2022).

For hurtigbåter er dette hjemlet i §§ 14 og 15 i ‘Forskrift om bygging av hurtiggående fartøy’. I punkt §14(2) står det at blant annet elektriske anlegg skal tilfredsstillere klasseinstitusjons regler. § 15 (2) nevner også at elektriske anlegg skal til enhver tid være gjeldene i forhold til forskriften til maritime installasjoner (fastsatt av Direktoratet for brann- og elsikkerhet) (Lovdata, 2022).

Til gjengjeld må reglene være godkjent fra (SDIR). De klaseselskaper sine regler som er godtatt og akseptert av SDIR til nå er Det Norske Veritas (DNV), Lloyds, Bureau Veritas og American Bureau of Shipping sine. Da det ikke er krav til klasse for hurtigbåter under 24 meter, har SDIR utgitt sitt eget regelverk her. Ny teknologi skaper ofte hyppige endringer og oppdateringer. Dette er en av grunnene til at det kan være utfordrende for SDIR å lage forskrifter (SDIR, 2023).

SDIR har fått sikkerhetstilrådninger av Statens havarikommisjon (SHK). Dette grunnet ulike sikkerhetsnivåer til de ulike klaseselskaperne. Tilrådingen som kom fra Statens havarikommisjon og tilrådninger etter MS Brim ulykken, resulterte i at SDIR har sendt ut en behovsanalyse, for eget forskriftsarbeid for litium-ion batteriinstallasjoner. Forskriften vil blant annet inneholde:

- Innlemmelse av rundskriv for fartøy under 24 meter.
- Innlemming og oppdatering av rundskriv for opplæring på skip.
- Ulike krav til arrangement om bord i fartøy over 24 meter. Vil bli i høy grad funksjonskrav da de må dekke over ulikhetene i klasseregelverk.
- Vurdere tilbakevirkende krav for eksisterende skip, miljø, slukkesystem, ventilasjonsløsninger osv. (SDIR, 2023).

SDIR jobber sammen med både International Electrotechnical Commission (IEC) som lager standarder for batteriinstallasjoner og European Maritime Safety Agency (EMSA), som jobber med retningslinjer for batteriinstallasjoner. Hovedgrunnen til at SDIR arbeider med forskrifter er på bakgrunn av at DNV oppdaterer sine regler kontinuerlig, dermed vil SDIR ha et ansvar om at alle norske skip må følge det oppdaterte sikkerhetsnivået., uavhengig av klasse.

I all hovedsak følges DNV sine regler av SDIR. De ligger under Part 6, chapter 2 section 1 og heter ‘Electrical energy storage’. Vi vil ta for oss DNV sitt regelverk i denne oppgaven (SDIR, 2023).

I all hovedsak skilles det ikke mellom hurtigbåter og andre konvensjonelle fartøy i regelverket om batterisikkerhet til classeselskapene. Hovedforskjellen vil være materialene som benyttes og byggematerialene (SDIR, 2023).

2.5.1 Krav til batterisikkerhet DNV Part 6, chapter 2, section 1:

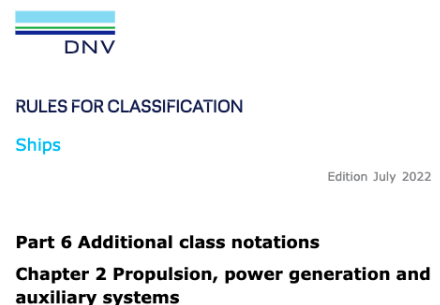
DNV sitt klasseregelverk dekker bruk av batteri som fremdrift på skip, dette gjelder både hybride og helelektriske løsninger. Regelverket fornyes i takt med utviklingen. Første publikasjon var tilbake i 2012, men dette var kun et tentativt regelverk. Dagens regler ble publisert i 2015, og sist oppdatert i juli 2022.

Regelverket finnes i DNV Rules for Classification of Ships, Part 6, Chapter 2, Section 1. I Section 1 er regelverket delt inn i seks deler. Ved å se på del 2 Class notation Battery(Safety) kan man finne informasjon om batterisikkerhet. Herunder stilles det krav til både ventilasjon, systemdesign, testing, brannikkerhet for batteriplasser electrical energy storage (EES) og sikkerhetsfilosofi for om bord-plasserte installasjoner.

De to hovedkategoriene i regelverket er battery (safety) og battery (power). Battery (safety) er obligatorisk for alle DNV-klassede fartøyer der installasjonen brukes som en ekstra kraftkilde og har en samlet kapasitet på over 20 kWh. Den kan også velges (ikke obligatorisk) for batterisystemer med mindre enn 20 kWh kapasitet. Notasjonen dekker krav til sikkerheten til batteriinstallasjonen som dekker fartøyets arrangement, miljøkontroll inkludert temperatur og ventilasjon. For å forhindre termiske hendelser i batterirom, stiller reglene krav til brannintegritet, deteksjons- og sløkketiltak (DNV, 2022).

Battery (Power) er obligatorisk for fartøy der batterikraften brukes som fremdriftskraft under normal drift eller når batteriet skal brukes som en redundant strømkilde for hoved- og/eller tilleggsklassenotasjoner. Notasjonen Batteri (strøm) er klassenotasjonen som trengs når batteriet brukes som hovednett kraftkilde (fremdriftskraft). Reglene stiller krav til redundans og plassering (DNV, 2022).

Punkt 2.3.1.1 stiller blant annet krav om et mekanisk ventilasjonssystem ved såkalte EES spaces, altså områder



The content of this service document is the subject of intellectual property rights reserved by DNV AS ("DNV"). The user accepts that it is prohibited by anyone else but DNV and/or its licensees to offer and/or perform classification, certification and/or verification services, including the issuance of certificates and/or declarations of conformity, wholly or partly, on the basis of and/or pursuant to this document whether free of charge or otherwise, without DNV's prior written consent. DNV is not responsible for the consequences arising from any use of this document by others.

Figur 4 Regelverk om elektriske installasjoner (DNV, 2022)

der batteripakken er plassert om bord i fartøyet. Punkt 2.3.1.6 omhandler at ventilasjons-avløp skal ledes direkte til friluft, uten at passasjerer eller mannskap settes i fare (DNV, 2022).

Regelverk om brannsikkerhet for EES spaces blir delt inn i to forskjellige forskrifter. Anlegg som har mindre enn 100 kWh lagret og anlegg som har 100 kWh eller mer. Dette henvises til i punkt 2.4.1.1 (DNV, 2022).

Punkt 2.4.2.1 omtaler branndeteksjon. Alle EES-områder skal være utrustet med et branndeteksjonssystem. Systemet skal enten bestå av kombinert røyk og varmedetektorer eller en kombinasjon av røyk og varmedetektorer (DNV, 2022).

Innen sikkerhet så stilles det krav i punkt 4.1.2 også omtalt som safety. Punkt 4.1.2.1 nevner at det skal finnes en beskrivelse av alle farene i batterisystemet. Beskrivelsen skal blant annet inneholde:

- Sikkerhetsfilosofi
- Eksplosjonsfare og gassene som kan frigjøres under en thermal runaway.
- Intern celle feil.

Punktene 4.1.2.2 og 4.1.2.3 nevner at et BMS-system skal være til stede og BMS-en skal jobbe i lag med batteriomformeren angående spennings og strømgrensener. Batteriene skal også være utstyrt med en uavhengig nødstop for avkobling av batterisystemet. En lekkasje av kjølemedier skal forhindres. I punkt 4.1.2.11 stilles det krav til minimal lekkasje av kjølemedier, slik at det ikke oppstår farlige strømmer, elektrolytt eller kortslutninger. Systemer som oppdager lekkasje, skal være installert (DNV, 2022).

## 2.5.2 Propagerings tester

Propageringskrav er definert i IEC 62619 §7.3.3 and Appendix B. Dette henvises til i Rules for classification, Part 6 Additional class notations Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 1 electrical energy storage, punkt 4 battery system under 4.2 testing. Testene er modifisert til to alternativ. Alternativ 1 omhandler batterisystem som er designet mot propagering mellom celler inni en modul, og alternativ 2 omhandler design mot propagering mellom moduler.

Ved begge alternativene skal batteriene testes tre ganger. Hver test skal være godkjent. Testen skal utføres ved en omgivelsestemperatur på den maksimale driftstemperaturen (+/- 5 °C) for



batteriet. Alle celler i modulen må være elektrisk tilkoblet, bortsett fra hvis overladningsmetoden brukes til å starte thermal runaway. Da kan cellen som blir overladet, kobles fra. Modulen regnes som "i testmodus" opptil 24 timer etter thermal runaway. Akseptkriteriet for alternativ 1 er definert som at bare den cellen som testen får til å svikte, viser ild eller gass, og ingen andre celler i modulen viser ytre tegn på thermal runaway. Ved alternativ 2 stilles det krav om at testet modul skal være omkranset av andre moduler og være montert likt det som skal anvendes i skip. Modulene i de minst gunstige plasseringene med tanke på propagering av brann fra testet modul, skal være operative moduler. Den interne oppbyggingen av modulene skal ikke endres. De resterende kan være dummymoduler så lenge disse har tilsvarende varmekapasitet, varmerefleksjon og ledningsevne som de faktiske modulene. Akseptkriteriet er at propagering ikke skjer mellom moduler (DNV, 2022).

### 2.5.3 Veiledning for elektriske energilagringssystemer (maritime EES-systemer) på norske skip med lengde (L) under 24 meter

Formålet med dette dokumentet er å gi mannskapene på fartøyene innføring i teknisk operasjonell veiledning i EES-systemer og at de oppfyller kravene i § 9. Dokumentet gjelder for fartøy som har såkalte maritime EES-systemer om bord og som er under 24 meter. Dokumentet inneholder punkt som sikkerhetsprinsipp, som sier noe om at skipene selv om deres størrelse kan være liten, må klare å håndtere feil autonomt uten å sette passasjerene eller mannskap i fare. Det befinner seg en generell del i dokumentet. I denne delen blir EES-systemet (Electrical Energy Storage) forklart. Tilsyn av slike anlegg utføres av SDIR. For fartøy under 24 meter følger SDIR kravene som er gitt i alternativ 1, under forklart i forrige avsnitt. Det er altså at propagering ikke skal skje på cellenivå, og at thermal runaway skal brenne ut i cellen, og ikke spre seg. Videre blir det blant annet gitt krav om konstruksjon (punkt 10.2.3). Det skal brukes flammehemmende materialer på EES-systemet som er i samsvar med IEC 60092-101, Ulike EES-systemer som bruker væske som nedkjøling, må utformes slik at risikoen for lekkasje av kjølevæske inni i EES-systemet er minimal, for å forhindre farlig kryptstrøm (utilsiktet strøm mellom faser), elektrolyse (kjemisk reaksjon), kortslutning. Arrangementer (punkt 13.3 og 13.7.8) sier for eksempel noe om at EES-rom ikke skal være en del av fartøyets innredninger og at det ikke skal installeres rør i og ved EES-rommet. En vesentlig del som blir nevnt er også at EES-rommet skal være beskyttet mot inntrenging av sjøvann gjennom åpninger og inkludert ventilasjonsinntak. Ventilasjon av EES-rom (punkt 15.8.).

Når det gjelder ventilasjon skal alle ventilasjons inn og utløp i EES-rom være til frisk luft der giftige gasser ikke er til fare for mannskap eller passasjerene. Ordrett står det:” det vil si i god avstand fra mønstringsstasjoner, nødutganger og livbåter/redningsflåter”, ventilasjon av avgass (punkt 16.1.2). Avgass fra integrerte ventilasjonskanaler skal ikke ha brannspjeld. Siste punkt er brannsikkerhet som er (punkt 17.6.4). Innen dette punktet omfattes slukkestrategier. Hvis skipet har en lukket ventilasjon som slukkestrategi, må det også utvikles en strategi for sikker ventilasjon av EES-rommet, da faren for eksplosjon og giftige gasser er gitt. En viktig merknad som er anført nederst er “Enhver bevisst bruk av sjøvann som slukkemiddel må evalueres med tanke på potensiell risiko” (SDIR, 2022).

#### 2.5.4 Veiledning til krav til opplæring om kjemiske lager for energi (maritime batterisystemer) om bord i norske skip

SDIR stiller dessuten krav om opplæring rundt kjemiske lager for energi (maritime batterisystemer) om bord på norske skip (SDIR, 26.01.22).

Under opplæringen går blant annet målsetninger, kompetansemål og en læringsplan.

En av hovedmålsetningene med dette dokumentet er at vedkommende får opplæring som inkluderer risikoene og farene ved bruk av maritime batterisystemer. Vedkommende skal etter kompetanse målene også kunne vurdere risiko knyttet til batterisystem, enten om de er individuelt og eller i samarbeid med andre. Etter opplæringsplanen skal denne være tilpasset de rollene enkelte mannskap har om bord. Selve opplæringsplanen skal bestå av kategoriene (betjene, inspeksjon og vedlikehold). Planen består av tre elementer hvor av den første er grunnleggende kunnskaper om batteriteknologi og den andre er systemforståelse. Altså hvordan systemene fungerer. Alt fra grunnleggende systemer til hjelpesystemer. Sikkerhet er det siste punktet. Her kommer ulike tematikker som gass, kjøling og farer knyttet til “thermal runaway (TR)”, brann og eksplosjon fram (SDIR, 2022).







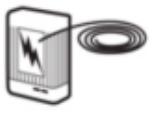



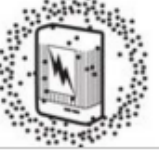


#### 2.5.5 Tiltak etter MF Ytterøyningen og MS Brim

Presentasjonen om batterisikkerhet som ble presentert på sjøsikkerhetskonferansen 2022 omhandler tiltak som kom etter hendelsene på MF Ytterøyningen og MS Brim. Innholdet består av blant annet hendelser, sikkerhetsmeldinger, et rundskriv og godkjente foretak og skip med batterier.

Sikkerhetsmeldingene 4-2021 inneholder deler som opplæring og kompetanse av sjøfolk. Det blir forklart at hendelser i lukkede rom som involverer litium-ion batterier kan føre til eksplosiv/giftig atmosfære. Videre er det oppgitt punkter som forståelser av farer, opplæring, og plassering av ventilasjonskanaler. ‘‘Batterirom bør vurderes, ikke bare med tanke på tennkildekontroll, men også med tanke på mulig eksponering av røyk og giftige gasser’’ (SDIR, 2022). Oppmerksomheten rundt farene til trykkforskjeller blir også fremhevet. Sjøvann som slukkemiddel frarådes. Elektrisk kortslutning kan bli en av konsekvensene med bruk av sjøvann.

### 2.5.5.1 IP-grad

IP-graden er batterimodulens evne til å tåle vann, støv og partikler. Dette betegnes ved en IP-grad som er angitt ved «IP» etterfulgt av to sifre som er henholdsvis beskyttelse mot faste partikler og beskyttelse mot vann. Under vises tabell over de ulike IP-gradene (SHT, 2022).

IP – Ingress Protection				
IP-verdi	Beskyttelse mot faste partikler		Beskyttelse mot vann	
0/X		Ingen beskyttelse	Ingen beskyttelse	
1		Beskyttet mot partikler større enn 50 mm som for eksempel en hånd.		Vertikale drypp skal ikke ha skadelig virkning. Begrenset vanninntrenging er tillatt.
2		Beskyttet mot partikler større enn 12,5 mm som for eksempel en finger.		Vertikale drypp skal ikke ha skadelig virkning når kapsling har helningsvinkel opp til 15°. Begrenset vanninntrenging er tillatt.
3		Beskyttet mot partikler større enn 2,5 mm som for eksempel en skrutrekker.		Sprut mot kapsling skal ikke ha skadelig virkning når utstyret har helningsvinkel opp til 60°. Begrenset vanninntrenging i 3 minutter er tillatt.
4		Beskyttet mot partikler større enn 1 mm som for eksempel en wire.		Kraftig sprut mot kapsling fra alle kanter skal ikke ha skadelig virkning på utstyret. Begrenset vanninntrenging er tillatt.
5		Beskyttet mot partikler. Begrenset inntrenging er tillat. Vil ikke påvirke operasjonen i 2 til 8 timer.		Beskyttet mot vannstråler. Mindre vanninntrenging er tillatt.
6		Partikkeltett. Ingen inntrenging av partikler i 2 til 8 timer.		Store vannstråler skal ikke entre med skadefull mengde.
7	-	-		Beskyttet mot effekt av nedsunken i vann mellom 15 cm og 1 m i 30 minutter.

Figur 5 IP-krav (SHK, 2022)

#### 2.5.5.2 Oppfølging av fartøy med lav IP-grad

Etter hendelsen på MS Brim, måtte alle fartøy som hadde samme batterisystem som MS Brim, dokumentere beskyttelse mot blant annet saltvannsingress, kontroll av luftfuktighet og beskyttelse på romnivå, ikke produktnivå. DNV har også fjernet åpning for lavere beskyttelsesgrad enn IP-44 (SDIR, 2022).

Videre behandles rundskrivene ‘*Veiledning til krav til opplæring om maritime batterisystemer om bord i norske skip. Og veiledning for elektriske maritime EES-systemer på norske skip med lengde (L) under 24 meter*’.

Det første rundskrivet om batterisikkerhet tar for seg arbeidet etter MF Ytterøyningen. Etter ASH-forskriften § 2-6 kreves det’’ at den som har sitt arbeid om bord skal få nødvendig opplæring blant annet for å kunne utføre sitt arbeid på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte’’(SDIR, 2022). Rundskrivet som behandler fartøy med maritime EES-systemer om bord i skip som er under 24 meter, inneholder blant annet publiserte klasseregler som tar utgangspunkt i Solas-standard. Det er riktignok dedikert mot fartøy av mindre klasse. Etter MS Brim ulykken så har flere sikkerhetstilrådnings blitt tatt med inn i dette rundskrivet. Med tanke på at det er mindre skip som ikke har de samme fysiske skillene og sikkerhetsfunksjonene som store skip, så må målet være å ‘’minimere risikoen med batterier ved å begrense den varmen og gassen som utvikles ved intern cellefeil’’ (SDIR, 2022). I tillegg nevnes det at risikoen reduseres når propagering av begrenses. ESS-systemet skal også være vernet mot ytre faktorer som kan skade batterisystemet.

#### 2.5.5.3 Godkjente foretak ref. Veiledning for elektriske maritime EES-systemer på norske skip med lengde (L) under 24 meter

Per dags dato er kun DNV autorisert til å godkjenne EES på lasteskip med største lengde på 15 meter og fiskefartøy med største lengde under 15 meter (SDIR, 2022).

## 2.6 Litium-batteri

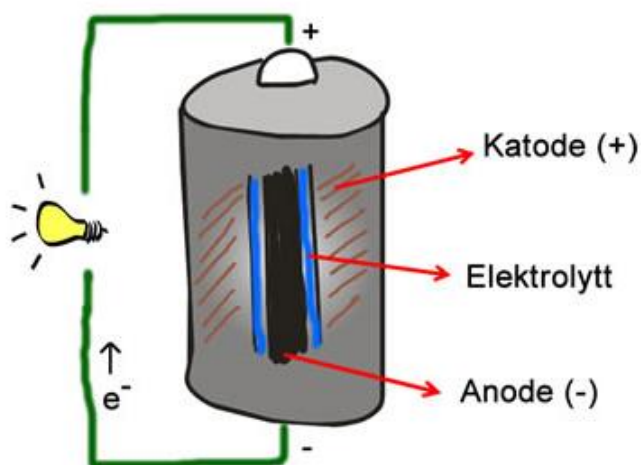
Hva er et batteri?

Et batteri er et system som omformer kjemisk energi om til elektrisk energi. “Det består av en elektrokjemisk celle med elektroder og en elektrolytt” (Ivar Gunvaldson, Steinar Mathiesen, Knut A. Rosvold, 2021).

Et litium-ion batteri er enkelt og greit et batteri som kan lades og utlades. Det skilles mellom primære batterier som ikke kan oppladdes og sekundær batterier som kan lades opp. Litium-batterier er primærbatterier og litium-ion batterier er sekundærbatterier som kan lades opp.

Litium-ion batterier er bygget opp av masse litiumceller. De har mye potensiale i seg og det er masse lagret energi i batteriene (Corvus, 2023).

Oppbygningen av et slikt batteri

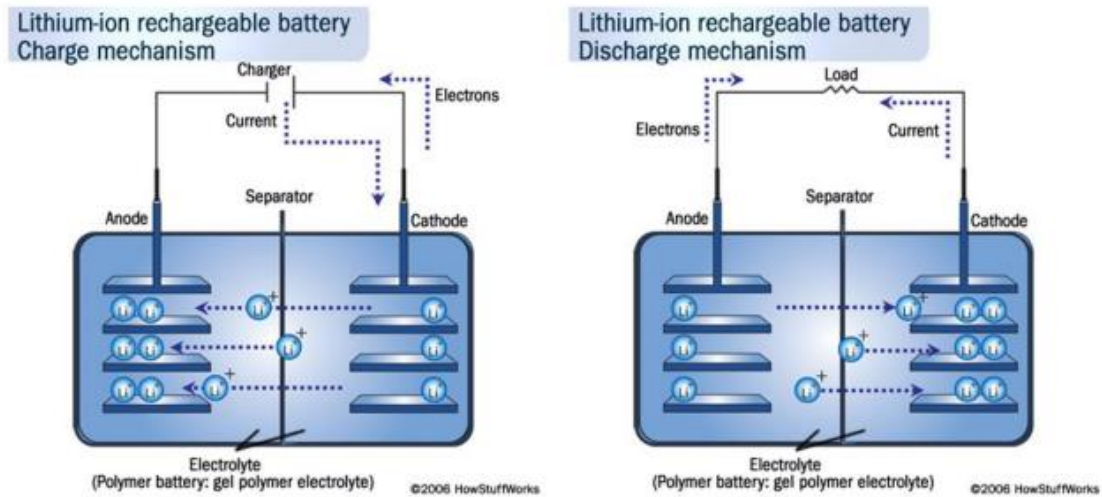


Figur 6 Litium-ion batteri (Ola Nilsen, 2010)

består av en anode og katode som er skilt av en separator. De fungerer slik at anoden er laget av grafitt og katoden av litiumoksid. “Ved oppladning av batteriet overføres positive litiumioner fra katoden til grafitten og lagres mellom lagene i strukturen av denne” (Merethe Ruud, 2018). Ved utladning flyr ionene fra anodene til katodene gjennom elektrolytt og separator. Akkurat denne prosessen kan skape en del varme. Separatoren består av tynne plastfolier. Katoden og anoden er elektroder som enten er negativ ladet eller positiv ladet. Ved utlading så er det anoden som leverer elektroner og katoden som mottar elektroner. Derfor vil katoden være positiv og anoden negativ. Ionene som fraktes er oppløyst i en såkalt elektrolytt (gel) som kun leder ioner. (DSB, 2019). Elektrolytt er et stoff med frie ioner. Kan f.eks. være vann som består av  $H^+$  og  $OH^-$ . I et batteri ligger elektrolytten mellom anoden og katoden”(Ung Energi, 2022).

Separatorens primære oppgave er å stanse elektroner som går fra katoden til anoden. Det er ionene som skal fraktes ikke elektronene. I og med at elektrolytten ikke leder elektroner, men kun ioner unngås også problemet med at elektroner går fra anoden til katoden. Akkurat en slik prosess kan skape en del varme og var et av problemene med tidligere litium-batterier. Ved

litium-ion batterier er dette problemet løst med bruk av elektrolytt.” For at den kjemiske reaksjonen skal finne sted må kjemien splittes opp slik at elektronene går en vei og ionene en annen – samtidig”(Ola Nilsen, 2010).



Figur 7 Litium-ion batteri (DNV GL, 2016)

Grunnen til at det brukes mye litumbatterier er fordi de kan gi spenning på rundt 3,5-4 V. Dette er vesentlig høyere enn blybatterier som har en celledspenning på 2 V. Det finnes mange ulike litium-ion batterier forskjellen på de vil være materialene som blir brukt, ytelsen og de personlige egenskapene (Battery University, 2022).

### 2.6.1 Historien til litium ion-batteriet

Litium ion-batterier går under kategorien “sekundær batterier”, her finner vi de som kalles “akkumulatører”. Dette vil si at batteriene er oppladbare og kan lades opp etter utlading. Den kjemiske elektriske energiomformingen i disse batteriene er reversibel, dette gjør det mulig å lade de opp igjen. Man har typer som Blyakkumulatør, som er den eldste og mest brukte akkumulatøren. Blyakkumulatøren er ofte benyttet som et bilbatteri for eksempel (snl, 2023).

Etterfølgeren til Blyakkumulatøren var “Nikkel-kadmium-akkumulatøren”. Denne akkumulatøren var mindre, lettere og holdt en mer konstant spenning ved utlading sammenlignet med blyakkumulatøren. Den beholdte i tillegg kapasiteten og belastningsegenskapene sine bedre ved lave temperaturer. Som et eksempel ble nikkel-kadmium-



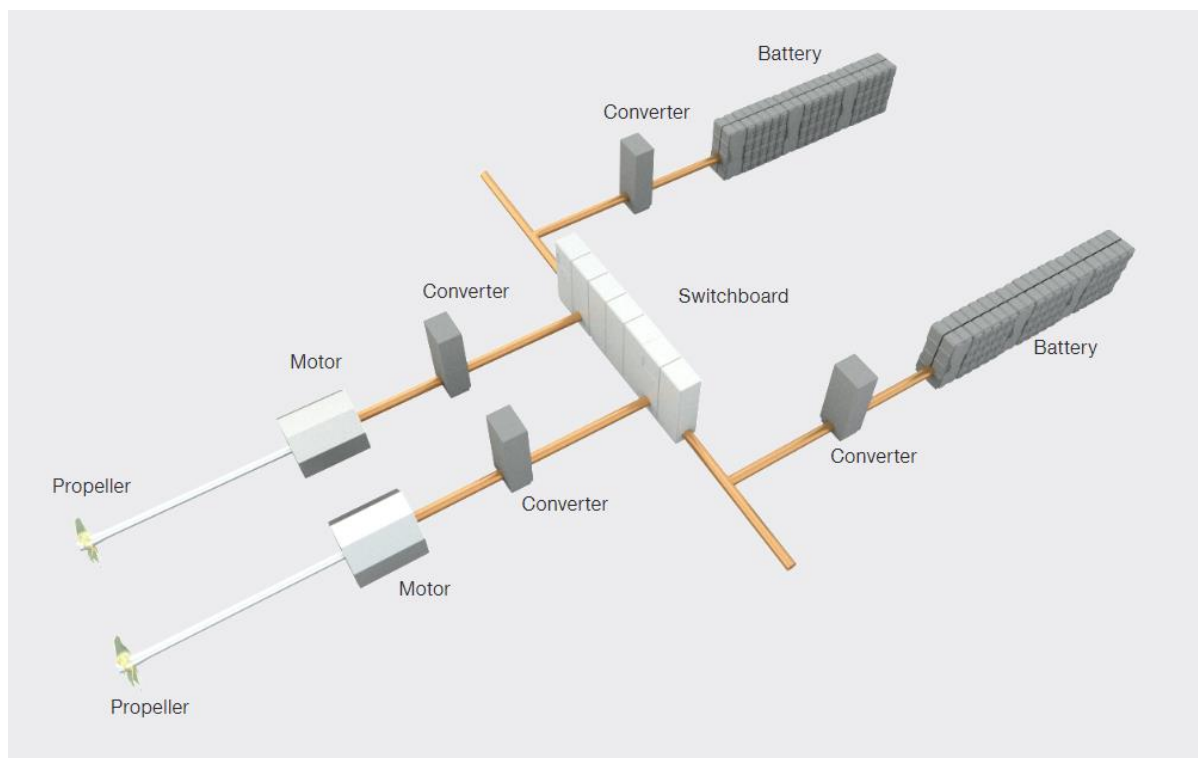
Figur 8 Blyakkumulatør (snl, 2020)

akkumulatoren benyttet i fyrlykter og som utstyr i jernbanevogner. Etterfulgt av dette ble nikkel-jern batteriet laget, denne akkumulatoren var ganske lik nikkel-kadium-akkumulatoren i oppbygning, men den negative elektroden besto her av en blanding av jernpulver, jernoksid og kvikksølv. I tiden etter ble det fokusert på å komme seg bort fra de miljøfarlige tungmetallene bly, kvikksølv og kadium. Dette resulterte i et batteri som var bygd opp slik som nikkel-kadium-batteriet og nikkel-jern-batteriet, men at den negative elektroden var her erstattet en hydrogenabsorberende legering av metallhydrider (snl, 2023).

Dette førte oss videre til Litium ion-batteriet. Litium-ion-batteri brukes til det meste innen moderne elektronikk, som for eksempel: bærbare PC-er, telefoner, fotoapparat og til elektriske biler og nå som vi ser på i vår oppgave, elektriske båter. Dette batteriet har så godt som erstattet de nikkelbaserte batteritypene på de aller fleste områder. Litium-ion-batteriet har en større kapasitet og en lavere vekt enn de nikkelbaserte. Akkumulatorene mister over tid noe av spenningen sin, på grunn av utladning og oppladning gjentatte ganger. Her ser man at Litium-ion-batteriet holder spenningen sin over tid mye bedre, sammenlignet med de nikkelbaserte. Svakheten med litium-ion-batteriet er at kapasiteten synker hvis batteriet er utsatt for lave temperaturer (snl, 2023).

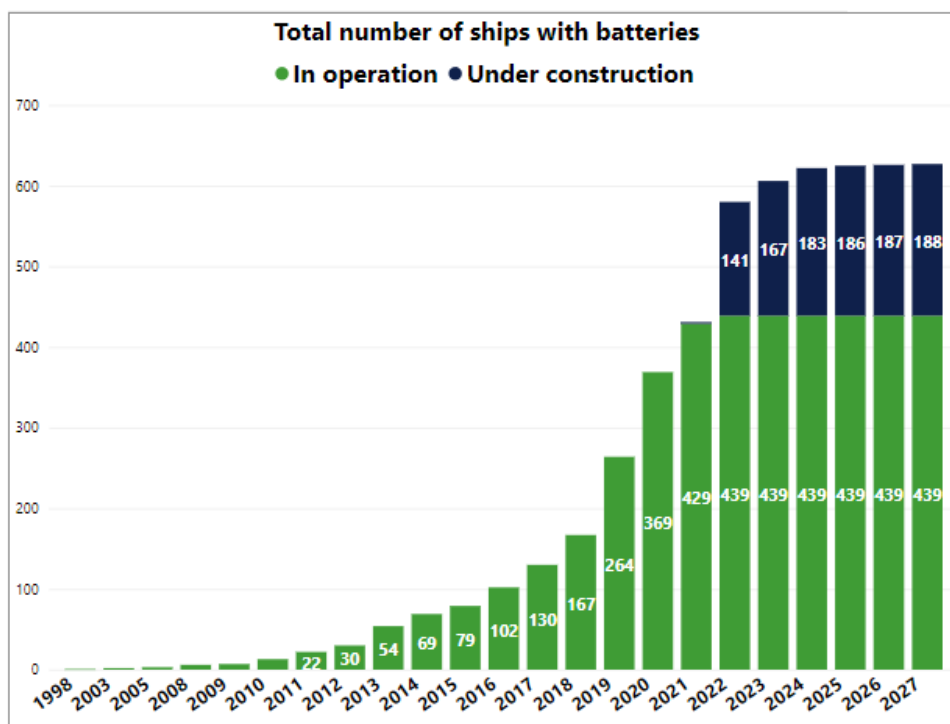


## 2.6.2 Batteridrevne fartøy:



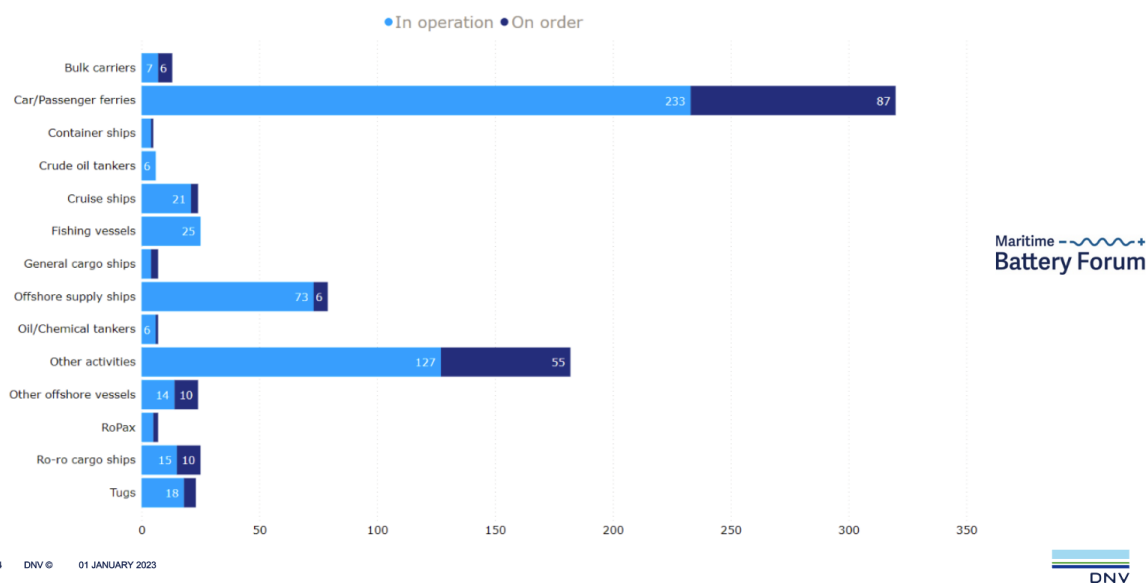
Figur 9 Hel-elektrisk fremdriftsløsning

Figur 9 viser en hel-elektrisk løsning, her har man batteri som lagrer energien den har fått tilført fra land. Konverteren endrer spenningsnivået for å få spenningen opp til det som trengs i tavlen. Tavlen fordeler strømmen videre, konverteren endrer spenningen til det som kreves inn på motoren. Motoren driver propellene. Med dagens batteriteknologi er det vanskelig å få til en helelektrisk løsning som fremdrift, til å være kostnadseffektiv, samt at det skal være volummessig og vektmessig gjennomførbart. Det er kun på nærsjøferger eller hurtigbåt som har fått til en helelektrisk løsning enda. Batteridrevne fartøy er en forholdsvis ny teknologi i den maritime industrien. Det blir forsket mye på batteriløsninger til fartøy i dag, mye på grunn av å nå klimamålene IMO har satt seg med å redusere drivhusgassene med 50% til år 2050 (Norges Rederiforbund, 2020).



Figur 10 Oversikt over fartøy med batteri (Maritim Battery Forum, u.å.)

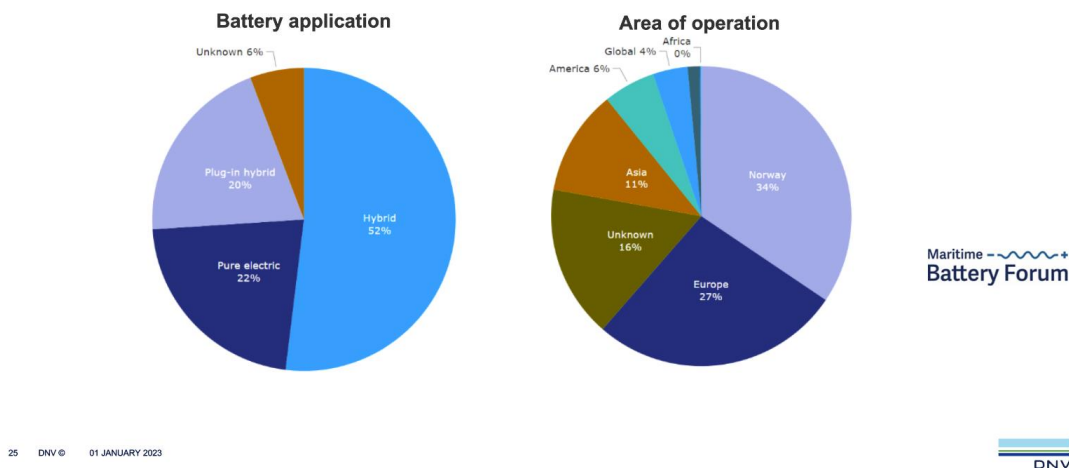
Som vi ser på figur 10 er dette forholdsvis ny teknologi, denne figuren viser oversikten over antall fartøy med en batteriløsning og utviklingen over tid. Løsningene er enten Hybrid, Plug-in hybrid eller helelektrisk. Utviklingen viser liten vekst de første 10 årene etter den første kom, før det ble en jevn stigning som i fra 2018 begynte å skyte fart frem til 2021-22. Vi ser da at antallet bygget hadde stagnert, mens planlagte bygde fortsatt øker etter dette.



Figur 11 Oversikt over skip med batteriløsninger (Maritime Battery Forum, 2023)

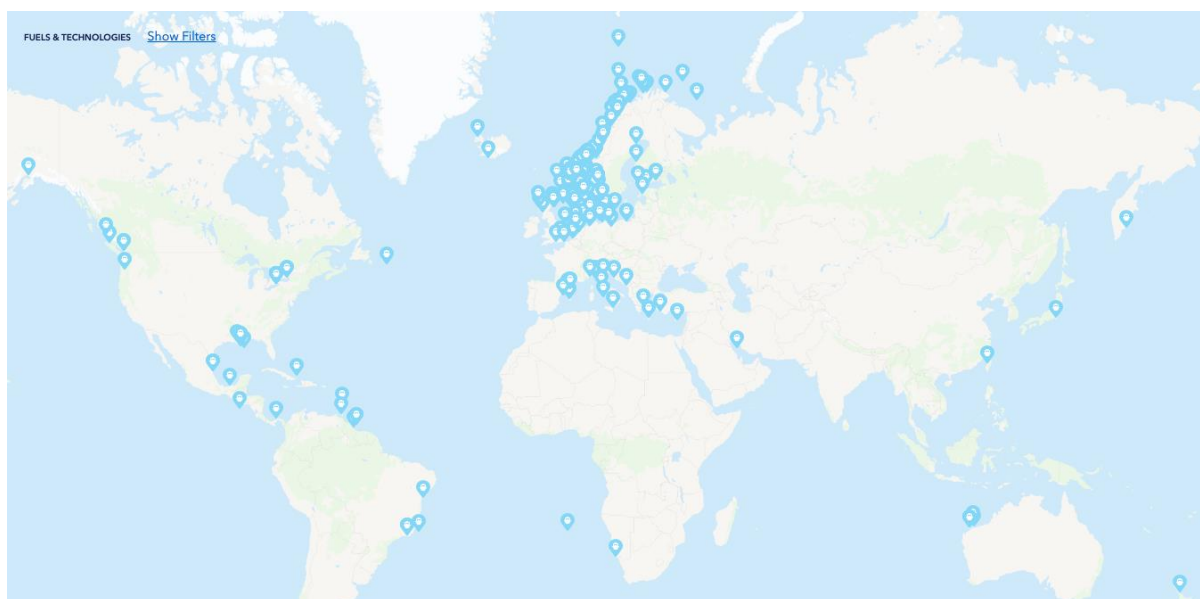
Figur 11 viser en oversikt over hvilke fartøystyper som har en form for elektrisk løsning om bord, og hvilke fartøy som er planlagt bygd, i form av en hybrid løsning, plug-in hybrid løsning eller en helelektrisk løsning. Hybride løsninger er mulig å få til i andre fartøysesegmenter enn ferge og hurtigbåt.

## Battery application and area of operation (in operation and on order)



Figur 12 Batteribruk i forskjellige segmenter og deres lokasjon (Maritime Battery Forum, (2023))

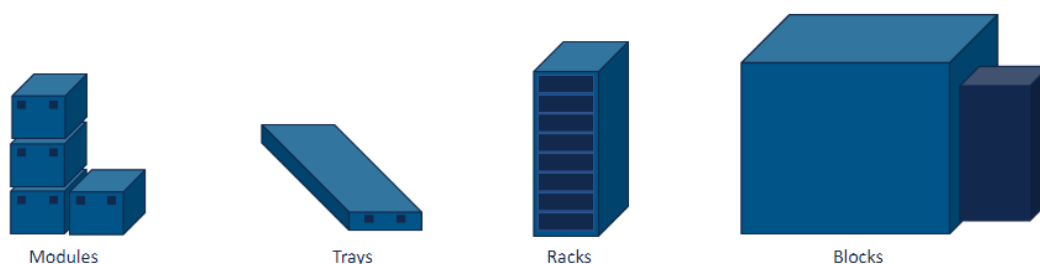
Figur 12 viser en oversikt over prosentandelen på fordelingen på elektrisk utrustning på fartøy, samt prosentandelen på hvor i verden de hører til. Figuren viser at den hybride løsningen er den mest utbredte. Figuren viser også at Norge er den fremste aktøren med tanke på elektrisk løsning på fartøy. Over halvparten av disse fartøyene operere i Norge eller Europa.



Figur 13 Oversikt over fartøy med batteri om bord i verden (DNV, 2023)

### 2.6.3 Oppbygning av en batteripakke:

En batteripakke er bygget opp av flere battericeller som igjen danner en batterimodul. Denne modulen inneholder kjølesystemer, sikkerhetssystemer og en slags temperaturovervåkning. En batterimodul vil da være en eller flere moduler som inkluderer et battery management system (BMS). Når flere batterimoduler er sammenkoblet, kalles det for et batterirack. Slike batterirack inneholder sikringer, sensorer, kommunikasjonssystemer og BMS. Hele systemet vil da bli kalt et batterisystem.



Figur 14 Oppbygning til et batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023)

### 2.6.4 BMS

BMS er systemet som skal overvåke og kontrollere batteriene. Det blir blant annet målt spenning og strøm i hver enkelt celle. Ut fra DSB sin rapport om (Risikovurdering og håndtering av brann i litium-ion batterier), har DSB kommet med noen punkter om hva BMS-en gjør og hva den beskytter mot. Blant annet så overvåker BMS temperatur i batteriene, celledspenning, ladenivå og kalkulerer ut ulike parametere som helsetilstanden og tilgjengelig effekt. BMS beskytter battericellene også for overspenning/underspenning, for høy/lav temperatur og jordfeil (DSB, 2021).

Batteriet er bare så sterkt som dets svakeste ledd (celle). Alle batterier i systemet vil reduseres med forskjellig grad. Et kvalitets-BMS-system vil være best i stand til å minimere disse variasjonene mens det holder batterier i balanse. I tillegg er BMS-systemet ansvarlig for å beregne strømgrenser, SOC og State of Health (SOH). Dette er komplekse funksjoner som krever både mange års erfaring og inngående kunnskap om det spesifikke batterisystemet. Et høykvalitets BMS-system er en nøkkelkomponent i et trygt og fullt effektivt batterisystem. BMS er også viktig for å forhindre at omformeren overlader batterisystemet. Slike feil kan forårsake at mer enn én celle eller modul svikter samtidig. Merk at det mest sannsynlige scenariet for slike feil er at enhver brann eller avgassing vil starte ved den svakeste cellen eller modulen, før den sprer seg til resten av batterisystemet (EMSA, 2019).

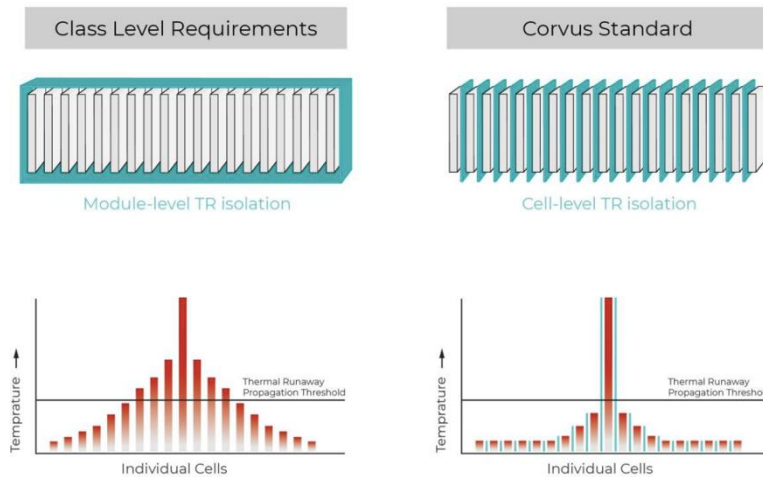
Et litium-ion-batteri vil brenne ettersom det er en energikilde. Et batterisystem er bygd opp av tusenvis av celler. Likevel vil en nøkkelfaktor knyttet til batterisikkerhet, være å forsikre seg om at feil i en battericelle ikke sprer seg til batteriene ved siden av. En nøkkelfaktor her vil være hvor mye varme cellen produserer. En større celle vil inneholde mer energi og derfor produsere mer varme når den brenner. Større celler har fordeler med tanke på energiinnhold og tetthet til et system, men system-designet må ta den økte størrelsen med i betraktningen (EMSA, 2019).

Kjemi er også en faktor. Majoriteten av litium-ion batterier i bruk er Litiumkoboltoksid (LBO), Nickel Kobolt Mangan (NCM) eller Litium Mangan Oksid (LMO). Disse kjemiene presenterer likheter når det gjelder å ha lagdelte metalloksider og dermed produsere oksygen under thermal runaway hendelser. Disse sammensetningene vil som regel brenne mer aggressivt og slippe ut en større grad av varme. På den andre siden inneholder Jernfosfat batteri (LFP) ikke oksygen i den interne metall strukturen og vil derfor ikke produsere like mye varme når en thermal runaway oppstår (EMSA, 2019).

Det er flere ulike litium-ion system som kan bli laget for å være trygge. En nøkkelfaktor som omhandler sikkerhet, er å forsikre seg om et sikkert design på batteriet. En modul er en samling av batterier som former basisen for et batterisystem. Derfor er det avgjørende at en batterimodul er utformet spesifikt for batterisystemet den omslutter (EMSA, 2019).

Batterimodulen er også der de viktigste observasjonene blir gjort – flere sensorer for spenning, temperatur og strøm blir plassert i modulen. Jo høyere antall sensorer, jo bedre oversikt har kontrollsystemet inn i batteriet, og dermed muligheten til å oppdage en hendelse så raskt som mulig. Mange systemer har spenningssensorer på hver celle, noe som er svært fordelaktig. Mange vil også ha flere temperatursensorer plassert strategisk, samt strømsensorer. En økt mengde sensorer vil typisk følge med økte systemkostnader (EMSA, 2019).

Et batterisystem vil også inneholde systemene som er ansvarlige for termisk styring av batteriet. Batterier er vanligvis luftkjølte eller væskekjølte. Hva som velges vil avhenge av battericellen så vel som driftssyklusen. Et mer kapabelt kjølesystem vil imidlertid bidra til å sikre jevnere drift og degradering av battericellene. Dette er viktig fordi selv om bare én eller to celler mister effekten i et batterisystem, vil kapasiteten til hele systemet sannsynligvis være begrenset (EMSA, 2019).



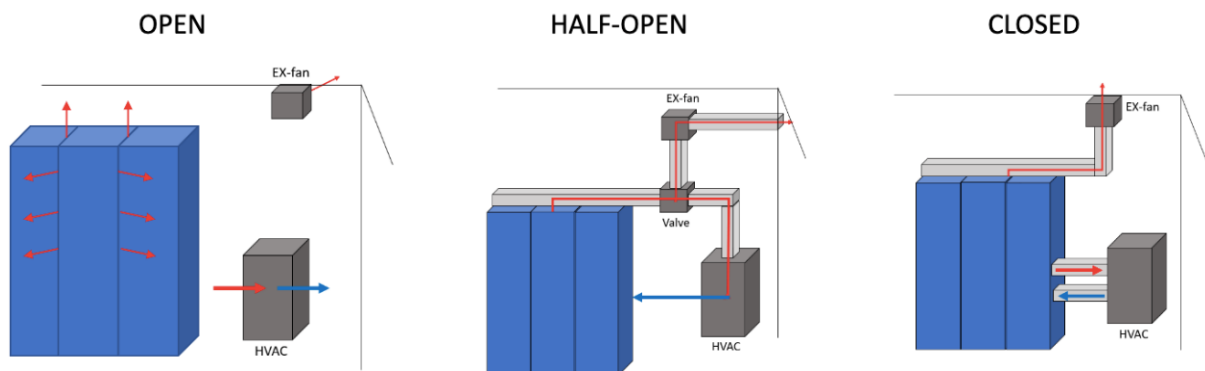
Figur 15 Modul og cellenivå (Corvus, 2023)

leverandør som Corvus satser stort sett utelukkende på cellemodulering (Corvus, 2023).

Det skilles mellom cellemodulering og modulmodulering. Ved cellemodulering skal ikke en intern feil spre seg mellom cellene. Ved modulmodulering skal ikke en intern feil kunne spre seg mellom modulene.

Bransjestandarden er modulnivå, men en

### 2.6.5 Ventilasjonssystem

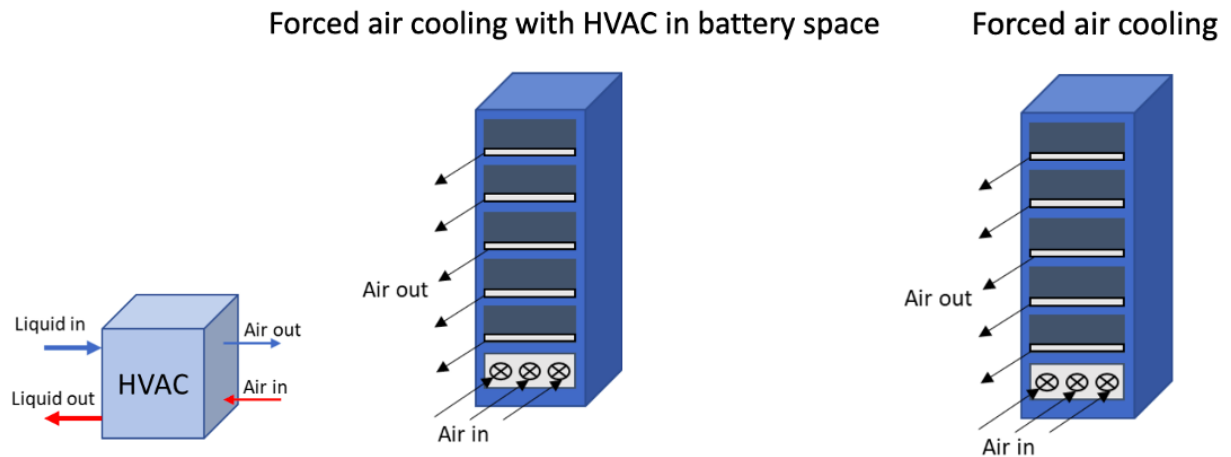


Figur 16 Forskjellige ventilasjonssystemer (Maritime Battery Forum, 2023)

Maritime batterisystemer kan gi fra seg giftige gasser ved eksplosjon (DSB, 2021). Ulike ventilasjonstyper er tilpasset ulike batterier. Ventilasjonssystemene varierer i form av hvilke batterisystem som er benyttet. Hovedoppgaven til et ventilasjonssystem er å ventilere ut giftige gasser. Noen batterier har en åpen ventilasjonsløsning der gasser vil strømme ut i rommet, og deretter bli ventilert ut gjennom et eksternt ventilasjonssystem i batterirommet. Dette kan ses på figur 16, under illustrasjonen merket "OPEN". Ved "CLOSED" er batteriene tilkoblet et lukket ventilasjonssystem. Her vil gassene bli ventilert, uten å nå ut i batterirommet. (Maritime Battery Forum, 2023). Valg av ventilasjonssystem avhenger av hvilke batterier som benyttes. På hurtigbåter brukes batterier der det blir brukt en "OPEN" løsning. På større fartøy foretrekkes "CLOSED" ventilasjonssystem.

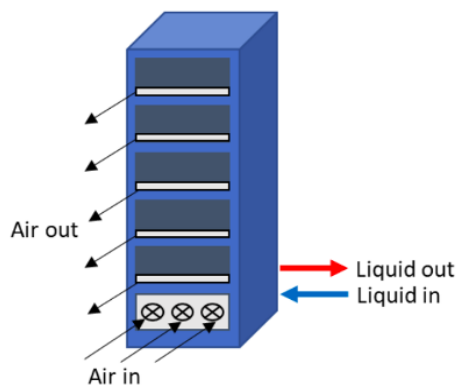
## 2.6.6 Kjølesystem

Batterier er små energibærere som inneholder mye energi. Dette fører til at det skapes mye varme. Batterirom må holde temperatur rundt 20 grader, oppvarming av batterier kan føre til thermal runaway.



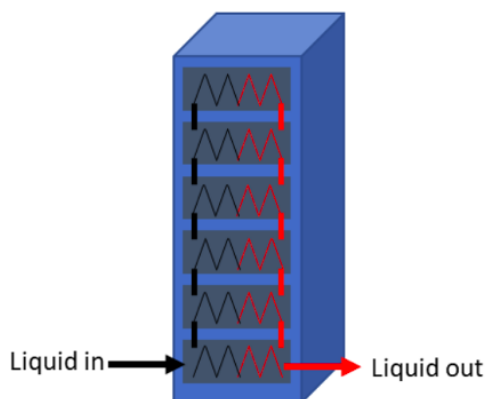
Figur 17 Luftkjølt batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023)

### Forced air cooling with liquid cooling in battery system

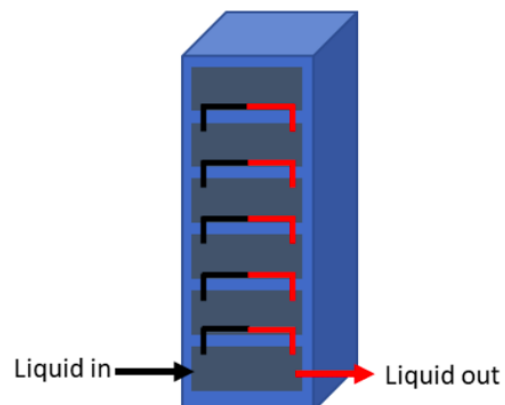


Figur 18 Luft og væskekjølt batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023)

### Liquid cooling inside the battery modules



### Liquid cooled battery rack



Figur 19 Væskekjølt batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023)

## 2.7 Farer med batterier

Det er ikke bare brann som utgjør fare på elektriske hurtigbåter. I en studie i regi av Trøndelag Fylkeskommune om elektrifisering av ruten Trondheim – Kristiansund ble det listet opp flere risikoer som omhandler batterier som energikilde. Disse er gjengitt nedenfor (Flying Foil, 2018/2019).

### 2.7.1 Tom for strøm

I en nødsituasjon vil det være kritisk om batteriet går tom for strøm. Helelektriske MF Ampere som ble satt i drift i 2015 har til nå ikke gått tom for strøm, men man har opplevd kanselleringer av turer dersom man ikke har hatt nok strøm. Skipsfører og maskinsjef må derfor sørge for at fartøyet har nok energi til å gjennomføre turen før man legger fra kai. Energiforbruket til en hurtigbåt øker proporsjonalt med farten. I en nødsituasjon bør man derfor unngå høye hastigheter for å spare energi.

### 2.7.2 Feil på kraftforskyvingssystem.

Ved feil på komponenter i kraftforskyvingssystemet risikerer man at viktige komponenter mister strøm. Dette kan føre til at kontrollsystemet og fremdriftsmaskineri slutter å fungere. Ved trange passasjer eller i forbindelse med docking av fartøyet kan feil på fremdriftsmaskineriet medføre stor risiko. For å minimere risikoen har man valgt å dele batteripakken og kraftforskyvningsutstyret i to uavhengige system.

### 2.7.3 Kollisjon

Kollisjon med andre skip eller objekt er alltid et faremoment for alle typer hurtigbåter. For et batteridrevet fartøy er det også en fare ved at selve kollisjonen kan skade batteripakken på en måte som får den til å ta fyr.



#### 2.7.4 Problem med fremdriftsløsningen

Alle skip kan oppleve problemer med fremdriftsløsningen, både elektriske og konvensjonelle. Hvis et skip mister all motorkraft er det risikoen for at skipet kan drive på land eller på grunn. Bruk av redundante komponenter skal hindre at feil på sensorer eller datasystemer fører til at fartøyet settes ut av spill.

#### 2.7.5 Kollisjon med flytende objekter i vannet

Både batteridrevne fartøy og konvensjonelle fartøy risikerer å kolliderer med flytende objekter i vannet, som f.eks. tømmerstokker, bildekk og i verste fall store tunge objekter som containere. Alle hurtigbåtskrog er konstruert med vanntette skott og dobbeltbunn. Dette vil si at båten ikke vil synke selv om skroget pådrar seg små skader.

#### 2.7.6 Operasjonelle sikkerhetsrisikoer med litium-ion batterier

Som nevnt i kapittel 2.7.1 kan et litium-ion-batteri bli skadet på flere måter, noe som kan resultere i farlige situasjoner. Battery management system (BMS) spiller en viktig rolle med tanke på sikkerhet rundt dette. Elektrisk beskyttelse kan være utilstrekkelig ved beskyttelse av celler og risikoen øker når det brukes på batterimoduler eller rack. Hovedmåtene er blant annet overlading og overutlading. Ved overlading er spenningen til batteriet høyere enn grenseverdiene. Overlading er også et av de farligste momentene som kan oppstå. Ved overlading stiger den interne temperaturen til batteriet og elektrolytten kan komme i fare for å bli brutt ned i gassformige bestanddeler. Denne prosessen kan føre til antenning av elektrolytt. Ubalanse mellom celler og kortslutninger kan utgjøre risiko for overlading. Ved overutlading av litium-ion batterier faller batterispenningen under anbefalte grenser. Dekomponering av elektroder i batteriene kan da være et av tilfellene, som kan føre til kortslutning (EMSA,2019).

Overspenning og overoppvarming kan også oppstå som følge av feil bruk av batteriene. Overspenning skyldes lading eller utlading av batteri på et for høyt nivå. Temperaturproduksjon kan i slike tilfeller antenne elektrolytt. Overutlading og overlading kan skyldes feil bruk av spenningsstyring, noe som er en av følgene til overspenning. Selve overoppvarmingen kan skyldes for høye temperaturer (EMSA, 2019).

For lave temperaturer kan øke den interne motstanden i batteriet og minke effektiviteten. Lave temperaturer kan også føre til litiumbelegg på anodene og/eller dannelse av dendritter. Litium-

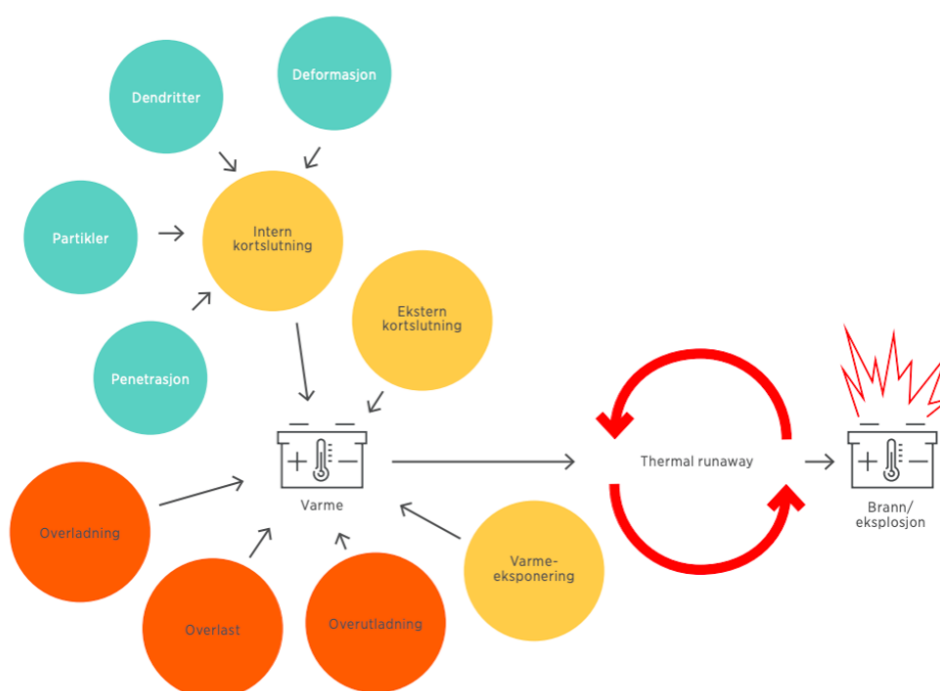
dendritter er “metallic microstructures that form on the negative electrode during the charging process” (Lingxi Kong, Michael Pecht, 2020). Dette kan igjen skape kortslutning eller oppvarming av elektrolytt. I rapporten til EMSA (Study on electrical energy storage for ships) anbefales det å ikke bruke batteriene dersom temperaturen i batteriene er under 10 grader. De elektrokjemiske reaksjonene går tregere når temperaturen er lav, og ytelsen blir dårligere. Eksterne kortslutninger er på mange måter lik de nevnte eksemplene over. Når batteriene blir utladet eller ladet opp på en ekstremt hurtig måte, kan elektrolytt i en celle varmes opp til den antennes og skape en thermal runaway (EMSA, 2019).

Feilkilder som mekaniske feilkilder eller brann, er eksempler på trusler som er eksterne faktorer. Mekaniske feilkilder kjennetegnes gjerne ved ekstern påvirkning som kollisjon eller eksplosjon. Elektrodene kan komme i kontakt med hverandre ved en mekanisk skade på battericellene, videre kan dette skape en kortslutning. Eksterne branner er farlig fordi de kan øke temperaturen i batterirommet og at det skjer en forbrenning av batterimaterialer og materiellene rundt om i rommet. Et viktig moment å huske på er ventilasjon som ventilerer ut varmen. Den siste trusselen som burde nevnes er en intern defekt, altså defekter i batteriet. Problemer med interne defekter er at BMS-en ofte ikke klarer å detektere slike feil. En intern defekt kan også påvirke en intern kortslutning med lite eller ingen varsel (EMSA, 2019).

## 2.8 Brann

### 2.8.1 Batteribrann

En batteribrann er uten tvil den største risikoen på en elektrisk hurtigbåt. En brann kan oppstå som følge av intern og ekstern kortslutning. Overladning, overlast, overutladning og varmeeksponering er årsaker som kan føre til thermal runaway og deretter forårsake en batteribrann. Thermal runaway kan starte når et batteri er oppvarmet til ca. 80 grader og mer. (DSB, 2021).



Figur 20 Årsak til thermal runaway (DSB, 2021)

Batteriprodusentene setter sikkerhet høyt. Batteriene er konstruert slik at man ved feil på en celle eller modul i batteripakken, vil ikke dette føre til en kjedereaksjon der flere celler eller moduler blir skadet. Om en brann stopper på celle eller modulnivå avhenger av batteritypen og valg av modulering. I batteripakken er det overvåkning av både spenning og temperatur i hver enkelt celle ved hjelp av BMS. Batteriene er godkjent av klasseselskap og SDIR som skal sikre at løsningene til produsentene er sikre. Batterirommene skal også være brannisolert etter gjeldene krav. Rommet er kledd med ikke-brennbart materiale. Dersom en brann likevel skulle oppstå er det ekstra ventilasjon i batterirommet for å ventilere ut farlige gasser fra batteriet.

### 2.8.2 Farer med batteribrann

De største farene ved en batteribrann vil være eksplosive gasser og kortslutninger. For spesielt litium-ion batterier skilles det mellom fire typer gasser. Det kan oppstå brannfarlige, giftige, irriterende og etsende gasser. Spesielt for brann i litium-ion batterier er utvikling av oksygen fra katoden. Et felles trekk er at gassene kan selvantennes selv om brannen er slukket. For å komme litt nærmere inn på de brannfarlige gassene, kan det dannes gassblandinger som består av hydrogen, etylen karbonmonoksid og metan/propan. Gass-sammensetningen vil bestå av både lette og tunge gasser. Brennbarhetsområde vil variere fra gass til gass, men man burde gå ut fra at gassblandingen har et stort brennbarhetsområde ved batteribrann. Brennbarhetsområde og eksplosivitet kan nås ved lav volumprosent av gassinnblanding i et rom. I lukkede rom kan gassen akkumuleres. Det betyr at det kan forekomme en opphopning eller oppsamling av gasser. Om gassblandingen er over LEL kan den være eksplosiv (DSB, 2021).

Ved brann kan også giftige gasser bli produsert som karbonmonoksid, fosforfluorforbindelser, cyanider og klorider. Irriterende og etsende gasser som kan oppstå vil være hydrogenklorid, svoveldioksid og hydrogenfluorid. Nevneverdig er at hydrogenfluorid (HF) ikke har høy risiko hvis gasskonsentrasjonen er under LEL.

Batteriene er elektriske. Dette medfører også en form for elektrisk fare. Batteriene fungerer slik at det ved en kjemisk reaksjon oppstår energi. Fordi et batteri kan føre spenning, må man passe på polene. Ved slike installasjoner anbefales det fra DSB å bruke isolasjonshanske med isolasjonsklasse 1000 V og bruke god avstand. Lysbuedannelse som kan føre til temperatur eller trykkøkning, kan føres tilbake til en kortslutning i batteriinstallasjoner som inneholder mye effekt.

### 2.8.3 Farer med brann på litium-ion-batteri

De største farene med et litium-ion batteri er at det kan begynne å brenne/propagere ved interne og eksterne feil. Videre kan det skapes muligheter for at batteriene selvantennes. Ved batteribrann kan spenningsforskjell forårsake varmeutvikling og til slutt brann. Om en av battericellene tar fyr grunnet spenningsforskjell, kan flere celler ta fyr. Høy varme og eksplosjon kan være noen av følgene når en batteripakke har tatt fyr (Flying Foil AS, 2018/2019). Gassen i battericellene kan ved en brann bygge seg opp og til slutt forurense. Noen av gassene er blant annet lett antenkelige og giftige. Både varme og gasser er noen av hovedelementene. ‘Gassblandingen som dannes og utgis, er brennbar, inneholder ulike

blandinger av hydrogen, karbonmonoksid, karbondioksid og ulike hydrokarboner inkludert metan og propan” (Elise Kjørstad, 2022). Slike branner forutsetter ofte innsats av spesielt trente brannmannskap (Redningsinnsats til sjøs (RITS)).

Sikkerhetsrisikoer ved litium-ion batterier kommer fra to kilder. En er brennbar og ustabil elektrolytt, den andre er metallektroder som kan brenne, og slippe ut oksygen. Antennelse er relatert til elektrolytt, mens høye temperaturer og vanskeligheter for slukking er relatert til metallektrodene. Basert på disse komponentene er det to primære feilkilder som kan være et resultat av misbruk av litium-ion-batterier: gjennomgripende thermal runaway og frigjøring av giftige og brennbare gasser (DSB, 2019).

#### 2.8.4 Thermal Runaway

Ved brann kan det også forekomme en såkalt (TR) thermal Runaway. Dette er en prosess som er selvforsynende. Det betyr at når noe brenner og går i thermal runaway, så vil det oppstå mer varme og brannen vil øke. Thermal runaway vil være vanskelig å slukke med konvensjonelle slukkeutstyr (vann/skum) siden det er en “eksoterm kjemisk reaksjon mellom stoffene i batteriet” (DSB, 2021). Eksoterm betyr at det er en prosess som avgir varme.

Thermal runaway er en eksoterm kjemisk reaksjon som oppstår når et litium-ion batteri begynner å brenne. Hendelsen starter som regel på grunn av feil ved en form for påkjenning som gjør at den interne temperaturen øker slik at elektrolytten i en gitt celle antennes. En slik brann signaliserer en betydelig risiko for å antenne metallektroder som er plassert i battericellen, disse metallene kan inneholde oksygen som blir frigjort når det brenner. Ikke alle litium-ion batterier inneholder oksygen i elektrodene, men alle litium-ion batteriene på markedet i dag inneholder elektrolytter som kan antennes og skape en thermal runaway (DSB, 2019).

Når en thermal runaway er i gang vil den ikke kunne stoppes med det første. Vann vil kunne kjøle ned prosessen, men det er begrenset hvor mye vann som kan brukes, i forhold til størrelsen på ferskvannstanker (Skipsbesøk Norled, 16.02.2023).

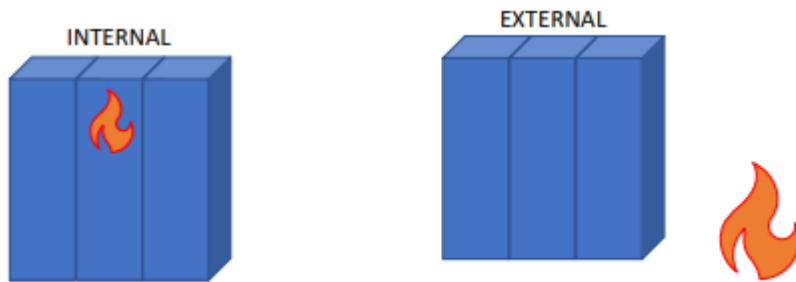
Et maritimt batteri er bygd opp av flere tusen celler. Dermed vil svikt av en enkelt celle utgjøre en relativt liten trussel. Den større trusselen kommer i det en thermal runaway produserer tilstrekkelig varme til at den forplanter seg til andre celler, noe som får de til å gå i termisk løp. Når dette går gjennom batteriet øker varmen som produseres eksponentielt, og risikoen for

brann utvikles der hele batteriet er involvert. Derfor må batterimoduler og systemer konstrueres for å beskytte mot forplantning basert på cellen som brukes, og disse kaskadebeskyttelsene er nøkkelfunksjonen med hensyn til systemdesign for sikkerhet (EMSA, 2019).

#### 2.8.5 Årsaker til at det oppstår en brann

Man skiller alltid mellom interne og eksterne faktorer som forårsaker brann. Ved batteribrann kan interne faktorer være spenningsforskjell mellom de enkelte battericellene. Det kan utføres ulike propageringstester for å finne ulike årsaker til at brann oppstår og sprer seg. Propagering betyr at når en brann har oppstått så skjer det en kjedereaksjon som gjør at brannen sprer seg. Ulike aktører gjennomfører propageringstester som skal sørge for at brannen ikke sprer seg. Ved cellemoduleiring skal ikke en intern feil kunne spre seg mellom cellene. Intern kortslutning, der anoden og katoden kommer i kontakt med hverandre kan være en årsak til at det oppstår en brann. Ved lav motstand i den interne kortslutningen av battericellen vil battericellen utlades hurtig, dette kan skape høy varmeutvikling. Ved en kollisjon med et fartøy kan det samme skje. Når katoden og anoden ved en kollisjon møtes kan det skapes en form av kontakt og igjen kan det skapes en intern kortslutning, dette vil føre til varmegang og videre til brann. Elektrolytt eller andre materialer kan hvis det er nok varmeavgivelse også bli antent. Celler som er fullt oppladet har høyere sannsynlighet ved en intern kortslutning å resultere i en brann, enn celler som er delvis utladet. Jo mer energi som er til rådighet, jo mer varme overføres til varme ved en kortslutning. Når varmen som skapes er høy nok kan batteriet gå inn i en thermal runaway. Grensen for en thermal runaway er lavere ved fullt oppladete battericeller og varmen som genereres er også høyere (DSB, 2019).

Generelt kan batteriene oppvarmes enten ved overlast, der batteriet tappes ved høyt forbruk eller ved overlading. Ved overlading lades batteriet på et svært høyt nivå. Dette kan i enkelte tilfeller medføre oppvarming. Om ikke oppvarmingen kontrolleres og overvåkes kan det resultere i en thermal runaway. Høy utlading som også kalles for dyputlading. Ved dyputlading tappes batteriene fullstendig for strøm og de kjemiske komponentene kan over tid løses opp. Strukturen kan over tid endres og dette kan forårsake en intern kortslutning (DSB, 2021).



Figur 21 Forskjell på intern og ekstern brann (Maritime Battery Forum, 2023)

Eksterne faktorer til brann eller utvikling til brann kan være lekkasje fra kjøleanlegg, varmepåvirkning eller kortslutninger. Ved eksterne kortslutninger kobles minus og pluspolene til en forbindelse med lav motstand. En rask utlading vil være konsekvensen og det vil frigis en del varme. Ved ekstern varmepåvirkning ved en brann, påvirkes batteriene i form av varme. Cellene kan da oppvarmes og varmen kan spre seg mellom flere celler samtidig. Sprinkleranlegg har i oppgave å forhindre ekstern varmepåvirkning. Ved ventilering av gass, der gassen ikke blir antent fra en thermal runaway, kan den samles i lukkede områder. Ved riktig mengde gass i forhold til luft, kan det skapes en atmosfære som er eksplosiv. Det er mengden varme som skapes som har stor betydning om gassene blir frigitt uten antennelse eller om de blir oppvarmet over tenn-punkts temperaturen (DSB,2021).

Slukking i form av sjøvann kan skape eksterne kortslutninger. Det er delte meninger om bruken av saltvann. I Rapporten til Corvus Energy, sies det at en av grunnen til eksplosjonen på MF Ytterøyningen var bruken av saltvann. Saltvann har egenskapen til å kjøle ned, men kan også skape kortslutninger. (Corvus, 2020). Sjøvann er elektrisk ledende. Sjøvannet kan spalte seg når det kommer i kontakt med deler i batteriet som kan være spenningsførende. Da kan sjøvannet spalte seg opp i hydrogen og klor (DSB, 2021).

I en rapport utgitt av Maritime Battery Forum, står det at "Multiple incidents with batteries on board ships started with a leakage or water intrusion" (Maritime Battery Forum, 2023).

#### 2.8.6 Tiltak for brannbekjempelse

Metodene for slukking består av primært avkjøling og ventilering. Det finnes ulike slukkemidler som kan brukes ved en batteribrann. Vann vil være det slukkemidlet som er mest kjent. Med vann kan batteriet kjøles ned. Ved brann som har store litium-ion batterier om bord vil det være svært viktig å kjøle ned batteriene med nok vann. Vann kan også brukes der hydrogenfluorid er oppstått i lukkede rom. Primært brukes det vanntåke (watermist) som kan

senke konsentrasjonen av gass. Luftfuktighet vil medføre at slike gasskonsentrasjoner avtar (DSB, 2021).

Ventilering av batterirom og overvåkning av gasskonsentrasjon vil være essensielt for å kjøle ned et batterisystem. Det er viktig å få et overblikk over konsentrasjonen av gass før en eventuell ventilering starter. Ulike skip har også ulike system for ventilering. Noen skip har batterirom som har ventilasjonskanaler som skal frakte ut gassen fra batterirommet og noen har såkalte lukkede rom (DSB, 2021).

Det finnes ulike typer slukkemidler. Noen midler hjelper mer og noen hjelper mindre. Vann vil brukes primært da det har en kjølede effekt i batterisystemet. Skum har samme effekt som vann i form av kjøling. Skum har i tillegg den effekten at det kan isolere celler mot varme fra andre celler som produserer varme via thermal runaway.

Det mest brukte slukkemiddelet på hurtigbåter er Novec. Novec benyttes på fartøy som er vekt-kritiske, da hurtigbåter ikke kan frakte med seg store tanker med ferskvann (Norled, 2023). Det er normalt i væskeform, men vil ved utløsning danne en gass blandet med luft. Novec systemet er utviklet for å fungere raskt og ved aktivering vil beholderen tømmes i løpet av 10 sekund. Varmen absorberes hurtig slik at brannen slukkes. Produsenten 3M gikk offentlig ut i 2018 og informerte at Novec 1230 ikke er konstruert eller egnet til å slokke en elektrisk brann i batterier. Gassen senker i hovedsak temperaturen i rommet, men har ikke tilstrekkelig kjølede effekt for LIB-brann (DSB, 2021). Likevel er Novec et av de foretrukne slukkemidlene i batterirom på hurtigbåter.

Et annet slukkemiddel som benyttes er Inergen. Inergen systemet slokker en brann ved å redusere oksygeninnholdet til ca. 12,5 %, et nivå der forbrenning ikke lenger er mulig. Inergen har ingen stor kjølede effekt og egner seg ikke for brann i LIB. Inergen reduserer eksplosjonsfaren, men kan forvirre gassmåleinstrumenter som er avhengig av oksygen for å gi riktig nivå (DSB, 2021).

CO<sub>2</sub> som slukkemiddel benytter karbondioksid som gir en ren slokking uten at materiell ødelegges, man unngår også å bruke vann som kan ha sine ulemper. CO<sub>2</sub> er derfor spesielt velegnet til slokking av branner i elektriske anlegg, datarom etc. Konseptet går ut på at man fjerner alt oksygen i rommet, og at man dermed kveler brannen. I en LEL-brann vil det frigjøres oksygen i katoden.



Slukkemidler som brannteppe, Pulver og CO<sub>2</sub> vil ha lite effekt når det gjelder brann på litium-ion batterier. Spesiell oppmerksomhet må rettes til bruken av saltvann. Saltvann har evnen til å lede elektroner. Kortslutninger på batterianlegget vil kunne bli en av konsekvensene ved bruk av saltvann på litium-ion batterier. Det burde kun brukes som et slags "back-up" system.

Når det gjelder systemer, har man flere alternativer. Et mye brukt og konvensjonelt system er sprinkleranlegg og watermist. Sprinkleranlegg har høy kjøleeffekt, men det er begrenset hvor mye ferskvann som kan brukes før anlegget skrur om til sjøvann(saltvann). Ved at det kommer store mengder med vann kan det føre til at det dannes lommer med gass. I slike lommer kan det samles store mengder gass, som kan antennes. Sprinkleranlegg brukes til å slukke brann utenfor eller på batteriene, og thermal runaway vil ikke kunne forhindres. Watermist derimot benytter mindre vann. Det har mindre kjøleende effekt, men absorberer mer energi. Grunnen til det er fordi det er små dyser som skyter ut vann med høytrykk. Watermist har også den egenskapen at det kan binde opp røygasser. Utover dette finnes det skumslukkesystem som heter CAFS (Compressed Air Foaming System). Dette systemet består av komprimert luft og vann og danner skum. CAFS har god kvelende effekt og klarer godt å slukke flammer. Slukkegasser vil ved en batteribrann kun ha kjøleende effekt før en eventuell thermal runaway. Det vil si at det kun har en forebyggende effekt (DSB, 2021).

## 2.8.7 Presentasjon av hendelsen på MS Brim



Figur 22 MS Brim (Martime Partner, 2019)

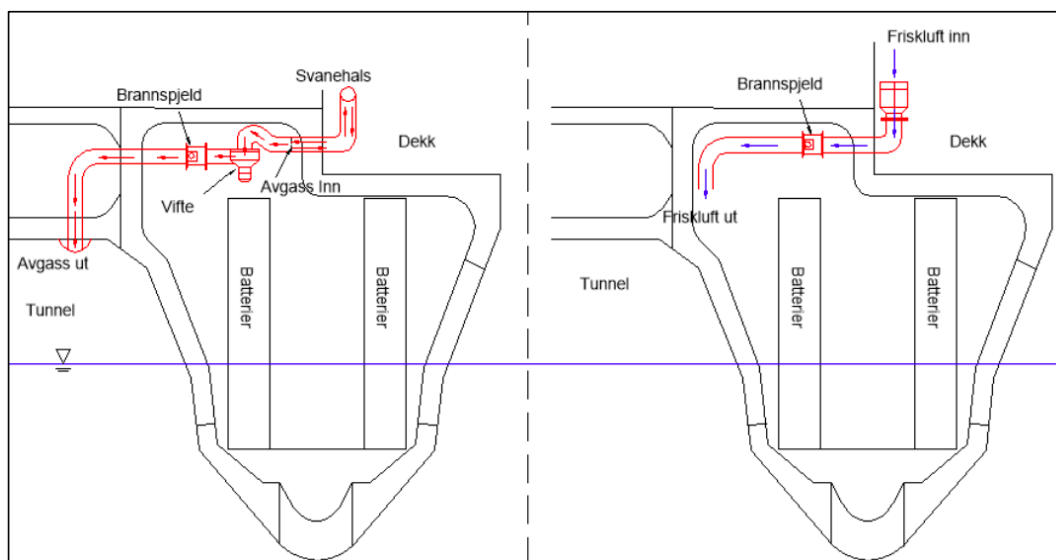
MS Brim er en katamaran som er eid av det norske selskapet Brim Explorer. Det er en katamaran beregnet for sightseeing turer. Fartøyet har passasjerkapasitet til 146 passasjerer og har en sikkerhetsbemanning på 4 personer. MS Brim regnes per definisjon ikke som en hurtigbåt da maksfarten ikke overstiger 20 knop. Det er et diesel-elektrisk fartøy, men ved normal drift dekker man energibehovet ved kun bruk av batteri.

MS Brim har katamaranskrog der begge sider er identiske med hverandre. Fartøyets to skrog er inndelt i soner med skiller i brann klasse A-60, som betyr at skott og dekk er bygget av stål, og er isolert med godkjente ikke-brennbare materialer. Der klasse A-60 benyttes skal ikke gjennomsnittstemperaturen overstige 140°C over opprinnelig temperatur, og slik at temperaturen på noe som helst ikke vil stige mer enn 180°C over den opprinnelige temperaturen innenfor 60 minutter, ved A-30 gjelder dette innen 30 minutter (DSB, Vestfold Interkommunale Brannvesen IKS, 2021).

På ettermiddagen 11. mars 2017 var MS Brim på tur ut i Oslofjorden. 15:27 koblet alle batterimodulene seg ut og det ble sendt alarm til EMS-panelet (Energy Management System) på broa. Man trodde først det var en jordfeil som forårsaket dette, grunnet tidligere hendelser. Maskinisten tok turen ned i maskinrommet for å sjekke BMS-panelet. På BMS-panelet ble det observert at en modul i batteristreng 6 var overopphetet. Kort tid etter gikk brannalarmen om bord. Det ble observert røykutvikling i styrbord maskinrom. Brannslukkingsmiddelet Novec

ble utløst i både maskin og batterirom og bidro til å dempe røykutviklingen. Det ble ikke observert synlige flammer, kun røyk. Hovedredningsentralen fikk varsel om brann i motorrommet på MS Brim 11. mars klokken 15:41. Redningsskøyta RS 172 Ragnar Stoud Platou ankom 16:13, og satte i gang med kjøling av skroget ved hjelp av vannkanon. Alle fra mannskapet var evakuert 16:38. Fartøyet ble slept inn til kai på Jarlsø utenfor Tønsberg hvor brannmannskaper fra Vestfold Interkommunale Brannvesen stod klare. Brannslukking og kontroll av fartøyet pågikk i flere dager (Brann om bord MS Brim i Ytre Oslofjord SHT, juli 2022).

Etterforskningen påviste at brannen startet i batteristreng 6. Sjøvann trengte med stor sannsynlighet inn gjennom ventilasjonsuttaket i tunnelen, og ble via ventilasjonsviften ført ned på batteriene. Dette førte til kortslutninger og lysbuer med påfølgende brann.



Figur 23 Ventilasjonsarrangement i batterirom (SHK, 2022)

I rapporten kom det frem at plasseringen i tunnelen var ugunstig, og det manglet tiltak for å forhindre vanninntrenging. Plassering i tunnelen var ikke identifisert som en fare med tanke på vanninntrenging. Hverken verftet, DNV eller SDIR identifiserte dette som et problem. Fribordsplanen hadde mangler knyttet til fyllingspunkter fra ventilasjonssystemet til batterirommet. Dette gjorde at SDIR ikke var klar over ventilasjonsutløpets plassering. Videre undersøkelser avdekket også at batterisystemet ikke hadde tilstrekkelig beskyttelse mot vanninntrenging. Lav beskyttelsesgrad bidro til at saltholdig væske kunne trenge inn i batterimoduler. Løsningen var godkjent, men Havarikommisjonen mener at regelverket ikke er godt nok, med tanke på IP-sikring (beskyttelses) av batterisystemet. Brannskillet i maskinrommet hindret heller ikke røykspredning mellom maskin- og batterirommet. Dermed

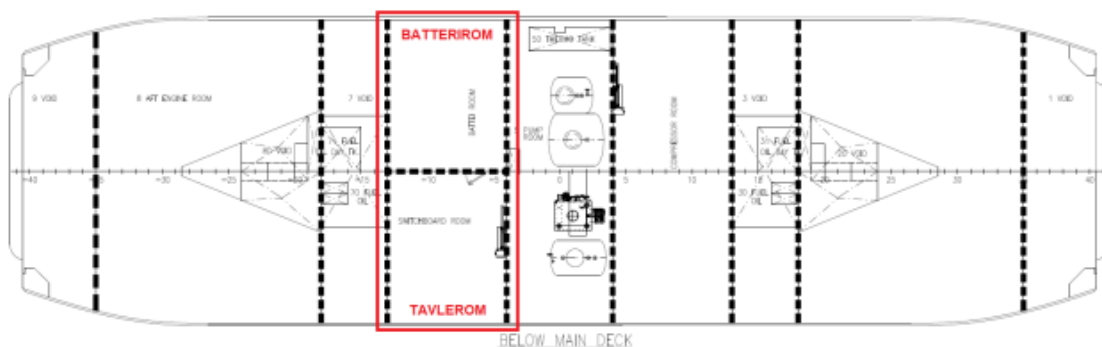
var begge rommene røykfylt når mannskapet kom ned. Det var derfor usikkert hvor det faktisk var brann. Derfor ble ikke Novec utløst før det var gått 7 minutter. Skal brannslukkemiddel ha en effekt må det utløses momentant for å ha en effekt (SHT, 2022).

#### 2.8.8 Presentasjon av hendelsen på MF Ytterøyningen



Figur 24 MF Ytterøyningen Foto:Jonn Karl Sætre/ Kvinnheringen, 2019

MF Ytterøyningen, er en hybrid ferge. Fergen ble bygget som en dieselferge ved Fiskerstrand verft i 2006 og ble om-bygget til hybrid i 2018. Fergen går i rute mellom Sydnes, Fjelberg, Borgundøy og Utbjoa. Dimensjonene på fergen er 50 meter og 14 meter bred. Det er rederiet Norled som eier og drifter fergen.



Figur 25 Rominndeling under hoveddekk på MF Ytterøyningen (Vest brann og redningsregion, 2019)

MF Ytterøyningen hadde installert Novec sitt gass-slukkesystem. Systemet var begrenset til batterirommet. Ellers var det installert sprinkleranlegg med vann som dekket batterirom og

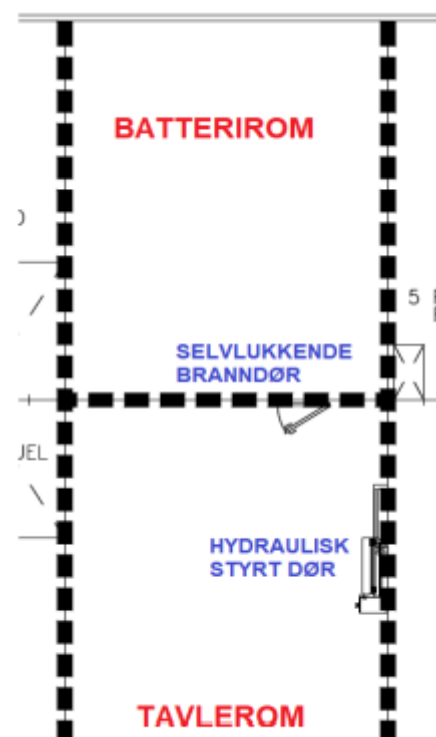
tavlerom. Sprinkleranlegget brukte sjøvann og måtte løses ut manuelt. Skumanlegget om bord dekket begge maskinrommene.

Om bord på MF Ytterøyningen var det valgt et cellemodulert system fra Corvus. Det vil si at om det oppstod en intern feil på en celle, skulle ikke denne feilen/varmen som produseres smittes til andre celler (Corvus, 2020).

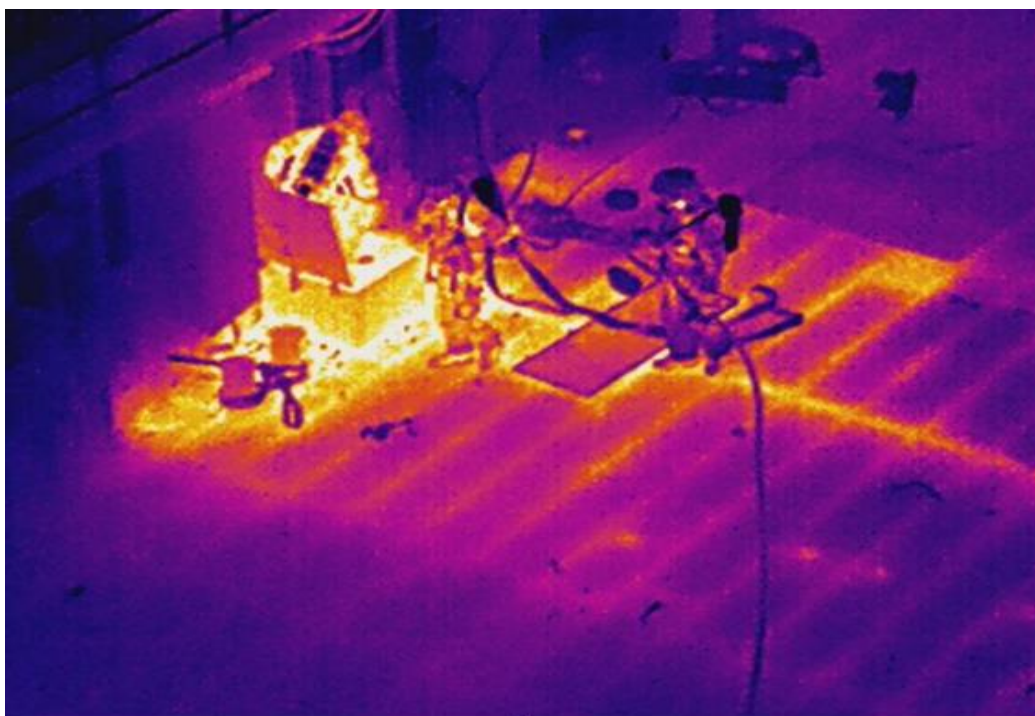
Torsdag 20.10.2019 kl. 18:42 fikk HRS melding om brann om bord på MF Ytterøyningen som lå ved Sydnes kai i Kvinnherad kommune. Fergen gikk på dette tidspunktet på diesel, batteriene var koblet fra og ikke i bruk. Mannskapet om bord på fergen prøvde å slukke brannen, men trakk seg etter hvert tilbake. Det manuelle sprinkleranlegget var blitt løst ut av mannskapet. Passasjerer og biler var blitt evakuert fra fergen.

Etter at brannvesenet hadde lagt et lag med CAFS (tørr skum) fra nødutgangen fra batterirommet ble det gjennomført flere målinger ved blant annet batteriluken. Et røykdykkerlag sjekket tilstøtende rom til batterirommet. Inn til batterirommet var det en selvluukkende branndør og inn til tavlerommet var det en hydraulisk styrt dør. Mannskapet om bord på MF Ytterøyningen trodde først at det var brann i kabelgater og lignende, og ikke brann i batteriet. Det manuelle sprinkleranlegget ble så løst ut. Klokken 20:54 meldte

innsatslederen at brannen var under kontroll etter at flere kontroller hadde vist nedgang i temperatur. Etter flere forsøk med slukking inn i tavlerommet, låste etter hvert den hydrauliske døren seg. Det ble foretatt kontroller ved tre punkter. Disse punktene bestod av batteriluken, dør til tavlerom og utvendig skrog. Fra og med 23:58 ble det utarbeidet en plan for vakthold. Fredag 11.10.19 klokken 06:52 ble det meldt om en eksplosjon i fergen. Det var tydelige skader på fergen og dekket. 07:44 ble det sendt RITS-gruppe fra Bergen med båten MS Sjøbrand. Det ble blant annet rekvirert drone for å få et overblikk over situasjonen. Etter eksplosjonen befant det seg 21000 liter med diesel og 40-50 liter med glykol om bord.



Figur 26 Utsnitt av tegning av aktuelt dekk (Vest 'brann og redningsregion, 2019)



Figur 27 Varmeutvikling om bord å MF Ytterøyningen Utsnitt av tegning av aktuelt dekk (Vest brann og redningsregion, 2019)

Klokken 12:33 ble det gjort gassmåling etter at røykdykker hadde sjekket luken til batterirommet. Gassmålingene viste at det ikke var oppstått fluss-syre. Dette ble derimot endret 13:36 da det ble målt fluss-syre ved batteriluken. Utover dagen gjorde kjemikaliedykkere flere målinger. 14:07 skjedde det et nytt dykk. Denne gangen målte kjemikaliedykkerne en temperatur på 70 grader i batterirommet. Konsentrasjonen av fluss-syre ble målt til 10 ppm. Rundt 16:33 ble det klargjort at rederiet skulle ta ansvar for blant annet videre vakthold og ansvar. Dagen etter klokken 17:00 sa brannvesenet fra Kvinnherad brann og redning seg ferdig med aksjonen (DSB, 2019).

Som konklusjon av denne hendelsen ble det i rapporten til Corvus påpekt en lekkasje i kjølesystemet. Det lekket glykol ut fra kjølevæsken, dette resulterte i en kortslutning i batteriene. Videre ble sprinkleranlegget utløst av besetningen. Dette kan ha forårsaket en kortslutning i batteriene på grunn av bruken av sjøvann. Brannvesenet konkluderte med at de ikke var forberedt på hendelser som dette. Det ble derfor gjort en forsiktig tilnærming til brannen. Generelt eksisterte det lite forskning på slike hendelser og gassene som ble frigitt.

Det finnes lite forskning på avgassene fra brann i litium-ion batteri. Men det er kjent at gassene kan utvikle fluss-syre og at batteriene kan være strømførende og dermed farlige etter en brann. ESS systemet burde til enhver tid være tilkoblet skipets batterisystem. Det er tross alt dette som kan varsle om eventuelle temperaturstigninger (Corvus, 2020).

## 2.9 Fartøy

### 2.9.1 MS Medstraum

MS Medstraum er verdens første hel-elektriske batterihurtigbåt og ble satt i drift i ruten Stavanger – Hommersåk i batteri. Den ble bygget av Fjellstrand, og er et prosjekt støttet av EU H2020, der blant annet kostnader knyttet til



Figur 28 MS Medstraum, Fjellstrand (2022)

forskning-og utvikling er dekket. Hun seiler hel-elektrisk i 23 knop og lader batteripakken på 1524 kWh ved Fiskepirterminalen i Stavanger.

Under sees Fire control plan til MS Medstraum. En fire control plan forteller oss om ulike brannalarmsystemer, sprinklerinstallasjon, slukkeapparater, rømningsveier, og ventilasjonssystem inkludert detaljer om fjernbetjening av brannspjeld og vifter.

FIREFIGHTING EQUIPMENT		QUANTITY
	BRANN ISOLERINGS-VENTIL FIRE MAIN SECTION VALVE	2 STK 2 pcs
	INTERNASJONAL LANDTILKOBLING BRANNSYSTEM INTERNATIONAL SHORE CONNECTION FLANGE	1 STK 1 PC
	BRANNPUMPE 25 m <sup>3</sup> /h . 4 bar FIREPUMP, 25 m <sup>3</sup> /h 4 bar	2 STK 2 pcs
	BRANNHYDRANT FIRE HYDRANT	4 STK 4 PCS
	BRANNSLANGE MED KOMBI RØR HOSE BOX WITH SPRAY/JET FIRE NOZZLE	4 STK 4 PCS
	HÅNDSLUKKER, SKUM 9L FIRE EXTINGUISHER FOAM 9L	2 STK 2 PCS
	HÅNDSLUKKER, CO2, 6 KG FIRE EXTINGUISHER CO2, 6 kg	3 STK. 3 PCS
	HÅNDSLUKKER, PULVER, 12 KG FIRE EXTINGUISHER POWDER, 12 kg	2 STK. 2 PCS
	FLASKEBATTERI NOVEC NOVEC BATTERY	1 STK 1 PCS

### ALARMER OG DETEKTORER

ALARMS AND DETECTORS		QUANTITY
	BRANNALARM SENTRAL FIRE ALARM PANEL	1 STK 1 PC
	MANUELL BANNMELDER MANUAL FIRE ALARM CALL POINT	8 STK 8 PCS
	GENERELL ALARM BRYTER GENERAL ALARM PUSHBUTTON	1 STK 1 PC
	BRANNPLAN FIREPLAN	5 STK 5 PCS
	RØYK DETEKTOR SMOKE DETECTOR	16 STK. 16 PCS
	RØYK, VARME DETEKTOR SMOKE & HEAT DETECTOR	2 STK. 2 PCS
	BRANNALARM TYPHON FIRE ALARM TYPHON	1 STK. 1 PCS
	FA- ALARM SIRENE MED BLINK LAMPE FA-ALARM SIREN WITH FLASH	2 STK. 2 PCS
	FA-ALARM-ALARM SOUND ON PA SPEAKERS A&B LOOP ( CONTINUOUS ACC.TO IMO A830 ) FA ALARM TO FIRE ALARM PANEL ON BRIDGE. IF ALARM IN UNATTENDED FOR 2 MIN. FA ALARM SOUNDS THROUGHOUT CREW AN SERVICE SPACES , (SOLAS), ON PA AND A&B SPEAKER LOOPS.	

Figur 29 Utklipp Fire Control Plan MS Medstraum

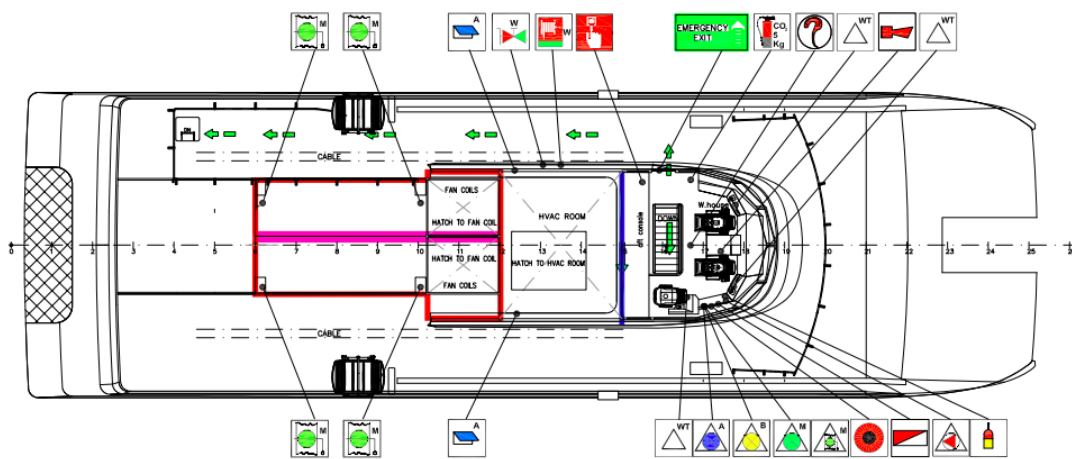
### BRANNSKILLER

FIRE DIVISIONS		QUANTITY
	BRANNSKILLE TYPE A60 FIRE DIVISION TYPE A60	
	BRANNSKILLE TYPE HSC60 FIRE DIVISION TYPE HSC60	
	BRANNSKILLE TYPE HSC30 FIRE DIVISION TYPE HSC30	
	VANNETT A KLASSE BRANNDØR WT A CLASS FIRE DOOR	2 stk 2 PCS
	BRANNDØR A KLASSE FIRE DOOR A CLASS	5 stk 5 PCS
	MANUELL STENGESPJELD AV VENTILASJONSÅPNING MANUAL CLOSING APPLIANCE FOR VENT-accommodation	2 stk 2 PCS
	BRANNSPJELD FOR VENTILASJON, BATTERIROM FIRE DAMPER FOR VENTILATION OF BATTERY ROOM	4 stk 4 PCS

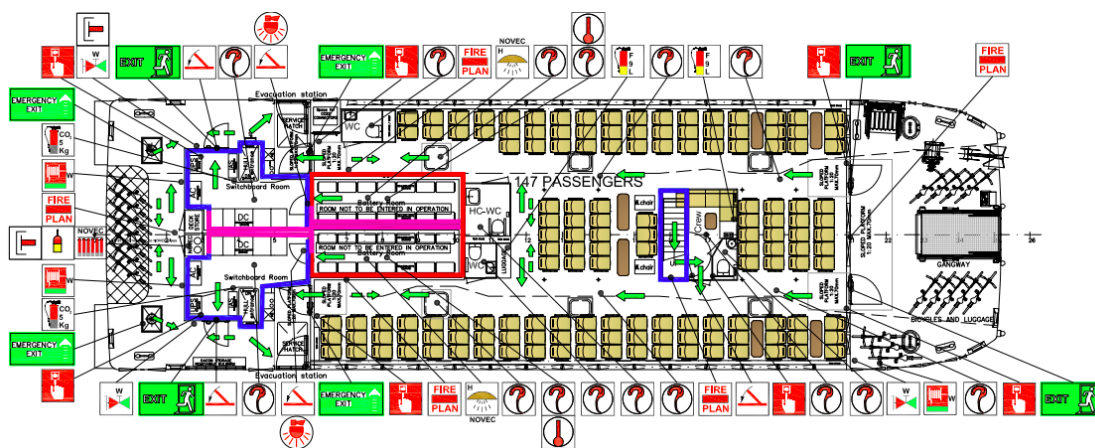
### FJERNKONTROLL STASJONER

REMOTE CONTROL STATIONS		QUANTITY
	NØDSTOPP AV VENTILASJONSVIFTER FOR INNREDNING EMERGENCY STOP OF VENTILATOR FANS FOR ACCOMODATION	1 STK 1 PCS
	NØDSTOPP AV VENTILASJONSVIFTER FOR BATTERIROM EMERGENCY STOP OF VENTILATOR FANS FOR BATTERY ROOMS	1 STK 1 PCS
	NØDSTOPP AV VENTILASJONSVIFTER FOR PROPULSIONROM EMERGENCY STOP OF VENTILATOR FANS FOR PROPULSION ROOMS	1 STK 1 PCS
	FJERNKONTROLL AV BRANN PUMPE REMOTE CONTROL OF FIRE PUMP	1 STK 1 PCS
	FJERNKONTROLL AV BRANNSPJELD I BATTERIROM REMOTE CONTROL OF FIRE DAMPER, BATTERY ROOM	2 STK 2 PCS
	FJERNSTART AV LENSEPUMPER REMOTE CONTROL FOR BILGE PUMPS	5 STK 5 PC
	UTLØSERSTASJON FOR BRANNSLUKKESYSTEM FIRE RELEASE STATION FOR EXTINGUISH SYSTEM	2 STK 2 PCS

En fire control plan viser oversikt over utrustning for håndtering av en brann. På figur 29 vises spesifikk utrustning for en elektrisk hurtigbåt, på figur 30, 31 og 32 vises plasseringene til utrustningene på hurtigbåten. Grunnutrustningen vil være lik, men plassering og antall kan variere med båtens arrangement og størrelse.

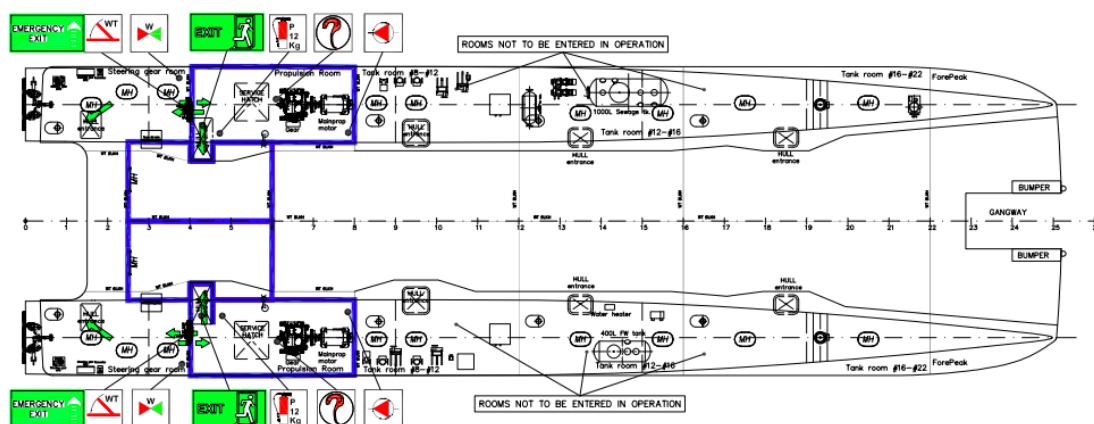


Figur 30 Fire control plan, MS Medtraum (Fjellstrand, 2022)



Figur 31 Fire control plan, MS Medtraum (Fjellstrand, 2022)





Figur 32 Fire control plan, MS Medstrøm (Fjellstrand, 2023)

De ulike dekkene er også delt opp i forskjellige brannskiller. Brannskiller med blå farge er av material HSC30. Selve maskinrommet, trappegang opp til broa og skillet til broa er i kledd med HSC30. Batterirommet og vifte/konverterrommet er i kledd med HSC60 materiale som er illustrert med rød farge. Lilla farge er av materiale A60. A60 er brukt ved skillene mellom batterirommene, tavlerommene og vifte/konverterrommene.

### 2.9.2 MF Festøya

MF Festøya er bygget i 2020 ved Remontowa i Gdansk. Det er en hybrid-ferge som trafikkerer sambandet Festøya-Solavågen. Den har en batterikapasitet på 1582 kWh. (Corvus, u.å.).



Figur 33 MF Festøya (Foto: Eget)



Figur 34 Batterisystem om bord på MF Festøya (Foto: Eget)

Batteriene på MF Festøya er tilkoblet et lukket ventilasjonssystem for ventilering av giftige gasser. Ventilasjonssystemet skal blåse kald luft inn under batteriene når de blir for varme. Ved en thermal runaway kan en modul bli eksponert for veldig mye varme. Det kan også oppstå en eksplosjon ved ekstern oppvarming. Her kan brennbare og giftig gasser bli utblåst. Utblåsing vil kunne vare i 30 sekunder hvorav 5-8 sekunder vil være den høyintensive fasen, der gassen kan oppnå en temperatur på 450 °C. En slik batterimodul vil kunne frigi 122 liter med gass (Prosedyre Norled, 16.02.2023).

Figur 35 viser en oversikt over alle elektriske og maskintekniske systemer. Ladestatus til batteriene kan også overvåkes her. På skipets skipskontor finnes det samme oppsettet av skjermer og overvåkning.



Figur 35 Oversikt over systemer (Foto: Eget)



Figur 36 Tavlerom om bord på MF Festøya (Foto: Eget).

Figur 36 over viser et typisk tavlefelt i et tavlerom. Rommet er adskilt med en brann og en vanntett dør. Batteriene kan bli koblet ut manuelt, ved en feil eller en gitt hendelse som krever det. Særlig når en batterimodul begynner å varme seg opp, kan maskinsjefen koble ut hele batteripakken fra tavlerommet.



Figur 37 Ventilasjonssystem om bord på MF Festøya (Foto: Eget)

Ventilasjonssystemet er et lukket system som kan ventilere ut gasser direkte. Gasskonsentrasjonen i systemet vil alltid være over UEL. Dermed er det ikke tilknyttet eksplosjonsfare om bord og batterirommet vil være en gassfri sone. Når det oppstår oppvarming og trykket øker slik at gassen kommer ut av batteriene, vil ventilasjonssystemet lede gassene til overflaten og ut i friluft. Muligheten for brann innad i batterirommet er begrenset ettersom batteripakkene er oppbygd med skiller som vil hindre at temperaturstigning i en modul sprer seg til en annen (Prosedyre Norled, 16.02.2023).

### 2.9.3 MF Tidefjord

MF Tidefjord ble bygget i 2008 ved Fiskerstrand Verft. I 2019 ble hun ombygd til hybrid drift, og trafikkerer nå sambandet Festøya – Solavågen. Den har en batteripakke på 1808 kWh. (Corvus, u.å.).



Figur 38 MF Tidefjord (Foto: Eget)

Gruppen gjennomførte skipsbesøk på MF Tidefjord 16. februar 2023. På fartøyet fikk vi omvisning på hele skipet, og fikk sett batterirom og systemene om bord. MF Tidefjord er

bygget som en konvensjonell dieselferge. Fartøyet er ikke bygget med tanke på energioptimalisering så man har installert en større batteripakke enn på MF Festøya som var et nybygg på denne ruten. Corvus anbefaler at man holder kapasiteten på batteriet mellom 35% og 70%. Dette viste seg å ikke være mulig da energibehovet ikke er tilstrekkelig ved kun 70% opplading. Man kunne dermed supplere med diesel eller øke ladingen til 80%. Man valgte å øke ladingen til 80% da dette var mest miljøvennlig, men vil føre til at batteriets "state of health" reduseres raskere. Man valgte å plassere batterirommet i en void, altså et tomt rom som tidligere stod avlukket. På ferger har man som kjent nesten ikke begrensinger på plass og det var derfor ikke noe problem å lage til et batterirom. Man har også beholdt generatorene slik at fartøyet kan driftes selv om man ikke får ladet.



Figur 39 Batteripakke om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget)

Figur 39 viser batteripakken om bord på MF Tidefjord. Det finnes 2 stk. totalt. Batterirommene er tilkoblet til to separate ventilasjonssystemer. Et av ventilasjonssystemene er direkte tilkoblet til batteriene for å lede ut giftige gasser fra batteriene. Det andre systemet som er levert av Aeron, er installert i batterirommet for å ventilere ut giftige gasser, og minke risikoen for samling av gass i batterirommet. Ved temperaturstigning over 60 grader utløses det en alarm. Ved 65 grader stoppes ladestrøm. Fortsetter temperaturen ytterligere kobles batteripakken fra.

Maskinsjefen kan også koble ut gjeldene batteripakke på ESS-modul i tavlerom (Prosedyre MF Tidefjord, 2023).



*Figur 40 Tank for ferskvann om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget)*

Figur 40 viser tank for ferskvann på MF Tidefjord. På MF Tidefjord finnes det to tanker som inneholder ferskvann. En til generell bruk og en til watermist. I nødstilfelle kan vann tappes fra begge tankene samtidig. Watermist tanken rommer 12m<sup>3</sup> og det er nok for å kjøre anlegget i to timer. Pumpene er plassert i tavlerommet. Det er totalt to pumper som er plassert parallelt fra hverandre.



Figur 41 Brannpumpe om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget)

Figur 41 viser panel for styring av brannpumper. Brannpumpene styrer tilførsel av slukkemiddel til ulike soner på dekk. Det er primært skum som brukes. Her vises også oversikt over skumsoner på dekk, dette benyttes i tilfelle det oppstår brann i et kjøretøylene om bord.



Figur 42 Vann og branntett dør om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget)

Figur 42 viser vann og branntett dør inn til tavlerom på MF Tidefjord.



Figur 43 Ventilasjonsrør om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget)

Figur 43 viser ventilasjonsrør der giftige gasser blir ventilert ut fra batterirommet.



Figur 44 Oversikt over systemer om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget)

Figur 44 viser oversikt på broa over batteriene. Her kan alt fra ladestatus til temperatur overvåkes.



#### 2.9.4 MS Fjordled

MS Fjordled ble bygget i 2018 hos GS Marine på Gursken. Den var ved levering verdens første hybride hurtigbåt (Kolumbus, 2019). Elektrisk fremdrift ble kun brukt i lav fart, og ved land. Rogaland Fylkeskommune fikk i 2020 innvilget støtte om 20 millioner for ombygging til fullelektrisk drift (Miljødirektoratet, 2020). Vi gjennomførte en befarings på



Figur 45 MS Fjordled (Norled, 2023)

fartøyet under ombyggingen til hel-elektrisk drift for å se hvilke løsninger som er valgt.

Gruppen gjennomførte feltarbeid om bord på MS Fjordled i april 2023. Dieselmotorene var tatt ut og skulle erstattes med batteripakker. Hurtigbåten vil ved ferdigstilling operere ruten Haugesund – Røver – Feøy fullelektrisk sammen med søsterskipet MS Fjordøy. Under besøket i april 2023 gjenstod det fortsatt noe arbeid, og batteriene var heller ikke installert. Dieseltankene var tatt ut og rommene var bygd om til batterirom. Det var bygget to batterirom, ett i hvert skrog. Dette for å få plass til ønsket batterikapasitet, men også for å utlikne vekt.



Figur 46 Slukkesystem om bord på MS Fjordled (Foto: Eget)

Figur 46 viser CO<sub>2</sub> slukkesystem om bord på MS Fjordled. Det finnes heller ikke Novec-system om bord for slukking. Novec-systemet var erstattet med CO<sub>2</sub>.

Batteriene som blir installert er av typen Corvus Dolphin. Batteriene er veldig lette og dette skyldes at hurtigbåten er vektkritisk.



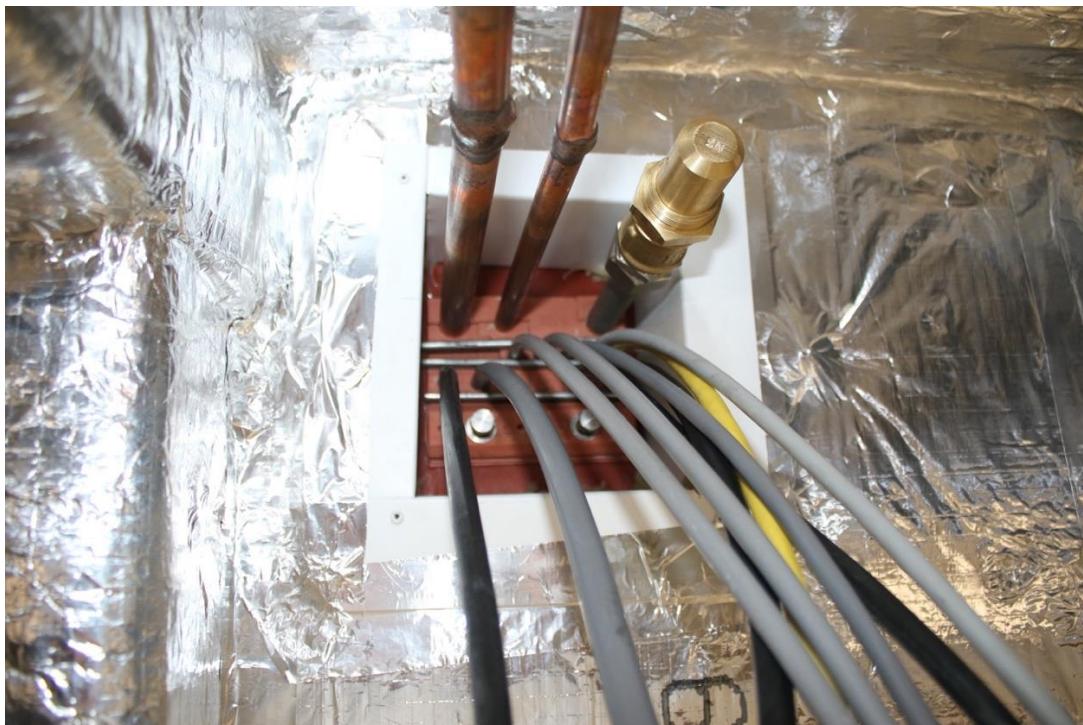
Figur 47 Ventilasjonssystem om bord på MS Fjordled (Foto: Eget)

Ventilasjonen i batterirommene består av ventilasjonsvifter som ventilerer ut luften til fri luft. Det finnes ikke et eget internt ventilasjonssystem for batteriene. Om de eksploderer, vil avgasser komme inn i batterirommet. Batterirommet er plassert over vannlinjen. Grunnen til det er at ikke sjøvann skal kunne trenge inn i batterirommet ved en grunnstøting. Inn og utluftingsventilene er plassert høyt oppe i rommet og føres i le fra passasjerområdene.



Figur 48 Ventilasjonsinnløp på MS Fjordled (Foto: Eget)

Figur 48 viser ventilasjonsinnløp til batteriene. Her kan giftige gasser bli ventilert ut.



Figur 49 Brannvern om bord på MS Fjordled (Foto: Eget)

Figur 49 viser kabling ut fra batterirommet. Gummien beskytter kablingen mot brannspredning.

Med tanke på spredning er alle luker og åpninger for kabling og lignende, beskyttet med en slags gummimembran.



Figur 50 Babord Batterirom om bord på MS Fjordled (Foto: Eget)

Figur 50 viser batterirommet på babord side. A-60 materialer er benyttet på veggene. Ventilasjonsviftene i taket. For å hindre brannspredning til andre rom var det blitt installert A-30 materialer på dørken til broa ned til passasjerdekket, samt batterirommet var kledd i A-60 materialet på alle sider.



Figur 51 Utlufting babord side om bord på MS Fjordled (Foto: Eget)

Figur 51 viser utlufting på babord side. Her blir giftige gasser fra batteriet ventilert ut.

## 2.10 Risikovurdering

## 2.11 Introduksjon

Det europeiske sjøsikkerhetsbyrå, forkortet til EMSA har utgitt rapporten «Study electrical energy storage for ships». Det er en teknisk studie om bruken av batteri som energilagring om bord på skip. Rapporten inneholder en risikoanalyse for benyttelse av maritime batterier og tiltak for å begrense sannsynligheten for en thermal runaway. Vi vil i dette kapittelet presentere risikoanalysen i rapporten, og fremgangsmåten som er brukt for å lage denne.

## 2.12 Sikkerhetsanalyse

Det ble utført en risikoanalyse som ble basert på «Hazard identification» (HAZID-metodikken). Denne delen oppsummerer en detaljert risikoanalyse som ble foretatt for et tenkt batterisystem om bord på et fartøy, referert til som et basistilfelle. Flere typer batterisystem-design har blitt vurdert i analysen, slik at den skal være representativ for flertallet av systemer som man sannsynligvis vil møte. Hver designvariasjon blir sett på separat og til bruk av sammenligning med basistilfellet (EMSA, 2019).

## 2.13 Formål med analysen

Målet med sikkerhetsanalysen var å kartlegge risikoer forbundet med batterisystemet når det gjelder ulike installasjonsarrangement og teknologier. Deres tilnærming har vært å evaluere hvordan tenkelige designvariasjoner i det maritime batterisystemet påvirker sikkerheten om bord på et fartøy.

Følgende evalueringer har blitt gjort:

1. Gi en risikooversikt over et konvensjonelt maritimt batterisystem som brukes med diesel-elektrisk fremdrift.
2. Gi en risikooversikt over et konvensjonelt maritimt batterisystem som brukes sammen med brenselcellefremdrift.
3. Vurder hvordan ulike designvariasjoner av det konvensjonelle maritime batterisystemet vil påvirke risikobildet.

De anser at kvaliteten på celleprodusentens prosess og batterisystemdesign er viktigere for sikkerheten enn typen litium-ion-cellekjemi som benyttes. På bakgrunn av dette har ikke cellekjemi variasjoner blitt vurdert i denne øvelsen.

Analysen består av årsaker, konsekvenser, preventive tiltak og reduserende tiltak for en gitt hendelse. De er rangert i to typer, konsekvens og sannsynlighet.

Risk ranking	Definition
High risk	<b>Unacceptable risk</b> Risk cannot be justified and must be reduced by additional measures
ALARP	<b>ALARP</b> Risk is to be reduced to a level as low as reasonably practicable
Low risk	<b>Broadly acceptable risk</b> Risk is negligible and no risk reduction required

Figur 52 Risikoanalyse (EMSA, 2019)

Figur 52 viser definisjoner på de ulike risikonivåene. Rødt er høy risiko og må bli redusert, gult er risiko som burde bli redusert til et lavere nivå, når det er praktisk mulig. Grønt har ubetydelig risiko og ingen reduksjon av risiko er nødvendig. Analysen er delt opp i sannsynlighet og konsekvens.

Hvert av de forskjellige risikoene har fått en konsekvens indikator og sannsynlighets indikator. Til sammen kan man på skjemaet nedenfor danne seg et bilde av risikoen til en gitt hendelse.

Base case battery system		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Consequence		Not expected	Very unlikely	Unlikely	Likely	Very likely
		$< 10^{-5}$	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^{-2} - 10^{-3}$	$10^{-1} - 10^{-2}$
1	No effect			3.1	2.7	
2	Minor effect		1.5	1.1, 2.5, 2.6, 3.2, 3.3, 3.4		
3	Moderate effect			1.2, 1.3, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5		
4	Major effect	2.8	2.1			
5	Hazardous effect	1.4				

Figur 53 Forklaring risikoer (EMSA, 2019)

Risikoene som blir presentert er:

- 1.1 Thermal runaway
- 1.2 Gas development
- 1.3 Lack of capacity
- 1.4 Thermal runaway propagating beyond a single module
- 1.5 Excessive heat generation in cabling, contact points outside module level
  
- 2.1 Mechanical impact
- 2.2 Battery fire
- 2.3 Fire in battery room (other sources than batteries)
- 2.4 Fire in space adjacent to BR
- 2.5 Water ingress in battery room
- 2.6 Failure of the room exhaust ventilation
- 2.7 Failure of room cooling system
- 2.8 Submersion in water
  
- 3.1 Unintentional trip of breaker
- 3.2 Converter failure

### 3.3 PMS and BMS failure

### 3.4 Failure in Emergency Shutdown system

*Risikoanalyse Electrical Energy Storage for Ships, EMSA European Maritime Safety Agency*

Det er kun punkt 1.4, «Thermal runaway propagating beyond a single module» som er oppgitt å ha en hazardous effect. Det er en hendelse som vil være svært alvorlig og kan føre til store skader. Dette er det tatt høyde for i designfasen, og det er gjennomført propageringstester som viser at en slik propagering ikke skal kunne forekomme. Sannsynligheten er dermed oppgitt til ikke forventet.

<b>Thermal runaway propagating beyond a single module (1.4)</b>	
<b>CAUSES</b>	<b>CONSEQUENCES</b>
<b>PREVENTIVE SAFEGUARDS</b> - Racks has been tested for fire in a module do not propagating to other modules in the rack	<b>MITIGATING SAFEGUARDS</b>
<b>Risk ranking:</b> 1-Not expected	5-Hazardous effect

Figur 54 Utsnitt fra risikoanalyse (EMSA, 2019)

Punkt 2.1 «Mechanical impact» og 2.8 «Submersion in water» er oppgitt å ha major effect. I «Mechanical impact» inngår årsaker som at batteriracken tipper over, kollisjon og feil ved montering. Punkt 2.8 «Submersion in water» omhandler feil ved slukkesystem, kollisjon og kantring. Sannsynligheten er oppgitt til henholdsvis lite sannsynlig og uforventet. Basert på vårt besøk på MS Fjordled synes risiko nivået å være i takt med våre erfaringer. Vi ser det som lite sannsynlig at batteriene ikke skal være festet ordentlig. På hurtigbåter er det også som regel gassbaserte slukkemidler slik at feil på slukkesystem anses som lav risiko. På vårt besøk på Fjordled så vi også at batteriene var plassert over vannlinjen, dette er med på å redusere risiko ved kollisjon/grunnstøting.

Punkt 1.2 «Gass Development» har liten sannsynlighet og moderat effekt. Det er en alvorlig hendelse, men med relativt liten sannsynlighet for å oppstå. Effekten vil i grunn være moderat, siden ventilasjonssystemer ventilerer ut gassen. Årsaker til gassutvikling er gjerne



intern/ekstern kortslutning og eller brann i batteriene. Eksplosjoner med gassutvikling vil være en av konsekvensene som vil kunne oppstå. I denne analysen følges det også opp med forebyggende og reduserende tiltak. Eksempler på tiltak er PMS/EMS og BMS, et uavhengig nødstoppsystem, redundant nedkjølingssystem og kontroll i form av sensorer på temperatur og spenning er tiltak som kan forebygge gass utvikling. For å redusere utgangen til slike hendelser, kan installasjon av gass-målere være relevant. Disse sørger for å detektere gass slik at grensen for LEL blir oppdaget. Systemet blir stengt ned når det blir detektert gass som er over LEL (EMSA, 2019).

### 3 Metode

I dette kapittelet beskrives fremgangsmåten som gruppen har benyttet til å besvare problemstillingen. Oppgaven tar for seg temaer innenfor hurtigbåt, og grunnleggende teori om batterier. Informasjon og datainnsamling er foretatt gjennom intervjuer, og rapporter som er utgitt. Formålet med oppgaven er å undersøke sikkerheten ved bruk av batterier på hurtigbåter. Vi vil i dette avsnittet presentere valg av metode, fremgangsmåten som er benyttet, kildebruk, feilkilder og analyse.

Datainnsamlingen har hatt som formål å styrke kunnskapen om temaet. Man hører ofte i nyhetene om elbiler, og andre elektriske artikler som inneholder batterier som tar fyr. Denne teknologien kan virke utrygg å innføre på hurtigbåter som går langt til havs i høye hastigheter. Derfor har vi vært avhengig av kvalitativ datainnsamling for å vite mest mulig om temaet. Den skriftlige datainnsamlingen har som formål å styrke forståelsen av hvordan batterier godkjent til maritimt bruk er designet. Det har også vært nyttig for å undersøke hva som har gått galt i tidligere hendelser. Til slutt har vi gjennomført intervjuer og feltarbeid for å danne oss en bedre forståelse av hvordan teknologien er utformet, og hvilke sikkerhetslementer som ligger bak.

Intervjuene har også gitt oss bedre innsikt i regelverket som aktørene følger, og vi har sett på hvordan batteriene utvikles og blitt forklart hvordan de testes med tanke på brannsikkerhet. Læringskurven har vært bratt, på kort tid har vi tilegnet oss kunnskap og innsikt om batterisikkerhet.

#### 3.1 Kvalitativ Metode

Valget av metode er gjort på bakgrunn av best egnet måte å innhente informasjon på. Kvalitativ metode lar oss gå i dybden og gir oss en viss fleksibilitet i oppgaven vår, som bruk av intervju. Dette har gitt oss direkte kontakt med feltet, som har gitt oss en bedre forståelse og en bedre måte til å besvare problemstillingen vår.

For å bruke kvalitativ metode på riktig måte så er det en rekke normer som må følges.

#### **-Resultatene skal være i overensstemmelse med virkeligheten**

I praksis betyr dette at resultatene kan vise seg å gå imot de antagelsene som undersøkelsen baserte seg på. Dette må da aksepteres. Da det er viktigere at sannheten kommer frem enn at vi har rett.

### **-Dataene skal være nøyaktig**

Dataene vi innhenter skal være mest mulig nøyaktig under innsamlingen. Resultatene skal være minst mulig avhengig av den som utfører undersøkelsen. Idealet er at en forsker skal kunne oppnå det samme resultatet ved å følge samme fremgangsmetode.

### **-Forskerens førforståelse skal klargjøres**

Vi har alltid våre fordommer, også kalt førforståelse inn med oss i undersøkelsen. Det betyr at vi allerede har gjort oss opp en mening om temaet før vi går i gang med undersøkelsen. Det er lett å la seg påvirke til å se bare det som bekrefter vår førforståelse. For å motvirke denne effekten bør man lete etter det som avkrefter våre forhåndsforklaringer.

### **-Resultatene skal være kontrollerbare**

Normen sier at presentasjonen av resultatene skal gjøres slik at den tillater kontroll, etterprøving og kritikk. Dette vil si at alt ved undersøkelsen som har betydning for hvordan andre vil vurdere den, skal være med.

### **-Forskningsvirksomheten bør være kumulativ**

Dette vil si at metoden bygger på eksisterende forskning. Eksisterende forskning, kan være tidligere studier eller rapporter. Gjerne kan problemstillingen man har valgt, bygge på eksisterende forskning (Magnus Gulbrandsen, Liv Langfeldt, 1997).

## 3.2 Valg av tema

Temaet som er valgt er dagsaktuelt med tanke på det grønne skiftet som er i gang. De offentlige myndighetene stiller ofte krav om hybride eller helelektriske fartøy. Batteriene som brukes er da ofte litium-ion batterier. Forskning rundt batteriene er i full gang, men per dags dato er det enda en del ting som ikke er helt klart. Hva som kan gjøres for å unngå en thermal runaway eller en ukontrollert propagering er enda ikke helt klart. Utfyllende opplæring rundt litium-ion batterier etableres av SDIR. Ulike rundskriv skal hjelpe med opplæring, men dette har så vidt startet, da batteri på hurtigbåter er et relativt nytt fenomen. Som fremtidige navigatører vil vi nok komme borti batteri en eller annen gang. Ingen ønsker å arbeide på et skip som ikke er å anse som trygt. Hurtigbåter trafikkerer lange strekninger til fjerne steder. Dersom uhellet først er ute, kan det derfor ta lang tid før hjelpen ankommer. Evakuering av en hurtigbåt i dårlig vær, langt til havs vil være svært risikofylt. Derfor er det i vår felles interesse å forsikre seg om at

dette er trygt. På forhånd anså vi at batterier om bord på fartøy var designet på samme måte som batteriene man fant i for eksempel en Tesla. Derfor antok man at sikkerheten var deretter, og at det var flere risikomomenter ved å ha dette om bord på et fartøy.

### 3.3 Kildebruk

I arbeidet med å innhente kilder har vi lagt stor vekt på skriv og rapporter fra anerkjente aktører. DNV har publisert flere rapporter og relevante dokumenter om batterier som har vært svært nyttige for å tilegne oss kunnskap. DNV setter klassekrav i forbindelse med bygging av fartøy, og utgir også rapporter om brannfare, opplæring og bruk. DNV er et anerkjent klaseselskap som et tusentalls skip er klasset innen. Rapportene er ofte utgitt i samarbeid med industrien og synes å være svært sikre kilder for vårt arbeid. Vi har også brukt EMSA sin rapport som er utgitt av Det europeiske sjøsikkerhetsbyrå som er et EU-byrå for sjøsikkerhet. Intervjuobjektene jobber hos batteriprodusent/ledelsesorgan og hos operatør av fartøy. Alle har relevant bakgrunns erfaring og har gitt oss gode svar på spørsmål vi har stilt om temaet.

### 3.4 Intervju

Intervjuene vi har gjennomført er kvalitative intervjuer. De ble gjennomført via plattformen Microsoft Teams. Oppfølgende dialog ble holdt via e-post. Intervjuobjektene ble introdusert gjennom vår intervjuguide. Vi søkte om å ha lydopptak og intervju hos Sikt, før vi holdt intervjuene, dette pga. personvernstiltak. Alle intervjuobjektene fikk også et samtykkeskjema som måtte utfylles enten før eller etter intervjuene. Med slike samtykkeskjema ble både intervjuobjektene klare for hva som vil møte dem og vi som gruppe, kunne forsikre oss om at det vi driver med ikke skrider mot personvernloven. Ved å søke om tillatelse, kunne vi gi oppgaven også et lite løft i form av at det ser mer profesjonelt ut. Hele oppgaven blir mer troverdig, og intervjuobjektene får en bedre og mer sikker plattform for å kunne komme med ulike utsagn om tematikker. Ved hjelp av samtykkeskjema visste også vi i gruppen hva vi fikk lov til i form av lagring av data/lydopptak eller lignende. Vi fikk imidlertid også rettighetene til å ta lydopptak, noe som hjalp ved transkriberingen. Det var ikke avtalt hvor lenge intervjuene skulle vare. Intervjuobjektene styrte hvor lenge dem ville holde på. Vi som gruppe hadde selvfølgelig forberedt en del spørsmål. Da vi tok kontakt med intervjuobjektene sendte vi de også en liten liste i forhold til hva vi skriver om, for at de også kunne forberede seg litt. Under

intervjuene ble det også stilt oppfølgingsspørsmål, noe som økte flyten i intervjuene, men som også bidro til økt forståelse av emnet for gruppens del.

### 3.5 Intervjuobjekter

Intervjuobjektene vi bruker i denne oppgaven innehar alle faglig kompetanse. De har ulike erfaringer rundt temaet vi skriver om. Da teorigrunnlaget ikke alltid dekker hele oppgaven, har vi valgt en kvalitativ undersøkelse. Intervjuobjektene har bakgrunn i SDIR, Corvus Energy og Norled. I planleggingsfasen så vi på hendelsene med MF Ytterøyningen og MS Brim. Norled, var operatør av MF Ytterøyningen, og var også først med helelektriske MF Ampere, og drifter også verdens første helelektriske hurtigbåt MS Medstraum. Vi antok derfor at de var en organisasjon med bred kunnskap om temaet, og hadde gjort seg opp nyttige erfaringer etter hendelsen med MF Ytterøyningen. Corvus Energy var produsent av batteriene om bord på MF Ytterøyningen og MS Brim, og det falt derfor naturlig å ta kontakt med dem for å høre deres synspunkt på hendelsene, hvordan de jobber for å øke sikkerheten, og for å få en bedre forståelse av batteriene. SDIR er øverste myndighet og har ansvar for sikkerhet for liv, helse, fartøy og miljø til sjøs. Organisasjonene ble kontaktet via e-post. Organisasjonen valgte selv hvilke fagpersoner som var best egnet til forespørselen vår og satte oss i kontakt med personene som fikk forespørselen. Alle tre intervjuene var gjennom plattformen Microsoft Teams.

- Intervjuperson 1 er representert ved Norled  
Intervjuperson 2 er representert ved Corvus Energy  
Intervjuperson 3 representert ved SDIR
- Mannskap på Tidefjord og Festøya gav oss omvisning og innsikt i batteriløsningene og tilhørende systemer.
- Skipsbesøk på MS Fjordled som ligger på verftopphold ved GS Marine.

### 3.6 Analyse

Analyse betyr nøyaktig undersøkelse av noe som er sammensatt av flere bestanddeler for å forklare et gitt problem eller en gitt utvikling (snl, 2020). Vi lagde en egen intervjuguide før intervjuene. Under intervjuene ble denne fremstilt for intervjuobjektene. Vi hadde forberedt en del spørsmål før intervjuene og deltakeren fikk også noen punkt om hva vi skulle spørre om i

en e-post. Med dette var vi sikker på at intervjuobjektene var klare for å kunne svare på spørsmål vi skulle stille.

Intervjuene var nyttige i den grad, at vi fikk meninger fra ulike aktører og ikke bare en teoretisk mening, basert på artikler og rapporter. Intervjuene vil bli brukt i resultatet og videre bli stilt opp mot teoridelen i drøftedelen. I drøftingen vil akkurat intervjuene kunne belyse styrker og svakheter med gitt teori. Dette vil bygge opp diskusjon rundt vår problemstilling og hjelpe oss med å trekke slutninger om oppgaven vår.

### 3.6.1 Transkribering av intervju

Under intervjuene som ble foretatt via Teams benyttet vi lydopptak som støtte til transkribering av intervjuet. Dette ble gjort for å forsikre seg om at informasjonen som intervjuobjektene ga ble korrekt transkribert, og for å minimere risikoen for feilkilder. Intervjuobjektene ble informert før intervjuet startet at vi ville gjennomføre lydopptak slik at de var innforstått med dette. Etter at intervjuet var gjennomført transkriberte gruppen intervjuet skriftlig og slettet deretter lydopptaket.

### 3.6.2 Oppfølging

Etter intervjuene har vi benyttet e-post korrespondanse for oppfølgingsspørsmål, og andre ting som har dukket opp undervegs. Denne formen for kommunikasjon var noe begge parter følte fungerte bra. Det gjorde at intervjuobjektene kunne svare når de hadde ledig tid.

### 3.6.3 Analyse av skipsbesøk/feltarbeid

Ved skipsbesøket ble det tatt bilder og notater underveis. Vi forsikret oss om at vi kunne bruke bildene ved å kontakte Norled i ettertid. Notater fra skipsbesøket har blitt brukt i teoridel og drøfting. Bildene ble forklart i teoridel, der hvert bilde fikk en forklaring.

#### 3.6.4 Analyse av intervju

Under intervjuene ble det stilt spørsmål rundt tematikken vi skrev om. Intervjuobjektene kunne snakke fritt og det var i stor grad de som styrte lengden av intervjuene. Vi som gruppe tok lydopptak for å kunne transkribere informasjonen vi innhentet etterpå. Dette hjalp oss, fordi vi på den måten ikke gikk glipp av god og rik informasjon.

#### 3.7 Litteraturstudier

Batterisikkerhet er et tema som er under forandring hele tiden. Derfor var det viktig å bruke aktuell litteratur. Vi brukte relevante artikler fra godkjente aktører som SDIR, DSB, EMSA og DNV. For det meste har vår litteratur opphav i rapporter. Vi har prøvd å finne fram til den litteraturen som er mest aktuell.

#### 3.8 Feilkilder

I alle forskningsprosesser er det viktig å eliminere feil og feilkilder. Dette kan være en svært møysommelig prosess. Vi vil her presentere arbeidet rundt mulige feilkilder i denne oppgaven.

##### 3.8.1 Feilkilder ved intervju

Den type feil som er mest uheldig for forskning, er systematiske skjevheter (bias) i ulike deler av forskningsprosessen. Der tilfeldige feil ikke går i noen bestemt retning, vil systematiske feil kunne påvirke forskningen. Slik at resultatet blir misvisende (Svartdal, 2019). En av feilkildene ved intervjuene kan være at personene ikke er objektive knyttet til temaet ettersom en negativ holdning til temaet kan være skadelidende på arbeidet som arbeidsgiveren deres utfører. Vi har derfor stilt flere spørsmål rundt temaet som er valgt, vi har også sammenlignet svarene vi har fått fra begge intervjuobjektene, samt dokumentasjon som DNV og SDIR har utgitt. På bakgrunn av dette mener vi at svarene vi har fått gjennom intervjuene er korrekte og begrunnet. Alle intervjuobjektene gav oss innsikt og god forståelse knyttet til temaet batterisikkerhet. Vi er derfor klar over at det alltid kan være en mulig feilkilde i et intervju, men velger å behandle informasjonen som pålitelig.

## 4 Resultat

I resultatdelen vil resultatene fra intervjuene og skipsbesøk bli presentert. Ved hjelp av tekst skal vi prøve å illustrere dataene vi har funnet ut fra intervjuene og skipsbesøkene.

### 4.1 Intervju Norled:

Vi gjennomførte intervjuet med Norled 16. januar 2023, det ble foretatt digitalt via Microsoft Teams. Hele intervjuet vil ikke bli publisert her, men en god sammenfatning av det som kom frem.

Spørsmål som ble stilt innledningsvis var hvilke erfaringer Norled har hatt etter brannen på MF Ytterøyningen. Intervjuobjektet henviste til rapporten «evalueringsrapport i brann i MF Ytterøyningen». Både brannvesenet og Norled lærte mye fra denne hendelsen.

Vi spurte deretter om hvilke utfordringer det er med tanke på vekt. Problemet med vekt om bord på hurtigbåter blir løst ved å benytte den nye batteribytte teknologien. Litium-ion batteriene som skal benyttes er pr i dag de som har høyest energitetthet, og dermed også de letteste man kan få tak i. Batteriskifte teknologien baserer seg på å bytte ut hele moduler som blir plassert på dekk. Det vil dermed ikke være krav til batterirom. Det blir mindre vekter og isolasjon/brannsikring kan spares på, så lenge batteriene er maritimt godkjente og ikke begynner å propagere ved en brann/intern feil, skal en hendelse stoppe av seg selv. Ved en ekstern brann vil det være noe helt annet enn ved en intern brann med tanke på propagering.

Det nevnes at både MF Ytterøyningen og MS Brim hendelsene kategoriseres som eksterne branner. Batterileverandører snakker ofte om interne feil, med dette menes det at hendelsen skyldes en cellefeil. Videre ble det forklart at brannene på MF Ytterøyningen og MS Brim ble kategorisert som eksterne hendelser. Brannen skyldes noe eksternt, altså noe på utsiden av modulen som begynte å brenne. Feilene som skjedde hadde ikke skjedd om det ikke var batterier der, likevel ble begge hendelsene kategorisert som en ekstern brann. Slukkesystem i batterirommet er installert der for å slukke eksterne branner, ikke en eventuell batteribrann. Når det gjelder batteriskifteteknologien blir batteriene plassert på dekk. Der er det ikke noe eksternt som kan brenne. Interne feil blir ivaretatt med celle/modul-modulering. Det vil bli installert skum på dekket, får å kunne kjøle ned en eventuell brann. Isolasjon ned til andre dekk nevnes også å være høyst relevant, i form av at en brann ikke kan forplante seg lengre ned i strukturen.



På Norled sine båter brukes primært Novec som slukkemiddel på hurtigbåter. Vi spurte også om utfordringer med vann i batterirom med tanke på vektbegrensning, dette vil drukne batteriene og er ikke en bra løsning. Med tanke på oppbygging av ferge og hurtigbåter, fikk vi til svar at kravene er relativt like for begge fartøystypene. På hurtigbåter må det tas mer hensyn til plass, der det på fergerne er nærmest ingen begrensninger. Den praktiske utførelsen vil være forskjellig. Isolasjonskrav er til stede der batteriene er plassert under dekk, men for strekningene der batteriskifte teknologien benyttes, er det ikke samme krav til isolasjon.

Regelverk er det neste vi spør om. Ikke alle hurtigbåter er klasset. På noen av hurtigbåtene benyttes regelverket til SDIR. Der SDIR ikke har egne regler, benytter de klasseselskapenes regler. Om det er fordeler med å plassere batterirommene oppe på dekk eller lenger nede fikk vi til svar at kravene er like når det gjelder et innelukket rom. Vekter langt oppe på skipet kan skape utfordringer med tanke på skipets GM (stabilitet). Å få til et luftkjølt system er enklere å få til lengre oppe på skipene. Mindre støy kan også være en del av fordelene med høy plassering av batteriene. Propageringstester skal kunne verne batterisystemet mot en intern feil.

Det finnes to moduleringsprinsipp som er typegodkjent. Det ene er celle til celle-propagering og det andre er modul til modul. Ved modulpropagering kan en hel batterimodul ta fyr, mens ved en celle til cellemodulering vil kun en celle ta fyr. En ekstern brann vil kunne bli slukket av slukkesystemet, uheldig nok fungerte ikke dette på MS Brim og MF Ytterøyningen.

På bakgrunn av hendelsene på MS Brim og MF Ytterøyningen lurte vi på om innfasingen av batteriene har gått for fort. Nei mente intervjuobjektet. MF Ampere var jo den Norled begynte med og da var det en del ‘‘upløyd mark’’. Regelverk har i ettertid kommet på plass. Regelverket er under fortløpende oppdatering.

Overgangen fra diesel til elektrisk innebærer også en ny arbeidshverdag for mannskapet på båtene. Prosessen er ikke stor, og elektriske fartøy krever mindre vedlikehold. Dette gjør at fokuset på sikkerhet blir høyere. Systemintegrator (Seam) har utviklet et kursopplegg som typisk kjøres som en dags opplæring for mannskap på nybygg / ombygginger. Kurset består av en halv dag teori + en halv dag praktisk opplæring på systemene ombord. Dette skal gi mannskapet som arbeider om bord på fartøyene inngående kunnskap om batteridrift. På hurtigbåtene blir det gjennomført FSE-kurs som et minimumskrav, i tillegg til et batterisikkerhetskurs der prosedyrer er iverksatt. Generelt blir det lagt vekt på familiarisering på fartøyene som har elektriske batterier om bord. Det er krav til et visst antall timer eller dager om bord.

Brann ikke er den eneste faren som kan oppstå på en elektrisk hurtigbåt. Elektriske feil kan også oppstå. Elektriske systemer krever mer redundans enn dieseldrevne systemer. Ved en feil på batterisystemene på den ene siden på hurtigbåter, kan kraften overføres til den andre.

## 4.2 Intervju Corvus

Vi gjennomførte intervjuet med Corvus 20. januar 2023, intervjuet ble gjennomført via Teams. Intervjuet i sin helhet vil ikke bli publisert her, men en sammenfatning av intervjuet der intervjuobjektets meninger og synspunkt vil bli tatt i betraktning.

Corvus begynte i korte trekk å forklare hvordan et litium-ion batteri var oppbygd, og sikkerheten rundt dette. Vi ble fortalt om oppbygningen til et litium-batteri, propageringstestene som blir gjennomført, og om eksterne kilder som kan utløse en hendelse med batteriet. Slik batteriene er bygd opp, vil man ved feil på en celle, ikke oppleve at denne kan spre seg til nabocellen. En annen risiko dersom man opplever en thermal runaway er at farlige gasser kan slippes ut. For større fartøy tilbyr Corvus batterier med et lukket system hvor de har kapslet inn alle batterimodulene, slik at gassen som oppstår blir ledet direkte ut av batterirommet i et ventilasjonsrør. På denne måten unngår man at eksplosiv gass samler seg i batterirommet. En annen viktig sikkerhetsfunksjon er BMS-en. Corvus fortalte at systemet skal sørge for at cellen aldri får en overladning, for lav spenning eller for høy temperatur. BMS nevnes som en av de mest grunnleggende sikkerhetsbarrierene. Videre ble det fortalt at de tidligere hendelsene ikke var på cellenivå. Dette betydde at det var eksterne årsaker som hadde vært utløsende for en batteribrann. Man har også sett på flere fartøy at rom, og romkvaliteten har vært dårlig. Mye støv, smuss, rot og spor etter sjøvann var blitt observert i ulike batterirom. De jobbet for å bevisstgjøre rederne og verft mot å øke kvaliteten på rommene. Det ble fortalt at å beskytte seg mot eksterne feil er svært vanskelig da dette er forhold som ligger utenfor Corvus sin kontroll, BMS og design kan ikke alene hindre dette. Det vil komme høyere IP-krav slik at man for eksempel vil kunne tåle høyere lekkasje av sjøvann. På MS Brim gikk det et luftrør som ikke var plassert i henhold til lastelinjekonvensjonen slik at det var for nær vannlinjen, og dermed kunne vann trenge inn i batterirommet. Høyere IP-krav vil gjøre batteriene mer motstandsdyktige mot slike hendelser.

Det er en samhandling mellom DNV og SDIR, men det er DNV som setter klassekrav til fartøy over 24 meter. SDIR har kommet med regler for skip under 24 meter som er ulike DNV sine krav. Et batterisystem som er godkjent av DNV er også godkjent av SDIR. Man vil se ulike

løsninger på hvordan arrangementet skal være om bord. Grunnen til det er at det vil være utfordrende å få til samme løsning på skip som er 15 meter, og ett som er 150 meter.

Skulle en celle gå i inn i thermal runaway, vil den ikke kunne stoppes. Derfor designes batteriene slik at en thermal runaway skal brenne ut, og ikke spre seg fra celle til celle. Om en annen hendelse skulle oppstå, som ekstern varmepåvirkning, vil tiltak være å anvende slukking med ferskvann. Temperaturen vil kontrolleres og en vil få kontroll over situasjonen. Om ikke temperaturen økes i batterirommet, vil heller ikke batterisystemet bli eksponert for høy temperatur. Hovedmålet vil alltid være å holde propageringen/thermal runaway på lavest mulig nivå.

På MF Ytterøyningen ble Novec slukkemiddel løst ut først, før man deretter aktiverte watermist med sjøvann. Dette førte til en masse lyder, smell og kortslutninger. Watermist ble derfor stoppet relativt kjapt. Sannsynligvis førte dette til at man bare "eglet opp" batteriet. Man mistet også den kjølede effekten. Mest sannsynlig skulle mannskapet bare ha fortsatt med nedkjølingen med saltvann. Sjøvann burde renne inn til man hadde kontroll på situasjonen.

Med tanke på slukkemiddel anbefalte Corvus ferskvann. Vi nevnte at det er begrenset med ferskvann man kan ha med seg. Anbefalingen da var at etter at ferskvannskapiteten var brukt opp, kan man gå over til en sjøvannsløsning om situasjonen fortsatt ikke er under kontroll.

De fleste batteriene er designet for en levetid på 10 år. Det har også med hvor mye kapasitet som installeres. De første batteriene som ble installert nærmer seg 10 år og da er det å se på "second life". En validering av batteriene kan være veien, altså å forlenge levetiden på batteriene. Ved gjenbruk, også omtalt som "end of life" kan mye av de sjeldne materialene som er i batteriene gjenvinnes. Dette er forholdvis lett og blir allerede gjort i Norge. Da materialene er svært verdifulle er det en viss interesse for å resirkulere disse.

Når Corvus skal levere et batterisystem til en kunde, ser de på operasjonsprofilen til fartøyet og anbefaler en størrelse på et batterisystem. Det blir medgitt en integrator-manual til kunden. I denne er det beskrevet hvordan romkondisjonen skal være, hvilke temperaturer en ønsker i batterirommet og hvordan batterienes tilværelse skal være. Det leveres en manual til rederen og en "risk assessment" som blir levert til skipsdesigner og reder, der farene blir belyst. Når man har samlet alle faremomentene kan man lage en fartøysspesifikk manual. I tillegg blir det levert en vedlikeholdsmanual, brukermanual, og en service and maintenance manual. I nyere tid har Corvus også lagt til rette for opplæring av mannskap på batterisystemene. Med tanke på hvordan service oppfølgingen er, sa Corvus at en serviceingeniør er om bord på skipet i fasen

der batterisystemet blir installert. Han setter systemet i drift og tester deler av systemet. Det kan ringes 24/7 ved henvendelser som angår batteriet, og det blir også foretatt en sjekk etter 5 år. Rederne kan også få en oppdatering årlig. Der blir det brukt data som har blitt samlet opp i fra fartøyet. Ut fra dette kan de gi en status på batterisystemet, om det har blitt eksponert for høye temperaturer eller om det er ting som tilsier at ikke alt er bra. Denne tjenesten vil derimot koste litt. Ved alvorlige hendelser vil Corvus bistå. Corvus setter en krisestab dersom det skulle oppstå en brann. Her vil alt av informasjon bli hentet inn, hvilket batterisystem det angår, produkteier av batterisystemet, brannvesen og mannskap vil også følges opp.

Fremtiden for batterier ser spennende ut. I løpet av de neste årene vil det skje en god del på batterifronten. Allerede i år vil det komme løsninger med enda høyere energitetthet. Batteribytte er også noe som holder på å innføres. Corvus er ikke med på dette prosjektet, men har tro på denne løsningen. Batteriskifte teknologien går ut på å ha batteriene på dekk. Sikkerhetsaspektet blir et helt annet fordi et lukket batterirom alltid vil gjøre det verre enn et åpent rom. Risikoen for eksterne hendelser og oppsamling av eksplosiv gass forsvinner.

Corvus fortalte også hvordan det cellemodulerte systemet testes. Det blir gjennomført flere tester av cellene før de blir tatt inn i systemet. Det velges celler med høy robusthet og høy kvalitet som har lite interne feil. BMS-en har kontroll på alle parameterne. I Porsgrunn blir batteriene validert etter hvilke grenser som battericellene skal ha. Data fra produsentene kommer inn, og med det kan man vurdere om batteriene er gode, eller om de trenger høyere sikkerhetsmargin. Dette blir så lagt inn i BMS-en. BMS blir utviklet av Corvus. Til slutt blir dataene fra testene lagt inn for å sette barrierene, og for å unngå interne feil. Isolasjonsmaterialet blir også testet ved propageringstestene, og det hentes ut en del viktig data fra disse valideringene.

Bransjestandarden for propagering sier at det er lov med både cellemodulert og modulmodulert beskyttelse. SDIR kom med dette kravet i 2015/16 og da hadde ingen av produsentene cellemodulert teknologi. 2016/17 kom Corvus med cellemodulering. Corvus mener modulmodulering ikke burde være en bransjestandard, da det viser seg at cellemodulering er langt mer sikkert, i forhold til varmespredning og hendelsene rundt dette.

### 4.3 Intervju Sjøfartsdirektorat

Intervjuet ble gjennomført 5. mai. Intervjuet ble gjennomført via plattformen Microsoft Teams. Hele intervjuet blir ikke publisert, men et sammendrag ut ifra funn knyttet til spørsmålene vi stilte.

Vi begynte intervjuet med å spørre om hvorfor slukkesystemet Novec blir byttet ut mot CO<sub>2</sub> om bord på MS Fjordled. En høy konsentrasjon av CO<sub>2</sub> vil ha mer effekt enn Novec som ikke brukes i kombinasjon med vann. Problemet med Novec systemet er at når det treffer vann, kan det dekomponere og lage giftige gasser.

DNV sier at et gassbasert-slukkesystem må vise til effekt. Da det til nå ikke finnes et gassbasert slukkesystem som viser til effekt på batteriene, må det være tilkoblet et slags system som kjøler det ned. Det må brukes ferskvann. Ferskvannsforbruket må holde i 30 minutt, etter det kan man eventuelt gå over til saltvann. Det burde ikke gjøres samme feil som på MF Ytterøyningen der det ble kjørt inn saltvann i en relativ kort periode. Saltet reagerte med batteriene og effekten av kjøling var for kort. DNV vil komme med nye krav i oppdateringene i regelverket 1. juni 2023. Her vil man innføre "combined system" som er et gassbasert system i kombinasjon med ferskvann. Etter MS Brim ulykken ble det ikke lenger lov for fartøy å ha lavere IP-grad enn IP 44. Grunnen til at MS Fjordled ikke har en form for vannkjøling er fordi den har for lav IP-grad.

Hvilket slukkemiddel som blir satt inn på fartøyene henger sammen med hva regelverket sier da kontraktene ble undertegnet. Dette fører til at forskjellige fartøy kan ha ulike slukkesystem. Om et slukkesystem blir oppfunnet som kan håndtere batteribrann bedre, kan SDIR stille retroaktive krav om ombygging, men dette vil være kostbart og nytten må i så fall representere kostnaden. Inspeksjon av fartøy blir vanskeligere når lovverket endrer seg hele tiden. Ulike skip er bygget etter ulikt regelverk og går dermed under ulike lovverk og regler.

Grunnen til at MS Fjordled har et sterkt konsentrert CO<sub>2</sub> anlegg om bord, er akkurat fordi kontrakten er eldre. Novec systemet er ikke lenger anbefalt som slukkesystem alene, men i kombinasjon med ferskvann eller et watermist-system vil dette være en bra kombinasjon. Vekt er en vital del på en hurtigbåt. Der det ikke er mulig å ha vannslukningsanlegg, vil en høyere konsentrasjon av CO<sub>2</sub> være et bedre alternativ alene, enn ved kun bruk av Novec. Ingen av disse slukkemidlene kan stoppe en batteribrann, men vil begrense risikoen for en eksplosjon i et batterirom.

Det oppgis at både CO<sub>2</sub> og Inergen vil ha veldig gode egenskaper mot eksplosjon, noe vann ikke har. Ved å sende inn CO<sub>2</sub> vil ikke varmereproduksjonen stoppe. Batteriene om bord på MS Fjordled er veldig lette, men er ikke tilkoblet et eget ventilasjonssystem. Grunnen til det er at de slipper ut så lite gass, at det er innenfor grenseverdiene som er tillatt. Det viktigste er å passe på ventileringen av de giftige gassene. På for eksempel MF Ytterøyningen ble batterirommet åpnet selv om det var en konsentrasjon av gass i rommet. Følgene av dette var eksplosjon.

Slukkesystemene kommer til nytte når det gjelder ekstern påvirkning. Ved interne feil i batteriene skal feilen etter hvert stoppe opp. Batteriene som er brukt i MS Fjordled er Corvus Dolphin batterier. Battericellene i Dolphin-batteriene er mye mindre enn cellene i andre batterier. Da cellene er veldig små, vil de slippe ut mellom 2-3 liter gass ut i batterirommet. Når mengden gass er såpass lav, blir det ansett som akseptabelt å slippe ut slike mengder gass i batterirommet.

SDIR angir egne krav til fartøy under 24 meter. Dette rundskrivnet er presentert i kapittel 2 i teoridelen. SDIR stiller krav til at batterimodulene til fartøy under 24 meter skal være cellepropagerte. Fartøyene er så små at store mengder gass ikke kan evakueres trygt. Dersom man har et stort fartøy, har man god plass til sikker evakuering av gass uten tilknytning til områder der passasjerer oppholder seg. Ved bruk av batterier som kun er beskyttet på modulnivå er man som regel bedre beskyttet mot eksterne hendelser. Anleggene om bord er også designet bedre for å håndtere større mengder gass.

#### 4.4 Skipsbesøk/Feltarbeid

Feltarbeid ble gjennomført 16. februar 2023 om bord på fergene MF Tidefjord og MF Festøya, og 21. april 2023 om bord på hurtigbåten MS Fjordled. Besøket på fartøyene ble foretatt etter initiativ fra oss og i samarbeid med rederiet Norled. Da tilgangen til en hurtigbåt som bruker batteri som energilagring i nærhet til Ålesund var begrenset, valgte vi å undersøke muligheten for et besøk på en hybrid ferge i drift. Vi planla et skipsbesøk om bord på MS Fjordled som ombygges til batteridrift, men mulighetene for å se alle systemene i drift, herunder overvåkningssystem og ladeprosess var ikke tilgjengelig. Derfor ble batterier på en ferge ansett som en god observasjon. Vi valgte som kjent å besøke både MF Tidefjord og MF Festøya. Vi ble fortalt av Norled at det var litt ulik oppbygging av systemene på disse to fartøyene MF Tidefjord er som kjent en ombygd ferge, men MF Festøya er et nybygg hvor man tok hensyn til batteriene før man begynte å bygge. Dette gjorde at vi valgte å besøke begge fartøyene. Vi

var om bord på hvert fartøy i ca. 2 timer. Det ble ikke gjennomført et intervju, men det ble diskutert med mannskapet hva de tenkte om batteri, og hvordan de ville håndtere en batteribrann. Vi ble også vist rundt på hele fartøyet slik at vi fikk se hvordan batterirom og tavlerom faktisk så ut.

Mannskapet om bord på fartøyene håpte de aldri ville oppleve en batteribrann. Skulle uhellet likevel være ute gikk de ut ifra at batteriene holdt det de lovet, altså at en brann i en battericelle skulle brenne ut, uten å spre seg. Det ble også diskutert evakuering. Mannskapet mente en evakuering av fergen skulle gå greit, men at slukkearbeid kunne bli vanskelig. De ville også prøve å få fergen til land for å lettere få bistand fra lokalt brannvesen til å slukke. Nærheten til land nevnes som en fordel dersom en kritisk hendelse skulle oppstå. Siden det er større beredskap med brannvesen på Solavågen-siden, skulle den siden primært anløpes ved en brann. Ved Festøya-siden er beredskapen ikke like stor og innsatskrefter hadde lengre vei. Det er også tre ferger på sambandet slik at et av de andre fartøyene kan bistå dersom noe skulle skje. Dette er selvfølgelig positivt for sikkerheten på ferger, men punktene som blir dratt frem vil ikke like lett kunne overføres til hurtigbåt. Trondheim – Kristiansund og Bergen – Selje er to ruter som er i ferd med å elektrifiseres. Skulle det oppstå en hendelse underveis på disse strekkene, kan det oppstå på steder der evakuering, og bistand i fra ressurser på land vil være krevende. Vi har tidligere sett ved Sleipnerulykken at evakuering langt fra land i dårlig vær er krevende, og innebærer en stor risiko for de involverte. Mannskapstrening ble også trukket frem. Mannskapet mente de ikke hadde nok kunnskap om selve batterisystemet. De fikk være med på kurs og ellers utsjekk. Generelt mente de at kunnskapsgrunnlaget rundt litium-ion batterier var for tynt.

Vi fikk også en omvisning i batterirommene. Det ble sagt at rommene er brannsikre og konstruert slik at en brann ikke skulle spre seg videre fra batterirommet til tavlerommet. Mannskapet forsikret oss om at standardene for isolering til batterirommene var oppfylt.

Sent i april fikk vi muligheten til å besøke MS Fjordled. Fjordled lå til ombygging hos GS Marine på Gursken. Norled som er eier av båten, bygger den om til hel-elektrisk drift. Vi fikk en omvisning av de som jobbet på verftet. Det ble ikke laget til intervju, men tanker og kommentarer fra besøket vil flyte inn i resultatdelen og drøftingen/konklusjon.

Det som ble fortalt oss med tanke på slukkesystem, var at CO<sub>2</sub> blir installert og Novec systemet skulle byttes ut. Dette kommer etter pålegg fra DNV. Da hurtigbåten er vektkritisk ble det også

fortalt at det brukes mindre stål og aluminium, men mer glassfiber og plast. Standardene ble styrt av DNV.

Det var heller ikke ønskelig med en brann i batterirommene, og hvis det skulle komme til en såkalt "worst case scenario" skulle passasjerene og mannskapet forlate skipet umiddelbart.

Batteriene er også plassert slik at de er redundante. Det vil si at om ett av batterisystemene begynner å svikte, så fungerer det andre batterisystemet. Hurtigbåten vil derfor fortsatt ha framdrift.



## 5 Drøfting

Vi vil starte drøftedelen ved å presentere våre forskningsspørsmål. Det er disse vi har brukt til å lage intervjuer og innhente data. I denne delen vil vi bruke intervjuene til å drøfte for og imot teorien vi har tilegnet oss i teoridelen.

Vi vil i denne delen ta for oss funn i rapporter, intervjuer og funn i fra feltarbeidet som er gjennomført. Vi vil drøfte de ulike batteriene som benyttes og de tilgjengelige slukkesystemene. I teoridelen ser vi at det finnes ulike sikkerhetsaspekter rundt bruken av litium-ion batterier om bord på elektriske hurtigbåter. Med hjelp av intervjuene vil vi belyse styrker og svakheter.

I oppgaven skal vi undersøke, utrede og trekke konklusjoner om blant annet:

- Hvordan regelverket har endret seg på bakgrunn av hendelsene med MS Brim og MF Ytterøyningen?
- Hvilke slukkesystem som finnes om bord og hvordan de fungerer?
- Hvilke tekniske tiltak og løsninger som settes i gang, for å sikre sikker drift på elektriske hurtigbåtbatterier?
- Hvilke prosedyrer/opplæring/rutiner som finnes om bord på elektriske drevne fartøy, når det oppstår brann i et av batterirommene?
- Hvilke hensyn tas i design- og byggefasen for å sikre et sikkert system for å operere hurtigbåter med batteridrift?

Hovedspørsmålet vi stilte oss var om batterier om bord på elektriske hurtigbåter var en sikker løsning?

### 5.1 Regelverk

I teorien beskrev vi at regelverket etter ulykkene på MF Ytterøyningen og MS Brim er bygget opp av SDIR som benytter seg av regelverket som DNV har utgitt. Dette er hjemlet i IMO "SOLAS kapittel II-1 regel 3-1". DNV har utgitt et utall rapporter om blant annet batterisikkerhet i samarbeid med EMSA. Der SDIR ikke har egne regler benytter de DNV sine regler. SDIR lager egne forskrifter for elektrisk drevne hurtigbåter under 24 meter. De skal i tillegg komme med et regelverk, som skal inneholde litium-ion batterier.

I intervjuet med Corvus ble det klart at det finnes generelt en viss interaksjon mellom SDIR og DNV. Forskjellen blir hvordan fartøyene er utformet i form av lengde. I intervjuet med Norled kom det fram at rederier som Norled, jobber tett sammen med både DNV og SDIR. Det skilles også mellom hurtigbåter som er over 24 og under 24 meter. Det vil være vanskeligere å ha samme krav i mindre fartøy, da vekt og plass spiller en viktig rolle i mindre fartøy. Dette gjelder spesielt hurtigbåter som bør være så lette som mulig. SDIR har laget et eget regelverk for fartøy med batteriinstallasjoner under 24 meter.

Man ser også en endring i regelverket etter ulykkene på MF Ytterøyningen og MS Brim. Leverandøren av batterisystemene, eksempelvis Corvus, har satt i gang tiltak til å forbedre batterienes robusthet. De kom med rapporter og presentasjoner som presentasjonen om batterisikkerhet etter hendelsen på MF Ytterøyningen. Batteriselskapet har lært fra disse hendelsene og det kommer fram i rapporten at eksterne feil kan føre til brann på batteriene. Etter MS Brim ulykken ble det gjennomført en oppfølging av batterisystemer med lav IP-grad. I intervjuet med Corvus kom det fram at tiltak som ble gjort under brannbekjempelsen på MF Ytterøyningen, ikke ble gjentatt på MS Brim. Eksempler her er åpning av batterirommet slik at oksygen kan blande seg sammen med gassene. Dette skapte eksplosjonen på MF Ytterøyningen. På MS Brim ble rommet flushet med nitrogen og gassen ble ledet ut av batterirommet. Vi ser også etter intervjuet med SDIR at IP-kravene ble endret etter MS Brim. Kravene etter MS Brim-ulykken er at ingen fartøy kan ha lavere IP-krav enn IP 44.

Ved krav til modulering er Corvus foran regelverket. De stiller krav om at batteriene deres skal være cellemodulert. Det er per dags dato ikke satt krav til cellemodulering, men kun modulmodulering. Dette blir sett på som kritisk etter brannen på MF Ytterøyningen mener Corvus. SDIR mener derimot at størrelsen på fartøyene og arrangementet som benyttes burde avgjøre om det skal brukes celle- eller modulmodulering på batteriene. SDIR har til nå kun krav til cellemodulering på fartøy under 24 meter.

Generelt har ulike rapporter ført til mer bevisstgjøring rundt batterisikkerheten. Corvus kom med en rapport etter hendelsen på MF Ytterøyningen der det ble lagt vekt på å ikke kjøle ned batteriene med sjøvann. Sjøvann kan kjøle ned systemene, men innholdet av salt kan føre til kortslutninger. Det ble også påpekt at dersom man først setter i gang slukking med saltvann bør man fortsette til man har kontroll på situasjonen. Det er viktig at batteriprodusenter som Corvus driver med den type forskningsarbeid. Ut fra gitte hendelser som MF Ytterøyningen har det blitt tatt i betraktning nye tiltak som gjelder sikkerheten rundt litium-ion batterier. SDIR

har også kommet med veiledninger om opplæring på fartøyene. Disse veiledningene/rundskriv skal sikre sikker opplæring av mannskap, men også bevisstgjøre mannskap om farer ved litium-ion batterier.

I interjuvet med Norled kommer det også fram at Norled sammen klaseselskaper og SDIR jobber sammen om å utvikle nye regler og forskrifter som skal sikre bruken av litium-ion batterier. Generelt kan man si at om et batterisystem er godkjent av DNV, vil det automatisk være godkjent av SDIR. Dette henvises til i paragraf 14 og 15 i Forskrift om bygging, utrustning og drift av hurtiggående fartøy.

SDIR har fått sikkerhetstilrådninger om arbeid for en egen forskrift for litium-ion batteriinstallasjoner. Denne kom fra Statens havarikommisjon. Da vi i denne oppgaven har satt søkelys på DNV sitt regelverk, vet vi ikke hvordan andres klaseselskapers regler ser ut. Men det kan tenkes at regelverket er forskjellig, og ulikt DNV på enkelte punkter.

Utforming fra SDIR for å lage nye forskrifter krever alltid litt tid. Negativt med forskriftsarbeid, er at teknologien endrer seg fort. Kontraktene, og hvilket år kontraktene blir inngått bestemmer også hvilke slukkesystem som vil bli benyttet på fartøyene. Vi ser at på MS Fjordled, brukes et annet regelverk for slukkemiddel, enn for skip som bygges den dag i dag. Kostnader er en vesentlig faktor knyttet til dette. Hvis rederen måtte følge alle regelendringer som kommer ut, ville dette ende i høye kostnader. Hvis det kommer et nytt regelverk kan SDIR komme med retroaktive krav, som vil si at slukkesystemet må bli endret.

## 5.2 Brannbekjempelse

I teorien finnes det mange ulike slukkesystem. Vi har i teoridelen vært innom de fleste. Det finnes både ulemper og fordeler med de ulike systemene. Den mest brukte metoden er nedkjøling ved bruk av watermist. Det er både positive og negative sider ved bruk av vann som slukkemiddel. Vannet har stor nedkjølingsgrad, men for mye vann kan øke faren for dårlig stabilitet på fartøyet. For å benytte vann kan heller ikke IP-graden være for lav. Sjøvann derimot burde ikke benyttes da det kan skape kortslutninger på batteriene. Dersom kapasiteten på ferskvannstankene er brukt opp kan dog sjøvann benyttes til nedkjøling. Det er delte meninger om sjøvann er egnet til slukking av batteriinstallasjoner, da det både har positive aspekter (nedkjøling) og negative aspekter (kortslutninger). På MF Ytterøyningen kan de ses fra to forskjellige perspektiv. Sjøvann kan skape kortslutninger, men om man tar bort den

kjølede effekten til vannet, kan varmen spre seg. Bruken av watermist kan kjøle ned batteriene. Watermist som brukes på MF Tidefjord og MF Festøya kjøler ned batteriene. Problematisk blir det når ferskvannstanken nærmer seg tom. Som nevnt tidligere er bruken av saltvann ikke ideelt da det kan forårsake kortslutninger internt i batteriene. Saltvannet reagerer på stoffene som befinner seg i batterier og legger til rette for en kortslutning. I intervjuet med Corvus om MF Ytterøyningen, kom det frem at dersom man først har tatt i bruk saltvann som nedkjøling, burde dette fortsette, selv om det kan skape kortslutninger. Saltvann vil likevel ikke være å foretrekke ved en batteribrann. Bruken av skum anses også som meget effektivt, det kjøler ned, og isolerer celler fra andre celler. Varmen fra en thermal runaway vil ikke spre seg like fort.

Slukking ved bruk av watermist krever store ferskvannstanker, på ferger har man som regel ubegrenset med plass, og det stilles få krav til vektbegrensning. På vektkritiske fartøy, slik som hurtigbåter bruker man derfor blant annet Novec slukkesystem (Norled, 2023). Novec er trykksatt og tar dermed ikke like stor plass som en ferskvannstank ville gjort.

Sammenlignet med MS Fjordled så er vekt en viktig del som går igjen i alle prosesser og tiltak som gjelder fartøyet. MS Fjordled har ikke ubegrenset med plass eller vektkapasitet, så en løsning med Watermist her, hadde ikke vært mulig på grunn av vekt. MS Fjordled var tidligere en hybrid hurtigbåt, der Novec-systemet ble benyttet. I prosessen til å gjøre den full-elektrisk ble det altså bestemt at Novec-systemet skulle byttes ut med et CO<sub>2</sub> slukkesystem. På skipsbesøket fortalte de oss at denne beslutningen ble tatt av DNV, og at det har vært mye diskusjon frem og tilbake, før man endte opp med denne løsningen.

Hvis vi ser på rapporten om risikovurdering til DSB vil ikke CO<sub>2</sub> være et effektivt slukkesystem når det kommer til en batteribrann. Dette sier rapporten om CO<sub>2</sub> som slukkemiddel på batteribrann: "CO<sub>2</sub> vil ikke kunne tilføre tilstrekkelig med kjøling til å være effektivt slukkemiddel for håndtering av en batteribrann. Sekundærbrann vil kunne slokkes" (DSB, 2021). I en batteribrann så vil katoden i batteriene fortsette å skape oksygen, mens CO<sub>2</sub> slukker brannen gjennom kvelning, og fortykning av oksygen i luften rundt brannobjektet. Så hvis man ikke har nok CO<sub>2</sub> til å drepe mengden oksygen batteriene produserer, vil slaget om brannen være tapt og evakuering blir eneste utvei.

Når man snakker om brann og batterier skiller man mellom en intern, og en ekstern brann. Forskjellen handler om hvor det brenner. Ved en intern brann brenner det i selve batteriet, ved en ekstern brann er det eksterne ting som brenner utenfor batteriet. Dersom det oppstår en intern

brann vil hovedfokus være å unngå at brannen sprer seg til andre batterier. Slik batteriene er designet skal i utgangspunktet dette ikke kunne skje. Brannen skal ikke kunne spre seg fra en celle til en annen, eller fra en modul til en annen modul avhengig av hvilken type batteri som er installert. Videre bør det settes i gang direkte kjøling av batteri cellene/modulene. Dersom det observeres flammer bør disse forsøkes slukket for å unngå at batteriene rundt blir for varme.

Ettersom batteriteknologien er såpass ny vil det være en stor utfordring at regelverket til stadighet oppdateres og endres. Dette vil ikke ha tilbakevirkende kraft da dette ville vært fordyrende for bransjen å etterkomme. Dermed følges reglene som var gjeldende da kontrakten ble underskrevet. Batteriene kan være kjøpt inn lang tid i forveien, og selv om regelverket oppdateres vil eksisterende kontrakter følges. Unntaket vil selvfølgelig være om det avdekkes noe som kan være til fare for liv og helse, og som SDIR dermed beslutter å implementere i sitt regelverk. MS Fjordled som vi har sett på, er en av flere båter som er fanget i et mellomledd mellom nytt og gammelt regelverk. Operatør, verft, klasseselskap og SDIR forteller om en lang prosess der man til slutt endte opp med CO<sub>2</sub> med høy konsentrasjon som slukkemiddel i batterirommet. Dersom fartøyet ville blitt bygget i dag ville man ikke fått godkjent dagens løsning med kun CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> vil kunne brukes dersom man har watermist som supplement. Dette på grunn av at CO<sub>2</sub> ikke vil oppnå tilstrekkelig kjøling alene. IP-kravene styrer også mye om hvilket utstyr som brukes til brannbekjempelse. På flere fartøy som vi har besøkt, var det installert watermist for å kjøle ned batteriene. Fartøy som MS Fjordled har ikke dette, da fartøyet har for lav IP-grad til kunne tåle ekstern påvirkning av ferskvann.

1. juni 2023 skal det også som i 2020 komme nye regelverks-oppdateringer fra DNV. Disse vil ha endringer på systemer og krav. "Combined system" vil være en av endringene som vil komme, som gjelder for fartøy med batteriinstallasjoner.

### 5.3 Tekniske tiltak

Et maritimt batteri skal i utgangspunktet være trygt, dersom en feil i cellen oppstår og batteriet går inn i en thermal runaway skal modulen kunne brenne ut, uten at brannen sprer seg til andre moduler. Dette er i tråd med klassekrav. Corvus sine batterier har enda høyere krav til isolering og hver celle er isolert mot thermal runaway. Dette gjør sannsynligheten for spredning i en celle ved en thermal runaway lav.

Samtaler med batteriprodusentene, har vist at det nødvendigvis ikke er batteriene sin feil når det oppstår en brann. Eksterne årsaker er vel så farlig, om ikke enda farligere. Det kan være et

skittent batterirom, dårlige tekniske løsninger, eller tekniske feil i andre installasjoner som utløser en brann. Corvus fortalte at de ofte så dårlige batterirom, men at de som batteriproducent ikke kunne gi pålegg, kun anbefalinger til rederne. Det vil også komme høyere IP-krav som gjør batteriene mer motstandsdyktige mot vann. Dette vil øke sikkerheten dersom man skulle oppleve vann i batterirommet.

En thermal runaway danner som tidligere beskrevet farlige gasser. Denne gassen er eksplosiv dersom den samles i batterirommet. Det er derfor nødvendig med et system som kan ventilere ut gassen. På et passasjerskip vil det være viktig at denne gassen ikke ventileres til et område hvor passasjerer befinner seg. I batteriene til Corvus har man valgt å kapsle inn batteriene slik at gassene ventileres ut gjennom et ventilasjonsrør og ut i friluft. På mindre fartøy brukes vanligvis ikke denne type ventilasjon. I intervjuene med Norled snakket vi også om ventilering av giftige gasser når det gjelder fartøyene som har batteriskifteteknologi. Utblåsningen av gassene skjer på dekk, der ikke passasjerer oppholder seg. Det må også tas hensyn til at ikke mønstringsstasjonen er i nærheten til plasser der giftige gasser blir ventilert. Som regel spiller også plass en betydelig rolle.

BMS-systemet på batteriene sørger for økt sikkerhet. BMS-systemet overvåker kontinuerlig temperatur, høy/lav spenning og belastning inn og ut. Dermed kan mannskapet følge med dersom det skjer noe, og dermed handle før en situasjon oppstår. I tillegg er BMS-systemet ansvarlig for å beregne strømgrenser, State of charge (SOC) og State of health (SOH). Et høykvalitets BMS-system er en nøkkelkomponent i et trygt og fullt effektivt batterisystem. BMS er også viktig for å forhindre at omformerer overlader batterisystemet. Alle disse funksjonene danner et sikkerhetssystem som overvåkes automatisk.

Thermal runaway skal brenne ut, og stoppe av seg selv. Dersom det oppstår en brann som propagerer vil den eneste utveien være å kjøle ned systemet. Thermal runaway er selvforsynt og vil derfor ikke stoppe av seg selv. Dette blir det heldigvis gjort tester på for å få batteriene godkjent slik at dette ikke skal kunne skje. Når batterileverandører snakker om interne branner så er det cellefeil som er årsaken. Når noe på utsiden av modulen begynner å brenne, slik som på MF Ytterøyningen og MS Brim kalles det en ekstern brann. Feilene hadde ikke oppstått om det ikke var et batteri der, men begge hendelsene ble likevel kategorisert som eksterne branner. I et batterirom skal man ha et slukkesystem, ikke for å ta en batteribrann, men for å slå ned de eksterne brannene.

Eksterne kilder for brann vil også være utfordrende på MS Fjordled. På intervjuet med SDIR, kom det fram at Dolphin-batteriene som brukes om bord, har cellemodulering. Dette vil forhindre en intern spredning, som på MF Ytterøyningen. Det jobbes med å gjøre batteriene mer robuste mot eksterne kilder. Batteriene er mindre enn de vi så på MF Festøya og vil dermed ikke inneholde like mye energi (varme).

#### 5.4 Prosedyre, opplæring og rutiner

SDIR gir ut retningslinjer om opplæring av mannskap, og rundskriv om batterier om bord på skip ref. (Veiledning til krav til opplæring om kjemiske lager for energi (maritime batterisystemer) om bord i norske skip). Rundskrivene ble laget etter MS Brim og MF Ytterøyningen og inneholder en del om faremomenter og risiko knyttet til batterisystemene. Mannskapene om bord får opplæring om betjening, og skal få en viss forståelse rundt systemene. Grunnleggende kunnskaper om batteriteknologi skal også være gitt. Ikke alle besetningsmedlemmer stiller med samme forkunnskaper fordi mannskapet om bord på skipene kan ha ulike erfaringer tidligere.

I samtalene om bord på en av fergene vi besøkte, mente mannskapet at opplæringen ikke var tilfreds for å sikre kunnskap om batteriteknologi, selv om de hadde blitt sendt på kurs. Ofte dekker ikke opplæringen, kunnskapsgrunnlaget som kreves for å jobbe sikkert på de elektriske fartøyene. Familiarisering og et kurs var alt av opplæring som ble tilbudt. Etter mannskapenes mening er ikke prosedyrene ved en eventuell hendelse problemet, men kunnskapsgrunnlaget rundt litium-ion batterier. Problemet vil ikke være hva som skjer, men hvorfor en gitt hendelse trer i kraft.

Corvus sier at opplæring på batteriene tilbys i form av kurs. I nyere tid har det blitt lovpålagt å ha kurs om batterier. Rundskrivene til SDIR viser dette. SDIR kommer til å stille mer krav om opplæring. Ulike rapporter fra eksempelvis DSB og DNV vil også styrke kunnskapsgrunnlaget til mannskapene om bord.

I oppstartsfasen vil også Corvus komme om bord med en servicetekniker som setter systemet i drift. Det blir også gjort en del tester for å sikre at det installerte systemet er trygt. Etter 5 år foretar de en inspeksjon hvor rederen får en oversikt over status på batterisystemet. I tillegg tilbyr de mot betaling årlig status på batterisystemene. Da vil rederen få årlig info om

kondisjonen til batteriet, om batteriet har hatt det bra, og om det har vært eksponert for høye temperaturer eller andre årsaker til at ting kanskje ikke er som det skal.

Ved brann i maskinrom på en batteriferge så vi på prosedyrene vi fikk på skipsbesøkene. Ved ukontrollerte temperaturstigninger ved brann fra modul til modul, bør det iverksettes slukking med gassbaserte slukkemidler i batterirommene. Vi har tidligere nevnt systemene som benyttes på Norled sine fartøy. Det er blant annet Novec, Inergen, CO<sub>2</sub> og Watermist. Det viktigste er å tenke på at alle dører er lukket til batterirommene. Watermist, der dette er installert vil utløses først, men kun etter ordre fra kaptein. Til slutt må det følges opp med ventilering.

På skipsbesøkene fikk vi vite at rutinene ved en brann var evakuering og deretter finne raskest mulig vei til land. Ved valg av kai, må også ressursutvalg og utrykningstid tas med i betraktningen. På MF Ytterøyningen klarte fergen å gå til kai først, for deretter å slippe av passasjerer. Dersom ikke dette var mulig ville evakuering og slukkearbeid blitt adskillig mer krevende.

Dersom det oppstår en hendelse med batterier om bord er det rutiner som batteriprodusenten følger. I intervjuet med Corvus forteller de at dersom en av deres kunder opplever en brann om bord setter de en egen krisestab. Avhengig av hvilket batterisystem som er installert om bord, vil de samle de som har mest kunnskap om det spesifikke batterisystemet. Deretter gir de råd til både brannvesen og mannskap for å best mulig bekjempe brannen.. Viktig i den forstand er overvåkning av batteriene for å kunne detektere mulige temperaturøkninger i batteriene. Hvis mannskapet om bord får varslinger tidlig, kan man droppe evakueringen på sjøen, fordi fergene kan anløpe kaiene i god tid. Batterisystemene kan også bli stengt ned automatisk. I risikoanalyse om batteribrann nevnes det å ha et system som stenger ned batteriene automatisk. Dette vil redusere fareomfanget.

I intervjuet med Corvus kom det også fram at smuss og skitne batterirom kan øke sannsynligheten for brann. Batterirommene burde være rene og ha høy standard. Et skittent batterirom vil for det første utgjøre en trussel, men også minke evnen av overvåkning.

## 5.5 Tiltak og endring for å sikre driften

I batterirommene er det en del tiltak som skal gjøre rommene mer trygge, man har ventilasjonsanlegg som skal lede gass ut gjennom et ventilasjonsrør. Rommene er tilkoblet et ventilasjonssystem for å forhindre at det blander seg for mye gass i rommet. Hvis



konsentrasjonen av gass blir for høy i et batterirom, mellom LEL og UEL kan det oppstå eksplosjoner. Gassansamling som også omtales som akkumulering kan skape slike eksplosive omgivelser. Derfor er det installert ventilasjonssystemer i batterirommene. Selve batteriene kan også være tilkoblet et selvstendig lukket ventilasjonssystem, avgjørende er hvilke typer batterier som benyttes. Når batteriene blir for varme, kan de eksplodere og åpne seg. Giftige gasser oppstår da. For at batteriene ikke skal kunne utvide eller forflytte seg, vil alle battericellene være tilkoblet ventilasjonssystemet. Vi baserer oss da på skipene MF Festøya og MF Solavågen som har Corvus sine batteripakker om bord.

På MS Fjordled brukes Dolphin batterier. De inneholder mindre energi. Ved en eksplosjon av cellene, vil mellom 2-3 liter av gass lekke ut av cellene. Det er dermed ikke nødvendig med et lukket ventilasjonssystem som kun er tilkoblet batteriene. Gassen vil på MS Fjordled sive ut i batterirommet og bli ventilert ut. Vi ser her en tydelig forskjell mellom fartøyene, men hovedgrunnen til at det er forskjell i ventilasjonssystemene er mengden gass som oppstår ved en eksplosjon.

I tilfeller der batteriene blir for varme, blir det for eksempel på MF Tidefjord blåst kjølig luft under batteriene for å kjøle de ned. På MS Fjordled er det andre batterier og kun vifter som skal kunne kjøle ned temperaturen på batteriene. Batteriene er mindre på MS Fjordled og lager dermed ikke like mye varme og energi som de på MF Tidefjord.

Det er også viktig å tenke på at batterirommet skal være rent, for å forhindre spredning av brann hvis det først har blitt antent en brann. Batterirommene er ikledd ikke brennbart materiale, i A-60 standard. Batterirommene er utstyrt med alarmsystem som utløses ved temperaturstigning over 60 grader, ved 65 grader så stoppes tilførselen av ladestrøm. Vi fikk sett og forklart dette på skipsbesøkene på MF Tidefjord og MF Festøya.

På MS Fjordled er derimot batterirommet ikledd med A-60 standard og videre salongen opp mot broen A-30. Vi ser både på fergene og hurtigbåten at plasseringen av batteriene er under passasjerdekket.

Inne i batterirommene er det også installert flere innretninger for å bekjempe batteribranner. En del av de vil bestå av preventive tiltak. Det er ulike tiltak til ulike tilfeller.

Ved se på risikoanalysen punkt (1.2) om gassdannelse nevnes det tiltak som temperaturovervåking, ulike alarmer som varsler høy spenning og redundante nedkjølingssystemer. Disse ulike systemene er med på å overvåke ulike parametere som er

laget til for å sikre driften på batteriene. Sensorer for gass vil være essensielle, da de kan detektere om det er gassdannelse i batterirommene eller ikke. Noen av gassene som dannes ved brann er både giftige og selvantennelige.

Batteriene er designet etter gitte testkrav og deres egen operasjonsprofil. I intervjuet med Corvus, fortelles det at vedlikeholdsmanualer er dokumenter som Corvus gir videre til reder. Vedlikeholdsmanualene sikrer driften av fartøyet fordi de elektriske installasjonene blir vedlikeholdt riktig. Ved å ta en titt på risikoanalysen kommer det flere ganger fram at bruken av et redundant batterisystem, sikrer driften av batterisystemet. På MF Festøya er det plassert 2 batterirom i hver ende. Grunnen til at det er to batterirom er for det første grunnet kapasitet, men også for å legge opp til et redundant system. På skipsbesøkene fikk vi vite at om en batteripakke var ødelagt eller stengt ned så kunne den andre fortsatt brukes. Det samme ser vi på hurtigbåten MS Fjordled, der hver av batteriene er plassert på styrbord og babord side av hurtigbåten.

## 6 Konklusjon

I denne delen vil oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål besvares gjennom en konklusjon.

*Hvordan regelverket har endret seg på bakgrunn av hendelsene med MS Brim og MF Ytterøyningen?*

Regelverket ble endret etter hendelsen på MS Brim. Det ble avdekket at lav IP-grad var en medvirkende årsak til brannen. I etterkant ble det stilt krav om at ingen batterier skal ha lavere IP-grad enn IP 44. Ulykken på MF Ytterøyningen har ikke gitt noen direkte endringer i regelverket, men anbefalinger om at batteriene alltid er tilkoblet og rutiner i forbindelse med slukking er oppdatert. Herunder å holde batterirom avstengt, samt unngå bruk av sjøvann.

Vår gjennomgang av rapportene etter de to hendelsene har vist at begge hendelsene var eksterne feil som ikke skyldtes feil i batteriene. Kunnskapen har tross hendelsene blitt bedre og SDIR har kommet med ulike rundskriv på bakgrunn av dette.

Dette er forholdsvis ny teknologi og vi har funnet ut at regelverket stadig oppdateres. SDIR skal nå implementere forskrifter for litium-ion batterier, da Statens havarikommisjon har kommet med tilrådninger. DNV stiller mesteparten av regelverket for hurtigbåter med litium-ion batteriinstallasjoner. SDIR tar for seg regelverket for fartøy under 24 meter. Det er i stor grad årstallet når kontraktene inngås som bestemmer hvilket regelverk som skal benyttes. SDIR kan stille retroaktive krav til ombygging.

Store endringer vil komme når DNV kommer med nye krav 1. juni 2023.

*Hvilke slukkesystem som finnes om bord og hvordan de fungerer?*

Vi har funnet ut at ulike slukkesystem finnes om bord. Det finnes alt fra systemer som bruker prosentdel av gass og væske, til konvensjonell nedkjøling med vann. Ferskvann vil i den forstand være det foretrukne midlet. På hurtigbåter vil ikke dette systemet være relevant da det med tanke på vekt vil problematisk. En hurtigbåt kan heller ikke ha ubegrenset med plass for ekstra ferskvann. Slukkesystem som brukes på hurtigbåtene til Norled er Novec-systemet og CO<sub>2</sub>. På MS Fjordled byttes Novec-systemet ut mot CO<sub>2</sub>. Ut fra teorien vi har tilegnet oss i denne oppgaven om slukkemidler, ser vi at en liten konsentrasjon av CO<sub>2</sub>, vil i liten grad ha påvirkning på en batteribrann. Vi ser også svakheter ved bruken av Novec-systemet da det etter vår mening også vil ha liten effekt. Novec-systemet kan også dekomponere og lage giftige

gasser, når det kommer i kontakt med vann. Dette kan begrunnes ut fra teorigrunnlaget som er gitt ved (*“Risikovurdering og håndtering av branner i Litium-ion batterier, DSB 2021”*). Det legges også til at MS Fjordled ikke fikk godkjent Novec som slukkemiddel. Bruken av CO<sub>2</sub> med høy konsentrasjon av gass kan anses som en bedre løsning enn Novec-systemet uten vannkjøling. CO<sub>2</sub>-systemet burde brukes i sammenheng med watermist.

*Hvilke tekniske tiltak og løsninger settes i gang, for å sikre sikker drift på elektriske hurtigbåt-batterier?*

Etter lovgivning til SDIR stilles det i dag kun krav om modulmodulering. Det er rom for å benytte seg av begge systemene, men batteriprodusenten anbefaler cellemodulering. Ved en intern feil skal ikke feilen kunne spre seg fra celle til celle ved cellepropagering, ved modulmodulering kan feilen spre seg fra celle til celle innenfor en bestemt modul, men ikke videre. BMS-systemet vil også styrke og sikre driften til batteriene. BMS overvåker parametere som temperatur og SOH (State of health). Dette forutsetter at BMS hele tiden er tilkoblet batteriene, noe som vi har sett ikke alltid er gitt. For å verne seg mot eksterne feilkilder, må batteriene være robuste. Det jobbes stadig med å gjøre batteriene mer robuste, men når man ser tilbake i tid er eksterne feil hovedgrunnen til brann. Vi ser også at batteriene som brukes på hurtigbåter er forskjellige i forhold til de som brukes på fergene vi inspiserte. De var begge cellemodulert, men batteriene om bord på hurtigbåten hadde ikke et eget lukket ventilasjonssystem, noe som kan forklares med at mengden gass som slippes ut i batterirommet er relativt lav.

Vi ser også at SDIR og Corvus i liten grad er uenig i bruken celle eller modulmodulering. SDIR mener størrelsen og arrangementet burde styre om det brukes celle eller modulmodulering. På større fartøy mener SDIR at modulmodulering kan benyttes uten at dette går på bekostning av sikkerheten. På hurtigbåter mener både SDIR og Corvus at det burde brukes cellemodulering på grunn av begrenset plass til ventilasjon av gasser.

*Hvilke prosedyrer, opplæring og rutiner finnes om bord på elektriske drevne fartøy, når brann oppstår i et av batterirommene?*

Prosedyrer er beskrevet i fartøyets fartøyshåndbok. Ved en brann vil man i første omgang sikre liv og helse. Man vurderer evakuering eller strandsetting av fartøyet. Deretter vil man utøve brannbekjempelse. Dersom en brann skulle oppstå og propageringen ikke eliminerer brannen vil man forsøke å kjøle ned for å unngå en thermal runaway. På en hurtigbåt vil en da utløse Novec eller CO<sub>2</sub> som virker kjølede på brannen.

Mannskapet om bord gjennomgår familiarisering i henhold til ISM-koden hvor batterier og systemer innebefattes. Det blir også tilbudt kurs, i hovedsak digitalt til mannskapet om bord som skal arbeide på en batteribåt. SDIR utgir også opplæringsprosedyrer til mannskap. I tillegg er det viktig at batterirommene holdes ryddige, rene og pene.

*Hvilke hensyn tas i design- og byggefasen for å sikre et sikkert system for å operere hurtigbåter med batteridrift?*

Det er en rekke regelverk som er nødt til å følges, med tanke på krav til batterirom. Rommet skal kles i ikke-brennbart materiale og opprettholde A-60-standard, A-60 standarden gjelder også for tilstøtende rom. Det er lagt inn vifter som skal være med å avkjøle batteriene hvis man ser det oppstår en temperaturstigning på selve batteriet. Batterirommet i seg selv er utstyrt med slukkemiddel for å håndtere en brann som oppstår i rommet, samt andre slukkemidler i fartøyet som er egnet for hvert enkelt område. Det er også avgjørende hvilke IP-krav fartøyene følger. Fartøy som MS Fjordled kan for eksempel ikke bruke watermist, da deres IP-grad ikke dekker kravene om at vann blir tilført batteriene. Vi har sett at regelverket som er gjeldende ved kontraktsigneringen for fartøyet er det som blir gjeldende, selv om regelverket oppdateres.

## Litteraturliste

- Battery University. (2022). *BU-204: How do Lithium Batteries Work?*. Hentet fra: <https://batteryuniversity.com/article/bu-204-how-do-lithium-batteries-work>. (13.01.23)
- Brann & Redning. (2023). Hentet fra: <https://brannredning.com/fagstoff>. (27.04.23)
- Corvus Energy Investigation Team. (2020). *Corvus rapport ytteroyningen*. Hentet fra: [https://static1.squarespace.com/static/5eb54fd0426c1a5fb4b464f7/t/5f7d4f15bbe22e7db31f7cbe/1602047780251/D1\\_P6\\_Lessons+learned+from+the+fire+aboard+the+MF+Ytter%C3%B8yningen+Kjetil+D.+Tranberg%2C+Corvus+Energy.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5eb54fd0426c1a5fb4b464f7/t/5f7d4f15bbe22e7db31f7cbe/1602047780251/D1_P6_Lessons+learned+from+the+fire+aboard+the+MF+Ytter%C3%B8yningen+Kjetil+D.+Tranberg%2C+Corvus+Energy.pdf) (15.01.23)
- Corvus Energy. (u.å.) *MF Festøya*. Hentet fra <https://corvusenergy.com/projects/festoya/> (07.02.23).
- Corvus. (2023) *Intervju* (2023)
- Dalland, & Keeping, D. (2020). *Metode og oppgaveskriving* (7. utgave.). Gyldendal.
- DNV GL. (2016). *DNV GL Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems*. Hentet fra: <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-and-offshore-battery-systems-download.html> (22.01.23)
- DNV. (2021). Rules for classification, Part 5 Ship types, Chapter 1 Passenger craft. Hentet fra: [https://standards.dnv.com/explorer/?\\_ga=2.57048745.2056095145.1676031760-2019352990.1673436428](https://standards.dnv.com/explorer/?_ga=2.57048745.2056095145.1676031760-2019352990.1673436428) (12.01.23)
- DNV. (2022). Rules for classification, Part 6 Additional class notations Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems. Hentet fra: [https://standards.dnv.com/explorer/?\\_ga=2.57048745.2056095145.1676031760-2019352990.1673436428](https://standards.dnv.com/explorer/?_ga=2.57048745.2056095145.1676031760-2019352990.1673436428) (12.01.23)
- DSB, Andreas Sæter Bøe, Karin Glansberg. (2019). *Brannrisiko ved lagring av ikke-tilkoblede litium-ion og litiumbatterier*. Hentet fra: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rise-rapport-2019\\_98-brannrisiko-lagring-ikke-tilkoblede-litium--litium-ion-batterier.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rise-rapport-2019_98-brannrisiko-lagring-ikke-tilkoblede-litium--litium-ion-batterier.pdf) (15.01.23)
- DSB, Vestfold Interkommunale Brannvesen IKS. (2021). *Rapport – Evaluering av hendelse på MS Brim*. Hentet fra:

<https://www.dsb.no/contentassets/bce03c99dac5435db25edeca70bb5c08/rapport---evaluering-av-hendelse-pa-ms-brim-versjon-1.0---20.05.20211-.pdf.pdf> (17.01.23)

DSB. (2021). *Risikovurdering og håndtering av branner i Litium-ion batterier*. Hentet fra <https://www.dsb.no/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieell/risikovurdering-og-handtering-av-branner-i-litium-ion-batterier/> (14.01.23)

EMSA European Maritime Safety Agency. (2020) *Study on electrical energy storage for ships*. Hentet fra: <https://emsa.europa.eu/csn-menu/items.html?cid=14&id=3895> (22.01.23)

Flying Foil AS, John Martin Kleven Godø, Jarle Vinje Kramer. (2018/2019). *Batteridrift på alle hurtigbåtruter i Trøndelag*. Hentet fra: <https://www.trondelagfylke.no/contentassets/bd8d4260feb14f6bb7503ddc6360e168/flying-foil-sluttrapport-offentlig.pdf> (28.11.22)

Forskning.no, (2022). *Her tar batteriet fyr*. Hentet fra: <https://forskning.no/sikkerhet-skipsfart/her-tar-batteriet-fyr/2012072> (15.01.23)

Gunvaldsen, Ivar; Mathiesen, Steinar; Rosvold, Knut A, Store norske leksikon. (2021). *Batteri*. Hentet fra: <https://snl.no/batteri> (10.02.23)

IMO. (2023.) *Regulation 3-1 - Structural, mechanical and electrical requirements for ships*. Hentet fra: <https://www.imorules.com/GUID-CF6B8CED-95A4-48DC-98AC-82AA6B7BE643.html>. (03.03.23)

Kolumbus. (2019). *Verdens første hybride hurtigbåt*. Hentet fra: <https://www.kolumbus.no/aktuelt/verdens-forste-hybride-hurtigbat/>

Lingxi Kong and Michael. (2020). *A Look Inside Your Battery: Watching the Dendrites Grow*. Hentet fra: [https://static1.squarespace.com/static/5eb54fd0426c1a5fb4b464f7/t/5f7d4f15bbe22e7db31f7cbe/1602047780251/D1\\_P6\\_Lessons+learned+from+the+fire+aboard+the+MF+Ytter%C3%B8syningen\\_Kjetil+D.+Tranberg%2C+Corvus+Energy.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5eb54fd0426c1a5fb4b464f7/t/5f7d4f15bbe22e7db31f7cbe/1602047780251/D1_P6_Lessons+learned+from+the+fire+aboard+the+MF+Ytter%C3%B8syningen_Kjetil+D.+Tranberg%2C+Corvus+Energy.pdf).(31.01.23)

Lovdata. (2021) *Forskrift Hurtigbåt*. Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-01-05-6>

Lovdata. (2022.) *Forskrift om bygging av skip*. Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-07-01-1072>. (03.03.23)

Magnus Gulbrandsen. Liv Langfeldt. (1997). *Hva er forskningskvalitet*. Hentet fra: <https://nifu.brage.unit.no/nifu-xmlui/bitstream/handle/11250/2425814/NIFUrapport1997-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (22.05.23)

MAN Energy Solutions. (2019) Batteries on board ocean-going vessels. Hentet fra: [https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/batteries-on-board-ocean-going-vessels.pdf?sfvrsn=deaa76b8\\_14](https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/batteries-on-board-ocean-going-vessels.pdf?sfvrsn=deaa76b8_14) (22.01.23)

Maritime Battery Forum. (2023). *Maritime Batteries 101*. <https://www.maritimebatteryforum.com/> (13.02.23)

Merethe Ruud. (2018). Hvordan fungerer litiumholdige batterier? Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/hvordan-fungerer-litiumholdige-batterier-br/454352/>. (15.01.23)

Miljødirektoratet. (2020). *Ombygging av hurtigbåt til batterielektrisk drift*. Hentet fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2020/ombygging-av-hurtigbat-til-batterielektrisk-drift/> (07.02.23)

Norges Rederiforbund, (2020). *Null utslipp i 2050*. Hentet fra: [https://www.rederi.no/contentassets/a31b8c0402244e7c880ee0a6bcdbac7a/2020klimarapport\\_web.pdf](https://www.rederi.no/contentassets/a31b8c0402244e7c880ee0a6bcdbac7a/2020klimarapport_web.pdf)

Norled, (2021). *Ny batteribytte løsning kan revolusjonere elektriske hurtigbåter*. Hentet fra: <https://www.norled.no/nyheter/batteribytte/> (10.02.23)

Norled. (2023) *Kontakt via epost/intervju* (2023)

Norled. (u.å.) *MF Festøya*. Hentet fra: <https://www.norled.no/contentassets/774b856cd8934499a8dbc94b21361878/produktark---ferje-2020-festooya.pdf> (07.02.23)

Norled. (u.å.) *MS Fjordled*. Hentet fra: <https://www.norled.no/contentassets/dddfc6b671764f098bbdf5987a90339d/produktark---ms-fjordled.pdf> (07.02.23)

Nortronik. (u.å.). *Novec 1230*. Hentet fra: <https://nortronik.com/tjenester-brannsikring/slokkeanlegg/novec-1230/> (20.01.23)



Ola Nilsen. (2010). *Hvordan fungerer et batteri*. Hentet fra:  
<https://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/tema/batterier/artikler/batteriprinsipp.html>.  
(02.02.23)

Partner Group, (2019). Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression. DNV Hentet fra: <https://www.dnv.com/Publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062> (22.01.23)

Prosedyre Norled (16.02.2023). Utdrag fartøyshåndbok MF Tidefjord. (16.02.2023)

Regjeringen, Tuva Raanes Bognes, 1994) *Hurtigbåter i Norge*. Hentet fra:  
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-1994-9/id139452/sec4> (22.05.23)

SDIR. (2022) *Batterisikkerhet*. Hentet fra  
<https://www.sdir.no/contentassets/967c01d19a6d4d4c8e7863371d551ee9/1.-batterisikkerhet-oppdatering-arne-brathole-sjofartsdirektoratet.pdf?t=1676032563058> (13.01.23)

SDIR. (2022). *Batterisikkerhet*. Hentet fra:  
<https://www.sdir.no/contentassets/967c01d19a6d4d4c8e7863371d551ee9/1.-batterisikkerhet-oppdatering-arne-brathole-sjofartsdirektoratet.pdf> (28.11.22)

SDIR. (2022). *Veiledning for elektriske energilagringssystemer (maritime EES-systemer) på norske skip med lengde (L) under 24 meter*. Hentet fra:  
<https://www.sdir.no/sjofart/regelverk/rundskriv/veiledning-for-elektriske-energilagringssystemer-maritime-ees-systemer-pa-norske-skip-med-lengde-l-under-24-meter/>  
(11.01.23)

SDIR. (2022). *Veiledning til krav til opplæring om kjemiske lager for energi (maritime batterisystemer) om bord i norske skip*. Hentet fra:  
<https://www.sdir.no/sjofart/regelverk/rundskriv/veiledning-til-krav-til-opplaring-om-kjemiske-lager-for-energi-maritime-batterisystemer-om-bord-i-norske-skip/> (11.01.23)

SDIR. (2023) *Kontakt via epost/intervju* (2023)

Skipsrevyen. (2022). *MS «Medstraum» er Ship of The Year*. Hentet fra:  
<https://www.skipsrevyen.no/medstraum-ms-medstraum-ship-of-the-year/ms-medstraum-er-ship-of-the-year/1426888>

snl. Ivar Gunvaldsen. Steinar Mathiesenn. Knut A. Rosvold. (2023). *Batteri*. Hentet fra:  
<https://snl.no/batteri> (09.02.23)

Statens Havarikommisjon. (2022). *Rapport om brann om bord MS Brim i Ytre Oslofjord 11. mars 2021*. Hentet fra <https://havarikommisjonen.no/Sjofart/Avgitte-rapporter/2022-08> (17.01.23)

Svartdal, Frode. (2019.) *Feilkilder i forskning*. Hentet fra [http://snl.no/feilkilder\\_i\\_forskning](http://snl.no/feilkilder_i_forskning) (21.02.23)

Transportøkonomisk institutt. (2014). *Vegen mot klimavennlig transport*. Hentet fra: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=36652> (23.01.23)

Vest brann og redningsregion. (2019). *Evalueringsrapport-brann-i-mf-ytteroyningen*. Hentet fra [Evalueringsrapport \(dsb.no\)](#) (14.01.23)

Wang, H., Boulougouris, E., Theotokatos, G., Priftis, A., Shi, G., Dahle, M. & Tolo, E. (2020). *Risk Assessment of a Battery-Powered High-Speed Ferry Using Formal Safety Assessment*. Hentet fra [https://mdpi-res.com/d\\_attachment/safety/safety-06-00039/article\\_deploy/safety-06-00039.pdf?version=1598435625](https://mdpi-res.com/d_attachment/safety/safety-06-00039/article_deploy/safety-06-00039.pdf?version=1598435625) (06.01.23)

## Figurliste

Figur 1 Klimagasser per km ved bruk av fossilt drivstoff (Transportøkonomisk institutt, 2014) .....	6
Figur 2 General arrangement av maskinrom på MS Brim (Vestfold Interkommunale Brannvesen IKS, 2021).....	9
Figur 3 SHIFTR, Norleds batteribyttesløsning på hurtigbåter (Norled, 2021) .....	10
Figur 4 Regelverk om elektriske installasjoner (DNV, 2022) .....	12
Figur 5 IP-krav (SHK, 2022) .....	17
Figur 6 Litium-ion batteri (Ola Nilsen, 2010) .....	19
Figur 7 Litium-ion batteri (DNV GL, 2016).....	20
Figur 8 Blyakkumulator (snl, 2020).....	20
Figur 9 Hel-elektrisk fremdriftsløsning .....	22
Figur 10 Oversikt over fartøy med batteri (Maritim Battery Forum, u.å.) .....	23
Figur 11 Oversikt over skip med batteriløsninger (Maritime Battery Forum, 2023) .....	23
Figur 12 Batteribruk i forskjellige segmenter og deres lokasjon (Maritime Battery Forum, (2023).....	24
Figur 13 Oversikt over fartøy med batteri om bord i verden (DNV, 2023).....	24
Figur 14 Oppbygning til et batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023) .....	25
Figur 15 Modul og cellenivå (Corvus, 2023).....	27
Figur 16 Forskjellige ventilasjonssystemer (Maritime Battery Forum, 2023) .....	27
Figur 17 Luftkjølt batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023) .....	28
Figur 18 Luft og væskekjølt batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023) .....	28
Figur 19 Væskekjølt batterisystem (Maritime Battery Forum, 2023) .....	28
Figur 20 Årsak til thermal runaway (DSB, 2021).....	32
Figur 21 Forskjell på intern og ekstern brann (Maritime Battery Forum, 2023).....	36
Figur 22 MS Brim (Maritime Partner, 2019) .....	39
Figur 23 Ventilasjonsarrangement i batterirom (SHK, 2022) .....	40
Figur 24 MF Ytterøyningen Foto:Jonn Karl Sætre/ Kvinnheringen, 2019.....	41
Figur 25 Rominndeling under hoveddekk på MF Ytterøyningen (Vest brann og redningsregion, 2019) .....	41
Figur 26 Utsnitt av tegning av aktuelt dekk (Vest brann og redningsregion, 2019).....	42

Figur 27 Varmeutvikling om bord å MF Ytterøyningen Utsnitt av tegning av aktuelt dekk (Vest brann og redningsregion, 2019) .....	43
Figur 28 MS Medstraum, Fjellstrand (2022) .....	44
Figur 29 Utklipp Fire Control Plan MS Medstraum.....	44
Figur 30 Fire control plan, MS Medstraum (Fjellstrand, 2022) .....	45
Figur 31 Fire control plan, MS Medstraum (Fjellstrand, 2022) .....	45
Figur 32 Fire control plan, MS Medstraum (Fjellstrand, 2023) .....	46
Figur 33 MF Festøya (Foto: Eget) .....	46
Figur 34 Batterisystem om bord på MF Festøya (Foto: Eget).....	47
Figur 35 Oversikt over systemer (Foto: Eget) .....	47
Figur 36 Tavlerom om bord på MF Festøya (Foto: Eget). .....	48
Figur 37 Ventilasjonssystem om bord på MF Festøya (Foto: Eget).....	49
Figur 38 MF Tidefjord (Foto: Eget).....	49
Figur 39 Batteripakke om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget).....	50
Figur 40 Tank for ferskvann om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget).....	51
Figur 41 Brannpumpe om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget).....	52
Figur 42 Vann og branntett dør om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget) .....	52
Figur 43 Ventilasjonssrør om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget).....	53
Figur 44 Oversikt over systemer om bord på MF Tidefjord (Foto: Eget) .....	53
Figur 45 MS Fjordled (Norled, 2023).....	54
Figur 46 Slukkesystem om bord på MS Fjordled (Foto: Eget).....	54
Figur 47 Ventilasjonssystem om bord på MS Fjordled (Foto: Eget).....	55
Figur 48 Ventilasjonssinnløp på MS Fjordled (Foto: Eget) .....	56
Figur 49 Brannvern om bord på MS Fjordled (Foto: Eget).....	56
Figur 50 Babord Batterirom om bord på MS Fjordled (Foto: Eget).....	57
Figur 51 Utlufting babord side om bord på MS Fjordled (Foto: Eget).....	57
Figur 52 Risikoanalyse (EMSA, 2019).....	59
Figur 53 Forklaring risikoer (EMSA, 2019) .....	60
Figur 54 Utsnitt fra risikoanalyse (EMSA, 2019).....	61

