

TEMA

Risikovurdering og håndtering av brann i Litium-ion batterier

Veileder for brann- og
redningsvesen

Versjon 1 – November 2021



Risikovurdering og håndtering av brann i Litium-ion batterier

Veileder for brann- og redningsvesen

Versjon 1 – November 2021

	Sammendrag	5
1	Innledning	7
	1.1 Opplæring	8
	1.2 Risikonivåer	9
2	Oppbygning	17
	2.1 Sikkerhetssystem BMS.....	19
	2.2 Thermal runaway	20
	2.3 årsaker til brann og thermal runaway.....	21
	2.4 Brannforl�pet i et litium-ion batteri.....	23
3	Farer	25
	3.1 Farer	26
4	Håndtering	29
	4.1 Slokkemetode.....	30
	4.2 Gassdeteksjon.....	33
	4.3 Vernebekledning.....	33
	4.4 CBRNE	34
	4.5 Gassdeteksjon.....	35
	4.6 Miljøkonsekvenser.....	36
	4.7 Forkortelser og begreper	37
	4.8 Publisering og kurs	37
	Vedlegg	39
	Vedlegg 1: Batteriteknologi på cellenivå	40
	Vedlegg 2: Deteksjon.....	42
	Vedlegg 3: Merking.....	44
	Vedlegg 4: El-biler.....	46
	Vedlegg 5: Hendelser.....	47
	Vedlegg 6: Lover og forskrifter	53
	Vedlegg 7: Lading	55
	Litteratur og lesetips	57

SAMMENDRAG

Denne veilederen er tilpasset brann- og redningsetatene i Norge. Den omhandler risiko og tiltak for å slukke brann i litium-ion batterier (LIB).

Veilederen omhandler branner som omfatter Thermal runaway i en eller flere battericeller. Den opererer med fire risikonivåer, fra enkle og små branner i batteri, til kompliserte og risikofylte operasjoner i store batterisystemer. Det går et skille mellom risikonivå både når det gjelder størrelse på batteriet, men også om en termisk hendelse skjer utendørs eller i lukket rom. Denne risikoforståelsen kan være kritisk for innsatsmannskaper fra brannvesen. Innsatser må være basert på kunnskap, ikke flaks og tilfeldig håndtering av risiko.

Risikonivåene beskrives først. Her finnes praktiske råd og tiltak som kan danne grunnlag for det enkelte brannvesen, slik at de kan lage sine egne innsatsprosedyrer eller tiltakskort. Deretter kommer en litt grundigere beskrivelse av LIB. Helse, miljø og sikkerhet (HMS) har fått plass, likeledes slökkemidler og miljøutfordringer.

For den som ønsker å lese mer om LIB finnes det sju vedlegg som går grundigere inn i ulike elementer som batteriteknologi på cellenivå, deteksjon, merking og hendelser.

Til slutt er det litteraturhenvisninger og lenker til ulike kilder med tilgang til ytterligere fordypning.

Dette er første utgave utgitt høsten 2021. Endringer og nyeste versjon vil bli publisert ved behov på dsb.no og nbsk.no.

ARBEIDSGRUPPE

Veilederen er utarbeidet av en arbeidsgruppe bestående av personer fra større norske brannvesen, Norges Brannskole og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

- Oslo brann og redningsetat ved Jørn Kjetil Kristiansen og Astrid Lyngedal Rydholt
- Bergen brannvesen ved Sveinung Sivertsen og Kurt Tofte Rusås
- Trøndelag brann og redning ved Ole Ludvigsen
- Rogaland brann og redning ved Svein Thelin Knutsen
- Drammensregionens brannvesen IKS ved Ove Frydenberg og Henrik Trømborg
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap ved Jostein Ween Grav
- Norges Brannskole ved Tor Fure

Faglig gjennomsyn

Veilederen har vært til faglig gjennomsyn hos Forsvarets forskningsinstitutt ved Sissel Forseth, Gylling Teknikk AS ved Erik Karlberg og Jørgen Løvli, NELFO ved Marie Koldrup. Takk for gode innspill.



KAPITTEL

01

Innledning

INNLEDNING

De siste årene har det vært en stor økning i bruken av litium-ion batteri (LIB) som energibærer i transportsektoren og i form av energilagring i boliger, næringsbygg, byggeplasser mm.

LIB-teknologien er god og sannsynligheten for branner i LIB er lav, men det er allerede sett flere eksempler på denne typen branner. Det er gjort en del erfaring med å håndtere disse. Det er et stort behov for å øke kunnskapen rundt håndtering av denne typen hendelser.

I Norge begynner det å bli stor utbredelse av batteridrevne fremkomstmidler og energiproduserende kilder som er tilkoblet batterisystemer. Disse bruker i hovedsak LIB som energilagring.

Man finner LIB bokstavelig talt overalt. Millioner av de minste batteriene i klokker, PCer, el-sykler osv. Større batterimoduler finnes i både elbiler og hybridbiler, elektriske ferger og hybridferger. Per juli 2021 er det omtrent 450 000 helelektriske biler og ca. 300 elektrifiserte fartøy i Norge.

Batterisystemer i bygninger kommer for fullt, gjerne i kombinasjon med solcelleanlegg. Foreløpig flest bly-syre-batterier, men LIB kommer også her.

LIB-teknologien er dominerende, batteriene har høy energitetthet og koster mindre enn før. Men til forskjell fra de eldre typene batterier som bly-syre, alkaliske og faststoffbatterier er LIB en større utfordring for brannvesenet. Nye typer faststoffbatterier kommer også.

Fagsamlingen i Bergen 2020, etter eksplosjonen på MS Ytterøyningen, samlet flere fagmiljøer og myndigheter. Det satte fart i arbeidet med fokus på sikkerheten rundt batteribranner. Kompetansen på området branner i LIB er under utvikling i hele verden. Norge er med på dette, i mange sammenhenger er Norge i front.

Hvis det går galt, er brann- og redningsvesenene i Norge avhengige av å kunne håndtere hendelsen. Veilederen påpeker likevel at brannvesenet har begrenset kapasitet for å slukke batteribranner, større branner lar seg ikke slukke, eller bør ikke alltid slukkes.

Slike branner er fortsatt uvanlige, det er svært få som har erfaring å støtte seg på. Batteriteknologien er under utvikling og det vil komme større og større batterisystemer i årene som kommer.

Målsetting med veilederen

Veilederen er ment å gi brann- og redningsvesen i Norge et faglig grunnlag for å lage egne interne prosedyrer eller retningslinjer for innsats. Veilederen beskriver fire ulike risikonivåer. Tiltakskort må tilpasses egen organisasjon med tanke på kapasiteter, kompetanse, utstyr m.m. Helst gjennom egne ROS-analyser, beredskapsanalyse, beredskapsplan og tiltakskort/ innsatsplan i eget brannvesen.

Veilederen er ikke uttømmende. En fullstendig oversikt over utfordringene med LIB er ikke mulig på nåværende tidspunkt. Beste praksis beskrives, men alle med ansvar for å håndtere den aktuelle hendelsen må gjøre selvstendige vurderinger. Målet er at veilederen kan inspirere, gi kunnskap og sette i gang forberedende aktivitet.

Det anbefales å lese hele veilederen fram til vedleggene før man tar i bruk tiltakskortene. Disse må tilpasses og kvalitetssikres i eget brannvesen, basert på aktuell risiko. En oversikt over brukte forkortelser og begreper fins på side 37.

Målgrupper

Ledere, innsatspersonell og forebyggende personell i norske brann- og redningsvesen. Operatører i 110-sentraler.

1.1

OPPLÆRING

Veilederen forutsetter at leseren har en grunnkompetanse fra brannvesenet.

Veilederen har til hensikt å gi innsatspersonell kunnskap om farer og utfordringer slik at dette kan håndteres på en sikker og effektiv måte. Veilederen vil gi økt kunnskap vedrørende eksplosjonsrisiko, brannfarlige og giftige gasser samt farene som er i tilknytning til elektrisitet.

Håndtering av brann i Litium-ion batterier er en relativt ny utfordring for brannvesenet og er hendelser det er knyttet en stor grad av usikkerhet til. Potensielt kan det være farlig å håndtere disse hendelsene uten rett kunnskap. Det er derfor viktig at alle brannvesen får opplæring i håndtering av brann i batterier.

Veilederen er ment å være til hjelp ved utdanning ved Norges brannskole.

1.2

RISIKONIVÅER

Innsatser mot branner i Litium-ion batterier deles i fire risikonivåer:

- Nivå 1: Enkle og små branner i PCer, mobiltelefoner, el-sykler, el-sparkesykler og lignende.
- Nivå 2: Elbiler, hybridbiler, busser eller tilsvarende som er utendørs.
- Nivå 3: Branner i elbiler, busser eller tilsvarende innendørs (f.eks. garasje). Energilagring i hus eller industri og lignende.
- Nivå 4: Batteribrann i helelektrisk eller hybrid fartøy, større bygg/energilagringssystemer, som krever store, kompliserte og risikofylte innsatser.

For hvert av risikonivåene beskrives tiltakene etter 7-trinnsmodellen. Det forutsettes at 7-trinnsmodellen er kjent.

Veilederen forutsetter at batteriet er involvert i brannen og at Thermal runaway (TR) har startet i en eller flere battericeller. Det betyr at hendelser der LIB ikke selv brenner, eller ikke er i fare for å bli en del av risikobildet, oppfattes som en «normal» brann. Denne typen hendelser håndteres på normal måte og omhandles ikke her.

RISIKONIVÅ 1

Eksempel på hva som brenner: PCer, mobiltelefoner, el-sykler, el-sparkesykler, ståbrett eller tilsvarende.

Branner i slikt utstyr skal alle brannvesen kunne håndtere, flere kan også håndteres av sivile forutsatt at de ikke eksponeres for farlig brannrøyk.

RISIKONIVÅ 2

Eksempel på hva som brenner: Elbiler, hybridbiler, busser eller tilsvarende som er utendørs. Brannvesen håndterer hendelsen.

RISIKONIVÅ 3

Eksempel på hva som brenner: Batteri energilagringssystem (BESS), elbiler, busser eller tilsvarende i garasje/legg. Energilagring i hus eller industri, batteribrann i tunell uten ventilasjon eller tilsvarende hendelser.

Denne type brann krever at brannmannskapene som håndterer hendelsen har en grunnkompetanse i håndtering av batteribrann. Det kan være en risiko for liv og helse ved håndtering av disse hendelsene.

RISIKONIVÅ 4

Eksempel på hva som brenner: Batteribrann i helelektrisk eller hybrid fartøy, større bygg som f.eks. sykehus og større energilagringssystemer.

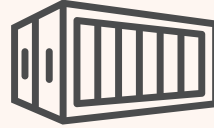
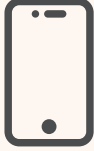
Dette er krevende branner og en slokkeinnsats vil kreve kompetanse av spesialtrent brannmannskap. Disse må ha opplæring og ha øvd på håndtering av batteribrann. Det anbefales at predefinerte ressurser varsles. Dette kan være RITS-kjem-brannvesen eller CBRNE-grupper.

Avstander og sikkerhetssoner må etableres. Vanlig standard vil være 300 meter pga. eksplosjonsfaren.

Alle tiltak, utenom livreddende innsats, forutsetter at brannvesenet har kontroll på risikomomenter knyttet til HMS, særlig eksplosjonsfare, elektrisk fare og tilstrekkelig ressurstilgang for å drifte innsatsen over tid.

Brann i Litium-ion batterier

Risikonivåer



NIVÅ 1	NIVÅ 2	NIVÅ 3	NIVÅ 4
Brann i mindre LIB	Brann i større LIB	Brann i større LIB, lukket rom	Brann i større LIB ombord i et fartøy eller større bygg
<ul style="list-style-type: none"> • Mobiltelefon • El-sykkel • PC • El-sparkesykkel 	<ul style="list-style-type: none"> • El-biler • El-busser • El-lastebiler • El-anleggsmaskiner og batteribanker for lading av disse 	<ul style="list-style-type: none"> • El-bil i garasjeanlegg • El-bil i tunnel uten ventilasjon • Energilagring, kontainer (ESS) • Batterilagring i hus og industri 	<ul style="list-style-type: none"> • Helelektrisk eller hybrid fartøy • Bygg med store batteri-banksystemer, sykehus
Lav risiko	Lav til middels risiko	Middels til høy risiko	Høy risiko
<p>Slokkeinnsats kan utføres av sivile, forutsatt at man ikke eksponeres for farlig brannrøyk. Brannvesenet bør kontrollere hendelsen.</p>	<p>Slokkeinnsats skal utføres av brannvesenet. Kan kreve store mengder vann (over 10 000 liter) og innsats over tid.</p>	<p>Slokkeinnsats vil kreve riktig kompetanse i form av opplæring i batteribrann.</p>	<p>Slokkeinnsats vil kreve kompetanse av spesialtrent brannmannskap i form av RITS-gruppe eller CBRNE-enhet som har opplæring i, og er trent på, håndtering av batteribrann. Stab etableres. Innhente ressurspersoner.</p>

Risikonivå 1

Brann i mindre Litium-ion batterier

TRINN 1

Les ulykken og gjør en risikovurdering.

Risikovurdering:

- Høy brannspredningsfare.
- Inhalasjon av farlig brannrøyk.
- Høy temperatur i brannen.
- Små eksplosjoner i battericeller kan forekomme.

Hendelsesutvikling:

- Batterier kan spontant ventilere mye gass uten forvarsel.
- Batterier kan spontant selvantenne uten forvarsel.
- Kan brenne over lengre tid enn mer vanlige materialer.

TRINN 2

Finn mulige tiltak.

Ressurstilgang:

- Her vil innringer kunne foreta en førsteinnsats, forutsatt at hen ikke eksponeres for brannrøyk. Bruk tilgjengelig slökkemiddel, husbrannslange, håndsløkker, brannteppe eller lignende.
- Brannvesenet vil kunne foreta en sikker og god innsats med en sløkkeenhet/brannbil.

TRINN 3

MMI og taktisk plan.

Mål med innsats:

- Hindre brannspredning.
- Hindre eksponering av farlig brannrøyk.

Beskyttelsesnivå:

- Normal bekledning forutsatt at man befinner seg i røykfri omgivelse.
- Normal brannbekledning.

Taktisk plan:

- Vann er et godt egnet slökkemiddel for å slokke mindre batteribranner.
- LIB som brenner kan være vanskelig å slokke, bruk rikelig med vann eller putt batteriet i en beholder med vann.
- Andre slökkemidler som skum, pulver og brannteppe kan benyttes, men vil ha en lavere kjøleeffekt.
- Batteriet flyttes til trygt område hvor en eventuell selvantenne ikke vil kunne medføre en spredningsfare.
- Mindre batterier kan uskadeliggjøres ved å legge dem i en beholder med saltvann. Det både kjøler og utlader batteriet langsomt.

Risikonivå 2

Brann i større Litium-ion batterier

TRINN 1

Les ulykken og gjør en risikovurdering.

Risikovurdering:

- Høy brannspredningsfare.
- Inhalasjon av farlig brannrøyk.
- Høy temperatur i brannen.
- Små eksplosjoner i battericeller kan forekomme.
- Elektrisk fare.

Hendelsesutvikling:

- Batterier kan spontant ventilere mye gass uten forvarsel.
- Batterier kan spontant selvantenne uten forvarsel.
- Kan brenne lenge.

TRINN 2

Finn mulige tiltak.

Ressurstilgang:

- Slukking/nedkjøling av brann i større LIB krever tilgang til store mengder vann. Vurder vanntilførsel, ta med vanntank om nødvendig.
- Sivile anbefales ikke å starte slukking.

TRINN 3

MMI og taktisk plan.

Mål med innsats:

- Hindre brannspredning.
- Hindre eksponering av farlig brannrøyk.

Beskyttelsesnivå:

- Ordinær brannbekledning med fullstendig åndedrettsbeskyttelse.

Taktisk plan:

- Kloss opp kjøretøy for å unngå selvkjøring.
- Avbryt ekstern strømkilde hvis kjøretøyet står på lading. Se for eksempel Crash Recovery/Euro Rescue for info om aktuelle kjøretøy.
- Utløs stoppbryter på lader hvis den finnes. Hvis ekstern strømkilde ikke er brutt, skal brannen regnes som brann i strømførende installasjon. Bruk riktig verneutstyr (1000-volthansker).
- Bruk rikelig med vann for å slukke/nedkjøle batteribrannen. Ved el-bil brann er underspyling mest effektivt.
- Brannteppe kan benyttes for å dempe røykproduksjon, hindre brannspredning og slukke interiørbrann. Bør brukes i kombinasjon med kjøling på undersiden.
- Trekk eventuelt kjøretøy vekk for å hindre brannspredning.
- Aldri klipp, kutt eller skjær i batteriet for å komme til med slukkevann.
- Bruk vifte for å få kontroll på røyken.
- Kjøretøy som har vært utsatt for brann/kollisjon kan selvantenne.
- Varmgang i batterier er vanskelig å måle da batterier er godt innkapslet og beskyttet av deksler.
- Transporter kjøretøy til egnet sted med minst 10 meter avstand fra annet brennbar materiale.
- Unngå tuneller, vurder å følge bergingsbil.
- Opplys bergingsbil om faren for ny intern kortslutning i batteriet og re-antennning.

Risikonivå 3

Brann i Litium-ion batterier, lukket rom

TRINN 1

Les ulykken og gjør en risikovurdering.

Risikovurdering:

- Fare for gasseksplosjon.
- Høy brannspredningsfare.
- Fare ved inhalasjon av giftig brannrøyk.
- Fare for etseskade.
- Fare for kortslutning i batteri, høy kortslutnings-effekt og lysbuedannelse.
- Fare for strømgjennomgang.
- Er gassen over LEL? Ser du flammer er det liten eksplosjonsfare.

Skadestedsfaktorer:

- *Brannen:* Ved batteribrann i lukket rom vil brann-gasser uten fullstendig forbrenning kunne samles og danne en eksplosiv atmosfære. Selv små batterier ventilerer mye gass og vil kunne utgjøre en risiko.
- Vurder grad av innkapsling opp mot brennbarhets-området.
- *Omgivelse/bygningen:* Vurder spredningsfare.
- *Mennesker:* Evakuer.

TRINN 2

Finn mulige tiltak.

Umiddelbare tiltak:

- Evakuering, ingen personer uten beskyttelse i nærheten av batteribrannen.
- Synlig brann kjøles og slokkes med vann.

Mulige tiltak:

- Start kjøling, hvis det er trygt < LEL.
- Start ventilering, hvis det er trygt < LEL.

Ressurstilgang:

- Kompetent brannmannskap med opplæring i batteribrann.
- En større batteribrann vil kreve store mengder vann, vurder adressen opp mot tilgjengelig vannforsyning.
- Innhent ressurspersoner.

TRINN 3

MMI og taktisk plan.

Mål med innsats:

- Forhindre eksplosjon.
- Unngå personskade.
- Hindre brannspredning.
- Hindre eksponering av farlig brannrøyk.

Beskyttelsesnivå:

- Ordinær brannbekledning med fullstendig åndedrettsbeskyttelse.
- Vurdere bruk av splash/kjemikalieverndrakt ved entring av batterirom.

Entring av batterirom:

- Entering av batterirom skal **ikke** gjennomføres før man har fullstendig oversikt over gass-konsentrasjon i rommet.
- Benytt alltid fullstendig verneutstyr.
- Varmepåvirket batteri kan spontant selvantenne.
- Varmepåvirket batteri kan spontant ventilere store mengder farlig gass.
- Ikke berør batterier da disse er strømførende.
- Gasser kan samles i lavere deler av konstruksjonen også utenfor batterirommet.

Taktisk plan:

- Defensiv tilnærming til man har fått en fullstendig oversikt over eksplosjonsfarlige gasser i rommet.
- Utfør deteksjon med tilpasset deteksjonsutstyr (Ex måleinstrument).
- Eksplosjon forekommer sjelden under brann. Ser du flammer har du kontroll på situasjonen. Eksplosjonsfarlige gasser brenner opp.
- Ved garasje- og husbrann, vurder bruk av skjær-slokker/tåkespiker for å senke eksplosjonsfaren.
- Ikke bruk skjær-slokker/tåkespiker direkte på/i batterier da dette kan kortslutte batteriet internt.
- Pass på at branngasser ikke ventileres til område hvor det oppholder seg personer.

Etterslukking av batteribrann:

- Slokkevann kan ha en høy PH verdi (Basisk med PH 8-14).
- Kjøøl batterier med store mengder vann.
- Batterirom overvåkes ved å monitorere gasskonsentrasjonen i rommet. Bruk kalibrert Ex-måleinstrument.
- Start vedvarende ventilering av batterirom.
- Utstyr og bekledning som har vært eksponert for røyk skal saneres etter bruk.

Risikonivå 4

Brann i større Litium-ion batterier om bord i et fartøy eller større bygg

TRINN 1

Les ulykken og gjør en risikovurdering.

Risikovurdering:

- Stor fare for gasseksplisjon.
- Fare for inhalasjon av giftig brannrøyk.
- Fare for etseskade.
- Fare for kortslutning i batteri, høy kortslutningseffekt.
- Fare for strømgjennomgang.

Skadestedsfaktorer:

- *Fartøyet/bygningen*: Type fartøy/type bygg.
- *Brannen*: Påvist TR eller brann i batterirom?
- *Posisjon*: Ligger fartøyet til kai eller er fartøyet til havs.
- *Mennesker*: Antall passasjerer og besetning. Passasjerer med bistandsbehov gir ekstra utfordringer.
- *Vær*: Vurder værforhold.

TRINN 2

Finn mulige tiltak.

Umiddelbare tiltak:

- Informere besetning/ansatte om potensielle farer.
- Vurdere å løse ut fartøyets/byggets slokkesystem.
- Start evakuering.
- Vurdere å isolere batterirommet.

Mulige tiltak:

- Start kjøling, hvis det er trygt < LEL.
- Start ventilering, hvis det er trygt < LEL.
- Få informasjon fra fartøyets/byggets overvåkings-system.

Ressurstilgang:

- Slokkeinnsats vil kreve kompetanse av spesialtrent brannmannskap i form av RITS gruppe eller CBRNE enhet som har opplæring i og er trent på håndtering av en batteribrann.
- Etabler kommunikasjon med HRS.
- Etabler kommunikasjon med fartøy/kaptein.
- Innhent ressurspersoner.
- Kontakt produsent av batteriinstallasjonen.

TRINN 3

MMI og taktisk plan.

Mål med innsats:

- Forhindre eksplosjon.
- Unngå personskade.
- Hindre brannspredning.
- Hindre eksponering av farlig brannrøyk.

Beskyttelsesnivå:

- Ordinær brannbekledning med fullstendig åndedrettsbeskyttelse.
- Vurdere bruk av splash/kjemikalieverndrakt ved entring av batterirom.

Taktisk plan:

- Skaff informasjon fra fartøyets/byggets overvåkningsystem, Battery Management System (BMS). Overvåk celledemperaturer og cellespenning. I noen tilfeller kan denne avleses eksternt. Kontakt batteriprodusenten.
- Alarmsystemet kan være knyttet opp mot gassensorer og videoovervåking.
- Skaff plantegning og vurder spredningsfare.
- Pass på at branngasser ikke ventileres til område hvor det oppholder seg personer.
- Vurder å løse ut fartøyets slokkesystem om dette ikke er utløst.
- Unngå å tilføre oksygen om batterirommet er lukket.
- Om mulig utfør deteksjon med tilpasset deteksjonststyr (Ex-måleinstrument).
- Eksplosjon forekommer sjelden under brann. Ser du flammer har du kontroll på situasjonen. Eksplosjonsfarlige gasser brenner opp.
- Utskifting av branngasser med inertgass (Fra UEL til LEL).
- Unngå bruk av saltvann.
- Kortslutning i batteriinstallasjonen kan forekomme selv ved bruk av rent vann.
- Vannet binder partikler som aske, sot, salter og metallpartikler som gjør det ledende, bruk store mengder vann.

Entring av batterirom:

- Entring av batterirom skal ikke gjennomføres før man har fullstendig oversikt over gasskonsentrasjon i rommet.
- Benytt alltid fullstendig verneutstyr.
- Varmepåvirket batteri kan spontant selvantenne.
- Varmepåvirket batteri kan spontant ventilere store mengder farlig gass.
- Ikke berør batterier da disse kan være strømførende.
- Gasser kan samles i lavere deler av konstruksjonen også utenfor batterirommet.

Etterslukking av batterirom:

- Slokkevann kan ha en høy pH verdi (basisk pH 8-14).
- Kjøl batterier med store mengder vann.
- Batterirom overvåkes ved å monitorere gasskonsentrasjonen i rommet. Bruk kalibrert Ex-måleinstrument.
- Start vedvarende ventilering av batterirom.
- Utstyr og bekledning som har vært eksponert for røyk skal saneres etter bruk.

TRINN 4

Organiser skadested og velg KO.

Skadestedsorganisering:

- Ved fartøy under seilas, vurder tilgang til fartøy, kan fartøy fraktes til kai eller må innsatspersonell bli fraktet til fartøyet?
- Vurder plassering av fartøy. Viktige faktorer; Mulighet for evakuering av personell, tilkomst for innsatspersonell, kan bebyggelse rundt kaianlegg bli eksponert for røyk/eksplosjon?
- Er nødhavn tilgjengelig?
- Er det behov for tiltak mot akutt forurensning?

Ledelsestøtte:

- Kontakt ressurspersoner; Andre brannvesen, kjentmann på stedet, Forsvaret, marine ressurser, batterisystemleverandør.

KAPITTEL

02

Oppbygning

OPPBYGNING

Det skilles mellom battericeller, batterimoduler, batterirack, batteripakker og batterisystemer. I dagligtale er dette ofte blandet sammen.

Den grunnleggende enheten kalles battericelle. En battericelle består av en anode og en katode adskilt av en separator som ligger i en flytende og brennbar elektrolytt. En battericelle har normalt et spenningsnivå mellom 3,0 og 4,2 volt.

En batterimodul består av en rekke sammenkoblede battericeller og kan inneholde kjølesystem, temperaturovervåking og sikkerhetssystemer. Noen batterimoduler har egen BMS.

Et batterirack består av flere sammenkoblede batterimoduler. I batteriracket finner man flere sikkerhetssystemer som kan inneholde sikringer, sensorer, detektorer, kommunikasjonssystemer og BMS. Noen batterirack har også eget eksossystem som skal lede gass fra batterimodulene ut i friluft

Flere batterirack som blir sammenkoblet via en samleskinne danner en batteripakke. Når en batteripakke blir sammenkoblet med et overordnet styringssystem får vi et batterisystem.

Kapsling av batterier

For å beskytte batterier mot ytre skader og påvirkninger benyttes det beskyttelsesplater og kapslinger. Innkapslingen av batteriene utgjør en utfordring, denne vil hindre slokkemidler og kjøling i å nå frem til cellene. På grunn av innkapslingen rundt batteriene er det vanskelig å kjøle til under kritisk temperatur.

Bruk av IR-kamera vil ha mindre verdi ved en batteribrann da innkapslingen gjør det svært vanskelig å måle temperaturutviklingen i og rundt battericellene. Men IR-kamera kan benyttes for å måle temperaturendringer. Økende temperatur tyder på pågående kjemisk prosess i batteriene som danner varme, over tid kan dette skape TR. Synkende temperatur kan indikere at situasjonen stabiliseres.

Batterier i kjøretøy blir plassert ulikt, f.eks. under bunnplaten, mellom kupe og bagasjerom eller integrert i gulvet under seter. Lastebiler kan ha batteripakkene på siden av rammen eller i midten av rammen.

Noen bilfabrikanter har laget åpninger for slukking, såkalte "Firemans Access." Dette er åpninger som er beregnet for innsats ved at man har mulighet for å tilføre vann eller annet slokkemiddel direkte rundt batteriene. For å vite hvilke bilmodeller dette gjelder kan man benytte apper som Crash Recovery System eller Euro Rescue.

Det er ikke standardiserte påkoblinger for tilførsel av slokkemidler, hverken i biler, båter eller store energilagere (BESS).



FIGUR 1. Battericelle, batterimodul og batterirack. Kilde: Siemens.



Batterisystem. Kilde: <https://www.europower-energi.no>.

2.1

SIKKERHETSSYSTEM BMS

Battery Management System (BMS) er det viktigste sikkerhetssystemet til et Litium-ion batteri. Det har som oppgave å overvåke at batteriet ikke opererer utenfor sikkert driftsområde. Større batterier har ofte en mer avansert BMS som overvåker flere parametere. De aller enkleste styrer kun spenning og strøm.

Dette kan BMS gjøre:

- Overvåke temperaturen til batteriene og kjølevæsken (°C).
- Overvåke celledspenning og totalspenning (V).
- Overvåke ladenivå til batteriene (SOC %).
- Overvåke strømtrekket (A).
- Overvåke kjølevæskegjennomstrømningen (l/min).
- Regne ut tilgjengelig effekt, basert på spenning, strømtrekk og batteritemperatur.
- Sørg for at alle cellene i en batterimodul blir ladet likt.
- Beregne helsetilstanden til batteriene og regne ut tilgjengelig ladekapasitet i forhold til når batteriene var nye.

BMS beskytter mot og hindrer:

- Overspenning, for høy ladespenning.
- Overstrøm, for høy ladestrøm.
- Underspenning.
- Overladning, lading fortsetter etter fullading.
- Dyputlading.
- For høy temperatur.
- For lav temperatur.
- I noen tilfeller jordfeil.

Større systemer kan overvåkes utenfor batterirommet. Det betyr at BMS viser informasjon for eksempel på broa på skip, i kontrollrom og i noen tilfeller kan BMS også avleses eksternt via internett. Dette vil kunne gi kritisk informasjon til innsatsmannskaper om batteripakkens stabilitet, ladestatus, temperatur osv.



MS Ytterøyningen, batteribrannen ødela kapslingen i stål. Foto: Kripos.

2.2

THERMAL RUNAWAY

Thermal runaway (TR) kalles på norsk termisk rusning (TR). TR er en eksoterm kjemisk reaksjon som er en selvforsterkende varmereaksjon. Denne prosessen skaper mye varme og flere farlige gasser. En større TR er ikke mulig å slokke med konvensjonelt brannslukningsutstyr fordi dette er en intern, eksoterm (avgir varme) kjemisk reaksjon mellom stoffene i batteriet.

Propagering

Propagering er en betegnelse på en kjedereaksjon som kan oppstå når en battericelle går i Thermal runaway. Når en battericelle går i Thermal runaway, blir omgivelstemperaturen så høy at nærliggende battericeller blir oppvarmet til over stabil temperatur slik at disse også går i Thermal runaway.

For å slukke en Litium-ion batteribrann er det propageringen man ønsker å stanse. Dette gjøres ved å tilføre mye kjøling til battericellene, slik at disse ikke blir oppvarmet til over stabil temperatur.

Batterisystemer kan ha egne kjølesystemer. Det finnes luftkjøling (vifter) og væskekjøling. Væsker som benyttes er vann, glykol e.l. Disse pumpes rundt modulene for å fjerne overskuddsvarme.



Ekspériment der battericellen utsettes for mekanisk påkjenning som gir utkast og jetflammer.

2.3

ÅRSAKER TIL BRANN OG THERMAL RUNAWAY

Det er flere årsaker som kan føre til brann i en battericelle, felles for dem alle er at de påvirker battericellen til enten å skape egen varme eller de varmer opp battericellen med en ytre varmekilde.

Under følger en liste over årsaker som forårsaker oppvarming av en battericelle:

Intern kortslutning

En intern kortslutning vil si at det blir kontakt inne i battericellen mellom anoden og katoden. Motstanden til den interne kortslutningen vil være avgjørende for varmeutviklingen. Høy motstand vil føre til en kontrollert utlading av battericellen, mens en lav motstand gjør at battericellen utlades hurtig, noe som medfører høy varmeutvikling.

Det er ulike årsaker til intern kortslutning.

Partikler

Under produksjon kan metallpartikler havne inne i battericellen. Når batteriet blir utsatt for vibrasjoner og støt kan disse metallpartiklene løsne og havne mellom anoden og katoden, perforere separatoren og skape en intern kortslutning.

Kollisjon

En deformasjon (slag, støt, klemskader, m.m.) av battericellen kan skape kontakt mellom anode og katode som vil føre til intern kortslutning.

Dendritter

Dendritter er krystaller av litiummetall som bygger seg opp på utsiden av anoden under lading. Det dannes en nål-lignende struktur inne i battericellen. Blir disse for store vil de kunne penetrere separatoren og skape en intern kortslutning.

Dendrittformasjoner kan oppstå ved overlading eller når batteriet blir ladet når det er lav temperatur.

Overlast

Ved høyt forbruk tappes effekten fra batteriet hurtig.

Det kan resultere i en oppvarming fordi batteriet har en indre motstand. Blir ikke forbruket regulert kan dette medføre en skadelig oppvarming av battericellen som kan forårsake en TR. Det er derfor viktig med et godt batteriovervåkingssystem (BMS) som sørger for at belastningen reguleres etter temperaturen til batteriene.

Overlading

LIB tåler svært høy ladestrøm godt, men det medfører også en oppvarming av batteriet. Overvåkes ikke denne oppvarmingen kan dette medføre en for høy oppvarming av batteriet som igjen kan resultere i en TR. Overlading kan også over tid bidra til dannelse av dendritter i battericeller.

Dyputlading

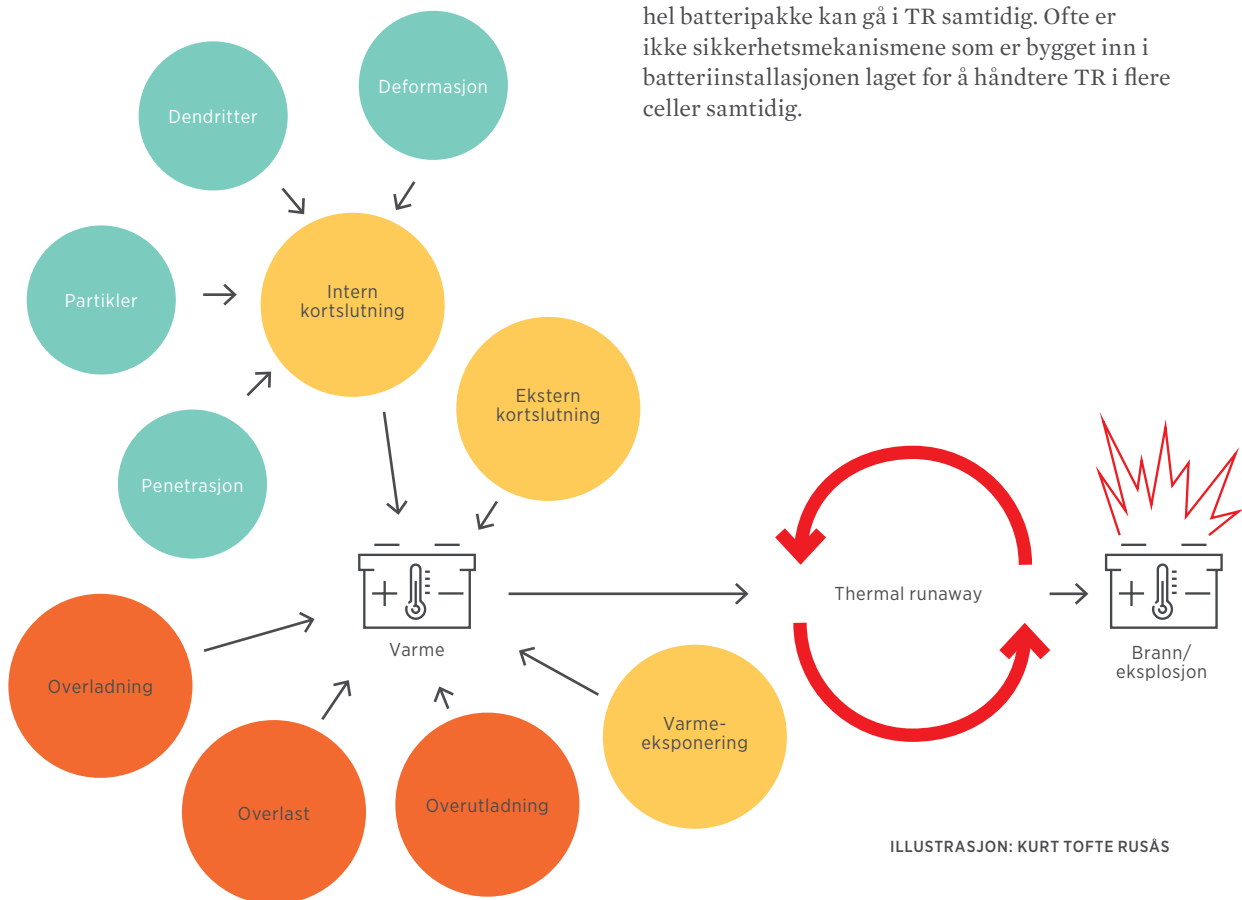
Vil si å tappe batteriet fullstendig for lagret energi. Når LIB er utladet vil de kjemiske komponentene inne i batteriet kunne løses opp. Over tid kan dette medføre at strukturen inne i batteriet endres og kan forårsake intern kortslutning. BMS er avgjørende for å forhindre dyputlading.

Ekstern kortslutning

En ekstern kortslutning vil si at pluss- og minuspolen blir koblet sammen med en forbindelse som har lav motstand. Dette fører til en rask utlading av batteriet. Det frigis varme både i batteriet og i forbindelsen mellom polene.

Ekstern varmepåvirkning

Dette er en ytre varmekilde som varmer opp battericellen, eksempelvis en brann som har startet utenfor batteripakken. Den store faren med ytre varmepåvirkning er at den kan oppvarme flere battericeller samtidig som medfører at en hel batteripakke kan gå i TR samtidig. Ofte er ikke sikkerhetsmekanismene som er bygget inn i batteriinstallasjonen laget for å håndtere TR i flere celler samtidig.



ILLUSTRASJON: KURT TOFTE RUSÅS

FIGUR 2. Det finnes mange årsaker til Thermal runaway.

Gassproduksjon

Hvor mye varme som skapes under en TR er avhengig av flere faktorer, men er hovedsakelig knyttet opp mot ladenivået til batteriet. Jo mer fulladet batteriet er, desto mer energi er tilgjengelig og dermed kan det skapes mer varme. Mengden varme som skapes har stor betydning for om gassene blir frigitt uten antennelse eller blir oppvarmet til over tenn-temperatur.

Et fulladet batteri som går i TR skaper mye varme og gass som kan antenne når gassen ventileres ut av battericellen. Kortslutninger vil bidra til antenning. Er batteriet derimot utladet eller har lavt ladenivå vil det ikke være nok energi i battericellen til å varme opp gassen som produseres, og man kan få en gassventilering fra battericellen uten at denne gassen antenner.

Gass som ventileres, men ikke antennes fra en TR, kan akkumuleres i lukket omgivelse. Under gitte betingelser (riktig mengde gass i forhold til luft) kan dette skape en eksplosiv atmosfære.

2.4

BRANNFORLØPET I ET LITIUM-ION BATTERI

De oppgitte temperaturgrensene nedenfor varierer noe fordi batteriene er bygd opp forskjellig. Forsøkene som er gjort kan ha hatt forskjellige oppsett og hensikt. Hendelsesforløpet som er forsøkt beskrevet under er imidlertid likt.

1. Når temperaturen på cellen når ca. 80 °C, begynner anoden å brytes ned. Denne reaksjonen avgir varme, kalles også eksoterm reaksjon. (Battericellen er nå over stabil temperatur).
2. Ved omtrent 100 °C til 120 °C brytes selve elektrolytten ned. Det dannes gass inne i battericellen.
3. Når temperaturen nærmer seg 120–130 °C smelter separatorene som skiller anode- og katodeelektrodene. Når disse kommer i kontakt vil det oppstå en intern kortslutning som også generer varme ved at cellens elektrokjemiske lagrede energi avgis.
4. Ved rundt 130–150 °C begynner katoden å brytes ned. Når katoden reagerer med elektrolytten, kan det dannes flere gasser, blant annet oksygen. Gjennomgått litteratur er ikke helt samstemt i om den produserte mengden oksygen er tilstrekkelig for å underholde en fullstendig forbrenning internt i batteriet. Nedbrytningen av katoden er en svært eksoterm reaksjon som genererer mye varme, og som vil fortsette å drive cellen mot en brann.
5. Når temperaturene stiger til 150–180 °C, og dersom cellen ikke er i stand til raskt å spre varmen som genereres, øker temperaturen ytterligere. På dette tidspunktet er cellen i TR. Oksygenproduksjonen gjør brannen helt eller delvis selvopprettholdende og temperaturen vil fortsette å stige slik at naboceller også varmes opp og utvikler en TR. Denne spredningen kalles propagering.
6. Lyden av små eksplosjoner og knatring gir signal om at enkeltceller åpner seg, en TR er i gang. Den kan fortsette eller dø ut av seg selv, avhengig av bl.a. modulenes eller batterienes oppbygning. Det er mange ulike batterityper, så dette med lyd er ikke noe eksakt som innsatsvurderinger bør baseres på.

Hvor raskt en slik termisk hendelse går, hvor mye gass som frigjøres og hvor mye energi brannen får, avhenger av batteriets ladestatus, batterikjemi og oppbygning. Er batteriet fullt oppladet kan celletemperaturen nå helt opp i 900 °C og jetflammer godt over 1 000 °C kan oppstå.

Når Litium-ion battericellen blir oppvarmet til over ca. 80 °C starter en selvforsterkende eksoterm, kjemisk prosess i battericellen. Dette er starten på en Thermal runaway. I denne prosessen blir det dannet gass som er både brennbar og giftig. Mengden gass som produseres vil variere, men vil stort sett ligge innenfor 1 til 2 liter per ampere time (Ah) batterikapazität.

KAPITTEL

03

Farer

3.1

FARER

I alle innsatser må helse, miljø og sikkerhet settes først. Største farer for personer

- Eksplosive og /eller giftige gasser.
- Jetflammer, eksplosjon og/eller utkast.
- Kortslutning av større batteri med påfølgende kraftige lysbuer.
- Strømgjennomgang.

Særegent for LIB-branner

- Utvikler oksygen fra katoden som bidrar i forbrenningen.
- Stor varmeproduksjon.
- Stor gassproduksjon.
- Elektrisk energi er til stede.
- Kan selvantenne, også etter at brannen er sløkket.

Ved brann i batteripakker hvor det ikke er livreddende innsats er det viktig å ha kortest mulig eksponering fra røykgassene. Vurder heller andre tiltak enn innvendig innsats om mulig, utfør utlufting og slukking på trygg avstand.

Det bør alltid gjennomføres en risikovurdering før en innsats startes.

Det dannes en kombinasjon av svært brennbare, eksplosjonsfarlige, giftige og etsende gasser i alle LIB-branner.

Faregraden vil være avhengig av hvordan disse gassene kan akkumuleres. Ved god utlufting eller brann utendørs vil farenivået reduseres til et lite område rundt selve hendelsen.

Gassammensetningen påvirkes av batterikjemien i batteriet, tilgang på oksygen og energinivået i batteriet. Energinivået på batteriene (SOC) påvirker hastigheten og temperaturen i gassproduksjonen. Gassen og røyken er fordampet elektrolytt og spaltningsprodukter av komponenter i batteriet.

Brannfarlige gasser

Det blir i LIB-branner dannet en rekke svært brennbare gasser, deriblant hydrogen, etylen, karbonmonoksid (CO), metan og propan. Sammensetningen av brennbare gasser vil variere for hver enkelt batteribrann, dermed vil også egenskapene til gassammensetningen endres noe. Selv om gassammensetningen varierer, kan vi på et generelt grunnlag si noe om egenskapene til gassblandingen.

Gassblandingen består av både lette og tyngre gasser i forhold til luft. Det medfører at gassblandingen vil kunne spre seg i hele brannrommet. Det er stor variasjon når det kommer til brennbarhetsområdet til de ulike gassene. Noen gasser har et stort brennbarhetsområde, andre et snevert. Man bør forvente at gassblandingen totalt sett har et stort brennbarhetsområde, og at man ikke må ha en stor volumprosent innblanding av gass i rommet før gassblandingen når brennbarhetsområdet og blir eksplosiv.

Ved LIB-brann i innelukket omgivelse hvor gasser kan akkumuleres må man vurdere om gassblandingen er over LEL, og dermed vil kunne være eksplosiv. Å vurdere dette kan være vanskelig.

Giftige gasser

Gassene som blir produsert under en LIB-brann kan sammenlignes med plastbrann. Det blir dannet en større mengde CO i tillegg til flere andre svært farlige gasser, deriblant fosfor- og fluorforbindelser, cyanider og klorider. Ved innånding av gass og røyk fra en LIB-brann skal pasient følges opp av helsevesenet. Ved kraftig irritasjonssymptomer fra luftveier, bør man ta høyde for mulig eksponering for hydrogenfluorid.

Irriterende og etsende gasser

I tillegg til overnevnte gasser blir det også dannet gasser som virker irriterende og kan være etsende ved eksponering, f.eks. hydrogenklorid, svoveldioksid og hydrogenfluorid.

Det er knyttet usikkerhet til gassen hydrogenfluorid (HF) som i kontakt med vann og vanddamp danner flussyre. Myndighetene i Sverige (MSB) og Folkehelseinstituttet i Norge (FHI) har gode artikler om dette, se lenke bakerst i denne veilederen.

Det er viktig å understreke at HF ikke er et nytt fenomen som har dukket opp ved LIB branner. Det blir produsert HF i alle branner hvor fluorholdige produkter brenner. Det vil si at det dannes HF gass i alle bilbranner og de fleste plastbranner. Man vil også kunne måle forekomster av HF i så å si alle husbranner. Med andre ord er HF en gass brannvesenet har måttet håndtere over lengre tid nå.

Eksposering for HF og flussyre vil kunne være i form av inhalasjon eller hudabsorpsjon. Å puste/inhalere brannrøyk og gass, deriblant HF gass, vil kunne medføre skade dypt nede i lungene og vil redusere lungenes evne til å ta opp oksygen. Ved håndtering av LIB branner skal innsatspersonell til enhver tid benytte fullstendig vernebekledning med pusteluft. For innsatspersonell vil hudabsorpsjon derfor være den eneste måten å bli eksponert for HF på.

Når gassblandingen fra en LIB brann er under LEL vil man ikke ha en gasskonsentrasjon av HF som vil utgjøre noen nevneverdig risiko for innsatspersonell.

Ved håndtering av LIB brann er det først og fremst de brennbare/eksplosive gassene man må få kontroll over, har man kontroll på at gassblandingen er under LEL har man også kontroll over HF gassene.

Normal brannbekledning vil i de aller fleste tilfeller ha god beskyttelse mot HF. Ved lengre tids arbeid i rom med lite ventilasjon kan man benytte splash-drakt som en ekstra barriere.

Hydrogenfluorid er lettere enn luft og er svært reaktiv. I åpne omgivelser vil gassen raskt forsvinne. I lukkede omgivelser vil gassen reagere med alle overflater, deriblant luftfuktighet i rommet, som medfører at gasskonsentrasjonen avtar raskt. HF er uendelig løslig i vann og ved mistanke om en høyere konsentrasjon HF i et rom kan man benytte vann, ideelt sett vanntåke, for å senke konsentrasjonen.

Elektrisk fare

Et elektrisk batteri er en komponent som har lagret energi i kjemisk form, det vil si at det ikke er mulig å slå av eller hurtig utlade batterier. Man må derfor alltid betrakte batteripoler, ledninger og koblinger som spenningsførende. Dessuten kan fysiske skader og brann medføre at spenningsførende deler blottlegges, slik at innsatspersonell utilsiktet kan komme i berøring med disse. Hold derfor avstand og bruk 1000-volthansker og visir ved innsats nær batteriet og elektriske koblinger - typisk om man skal hente ut personer fra kjøretøy og det er store skader på kjøretøyet.

Kabler med farlig spenning vil normalt alltid være farget oransje. (Gjelder el-biler).

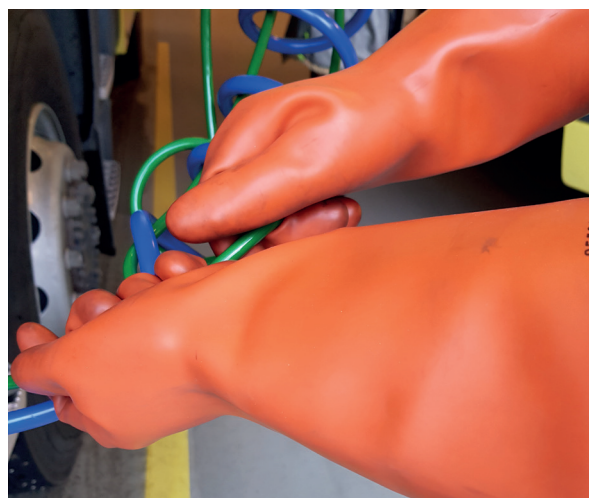
Dersom kroppen berører, og blir en del av strømkretsen, kalles dette strømgjennomgang. Grenseverdier som er satt for berøringsspenning skal ikke overstige 50 volt vekselspanning (AC) eller 120 volt likespenning (DC). Elbiler ha DC-spenning mellom 400-800 volt, mens BESS og større fremdriftsbatterier kan ha spenninger opp mot 1000 volt. Berøring av spenningsførende ledninger med så høy spenning kan medføre livsfare.

Skadens omfang er avhengig av strømstyrke, spenningsnivå, strømvei gjennom kroppen og eksponeringsvarighet.

Dersom innsatspersonell blir utsatt for strømgjennomgang skal vedkommende følges opp av helsetjenesten.

Kortslutning

I batterianlegg med mye lagret effekt, eksempelvis BESS eller store fremdriftsbatterier, er kortslutning en stor fare. Dersom det oppstår en kortslutning i et batterianlegg med mye lagret effekt, vil det kunne oppstå lysbuedannelse som fører til en voldsom temperatur- og trykkøkning. Dette gir fare for utkast av glødende fragmenter og metallpartikler i svært høy hastighet, samt dannelse av kraftig UV-lys og et høyt smell som kan skade både syn og hørsel. Faren øker med størrelsen på batterianlegget.



1000-volthansker. Foto: Drammensregionens brannvesen IKS.

KAPITTEL

04

Håndtering

4.1

SLOKKEMETODE

For å få kontroll på en batteribrann er det to faktorer man må ha kontroll over, kjøling og ventilasjon. Har man kontroll over celletemperaturen i batteriene, samtidig som man har kontroll på gassventilering fra batteriene, har man kontroll over batteribrannen. Dette er enklere sagt enn gjort.

For å få kontroll over batteritemperaturen må man kunne måle temperaturen og en ha måte å tilføre kjøling. Den eneste måten å måle celletemperatur på er ved avlesing av batteriets sikkerhetssystem, BMS. Man må likevel påregne at det ikke vil være mulig å lese av eller stole på BMS da dette systemet kan være skadet av brannen. Mindre batterisystemer i for eksempel elbil har heller ingen mulighet for avlesning av BMS. Så hvordan måler man en temperatur hvor det ikke er mulig å måle temperatur? Svaret er at man må overkompensere med kjøling. Det vil si, tilføre nok kjøling til at man er helt sikker på at man har kontroll over temperaturen.

Å måle temperatur med IR-kamera vil kunne gi noe informasjon, men det er viktig å vite at man ikke er i stand til å måle celletemperatur med IR-kamera, kun ekstern temperatur. Altså temperaturen rundt batteriene, modultemperatur eller kapslingen.

LIB ventilerer mye gass ved TR. Denne gassen må man ha kontroll over. I de tilfellene hvor brannen er utendørs, og gassene ikke har mulighet til å kunne samles, har man automatisk kontroll over gassdannelsen. utfordringer kommer når batteribrannen er innelukket og gassene har mulighet for å kunne samles. I sistnevnte tilfelle er man avhengig av å ha kontroll over ventilasjonen.

Batterirom blir i dag bygget med varierende grad av mulighet for å kontrollere ventilasjonen. Noen batterirom har vifter som suger røyk ut av rommet, eller dedikerte eksoskanaler som skal lede gass ut av rommet. Andre benytter slokkegasssystemer som hermetisk lukker batterirommet og vil kunne bidra til en oppsamling av gasser i rommet.

Før ventilering kan starte er det helt avgjørende å kjenne til gasskonsentrasjonen i rommet;

Er gassene < LEL, i brennbarhetsområdet eller UEL? Den eneste måten å vite dette på er ved å foreta gassmåling med kalibrert måleinstrument.

Det kan være utfordrende å gjennomføre en gassmåling på en trygg måte fordi åpning av batterirommet med påfølgende introduksjon av oksygen kan medføre at gass- og luftblandingen når brennbarhetsområdet og blir eksplosive.

Det er mange tennkilder i et batterirom. Branngasser som kommer i brennbarhetsområdet har stor sannsynlighet for å kunne antenne.

Den eneste måten å trygt ta en branngass fra UEL til LEL er ved å tilføre en inert gass slik som nitrogen, CO₂, argon eller tilsvarende. Da vil man senke oksygennivået i batterirommet, og på den måten påvirke brennbarhetsområdet til branngassene. Når branngassene når < LEL kan gassene ventileres ut av rommet. Det er viktig at man under ventileringsprosessen overvåker gasskonsentrasjonen og påser at denne til enhver tid er under LEL.

Noen ganger kan det være riktig strategi å la batteriet brenne ut. Dette gir mer fullstendig forbrenning og færre giftige gasser og stoffer. Et utbrent batteri kan heller ikke re-antenne.

4.1.1 SLOKKEMIDLER

Vann

Vannets egenskaper på brann er velkjent. Vann er også for branner i LIB det best kjente slokkemiddelet. Alle brannvesen har derfor det grunnleggende slokkemiddelet på plass! Vann er det beste for kjøling. Mye vann virker enda bedre!

Vannet kan påføres som vanntåke eller i væskefasen. Det er den kjølede effekten man er ute etter. Vannet må brukes slik at det slår ned flammer, kjøler ned og hindrer propagering til andre celler og moduler.

Skum

Skum bør ha lave skumtall da det primært er kjøling som vil hindre spredning av TR. Vann med inntil 1 % innblanding med skumvæske i slokkevannet vil bidra til å bryte overflatespenningen til vannet og vil kunne bidra til økt kjølede effekt. Høyere skumtall vil ikke ha samme kjølede effekt, men kan kunne isolere uberørte celler mot strålevarme fra celler i TR. Dette kan hindre videre oppvarming og brannspredning i luftkjølte batterier. Lettskum kan benyttes for å hindre røykgasser og temperatur å bygge seg opp i et gitt volum, men flyter ikke inn i batterimoduler.

Noen stasjonære slokkeanlegg som benytter skum, er designet for å føre skum inn i modulene og batteriracket.

F 500

F 500 er et relativt nytt additiv, et “innkapslingsmiddel” det knytter seg både forventning, og noe skepsis til. Ved 3 % innblanding i vann skal det ha egenskaper som omslutter og binder seg til hydrokarboner, slik at de ikke kan delta i en forbrenning. Det dannes ikke skum, men tilsetningen reduserer vannets overflatespenning som får vannet til å «krype» inn i, og flyte utover større overflater. Dette øker de kjølede egenskapene som reduserer vannforbruket. Produsenten hevder at det er godt egnet til branner i batterier, både for evnen til å binde hydrokarboner, og ved å gi vannet ytterligere kjølede effekt.

Saltvann

Sjø/saltvann er elektrisk ledende og kan forårsake kortslutninger i batteriinstallasjonen, noe som kan medføre at det oppstår brann rundt koblingsterminalene til batteriene. Det er også en mulighet for at saltvannet blir spaltet i kontakt med spenningsførende deler i batteriinstallasjonen. Saltvannet blir da spaltet til hydrogen (H₂) og klor (Cl₂). Dette er mest aktuelt i større batterianlegg i skip som kan ha slokkeanlegg der sjøvann benyttes primært, eller går over til sjøvann når ferskvannsreserve er tømt.

Brannteppe

Brannteppe vil isolere objektet og slokking skjer ved fravær av oksygen. Brannteppe har god evne til å dempe røyk fra en kjøretøybrann og vil effektivt kunne slukke en brann i kupe eller lasterom. Brannteppe har derimot ingen effekt på en batteribrann og vil bidra til økt temperatur rundt batteriene og dermed føre til en raskere spredning og propagering til nærliggende moduler. Ved elbilbrann må derfor brannteppe benyttes sammen med aktiv kjøling, eksempelvis vannvegg som plasseres under kjøretøyet. Brannteppe kan også benyttes til skjerming av andre kjøretøy. Det er viktig å vite at reantenning kan forekomme når brannteppe blir tatt av kjøretøyet. Det selges i dag brannteppe som er beregnet for gjenbruk. Rengjøring og oppbevaring er viktig å planlegge med god HMS.

AVD

AVD er et nytt slokkemiddel i håndslukkere til brann i LIB. Produktet benytter Vermikulitt, et leirmineral løst i vann. Når produktet blir påført en batteribrann vil produktet ta energi fra brannen for så å “størkne” og danne en keramisk masse som kjøler og isolerer brannen. Dette er et slokkemiddel som er designet for mindre batteribranner.

Pulver

ABC-pulver har ingen effekt på en batteribrann, da det ikke er i stand til å redusere temperaturen. Sekundærbrann vil kunne slukkes.

CO₂

CO₂ vil ikke kunne tilføre tilstrekkelig med kjøling til å være et effektivt slokkemiddel for håndtering av en batteribrann. Sekundærbrann vil kunne slukkes.

4.1.2 SLOKKESYSTEMER

Sprinkler

Sprinkler er et mye brukt slokkesystem på landanlegg og ombord i fartøyer. Dette slokkesystemet er godt egnet ved brann som skulle oppstå utenfor batteriet og dermed true batteriene. Ved en batteribrann vil et sprinkelsystem gi upresis tilførsel av slokkevann. Det vil i liten grad kunne begrense en TR. Er det stor gass- eller røykkonsentrasjon i batterirommet vil et sprinklersystem i verste tilfelle føre til økt eksplosjonsfare ved at vannet fortrenger røyken i gasslommer som øker konsentrasjonen av eksplosive gasser. Et sprinkelsystem krever store mengder vann. Ombord i et fartøy er det ofte begrenset med ferskvann, det er derfor løsninger som automatisk kobler over til sjøvann når ferskvanntankene er tomme. I noen tilfeller blir det benyttet saltvann direkte.

Det er utviklet mobile sprinklersystemer som skal plasseres under bilen ved brann i elektriske biler. Dette er et rørsystem med mange små dyser som vil tilføre vann på hele undersiden av kjøretøyet. Effekten av dette er at man får tilført kjøling nærmest mulig batteriet.

Vanntåke

Vanntåke, også kalt Hi-Fog, er et slokkesystem som benytter høyt trykk og små dyser til å knuse vannet til en fin vanntåke. Små vanndråper øker overflatearealet til vannet og dermed evnen til å absorbere energi fra en brann. Hi-Fog er derfor et godt egnet slokkemiddel for å slukke flammebranner og til å binde opp røykgasser i brannrommet. I motsetning til et sprinkelsystem bruker Hi-Fog vesentlig mindre vann og faren for at slokkesystemet automatisk kobler over til saltvann i skip er lavere. Hi-Fog kan plasseres slik at det beskytter både batterirommet og batteri-rackene. Den kjølede effekten på batteribrannen er mindre.

Skumslokkesystem

Skumslokkesystem benytter et skumkonsentrat, komprimert luft og vann til å danne skum, også kjent som CAFS (Compressed Air Foaming System). CAFS kan bli direkte injisert i batteriracket. Systemet kan deles inn i soner slik at det kun er batteriracket hvor brannen har oppstått som blir fylt med skum.

CAFS har god evne til å slukke flammer fra en batteribrann og det bidrar til økt kjøling rundt batterimodulene. Soneinndelingen sørger for at det kun er berørt batterirack som blir eksponert for sløkkemiddel. Ulempen er at CAFS brytes raskt ned i kontakt med varme overflater, slik at det er nødvendig med jevnlig påfylling av skum. CAFS har også lav evne til å binde opp og kjøle gasser.

Brannbiler med CAFS har samme utfordring som man har med strålerør, å få sløkkemiddelet inn i batteriet.

Slokkegasser

Ingen sløkkegasser er i stand til å hindre en brann i et batteri som har passert kritisk temperatur. Alle sløkkegasssystemer som foreløpig er tilgjengelig er designet for konvensjonelle branner hvor reduksjon av volumprosent oksygen er primær sløkkfaktor. Noen løsninger senker også temperatur, men ikke i et omfang av betydning for en TR. Når et system blir designet blir mengde gass beregnet ut fra volumet i rommet. Systemene har noe varierende designvolum, men prinsippet er det samme. Egenvekten og tyngden av gassene, blandbarhet i luft er elementer å vurdere opp mot avgassing fra batteriene i et lukket rom. Sløkkegasser vil hindre brannspredning gjennom å stoppe forbrenningen av batterigasser. Konsentrasjonen av brennbare gasser vil da kunne øke raskere, og gå over brennbarhetsområdet (UEL) både i batterirommet og tilstøtende rom gjennom utettheter.

Kjølede sløkkegass

3M Novec 1230™ er en brannsløkkegass som ble utviklet som en erstatning for halon og hydrofluorcarbon (HFC) sløkkemidler. Det tilhører en familie av kjemikalier kalt halokarboner, en gruppe som inneholder HFC og fluoroketoner.

3M™ gikk offentlig ut i 2018 og informerte at Novec 1230™ ikke er konstruert eller egnet til å slukke en elektrisk brann i batterier, men er dessverre fortsatt i bruk, og blir fortsatt montert i nye installasjoner. Novec 1230™ brukes til slukking av tavlerom og andre konvensjonelle branner i data- og serveranlegg der tidlig deteksjon, automatisk utløsning og nedkobling av strøm

optimaliserer gassens funksjon. Gassen tilføres som aerosol fra dyser på rør fra flaskebank.

Gassen senker i hovedsak temperaturen i rommet, men har ikke tilstrekkelig kjølede effekt for LIB-brann.

Ifølge 3M™ datablad, fortrennes bare mindre mengde luft og skal ha en rest for O₂ på 19,8 % om den tilsettes etter sin designdosering.

Fluorkarbon-baserte gasser kan i kontakt med varme overflater spaltes til HF.

N₂ og CO₂

Dette er enkle og billige gasser som fortrenner oksygen. Nitrogen og karbondioksid kan være aktuelle å benytte i lukkede rom for å skifte ut, eller fortynne, en eventuell brennbar gassblanding. Disse kan også bidra til å senke temperatur, dersom de tilføres som aerosol eller væske. Gassen tar da energi fra omgivelsene under faseovergang.

Inergen

Inergen (IG541)-systemet slukker en brann ved å redusere oksygeninnholdet til ca. 12,5 %, et nivå der forbrenning ikke lenger er mulig. Sløkkesystemet trenger ikke vente på evakuering av de som måtte oppholde seg i sløkkesonen. Høyere andel CO₂ øker pustefrekvensen og gir derfor tilstrekkelig sikkerhet til at slukking og evakuering kan pågå samtidig.

Siden sløkkegassen består av gasser som allerede er naturlig til stede i jordens atmosfære, betraktes dette som en miljøvennlig sløkkegass. Det er en inert gass, noe som betyr at det ikke tar noen rolle i forbrenningsprosessen. Inergen inneholder ingen væske og består av:

- 52 % Nitrogen
- 40 % Argon
- 8 % CO₂

Inergen har ingen stor kjølede effekt og egner seg ikke for brann i LIB. Inergen reduserer eksplosjonsfaren, men kan forvirre gassmåleinstrumenter som er avhengig av oksygen for å gi riktig nivå på Ex (LEL og UEL).

Skjærsløkker

Det pågår utprøving (juni 2021) av teknikker hvor man benytter skjærsløkker for å initiere vann inn i kapslingen og den mekaniske beskyttelsen som omgir batterimodulene. Teknikken har vært utprøvd på batterier opp til 500 kg. Det har vært eksperimentert

med additiver, men nordisk konklusjon er foreløpig at rent vann er beste løsning. Tsjekkisk testing prøvde ut en skumvariant og jobber videre med å utvikle dette. Den miljømessige ulempen med skum er kjent samtidig som man ønsker å maksimere effekten når man først velger dette som metode. Leverandørene vil utarbeide prosedyre for hvordan brannvesenet kan benytte skjærslommer på en riktig og trygg måte. Striden står ikke om det er effektivt med vann inn i kapslingen, men mer om skjærslommeren som teknikk. Skade på uberørte celler, behov for jording, og batteristabilitet over tid etter slukking er aktuelle tema.

X-Fog

Noen skjærslokkesystemer har mulighet for å tilføre additiv i vannet. Effekten av additivet X-Fog på batteribranner er foreløpig ikke kjent. Leverandør eller forskningsmiljøet bør beskrive effekten siden dette er et additiv som mange brannvesen allerede har.

4.2

GASSDETEKSJON

Ved gassdeteksjon, hva ønsker vi svar på? For å besvare dette må vi først definere hendelsen. Vi deler en hendelse inn i tre faser: Akuttfasen, stabiliseringsfasen og normaliseringsfasen.

I akuttfasen er det avgjørende å kartlegge områder eller rom med eksplosiv atmosfære. Deteksjon kan være utfordrende å utføre, da åpning av rom kan medføre at oksygen kommer til de brennbare gassene. Les mer om deteksjonsutstyr i vedlegget.

I stabiliseringsfasen kan man bruke gassdetektorer for å få kontroll på om det fortsatt er pågående kjemiske reaksjoner i batteriene.

I normaliseringsfasen bruker man gassdetektorer til å sørge for personsikkerhet og overvåke batteriene. Se vedlegg 2.

4.3

VERNEBEKLEDNING

Nye studier gjort i Sverige har gjort forsøk på å finne ut hvor god beskyttelse vanlig brannbekledning har mot HF. Resultatene fra disse studiene viser at normal brannbekledning har god beskyttelse mot HF. I gjennomsnitt hadde bekledningen en 1/120 beskyttelsesgrad. Det vil si at konsentrasjonen var 120 ganger lavere under brannbekledningen enn referanseverdien i testkammeret.

Innsats i akuttfasen ved nivå 1 og 2 hendelser vil alltid kunne utføres i normal brannbekledning med pusteluft.

Innsats i akuttfasen ved nivå 3 og 4 hendelser vil også kunne utføres i normal brannbekledning forutsatt at man har kontroll over LEL. Det vil ikke være stor/farlig konsentrasjon av farlige syregasser (HF) når konsentrasjonen av brannfarlige gasser er under LEL.

I stabiliseringsfasen og normaliseringsfasen kan man ved nivå 3 og 4 hendelser bruke splashdrakt som en ekstra barriere.

Etter innsats. Husk avkledning av tøy først og maske/pusteluft til slutt. Avkledning fra hode og ned.

Ha gode rutiner for forsegling og vask av tøy som er kontaminert.

Risiko for brannmenn som deltar i slokkearbeid

Det har blitt reist spørsmål i hvilken grad hudeksponering av hydrogenfluorid gass kan utgjøre en risiko for røykdykkere som jobber i brannrøyk. Brannmannsbekledningen er ikke tett på samme måte som draktene som brukes for å beskytte seg mot kjemikalier, men brannbekledning med fullstendig åndedrettsvern gir god beskyttelse, også for brannrøyk fra Li-ion batteribranner.

Erfaring fra flere større batteribranner, og laboratorieforsøk utført på brannbekledning, der brannbekledning er utsatt for hydrogenfluorid gass, konkluderer med at det er svært liten risiko for hudeksponering for hydrogenfluorid hos røykdykkere. Det er heller ikke funnet rapporter i litteraturen på hudskader eller systemiske effekter som følge av eksponering av hud for hydrogenfluorid i gassform.

HÅNTERING

Hudeksponering av vandig løsning av hydrogenfluorid gir irritasjon, smerter, etseskade og nekrose av hud og underliggende vev. Skade kan opptre etter latenstid ved svakere løsning av hydrogenfluoridløsning. Dette er rapportert ved direkte hudeksponering for HF i løsning, men ikke ved eksponering for HF-gass.

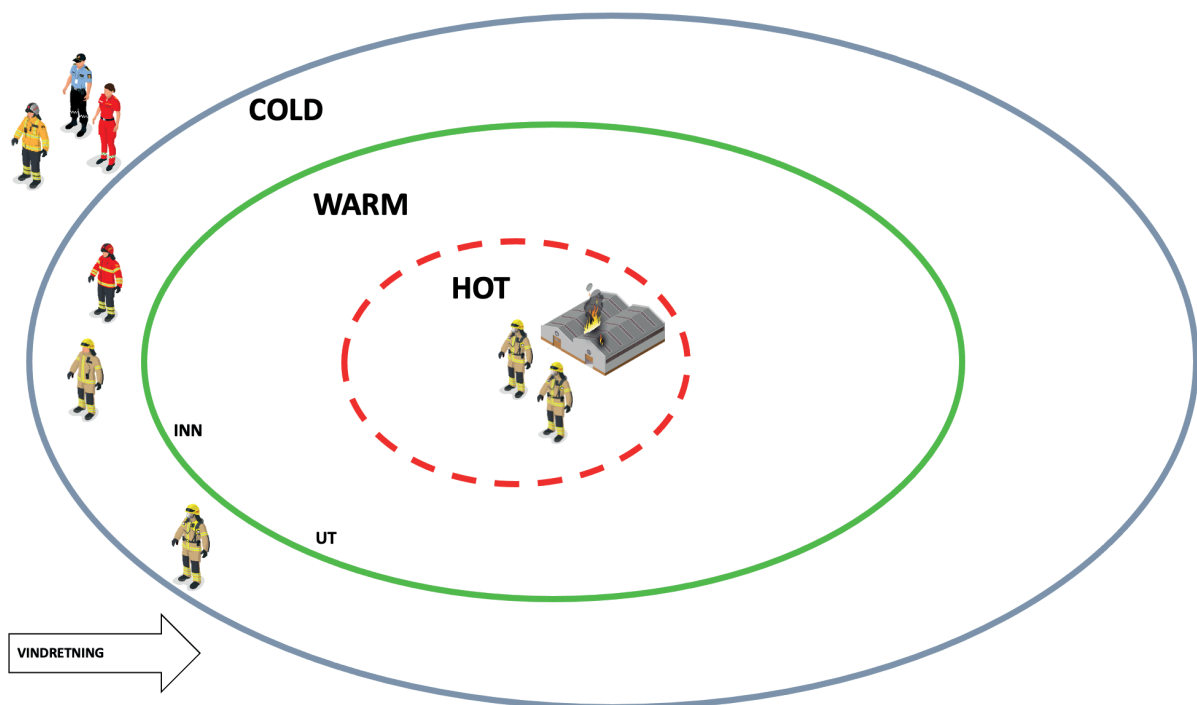
4.4

CBRNE

En hendelse der eksplosjon kan tenkes å skje, eller har skjedd, bør defineres som en CBRNE-hendelse. Dette er ikke en vanlig brann. Gjelder nivå 3 og 4 i denne veilederen. Defineres hendelsen som en CBRNE-hendelse etableres soneinndeling HOT, WARM og COLD ZONE for lettere å kunne ivareta sikkerheten for mannskapet. Innsatser mot større anlegg kan ta lang tid, defensiv tilnærming kreves.

Handlingsmønsteret bør være:

- Etabler sikker måling på eventuelle gasskonsentrasjoner, også i lave deler av rom/ skrog.
- Ikke send fram flere mannskaper enn nødvendig.
- Alltid full vernebekledning.
- Kortest mulig opphold i tett brannrøyk.
- Raskt inn, raskt ut. Risikoen må være ALARA (As low as reasonably achievable).
- Vurder å la batteriet brenne ut hvis spredningsfare kan unngås.
- Hvis tidlig innsats er mulig, kan spredning av brann videre inn i batteriet (propagering) forhindres ved kjøling.



FIGUR 3. Skjematisk oppbygning av et CBRNE skadested. Kilde: Jørn Kristiansen, OBRE.

4.5

SIKRE SKADESTEDET

Etter brann i batterier hvor ikke alle batterier er utbrent er det en reell fare for at ikke utbrente batterier kan selvantenne eller ventilere gass. Dette kan inntreffe lenge etter primærhendelsen, hvor lang tid etter er det ikke noe fasitsvar på. Ikke minst kan dette skje som følge av kortslutning i batteriene når disse bevegges ved opprydning.

Det er derfor viktig ved entring av brannskadet batterirom at det til enhver tid benyttes fullstendig vernebekledning med pusteluft.

For å overvåke brannskadet batterirom kan man benytte to måleparametere, temperaturovervåkning og gasskonsentrasjonsovervåkning. Man vil med temperaturovervåkning (IR- kamera) kun være i stand til å måle overflatetemperaturer (ikke celledetemperatur) i batteriet, forutsatt at BMS er ute av drift. Temperaturmålingene skal kun vise stabile eller synkende verdier.

Øker temperaturen tyder dette på at det er pågående prosess i batterisystemet som genererer varme, som over tid kan føre til selvantennelse eller gassventilering.

Ved å måle gasskonsentrasjonen i rommet vil man kunne danne seg et bilde om det er pågående kjemiske prosesser i batteriene og om det er trygg atmosfære i batterirommet.

Gasskonsentrasjonsovervåkning vil være den viktigste måleparameteren for å kunne jobbe trygt i et brannskadet batterirom.

Måleinstrumenter som måler oksygennivå, brennbare gasser og CO kan benyttes. Det er viktig at måleinstrument er kalibrert og at personell som bruker måleinstrumentet har opplæring i bruk av dette. Se vedlegg 2 Deteksjon

Når situasjonen på et skadested er avklart og stabilt er det vanlig at brannvesenet overlater ansvaret til for eksempel politiet for sikring av kriminaltekniske spor, forsikringselskap eller eier. Når det gjelder batteribranner, særlig i større faste anlegg (BESS) som ikke kan flyttes, vil de nevnte neppe ha rett kompetanse til å vurdere skadestedet.

Dersom det blir aktuelt med bistand til politidistriktet fra KRIPOS og/eller Statens Havarikommisjon, kan det bli ønske om videre bistand fra brannvesenet.

Fare for re-antennning kan være til stede i dager og uker. Batterimodulene må kanskje demonteres, uskadde batterier bør utlades. Å vurdere at et batteri er uskadd er kanskje ikke mulig uten å demontere modulene. Her må andre fagfolk hjelpe til. Aktuelle kan være batterileverandøren, Norsk Batteriretur og andre med spesifikk batterikompetanse. Vi anbefaler at politiet i samråd med brannvesenet forsikrer seg om at fagfolk bistår med vurdering av risikoen for skadestedet overføres. Defekte og skadde batterier må fjernes av spesialfirma. Transport av skadde batterier må skje etter ADR-regelverket. Her bør nok hvert enkelt brannvesen kartlegge hva som finnes i eget distrikt og gjøre lokale avtaler på ansvarsforhold.

4.5.1 VARIGHET

I Norge er det foreløpig et fåtall hendelser å trekke erfaringer fra. Men de vi har er av internasjonal størrelse og interesse. Erfaringene etter hendelser med større batterier er at det tar tid. Det kan være mange mindre innsatsordrer av kort varighet, uten noe synlig eller merkbar fremdrift. Dette gir ofte en følelse av å ikke være særlig effektiv. Men med erfaring, ny kunnskap og nye metoder vil vi kunne håndtere dette på en bedre, tryggere og mer effektiv måte.

I større hendelser med mistanke om brann i batterier bør det planlegges med at dette vil kunne bli langvarig. Det å senke forventninger om at hendelsen skal løses raskt vil muligens bidra til å skape tålmodighet og utholdenhet tidlig i hendelsen. Hvis man tar båten BRIM som eksempel ble denne hendelsen driftet 5–6 dager, med flere sektorer mot både båt og miljø. Og mye av tiden gikk med på målinger og forberedelser uten stor aktiv innsats mot havaristen.

4.5.2 DEKONTAMINERING

Personell som har vært eksponert for røyk må skifte alle klær straks innsatsen er avsluttet. Dusj gjennomføres så raskt som mulig.

Vask av personlig verneutstyr og benyttet utstyr gjennomføres i henhold til rutiner for kontaminert utstyr.

Lukten fra LIB-branner kan være intens. Etter brannen i Ytterøyningen kunne lukten i branntøy og kjemikaliedrakter ikke fjernes ved vask og måtte kasseres.

Vurder å inngå avtaler med for eksempel skadebegrensningsfirma for rens av tøy og utstyr.

4.5.3 SÆRSKILTE BRANNOBJEKTER §13

Ut fra hva vi har av kjente problemstillinger knyttet til LIB, bør store batteribanker (BESS) være noe brannvesenet kjenner til. Det anbefales at brannvesenet registrerer større batterilagre etter Brannlovens §13. Forebyggende avdeling i brannvesen må øke sin kompetanse på BESS, slik at de kan gi god oppfølging ved et eventuelt tilsyn. Noen anlegg vil Plan og bygg registrere, men det er kjent at det etableres energilager uten at det er registrert i byggesak.

Mange virksomheter håndterer til dels store mengder og volum av batterier. Bilbutikker, sportsbutikker med salg og reparasjon av el-kjøretøy, entreprenører, nettselskap, returselskap, bilopphuggere m.fl.

Tilsynsseksjonen bør være proaktiv med å finne og innhente informasjon om kapasitet, sikkerhetstiltak og virksomhetens internkontroll. Det kan stilles krav til sertifisering og kontroll av personell, men her er regelverket foreløpig litt tynt.

Brukte batterier er en risikosport. Myndighetene arbeider med å få kontroll på hele verdikjeden, dvs. batteriet fra vugge til grav. Batterimoduler vil demonteres for videresalg av både seriøse og useriøse aktører. Disse skal testes etter standarder i NEK400 (2021-62485 og 2017-62619) for kontroll og dokumentasjon, men det gjennomføres neppe av alle. Et raskt søk etter brukte batterier på nettet vil overbevise og opplyse alle i brannvesenet om mulige risikofaktorer fra brukte LIB.

Innsatspersonell må kjenne til risikoobjekter i sitt område. Registering som § 13-objekt kan gi initiativ til å lage innsatsplan for objektet. Dokumentasjon av prosedyrer bør lages for å tilfredsstille krav i Arbeidsmiljøloven.

4.6

MILJØKONSEKVENSER

Forurensning til luft, vann og jord.

Forurensning til luft skjer i alle branner, røyk spres over stort område, men fortynnes vesentlig. Ved høy temperatur vil forbrenningen også redusere utslippet, og kunne redusere miljøkonsekvensene. Det er derfor ikke alltid det er mest miljøvennlig å slokke brannen.

Mer konsentrert forurensning til vann og grunn oppstår primært pga. sløkkevann. Kan forurensning reduseres eller hindres ved oppsamling av sløkkevann bør dette gjøres. Det vi vet om sløkkevann fra batteribranner er at det har forhøyet pH og inneholder elektrolytt og metaller fra elektroder, koblingsnett og krets-kort, men neppe mer enn i andre branner med moderne materialer.

Mindre batterier bør mest sannsynlig slokkes for å redusere negative miljøkonsekvenser. For større systemer kan det være aktuelt å la dem brenne ut dersom brannspredningsfaren unngås.

Levering/kassering av brente batterier må kun skje til godkjent mottak. Det er kun få firmaer i landet som er godkjent for dette. Brannvesenet vil som regel ikke ha ansvar for slik levering. Se for øvrig avsnittet om transport/ADR.

Avfallsanlegg

I perioden 2016 til 2021 ble det rapportert 288 branner i avfallsanlegg i Norge. I RISE-rapporten «Branner i avfallsanlegg» peker NOMIKO på at Li-ion-batterier er en av tennkildene. Brukte og kasserte batterier kan fortsatt ha høyt energinivå. Der batterier er feilsortert i avfallshåndteringen, vil det ved omlasting, komprimering og kverning kunne bli utsatt for mekanisk skade som øker brannrisikoen. Lagring foregår nå oftere innendørs pga. miljøhensyn. Det gir nye utfordringer i denne bransjen. Vi anbefaler brannvesen å ta kontakt med lokale anlegg. Les mer i RISE-rapport fra 2019.

4.7

FORKORTELSER OG BEGREPER

- ADR: Regelverk for transport av farlig gods.
- AFV: Alternativ Fueled Vehicle: Kjøretøy med alternative drivstoff til bensin og diesel, for eksempel hydrogen eller strøm.
- BESS: Battery Energy Storage System -Store batterilagringssystemer.
- BMS: Battery Management System, Digital styringskomponent for batterisystem.
- Brenselcelle: Teknologi der hydrogen blir brukt til å produsere strøm, hydrogendrevet transportmiddel har elektromotor.
- CBRNE: Chemical – Biological – Radiological – Nuclear – Explosive.
- Eksoterm reaksjon: Kjemisk reaksjon som avgir varme.
- Ex: Eksplosjonsfarlig atmosfære.
- Flussyre: Hydrogenfluorid oppløst i vann
HF: Hydrogenfluorid i gassfase.
- IUA: Interkommunalt utvalg mot akutt forurensning
LEL: Lower Explosion Level - nedre eksplosjonsgrense.
- LIB: Litium-ion batteri: Li-ion beskriver her ladbar batteritype hvor litiumioner er viktig komponent
Propagering: TR som sprer seg fra battericelle til battericelle.
- SOC: State of Charge: Ladestatus på batteriet oppgitt i prosent av fulladet.
- TR: Thermal runaway: Termisk rømling. Beskriver et batteri som har en selvforsterkende, akselererende temperaturstigning.
- UEL: Upper Explosion Level - øvre eksplosjonsgrense.

4.8

PUBLISERING OG KURS

Veilederen trykkes ikke opp, men det er tillatt å skrive den ut om man ønsker det. Den er tilgjengelig via nettsidene til DSB (www.dsb.no) Norges Brannskole www.nbsk.no.

Veilederen publiseres i 1. utgave i 2021. Revisjoner og nye utgaver publiseres på nytt ved behov.

NAKOS

Det planlegges et e-læringskurs av denne veilederen som publiseres på www.nakos.no. Kurset er gratis. Innlogging via ID-porten. Kurset vil også gi andre i nødetatene kunnskap om veilederens fagområde. For brannfolk vil kurset også gi ekstra kunnskap om mulige helseeffekter.

E-læringskurs med instruktør

Et e-læringskurs og klasseromskurs er utviklet av Bergen brannvesen i samarbeid med en kommersiell aktør. Det gir grunnleggende kompetanse om LIB og gir en noe dypere innføring i risiko, batterikjemi, håndtering og elektrisitet enn denne veilederen. Kurset er tilpasset 110-operatører og brannvesen.

Leverandøransvar

Opplæring gitt av leverandører av større batteriinstallasjoner er første steg i kunnskapstrappa for brannvesen som får slike anlegg i sitt distrikt. Ta også kontakt med eier av bygg/batterianlegg og etterspør dokumentasjon på forvaltning, drift og vedlikehold, FDV-dokumentasjonen.

Vedlegg

VEDLEGG 1: BATTERITEKNOLOGI PÅ CELLENIVÅ

Primærbatterier er ikke ladbare. LIB er oppladbare og kalles også sekundærbatterier. Det forskes og utvikles stadig, siste versjon er ikke produsert enda!

De hellige graler for produsenter og utviklere er:

- Høyere energitetthet, dvs. å lagre mer energi med mindre vekt.
- Økt levetid.
- Redusert ladetid, å kunne ta imot “superlading”.
- Høyere effekt.
- Sikkerhet.
- Fordelen med cellen er høy energilagring og lav vekt. De har liten minneeffekt og lav selvutladning, og tåler derfor gjentatte oppladninger og utladninger.

Det er kjent at dagens batterikjemi med høy energitetthet er mindre stabil sammenlignet med celler som har lavere energitetthet.

Det finnes flere ulike celletyper som benyttes. Figuren viser eksempel på de tre vanligste celleutformingene for LIB.

Det finnes en rekke forskjellige typer Litium-ion battericeller (LIB). Felles for alle er at de består av to elektroder, elektrolytt og en separator.

Anode og katode

Et batteri består av to elektroder. Elektroden som leverer elektroner ved utlading kalles anode (negativ),

mens elektroden som mottar elektroner ved lading kalles katode (positiv). For anoder benyttes det oftest forskjellige blandinger av karbon/grafitt. Når det gjelder katoder finnes det ulike sammensetninger, ulike metallegeringer er vanlig.

Elektrolytt

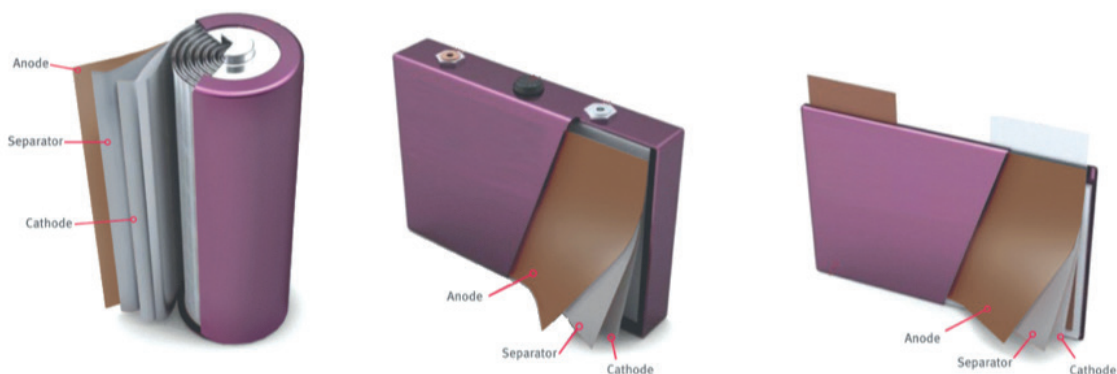
Elektrolytten er en væske som bidrar til å transportere ioner mellom katoden og anoden.

Litium-ionene befinner seg hovedsakelig i katoden. Ved bruk av batteriet transporteres Litium-ion fra anoden til katoden via elektrolytten, og motsatt vei når batteriet utlades. Elektrolytten i LIB består i de fleste tilfeller av etyl og karbonater med løsning av LiPF₆. Når denne elektrolytten fordampes oppstår det brennbare gasser.

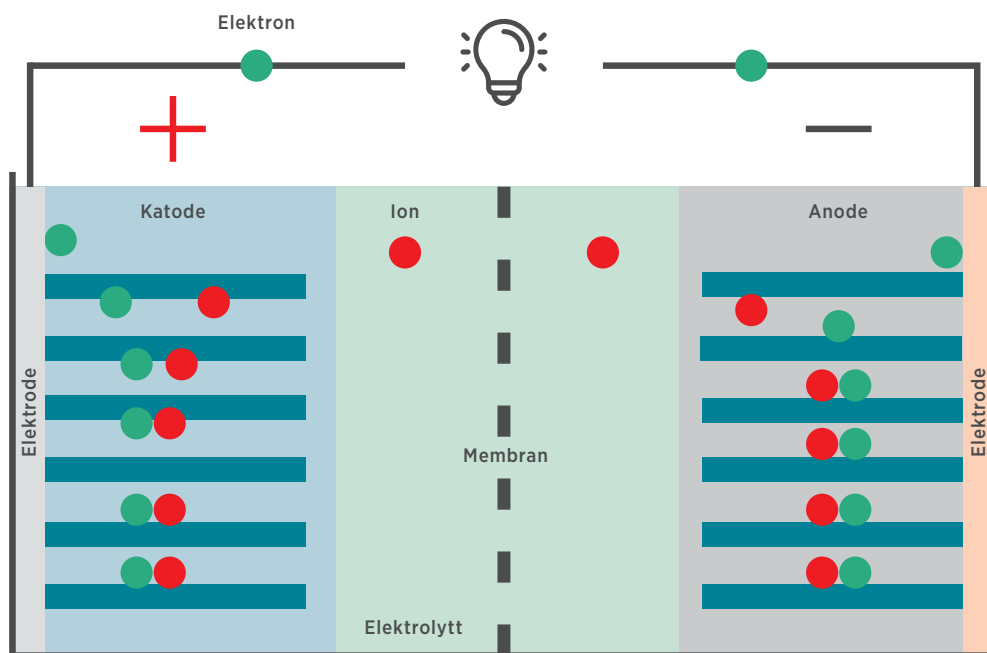
Separator

Separatoren eller membranen har som funksjon å hindre transport av elektroner, men samtidig tillate transport av Litium-ion mellom elektrodene.

Det finnes forskjellige typer separatorer, består vanligvis av porøs polyetylen- og/eller polypropylenfilm med en tykkelse på om lag 20 µm (mikrometer). Separatoren ligger midt i batteriet mellom anoden og katoden. Dersom det oppstår brudd på separatoren vil det bli direkte elektrisk kontakt mellom elektrodene, som kan føre til en intern kortslutning.



FIGUR 4. Fra venstre mot høyre; Sylindrisk, prismatisk, posecelle. Kilde: <http://imformed.com/>.



FIGUR 5. Skjematisk oppbygning av en enkelt battericelle. Kilde: Kurt Tofte Rusås.

Batterikjemi

LIB benytter ulike kjemi. Kjente kjemityper i LIB er:

LCO - Lithium cobalt oxide (mobiltelefoner, PC, kamera, nettbrett).

LMO - Lithium Manganese Oxide (medisinsk utstyr, elektriske sykler og elektrisk verktøy).

LFP - Lithium iron phosphate (elbiler).

NMC - Lithium nickel manganese cobalt (elektriske ferger, elbiler, elektrisk verktøy).

NCA - Lithium nickel cobalt aluminum oxide (elbiler, Tesla).

LTO - Lithium-titanate (romfart, batteribank, elbiler, UPS).

Ut ifra kjemien som benyttes, bestemmes noen av egenskapene til batteriet.

Litium

Litium som metall kan forekomme i primær batterier (ikke ladbare). Litium er et sølvglinsende bløtt metall som i luft dekkes med oksid i gult og grått. Oppbevares vanligvis i parafin. Litium er i seg selv ikke brannfarlig, men reagerer med fuktighet og varme. Ved kontakt med vann utvikles hydrogengass som kan antenne. Finfordelt kan litium selv antenne ved temperaturer over 20° C og brenne med temperatur rundt 1000° C.

Metallet litium må ikke forveksles med LIB, og behandles ikke videre i denne veilederen. Det er kjent at såkalt dendrittering av li-ioner i LIB gir fritt metallisk litium, men mengden er for liten til at metallbrann kan oppstå. Men det kan bidra til punktering av separatoren, det er en sikkerhetsrisiko.

Litium-ion

Li-ion er ladede partikler (ioner). Her brukt som betegnelse for battericelle der litiumsalt er løst i en elektrolytt.

VEDLEGG 2: DETEKSJON

Bruk komplett vernebekledning og fullstendig åndedrettsbeskyttelse før deteksjon iverksettes!

Mange brannvesen har deteksjonsutstyr for enkelte gasser, primært for å undersøke om det er eksplosjonsfare og ev. oksygennivåer. Det er viktig å kjenne utstyret og vite hva man kan lese ut fra målingene. Kunnskap om brennbarhetsområder (tidligere kalt eksplosjonsområder) må man ha for å vurdere om innsats kan gjennomføres eller må avbrytes. Begrepene LEL og UEL må forstås.

Kompetanse på hvordan man utfører målinger er viktig. Man må måle både i høyden og ved gulvnivå, både utendørs og innendørs. Gasser kan ligge lagvis (i sjikt). Utløste slokkemidler kan også bidra til sjiktdannelser.

Ved brann i LIB vil det være utvikling av både hydrogengass H_2 og HF, derfor er det kanskje ikke nødvendig å utføre deteksjon mot dette i en førsteinnsats. Utfør heller deteksjon/identifikasjon av nevnte gasser i fase 2 (stabiliseringsfasen) og fase 3 (avslutning/opprydding) for både valg av vernebekledning, men også kontroll på når området kan friskmeldes.

Enkelt påvisningsutstyr

pH papir - syremåling. Et pH-papir gir deg en indikasjon på surhet, primært i væsker. Både sterke syrer (pH 1–4) og sterke baser (pH 11–14) kan gi etseskader. Unngå kontakt med væsker, inkludert slokkevann.

F-papir - Fluoridpapir. Et F-papir gir indikasjon på om fluorider er til stede. Papiret detekterer fluorid i væske eller gass løst i vann.

For praktisk bruk av F-papir og pH-papir, se filmen fra MSB, lenke nederst i dokumentet.

Måleinstrumenter

Det kan være utfordrende å få gode målinger i en akutfase. Det er nok heller ikke aktuelt ved åpen forbrenning og etablert sekundærbrann. Men om man overfører noe av CBRNE-tankesettet fra brennbare gasser, kan det være aktuelt å skaffe seg oversikt om det forekommer brennbar atmosfære i tilstøtende eller lukkede rom i tilknytning til en batterihendelse. Spesielt om det ikke er synlige flammer eller det allerede har vært en eksplosjon.

Det er også viktig å vurdere om de måleinstrumenter som er tilgjengelig, dekker behovet for påvisning i en hendelse med batterier. Det er god utvikling på hva som kan detekteres av aktuelle gasser, men majoriteten av målere sorterer ikke på sammensetninger av brennbare gasser. Det er ofte katalytiske kombi-EX O_2 -målere som er kalibrert på en gitt gass som f.eks. metan eller toluen. Ønsker man mer spesifikk måling finnes måleprinsipp som kalles LEL-MPS som faktisk kan konsentrasjonsfordele 10–12 gasser. Mobile rigger med flere deteksjonssoner er også utviklet og kan tenkes brukt til å overvåke nivåer på en havarist eller BESS i flere døgn, uten risiko for mannskaper når systemet er etablert. Det er mulig dette bør være tilgjengelig i regionpakker for IUA, eller via RITS. Flere større brannvesen går nå til anskaffelse av måleutstyr for HF. Det anbefales å prioritere en god deteksjonsløsning for brennbare gasser, før man eventuelt investerer i enkeltgasser.

Husk at måleinstrumenter er satt opp mot en arbeidsatmosfære. Grenseverdier er satt opp for ubeskyttet personell uten fullstendig åndedrettsvern.

Grenseverdi: Maksimumsverdi for gjennomsnittskonsentrasjonen av et kjemisk stoff i pustesonen til en arbeidstaker i en fastsatt referanseperiode på åtte timer.

Vurder da å plassere måleinstrumenter på ubeskyttet personell slik som utrykningsleder/kjemikaliedykkerleder som oppholder seg i warm zone.

Det er avgjørende å kjenne terskelverdiene på det måleinstrumentet man benytter, om ikke dette kan leses ut av display. Som noen eksempler, kan alarm A1 og A2 variere i % av undernivå for 100 % LEL på instrumenter, så om man har to målere med ulikt oppsett kan én varsle A2, og den andre ligge innenfor A1, i samme konsentrasjon. Noen apparater kan skru seg av ved for lave oksygennivåer, eller høye gasskonsentrasjoner. Sensorer kan også vise feilmålinger pga. kryssensitivitet, så dette må være kjent i opplysninger og tabeller gitt av produsent.

Avsnittet under gir noe grunnleggende informasjon om tilgjengelig sensorteknologi og begrensningene som kan ligge i et måleinstrument.

Teknisk om måleinstrumenter

Kilde: Vestteknikk AS:

Elektrokjemiske sensorer – I denne kategorien hører typisk hydrogen og CO til. Uten å gå i for mye detalj om måleprinsippet kan vi si at gass reagerer med en elektrolytt og dette gir et elektrisk signal som konverteres til en gasskonsentrasjonsverdi. Som fastmontert detektor er denne gjerne plassert i rommet eller i ventilasjonssystemet. Her baseres måleprinsippet på at gasskonsentrasjon må bygges opp over tid før cellen detekterer gass. Dette gir det vi kaller et dødbånd i nedre deteksjonsområde og tregere respons på gass. I de fleste applikasjoner er ikke dette problem i forhold til oppgaven som skal løses, men blir et problem i en batteriinstallasjon basert på informasjonen om gasskonsentrasjon og fordeling. Fordelen er først og fremst lav pris og tilgjengelighet (mange produsenter).

Katalytiske sensorer – dette er et måleprinsipp for LEL (brennbar gass) og er teknologien som benyttes i de aller fleste målere brannvesenet har. Enkelt forklart ledes gass inn i et slags forbrenningskammer der gassen brennes over en glødetråd av platina. Motstanden endres da i tråden og dette konverteres til en gasskonsentrasjon. Ulempen er at forbrenning ikke kan skje uten tilstrekkelig oksygen til stede. Slike celler har også en tendens til å drifte mer og krever dermed en del bumpstest (funksjonstest) og ofte hyppigere kalibrering. Det må være tilstrekkelig mengde gass for å starte en forbrenning. Det bør nevnes at LEL er en sekkebetegnelse. Både katalytiske og IR-baserte sensorer måler den samlede mengde LEL-gasser og gir ikke en konsentrasjonsfordeling av de enkelte gassene.

Infrarøde sensorer (IR) – disse er basert på et optisk måleprinsipp der infrarødt lys (IR) sendes gjennom et kammer der gass trenger inn. Holdt opp mot et tilsvarende «rent» referanse-kammer vil stråling tilbake til en detektor endres som følge av gassmengden og forskjellen konverteres til en gasskonsentrasjon. Typisk brukt til CO₂ deteksjon og kan også benyttes til LEL deteksjon. Ulempen er at systemet er optisk og sårbart for smuss, partikulært materiale og fuktighet/kondens. IR-sensorer er også mer kostbare. IR kan heller ikke detektere hydrogen og acetylen da dette er molekyler som blir for små. Fordelen er levetid, lavere energiforbruk (spesielt interessant i portable målere) samt at man ikke trenger oksygen for å detektere LEL.

VOC sensorer – også et optisk prinsipp basert på at UV-lys bestråler en gass, ioniserer denne som da vil avgis lys som konverteres til en konsentrasjon. På samme måte som LEL er ikke VOC-sensorer gassspesifikke, hvilket betyr at det er den samlede mengde gasser som detekteres.

Metalloksidelektrode – baseres på et metalloksidelement som varierer elektrisk motstand og konverterer dette til gasskonsentrasjon. Teknologien er foreløpig bare utviklet i stasjonære systemer. Fordelen er at den er svært sensitiv og er mulig å produsere med en ekstremt liten deteksjonsflate. Dette er en teknologi som har vist seg meget effektiv til å supplere en BMS-overvåking da det måles ned på ppm. nivå på gasser som frigjøres for temperaturen i battericellen blir kritisk høy.

Mobile gassdeteksjonsrigger er kanskje spesielt utviklet med tanke på kartlegging for eksempel i industri-parker. De representerer et alternativ mellom personlige, portable og stasjonære varslere. De har høy batterikapasitet og de kan forholdsvis enkelt flyttes rundt innenfor et område eller til nye områder. De vil stort sett kunne tilby den samme sensor-konfigurasjonen som på en personlig varsler både hva gjelder gasstyper og antall. Batterikapasitet varierer fra fabrikat til fabrikat og hvorvidt den er utstyrt med pumpe eller ikke. Batteritid kan typisk være fra 30–100 dager. Slangelengde for pumpe er gjerne begrenset til 30 meter. Data kan overføres på ulike måter enten i etterkant eller løpende. Noen enheter laster data kontinuerlig til skyen (nettportal) via 4G nettet, mens andre benytter wifi og en mellomliggende dataløsning og programvare.



Gassmåler. Foto: Drammensregionens brannvesen IKS.

VEDLEGG 3: MERKING

Merking

Det er ikke merkestandarder for alle bruksområdene med LIB. Det er derfor ikke mulig utfra merking å være sikker på om objektet du nærmer deg inneholder LIB eller ikke.

Utvendig merking av kjøretøy

Det vanligste for helelektriske biler i Norge er å ha et kjennemerke som begynner med bokstaven E. Det har likevel hele tiden vært mulig å velge geografisk kjennemerke, og nå også personlig kjennemerke. Det er derfor ikke gitt at alle elektriske biler eller hybridbiler kan identifiseres av kjennemerke. Mange biler har blå eller grønne detaljer som kan indikere at det er en AFV (Alternativ Fueled Vehicle). Ved ulykker kan også kjøretøyene være så skadde, at det kan være vanskelig å identifisere dem som et AFV kjøretøy.

Crash Recovery eller CTIFs app Eurorescue kan benyttes for å stadfeste om kjøretøyet er AFV eller Hybrid. CTIF har utarbeidet et merkesystem for merking av fremdriftssystemer for kjøretøy som er ISO- sertifisert 17840-4. Dette merkesystemet gjør det mulig for hjelpemannskaper å identifisere type fremdriftssystem, for eksempel helelektirisk, hybrid eller gasstype.

Dette systemet er helt nytt og er frivillig for en bileier å bruke, men implementeres fortløpende rundt om i verden. Systemet er en del av ISO 17840. Merkesystemet skiller ikke mellom de ulike batteritypene.

Hvis en har identifisert et kjøretøy som AFV, utføres innsats som for risikonivå 2 eller 3 omtalt over.

Innvendig

I kjøretøy er kabler med høyspenning merket med sterk oransje farge, dette som advarsel til mannskaper som skal utføre reparasjoner eller redningsinnsats for kjøretøyet. Dette gjelder både helelektriske kjøretøy, hybridkjøretøy og kjøretøy som har brenselceller; altså hydrogenkjøretøy. Kablene får spenning fra fremdriftsbatteriet som kan ha spenning opp til 1000 VDC. Ved frigjøringsinnsats er det viktig å se etter kabler som er skjermet og beskyttet av sterk oransje beskyttelse. Dette indikere høyspenning og fare for mannskaper hvis de skades eller klippes.

Plassering kan sjekkes med programmer som Crash Recovery System eller Euro Rescue.

Frakobling av batterikilde fremgår også i programmene.

Merking av solcelleanlegg

Solcelleanlegg kan være tilknyttet batterilagringssystemer. Brannvesenet bør være kjent med større batterianlegg i sitt område. Solcelleanlegg har ofte egen merking, noen også for innsatsmannskaper. For mer utfyllende om solcelleanlegg anbefales www.nelfo.no/batteri.



Crash Recovery System.



FOTO: ULSTEIN REDERI

Norge er verdensledende i elektrifisering av skipstrafikken.



FIGUR 6. Europeisk merkesystem – alternative energikilder i kjøretøy. Kilde CTIF.

Merking av skip

Det er ikke noen internasjonal ordning med merking av batterianlegg på båt. Noen rederier reklamerer med at skipet er batteridrevet som et miljøtiltak. Lokale brannvesen må gjøre seg kjent i sitt område om hvilke skip med alternative drivstoff som trafikkerer der.

Det gjøres et arbeid internasjonalt gjennom IMO, men foreløpig er standarden ikke kjent eller tatt i bruk.

Merking av batterirom

Dette er ikke standardisert i Norge foreløpig, men mange installatører følger oppfordring fra egen bransjeorganisasjon (NELFO) og benytter deres merking. Bl.a. disse merkingene er nyttig for innsatspersonell:

- Farlig spenning.
- Forbud mot åpen ild da det kan forekomme eksplosive gasser.
- Fare for korrosive gasser.
- Krav til bruk av personlig verneutstyr.
- Krav til merking av bryter som isolerer batteriene fra den elektriske installasjonen slik at batteriene ikke medfører elektrisk fare i andre deler av bygget ved innsats.

VEDLEGG 4: EL-BILER

Brann i el-bil defineres som risikonivå 2 eller 3. Batteridrevne kjøretøy kommer i flere varianter.

1. Rene elektriske kjøretøy: Har elektrisk motor og batteri som lades fra en vanlig kontakt – eventuelt hurtiglades fra en spesiell hurtigladestasjon langs veien.
2. Hybridbiler: Har både forbrenningsmotor, batteri og elektrisk motor. Batteriet lades av forbrenningsmotoren.
3. Ladbare hybridbiler – ”plugin hybrid”: Hybridbil som også kan lades fra kontakt.
4. Brenselcellebiler – ”fuelcell”: Elektrisk bil der batteriet lades med brenselceller som bruker hydrogen fra trykktank (700 bar) og oksygen fra lufta.

Ladbare kjøretøy lades fra nettet eller solcelleanlegg. Frakobling av ladekabel kan være en utfordring, mange har egen låsemekanisme eller kan kobles ut via en app. Å ta ut ladekontakt mens kjøretøyet lades kan gi kraftige lysbuer med livsfarlig spenning.

Dette er særlig aktuelt ved hurtigladestasjoner med høy strømstyrke. Slike ladestasjoner skal ha nødstoppbrytere, eller man må koble fra strømmen i sikringsskapet eller via nettselskapet. Sørg for at ladingen avsluttes før innsats mot kjøretøyet. Noen ladekontakter kan løses ut fra ”baksiden” inne i bilen/bagasjerommet.

Det etableres høsten 2021 anlegg for batteribytte for el-bil av typen NIO. Dette er helautomatiske anlegg der bilens batteri byttes med et fulladet batteri. Et antall batterier lades i bygget, klargjort for neste kunde.

Reantennelse, transport og forvaring av skadde kjøretøy og batterier

Det er kjent at batterier tar fyr igjen, lenge etter at de ser ut til å være ferdig brent. Dette kan skje i timene, dagene eller ukene etter en batteribrann. Det er derfor viktig for brannvesenet å bidra til at de som skal sikre skadestedet og håndtere batteripakken etter hendelsen er klar over dette. For eksempel må skadde biler med batteri oppstilles slik at eventuell reantennelse ikke medfører fare for omgivelsene. Det vil si utendørs, i god avstand fra bebyggelse.

VEDLEGG 5: HENDELSER

STORE OG SMÅ HENDELSER I NORGE OG I VERDEN

Ytterøyningen

MF Ytterøyningen er en norsk ferje som er bygget i 2006. I 2018 ble ferjen bygget om til elektrisk drift og satt i ferjesambandet Fjelberg-Sydnes-Utbjoa-Skjersholmane. 10. oktober 2019 oppstod det brann i batterirommet på hybridferjen. Ferjen befant seg rett utenfor Sydnes kai da brannen oppstod.

Da brannen oppstod fikk ferjen raskt lagt til kai og varslet nødetatene. Deltidsbrannvesenet Kvinnherad brann og redning rykket ut for å slokke brannen. Det var kraftig røykutvikling fra havaristen og usikkerhet i hva som brant i starten av forløpet. Mannskapet på ferjen hadde gjort et forsøk på slukking selv, men valgte å prioritere evakuering fremfor slukking. Ferjen sitt slokkesystem og sprinkleranlegg var blitt utløst.

Når brannvesenet ankom, ble de informert av brannvesenets 110-sentral om faren for utvikling av flussyre ved brann i LIB. Brannvesenet sendte inn røykdykkere i korte innsatser og det ble etablert plan for temperaturmåling på flere områder på ferjen. Det ble først meldt at situasjonen begynte å komme under kontroll, men røykutviklingen tok seg opp senere på kvelden. Røykdykkere ble sendt inn for å slokke, men uten hell. Utover kvelden ble det tatt regelmessige temperaturmålinger.

Tidlig neste dag oppsto det en eksplosjon på ferjen. Brannvesenet trakk seg unna og etablerte sikkerhetssone samtidig som de rekvirerte bistand fra Bergen brannvesen. RITS-Kjem- mannskaper med drone ble sendt til havaristen. Etter eksplosjonen var det relativt rolige forhold på havaristen. Kjemikaliedykkere gjennomførte gassmålinger for å måle eventuell HF. Det ble registrert utslag på HF nede i batterirommet, og det ble oppdaget store skader som resultat av eksplosjonen. Etter dette normaliserte hendelsen seg og ressurser ble etter hvert returnert. Denne hendelsen har hatt stor betydning for forståelsen av faren for eksplosjon når Litium-ion batterier er involvert i brann.

I etterkant av hendelsen var det noen urovekkende momenter som oppstod. En av mannskapene i Kvinnherad brann og redning hadde vist symptomer på eksponering av HF. Som resultat av dette ble det avgjort å sende 12 brannkonstabler som kunne ha vært eksponert til kontroll på sykehus. Alle brannkonstablene som ble sendt til kontroll viste seg å være friske i etterkant. I ettertid ble det også oppdaget etseskader på brannvesenets utstyr.

Kvinnherad brann og redning hadde skader på røykdykkerutstyr, mens Bergen brannvesen måtte kassere sine kjemikalieverndrakter som ble benyttet under hendelsen. Bildene viser noen av skadene som ble registrert på røykdykkerutstyr etter hendelsen.

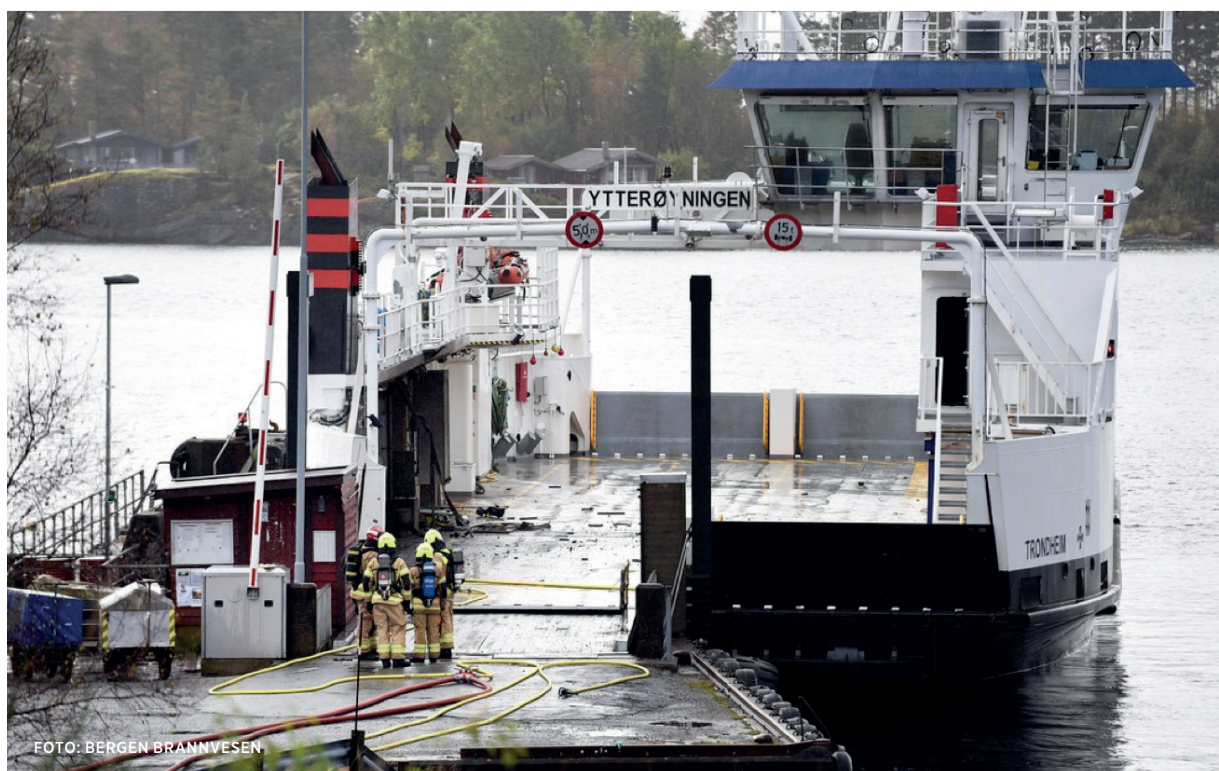


FOTO: NORDLED A/S
Teknisk rom MS Ytterøyningen før eksplosjonen.

VEDLEGG



Teknisk rom MS Ytterøyningen før eksplosjonen.



MS Ytterøyningen.



Fire brannkonstabler på vei til jobben med VIBs egenutviklede tilkoblinger til BRIM på dag fire. Nitrogen og sugebil er klare, operasjonen for å fjerne eksplosjonsfaren iverksettes!

BRIM

BRIM (byggeår 2019) er en katamaran for inntil 140 passasjerer, som fikk brann i batteripakken på styrbord side i mars 2021. Den ble tauet til land i Tønsberg. Med bakgrunn i eksplosjonen på MS Ytterøyningen i oktober 2019 ble det igangsatt en defensiv tilnærming til BRIM, blant annet fordi man valgte å ta tid til å gå systematisk til verks og teste ut nye metoder. Det ble antatt at det var eksplosiv atmosfære i skroget. Det ble besluttet at luft/gassblandingen i båten skulle skiftes ut før innsatspersonell fikk gå inn i båten. Nitrogen (N_2) ble tilført og avsug av luft/gasser ble igangsatt. Aksjonen pågikk over 4 døgn og er nærmere beskrevet i egen rapport. Scenariet og den lange innsatstiden kan være et godt eksempel på tilnærming til branner i LIB i lukkede rom. Det ble også satt av ressurser fra brannvesenet for å bistå politiet og havarikommisjonen etter hendelsen. Dette var helt avgjørende for at hendelsen kunne etterforskes.

VEDLEGG



Carila Sis.

Carila Sis, Sneek i Nederland

Den 4. mai 2019 fikk brannvesenet i Sneek, Nederland melding om brann i båt. Det hadde oppstått brann i en privat hybridyacht av typen Greenline 40, med 2 stk. 11,5 kWh Litium-ion batteri. Da brannvesenet ankom skadestedet kunne de se hvit røyk fra båten. Brannvesenet lagde åpning inn i kahytten og spylte med vann uten effekt. For å komme bedre til brannen åpnet de døren inn til kahytten. Kort tid etter oppsto det en eksplosjon ombord i båten. To brannmenn ble kastet på sjøen av eksplosjonen og fikk mindre skader. Eksakt brannårsak er ikke fastslått, men skyldes mest sannsynlig en feil i batteriet.



Batteriene før brannen. Kilde begge foto: <https://www.youtube.com/watch?v=ImOXKr18Ezw>

El-bilbrann i Oslo

Juni 2021 brant en elbil av typen Hyundai Kona i Oslo. Ved ankomst ble det registrert svak røykutvikling, dette utviklet seg meget raskt til å bli kraftig røykutvikling med høyt trykk fra bakre hjulbrønn. Etter hvert antente røykgassene og nærmest hele bakre del av bilen var overtent av flammer.

Løsningen her ble brannteppe over bilen og 2,5" slange med vannvegg inn under bilen for konstant kjøling av batteriet. Deretter ble det rekvirert container, hvor bilen ble løftet opp i et vannbad. Bergningsselskap fraktet så containeren med bilen til egnet sted hvor denne ble satt i karantene i 72 timer.



Foto: Oslo Brann- og redningsetat.

1. Brann i startfasen.
2. Kjøretøyet pakket inn i brannteppe, vannkjøling fra undersiden.
3. Kjøretøyet løftes opp i container som fylles med vann.

VEDLEGG

ARIZONA

2019 oppsto en eksplosjon i Surprise ved McMicken energy storage facility. Ulykken har flere likhetstrekk med Ytterøyningen. Foranledningen til eksplosjonen var en brann i et batterirack, slokkegassen 3M™ Novec 1230™ ble løst ut. Det var samme batteritype, med samme produsent, men batteriet var ikke væskekjølt slik som på Ytterøyningen. Den aktuelle kontaineren hadde en kapasitet på 2MW, og det var hovedsakelig ett rack som var delaktig i brannen. Batteriprodusenten LG Chem er ikke enig med DNV-GL om årsaken til brannen. Cellesvikt og dentritering motsies fra LG, som hevder at ekstern feilkonstruksjon og kortslutning var årsak. Men begge er enige med UL (Underwriters Laboratories) som har tatt del i etterforskningen, om at det var akkumulering av brennbare gasser i lukket rom som førte til eksplosjonen hvor 4 av innsatspersonellet ble alvorlig skadet. Ulykken inntreffer 2 minutter etter at de åpner døra til batterilageret, 2 timer etter ankomst av første enhet, og ca. 3 timer etter at eier hadde fått feilkode og varsel om at noe var galt.

Røykutviklingen var avtagende og utvendige målinger var nedadgående. Det ble ikke målt spesielt høy temperatur og det var ikke utslag for hydrogen. Det ble påvist hydrogencyanid og CO. Når de åpnet døren observerte de lys gråhvit røyk som lå i nedre del av batterikontaineren. Denne "tunge" hvite røyken så de også tidlig i fasen på utsiden hvor en tekniker som var til

stede, forklarte at det var Halon, selv om dette da ikke var tilfelle. Det var ikke riktig at det var Halon.

Innsatsmannskaper ble ikke tilkalt av selskapet som var ansvarlig for batterilageret, selv om de allerede hadde teknikere på stedet. Det var en forbipasserende som så røyk og meldte om mulig krattbrann. Mye tilsier at selskapet hadde fått varsel om uregelmessigheter 40–50 minutter før brannvesenet ankom. Det var ingen av mannskapet som var kjent med at det var et energilager og de hadde derfor ikke forkunnskaper om hvilke prosedyrer som var gjeldende. Bygget var ikke omregistrert til annen "firecode" etter at bygget var overtatt av selskapet som etablerte energilager i 2017.

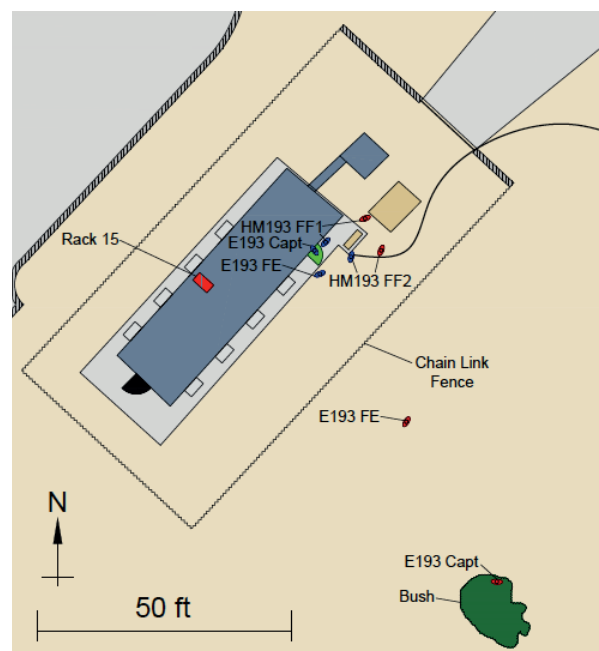
Når energilageret i McMicken ble bygget hadde NFPA startet på Prosedyre 855, og 3M™ hadde allerede på det tidspunktet forklart at Novec 1230™ ikke var konstruert og egnet til å slokke en elektrisk brann i batterier. Første enhet på stedet satte sikkerhetsavstand og tilkalte et HAZMAT team. Det var dette teamet som ble skadet. Det er en ulykke som har mange læringspunkter. Det anbefales å høre på to podcaster som er tilgjengelig.

Oppsummert hendelse:

<https://www.utilitydive.com/news/aps-says-runaway-thermal-event-caused-2019-battery-explosion-outlines-4-st/582475/>



Bilde viser skadene etter eksplosjonen. Hele bygget buler og ståldøren er blåst av hengslene.



FIGUR 7. Figuren viser plasseringen til brannkonstablene som sto nærmest hendelsen før og etter eksplosjonen.

VEDLEGG 6: LOVER OG FORSKRIFTER

Transport av Litium-ion batterier – ADR-regelverket

Ifølge regelverket for transport av farlig gods har avsender ansvaret for klassifisering og merking av godset. LIB er omfattet av regelverket for transport av farlig gods. For vegtransport er det dermed de internasjonale ADR-bestemmelsene som gjelder.

Li-ion batterier skal ha bestått en rekke tester for robusthet (avsnitt 38.3 i FNs testmanual) for å kunne transporteres som gods. Men det er verdt å merke seg at disse kravene gjelder nye batterier som sendes ut fra fabrikanten. Generelt kan man derfor si at nye og ubrukte batterier er sikrere enn brukte batterier. Brukte batterier har som regel vært gjennom mange ladesykluser, aldring og diverse påkjenninger gjennom brukstiden som kan ha betydning for brannrisikoen.

Det er også verdt å merke seg at transportreglene ikke gjelder for batterier som ikke lenger er under transport.

Krav til faremerking ved vegtransport

Kjøretøy eller transportenhet som frakter LIB som gods skal være faremerket med et blankt oransjeskilt (400x300 mm) foran og bak. Selve godset med LIB skal være påført *liten* fareseddel nr 9A. Gods med typiske forbrukerprodukter som mobiltelefoner og PC (som har en ytelse opptil 100 Wh) skal merkes med et eget batterimerke.




Når batteriene er tatt i bruk og ikke lenger er under transport, vil faremerkene for godset ikke lenger være til stede.

Sjåfør skal ha et gyldig ADR kompetansebevis

Transporter hvor samlet masse av batterier er under 333 kg kan skje i henhold til unntak i ADR 1.1.3.6. Kravet til faremerking av kjøretøy og ADR kompetansebevis for sjåfør faller da bort. Selve godset skal imidlertid alltid være faremerket med fareseddel nr 9A.

Litium-ion batterier som har vært utsatt for store påkjenninger (brann, varme, kollisjon etc.) kan ikke transporteres videre som gods uten spesiell tillatelse fra DSB.

Batterier som er skadet eller defekte har mistet sin integritet, og har derfor en høyere risiko for selvantennning enn for intakte batterier. Et skadet Litium-ion batteri kan være ustabil og må derfor evalueres. Det kan være batterier som er påvist å være defekte av sikkerhetsgrunner; som har lekket eller ventilt, som ikke kan diagnostiseres før transport; eller som er påført fysisk eller mekanisk skade. Vurderingen av et batteri må gjøres av en teknisk ekspert med de nødvendige kunnskaper. En vurdering eller evaluering kan omfatte:

ORANSJE SKILT (BLANKT)	FARESEDDER NR. 9A	BATTERIMERKE
		
400x300 mm	100x100 mm	1000x1000 mm

FIGUR 8. ADR-merking.

VEDLEGG

- Akutt fare, slik som gass, brann eller lekkasje av elektrolytt;
- Bruken eller misbruken av cellen eller batteriet;
- Tegn på fysisk skade, slik som deformasjon eller farging av cellens eller batteriets innkapsling
- Ekstern og intern beskyttelse mot kortslutning, slik som tiltak vedrørende spenning eller isolasjon
- Tilstanden til cellens eller batteriets sikkerhetsanordninger; eller
- Skade på interne sikkerhetskomponenter, slik som batteriets styringssystem, BMS.

Det er ingen unntak for batterier i en slik tilstand, og godset skal i tillegg til UN nummeret og fareseddel 9A være påført teksten "SKADEDE/DEFEKTE LITIUMIONBATTERIER". Transportdokumentet skal inneholde følgende erklæring: «Transport i samsvar med spesiell bestemmelse 376».

Installasjon av batterier i lavspenningsanlegg i bolig og industri

Elektrisk prosjektering og installasjon er regulert av DSBs *forskrift om elektriske lavspenningsanlegg* (fel). Forskriften henviser til NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner som metode for sikker installasjon. I delnorm 551 er det spesifisert generelle krav til hvordan strømforsyningsenheter, inkludert batteriinstallasjoner, skal være installert for å sikre mot elektrisk sjokk og brann som følge av overbelastning eller kortslutning. Her er det også gitt krav til utførelse av strømforsyningsenheter som skal brukes i parallell med det allmenne strømforsyningsnettet på en sikker måte. Oppfyllelse av disse kravene vil være av betydning for sikker drift og sikkerhet for innsatspersonell ved hendelser i batterisystemer – spesielt fare for elektrisk sjokk.

I tillegg har NEK 400 en delnorm som heter 806 Batteriinstallasjoner som omfatter krav til installasjon av alle typer stasjonære sekundærbatterier (ladbare). Siste versjon av normen (2018) har nå også spesielle krav til sikker installasjon av batteribanker med Litium-ion batterier.

Bruk av LIB i bygningsinstallasjoner er ganske nytt, nasjonalt og internasjonalt. Regelverket er fremdeles under utvikling. DSB og normkomiteen med ansvar for NEK 400 tilpasser derfor normen til å ivareta disse forholdene.

Det er nylig utgitt en ny elektrisk standard for krav til installasjon av litium-ion batterier. Normen heter NEK EN IEC 62485-5: 2021 og vil bli integrert i neste revisjon av NEK 400: 2022 som vil gjelde fra 1. juli 2022. Da vil det være spesifikke krav til installasjoner med LIB, inkludert sikkerhetsfunksjoner og merking.

Plan- og bygningsloven og plassering av batterier i bygning

Plan og bygningsloven (PBL) forvaltes av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) og har ingen spesifikke krav til installasjon av batterier utover generelle krav til risikovurdering. Her henvises til DSBs elsikkerhetsregelverk og eventuelle veiledning om god praksis for installasjon. Se også veileder fra NELFO om batteriinstallasjoner i bolig <https://www.nelfo.no/batteri>. Denne er utviklet av DSB, DiBK, NELFO og DRBV.

Krav til installasjon av batterisystemer om bord i skip

DSBs *forskrift om maritime elektriske installasjoner (fme)* har krav til prosjektering og utførelse av elektriske installasjoner i alle skip i norsk register (NIS og NOR). Ingen skip får seile før DSB har utstedt en tilsynserklæring. Forskriften stiller krav til utførelse med tanke på elektrisk sjokk, brann og sikker strømforsyning til viktige funksjoner.

Spesielt gjelder dette merking med farlig spenning på utsiden av tavlerom / batterirom samt merking av fordelinger.

Når det gjelder krav til batterier vil dette være gitt i hhv. rundskriv utarbeidet av Sjøfartsdirektoratet i samarbeid med DSB, samt særskilte regler for batteriinstallasjoner i classeselskapenes regler som kan variere fra classeselskap til classeselskap. Konsekvensene er derfor at skipene kan ha forskjellige sikkerhetskrav til merking og utførelse av batterirom /systemer fordi classeselskapene kan ha forskjellige detaljkrav for oppfyllelse av IMO-krav (IMO = International Maritime Organisation).

Det er viktig å merke seg at Norge er først ute i verden når det gjelder elektriske skip. Dette betyr at det finnes lite regelverk internasjonalt å forholde seg til – Norge må gjøre jobben selv. Derfor er krav til installasjoner med LIB fremdeles under utvikling på skip.

VEDLEGG 7: LADING

Det er viktig at lader og batteri er tilpasset hverandre. Kombinasjon av batteriet og laderen må samsvare. For forbrukerelektronikk slurves det nok, større anlegg er i samsvar med produsentens krav.

Bruk av feil lader kan medføre høy temperatur og starte branner. Ved lading og utlading blir det alltid overskuddsvarme. Denne må batterisystemet være designet for å håndtere. Større batteripakker har kjølesystemer for å håndtere temperaturen, det kan være luftkjøling eller kjølevæsker med ulik kjemi.

Lading i kulde kan medføre dendrittering og kortslutning i batterier. Dette gjelder ikke el-biler solgt i Norge og Norden, disse har ivaretatt denne utfordringen med egne systemer for oppvarming av batterier.

Lading via solcelleanlegg

Solcelleanlegg produserer strøm på dagtid. For kunden er det kanskje mer interessant å bruke strømmen på kveld og natt, da kan et batterianlegg være installert for å ta vare på energien.

Det er også mulig å kjøpe strøm fra nettet når det er billig og lade opp batteribanker for å bruke når strømmen ellers er dyr.

Lading via vanlig nett (230 volt)

Alle små duppeditter lades via 230 voltsystem, inkludert batterisystemer opp til el-bilstørrelse (100 kW). Kursene fram til ladeenhetene må være store nok til at ladingen ikke medfører varmgang i el-systemet.

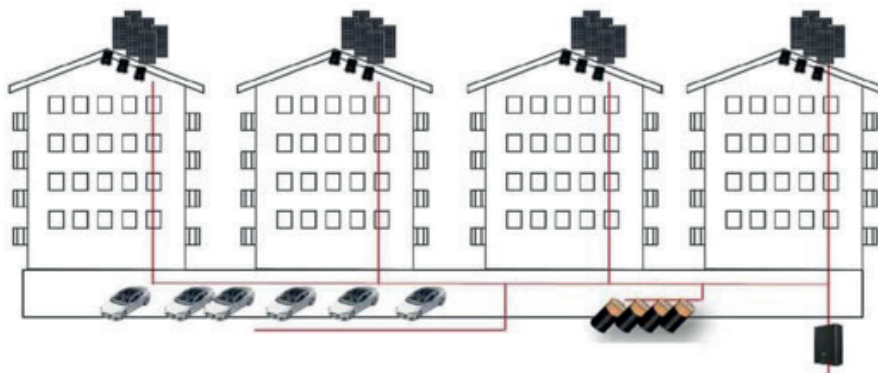
Lading via høyspentanlegg

Et typisk ferjekaiianlegg for el-ferjer består av en integrert ladestasjon på land. Ladestasjonen utstyres som oftest også med en batteripakke på land som vil arbeide i parallell med strømmettet, **levert av nettleverandør**.

Batteripakken på land lades av lokalt strømmnett når fergen ikke lades (den er ute på sjøen), og vil typisk benytte mellom 25–55 minutter til opplading, avhengig av antall fergeavganger. Det lokale strømmettet vil kunne levere eksempelvis 2500 kW, og batteripakken ytterligere 2000 kW, noe som tilsvarer totalt 4500 kW. Selve ladingen av fergen foregår i ca. 4 minutter, da med 4500 kW.

Strømforsyningen til ladestasjonen er som regel høyspent (eksempel 22k V). Ladespenningen fra ladestasjon til fergen er typisk 11k V. Kontakt mellom land og ferge skjer via induksjon eller en form for pantograf, ikke via vanlige industrikontakter.

Overføring skjer med pantograf – høyspent 11k V- fra ladetårn. Pantografen har en mekanisk og elektrisk tilkobling og ser ut som en avkappet pyramide. Hele ladetårnet er ansett som høyspentområde og kai er avsperrt med gjerde/port. Ladetårnet er i utgangspunktet lukket når det ikke er i bruk. Under bruk går det en rulleport opp mellom tårn og ferje hvor pantograf kommer ut, her vil det være berøringsfare. De røde boksene er magnetiske plater som fortøyer fartøyet og holder det på plass.



FIGUR 9. Integrert system med solceller, likeretter (AC til DC), elbiler og boliger i nettverk.

<https://www.greenbuilt.no/2018/05/03/solcelleanlegg-smart-energibruk-og-lagring-av-energi/>

VEDLEGG



Lading av busser via pantograf.



Fjernstyrt landstrømskobling ved kai i Flåm. Foto: CAVOTEC.

LITTERATUR OG LESETIPS

Bergen brannvesen

- 2020 – *Håndtering av utilsiktede hendelser som brann, eksplosjon og avgassing knyttet til bruk av Li-ion batterier*

Vestfold interkommunale brannvesen VIB

- 2021 – *Evaluering av hendelse på MS Brim*

MSB i Sverige

- 2016 – *Nya risker för räddningspersonal vid bränder/gasning av batteripack hos e-fordon*
- 2018 – *Brandsyddskläders skyddskapacitet materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-ion batterier i e-fordon.*
- 2021 – *Gasformig HF ved brand i trånga utrymmen-risiker for hudupptag vid insatser*

DNV-GL

- 2019 – *Technical reference for Li-ion battery explosion risk and fire suppression*
- 2020 – *Sikker bruk av litium-ion batterier i petroleumsnæringen*
- 2020 – *McMicken Battery energy storage system event technical analysis and recommendations*

RISE FIRE RESEARCH

- 2017 – *Fullskala branntest av elbil*
- 2019 – *Lading av elbiler i parkeringsgarasje*
- 2019 – *Brannrisiko ved lagring av ikke-tilkoblede litium-ion- og litumbatterier*
- 2019 – *Energieffektive bygg og brannsikkerhet*
- 2019 – *Brannrisiko ved lagring av ikke-tilkoblede litium-ion og litumbatterier*
- 2020 – *Solabrannen, brann i parkeringshus i Stavanger*
- 2021 – *Avgassing fra LIB i hjemmet*

NELFO

- 2021 – *Batterisystemer i boliger, brann- og elsikkerhetsveileder*
- 2021 – *Merking av batterirom.*

DSB

- 2015 – *Brann og redning elektriske*

Beredskapsstyrelsen i Danmark

- 2021 – *Temahæfte om brand i el- og hybridbiler*

Folkehelseinstituttet FHI

- *Batteribrann, Litiumionbatteri-behandlingsanbefaling ved forgiftning*

**Direktoratet for
samfunnssikkerhet
og beredskap**

Rambergveien 9
3115 Tønsberg

Telefon 33 41 25 00

postmottak@dsb.no
www.dsb.no

ISBN 978-82-7768-520-5 (PDF)
HR 2446
November 2021

 /DSBNorge

 @dsb_no

 dsb_norge

 dsbnorge

