Sikker bruk av litium-ion batterier i petroleums-næringen

Petroleumstilsynet
Rapportnr.: 2020-0778, Rev. 1
Dokumentnr.: 902435
Dato: 2020-12-10

Prosjektnavn:	Sikker bruk av litium-ion batterier	DNV GL AS Oil & Gas
Rapporttittel:	Sikker bruk av litium-ion batterier i petroleums-næringen	Safety Risk Management Veritasveien 25
Oppdragsgiver:	Petroleumstilsynet Rapportnr.: 2020-0778, Rev. 1 Dokumentnr.: 902435 Dato: 2020-12-10, Professor Olav Hanssens vei 10 4021 STAVANGER Norway	4007 Stavanger Norway Tel: +47 51873200 NO945748931
Kontaktperson:	Trond Jan Øglend	
Dato:	2020-12-10	
Prosjektnr.:	10209285	
Org. enhet:	Safety Risk Management	
Rapportnr.:	2020-0778, Rev. 1	
Dokumentnr.:	902435	

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse:

DNV GL har utført en studie for Petroleumstilsynet for å belyse risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til litium-ion batterier i petroleumsindustrien. Arbeidet inkluderer både risikoelementer knyttet til store batterisystemer og spesielle risikoforhold ved bruk av disse på offshore innretninger.

Målet for studien har vært å bidra til økt forståelse for av risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til bruk av litium-ion batterier i petroleumsnæringen.

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
Wetterhus, Espen Digitally signed by Wetterhus, Espen DN: E=Espen.Wetterhus@dnvgl.com, CN="Wetterhus, Espen" Date: 2020.12.10 13:20:12+01'00'	Digitally signed by Helgesen, Henrik Date: 2020.12.10 13:52:51 +01'00'	Hauso, Marianne Digitally signed by Hauso, Marianne Date: 2020.12.10 14:48:26 +01'00'
Espen Wetterhus Senior Principal Consultant	Henrik Helgesen Senior Environmental Engineer	Marianne Hauso Head of Department
Eriksen, Sverre Digitally signed by Eriksen, Sverre DN: E=Sverre.Eriksen@dnvgl.com, CN="Eriksen, Sverre" Date: 2020.12.10 14:29:54+01'00'		
Sverre Eriksen Senior Principal Engineer		
Elektroniskt undertecknad av Nathaniel Frithiof Datum: 2020.12.10 16:07:07 +01'00'		
Nathaniel Frithiof Senior Consultant		
Hertzenberg, Christian Digitally signed by Hertzenberg, Christian DN: CN="Hertzenberg, Christian" Date: 2020.12.10 14:41:12+01'00'		
Christian Hertzenberg Principal Engineer		
Langli, Andrea Aarseth Digitally signed by Langli, Andrea Aarseth Date: 2020.12.10 14:04:33 +01'00'		
Andrea Aarseth Langli Consultant		

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2020. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

Nøkkelord:

☒ ÅPEN. Fri distribusjon, intent og eksternt.

☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.

☐ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste.Distribution within DNV GL according to applicable contract.*

☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
Draft	2020-10-12	Draft	E. Wetterhus, S. Eriksen, A. Langli, N Frithiof, C. Hertzenberg, A. Huser	H. Helgesen	M.Hauso

Innholdsfortegnelse

1 SAMMENDRAG 1

2 INTRODUKSJON 2

3 GRUNNLAG FOR OPPDRAGET 3

4 FORKORTELSER 4

5 BATTERITEKNOLOGI OG BATTERISYSTEM 1

5.1 Batteriteknologi 1

5.2 Batterisystem 2

5.3 Thermal runaway 3

6 TEKNISKE VURDERINGER 5

6.1 Oversikt over identifiserte risikoforhold i tidligere prosjekter 5

6.2 HAZID 10

6.3 Risiko og tiltak for å hindre antennelse av batterier 15

6.4 Tiltak for å redusere konsekvens av «thermal runaway» 27

6.5 Bruk av risikoanalyser og modeller 32

6.6 Operasjonelle tiltak ved eksplosjons- og brannfare 35

6.7 Gjennomgang av regelverk med forslag til endringer 39

7 RESULTATER 53

7.1 Tiltak for å hindre antennelse av batterier 53

7.2 Tiltak for å redusere konsekvensen av «thermal runaway» 54

7.3 Bruk av risikoanalyser: 55

7.4 Operasjonelle tiltak ved eksplosjons- og brannfare 55

7.5 Oppsummering av identifiserte mangler i regelverket 57

8 REFERANSER 59

APPENDIKS A: Hazid loggark

APPENDIKS B: Gjennomgang av regelverk

1 SAMMENDRAG

DNV GL har utført en studie for Petroleumstilsynet (Ptil) for å belyse risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til litium-ion batterier i petroleumsindustrien.

Studien inkluderer følgende aktiviteter:

1. Kartlegging av risikoforhold som er identifisert i prosjekter relatert til bruk av litium-ion batterier der DNV GL har vært involvert, samt under utviklingen av klasseregler for skip og offshoreinnretninger.
2. HAZID med relevant fagpersonell for å identifisere risikoelementer, tilhørende og manglende barriereelementer, og vurdering av kompenserende tiltak.
3. Vurdering av risiko og mulige tiltak for å hindre antennelse av batterier (f.eks. batteriets kontrollsystem (BMS) og tilhørende instrumentering og elektronikk).
4. Vurdering og beskrivelse av mulige tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak som kan redusere konsekvensen av «thermal runaway», med fokus på avgasser, eksplosjonsfare og brann i litium-ion batteribanker. Vurdering av alternative slukkemidler og potensialet for utvikling av potensielt helseskadelige forhold ved utløsning av disse (f.eks. bidrag fra Hydrogenfluorid (HF) eller andre giftige og/eller brennbare stoffer).
5. Vurdering og beskrivelse av mulige tiltak for opplæring, trening og teknisk utstyr for personell som skal håndtere brann/eksplosjonsfare i tilknytning til litium-ion batteribanker.
6. Gjennomgang av Ptils regelverk (forskrifter med veiledninger og relevante referanser) for å belyse eventuelle uklarheter eller manglende krav, og etablere forslag til nye konkrete krav.

Studien belyser en rekke risikoelementer knyttet til bruk av litium-ion batterier på offshore innrentinger, samt anbefalinger til tiltak for å redusere disse.

Følgende anbefalte tiltak er vurdert som de mest kritiske:

- Plassering av batterirom er viktig ombord på en offshore innretning, og bør tilstrebe å redusere risikoen for å bli eksponert for eksterne branner og eksplosjoner, skipskollisjoner og fallende laster. I tillegg er det viktig at en hendelse i batterirom ikke truer integriteten til sikkerhetskritiske funksjoner i nærliggende områder.
- Det bør sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter.
- Batteriets BMS bør beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.
- Det bør etableres gode beskyttelsestiltak for å redusere risiko for «thermal runaway», som beskyttelse mot overspenning, kortslutning, overstrøm og isolasonsovervåkning.
- Batterimodulene bør konstrueres slik at «thermal runaway» i en battericelle ikke sprer seg fra celle til celle.
- Batteriene bør plasseres i dedikerte rom for å redusere risikoen for en hendelse i rommet.
- Elektrisk utstyr i rommet bør reduseres til et minimum og tennkildekontroll ivaretas i tilfelle gassutvikling.
- Dagens metode for risikoanalyser bør utvides for å også vurdere eksplosjonsfare i batterirom.

2 INTRODUKSJON

DNV GL har utført en studie for Petroleumstilsynet for å belyse risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til litium-ion batterier i petroleumsindustrien. Arbeidet inkluderer både risikoelementer knyttet til store batterisystemer og spesielle risikoforhold ved bruk av disse på offshore innretninger.

Målet med oppgaven har vært å bidra til økt forståelse av risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til bruk av litium-ion batterier i petroleumsnæringen.

Studien inkluderer følgende aktiviteter:

1. Kartlegging av risikoforhold som er identifisert i prosjekter relatert til bruk av litium-ion batterier der DNV GL har vært involvert, samt under utviklingen av klasseregler for skip og offshoreinnretninger.
2. HAZID med relevant fagpersonell for å identifisere risikoelementer, tilhørende og manglende barriereelementer, og vurdering av kompenserende tiltak.
3. Vurdering av risiko og mulige tiltak for å hindre antennelse av batterier (f.eks. BMS og tilhørende instrumentering og elektronikk.
4. Vurdering og beskrivelse av mulige tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak som kan redusere konsekvensen av «thermal runaway», med fokus på avgasser, eksplosjonsfare og brann i litium-ion batteribanker. Vurdering av alternative slukkemidler og potensialet for utvikling av potensielt helseskadelige forhold ved utløsning av disse (f.eks. bidrag fra HF eller andre giftige og/eller brennbare stoffer).
5. Vurdering og beskrivelse av mulige tiltak for opplæring, trening og teknisk utstyr for personell som skal håndtere brann/eksplosjonsfare i tilknytning til litium-ion batteribanker.
6. Gjennomgang av Ptils regelverk (forskrifter med veiledninger og relevante referanser) for å belyse eventuelle uklarheter eller manglende krav, og etablere forslag til nye konkretekrav.

DNV GL har benyttet sin brede erfaring fra bruk av litium-ion batterier på skip og offshoreinnretninger, samt erfaring fra utviklingsprosjekter og uønskede hendelser knyttet til bruk av slike batterier.

3 GRUNNLAG FOR OPPDRAGET

Det har den siste tiden vært en økende interesse for bruk av litium-ion batterier både i maritime og offshore prosjekter, noe som kan medføre nye risikoforhold og utfordre regelverk og praksis som benyttes i dag. Det er installert litium-ion batteri-systemer på en rekke skip og offshore innretninger, og det har vært flere hendelser knyttet til batteriene.

For å få økt forståelse for risikoforhold knyttet til denne type enheter har Petroleumstilsynet utlyst Minikonkurranse «Sikker bruk av litium-ion batterier i petroleumsnæringen», saksnr. 2020/696.». DNV GL ble tildelt oppdraget, og det er utført en studie som belyser risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til litium-ion batterier i petroleumsindustrien.

Målsettingen med studien har vært å bidra til økt forståelse av risikoelementer, mulige kompenserende tiltak og sikkerhetsmessige forhold knyttet til bruk av litium-ion batterier i petroleumsnæringen.

4 FORKORTELSER

Akronym/Forkortelse	Forklaring
AC	Vekselstrøm (Alternating Current)
BMS	Batteriets kontrollsystem (Battery Management System)
DC	Likestrøm (Direct Current)
EES	Batteriets energilagringssystem (Electrical Energy Storage)
HF	Hydrogenfluorid
Li-ion	Litium-ion batteri
Li-ion NMC	Litium Nikkel Mangan Kobolt oksid
PMS	Power Management System
Ptil	Petroleumstilsynet
SJA	Sikker Jobb Analyse
TR	Thermal runaway

5 BATTERITEKNOLOGI OG BATTERISYSTEM

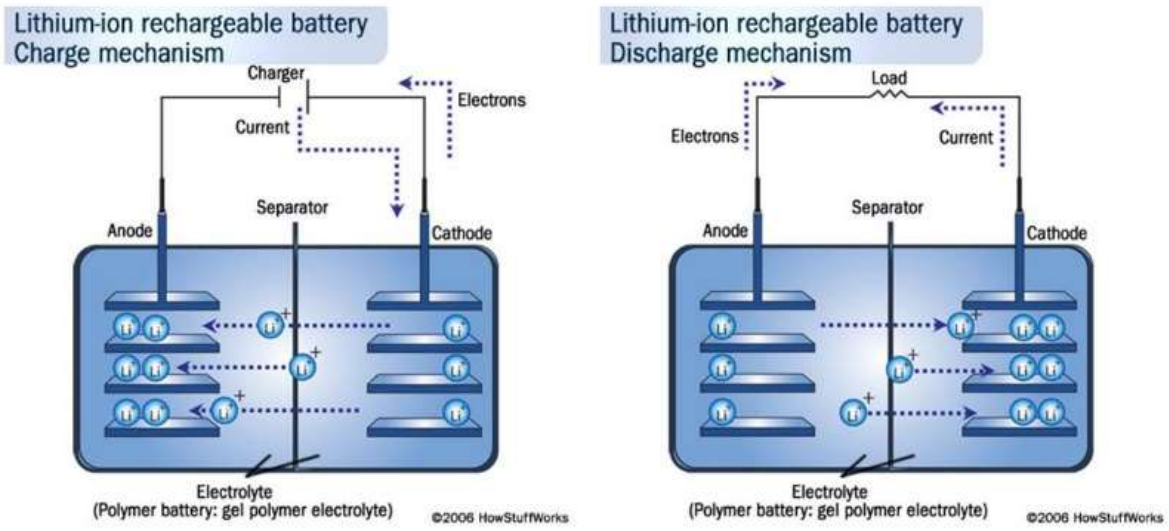
Dette kapittelet er ment å gi en overordnet beskrivelse av hvordan et batteri fungerer, samt hvordan et batterisystem er bygd opp.

5.1 Batteriteknologi

Et batteri er en enhet som lagrer strøm. Det er ikke en opprinnelig energikilde slik som diesel og andre tradisjonelle drivstoff. Figur 5-2 gir en oversikt over et generisk batterisystem for offshore og maritimt bruk.

Hovedkomponentene i en battericelle er vist i Figur 5-1. En battericelle består generelt av to poler – en positiv elektrode kalt katoden og en negativ elektrode kalt anoden. I battericellen er det et materiale, elektrolytten, som muliggjør overføring/flytting av ioner eller ladebærere mellom disse polene ved elektrokjemiske reaksjoner. For å forhindre at elektrodene berører hverandre plasseres en separator mellom katoden og anoden. Når polene er koblet sammen med et elektrisk ledende materiale, vil elektroner strømme gjennom den eksterne elektriske kretsen, og ioner vil strømme gjennom elektrolytten. Denne prosessen gjør at energi kan lagres eller tømmes i batteriet, avhengig av strømretningen mellom polene.

Batteriets egenskaper bestemmes fra valg av energibæringsmaterialet, elektroden, komposisjonen av elektrolytten og formen på elektrodene. Den mest vanlige energibæreren er litium-atomet, som refereres til som litium-ion når det er positivt ladet.



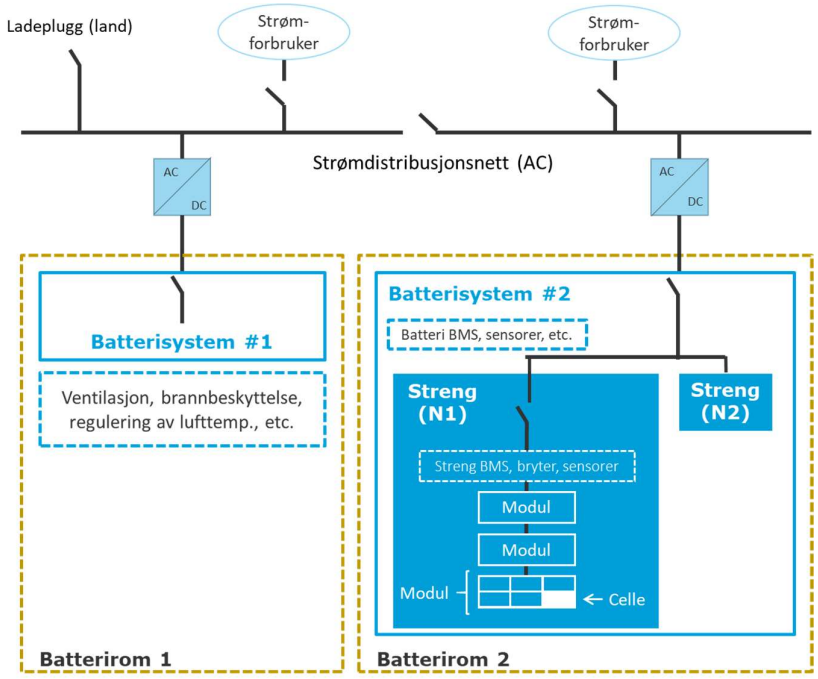
Figur 5-1: Grunnleggende prinsipper og komponenter for et litium-ion batteri. (EMSA, 2020 ref. /4/)

Elektrolytten består av litium-salt (for eksempel litiumheksafluorfosfat $LiPF_6$) som er oppløst i en organisk væske (varianter av etylenkarbonat). Battericellene er hermetisk lukket, men hvis de pga. en feil varmes opp slik at battericellene ventilerer vil det komme ut fordampet elektrolytt som kan være brennbar, giftig og etsende.
For mer informasjon om batterier og ulike typer batteriteknologi, se f.eks. (EMSA, 2020) og (DNV GL, 2016).

5.2 Batterisystem

Battericellene er pakket og koblet sammen i batterimoduler. Disse modulene er videre koblet sammen i batteristrenger, slik at ønsket totalspenning oppnås. For å oppnå ønsket energimengde består det totale batterisystemet av en eller flere strenger, som kan kobles til strømdistribusjonsnettet om bord, som vist i Figur 5-2. Strengene og modulene inkluderer også styringssystem, brytere og sensorer. I hvert batterisystem er de nødvendige komponentene for termisk styring og sikkerhetsfunksjoner, som f.eks. kontaktorer og sikringer, inkludert. Batteriets kontrollsystem benevnes BMS (Battery Management System). Batterisystemene plasseres i batterirom som typisk er fysiske avgrensninger som inkluderer alle komponentene og funksjonene som er nødvendige for å holde batterisystemet intakt. Dette kan være ventilasjon, brannbeskyttelse, spenning- og temperatursensorer, lufttemperaturregulering etc.

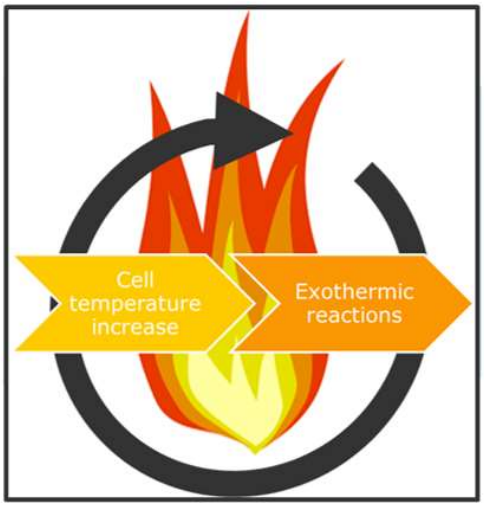
Batterisystemene er koblet til strømdistribusjonsnettet. Elektrokjemisk opererer batterisystemene ved bruk av DC. Dersom offshoreenheten har strømdistribusjonsnett med AC strøm, er det nødvendig med en inverter. Strømmen distribueres videre til strømforbrukerne om bord.



Figur 5-2: Generisk batterisystem for offshore og maritimt bruk.

5.3 Thermal runaway

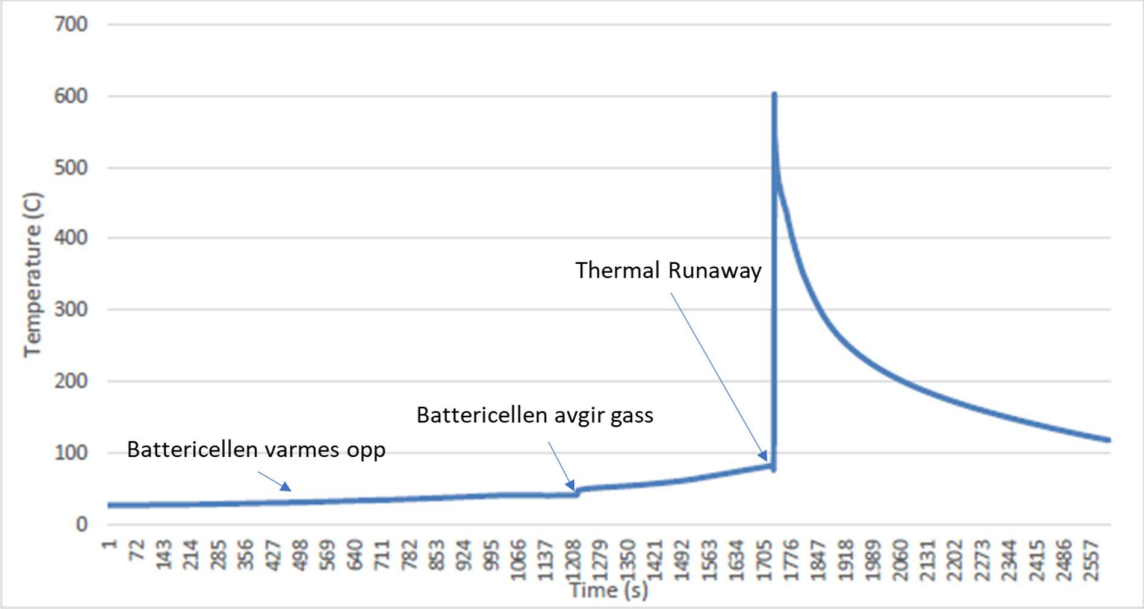
Den største risikoen knyttet til et litium-ion batteri er hvis det varmes opp slik at en eksotermisk reaksjon i battericellen starter. Denne selvforsterkende effekten, illustrert i Figur 5-3, vil føre til en temperaturøkning, gassventilering og en kraftig brann som er vanskelig å slukke. Denne prosessen kalles «Thermal Runaway».



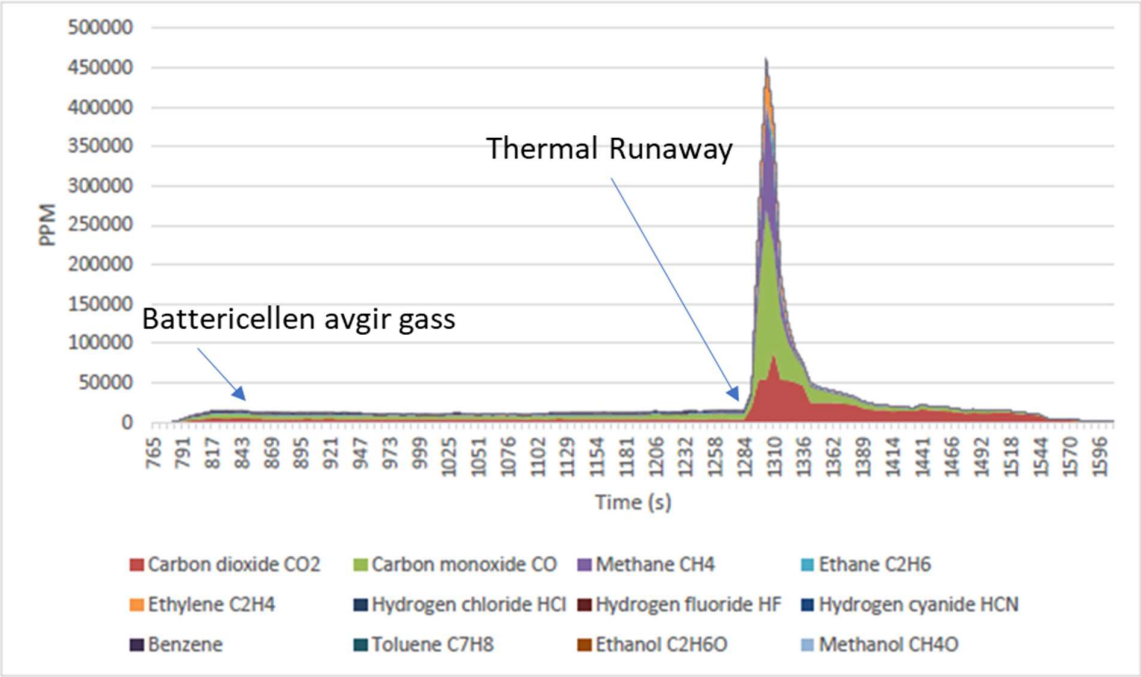
Figur 5-3: Temperaturøkning i en battericelle kan trigge eksotermiske reaksjoner. Dette er kategorisert som «Thermal Runaway».

En temperaturøkning i elektrolytten vil først resultere i høyt trykk i cellen. Ved et høyt trykk vil celleinnkapslingen sprekke, og batteriet vil avgi gass. Først ved et litt seinere tidspunkt vil temperaturen og gassutslippet øke kraftig, karakterisert som thermal runaway. Dette er vist i Figur 5-4 og Figur 5-5. Når elektrolytten antennes, startes en brann som kan føre til en nedbrytning og antennelse av elektrodene i cellen. Da har man en brann hvor både væske, gass og metaller er involvert. Noen elektrodekjemier frigjør i tillegg oksygen når de brenner, noe som gjør de enda vanskeligere å slukke. Ikke alle kjemier frigjør oksygen, men alle kjemier har en elektrolytt som kan antenne og trigge en thermal runaway.

Tiltakene diskutert i denne rapporten adresserer hvordan man kan unngå eller begrense konsekvensene av thermal runaway i et batterisystem.



Figur 5-4: Overflatetemperaturen til en battericelle som blir opphetet, og går i Thermal Runaway ref. /1/.



Figur 5-5: Gassutslippsprofilen av en battericelle som blir varmet opp til den går i Thermal Runaway. I tillegg til de opplistede gassene vil man også produsere hydrogen ref. /1/.

6 TEKNISKE VURDERINGER

6.1 Oversikt over identifiserte risikoforhold i tidligere prosjekter

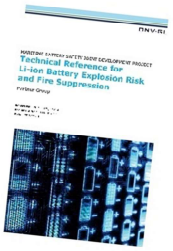
Dette delkapittelet tar for seg risikoforhold som er identifisert i prosjekter relatert til bruk av litium-ion batterier der DNV GL har vært involvert, samt under utviklingen av klasseregler for skip og offshore-innretninger.

DNV GL har vært en pådriver for å etablere anvendbar kunnskap om risikoforhold i forbindelse med bruk av litium-ion batterier både for maritime og faste innretninger. Slik kunnskap er kombinert med detaljert kjennskap til industriens egen realistiske dokumentasjon av de forskjellige installasjonene, samt direkte dialog med myndighetene. Dette er videre brukt til å komme fram til både sikre og kostnadseffektive design og operasjonsløsninger, håndbøker og referanserapporter. Samarbeidet med industrien har foregått gjennom en rekke prosjekter for nybygg samt utviklingsprosjekter hvor sentrale aktører har deltatt, både eiere og leverandører og myndigheter. Arbeidet har også vært toneangivende for hvordan DNV GLs klasseregler er utviklet for fartøy.

Denne erfaringen vil danne grunnlaget for hvordan det er tenkt å utvikle en oversikt over risikoforhold ved å bruke større litium-ion batterier på offshoreinstallasjoner. De viktigste prosjektene og aktivitetene som er utført har allerede belyst flere risikoforhold, og disse er benyttet som et utgangspunkt for prosjektet:

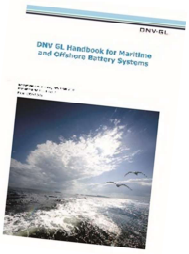
- **Maritime Battery safety Joint Development Project (2017-2020)**[1]

  Rapporten som ble utgitt fra prosjektet inneholder en detaljert gjennomgang fra tester og modellberegninger som omhandler hvordan "thermal runaway" vil utvikle seg både i enkeltcelle-tester i fullskala modul-tester, branntester med forskjellige slukkemidler og analyse av ventilasjon i et lukket batterirom. Testene er utført av DNV GL ved bruk av standard test- og systemoppsett.



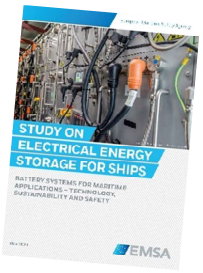
- **DNV GL Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems (2016)**[2]

  Formålet med denne håndboken er å hjelpe alle aktører, fra eiere til tredjepart, til å utføre konseptstudier, design, fabrikasjon, operasjon og vedlikehold av store litium-ion systemer ombord på fartøy.



- **EMSA Study on Electrical Energy Storage for Ships (2018-2020)**

  Rapporten er utarbeidet av DNV GL på vegne av European Maritime Safety Agency (EMSA), og er en tredelt teknisk studie som dekker bruk av batterier om bord på skip. Studien gir en oversikt over ulik batteriteknologi, prosjekter og bruk til maritimt formål. I tillegg gir studien en detaljert oversikt over regelverk og inkluderer en gap-analyse. En sikkerhetsvurdering av en installasjon av et generelt litium-ion batterisystem ble gjennomført som del av studien med fokus på forebygging av thermal runaway for ulike designvarianter.



- **Rules for Classification Part 6 Additional class notations, Chapter 2, Section 1 (2020)**

  DNV GLs klasseregelverk for batterier (Battery notation) ble først lansert i 2015, og har siden den tid blitt oppdatert flere ganger. Det er i hovedsak to ulike notasjoner; Battery(Power) og Battery(Safety) avhengig av om batteriet skal brukes til fremdrift og størrelsen/kapasiteten på batteriet.

[1] DNV GL – Report No. 2019-1025, Rev. 4 Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression. Open at https://www.dnvgl.com/maritime/publications/Technical-Reference-for-Li-ion-Battery-Explosion-Risk-and-Fire-Suppression-report-download.html

[2] DNV GL – 2016-12-19 Report 2016-1056 DNV GL Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems V1.0 Open at www.dnvgl.com https://www.dnvgl.com/maritime/publications/maritime-and-offshore-battery-systems-download.html

- **Class programme Type Approval DNV GL-CP-0418 Electrical energy storage (2020)**

  Typegodkjennings-program med krav til litium-ion batterier beskriver typegodkjenningsskjema for energilagringssystemer (EES). Dette dokumentet gir en beskrivelse av prosedyrer og krav relatert til dokumentasjon, design og testing for typegodkjenningen av systemene.

Risikoforholdene identifisert i de overnevnte studiene er summert opp i Tabell 6-1.

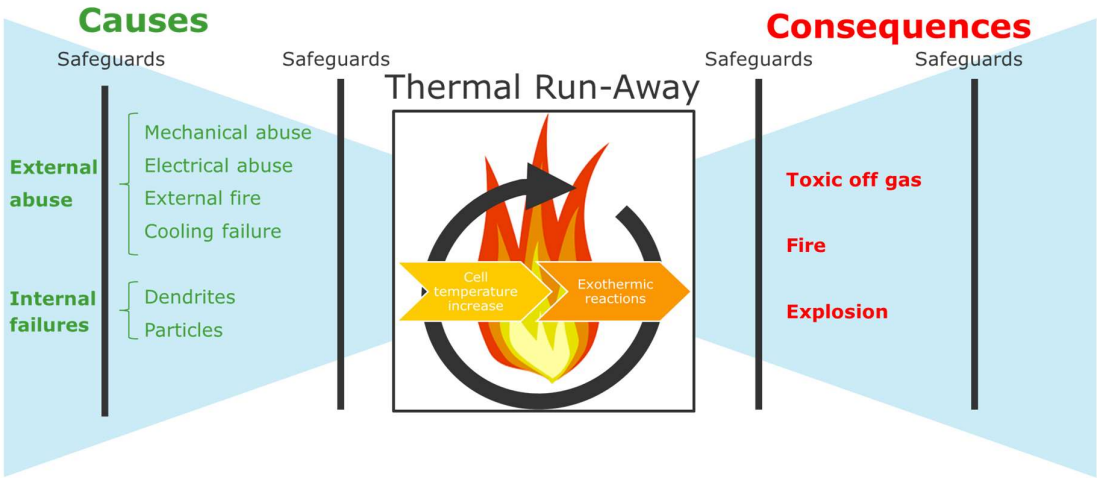
Figur 6-1 illustrerer typiske årsaker og konsekvenser ved en *thermal runaway* i et batterisystem. De identifiserte risikoforholdene har videre blitt brukt som grunnlag for HAZID som er beskrevet i kap. 6.2.

Identifisert risikoforhold	Kort beskrivelse av risikoforhold
Intern feil i battericelle	- Typisk komponentfeil som fører til temperaturøkning i battericeller med fare for utvikling av gass, eksplosjon og brann.
Kortslutning	- Intern kortslutning i batterier eller ekstern kortslutning som fører til temperaturøkning i battericeller med fare for utvikling av gass, eksplosjon og brann.
Overladning (høy spenning)	- Høy spenning under lading som ligger over øvre grense til battericeller, kan føre til at elektrolytt dekomponerer og kan utvikle gass, eksplosjon og brann.
Utladning (lav spenning)	- Utladning av batterier med lav spenning som ligger under nedre grense til battericeller, som fører til at elektrolytt dekomponerer og kan utvikle gass, eksplosjon og brann når batteriene lades igjen.
Feil i kjølesystem	- Svikt i kjølesystemet kan føre til en temperaturøkning i battericellene med fare for utvikling av gass, eksplosjon og brann. - Lekkasje i vannkjølte systemer kan føre til en farlig hendelse som f.eks. brann.
Ekstern varmepåvirkning	- Ekstern varmepåvirkning som f.eks. brann kan føre til temperaturøkning i battericellene med fare for utvikling av gass, eksplosjon og brann. - Det er krav til brannskiller rundt batterirom (avhengig av batterikapasitet) for å beskytte batterier fra ekstern brann og å hindre eskalering av brann i batterirom.

Gasslekkasje / gassutvikling	- Gasslekkasjer fra battericeller kan føre til selvantenning eller antenning fra energi i cellen. - Gass produsert fra battericellene er antennelig, og kan utgjøre en eksplosjonsfare. Gassene som utvikles kan være giftige (f.eks. HCI og HF). Det er viktig å ta hensyn til antenningskilder og ventilasjon i modulene og systemet.
Thermal runaway propagering	- Risikoen øker betraktelig dersom en thermal runaway i en celle produserer nok varme til at den propagerer til andre celler, som kan resultere i at flere celler til å gå inn i "thermal runaway". Varme produsert øker eksponensielt og jo flere celler som påvirkes jo større er sjansen for en brann der hele batteriet er involvert. Batterimodulene og -systemet må designes på en måte som i størst mulig grad forhindrer propagering. - Det skal utføres påkrevde tester (inkludert propageringstest) i batterisystemer for å redusere sannsynlighet for feil og redusere konsekvenser av en uønsket hendelse.
Brann i batteri og/eller batterirom	- En batteribrann kan være forårsaket av f.eks. en løpsk termisk hendelse eller antent gasslekkasje, og resultere i tap av batteri, batterirom eller mer fatale konsekvenser. - En varmeutvikling fra eller brann i andre elektriske komponenter i batterirommet kan utgjøre en potensiell fare for å eskalere til batteri.
Feil i kontrollsystem (PMS, BMS eller nødavstengningsystem)	- Feil i kontrollsystem kan føre til høy temperatur, over- og underspenning eller annen uønsket feil i battericeller, noe som har potensiale til utvikling av gass eller thermal runaway i en eller flere celler i batteriet. - Batteriets kontrollsystem skal sikre at batteriene operer innenfor akseptable parametere.
Plassering av batterier	- I klassereglene er det et krav om at batterier skal plasseres bak kollisjonsskott for å unngå skade under kollisjon. Batterisystemer skal plasseres i rom uten annet utstyr for å redusere potensiale for negativ påvirkning fra en hendelse i annet utstyr. - Når det gjelder lagring av batterier bør de lagres ihht. anbefaling fra leverandør. Dersom de lagres ved for høy temperatur kan dette føre til feil i celler når de lades opp.

Feil i ventilasjonssystem	-	Kan føre til økt temperatur og akkumulering av gass som kan resultere i brann eller eksplosjon. - Ventilasjonsrate har stor innvirkning på sannsynligheten for en eksplosiv atmosfære, f.eks. vil en økning fra 5 til 10 utvekslinger pr. time redusere volumet med eksplosiv atmosfære med over 20%. - Det er krav til brann- og gassdeteksjon i batterirom. - Batterirom skal ha et uavhengig ventilasjonssystem som startes ved gassdeteksjon i batterirom.
Feil i elektrisk anlegg	-	Det er krav til kortslutnings- og overspenningsvern, elektrisk isolering, monitorering av lading, nødutkobling av batterisystemer osv. for å redusere konsekvensene av feil.
Svikt i omformer	-	Feil kan føre til økt risiko for f.eks. over- og underlading, overspenning og høy strøm som øker faren for thermal runaway eller gassutvikling i en eller flere celler i batteriet.
Mekanisk påvirkning	-	Batteriet kan utsettes for mekanisk påvirkning som følge av at batteristativet faller over ende, kollisjon, utilstrekkelig strukturell støtte eller festemekanisme. - En mekanisk påvirkning på en celle kan føre til potensiell gassutvikling, thermal runaway og brann/eksplosjon.
Vanninntrenging i batterirom eller nedsenkning i vann	-	En kollisjon som fører til en rift i skroget, eller en lekkasje som fører til at vann trenger inn i batterirommet kan potensielt føre til at det blir en kortslutning i batteriet som igjen kan føre til at det blir thermal runaway i en eller flere celler i batteriet.
Komponenter i batterirom	-	Elektrisk utstyr som plasseres høyt i batterirom skal være godkjent for bruk i eksplosjonsfarlige områder. - Batterirom skal ikke ha rørsystemer og brannhydranter som kan føre til at en lekkasje eksponerer batterier for vann/væsker. Dersom rørsystemer legges i batterirom, skal disse være helsveist. - Det er krav til vann eller gass-slukkesystem for å slukke og hindre eskalering av brann. Brann i batterier kan være vanskelig å slukke, og valg av slukkesystem er viktig for å redusere skadeomfang og potensiale for eskalering av en brann.

Tabell 6-1: Risikoforhold identifisert i tidligere studier.



Figur 6-1 Typiske årsaker og konsekvenser ved en *thermal runaway* i et batterisystem.

6.2 HAZID

Som del av leveransen ble det gjennomført en risikoanalyse, Hazard Identification (HAZID), for å identifisere risikoelementer, tilhørende og manglende barrierelementer, og vurdere kompenserende tiltak.

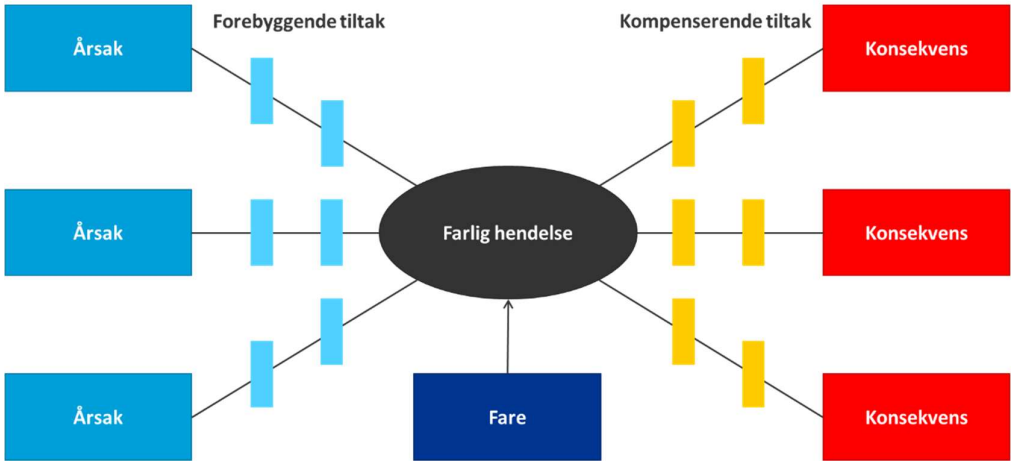
For å sikre at relevante risikoelementer ble vurdert i analysen, ble resultatet fra gjennomgangen av identifiserte risikoelementer fra tidligere prosjekter (se kapittel 5.1) benyttet i planleggingen av HAZIDen.

6.2.1 HAZID metodikk

En HAZID er en strukturert tilnærming som baserer seg på dokumenter og tegninger, for å identifisere risiko og farer involvert i en operasjon eller bruk av utstyr og/eller systemer. Hovedmålene med en HAZID er som følger:

- Å identifisere farer og farlige hendelses som kan gi alvorlig eller umiddelbar økt risiko for personell, miljø eller ressurs/eiendel
- Å identifisere forebyggende og kompenserende tiltak (f.eks. tiltak for å forhindre at farlige hendelser oppstår og teknisk eller operasjonell styring for å forhindre opptrapping) som allerede er inkludert i design for å håndtere risikoen forbundet med de identifiserte farene
- Å vurdere risikoer ved bruk av en risikomatrise
- Å anbefale eventuelle nye tiltak som bør implementeres for design og/eller under operasjon

Forhold mellom fare, farlig hendelse, årsak, konsekvens, forebyggende tiltak og kompenserende tiltak kan visualiseres i et «bow-tie» diagram som vist i Figur 6-2.



Figur 6-2 Bow-tie diagram.

6.2.2 Fremgangsmåte

I HAZID workshopen ble følgende fremgangsmåte fulgt.

1) **Screening**

   En identifisering av utstyr og relevante risikoforhold. I denne studien ble identifiseringen inndelt i tre hoveddeler for å dekke omfanget av relevante risikoforhold;

   - *Hendelse i batteripakker* som inkluderer batterier, kabinetter og styringssystemer.
   - *Hendelse i batterirom* som inkluderer batterirom, HVAC system, brann og gassdeteksjon, tennkilder, slukkesystem og brannskiller.
   - *Eksterne hendelser* som inkluderer lokasjon av batterirom, brannvegger og brann- og gassdeteksjon i luftinntak.

2) **Fase og konsept**

   Det er viktig at workshopdeltakerne har en felles forståelse av design og tiltenkt operasjon – i dette tilfellet de tre hoveddelene. I dette steget ble forskjellige faser (hendelsesforløp) vurdert og diskutert, samt at det ble gjort en vurdering i lys av konsept og teknologi.

3) **Fareidentifikasjon**

   En identifisering av hvilke farer og farlige hendelser som kan oppstå og som påvirker sikkerheten til nodene identifisert i punkt 1. For hver av farene identifiseres potensielle årsaker og konsekvenser.

   Årsakene til hver av de identifiserte farene ble diskutert, hvis de var relevante. Dobbeltfarer, som er flere hendelser som skjer samtidig, ble ikke vurdert i workshopen.

   For hver av farene ble alle konsekvensene i form av sikkerhet, helse, miljø og tap av ressurs identifisert og diskutert.

4) **Identifisering av årsaker og konsekvenser**

For hver av farene ble typisk forebyggende tiltak som er ment for å forhindre den enkelte fare/farlig hendelse fra å skje, identifisert. Det samme gjaldt for kompenserende tiltak, som er med på å begrense og kontrollere en fare/farlig hendelse dersom den skjer.

Hver av de forebyggende og kompenserende tiltakene ble diskutert.

5) **Bestemmelse av kritikalitet**

For hver av farene/farlige hendelsene identifisert for de tre hoveddelene, ble det gjennomført en kritikalitetsvurdering. Kritikalitetsvurderingen innebar kategorisering av de identifiserte farene/farlige hendelsene. Kritikalitetene som ble benyttet i vurderingen var som følger:

- Usikker: Kan ha betydning, men er avhengig av en del usikre faktorer
- Lite: Har liten betydning for sikkerhet eller miljø
- Moderat: Påvirker risiko for personell eller miljø
- Betydelig: Påvirker risiko for personell eller miljø betydelig

6) **Andre kommentarer/anbefalinger**

Andre kommentarer som var relevante i vurderingen av de identifiserte farene/farlige hendelsene ble også notert.

6.2.3 Loggføring

De følgende elementene ble diskutert og loggført for hver av farene/farlige hendelsene:

- ID
- Ledeord
- Uønsket hendelse
- Årsak
- Konsekvens
- Kompenserende tiltak/anbefaling
- Kritikalitet
- Kommentar

Et regneark for å loggføre de overnevnte elementene ble laget. Oversikten ble delt med deltakerne i løpet av workshopen for å verifisere at innspill, anbefalinger og diskusjonspunkter ble notert. Selve regnearket med loggføringen fra HAZIDen er lagt ved som Appendiks A.

6.2.4 Workshopdeltakere

I workshopen som ble gjennomført den 15. og 16. september på Microsoft Teams (grunnet Covid-19) var det deltakere fra Petroleumstilsynet, Sjøfartsdirektoratet og DNV GL.

6.2.5 Resultater

For hver av de tre hoveddelene, ble farer og farlige hendelser identifisert. For del 1 – hendelser i batterier, ble totalt 10 farer/farlige hendelser identifisert, for del 2 – hendelser i batterirom ble totalt 8 farer/farlige hendelser identifisert, og for eksterne hendelser ble 10 farer/farlige hendelser identifisert, se Tabell 6-2. Kritikaliteten av de identifiserte hendelsene og en samling av identifiserte hendelser med betydelig kritikalitet kan ses i henholdsvis Tabell 6-3 og Tabell 6-4.

Detaljerte resultater fra HAZIDen er beskrevet i Appendiks A.

Del 1 - Batterier		Del 2 - Batterirom		Del 3 – Eksterne	
(1.1)	Deformasjon	(2.1)	Ekstern elektrisk kortslutning/ lysbue	(3.1)	Hydrokarbon gasslekkasje
(1.2)	Mekanisk skade	(2.2)	HVAC design (kjøling, fortynning)	(3.2)	Hydrogensulfid (H2S) gasslekkasje
(1.3)	Kortslutning mellom elektroder	(2.3)	Temperaturøkning i batterirom	(3.3)	Ekstern eksplosjon
(1.4)	Overlading	(2.4)	Tap av ventilasjon	(3.4)	Ekstern brann
(1.5)	Dyp utlading	(2.5)	Eksplosjon i batterirom	(3.5)	Kollisjon
(1.6)	Høye transiente spenninger	(2.6)	Brann i batterirom	(3.6)	Skadet stabilitet
(1.7)	Væskeinntrengning	(2.7)	Vanninntrengning	(3.7)	Vanninntrengning
(1.8)	Høy temperatur	(2.8)	Elektromagnetisk forstyrrelse	(3.8)	Materialhåndtering
(1.9)	Eksplosiv gassproduksjon			(3.9)	Eksplosiv og giftig gasseksponering
(1.10)	Giftig gasslekkasje			(3.10)	Brann og eksplosjon fra batterirom

Tabell 6-2: Identifiserte hendelser.

Del	Lite	Moderat	Betydelig
1 - Batterier	1.5, 1.8	1.1, 1.2, 1.6, 1.7	1.3, 1.4, 1.9, 1.10
2 - Batterirom	2.1, 2.3, 2.7, 2.8		2.2, 2.4, 2.5, 2.6
3 - Eksterne	3.1, 3.2, 3.3, 3.5, 3.6, 3.8	3.7, 3.9, 3.10	3.4

Tabell 6-3: Kritikaliteten av identifiserte hendelser.

Risikoforhold kategorisert som Betydelig	Kort beskrivelse av risikoforhold
(1.3) Kortslutning mellom elektroder	Hvis elektrodene i batteriet kortsluttes, genereres strøm og varme som kan trigge thermal runaway. Mekanisk deformasjon, partikkel- og dendrittdannelse og overladning er vanlige kortslutningsårsaker. Kortslutninger mellom de elektriske koblingene kan komme av dårlig isolasjon eller væskeinntrengning.
(1.4) Overlading	Hvis battericellen blir for høyt ladet, kan strøm og varme genereres internt i cellen, og den vil gå i thermal runaway. Feil i ladesystemet, eller BMS er typiske årsaker.
(1.9) Eksplosiv gassproduksjon	Konsekvensen kan være brann og eksplosjon hvis gassen blir antent. Lekkasjen vil bli trigget av høye temperaturer i battericellen. Batterirommet kan bli eksplosivt hvis det oppstår feil i ventilasjonssystemet eller ventilasjonssystemet er underdimensjonert.
(1.10) Giftig gasslekkasje	Lekkasjen vil bli trigget av høye temperaturer i battericellen. Personell kan få giftskader hvis de blir eksponert for gassen. Hvis det oppstår feil i ventilasjonssystemet eller at ventilasjonssystemet er underdimensjonert, øker risikoen for at batterirommet får en giftig atmosfære.
(2.2) HVAC design (kjøling, fortynning)	Fare for brann og eksplosjon, og fare for akkumulering av giftige gasser øker ved feil i ventilasjonssystemet, eller ved underdimensjonering av ventilasjonssystemet.
(2.4) Tap av ventilasjon	Svikt i ventilasjonsanlegget kan medføre at mulig farlig gass ikke blir fortynnet tilstrekkelig med påfølgende fare for oppsamling av eksplosiv og giftig gass.
(2.5) Eksplosjon i batterirom	Ved akkumulasjon av eksplosiv gass, kan en eksplosjon oppstå som vil gi både strukturelle og menneskelige skader.
(2.6) Brann i batterirom	Ved en brann i batterirommet vil man risikere at flere celler varmes opp og går i thermal runaway samtidig. Dermed kan hele batterisystemet avgi gasser og brenne ukontrollert.
(3.4) Ekstern brann	Brann utenfor batterirommet kan føre til at batteriromtemperaturen vil stige til et nivå hvor flere celler varmes opp og går i thermal runaway samtidig. Dermed kan hele batterisystemet avgi gasser og brenne ukontrollert.

Tabell 6-4: Identifiserte hendelser med betydelig kritikalitet.

6.3 Risiko og tiltak for å hindre antennelse av batterier

Dette delkapittelet beskriver forebyggende tiltak (barrierer) som er ment å redusere risiko for antennelse av batterier, inkludert antennelse av mulige avgasser fra batterier. Delkapittelet baserer seg på farer/farlige hendelser (risikoelementer) som ble identifisert i forbindelse med resultatene fra risikoidentifiserings-studiet (HAZID), angitt i kap. 6.2. Tiltak for å redusere konsekvenser av «thermal runaway» er beskrevet i kap. 6.4.

Risikoelementene, inkludert barrierer og forebyggende tiltak, har samme inndeling som i HAZIDen; hendelser i batterisystemet, hendelser i batterirommet og eksterne hendelser. I dette delkapittelet er det derimot valgt å starte med eksterne hendelser. Dette fordi det er mest offshorespesifikt.

Vurderingen er delt inn i tre hovedelementer – risiko, mulige barrierer og anbefalte tiltak. En overordnet beskrivelse av risiko relatert til den spesifikke faren/farlige hendelsen er gitt, etterfulgt av en beskrivelse av hver av de mulige barrierene. Til slutt følger en punktliste med de anbefalte tiltakene for de enkelte farene/farlige hendelsene. I denne sammenheng understrekes det at dette er ment som anbefalinger og ikke krav.

6.3.1 Tiltak for eksterne hendelser (utsiden av batterirommet)

6.3.1.1 Hydrokarbon- og hydrogensulfid gasslekkasje

Risiko

Dersom en hydrokarbongasslekkasje fra områder med bore- eller prosessaktivitet skulle oppstå vil det være en risiko for inntrengning av gass i batterirom, med påfølgende mulighet for eksplosjon. Gassinntrenging til batterirom vil kunne skje via luftkanaler og/eller døråpninger.

Videre kan en lekkasje av H_2S fra områder med bore- eller prosessaktivitet medføre inntrengning av giftig gass i batterirom, med påfølgende mulighet for eksponering og fare for personell om bord.

Mulige barrierer

En måte å forhindre inntrenging av gasser til batterirommet på er å lukke igjen luftkanalene. Dette kan f.eks. gjøres automatisk ved gassdeteksjon (hydrokarbon og hydrogensulfid). Siden ventilasjon av batterirom også er en sikkerhetsbarriere for avgass generert i batteriet i en feilsituasjon så bør også batteriet kobles fra for å redusere sannsynlighet for feil i batteriet samtidig.

Andre åpninger, slik som dører bør holdes lukket. Eksempler på tiltak kan være å ha automatisk lukking av dører eller alarm hvis dører står åpne.

Plasseringen av batterirommet separert fra områder med bore- eller prosessaktivitet vil naturlig redusere risiko for gassinntrenging.

Bruk av Ex utstyr i batterirommet vil også redusere sannsynligheten for antennelse, men siden batterisystemet i seg selv ikke er Ex sikkert, så er det det et tiltak med begrenset effekt i dette tilfellet.

Anbefalt tiltak

- Plasseringen av batterirommet er separert fra områder med bore- eller prosessaktivitet

- Gassdeteksjon i luftinntak med automatisk avstenging av ventilasjon og frakopling av batteri
- Dører bør lukkes automatisk eventuelt ha alarm hvis de står åpne

6.3.1.2 Ekstern eksplosjon

Risiko

Ved ekstern eksplosjon som følge av eksplosjon i bore- eller prosessområder som eksponerer batterirom kan skade på eller potensielt tap av batteri/batterisystem være potensielle risikoer.

Mulige barrierer

For å forhindre skade på batterisystemet ved en ekstern eksplosjon kan det å plassere batterirommet i området utenfor dimensjonerende eksplosjonstrykk være et forebyggende tiltak. Alternativt bør batterirommet designes for dimensjonerende eksplosjonstrykk.

Anbefalt tiltak

- Plassere batterirommet i området utenfor dimensjonerende eksplosjonstrykk

6.3.1.3 Ekstern brann

Risiko

En brann i tilstøtende områder (tilknyttet f.eks. bore/prosessaktivitet) og brann i annet tilstøtende rom (ikke bore/prosess) kan medføre en økende risiko for overoppheting av batterirommet og dermed batterisystemet.

Et overopphetet batterisystem vil kunne avgi elektrolyttgasser som er brennbare og eksplosive. Dersom batteriets interne celletemperatur overstiger 85°C (Li-ion NMC) vil det være en økende risiko for at en eller flere av cellene går inn i «thermal runaway».

Mulige barrierer

Ved en ekstern brann kan mulige forbyggende tiltak omfatte beskyttelse av systemet eller systemets plassering. Beskyttelse mot varme fra utsiden av batterirommet kan gjøres ved hjelp av varmeisolasjon av f.eks. vegger, gulv og tak med tilhørende dører. Isolasjonen bør da velges etter den potensielle varmen som kan oppstå og eksponeringstid. Bruk av «kofferdam» på utsiden av batterirommet kan også ansees som et forebyggende tiltak. Et annet tiltak er å «sprinkle» på nærliggende skott, som potensielt vil redusere temperaturstigningen i batterirommet. Varmepåvirkningen vil også kunne reduseres ved å plassere batterisystemet med avstand fra nærliggende skott.

Hvis utsiden av batterirommet er varmt så kan man forhindre at varmen også stiger i batterirommet ved hjelp av intern kjøling av batteriet. Dette fordrer dog at kjølingen er tilgjengelig mens det brenner på utsiden

Plassering av batterirommet vekk fra områder med høy brannrisiko vil naturlig redusere risiko for overoppheting av batterirommet.

Anbefalt tiltak

- Plasseringen av batterirommet vekk fra områder med brannrisiko
- Isolasjon av batterirommet tilsvarende A-0 eller A-60, avhengig av tilstøtende rom

6.3.1.4 Kollisjon

Risiko

Risiko for mekanisk skade på batterisystemet eller vanninntrenging øker som følge av skipskollisjon (for eksempel PSV mot plattform/rigg), kollisjon under transitt eller helikopterkollisjon

Mulige barrierer

Hvis det er kollisjonsfare, kan man forebygge det med ekstra mekanisk styrke/beskyttelse av selve batterirommet, eller plassere batterirommet i områder uten kollisjonsfare. Batterirommet kan f.eks. beskyttes med vanntettskott og om mulig plasseres over vannlinjen, som reduserer faren for vanninntrenging ytterligere.

Dersom vanninntrenging fra utsiden av batterirommet skulle forekomme, vil drenering og dreneringssystem kunne avhjelpe situasjonen.

Anbefalt tiltak

- Batterirommet bør plasseres i områder uten kollisjonsfare
- På skipsformede offshore-enheter bør batterirommet plasseres bak kollisjonsskott.

6.3.1.5 Fallende last

Risiko

Offshoreoperasjon kan innebære håndtering av last. Ved f.eks. kranoperasjon kan fallende last være en fare som potensielt kan skade batteriet.

Mulige barrierer

Dersom det er fare for fallende last under materialhåndtering, kan dette forebygges ved å ha ekstra mekanisk styrke/beskyttelse av batterirom.

Alternativt kan man innføre løftebegrensninger over batteri. Dette kan gjøres på samme måte som det gjøres i forbindelse med bore- og prosessområder hvor det normalt ikke er tillatt med løfting med offshore kraner. Dersom det f.eks. må skiftes ut tungt prosessutstyr håndteres dette som et spesialløft der det gjøres sikker jobb analyse og en del tiltak før løfteoperasjon (f.eks. nedstengning og trykkavlastning av prosess-segmenter).

Anbefalt tiltak

- Løftebegrensninger over batterirom

6.3.2 Tiltak i batterirommet

6.3.2.1 Ekstern elektrisk overbelastning/kortslutning/lysbue

Risiko

Feil i elektrisk anlegg i tilknytning til batterisystemet kan medføre overbelastning og varmegang i batterisystemet. Tilsvarende vil feildimensjonering av elektrisk anlegg kunne medføre overbelastning i batterisystemet.

Feil i elektrisk utstyr som ikke er direkte elektrisk tilkoblet batteriets system kan også representere en risiko ved at feil i dette utstyret kan medføre lokal varme/brann. Batterisystemet kan på den måten bli overopphetet.

Mulige barrierer

Tilknyttet elektrisk utsyr bør designes i henhold til operasjonsområdet og elektriske karakteristika for batterisystemet.

Tilknyttet elektrisk utstyr bør benytte tilstrekkelige elektriske vern. Dette for å forhindre overbelastning og kortslutning.

Videre vil reduksjon av annet elektrisk utstyr i batterirommet naturlig redusere risiko for overoppheting av batterirommet.

Batteriomformere (lader/utlader) bør konfigureres slik at det ikke er mulig med overlading og dyputlading. Batteriomformeren bør ha en kvalitet på strøm og spenning slik at batterisystemet ikke utsettes for rippelspenning og rippelstrøm som er for høy.

For å forhindre varmegang i kabler er det viktig med korrekt dimensjonering av kablene.

Anbefalt tiltak

- Begrense elektrisk utstyr som er plassert i batterirommet til et minimum
- Tilknyttet elektrisk utstyr bør tilpasses operasjonsområdet og elektriske karakteristika for batterisystemet
- Tilknyttet elektrisk utstyr bør benytte tilstrekkelige elektriske vern

6.3.2.2 Temperatur

Risiko

En feil i batterirommets HVAC-anlegg kan medføre at batterisystemet ikke får tilstrekkelig kjøling og på den måten øker risikoen for at batterisystemet kan bli overopphetet.

Mulige barrierer

Ved eventuell overoppheting av batterisystemet som følge av en svikt i batterirommets HVAC-anlegg, kan temperaturkontroll i batterirommet som alarmerer og kobler fra batterisystemet ved for høy temperatur være et forebyggende tiltak.

For å forhindre varmeutvikling i batterirommet kan plassering av annet varmeavgivende utstyr i batterirommet begrenses og holdes til et minimum. Et forbud mot plassering av varmeavgivende utstyr og utstyr sompotensielt kan avgi varme ved feil kan f.eks. innføres.

Termisk isolasjon mellom komponenter (også internt i batterisystemet) internt i rommet kan også benyttes. På den måten kan konsekvensen av varme/brann generert internt i batterirommet reduseres.

Anbefalt tiltak

- Overvåking av batteriromtemperatur med alarm
- Unngå plassering av varmeavgivende utstyr i batterirommet

6.3.2.3 Ventilasjonssvikt (fortynning)

Risiko

Hvis batteriet begynner å avgi fordampet elektrolytt bør denne gassen fortynnes ved hjelp av ventilasjon. Ved små lekkasjer vil ventilasjonen håndtere de gasser som blir avgitt. Ved store lekkasjer f.eks. «thermal runaway» så vil det komme mye gass på en gang og ventilasjonen kan bruke litt tid på å få fortynnet atmosfæren til under eksplosjonsfarlig nivå. Det er også viktig å merke seg at avgassene fra battericellene er lettere enn luft når gassen er varm, mens den er tyngre enn luft når gassen er kald.

Svikt i ventilasjonsanlegget kan medføre at mulig farlig gass ikke blir fortynnet tilstrekkelig med påfølgende fare for oppsamling av eksplosiv og giftig gass.

Mulige barrierer

Vifter som har høy pålitelighet, f.eks. redundans.

Vifter som opererer kontinuerlig.

Anbefalt tiltak

- Kontinuerlig pålitelig ventilasjon

6.3.2.4 Væskeinntrenging

Risiko

Væskeinntrengning i batterirommet vil kunne medføre at elektriske ledere kortsluttes eller at det oppstår krypstrømmer og jordfeil. Dette kan medføre lokal varmegenerering og/eller overutlading av batterisystemet med fare for overoppheting av battericeller.

Mulige barrierer

For å beskytte mot væskelekkasjer i batterirommet bør man unngå ruting av rør med vann/væske gjennom batterirommet. Ved en eventuell vanninntrenging i batterirommet er drenering av batterirom et forebyggende tiltak. Drenering er nødvendig ved benyttelse av vannbaserte slukkesystemer.

Når væskekjølte batterisystemer benyttes vil det naturlig også være rør og muligens pumpe(r) for tilførsel av kjølevæske. For å detektere væskelekkasje bør batterirommet utstyres med lekkasjevakt og/eller drenering.

Batteriet bør ha en kapslingsgrad høy nok til å forhindre vanninntrenging. Ved bruk av vannbaserte slukkesystemer så må vannet ha lav elektrisk konduktivitet og saltvann bør unngås.

Anbefalte tiltak

- Ruting av rør med vann/væske gjennom batterirommet bør unngås
- Lekkasjevakt bør benyttes i batterirommet ved bruk av væskekjølte batterier

6.3.2.5 Elektromagnetisk forstyrrelse

Risiko

Elektromagnetiske forstyrrelser kan medføre feilfunksjoner av overvåkingssystem og av batteriomformer (lader). Dette kan medføre tap av sikkerhetsfunksjoner og/eller utilsiktede utkoblinger (utilgjengelig batterisystem).

Mulige barrierer

Elektromagnetisk kompatibelt utstyr bør benyttes i batterirommet, og utstyr som genererer elektromagnetisk støy (både strålt og ledningsbunnet) bør unngås.

Anbefalt tiltak

- Bruk av utstyr som er elektromagnetisk kompatibelt

6.3.3 Tiltak i batterisystemet

6.3.3.1 Battericelledefekter

Risiko

En battericelle med interne defekter kan eldes fortere. Celledefekter kan være forårsaket av unøyaktig produksjonsprosess, urenheter og designfeil.

Battericellene vil over tid naturlig degenereres slik at frie Li-ioner vil gå over til å bli litiummetall på anoden (litium plettering). Det er da en mulighet at litiummetallet danner strømbaner som kan kortslutte anode og katode (litiummetall dendritter). Danning av litiummetall og dendritter kan også skje ved at en battericelle lades for mye ut og ved opplading ved lav temperatur.

Interne defekter kan også representere en forhøyet fare for at cellen kan få en internkortslutning som i verste tilfellet kan lede til at battericellen går inn i «thermal runaway».

Det er en generell bekymring at celledefekter kan utvikle seg over tid. Det er knyttet usikkerhet til om en eldre celle er like trygg som en ny battericelle (FFI, IFE, NTNU, HiST, 2017) [3].

Mulige barrierer

Cellens dielektriske egenskaper må ivaretas. Cellene må designes med tilstrekkelig avstand og separator slik at de ikke kommer i kontakt med hverandre i hele levetiden. Videre må separatoren mellom anode og katode være designet slik at den gir god elektrisk isolasjon ved alle operasjonstemperaturer. Under produksjon er det viktig at battericellene produseres med høy kvalitet, nøyaktige avstander og uten urenheter.

Når en battericelle blir belastet vil den normalt ese litt ut (svelle). Det er da viktig at cellene tåler denne svellingen. Da kan det være viktig at cellenes kapsling kan håndtere denne svellingen uten at kapslingen revner og elektrolytt siver ut (væske- eller gassform). Videre er det også viktig at de elektriske sammenkoblingene ikke blir degenerert på grunn av den mekaniske påvirkningen celleesingen representerer.

For å beskytte mot dannelse av litiummetall og dendritter må BMSen overvåke spenningen og avbryter utladingen når spenninga går under et visst nivå. Videre bør man ikke lade batteriet med for høy strøm ved lave temperaturer. Batteriet bør altså ikke lades for hardt når det er kaldt.

Hvis elding av batteriet medfører høyere risiko for celledefekter så vil et tiltak være å skifte ut batterisystemer som har battericeller med en viss alder. En annen metode kunne være å benytte cellenes SOH som en indikator for cellens kvalitet. Så når cellens SOH går under en hvis verdi så bør batterisystemet skiftes ut.

Hvis de individuelle cellene må spenningsbalanseres oftere er det et tegn på at den indre motstanden endrer seg fortere noe som igjen kan indikere at en eller flere battericeller utvikler interne defekter.

Anbefalte tiltak

- Det må sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter.
- Batteriets BMS må beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.

6.3.3.2 Støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering

Risiko

Støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering kan medføre at anoden og katoden kommer i kontakt med hverandre og på den måte lage en intern kortslutning i battericellen. Videre kan batterisytemets elektriske ledere komme i kontakt med hverandre med påfølgende fare for kortslutning og varmeutvikling.

[3] Project «Life and safety for Li-ion batteries in Maritime conditions (SafeLiLife)», FFI, IFE, NTNU, HiST, 2017

Elektriske ledere kan også komme i kontakt med jordpotensiale. En dobbel jordfeil vil kunne medføre krypstrømmer og kortslutninger som igjen kan forårsake varmeutvikling.

Mulige barrierer

Batterisystemet bør plasseres slik at det ikke utsettes for støt, sammenpressing og penetrering. Eventuelt at batterisystemet designes med ekstra mekanisk beskyttelse.

Batterisystemet bør ikke plasseres på lokasjoner med vibrasjonsnivå høyere enn det batterisystemet er designet for.

Anbefalt tiltak

- Batterisystemet bør plasseres slik at det ikke utsettes for støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering

6.3.3.3 Elektriske feil

Risiko

Kortslutninger, doble jordfeil, krypstrømmer og lysbuer er eksempler på elektriske feil som kan oppstå i et batterisystem. Elektriske feil kan forårsake varmegang og påfølgende oppvarming av battericeller.

Mulige barrierer

Batterisystemets elektriske anlegg må konstrueres med korrekt isolasjonsnivå. Forurensning når det gjelder partikler og væske må hensyntas ved bestemmelse av avstander mellom uisolerte ledere. Ved fare for konduktiv væskelekkasje så bør batterisystemet designes slik at væsken ikke kommer i kontakt med elektriske ledere.

For å forhindre forurenset luft så kan man kondisjoner luften i batterirommet både for partikler og fuktighet, som vil redusere faren for krypstrømmer.

Batterisystemet må utstyres med elektriske vern som beskytter mot både kortslutning og overstrøm. Der hvor det ikke er mulig å installere kortslutningsvern så bør elektriske ledere installeres jord- og kortslutningssikkert.

For å beskytte mot stående lysbuer så vil kortslutningsvern ofte ha begrenset virkning da lysbuestrømmen er lavere enn kortslutningsstrømmen og kan i mange tilfeller være lavere enn nominell strøm fra batteriet. Man bør derfor ha eget lysbuevern og mulighet for å bryte ned spenningen i batterisystemet til en verdi som gjør at lysbuen slukker. For serielle lysbuer kan ett bryteelement være nok, mens for parallelle lysbuer (mellom pluss og minus leder) så bør man segregere batterisystemet ned til elementer på under 100 volt.

Batterisystemet bør isolasjonsovervåking med alarm ved redusert isolasjonsnivå. Overspenninger kan ødelegge cellens isolasjonsmateriale. Aktsomhet mot overspenninger (både utilsiktede og tilsiktede (høyspent tester) må på plass.

Anbefalte tiltak

- Kortslutningsbeskyttelse og overstrømsbeskyttelse
- Isolasjonsovervåking

6.3.3.4 Elektrisk sjokk

Risiko

Batterisystemet vil som oftest ha en spenning som er berøringsfarlig. Dette kan medføre skade på personell ved kontakt. Ledninger og plugger som frakobles/tilkobles kan lede høye DC-strømmer som medfører fare for lysbuesjokk med påfølgende skade på personell.

Mulige barrierer

Alle spenningsførende ledere bør være isolerte. Aksess til uisolerte elektriske ledere, for eksempel åpnede plugger, bør gjøres med verktøy og klær beregnet for det spenningsnivået som er i batterisystemet. Videre bør alle ledere som kan manuelt brytes ved service gjøres strømløse ved kopling.

Batterisystemet må utstyres med elektriske vern som beskytter mot både kortslutning og overstrøm. Der hvor det ikke er mulig å installere kortslutningsvern så bør elektriske ledere installeres jord- og kortslutningssikkert.

Batterisystemet bør isolasjonsovervåking med alarm ved redusert isolasjonsnivå.

For å beskytte mot stående lysbuer så vil kortslutningsvern ofte ha begrenset virkning da lysbuestrømmen er lavere enn kortslutningsstrømmen og kan i mange tilfeller være lavere enn nominell strøm fra batteriet. For å beskytte mot stående lysbuer må man da ha eget lysbuevern og mulighet å bryte ned spenningen i batterisystemet til en verdi som gjør at lysbuen slukker. For serielle lysbuer kan ett bryteelement være nok, mens for parallelle lysbuer (mellom pluss og minus leder) så bør man segregere batterisystemet ned til elementer på under 100 volt.

Overspenninger kan ødelegge cellens isolasjonsmateriale. Aktsomhet mot overspenninger (både utilsiktede og tilsiktede (høyspent tester) må på plass.

Anbefalt tiltak

- Isolasjonsbryter som kan frakoble batterisystemet fra det tilstøtende elektriske anlegget.
- Sammenkoblinger i batterisystemet bør kunne gjøres strømløst ved skifte av batterimoduler.

6.3.3.5 Overlading

Risiko

Lading med for høy spenning og strøm vil medføre for høy temperatur. Overlading med for høy strøm vil i tillegg kunne generere partielle utladinger (kortslutninger) internt i cellene slik at man kan ende opp med «thermal runaway» i en eller flere av cellene.

Mulige barrierer

For å forhindre skader ved overlading må battericellene beskyttes mot for høy temperatur. Battericellene/modulene bør således utstyres med temperaturovervåking som stopper ladestrømmen når temperaturen blir for høy. Dette gjøres normalt av batteriets overvåking system (BMS) som sender informasjon som stopper laderen og bryter ladekretsen ved hjelp av en utkoplingskontaktor/bryter ved for høy temperatur.

Videre må cellene beskyttes mot for høye ladespenning. Kontinuerlig spenningsmåling på cellene gjøres normalt av batteriets BMS. Ved for høy spenning sender BMS informasjon om dette til batteriets lader som da må redusere sin spenning. Hvis spenningen fortsatt er for høy vil normalt batteriets utkoplingskontaktor/bryter koble batteriet fra ladekretsen.

Ved bruk av batteriet vil cellene etter hvert få noe ulik cellespenning. Den interne impedansen i cellene vil med alder bli mer og mer forskjellig. Det er derfor viktig at alle battericellene har spenningsmåling slik at ladingen kan avbrytes når første celle når maksimalt spenningsnivå. For å opprettholde størst mulig kapasitet så utstyres gjerne batterimoduler/systemer med cellespenning utjevnings funksjonalitet slik at cellen(e) med høyest spenning blir ladet litt ut slik at de andre cellene kan lades litt mer.

BMSen til batteriet bør ha strømovervåking som ved for høy strøm kan be laderen om å redusere strømtilførselen. Videre kan utkoplingskontaktoren også koble batteriet fra laderen ved for høy strøm.

Battericeller kan utstyres med Current Interrupt Devices (CID) som bryter den interne strømlederen i battericellen når temperaturen blir for høy.

Anbefalt tiltak

- BMS som kontrollerer temperatur, spenning og strøm.
- Frakopling av batterisystemet ved for høy strøm, spenning og temperatur.

6.3.3.6 Overbelastning og dyputladning

Risiko

Batterisystemet kan bli overbelastet dersom strømtrekket blir for høyt. Dette kan medføre at cellene blir for varme med fare for at battericellene slipper ut farlige gasser og/eller selvantenner.

Det er også en risiko for at elektriske ledere (kabler, skinner etc.) kan bli overbelastet og det kan oppstå varmeutvikling som igjen kan overopphete battericellene.

Dyputlading av cellene under designet spenningsnivå vil medføre redusert kapasitet i cellene og i det lange løp dannelse av litium dendritter som kan kortslutte battericellene.

Mulige barrierer

For å unngå at elektriske komponenter blir overbelastet må de være dimensjonert for strømbelastningene som kan oppstå, og systemet må ha overbelastningsbeskyttelse. Dette kan gjøres ved hjelp av overbelastningsvern, batteriomformere etc.

BMSen har strømovervåking som også kan benyttes for å beskytte mot overbelastning.

Anbefalt tiltak

- Korrekt dimensjonert batterisystem
- Systemet utformet med overbelastning- og dyputlading- beskyttelse

6.3.3.7 Væskeinntrenging

Risiko

Væskelekkasjer i batterirommet og kjølevannlekkasje internt i batterisystemet kan medføre elektriske feil i batterisystemet. Videre kan det i et verst tenkelige-scenario bli produseres hydrogen ved elektrolyse av konduktivt vann som igjen er eksplosiv.

Mulige barrierer

Væskekjølte batterisystemer bør konstrueres slik at en eventuell kjølevannlekkasje ikke vil komme i kontakt med elektrisk ledende punkter i batterisystemet.

Batteriet bør ha en kapslingsgrad høy nok til å forhindre vanninntrenging. Ved bruk av vannbaserte slukkesystemer så må vannet ha lav elektrisk konduktivitet, og saltvann bør unngås.

Desto høyere DC-spenningen er, desto sterkere er elektrolysen og faren for lysbuer. Det vil derfor være lurt å ha tilkoblingspunkter som er plassert høyere i batterisystemet enn kjølesløyfer.

Anbefalt tiltak

- Batterisystemet beskyttet mot vannlekkasje ved hjelp av kapsling og design.
- Ikke benytte saltvannsbaserte slukkesystemer.

6.3.3.8 Gassproduksjon (eksplosiv, giftig og korroderende)

Risiko

En battericelle som blir overopphetet vil kunne slippe ut elektrolyttgasser som kan være eksplosive, giftige og korroderende. Mengde elektrolytt som frigis fra cellen(e) vil variere basert på cellens spesifikke design og kjemi.

Mulige barrierer

For å forhindre at cellene produserer gass er det viktig å holde temperaturen på cellene innenfor toleransegrensene. Battericeller som Li-ion NMC vil typisk ha en gassintegritet opptil 85°C. Høyere temperatur medfører utslipp av fordampet elektrolytt. Dermed er det viktig at kilden til temperaturøkning fjernes når battericellene blir for varme slik at man slipper avgassing.

Et tiltak vil være å «skru av batteriet», det vil si å stoppe lading/utlading når temperaturen overstiger toleransegrensene ved for høy temperatur.

Et annet tiltak er å øke kjølingen når temperaturen stiger. Det være seg reduksjon av romtemperatur og økning av kjøleviftehastighet for viftekjølte systemer eller reduksjon av kjølevannstemperatur og økning av kjølevannsgjennomstrømningen for væskekjølte systemer.

Det er verdt å merke seg at små celler slipper ut en mindre mengde gass enn store celler.

Anbefalte tiltak

- Utkopling av batterisystemet ved høy celletemperatur.

6.3.3.9 Thermal runaway

Risiko

En battericelle som blir overopphetet kan gå inn i «thermal runaway». Når en battericelle har gått inn i «thermal runaway» vil det være en risiko for at varmen avgitt fra denne cellen, kan spre seg til nabocellene som da også kan gå inn i «thermal runaway». Konsekvensen ved en slik hendelse er at hele batterisystemet kan gå inn i «thermal runaway».

Mulige barrierer

For å forhindre at temperaturene fra en overopphetet battericelle sprer seg fra en celle til annen kan man termisk isolere battericellene i batterimodulen og/eller mellom batterimodulene. Videre kan man benytte et internt kjølemedium som beskytter nabobattericeller fra å bli overopphetet.

Battericellen som går inn i «thermal runaway» vil avgi varme gasser. Denne varme gassen bør avledes vekk fra naboceller slik at de unngår å bli overopphetet.

Anbefalt tiltak

- Batterimodulene bør konstrueres slik at «thermal runaway» i en battericelle ikke sprer seg fra celle til celle.

6.3.3.10 Batterikontrollsystem feil (BMS feil)

Risiko

En feil på batteriets kontrollsystem kan medføre at man mister overvåkingen av spenning, strøm og temperatur i batterisystemet. Dette vil kunne medføre at batteriet blir operert utenfor de sikre grenser som igjen kan medføre overlading, overbelastning og dyputlading, ref kap. 6.3.3.5 og 6.3.3.6. Dette kan i verste fall medføre «thermal runaway» i en eller flere av cellene.

Mulige barrierer

BMS bør konstrueres med en høy grad av pålitelighet slik at sannsynligheten for farlig feil er så lav som mulig.

Batterisystemet kan utstyres med dublert BMS slik at det er kontroll av strøm, spenning og temperatur selv om en BMS feiler i.e. redundans.

Batterisystemet kan utstyres med et ekstra sikkerhetssystem uavhengig av BMS som trer inn selv om BMS feiler. Dette kan være at battericellene har integrert sikkerhetsløsning, for eksempel CID eller at det benyttes et uavhengig temperatur/spenningsovervåking på batterimodul-nivå.

Anbefalt tiltak

- BMS bør konstrueres med en høy grad av pålitelighet.
- BMS-uavhengig overladingsbeskyttelse i batterimoduler.

6.4 Tiltak for å redusere konsekvens av «thermal runaway»

6.4.1 Innledning

Dette delkapittelet beskriver tekniske tiltak som vil redusere konsekvensen av antennelse av batterier inkludert antennelse av mulige avgasser fra batterier. Delkapittelet baserer seg på hendelser (risikoelementer) som er identifisert i forbindelse med resultatene fra risikoidentifiserings-studiet (HAZID) angitt i 6.2.5.

Risikoelementene er kategorisert i hendelser på utsiden av batterirommet, og hendelser i batterirommet. Vurderingen er delt inn i tre hovedelementer – risiko, mulige barrierer og anbefalte tiltak. En overordnet beskrivelse av risiko relatert til den spesifikke faren/farlige hendelsen er gitt, etterfulgt av en beskrivelse av konsekvensreduserende barrierer. Til slutt følger en punktliste med de anbefalte tiltakene for de enkelte farene/farlige hendelsene. I denne sammenheng understrekes det at dette er ment som anbefalinger og ikke krav.

6.4.2 Tiltak på utsiden av batterirommet

6.4.2.1 Gassutslipp (eksplosiv, giftig, korroderende) fra batterirom

Risiko

Hvis det oppstår gassutslipp (elektrolyttgass) fra batterirommet kan naboområder eksponeres med eksplosiv, giftig og korroderende gass fra batterirommet.

Mulige barrierer

Tilstrekkelig ventilasjon fra batterirom til sikre områder. Et sikkert område må hensynta områder hvor det er mennesker, annet elektrisk utstyr (som kan antenne gass), andre ventilasjonsåpninger og rømnings/evakueringsveier eller redningsutstyr.

Avstenging av ventilasjonskanaler fra batterirommet som ikke leder til sikkert område.

Gassdeteksjon med alarm som kan benyttes for å stenge ned ventilasjon i nærliggende områder, eventuelt for å alarmere et område som er eksponert for giftige gasser.

Anbefalt tiltak

- Alle ventilasjonsåpninger fra batterirommet bør være i sikre områder med minimum 1,5 meter klaring til annet elektrisk utstyr eller døråpninger.

6.4.2.2 Brann og eksplosjon fra batterirom

Risiko

Brann fra batterirom kan uten tilstrekkelig barriere spre seg til naborom, og dermed eskalere situasjonen til en større brann ombord innretningen. I verste tilfelle kan batteribrannen lede til antennelse av gasser hvilket i sin tur kan føre til en eksplosjon. Antennelse av gasser kan skje i rommet eller i ventilasjonskanaler der gassen naturlig vil samles utenfor rommet.

Mulige barrierer

For å hindre spredning av en brannhendelse fra batterirom er brannskille essensielt for å ivareta integriteten av inntilliggende områder.

Et eksplosjonssikkert område rundt ventilasjonsåpninger blir en viktig barriere for å begrense risiko for antennelse av gasser ved en batteribrann.

Sikkerhetskritiske funksjoner bør ikke bli satt ut i tilfelle brann/eksplosjon fra batterirom. Det vil si at utstyr til essensielle funksjoner ikke bør plasseres i eller passere gjennom batterirommet.

Anbefalt tiltak

- Batterirommet bør bestå av strukturelle skott, eller skiller av tilsvarende styrke.
- Essensielt utstyr for innretningen bør ikke plasseres i batterirom, unntatt nødvendig batteri-elektrisk utstyr.
- Brannskiller i likhet med oljefyrte maskinrom er anbefalt.
- Brannskiller av minimum A-60 mot andre maskinrom og rom med farlig gods.

6.4.3 Tiltak i batterirommet

6.4.3.1 Gassproduksjon (eksplosiv, giftig, korroderende) i batterirommet

Risiko

Battericellene kan avgi elektrolytt i gassform når de blir varme og opereres utenfor designet område eller ved operasjon utenfor sikkert bruksområde. Hvis ventilasjonsanlegget er underdimensjonert eller ved en feil i ventilasjonsanlegget kan denne gassen konsentrere seg til en eksplosiv, giftig og korroderende blanding i rommet.

Gassproduksjon medfører risiko for eksplosjon, brann og/eller forgiftet personell. I rapporten Technical Reference for Li-ion Battery Explosion risk and Fire suppression /1/ er det konkludert at avgassen fra battericellene vil samsvare gassgruppe IIC og kreve EX-sikkert utstyr med minimum temperaturklasse T2.

Mulige barrierer

I likhet med risiko for brann er det essensielt å begrense omfanget av gassproduksjon grunnet oppheting av battericeller. Dette kan gjøres gjennom å stille krav til maks størrelse av enkelte battericeller, eller ved tilstrekkelig termisk isolasjon mellom hver grupperinger av battericeller. I tillegg er det viktig å lede ut farlig avgass gjennom et dedikert ventilasjonsanlegg, med avtrekk til sikkert område. To liter avgass per installert Ah har vanlig blitt brukt i litteraturen og kan anvendes som utgangspunkt for å beregne risiko tilknyttet eksplosjon og brannfarlig blanding.

Tilstrekkelig ventilasjonsrater for forventet gassproduksjon kan bygges inn slik at en tennbar blanding i atmosfære ikke bygger seg opp. Hvis ventilasjonen normalt ikke går er automatisk oppstart ved gass-deteksjon og alarm fra batterioverv̊akingssystemer (temperatur- og spenningsmåler) anbefalt. Avstengt ventilasjon kan være nødvendig for å sørge for ren/tørr luft i vanlig operasjon, mens start av tilstrekkelig luftutskifting er viktig ved gassansamling eller temperaturøkning.

Gassdeteksjon kan skje ved hjelp av konvensjonel røyk og/eller temperaturvarsel, CO-deteksjon eller dedikerte Li-ion gass-sensorer. Plassering av deteksjon er viktig for rask og effektiv respons av ventilasjon og andre sikkerhetstiltak. Studier har vist at gass kan akkumulere både ved taket og ved gulvet beroende på gitt gass-temperatur da gassproduksjonen ut i rommet skjer. For å unngå spredning av gass fritt i rommet kan det med fordel bygges in gass-kanaler direkte fra enkelte batterimoduler, som i sin tur ledes ut i en felles ventilasjonskanal (avtrekk).

Mulige tiltak for å sikre mot eksplosiv atmosfære kan også være å inerte rommet eller avgass-kanalen fra batterisystemet ved deteksjon av brennbar gass.

For sikker adgang til et batterirom etter en hendelse med avgassing må personal utstyres med nødvendig personvernsutstyr, der giftige gasser blir målt ved pustesonen. Det kan også være behjelpelig med CCTV overvåking for å vurdere gassrisiko. Grunnet den lettflyktige giftige gassen forventes det at en relativt uniform spredning av gass vil være til stede i rommet etter avgassing.

Anbefalt tiltak

- Minimum kapasitet for avgass-ventilasjon, 6 ACH (nok til å sikre utslipp under 350 L gass eller feilende battericeller inntil 175 Ah).
- EX sikker og gnistfrie ventilasjonsvifter (fratrekk).
- Kontinuerlig operasjon av dedikert ventilasjonsanlegg.
- Gassdeteksjon der avgass fra battericellen kan akkumulere.
- Temperaturoveraking i batterisystemet.
- Benytte EX sikkert utstyr i taket med minimum temperaturklasse T2 og beregnet for gassgruppe IIC hvis avgass fra battericellen kan spre seg utenom batteri-kabinettene da varm gass vil akkumuleres under taket.
- Propageringstestet batterisystem for å begrense «thermal runaway» til enkelte celler, cellepar eller batterimoduler.

6.4.3.2 Eksplosjon

Risiko

De brennbare avgassene fra battericeller kan antennes når oksygen er tilstede. Fordampet elektrolytt er brennbar selv i romtemperatur mens selvantennelsestemperaturen ligger typisk på over 400°C.

I forbindelse med «thermal runaway» i battericeller så kan temperaturen internt i avgassen passere 400°C (kanskje opp mot 1000°C). Det betyr at batterigassen kan antenne seg selv.

I en «thermal runaway»-situasjon er gassen varm og vil stige opp i rommet. Det er i denne situasjonen at det kan ta litt tid før ventilasjonen har fortynnet luften i rommet til under eksplosjonsfarlig nivå.

Det er også verdt å merke seg at Li-ion battericeller vil kunne frigjøre litt oksygen når de er i «thermal runaway» hvilket medfører at brannene kan være vanskelig å slukke. Frigjørelsen av oksygen fra battericellene medfører ikke opphopning av oksygen i rommet.

Mulige barrierer

Ventilasjon av batterirommet for å fortynne den eksplosive og giftige atmosfæren.

Plassering av avsugskanal der den får størst effekt og om mulig flere avsugskanaler.

Undertrykkelse av oksygen er også et mulig tiltak, men kan være noe utfordrende da det vanskelig lar seg kombinere med ventilasjon.

Gassdeteksjon i batterirommet som alarmerer og kobler fra batterisystemet og annet elektrisk utstyr. Siden gassene er lettere enn luft når de er varme og tyngre enn luft når de er kalde, anbefales deteksjon både ved taket og ved gulvet i batterirommet.

Ved å benytte eksplosjonssikkert utstyr i rommet må det være designet for temperaturklasse T2 og beregnet for gassgruppe IIC. I tillegg må man unngå varme overflater.

Anbefalt tiltak

- Ventilasjon med avsug i taket.
- Mekanisk ventilasjon med nødvendige luftutskiftinger i timen, bør i minimum være dimensjonert etter mengde gass som kan oppstå ved interne feil i batteriet. Beregnet mengde gas bør hensynta størrelse, og den spesifikke kjemien, av battericellene.
- Benytte EX sikkert utstyr i taket med minimum temperaturklasse T2 og beregnet for gassgruppe IIC.
- EX sikker og gnistfrie ventilasjonsvifter (fratrekk).

6.4.3.3 Brann

Risiko

Risiko for batteribrann kan komme av flere indentifiserte risikoelementer, inkludert gasslekkasje som antenner og medfører brann, thermal runaway, mekanisk skade på batterier og komponenter, eksplosjon grunnet akkumulert avgass, eller kortslutning.

Mulige barrierer

En brannhendelse fra batterisystemet vil utgjøre en betydelig varmelast på rommet og tilhørende strukturelle skott (vegger og tak). Det er derfor viktig å inkludere tiltak som vil redusere omfanget av brannen, i tillegg til tiltak som vil beskytte mot varmelasten. Det er essensielt å begrense brannen til en så liten del av batterisystemet og batterirommet som mulig.

Tiltak vil normalt inkludere kjapp respons fra brannovervaking, basert på røykvarsel, varmedeteksjon eller flammedeteksjon. Eksterne overvåkingssystemer kan med fordel kombineres med batterisystemets interne overvåkningsystem. Etter brannen er oppdaget vil et godkjent fast slukkeanlegg benyttes for å slå ned flammer og begrense temperaturøkningen til rommet og resten av batterianlegget.

I maritimt bruk er slukkesystemer som sprinkler, watermist/Hi-fog og gassbaserte systemer godkjent for bruk i maskinrom, brukt for beskyttelse av batterisystemer.

Et slukkesystem kan normalt begrense spredning av varme i rommet, men det er anbefalt å beskytte både rommet fra ekstern brann, og inntilliggende områder fra batterirommet med passive tiltak som brannskillevegger og begrenset bruk av brennbare materialer.

Anbefalt tiltak

- Avledning av varme gasser må konstrueres i batterisystemet. Se 6.4.3.1.
- Slukkemiddel med mulighet til ekstern kjøling av batteri-installasjonen er anbefalt for å forhindre spredning av TR. Ferskvannbaserte slukkesystemer er anbefalt som det slukkemiddel med best mulig termisk konduktivitet. Vannbaserte systemer kan opereres sammen med nødvendig ventilasjon for å begrense akkumulering av eksplosjonsfarlige gasser.
- A-60 brannskiller er anbefalt mot andre maskinrom eller mot evakueringsområder.
- Branndeteksjon (røykvarsler).
- Varmedeteksjon eksternt fra batterisystemets innebygde overvåking.
- IP44 eller høyere klassifisering for vanninntrenging av batterimoduler, hvis vannbaserte slukkemiddel er brukt. IP44 er rekommandert som en balanse mellom luftkjøling og vanninntrenging.
- Tilstrekkelig drenering-potensiale hvis vannbaserte slukkemiddel er brukt, med mulighet for håndtering av basisk vannmengde som følge av miksing med elektrolytten fra battericellene.

6.5 Bruk av risikoanalyser og modeller

Risikoanalyser og beregningsmodeller som er tilpasset store litium-ion batteri-systemer er utviklet ref. /2/, og disse gir en risikobasert framgangsmåte til å kvantifisere effekten av de forskjellige parameterne og barrierene. Framgangsmåten som brukes stammer fra metoder som brukes i offshore sammenheng, og det vil derfor være naturlig å vurdere å utvide dagens risikoanalyse-regime som finnes for offshore installasjoner til også å omfatte batterisystemer. Disse fokuserer på eksplosjoner i batterirom, og ikke på brann. For å begrense brannbelastningen er det viktig med fysiske skiller eller andre dokumenterte tiltak mellom batteri-celler eller moduler, slik at en «thermal runaway» begrenser seg til en avgrenset del av batterisystemet.

Metoder er utviklet som beregner konsekvenser hvor effekter av barrierer er inkludert. Disse metodene inkluderer Computational Fluid Dynamics (CFD) beregninger av ventilasjon, gass-dispersjon, og eksplosjon fra hendelser i batterisystemet i et batterirom. Metoden som beskrives her benyttes av DNV GL i rådgivingsprosjekter og som dokumentasjon for godkjenning av batterisystemer. Metodene kan i prinsippet brukes av andre aktører i industrien, dersom tilstrekkelig kjennskap til hvordan batteriene kan oppføre seg er opparbeidet. Denne informasjonen er åpent tilgjengelig i JDP rapporten ref. /1/.

Metodikken er spesielt utviklet for å kunne vurdere og bestemme barrierer som forhindrer eksplosjoner i batterirom. Det er tatt utgangspunkt i en thermal runaway hendelse som kan oppstå i en battericelle og spre seg videre til flere celler og moduler. Forsøk og hendelser har vist at under visse forhold kan det utvikles gass som er eksplosiv. DNV GL har også utført forsøk for å bedre forstå hvordan slike hendelser oppstår og utvikler seg ref. /1/ (ref. JDP). Disse forsøkene er brukt til å tallfeste mengden gass som kan bli produsert fra en «thermal runaway»-hendelse. Forløpet til gass-utviklingen er også vurdert og det er etablert et typisk forløp som kan beskrive en hendelse.

Analysemetodikken som er brukt er basert på en dimensjonerende hendelse fra batterirommet. Dvs. at en mulig hendelse som kan generere eksplosiv gass også er definert basert på forsøk som er utført. En mulig framgangsmåte for offshore bruk av batterier er å utvikle en «worst credible» -hendelse som man må designe etter. For maritime systemer er en slik hendelse definert ved hjelp av en propageringstest.

Det er foreløpig ikke utviklet frekvenser for slike hendelser som er brukt i analysene. En vurdering av frekvenser kan foretas basert på kjente hendelser. En slik enkel vurdering er foretatt i ref. /1/.

6.5.1 Modellering av barrierer

De forskjellige barrierene og hvordan disse kan inkluderes i analysene er:

- **Begrensning av mengden gass ved hjelp av segregering av batterimoduler.** En propageringstest må foretas for hver batteritype for å vise hvor stor del av batteriet hendelsen vil spre seg til før den stopper. For batterisystemer som benyttes på maritime enheter registrert i norsk skipsregister er det krav om en slik test fra Sjøfartsdirektoratet, ref. /8/. Det er typisk funnet at når en hendelse sprer seg til mer enn én batterimodul så er det mulighet for å danne en mengde gass som kan føre til uønsket eksplosjonstrykk. Analysen bruker resultatene fra propageringstesten til å si hvor stor del av batteriet som bidrar til å danne eksplosiv gass. Det er funnet en avhengighet mellom batteristørrelsen og mengden gass som er typisk 2 liter gass per Ah ref. /1/. Ved å variere mengden gass fra en hendelse kan således effekt av forskjellige batterier med forskjellige størrelser på moduler undersøkes.

- **Batterisystemer med integrerte avgass-, kjøle- og slukkesystemer.** Slike systemer er blitt vanlige for batterisystemer som benyttes på maritime enheter. De har segregert hver modul i et «batterirack» med solide vegger slik at en hendelse ikke sprer seg fra en modul til en annen. I tillegg er det en avtrekkskanal som kan trekke gass fra hver modul og lede den til et sikkert område. Dette kanalsystemet kan også fylles med slukkemiddel/skum som forhindrer at det kommer luft til hendelsen. Dette utløses ved en viss alarm og sender middelet i samme retning som luften går slik at det vil bli ledet fram til der hendelsen foregår. Hensikten med middelet er å kjøle ned «thermal runaway»-hendelsen, og den vil også forhindre at luft kommer til. Slike batterisystemer kan også være utført med vannkjøling som gir en ekstra kjøling av «thermal runaway»-prosessen. Dersom batterisystemet er utført på en slik måte er sannsynligheten for å få gass inn i batterirommet redusert. Dette er avanserte systemer, og feil på noen av barrierene kan medføre at gass kommer inn i rommet. En vurdering av kombinasjon av flere feil som kan føre til uønskede hendelser med gass i rommet kan foretas som en del av en risikoanalyse.
- **Ventilasjonsrate i batterirommet.** Dette er et tiltak som er ment å tynne ut gassene som kommer fra en «thermal runaway»-hendelse. Ventilasjonsraten kan tilpasses slik at den klarer å tynne ut mengden gass som kan komme fra batteriene. En CFD-modellering av utslippet og spredning av gass i rommet kan foretas for å bestemme nødvendig ventilasjonskapasitet. Det er også utviklet en tabell og en formel hvor nødvendig ventilasjonsrate kan finnes gitt en mengde gass som produseres ref. /1/. Denne formelen gjelder kun der relevant romstørrelse er undersøkt.
- **Ventilasjonsarrangement.** Plassering av innløps- og utløpskanaler kan ha en stor innvirkning på hvor godt ventilasjonen bidrar til uttynning og fjerning av brennbare gasser. Tidlig i en «thermal runaway»-prosess er det kald gass eller røyk som kommer fra batteriene og denne kan legge seg rett over gulvet. Under den kraftigste perioden av hendelsen vil varm gass kunne komme fra batteriene og denne er som oftest lettere enn luften i rommet, og vil samle seg under taket. Det er derfor viktigst at ventilasjonen suger ut luften fra toppen av rommet. Helst bør utsuget ligge i taket, eller det kan være en kanal som er rettet oppover og suger fra oversiden med en kort avstand fra taket (under 10 cm). For å få luft inn i rommet slik at det blir best mulig utskifting av luften, og ikke dødsoner eller resirkulasjon, så bør innløp og utløp plasseres i motsatte ender av rommet. En god utforming kan dermed være å ha innløp nede ved gulvet i den ene enden av rommet, og utløp oppe under taket i den andre enden av rommet. CFD-beregninger kan med fordel brukes til å vise at luftutskiftingen i rommet er god, og til å hjelpe til med å finne et godt ventilasjonsarrangement.
- **Ventilasjonsstrategi.** Denne kan utvikles for å redusere både eksplosjon- og brann-risiko. En strategi som ofte er brukt i rom hvor det kan være eksplosive gasser er å la ventilasjonen gå så lenge det kan komme en håndterbar mengde gass. Ventilasjonen er da ment for å tynne ut gassene slik at de ikke tenner. Dersom det detekteres brennbare gasser kan også ventilasjonsraten økes. Dersom det detekteres brann i rommet er strategien å stenge ventilasjonen slik at brannen kan kveles. For batterier vil man da kunne redusere og stoppe brannen men man vil ikke kunne stoppe «thermal runaway»-prosessen. Prosessen kan fortsette uten at gassene brenner. Dersom ventilasjonen er stoppet vil det kunne bygge seg opp en atmosfære med brennbare gasser. Denne gassen vil etter hvert fylle opp rommet, og komme ut fra mulige åpninger i rommet. Det kan da være en fordel å la spjeld i utløpskanaler stå åpne slik at gass kan komme ut til et kontrollert område. Slike hendelser med batterier kan ofte ta lang tid, og man må vente til all gassproduksjon er ferdig før man kan si at hendelsen er over og entre

rommet. I denne perioden kan det oppstå sekundære eksplosjoner dersom man starter ventilasjonen igjen, eller åpner dører til rommet. Derfor kan det være nødvendig med en egen strategi for hvordan man skal åpne opp rommet igjen. En mulighet er å flushe ut rommet med en inertgass før man slipper på luft.

- **Eksplosjonspaneler.** Dersom det er mulig å danne en større mengde eksplosiv gass enn det som ventilasjonssystemet kan ta unna, kan det være behov å installere eksplosjonspaneler i batterirommet. Slike paneler må tilpasses de aktuelle rommene slik at de reagerer raskt nok, og kan redusere eksplosjonstrykket til akseptable nivå. En beregning med CFD modell av eksplosjon i rommet kan brukes til å finne nødvendig plasseringer, arealer og tyngder på slike paneler som gjør at eksplosjonstrykket i rommet blir akseptabel.
- **Strukturell styrke på vegger.** Strukturell styrke på veggene i batterirommet er en barriere som kan forhindre at hendelsen eskalerer til andre områder på grunn av en eksplosjon. En eksplosjonsanalyse kan foretas for å bestemme trykk som oppstår med det dimensjonerende scenariet. Tilsvarende kan en brannanalyse foretas for å bestemme hvilken brannklassifisering som bør benyttes, men det er ikke utviklet egne beregningsmodeller for store batterisystemer. For å begrense brannbelastningen er det viktig med fysiske skiller eller andre dokumenterte tiltak mellom batteri-celler eller moduler, slik at en «thermal runaway» begrenser seg til en avgrenset del av batterisystemet.
- **Plassering av batterirom.** På grunn av mulighet for eksplosjon i batterirommet bør plasseringen tilpasses et sted der minst en av veggene peker ut mot et område der det ikke vil gjøre skade. Denne retningen kan da konstrueres med en svakere vegg, eller det kan installeres eksplosjonspaneler i denne veggen. Plassering av batterirommet i forhold til eksterne hendelser bør også vurderes. En ekstern brann vil kunne forårsake eskalering til batterirommet og dette kan føre til en langvarig brann.
- **Romstørrelse.** Størrelse av batterirom kan også ha innvirkning på risikoen forårsaket av batteriene. En eksplosjon eller brann kan bli kraftigere/større fra et større rom enn et lite rom dersom en hendelse får anledning til å utvikle seg. Dersom rommet er lite kan en liten mengde gass føre til høyere maksimalt eksplosjonstrykk enn om det var i et større rom. Romstørrelsen kan derfor ha både positiv og negativ effekt på risikoen. Dersom store batterisystemer skal installeres er det anbefalt å foreta en total risikovurdering for å vurdere antall batterirom og størrelsen på disse. 2

6.5.2 CFD beregninger

CFD beregninger av gasspredning i batterirom tar med effekten av oppdrift ved å modellere riktig temperatur og komposisjon på utslippsgassen. Gassen er modellert med en konstant komposisjon under utslippet. Fra forsøkene vises det at komposisjonen varierer under «thermal runaway»-forløpet, og fra batteri til batteri og avhengig av lufttilgangen. Den konstante komposisjonen er satt til å dekke den mest kritiske perioden av «thermal runaway»-hendelsen. Det er også antatt at minst mulig av gassen brenner før den slipper ut.

6.6 Operasjonelle tiltak ved eksplosjons- og brannfare

Det viktigste tiltaket for å unngå farlige ulykkeshendelser knyttet til litium-ion batterisystemer med høy kapasitet er å benytte batterier som har en lavest mulig sannsynlighet for interne feil og samtidig er konstruert slik at en intern feil får et omfang som begrenser seg til den battericellen der feilen oppstår. De ulike tilbyderne av systemer har forskjellige designløsninger som ikke alle gir denne beskyttelsen mot propagering av en feil mellom celler og moduler. I tillegg kan det gjøres tester og prøvekjøring av ladesykluser for å avdekke interne feil i battericellene i sikre omgivelser før batteriene monteres om bord i innretningene.

Den valgte plasseringen ombord bør være utenfor definerte kollisjonspåvirkede områder og områder med potensielt høye eksplosjons- og brannlaster, samtidig som det må tas hensyn til energitap i lange kabler i forhold til hvilket utstyr som skal benytte kraften fra batteriene. Batterirommene må designes slik at de kan motstå de definerte ulykkeslastene i området de befinner seg i og hindre at eksterne hendelser fører til skade på eller oppvarming av batteriene.

Batteriene må overvåkes og kontrolleres av et batteristyringssystem (BMS) som passer på at batteriene ikke brukes utover de designkriteriene som er satt for utlading, ladning og degradering over den forventede levetiden.

Personell ombord må kjenne til farene forbundet med stor batterikapasitet og ha kunnskap om og trening i riktig opptreden, både ved vanlig bruk, ved vedlikehold og ved feil og ulykkeshendelser.

Dette kapittelet beskriver mulige tiltak for opplæring, trening og teknisk utstyr for personell som skal håndtere brann- og eksplosjonsfare knyttet til batteriene. Dette omfatter både kontrollrompersonell og innsatslag.

I vurderingen av teknisk utstyr er det fokusert på de spesielle aspektene ved ulykkeshendelser knyttet til batterier og kommenteres hvorvidt typisk utstyr som innsatslag har tilgjengelig på offshoreinnretninger på norsk sokkel er egnet til å håndtere disse.

Det er gjort et utvalg av de risikoene og tiltakene som er vurdert til å være de viktigste når det gjelder operasjonelle tiltak som prosedyrer, opplæring og trening for sikker opptreden relatert til batterier og disse diskuteres i teksten under.

De påfølgende avsnittene beskriver ulike operasjonelle tiltak ved normal drift, eksterne og interne ulykkeshendelser, samt utstyr til bruk ved ulykkeshendelser som involverer batterisystemer.

6.6.1.1 Normal drift

- **kontrollromsoperatørenes overvåking av driften og tilstanden av batteriet via batteristyringssytemet.**

I kontrollrommet skal det være mulig å følge med på tilstanden til batteriene og til hjelpesystemer som skal sørge for akseptable driftsforhold for batteriene. Det bør være alarmgrenser med alarm for unormale tilstander og i størst mulig grad automatiske aksjoner for nødvendig nedstenging av batterisystemet. Kontrollromoperatørene må ha opplæring i de ulike parameterne som overvåkes og hvordan disse påvirker sikker drift av batterisystemet. I den grad det er lagt opp til manuell nedstenging, eller hvis automatisk nedstenging ikke fungerer, må kontrollromoperatørene ha klare prosedyrer for når og på hvilken måte batterisystemet skal stenges ned. Manuell nedstenging ved ulike unormale tilstander bør trenes jevnlig som en naturlig del av beredskapsøvelser.

- **nødvendige begrensinger av løfteoperasjoner og annen transport av tunge gjenstander over, og i nærheten av, batterirommet med potensiale til å gi fysisk skade på batteriene.**

Ved løfteoperasjoner over eller i nærheten av batterirommet må det vurderes om en fallende last kan skade batteriene og dermed føre til en overoppheting. For løft med vekt som overstiger den dimensjonerende fallende lasten for batterirommet må det defineres en forbudssone over batterirommet.

På samme måte som for løft bør det vurderes om det må treffes spesielle tiltak ved bruk av gaffeltruck i nærheten av batterirommet eller ved utskifting av tunge komponenter som inngår i batterisystemet.

- **adgangsbegrensning og bruk av sikker jobb-analyse (SJA) for vedlikeholdsarbeid i batterirommet.**

På grunn av mye opplagret energi og stort skadepotensiale ved kortslutninger bør batterirommet bare være tilgjengelig for personell med vedlikeholds- eller reparasjonsoppgaver.

Til forskjell fra de fleste andre systemer, som kan stoppes, stenges av eller isoleres, vil det være potensiell energi lagret i batteriene som kan gi fatale støt eller lysbueeksplosjoner ved feil opptreden eller bruk av feil verktøy og verneutstyr ved arbeid på batterisystemet. Det må derfor gis spesifikk opplæring i bruken av korrekt verktøy og verneutstyr ved de ulike vedlikeholdsoperasjonene.

Ettersom skadepotensialet i batterirommet er proporsjonalt med mengden lagret energi, bør det vurderes å planlegge vedlikehold slik at batteriene er mest mulig tappet ned før vedlikehold igangsettes.

Prosedyrene som skal bli brukt bør gås igjennom i SJAen før det gis adgang til batterirommet. Dette vil sikre at alle involverte har samme oppfatning av risikoen ved arbeidsoperasjonen og av de prosedyrene og tiltakene som må benyttes for å kunne gjennomføre vedlikehold og inspeksjon på en trygg måte.

- **prosedyre for å gå til sikker tilstand for batterisystemet i tilfeller av bortfall av batterirommets hjelpesystemer, ventilasjon og kjøling.**

Dersom dette ikke er en automatisk aksjon fra BMS bør det utarbeides prosedyrer for frakopling av batterisystemet ved avvik eller feil i hjelpesystemene for batteriene, slik som ventilasjonssystem som sikrer fortynning av eventuell avgassing og kjølesystem som hindrer overoppheting av batteriene ved utlading og ladning. Det må gis opplæring i konsekvensene av manglende ventilasjon og kjøling slik at utkobling av batteriene vil bli effektuert uten unødvendig opphold.

- **modifikasjoner som kan berøre forutsetninger for sikker drift av batterisystemet.**

Forutsetningene for sikker drift av batterisystemet, slik som begrensninger for kraftuttak og karakteristikk av påkoblet utstyr, mengde og type kjølevæske, ventilasjonsinnløp og -utslipp og dedikert utlufting fra batterikabinetter må være beskrevet i dokumentasjon slik at de tas hensyn til ved modifikasjoner av installasjonen. Ved modifikasjoner må risikoanalysen for batterisystemet gås gjennom på nytt for å sikre at antagelsene og resultatene fortsatt er gyldige og nødvendige tiltak er truffet.

6.6.1.2 Ekstern ulykkeshendelse

- **prosedyrer for å gå til sikker tilstand for batterisystemet i tilfeller av ekstern eksplosjon, ekstern brann eller gasslekkasje.**

Eksterne eksplosjoner kan medføre akselerasjoner eller deformasjon av batterirommet og batteriene, eller skader på hjelpesystemene, som igjen kan føre til kortslutninger og overoppheting i mer enn det antallet celler som er forutsatt for designet. Det bør derfor finnes prosedyrer for nedstenging til sikker tilstand for batterisystemet som iverksettes ved eksplosjonshendelser ombord.

På samme måte kan en ekstern brann føre til stenging av ventilasjon og gi en varmelast til batterirommet som overstiger kjølekapasiteten. Det bør derfor finnes prosedyrer for start av ekstern overrisling, og eventuelt alternativ intern væske/luft varmeveksler, for kjøling dersom dette er installert og nedstenging av batterisystemet for å unngå ytterligere oppvarming ved bruk. Batterisystemets og batterienes kjølesystem må opprettholdes hvis mulig.

En større gasslekkasje ombord og påfølgende stenging av ventilasjonsspjeld vil kunne medføre stopp av ventilasjon og romkjøling. Det må vurderes om man i denne situasjonen skal stenge ned batterisystemet eller alternativt kan fortsette operasjon med bruk av batterienes kjølesystem og eventuelt alternativ intern væske/luft varmeveksler, dersom dette er installert.

6.6.1.3 Intern ulykkeshendelse i batterirom

- **intern brann.**

Batterirommet inneholder elektriske komponenter som kan være kilde til antennelse av brennbare materialer, brennbar atmosfære eller kabelbrann. Slike branner kan føre til en samtidig oppvarming av flere battericeller.

I tilfelle av en brann i batterirommet og ukontrollerbar avgassing fra flere celler enn batterikabinettets utluftingssystem er beregnet for, vil man få en svært skadelig atmosfære i batterirommet og det er ikke anbefalt med manuell intervenering. Batterirom skal derfor ha installert egnet romslukkingsanlegg som kan utløses utenfor batterirommet. Brann i batterier er en eksoterm reaksjon som kan underholde seg selv og som avgir brennbare gasser til rommet rundt. Det mest effektive for å dempe reaksjonen er kjøling av batteriene samtidig med slukking av brann i rommet. Denne kombinasjonen dekkes best av vann- eller skumbaserte løsninger og med mulighet for å kjøle battericellene direkte inne i kabinettene.

Det bør være prosedyrer på plass som beskriver hurtigst mulig utløsing av romslukkingsanlegget ved gitte indikatorer av brann eller ukontrollerbar temperaturstigning i batteriene, slik at brannen hindres fra å utvikle og spre seg. Det bør gjennomføres øvelser i dette som del av beredskapsøvelsene slik at prosedyrene er godt kjent og at terskelen for å løse ut romslukkingsanlegget er lavest mulig.

- **intern feil med overoppheting (thermal runaway).**

Interne feil i en battericelle kan føre til kortslutning av elektrodene og en ukontrollerbar varmeutvikling i battericellen. Avhengig av hvordan batterimodulene og -kabinettene er designet kan hendelsen begrenses til en celle eller spre seg til flere, med tilsvarende økning av varmeavgivelse og avgassingsvolum.

Det bør være prosedyrer for å hurtigst mulig stenge ned batterisystemet (dersom dette ikke allerede er gjort automatisk), slik at utlading eller ladning av batteriene ikke bidrar til samtidig temperaturøkning, og også eventuelt utløse romslukkingsanlegget (se intern brann ovenfor).

- **lekkasje fra væskebasert kjølesystem.**

Dersom en lekkasje fra et kjølesystem som benytter væske som kan lede strøm treffer strømførende deler av batterisystemet, kan en kortslutning føre til lysbue-eksplosjon og brann i brennbare materialer, som i sin tur kan varme opp flere battericeller samtidig og føre til en ukontrollerbar situasjon. Kjølingen bør derfor designes slik at en lekkasje ikke kan treffe strømførende deler og det er viktig at overvåkingen av batterisystemet er i stand til å oppdage lekkasjer fra kjølesystemet og at lekkasjen derfor kan minimeres så tidlig som mulig. Det bør gis opplæring i farene ved en væskelekkasje og hvilke parametere som indikerer en lekkasje. Ved reparasjoner må det sørges for at man ikke forårsaker kortslutninger med uforsiktig håndtering av væske.

6.6.1.4 Utstyr til bruk ved hendelser knyttet til batterisystemer

- **bekledning og utstyr for vedlikehold på batterier.**

Med store energimengder lagret og mulighet for kortslutning og overslag ved vedlikehold og frakopling av batterier og spenningssatte komponenter, er det viktig at det er prosedyrer på plass for bruk av riktig verktøy og verneutstyr slik at dette kan unngås eller at konsekvensen minimaliseres. Dette må vurderes spesielt ettersom slikt utstyr ikke vanligvis er nødvendig ombord på installasjoner uten store batterisystemer. Utstyr til vedlikehold bør følge anbefalinger fra produsenten av batterisystemet.

- **brannmannsutstyr og pusteutstyr.**

Ved brann i batterirom er det ikke anbefalt med manuell intervensjon på grunn av avgasser fra slike branner som vil være både toksiske og også etsende. Dersom man allikevel skulle ønske å drive søk og redning i en tidlig fase av en brann kan det stilles spørsmål ved om vanlig brannbannsutstyr vil gi tilstrekkelig beskyttelse eller ha holdbarhet i samme tidsrom som varigheten av luftflaskene til pusteutstyret. Nedsatt visibilitet gjennom etsede glass i pustemasken kan også bli et problem. Det må derfor vurderes å supplere med drakter og pusteutstyr som har motstand mot de avgassene som kan forekomme, eller at det legges begrensninger på tiden til rådighet for søk og redning, hvorpå utstyret som er benyttet må kasseres. Erfaringer fra kjemisk industri og frakt av kjemikalier på tankskip kan være nyttig informasjon i dette henseendet, men det er lite tilgjengelig informasjon om utstyr utviklet spesifikt for bruk i forbindelse med batteribranner.

- **brannvannslanger/portable skumapplikatorer/håndslukkere.**

På grunn av farene forbundet med manuell intervensjon vil det være vanskelig å nyttiggjøre seg det konvensjonelle, manuelle slukkeutstyret som finnes ombord. Man kan allikevel se for seg at å bruke dette til kjøling på utsiden av batterirom og hindre spredning av brannen kan være gunstig. Det kan også være mulig med dyser montert i dører eller veggpaneler der manuelle slukkemidler kan føres inn og distribueres i batterirommet. For portabelt vanntåkeutstyr finnes lanse-dyser som kan penetrere svake veggfelt eller tynnplate-dører og dermed gjøre tilførsel av vanntåke til brannen mulig. Disse må i så fall sees som supplementer eller nødløsninger dersom romslukkingssystemet ikke skulle vise seg å slukke eller redusere brannen.

6.6.1.5 Opplæring av beredskapslag

Som en konsekvens av at manuell intervensjon ved brann i batteriene frarådes, vil opplæring av beredskapslag i forbindelse med batteri-installasjoner hovedsakelig bestå i å gi en god forståelse av risikoen forbundet med batterier. I tillegg må det gis opplæring i bruken av eventuelt utstyr som er spesifikt for batterirommet. De ulike scenarier knyttet til ulykkeshendelser som involverer batterirommet må inkluderes i beredskapsøvelser slik at prosedyrene for disse blir godt kjent av personellet som inngår i beredskapslag.

6.7 Gjennomgang av regelverk med forslag til endringer

6.7.1 Introduksjon

Det er utført en systematisk gjennomgang av dagens regelverk for faste og flyttbare offshore-innretninger for å belyse hvor det eventuelt er uklarheter eller manglende krav.

Det er fokusert på hvordan risikoelementer som er identifisert i HAZID og øvrige kapitler i denne rapporten er ivaretatt i dagens regelverk.

Gjennomgangen dekker krav til selve batterisystemene, relevante hjelpesystemer og sikkerhetssystemer i områder med batterisystemer.

Faste innretninger på norsk sokkel benytter Petroleumstilsynets regelverk, med referanse til NORSOK og andre relevante standarder.

Flyttbare innretninger på norsk sokkel kan benytte maritimt regelverk for maritime områder (via rammeforskriften §3). For de områdene som kan dekkes av maritimt regelverk trenger ikke innretningene å benytte tekniske krav i innretningsforskriften, med enkelte unntak som beskrevet i §1. Normalt skal innretningene da følge tekniske krav i Sjøfartsdirektoratets forskrifter, med utfyllende krav fra klasseselskap.

For å belyse forskjellene i disse regelverksregimene er gjennomgangen delt i to hoveddeler

- Vurdering av regelverk for faste innretninger som benytter Ptils regelverk
- Vurdering av regelverk for flyttbare innretninger som benytter maritimt regelverk

6.7.2 Vurdering av regelverk for faste innretninger

Faste innretninger på norsk sokkel skal benytte Petroleumstilsynets regelverk, ref. /7/, med referanse til NORSOK og andre relevante standarder.

Følgende forskrifter er vurdert i gjennomgangen:

- Rammeforskriften
- Styringsforskriften
- Innretningsforskriften
- Aktivitetsforskriften

Rammeforskriften:

Forskriften har overordnede krav til helse, miljø og sikkerhet, og det er ikke identifisert direkte krav til store batterisystemer. Det er imidlertid krav som må ivaretas ved installasjon av slike systemer, der de mest relevante kravene er vurdert til å være:

§3 Anvendelse av maritime regelverk i petroleumsvirksomheten til havs

Denne paragrafen regulerer bruk av maritimt regelverk, som er vurdert i kap. 0.

§11 Prinsipper for risikoreduksjon

Paragrafen stiller krav til at skade på mennesker, miljø eller materielle verdier skal forhindres eller begrenses. Ved reduksjon av risiko skal det velges tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsninger som gir de beste resultater, så sant kostnadene ikke står i et vesentlig misforhold til den risikoreduksjonen som oppnås.

Dersom man mangler tilstrekkelig kunnskap om hvilke virkninger bruk av de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene kan ha for helse, miljø eller sikkerhet, skal det velges løsninger som reduserer usikkerheten om virkningen av løsningene.

Styringsforskriften:

Forskrift om styring og opplysningsplikt i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg.

Forskriften har krav til styring og opplysningsplikt i petroleumsvirksomheten, og det er ikke identifisert direkte krav til store batterisystemer. Det er imidlertid krav som må ivaretas ved installasjon av slike systemer:

§4 Risikoreduksjon

Med referanse til Rammeforskriftens §11 beskrives det krav til risikoreduserende tiltak.

§5 Barrierer

Paragrafen beskriver krav til barrierrestyring som inkluderer sikkerhetskritiske barrierer.

§16 Generelle krav til analyser

Paragrafen beskriver krav til at det utføres analyser som gir det nødvendige beslutningsgrunnlaget for å ivareta helse, miljø og sikkerhet.

§17 Risikoanalyser og beredskapsanalyser

Paragrafen beskriver at det skal utføres risikoanalyser som gir et nyansert og mest mulig helhetlig bilde av risikoen forbundet med virksomheten. Analysene skal være formålstjenlige slik at de gir beslutningstøtte relatert til den eller de prosesser, operasjoner eller faser en står ovenfor. Risikoanalyser skal utføres for å identifisere og vurdere hva som kan bidra til blant annet storulykkesrisiko og til miljørisiko knyttet til akutt forurensning, samt vise hvilken effekt ulike prosesser, operasjoner og modifikasjoner har på storulykkes- og miljørisikoen.

Det er ikke etablert spesifikke kriterier knyttet til hvordan store batterirom skal implementeres i risikoanalysene.

Innretningsforskriften:

Innretningsforskriften beskriver tekniske krav med tilhørende veiledning. Veiledningen har referanser til andre standarder, som f.eks. NORSOK, ISO, IEC og DNV GL.

Det er en rekke paragrafer som beskriver krav til sikkerhetssystemer og elektriske anlegg. Følgende paragrafer er vurdert til å være spesielt viktige for batterisystemer med tilhørende risikoelementer:

§4 Valg av utbyggingsløsning

Paragrafen beskriver at det skal tas hensyn til storulykkesrisiko og behov for utvikling av ny teknologi.

§5 Utforming av innretninger

Paragrafen beskriver at Innretninger skal baseres på robuste og enklest mulige løsninger og utformes slik at bl.a.

- *storulykkesrisikoen blir så lav som mulig.*
- *svikt i en komponent, i et system eller en enkelt feilhandling ikke gir uakseptable konsekvenser.*
- *det etableres barrierer som både kan oppdage unormale tilstander og redusere muligheten for at feil og fare- og ulykkessituasjoner utvikler seg*
- *det legges til rette for at helsemessige forhold ivaretas på en forsvarlig måte.*

§7 Hovedsikkerhetsfunksjoner

Paragrafen beskriver at følgende hovedsikkerhetsfunksjoner skal defineres på en entydig måte for hver enkelt innretning slik at sikkerheten for personell ivaretas og forurensning begrenses:

1. *hindring av eskalering av ulykkessituasjoner slik at personell som er utenfor den umiddelbare nærheten av ulykkesstedet, ikke skades.*
2. *hovedbæreevnen i bærende konstruksjoner inntil innretningen er evakuert.*
3. *beskyttelse av rom som er av betydning for bekjempelse av ulykkeshendelser slik at de er operative inntil innretningen er evakuert.*
4. *beskyttelse av innretningens sikre områder slik at disse er intakt inntil innretningen er evakuert.*
5. *minst én evakueringsvei fra ethvert område der personell kan oppholde seg inntil evakuering til innretningens sikre områder og redning av personell er gjennomført.*

Batterisystemer er ikke nødvendigvis en del av hovedsikkerhetsfunksjonene, og vil dermed ikke følge de samme dimmensjoneringskriteriene som disse for beskyttelse fra ulykkeslaster som brann, eksplosjon, skipskollisjon og fallende laster.

§8 Sikkerhetsfunksjoner

Paragrafen beskriver at innretninger skal være utstyrt med nødvendige sikkerhetsfunksjoner som til enhver tid kan:

1. *oppdage unormale tilstander.*
2. *hindre at unormale tilstander utvikler seg til fare- og ulykkessituasjoner.*
3. *begrense skadene ved ulykker.*

Det skal fastsettes krav til ytelsen for sikkerhetsfunksjoner.

Status for aktive sikkerhetsfunksjoner skal være tilgjengelig i det sentrale kontrollrommet.

Det er naturlig at batterisystemer dekkes av denne paragrafen.

§9 Kvalifisering og bruk av ny teknologi og nye metoder

Paragrafen beskriver at der petroleumsvirksomheten medfører bruk av ny teknologi eller nye metoder, skal det utarbeides kriterier for utvikling, prøving og bruk slik at kravene til helse, miljø og sikkerhet blir ivaretatt.

§10 Anlegg, systemer og utstyr

Paragrafen beskriver at anlegg, systemer og utstyr skal utformes robust og på enklest mulig måte og slik at

- *muligheten for menneskelige feilhandlinger begrenses,*
- *de eller det kan opereres, prøves og vedlikeholdes uten fare for personellet og med lavest mulig risiko for forurensning,*
- *de eller det er egnet for bruk og i stand til å motstå de lastene de eller det kan bli utsatt for under drift.*

Anlegg, systemer og utstyr skal være merket slik at det legges til rette for en sikker drift og et forsvarlig vedlikehold.

§10a Tennkildekontroll

Paragrafen beskriver at for å forebygge og verne mot antennelse av brennbare væsker og eksplosjonsfarlig gass skal det foretas en systematisk kartlegging av potensielle elektriske og ikke-elektriske tennkilder. Det skal videre settes i verk nødvendige tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak for å redusere faren for antennelse så langt som mulig.

Det er ikke spesifikke krav til hvordan batterirom skal håndteres, men det antas at batterisystemer vil installeres i mekanisk ventilerte ikke-eksplosjonsfarlige rom. Det er dermed ikke direkte krav til eksplosjonsbeskyttet elektrisk utstyr i rommet (Ex), men via referanse til NORSOK S-001 er det krav til utkobling av elektrisk utstyr ved tap av ventilasjon.

Dette må sees i sammenheng med at det i veiledningen til §14 er det krav til å ta hensyn til faren for ansamling av giftige gasser og brennbare gasser. Det er referanse til NORSOK S-001, som krever at ventilasjonssystemet i batterirom dimmensjoneres slik at atmosfæren i rommet ikke blir eksplosiv ved intern gasslekkasje, samt at det ska ha høy pålitelighet (f.eks. redundans med 2x100% kapasitet).

§14 Ventilasjon og inneklima

Paragrafen beskriver at ventilasjonen i inne- og uteområder skal dekke behovet for luftveksling og gi akseptabel luftkvalitet. Ventilasjonen skal også arrangeres slik at røyk fra branner kan kontrolleres, og slik at helsefarlige og brennbare gasser ikke kan trenge inn i innelukkede uklassifiserte områder.

I veiledningen til §14 er det krav til å ta hensyn til faren for ansamling av giftige gasser og brennbare gasser. Det er referanse til NORSOK S-001, som krever at ventilasjonssystemet i batterirom dimmensjoneres slik at atmosfæren i rommet ikke blir eksplosiv ved intern gasslekkasje, samt at det skal ha høy pålitelighet (f.eks. redundans med 2x100% kapasitet). Det er imidlertid ikke beskrevet noe rundt kriterier som skal legges til grunn for å bestemme størrelse på intern gasslekkasje.

§29 Passiv brannbeskyttelse

Paragrafen beskriver at der det brukes passiv brannbeskyttelse, skal denne utformes slik at den gir aktuelle konstruksjoner og utstyr tilstrekkelig brannmotstand med hensyn til bæreevne, integritet og isolasjonsevne.

I veiledningen er det referanse til NORSOK S-001 for integritet til brannskiller. Avhengig av tilstøtende områder er det krav til brannklasse A-0 eller A-60. Dersom tilstøtende område er eksponert for hydrokarbonbrann skal det være H-klasse i brannskillet.

Brannskiller av A-klasse har integritet i en time av normert brannprøve. En brann i batterirom kan ha vesentlig lenger varighet enn en time, men basert på kjente hendelser kan det virke som temperaturkurven er lavere enn den som benyttes under normert branntest.

§30 Brannskiller

Paragrafen beskriver at hovedområdene på innretninger skal atskilles med brannskiller som minimum kan motstå de dimensjonerende brann- og eksplosjonslastene og minimum oppfylle brannklasse H-0 dersom de kan bli eksponert for hydrokarbonbranner.

Rom som har viktige funksjoner og viktig utstyr, samt rom med høy brannrisiko, skal være atskilt fra omgivelsene med brannskiller som har brannklasse tilsvarende den branntypen og de etablerte brann- og eksplosjonslastene de vil være eksponert for.

I veiledning er det spesifikke krav til A-60 og A-0 brannklasse for rom har viktige funksjoner. For rom med elektrisk utstyr er det krav til A-0, men det er presisert at spesielle forhold kan medføre behov for brannskiller med høyere brannmotstand.

§32 Brann- og gassdeteksjonssystem

Paragrafen beskriver at innretninger skal ha et brann- og gassdeteksjonssystem som sikrer hurtig og pålitelig deteksjon av branntilløp, branner og gasslekkasjer.

I veiledningen er det referanse til NORSOK S-001 som har krav til branndeteksjon og H2 deteksjon i batterirom.

§37 Fastmonterte anlegg for brannbekjempelse

Paragrafen beskriver at fastmonterte anlegg for brannbekjempelse skal installeres i eksplosjonsfarlige områder og i områder med stor brannrisiko. Anleggene skal utformes slik at brannbekjempelse til enhver tid kan foregå hurtig og effektivt.

I veiledningen er det krav referert til ISO 13702 og NORSOK S-001 for utforming av slukkesystemer. I tillegg er det krav til at anleggene bør utformes slik at kapasitet og slokkemedium samt plassering og valg av dyser gir effektiv bekjempelse av definerte branner. Risikoen som andre potensielle branner representerer, bør reduseres så langt som mulig.

§ 47 Elektriske anlegg

Paragrafen beskriver: «*For utforming av elektriske anlegg bør standarden IEC 61892-serien, inklusiv Corrigendum 1 til IEC 61892-2 (2012) brukes. Der IEC 61892-serien ikke er dekkende, bør relevante deler av IEC 60092-serien og forskrift om elektriske forsyningsanlegg brukes.*

For elektriske anlegg på flyttbare innretninger som ikke er produksjonsinnretninger og som er registrert i et nasjonalt skipsregister, kan standarden DNV-OS-D201 brukes som et alternativ.»

IEC 61892 serien omhandler ikke Li-ion batteriinstallasjoner. Det gjør heller ikke IEC 60092-serien. Men begge seriene er relevant mht. el-sikkerhet for Li-ion batteriinstallasjoner.

Det henvises også til forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF). I veiledningen til FEF er det henvist til at både IEC standarder og NEK normer kan benyttes. Følgende IEC standarder og NEK publikasjoner er relevante for litium batteri-installasjoner:

- IEC 62619, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications.*
  Denne standarden angir sikkerhetskrav til selve batterisystemet. Standarden er beregnet for Li-ion batterier til industrielt bruk, inklusive maritimt.

- IEC 62620, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications.*
  Denne standarden angir krav til testing av Li-ion batterikapasiteter og spesifikasjon av disse. Standarden er beregnet for Li-ion batterier til industrielt bruk, inklusive maritimt.

- IEC 62485-5, *Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 5: Safe operation of stationary lithium ion batteries.*
  Denne standarden angir installasjonskrav av Li-ion batterier. Standard er primært beregnet på stasjonere landbaserte batterianlegg. Standarden er publisert i en foreløpig utgave (FDIS).

- NEK 400-8-806 *Batteriinstallasjoner.*
  Denne normen er generelt for batteriinstallasjoner i bygninger. For Li-ion batterier henvises det til IEC 62485-5.

- NEK 410, *Elektriske installasjoner ombord i skip og fartøyer.*
  Denne normen gjelder elektrisk anlegg om bord på skip. Omhandler ikke litium batterianlegg, men har generelle elektriske krav for maritime installasjoner. NEK 410 er en oversettelse av IEC 60092 serien med noen nasjonale tilpasninger.

- NEK NSPEK 411, *Maritime electrical installations - Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in maritime industrial applications - Norwegian Specification.*

Denne spesifikasjonen er en norsk nasjonal tilpasning av IEC62619 med sikkerhetskrav til Li-ion batterier for maritimt bruk. Spesifikasjonen omhandler selve batterisystemet og ikke installasjonen om bord på offshore enheten.

Aktivitetsforskriften:

Forskriften har krav til utføring av aktiviteter i petroleumsvirksonheten, og det er ikke identifisert direkte krav til store batterisystemer. Det er imidlertid krav som må ivaretas ved operasjon av slike systemer, der de mest relevante kravene er vurdert til å være:

§16 Installering of ferdigstilling

Paragrafen beskriverkrav til installering og ferdigstillelse av innretninger.

§20 Oppstart og drift av innretninger

Paragrafen beskriver krav til ferdigstillelse og oppstart av innretninger etter installasjon eller modifikasjon.

§21 Kompetanse

Paragrafen beskriver krav tilkompetanse som er nødvendig for å kunne utføre aktiviteter i henhold til helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen, samt at personell skal kunne håndtere fare- og ulykkessituasjoner.

§22 Opplæring i sikkerhet of arbeidsmiljø etter arbeidsmiljøloven

Paragrafen beskriver krav til opplæring i arbeidsmiljøfaktorer, sikkerhet og helsemessige forhold.

§23 Trening og øvelser

Paragrafen beskriver krav til at det utføres nødvendig trening og nødvendige øvelser, slik at personellet til enhver tid er i stand til å håndtere operasjonelle forstyrrelser og fare- og ulykkessituasjoner på en effektiv måte.

§26 Sikkerhetssystemer

Paragrafen beskriver krav til tiltak og begrensninger som er nødvendige for å opprettholde sikkerhetssystemers barrierefunksjon ved overbroing, utkopling eller annen svekkelse. Status for sikkerhetssystemer skal være kjent for relevant personell til enhver tid.

§36 Kjemisk helsefare

Paragrafen beskriver krav til at arbeidsgiveren skal sikre at helseskadelig kjemisk eksponering ved lagring, bruk, håndtering og avhending av kjemikalier, og ved arbeidsoperasjoner og prosesser som avgir kjemiske komponenter, unngås.

§44 Informasjon ved risiko ved utførelse av arbeid

Paragrafen beskriver krav til at det skal sikres at arbeidstakerne gis informasjon om helserisiko og risiko for ulykker ved det arbeidet som skal utføres.

§47 Vedlikeholdsprogram

Paragrafen beskriver krav til at sviktmodi som kan utgjøre en helse-, miljø- eller sikkerhetsrisiko skal forebygge

§73 Beredskapsetablering

Paragrafen beskriver krav til at det skal utarbeides en strategi for beredskap mot fare- og ulykkessituasjoner.

§75 Beredskapsorganisasjon

Paragrafen beskriver krav til at beredskapsorganisasjonen skal være robust slik at den kan håndtere fare- og ulykkessituasjoner på en effektiv måte.

§76 Beredskapsplaner

Paragrafen beskriver krav til at det skal utarbeides beredskapsplaner som til enhver tid beskriver beredskapen og inneholder aksjonsplaner for de definerte fare- og ulykkessituasjonene.

§77 Håndtering av fare- og ulykkessituasjoner

Paragrafen beskriver krav til at den ansvarlige skal sikre at nødvendige tiltak blir satt i verk så raskt som mulig ved fare- og ulykkessituasjoner.

§91 Arbeid i og drift av elektriske anlegg

Paragrafen beskriver krav til at det ved arbeid under spenning, nær spenningssatte anlegg, i eller nær jordede og kortsluttede anlegg og ved drift av lav- og høyspenningsanlegg skal det settes i verk nødvendige tiltak slik at de som utfører arbeidet, ikke skades, og slik at sannsynligheten for fare- og ulykkessituasjoner reduseres.

Oppsummering av identifiserte mangler i regelverket for faste innretninger:

DNV GLs vurdering er at Petroleumstilsynes regelverk med relevante referanser til andre standarder dekker de fleste relevante krav til sikkerhetssystemer i batterirom og tilstøtende områder.

Det er enkelte mangler og «gråsoner» der kravene kan være noe uklare, eller risikobidraget ved å installere batterisystemer er uklart. Dette er vurdert til å gjelde følgende områder:

- Det er ikke etablert spesifikke kriterier knyttet til hvordan store batterirom skal implementeres i risikoanalysene.
- Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område/område med høy brannrisiko og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt

vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Dette er vurdert til å være tilsvarende som for andre rom med høy brannrisiko som f.eks. maskinrom.

- Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon. Dette kan medføre at batterisystemene kan eksponeres for skade ved f.eks. skipskollisjon eller fallende last.
- Krav til hvordan en intern gasslekkasje fra batteriet skal beregnes er uklart.
- Det er ikke krav til eksplosjonsbeskyttet elektrisk utstyr (Ex) i batterirom. Elektrisk utstyr som skal være i drift under unormale situasjoner der eksplosjonsfarlig atmosfære kan forekomme utenfor klassifiserte områder, skal oppfylle krav til minimum sone 2. Annet elektrisk utstyr skal utkobles automatisk ved detektert gass. Dvs. at ved en intern gasslekkasje er pålitelig gassdeteksjon viktig for å forhindre antennelse.
- Det er ikke tilpassede krav for slukkesystemer i batterirom. Det er krav til at de bør utformes slik at kapasitet og slokkemedium samt plassering og valg av dyser gir effektiv bekjempelse av definerte branner, men dagens romslukkesystemer er i stor grad tilpasset slukking i maskinrom.

Det finnes også krav og regler for selve batterisystemet via referanser i §47 i Innretningsforskriften. Disse er i stor grad rettet mot selve batteriene og er vurdert til å være noe mangelfulle mht. krav for installasjonen ombord på en offshore installasjon. Dette er vurdert til å gjelde følgende områder:

- Det er ikke identifisert krav til å plassere batterier i dedikerte batterirom, for å begrense utstyr i rommet utover batterisystemet. En slik begrensning vil kunne redusere sannsynligheten for at en hendelse oppstår, og redusere konsekvensen ved en uønsket hendelse.
- Det er ikke identifisert begrensning på lokalisering av væskefylte rør i batterieom.
- Det er ikke identifisert krav for å forhindre defekter i battericeller. Det bør sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter. Batteriets BMS bør beskytte battericellene mot underspenning og ladning ved lav temperatur.

En oversikt over hvordan de forskjellige identifiserte risikoelementene er vurdert opp mot regelverket er vist i Appendiks B.

6.7.3 Vurdering av regelverk for flyttbare innretninger

Flyttbare innretninger på norsk sokkel kan benytte tekniske krav i maritimt regelverk for maritime områder (via rammeforskriften §3). For de områdene som kan dekkes av maritimt regelverk trenger ikke innretningene å benytte tekniske krav i innretningsforskriften. Normalt skal innretningene da følge tekniske krav i Sjøfartsdirektorates forskrifter, med utfyllende krav fra klasseselskap.

Kravene i Petroleumstilsynets Rammeforskrift, Styringsforskrift og Aktivitetsforskrift er gjeldende også for enheter som benytter maritimt regelverk, det er kun tekniske krav som erstattes med maritimt regelverk.

De maritime forskriftene og standarder som er vurdert til å være relevante for batterisystemer er beskrevet under. Det er gjort en detaljert vurdering av Forskriftene fra Sjøfartsdirektoratet og DNV GL's klasseregler. Disse er i stor grad overlappende og benyttes samlet, det er derfor gjort en samlet vurdering av disse.

I tillegg er er det gjort en vurdering på et høyere nivå av regler og veiledninger for batterisystemer fra Lloyd's Register og American Bureau of Shipping (ABS). Hensikten har vært å gjøre en vurdering av om disse har et tilsvarende saikkerhetsnivå som DNV GL-notasjonen BATTERY(SAFETY).

Sjøfartsdirektoratets forskrifter for flyttbare innretninger, ref. /8/**:**

- Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 856 om bygging av flyttbare innretninger
- Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 227 om sikringstiltak mot brann og eksplosjon på flyttbare innretninger
- Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 90 om evakuerings- og redningsredskaper på flyttbare innretninger
- Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 1239 om risikoanalyse for flyttbare innretninger
- Guidelines for chemical energy storage - maritime battery systems (gjelder kun innretninger registrert i norsk skipsregister)

DNV GLs klasseregler for flytende offshore innretninger, ref. /9/**:**

- DNVGL-RU-OU-0101 Offshore drilling and support units
- DNVGL-OS-A101 Safety Principles and arrangements
- DNVGL-OS-D101 Marine and machinery systems and equipment
- DNVGL-OS-D202 Automation, safety and telecommunication systems
- DNVGL-OS-D201 Electrical systems
- DNVGL-OS-D301 Fire protection
- DNVGL-RU-SHIP Pt. 6 Ch. 2 Sec. 1 BATTERY(SAFETY) notation

Sjøfartsdirektorates forskrifter for flyttbare innretninger og DNV GLs klasseregler for offshore innretninger omfatter stort sett de samme fagområdene, med enkelte forskjeller når det gjelder detaljkrav. Sjøfartsdirektoratets forskrifter er basert på at innretninger følger klasseregler, og at de benyttes sammen med disse. Det er derfor gjort en samlet vurdering av disse forskriftene og klassereglene, heretter kalt «maritimet regelverk».

En detaljert gjennomgang av identifiserte risikoelementer og anbefalinger i denne rapporten mot maritimt regelverk er vist i *Appendiks B.*

Sikkerhetssystemer:

Når det gjelder krav til sikkerhetssystemer knyttet til batterirom og omgivelser er prinsippene som benyttes relativt like som for faste innstallasjoner.

Det er detaljerte krav til:

- Inndeling av innretninger
- Brann og gassdeteksjon
- Passiv brannbeskyttelse
- Slukkesystemer
- Rømning
- HVAC
- Risikoanalyser

Det er krav til at innretninger deles i hovedområder og separasjon mellom eksplosjonsfarlig område og batterirom, men ikke at batterirom plasseres med god avstand til disse. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Luftinntak skal være minimum 3 meter fra eksplosjonsfarlig område.

Det er krav til hovedsikkerhetsfunksjoner og at disse skal ha integritet under en dimmensjonerende ulykkeshendelse som brann, eksplosjon, skipskollisjon og fallende laster. Et batterisystem skal plasseres bak kollisjonsskutt, men vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon. Dvs. at regelverket ikke ivaretar direkte krav til at batterisystemer skal beskyttes mot skipskollisjoner og fallende laster.

Ventilasjon i batterirom for store batterisystemer er basert på at det benyttes resultater fra propageringstest som dimmensjoneringskriterie for å redusere sannsynlighet for å få en tennbar gassblanding i rommet. Det tillates imidlertid at ventilasjon normalt ikke går, og at den starter automatisk ved gassdeteksjon.

Det er krav til A-0 eller A-60 skott rundt batterirom (avhengig av funksjonen til tilstøtende områder). Dette er tilsvarende som for faste innstallasjoner. Brannskiller av A-klasse har integritet i en time av normert brannprøve.

Batterisystemer:

Det maritime regelverket dekker i stor grad de identifiserte risikoelementene knyttet til batterier med tilhørende hjelpe- og kontrollsystemer.

DNV GL har en egen notasjon, BATTERY(SAFETY) som dekker batterisystemer med tilhørende sikkerhetssystemer. For innretninger med DNV GL klasse er notasjonen påkrevd for enheter med batterisystemer med kapasitet over 20kW.

Sjøfartsdirektoratet har utgitt en veiledning, «Guidelines for chemical energy storage - maritime battery systems», som gjelder for enheter registrert i norsk skipsregister.

Det er imidlertid avdekket at det ikke er spesifisert detaljerte krav til produksjonen av battericeller. Det er ikke identifisert krav for å forhindre defekter i battericeller. Det bør sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter. Batteriets BMS bør beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.

Lloyd's Register, veiledning til batterisystemer:

- Battery installations, Key hazards to consider and Lloyd's Register's approach to approval Second edition, January 2016

Lloyd's register har utarbeidet en veiledning for godkjenning av batteri installasjoner, ref. /10/. Veilederen beskriver at man skal gjøre en risikovurdering basert på deres LR-regler for Assessment of Risk Based Design (ARBD, LR rules Part 7 Ch.14).

DNV GLs vurdering er at denne veiledningen ikke er like detaljert som DNV GLs BATTTERY(SAFETY) notasjon, noe som skyldes at den er risikobasert. Dersom den benyttes av personell med riktig kompetanse bør den likevel kunne gi et tilsvarende sikkerhetsnivå.

American Bureau of Shipping (ABS), veiledning til litium-ion batterier:

- USE OF LITHIUM BATTERIES IN THE MARINE AND OFFSHORE INDUSTRIES FEBRUARY 2020

ABS har utarbeidet en veiledning for bruk av batterier i maritim og offshore industri, ref. /11/. Denne veilederen beskriver preskriptive krav til batteri installasjonen og har likheter med DNV GL sitt regelverk.

DNV GLs vurdering er at denne veiledningen tilsvarer sikkerhetsnivå som tidligere utgaver av DNV GLs BATTERY SAFETY notasjon, men omfavner ikke endringer som er lagt inn i siste utgave.

Oppsummering av identifiserte mangler i regelverket for flyttbare innretninger:

DNV GLs vurdering er at maritimt regelverk som benyttes for flyttbare innretninger på norsk sokkel dekker de fleste relevante krav til sikkerhetssystemer i batterirom og tilstøtende områder.

Det er enkelte mangler og «gråsoner» der kravene kan være noe uklare, eller risikobidraget ved å instllere batterisystemer er uklart. Flere avdisse er tilsvarende som fror faste innstallasjoner, og er vurdert til å gjelde følgende områder:

- Det er ikke etablert spesifikke kriterier knyttet til hvordan store batterirom skal implementeres i risikoanalysene.
- Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område/område med høy brannrisiko og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Dette er vurdert til å være tilsvarende som for andre rom med høy brannrisiko som f.eks. maskinrom.
- Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon. Dette kan medføre at batterisystemene kan eksponeres for skade ved f.eks. skipskollisjon eller fallende last.
- Det er krav til eksplosjonsbeskyttet elektrisk utstyr (Ex) som er plassert høyt i batterirom, men ikke at øvrig elektrisk utstyr skal utkobles automatisk ved detektert gass. Dvs. at ved en intern gasslekkasje er pålitelig og tilstrekkelig ventilasjon viktig for å forhindre antennelse.
- Dagens regelverk krever brannskiller av brannklasse A-0 eller A-60 rundt batterirom, avhengig av tilstøtende områder. Brannskiller av A-klasse har integritet i en time av normert brannprøve.
- Ikke tilpassede krav for slukkesystemer i batterirom, det benyttes krav til slukkesystemer som for f.eks. maskinrom.

Det maritime regelverket er vurdert til å i stor grad dekke de identifiserte risikoelementene knyttet til batterier med tilhørende hjelpe- og kontrollsystemer.

Det er imidlertid ikke identifisert krav for å forhindre defekter i battericeller. Det bør sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter. Batteriets BMS bør beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.

En oversikt over hvordan de forskjellige identifiserte risikoelementene er vurdert opp mot regelverket er vist i Appendiks B.

7 RESULTATER

Denne studien identifiserer en rekke risikoelementer knyttet til bruk av litium-ion batterier, både via en gjennomgang av andre studier og i HAZID. De identifiserte risikoelementene er videre vurdert, med fokus på hvordan uønskede hendelser kan unngås, og konsekvensene kan reduseres dersom de oppstår. Det er tatt hensyn til både tekniske løsninger og operasjonelle tiltak. Videre er det vurdert hvordan dagens regelverk ivaretar de identifiserte risikoelementene.

7.1 Tiltak for å hindre antennelse av batterier

Et av de viktigste tiltaket for å unngå farlige ulykkeshendelser knyttet til litium-ion batterisystemer med høy kapasitet er å benytte batterier som har en lavest mulig sannsynlighet for interne feil og samtidig er konstruert slik at en intern feil får et omfang som begrenser seg til den battericellen der feilen oppstår.

DNV GLs erfaring fra tidligere hendelser er at disse ofte er knyttet til eksterne feil, og ikke selve battericellene, men at kvaliteten på battericeller kan utgjøre en forskjell med tanke på robusthet mot ekterne feil.

På en offshoreinnretning er det viktig å beskytte batterirommet mot hendelser på utsiden.

Anbefalt beskyttelsestiltak vil være:

- Plasseringen av batterirommet separert fra områder med bore- eller prosessaktivitet.
- Gassdeteksjon i luftinntak med automatisk avstenging av ventilasjon og frakopling av batteri.
- Dører bør lukkes automatisk og ha alarm hvis de står åpne.
- Plassere batterirommet i området utenfor dimensjonerende eksplosjonstrykk.
- Plasseringen av batterirommet vekk fra områder med brannrisiko, som f.eks. bore- og prosessområder.
- Isolasjon av batterirommet tilsvarende A-0 eller A-60, avhengig av tilstøtende rom.
- Batterirommet bør plasseres i områder uten kollisjonsfare.
- På skipsformede offshore enheter bør batterirommet plasser bak kollisjonsskott.
- Løftebegrensninger over batterirom.

Anbefalt beskyttelsestiltak i batterirommet:

- Begrense elektrisk utstyr som er plassert i batterirommet til et minimum.
- Tilknyttet elektrisk utstyr bør tilpasses operasjonsområdet og elektriske karakteristika for batterisystemet.
- Tilknyttet elektrisk utstyr bør benytte tilstrekkelige elektriske vern
- Overvåking av batteriromtemperatur med alarm.
- Unngå plassering av varmeavgivende utstyr i batterirommet.
- Kontinuerlig pålitelig ventilasjon.
- Ruting av rør med vann/væske gjennom batterirommet bør unngås.
- Lekkasjevakt bør benyttes i batterirommet ved bruk av væskekjølte batterier.
- Bruk av utstyr som er elektromagnetisk kompatibelt.

Anbefalte beskyttelsestiltak i batterisystemet:

- Det må sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter.
- BMS som kontrollerer temperatur, spenning og strøm.
- Frakopling av batterisystemet ved for høy strøm, spenning og temperatur.
- Beskytte battericellene mot underspenning og ladning ved lav temperatur.
- Batterisystemet bør plasseres slik at det ikke utsettes for støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering.
- Kortslutningsbeskyttelse og overstrømsbeskyttelse.
- Isolasjonsovervåking.
- Isolasjonsbryter som kan frakoble batterisystemet fra det tilstøtende elektriske anlegget.
- Sammenkoblinger i batterisystemet bør kunne gjøres strømløst ved skifte av batterimoduler.
- Korrekt dimensjonert batterisystem.
- Systemet utformet med overbelastning- og dyputladingbeskyttelse.
- Batterisystemet beskyttet mot vannlekkasje ved hjelp av kapsling og design.
- Ikke benytte saltvannsbaserte slukkesystemer.
- Batterimodulene bør konstrueres slik at «thermal runaway» i en battericelle ikke sprer seg fra celle til celle.
- BMS bør konstrueres med en høy grad av pålitelighet.
- Overladingsbeskyttelse uavhengig av BMS i batterimoduler.

7.2 Tiltak for å redusere konsekvensen av «thermal runaway»

Dersom det oppstår en «thermal runaway» er det viktig at tekniske og operasjonelle barrierer ivaretar situasjonen uten at den eskalerer til andre områder, og i størst mulig grad begrenser hendelsen. Risikoelementene er kategorisert i hendelser på utsiden av batterirommet, og hendelser i batterirommet.

Anbefalte tiltak på utsiden av batterirommet:

- Alle ventilasjonsåpninger fra batterirommet bør være i sikre områder med minimum 1,5 meter klaring til annet elektrisk utstyr eller døråpninger.
- Batterirommet bør bestå av strukturelle skott, eller skiller av tilsvarende styrke.
- Essensielt utstyr bør ikke plasseres i batterirom, unntatt nødvendig batteri-elektrisk utstyr.
- Brannskiller i likhet med oljefyrte maskinrom er anbefalt.
- Brannskiller av minimum A-0 eller A-60, avhengig av tilstøtende rom.

Anbefalte tiltak i batterirommet:

- Minimum kapasitet for avgass-ventilasjon, 6 ACH.
- Ex-sikker og gnistfrie ventilasjonsvifter (fratrekk).
- Kontinuerlig operasjon av dedikert ventilasjonsanlegg.
- Gassdeteksjon der avgass fra battericellen kan akkumulere.
- Temperaturovervåking i batterisystemet.
- Benytte Ex-sikkert utstyr i taket med minimum temperaturklasse T2 og beregnet for gassgruppe C hvis avgass fra battericellen kan spre seg utenom batteri-kabinettene.
- Propageringstestet batterisystem for å begrense «thermal runaway» til enkelte celler, cellepar eller batterimoduler.
- Avledning av varme gasser må konstrueres i batterisystemet.
- Slukkemiddel med mulighet til ekstern kjøling av batteri-installasjonen er anbefalt for å forhindre spredning av TR. Ferskvannbaserte slukkesystemer er anbefalt som det slukkemiddel med best

mulig termisk konduktivitet. Vannbaserte systemer kan opereres sammen med nødvendig ventilasjon for å begrense akkumulering av eksplosjonsfarlige gasser.
- A-60 brannskiller er anbefalt mot andre maskinrom eller mot evakueringsområder
- Branndeteksjon (røykvarsler).
- Varmedeteksjon eksternt fra batterisystemets innebygde overvåking.
- IP44 eller høyere klassifisering for vanninntrenging av batterimoduler, hvis vannbaserte slukkemiddel er brukt.

7.3 Bruk av risikoanalyser:

Risikoanalyser og beregningsmodeller som er tilpasset store litium-ion batteri systemer er utviklet, og disse gir en risikobasert framgangsmåte til å kvantifisere effekten av de forskjellige parameterne og barrierene. Framgangsmåten som brukes stammer fra metoder som brukes i offshore sammenheng, og det vil derfor være naturlig å vurdere å utvide dagens risikoanalyse regime som finnes for offshore installasjoner til også å omfatte batteri systemer.

Metodikken er spesielt utviklet for å kunne vurdere og bestemme barrierer som forhindrer eksplosjoner i batterirom, og omfatter ikke brannanalyser. For å begrense brannbelastningen er det viktig med fysiske skiller eller andre dokumenterte tiltak mellom batteri-celler eller moduler, slik at en «thermal runaway» begrenser seg til en avgrenset del av batterisystemet.

7.4 Operasjonelle tiltak ved eksplosjons- og brannfare

Mulige tiltak for opplæring, trening og teknisk utstyr for personell som skal håndtere brann- og eksplosjonsfare knyttet til batteriene er anbefalt. Dette omfatter både kontrollrompersonell og innsatslag.

Personell ombord må kjenne til farene forbundet med stor batterikapasitet og ha kunnskap om og trening i riktig opptreden, både ved vanlig bruk, ved vedlikehold og ved feil og ulykkeshendelser.

Operasjonelle tiltak er beskrevet for normal drift, eksterne og interne ulykkeshendelser, samt utstyr til bruk ved ulykkeshendelser som involverer batterisystemer.

Viktige operasjonelle tiltak ved normal drift:

- kontrollromsoperatørenes overvåking av driften og tilstanden av batteriet via batteristyrings-sytemet.
- nødvendige begrensinger av løfteoperasjoner og annen transport av tunge gjenstander over, og i nærheten av, batterirommet med potensiale til å gi fysisk skade på batteriene.
- adgangsbegrensning og bruk av sikker jobb-analyse (SJA) for vedlikeholdsarbeid i batteri.
- prosedyre for å gå til sikker tilstand for batterisystemet i tilfeller av bortfall av batterirommets hjelpesystemer, ventilasjon og kjøling rommet.
- modifikasjoner som kan berøre forutsetninger for sikker drift av batterisystemet.

Viktige operasjonelle tiltak ved eksterne ulykkeshendelser:

- prosedyrer for å gå til sikker tilstand for batterisystemet i tilfeller av ekstern eksplosjon, ekstern brann eller gasslekkasje.
- prosedyrer som sikrer tennkildekontroll.

Viktige operasjonelle tiltak ved interne ulykkeshendelser i batterirom:

- Prosedyrer for å håndtere intern brann. Det er viktig med automatisk utløsning av slukkesystem, og å redusere behov for manuell intervensjon fra brannlag.
- Det bør være prosedyrer for å hurtigst mulig stenge ned batterisystemet i tilfelle intern feil med overoppheting, slik at utlading og ladning av batteriene ikke bidrar til samtidig temperaturøkning.
- Det bør gis opplæring i farene ved en væskelekkasje og hvilke parametere som indikerer en lekkasje. Ved reparasjoner av kjølesystemer må det sørges for at man ikke forårsaker kortslutninger med uforsiktig håndtering av væske.

Utstyr til bruk ved hendelser knyttet til batterisystemer:

- Med store energimengder lagret og mulighet for kortslutning og overslag ved vedlikehold og frakopling av batterier og spenningssatte komponenter er det viktig at det er prosedyrer på plass for bruk av riktig verktøy og verneutstyr slik at dette kan unngås eller at konsekvensen minimaliseres.
- Ved brann i batterirom er det ikke anbefalt med manuell intervensjon på grunn av avgasser fra slike branner som vil være både toksiske og også etsende. Dersom man allikevel skulle ønske å drive søk og redning i en tidlig fase av en brann må det vurderes drakter og pusteutstyr som har motstand mot de avgassene som kan forekomme, eller at det legges begrensninger på tiden til rådighet for søk og redning.
- I tillegg til tradisjonelt manuelt slukkeutstyr som brannvannslanger/portable skumapplikatorer/håndslukkere kan også være nyttig med dyser montert i dører eller veggpaneler der manuelle slukkemidler kan føres inn og distribueres i batterirommet.

7.5 Oppsummering av identifiserte mangler i regelverket

Det er avdekket flere identifiserte risikoelementer som etter DNV GLs vurdering ikke er tilstrekkelig ivaretatt i dagens regelverk. Både Ptils regelverk for faste innretninger og maritimt regelverk for flyttbare innretninger er vurdert.

Av vurderingen går det frem at begge regelverk har enkelte mangler i forhold til å dekke de identifiserte risikoelementene i studien. For sikkerhetssystemer i batterirom og nærliggende områder er de identifiserte manglende relativt like, men for batterier med tilhørende hjelpe- og kontrollsystemer fremstår det som om det maritime regelverket i større grad dekker de identifiserte risikoforholdende.

Identifiserte mangler i regelverket for faste innstallasjoner:

DNV GLs vurdering er at Petroleumstilsynes regelverk med relevante referanser til andre standarder dekker de fleste relevante krav til sikkerhetssystemer i batterirom og tilstøtende områder.

Det er enkelte mangler og «gråsoner» der kravene kan være noe uklare, eller risikobidraget ved å installere batterisystemer er uklart. Dette er vurdert til å gjelde følgende områder:

- Det er ikke etablert spesifikke kriterier knyttet til hvordan store batterirom skal implementeres i risikoanalysene.
- Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område/område med høy brannrisiko og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Dette er vurdert til å være tilsvarende som for andre rom med høy brannrisiko som f.eks. maskinrom.
- Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon. Dette kan medføre at batterisystemene kan eksponeres for skade ved f.eks. skipskollisjon eller fallende last.
- Krav til hvordan en intern gasslekkasje fra batteriet skal beregnes er uklart.
- Det er ikke krav til eksplosjonsbeskyttet elektrisk utstyr (Ex) i batterirom. Elektrisk utstyr skal utkobles automatisk ved detektert gass. Dvs. at ved en intern gasslekkasje er pålitelig gassdeteksjon viktig for å forhindre antennelse.
- Ikke tilpassede krav for slukkesystemer i batterirom, det benyttes krav til slukkesystemer som for f.eks. maskinrom.

Det finnes også krav og regler for selve batterisystemet via referanser i §47 i Innretningsforskriften. Disse er i stor grad rettet mot selve batteriene og er vurdert til å være noe mangelfulle mht. krav for installasjonen ombord på en offshore innstallasjon. Dette er vurdert til å gjelde følgende områder:

- Det er ikke identifisert krav til å begrense utstyr i batterirom utover batterisystemet. En slik begrensning vil kunne redusere sannsynligheten for at en hendelse oppstår, og redusere konsekvensen ved en uønsket hendelse.
- Det er ikke identifisert begrensning på lokalisering av væskefylte rør i batterieom.
- Det er ikke identifisert krav for å forhindre defekter i battericeller. Det bør sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter. Batteriets BMS bør beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.
-

Identifiserte mangler i regelverket for flyttbare innretninger:

DNV GLs vurdering er at maritimt regelverk som benyttes for flyttbare innretninger på norsk sokkel dekker de fleste relevante krav til sikkerhetssystemer i batterirom og tilstøtende områder.

Det er enkelte mangler og «gråsoner» der kravene kan være noe uklare, eller risikobidraget ved å installere batterisystemer er uklart. Flere av disse er tilsvarende som for faste innstallasjoner, og er vurdert til å gjelde følgende områder:

- Det er ikke etablert spesifikke kriterier knyttet til hvordan store batterirom skal implementeres i risikoanalysene.
- Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område/område med høy brannrisiko og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Dette er vurdert til å være tilsvarende som for andre rom med høy brannrisiko som f.eks. maskinrom.
- Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon. Dette kan medføre at batterisystemene kan eksponeres for skade ved f.eks. skipskollisjon eller fallende last.
- Det er krav til eksplosjonsbeskyttet elektrisk utstyr (Ex) plassert høyt i batterirom, men ikke at annet elektrisk utstyr skal utkobles automatisk ved detektert gass. Dvs. at ved en intern gasslekkasje er pålitelig og tilstrekkelig ventilasjon viktig for å forhindre antennelse.
- En brann i batterirom kan ha vesentlig lenger varighet enn en time.
- Ikke tilpassede krav for slukkesystemer i batterirom, det benyttes krav til slukkesystemer som for f.eks. maskinrom.

Det maritime regelverket er vurdert til i stor grad dekke de identifiserte risikoelementene knyttet til selve batteriene med tilhørende hjelpe- og kontrollsystemer.

Det er imidlertid ikke identifisert krav for å forhindre defekter i battericeller. Det bør sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter. Batteriets BMS bør beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.

8 REFERANSER

/1/ "MARITIME BATTERY SAFETY JOINT DEVELOPMENT PROJECT Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression", Report No.: 2019-1025, Rev. 4

/2/ N. Warner, A. Huser, T. Elvehøy, M. Piercec, T. Rice, C. Spitzenberger, N.H. Rivedal & G.P. Haugom "Explosion and Fire Risk Analysis in ventilated battery rooms" 12th International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions, 2018

/3/ DNV GL, A. Huser "Battery room safety analyses and overview of the battery safety Joint Development Project", MoZEES Battery days 2019, 13 February 2019

/4/ EMSA/DNV GL - "STUDY ON ELECTRICAL ENERGY STORAGE FOR SHIPS - BATTERY SYSTEMS FOR MARITIME APPLICATIONS – TECHNOLOGY, SUSTAINABILITY AND SAFETY", May 2020

/5/ Vest brann- og redningsregion «Evalueringsrapport Brann i MF Ytterøyningen» 10.10.2019

/6/ DNV GL "Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems" Report No.: 2016-1056, Revision: V1.0

/7/ Petroleumstilsynes regelverk, inkludert «Rammeforskriften», «Styringsforskriften» og «Innretningsforskriften». Ref. Ptil.no

/8/ Sjøfartsdirektoratets forskrifter for flyttbare innretninger, inkludert:

Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 856 om bygging av flyttbare innretninger

Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 227 om sikringstiltak mot brann og eksplosjon på flyttbare innretninger

Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 90 om evakuerings- og redningsredskaper på flyttbare innretninger

Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 1239 om risikoanalyse for flyttbare innretninger

Guidelines for chemical energy storage - maritime battery systems (gjelder kun innretninger registrert i norsk skipsregister)

Ref. Sdir.no

/9/ DNV GLs klasseregler for flytende offshore innretninger:

DNVGL-RU-OU-0101 Offshore drilling and support units

DNVGL-OS-A101 Safety Principles and arrangements

DNVGL-OS-D101 Marine and machinery systems and equipment

DNVGL-OS-D202 Automation, safety and telecommunication systems

DNVGL-OS-D201 Electrical systems

DNVGL-OS-D301 Fire protection

DNVGL-RU-SHIP Pt. 6 Ch. 2 Sec. 1 BATTERY(SAFETY) notation

DNVGL-CP-0418 Electrical energy storage, Type approval programme

Ref. dnvgl.com

/10/ Lloyd's Register, guidance – «Battery installations, Key hazards to consider and Lloyd's Register's approach to approval", Second edition, January 2016

/11/ American Bureau of Shipping (ABS), guidance – "USE OF LITHIUM BATTERIES IN THE MARINE AND OFFSHORE INDUSTRIES", FEBRUARY 2020

APPENDIKS A

HAZID loggark

For hver av de tre hoveddelene, ble det det laget et loggark.

DEL 1 - HENDELSE I BATTERIPAKKER

Kontekst: Inkluderer batterier, kabinetter, styringssystemer

ID	Ledeord	Uønsket hendelse (hvordan)	Årsaker (hvorfor)	Konsekvenser	Kompenserende tiltak/anbefalinger	Kritikalitet	Kommentarer
1.1	Deformasjon	- Forringelse av batterikapasitet - Systemsvikt - Thermal runaway - Fysisk utvidelse (eks. svelling)	- Overbelastning - Forringelse av materialkvalitet - Aldring av celler - Utmatting av racks - Høy omgivelse temperatur over lang tid - Produksjons/ designfeil	- Kortslutning som følge av fysisk utvidelse - Elektrolytt lekker ut som følge av at cellen revner - Gassutvikling	- Poseceller skal stå med et gitt trykk for å ikke svelle - Kontinuerlig temperaturovervåkning - Kvalitetskontrollregime (eks. sammenligning av spenning og impedansvurdering) - Sylindriske celler har innebygget sikringssystemer for å kontrollere konsekvensen (eks. svelling) - Typegodkjenning inkluderer vurdering av kontrollregime	moderat	- Forskjell på celletyper (eks. sylindriske celler, poseceller) - Foreløpig ikke godt dokumentert hvordan aldring vil påvirke cellene - Utskifting av moduler i batterisystem; Spesifikasjon fra leverandør følger med og skal inkludere beskrivelse av lagring

1.2	Mekanisk skade	- Mekanisk skade på batterier - Fysisk skade på styresystem som fører til redusert overvåking og mangel for input og output (eks. temperatursensor, løse koblinger, mangel på signaler) - Sammen-klemming - Elektrolytt lekker ut	- Materialhåndtering - Varmepåkjenning som fører til skade på batterier - Forurensing i produksjon (vibrasjon) - Revne celler ved at en gjenstand skjærer gjennom batteriene	- Kortslutning - Thermal runaway - Ødeleggelse av celler (evt. kjølesystem, elektrisk anlegg) - Gassutvikling - Skade lader så den ikke klarer å regulere	- Mekanisk beskyttelse (eks. skap, kontrollsystem) - "*Impact test*" og "*drop test*" av moduler for å teste påvirkning av fall - Plassering i stativ og skap for å minimere påvirkning av vibrasjoner - "*Penetration test*" - Tilstrekkelig opplæring av mannskap - Ventilasjon og avgassystem (både internt i batterier og i rommet) - Kjøling av batterier	moderat	- Hendelsen om bord MF Ytterøyningen skyldes mekanisk skade - Vedlikehold skal gjøres i henhold til leverandørens anbefalinger - Tidlig avdekke mekanisk skade for å minimere konsekvensen

1.3	Kortslutning mellom elektroder	- Kortslutning internt i batteri - Kortslutning i elektriske koblinger	- Dendritter - Mekanisk skade - Deformasjon - Væskeinntrenging - Fremmedlegeme (eks. skiftenøkkel) - Produksjons/ designfeil - Dårlig isolasjonsholdfasthet (svekkelse av isolasjon) - Forurenset luft - Vanntåke som slokkemedium - Overspenning	- Thermal runaway - Overopphetet celle - Lokal brann i systemet som varmer opp modulene - Skade på mannskap (ved trykkbølge, flyvende deler)	- Batterirom normalt anbefalt som ubemannet område, med tilgang for begrenset antall av mannskap - Opplæring av mannskap - Tilstrekkelig monitorering og vedlikehold - Designutforming som minimere konsekvens av kortslutning evt. lekkasje (eks. koblinger i topp, IP-gradering), minimere propagering mellom celler ved evt thermal runaway - Kortslutningssikkert (kabler med dobbeltisolering) - Kortslutningsvern - Overstrømsvern (overstrømsbeskyttelse på modul, eller cellenivå) - Lysbuevern - Gassdeteksjon - Temperaturdeteksjon	betydelig	- Sylindrisk celle har ofte en overstrømsbeskyttelse - Hendelser i Korea; ukondensert luft med dårlig forurenset luft
1.4	Overlading	- Overlading ved for høy spenning - Overlading ved for høy strøm	- Feil programmering - Feil overvåking og batteriet oppdager ikke feilen - Feil ved lader som fører til kommunikasjonssvikt mellom batteri og lader - Feil på lader i seg selv	- Thermal runaway (overlading av flere celler) - Isolasjons-nedbrytning inne i cellen - intern kortslutning	- Korrekt programmering av BMS - Tilstrekkelig installasjonsprosedyrer - Verifisering og testing av system ved installasjon - Jording	betydelig	- Campbell Foss-ulykken, laderen var programmert feil og koblet ikke ut ved overlading - Nivå av testing, hva er nok? - Generell kvalitet av utstyr og arbeid utført

1.5	Dyp utlading	- Overutlading ved lav spenning	- Feil i kontrollsystem eller omformer	- Dendrittdannelse - Redusert/dårligere levetid av batteriet	- Korrekt programmert BMS - Tilbakemelding når systemet nærmer seg nedre spenningsgrensen - System fanger opp SOH	lite	- Større konsekvens på levetid
1.6	Høye transiente spenninger	- Nedbryting av elektrisk isolasjon - Overlading - Kortslutning i battericeller - Kortslutning i elektriske koblinger - Jordfeil	- Lynnedslag - Feil i lader - Spenningsoppbygging	- Lokal brann - Thermal runaway	- Teste at isolasjon, men ikke for mange ganger - Isolasjonsovervåking (med trendovervåking) - Overspenningsvern - Design som hensyntar transiente spenninger	moderat	
1.7	Væske-inntrengning	- Kortslutning i battericeller (gitt konduktiv) - Kortslutning i elektriske koblinger (gitt konduktiv) - Kortslutning i styresystem - Spalting av vann til hydrogen	- Lekkasje i kjølesystem - Slukkemiddel	- Eksplosjon	- Skal være rustfritt vanninntrenging (vanntåke)	moderat	- Godkjent maskinslukkesystem - Referer til punkt 1.3
1.8	Høy temperatur	- Varmeutvikling - Gassutvikling	- Svikt i kjølesystem - Høy belastning - Svake koblinger	- Lokal brann - Thermal runaway	- Korrekt dimensjonering/design av kjølesystem - Kontrollsystem vil kunne skru av systemet - Propageringstest	lite	- Segregering og identifisering av de mest relevante feilene - Forutsetter pålitelig kontrollfunksjon som tripper lading ved tap av kjøling - Måler temperatur i batteriene

1.9	Eksplosiv gassproduksjon	- Eksplosiv atmosfære i batterirom - Propagering til flere celler	- Gasslekkasje i battericeller - Designfeil - Underdimensjonert eller feil ved ventilasjonsanlegg - Thermal runaway	- Eksplosjon - Brann	- Gassdetektorer plassert høyt og lavt i rommet - Branndeteksjon - Temperaturdeteksjon - Tilstrekkelig ventilasjon av batterikabinett og i batterirom, og evt. vifte i avgasskanalen, separat avtrekk fra batteriavgassen (tilstrekkelig design av HVAC). - Installere et ikke-propagerende batterisystem - Begrense gassutviklingen og spredning - Inerte rommet - Elektrisk isolasjon - Åpning i kabinettet med "*flare*" - Tilstrekkelige prosedyrer/instruksjoner dersom en brann/eksplosjon inntreffer - Plassering av innløp og utløp - Eksplosjonspanel - CCTV (usikkert hvor godt det vil fungere) - Sounding pipe - Tømme energi i batteriene - Velg rett slukke-/kjølesystem	betydelig	- HVAC er kritisk - Minimum 6 ACH, bør dimmensjoneres basert på gassutvikling fra batterier (ref. propageringstest)

1.10	Giftig gasslekkasje	- Mannskap eksponert for gift gass - Utvikling av giftig gass - Giftig atmosfære uten at detektoren fanger det opp	- Gasslekkasje i battericeller (eks. ved internfeil) - Underdimensjonert ventilasjon eller feil i ventilasjonsanlegg - Thermal runaway - Overbelastning av batteri	- Mannskap blir forgiftet	- Separat avtrekk fra kabinettene - Gassdeteksjon i kabinett (konsentrasjonsnivå) - Tilstrekkelig PPE - Begrense spredning ved evt. gassutvikling - Etablere maksgrense for når rommet ikke skal være bemannet (eks. alarm) - Kontinuerlig temperaturovervåking av batteri (min. på modulnivå) - Plassering av utløp (eks. unngå rett ved rømningsvei)	betydelig	- Sikre varsling før det blir en giftig atmosfære

DEL 2 – Hendelser i batterirom

Kontekst: batterirom, HVAC system, brann, gassdeteksjon, tennkilder, slokkesystem, brannskiller

Nr	Ledeord	Uønsket hendelse (hvordan)	Årsaker (hvorfor)	Konsekvenser	Kompenserende tiltak/anbefalinger	Kritikalitet	Kommentarer
2.1	Ekstern elektrisk kortslutning / lysbue	- Overbelastning og varmgang i batteri	- Feil i elektrisk anlegg - Feildimensjonering av anlegg - Ikke tilstrekkelig vern - Forvrengt spenning ved DC-AC system	- Brann - Thermal runaway	- Tilstrekkelig vern - Omformer er en begrensning i seg selv - Tilpasse elektrisk anlegg til batterisystem - Alarm ved overbelastning - Direkte DC kobling (anlegg uten dedikert batteriomformer) der må vernfunksjoner koordineres mellom alle tilstøtende omformere (motor drives, nett omformere, lade omformer etc	lite	- Korrekt design er viktig i denne sammenheng

2.2	HVAC design (kjøling og fortynning)	- Tenning i vifte	- Feil i HVAC anlegg - HVAC starter ikke når den skal	- Brann - Eksplosjon	- Undertrykk/utsug fra viftene (tilstrekkelig kapasitet) - EX sikring/ utkobling av elektrisk utstyr - Redundant strømforsyning (*power supply*) - Redundant vifte - Vifte opererer kontinuerlig - Manuell elektrisk isolering av rom - Plassering av utstyr (eks. vifte ved utsug/utsiden av rommet)	betydelig	- Påliteligheten er viktig - Har data for å kvantifisere gassmengder
2.3	Temperaturøkning i batterirom	- Skader på batteri eller komponenter	- Feil i HVAC system	Batterier eksponeres for høy temperatur, dette kan føre til forringelse	HVAC system med redundans	Lite	Lite trolig at dette fører overoppheting av batterier

2.4	Tap av ventilasjon	- Lekkasje fra batterier akkumulerer og fører til eksplosiv atmosfære	- Feil i HVAC system - Manglende kapasitet	Batterier eksponeres for høy temperatur, dette kan føre til forringelse	- Undertrykk/utsug fra viftene (tilstrekkelig kapasitet) - EX sikring/ utkobling av elektrisk utstyr - Redundant strømforsyning (*power supply*) - Redundant vifte - Vifte opererer kontinuerlig - Manuell elektrisk isolering av rom	betydelig	
2.5	Eksplosjon i batterirom	- Eksplosjon - Skade på batterier, komponenter - Brannskiller	Gasslekkasje som akkumulerer og antenner	Eksplosjon	- Kapasitet i HVAC system - EX sikring/ utkobling av elektrisk utstyr - Redundant strømforsyning (*power supply*) - Redundant vifte - Vifte opererer kontinuerlig - Manuell elektrisk isolering av rom - Plassering av utstyr (eks. vifte ved utsug/utsiden av rommet)	betydelig	

2.6	Brann i batterirom	- Brann i batterirom/celler	- Gasslekkasje som antenner - Thermal runaway som fører til brann	- Skade på batterier og komponenter - Potensielt tap av batteri/batterisystem - Eksplosjon - Kortslutning	- Slukkesystem (eks. sprinkler, HiFog/water mist, Novec1230) - Brannskillevegger - Slukkesystem i kabinett i tillegg - Maskinromsintegritet - A60 krav mot rom kategorisert maskinrom og farlig material-/avfallsrom	betydelig	- Vann i kombinasjon med ventilasjon - Novec krever at ventilasjon stenges - MF Ytterøyningen lokal brann i en rack som ble slukket relativt fort av Novec og saltvann som ble utløst - Stålpanel på dekk uten isolasjon, med eksplosjonspanel - Kunnskapsgap når det gjelder slukkesystem for lengre branner
2.7	Vanninntrengning	- Vanninntrenging i batterier, komponenter eller styresystem som fører til kortslutning og skade	- Lekkasje i kjølesystem eller andre systemer	- Kortslutning - Skade på system	- Minimere ruting av rør med vann/væske gjennom batterirommet (inkl. i oppdatert regelverk)	Lite	Forutsettes at det ikke er væskefylte rør i batterirom
2.8	Elektromagnetisk forstyrrelse	- Manglende elektromagnetisk kompatibilitet	- Feil funksjon av overvåkingssystem - Feil funksjon av lader	- Tap av sikkerhetsfunksjon (eks. overvåkning) - Degradering av batteriet - Redusert tilgjengelighet av batteri fordi batteri kobler seg fra	- Tilstrekkelig robusthet i systemet - Design	lite	

DEL 3 – EKSTERNE HENDELSER

Kontekst: Lokasjon av batterirom (kollisjonsskott, skadet vannlinje, bore/prosessanlegg, løftsoner), brannvegger, brann- og gassdeteksjon i luftinntak.

Nr	Ledeord	Uønsket hendelse (hvordan)	Årsaker (hvorfor)	Konsekvenser	Kompenserende tiltak/anbefalinger	Kritikalitet	Kommentarer
3.1	Hydrokarbon gasslekkasje	- Eksplosiv gass som eksponerer batterirom via luftkanal	- Hydrokarbongass lekkasje fra områder med bore eller prosess-aktivitet	- Inntrengning av eksplosiv gass i batterirom, med påfølgende mulighet for eksplosjon	- Gassdeteksjon i luftinntak med automatisk nedstenging av HVAC og lader - *EX rating på utstyr* - Pålitelig gassdeteksjon på gassinntaket - Pålitelig ventilasjon - Hydrokarbon detektorer (3 stk med votering) ved luftinntak	lite	- Som regel rene batterirom på faste installasjoner - Krav til Li-ion batteri T22C er tilstrekkelig - Plassering av batteri må hensyntas (skal ikke plasseres i klassifisert område)
3.2	Hydrogensulfid (H2S) gasslekkasje	- Giftig gass som eksponerer batterirom	- H2S lekkasje fra områder med bore eller prosess-aktivitet	- Inntrengning av giftig gass i batterirom, med påfølgende mulighet for eksponering av personell	- H2S gassdeteksjon i luftinntak med automatisk alarm og HVAC nedstengning.	lite	Batterirom har tilsvarende kritikalitet som andre områder mht. eksponering fra H2S
3.3	Ekstern eksplosjon	- Eksplosjon i bore- eller prosessområder som eksponerer batterirom	- Gasslekkasje som akkumulerer og antenner	- Skade på batterier - Potensielt tap av batteri/ batterisystem	- Plassering av batteri bør være i området utenfor dimensjonerende eksplosjonstrykk	lite	- Lokasjon/plassering av batterirom er viktig

3.4	Ekstern brann	- Temperatur-økning - Thermal runaway	- Brann i tilstøtende områder (bore/prosess) - Brann i annet tilstøtende rom (ikke bore/prosess)	- Brann i batterirom - Potensielt skade på eller tap av batteri/ batterisystem	- Dimensjonere skott for eksplosjoner og kraftig brann - A60 skott evt. kofferdam - Ventilasjon og kjøleanlegg som er tilstrekkelig dimensjonert - Plassering av batteri fra nærliggende skott - To-trinns vifte - Branndeteksjon - Kjøleanlegg - *Sprinkler på nærliggende skott*	betydelig	- 85 degC er en kritisk temp - Typisk "point of no return" er 130 degC (avhenger av flere faktorer som SOC, komposisjon av batteri etc.) - Tiltak som reduserer en evt. mulighet for temperaturøkning grunnet brann i nærliggende rom

3.5	Kollisjon	- Skade på batteri eller tilhørende komponenter/ systemer	- Skipskollisjon (eks. PSV mot plattform/rig) - Kollisjon under transitt - Helikopterkollisjon	- Stor skade på batteri/batterirom - Tap av batteri/ batterisystem/ batterirom	- Plasser batteri i områder uten kollisjonsfare	lite	- Plassering av batteri under helikopterdekk er ikke uvanlig på skip - Adressere plassering av batteri med hensyn på andre komponenter/rom
3.6	Skadet stabilitet	- Krengning etter kollisjon - Vann-inntrengning under skadet vannlinje	- Skipskollisjon eller kollisjon under transitt	Vanninntrengning i batterirom	- Plasser batteri over skadet vannlinje	Lite	

3.7	Vanninntrengning	- Vann i batterirom som skader batterier og/eller andre komponenter	- Kollisjon som fører til vanninntrengning - Lekkasje i vanninntak/system - Intern lekkasje fra vannbasert slukkesystem eller kjølesystem	- Tap av batteri/ batterisystem - Potensiale for thermal runaway etter en evt. vanninntrenging - Kort slutning	- Vanntettskott - Tilstrekkelig drenering og dreneringssystem - Plassering bak kollisjonsskott - Om mulig plassering over vannlinjen - Plassering av vann/væskerør utenfor batterirom - Forhindre mulig kortslutning	moderat	- Grønn sjø på dekk bør være hensyntatt da batterikontainer skal følge dekkshuskrav
3.8	Materialhåndtering	- Skade på batteri eller tilhørende komponenter/ systemer	- Fallende last hell - Under materialhåndtering	- Thermal runaway	- Løftebegrensning over batteri (tilsvarende bore-/prosessanlegg etc.)	lite	
3.9	Eksplosiv og giftig gass eksponering	- Eksponering av nabo områder av eksplosiv eller giftig gass	- Thermal runaway	- Tennbar blanding eller giftig gassky utenfor batterirom	- Sikre at rømnings-/evakueringsveier er ivaretatt - Tilstrekkelig ventilasjon - Nedstenging av ventilasjon i nærliggende områder - Gassdeteksjon med alarm - Plassering av inn- og utløp slik at de ikke er plassert tett på andre inn- og utløp - Hørbar og synlig alarm som indikerer dersom området er eksponert for giftige gasser	moderat	- Mulig å rotere enheter på DP for å - Usikkerhet knyttet til hvor raskt gassutslipp fortynnes

3.10	Brann og eksplosjon fra batterirom	- Thermal runaway i flere moduler og resulterende brann	- Thermal runaway	- Varmeutvikling i inntilliggende rom - Eskalering av brann	Brannskiller i skott i brannklasse A0 / A60- Slukkesystem	Moderat	- Kan man ha kritiske komponenter i rom rundt batterirom? - Sikkerhetskritiske funksjoner skal ikke bli satt ut i tilfelle brann/eksplosjon i batterirom - DP redundans

APPENDIKS B

Gjennomgang av regelverk

Ref. kap.	Risiko og tiltak for å hindre antennelse av batterier Tiltak eksterne hendelser (utsiden av batterirommet)	Anbefalt tiltak	Ptil/NORSOK	Sjøfart/DNV GL
5.3.1.1	Hydrokarbon og hydrogensulfid gasslekkasje Dersom en hydrokarbongasslekkasje fra områder med bore- eller prosessaktivitet skulle oppstå vil det være en risiko for inntrengning av gass i batterirom, med påfølgende mulighet for eksplosjon. Gassinntrenging til batterirom vil kunne skje via luftinntak	• Plasseringen av batterirommet separert fra områder med bore- eller prosessaktivitet • Gassdeteksjon i luftinntak med automatisk avstenging av ventilasjon og frakopling av batteri • Dører bør lukkes automatisk eller ha alarm hvis de står åpne	Ivaretatt av Innretningsforskriften og NORSOK S-001. Kommentar: Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Luftinntak skal være minimum 3 meter fra eksplosjonsfarlig område.	Ivaretatt av NMA Brannforskrift, DNVGL-OS-A101 og DNVGL-OS-D301 Kommentar: Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon). Luftinntak skal være minimum 3 meter fra eksplosjonsfarlig område.
5.3.1.2	Ekstern eksplosjon Ved ekstern eksplosjon som følge av eksplosjon i bore- eller prosessområder som eksponerer batterirom kan skade eller potensielt tap av batteri/batterisystem være potensielle risikoer.	• Plassere batterirommet i området utenfor dimensjonerende eksplosjonstrykk	Ivaretatt av Innretningsforskriften og NORSOK S-001. Kommentar: Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon)	Ivaretatt av NMA Brannforskrift, DNVGL-OS-A101 og DNVGL-OS-D301 Kommentar: Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon)

5.3.1.3	Ekstern brann En brann i tilstøtende områder (tilknyttet f.eks. bore/prosessaktivitet) og brann i annet tilstøtende rom (ikke bore/prosess) kan medføre en økende risiko for overoppheting av batterirommet og dermed batterisystemet. Et overopphetet batterisystem vil kunne avgi elektrolyttgasser som er brennbare og eksplosive. Dersom batteriets interne celletemperatur overstiger 85°C (Li-ion NMC) vil det være en økende risiko for at en eller flere av cellene går inn i «thermal runaway».	• Plasseringen av batterirommet vekk fra områder med brannrisiko • Isolasjon av batterirommet tilsvarende A60 eller A0 med «kofferdam»	Ivaretatt av Innretningsforskriften og NORSOK S-001. Kommentar: Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område/område med høy brannrisiko og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon)	Ivaretatt av NMA Brannforskrift, DNVGL-OS-A101 og DNVGL-OS-D301 Kommentar: Det er ikke krav til avstand mellom eksplosjonsfarlig område/område med høy brannrisiko og batterirom. Dvs. at det er tillatt med batterirom inntil et bore eller prosessområde med enkelt vegg mellom (forutsatt at denne er dimmensjonert for brann og ekplosjon)
5.3.1.4	Kollisjon Risiko for mekanisk skade på batterisystemet eller vanninntrenging øker som følge av skipskollisjon (for eksempel PSV mot plattform/rig), kollisjon under transitt eller helikopterkollisjon	• Batterirommet bør plasseres i områder uten kollisjonsfare • På skipsformede offshore enheter bør batterirommet plasser bak kollisjonsskott.	Delvis ivaretatt i Styringsforskriften og Innretningsforskriften via krav til barrierestyring og opprettholdelse av hovedsikkerhetsfunksjoner. Kommentar: Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon	DNV GL BATTERY (SAFETY) krever plassering av batterisystemer bak kollisjonsskott. Kun delvis ivaretatt via krav til beskyttelse av hovedsikkerhetsfunksjoner. Kommentar: Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon

5.3.1.5	Fallende last Offshoreoperasjon kan innebære håndtering av last. Ved f.eks. kranoperasjon kan fallende last være en fare som potensielt kan skade batteriet.	• Løftebegrensninger over batterirom	Kun delvis ivaretatt i Styringsforskriften og Innretningsforskriften via krav til barrierestyring og opprettholdelse av hovedsikkerhetsfunksjoner. Kommentar: Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon	Kun delvis ivaretatt via krav til beskyttelse av hovedsikkerhetsfunksjoner. Kommentar: Et batterisystem vil ikke nødvendigvis defineres som en del av en hovedsikkerhetsfunksjon som skal opprettholdes under en ulykkessituasjon
	Risiko og tiltak for å hindre antennelse av batterier **Tiltak i batterirommet**			
5.3.2.1	Ekstern elektrisk overbelastning/kortslutning/lysbue Feil i elektrisk anlegg i tilknytning til batterisystemet kan medføre overbelastning og varmegang i batterisystemet. Tilsvarende vil feildimensjonering av elektrisk anlegg kunne medføre overbelastning i batterisystemet. Feil i elektrisk utstyr som ikke er direkte elektrisk tilkoblet batteriets system kan også representere en risiko ved at feil i dette utstyret kan medføre lokal varme/brann. Batterisystemet kan på den måten bli overopphetet.	• Begrense elektrisk utstyr som er plassert i batterirommet til et minimum • Tilknyttede elektriske utstyret bør tilpasses operasjonsområdet og elektriske karakteristika for batterisystemet	Ivaretatt av Innretningsforskriften med referanser. Kommentar: Innretningsforskriften har Ikke krav til å begrense elektrisk utstyr i batterirom	Ivaretatt av DNVGL-OS-D201 og BATTERY (SAFETY)
5.3.2.2	Temperatur En feil i batterirommets HVAC-anlegg kan medføre at batterisystemet ikke får tilstrekkelig kjøling og på den måten øker risikoen for at batterisystemet kan bli overopphetet.	• Overvåking av batteriromtemperatur med alarm • Unngå plassering av varmeavgivende utstyr i batterirommet	Ivaretatt av Innretningsforskriften med referanser	Ivaretatt av DNV GL BATTERY(SAFETY)

5.3.2.3	Ventilasjonssvikt (fortynning) Hvis batteriet begynner å avgi fordampet elektrolytt bør denne gassen fortynnes ved hjelp av ventilasjon. Ved små lekkasjer vil ventilasjonen håndtere de gasser som blir avgitt. Ved store lekkasjer f.eks. «thermal runaway» så vil det komme mye gass på engang og ventilasjonen kan bruke litt tid på å få fortynnet atmosfæren til under eksplosjonsfarlig nivå. Det er også viktig å merke seg at avgassene fra battericellene er lettere enn luft når gassen er varm, mens den er tyngre enn luft når gassen er kald. Svikt i ventilasjonsanlegget kan medføre at mulig farlig gass ikke blir fortynnet tilstrekkelig med påfølgende fare for oppsamling av eksplosiv og giftig gass.	• Kontinuerlig pålitelig ventilasjon	Ivaretatt av Innretningsforskriften med referanse til NORSOK S-001. Det er krav til ventilasjonssystem med høy pålitelighet (f.eks. redundans med 2x100%)	Delvis ivaretatt av DNV GL BATTERY (SAFETY) Kommentar: Det anbefales kontinuerlig ventilasjon, men tillater automatisk oppstart ved gassdeteksjon
5.3.2.4	Væskeinntrenging Væskeinntrengning i batterirommet vil kunne medføre at elektriske ledere kortsluttes eller at det oppstår krypstrømmer og jordfeil. Dette kan medføre lokal varmegenerering og/eller overutlading av batterisystemet med fare for overoppheting av battericeller.	• Ruting av rør med vann/væske gjennom batterirommet bør unngås • Lekkasjevakt bør benyttes i batterirommet ved bruk av væskekjølte batterier	Delvis ivaretatt av Innretningsforskriften med referanse til NORSOK S-001. Kommentar: Slukkesystem uten saltvann er beskrevet i Innretningsforskriften/ NORSOK S-001. Det er ikke identifisert begrensning på lokalisering av væeskefylte rør i batterieom.	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY), DNVGL-OS-D101
5.3.2.5	Elektromagnetisk forstyrrelse Elektromagnetiske forstyrrelser kan medføre feilfunksjoner av overvåkingssystem og av batteriomformer (lader). Dette kan medføre tap av sikkerhetsfunksjoner og/eller utilsiktede utkoblinger (utilgjengelig batterisystem).	• Bruk av utstyr som er elektromagnetisk kompatibelt	Ivaretattt av Innretningsforskriften	Ivaretattt av DNVGL-OS-D201 og DNVGL-OS-D202

	Risiko og tiltak for å hindre antennelse av batterier **Tiltak i batterisystemet**			
5.3.3.1	Battericelledefekter En battericelle med interne defekter kan eldes fortere. Celledefekter kan være forårsaket av unøyaktig produksjonsprosess, urenheter og designfeil. Battericellene vil over tid naturlig degenereres slik at frie Li-ioner vil gå over til å bli litiummetall på anoden (litium plettering). Det er da en mulighet at litiummetallet danner strømbaner som kan kortslutte anode og katode (litiummetall dendritter). Danning av litiummetall og dendritter kan også skje ved at en battericelle lades for mye ut og ved opplading ved lav temperatur. Interne defekter kan også representere en forhøyet fare for at cellen kan få en internkortslutning som i verste tilfellet kan lede til at battericellen går inn i «thermal runaway». Det er en generell bekymring at celledefekter kan utvikle seg over tid. Det er knyttet usikkerhet til om en eldre celle er like trygg som en ny battericelle (FFI, IFE, NTNU, HiST, 2017) .	• Det må sikres at batteriet produseres med høy kvalitet og at designet tar høyde for celledefekter. • Batteriets BMS må beskytte battericellene mot underspenning og lading ved lav temperatur.	InnretnIngsforskriften med referanser har ingen direkte krav til dette	Ivaretattt av DNV GL BATTERY(SAFETY) Kommentar: DNV GL BATTERY SAFETY dekker tekniske krav, men har ikke spesifikke krav til selve produksjonen av battericeller.
5.3.3.2	Støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering Støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering kan medføre at anoden og katoden kommer i kontakt med hverandre og på den måte lage en intern kortslutning i battericellen. Videre kan batterisytemets elektriske ledere komme i kontakt med hverandre med påfølgende fare for kortslutning og varmeutvikling. Elektriske ledere kan også komme i kontakt med jordpotensiale. En dobbel jordfeil vil kunne medføre krypstrømmer og kortslutninger som igjen kan forårsake	Batterisystemet bør plasseres slik at det ikke utsettes for støt, vibrasjon, sammenpressing og penetrering	Ivaretattt av Innretningsforskriften	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY), DNVGL-OS-D101

	varmeutvikling.			
5.3.3.3	Elektriske feil Kortslutninger, doble jordfeil, krypstrømmer og lysbuer er eksempler på elektriske feil som kan oppstå i et batterisystem. Elektriske feil kan forårsake varmegang og påfølgende oppvarming av battericeller.	• Kortslutningsbeskyttelse og overstrømsbeskyttelse • Isolasjonsovervåking	Ivaretattt av Innretningsforskriften med referanser.	Ivaretattt av DNVGL-OS-D201 og BATTERY (SAFETY)
5.3.3.4	Elektrisk sjokk Batterisystemet vil som oftest ha en spenning som er berøringsfarlig. Dette kan medføre skade på personell ved kontakt. Ledninger og plugger som frakobles/tilkobles kan lede høye DC-strømmer som medfører fare for lysbuesjokk med påfølgende skade på personell.	• Kortslutningsbeskyttelse og overstrømsbeskyttelse • Isolasjonsovervåking	Ivaretattt av Innretningsforskriften med referanser.	Ivaretattt av DNVGL-OS-D201 og BATTERY (SAFETY)
5.3.3.5	Overlading Lading med for høy spenning og strøm vil medføre for høy temperatur. Overlading med for høy strøm vil i tillegg kunne generere partielle utladinger (kortslutninger) internt i cellene slik at man kan ende opp med «thermal runaway» i en eller flere av cellene.	• Isolasjonsbryter som kan frakoble batterisystemet fra det tilstøtende elektriske anlegget. • Sammenkoblinger i batterisystemet bør kunne gjøres strømløse ved skifte av batterimoduler.	Ivaretattt av Innretningsforskriften med referanser	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY), DNVGL-OS-D101

5.3.3.6	Overbelastning og dyputladning Batterisystemet kan bli overbelastet dersom strømtrekket blir for høyt. Dette kan medføre at cellene blir for varme med fare for at battericellene slipper ut farlige gasser og/eller selvantenner. Det er også en risiko for at elektriske ledere (kabler, skinner etc.) kan bli overbelastet og det kan oppstå varmeutvikling som igjen kan overopphete battericellene. Dyputlading av cellene under designet spenningsnivå vil medføre redusert kapasitet i cellene og i det lange løp dannelse av litium dendritter som kan kortslutte battericellene.	• Korrekt dimensjonert batterisystem • Systemet utformet med overbelastningsbeskyttelse	Ivaretattt av Innretningsforskriften med referanser	Ivaretattt av DNVGL-OS-D201 og BATTERY (SAFETY)
5.3.3.7	Væskeinntrenging Vannlekkasje kan medføre elektriske feil og sette sikkerhetssystemene ute av drift.. Videre kan det i et verst tenkelige-scenario bli produseres hydrogen ved elektrolyse av konduktivt vann som igjen er eksplosiv.	• Batterisystemet beskyttet mot vannlekkasje ved hjelp av kapsling og design. • Ikke benytte saltvannsbaserte slukkesystemer.	Delvis ivaretatt av Innretningsforskriften med referanse til NORSOK S-001. Kommentar: Slukkesystem uten saltvann er beskrevet i Innretningsforskriften/ NORSOK S-001. Det er ikke identifisert begrensning på lokalisering av væeskefylte rør i batterieom.	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY), DNVGL-OS-D301, NMA Brannforskrift
5.3.3.8	Gassproduksjon (eksplosiv, giftig og korroderende) En battericelle som blir overopphetet vil kunne slippe ut elektrolyttgasser som kan være eksplosiv, giftig og korroderende. Mengde elektrolytt som frigis fra cellen(e) vil variere basert på spesifikk cellens design og kjemi.	• Utkopling av batterisystemet ved høy celletemperatur. • Automatisk start av ventilasjonsvifte, hvis mekanisk ventilasjon er påkrevd.	Ivaretattt av Innretningsforskriften med referanser	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY)

5.3.3.9	Thermal runaway En battericelle som blir overopphetet kan gå inn i «thermal runaway». Når en battericelle har gått inn i «thermal runaway» vil det være en risiko for at varmen avgitt fra denne cellen, kan spre seg til nabocellene som da også kan gå inn i «thermal runaway». Konsekvensen ved en slik hendelse er at hele batterisystemet kan gå inn i «thermal runaway».	• Batterimodulene bør konstrueres slik at «thermal runaway» i en battericelle ikke sprer seg fra celle til celle.	Ivaretattt av Innretningsforskriften med referanser	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY)
	Tiltak for å redusere konsekvens av thermal runaway **Tiltak på utsiden av batterirommet**			
5.4.2.1	Gassutslipp (eksplosiv, giftig, korroderende) fra batterirom Hvis det oppstår et gassutslipp (elektrolyttgass) fra batterirommet så kan naboområder eksponeres med eksplosiv, giftig og korroderende gass fra batterirommet.	• Alle ventilasjonsåpninger fra batterirommet bør være i sikre områder med minimum 1,5 meter klaring til annet elektrisk utstyr eller døråpninger.	Ivaretatt av Innretningsforskriften med referanse til NORSOK S-001 Kommentar: Krav i Innretningsforskriften/ NORSOK S-001 om at ventilasjonsutløp skal lokaliseres i sikkert område. Ikke krav til at det ikke skal være elektrisk utstyr i nærheten av utløpet. For innstallasjoner på norsk sokkel benyttes det normalt Ex utstyr i naturlig ventilerte områder.	Ivaretattt av DNV GL BATTERY (SAFETY)

5.4.2.2	Brann og eksplosjon fra batterirom Brann fra batterirom kan uten tilstrekkelig barriere spre seg til naborom, og dermed eskalere situasjonen til en større brann ombord innretningen. I verste tilfelle kan batteribrannen lede til antennelse av gasser hvilket i sin tur kan føre til en eksplosjon. Antennelse av gasser kan skje i rommet eller i ventilasjonskanaler der gassen naturlig vil samles utenfor rommet.	• Batterirommet bør bestå av strukturelle skott, eller skiller av tilsvarende styrke. • Essensielt utstyr bør ikke plasseres i batterirom, unntatt nødvendig batteri-elektrisk utstyr. • Brannskiller i likhet med oljefyrte maskinrom er anbefalt. • Brannskiller av minimum A-60 mot andre maskinrom og rom med farlig gods.	Delvis ivaretatt av Innretningsforskriften/ NORSOK S-001. Kommentar: Det er krav til krav til A-0 eller A-60 skott rundt batterirom (avhengig av funksjonen til tilstøtende områder). Det er ikke krav til at essensielt utstyr ikke skal lokaliseres i batterirom.	Ivaretatt av DNV GL BATTERY (SAFETY), NMA Brannforskrift, DNVGL-OS-D301 Kommentar: NV GL BATTERY (SAFETY), NMA Brannforskrift og DNVGL-OS-D301 stiller krav til A-0 eller A-60 skott rundt batterirom (avhengig av funksjonen til tilstøtende områder). BATTERY SAFETY har krav til lokasjon av essensielt utstyr.
	Tiltak for å redusere konsekvens av thermal runaway **Tiltak i batterirommet**			
5.4.3.1	Gassproduksjon (eksplosiv giftig korroderende) i batterirommet Battericellene kan avgi elektrolytt i gassform når de blir varme og opereres utenfor designet område eller ved operasjon utenfor sikkert bruksområde. Hvis ventilasjonsanlegget er underdimensjonert eller ved en feil i ventilasjonsanlegget kan denne gassen konsentrere seg til en eksplosiv, giftig og korroderende blanding i rommet. Gassproduksjon medfører risiko for eksplosjon, brann og/eller forgiftet mannskap.	• Minimum kapasitet for avgass-ventilasjon, 6 ACH. • Gnistfrie ventilasjonsvifter (fratrekk). • Automatisk oppstart eller kontinuerlig operasjon av dedikert ventilasjonsanlegg. • Gassdeteksjon der avgass fra battericellen kan akkumulere. • Temperaturoveraking i batterisystemet. • Benytte EX sikkert utstyr i taket med minimum temperaturklasse T2 og beregnet for gassgruppe C hvis avgass fra battericellen kan spre seg utenom batteri-kabinettene. • Propageringstestet batterisystem for å begrense TR til enkelte celler, cellepar eller	Ivaretatt av Innretningsforskriften/ NORSOK S-001. Kommentar: Det er krav til ventilasjonsrate ihht beregninger (som tar hensyn til intern lekkasje), kontunierlig ventilasjon og redundant system. Det er ikke krav til Ex utstyr i taket, men det kreves automatisk utkobling av elektrisk utstyr og at HVAC i batterirom ikke skal stenges ved intern gassdeteksjon	Ivaretatt av DNVGL BATTERY SAFETY, DNVGL-OS-D101

		batterimoduler.		

5.4.3.2	Eksplosjon De brennbare avgassene fra battericeller kan antennes når oksygen er tilsted. Fordampet elektrolytt er brennbar selv i romtemperatur mens selvantennelsestemperaturen ligger typisk på over 400°C. I forbindelse med «thermal runaway» i battericeller så kan temperaturen internt i avgassen passere 400°C (kanskje opp mot 1000°C). Det betyr at batteri gassen kan antenne seg selv. I en «thermal runaway»-situasjon er gassen varm og vil stige opp i rommet. Det er i denne situasjonen at det kan ta litt tid før ventilasjonen har fortynnet luften i rommet til under eksplosjonsfarlig nivå. Det er også vært å merke seg at Li-ion battericeller vil kunne frigjøre litt oksygen når de er i «Thermal Runaway» vilket medfører at brannene kan være vanskelig å slukke. Frigjørelsen av oksygen fra battericellene medfører ikke opphopning av oksygen i rommet.	• Ventilasjonen med avsug i taket. • Mekanisk ventilasjon, med nødvendig luftutskiftinger i timen, bør i minimum være dimensjonert etter mengde gass som kan oppstå ved interne feil i batteriet. Beregnet mengde gas bør hensynta størrelse, og den spesifikke kjemien, av battericellene. • Benytte EX sikkert utstyr i taket med minimum temperaturklasse T2 og beregnet for gassgruppe C. • Gnistfrie ventilasjonsvifter (fratrekk).	Delvis ivaretatt av Innretningsforskriften/ NORSOK S-001, H-003. Kommentar: Implisitt krav til avsug i tak via referanse til NORSOK H-003 and ISO 15138 Det er krav til ventilasjonsrate ihht beregninger (som tar hensyn til intern lekkasje), kontunierlig ventilasjon og redundant system. Det er ikke krav til Ex utstyr i taket, men det kreves automatisk utkobling av elektrisk utstyr og at HVAC i batterirom ikke skal stenges ved intern gassdeteksjon. Det er ikke beskrevet kriterier for hvordan lekkasjerate fra batteryer skal beregnes.	Ivaretatt av DNVGL BATTERY (SAFETY), DNVGL-OS-A101

5.4.3.3	Brann Risiko for batteribrann kan komme av flere indentifiserte risikoelementer, inkludert gasslekkasje som antenner og medfører brann, thermal runaway (TR), mekanisk skade på batterier og komponenter, eksplosjon grunnet akkumulert avgass, eller kortslutning.	• Avledning av varme gasser må konstrueres i batterisystemet. • Slukkemiddel med mulighet til ekstern kjøling av batteri-installasjonen er anbefalt dersom passive barrierer mislykkes. Vannbaserte slukkesystemer er anbefalt for best mulig termisk konduktivitet og kan opereres sammen med nødvendig ventilasjon for å begrense akkumulering av eksplosjonsfarlige gasser. • A60 brannskiller er rekommandert mot andre maskinrom eller mot evakueringsområder. • Branndeteksjon (røykvarsler) • Varmedeteksjon eksternt fra batterisystemets innebygde overvåking. • IP44 eller høyere klassifisering for vanninntrenging av batterimoduler, hvis vannbaserte slukkemiddel er brukt.	Ivaretatt av Innretningsforskriften/ NORSOK S-001, H-003. Kommentar: Ikke eksplisitt krav til avledning av varme gasser, uklart hvordan dette skal håndteres dersom ventilasjon stoppes. Kun krav til standard romslukkesystem. Ikke tilpassede krav for slukkesystemer i batterirom, det benyttes krav til slukkesystemer som for f.eks. maskinrom.	Delvis ivaretatt av DNVGL BATTERY (SAFETY), NMA Brannforskriften, DNVGL-OS-A101. Kommentar: Beskriver ikke hvordan varme gasser skal avledes dersom HVAC stoppes. Ikke tilpassede krav for slukkesystemer i batterirom, det benyttes krav til slukkesystemer som for f.eks. maskinrom

Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer. Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.