



Avgitt juli 2022

RAPPORT SJØFART 2022/08

***Brann om bord MS Brim i Ytre Oslofjord
11. mars 2021***

 This report is also available in English

Statens havarikommisjon (SHK) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre sjøsikkerheten.

Formålet med en sikkerhetsundersøkelse er å klarlegge hendelsesforløp og årsaksfaktorer, utrede forhold av betydning for å forebygge sjøulykker og bedre sjøsikkerheten, og offentliggjøre en rapport med eventuelle sikkerhetstilrådinger. Det er ikke Havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar.

Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sjøsikkerhetsarbeid bør unngås.

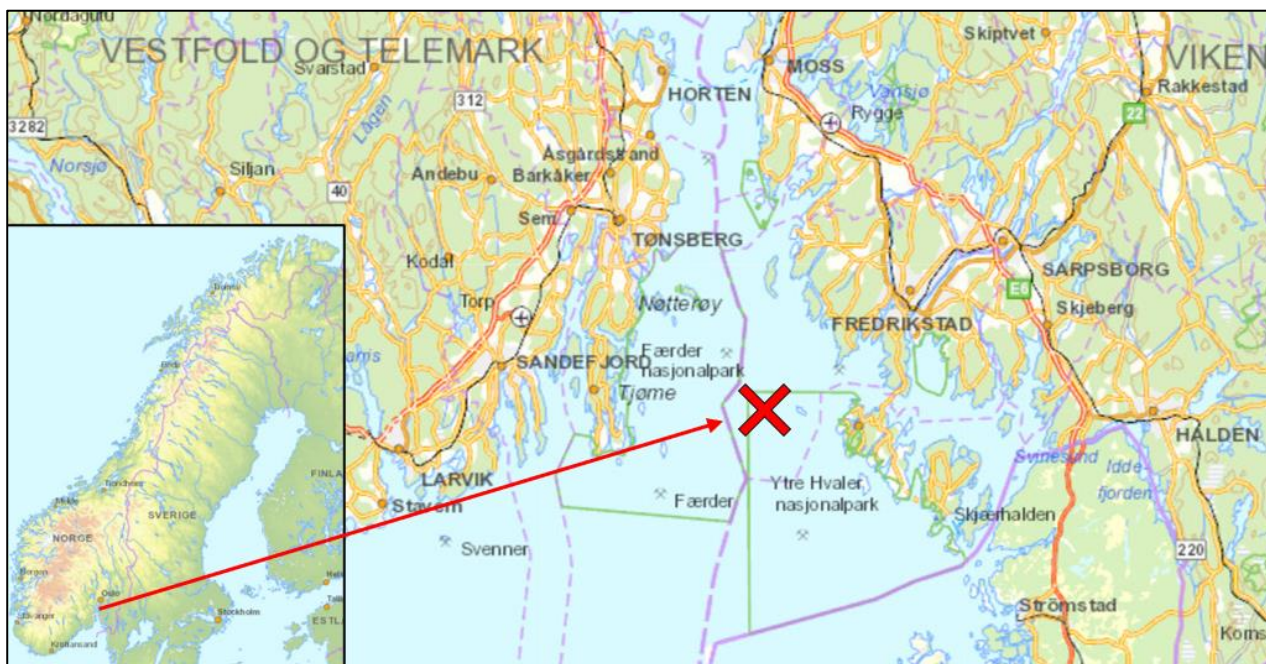
Innholdsfortegnelse

MELDING OM HENDELSEN	4
SAMMENDRAG	5
OM UNDERSØKELSEN	6
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER	8
1.1 Hendelsesforløp.....	8
1.2 Skader på fartøy og materiell	13
1.3 Vær og sjøforhold	15
1.4 Farvannsbeskrivelse	15
1.5 Fartøy	15
1.6 Besetning.....	32
1.7 Spesielle undersøkelser.....	33
1.8 Rederiet og sikkerhetsstyring	49
1.9 Regelverk.....	50
1.10 Tilsyn med rederi og fartøy.....	54
1.11 Andre aktører	56
1.12 Tidligere ulykker med hybridfartøy	56
1.13 Iverksatte tiltak	57
2. ANALYSE	60
2.1 Innledning	60
2.2 Hendelsesforløp.....	60
2.3 Brannteknisk analyse	61
2.4 Design av batterisystem og batterirom	62
2.5 Aktørenes samhandling i forbindelse med tidligere hendelser	67
2.6 Oppfølging og godkjenning av Sjøfartsdirektoratet	67
2.7 Vurdering av ekstern brannberedskap	68
3. KONKLUSJON	71
3.1 Hovedkonklusjon.....	71
3.2 Undersøkelserresultater	71
4. SIKKERHETSTILRÅDINGER	74
VEDLEGG	77

Melding om hendelsen

Statens havarikommisjon (SHK) fikk melding om ulykken fra Sjøfartsdirektoratet 11. mars 2021 kl. 1805. Tidligere på dagen, kl. 1545, hadde fartøyet sendt ut mayday etter røykutvikling i det ene batterirommet. Ulykken medførte at besetningen på fire ble evakuert og fartøyet ble slept til Vallø i Tønsberg. Se figur 1 for ulykkesstedet.

SHK besluttet å gjennomføre en sikkerhetsundersøkelse av ulykken. Representanter fra rederiet og mannskapet som var om bord under ulykken ble intervjuet og den 18. mars 2021 reiste SHK til Vallø i Tønsberg for å undersøke fartøyet.



Figur 1: Ulykken skjedde i Ytre Oslofjord på vei fra Sarpsborg til Sandefjord. Kart: Kystinfo, Kystverket/SHK

Sammendrag

Torsdag 11. mars 2021 seilte hybridfartøyet Brim i Ytre Oslofjord, da brannalarmen og brannpanelet indikerte brann i både styrbord maskin- og batterirom. Maskinisten åpnet derfor døren til styrbord maskinrom og bekreftet røykutvikling, noe skipperen også observerte på kameraovervåkning. Brannslukkingsmiddelet Novec ble først utløst i maskinrommet, og deretter i batterirommet. Dette hadde en midlertidig reduserende effekt på røykutviklingen. Redningsfartøy ankom fartøyet og bidro med evakuering og slep av fartøyet til land. Brannslukking og kontroll av fartøyet pågikk i flere dager, før fartøyet ble ansett som trygt nok til å gå om bord i.

Branntekniske undersøkelser viste at brannen startet i batteristreng 6 i modul 1. Sjøvann trengte med stor sannsynlighet inn gjennom ventilasjonsuttaket i tunnelen, og rant videre gjennom ventilasjonsviften og ned på batteriene. Dette førte til kortslutninger og lysbuer med påfølgende brann.

Havarikommisjonens undersøkelse har vist at plasseringen av ventilasjonsutløpet i tunnelen var ugunstig og uten tilstrekkelige tiltak for å forhindre vanninntrenging. Verken verftet, DNV eller Sjøfartsdirektoratet identifiserte at ventilasjonsviften i batterirommet var et lekkasjepunkt med tanke på sjøvanninntrenging. Fribordsplanen manglet viktig informasjon om fyllingspunkter fra ventilasjonssystemet til batterirommet. Dette medførte at de som godkjente fribordsplanen i Sjøfartsdirektoratet ikke var kjent med at ventilasjonsutløpet var plassert i tunnelen. Rederiet har i etterkant av ulykken gjennomført flere tiltak på ventilasjonsanlegget.

Videre har undersøkelsen vist at den lave beskyttelsesgraden på batterisystemet bidro til at saltholdig væske kunne trenge inn i batterimoduler og høyspenningsdeler¹. En høyere IP-grad (beskyttelsesgrad) ville redusert konsekvensen av vanninntrengingen. Havarikommisjonen mener regelverket ikke tilstrekkelig ivaretar behovet for IP-sikring av batterisystemet.

Brannskillet forhindret ikke røykspredning mellom batteri- og maskinrommet, noe som bidro til at mannskapet ikke forstod hvor brannen oppstod. Den feilaktige oppfattelsen av at det brant i maskinrommet medførte at det tok ca. syv minutter før Novec ble utløst i batterirommet. Utløsning av brannslukkemiddelet må skje raskt og automatisk for å ha noen effekt. Havarikommisjonen mener det er et sikkerhetsproblem at det ikke eksisterer et tilstrekkelig slokkealternativ for litium-ion batterier.

Risikoanalysen for batterisystemet gjenspeilet ikke den reelle risikoen for systemet. Havarikommisjonen mener en risikoanalyse bør inneholde alle relevante farer som til sammen utgjør den totale risikoen fra batterisystemet. Dette bør utføres av de ulike fagdisiplinene.

Batterisikkerhet som helhet ble ikke tilstrekkelig ivaretatt av regelverket og ingen oppdaget farene med sjøvanninntrenging via ventilasjonsarrangementet. Basert på hvordan regelverket er utformet i dag, kan samme feil gjenta seg. Sjøfartsdirektoratet har ikke et eget regelverk for batterisikkerhet, men baserer seg på klasseregler. Klaseselskapene kan ha ulike krav til batterisikkerhet, noe som kan medføre at fartøy har ulik standard på batterisikkerhet. Sjøfartsdirektoratet har forvaltningsansvaret og må sørge for at sikkerheten ivaretas uavhengig av hvilket klasseregulativ som benyttes.

Havarikommisjonen fremmer totalt syv sikkerhetstilrådinger som følge av undersøkelsen.

¹ SHK omtaler høyspenning i denne rapporten som spenning mellom 500 og 770 V DC.

Om undersøkelsen

Formål og metode

Havarikommisjonen har klassifisert hendelsen som en alvorlig ulykke. Hensikten med denne undersøkelsen har vært å klarlegge hva som førte til brannen om bord. Videre har Havarikommisjonen utredet hva som kan bidra til å øke sikkerheten, og dermed forhindre lignende ulykker og skadeomfang i fremtiden.

Ulykken og omstendighetene rundt denne er undersøkt og analysert i tråd med Havarikommisjonens sikkerhetsfaglige rammeverk og analyseprosess for systematiske undersøkelser (NSIA-metoden²).

Undersøkelsens fokus og avgrensning

Undersøkelsen har hatt spesielt fokus på å forstå hvorfor brannen oppstod, håndteringen av denne og hvilke operative og designmessige forhold som kan ha vært medvirkende ved det anvendte batterisystemet.

Informasjonskilder

De faktiske opplysningene er basert på intervjuer med fartøyets besetning, tekniske undersøkelser om bord, logg fra batterisystemet, aksjonslogg fra Hovedredningssentralen, logg fra Kystverkets automatiske identifikasjonssystem (AIS), informasjon og rapporter fra Sjøfartsdirektoratet, politi og brannvesen, forsikringsselskapet og relevante aktører i forbindelse med prosjektering og bygging av fartøyet.

Undersøkelserapporten

Rapportens første del, Faktiske opplysninger, beskriver hendelsesforløpet, tilhørende data og informasjon som er innhentet i forbindelse med ulykken, samt gjennomførte undersøkelser og tilhørende funn.

Andre del av rapporten, Analyse, omhandler Havarikommisjonens vurderinger av hendelsesforløpet og medvirkende faktorer basert på faktiske opplysninger og gjennomførte undersøkelser. Omstendigheter og faktorer som er funnet å være mindre relevant for å forklare og forstå ulykken, drøftes ikke i dybden.

Rapporten avrundes med Havarikommisjonens konklusjoner og sikkerhetstilrådinger.

² NSIA – Norwegian Safety Investigation Authority. Se <https://havarikommisjonen.no/Om-oss/Metodikk>

1. Faktiske opplysninger

1.1 Hendelsesforløp	8
1.2 Skader på fartøy og materiell	13
1.3 Vær og sjøforhold	15
1.4 Farvannsbeskrivelse	15
1.5 Fartøy	15
1.6 Besetning	32
1.7 Spesielle undersøkelser	33
1.8 Rederiet og sikkerhetsstyring	49
1.9 Regelverk	50
1.10 Tilsyn med rederi og fartøy	54
1.11 Andre aktører	56
1.12 Tidligere ulykker med hybridfartøy	56
1.13 Iverksatte tiltak	57

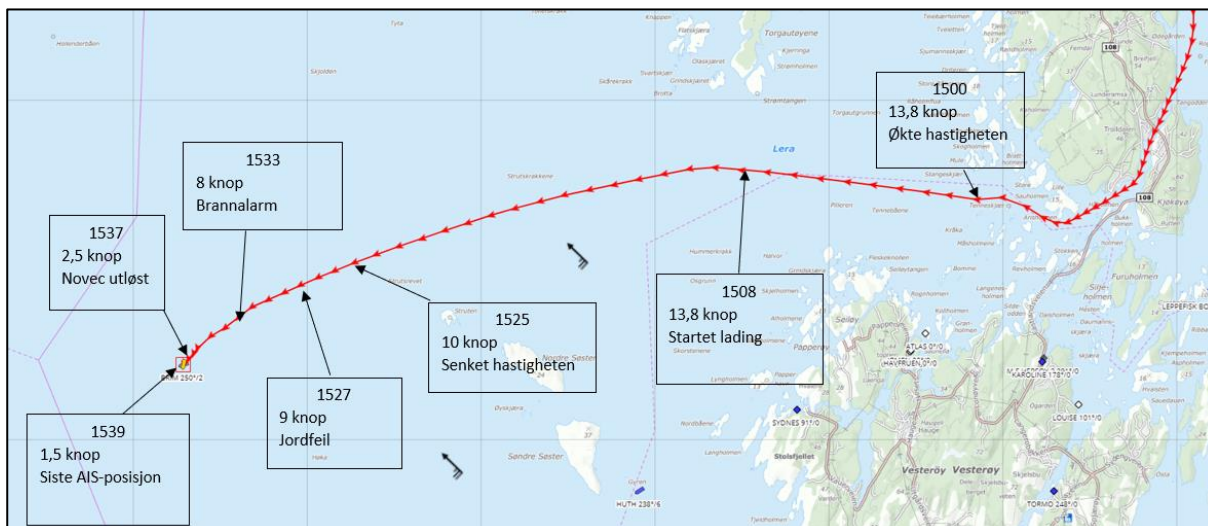
1. Faktiske opplysninger

1.1 Hendelsesforløp

1.1.1 ULYKKEN

Onsdag 10. mars 2021 lå hybridfartøyet Brim i Fredrikstad for å lade batteriene over natten. Morgenen etter skulle fartøyet seile til Sarpsborg for et planlagt arrangement. Torsdag 11. mars, etter arrangementet, ble kursen satt mot Sandefjord. Mannskapet på fire var forberedt på litt dårlig vær i Oslofjorden, og hadde gjort fartøyet sjøklart og sjekket batteri- og maskinrommene før avreise. Styrmannen, som også fungerte som maskinist om bord, seilte nedover Glomma og benyttet i dette tidsrommet elektrisk fremdrift. Ute av Glomma ble dieselmotorene startet for å lade batteriene.

Da fartøyet seilte ut i Oslofjorden ca. kl. 1500 økte skipperen farten for å starte ladingen, men senket farten kl. 1525 på grunn av mer sjø. Vind og bølger fra sør-øst slo inn på fartøyets babord side og mannskapet oppfattet at bølgene slo oppunder katamaranens tunnel. Figur 2 viser AIS-spor for Brim på ulykkesdagen.



Figur 2: AIS-spor fra fartøyet. Tidspunkter er tatt fra intervjuer og EMS-logg da det var dette mannskapet observerte, men disse avviker fra BMS-tidspunktene. Kart: Kystinfo, Kystverket/SHK

Ca. kl. 1527, da batteriet hadde ladet i ca. 20 minutter, koblet alle de 12 batteristrengene³ seg ut og det ble sendt en alarm til EMS⁴-panelet på bro. Dette vurderte skipperen og maskinisten som en jordfeil på panelet. Skipperen startet feilsøking på broa, men oppfattet at alle systemene var operative. Han antok videre at det ikke var en kritisk jordfeil, da dette var noe de hadde erfart på turer flere ganger tidligere. Etter ca. to minutter med feilsøking tok skipperen over styringen slik at maskinisten kunne gå ned til babord maskinrom for å undersøke feilmeldingen ytterligere på BMS⁵-panelet som var lokalisert der.

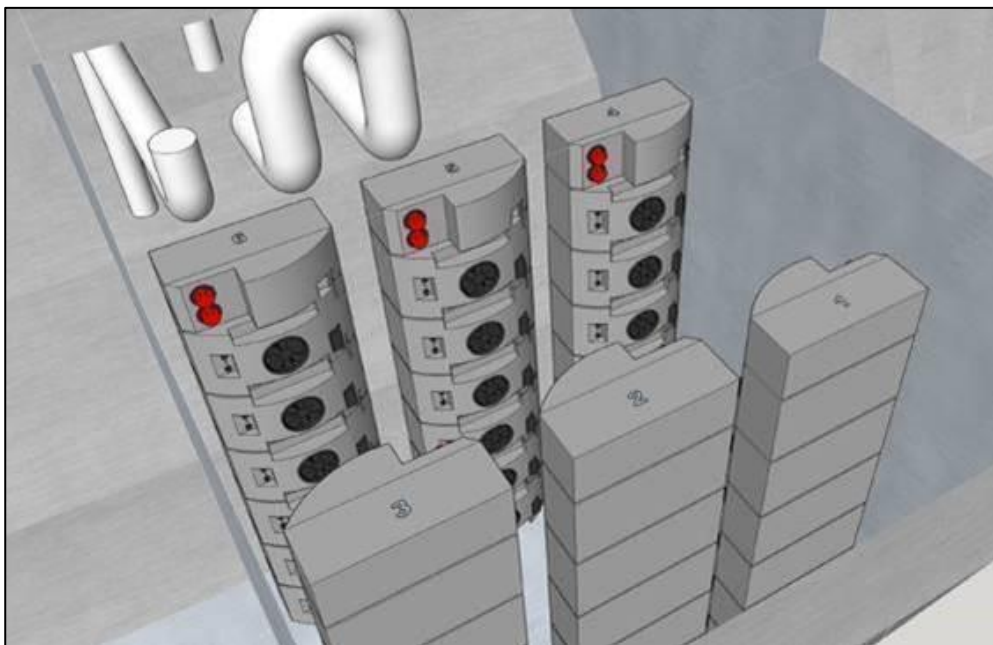
³ Batterisystemet er delt inn i 12 strenger/hyller som hver har 6 batterimoduler. Disse er fordelt likt i styrbord og babord batterirom

⁴ Energy Management System. Dette systemet mottar informasjon fra BMS (Battery Management System) og viser denne på broa.

⁵ Battery Management System. Dette er et system som omfatter kontroll, overvåkning og beskyttelsesfunksjoner til batterisystemet. Dette panelet er lokalisert i babord maskinrom.

Skipperen senket hastigheten da EMS-systemet også varslet om en alvorlig systemfeil «BMS serious». I BMS-systemet ble det registrert at en modul i batteristreng 6 var overopphetet, noe som ble angitt som en alvorlig feil på broa. Figur 3 viser de seks batteristrengene i batterirommet. Alarmen ga ingen ytterligere detaljer og måtte derfor undersøkes videre ved å lese av direkte fra BMS-panelet i maskinrommet på babord side.

Kort tid etter, ca. kl. 1533 gikk brannalarmen om bord. Skipperen så at brannalarmsentralen på broa indikerte at det var brann både i maskin- og batterirom på styrbord side.



Figur 3: Seks batteristrenger bestående av batterimoduler i et av batterirommene.
Illustrasjon: Batterileverandøren

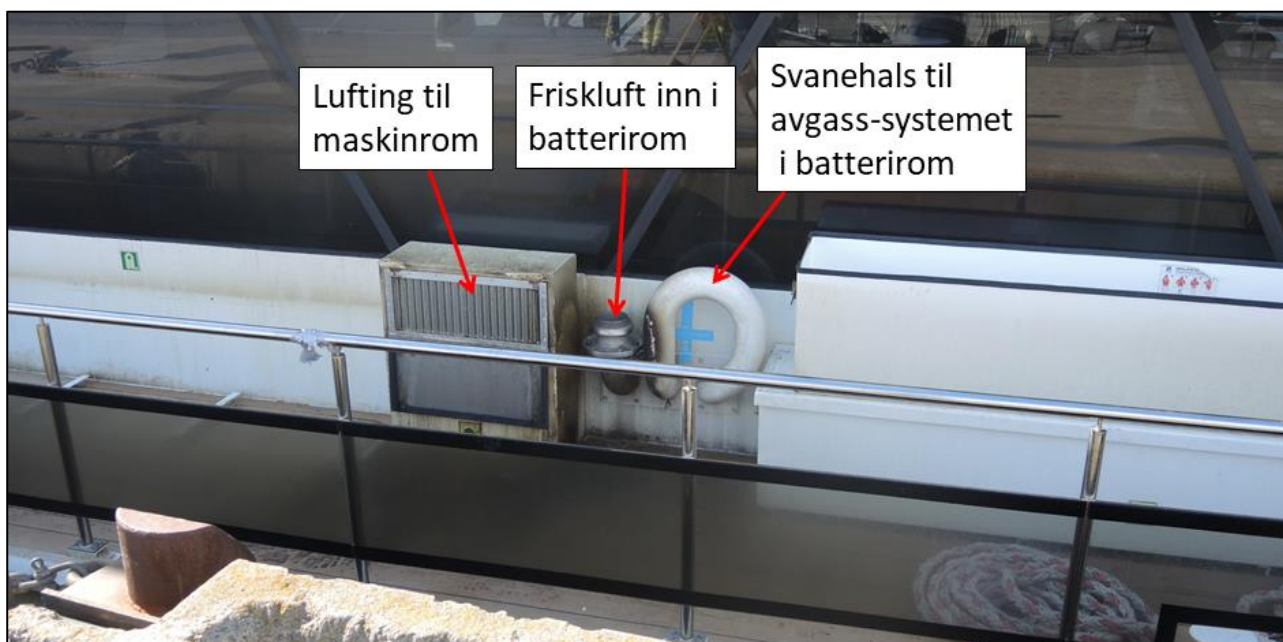
Videre undersøkte skipperen motorstatus via styringspanelet og overvåket maskinrommet ved hjelp av kamera som var installert i rommet. Trykk og temperatur på dieselmotorene viste normale verdier.

Matrosene som befant seg på hoveddekket kontaktet skipper for å få informasjon om hvorfor brannalarmen gikk. De fikk beskjed om at maskinisten skulle ned til maskinrommet for å undersøke. På vei ned til maskinrommet mistet de strømmen, men den kom tilbake etter ca. ett minutt. Det var ingen indikasjon på forbruk fra batteripakken på EMS-panelet på broa. Den ene matrosen møtte maskinisten på hoveddekk på vei ned til babord maskinrom. Maskinisten så at det var mange alarmer som gikk på BMS-panelet, men at alt så normalt ut på panelet for 230 V. Han konstaterte at lyset som indikerte at nødgeneratoren hadde startet var på. Maskinisten opplevde at det var utfordrende å kommunisere på samband fra maskinrommet til broa på grunn av støyen fra alarmene.

Maskinisten gikk deretter over for å sjekke på styrbord side og åpnet døren til maskinrommet. Der oppdaget han mye røyk som kom i retning fra nødgeneratoren. Det luktet av elektrisk brann og røyken var brun-/gulaktig. Omtrent samtidig observerte skipperen røykutvikling på kameraet lokalisert i styrbord maskinrom. Det var ikke installert kameraer i batterirommet så skipperen fikk ikke verifisert om det var røyk også i dette rommet. Maskinisten lukket raskt døra til maskinrommet, løp opp til bro og meldte ifra til skipperen om røykutvikling, men at han ikke kunne se noen flammer i maskinrommet. Skipperen vurderte at det var brann i maskinrommet basert på observasjoner om røyk på kamera, utløsning av brannalarmen og informasjon fra maskinisten.

Kl. 1535 iverksatte skipperen derfor tiltak i henhold til prosedyre om brann. Matrosene fikk beskjed om å klargjøre brannslangene på akterdekket. Maskinisten stoppet ventilasjonen, og lukket vanntette dører og brannspjeld på styrbord side. Skipperen aktiverte nødstopp på styrbord hovedmotor.

Etter dette hjalp maskinisten matrosene med tilkobling av brannslangene. En av matrosene meldte til skipperen at brannslangene var klargjort og at skipperen kunne starte brannpumpene for å få vanntrykk, men ingen av brannpumpene fungerte. På dette tidspunktet observerte mannskapet at det kom mye røyk ut fra lufterventilene på styrbord side, se figur 4. Den ene matrosen ble uvel og kvalm av å puste inn røyken. Mannskapet på hoveddekket gikk derfor opp på broa.



Figur 4: Ventilasjonen til maskinrom og batterirom på styrbord side av Brim. Foto: SHK

I samråd med maskinisten besluttet skipperen at drivstofftilførsel på styrbord side skulle stenges i frykt for at det var en dieselbrann i maskinrommet.

Det var mye støy fra ulike alarmer på broa og den ene matrosen kvitterte ut disse for å redusere støyen. Kl. 1537 utløste skipperen brannsløkkeanlegget i styrbord maskinrom. To av fire flasker med det brannhemmende stoffet Novec™ ble utløst, men røykutviklingen avtok ikke. Skipperen tenkte da at røyken kom fra batterirommet og utløste de to siste flaskene med Novec i batterirommet ca. kl. 1540. Det ble observert at røykutviklingen avtok noe etter dette.

Som følge av at drivstofftilførselen var stengt, stoppet etter hvert nødgeneratoren som var lokalisert på styrbord side, og fartøyet mistet styringen og skjermer og paneler sviktet. Kl. 1539 gikk fartøyet over på nødstrøm, og kun de viktigste elektriske komponentene var i drift. Skipperen forsøkte å styre fartøyet mot Tjøme med babord maskin og bølgeretningen som retningsstabilisering.

Kl. 1541 varslet skipperen om nød på VHF kanal 16. Nødmeldingen ble besvart av Hovedredningssentralen (HRS) og skipperen fikk forklart situasjonen. Maskinisten overtok styringen av fartøyet. Skipperen fortsatte å observere og kommunisere fra broa, mens matrosene klargjorde redningsdrakter.

1.1.2 REDNINGSAKSJONEN

Kl. 1550 klarte ikke mannskapet å holde kurs på fartøyet og maskinisten stanset all fremdrift inntil redningsassistanse ankom. En lastebåt og en losbåt ankom kort tid etter. Røykutvikling avtok noe på utsiden av skutesiden og mannskapet antok derfor at situasjonen var forbedret, og meldte dette til HRS. Losbåten ble bedt om å være stand-by for evakuering og det ble klargjort for slep.

Ca. kl. 1610 tiltok røykutviklingen igjen, og maskinisten ga beskjed om dette til skipper og returnerte til broa.

Redningsfartøyet RS 172 ankom ulykkesstedet kl. 1613, og fikk beskjed om at det sannsynligvis var brann i batterirommet på styrbord side. De startet å kjøle ned skroget ved batterirommet med vannkanon.

Mannskapet tok på overlevelsesdrakter og forberedte evakuering. Losbåten fikk beskjed om å ta om bord matrosene, og de evakuerte over i denne ca. kl. 1615. Skipper og maskinist ønsket å fortsette observasjon og kontrolltiltak om bord på fartøyet.

Gjenværende mannskap evakuerte til losbåten kl. 1638, og ble fulgt opp av Røde Kors. Maskinisten ble tatt med til sykehuset for videre sjekk.

Mannskap fra Fredrikstad brann- og redningskorps forsøkte å komme seg i redningsskøyta kl. 1708, men på grunn av høy sjø lyktes de ikke. Redningsfartøyet fikk sleper om bord kl. 1732 og Brim ble slept til Vallø utenfor Tønsberg, hvor de ankom kai kl. 1934. Mannskaper fra Vestfold Interkommunale Brannvesen entret Brim kort tid etter.

1.1.3 SLOKKEARBEIDET

Ca. kl. 1940 ble det iverksatt kjemikaliedykk i fartøyet for å måle gass, temperatur og for å få bedre oversikt over situasjonen i styrbord skrog. I maskinrommet ga gassmåleren utslag på karbonmonoksid (CO) og eksplosjonsfarlige gasser, og temperaturen på døra til batterirommet ble målt til ca. 30 °C.

Tidlig fredag morgen 12. mars ble det besluttet at brannmannskapet skulle ta seg inn i fartøyet for å foreta relevante målinger av blant annet hydrogenfluorid. Kjemikaliedykkerne fikk utslag og alarm på CO og hydrogensulfid (H₂S) i salongen og trakk seg derfor ut.

Fredag morgen ble det satt stab på brannstasjonen og innsatsleder politi, innsatsleder helse, representant fra Kystverket, Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), rederi, batteriprodusent, forsikringsselskap og rådgivere fra Oslo brann- og redningsetat deltok i et møte. Det ble på dette tidspunktet konstatert at den største faren var eksplosjon. Det ble opprettet en 300 meter sikkerhetssone (se figur 5) og satt ut lenser for å sikre farleden og eventuell akutt forurensning.



Figur 5: Området rundt Brim. Foto: Vestfold Interkommunale Brannvesen IKS

Det ble bestemt at farlige gasser skulle suges ut av fartøyet samtidig som det skulle tilføres nitrogen for å fortrenge oksygenet i luften og forhindre en eksplosiv gassblanding i skroget. Det var ikke tilrettelagt for den foreslåtte løsningen om bord på fartøyet. Det måtte derfor utarbeides en løsning for så å suges gass ut gjennom ventilasjonssystemet fra batterirommet.

Lørdag 13. mars var pumpebil og nitrogenbil på plass. Søndag 14. mars ble det gjennomført en risikovurdering av plan og oppdragsprosedyre med blant annet mannskap som skulle utføre arbeidet.

Organisering av skadested ble startet mandag morgen den 15. mars. Ved oppstart ble det oppdaget at utstyret som ble konstruert ikke passet på ventilasjonssystemet inn til batterirommet, og at dette måtte utbedres. Tilførsel av nitrogen ble startet ca. kl. 1700. Måleresultatene viste at det ble sugd ut eksplosjonsfarlige gasser og at den eksplosjonsfarlige atmosfæren ble redusert gjennom de tre neste timene.

Tirsdag 16. mars ble det tatt kontinuerlige målinger som viste at det ble sugd ut større mengder med brann- og eksplosive gasser, slik at det ikke lenger var en eksplosiv atmosfære. Det ble derfor vurdert trygt nok til at brannmannskapet kunne gå om bord i fartøyet.

Det ble gjennomført flere gassmålinger i både maskinrommet og batterirommet, som etter hvert ikke ga unormale utslag på gass. Det ble derfor åpnet for naturlig ventilasjon, før de avsluttet sitt arbeid og opphevet sikkerhetssonen. Fartøyet var da regnet som trygt og ble overlevert politiet

Ca. fem døgn etter at brannen startet var fartøyet ufarliggjort, og undersøkelsesarbeidet kunne starte opp.

1.2 Skader på fartøy og materiell

Brannskadene var hovedsakelig i batterirommet og tilstøtende rom. Det var gjennomgående mye sot og sterk lukt over hele fartøyet.

Hele batterirommet ble totalskadet, se figur 6.



Figur 6: Brannskader i styrbord batterirom. Foto: Kripos

Tilstøtende lugar forut i fartøyet ble skadet av røyk som spredte seg gjennom skottet via rørgjennomføringer fra gråvannstanken, som var plassert under dørken i batterirommet, se figur 7 og figur 8.



Figur 7: Tydelige spor av høy varme som har skadet tilstøtende vegg mot batterirom. Foto: Forsikringsselskapet



Figur 8: Gråvannstanken var plassert under dørken i batterirommet. Foto: Forsikringselskapet

Maskinrommet, som var det tilstøtende rommet akterut, hadde spor av både røyk og syreskader, se figur 9.



Figur 9: Skader på materiell fra syre og røyk. Foto: Kripos

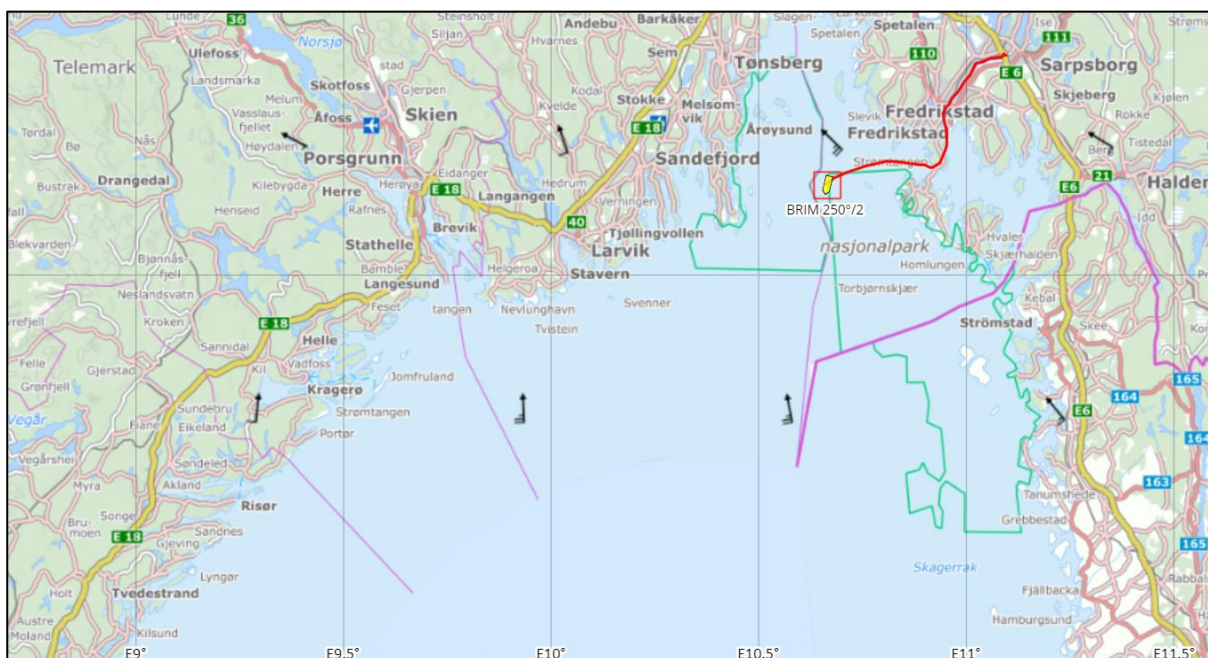
1.3 Vær og sjøforhold

Værvareselet for Indre Oslofjord meldte sørøstlig vind opp i liten kuling på 12 m/s. På ettermiddagen skulle det minke til sørlig bris, og på kvelden skulle vinden dreie vestlig. Det var meldt sludd og snø med overgang til regn, lokalt mye nedbør og moderat til dårlig sikt som følger av nedbør.

Målinger fra værstasjonen på Strømtangen fyr viser at vinden i tidsrommet kl. 1500–1600 var på 8,5 m/s fra sør-øst. I kastene kunne vinden komme opp i 12,2 m/s. Målestasjonen på Færder fyr viste 12–14 m/s, og i kastene var vinden oppe i 18,5 m/s. Temperaturen var på ca. 2 °C. Meldt vindretning i området på ulykkestidspunktet er vist i figur 10.

Ved sydlig vind kan sjøen bygge seg opp i takt med rådende vindstyrke over en forholdsvis lang distanse med åpent farvann. Basert på bølgemodellen for området mellom Hvaler og Tjøme i Oslofjorden var det beregnet en signifikant bølgehøyde på 3–4 m. Frem til ca. kl. 1500 var dominerende bølgeretning fra sør, og etter dette kom bølgene fra sør-vest.

Ifølge skipperen var det den signifikante bølgehøyden på 1,3–1,4 m.



Figur 10: Da fartøyet seilte vest for Hvaler var det eksponert for sjø fra åpent farvann. Kart: Kystinfo, Kystverket

1.4 Farvannsbeskrivelse

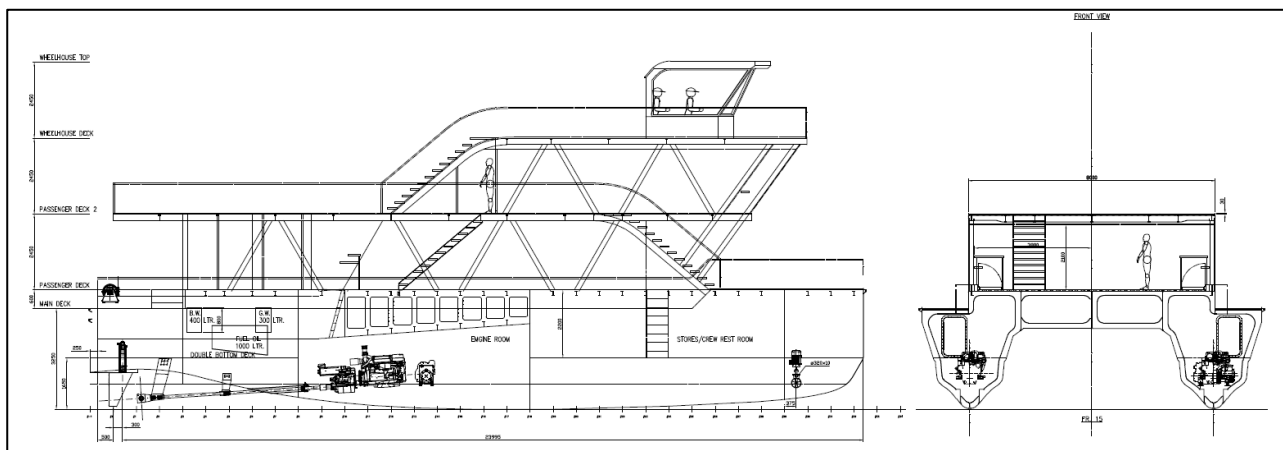
Fra slutten av mai 2020 hadde fartøyet seilt i relativt skjermet farvann i Indre Oslofjord. Da seilasen startet 11. mars 2021 ut av Glomma og videre inn i Ytre Oslofjord på nordsiden av øykommunen Hvaler, var fartøyet mer eksponert for åpent farvann. Frem til Sandefjord var det åpent hav.

1.5 Fartøy

1.5.1 GENERELT

Fartøyet ble levert av verftet 10. oktober 2019. Det hadde plass til 146 passasjerer, og skulle i hovedsak seiles elektrisk. Som reserve eller eventuelt for økt rekkevidde var det installert et fremdriftssystem med dieselmotorer.

Fartøyet hadde en total lengde på 25,2 m, bredde 11,2 m og maks dypgående 1,5 m. Figur 11 viser fartøyets hovedarrangement.

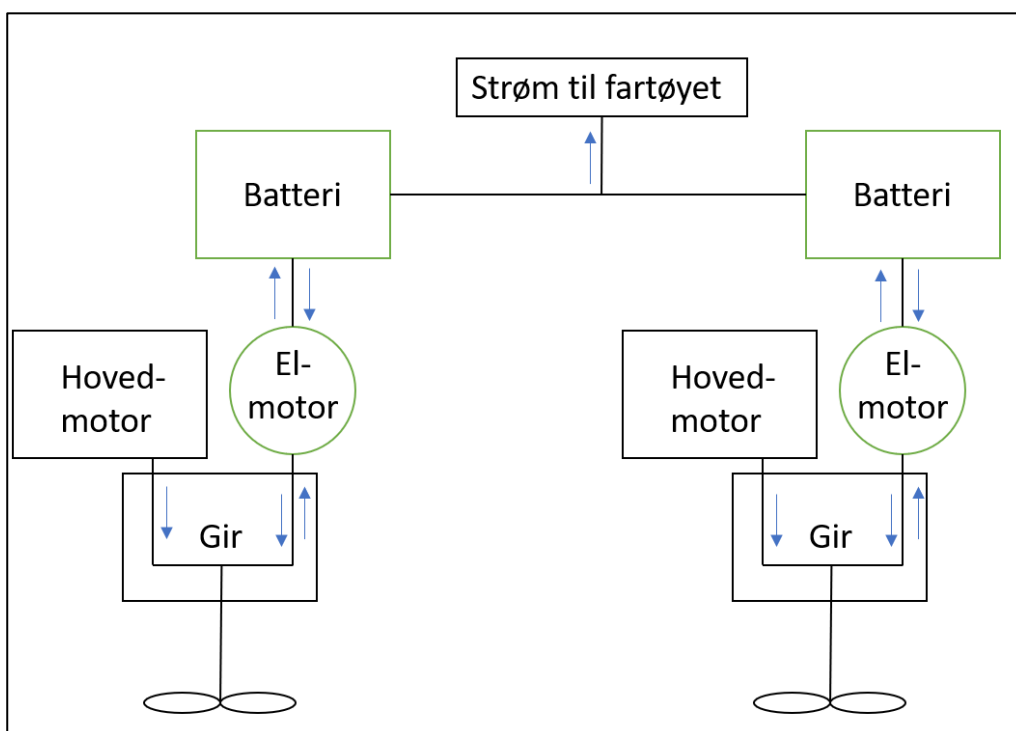


Figur 11: GA-tegning som viser fartøyets hovedarrangement. Teknisk tegning: Verftet

1.5.2 FREMDRIFTSSYSTEMET

1.5.2.1 Generelt

Fartøyets fremdriftssystem var et hybridsystem som bestod av to fremdriftslinjer, hver med en dieselmotor, gir, propell og elektrisk motor, se figur 12.



Figur 12: Hybrid fremdriftssystem. Illustrasjon: SHK

1.5.2.2 Driftsmoduser

Fartøyet hadde flere driftsmoduser som kunne beskrives som følger:

- Dieselmekanisk modus:

Begge hovedmotorene var til disposisjon til fremdrift. El-motorene var da ikke koblet til for fremdrift, men begge kunne fungere som generator for å lade batteriene.

- Elektrisk modus:

Begge hovedmotorene var utkoblet, og el-motorene ble benyttet til fremdrift ved bruk av strøm fra batteriene.

- Hybrid modus:

Den ene propellen ble drevet av hovedmotoren og tilhørende el-motor ble benyttet som generator for å lade batteriet. Den andre propellen ble drevet av tilhørende el-motor og benyttet strøm fra batteriet. Kun én hovedmotor og én el-motor ble benyttet til fremdrift i denne driftsmodusen.

- Stopmodus:

Fremdriftssystemet var stoppet og fartøyet brukte kun strøm til øvrige systemer om bord. Strømmen kunne bli levert fra landstrøm eller fra batteriene. Verken hovedmotorene eller el-motorene var koblet til i denne driftsmodusen

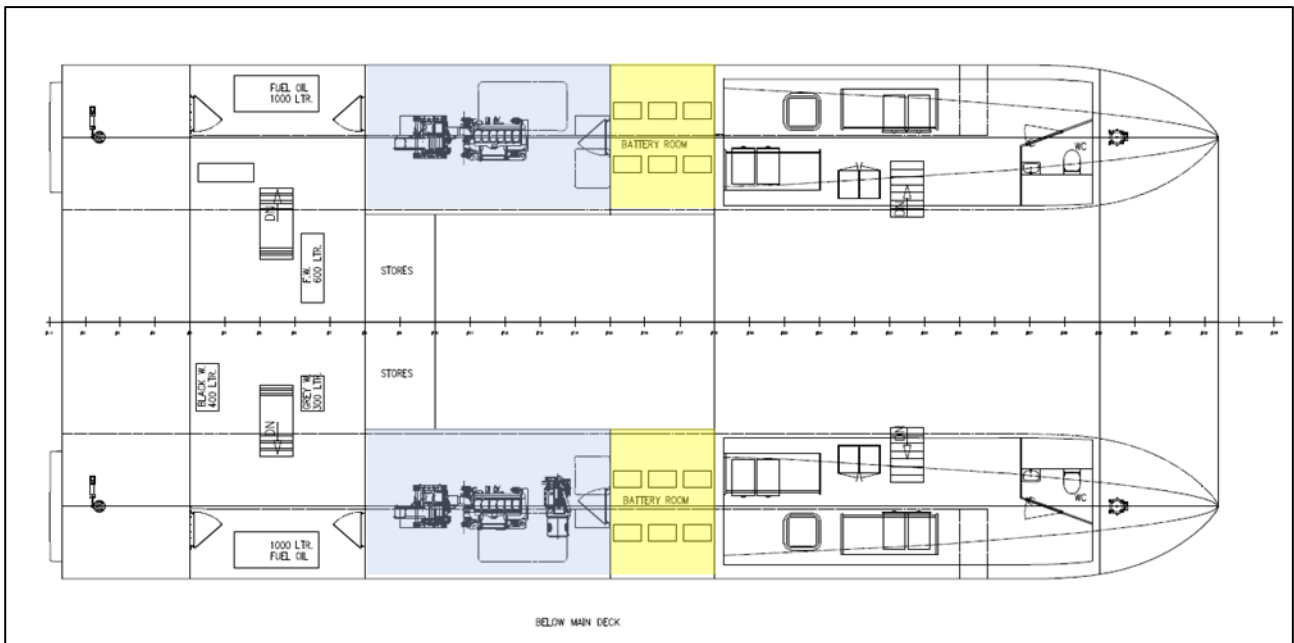
1.5.3 BATTERIROM OG BATTERIDESIGN

1.5.3.1 Generelt

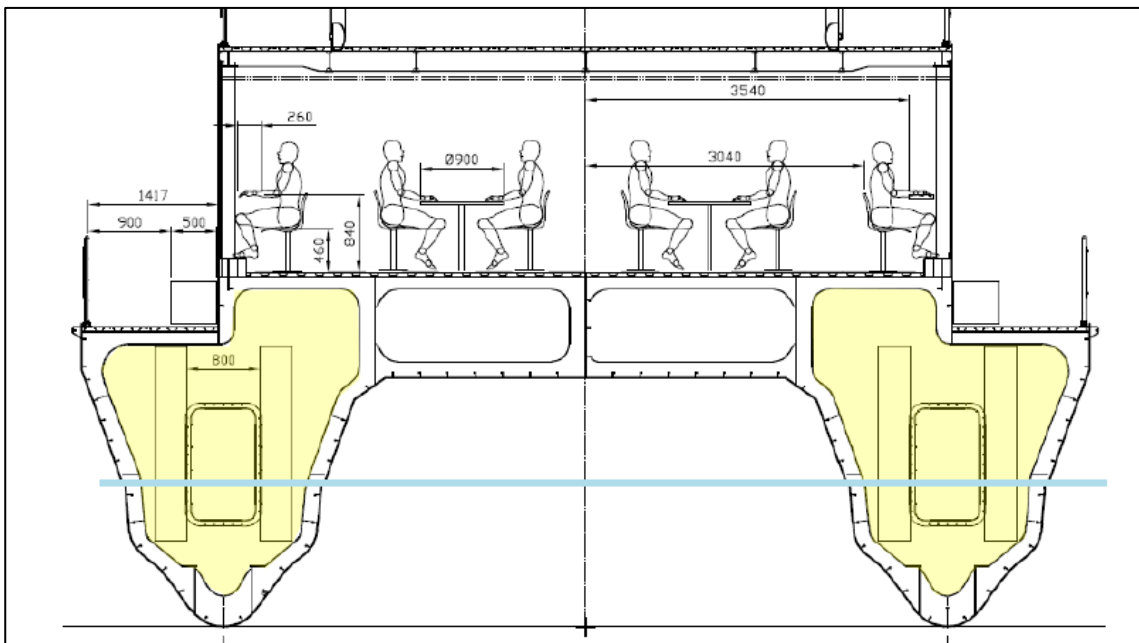
Batterirommene var plassert under dekk, ett i hvert skrog, se figur 13. Rommene var lokalisert tilstøtende maskinrommet i akterkant og lugar forut. Tilgang til batterirommene var via maskinrommet.

Det var installert en batteripakke i hvert av de to skrogseksjonene. I tilknytning til batterirommet var det gjennomføringer i skott til ventilasjonssystemet, og til trykksatte vannrør til lugar og kabelgater.

I henhold til batterileverandørens sikkerhetsbeskrivelse skulle batterirommet beskyttes mot skadelige mengder sjøvann så langt det var praktisk mulig. Det var installert en vannstandsalarm og en lensepumpe i hvert batterirom med alarm for indikasjon av høy vannstand.



Figur 13: GA som viser lokasjon av maskinrommene (blå) og batterirommene (gule) under hoveddekket. Teknisk tegning: Verftet



Figur 14: Batterirommene indikert i gult sett i forhold til vannlinje markert med blå linje. Teknisk tegning: Verftet

1.5.3.2 Gjennomføringer fra batterirommet

Batterirommet var lokalisert helt nede i skroget, se figur 14. Det var derfor bygget opp en dørk i midten av rommet. Under dørken var det plassert en gråvannstank. Avløpsrøret fra vasken i lugaren foran batterirommet gikk ned gjennom dobbeltbunn, og videre derfra til gråvannstanken.

Det var to kabelgater som gikk gjennom batterirommet. En av disse gikk gjennom skottet til lugaren forut, og den andre kabelgaten inn til tomrommet i tunnelen. For gjennomføringer relatert til ventilasjonssystemet, se kapittel 1.5.4.

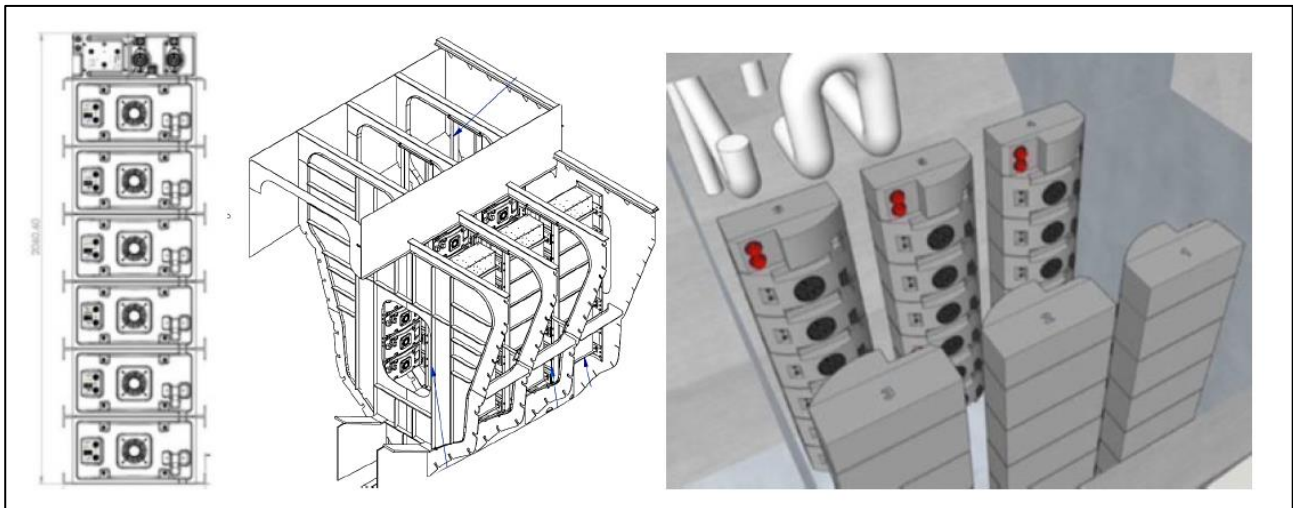
1.5.3.3 Batterisystemets oppbygning

Batteriene var lettvektsbatterier av typen Corvus Dolphin Energy-batterier (litium-ion batterier). Batterisystemet var et modul-basert batterisystem hovedsakelig for maritimt bruk. Systemet, som bestod av 12 batteristrenger, var fordelt i to batterirom. Hver streng bestod av 6 batterimoduler med en strengkontroller på toppen. Strengkontrolleren kontrollerte energien ut fra batteristrengen gjennom hovedbryteren. Til kontrolleren gikk det datalinjer fra hver batterimodul for innhenting av spenning og temperaturdata fra modulene.

Alle batteristrengene var koblet sammen til en felles DC-buss⁶ med spenninger på ~600–770 V DC⁷. Batteripakken kunne lades via landstrøm eller med dieselgeneratorene. Batterisystemet hadde en samlet kapasitet på 792 kWh.

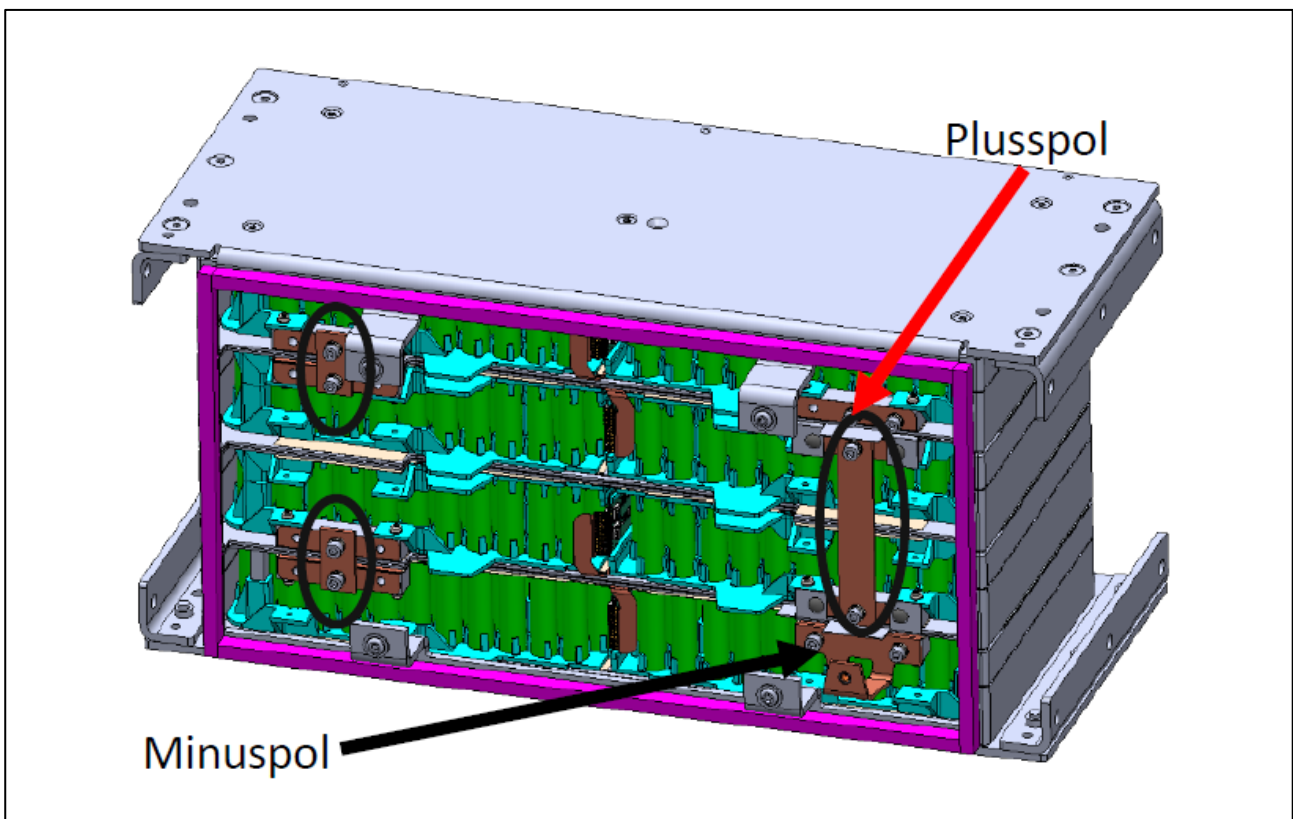
⁶ DC-buss = strømleder

⁷ Direct Current = likestrøm



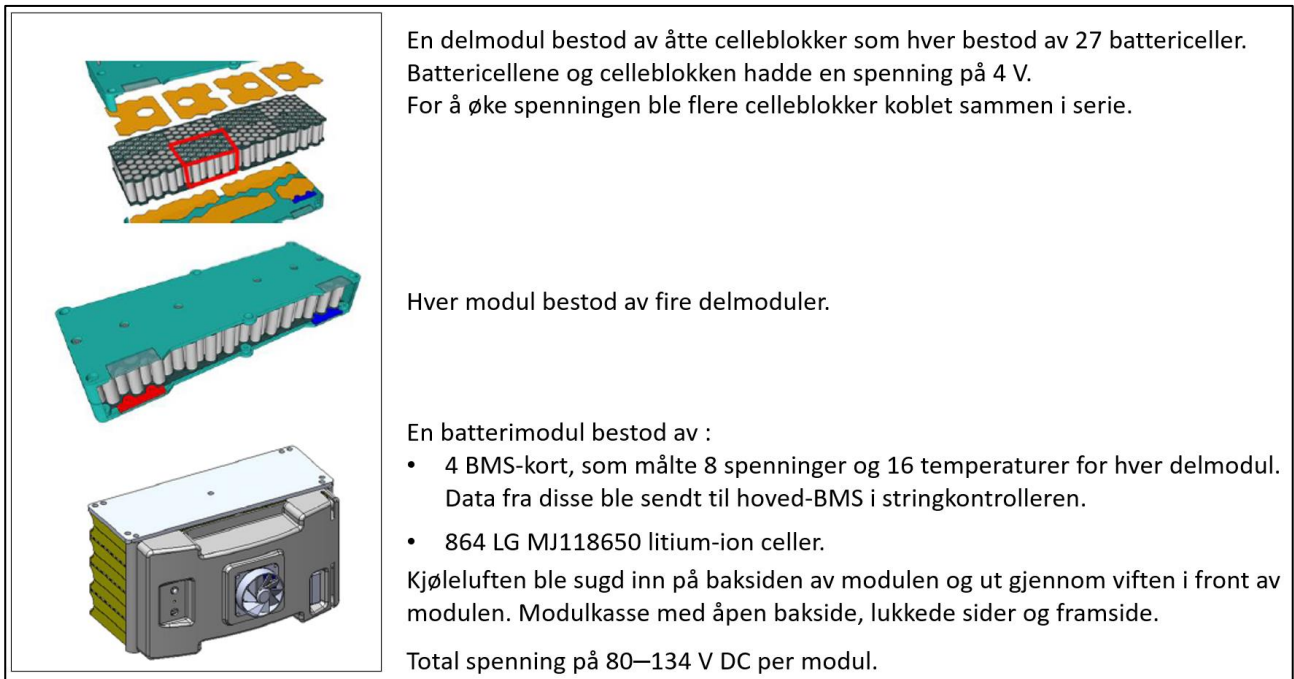
Figur 15: Venstre tegning viser en batteristreng med 6 batterimoduler med en strengkontroller plassert på toppen. Midtre og høyre tegning viser seks batteristrenger plassert i et batterirom. Illustrasjon: Verftet

Delmodulene var koblet sammen med kobberskinner og dannet en modul som vist på figur 16.



Figur 16: Oppkobling av delmoduler med markering av koblingspunkt, pluss- og minuspole til modulen. Kobberskinnene markert som vertikale rektangler og med sorte sirkler. Minus- og plusspol er markert med piler. Illustrasjon: FFI/SHK/Batterileverandøren

Modulene var koblet sammen i serie ved hjelp av kobberskinner mellom modulene opp til strengkontrolleren, minuspolen på nederste modul var koblet til pakkekontroller via en kabel. Hver modul hadde en sikring plassert mellom minus- og plusspolkoblingen mellom modulene. Hver litium-ion-celle hadde en ekstern mekanisk sikring og innebygd CID (current interrupt device). Figur 17 viser en oversikt over oppbygningen av en batterimodul.



Figur 17: Batterimodulens oppbygning. Illustrasjon: Batterileverandøren/SHK









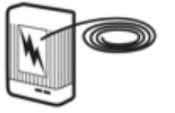

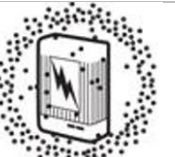

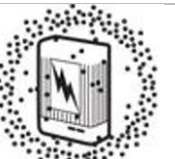


Figur 18: Batterimodul fra babord batterirom med synlige battericeller. Foto: SHK

1.5.3.4 Batterienes IP-grad

IP-graden⁸ 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. Se tabell 1 for beskrivelse av relevante IP-gradene.

Batterimodulene installert i fartøyet var designet og testet for IP-grad 44 på alle sider, bortsett fra fremsiden som hadde IP-grad 23, og baksiden som hadde IP-grad 2X. IP2X innebar ingen beskyttelse mot vann. I batteriets produktsertifikat utstedt av DNV ble IP-graden oppgitt til IP23, noe som senere i undersøkelsen ble avdekket å være en feil i sertifikatet, det skulle vært IP2X.

Tabell 1: IP krav til IP00-68. Kilde: Batterileverandøren

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 tillatt. 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 nedsunket i vann mellom 15 cm og 1 m i 30 minutter.

⁸ IP-grad (Ingress Protection) beskriver komponentens evne til å tåle vann, støv og andre fremmedlegemer.

8	-	-		Beskyttet mot effekt av nedsunket i vann under trykk for lengre perioder.
---	---	---	------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

1.5.3.5 Batterihåndteringssystemet (BMS)

Systemet hadde et integrert batterihåndteringssystem (BMS). Dette var et system som omfattet styring, kontroll, overvåkning og beskyttelsesfunksjoner. Panelet for BMS var lokalisert i maskinrommet på babord side. På panelet kunne man lese av alarmer tilknyttet batteriene.

1.5.3.6 Sikring av data fra batterisystemet

Da fartøyet ble erklært sikkert av brannvesenet innhentet politiet data fra fremdriftssystemet. BMS hadde ingen mulighet for overføring av data. Terminalen i maskinrommet ble startet opp og prosessen ble avbildet.

EMS og BMS hadde ulike kontrollsystemer og var ikke tidssynkronisert. EMS systemet overførte data til en terminal på bro. Loggfilene fra EMS ble lagret på en USB-minnebrikke etter ulykken.

Det var ikke installert fjernovervåkning av batterisystemet på Brim, slik som på søsterfartøyet Bard. Batterisystemet hadde et korttidsminne, lagret lokalt, og historiske data om tilstand fra ulykkestidspunktet var derfor ikke tilgjengelig. I forkant av ulykken ble det gjennomført arbeid på systemet om bord og store deler av historiske data forsvant. Tilstandsloggen for batterisystemet fra ulykkestidspunktet var allerede overskrevet, da systemet var beregnet på korttidsbruk.

1.5.3.7 Sikkerhetsmekanismer

Batterisystemet var utstyrt med flere ulike sikkerhetsmekanismer, både mekaniske og elektriske. Sikkerhetsmekanismene kontrollert gjennom BMS inkluderte temperatur, spenning, lading og forbruk. Dersom BMS oppdaget en alvorlig alarm ville den koble fra batteristrengene og batteriene ble deaktivert.

Dersom temperaturen ble for høy i modulen ville viften til batterimodulen starte. Det var også mekanisk beskyttelse av hver celle dersom temperaturen økte. Ved for høy spenning ville cellen bli varm og deaktiveres automatisk.

Batterisystemet var utstyrt med sikringer på flere nivåer som smeltet ved overbelastning eller kortslutning. Hver batteristreng, modul og celleblokk hadde hver sin dedikerte sikring.

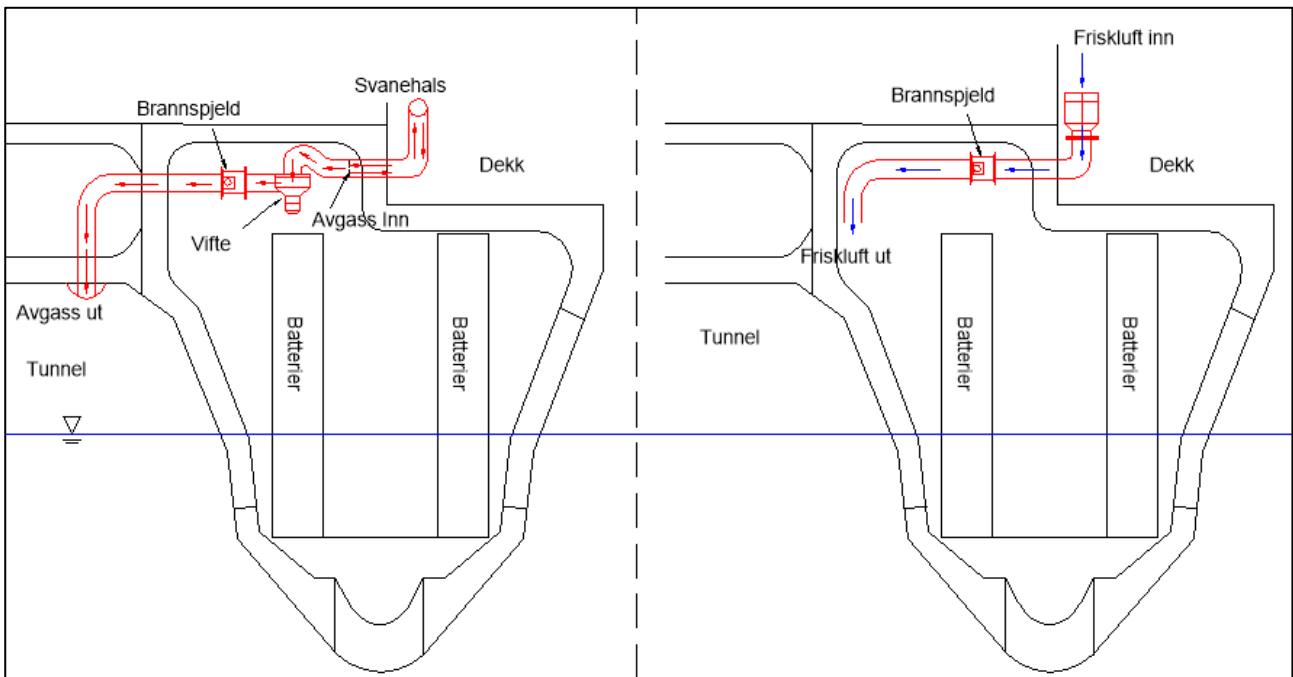
1.5.4 VENTILASJONSARRANGEMENTET I BATTERIROMMET

Ventilasjonssystemet hadde som funksjon å sørge for friskluftventilasjon (pusteluft) og for å fjerne avgasser ved en hendelse i batteriene. Det var installert ett ventilasjonssystem som ivaretok begge disse funksjonene. Se også krav til ventilasjonsarrangement i batterirom i kapittel 1.9.4.2. I tillegg var det installert et kjøleanlegg for å kontrollere at temperaturen i rommet var i henhold til anbefalte verdier på 15–25 grader.

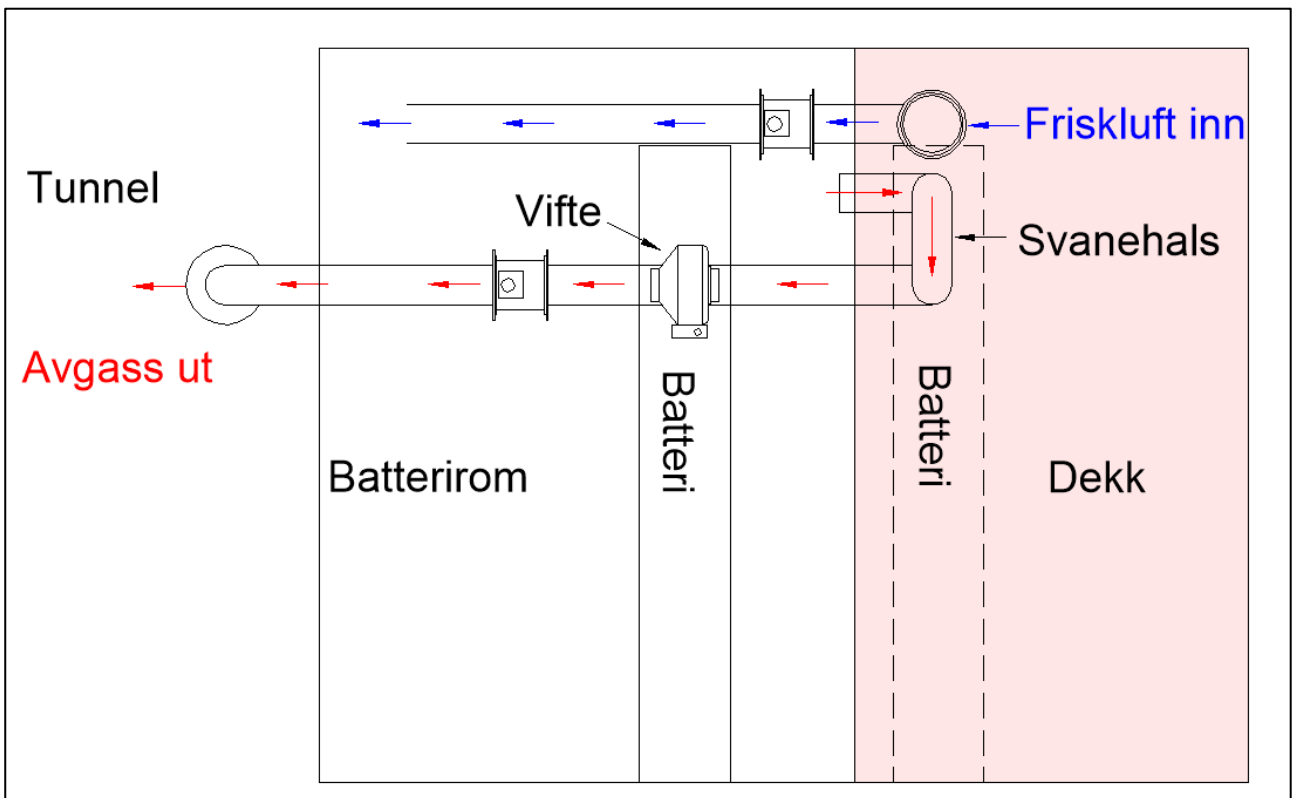
Ventilasjonsinntaket til batterirommet var lokalisert på hoveddekk. Inntaket var utstyrt med en automatisk lukning med flottør som skulle forhindre vanninntrenging, og et brannspjeld.

Ventilasjonsutløpet gikk fra batterirommet ut på dekk i en svanehals, tilbake inn i batterirommet og ut i tunnelen. Utløpet var utstyrt med en sentrifugalvifte og et brannspjeld, se figur 19 og figur 20. Løsningen med ventilasjonsutløp i tunnel ble valgt med bakgrunn i krav til brann sikkerhet og

utslipp av farlige gasser fra batterirommet. Det ble besluttet å ha utløpet i tunnel i stedet for å ha et utløpsrør 3,5 m over dekk for å ivareta sikkerheten til mannskap og passasjerer.



Figur 19: Ventilasjonsarrangementet i batterirommet. Illustrasjon: Verftet/SHK



Figur 20: Ventilasjonsarrangementet sett ovenfra. Illustrasjon: Verftet/SHK

Ventilasjonsviften var EX-godkjent⁹ og gikk kontinuerlig da rommet ikke var utstyrt med gassdeteksjon. I styrbord batterirom var denne plassert over batteristreng 6 og tilsvarende på babord side, plassert over streng 12. Viften trakk luften ut av rommet via en svanehals på utsiden

⁹ EX = Beskyttet mot eksplosjonsfare.

av skroget, se figur 20, som endte ut i toppen av tunnelen, se figur 21. Det var valgt en løsning med en svanehals for å få tilstrekkelig fribordshøyde.

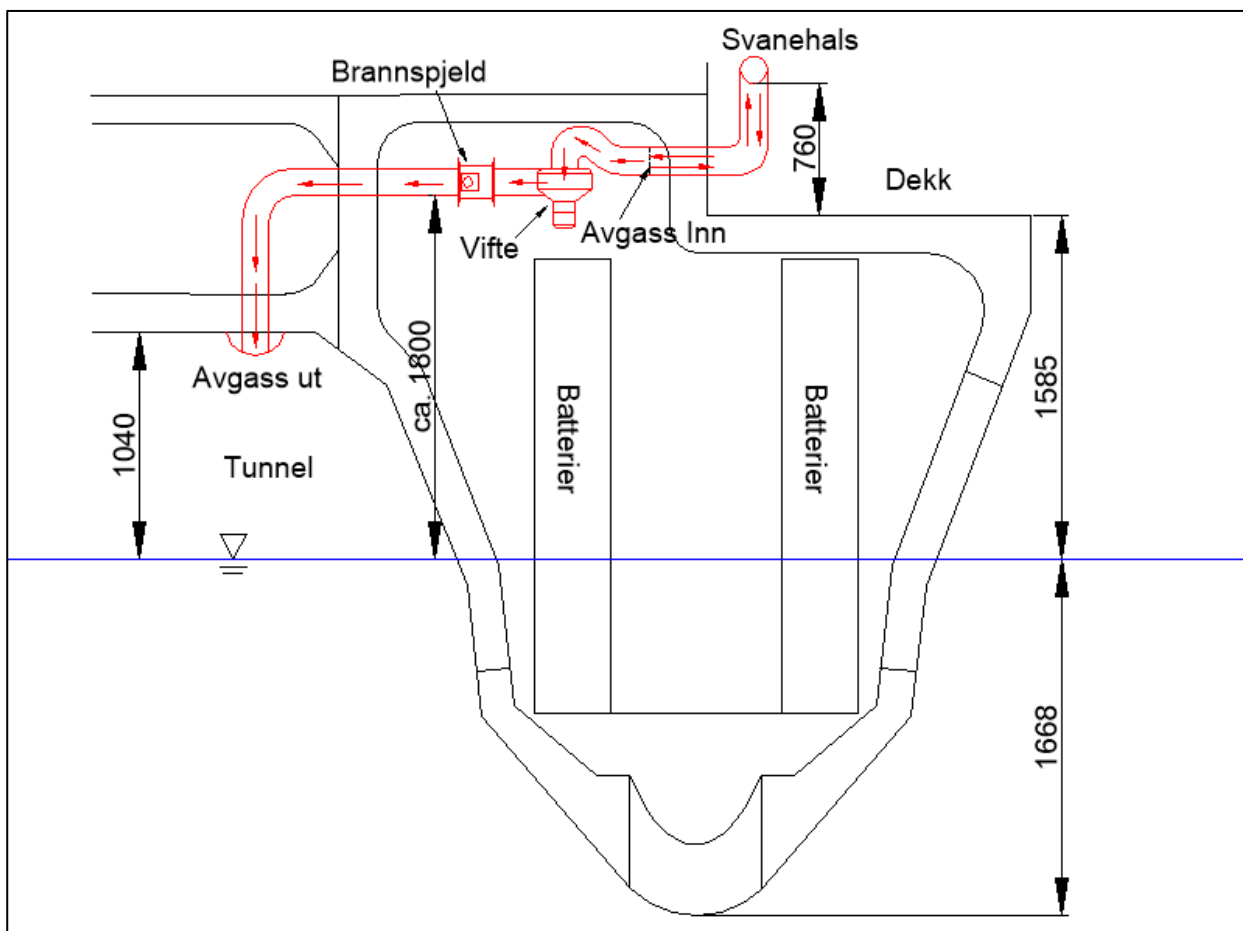


Figur 21: Ventilasjonsutløpet fra batterirommet ut i tunnelen markert med rød sirkel. Sot og brannskade på innsiden av tunnelskroget kommer fra lugar forut for batterirommet. Foto: SHK

1.5.5 FRIBORD

Ved fullastet skip var dypgangen midtskips 1,67 m og fribordet var 1,59 m. Dekk var plassert 3,25 m over kjølen. Fra fribordsdekk og opp til nederste del av toppen av svanehalsen var det 760 mm. Ventilasjonsinnløpet var plassert i samme høyde som svanehalsen, der det var en automatisk lukking med flottør i toppen av ventilasjonsrøret.

Avstanden fra vannlinjen i fullastet kondisjon til ventilasjonsviften var ca. 1,8 m og fra ventilasjonsåpningen under tunnelen til vannlinjen var det ca. 1,04 m. Se figur 22 for illustrasjon av avgassystemet med avstander til vannlinje.



Figur 22: Fribordsmål (mm) til avgasssystemet. Illustrasjon: Verftet/SHK

Det var to fyllingspunkter fra ventilasjonssystemet i batterirommene. Ventilasjonssystemet som var lokalisert ved overbygget rett over hoveddekk og ventilasjonsuttaket som var lokalisert i tunneltaket.

1.5.6 BRANNINTEGRITET OG BRANNDETEKSJON

I henhold til risikoanalysen¹⁰ utført av verftet var batterirommene klassifisert som ikke farlige («non-hazardous»). Dette var basert på at sikkerhetsbeskrivelsen for det installerte batterisystemet konkluderte med at volumet og komposisjon av gass ved feil i en celle var godt under nivået for eksplosjons- og brannfare.

Batterirommene var brannisolert med A-60¹¹ mot garderobe og toalett forut for spant 18, og mot salongområde på dekket over. Skottet mot maskinrommene ved spant 15 var også isolert med A-60 på begge sider.

Skottet ble montert som påbygging av eksisterende spant. Dette medførte at alle utkapp (stivergjennomføringer) i opprinnelig spant måtte lukkes ved hjelp av aluminiumsbrikker.

I noen få områder viste det seg å være umulig å komme til med sveiseutstyr, og det ble derfor brukt tetningsmasse av typen SIKA Firestop for å lukke disse områdene. Ifølge verkstedet som utførte utbedringen av styrbord batterirom etter brannen ble det isolert med ny 50 mm A-60 sertifisert isolasjon på de samme områdene som hadde vært isolert tidligere. Verkstedet hadde

¹⁰ Battery installation – risk analysis, rev 02, datert 12.09.2019

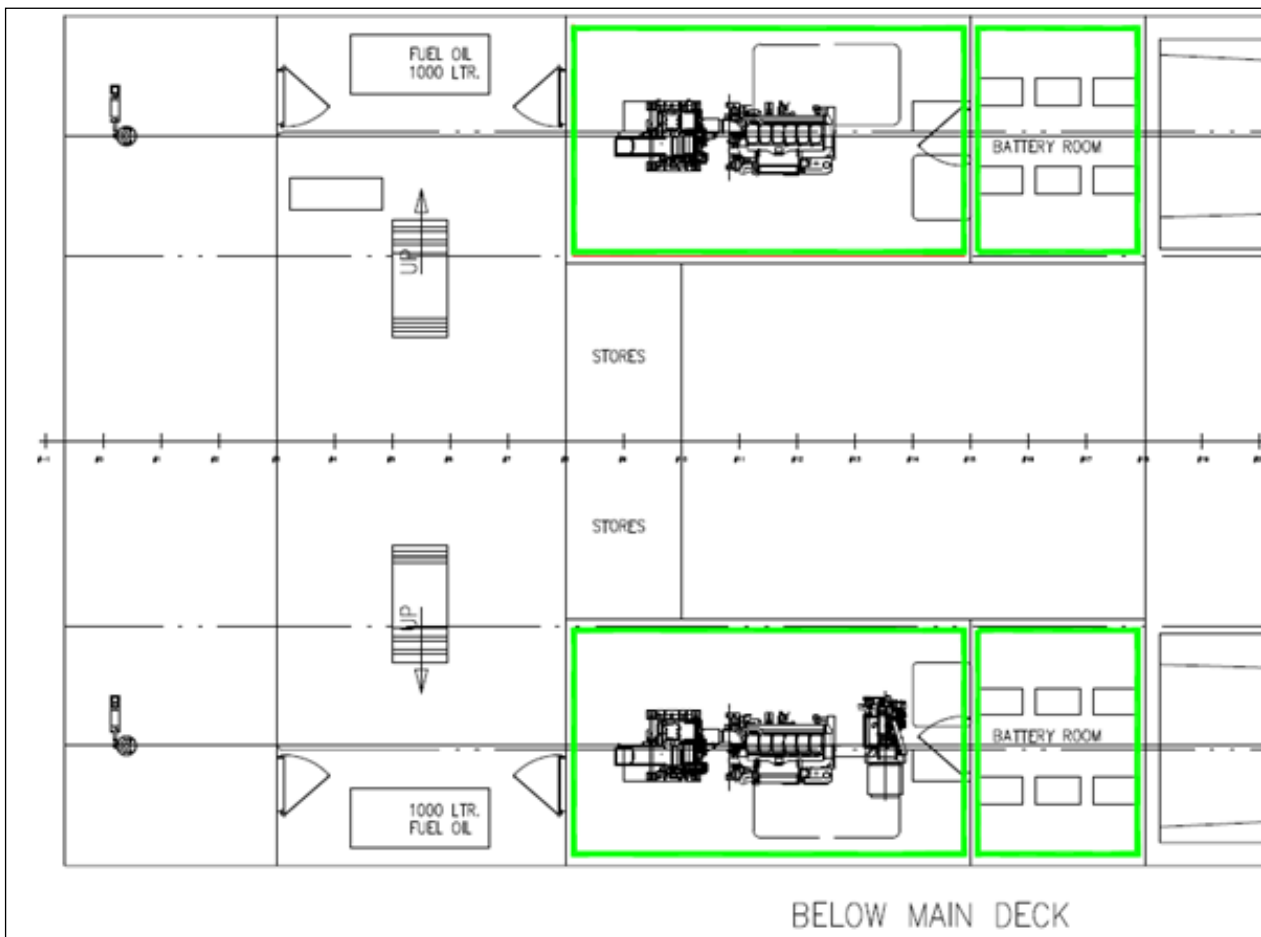
¹¹ Brannskille som er brannsikkert og røyktett i 60 minutter.

påført isolasjon nesten ned til skutebunnen. Det var åpning i regelverket¹² for at 100 mm nederst mot dekk ikke trengte isolasjon av dreneringshensyn, men at det måtte være røyktett. Brannisolasjon skal gå fra dekk til dekk, bortsett fra mot skutesiden, se kapittel 1.9.2 og 1.9.4.5. Se figur 24 for brannintegritetsplanen der plasseringen av brannisolasjonen er illustrert.



Figur 23: Brannisolasjon nesten ned mot skutebunn, med SIKA Firestop i nedre del. Foto: SHK

¹² MSC/Circ.1120



Figur 24: Brannisolasjon av maskinrom og batterirom fra brannintegritetsplan. Teknisk tegning: Verftet

Det var installert en røyk- og varmesensor i hvert batterirom, og sensorene var integrert i fartøyets brannalarmsystem. Det var ikke installert gassdetektor i batterirommene.

1.5.7 BRANNSLOKKESYSTEM

Litium-ion batterier brenner på en eksplosjonsartet måte, der det dannes giftige gasser inne i batteriet. Den største brannrisikoen i litiumbatterier er når temperaturen kommer over en grenseverdi og starter en termisk nedsmelting, såkalt termisk rømling¹³. Brannen som da oppstår er selvforsynt med oksygen som følge av de kjemiske reaksjonene i batteriet. Det er svært vanskelig å slokke brann når denne prosessen initieres. Den kritiske temperaturen for batteriene ligger typisk i området fra 175 til 200 grader.¹⁴

1.5.7.1 Slokkesystemet om bord

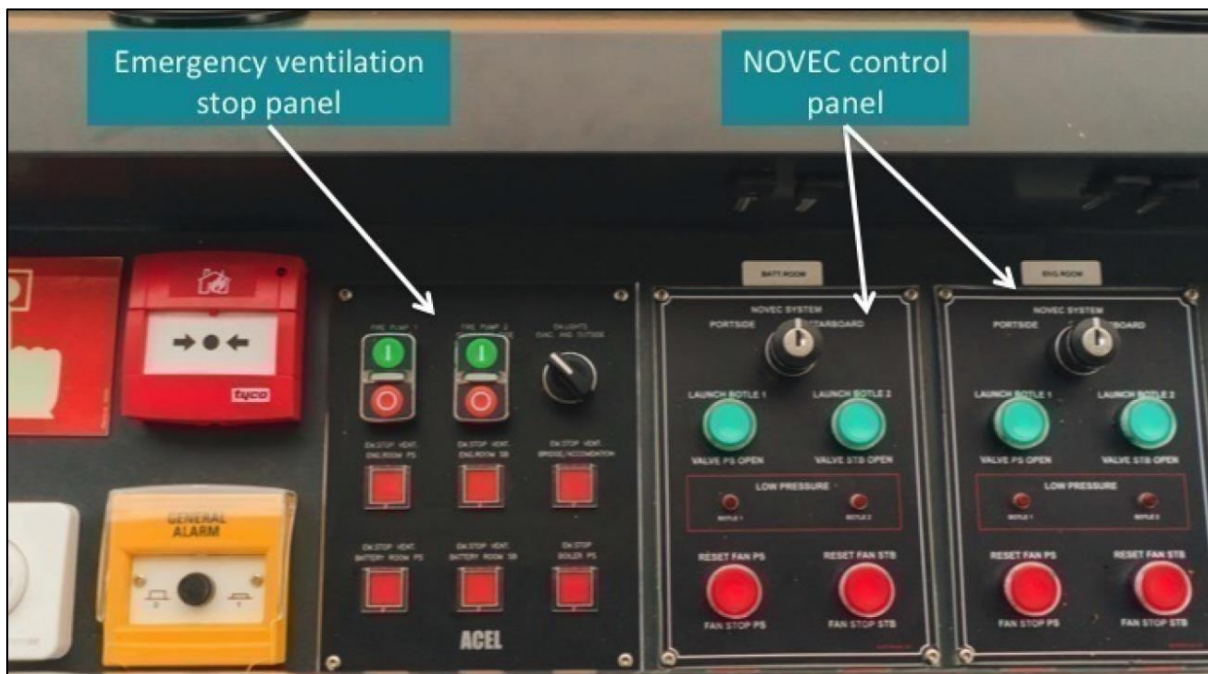
Det var installert et brannsløkkingsanlegg bestående av fire flasker med slukkemiddelet Novec 1230. To flasker kunne utløses i batterirommene og to i maskinrommene. Systemet kunne utløses manuelt fra bro.

Forhandleren av Novec 1230 utførte beregninger av hvor mye slukkemiddel som var nødvendig for hvert av batterirommene. Slukkegasskonsentrasjonen i styrbord batterirom ble beregnet til mellom 9,35 % og 9,99 % per dose, avhengig av temperaturen i rommet.

¹³ Prosess som akselereres ved økning i temperatur som frigir energi som ytterligere øker temperaturen. (Thermal runaway)

¹⁴ <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/er-litiumbatterier-brannfarlige/>

I henhold til rederiets prosedyre ved brann i maskinrom eller batterirom skulle brannsentralen sjekkes for å lokalisere hvilket rom det brant i før Novec ble utløst. Ved brann i batterirommet skulle ventilasjonen automatisk stoppe når nøkkelen til Novec-panelet ble vridd om, se figur 25. Før Novec ble utløst skulle branndører og brannspjeld være lukket. Novec skulle normalt aktiveres fra Novec-panelet på broa, men kunne også aktiveres manuelt fra teknisk rom på begge sider av fartøyet om det var nødvendig.



Figur 25: Novec-panelet var plassert på broa. Nøkkelen til høyre styrer utløsning av brannslukkesystemet i maskinrommet og nøkkelen til venstre styrer batterirommet. Foto: Rederiet

Det var mulig å velge om Novec skulle utløses i batterirommet eller maskinrommet avhengig av hvilken av de to nøklene på Novec-panelet som ble utløst. Om nøkkelen ble vridd til høyre ble det utløst på styrbord side og til babord side om nøkkelen ble vridd til venstre. Deretter kunne en eller to doser Novec utløses i det aktuelle rommet.

Novec var i henhold til DNVs klasseregler fra januar 2018 godkjent for bruk i maskinrom kategori A i henhold til FFS koden (The International Code for Fire Safety Systems) og dermed også godkjent til bruk i batterirom med litium-ion batterier.

1.5.7.2 Slokkegasser

I følge brannvernforeningen¹⁵ skiller det mellom inertgasser og halokarbondgasser som slokkegasser. Inertgasser er rene og ufarlige, men halokarbondgasser spaltes i farlige gasser. Novec er en halokarbondgass.

Novec 1230 er en fluorbasert gass som dekomponerer til hydrogenfluorid (HF) og karbon fluorid (COF₂) ved temperaturer over 500 °C. Hydrogenfluorid er en fargeløs giftig gass. Den kondenserer ved 20 °C til en sterkt rykende, giftig væske (flussyre). Dette kan medføre både helsefare, korrosjon og etsing på følsomme komponenter når høye HF-konsentrasjoner oppnås.

¹⁵ <https://brannvernforeningen.no/slokkeanlegg/ulike-slokkeanlegg/gass/generelt-om-gass/>

Slokkegasser påvirker ikke lysbuer¹⁶, varmekilder og «branner» i metaller og materialer som har kjemisk bundet oksygen, og er derfor uavhengige av luft. Slokkegasser virker kun på forbrenning (oksidasjon i luft), men slokker derfor effektivt flammebrann og kan bremse ulmebranner som oksiderer.

Halokarbongasser krever lavere volumkonsentrasjon, men det er viktig å fylle rommet raskt. Behov for trykkavlastning må alltid vurderes ut fra kombinasjonen av rommets trykkmotstand, tømmeid og design-konsentrasjonen slik at den hindrer sprenging ved utløsning. Halokarbongasser medfører et undertrykk og deretter et overtrykk. Inertgasser medfører et overtrykk.



Figur 26: Novec flaskene i babord teknisk rom. Den minste flasken til venstre er til batterirommet og flasken til høyre er til maskinrommet. Begge flaskene ble utløst. Foto: SHK

I 2019 utarbeidet DNV en rapport¹⁷ som tar for seg effekten av ulike brannsløkningsmidler for batteribrann. Fra rapporten kom det frem at Novec slokkesystem vil kunne slokke flammer, men har mindre effekt med tanke på nedkjøling sammenlignet med vanntåke. Vanntåke ville ha en god kjøleende effekt og var anbefalt i klassereglene.

Produsenten av Novec hadde i sin dokumentasjon frarådet bruk av slokkemiddelet i batterirom med litium-ion batterier. Sjøfartsdirektoratet var kjent med problemstillingen knyttet til bruk av Novec, men har opplyst at det per i dag ikke finnes et slokkesystem som kan slukke en litium-ion brann.

Batterileverandøren anbefalte gasslokkesystem til sine batterier på grunn av lav IP-grad på batterimodulene.

¹⁶ I en lysbue dannes plasma med meget høye temperaturer (opp mot 20 000 °C). Plasma har negativ motstand, og jo mer strøm, jo bedre leder det. I et batteri der kortslutningsstrømmen er høy vil oppvarmingen medføre en rask ekspansjon av gassen i lysbuen – en eksplosjon.

¹⁷ DNV: Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression, Report No. 2019-1025, Rev. 4

1.5.8 RISIKOANALYSE AV BATTERISYSTEMET

Verftet leverte i designfasen en risikoanalyse av batterisystemet, som ble utarbeidet av en konsulent. Denne var basert på en risikoanalyse av batteriene utført av batterileverandøren. Det var et krav i regelverket å utarbeide en sikkerhetsvurdering, hvor blant annet alle risikoer skulle identifiseres, for å ivareta sikkerheten til passasjerer, besetning og fartøy, se kapittel 1.9.4.6. Analysen konkluderte med at det ikke ble avdekket noen scenarier med høy risiko, og analysen ble godkjent av DNV.

I analysen ble det antatt at batterisystemet ble godkjent av Sjøfartsdirektoratet eller DNV på bakgrunn av implementerte sikkerhetsmekanismer for å begrense termisk rømling, og at batterirommet ble definert som ikke-farlig område «non-hazardous».

For vurderinger knyttet til risiko for brann og eksplosjonsfarlige gasser fra batterisystemet ble det henvisning til sikkerhetsbeskrivelsen for batterisystemet. En hendelse i en celle skulle ikke medføre en eskalering til en annen celle. Dermed ville volumet og komposisjon av gass ved feil i en celle være godt under nivået for eksplosjons- og brannfare slik at batterirommene kunne defineres som ikke-farlig område.

Det var videre beskrevet i analysen at sjøvann vil lede elektrisitet, og en enkelt battericelle var mer enn nok til å starte en elektrolyse. Det var derfor beskrevet som kritisk å detektere sjøvannsinntrenging tidlig for å unngå elektrolyse over en lengre periode. Hydrogen og oksygen ville kunne dannes og resultere i en eksplosiv blanding.

Risikoanalysen hadde identifisert flere scenarier hvor vanninntrenging kunne medføre risiko for brennbar gass, brann og eksplosjon. Et av de risikoreduserende tiltakene beskrevet var at ventilasjonskanalen hadde fribord på 4,5 m for å redusere risikoen for at sjøvann kom inn i rommet. Risikoen for å få sjøvann inn via ventilasjonssystemet var derfor vurdert som lav.

1.5.9 TYPEGODKJENNING

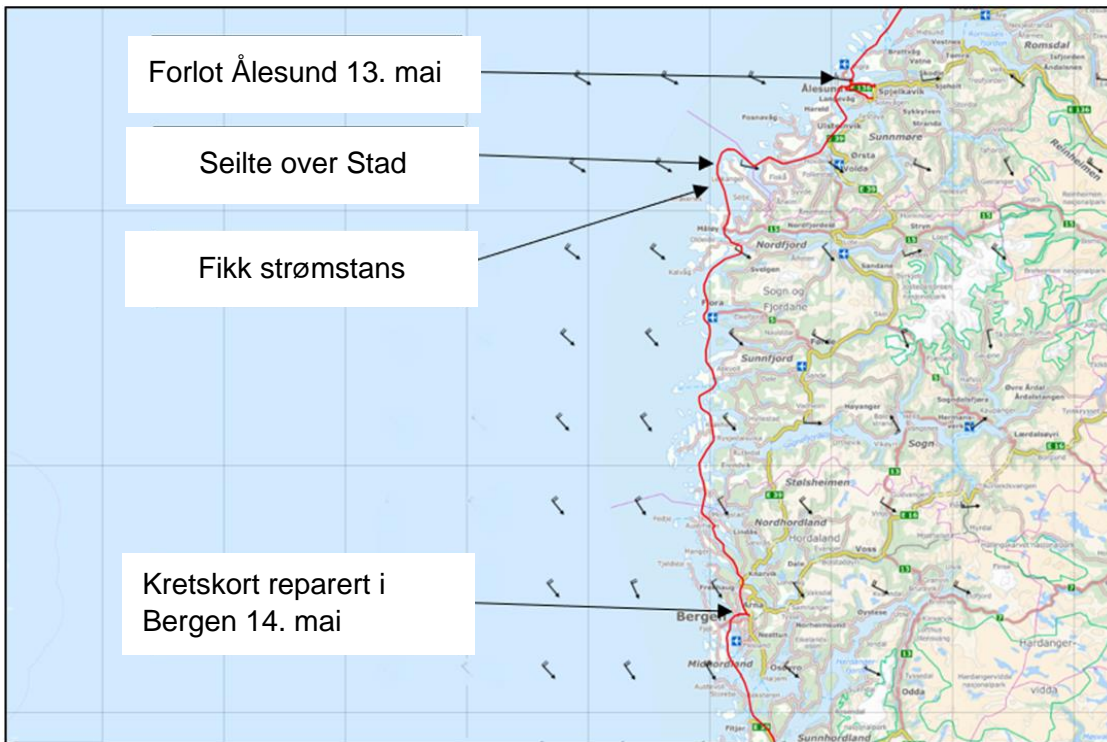
Både BMS og batteriene som var brukt var typegodkjent av DNV. Det innebar at batteriene tilfredsstilte sikkerhetskrav og tekniske spesifikasjoner ved ulike tester, og forenklet godkjenningprosessen av batteriinstallasjonen. En typegodkjenning innebar at forhåndsdefinerte tester måtte utføres, blant annet en propageringstest. Dette er beskrevet i kapittel 1.7.2.3.

1.5.10 TIDLIGERE HENDELSER I BATTERIROMMET

Rederiet hadde i tiden etter at fartøyet ble satt i drift, erfart flere problemer i tilknytning til batterisystemet.

Den 14. oktober 2019 meldte rederiet om vannlekkasje i begge batterirom som mest sannsynlig kom fra den trykksatte gråvannstanken under dørken i batterirommet. Batterileverandøren påpekte i forbindelse med hendelsen at det var viktig at rommet var tørt.

I mars 2020 forlot fartøyet Tromsø og skulle re-lokaliseres til Oslo. På vei mot Oslo var det et planlagt opphold hos verftet. Fartøyet var der i april og deler av mai. Fartøyet forlot Ålesund den 13. mai for å seile videre mot Oslo, se figur 27.



Figur 27: AIS-spor fra Ålesund til Bergen Kart: Kystinfo, Kystverket/SHK

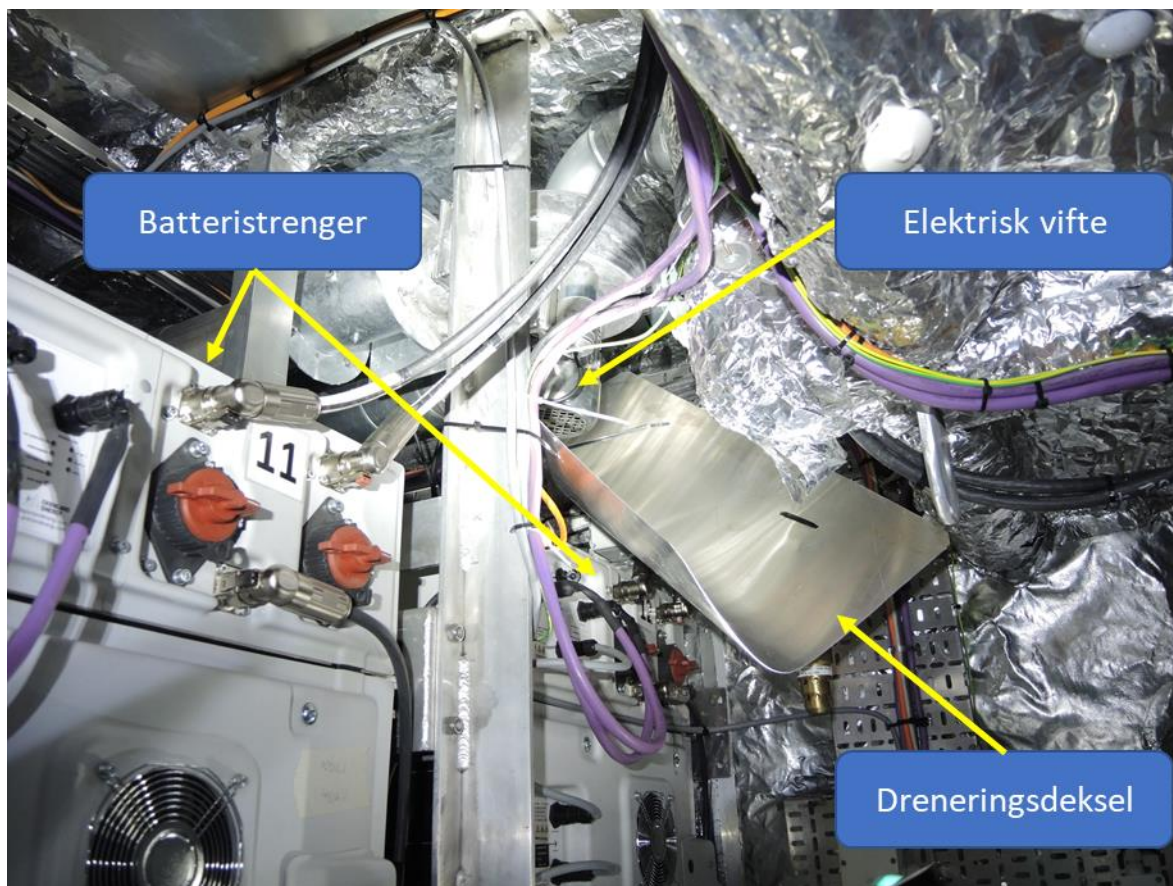
Fartøyet seilte over Stad den 13. mai med vind og bølger inn fra vest og mot styrbord side av fartøyet. Kort tid etterpå fikk fartøyet et strøbrudd, men seilte videre til Bergen samme dag, uten at batteriene var tilkoblet. Batterileverandøren kom om bord og undersøkte batterisystemet. Servicerapporten konkluderte med at det var vannskade i kretskortet til strengkontrolleren i babord batterirom. Det skadede kretskortet ble også byttet ut, se figur 28. I kommunikasjon mellom rederiet og verftet den 14. mai 2020 fremkom det at kretskortet hadde blitt utsatt for vann og hadde synlige tegn på irr og brannskader.



Figur 28: Skadet kretskort på streng 12 som ble byttet ut. Foto: Batterileverandøren

Etter at kretskortet ble byttet ut, fortsatte seilasen og fartøyet ankom Oslo den 15. mai 2020.

Noen dager senere ble det oppdaget varmgang i viften i babord batterirom og det luktet svidd. Dette ble meldt til verftet som bestilte en ny vifte og byttet denne. Rederiet foreslo å lage en dryppskål med drenering ned i kjølen som følge av vannlekkasjen fra viften, som de antok var kondensvann. Verftet sendte dreneringsdeksler for å lede «kondensvann» vekk fra strengene og ned på dørken i batterirommene. Dreneringsdekselet på babord side ble montert av rederiet, se figur 29. Det ble ikke byttet vifte eller satt på dreneringsdeksel på styrbord side.



Figur 29: Elektrisk vifte over batteristreng 12 med midlertidig dreneringsdeksel montert i babord batterirom for å lede vann bort fra batterisystemet. Foto: SHK

I august 2020 var batterileverandøren igjen om bord for å finne ut av en jordfeil i streng 12, i babord batterirom. Ved første inspeksjon fant de ingen tegn til vanninntrenging på batteristrengene og fant heller ikke ut av jordfeilproblemet. Jordfeilalarmen varsler kun at det har oppstått en jordfeil, men presiserer ikke hvor. Ved siste inspeksjon og testing fant batterileverandøren heller ikke ut av jordfeilen, men etter undersøkelsene opphørte feilmeldingen. Videre stod det at batteriene måtte deaktiveres for å få bort feilen, men at problemet trolig ville komme tilbake.

SHK har fått opplyst at to representanter fra rederiet var med å feilsøke og undersøke problemet. Rederiet hadde identifisert at det var vannmerker på viften rett ovenfor batteristrengen og mente dette sannsynligvis var kondensvann og var årsaken til jordfeilene.

1.6 Besetning

På ulykkestidspunktet var det fire personer om bord. Skipper, maskinpasser og to matroser. Dette var i henhold til rederiets prosedyrer for sikkerhetsbemanning.

1.7 Spesielle undersøkelser

1.7.1 BRANNTEKNISK UNDERSØKELSE

SHK foretok flere undersøkelser, i tillegg til Kripos' undersøkelser, for å identifisere hvor brannen startet og hvorfor. FFI har bistått i tolkning av resultatene. I det etterfølgende oppsummeres funn fra den branntekniske undersøkelsen.

1.7.1.1 Kortslutningsspor

Undersøkelser etter brannen viste at styrbord batterirom var fullstendig utbrent. Figur 30 og figur 31 viser skadene i batterirommet sett fra batteriromsdøra. Figur 30 viser venstre del av batterirommet med batteristreng 6 til venstre etterfulgt av batteristreng 5 og 4. Figur 31 viser høyre del av batterirommet med batteristreng 2 og 3. Skadene på batterimodulene var mindre på venstre side (mer intakte moduler) sammenliknet med modulene på høyre side.



Figur 30: Skadeomfanget i batterirommet sett fra batteriromsdøra. Fra venstre er batteristreng 6,5 og 4.
Foto: Kripos



Figur 31: Skadeomfanget i batterirommet sett fra batteriromsdøra. Fra venstre er batteristreng 3 og 2. batteristreng 1 er ved siden av 2, men ses ikke på bilde. Foto: Kripas

Nederst på batteristreng 6 ble det observert forskjeller på batterimodul 2 (nest nederste modul) vist i figur 32 og batterimodul 1 (nederste modul) vist i figur 33. Funnene viste at høyre side av modul 1 (rød sirkel) manglet kobberskinnene, sannsynligvis på grunn av lysbuer som har brent av festepunktene. Mens modulen ovenfor (modul 2) hadde intakte deler av modulen i den samme området. Modul 1 skilte seg ut fra de andre modulene i batteristreng 6. Området markert med rød sirkel på figur 32 og figur 33 markerer forskjellene.



Figur 32: Fra batterirommet, rester av batterimodul 2 i batteristreng 6. Rød ring markerer kobberskinnen.
Foto: Kripos



Figur 33: Fra batterirommet, rester av batterimodul 1 i batteristreng 6. Rød ring markerer hvor kobberskinnen skulle ha vært. Foto: Kripos

Undersøkelser av battericeller viste at flere av disse hadde tegn til brudd i celleveggen, se figur 34 og figur 35.



Figur 34: Rød sirkel indikerer tegn til brudd i battericelleveggen. Foto: Kripos



Figur 35: Rød sirkel indikerer tegn til brudd i battericelleveggen. Foto: Kripos

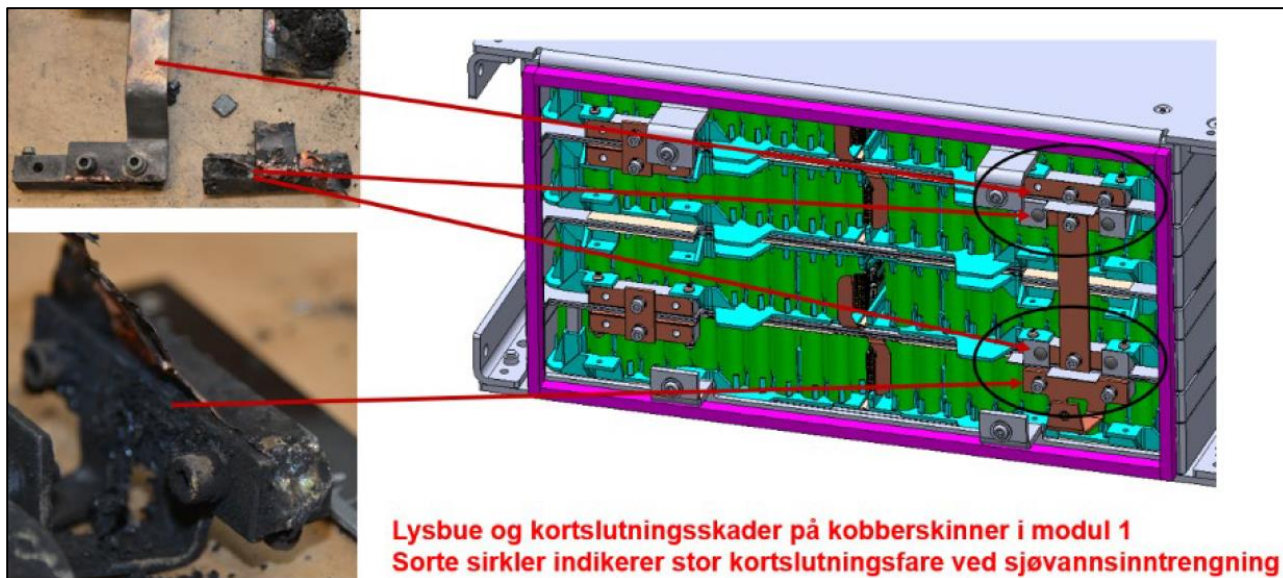
Noen av de manglende strømkoblingsskinnene fra modul 1 ble samlet opp og orientert etter plassering, se figur 36. På bildet kan man se lysbueskader på kobberskinnene i modul 1 (markert med røde piler).



Figur 36: Rester av batterimodul 1 og batterimodul 2 i batteristreng 6, røde piler markerer lysbueskader. Foto: Kripos

Figur 37 viser kobberskinnene med kortslutningsskader med mulig plassering i batterimodul 1 (røde piler). Kortslutningsskadene markert med sorte sirkler korresponderer med der det er 60 V DC mellom delmodulene isolert med noe «tynt isolasjonsmateriale». Ved sjøvannsinntrenging på

lokasjonen markert med sort sirkel er det stor sannsynlighet for kortslutninger i batteripakken. Dette korresponderer med skaden på kobberskinnene i modul 1. Den vertikale kobberskinnen i midten av bildet var brent av enten med stor kortslutningsstrøm eller med lysbue.



Figur 37: Plassering av kobberskinner med kortslutningsskader i tegning av modul 1 med intakte kobberskinner. Foto: Kripos. Tegning: Kripos/Batterileverandøren/FFI

1.7.1.2 Viftemotor

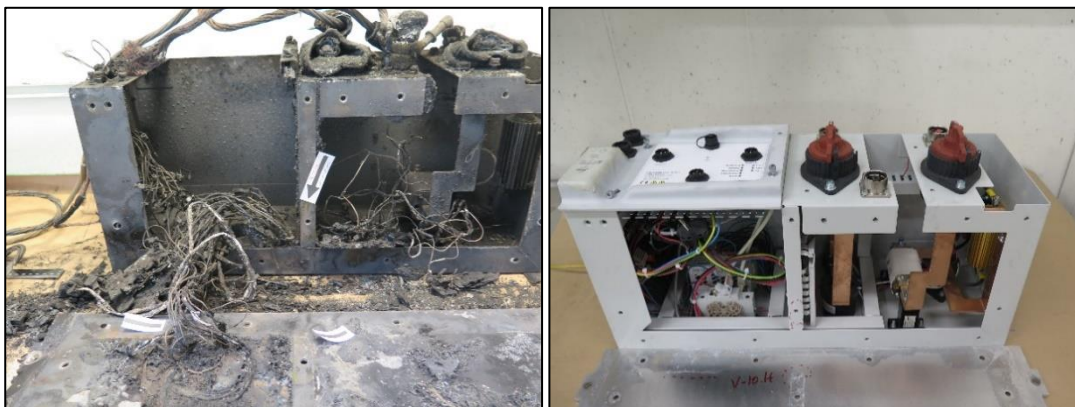
Viftemotorene i begge batterirommene ble demontert og undersøkt. På babord viftemotor ble det funnet korrosjon og rust i viftehuset og på motorakselen. Denne hadde blitt byttet av verftet i mai 2020.



Figur 38: Innsiden av styrbord viftehus. UV-lys ble brukt for å identifisere spor etter sprut og fukt. Foto: SHK

1.7.1.3 Strengkontroller

Strengkontrolleren på batteristreng 6 og 12, under viftemotor, ble demontert og undersøkt.



Figur 39: Foto til venstre viser modul fra styrbord side. Foto til høyre viser modul fra babord side.
Foto: SHK

Modulen fra styrbord side ble undersøkt for kortslutningsspor, videre ble kretskort og sikringer som ble funnet inne i modulen undersøkt. Hovedsikringen var hel.



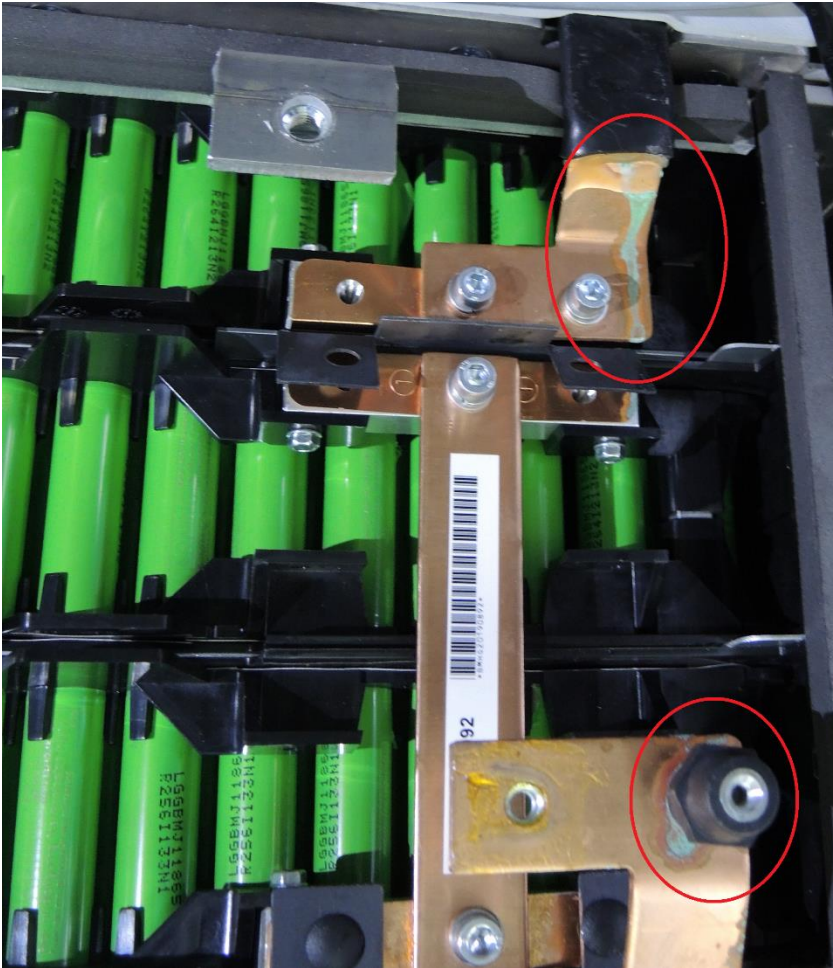
Figur 40: Bunnplaten til strengkontrolleren. Markerte områder fra der avskrapninger ble tatt og sendt til analyse. Foto: SHK

Det ble funnet saltavleiringer flere steder på bunnplaten til strengkontrolleren på babord side. Bunnplaten på styrbord side ble ikke sendt til analyse.

1.7.1.4 Undersøkelse av babord batterirom

Babord batterirom var identisk med batterirommet på styrbord side, og det ble derfor brukt til sammenlikning.

Dekselet på batteristreng 12, plassert under viften i babord batterirom, var demontert så det var mulig å se inni batterimodulene. Der ble det observert irr på kobberskinnen på øverste modul, se figur 41.



Figur 41: Irr på kobberskinnen øverst i batteristreng 12, som var plassert under viften i babord batterirom. Foto: SHK

På flensen til brannspjeldet som var montert på ventilasjonsutløpet, ble det funnet saltavleiringer, se figur 42.



Figur 42: Saltavleiringer nederst på flensen til brannspjeldet på ventilasjonsutløpet. Foto: SHK

1.7.2 FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTTS VURDERING AV BATTERIINSTALLASJONEN

FFI ble engasjert for å bistå SHK med å gjøre en vurdering av batterisystemet og ble bedt om å vurdere:

- tolkning av funn
- sannsynlig hendelsesforløp til brannen i batteripakken
- utførelsen av propageringstesten
- risikoanalysen
- betydningen av IP-graden
- konsekvensene av ventilasjonsarrangementet
- sammenligning med ulykken om bord Ytterøyningen
- brannslukningsmetode

1.7.2.1 Tolkning av funn

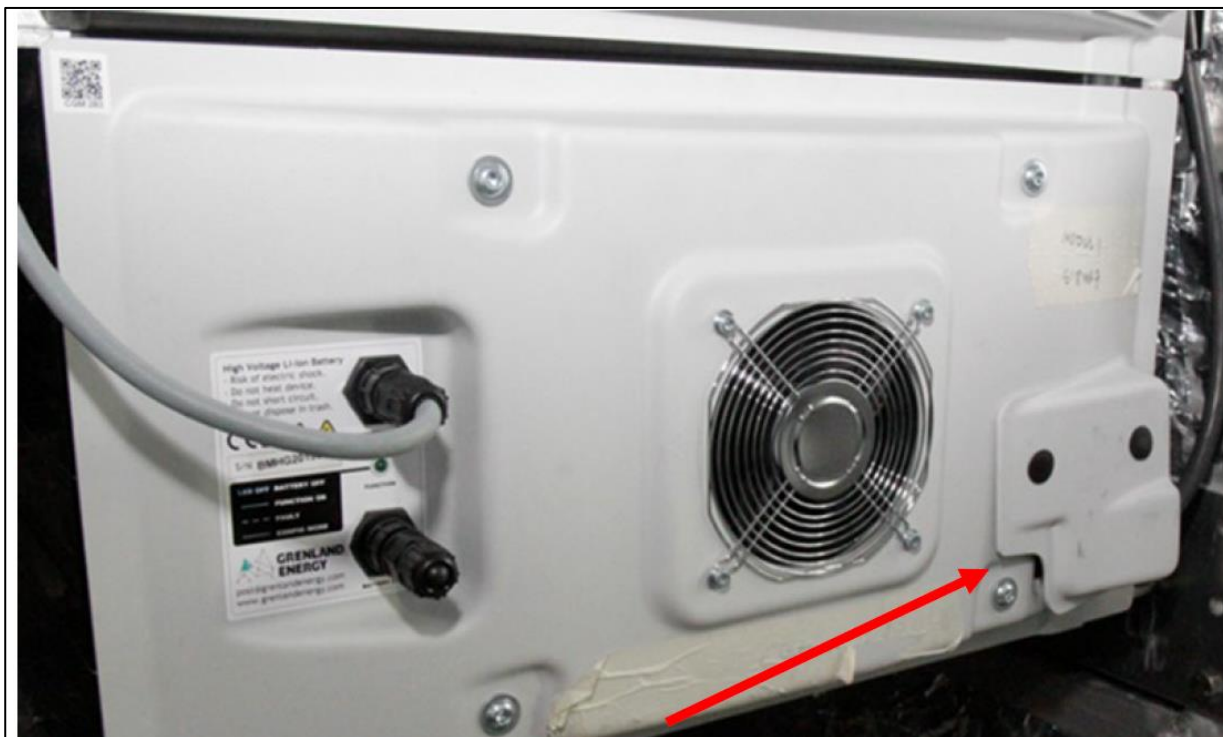
Basert på funnene etter ulykken, har FFI gjort følgende betraktninger:

På bakgrunn av funn kan man anta at saltvannsinntrengning og medfølgende kortslutning/lysbue mellom to til fire delmoduler i modul 1 batteripakke¹⁸ 6 er den mest sannsynlige forklaringen på hendelsen. Avhengig av motstanden i kortslutningen kan dette gi moderate strømmer som sikringen ikke vil slå ut på, og batteripakken blir varmet opp. Hvis hele modulen kortsluttes, øker faren for lysbue da spenningen er over 100 VDC. I tillegg kan man ha flere jordfeil i batteripakken som kan gi lysbueskader. Man kan se lysbueskader på den midtre kobberskinnen i modul 1/figur 37¹⁹.

Figur 43 viser hvordan sjøvann kan gå via minuskabelen inn i batterimodul 1 via en «ikke tett» koblingsluke.

¹⁸ Batteripakke blir omtalt i Havarikommisjonen sin rapport som batteristreng.

¹⁹ Referanse til figurer i sitat er endret til SHK rapport format



Figur 43: Modul 1 i en batteristreng fra babord side. Legg merke til at luken til høyre på modulen ikke er lukket. Foto: SHK/FFI

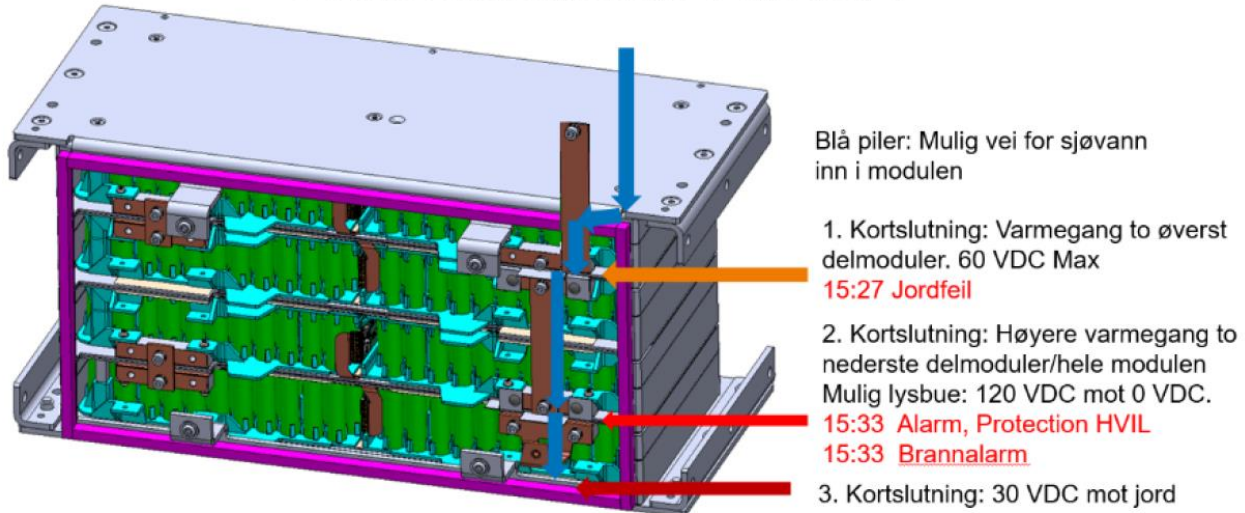
MS Brim ble satt i drift igjen etter reparasjonen. Fartøyet ble inspisert av SHK i Svolvær 31. august i 2021, og avskrap fra overflater ble analysert ved Forsvarets laboratorium. Det ble funnet sjøsalt på alle overflater i batterirommet. Det er hva man må forvente i et luftkjølt system i maritim atmosfære med et krav til luftutskifting 6 ganger i timen. Det ble også funnet saltrester inne i batterimodulene på babord side som ble undersøkt av batterileverandøren etter hendelsen. Sjøsalt er hygroskopisk²⁰, og over en viss luftfuktighet vil det danne seg en ledende film på overflatene.

1.7.2.2 Sannsynlig hendelsesforløp i batterimodul

Sjøvann har trolig kommet inn via utluftrør og viftemotor i batterirommet og dryppet ned på toppen av strengkontroller 6. Strengkontrolleren har en heldekkende topplate, og sjøvann vil da sive til siden på strengkontrolleren (noe tilfeldig) og trolig ned langs frontpakningen til batterimodulene. Vannet har sannsynligvis gått inn via kobberskinnen mellom modul 1 og 2 via svakheter i pakningen. Figur 44 viser første kortslutningspunkt i batteripakke 6, modul 1, hvor det vil være ca 60 VDC mellom kobberskinnene. Dette støttes av funn av kortslutningsskade og lysbuespor på kobberskinner inne i modul 1, se figur 37. Ved første kortslutning vil delmodulene 3 og 4 få synkende spenning og høy temperatur.

²⁰ Hygroskopisk er et stoffs evne til å ta opp fuktighet fra luft.

BRIM Batteripakke 6 Modul 1

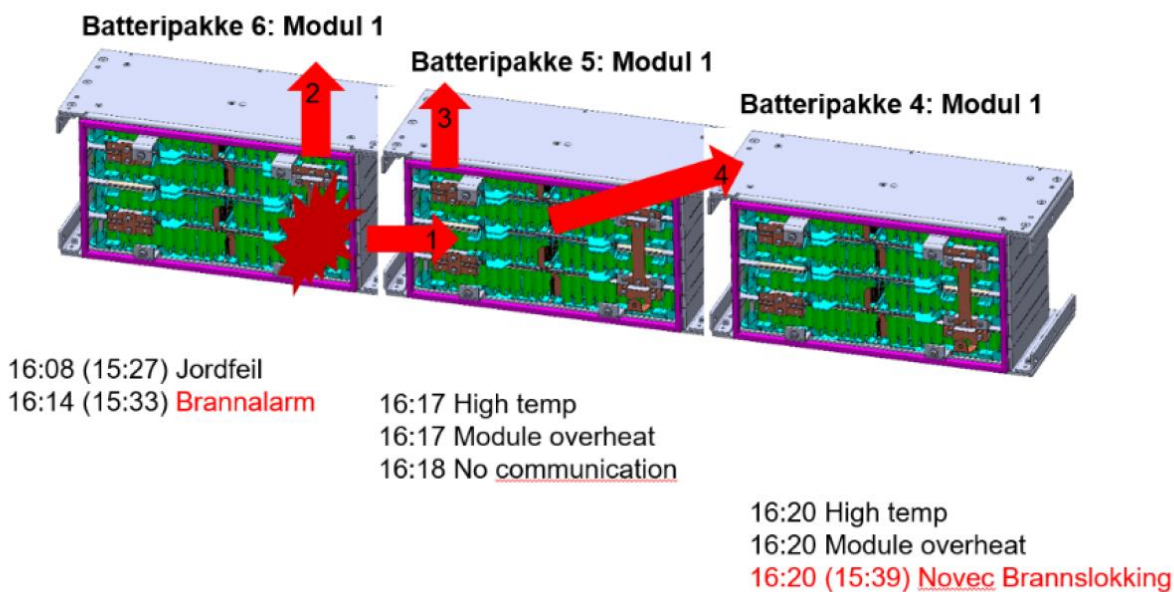


Figur 44: Mulig hendelsesforløp ved sjøvannsinntrenging i modul 1 batteristreng 6. Blå piler viser hvordan sjøvann kan ha gått inn og kortsluttet modulene på flere plasser. Illustrasjon: Batterileverandøren/FFI

Sjøvannet vil kunne gå videre via den vertikale kobberskinnen i modulen og kortslutte delmodul 1 og 2 (evt hele modulen). Man vil da få høyere varmegang på de nederste delmoduler/hele modulen og mulighet for lysbuedannelse da det kortsluttes 120 VDC mot 0 VDC. Man kan videre anta at BMS-systemet har detektert at noe er feil i batteripakke 6 og iverksetter sikkerhetstiltak: Alarm, Protection HVIL på alle batteripakken kl 15:33, samtidig som brannalarmen går. HVIL protection betyr at strengkontrolleren kobler av strømmen fra alle batteripakkene (man fikk en slik melding fra alle batteripakkene). Vannet vil trolig dryppe ned fra nederste kobberskinnene og kortslutte nederste delmodul mot gods, det vil si 30V DC mot jord. Det er trolig en lysbue som har ødelagt den vertikale kobberskinnen i midten av batterimodulen og startet brannen. Det er lite trolig at en kortslutningsstrøm klarer å smelte en slik kobberskinne.

Figur 45 viser et mulig hendelsesforløp (med lysbue) for brannspredning til batterimodulene i batteripakke 4 og 5 med klokkeslett korrespondert med feilmeldinger fra de ulike batteripakkene (plassert under de ulike batteripakkene). Klokkeslettene viser at brannen sprer seg raskt til batteripakke 5. Det tar 3-4 minutter (fra brannalarm) til BMS-systemet melder at det er høy temperatur i batteripakke 5, og 20 sekunder senere mister batteripakken datalinjen. Batteripakke 4 melder om høy temperatur 6 minutter etter brannalarmen. 6 minutter etter brannalarmen blir Novec™ 1230 brannslukkesystem aktivert, og på dette tidspunktet kan man anta at batteribrannen har spredd seg til opptil 50 % av modulene på den ene siden av batterirommet. Batterimodulene er åpne i bakkant, og en brann vil spre seg raskt oppover i batteripakkene. Etter en tid vil temperaturen i batterirommet bli så høy at batteripakken på den andre siden av rommet antennes av høy temperatur. Dette kan forklare forskjellig skade på batteripakken på de ulike sidene av batterirommet.

BRIM Mulig hendelsesforløp



Figur 45: Mulig brannspredning mellom batteripakke 4,5 og 6 i batterirommet²¹. Illustrasjon: Batterileverandøren/FFI

1.7.2.3 Propageringstesten

Det ble foretatt en evaluering av om propageringstesten var i henhold til gjeldende regelverk, se kapittel 1.9.4.9. Basert på betraktninger gjort av FFI, ble det konkludert med at batterileverandøren utførte propageringstesten etter regelverket²², men basert på bilde av batterimodulen var det umulig å si om det har foregått propagering.

I tillegg ble det utført en vurdering av hvorvidt en annen metode enn spikermetoden ville kunne gitt en annen konklusjon. Utdrag fra FFI's betraktninger er gjengitt under:

Ved brann i en litium-ion celle, må man håndtere varmen som kommer ut fra sideveggene, utkast fra cellen og flammebanen fra cellen. Denne varmen kan komme i tre retninger i en 18650-celle, det vil si gjennom bunn, topp eller sideveggene. De fleste 18650 litium-ion celler vil avgi 20–30 % av energien gjennom sideveggene, resten av energien går ut gjennom topp eller bunn av cella... NASA²³ har vist at ved bruk av celler med en energitetthet høyere en 230 Wh/kg, får man problemer med «side wall rupture»²⁴ på 18650 celler. Cellen brukt i MS Brim har en energitetthet på 260 Wh/kg. Ved «side wall rupture» vil utkast ikke komme i topp eller bunn av cella, men på langsiden av cellen. Man får derved en gass/material flamme rett mot nabocellen slik at cellene propagerer lett. «Side wall rupture» vil under de fleste omstendigheter gi propagering i en luftavkjølt batterimodul (luft mellom cellene) med 18650

²¹ Tekst under modulen er fra HMI/BMS-log med alarmer fra de aktuelle batteripakkene. Hendelsene er korrespondert med tidspunkt fra HMI/BMS-loggen med alarmkoder, tidspunkt i parentes er korrigert slik at den passer med hendelsesforløpet beskrevet i kapittel 1.1.

²² Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 4.1.2.7 og 4.2.2, Edition 2021-07 og IEC 62619:2017, Appendix B, B.1-B.3.

²³ Source: NASA NESC Task Report

TI 14 00942 "Assessment of ISS/EVA Lithium ion Battery TR Severity Reduction Measures" May 2017

²⁴ Havarikommisjonen har oversatt «side wall rupture» til «brudd i celleveggen».

celler med høy energitetthet ifølge²⁵. Dette er ikke testet i MS Brim modulene. Bruk av spikertest i en propageringstest bør bare brukes som siste utvei, hvis overlading eller celleoppvarming ikke er mulig å utføre. I dag kan man velge fritt hvilken metode man bruker i propageringstesten. Her bør man vurdere en regelendring. Hvis man må bruke spikerinitiering som testmetode, må man sørge for å gjengi alle fareaspekter fra en celle i «thermal runaway» korrekt, det vil si at det bør vises samme respons fra en spikertest som for en oppvarmingstest. Modulen bør ikke forandres slik at flammen ledes ut av modulen i feil retning.

Hvis man summerer opp alle svakheten med spikertest, ser man lett at dette kan gi en falsk sikkerhet. Man kan også se av bildene fra Kripos at noen av cellene har fått «side wall rupture». Lav ladegrad har nok hindret at mange av cellene fikk «side wall rupture». Resultatene fra propageringstesten kan derfor gi inntrykk av at systemet er sikkert og rommet kan bli klassifisert som «none-hazardous area».

Antall parallelle forsøk også viktig. Kravet er bare tre forsøk. Da er sannsynligheten for å fange en sjelden hendelse som «side wall rupture» lav.

1.7.2.4 Risikoanalysen

FFI har foretatt en vurdering av risikoanalysen. I det etterfølgende er oppsummeringen av vurderingen gjengitt.

Risikoanalysen som var utført hadde ikke identifisert alle fareaspektene ved et litium-ion batteri. En risikovurdering på litium-ion batterier bør utføres av en aktør som har gode kunnskaper om fareaspektene i et litium-ion batteri. Når man i tillegg til dette baserer seg på en propageringstest som ikke vil gi «side wall rupture» eller omsette energien fra en celle likt som i en modul, vil man gi inntrykk av at systemet er ufarlig på grunn av bruken av definisjonen «none-hazardous area». En risikoanalyse må godkjennes av en ekspertkomite bestående av en batteriekspert, en båtekspert og en høystrøm DC-ekspert. Det er den samlede kunnskapen fra disse kunnskapsområdene som kan se svakhetene i risikoanalysen. Ved nye hendelser/ny informasjon bør en risikoanalyse oppdateres via et kvalitetssikringssystem.

1.7.2.5 Konsekvensene av ventilasjonsarrangementet

FFI har foretatt en vurdering av betydningen av ventilasjonssystemet. I det etterfølgende er noen av betraktningene gjengitt.

Ventilasjonssystemet i batterirommet var et krav fra DNV-GL. Dette for å kunne luften ut «thermal runaway» gassen fra en celle uten at det ble en eksplosiv sone i batterirommet. Dette ga et krav på seks luftutskiftninger per time. I stedet for å la en detektor for brennbar gass styre ventilasjonen, lot man ventilasjonen gå kontinuerlig. Bemerk at dette er en generell anbefaling fra DNV-GL. Ventilasjonsinnløpet i batterirommet ble lagt bak batteripakke 6 og utluftviften er plassert over batteripakke 6, som man antar var start for hendelsen. Fuktig sjøluft blir da sendt inn bak batteripakke 6, og batterimodulene har en IP-grad på 2X.

Videre blir den fuktige luften sugd gjennom batterimodulene til framsiden av modulene. Dette kan være et problem på varme dager da uteluften har høyere temperaturer enn batterirommet. Fuktig sjøvannsluft kan da kondenseres på kaldere overflater (litium-ion celler) og lage kortslutninger. I et maritimt miljø vil luften inneholde noe salt, og dersom

²⁵ Darcy, Eric, et al., Guidelines for Safe, High Performing Li-ion ion Batteries with 18650 cells, JRC Exploratory Research Workshop, JRC Petten Netherlands, 8 Mar 2018.

saltholdig luft trekkes inn via ventilasjonssystemet, vil dette over tid medføre saltavleiringer som i systemer med lav IP-grad vil medføre jordfeil.

Luftkjøling, høy spenning og urensset maritim atmosfære er ingen god kombinasjon. Dersom ventilasjonen er kontinuerlig med urensset maritim atmosfære, er luftkjølte batterier uegnet for bruk i skip.

1.7.2.6 Betydningen av IP-graden

FFI har foretatt en vurdering av IP-graden for batterisystemet. I det etterfølgende er oppsummeringen av vurderingen gjengitt.

Generell lærdom fra hendelsene på MS Brim, MF Ytterøyningen og Volt er manglende IP-grad på høyspenningsdeler, væskeinntrenging med påfølgende kortslutning/lysbue med brann. IP-44 ville hindret direkte sjøvannsinntrengning i batteri- og elektronikkmodulene. Klart bedre, men saltavsetning fra ventilasjonsluft ville man fortsatt kunne få. Luftkjøling, høy spenning og urensset maritim atmosfære er ingen god kombinasjon.

Man bør definere en grense for øvre spenning for en litium-ion batteri modul. Grensen må baseres på muligheten for lysbuedannelse. Denne grensen ligger trolig mellom 50-100 VDC. Ved spenninger høyere enn lysbuegrensen må man ha «høy» IP-grad for å hindre fuktgjennomslag. Dette må gjelde alle deler /koblinger med høy spenning over grensen. Ved spenninger under lysbuegrensen kan man ha lavere IP-grad. Batterimodulen bør også ha en metode for å isolere enheten ved en hendelse det vil si brytere eller lignende.

For å redusere sannsynligheten for lysbuer burde modulspenningen ligget under 100 V. Merk at eksakt grense for DC lysbuedannelse ikke er kjent. IEEE²⁶ har anbefalt at lysbuegrensen legges på 100 V DC.

1.7.2.7 Sammenligning med ulykken om bord i MF Ytterøyningen

Felles for begge hendelsene var at ledende væske kom i kontakt med høyspenning DC-anlegg og lagde lysbuer, og feil bruk av brannslukkeanlegg.

1.7.2.8 Brannslukningsmetode

FFI har foretatt en vurdering av brannslukkingsmiddelet Novec 1230 som ble benyttet om bord for slukking av brann i batterier. I det etterfølgende er oppsummeringen av vurderingen gjengitt.

Ved tilsats av Novec 1230 vil man derfor raskt senke temperaturen i rommet og slokke eventuelle flammer. Rask senkning av romtemperatur vil også skape et undertrykk som også kan skade brannbarrierene i rommet. Ved bruk av Novec 1230 må man derfor ha et åpent ventilasjonsanlegg for å utjevne et undertrykk. Etter tilsats må ventilasjonssystem lukkes. Dette ble ikke utført på MS Brim.

Bemerk også at produsenten 3M i sin brosjyre fra januar 2018 for Novec 1230 frarådet bruk av Novec 1230 til slukking av batteribranner. En viktig grunn for dette kan være at litiumbatterier som omsettes termisk, har langt høyere utvendig temperatur enn 500 °C. Novec 1230 vil kunne fjerne flammene, senke temperaturen i batterirommet men ikke senke temperaturen i batteripakkene. Novec 1230 vil da dekomponere på overflatene på de varme batterimodulene ved temperaturer høyere enn 500 °C med dannes av HF og COF₂-forbindelser. Disse er giftige og stabile under stabile miljøforhold. I tillegg til dette har ikke

²⁶ Stephen McCluer Schneider Electric Presentation DC Systems Battery Safety Evolution through Codes Government Regulations IEEE.pdf

Novec 1230 noen kjølede effekt som kan hindre varmepropagering mellom celler og moduler.

Novec 1230 systemet ble utløst manuelt rundt 6 minutter etter brannalarm. På dette tidspunktet hadde brannen rukket å etablere seg, og det røk kraftig. Man kan anta at en god del av 3 batteripakker brant eller hadde gått i «thermal runaway» med temperaturer mellom 500-1000 °C i batterimodulene. Tilsats av brannslukkemiddel uten kjølede effekt vil trolig ikke stoppe reaksjonen i batterimodulene, bare laget en midlertidig pause. I stedet vil det dannes giftige og korrosive dekomponeringsprodukter som kan gi problemer for brannvesenet. Novec 1230 krever avansert styresystem med åpning og luking av ventiler for å unngå undertrykk og ødelagte brannbarrierer. Dette ble ikke utført riktig og kan ha ødelagt brannbarrierer og akselerert forløpet.

Uansett hvilket slukkemiddel man bruker, er rask reaksjon viktig. Brannslukningssystem i rom hvor litium-ion batterier er installert må være raskt og automatisk. Vanntåke i et høyspenningsanlegg uten høy IP-grad (som f eks MS Brim) vil gi overslag/lysbuer og anbefales ikke.

FFI kan ikke gi noen spesifikk anbefaling for brannslukkemiddel for litium-ion brann på båt, for dette vil være systemavhengig.

1.7.3 LÆRINGSMOMENTER FRA HRS

HRS har gjennomgått denne hendelsen og andre hendelser med brann i elektrisk drevne og hybridfartøy. Følgende punkter har kommet frem etter gjennomgangen:

1. Utvikling av giftige gasser skaper fare for redningspersonell.
2. Eksplosjonsfare.
3. Det er ingen merking av fartøystypen som kan gjøre innsatspersonell klar over farene de kan møte.
4. Konstruksjon av skipet er ikke tilpasset faremomentene.
5. Ekstremt vanskelig å slukke og temperaturen opprettholdes pga. energien i batteripakkene.
6. Kan være utfordrende å finne egnet sted for oppankring og videre slukking – krever stor sikkerhetssone.
7. Lav tilgang på kompetent brannfaglig personell for denne typen oppdrag. Det er opprettet kjemikalie-RITS grupper kun i Oslo og Bergen.

1.7.4 EVALUERINGSRAPPORT FRA FREDRIKSTAD BRANN- OG REDNINGSKORPS

Evalueringsrapporten etter hendelsen oppsummerte med følgende forbedringspunkter:

- Vi ønsket å hente inn mer informasjon angående risiko på fartøyet før entring, det vil si vi ønsket oss mer informasjon om fartøyet. Utrykningsleder var i kontakt med 110-sentral for å få oversendt tegninger på fartøyet via epost, men dette kom aldri.

- Tidlig i kommunikasjonen med 02 politiet / HRS bør det opplyses om hvilke ressurser vi har for å komme oss til havarist. Her må avstand, vær og sjøens beskaffenhet vurderes. Det må inn i planverket om at vi opplyser HRS hva vi trenger av sjøgående ressurser for å komme oss til havarist.

- Vi ønsker oss et bedre verktøy for å vurdere hvilken risiko vi utsetter oss for når det gjelder entring av fartøy, og da særlig hybrid-fartøy. Splashdrakt bør brukes, men det er usikkert om dette er godt nok i forhold til hydrogenfluorid / flussyre.
- Vi trenger bedre opplæring i forbindelse med brann i litiumbatterier, både til lands og til vanns. Det er behov for å nedsette et batterikollegium her i korpset.
- Det stilles spørsmål om tidlig dimittering av helse på land. Vi opplever at det er HRS som tar denne avgjørelsen. Dette skjer på et tidspunkt hvor vi forventer å kunne måtte gjøre innsats på fartøyet, og vi ønsker da helse i beredskap nærmest mulig hendelsen.
- I lys av at dette er en hendelse i rom sjø, med de utfordringer dette medfører, ser vi at RITS burde vært kalt ut. Dette på bakgrunn av at RITS-kapasiteten har særlig kompetanse og trening for bistand til skip.
- Det må brukes DMO²⁷ på røykdykking på ferger, på grunn av dekningsproblemer.

1.7.5 EVALUERINGSRAPPORT FRA VESTFOLD INTERKOMMUNALE BRANNVESEN IKS

Evalueringsrapporten til Vestfold Interkommunale Brannvesen IKS (VIB) beskriver den syv dager lange innsatsen fra fartøyet kom inn til Vallø i deres område.

1.7.5.1 Læringspunkter fra rapporten

I det etterfølgende er noen av læringspunktene fra rapporten gjengitt:

Brann i batterier utvikler kjemikalier som er helsefarlig og eksplosjonsfarlig. Dette gjør at brann i batterier kan utvikle seg til en CBRNE²⁸ hendelse.

Batterier blir i økende grad brukt som energikilde til biler, busser og båter, og til energilagring i andre sammenhenger. Dette gjør at VIB må øke kompetansen i organisasjonen rundt utfordringer ved brann, effektive slukkemetoder, risikomomenter, verneutstyr, måleinstrumenter og utarbeide styrende dokumentasjon.

Størst fare ved slike hendelser er eksplosjonsfaren og hydrogenfluorid/flussyre og at man tar utgangspunkt i det når hendelsen skal ivaretas.

Ved ulykker på sjø har staten avtale med syv brannvesen med særlig kompetanse for innsats på skip, RITS. Primært skal brannsikkerheten ivaretas av forebyggende tiltak og skipets egen beredskap. Bistand fra land vil kun være en sekundær innsats. Alle brannvesen med kystlinje har forøvrig plikt til å bistå ved brann eller ulykke i sjøområder.

Vi mener RITS-Kjem²⁹ ordningen og kompetansen er godt egnet for brann i større batteripakker. Vi mener at denne beredskapen burde vært benyttet i førsteinnsats. Dette ville også sikret at vi hadde hatt en bedre forståelse for hvilken risiko hendelsen innebar. Ordningen ble ikke benyttet. Det virker ikke som ordningen er godt nok implementert hos nødsentralene eller HRS.

Det brant i det ene batterirommet og løsningen for å eliminere eksplosjonsfaren ble å tilføre nitrogen og ha et balansert avsgug. Hvis dette er en løsning for at brannvesen skal kunne

²⁷ Direct Mode Operation

²⁸ Fellesbetegnelse som omfatter kjemiske stoffer (C), biologiske agens (B), radioaktive stoffer (R), nukleært materiale (N) og eksplosiver (E) med høyt farepotensiale.

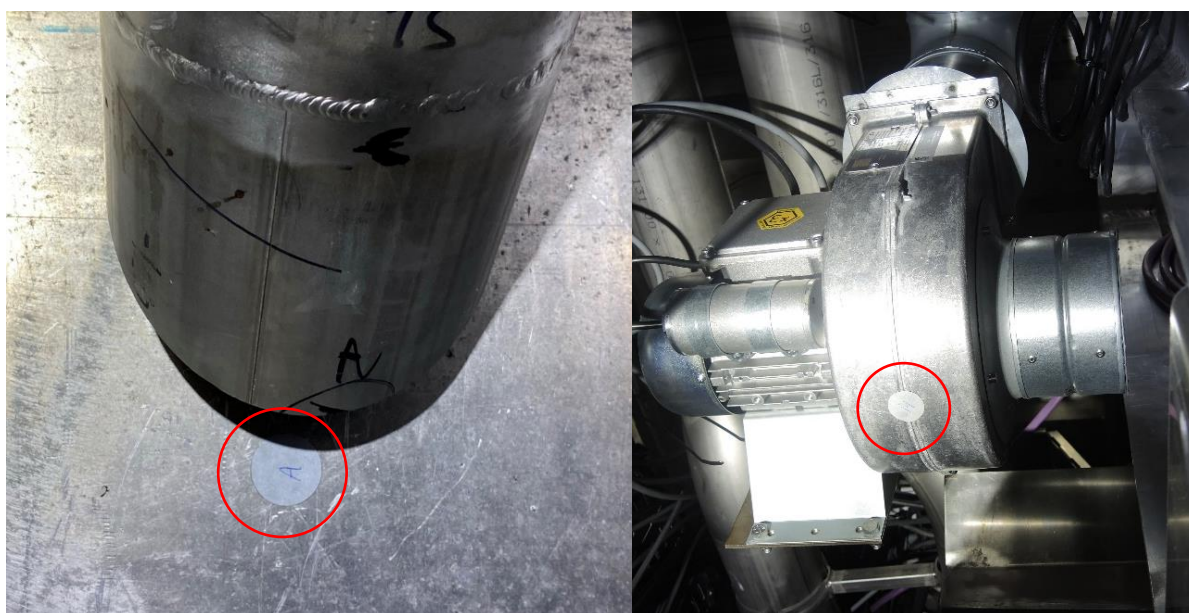
²⁹ Redningsinnsats til sjøs – kjemikaliestykker.

ivareta hendelsen på en god og effektiv måte, så må det tilrettelegges for det på alle fartøy som har større batteripakker om bord. Tilkoblinger må standardiseres og det bør utarbeides en standard for gjennomføring.

1.7.6 UNDERSØKELSE AV BRIM I ETTERKANT AV ULYKKEN

Havarikommisjonen var om bord i fartøyet i september 2021 for å se på tiltakene som ble gjort i etterkant av ulykken og for å få besvart noen ytterligere spørsmål. I den forbindelse ble det tatt partikkelprøver av begge batterirom for å se om det var spor etter salt. Prøvene ble analysert av Forsvarets Laboratorietjeneste.

Det ble tatt seks prøver fra babord batterirom og to prøver fra styrbord batterirom. Prøvene ble tatt ulike steder i begge batterirom der både nye og gamle elementer ble testet. Det ble blant annet tatt partikkelprøver på innsiden av skroget ved ventilasjonsinnløpet i begge batterirom, og på undersiden av den nye viften i styrbord batterirom, se figur 46.

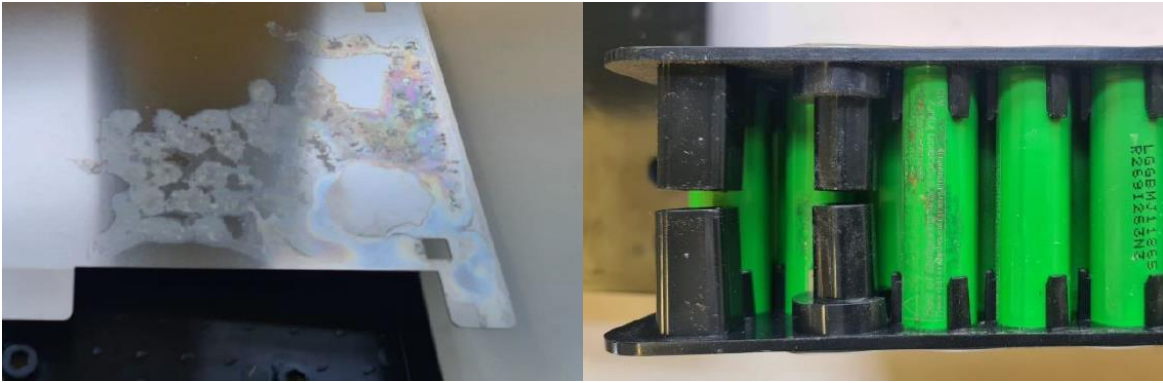


Figur 46: Partikkelprøver fra skroget ved ventilasjonsinnløpet til venstre og på undersiden av ventilasjonsviften på styrbord side til høyre. Se rød ring der partikkelprøvene var plassert. Foto: SHK

Det ble funnet spor av klor og salter på samtlige av de åtte prøvene. Det er også observert andre elementer som magnesium, svovel, kalsium og kalium som i tillegg til klor er forenlig med maritimt miljø. Prøvene inneholdt primært partikler av aluminiumoksid og glassfiber. Ifølge retningslinjer fra batterileverandøren skal batterirommet være fritt for salter.

1.7.7 BATTERILEVERANDØRENS UNDERSØKELSE AV BABORD BATTERIROM ETTER HENDELSEN

Etter hendelsen foretok batterileverandøren en undersøkelse av babord batteristreng. I rapporten ble det blant annet beskrevet at vanninntrenging i batterirommet hadde blitt identifisert tidligere. Det ble foretatt en inspeksjon av alle celled modulene. For streng 12 ble det funnet tegn på saltvannsinntrenging i alle modulene både internt og synlig på plastikk- og metalldele, se figur 47 og figur 48.



Figur 47: Bildet til venstre viser spor av uttørket saltvann på metalleder på streng 12, modul 2, celledmodul 2. Bildet til høyre viser korrosjon på celleboks og saltrester. Foto: Batterileverandøren



Figur 48: Bildet til venstre viser uttørket krystallisert salt inne i streng 12, modul 5, celledmodul 2. Bildet til høyre viser synlig korrosjon og saltvannsrester på databuss og celledmodulcover i streng 12, modul 4, celledmodul 4. Foto: Batterileverandøren

Det ble ikke funnet saltvannsrester på de andre strengene (7–11) i babord batterirom. De alvorlige funnene på streng 12 medførte at hele denne måtte byttes ut. Alle andre strenger ble vurdert å kunne brukes videre etter testing.

1.8 Rederiet og sikkerhetsstyring

1.8.1 GENERELT OM REDERIET

Fartøyet og søsterfartøyet eies og driftes av Brim Explorer AS. De er spesialbygget for opplevelser med minimal påvirkning på miljøet, og skal benyttes til turopplevelser i Lofoten, Tromsø og på Svalbard.

1.8.2 SIKKERHETSSTYRING

Rederiet har utarbeidet et sikkerhetsstyrings- og avvikssystem på plattformen Smartsea. Systemet inneholder blant annet prosedyrer, risikovurderinger, aktiviteter, øvelser, avvik, skipsdokumentasjon m.m.

Det er utarbeidet egne prosedyrer for ulike nødsituasjoner, deriblant brann, nødprosedyre for batteriromsventilasjon og Novec brannslukkesystem.

I prosedyren for brann har mannskapet dedikerte oppgaver de skal utføre, deriblant lokalisere brannen og slukke denne enten ved tradisjonell brannslukking fra dekk med slange, eller ved å utløse Novec som er skippers ansvarsområde.

Under prosedyren slukking med Novec er det detaljert beskrevet ulike metoder for å utløse slukkemiddelet i maskinrom og batterirom enten på babord eller styrbord side.

1.9 Regelverk

1.9.1 INNLEDNING

Kapitlene under gjengir relevant regelverk.

1.9.2 SJØFARTSDIREKTORATET

1.9.2.1 Forskrift om brannsikring om bord

En sentral forskrift om brannsikring om bord er forskrift 1. juli 2014 nr. 1099 om brannsikring på skip. Forskriften gjelder blant annet for skip som skal ha passasjersertifikat.

SOLAS 74 kapittel II-2 om Bygging – Brannvern, branddeteksjon og brannslukking er tatt inn i denne forskriften og beskriver blant annet krav til brannskiller. I regelverket defineres blant annet brannskiller som følger regel 3 Definisjoner nr. 2:

Skiller i klasse «A» betyr de skillene som dannes av skott og dekk og som er i samsvar med følgende kriterier:

.1 de er bygget av stål eller annet tilsvarende materiale,

.2 de er hensiktsmessig avstivet,

.3 de er isolert med godkjente ikke-brennbare materialer slik at gjennomsnittstemperaturen på den ikke-utsatte siden ikke vil stige mer enn 140 °C over den opprinnelige temperaturen, og slik at temperaturen heller ikke på noe som helst punkt, medregnet alle skjøter, vil stige mer enn 180 °C over den opprinnelige temperaturen, innenfor det tidsrommet som er oppgitt nedenfor:

klasse «A-60» 60 min

klasse «A-30» 30 min

klasse «A-15» 15 min

klasse «A-0» 0 min

.4 de er bygget slik at de kan hindre at røyk og flammer trenger gjennom skillet før utgangen av den én-times standard brannprøven, og

.5 administrasjonen har krevd en prøve av prototypen av et skott eller dekk i samsvar med FTP-koden for å sikre at det oppfyller ovennevnte krav til brannmotstand og temperaturstigning

1.9.2.2 Forskrift om sertifikat m.m. for norske skip og flyttbare innretninger

Forskrift 22. desember 2014 nr. 1893 om tilsyn og sertifikat for norske skip og flyttbare innretninger er fastsatt av Sjøfartsdirektoratet 22. desember 2014 med hjemmel i lov 16. februar 2007 nr. 9 om skipssikkerhet (skipssikkerhetsloven).

1.9.2.3 Rundskriv

Sjøfartsdirektoratet har publisert flere rundskriv som omhandler batteriinstallasjoner som følge av ulykker med fartøy med større batteripakker.

I rundskrivet fra 2016 om veiledning om kjemiske lager for energi i maritime batterisystemer var bakgrunnen å legge til rette for at skip med batteriinstallasjoner opprettholdt samme sikkerhetsnivå som skip med konvensjonell drift.

Sjøfartsdirektoratet la føringer for at et skip skal følge anerkjent klasseselskaps batteriregler, og at reglene skal være akseptert av Sjøfartsdirektoratet.

For å kunne kartlegge skadepotensialet ved en eventuell termisk hendelse i et spesifikt batterisystem, skal det utføres en propageringstest. I 2016 ble det akseptert å benytte spikertest fordi cellene er utstyrt med CID, og det ble argumentert med at oppvarming ikke var mulig.

Sjøfartsdirektoratet vurderte at DNVs regler fra 2018 oppfylte RSV 12-2016, og det har i ettertid vist seg at behovet for å ekskludere muligheten for å benytte spikertest ikke ble avdekket.

DNVs regler henviser til IEC 62619 7.3.3, som beskriver oppvarming som metode for å igangsette termisk rømling, men denne referansen gir samtidig mulighet til bruk av andre metoder for å igangsette denne reaksjonen (IEC 62619 Appendix B).

I rundskrivet fra 2019 anbefalte Sjøfartsdirektoratet at alle rederier som har fartøy med batteriinstallasjoner bør oppdatere risikovurdering knyttet til farene for mulig ansamlinger av eksplosive gasser i forbindelse med uønskede hendelser i batterisystemer.

Risikovurderingen bør identifisere mulige nødssituasjoner om bord, f.eks. brann, vannfylling, kollisjon osv. deretter innføre prosedyrer for reaksjoner i nødssituasjoner samt opplærings- og øvelsesprogrammer for å håndtere slike situasjoner.

I rundskriv fra januar 2022 blir det beskrevet at opplæringen av den som skal betjene, utføre inspeksjon eller vedlikehold av maritime batterisystemer i bruk om bord på skip, er en viktig forutsetning for å kunne utføre oppgavene på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte.

Opplæringen skal bidra til at mannskap skal kunne utføre arbeidet relatert til batterisystemer om bord på en sikker måte. Kravet vil øke kunnskapen om behandling av utstyr, farer og sikkerhet.

For fartøygruppen under 24 meter har Sjøfartsdirektoratet publisert et rundskriv fra mai 2022 der det står at elektriske energilagringssystemer på norske skip kan brukes som et alternativ til relevante klasseregler.

1.9.3 DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP (DSB)

I Sjøfartsdirektoratet sitt forvaltningsområde inngår ikke elektro-tekniske regler for eller tilsyn av maritime elektriske anlegg. Dette inngår i forvaltningsområdet til DSB jf. forskrift om maritime elektriske anlegg.

1.9.3.1 Forskrift om maritime elektriske anlegg

Forskrift 4. desember 2001 nr.1450 om maritime elektriske anlegg. Formålet med forskriften er å oppnå forsvarlig elsikkerhetsnivå ved maritime elektriske anlegg og av elektrisk utstyr tilkoblet slike anlegg.

§ 24.Beskyttelse mot ytre påvirkninger

Anlegget og det materiell og utstyr som inngår i dette skal være tilpasset de ytre påvirkninger som kan ventes.

1.9.4 DNV

1.9.4.1 Krav til batteriinstallasjoner

Krav til batteriinstallasjoner for batteridrevne fartøy er beskrevet i DNVs klasseregler «Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems». Kapitlene under gjengir relevante krav slik det fremkommer av klassereglene (versjon 2018-1).

I regelverket står det blant annet at klassenotasjonen «Battery Power» skal benyttes for fartøy hvor batterikraft blir benyttet til fremdrift under normal drift. Denne notasjonen gjelder både ren batteridrift og hybride fremdriftssystemer.

1.9.4.2 Ventilasjon

Krav til ventilasjonsarrangement for batteriinstallasjoner er beskrevet i regelverkets kapittel 2.3.1. Her beskrives krav til mekanisk ventilasjon som både sørger for tilstrekkelig luftutskiftninger per time og nødventilasjonssystem for å tynne ut luften for eksplosive gasser ved en hendelse i batteriene.

Videre beskrives det at nødventilasjonen til avgasssystemet skal starte automatisk ved gassdeteksjon fra batteriene og at viften skal kunne aktiveres ved fjernstyring. Regelverket beskriver også at det skal være mulig å aktivere vifta lokalt.

I regelverket datert juli 2021 har det kommet inn ytterligere krav til lukkemekanismer i ventilasjonsåpninger for batterirom hvor det blant annet henvises til krav i lastelinjekonvensjonen.

1.9.4.3 Områdeklassifisering og gassdeteksjon

Klassifisering av batterirommet og krav til gassdeteksjon er beskrevet i regelverkets kapittel 2.3.2. Her står det blant annet at klassifisering av batterirommet skal baseres på sikkerhetsbeskrivelsen definert i regelverkets kapittel 4.1.2.1. Videre står det at dersom brennbar gass kan oppstå, skal området klassifiseres som sone 2³⁰. Klassifiseringen skal benyttes til å støtte valg av utstyr som skal benyttes i et farlig område.

I regelverkets kapittel 2.3.2.3 står det at dersom en feil/skade på batteriene kan medføre frigjøring av brennbar gass, så skal det installeres gass-deteksjon. Gass-deteksjonssensorer skal posisjoneres slik at de detekterer så tidlig som mulig. Videre står det at gassdeteksjon skal gi alarm på broa slik at nød ventilasjon kan startes.

I regelverket datert juli 2021 har kravet blitt endret til at gass overvåkning skal installeres i batterirom, og at gass overvåkningssensorer skal lokaliseres slik at gass detekteres så tidlig som mulig.

1.9.4.4 IP-grad

Kravet til IP-sikring av batteriene avhenger av lokasjonen. Det er krav om minimum IP44.

Dette kravet er basert på bruk av vannbasert slukkesystem i batterirommet. Om det er benyttet andre slukkesystemer kan minimum IP-grad reduseres, men skal ikke være lavere enn IP2X for spenningsanlegg under 1500 VDC.

³⁰ Område hvor det ikke er sannsynlig at eksplosiv gassatmosfære vil oppstå under normal operasjon, og hvis den oppstår, vil dette skje sjelden og vil eksistere kun en kort periode.

I regelverket fra 2021 er kravet fortsatt IP44, men da er det åpning for å redusere IP-graden basert på en risikovurdering av batteriinstallasjonen. Denne risikovurderingen skal ta hensyn til inntrenging av sjøvann, da sjøvann er den siste muligheten for slukking om bord på fartøy.

1.9.4.5 Brannintegritet og branndeteksjon

Krav til brannintegritet og branndeteksjon er beskrevet i regelverkets kapittel 2.4. Her står det blant annet beskrevet at batterirom skal defineres som andre maskinrom med tanke på strukturell brannbeskyttelse.

I regelverkets kapittel 2.4.1.2 står det at brannintegritet til batterirom skal være skiller av klasse A-0 og ha A-60 mot blant annet maskinrom av kategori A og mønstring og ombordstigningsområder for passasjerskip.

I regelverkets kapittel 2.4.2.1 står det at batterirom skal overvåkes med konvensjonell røykdeteksjon.

1.9.4.6 Brannslukking

Krav til brannslukkemidler er beskrevet i regelverkets kapittel 2.4.3. Her står det blant annet at batterirom skal beskyttes ved bruk av et fastmontert «total-flooding» brannslukkesystem godkjent for bruk i maskinrom av kategori A gitt i SOLAS Reg. II-2/10 og i International Code for Fire Safety Systems (FSS-koden). Det står videre at det anbefales et vannbasert system på grunn av vannets nedkjølende effekt.

Videre står det blant annet at dersom det skal benyttes et automatisk gass-slukkesystem må dette godkjennes av flaggstat.

I kapittel 5.2.1.3.4 i FSS-koden står det at automatisk utløsning av fastmontert brannslukningsmiddel ikke skal tillattes, unntatt hvis det blir akseptert av administrasjonen (Sjøfartsdirektoratet).

1.9.4.7 Sikkerhetsvurdering

Videre har DNVs regelverk satt krav til gjennomføring av sikkerhetsvurdering for å sørge for sikkerhet til passasjerer, besetning og fartøy.

I regelverkets kapittel 2.5 står det beskrevet krav til å utføre en sikkerhetsvurdering hvor alle relevante ulykkesscenarioer med potensielle årsaker og konsekvenser skal defineres. Risikoen for scenarioene skal evalueres og risikoreduserende tiltak for å kontrollere og redusere risiko skal identifiseres. Potensielle farer kan være gassdannelse, brann- og eksplosjonsrisiko, eksterne farer som eksponering for brann og vanninntrenging.

I regelverket datert juli 2021 har kravet blitt endret ved at krav til sikkerhetsvurdering er fjernet og erstattet med krav til utarbeidelse av sikkerhetsfilosofi. Dette på bakgrunn av at kvaliteten på sikkerhetsvurderingene var vurdert av DNV til å være for dårlig. Sjøfartsdirektoratet har opplyst at de delte DNVs bekymring over manglende kvalitet på risikoanalysene. De mente at DNV-regelverket fra 2020 var mer preskriptivt, og dermed reduserte behovet for risikoanalyser.

1.9.4.8 Fribord

Krav til fribord er beskrevet i DNVs klasseregler «Rules for Classification: High speed light craft (DNVGL-RU-HSLC-Pt3Ch6. Edition December 2015). Avsnittet under gjengir relevante krav om ventilasjonsåpninger slik det fremkommer av klasseregelverket

I regelverkets kapittel 3.6.1 er det beskrevet at den laveste enden av ventilasjonsåpningen ikke skal være lavere enn 1,7 m over vannlinjen. Vannlinjen skal måles i fullastet kondisjon. For

ventilasjonsåpninger som ikke er nødvendige for driften av fartøyet på sjøen kan en lavere høyde vurderes. Da må i så fall en lukkemekanisme monteres som en permanent løsning.

I regelverkets kapittel 3.6.3 beskrives det videre at ventilasjonsåpningene skal ha beskyttelse mot vannsprut og det er foretrukket at åpningen skal peke mot akterenden av fartøyet.

1.9.4.9 Propagering

I regelverkets kapittel 4.1.2.6 står det at designet av batterimodulen skal forhindre propagering av en termisk hendelse fra den første cellen til en annen celle. Alternativt skal systemet bli designet slik at brann i en celle kan spre seg i modulen, men ikke til en annen modul.

For å demonstrere batteriets evne til å forhindre propagering skal tester utføres i henhold til regelverkets kapittel 4.2.2 om propageringstest. Kravene til propageringstesten tar utgangspunkt i den internasjonale standarden IEC 62619 (§ 7.3.3 and Appendix B) og er modifisert til to følgende alternativer.

1. Batterisystemet er designet for ingen propagering mellom celler inne i en modul.
2. Batterisystemet er designet for ingen propagering mellom moduler – med eller uten brannslukkingsmiddel.

1.9.5 IEC 62619:2017

Relevante testmetoder for å starte termisk rømling, slik det kommer fram av IEC62619:2017, kan være opphetning, overlading, spiker-test, en kombinasjon av disse eller andre metoder som er teoretisk passende.

1.10 Tilsyn med rederi og fartøy

Tilsynet med fartøyet ble utført av både Sjøfartsdirektoratet og DNV. Sertifisering av fartøy med batteriinstallasjoner har ikke Sjøfartsdirektoratet egne regler for, de baserer seg da på en klassenotasjon rederiet har kjøpt fra et klasseselskap, i dette tilfellet DNV. Denne inkluderte godkjenning av selve batteriinstallasjonen og dens plassering om bord, herunder brannsikkerhet i batterirom.

Sjøfartsdirektoratet bestemmer hvilke regler som skal anvendes på norske skip og har akseptert DNVs klasseregler.

Hvis skipet bygges i henhold til klasseregler gjør Sjøfartsdirektoratet normalt ikke dokumentkontroll av de områdene som dekkes av klassenotasjonen, men tar dokumentasjonen til informasjon. Hvis skipet ikke bygges i klasse, foretar Sjøfartsdirektoratet dokumentkontroll opp mot det valgte klasseselskapets regler.

Sjøfartsdirektoratet har ansvar for sertifisering av fartøyet. Dette ansvaret er ikke delegert selv om Sjøfartsdirektoratet normalt stoler på den kontrollen klasseselskapet gjør av sitt eget regelverk.

1.10.1 SJØFARTSDIREKTORATETS GODKJENNING AV FARTØYET

Sjøfartsdirektoratet utstedte de lovbestemte sertifikatene, og fulgte derfor opp tonnasje, lastelinje, stabilitet, livredning og generell brannsikkerhet.

Sjøfartsdirektoratet utførte førstegangstilsyn i 2019 og årlig tilsyn i oktober 2020. Dette ble utført i henhold til forskrift 22. desember 2014 nr.1893 om tilsyn og sertifikat for norske skip og flyttbare innretninger for å vise at skipet oppfyller kravene til konstruksjon og utrustning som gjelder for passasjerskip i innenriksfart.

Som en del av førstegangstilsynet ble dokumentasjon tilknyttet batteriinstallasjonen gjennomgått, der en sjekklister utarbeidet for batteriinstallasjoner ble benyttet. Det ble ikke gitt noen pålegg som følge av denne gjennomgangen.

Det årlige tilsynet ble utført basert på Sjøfartsdirektoratets sjekklister. I henhold til Sjøfartsdirektoratet ble ikke sjekklister gjennomgått i sin helhet, men stikkprøver ble utført basert på hva som ble erfart om bord. Verken førstegangstilsynet eller det årlige tilsynet resulterte i pålegg knyttet til brannisolasjon eller vanntett integritet knyttet til batterirommet.

Sjøfartsdirektoratet foretok godkjenning knyttet til oppfyllelse av lastelinjekrav i henhold til DNV HSLC klasseregler. Dette innebar blant annet en godkjenning av fribordsplanen, der alle fyllingspunkter skal være inntegnet.

På fribordstegningen som ble sendt inn av verftet til Sjøfartsdirektoratet i forbindelse med godkjenning var ikke fyllingspunktene fra batteriventilasjonen tegnet inn. Ventilasjonsarrangementet var kun vist på de detaljerte ventilasjonstegningene som ble sendt til DNV for godkjenning. DNV på sin side vurderte ikke lastelinjeforhold og krav til fribord som var Sjøfartsdirektoratets ansvarsområde. Verftet har opplyst at fribordstegningen ble sendt inn før ventilasjonsarrangementet for batterirommene var ferdigstilt og at det var grunnen til at fribordstegningene manglet denne informasjonen.

Fribordstegningene og ventilasjonstegningene ble godkjent av ulike fagdisipliner og ulike aktører med spesialkunnskap knyttet til de ulike fagområdene, men det ble ikke kryssjekket om tegningene samsvarte. Løsningen med ventilasjonsutløp i tunnel og svanehals ble av verftet presentert for Sjøfartsdirektoratets fagekspertise på brannsikkerhet. Fagdisiplinen i Sjøfartsdirektoratet som har ansvar for lastelinjeforhold hadde ikke blitt involvert i denne diskusjonen og kjente dermed ikke til løsningen med utløp i tunnel.

Løsningen ville ifølge Sjøfartsdirektoratet ikke blitt godkjent dersom dette hadde vært angitt på fribordstegningene. Ventilasjonsarrangementet oppfylte ikke kravet om 1,7 m fra vannlinje til ventilasjonsutløp, se kapittel 1.9.4.8, noe som i henhold til Sjøfartsdirektoratet ville medført at det skulle vært en manuell lukkemekanisme i utløpet. Det ble i tillegg avdekket etter hendelsen at rørene som var installert i utløpet ikke var vanntette og dermed ikke ivaretok vanntett integritet.

1.10.2 DNVS GODKJENNING AV FARTØYET

DNV sin oppfølging av fartøyet var begrenset til å følge opp krav som stod i klassereglene.

Fartøyet ble klassifisert i henhold til DNV-regleverket «Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft, Juli 2017» den 09.10.2019 med følgende klasse:

- 1A LC Passenger craft Battery (Power) R2 (nor)

RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec.1 Januar 2018 ble benyttet for godkjenning av batteriinstallasjonen, mens resten av fartøyet var godkjent etter RU-HSLC Juli 2017. Bakgrunnen for at batteriinstallasjonen fulgte 2018-reglene var at disse klassereglene var harmonisert med Sjøfartsdirektoratets rundskriv RSV 12-2016³¹ og at oppfølgingen dermed ble enklere.

Vedrørende brannsikkerhet var DNV sin rolle begrenset til oppfølging av brannsikkerheten av batterirommene i henhold til gjeldende klasseregler.

³¹ Sjøfartsdirektoratet: Bakgrunnen for rundskrivet er å legge til rette for at skip med batteriinstallasjoner opprettholder samme sikkerhetsnivå som skip med konvensjonell drift.

DNV godkjente ventilasjonsarrangementet i batterirommene med tanke på brannintegritet og avgass-funksjonen. Dette ble utført ved at fagekspertise på brann og elektro gjennomgikk tegninger og beskrivelser. Det var ingen dialog med Sjøfartsdirektoratets fagdisiplin på lastelinjeforhold når denne løsningen ble godkjent.

I forbindelse med godkjenningprosessen av batterisystemet ble det gitt flere kommentarer til verftet knyttet til blant annet ventilasjonssystemet, risikovurderingen og brannisolering. Disse punktene ble ifølge verftet lukket av DNV.

1.10.3 TILSYN AV SØSTERSKIP BARD ETTER ULYKKEN

Etter ulykken var Sjøfartsdirektoratet på tilsyn hos søsterfartøyet Bard. Fartøyene er ikke identiske, men de hadde mye til felles. Fartøyet Bard var til forskjell fra Brim konstruert og bygget etter lastelinjekrav som er gitt i HSC2000. Sjøfartsdirektoratet påpekte i sin tilsynsrapport at med daværende løsning ville vannet kunne trenge inn i ventilasjonsrøret om det traff tunneltaket.

Ved inspeksjon ble det avdekket at det kom vann inn i ventilasjonsrøret, samt videre lekkasje inn i batteriets omgivelser. Sjøfartsdirektoratet mente at løsningen var i strid med kravene i HSC2000 regelverket. Ventilasjonsarrangementet var i likhet med Brim heller ikke indikert på fribordsplanen.

1.11 Andre aktører

1.11.1 BATTERILEVERANDØREN

I forbindelse med batterileveransen var batterileverandøren en underleverandør og var ikke fysisk involvert ved monteringen av batteriene, men bistod med igangkjøring av systemet.

1.11.2 VERFTET

Verftet holdt til i Ålesund og hadde spesialisert seg på offshore redningsfartøy. De bygde hovedsakelig hurtiggående fartøy mellom 5 og 25 meter i aluminium og kompositt materiale. Siden oppstart i 1994 har verftet produsert over 2 000 fartøy.

Verftet jobbet med konseptutvikling av fartøyet sammen med rederiet i ca. et halvt år før prosjektet skulle realiseres. Deretter tok verftet over designutviklingen og bygging av fartøyet.

1.11.3 LEVERANDØR AV FREMDRIFTSSYSTEMET

Fremdriftsleverandøren var underleverandør til verftet og drev med utvikling, produksjon, salg og service av kontrollsystem for manøvrering og fremdrift av skip.

1.12 Tidligere ulykker med hybridfartøy

1.12.1 M/F YTTERØYNINGEN

10. oktober 2019 oppstod det en brann om bord bilfergen M/F Ytterøyningen. Rett før fergen skulle legge til kai gikk brannalarmen i batterirommet. Maskinsjefen gikk for å sjekke og observerte mye røyk og flammer. Novec ble etter hvert utløst og kort tid etter ble også vanntåkeanlegget, som anvendte sjøvann, utløst.

Undersøkelser har vist at brannen trolig startet som følger av en lekkasje i kjølevannssystemet til batteriene. Kjølevæske hadde trolig kommet i kontakt med elektriske komponenter i batteriet og ført en kortslutning og lysbuer med påfølgende brann. Brannen utviklet høy varme som førte til

termisk rømling. Saltvann fra vanntåkeanlegget satte i gang flere kortslutninger og bidro til videre branntilløp.

Morgenen etter hadde det utviklet seg mye avgasser fra batteriene som førte til en eksplosjon i batterirommet.

Sjøfartsdirektoratet utarbeidet en rapport etter hendelsen som blant annet oppsummerte læringspunkter og anbefalinger til videre arbeid. Det er flere av læringspunktene og funnene fra denne hendelsen som er relevante sett i lys av funn gjort i denne undersøkelsen. Disse var blant annet spesifikke kompetansekrav til sjøfolk som skal jobbe på skip med større litium-ion installasjoner om bord, viktigheten av tidlig slukking og korrekt ventilasjonsstrategi.

1.13 Iverksatte tiltak

1.13.1 REDERIET

Rederiet har i etterkant av ulykken risikovurdert brann i batterirom og blant annet iverksatt følgende tiltak:

- Rederiet har risikovurdert brann i batterirom og implementert tiltak som ukentlige brannøvelser og spesifikke øvelser for brann i batterirom.
- Ombygging av ventilasjonsarrangementet til batterirommene som bedre ivaretar vanntett integritet. I ventilasjonsrøret som går ut i tunnelen er det installert en automatisk tilbakeslagsventil som skal forhindre vanninntrenging. Diameteren på røret er blitt utvidet for trykkavlastning i tilfellet tilbakeslagsventilen feiler. Viften og brannspjeldet er montert før svanehalen. Det er montert en vifte som sirkulerer luften i rommet og aircondition med temperaturkontroll.
- På ventilasjonsinntaket er brannspjeldet lukket slik at dette røret ikke benyttes under drift av fartøyet og kun åpnes i et begrenset tidsrom ved røykutvikling. Pusteluft kommer derfor fra tilstøtende maskinrom ved at døren holdes åpen 10 minutter før entring av rommet.
- Skottene til tilstøtende rom er tett og gråvannstanken i batterirommet er fjernet.
- Rederiet har endret prosedyre for utlufting ved deteksjon av røyk. Vifte vil nå starte automatisk fremfor å gå kontinuerlig.
- Prosedyre for betjening av brannspjeld er endret slik at disse alltid er lukket, med mindre ventilasjonen starter automatisk. Ved utløsning av Novec vil brannspjeld åpne og ventilasjon stanses. Deretter vil brannspjeldene lukkes etter utløsning.
- Prosedyren for inspeksjon av batterirom omfatter å se etter salt-rester og vannforekomster.

1.13.2 BATTERILEVERANDØR

I etterkant av hendelsen har batterileverandøren utarbeidet en rapport etter å ha undersøkt batteriene på babord side av Brim. Batterileverandøren påpekte at vanninntrenging gjennom ventilasjonssystemet var kjent etter tidligere hendelse på babord side. Samtidig påpekte de at ventilasjonssystem i kontinuerlig drift var imot deres anbefalinger for direkte luftkjøling av batterisystemet.

Batterileverandøren har gjennomført en undersøkelse av alle batterimodulene. Arbeidet inkluderte demontering, inspeksjon, analyse av enhetene og test av modulene, før noen av dem ble montert tilbake om bord.

1.13.3 VERFTET

Verftet har utarbeidet nye sjekklister for kontroll av arrangement- og systemtegninger i forhold til regelkrav. Videre har de revidert prosessbeskrivelser som omhandlet alle prosjektrelaterte aktiviteter fra inngåelse av kontrakt til levering av fartøy. Disse omfatter oppgaver, ansvar og kapasitetsbehov. Verftet har informert om at de vil prioritere forståelse av regelverk og avklare usikkerheter med relevante aktører i forkant av byggestart.

Verftet mener at disse tiltakene vil gjøre prosjektgjennomføringen, spesielt designfasen, mer oversiktlig og kontrollerbart i forhold til regelkrav.

1.13.4 DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP

DSB var involvert i hendelsen med MF Ytterøyningen i oktober 2019 der det var batteribrann om bord. Etter denne hendelsen ble det besluttet at det skulle utarbeides en veileder³² for risikovurdering og håndtering av brann i litium-ion batterier. Veilederen ble ferdigstilt og publisert åtte måneder etter hendelsen med Brim. Læringspunkter fra begge hendelsene ble dermed inkludert i veilederen.

DSB har opprettet et tverrfaglig batterinettverk internt for å fokusere på sikkerhetsaspekter ved litium-ion batterier, og for å oppdatere sitt regelverk og veiledere.

³² <https://www.dsbinform.no/DSBno/2021/veiledning/risikovurderingoghaandteringavbrannilitium-ionbatterier/>

2. Analyse

2.1 Innledning	60
2.2 Hendelsesforløp	60
2.3 Brann teknisk analyse	61
2.4 Design av batterisystem og batterirom	62
2.5 Aktørenes samhandling i forbindelse med tidligere hendelser	67
2.6 Oppfølging og godkjenning av Sjøfartsdirektoratet	67
2.7 Vurdering av ekstern brannberedskap	68

2. Analyse

2.1 Innledning

Analysen innledes med en vurdering av hendelsesforløpet, fra brannen ble detektert til fartøyet ble evakuert. Videre vurderes batterirommets design og kunnskap om farene ved at batteriene eksponeres for saltvann. Avslutningsvis drøftes aktørenes samhandling, Sjøfartdirektoratets og DNVs rolle i forbindelse med godkjenningen av fartøyet, samt den eksterne brannberedskapen.

Fartøy med hybrid- eller helelektrisk fremdrift ved bruk av større batteristsystemer er relativt ny teknologi innen skipsfart. Undersøkelsen har vist at det er flere områder hvor sikkerheten kan forbedres. I en teknologisk utviklingsprosess er det nødvendig at alle aktørene bidrar til et godt sikkerhetsnivå.

2.2 Hendelsesforløp

Fra mai 2020 og frem til ulykkesdagen hadde fartøyet seilt i skjermet farvann og vært lite eksponert for bølger og sjø. Ulykkesdagen var første seilas etter at de kom inn til Indre Oslofjord, hvor fartøyet ble utsatt for noe sjø. Da fartøyet fikk bølgene inn på babord side traff disse innvendig på styrbord skrog opp under tunnelen, og dette har mest sannsynlig ført til vanninntrenging gjennom ventilasjonsutløpet og videre inn til batterirommet. Hvordan sjøvann kan ha kommet inn i batterirommet beskrives nærmere under kapittel 2.4.3 om ventilasjonsarrangementet.

Rett før brannen hadde batterisystemet koblet seg ut som følge av en jordfeil som ble indikert på et panel på broa. Jordfeil hadde vært et gjennomgående problem siden fartøyet var nytt. Mannskapet oppfattet derfor denne alarmen som «en av mange», og vurderte den derfor ikke som alvorlig. De hadde ikke mulighet til å identifisere hvor jordfeilen kom fra eller alvorlighetsgraden av denne.

Brannpanelet indikerte brann i både maskin- og batterirom på styrbord side. Dette var trolig som følge av at røyk hadde spredt seg raskt via brannskillet mellom batterirommet og maskinrommet, noe som også ble observert av skipperen på kamera i maskinrommet, Maskinpasseren verifiserte også dette da ved ankomst maskinrommet. Batterirommet var brannisolert med skiller mot tilstøtende rom som skulle forhindre at røyk og flammer trengte gjennom skillet i en time. Hendelsen viste at brannskillet ikke forhindret røykgjennomtrengning, og bidro til at mannskapet ikke forstod hvor brannen oppstod. Hvorfor brannskillet ikke fungerte er drøftet videre i kapittel 2.4.5.1.

Batterirommet hadde heller ikke kameraovervåkning, noe som kunne bidratt til at mannskapet kunne fått avkreftet sin feilaktige oppfattelse av at det brant i maskinrommet. I DNV sitt oppdaterte klasseregelverk³³ fra 2021 anbefales det kameraovervåking av batterirom for bedre situasjonsforståelse for mannskapet, samt krav om gassmonitorering for tidlig detektering av gass før denne utvikles til røyk. Dette anses som viktige hjelpemidler for rask deteksjon av røykutvikling.

Skipperen besluttet å nødstoppe styrbord hovedmotor og nødgeneratoren. Dette førte til langt mindre redundans i manøvrering, instrumenter og fremdrift. Havarikommisjonen ser likevel ikke at reduksjon i fremdrift og manøvrering påvirket videre hendelsesforløp i negativ retning.

Den feilaktige oppfattelsen av at det brant i maskinrommet medførte at brannsløkningsmiddelet Novec først ble utløst i maskinrommet etter ca. fem minutter. Da røykutviklingen ikke avtok, forsto

³³ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, Section 2.3.2.1 and 2.8.1, Edition 2021-07

mannskapet at det var i batterirommet det brant. Det tok dermed ca. syv minutter før Novec ble utløst i batterirommet. Tiden fra brannalarmen gikk til Novec ble utløst ble for lang til at slökkemiddelet fikk noen betydelig effekt på batteribrannen. Bruk av Novec som slökkemiddel og effekten av dette drøftes nærmere i kapittel 2.4.5.2.

Mannskapet fikk ikke startet brannpumpa, fordi drivstofftilførselen til nødgeneratoren var stengt. Mannskapet ville ikke hatt mulighet til å benytte brannslangen i batterirommet da tilstøtende rom var fullt av røyk. Dessuten ville bruk av brannslange trolig ha forverret brannen, da brannpumpa benyttet sjøvann. Slökkemidlene mannskapet hadde tilgjengelig kunne dermed ikke ha bidratt til å slokke brannen.

Evakuering og ekstern bistand med slokking ble derfor eneste mulighet for mannskapet. Redningsselskapet bistod med nedkjøling av skroget ved hjelp av brannpumper med sjøvann. Havarikommisjonen mener at dette kunne ha ført til en forverring av brannen dersom vannet hadde kommet i kontakt med batteriene, hvilket var tilfelle ved tidligere hendelse med bilfergen M/F Ytterøyningen.

Røyken som kom gjennom ventilasjonssystemet, medførte at store deler av fartøyet ble eksponert for farlig røyk. Noe av redningsutstyret var lokalisert ved ventilasjonsinnløpet, og ville vært utilgjengelig for eventuelle passasjerer om bord. Det at fartøyet var uten passasjerer, i nærheten av land og andre fartøy som kunne bistå, gjorde at konsekvensene ble begrenset. At mannskapet beholdt roen og gjennomførte sine arbeidsoppgaver var også av positiv betydning for utfallet.

2.3 Brannteknisk analyse

Basert på branntekniske undersøkelser om nedfall, skadeomfang og kortslutningsspor, startet brannen i batteristreng 6 i modul 1. Dette underbygges også ved at festepunktene til de tykkeste kobberskinnene var brent helt av.

Havarikommisjonen mener at sjøvann med stor sannsynlighet har kommet inn gjennom ventilasjonsuttaket i tunnelen som følge av bølger som slo opp under tunnelen, og rant videre gjennom ventilasjonsviften og ned på batteriene. Havarikommisjonen kan ikke utelukke at kondensvann kombinert med saltavleiringer fra sjøluft har gitt ledeevne for strøm. Dette er likevel lite sannsynlig fordi ventilasjonsviften til avgassystemet trakk romtemperert luft (15–25 grader) ut, og det ville derfor ikke blitt kondens i viften, spesielt i så store mengder at det var behov for et dreneringsdeksel.

I tillegg har trolig fuktig sjøluft fra luftinntaket kommet inn bak batteristreng 6, og deretter blitt sugd gjennom batterimodulene via viftemotorene. Det at kortslutningen ikke intraff tidligere, kan ha vært som følge av at de seilte i skjermet farvann med lite bølger.

Da batteristreng 6 ble eksponert for sjøluft og sannsynligvis sjøvann over tid, medførte dette saltavleiringer som i kombinasjon med fuktighet ga ledeevne for strøm, se også kapittel 1.7.2.1. Det var den lave beskyttelsesgraden som gjorde at sjøvann og sjøluft kunne trenge inn i batterimodulen. Beskyttelsesgrad, sjøvanninntrenging og ventilasjonssystemet drøftes nærmere i kapittel 2.4.1, 2.4.2 og 2.4.3.

Undersøkelsen har vist at brannen spredte seg raskt på grunn av høy temperatur. Dette drøftes videre i kapittel 2.4.1.1 og 2.4.1.2 om propagering og IP-sikring av høyspenningsdeler.

2.4 Design av batterisystem og batterirom

2.4.1 DESIGN OG TESTING AV BATTERIPAKKEN

2.4.1.1 Propageringstest

Brannen spredte seg raskt til nærliggende moduler, og til slutt til hele batterirommet. Den branntekniske undersøkelsen har vist at noen battericeller i batterimodul 1 hadde ukontrollert ventilering gjennom brudd i celleveggen. Et slikt brudd i celleveggen er en sjelden hendelse, men dersom det oppstår vil det være vanskelig å forhindre propagering i et batterisystem med luftavkjøling. Dersom batteriene hadde vært fulladet ville sannsynligvis flere celler ventilerert gjennom celleveggen, og brannen ville utviklet seg raskere.

I DNV klasseregelverket³⁴, basert på IEC 62619-standarden, er det valgfritt hvilken av de godkjente metodene som kan benyttes for gjennomføring av propageringstest. Metoden som ble valgt viste seg ikke å være hensiktsmessig for denne batteritypen, da den ikke avdekket faren for brudd i celleveggen. Spikertesten har flere svakheter som kan endre utfallet av testen og gi en falsk trygghet. Blant annet vil ikke testen kunne avdekke cellenes svakhet for brudd i celleveggen. Andre metoder som lokal oppvarming av en celle anses som mer egnet testmetode for å avdekke batteriets svakhet for brudd i celleveggen.

Havarikommisjonen mener at det må vurderes om spikertesten er en egnet metode for å avdekke risiko for brudd i celleveggen for sylindriske celler med høy energitetthet. Videre må det vurderes om det skal være valgfritt hvilken propageringstestmetode som skal benyttes, da valget av mest gunstige metode kan gå på bekostning av sikkerheten.

Havarikommisjonen tilrår Sjøfartsdirektoratet å stille krav om at det velges hensiktsmessige testmetoder for gjennomføring av propageringstestene, som reflekterer farene som kan oppstå i de ulike batteritypers design, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/03T i kapittel 4.

2.4.1.2 IP-sikring av høyspenningssystemer

Den branntekniske undersøkelsen har vist at brannen oppstod som følge av lysbuer i høyspenningsdeler som ikke hadde tilstrekkelig IP-sikring. Delmodulene var koblet i serie via kobberskiner, noe som innebar at den mekaniske kobbersikringen måtte brennes av for å kunne isolere en delmodul fra en annen. For at sikringen skulle brennes av krevdes det høy varmgang over tid. Det fantes ingen annen måte å frakoble en modul ved en isolasjonsfeil.

Det er per i dag gjort lite forskning på lysbuedannelser i DC-systemer, og det er derfor ikke noe klart svar på hvor spenningsgrensen går for muligheten for lysbuedannelser. Det er anbefalt av IEEE at den legges på 100 V DC.

Dersom hver enkelt modul hadde hatt spenning under spenningsgrensen for lysbuedannelse og kunne blitt automatisk isolert med en rask strømbryter fra resten av systemet, ville dette kunne forhindre brann som følger av lysbuedannelse. En løsning med strømbryter på batterimodulene om bord hadde ikke forhindre brannen, da spenningsnivået for flere av modulene lå over den anbefalte lysbuegrensen. Ved spenninger høyere enn lysbuegrensen må man ha tilstrekkelig IP-grad for å hindre fuktgjennomslag. Dette bør gjelde alle deler og koblinger med spenningsnivå over lysbuegrensen.

³⁴ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 4.1.2.7 og 4.2.2, Edition 2021-07 og IEC 62619:2017, Appendix B, B.1-B.3.

2.4.2 BATTERIENES BESKYTTELSESGRAD MOT SJØVANN

Batterisystemet om bord Brim hadde lav beskyttelsesgrad (IP2X) mot eksponering av sjøvann. Risikoanalysen levert av verftet beskrev faren med vanninntrenging, men alle tiltakene beskrevet var ikke i samsvar med designet, se kapittel 1.5.8. Dette ble heller ikke oppdaget av DNV under godkjenning av risikoanalysen. Forholdet drøftes videre i kapittel 2.4.3.

I risikoanalysen ble det beskrevet at det var kritisk å detektere sjøvannsinntrenging på et tidlig tidspunkt for å unngå elektrolyse. Det var kun installert en vannstandsalarm for deteksjon av større mengder sjøvann for igangsetting av lensepumper. Vannstandsalarm er ikke egnet til å detektere små mengder med saltvann som kan utgjøre fare for et batterisystem. Havarikommisjonen mener derfor at tiltaket med kun en vannstandsalarm ikke er et tilstrekkelig tiltak for å detektere mindre mengder med saltvann.

Manglende IP-sikring av batterisystemet og høyspenningsdeler medførte at saltholding veske som trengte inn i batterimodulene førte til lysbuer og påfølgende brann i batterirommet. Dersom batterimodulene, kontaktpunkter og høyspenningsdeler hadde hatt en høyere IP-grad ville sannsynligheten for sjøvannsinntrenging blitt redusert, og kunne mulig forhindre jordfeil. Saltavsetninger fra ventilasjonsluft vil fortsatt kunne oppstå i et maritimt miljø, og dette forholdet drøftes videre i kapittel 2.4.3.

DNVs klasseregelverk³⁵ fra 2021 er oppdatert til å omfatte krav til minimum beskyttelsesgrad til IP44, med mindre en risikovurdering tilsier at lavere beskyttelsesgrad kan bli akseptert. Slik regelverket er utformet kan dette medføre at lavere beskyttelsesgrad vil kunne bli godkjent, og at risikovurderingen ikke gjenspeiler den reelle risikoen for hvert spesifikke design, noe som var tilfelle for hendelsen med Brim. Havarikommisjonen mener at kravet til beskyttelsesgrad må ses i sammenheng med utformingen til batterirommet og hvor eksponert det er for påvirkning mot ytre omgivelser. Høy IP-grad kan redusere effekten av brannslukningssystemer, da slukkemiddelet ikke vil trenge inn i modulen. Videre kan man ikke utelukke en intern feil i modulen som kan føre til kortslutning og brann, en hendelse som vil være uavhengig av IP-graden. Alle parametere som kan påvirke sikkerheten må vurderes og godkjennes samlet i form av en risikovurdering. Dette drøftes nærmere i kapittel 2.4.4 og 2.6

2.4.3 VENTILASJONSARRANGEMENTET

Ventilasjonsarrangementet var utformet med utløpet i skrogets tunnel, se også kapittel 1.5.4. Undersøkelsen har vist at sjøvann med stor sannsynlighet kom igjennom ventilasjonsutløpet, rant ned gjennom viften og videre ned på batteriene. Verken verftet, DNV eller Sjøfartsdirektoratet identifiserte at viften var et lekkasjepunkt med tanke på sjøvanninntrenging.

Svanehalen, som en del av ventilasjonsarrangementet, ble inkludert av verftet for å oppfylle krav til fribordshøyde, se kapittel 1.5.5. Viften, som var et lekkasjepunkt, var montert før svanehalen. Svanehalen hadde derfor ingen funksjon for ivaretagelse av fribordskrav og med tanke på batterisikkerhet.

Verftets risikoanalyse identifiserte faren for sjøvann via ventilasjonsutløpet for avgassystemet, se kapittel 1.5.8. Det var beskrevet at dette var hensyntatt ved å øke fribordet til 4,5 meter, noe som viste seg å være en feil i selve risikoanalysen. Godkjenningensmyndigheten avdekket heller ikke dette.

³⁵ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 4.1.7, Edition 2021-07

Siden ventilasjonsutløpet ikke oppfylte kravet om høyde over vannlinjen på 1,7 meter, var det krav om en manuell lukkemekanisme. Dette var ikke installert på Brim, noe som medførte at det ikke var noen barrierer mot sjøvanninntrenging. Havarikommisjonen kan likevel ikke se at en manuell lukkemekanisme i utløpet ville utgjort en forskjell. Dette fordi en slik løsning i praksis kunne vært et lokk som kun skulle stenges ved en hendelse, noe som ikke ville forhindre vanninntrenging ved normal drift.

Dersom ventilasjonsutløpet hadde vært plassert på skutesiden hadde sannsynligheten for vanninntrenging trolig ikke vært like stor, selv om utløpet hadde vært plassert mindre enn 1,7 meter over vannlinjen. Dette fordi ventilasjonsåpningen ikke ville blitt utsatt for slamminkrefter.

Ventilasjonsystem i batterirom, for å luften ut eksplosive avgasser, var et krav i DNV klasseregelverket³⁶. På Brim ble det besluttet å la ventilasjonssystemet gå kontinuerlig i stedet for å installere en gassdetektor for å aktivere ventilasjonen. Dette medførte kontinuerlig tilførsel av sjøluft inn i batterirommet. Luftkjølte batterier i kombinasjon med kontinuerlig ventilasjon med friskluft anses å være en lite egnet løsning for bruk i batterirom, da rommet må være fritt for salt, partikler og fuktighet. I et maritimt miljø vil luften alltid inneholde noe salt. Dersom denne luften blir trukket direkte inn via ventilasjonssystemet, vil dette over tid føre til saltavleiringer som videre kan medføre jordfeil.

Havarikommisjonen mener at plasseringen av ventilasjonsutløpet i tunnelen var ugunstig, og uten tilstrekkelige tiltak for å forhindre vanninntrenging. Plassering av ventilasjonsutløpet høyt opp over dekk kunne redusert sannsynligheten for vanninntrenging, men da måtte uttaket vært plassert i tilstrekkelig avstand med tanke på mulig eksponering for passasjerer. Ventilasjonssystemet var i utgangspunktet en sikkerhetsbarriere for å luften ut eksplosive gasser ved en hendelse, men medvirket i stedet til at sjøvann sannsynligvis kom inn i rommet. Havarikommisjonen kan ikke se at lastelinjekravene er tilpasset for å ivareta batterisikkerheten ved å forhindre at sjøvann i mindre mengder kan trenge inn i et batterirom.

Havarikommisjonen tilrår at Sjøfartsdirektoratet sørger for at regelverk for batterisikkerhet utvikles slik at ventilasjonsarrangement ikke bidrar til at batterier og høyspenningsdeler blir utsatt for fuktig sjøluft eller sjøvann, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/04T i kapittel 4.

Rederiet har i etterkant av ulykken gjennomført flere tiltak på ventilasjonsanlegget, se kapittel 1.13.1. Blant annet har det blitt foretatt en ombygging av ventilasjonsarrangementet for å redusere faren for sjøvanninntrenging. Havarikommisjonen mener at en løsning med ventilasjon over dekk, lokalisert høyt opp, trolig ville være en bedre barriere både mot sjøvanninntrenging og eventuell eksponering av passasjerer for giftig røyk ved en hendelse. At ventilasjonen nå ikke går kontinuerlig er også et tiltak som vil redusere mengden fuktig sjøluft som blir trukket inn i batterirommet.

2.4.4 RISIKOVURDERING

Undersøkelsen har vist at risikoanalysen levert av verftet hadde mangler og ikke gjenspeilet den reelle risikoen for batterisystemet om bord Brim.

Batterirommene ble definert som «non-hazardous area», noe som var misvisende og ga en oppfatning av at batterirommet var et ufarlig område. Dette førte også til at gassdeteksjon ikke ble installert i batterirommene, og det tok lengre tid før brannen ble oppdaget. I DNVs

³⁶ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 2.3 Ventilation, Edition 2018-1

klasseregelverk³⁷ datert juli 2021 er dette endret til at det alltid skal installeres gass-overvåkning, se kapittel 1.9.4.3.

Farene ved høy spenning og lysbuedannelse ble heller ikke reflektert som en del av risikoanalysen, selv om dette blant annet var kjent etter hendelsen på MF Ytterøyningen, se kapittel 1.12.

Havarikommisjonen kan ikke se at risikoanalysen gjenspeilet den reelle risikoen for brann i batteripakkene, da verken ventilasjons- eller batterisystemets svakheter ble identifisert i tilstrekkelig grad. En risikoanalyse bør inneholde alle relevante farer som til sammen utgjør den totale risikoen fra batterisystemet. Dette bør utføres av de ulike fagdisiplinene. Samlet vil dette kunne avdekke svakheter i utformingen av fartøyet og identifisere faremomenter ved bruk av litium-ion batterier.

I DNVs oppdaterte klasseregelverk³⁸ fra 2021 har kravet til sikkerhetsvurdering blitt endret til et krav om utarbeidelse av en sikkerhetsfilosofi. Endringen oppstod som følge av at kvaliteten på sikkerhetsvurderingene, var vurdert av DNV og Sjøfartsdirektoratet til å være av for dårlig kvalitet, men at det oppdaterte regelverket reduserte behovet for risikoanalyser gjennom mer preskriptive regler. Havarikommisjonen mener at kravet til en sikkerhetsfilosofi slik det er formulert i 2021 klasseregelverket, ikke vil avdekke svakheter med samme kvalitet som gjennom en helhetlig risikovurdering av potensielle farer og hvordan disse skal unngås gjennom risikoreduserende tiltak. DNV har opplyst at aktørene i større grad bør bidra til utvikling av sikkerheten til fartøy med litium-ion batterier. DNV-reglene åpner opp for at en lavere IP-grad av batteriene kan godtas dersom dette risikovurderes. Dette fremhever ytterligere viktigheten av at en helhetlig risikovurdering blir gjennomført. Havarikommisjonen mener at en helhetlig risikovurdering med ulike fagdisipliner vil bidra til at aktørene selv må identifiserer farer og nødvendige risikoreduserende tiltak.

Havarikommisjonen tilrår Sjøfartsdirektoratet å stille krav om risikovurderinger ved bruk av litium-ion batterier, og at disse inneholder alle relevante farer identifisert av ulike fagdisipliner, som til sammen utgjør brannrisikoen for fartøyet, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/06T.

2.4.5 BRANNISOLASJON OG SLOKKESYSTEM I BATTERIROMMET

2.4.5.1 Batterirommets brannintegritet

Brannskillet mellom batteri- og maskinrommet skulle forhindre spredning av røyk og flammer i en time. Hendelsen har vist at røyk og giftig gass fra batterirommet raskt hadde spedt seg til maskinrommet, uten at brannen spredte seg videre til tilstøtende rom. Røyken i maskinrommet medførte at mannskapet ikke klarte å identifisere hvor det brant, og de fikk dermed ikke utløst brannslukkemiddelet tidlig nok. Havarikommisjonen har ikke undersøkt hvordan røyken kom seg gjennom skottet mellom batteri- og maskinrommet, men mener likevel at dette er vesentlig for å ivareta brann og røykintegriteten mellom disse rommene. Det er ikke blitt gjort noen etterfølgende kontroll av verken eksisterende eller gjenoppbygde skott. Havarikommisjonen mener at det må gjøres bedre kvalitetssikring av utførelsen til brannisolering av batterirom.

Verken ved godkjenning av tegningsgrunnlaget, ved byggeoppfølging eller ved inspeksjon ble det avdekket at skottet ikke var røyktett. Havarikommisjonen mener det er behov for bedre kvalitetssikring av utførelse av brannisolering av batterirom ved ytterligere tiltak som sikrer at gass og røyk ikke trenger gjennom brannskillet.

³⁷ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, Section 2.3.2.1, Edition 2021-07

³⁸ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 2.5 Safety philosophy of the onboard installation, Edition 2021-07

Havarikommisjonen tilrår Sjøfartsdirektoratet om å innføre ytterligere tiltak for å verifisere røyktetthet og ivaretagelse av brannintegritet, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/05T.

2.4.5.2 Novec 1230 som slukkemiddel for batteribrann

I denne hendelsen tok det ca. syv minutter etter at brannalarmen gikk før første dose med Novec ble utløst i batterirommet. På dette tidspunktet hadde trolig brannen etablert seg og flere batterimoduler gått i termisk rømling. Utløsning av brannslukkemiddel må skje raskt og automatisk for å ha noen effekt ved en litium-ion brann. Sen utløsning av Novec ga derfor liten effekt på brannforløpet, selv om det kan ha hatt en kjølede effekt i en kort periode.

Utløsning av Novec krever et avansert styresystem med åpning og lukking av ventiler for å unngå undertrykk og ødelagte brannbarrierer. Novec ble utløst i henhold til prosedyre, men da brannspjeldet ble stengt før utløsning, kan dette ha svekket brannbarrierene og akselerert brannforløpet, som følge av kraftig undertrykk.

I henhold til regelverket³⁹, er det innenfor skipsfart i utgangspunktet ikke tiltatt med automatisk utløste gass-systemer på grunn av blant annet krav til personellsikkerhet. Noen norske fartøy har fått innvilget automatisk slukking, basert på gjennomførte sikkerhetstiltak for å unngå ulykker ved utilsiktet utløsning. Da hurtig utløsning er avgjørende for effekten, vil det være utfordrende å slukke en brann på grunn av tiden det tar ved manuell utløsning. Allikevel kan både kameraovervåkning og gassdeteksjon være viktige hjelpemidler for tidlig deteksjon.

Sjøfartsdirektoratet var kjent med problemstillingen knyttet til farer, kompleksiteten og effekten ved bruk av Novec, men har opplyst at det per i dag ikke finnes et slokkesystem som kan slukke en litium-ion brann. Havarikommisjonen mener Novec er lite egnet som et brannslukkemiddel til bruk i batterirom, fordi det er komplekst å benytte korrekt, har dårlig effekt, og det dekomponerer til giftige gasser ved høy varme. Det er heller ingen andre slukkealternativer som fungerer optimalt. Havarikommisjonen mener det er et sikkerhetsproblem at det ikke eksisterer et tilstrekkelig slokkealternativ for litium-ion batterier.

Havarikommisjonen tilrår Sjøfartsdirektoratet å innføre kompensierende tiltak som ivaretar sikkerheten for passasjerer og besetning, dersom det oppstår brann i litium-ion batterier, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/08T.

Etter hendelsen på Brim var det tydelige tegn på at Novec hadde dekomponert til giftige og korrosive produkter. Dette kan utgjøre en fare for både passasjerer og mannskap, og må hensyntas i en beredskapssituasjon.

Undersøkelsen har vist at det ikke var nok kunnskap hos mannskapet om bruk og farer ved bruk av Novec. Havarikommisjonen mener at det er viktig at brukeren har god kunnskap om kompleksitet, begrensninger og farer ved bruk av Novec. I rundskriv nummer 4 fra Sjøfartsdirektoratet i 2022 ble det opplyst om nye krav til opplæring av mannskap om maritime batterisystemer om bord på norske skip. Havarikommisjonen fremmer derfor ingen tilråding på dette området.

³⁹ FSS-koden, kapittel 5.2.1.3.4

2.5 Aktørenes samhandling i forbindelse med tidligere hendelser

I risikovurderingen av batterisystemet, som blant annet var basert på sikkerhetsbeskrivelsen til batterileverandøren, ble faren for sjøvann i batterirommet identifisert, og det var derfor kunnskap om denne type risiko både hos rederiet, batterileverandøren og verftet.

Som følge av fuktproblemer ble det besluttet å bytte kretskort, vifte og installere en dreneringsløsning fra viftehuset. På dette tidspunktet har det blitt opplyst at både rederi og batterileverandør trodde at årsaken til fuktproblemene var kondensvann og ikke sjøvann. Tiltakene som ble innført var enkle løsninger som ikke forhindret sjøvann å trenge inn i batterirommet. Dreneringsløsningen ble for øvrig ikke installert i styrbord batterirom der brannen oppstod. Dersom sjøvannsinntrengingen og risikoen knyttet til dette hadde blitt forstått og tilstrekkelige tiltak hadde blitt implementert i begge batterirom, mener Havarikommisjonen dette kunne forhindret brannen.

Etter hendelsen på Brim foretok batterileverandøren en undersøkelse av babord batteripakke, hvor det ble funnet saltavleiringer i flere moduler. Havarikommisjonen mener batterileverandøren hadde kompetanse om farene ved sjøvannsinntrenging, og hadde ved flere anledninger mulighet til å oppdage problemet. Det er uklart for Havarikommisjonen hvorfor dette ikke ble oppdaget eller adressert av batterileverandøren før i etterkant av hendelsen.

2.6 Oppfølging og godkjenning av Sjøfartsdirektoratet

Oppfølging og godkjenning av Brim var delt mellom Sjøfartsdirektoratet, DNV og DSB.

2.6.1 GODKJENNING AV VENTILASJONSARRANGEMENTET

DNV godkjente ventilasjonsarrangementet i batterirommene, men vurderte ikke lastelinjeforhold som fribordskrav og fyllingspunkter fra ventilasjonssystemet, da dette ble godkjent av Sjøfartsdirektoratet.

Fribordsplanen som ble godkjent av Sjøfartsdirektoratet manglet viktig informasjon om ventilasjonsåpninger, og dermed også fyllingspunktene.

Fribordskravene har blant annet som formål å ivareta et fartøys stabilitet og vanntette integritet, og dermed stilles det krav om fribord til fyllingspunkter. Havarikommisjonen kan imidlertid ikke se at lastelinjekravene har som formål å forhindre at sjøvann og fuktig sjøluft i mindre mengder kan trenge inn i et batterirom for å ivareta batterisikkerheten.

Det var ingen krav i DNVs regelverk for batterisikkerheten til hvordan fyllingspunkter tilhørende batterirommet skulle beskyttes mot sjøvannsinntrenging. Batterisikkerheten som helhet ble ikke tilstrekkelig ivaretatt, ingen avdekket farene ved sjøvannsinntrenging via ventilasjonsarrangementet, og basert på hvordan klasseregelverket er utformet i dag, kan samme feil gjenta seg.

2.6.2 ROLLER OG TILSYN

Fartøy og skipsutstyr kan ha flere tilsynsorganer, som også var tilfellet med dette fartøyet. Den elektriske installasjonen om bord skulle oppfylle krav i forskrift om maritime elektriske anlegg, som forvaltes av DSB. Forskriften stiller ingen egne krav til større batteriinstallasjoner om bord på fartøy.

Sjøfartsdirektoratet stiller ikke egne krav til batterisikkerhet, men baserer seg på klasseregelverk. Klaseselskapene kan ha ulike krav til batterisikkerhet, noe som kan medføre at fartøy har ulik standard på batterisikkerheten avhengig av hvor de er klasset.

Havarikommisjonen mener at regelverkskravene for fartøy over 24 meter⁴⁰ som forvaltes av de ulike tilsynsorganene må definere en minimumsstandard som ivaretar batterisikkerheten.

Siden batterianlegget om bord var så inkorporert i andre forhold som reguleres av Sjøfartsdirektoratet, mener Havarikommisjonen det er viktig at tilsynsmyndighetene foretar en avklaring av ansvaret mellom Sjøfartsdirektoratet og DSB slik at det er klare rammer med regelverk og angjeldende tilsynsoppfølging.

Regelverket har henvisning til normstandarder som ikke har holdt tritt med utviklingen. Tilsynsmyndighetene må derfor sikre at de følger teknologiutviklingen. På de områder det ikke finnes gode nok normstandarder, må tilsynsmyndighetene utvikle eget regelverk for å sikre trygg operasjonell drift når det tas i bruk ny teknologi.

Sjøfartsdirektoratet har et overordnet ansvar for å ivareta sjøsikkerheten, og tilrås derfor å koordinere samhandlingen med ulike fagmyndigheter.

Havarikommisjonen tilrår Sjøfartsdirektoratet som forvaltningsmyndighet, i samarbeid med DSB å stille krav til alle norske fartøy, uavhengig av klasse, bygges til en definert standard som ivaretar batterisikkerheten, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/07T i kapittel 4.

2.7 Vurdering av ekstern brannberedskap

Hendelsen har vist at det var begrenset kunnskap hos de ulike aktørene og brannvesenet som skulle håndtere slokkearbeidet. Fra de ulike aktørenes evaluering etter hendelsen, se kapittel 1.7.3, 1.7.4 og 1.7.5 ble det påpekt flere forbedringsområder.

HRS påpekte at det er et problem at fartøy ikke er elektronisk merket dersom det har store batteripakker om bord. Om de hadde hatt kjennskap til dette kunne de hatt en tettere dialog med brannvesen for å identifisere nødvendige sikkerhetstiltak slik at redningspersonell ikke blir utsatt for unødvendig fare. Denne informasjonen er viktig med tanke på valg av ressurser og hvor hurtig evakuering må gjennomføres.

Et læringspunkt var blant annet at det er for lite informasjon om risikoen innsatspersonell kan bli utsatt for på hvert enkelt fartøy før entring, og at den etablerte RITS-Kjem ordningen og kompetansen burde vært benyttet som førsteinnsats. Det ble også påpekt mangler i forhold til standardiserte løsninger for å slukke litium-ion branner om bord på fartøy, og behovet for å utrede tekniske løsninger der eksempelvis tilkoblinger må standardiseres på de ulike fartøy for effektiv tilførsel av brannslukkingsmidler.

Sjøfartsdirektoratet påpekte også flere av de samme læringspunktene i etterkant av hendelsen med Ytterøyningen.

Begge hendelser har identifisert et behov for å få mer kunnskap om farene innsatspersonell kan møte ved brann i elektrisk drevne fartøy og øke kompetansen om slokking av litium-ion branner.

DSB har utarbeidet og publisert en veileder for risikovurdering og håndtering av brann i litium-ion batterier. Dette anses som et positivt tiltak, men vurderes ikke alene å være tilstrekkelig for å øke kompetansen om hvordan brannvesenet skal løse oppdraget. Blant annet har brannvesenet ytret et behov for en tilrettelagt og forhåndsdefinert slukkemetode for å håndtere en brann om bord på et

⁴⁰ Sjøfartsdirektoratet har publisert en veiledning for fartøy under 24 meter.

<https://www.sdir.no/sjofart/regelverk/rundskriv/veiledning-for-elektriske-energilagringsystemer-maritime-ees-systemer-pa-norske-skip-med-lengde-l-under-24-meter/>

fartøy med en større batteriinstallasjon. Det må vurderes om en standard slukkemetode skal anbefales for å gi forutsigbarhet og redusere usikkerhet i møte med en litium-ion brann. Økt kunnskap gjennom kursing må gjennomføres for alle som skal håndtere større litium-ion branner.

Havarikommisjonen mener derfor at det fortsatt er behov for å øke kunnskap og kompetanse hos aktører som er involvert i førsteinnsats ved brann i litium-ion batterier.

Havarikommisjonen tilrår at DSB styrker kunnskapen og kompetansen til aktørene som er involvert i førsteinnsats på ulykker med brann i bord fartøy med litium-ion batterier, se sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/09T i kapittel 4.

3. Konklusjon

3.1 Hovedkonklusjon.....	71
3.2 Undersøkelseresultater	71

3. Konklusjon

3.1 Hovedkonklusjon

Brannen om bord oppstod med stor sannsynlighet som følge av at sjøvann trengte inn via ventilasjonssystemet og kom i kontakt med batterisystemets høyspenningsdeler, med påfølgende kortslutning, lysbuer og brann. Videre har undersøkelsen vist at den lave beskyttelsesgraden bidro til at sjøvann og sjøluft kunne trenge inn i batterimodulene.

Sen utløsning av brannslukkemiddel ga liten slukkeeffekt og hindret ikke brannforløpet, men hadde en kjølede effekt i en kort periode. Undersøkelsen har vist at det mangler en tydelig slukkestrategi som begrenser skadeomfanget ved brann i litium-ion batterier.

Videre har undersøkelsen vist at det er flere områder hvor farer ved bruk av litium-ion batterier ikke var tilstrekkelig identifisert eller ivaretatt i design. DNVs klasseregelverk for batterisikkerhet, slik det er utformet i dag, ivaretar ikke i god nok grad fareaspektene ved bruk av litium-ion batterier om bord fartøy.

3.2 Undersøkelsesresultater

3.2.1 HENDELSESFORLØPET, OPERATIVE OG TEKNISKE FAKTORER

- A. Sjøvann har med stor sannsynlighet kommet inn gjennom ventilasjonsuttaket i tunnel som følge av bølger som slo opp under tunnelen, og rent videre gjennom ventilasjonsviften og ned på batteriene.
- B. Da saltholdig væske kom i kontakt med spenningsdeler, medførte dette kortslutninger og lysbuedannelser i batteriet, og dermed kraftig varme- og røykutvikling.
- C. Fartøyet hadde ikke installert gassalarm eller kameraovervåkning i batterirommet, hvilket gjorde det utfordrende for besetningen å tidlig detektere røykutvikling i rommet.
- D. Manglende brannintegritet i batterirommet medførte at røyk spredte seg til tilstøtende rom. Dette bidro til at besetningen først trodde det brant i maskinrommet, noe som førte til at brannslukningsmiddelet ble utløst senere i batterirommet.

3.2.2 DESIGN AV BATTERISYSTEMET OG BATTERIROMMET

- A. Den branntekniske undersøkelsen har vist at noen battericeller i batterimodul 1 hadde ukontrollert ventilering gjennom brudd i celleveggen. Dersom batteriene hadde vært fulladet ville sannsynligvis flere celler ventilert gjennom celleveggen, og brannen hadde utviklet seg raskere.
- B. I henhold til dagens regelverk⁴¹, er det flere godkjente metoder for gjennomføring av propageringstest. Spikertesten har flere svakheter som kan endre utfallet av testen og gi en falsk trygghet.
- C. Manglende IP-sikring av batterisystemet og høyspenningsdeler gjorde at saltholdig veske trengte inn i batterimodulene, noe som førte til kortslutninger og påfølgende brann i

⁴¹ Rules for Classification: Ships (RU-SHIP), Part 6 Additional class notations, Ch.2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, section 4.1.2.7 og 4.2.2, Edition 2021-07 og IEC 62619:2017, Appendix B, B.1-B.3.

batterirommet. Dersom batterimodulene, kontaktpunkter og høyspenningsdeler hadde hatt en høyere IP-grad ville sannsynligheten for vanninntrenging blitt redusert.

- D. Det hadde ikke blitt identifisert at viften som var lokalisert rett over batteriene kunne være et lekkasjepunkt, med tanke på sjøvanninntrenging via ventilasjonsutløpet i tunneltaket.
- E. Det var gjennom tidligere hendelser avdekket at viften i babord batterirom ikke var tett, men dette ble ikke tilstrekkelig utbedret. Det ble ikke foretatt designendringer for ventilasjonssystemet i styrbord batterirom, basert på denne kunnskapen.
- F. Det var ikke røyktett mellom batterirommet og maskinrommet, selv om dette ifølge tegningsunderlaget skulle vært isolert med A-60.
- G. Risikoanalysen gjenspeilet ikke den reelle risikoen for brann i batterisystemet. Havarikommisjonen mener en risikoanalyse bør inneholde alle relevante farer som til sammen utgjør den totale risikoen fra batterisystemet. Dette bør utføres av de ulike fagdisiplinene.
- H. Undersøkelsen har vist at slukkemiddelet Novec ga liten effekt på brannforløpet, og at det per i dag ikke finnes effektive slukkemidler som hindrer brann og propagering i litium-ion batterier. Det er en sikkerhetsutfordring at det ikke finnes effektive slukkemidler for litium-ion branner.

3.2.3 AKTØRENES ROLLE I FORBINDELSE MED GODKJENNING AV FARTØYET

- A. Fribordsplanen manglet viktig informasjon om fyllingspunkter fra ventilasjonssystemet til batterirommet. Dette medførte at de som godkjente fribordsplanen i Sjøfartsdirektoratet ikke var kjent med at ventilasjonsutløpet var plassert i tunnelen.
- B. DNV godkjente ventilasjonsarrangementet i batterirommene, men vurderte ikke lastelinjeforhold som fribordskrav og fyllingspunkter fra ventilasjonssystemet, da dette ble godkjent av Sjøfartsdirektoratet.
- C. Det var ingen krav i DNVs regelverk for batterisikkerheten til hvordan fyllingspunkter tilhørende batterirommet skulle beskyttes mot sjøvannsinntrenging. Basert på hvordan regelverket er utformet i dag kan samme feil gjenta seg.
- D. Verken verftet, DNV eller Sjøfartsdirektoratet identifiserte at viften var et lekkasjepunkt med tanke på sjøvanninntrenging. Batterisikkerheten ble dermed ikke helhetlig ivaretatt, og ingen oppdaget farene med sjøvanninntrenging.
- E. Sjøfartsdirektoratet stiller ikke egne krav til batterisikkerhet, men baserer seg på klasseregelverk. Klaseselskapene kan ha ulike krav til batterisikkerhet, noe som kan medføre at fartøy har ulik standard på batterisikkerheten avhengig av hvor de er klasset.
- F. Det er viktig at tilsynsmyndighetene foretar en avklaring av ansvaret mellom Sjøfartsdirektoratet og DSB slik at det er klare rammer med regelverk og angjeldende tilsynsoppfølging.

3.2.4 EKSTERN BRANNBEREDSKAP

- A. HRS har ikke mulighet til å identifisere om fartøy har større batteripakker om bord. Dersom de hadde hatt kjennskap til dette, ville de hatt en tettere dialog med brannvesen for å identifisere nødvendige sikkerhetstiltak, slik at redningspersonell ikke blir utsatt for unødvendig fare.
- B. Hendelsen har vist at det var begrenset kunnskap hos brannvesenet som skulle håndtere slokkearbeidet.
- C. Sjøfartsdirektoratet påpekte flere av de samme læringspunktene i etterkant av hendelsen med Ytterøyningen. Begge hendelser har identifisert et behov for å øke kompetansen om slokking av litium-ion branner på grunn av utfordringene med slokkearbeidet.
- D. Økt kunnskap gjennom kursing må gjennomføres for alle som skal håndtere større litium-ion branner.

4. Sikkerhetstilrådingar

4. Sikkerhetstilrådingar

Statens havarikommisjon fremmer følgende sikkerhetstilrådingar⁴² som har til formål å forbedre sjøsikkerheten:

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/03T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Undersøkelsen har vist at propageringstesten som ble benyttet for å identifisere batteriets sannsynlighet for propagering mellom celler hadde flere svakheter og ikke identifiserte muligheten for brudd i celleveggen. I DNVs regelverk, basert på IEC 62619-standarden, er det valgfritt hvilken av de godkjente metodene som kan benyttes for gjennomføring av propageringstest. Metoden som ble valgt var ikke hensiktsmessig for denne batteritypen.

Statens havarikommisjon tilrår Sjøfartsdirektoratet å stille krav om at det velges hensiktsmessige testmetoder for gjennomføring av propageringstestene, som reflekterer farene som kan oppstå i de ulike batteritypers design.

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/04T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Havarikommisjonen kan ikke se at lastelinjekravene er tilpasset for å ivareta batterisikkerheten ved å forhindre at sjøvann i mindre mengder kan trenge inn i et batterirom. Undersøkelsen har vist at plasseringen av ventilasjonsutløpet i tunnelen var ugunstig og uten tilstrekkelige tiltak for å forhindre vanninntrenging. Ventilasjonssystemet skulle vært en sikkerhetsbarriere ved å lufte ut eksplosive gasser ved en hendelse, men medvirket i stedet til at sjøluft eller sjøvann kom inn i batterirommet, med påfølgende lysbue med brann.

Statens havarikommisjon tilrår at Sjøfartsdirektoratet sørger for at regelverk for batterisikkerhet utvikles slik at ventilasjonsarrangement ikke bidrar til at batterier og høyspenningsdeler blir utsatt for fuktig sjøluft eller sjøvann.

⁴² Nærings- og fiskeridepartementet har det overordne ansvaret for å følge opp sikkerhetstilrådingene.

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/05T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Undersøkelsen har avdekket at skottet mellom maskin- og batterirom ikke var røyktett. Det spredte seg giftige gasser til tilstøtende rom. Dette ble ikke oppdaget verken ved godkjenning av tegningsgrunnlaget, ved byggeoppfølging eller ved inspeksjon. Det er behov for bedre kvalitetssikring av utførelse av brannisolering av batterirom ved ytterligere tiltak som sikrer at gass og røyk ikke trenger gjennom brannskillet, slik det defineres i forskrift 1. juli 2014 nr. 1099 om brannsikring på skip.

Statens havarikommisjon tilrår Sjøfartsdirektoratet å innføre ytterligere tiltak for å verifisere røyktetthet og ivaretagelse av brannintegritet.

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/06T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Havarikommisjonen kan ikke se at risikoanalysen gjenspeilet den reelle risikoen for brann i batteripakkene, hvor verken ventilasjons- eller batterisystemets svakheter ble identifisert i tilstrekkelig grad. En risikoanalyse bør inneholde alle relevante farer som til sammen utgjør den totale risikoen fra batterisystemet. Dette bør utføres av de ulike fagdisiplinene. Samlet vil dette kunne avdekke svakheter i utformingen av fartøyet og identifisere faremomenter ved bruk av litium-ion batterier.

Statens havarikommisjon tilrår Sjøfartsdirektoratet å stille krav om risikovurderinger ved bruk av litium-ion batterier, og at disse inneholder alle relevante farer som til sammen utgjør brannrisikoen for fartøyet identifisert av ulike fagdisipliner.

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/07T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Sjøfartsdirektoratet stiller ikke egne krav til batterisikkerhet, men baserer seg på klasseregler. Klassen hadde mangelfullt regelverk på batterisikkerhet. Videre kan klasseselskapene ha ulike krav til batterisikkerhet, noe som kan medføre at fartøy har ulik standard på batterisikkerhet. Fartøyet og skipsutstyret kan ha ulike tilsynsorganer, noe som også var tilfellet med dette fartøyet. Havarikommisjonen mener dette medfører en sikkerhetsrisiko som krever bedre samordning mellom myndighetene.

Statens havarikommisjon tilrår Sjøfartsdirektoratet som forvaltningsmyndighet, i samarbeid med DSB å stille krav til at alle norske fartøy, uavhengig av klasse, bygges til en definert standard som ivaretar batterisikkerheten.

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/08T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Undersøkelsen har vist at slukkemiddelet Novec ga liten effekt på brannforløpet, og at det per i dag ikke finnes effektive slukkemidler som hindrer brann og propagering i litium-ion batterier.

Statens havarikommisjon tilrår Sjøfartsdirektoratet å innføre kompenserende tiltak som ivaretar sikkerheten for passasjerer og besetning dersom det oppstår brann i litium-ion batterier.

Sikkerhetstilråding Sjøfart nr. 2022/09T

Den 11. mars 2021 oppstod en brann i styrbord batterirom om bord passasjerfartøyet Brim i Ytre Oslofjord. Undersøkelsen har identifisert et behov for å øke kunnskap og kompetanse hos aktører som er involvert i førsteinnsats ved brann i batterisystemer med litium-ion batterier om bord på fartøy.

Statens havarikommisjon tilrår at DSB styrker kunnskapen og kompetansen til aktørene som er involvert i førsteinnsats på ulykker med brann om bord fartøy med litium-ion batterier.

Statens havarikommisjon
Lillestrøm, 14. juli 2022

Vedlegg

Vedlegg A Detaljer om fartøyet og ulykken

Fartøyet	
Navn	Brim
Flaggstat	NOR
Klasseselskap	DNV
IMO nummer/Kallesignal	9862554/LFPS
Type	Hybrid passasjer katamaran
Byggeår	2019
Eier	Brim Explorer AS
Operatør/ISM ansvarlig	Brim Explorer AS
Konstruksjonsmateriale	Aluminium
Lengde	25,05 meter
Brutto tonnasje	226 BT
Reisen	
Avgangshavn	Sarpsborg
Planlagt ankomsthavn	Sandefjord
Type reise	Innenskjærs
Personer om bord	4
Ulykkesinformasjon	
Dato og tidspunkt	10. mars 2021 kl.1527
Ulykkestype	Alvorlig ulykke
Sted/posisjon hvor ulykken inntraff	Oslofjorden
Sted om bord hvor ulykken inntraff	Styrbord batterirom
Skadde/omkomne	Ingen
Skader på skip/miljø	Brannskader i styrbord batterirom, og tilstøtende rom
Hvor i reisen var fartøyet	Underveis
Ytre miljø	Sørøstlig liten kuling rundt 12 m/s, bølgehøyde 1,3–1,4 m