



# Høgskulen på Vestlandet

## Bacheloroppgave

## Brannteknikk

ING3037

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	31-03-2020 09:00	<b>Termin:</b>	2020 VÅR
<b>Slutt dato:</b>	07-05-2020 14:00	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
<b>SIS-kode:</b>	203 ING3037 1 PRO-1 2020 VÅR HAUGESUND		
<b>Intern sensor:</b>	Arjen Kraaijeveld		

### Deltaker

**Kandidatnr.:** 310

### Informasjon fra deltaker

**Tittel \*:** Risiko for innsatspersonell ved brann i litium-ion batteri i lukkede rom  
**Engelsk tittel \*:** Safety risks for firefighters approaching lithium-ion battery fires in enclosed environments  
**Navn på veileder \*:** Arjen Kraaijeveld og Sveinung Sivertsen

**Sett hake dersom ja** **Egenerklæring \*:** Ja  
**besvarelsen kan brukes** **Inneholder besvarelsen** Nei  
**som eksempel i** **konfedensielt**  
**undervisning?:** **materiale?:**

**Jeg bekrefter at jeg har ja**  
**registrert**  
**oppgavetittelen på**  
**norsk og engelsk i**  
**StudentWeb og vet at**  
**denne vil stå på**  
**vitnemålet mitt \*:**

### Gruppe

**Gruppenavn:** (Anonymisert)  
**Gruppenummer:** 4  
**Andre medlemmer i** 312, 302  
**gruppen:**

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \*

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \*

Ja, Bergen

brannvesen



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Risiko for innsatspersonell ved brann i litium-  
ion batteri i lukkede rom

Safety risks for firefighters approaching lithium-  
ion battery fires in enclosed environments

**Thomas Halleraker**

**Åsmund Hovda**

**Levent Smakiqi**

Brannsikkerhet

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag

Veileder Arjen Kraaijeveld

7. mai 2020

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.



# BACHELORPROSJEKT

**Studentenes navn:** Thomas Halleraker  
Åsmund Hovda  
Levent Smakiqi

---

**Linje & studieretning:** Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet

**Oppgavens tittel:** *Risiko for innsatspersonell ved brann i litium-ion batteri i lukkede rom*

**Oppgavetekst:**

De siste årene har det vært en stor økning i bruken av litium-ion batteri som energibærer i transportsektoren. Grunnet stor satsing på grønn energi forventes det at denne utviklingen vil fortsette i årene fremover.

Nylig har det vært flere hendelser der det har oppstått brann i litium-ion batteri. Dette har ført til et økt fokus på problemene som innsatspersonell møter i forbindelse med innsats på slike batteri. Litium-ion batteri er en relativt ny teknologi som fortsatt medbringer mange usikkerhetsmomenter. Risiko for innsatspersonell ved brann i litium-ion batteri er lite utgreid i Norge.

Studentene har fått i oppdrag av Bergen brannvesen å kartlegge risikobildet for brann i litium-ion batteri, med fokus på batteribrann i lukkede rom, som på skip og i parkeringskjellere. Brann i litium-ion batteri produserer etsende og brannfarlige gasser, dermed øker risikoen for innsatspersonell betydelig ved batteribrann i lukket rom grunnet ventilasjonsforholdene. Studentene skal utarbeide forslag til retningslinjer for innsatspersonell for hvordan en slik hendelse skal håndteres, spesielt med fokus på livreddende innsats.

**Endelig oppgave gitt:** 25.02.2020

**Innleveringsfrist:** Torsdag 7. mai 2020 kl 12.00

**Intern veileder:** Arjen Kraaijeveld

**Ekstern veileder:** *Sveinung Sivertsen, Bergen brannvesen*

**Emailadresse ekstern veileder:** [Sveinung.Sivertsen@bergen.kommune.no](mailto:Sveinung.Sivertsen@bergen.kommune.no)

**Godkjent av studieansvarlig:**



**Dato:** 16.04.2020



<b>Oppgavens tittel</b> Risiko for innsatspersonell ved brann i litium-ion batteri i lukkede rom.		<b>Rapportnummer</b>
<b>Utført av</b> Thomas Halleraker Åsmund Hovda Levent Smakiqi		
<b>Linje</b> Ingeniør		<b>Studieretning</b> Brannsikkerhet
<b>Gradering</b> Åpen	<b>Innlevert dato</b> 07.05.2020	<b>Veiledere</b> Arjen Kraaijeveld, HVL Sveinung Sivertsen, Bergen brannvesen

<b>Ekstrakt</b> <p>Hovedformålet med oppgaven er å gi innsatspersonell bedre forutsetninger til å håndtere en brann i litium-ion batteri i lukkede rom ved å kartlegge risikomomenter under innsats, og ved å øke kunnskapen til brannvesenet vedrørende slike hendelser.</p> <p>Oppgaven har resultert i en rutine med tilhørende instruks til innsatspersonell for håndtering av brann i litium-ion batteri, med fokus på brann i batterirom på skip og brann i elektrisk kjøretøy i parkeringskjellere. Rutinene og instruksene er basert på 7-trinnsmodellen fra Norges brannskole som er laget for befal i brannvesenet, og skal gi en utfyllende metode for å lede en innsats.</p>
---



## FORORD

---

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave i forbindelse med ingeniørstudiet i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet.

Brannen på hybridferjen MF Ytterøyningen utløste nasjonal interesse rundt sikkerhetsmomentene ved litium-ion batteri. Vi var svært heldige og kom i kontakt med Bergen brannvesen, som var et av brannvesenene i innsats på denne hendelsen. Vi ble forespurt om å belyse momenter rundt slik innsats, samt å forsøke å lage noen rutiner og instruksjoner for å gi økt kunnskap om håndtering av brann i litium-ion batteri. Det å jobbe med denne problemstillingen har vært svært lærerikt og ikke minst interessant. Kunnskapen vi har tilegnet oss er noe vi vil ta med oss videre.

Dagens situasjon med den pågående Covid-19 pandemien ga oss noen utfordringer. Dette førte til at vi måtte gjøre betydelige endringer i måten vi jobbet på og krevde mer av oss som studenter. Vi er fornøyde med hvordan vi løste problemet og setter pris på tilretteleggingen fra høyskolen.

Vi vil rette en takk til alle aktører som har bidratt med informasjon og statistikk. Det har vært gjensidig vilje for å heve kunnskapsnivået rundt sikkerhet ved litium-ion batteri. Uten dette engasjementet ville ikke oppgaven hatt den samme dybden.

Videre vil vi takke våre veiledere Arjen Kraaijeveld og Sveinung Sivertsen for god veiledning, gode samtaler og ideer til oppgaven. En spesiell takk til Kurt Rusås fra Bergen brannvesen for vedvarende hjelp, faglige diskusjoner og litteratursøk under oppgaveskrivingen. Takk til Sissel Forseth fra Forsvarets Forskningsinstitutt for korrekturlesning med faglig tilknytning. Takk til Trine Hovda for korrekturlesning og tolkning av rapporten uten faglig tilknytning.

Haugesund, 7. mai 2020

*Thomas Halleraker*  
Thomas Halleraker

*Åsmund Hovda*  
Åsmund Hovda

*Levent Smakiqi*  
Levent Smakiqi



## ORDFORKLARINGER

---

BMS	Battery management system
CBRNE	Chemical, biological, radioactive, nuclear, explosion
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
EK	Elektrisk kjøretøy
HF	Hydrogenfluorid
HRR	Heat release rate
IDA	Innledningsvis, deretter, avslutningsvis
LCO	Litium kobalt oksid
LEL	Nedre brennbarhetsgrense
LFP	Litium jern-fosfat
LIB	Litium-ion batteri
LMO	Litium mangan oksid
MMI	Mål med innsats
NBSK	Norges brannskole
NCA	Litium nikkel kobalt aluminium oksid
NMC	Litium nikkel mangan kobalt oksid
PPM	Parts per million
RITS	Rednings innsats til sjøs
RITS-K	Rednings innsats til sjøs - kjemikalie
SEI	Solid electrolyte interface
SOC	State of charge
THR	Total heat release
UEL	Øvre brennbarhetsgrense



# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b> .....	<b>III</b>
<b>ORDFORKLARINGER</b> .....	<b>IV</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>VII</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>VIII</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN .....	1
1.2 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING .....	1
1.3 BEGRENSNINGER .....	1
<b>2 TEORI</b> .....	<b>2</b>
2.1 LITIUM-ION BATTERI .....	2
2.1.1 <i>Maritime batterisystemer</i> .....	4
2.1.2 <i>Batterisystem i elektriske kjøretøy</i> .....	5
2.2 BRANN I LITIUM-ION BATTERI .....	5
2.2.1 <i>Thermal runaway</i> .....	5
2.2.2 <i>Hvorfor brenner litium-ion batteri?</i> .....	6
2.2.3 <i>Termisk propagering</i> .....	9
2.2.4 <i>Avgassinger</i> .....	9
2.2.5 <i>Hydrogenfluorid</i> .....	10
2.2.6 <i>Eksplosjonsfare</i> .....	12
2.2.7 <i>Slukking</i> .....	14
2.2.8 <i>Reantenning</i> .....	14
2.2.9 <i>Elektrisk Strøm</i> .....	14
<b>3 METODE</b> .....	<b>16</b>
3.1 FAGSEMINAR BATTERIBRANN.....	16
3.2 BEFARING PÅ OV RYVINGEN .....	16
3.3 LITTERATURSTUDIUM .....	17
<b>4 KUNNSKAP OG UTSYR FOR HÅNDTERING AV BRANN I LITIUM-ION BATTERI.</b>	<b>18</b>
4.1 GJENNOMGANG AV BRANNVESENETS INNSATS VED BRANN I LITIUM-ION BATTERI .....	18
4.1.1 <i>Fagmyndigheters instruksjer</i> .....	18
4.1.2 <i>Innsatspersonells strategi</i> .....	19
4.2 INNSATSPERSONELLS VERNEBEKLEDNING.....	19
4.2.1 <i>Røykdykkerbekledning</i> .....	20
4.2.2 <i>Kjemikalieverndrakt</i> .....	21
4.3 KARTLEGGING AV UTSTYR OG KOMPETANSE.....	23





4.4	ERFARINGER FRA BRANN I MF YTTERØYNINGEN .....	23
4.4.1	<i>Brannvesenets innsats</i> .....	23
<b>5</b>	<b>KARTLEGGING AV RISIKOMOMENTER FOR INNSATSPERSONELL .....</b>	<b>25</b>
5.1	VERNEBEKLEDNING .....	25
5.2	MULIGE KONSENTRASJONER AV HF .....	25
5.3	BRANN I ELEKTRISK KJØRETØY I PARKERINGSKJELLER .....	26
5.3.1	<i>Redusere risiko</i> .....	26
5.4	BRANN I BATTERIROM PÅ SKIP .....	27
5.5	AUTOMATISK SLOKKEANLEGG .....	28
<b>6</b>	<b>ANBEFALINGER TIL BRANNVESEN OG ØVRIGE INNSATSPERSONELL.....</b>	<b>30</b>
6.1	TAKTISK BESLUTNINGSMODELL .....	30
6.1.1	<i>7-trinnsmodellen</i> .....	31
6.2	FORSLAG TIL RUTINE .....	32
6.2.1	<i>Brann i elektrisk kjøretøy i parkeringskjeller</i> .....	33
6.2.2	<i>Brann i batterirom på skip</i> .....	38
6.3	FORSLAG TIL INSTRUKS .....	43
6.3.1	<i>Brann i elektrisk kjøretøy i parkeringskjeller</i> .....	43
6.3.2	<i>Brann i batterirom på skip</i> .....	44
<b>7</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>FORSLAG TIL VIDERE ARBEID.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERANSER.....</b>	<b>47</b>
	<b>VEDLEGG A – INSTRUKS NORGES BRANNSKOLE.....</b>	<b>I</b>
	<b>VEDLEGG B – INSTRUKS BERGEN BRANNVESEN.....</b>	<b>III</b>
	<b>VEDLEGG C - BILDESERIE FRA BEFARING PÅ OV RYVINGEN .....</b>	<b>VI</b>
	<b>VEDLEGG D - DATA FRA GJENNOMFØRTE TESTER PÅ NMC-CELLER.....</b>	<b>VIII</b>
	<b>VEDLEGG E – BEREGNINGER HF SCENARIO.....</b>	<b>X</b>
	<b>VEDLEGG F - REFERAT FRA MØTE MED 3M.....</b>	<b>XI</b>
	<b>VEDLEGG G - INNSATSKORT FOR BRANN I SKIP OG PARKERINGSKJELLER.....</b>	<b>XIV</b>



## FIGURLISTE

FIGUR 2-1 BATTERICELLETYPER .....	2
FIGUR 2-2 FORDELINGEN PÅ CELLEKJEMI I BATTERI PÅ SKIP .....	3
FIGUR 2-3 LITIUM-ION BATTERI.....	3
FIGUR 2-4 OVERSIKT OVER ET MARITIMT BATTERISYSTEM.....	4
FIGUR 2-5 ÅRSAKER TIL THERMAL RUNAWAY .....	6
FIGUR 2-6 BRANNTREKANTEN FOR LITIUM-ION BATTERI.....	7
FIGUR 2-7 SAMMENHENG MELLOM BATTERIETS LADETILSTAND OG MENGDE AVGASSING .....	10
FIGUR 2-8 FLUSSYRES PENETRERINGSEVNE.....	11
FIGUR 2-9 EKSPLOSJON FRA BRANN I ELEKTRISK KJØRETØY .....	13
FIGUR 3-1 BILDE FRA BEFARING PÅ OV RYVINGEN.....	16
FIGUR 4-1 SONEINDELING FOR CBRNE-HENDELSER .....	19
FIGUR 4-2 RØYKDYKKERBEKLEDNING FRA BERGEN BRANNVESEN .....	20
FIGUR 4-3 BESKYTTELSESNIVÅ FOR KJEMIKALIEDYKKING .....	22
FIGUR 4-4 KJEMIKALIEVERNDRAKT FRA BERGEN BRANNVESEN .....	22
FIGUR 4-5 OVERSIKTSBILDE FRA MF YTTERØYNINGEN TATT MED IR-DRONE.....	24
FIGUR 4-6 ETSESKADER PÅ RØYKDYKKERUTSTYR ETTER INNSATS PÅ MF YTTERØYNINGEN .....	24
FIGUR 5-1 LUF60 SLOKKERBOT .....	26
FIGUR 5-2 BRANNSLOKKINGSCONTAINER FOR ELEKTRISKE KJØRETØY .....	27
FIGUR 6-1 SKJEMATISK SKISSE OVER EN TAKTISK PLAN VED HJELP AV IDA.....	30
FIGUR 6-2 7-TRINNSMODELLEN .....	31
FIGUR 6-3 7-TRINNSMODELLEN MED FORSKJELLIGE SITUASJONER .....	32

## TABELLISTE

TABELL 2-1 ULIKE TYPER KATODER I LITIUM-ION BATTERI.....	2
TABELL 2-2 OVERSIKT OVER ELEKTRODER BRUKT I ELEKTRISKE KJØRETØY .....	3
TABELL 2-3 NIVÅER I ET MARITIMT BATTERISYSTEM .....	4
TABELL 2-4 OVERSIKT OVER BATTERISYSTEM I ELEKTRISK KJØRETØY .....	5
TABELL 2-5 NIVÅER I EN BATTERIPAKKE PÅ ET ELEKTRISK KJØRETØY .....	5
TABELL 2-6 AVGASSINGER FRA LITIUM-ION BATTERI.....	9
TABELL 2-7 FARLIGE GASSER VED INNÅNDING.....	10
TABELL 2-8 PRODUKSJON AV HYDROGENFLUORID VED BRANN I LITIUM-ION BATTERI.....	10
TABELL 2-9 BRANNTEKNISKE EGENSKAPER FRA AVGASSINGER VED BRANN I LITIUM-ION BATTERI.....	12
TABELL 3-1 DELTAGERE PÅ FAGSEMINAR .....	16
TABELL 4-1 UTDANNINGSNIVÅ OG TILGJENGELIG UTSTYR FOR DIVERSE INNSATSPERSONELL.....	23



## SAMMENDRAG

---

De siste årene har det vært en stor økning i bruken av litium-ion batteri (LIB) som energibærer i transportsektoren. Dette kan medføre en økning av LIB branner i fremtiden. Hovedformålet med oppgaven var å gi innsatspersonell bedre forutsetninger til å håndtere en brann i LIB i lukkede rom ved å kartlegge risikomomenter under innsats, og ved å øke kunnskapen til brannvesenet om slike hendelser.

Oppgaven tar for seg følgende problemstillinger; hvilke risikomomenter en brann i LIB medfører, hvorfor risikoen øker i lukkede rom og hvordan en slik brann kan håndteres av innsatspersonell. For å besvare problemstillingene har det blitt gjennomført en variert arbeidsprosess med fagseminarer, befaringer og litteraturstudium. Det har blitt kartlagt hvilken kompetanse og utstyr innsatspersonell har for håndtering av slike hendelser, sammen med risikomomentene som er til stede.

Oppgaven har resultert i en rutine med tilhørende instruks til innsatspersonell for håndtering av brann i LIB, med fokus på brann i batterirom på skip og brann i elektrisk kjøretøy i parkeringskjellere. Rutinene og instruksene er basert på 7-trinnsmodellen fra Norges brannskole som er laget for befal i brannvesenet, og skal gi en utfyllende metode for å lede en innsats.

De spesifikke risikomomentene som ble identifisert ved brann i LIB i lukkede rom var eksplosjonsfare, dannelse av hydrogenfluorid og fare for strøm. Grunnet den store ansamlingen av brennbare gasser vil det være en vesentlig risiko for eksplosjon, både i batterirom og i parkeringskjellere. Det har vist seg å være spesielt vanskelig å ventilere ut brennbare gasser uten å risikere en eksplosjon i batterirom. Betydelige mengder av giftig hydrogenfluorid gass kan forekomme fra brann i LIB, denne gassen kan være livstruende selv ved lave konsentrasjoner. Når det gjelder fare for strømgjennomgang ansees det som svært usannsynlig ved brann i elektrisk kjøretøy. I batterirom i skip er det for øvrig en reell risiko for strømgjennomgang.



## SUMMARY

---

In recent years there has been a significant increase in the use of lithium-ion batteries (LIB) as energy carriers in the transport sector. This may lead to an increase in LIB related fires in the future. The main purpose of this thesis is to provide firefighters with better procedural knowledge for dealing with a fire in LIB in enclosed environments by identifying possible safety risks during firefighter operations, and by increasing firefighters' knowledge about such incidents.

The following issues are addressed; what risk factors a LIB fire entails, why the risks increase in enclosed environments and how such a fire can be handled by firefighters. In order to address these issues, different tasks have been carried out including subject seminars, an inspection and literature studies. The expertise and equipment firefighters have for handling such incidents has also been identified, together with the safety risks present.

The thesis has resulted in a procedure to be carried out with accompanying instructions to firefighters for handling LIB fires, focusing on fires in battery compartments on ships and fires in electric vehicles in parking cellars. The procedures and instructions are based on the "7-step model" from the Norwegian Fire Academy, which is made for commanding officers of the fire service and shall provide a complementary method for leading firefighter operations.

The specific risks identified regarding LIB fires in confined spaces were explosion hazards, hydrogen fluoride formation and electrical hazards. Due to the large accumulation of combustible gases there will be a significant risk of explosion, both in battery compartments and in parking cellars. It has proved particularly difficult to vent combustible gases without risking an explosion in the battery compartments. Significant amounts of toxic hydrogen fluoride gas can occur from a LIB fire, this gas can be life-threatening even at low concentrations. When it comes to electrical vehicles it is seen as very unlikely for electrical hazards to occur. However, the risks for an electrical hazard in battery compartments in ships are far greater.



# 1 INNLEDNING

---

De siste årene har det vært en stor økning i bruken av litium-ion batteri som energibærer i transportsektoren. Denne utviklingen er ventet å fortsette som følge av regjeringens satsing på grønn energi. Regjeringen har lagt fram en handlingsplan der målsettingen er å få en fossilfri kollektivtransport i Norge innen 2025 [1]. Dette vil blant annet bety at alle ferjer vil bli elektrifisert. Sammen med den store satsingen på elektrifisering, vil også risikoen for uønskede hendelser øke. Litium-ion batteri er fortsatt relativt nytt sett i sammenheng ved bruk i kjøretøy og i det maritime.

Brann i litium-ion batteri har vært et viktig tema de siste årene etter et par hendelser som har utfordret brannvesenet, der spesielt litium-ion batteri branner i lukkede rom som batterirom i skip og i parkeringskjellere øker risikoen for innsatspersonell. Har brannvesenet nok kunnskap og riktig utstyr til å håndtere slike branner?

## 1.1 BAKGRUNN

Økningen i antall elektriske kjøretøy og ferjer vil sannsynligvis medføre en økning i branner i litium-ion batteri i fremtiden. Utfordringer knyttet til håndtering, slukking av brann i litium-ion batteri, og manglende kunnskap om sikkerhet og beredskap rundt slike branner hos brannvesenet ble tydeligere etter brannen i batterirommet på hybridferjen MF Ytterøyningen i oktober 2019.

## 1.2 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING

Formålet med oppgaven er å gi innsatspersonell bedre forutsetninger til å håndtere en brann i litium-ion batteri i lukkede rom ved å kartlegge risikomomenter under innsats, og ved å øke kunnskapen til brannvesenet rundt slike hendelser. Oppgaven skal gi anbefalinger til rutiner og instruksjer for brannvesenet.

Oppgaven tar for seg følgende problemstillinger:

*Hvilke risikomomenter medfører brann i litium-ion batteri?*

*Hvorfor øker risikoen ved brann i litium-ion batteri i lukkede rom?*

*Hvordan skal innsatspersonell håndtere brann i litium-ion batteri i lukkede rom?*

For å besvare problemstillingene har det blitt gjennomført en variert arbeidsprosess med fagseminar, befaring og litteraturstudium.

## 1.3 BEGRENSNINGER

Begrensningene som er satt for oppgaven er at oppgaven skal omhandle risiko for innsatspersonell ved brann i litium-ion batteri i lukkede rom eller delvis lukkede rom. Som et resultat av dette vil det kun sees på litium-ion batteri som batteripakker på skip og batteri i elektriske kjøretøy i parkeringskjellere. Det blir dermed heller ikke sett på problemstillinger ved branner i det fri. Oppgaven tar kun for seg brann i sekundærbatteri, altså oppladbare batteri. For å begrense datamengden i oppgaven er det valgt å kun presentere data fra forsøk gjort på litium-ion batteri med NMC-celler. Grunnlaget for dette valget er at NMC-celler er de battericellene som blir mest brukt i det maritime marked, samtidig som et stort antall elektriske kjøretøy har batteri som består av slike celler. Grunnet mangelen på storskala forsøk der all avgassing ved brann i litium-ion batteri blir målt, er data fra mindre forsøk ekstrapolert for å samstemme med scenarier som blir presentert i oppgaven.

## 2 TEORI

Dette kapittelet vil presentere teorigrunnlaget for vurderingene som er gjort videre i oppgaven.

### 2.1 LITIUM-ION BATTERI

Det finnes en rekke forskjellige typer litium-ion batteri (LIB). Felles for de alle er at de består av to elektroder, elektrolytt og en separator. LIB er ofte samlet i en batterimodul, der hver modul består av et gitt antall battericeller. LIB brukes i batterisystemer til energilagring, spesielt i transportsektoren er dette blitt vanlig. Denne oppgaven vil se på relativt små batteripakker som på elektriske kjøretøy (EK), samt store batterisystemer som brukes på skip. Batteripakker som benyttes på EK vil ofte ha en kapasitet på opptil 100 kWh, mens batterisystemer på skip kan ha en kapasitet på flere MWh.

Det finnes flere ulike celletyper som benyttes. Figur 2-1 viser et eksempel på de tre vanligste celleutformingene for LIB.



Figur 2-1 Battericelletyper  
Kilde: Hentet fra [2]

#### 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 er de mest brukte sammensetningene presentert i tabell 2-1.

Tabell 2-1 Ulike typer katoder i litium-ion batteri [2]

Katode	Kjemi	Spesifikk energi [Ah/kg]
LFP	LiFePO <sub>4</sub>	160
LMO	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	100-120
LCO	LiCoO <sub>2</sub>	155
NCA	LiNiCoAlO <sub>2</sub>	180
NMC	LiNiCoMnO <sub>2</sub>	160

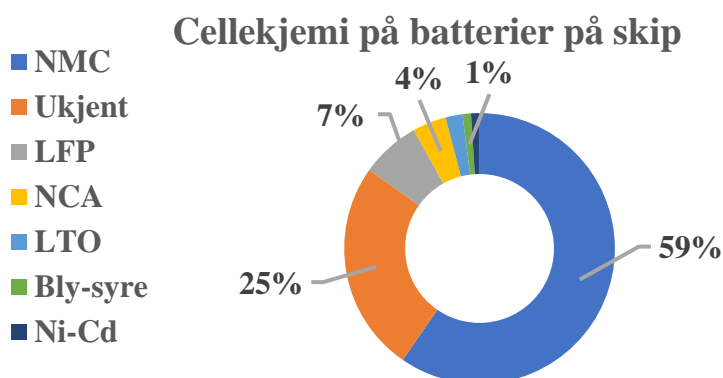
Når det brukes LIB i kjøretøy og på skip benyttes det forskjellige typer katoder. Tabell 2-2 viser en oversikt over noen EK og katodene som er brukt i batteriene på disse.



Tabell 2-2 Oversikt over elektroder brukt i elektriske kjøretøy[2]

Type personbiler	Battericeller	
	Anode	Katode
Nissan Leaf (2015)	Karbon	LMO-NCA
Renault Zoe (2017)	Karbon	NMC
Volkswagen e-Golf (2016)	Karbon	LMO-NCA-NMC
BMW i3 (2017)	Karbon	LMO-NCA-NMC
Tesla Model S (2010)	Karbon	NCA
Chevrolet Volt (2016)	Karbon	LMO-NMC

Ifølge Maritime Battery Forum, består et stort flertall av cellekjemiene i batteripakker på skip av NMC-celler [3]. Figur 2-2 viser fordelingen på cellekjemier i batteri på skip.



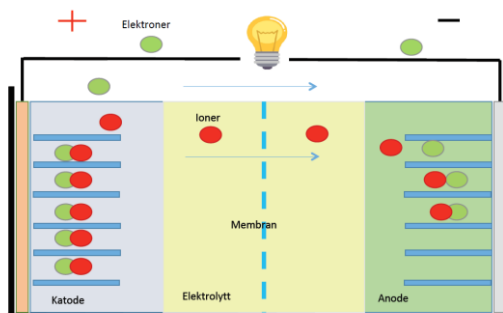
Figur 2-2 Fordelingen på cellekjemi i batteri på skip  
Kilde: Hentet med tillatelse fra [3]

### Elektrolytt

Elektrolytten er en væske som bidrar til å transportere ioner mellom katoden og anoden. Litium-ion befinner seg hovedsakelig i katoden. Ved forbruk 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 forbindelsene  $\text{LiPF}_6$ . Når denne elektrolytten fordampes oppstår det brennbare gasser [2].

### Separator

Det finnes forskjellige typer separatorer, men består vanligvis av porøs polyetylen- og/eller polypropylenfilm med en tykkelse på om lag 20  $\mu\text{m}$ . Separatoren ligger midt i batteriet mellom anoden og katoden, se figur 2-3. Separatoren har som funksjon å hindre transport av elektroner via elektrolytten, samtidig tillate transport av litium-ion mellom elektrodene. Dersom det oppstår brudd på separatoren vil det bli direkte kontakt mellom elektrodene, som kan føre til en intern kortslutning [2, 4].

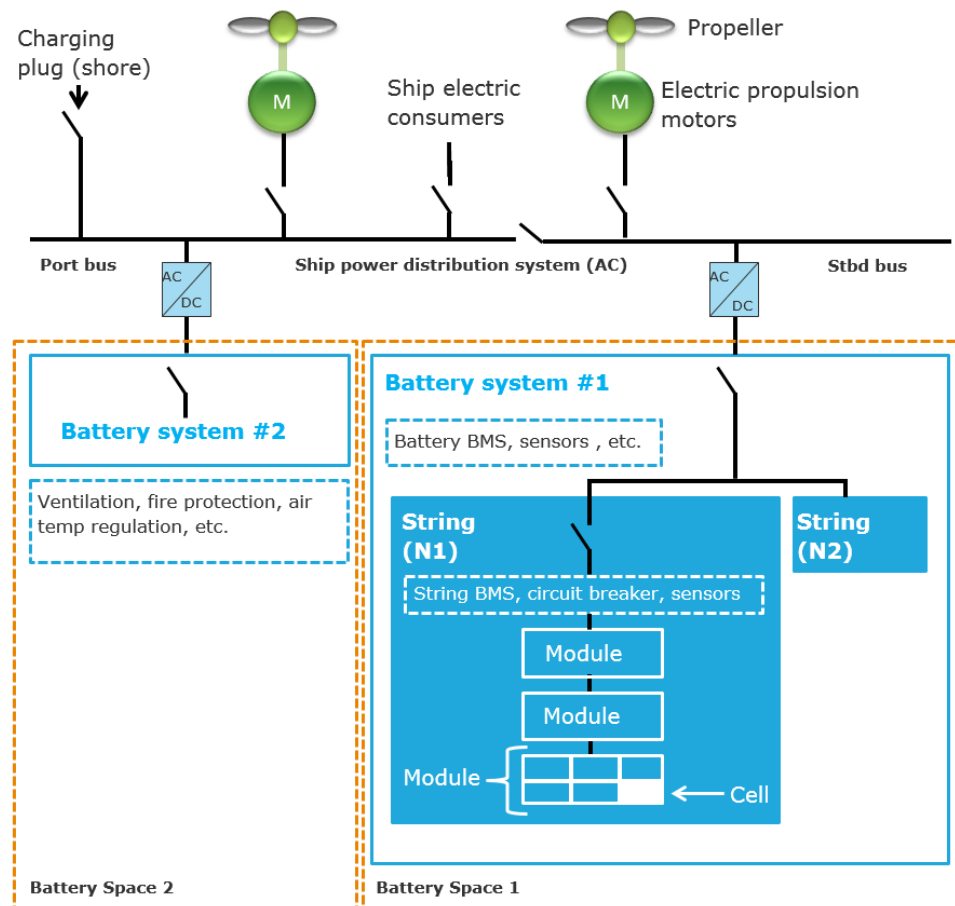


Figur 2-3 Litium-ion batteri  
Kilde: Hentet med tillatelse fra [5]



### 2.1.1 Maritime batterisystemer

Maritime batterisystemer er lagringssystemer som gir operatører handlingsrom til å lagre ubrukt og overflødig energi. Denne energien kan spares og brukes når det trengs, som for eksempel ved høyt forbruk for å kutte ned toppforbruket. Figur 2-4 viser hvordan et maritimt batterisystem kan være satt opp [6]. Bilder av et slikt system kan finnes i vedlegg C.



Figur 2-4 Oversikt over et maritimt batterisystem  
Kilde: Hentet fra [6]

Maritime batterisystemer på skip kan deles inn i flere nivå, fra cellenivå helt opp til systemnivå. Dette er beskrevet i tabell 2-3.

Tabell 2-3 Nivåer i et maritimt batterisystem [6]

Nivå	Navn	Beskrivelse
1	Celle	Minste elektrokjemiske enhet.
2	Modul	Samling av battericeller. Inneholder oftest en form for elektrisk styring og monitorering.
3	Streng	Minste enhet med samme spenning som hele batterisystemet.
4	Batterisystem	Hele batterisystemet, består ofte av flere strenger sammen med styringssystemer.

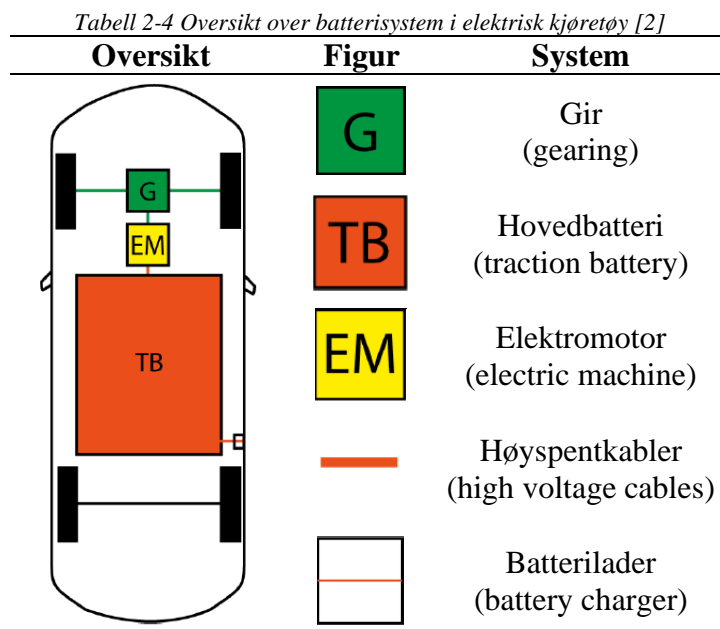
Batterisystemene innebærer en viss risiko for at det kan oppstå brann. Derfor finnes det flere barrierer på alle batterinivåer som skal forhindre dette. Batteri kan også produsere varme ved bruk, de er også sensitive for høye temperaturer. Som et resultat av dette er det krav om kjølesystemer på batteriene, de mest vanlige kjølesystemene er luftkjøling og vannkjøling [6].





## 2.1.2 Batterisystem i elektriske kjøretøy

EK har flere fordeler. De har vist seg å være miljøvennlige samtidig som de stadig får større rekkevidde som følge av ny teknologi. Store batteripakker som gir lang rekkevidde, sammen med mulighetene for å regenerere strøm gjennom bremses, gjør at EK stadig blir mer populære. Tabell 2-4 viser en oversikt over batterisystemet til et EK.



Hovedbatteriet lagrer elektrisk energi som gir strøm til kjøretøyet. Batteripakken på et EK er ofte plassert lavt og sentralt på kjøretøyet. LIB er den foretrukne typen batteri for EK. Den elektriske motoren bruker energien fra batteriet til å produsere mekanisk energi. Motoren har en effektivitet på omtrent 95 %. Høyspentkabler går fra batteri til andre elektriske komponenter. Et EK kan lades fra strømmettet som gir vekselstrøm, siden batteriene på EK kun lagrer likestrøm, må strømmen konverteres gjennom en konverter. Denne er ofte integrert inn i selve laderen til kjøretøyet [2].

LIB på EK kan også deles inn i flere nivå, likt som på batteripakker på skip. Forskjellen er at LIB på EK vil være av mindre størrelse, samt at batterinivåene er noe ulike [2]. Dette kan sees i tabell 2-5.

*Tabell 2-5 Nivåer i en batteripakke på et elektrisk kjøretøy [2]*

Nivå	Navn	Beskrivelse
1	Celle	Minste elektrokjemiske enhet.
2	Modul	Samling av battericeller.
3	Batteripakke	Minste enhet med samme spenning som hele batterisystemet.

## 2.2 BRANN I LITIUM-ION BATTERI

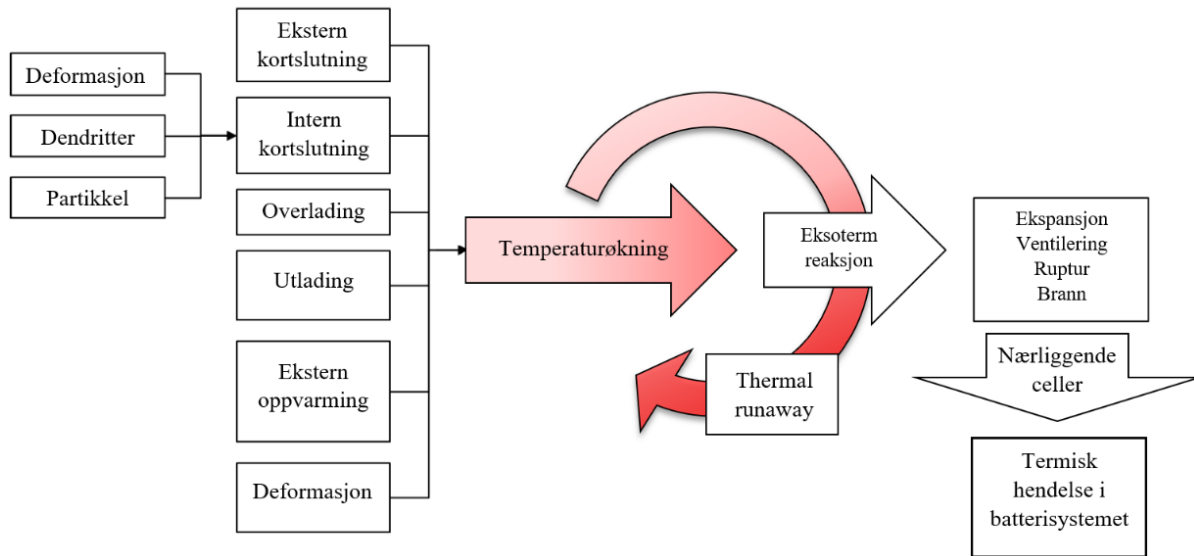
Dette delkapittelet vil presentere viktige momenter rundt brann i LIB, og ta for seg ulike årsaker for at det brenner. Det vil også bli sett på ulike risiko et brennende LIB medfører.

### 2.2.1 Thermal runaway

*Thermal runaway* er en prosess der temperaturen i et batteri øker ukontrollert på grunn av en intern eksoterm reaksjon. Akseptkriteriet for at thermal runaway har oppstått er at temperaturendringer overstiger  $>10$  °C/min [2]. Denne ukontrollerte varmeproduksjonen kan oppstå når temperaturen overstiger en gitt grense, ofte i temperaturintervallet 130-200 °C.



Thermal runaway oppstår på grunn av en rekke kjemiske reaksjoner som bidrar til denne ukontrollerte temperaturøkningen. Spesielt er reaksjonen mellom elektrolytten og anoden, og smelting av separator av stor betydning for at thermal runaway skal oppstå. Elektrolytten vil fordampe og bygge opp trykk inne i den aktuelle cellen, som medfører store utslipp av giftige og brannfarlige gasser, en såkalt ventilering. Katoden inneholder oksygen, og ved høye temperaturer frigjøres oksygenet og bidrar til forbrenningen. Når thermal runaway først er initiert i en battericelle er denne prosessen vanskelig å stoppe eller reversere. Den eneste kjente måten å slukke brannen på er å sørge for at thermal runaway ikke propagerer til nærliggende celler. Dette gjøres ved å kjøle ned den cellen som brenner og nærliggende celler. Vann er det foretrukne slökkemiddelet grunnet dets gode evne til å kjøle ned [2, 7].



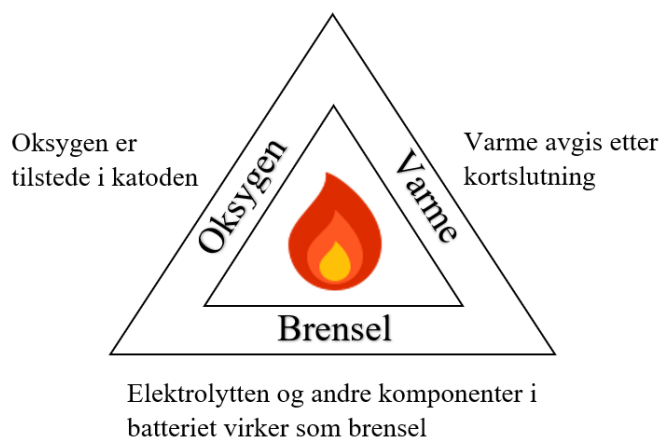
Figur 2-5 Årsaker til thermal runaway

### 2.2.2 Hvorfor brenner litium-ion batteri?

For at LIB skal brenne trengs en temperaturøkning i cellene. Det kan være flere ulike årsaker til denne økningen, som vist i figur 2-5. En temperaturøkning i en celle vil potensielt føre til en propagering til nærliggende celler og til slutt hele batterisystemet.

Ved en temperaturøkning vil elektrolytten i batteriet som er brennbar begynne å fordampe. Dette fører til at trykket i battericellen blir så stort at en ventilering av cellen er nødvendig [8]. Giftige og brennbare gasser vil ventileres ut fra cellen og til slutt kunne antenne ved for høye temperaturer eller eksterne tennkilder. I tillegg til andre komponenter som plastikk, vil elektrolytten ved antennelse fungere som brensel.

LIB trenger ikke tilførsel av oksygen for å brenne, da katoden inneholder oksygen. Ved høy nok temperatur vil oksygenet frigjøres og bidra til forbrenningen [2]. Som vist i figur 2-6 vil en brann i LIB inneholde alle sidene av branntrekanten, dette gjør at slike branner kan være svært utfordrende å slukke.



Figur 2-6 Branntrekanten for litium-ion batteri

Det er flere ulike årsaker til temperaturøkning i LIB, eksempelvis intern- og ekstern kortslutning, overlading og eksponering for varme.

### Intern kortslutning

En intern kortslutning vil skje dersom det oppstår direkte kontakt mellom katoden og anoden, vanligvis som følge av deformasjon, overlading, utlading med følgende dannelse av dendritter. Indre kortslutning vil føre til produksjon av varme i batteriet, dersom det er tilstrekkelig varme kan elektrolytten antenne. Hvor mye varme som avgis vil i stor grad påvirkes av hvilken grad batteriet er oppladet, men også av type batteri og brannkjemien til batteriet. Kortslutningen starter som regel i det små ved at en liten elektrisk strøm slippes igjennom separatoren. Varmen som frigjøres vil føre til at separatoren smelter og skadene blir enda større. Motstanden mellom katoden og anoden er da kun motstanden i elektrolytten. Det betyr at en stor mengde elektrisitet vil kunne strømme igjennom elektrolytten. Dette fører til nok varmeproduksjon til å antenne elektrolytten og har batteriet nok energi kan det settes i gang thermal runaway [2, 4].

### Deformasjon

Når en battericelle blir skadet kan det oppstå en indre kortslutning. Dette skjer ved at separatoren ikke klarer å opprettholde sin funksjon som følge av skade som slag, støt, klemskader m.m. LIB er laget med et hardt ytre skall som gjør at cellen er beskyttet. Dette gjør cellen mer motstandsdyktig for skade men er på langt nær noen garanti for å hindre deformasjon av cellen [2].

### Dendrittformasjon

Oppsamling av dendritter i elektrolytten kan føre til indre kortslutning. Oppsamling oppstår når litium-ionene ikke blir tatt opp i anoden men legger seg på utsiden i form av litium-metall. Dette kan oppstå ved for hurtig lading, overlading og lading med for lav temperatur. Hver gang en slik hendelse oppstår vil dendrittformasjon vokse ut fra anoden. Dendrittformasjon vil forme seg som en grenformasjon som kan skape kortslutning mellom elektrodene ved å vokse seg stor nok til å penetrere separatoren [2].

### Overlading

LIB er designet til å motta og lagre en viss mengde energi i en bestemt tidsperiode. Når disse grensene overskrides, som et resultat av overlading, vil cellens ytelse reduseres eller feile. Når en celle overlades vil litium-ion overføres til anoden. Når anoden når sin maksimale kapasitet, vil ikke litium-ion kunne føres inn i grafitten. Litiumet blir da samlet opp i anoden som litium-metall elektroplettering. Fortsetter oppladingen vil litiumet bygge seg opp og forme



dendritter. Disse dendrittene vil da vokse hver gang batteriet utsettes for overlading. Når dendrittene blir store nok vil de punktere separatorene og føre til en intern kortslutning mellom elektrodene [2, 4].

### Utlading

Utlading er når et batteri når sin nedre grense for lading. Hvis batteriet ikke har en funksjon som forhindrer utlading, vil kopper i anoden begynne å løse seg opp. Disse kopperpartiklene vil frigis i elektrolytten som kan punktere separatorene. Punkteres separatorene vil det i likhet med overlading føre til en intern kortslutning [2].

### Ekstern kortslutning

En ekstern kortslutning vil skje dersom katoden og anoden kommer i kontakt med hverandre. Ekstern kortslutning skiller seg fra intern kortslutning ved at en gjenstand leder elektrisitet fra anoden og katoden. Det kan eksempelvis skje ved en lavmotstands kobling mellom elektrodene, som metall. Da vil strømmen av elektroner fra anoden til katoden resultere i en kraftig varmeutvikling i batteriet. Dette kan i likhet med intern kortslutning føre til antennelse av elektrolytten eller annet brennbart materiale som igjen kan føre til thermal runaway [2, 4].

### Ekstern oppvarming

En begrensning ved LIB celler er at de er termisk ustabile over en viss temperatur. Når de utsettes for høye temperaturer svikter viktige mekanismer og eksoterme reaksjoner kan lede til problemer. Når batteriet varmes opp til en høy nok temperatur fører batteriets egenskaper til at batteriet generer mer varme, som kan føre til thermal runaway [8].

### Aldring

Over tid vil LIB danne en hinne på anoden som følge av reaksjon mellom elektrolytt og anoden, som kalles *Solid Electrolyte Interface* (SEI). Etablering av dette SEI-laget reduserer batteriets kapasitet, og bidrar videre til å begrense reaksjonen mellom elektrode og elektrolytt. Når batteriet gjennomgår ladesykluser vil elektrodene oppleve sammentrekning og ekspansjon, som vil ekspandere til nye overflater til elektrolytten og danne større flater med SEI på anoden. Dette SEI-laget påvirker den termiske stabiliteten til batteriet, som avgjør når de forskjellige eksoterme reaksjonene inntreffer. Integriteten til batteriet kan dermed være mindre pålitelig over tid [9].

Ny forskning gjort av Forsvarets forskningsinstitutt tilsier også at LIB kan tape termisk stabilitet som et resultat av aldring. Dette kan også skje selv om belastningen er i henhold til datablad. Det betyr i praksis at det skal mindre til for at batteriet går i thermal runaway [9]. Det finnes derimot lite forskning på hvordan aldring nøyaktig påvirker LIB. Diverse forskningsinstitutter peker på at det trengs mer forskning på dette feltet [10]. Det er derimot gjennomført eksperimentelle forsøk hvor aldringsprosessen til LIB har blitt fremskyndet ved å lagre dem på 60 °C fulladet. Disse forsøkene viser at eldre LIB går i thermal runaway ved lavere temperaturer enn ferske [9]. Et annet forsøk gjennomført med tilsvarende aldringsmetode peker på at eldre batteri kan ha en høyere oppvarmingsrate ved temperaturer over 200 °C. Denne forhøyde oppvarmingsraten bidrar igjen til at thermal runaway forttere oppstår i cellene [4].

### Sikringsystem mot thermal runaway

LIB har et *battery management system* (BMS). Dette fungerer som hjernen til batterisystemet og består av mange sensorer som kan overvåke og styre batteriene. BMS er nødvendig for at batteriene kan driftes på en sikker måte. Systemet måler spenningene for hver battericelle for å forhindre overspenninger og underspenninger. Temperaturen i cellene blir også målt flere plasser i batterisystemet. Antallet temperatursensorer i batterisystemer varierer med størrelse



og fra leverandør til leverandør. I noen tilfeller er det en temperatursensor for hver celle, men det også kan være vanlig med en til to sensorer for en hel batterimodul [8].

### 2.2.3 Termisk propagering

Termisk propagering er når en enkelt battericelle svikter, og den tilhørende temperaturøkningen fører til at naboceller også påvirkes. Ved propagering i flere celler vil også mengdene avgassing øke deretter. Som et resultat av dette vil propageringen fortsette videre, grunnet temperaturøkning og tilstrekkelig med brennbare gasser. Dette er grunnlaget for at en enkelt cellesvikt kan føre til at det oppstår thermal runaway i en større batteripakke. I elektriske kjøretøy og i store batterisystemer som på skip vil det være et stort antall battericeller som ligger svært tett inntil hverandre. Det vil være gunstige forhold for at termisk propagering kan oppstå [2].

### 2.2.4 Avgassinger

Ved brann i LIB oppstår det mange ulike gasser. Tabell 2-6 viser en oversikt over avgassinger som oppstår sammen med noen av gassenes egenskaper. Avgassingene består av både brannfarlige, giftige og etsende gasser.

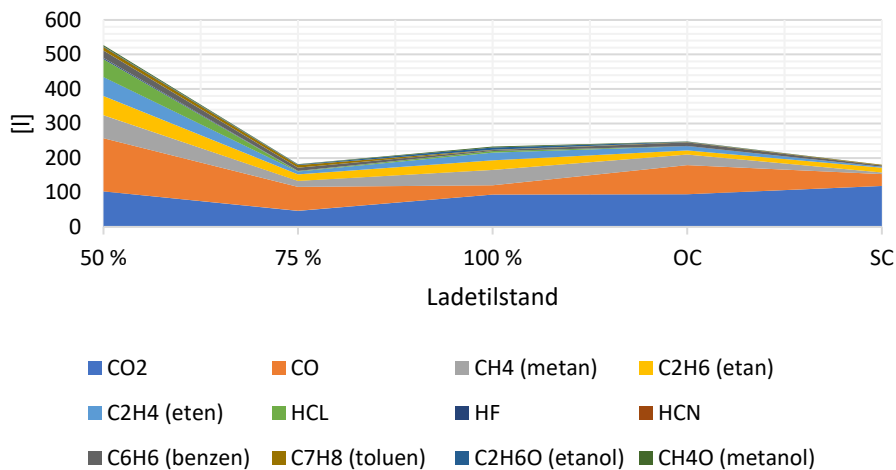
Tabell 2-6 Avgassinger fra litium-ion batteri [11]

Gasser	Brannfarlige	Giftige	Etsende
CO <sub>2</sub>	-	-	-
CO	✓	✓	-
H <sub>2</sub>	✓	-	-
CH <sub>4</sub> (metan)	✓	-	-
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (etan)	✓	-	-
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (eten)	✓	-	-
HCL	-	✓	-
HF	-	✓	✓
HCN	-	✓	-
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (benzen)	✓	✓	-
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (toluen)	✓	✓	-
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O (etanol)	✓	-	-
CH <sub>4</sub> O (metanol)	✓	✓	-

Hvor mye avgassing som oppstår og hvilken sammensetning av gasser avgassingene består av er avhengig av batteriets *state of charge* (SOC). Figur 2-7 viser en oversikt over volumet til alle avgassingene som kommer fra LIB i forhold til batteriets kapasitet (L/Ah). Mengdene avgassing presenteres ved ulike ladetilstander, samt mengder ved overlading (OC) og ved ekstern kortslutning (SC). All data som blir presentert er tatt ut fra tester som er demonstrert i vedlegg D.



## Avgassinger fra brann i LIB



Figur 2-7 Sammenheng mellom batteriets ladetilstand og mengde avgassing  
Kilde: Hentet fra vedlegg D

Det oppstår mange giftige gasser under en brann i LIB. Tabell 2-7 gir en oversikt over giftige gasser og verdiene som gir fare ved innånding.

Tabell 2-7 Farlige gasser ved innånding [11]

Gasser	Fare for liv ved innånding [ppm]
CO	1200
HCL	50
HF	30
HCN	50
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	500
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	500

Ved hendelser som angår brann vil innsatspersonell oftest benytte seg av fullstendig åndedrettsvern. Som resultat av dette vil det fokuseres på å se på eksponeringen av stoffers giftighet ved eksponering på hud. Det forutsettes at innsatspersonell benytter seg av fullstendig åndedrettsvern dersom det er snakk om å gå i innsats i nærhet av brennende LIB eller områder der avgassinger kan samle seg. Av alle de giftige gassene som oppstår ved brann i LIB, er det hydrogenfluorid (HF) som skiller seg spesielt ut da denne anses som helsefarlig også ved hudeksponering.

### 2.2.5 Hydrogenfluorid

HF gass blir dannet som et produkt av brann i LIB. Tabell 2-8 viser mengden HF som produseres avhengig av batteriets SOC.

Tabell 2-8 Produksjon av hydrogenfluorid ved brann i litium-ion batteri [11]

Avgassing	Batteriets ladetilstand				
	50	75	100	OC	SC
HF [%]	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1
Volum [L]	527	182	233	245	180



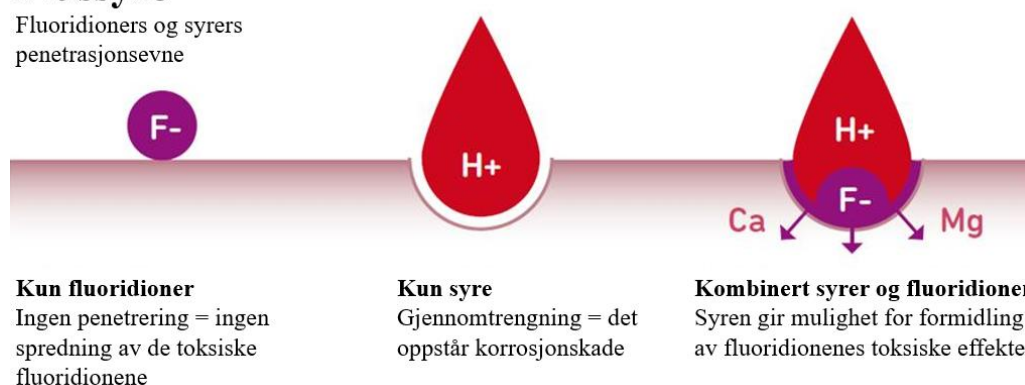
## Flussyre

Når gassen HF kommer i kontakt med vann dannes flussyre. Flussyre er en syre som er svært skadelig for mennesker. Ved hudkontakt penetrerer syren hud og ødelegger dype vev. Dette kan foregå over flere dager dersom det ikke behandles. Eksponering for flussyre fører oftest til lokale vevskader, men kan også føre til alvorlig systemisk forgiftning og kan være fatalt ved stor eksponering. Systemisk forgiftning vil bety at forgiftningen omfatter hele kroppen. Flussyreforgiftning er avhengig av mange forskjellige variabler som aggregattilstand, konsentrasjon, eksponeringsruter og tid før behandling startes. HF består av atomene hydrogen og fluor. Fluor er det mest elektronegative atomet i periodesystemet [12].

Flussyre kan, i likhet med andre syrer, først gi en overfladisk etseskade som skyldes frie hydrogenioner. Den sekundære skaden er mye mer alvorlig og skyldes at flussyre penetrerer dypt inn i vevet. Inne i vevet vil reaktive fluorioner danne tungt løselige salter med kationer som kalsium og magnesium. Dette fører til celledød samt systemiske effekter relatert til hypokalsemi eller kalsiummangel. Fluoridioner har også en direkte toksisk effekt mot hjertet og kan gi arytmier [12]. Flussyrens penetreringsevne er demonstrert i figur 2-8.

### Flussyre

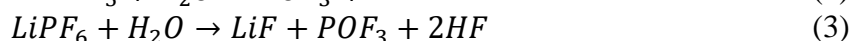
Fluoridioners og syrers penetrasjonsevne



Figur 2-8 Flussyres penetreringsevne  
Kilde: Hentet med tillatelse fra [13]

Når det gjelder eksponering av flussyre gjennom hud er omfanget av skadene bestemt ut ifra volumet, konsentrasjonen og eksponeringstiden syren har på huden. Ved konsentrasjoner høyere enn 50 % oppstår det akutte smerter og synlige etseskader umiddelbart etter eksponering. Dersom mer enn 2 % av overflatearealet til kroppen blir eksponert for høye konsentrasjoner av flussyre, bør det forventes at det oppstår livstruende forgiftning. Eksponering av små kroppsoverflater med lave konsentrasjoner av flussyre fører ikke typisk til livstruende forgiftning, men det har vært rapportert dødsfall ved mindre enn 5 % kroppsareal eksponert.

Det er elektrolytten i LIB som er hovedårsaken til at HF dannes under brann i LIB. I tillegg kan det også dannes noen mengder HF fra bindemiddelet i elektrodene. Under forbrenningsprosessen undergår elektrolytten som består av  $\text{LiPF}_6$  flere kjemiske reaksjoner som til slutt ender opp med HF som produkt. Formel 1-3 viser den kjemiske nedbrytningen av elektrolytten som fører til produksjon av HF [8].



HF er også skadelig ved hudkontakt i ren gassform. Høye konsentrasjoner av HF gass produserer etseskader lignende skader fra sterke syrer selv uten at det er fuktighet til stede.



Dødelig dose for mennesker ved eksponering av HF er tilnærmet 1 mg/kg. På grunn av HFs evne til å penetrere vev kan systematisk forgiftning oppstå ved enhver type eksponering [12].

Selv om verneutstyr benyttes ved innsats mot brann i LIB, er det bemerkelsesverdig å se på hva myndighetene tillater ordinære arbeidstakere å eksponeres for. Gjennom forskrift om tiltaks- og grenseverdier er det angitt grenseverdier for hvor store konsentrasjoner HF arbeidstakere kan utsettes for. I denne forskriften er grenseverdiene for HF satt til 0,5 mg/m<sup>3</sup> [14]. Ved å følge arbeidstilsynets veileder på omgjøring fra konsentrasjon i mg/m<sup>3</sup> til ppm kan grenseverdier for HF finnes i ppm [15]:

$$\frac{24,45}{M_{Stoff}} \cdot \text{konsentrasjon i } \frac{mg}{m^3} \quad (4)$$

$$\frac{24,45}{M_{HF}} \cdot \text{konsentrasjon i } \frac{mg}{m^3} \quad (5)$$

$$\frac{24,45}{20,01} \cdot 0,5 \frac{mg}{m^3} = 0,61 \text{ ppm} \quad (6)$$

Etter å ha endret grenseverdiene fra mg/m<sup>3</sup> er grenseverdien for HF 0,61 ppm, som er svært lavt. I sammenligning er den dødelige CO gassen oppført med en grenseverdi på 20ppm [14].

## 2.2.6 Eksplosjonsfare

Når det brenner i LIB dannes det mange ulike gasser som er brennbare. Med riktig blanding av brennbare gasser, oksygen og en tennkilde må eksplosjonsfare forventes dersom gassene ikke holdes utenfor øvre brennbarhetsgrense (UEL) og nedre brennbarhetsgrense (LEL).

Tabell 2-9 viser en oversikt over de mest kjente gassene som oppstår ved brann i LIB med selvantennelsestemperatur og brennbarhetsgrensene for de presenterte gassene.

*Tabell 2-9 Branntekniske egenskaper fra avgassinger ved brann i litium-ion batteri [11, 16]*

Gasser	Spontanantennelsestemperatur	LEL	UEL
	[°C]	[%]	[%]
Etylenkarbonat	465	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-
CO	609	12,5	74
H <sub>2</sub>	536	4,0	75
CH <sub>4</sub> (metan)	580	5,0	15,0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (etan)	515	3	12,4
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (eten)	450	2,7	36
HCL	-	-	-
HF	-	-	-
HCN	538	5,6	40
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (benzen)	560	1,3	7,9
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (toluen)	530	1,2	7,1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O (etanol)	365	3,3	19
CH <sub>4</sub> O (metanol)	470	6,7	36

Man skiller begrepet eksplosjon i fysisk og kjemisk eksplosjon. En eksplosjon som kan oppstå fra en brann i LIB vil være en kjemisk eksplosjon. En fysisk eksplosjon vil være plutselig frigjørelse av trykk som for eksempel et bildekk som sprekker. En fysisk eksplosjon kan for øvrig også oppstå i LIB dersom det oppstår en trykkøkning inne i batteriet. En kjemisk eksplosjon er en plutselig utvikling av energi fra stoffer som vil produsere varme og gi en





betydelig trykkøkning. En eksplosjon oppstår sjelden etter en brann, da brannen vil forbrenne brenselet. Da vil det ikke oppstå en oppsamling av brennbare gasser. Det finnes derimot unntak til dette. I lukkede rom der det vil være begrensede mengder oksygen tilgjengelig vil det kunne samles opp brennbare gasser som kan danne en eksplosiv atmosfære dersom oksygen blir tilført rommet. Det er ikke urealistisk at et slikt scenario kan oppstå ved en brann i LIB, da batterirommene ofte har relativt lite volum. Ved en slik hendelse vil det være naturlig å forsøke å ventilere ut branngassene etter hvert og da vil det være en risiko for at en kjemisk eksplosjon oppstår [17].

Risiko for eksplosjon påvirkes av en rekke faktorer:

- › Konsentrasjon av gasser
- › Sammensetning av branngasser
- › Trykk og temperatur
- › Turbulens
- › Åpne eller lukkede rom
- › Antenningsposisjon
- › Antenningsstidspunkt

De nevnte faktorene påvirker eksplosjonene og er avgjørende for om en eksplosjon blir svak og uten store konsekvenser, eller om den får store konsekvenser. Det påpekes også at svake eksplosjoner kan utgjøre en stor kraft. I lukkede rom uten avlastningsflater vil en eksplosjon kunne få voldsomme konsekvenser. I små lukkede rom vil det vanligvis oppstå trykkøkninger opp til flere bar ved en eksplosjon. Trykk er kraft over et areal, det vil si at ved mindre areal øker kraften rommet blir utsatt for. Formel 7 viser dette forholdet. På grunn av dette kan selv små trykkøkninger i et rom føre til enorme konsekvenser [17].

$$\text{Trykk}(p) = \frac{\text{Kraft}(F)}{\text{Areal}(A)} \quad (7)$$

Når gasskyen antennes kan flammen propagere på to forskjellige måter, deflagrasjon og detonasjon. Deflagrasjon er den mest vanlige av de to, da vil flammen propagere med en hastighet lik flammehastigheter. Det vil være på en størrelsesorden fra 1-1 000 m/s. Avhengig av flammehastigheten kan eksplosjonstrykket ved deflagrasjon bli opptil flere bar. Den mindre vanlige måten er detonasjon, dette er en supersonisk forbrenningsbølge. Det vil si relativ til hastigheten til lyden av flammen. En detonasjonsbølge vil ha en hastighet på 1 500-2 000 m/s og med et topptrykk på 15-20 bar. Ved en mulig eksplosjon som resultat av avgassing fra brennende LIB vil det være rimelig å anta at det vil oppstå en deflagrasjon. Dette betyr at det kan oppstå et trykk på flere bar inne i batterirommet. Det kan resultere i katastrofale konsekvenser da batterirom ofte er relativt små [17]. Figur 2-9 viser en bilgarasje etter at det oppstod en eksplosjon som resultat av brann i et elektrisk kjøretøy inne i garasjen.



Figur 2-9 Eksplosjon fra brann i elektrisk kjøretøy  
Kilde : Hentet fra [18]



### 2.2.7 Slukking

Ved brann i LIB har vann vist seg å være det foretrukne slokkemiddelet. Dette er grunnet vannets gode kjøleegenskaper og store fordampningsvarme. Vannets kjølede effekt vil kunne senke temperaturen til under materialets antennelsestemperatur. I tillegg tar vann opp mye energi ved fordampning. Denne kombinasjonen, av kjølede effekt og fjerning av energi fra brannen, gjør vann til det beste slokkemiddel på LIB branner [11].

Brann i LIB er veldig vanskelig å slukke. Dette skyldes at når thermal runaway er initiert i en battericelle, produserer brannen alt den trenger for å opprettholde sin egen brann. Den utvikler en rekke brannfarlige gasser, frigjør oksygen og brenner med en høy temperatur.

Branntrekanten oppfylles dermed uten noen form for ekstern kilde. Temperaturen som LIB brenner med varierer i stor grad ut fra SOC og cellekjemien. Tester viser at temperaturen som utvikles kan være over 1 000 °C. Det trengs dermed store mengder vann for å kjøle batteriet nok til å drepe brannen. Ifølge Teslas egne anvisninger til beredskap i forbindelse med overopphetning av batteriene til Tesla modell S, trengs det omtrent 11 500 liter for å slukke brannen i batteriet. I tillegg må det forventes å bruke rundt en time på å slukke brannen. Spres denne brannen må det derimot forventes betydelig lengre tid og ressurser på å slukke brannen [5].

Forutsetningene ved slukking av LIB i skip vil være den samme som beskrevet i EK med LIB. På skip vil derimot batteripakkene være enda større og rommet batteriene brenner i mindre. Det må derfor antas at slukking av LIB i skip vil utgjøre en omfattende innsats med høy vanskelighetsgrad. Brannvesenet har lite erfaring å vise til, men brannen i batterirommet på ferjen MF Ytterøyningen viste at en slik brann er tidkrevende og utfordrende å slukke for brannvesenet. Dette var i stor grad grunnet tilkomsten på skipet gjorde det vanskelig å komme til med de store mengder vann som trengs for å slukke en brann i LIB [19].

Ved entring av batterirom vil bruk av spredt stråle kunne være en metode å utføre innsatsen på, for at vannet skal kunne tilføres så raskt som mulig til stort volum, og dermed kjøle ned branngasser i rommet. En kan også bruke denne metoden for å slå ned HF, ved at gassen binder seg med vann og legger seg ned. Dette kan dermed føre til et nytt problem, da det vil dannes flussyre. Man tar altså problemet fra gassform til væskeform, som kan være lettere å håndtere [20].

### 2.2.8 Reantennning

En problemstilling ved brann i LIB er at de kan reantenne lang tid etter slukking. I et studie fra 2013 ble det gjennomført forsøk hvor en batteripakke reantente 22 timer etter omgivelsestemperatur var nådd. Studiet påpeker også at forskjellige brannvesen i USA har hatt opplevelser hvor batteri i EK har reantent etter slukking. Batteri som har gått i thermal runaway bør derfor behandles med stor forsiktighet i lang tid etter en hendelse [21].

### 2.2.9 Elektrisk Strøm

Elektrisk strøm er elektriske ladninger som beveger seg. Strømmen beveger seg gjennom en leder, eksempelvis metall, og frakter energi fra et sted til et annet. En skiller hovedsakelig mellom to typer strøm; likestrøm og vekselstrøm. Likestrøm er elektrisk strøm som flyter i en retning, og betegnes på engelsk med *direct current* (DC). Vekselstrøm derimot er strøm som periodisk skifter retning, slik at det i gjennomsnitt går like mye strøm i begge retninger langs en leder. På engelsk brukes betegnelsen *alternating current* (AC). LIB er en likestrømkilde



som ved bruk av en vekselretter omformer likestrøm til vekselstrøm. Dermed kan likestrømmen fra LIB brukes til blant annet motorer i maritime fartøy. Elektrisk strøm er tett knyttet til spenningen og motstanden i et batteri. Dette er beskrevet i Ohms lov, ligning 8 viser hvordan dette forholdet ser ut [22].

$$\text{Elektrisk strøm } (I) = \frac{\text{Spenning } (V)}{\text{Motstand } (R)} \quad (8)$$

Batteri kan enten kobles sammen i serie eller i parallell. For å seriekoble batteri må hver pol kobles til en motsatt pol slik at spenningen vil øke. Ved parallellkobling kobles alle negative og positive poler sammen. Spenningen blir da uforandret, men den indre motstanden reduseres, dermed øker kapasitet og batteriene kan levere mer strøm [9]. Slik kan batteri med elektrisk strøm brukes som en god energibærer på skip.

For at en person skal få strømgjennomgang kreves det berøring av både positiv og negativ pol samtidig. Det innebærer at man må ha en sluttet krets fra positiv til negativ pol gjennom en persons kropp. Eksempelvis fra hånd til hånd, eller fra hånd til fot. Selv små mengder elektrisk strøm kan være farlig for mennesker. Så lave nivåer som 10 mA kan føre til at en person mister kontroll over musklene. Skal strømgjennomgangen derimot være dødelig må det være en strøm på minimum 30 mA gjennom hjertet. Det er strømmen som er farligst for mennesker, men spenning på over 50 V vil også være potensielt livsfarlig [22].



### 3 METODE

Det har blitt gjennomført en variert arbeidsprosess med fagseminar, befaring og litteraturstudium for å få et overblikk i hvordan dagens situasjon er når det gjelder bruk og kunnskap rundt LIB.

#### 3.1 FAGSEMINAR BATTERIBRANN

28. - 29. januar 2020 inviterte Bergen brannvesen til et arbeidsseminar vedrørende håndtering av brann i LIB. Målet med fagseminaret var å få frem ledende kunnskap om håndtering av brann i LIB, gjennom gode presentasjoner og diskusjoner blant Norges ledende fagmiljøer på området. For å få et samlet perspektiv på problemstillingen med brann i LIB, var det mange ulike fagmiljøer representert på seminaret. De forskjellige fagmiljøene som var representert var myndigheter, leverandører og montører, forskningsvirksomheter, beredskapsstater, rederier og øvrige bedrifter som benytter seg av LIB [5]. Tabell 3-1 gir en oversikt over virksomhetene som var representert på seminaret.

Tabell 3-1 Deltagere på fagseminar [5]

Myndighet	Leverandører og montører	Forskningsvirksomheter	Beredskapsstater	Rederier og bedrifter
Sjøfartsdirektoratet	Kongsberg Maritime	Forsvarets forskningsinstitutt	Bergen brannvesen	Forsvarets materialverk
Petroleumstilsynet	Siemens	Gexcon	Oslo brann- og redningsetat	Awilco drilling
Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap	Corvus	Høgskulen på Vestlandet	Kvinnherad brann og redning	Nova Sea
	Westcon		Kystverket	Color Line

#### 3.2 BEFARING PÅ OV RYVINGEN

12. mars 2020 ble det gjennomført en befaring på et av Kystverkets fartøyer, OV Ryvingen. Fartøyet lå forankret på Fitjar Mekaniske Verksted og var i prosessen med å få installert LIB ombord for å få hybrid fremdrift. Det ble jobbet med å installere en batteripakke fra Corvus Energy på omtrent 3 MWh fordelt på to batterirom. Batteriene på skipet er luftkjølte. Skipet er installert med Novec 1230 slukkeanlegg i batterirom og i maskinrom. Ulike problemstillinger rundt sikkerheten med LIB ble diskutert med besetningen på fartøyet. Figur 3-1 viser bilder som ble tatt under befaringen på OV Ryvingen. Resten av bildene som ble tatt kan finnes i vedlegg C.



Figur 3-1 Bilde fra befaring på OV Ryvingen  
Kilde: Privat



### 3.3 LITTERATURSTUDIUM

Det ble utført litteraturstudium for å kartlegge informasjon rundt temaet brann i LIB. Typer litteratur som er gjennomgått i litteraturstudiet er tidsskrifter, artikler, bøker, tekniske rapporter og avhandlinger. Det er noen avhandlinger og tekniske rapporter som har vært svært sentrale i forhold til arbeidet som er blitt gjort i denne oppgaven.

#### Avhandlinger

- › "Assesment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation"
- › "Køretøjer med ikke- fossile brændstoffer og deres påvirkning af- Omgivelser- og beredskabet ved brand"

#### Tekniske rapporter

- › "Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression"

#### **"Assesment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation"**

Doktoravhandlingen er skrevet av Fredrik Larsson og går ut på LIB sikkerhet. LIB har blitt studert ved ulike belastningstester som ekstern brann, ekstern oppvarming (varmeovn), ekstern kortslutning og overlading. Det ble testet 15 forskjellige typer kommersielle LIB, disse med forskjellige kjemiske sammensetninger og ulike cellekapasiteter [8].

#### **"Køretøjer med ikke- fossile brændstoffer og deres påvirkning af- Omgivelser- og beredskabet ved brand"**

Masteravhandlingen skrevet av Allan Skovlund belyser utviklingen i antall EK som bruker LIB og hvilke konsekvenser denne utviklingen har for beredskapsstyrker med hensyn på ressursbruk og tidsforbruk, samt eventuelt behov for nytt spesialverktøy, metoder og kompetanse for håndtering av brann i EK [4].

#### **"Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression"**

Rapporten utstedt av DNV GL har som intensjon å gi et mer nyansert bilde på LIB sikkerhet. Hovedmålet for rapporten er å gjøre jobben for regulerende myndigheter enklere, samt å gi innsikt for ingeniører rundt risikoen med LIB slik at nødvendige hensyn ved implementering av LIB kan bli gjort. Rapporten fokuserer på å gi informasjon på to forskjellige områder. Det første området gjelder kvantifisering av avgassingsinnhold og eksplosjonsrisiko når det oppstår brann i LIB. Det ble gjennomført forsøk på LIB av typen NMC og LFP. Batteriene ble utsatt for ulike typer belastninger som resulterte i thermal runaway og brann. Den andre delen av rapporten gikk ut på testing av forskjellige automatiske sløkkeanlegg og deres effekt på brann i LIB [11].



## 4 KUNNSKAP OG UTSYR FOR HÅNTERING AV BRANN I LITIUM-ION BATTERI

---

Det har vist seg å være stor variasjon i kunnskapen om innsats rundt LIB. Dette kapittelet vil gjennomgå hvilket forutsetninger innsatspersonell i forskjellige instanser har i forhold til en brann i LIB. Dette gjelder hvilke kunnskap mannskap og deres etater innehaber, samt hvilken tilgang på verneutstyr de forskjellige innsatspersonellene har.

### 4.1 GJENNOMGANG AV BRANNVESENETS INNSATS VED BRANN I LITIUM-ION BATTERI

Brannvesenet ansees som fremste faginstans når det kommer til brannslukking. Det er likevel ytret ønske i brannmiljøet om mer kunnskap rundt temaet brann i LIB. For å belyse hva brannvesenet har av kunnskap fra før vil dette kapittelet se på slukkeinstrukser laget av Norges brannskole (NBSK), i tillegg til Bergen brannvesens egne instrukser for en slik innsats.

#### 4.1.1 Fagmyndigheters instrukser

Det finnes forskjellige beredskapsinstanser som har produsert instrukser på hvordan en innsats mot brann i LIB skal håndteres. NBSK har gjennom direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) laget noen instrukser, mens mange lokale brannvesen også har egne instrukser. Bergen brannvesen er eksempel på dette.

#### **Norges brannskole**

NBSK er den nasjonale utdanningsinstitusjonen innen brann, redning og oljevern. De dekker et vidt spekter av utdanning og opplæring innen innsats og beredskap, forebyggende og feierfag, flybrannslukking og oljevernberedskap. Skolen er underlagt DSB [23].

NBSK har nylig revidert bøkene for grunnkurs for brannkonstabler. Her tar de for seg all grunnkunnskapen som kreves for brannkonstabler for å få bestått grunnkurs, dette gir godkjent yrkesutdanning som brannkonstabel. I disse bøkene blir det beskrevet instrukser for hvordan brann i LIB skal håndteres av brannmannskap. De nevnte instruksene kan finnes i vedlegg A.

#### **Bergen brannvesen**

Bergen brannvesen har opprettet retningslinjer for hvordan en innsats skal gå fram ved brann i LIB. Målet med innsatsen blir satt til å forhindre brannspredning og hindre eksponering for personer og innsatspersonell for giftige og etsende stoffer. Brann i LIB blir delt inn i to scenarier, der brann i elbil i lukkede rom og brann i batterirom blir nevnt. Ved brann i batterirom blir det vurdert om det er hensiktsmessig å løse ut slukkeanlegget i batterirommet dersom dette ikke allerede er gjort. Entring av batterirom av innsatspersonell skal ikke vurderes med mindre det er snakk om livreddende innsats. Dersom entring av batterirom skal utføres må dette gjøres med stor aktsomhet da det forekommer eksplosjonsfare, samt fare for eksponering av etsende stoffer. Et annet faremoment er at batterianlegget fortsatt kan være spenningsførende. Instruksen i sin helhet kan finnes i vedlegg B.



#### 4.1.2 Innsatspersonells strategi

Den viktigste oppgaven på et ulykkessted er å verne om liv og helse. Den neste oppgaven er å verne om miljø, deretter materielle verdier [22]. Avhengig av målet med innsatsen vil innsatspersonellet ha forskjellige tilnærminger til innsatsen som skal gjøres. Dersom målet er å redde liv vil det tas en offensiv tilnærming, mens med miljø- og materielle verdier vil det brukes en defensiv tilnærming.

##### Offensiv tilnærming: Livreddende innsats

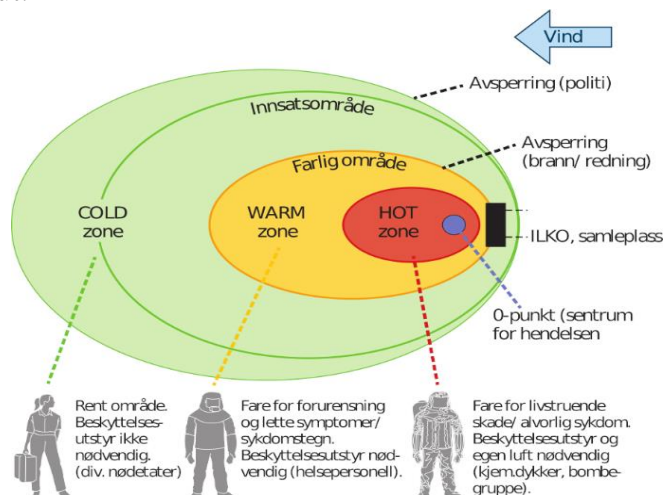
Ved en livreddende innsats vil tiden være en kritisk faktor. Risikoen ved røykdykking skal alltid vurderes, og den risikoen innsatspersonellet utsetter seg for skal alltid stå i forhold til forventet utbytte av innsatsen [24]. Ved livreddende innsats vil forventet utbyttet være stort og man kan tillate større risiko ved selve innsatsen. Allikevel skal egensikkerhet til innsatspersonell alltid prioriteres.

##### Defensiv tilnærming: Begrense skadeomfang o.l.

Ved en innsats der målet er å verne om miljø- og materielle verdier vil det tillates lavere risiko. Defensiv tilnærming er ikke like tidskritisk som med en offensiv tilnærming. Det forventede utbyttet av innsatsen er for lite til at innsatspersonell skal utsettes for potensiell fare. Ved mange hendelser velges derfor en defensiv tilnærming umiddelbart etter at det er avklart at det ikke er en livreddende innsats.

#### CBRNE-rutiner

Brannvesenet har rutiner for hvordan CBRNE-hendelser skal håndteres. CBRNE står for kjemiske stoffer (C), biologisk agens (B), radioaktive stoffer (R), nukleært materiale (N) og eksplosiver (E). En brann i LIB kan sees på som en CBRNE-hendelse. CBRNE-hendelser håndteres ved en soneinndeling som definerer hvilket beskyttelsesnivå som skal benyttes [25]. Sonene deles inn i cold zone, warm zone og hot zone. Figur 4-1 viser hvordan denne soneinndelingen ser ut.



Figur 4-1 Soneinndeling for CBRNE-hendelser  
Kilde: Hentet fra [26]

#### 4.2 INNSATSPERSONELLS VERNEBEKLEDNING

Dette delkapittelet vil gå gjennom hvilken vernebekledning innsatspersonell vil ha tilgang til under brann i LIB. Vernebekledningens egenskaper vil presenteres, samt kravene som stilles gjennom norske standarder til de nevnte vernebekledningene. Røykdykkere og kjemikaliedykkere skal ha fullstendig åndedrettsvern. Dette kan oppnås med pressluft- eller



oksygenapparat [27]. Det mest vanlige å bruke er pressluftapparat. Pressluftapparatene og tilhørende utstyr skal være i henhold til NS-EN 136 og NS-EN 137 [28, 29]. Kravene og egenskapene til pressluftapparatene som benyttes vil ikke bli ytterligere kommentert i denne oppgaven.

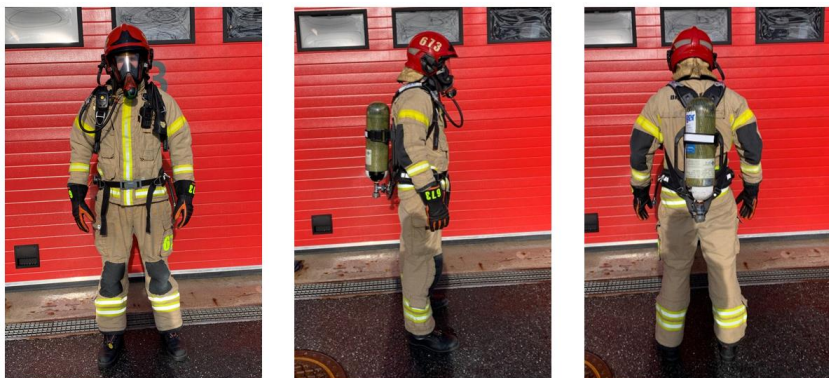
#### 4.2.1 Røykdykkerbekledning

Brannvesenet benytter røykdykkerbekledning, også kallet brannmannsbekledning, for å verne innsatspersonell for varmebelastning ved røykdykk i varme omgivelser.

Røykdykkerbekledningen skal beskytte mot varme og skader, men samtidig hemme fordampning av svette. Da kan kroppstemperaturen stige ytterligere, slik som ved høy luftfuktighet. I en krisesituasjon, for eksempel ved rask temperaturstigning, kan riktig bekledning ha avgjørende betydning. Den kan gi mulighet for fortsatt innsats og skal sikre retretten. Røykdykkerbekledning skal:

- › Beskytte mot åpen ild og strålevarme
- › "Puste", for å lette avdampningen av svette
- › Være vannavstøtende
- › Hindre gjennomstrømming av varme gasser

Røykdykkerbekledningen skal også være hel og uten rifter dessuten ren, tett og tørr. Den skal også være typegodkjent etter standarden NS-EN 469. Underbekledningen skal ha gode svettetransporterende og svetteabsorberende egenskaper. Av hygieniske grunner er det viktig at underbekledningen blir vasket hver gang man har svettet i den. Dette er også viktig fordi bekledningen ellers mister eller får redusert de svettetransporterende egenskapene. Ingen røykdykker bør gå i førsteinnsats ved brann uten å være iført bekledning som tilfredsstiller disse kravene [22]. Bergen brannvesen bruker selv røykdykkerbekledning fra leverandøren Viking, figur 4-2 viser et eksempel på dette.



Figur 4-2 Røykdykkerbekledning fra Bergen brannvesen  
Kilde: Privat

HF's penetreringsevne på røykdykkerbekledning er blitt testet i forsøk. En røykdykkerbekledning består av flere lag. Ved testing av hvert individuelle lag var penetreringstiden for HF fra < 1 minutt til omtrent 3 minutter. Når alle lagene ble testet sammen, ble penetreringstiden på over 20 minutter. Det vil si at det tar relativt lang tid for HF å trenge gjennom røykdykkerbekledningen [30]. Hvor lenge en kan oppholde seg i en atmosfære med HF gass uten skade er allikevel usikkert, da røykdykkerbekledningen ikke er gasstett. Selv om selve klesplaggene motstår HF, vil gassen trenge gjennom der det ikke er tett og komme i kontakt med hud. Eksempelvis gjennom glidelås og ved hals/armar/ben.





## Krav til røykdykkerbekledning

NS-EN 469 er en norsk standard som beskriver ytelseskrav til vernetøy for brannslukking. Vilkår for testing av oppfylging av ytelseskrav blir også beskrevet. Standarden beskriver minimumskrav for yteevne for verneklær som skal brukes under innsats ved brannslukking og lignende redningsoppdrag. Standarden dekker ikke beskyttelse mot kjemiske farer og lignende. Standarden beskriver generelt design av verneklær, minimumskravene for materialene som blir brukt og testmetodene som blir brukt til å avgjøre verneklærnes yteevne. Kravet til yteevne kan oppnås ved bruk av et eller flere klesplagg. Standarden dekker hendelser ved uhell med skvett fra kjemiske og brennbare væsker, men dekker ikke spesialutstyr som brukes for andre høyrisiko situasjoner. Den dekker ikke beskyttelse for hode, hender, føtter eller beskyttelse mot andre farer som kjemiske, biologiske, radiologiske og elektriske farer. Disse ytelseskravene blir beskrevet i andre standarder. Ved eksponering for varme kreves det at vernebekledning har strekkstyrke på  $\geq 450$  N ved varmekraft på  $10 \text{ kW/m}^2$ . Vernebekledningen skal testes ved en temperatur på  $(180 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$  for en eksponeringstid på 5 minutter. I løpet av denne eksponeringstiden skal klærne ikke antenne, smelte eller krympe med mer enn 5 % i enhver retning [31].

### 4.2.2 Kjemikalieverndrakt

Brannvesenet bruker kjemikalieverndrakt for verne innsatspersonell mot kjemikalier. Kjemikalieverndrakt skal hovedsakelig benyttes mot ikke brannfarlige stoffer med kokepunkt under  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  og samtidig fare for overspyling eller sprut, og mot stoffet som medfører frostskaade [32]. Kjemikalieverndrakt skal være tett, ren, uten rifter, og skal jevnlig sjekkes for slitasjeskader. Den skal også være godkjent etter standarden NS-EN 943 - 1 & 2.

Kjemikalieverndrakt skal:

- › Hindre gjennomtrenging av helsefarlige gasser.
- › Beskytte mot farlig kjemisk påvirkning, som ikke røykdykkerutstyr beskytter mot.

Det er hovedsakelig kun større brannvesen som har kjemikalieverndrakter som beskytter fullt ut mot HF. Norges brannskole henviser til [farligodspermen.no](http://farligodspermen.no) for retningslinjer for kjemikalieverndrakt. Farlig gods-permen deler kjemikaliedykking inn i fire ulike beskyttelsesnivå [25]. Figur 4-3 viser hvordan beskyttelsesnivåene ser ut. Farlig gods-permen beskriver beskyttelsesnivåene på følgende måte:

- › **Beskyttelsesnivå 1**  
Brannbekledning: Brukes når brann- og eksplosjonsfaren er større enn faren for kjemisk skade. Kraftige oljebestandige gummistøvler er ofte en god tilleggsbeskyttelse.
- › **Beskyttelsesnivå 2**  
Brannbekledning med splashdrakt: Benyttes normalt for å beskytte mot sprut fra væske (for eksempel brannfarlige, giftige og etsende væsker) og etsende stoffer.
- › **Beskyttelsesnivå 3**  
Kjemikalieverndrakt med fullstendig åndedrettsvern: Brukes ved høye konsentrasjoner av giftige og/eller etsende gasser, og overfor giftige og/eller etsende væsker, når det ikke er fare for frostskaader.
- › **Beskyttelsesnivå 4**  
Kjemikalieverndrakt med fullstendig åndedrettsvern og kuldebeskyttelse: Brukes mot ikke brannfarlige stoffer med kokepunkt under  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  og samtidig fare for overspyling eller sprut, og mot stoffer som medfører frostskaade (sprutbeskyttelsen isolerer da gassverndrakten og beskytter den).



Beskyttelsesnivå 1

Beskyttelsesnivå 2

Beskyttelsesnivå 3

Beskyttelsesnivå 4

Figur 4-3 Beskyttelsesnivå for kjemikaliedykking

Kilde: Hentet med tillatelse fra [25]

I Bergen brannvesens tilfelle brukes gjenbrukbare kjemikalieverndrakter fra Dräger. Draktene heter CPS 7900 og er gasstette drakter i henhold til NS-EN 943-2. De kjemikaliesikre draktene beskytter mot farlige stoffer i gassform, i flytende form, i aerosolform og i fast form, samt mot smittekilder. De beskytter dessuten mot inkorporasjon av radioaktive partikler. Draktene er ikke egnet til å tåle varmebelastninger. Dräger råder å unngå varme og åpne flammer, derfor er de ikke egnet for å bekjempe brann. I følge Drägers bruksanvisning til CPS 7900, har draktene et tillatt bruksområde fra  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Figur 4-4 viser kjemikalieverndrakter fra produsenten Dräger.



Figur 4-4 Kjemikalieverndrakt fra Bergen brannvesen

Kilde: Privat

### Krav til kjemikalieverndrakt

NS-EN 943 - 1 og 2 er norske standarder som beskriver funksjonskrav til beskyttelsesdresser mot kjemikalier for redningsstyrker. Standarden beskriver minimumskravene for utstyr, metode for testing, markering og informasjon gitt av produsenten for ventilerte og ikke-ventilerte gasstette kjemiske beskyttelsesdrakter. Det presiseres i standarden at den ikke har etablert minimumskrav for beskyttelse mot annet enn kjemiske gasser, eksempelvis brann, varme, eksplosjonsfare med mer. Standarden dekker heller ikke tilleggsutstyr som hansker og sko, men henviser til andre standarder for oppfyllelse av respektive ytelseskrav.

Beskyttelsesdrakter som brukes skal testes mot 15 ulike kjemikalier. Testene foregår ved at alle delene av beskyttelsesdrakten får et minimumskrav ved en tallverdi fra 1 til 6, hvor 6 er det strengeste kravet. Deretter testes drakten opp mot disse minimumskravene ved alle 15 kjemikalierne. Alle beskyttelsesdrakter som skal brukes for innsats mot kjemikaliehendelser skal kunne dokumentere godkjent test [33, 34].



### 4.3 KARTLEGGING AV UTSTYR OG KOMPETANSE

Det er rimelig å anta at brannvesenet vil bli bedt om å bistå i enhver hendelse med brann i LIB på fastlandet i Norge. Alle brannkonstabler vil som oftest ha et grunnkurs i regi av NBSK som utgangspunkt. Brann-Norge er delt i heltid- og deltidsstyrker. Pensumet er det samme, det som skiller heltid- og deltidsstyrker er tiden de har disponibel til kursing. Grunnkurs for heltidspersonell i brannvesenet er et 8-ukers varig kurs [22].

Brannvesenet har hovedsakelig to forskjellige typer verneutstyr disponibelt for håndtering av brann i LIB. Det er kjemikalieverndrakter og røykdykkerbekledning. Egenskapene og kravene til dette utstyret er beskrevet i delkapittel 4.2. Brannvesenets innsatspersonell skal være kurset og opplært i håndtering og bruk av slikt utstyr.

På innretninger til havs som på plattform og på skip vil mannskapene selv måtte håndtere en beredskapshendelse som brann i LIB på egenhånd da avstandene fra andre beredskapssteder kan være store. Noen brannvesen har innsatsstyrker som kan bistå på sjø kallet RITS (Rednings Innsats Til Sjø) og RITS-K (Rednings Innsats til Sjø - Kjemikalie). Disse innsatsstyrkene er utstyrt med røykdykkerbekledning og kjemikalieverndrakter og kan bistå hendelser på sjø dersom avstandene ikke er for store. Tabell 4-1 gir en oversikt over hvilke forutsetninger de forskjellige innsatspersonellene vil ha i forhold til utdanningsnivå og tilgjengelig verneutstyr.

Tabell 4-1 Utdanningsnivå og tilgjengelig utstyr for diverse innsatspersonell [35-38]

Typen innsatspersonell	Utdanningsnivå	RD - utstyr	Kjem - utstyr
<b>Brannvesen</b>	Grunnkurs brannkonstabel	✓	✓
<b>Industrivern</b>	Industrivernkurs	✓	✓
<b>Mannskap på skip</b>	IMO kurs	✓	-
<b>Mannskap på plattform</b>	GSK og beredskapskurs	✓	-

### 4.4 ERFARINGER FRA BRANN I MF YTTERØYNINGEN

Den siste tiden har det oppstått noen hendelser der brann i LIB har blitt en problemstilling. Dette delkapittelet vil gå over erfaringer fra brannen på MF 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 Fjeldberg-Sydnes-Utboja-Skjersholmane. 10. oktober 2019 oppstod det brann i batterirommet på hybridferjen. Ferjen befant seg rett utenfor Sydnes kai da brannen oppstod.

#### 4.4.1 Brannvesenets innsats

Dette delkapittelet vil ta en gjennomgang av hendelsesforløpet fra brannvesenets perspektiv basert på evalueringsrapporten fra Kvinnherad brannvesen. Politiet utarbeider en uavhengig etterforskningsrapport, men denne er per dags dato ikke publisert. Ytterlig informasjon om hendelsen som ikke er med i dette delkapittelet kan dermed forekomme.

Da brannen oppstod fikk ferjen raskt lagt til kai og varslet nødetatene. Deltidsbrannvesenet Kvinnherad brann og redning rykket ut for å slukke 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 slokking selv, men valgte å prioritere evakuering fremfor slokking. Ferjen sitt slokkesystem og sprinkleranlegg var blitt utløst.



Når brannvesenet ankom ble de informert av brannvesenets operasjonssentral 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 slukke, 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-K mannskaper med drone ble sendt til havaristen. Etter eksplosjonen var det relativt rolige forhold på havaristen. Det blir gjort gassmålinger av kjemikaliedykkere 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. Figur 4-5 viser dronebilder som ble tatt under hendelsen.



Figur 4-5 Oversiktsbilde fra MF Ytterøyningen tatt med IR-drone  
Kilde: Hentet med tillatelse fra [5]

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 på hendelsen. Figur 4-6 viser noen av skadene som ble registrert på røykdykkerutstyr etter hendelsen.



Figur 4-6 Etseskader på røykdykkerutstyr etter innsats på MF Ytterøyningen  
Kilde: Hentet med tillatelse fra [5]



## 5 KARTLEGGING AV RISIKOMOMENTER FOR INNSATSPERSONELL

Det er fortsatt mye arbeid som gjenstår for å kunne forstå alle risikomomenter knyttet til brann i LIB. For at innsatspersonell skal ha gode forutsetninger og kunne gjøre en trygg innsats ved brann i LIB må risikomomenter for denne type innsats kartlegges. I dette kapittelet vil risikomomentene som innsatspersonell bør være klar over presenteres.

### 5.1 VERNEBEKLEDNING

Ved en eventuell innsats mot brann i LIB der det ikke er ventileringsmuligheter oppstår følgende dilemma: Ved innsats mot brann er det naturlig å kle opp innsatspersonell i røykdykkerbekledning med åndedrettsvern. Dette vil beskytte innsatspersonellet mot varmebelastninger. Innsatspersonellet vil derimot være utsatt for HF i et slikt scenario. Da vil ikke innsatspersonellets sikkerhet ivaretas. Et annet alternativ er å kle opp innsatspersonell i kjemikalieverndrakter og håndtere hendelsen som en CBRNE-hendelse. Innsatspersonellet vil da være skjernet for inntrengning av flussyre og HF gass. Risikoen vil da være de høye temperaturene som oppstår som resultatet av brannen. Som tidligere nevnt er kjemikalieverndrakter ment for å tåle en varmebelastning på maksimalt 70 °C. Det er mulig å kle opp innsatspersonell med kjemikalieverndrakter med røykdykkerbekledning under. Problemet med dette er at man risikerer fortsatt innsatspersonellet for eksponering av farlige stoffer når de er utsatt for brann da draktene antageligvis vil smelte og/eller begynne å brenne. Med det verneutstyret man har tilgjengelig nå til dags vil innsatspersonellets trygghet ikke kunne garanteres ved innsats brann i LIB i lukkede rom. Ved gode ventileringsmulighet vil ikke dette dilemmaet oppstå da både farlige konsentrasjoner av HF og høye temperaturer kan reduseres ved bruk av blant annet mekanisk ventilasjon.

### 5.2 MULIGE KONSENTRASJONER AV HF

For å få et overslag i hvor store konsentrasjoner HF gass som kan befinne seg i et rom der det er brann i LIB, er det gjort noen grove beregninger. Beregningene tar utgangspunkt i doktorgradsavhandlingen "Assesment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation". Denne avhandlingen gjennomførte forsøk som ga en HF-produksjon på 20-200 mg/Wh. Forsøkene ble gjennomført på små LIB, derfor var det nødvendig å ekstrapolere verdiene slik at de kunne tilpasses et scenario som brann i større LIB pakker. Beregninger for de presenterte scenariene er vist i vedlegg E.

Scenariene under presenterer kun teoretiske verdier for HF konsentrasjoner. De er ikke ment for å representere et realistisk scenario, men for å gi en grov indikasjon på giftigheten i atmosfæren ved brann i LIB. Ved begge scenarier antas det at avgassingene holder seg inne i det definerte volumet uten turbulens.

#### **Scenario 1 - Parkeringskjeller:**

- › Brann i EK med batteripakke på 100 kWh
- › Volum på 7 500 m<sup>3</sup>
- › HF: 20-200 mg/Wh → 320-3 200 ppm

#### **Scenario 2 - Batterirom på skip:**

- › Brann i batterimodul på 5,65 kWh
- › Volum på 67,5 m<sup>3</sup>
- › HF: 20-200 mg/Wh → 2 000-20 000 ppm



### 5.3 BRANN I ELEKTRISK KJØRETØY I PARKERINGSKJELLER

Ved brann i en parkeringskjeller har det lokale brannvesenet hovedansvaret for håndtering av hendelsen. Brann i en parkeringskjeller vil være en krevende oppgave for redningsmannskap uavhengig av type brann. Ved brann i EK vil situasjonen bli ytterligere komplisert, hovedsakelig grunnet lengre sløkkesid enn kjøretøy ved fossilt brensel. LIB har barrierer som skal hindre termisk propagering mellom cellene, men her antas det at barrierene er brutt. Dette scenarioet vil da tilsvare en brann i LIB i delvis lukket rom, med varierende mulighet til ventilering. Innsatspersonell utsettes da for risiko ved eksplosjon, og eksponering av giftige gasser [10].

Det vil være fare for høye konsentrasjoner av HF i parkeringskjeller, konsentrasjonen av HF vil i stor grad samsvare med størrelsen til parkeringskjelleren. I mindre anlegg vil faren for høye konsentrasjoner økes. Som illustrert i delkapittel 5.2, kan selv relativt store parkeringskjellere få betydelige konsentrasjoner av HF gass. Samtidig har ikke små parkeringskjellere krav til mekanisk røykventilering, noe som gjør at denne type parkeringsanlegg utgjør en betydelig risiko for innsatspersonell. Ved innsats i parkeringskjellere kan man forholde seg til de termiske kreftene, grunnet innsatsveien ofte entres fra bakkeplan. Ved underjordiske parkeringskjellere vil derimot problemstillingen være annerledes da man må gå mot de termiske kreftene.

#### 5.3.1 Redusere risiko

Ved brann i parkeringskjeller har brannvesenet tilgang til spesialutstyr for å redusere risiko, blant annet fjernstyrt robot. LUF 60 er et fjernstyrt beltegående kjøretøy som kan blåse bort brannrøyk og spyle store mengder vann, vanntåke eller skum mot en brann. I tillegg kan den slepe biler eksempelvis ut av en parkeringskjeller [39]. Figur 5-1 viser bilde av LUF60 i aksjon.



Figur 5-1 LUF60 sløkkerobot  
Kilde: Hentet med tillatelse fra [40]

Brannvesenet kan frakte ut den brennende bilen og la den brenne ut på et sikkert sted i det fri. Dette kan som nevnt gjøres ved en fjernstyrt robot eller en annet egnet måte. Da forutsettes det derimot at brannvesenet ankommer før brannen har spredt seg til nærliggende kjøretøy, siden det vil være vanskelig og tidkrevende å frakte ut mange biler. Tilrettelegging for en sikker utfrakt fra lukkede rom bør uansett prioriteres, siden LIB kan reantenne etter sløkking. Dersom utfrakt av brennende EK ikke lar seg gjøre eller ikke er ønskelig, bør derfor kjøretøyet fraktes til en sikker plass så fort som mulig etter sløkking. I tillegg kan mekanisk røykventilering benyttes i de parkeringskjellerne hvor dette er installert. Ved å ventilere bort røykgasser fra inntrengningsveien til innsatspersonell reduseres risikoen for



innsatspersonellet. Røykgassene skal derimot ikke ventileres til områder hvor personer oppholder seg eller hvor gassene kan samles seg opp og skape en eksplosiv atmosfære [10].

Det finnes mange forslag og ideer til hvordan man kan forenkle slokkearbeidet ved brann i EK. I Danmark er det blitt laget flere brannslukkingscontainere. Tanken med slike containere er å plassere det brennende EK oppi, for deretter å fylle containeren med vann. I tillegg suppleres det med Inergengass [41]. Figur 5-2 viser bilde av brannslukkingscontaineren.



Figur 5-2 Brannslukkingscontainer for elektriske kjøretøy  
Kilde: Henet fra [41]

Brannteppe kan også brukes for å kvele brannen og beskytte omgivelsene mot helsefarlige gasser og varmestråling. Etter brannteppe har blitt påført og isolert brannen til kun batteriet, kan bilen jekkes opp for å føre en duk under. Denne duken kan da fungere som et vannbad. Dette vil ha en kjølede effekt, som bidrar i å slukke brannen i batteriet.

#### 5.4 BRANN I BATTERIROM PÅ SKIP

Ved brann i LIB på maritime fartøy og installasjoner vil mannskapet ombord selv måtte håndtere hendelsen i den tidligste fasen før brannvesenets ankomst. På dette stadiet forutsettes det at kritiske barrierer er brutt og at man har fått termisk propagering på modulnivå. Dette scenariet vil tilsvare brann i LIB i lukkede rom, der det ikke vil være gode muligheter for ventilasjon. Batterirom vil være relativt små rom, derfor kan det forventes at det vil være høye konsentrasjoner av giftig HF gass i rommet. Dette stemmer overens med det teoretiske anslaget for konsentrasjon av HF i batterirom illustrert i delkapittel 5.2. Dersom avstandene fra fastlandet ikke er for store kan det være mulig å få bistand fra brannvesenets RITS eller RITS-K innsatsgrupper. Dette vil være lenge etter akutfasen.

Det vil være komplisert for mannskap å håndtere en slik brann, både med tanke på utstyret tilgjengelig sammen med mannskapets kunnskap om brann i LIB. Batterirom er ofte plassert under dekk, derfor vil innsatspersonell måtte kjempe mot de termiske kreftene som vil oppstå som resultat av en brann. Når man skal bevege seg inn under dekk på et skip vil også tilkommeligheten være betydelig redusert, spesielt for personer ikledd verneutstyr.

#### Utluftningsfasen

Alle rom på et skip har en form for ventilasjon, dette gjelder også i et batterirom. I tillegg kan også batterirom ha ekstern ventilasjon for å kunne ventilere ut avgassing dersom man får svikt på cellenivå. Det vil for øvrig ikke være tilstrekkelig dersom ytterligere propagering vil ta sted. Etter at en brann i LIB har begynt å reduseres i omfang vil det være naturlig å begynne å ventilere ut avgassing som kan ha samlet seg opp noe sted. Ved å ventilere tykke



branngasser risikerer man at de brennbare gassene blir blandet med luft og at de går innenfor brennbarhetsgrensene deres. Da vil det være en fare for eksplosjon.

### Risiko for strømgjennomgang

For at elektrisk strøm skal utgjøre en risiko for innsatspersonell, må det forekomme en strømgjennomgang i en persons kropp, eller deler av personens kropp. For at dette skal være mulig må personen berøre den negative og positive polen samtidig. Er batteriinstallasjonen uten skader er muligheten for å få strømgjennomgang så liten at den kan sees bort fra. Har batteriinstallasjonen derimot opplevd en skade som følge av brann, og det oppstår en jordfeil er risikoen for strømgjennomgang til stede. Vanligvis vil en jordfeil forårsake en stor strøm som medfører at sikringen slår ut. Store batterisystem vil være vanskelig å gjøre spenningsløse, fordi energien allerede er lagret i systemet helt til batteriene utlades. Dermed kan jordfeilen føre til at metalloverflater blir ledende og vannet som blir brukt i innsats gjør at man kan få en sluttet krets og fare for strømgjennomgang oppstår.

I og med at strømmen alltid vil ta den letteste veien, altså veien med minst motstand tilbake til strømkilden, anser man at risikoen for strømgjennomgang gjennom kroppen til innsatspersonell som relativt lav. Når man bruker vann som slökkemiddel, vil vannet være ledende og kan komme i kontakt med spenningsførende deler. Da kan ledende overflater ha et spenningspotensial som innsatspersonellet kan ta på. Den eventuelle strømføringen som kan oppstå, antar man vil gå på utsiden av beskyttelsesutstyret og ned til gulv eller et annet punkt som innsatspersonellet også berører. Man anser også at innsatspersonell som betjener vannslangen under slukking også har et lavt potensial for strømgjennomgang. Det er derfor lite trolig at en eventuell strømgjennomgang gjennom en vannstråle vil slå over til innsatspersonell som holder slangen [2].

Ved parallellkobling av batteri vil den indre motstanden være svært lav som medfører høy strøm. En kortslutning, som følge av for eksempel mekanisk skade eller brann, vil på grunn av den høye strømmen kunne resultere i lysbuer og smeltede metalldråper kan slenges rundt. En eventuell lysbue kan ha en temperatur på opptil 20 000 °C [42].

## 5.5 AUTOMATISK SLOKKEANLEGG

Som tidligere kjent er branner i LIB vanskelig å slukke. utfordringer for automatiske slokkeanlegg er å komme til slike branner. Automatiske slokkeanlegg som blir installert i batterirom på skip og i parkeringskjellere er først og fremst for å slukke eksterne branner, ikke selve batteribrannen. I tillegg vil slokkeanleggene bidra til å kjøle ned batteriene og redusere sannsynligheten for propagering mellom flere moduler/kjøretøy. Basert på dette, er tidlig deteksjon og aktivering av slokkeanlegg avgjørende [11].

DNV GL har presentert en rekke slokkeanlegg som kan benyttes i batterirom på skip. Her ble følgende løsninger presentert [11]:

- > Sprinkleranlegg (ferskvann)
- > Vanntåkeanlegg
- > Novec 1230 slokkegassanlegg
- > CAFS slokkeskumanlegg





Utover de anleggene som er presentert av DNV GL, har man også slokkegassanlegg som benytter inerte gasser som for eksempel nitrogenslokkeanlegg og Inergen slokkeanlegg. Inerte anlegg kan også ha god slokkeeffekt. Inergen er blant annet også godkjent av DNV GL [43].

Etter dialog med flere verft som installerer LIB-systemer kom det frem at det var Novec 1230 som ble mest brukt. Enkelte kombinerer Novec 1230 med vanntåkeanlegg. I parkeringskjellere vil sprinkleranlegg og vanntåkeanlegg være det mest aktuelle slokkesystemet. Gassanlegg er ikke optimalt i et delvis lukket rom som en parkeringskjeller på grunn av blant annet ventileringsforhold.

Hvilke type automatiske slokkeanlegg som er installert og blitt utløst i sammenheng med brann i LIB kan ha en betydning for innsatspersonellens avgjørelser og sikkerhet. Det er i denne oppgaven valgt å se nærmere på Novec 1230, da det forekommer usikkerhet om et slikt utløst anlegg kan være en helserisiko for innsatspersonell.

### **Novec 1230**

Novec 1230 er et slokkemiddel som er i væskeform i romtemperatur, og har et kokepunkt på 49 °C. På grunn av det lave kokepunktet vil Novec 1230 væske fordampe svært raskt, omtrent 50 ganger fortere enn vann. Slokkevirkningen vil være å absorbere varmen ved faseovergangen fra væske til gass. Utløsningstiden til Novec 1230 er på 10 sekunder, og det kreves at rommet er tett for å oppnå ønsket slokkevirkning. Tilsetningen varierer på mellom omtrent 4,5-6 %, avhengig av hvilken type rom som skal beskyttes. Vanligvis brukes Novec 1230 blant annet i datarom, militære installasjoner og batterirom [44].

Innsatspersonell bør være klar over om anlegg med Novec 1230 er utløst ved innsats i et batterirom på grunn av termisk dekomponering. Dersom Novec 1230 blir utsatt for veldig høye temperaturer over tid, vil produktet kunne dekomponere til giftige gasser, som HF [45]. Det er to viktige faktorer som avgjør om Novec 1230 dekomponerer. Tilsetningen må være riktig i forhold til romstørrelse og utløsningstiden bør være så kort så mulig slik at ikke oppstår for høye temperaturer.

Det er gjort tester av produsenten 3M, der det er sett på mengde HF som et resultat av dekomponeringen ved bruk av Novec 1230. Dersom man tar batterirommet til OV Ryvingen på 67,5 m<sup>3</sup> som eksempel, vil en utløsning med en tilsetning på 4,9 % og en brann på 3,7 kW kunne gi en konsentrasjon på 60 ppm HF [46].

Det er gjennomført møte med produsenten av slokkevæsken Novec 1230, 3M. Temaet for møtet var den mulige dekomponeringen som kunne oppstå i et batterirom dersom et Novec 1230 slokkeanlegg hadde blitt utløst. Resultat av møtet var at man ikke kunne utelukke dekomponering, og som resultat produsere HF. 3M har fått mulighet til å besvare denne påstanden. Referatet fra møtet kan finnes i vedlegg F.



## 6 ANBEFALINGER TIL BRANNVESEN OG ØVRIGE INNSATSPERSONELL

Dette kapittelet vil presentere anbefalinger for brannvesen i hvordan en LIB brann skal håndteres fra et operativt ståsted. Anbefalingene kan også benyttes av øvrig innsattpersonell, selv om de er presentert fra et brannvesens perspektiv. Hovedfokuset for anbefalingene vil være å ivareta innsattpersonellets liv og helse. I tillegg til instruksjer og rutiner, er det også utarbeidet innsatskort. Dette kan finnes i vedlegg G.

### 6.1 TAKTISK BESLUTNINGSMODELL

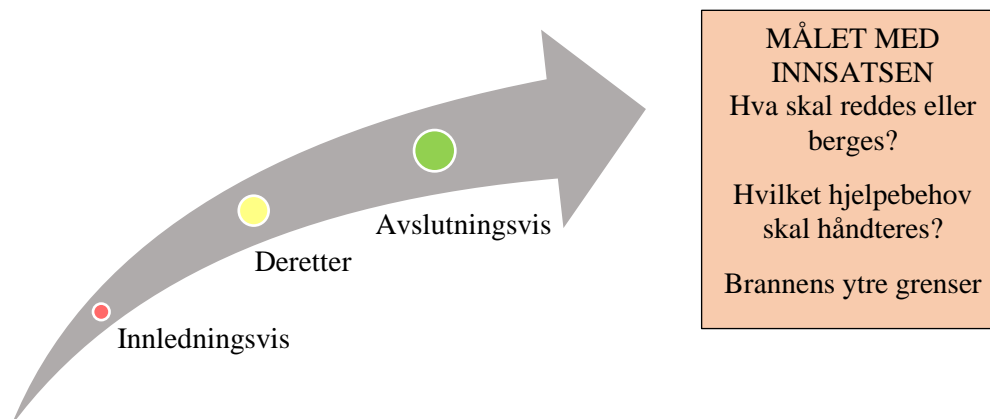
NBSK bruker en beslutningsmodell som kalles 7-trinnsmodellen. Dette er en beslutningsmodell laget for befal i brannvesen som skal gi en utfyllende metode for å lede en innsats. Opplæring i denne modellen blir utført av NBSK på deres kurs [47].

I denne oppgaven vil fokuset være på den akutte fasen. Det vil si fra innsattpersonell blir varslet til mål med innsats (MMI) er definert. Dette vil omhandle trinn 1-3 i 7-trinnsmodellen. De resterende trinnene omhandler mer taktiske beslutninger og vurderinger, og vil ikke bli utarbeidet i forhold til rutiner og instruksjer ved brann i LIB i denne oppgaven.

Trinn 1 omhandler leders første kontakt med hendelsen og det handler først og fremst om å kunne identifisere hjelpebehovet, altså hva som skal reddes. Beslutningen som tas innledningsvis i en innsats får veldig stor betydning for resten av innsatsen. Det er derfor ekstra viktig at innsatsen startes riktig.

Trinn 2 handler om hvordan man kan disponere ressursene best mulig i forhold til ønsket resultat. Her gjelder det å tenke taktisk.

Trinn 3 omhandler å sette et mål med innsats og taktisk plan [22]. Mål med innsats er selve oppdraget for innsatsen og følges opp med taktisk plan. Taktisk plan er en tydelig beskrivelse på hvordan målet skal nås. Ofte brukes begrepet IDA (Innledningsvis, Deretter, Avslutningsvis) for å sette en taktisk plan. Figur 6-1 demonstrerer hvordan man får en naturlig rekkefølge i momentene som skal utføres ved å benytte IDA.



Figur 6-1 Skjematisk skisse over en taktisk plan ved hjelp av IDA  
Kilde: Hentet fra [47]



### 6.1.1 7-trinnsmodellen

Modellen viser de syv viktigste punktene til overordnet vakt eller utrykningsleder. Resultatet skal være at hele hjelpebehovet er tatt hensyn til på den mest effektive måten. I de følgende avsnitt og figur 6-2 kommer respektive trinn i modellen til å behandles nærmere [47].



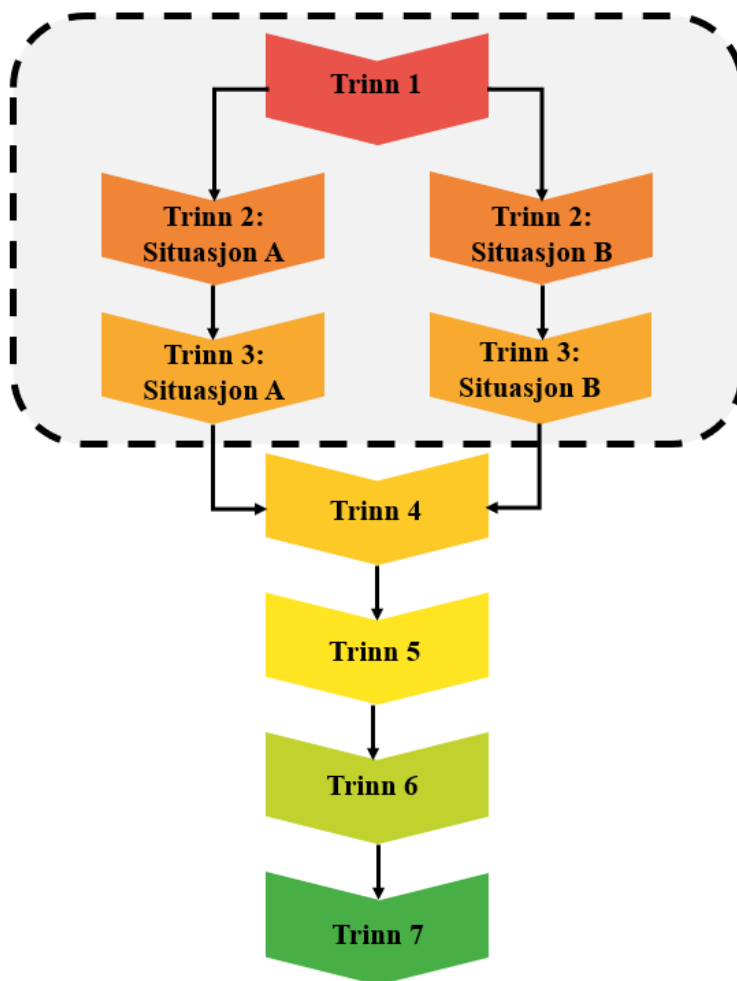
Figur 6-2 7-trinnsmodellen  
Kilde: Hentet fra [47]



## 6.2 FORSLAG TIL RUTINE

Dette delkapittelet presenterer forslag til rutine for innsatspersonell ved brann i LIB. Hensikten med dette delkapittelet er å belyse refleksjoner som er gjort i forhold til foreslått instruks som blir presentert i delkapittel 6.3. Ved utarbeiding av forslag til rutine er metodikken til 7-trinnsmodellen i Taktikkhåndboken brukt. Noen gjentakelser vil forekomme som resultat av at flere ulike scenarier rundt brann i LIB blir diskutert. Siden hendelsesforløpet blir diskutert helhetlig fra trinn 1-3 i 7-trinnsmodellen vil det også oppstå gjentakelser for at alle scenarier skal bli presentert og diskutert i sin helhet.

Det er to ulike scenarier som blir diskutert; brann i batterirom på skip og brann i EK i parkeringskjeller. De to scenariene blir ytterligere delt inn i to ulike situasjoner, livreddende innsats og innsats med fokus på å begrense skadeomfang. Figur 6-3 viser inndelingen på dette.



[2]

Figur 6-3 7-trinnsmodellen med forskjellige situasjoner



## 6.2.1 Brann i elektrisk kjøretøy i parkeringskjeller

### Trinn 1

#### Les ulykken og gjør en risikovurdering

#### Risikovurdering

Hvilke faremomenter må man være obs på ved en slik hendelse? Det er mange risikofaktorer som burde vurderes ved brann i LIB i parkeringskjeller. Det bør gjennomføres en risikovurdering før en innsats startes. Risikovurderingen bør inneholde følgende momenter:

- › Finnes det personer i parkeringskjelleren?
- › Eksplosjon
- › Farlig gass
- › Røykspredning til andre områder det befinner seg personer
- › Spredningsfare til nærliggende kjøretøy/bebyggelse

#### Brannen

Hvor brenner det? Det er viktig å lokalisere hvor i bygningen det brennende kjøretøyet befinner seg. Finn ut hvor lenge brannen har pågått. Dette har en stor betydning på hvilke mengder avgassing som kan befinne seg i rommet. Vurder om det er spredningsfare til andre områder i bygningen, og nærliggende objekter som kan påvirkes av brannen som for eksempel bebyggelse, nærliggende kjøretøy og lignende. Dette er for å få overblikk over hvor stort skadeomfanget kan bli.

#### Parkeringskjelleren

Hvordan er bæreevnen til parkeringskjelleren? Det kan være av betydning å vite om parkeringskjelleren har sprinkleranlegg, og om at sprinkleranlegget er utløst. Mulighetene for ventilasjon bør også kartlegges. I større parkeringskjellere er det ikke uvanlig med ekstra ventilasjon som skal tilrettelegges for innsatspersonell. Parkeringskjellerens størrelse må også tas i betraktning, orienteringsplaner bør lokaliseres for å gi en bedre oversikt.

#### Adkomst

Hvordan er tilkomstmulighetene? De fleste parkeringskjellere har en takhøyde som ikke gjør det mulig å kjøre en brannbil inn. De fleste parkeringskjellere har kun en nedkjøringsrampe, dermed kan det være mange hundre meter inn til brannen [10].

#### Omgivelser

Hvordan er tilgangen til slokkevann? Vurder om det er mulig å få plassert kjøretøy på en hensiktsmessig måte i forhold til gjennomføringen av en innsats. På grunn av vanskelig tilkomst og mangel på nedkjøringsramper kan det være nødvendig med lange slangeutlegg.



## Trinn 2: Situasjon A

### Finn mulige tiltak

#### Type hjelpebehov

Hva er det aktuelle hjelpebehovet? I denne situasjonen er det antatt å være bekreftet at det er savnede personer inne i parkeringskjelleren. Derfor skal innsatsen styres i retning mot at livreddende innsats skal forsøkes.

#### Ressurstilgang

Hvilke ressurser er det tilgang på? Her er det viktig å få en oversikt over alle ressursene en har tilgjengelig. Når det gjelder slokkeutstyr har vann vist seg å være det mest egnede slokkemiddelet. I tillegg kan bruk av brannteppe være effektivt for å hindre spredning. Det må også vurderes hvilke verneutstyr som skal benyttes for å ivareta personellens sikkerhet under innsats. Under en slik innsats vil man enten ha røykdykkere eller kjemikaliedykkere med tilhørende verneutstyr.

Det finnes en ekstern database for redning av kjøretøy kalt *Crash Recovery*. Denne databasen inneholder informasjon om kjøretøyene som vil være nyttig under innsats. Blant annet finnes det informasjon om hvor man kan frakoble hovedstrøm på EK, samt plasser på kjøretøyet det er mulig klippe.

#### Risikovurdering

Hvordan skal man forholde seg til risikomomentene? Risikoen på stedet kan kreve spesielle tiltak eller begrensninger. Tiltakene som iverksettes skal stå i forhold til det aktuelle hjelpebehovet som i dette tilfellet er å berge liv. Siden en hendelse i parkeringskjeller er å anse som delvis lukket rom, finnes det større handlingsrom i form av mulige risikoreduserende tiltak som kan gjennomføres. Dette vil ha en betydning for valg av verneutstyr i denne innsatsen. Det er noen risikoreduserende tiltak som kan utføres. Avgassinger kan spyles ned med vann i form av spredt stråle. I tillegg kan avgassinger ventileres bort fra innsatsområde med mekanisk ventilering. Derfor kan det ansees å være forsvarlig å gå i innsats med røykdykkerbekledning i situasjoner der tiltakene kan utføres og det er mulig å unngå direkte eksponering for røykgasser. I situasjoner dette ikke er mulig, bør kjemikalievernutstyr benyttes. Er temperaturen derimot  $\geq 70$  °C, kan ikke kjemikalievernutstyret benyttes. Det bør dermed tilstrebtes å gjennomføre tiltak slik at en av vernebekledningene kan benyttes.

#### Tilgjengelig tid

Muligheten til valg av tiltak styres ofte av tilgjengelig tid. En dynamisk ulykke, hvor ulykken forandres over tid, begrenser tiden for befal til å vurdere mulige tiltak. Det er viktig gjennom en proaktiv handling å skaffe seg tid gjennom såkalt forberedende tiltak. Er ulykken statisk og ikke forverres med tiden, er det mer tid til å vurdere mulige alternativ, for eksempel å knytte seg til eksperthjelp etc. En stabil statisk ulykke kan dog raskt stille innsatspersonell overfor nye hjelpebehov. Derfor trenger man ved en ustabil situasjon å finne tiltak som raskt stabiliserer situasjonen og gjør ulykken kontrollerbar, før man tar en beslutning om å fortsette med tiltak [47]. Siden hjelpebehovet er å berge liv vil tilgjengelig tid være svært lav.



## Mulige tiltak

Utfordringen med å velge riktige tiltak er å forstå hva som raskest og mest effektivt bryter den negative hendelsesutviklingen. For å raskt kunne lage en struktur i tiltakene, kan man benytte følgende inndeling:

- › Umiddelbare tiltak  
Nærliggende områder bør sikres for å hindre en ytterligere eskalering av hendelsesutviklingen og tilrettelegging for en sikker innsats. Finnes det systemer som må aktiveres manuelt, bør dette gjøres umiddelbart, eksempelvis ventilasjon eller sprinkleranlegg.
- › Forberedende tiltak  
Orienteringsplan bør lokaliseres for å skaffe en oversikt over parkeringskjelleren. Slangeutlegg, vanntilførsel og angrepsvei bør etableres.  
Om nødvendig bør forsterkninger rekvireres for å håndtere en langvarig innsats.
- › Endelige tiltak  
Iverksett røykdykkerinnsats med søk etter savnet person, risikoreducerende tiltak bør være i fokus.
- › Alternative tiltak  
I forhold til hjelpebehovet som er definert, er det få alternative tiltak som kan gjøres i en slik situasjon grunnet mangel på tilgjengelig tid.

### Trinn 3: Situasjon A Beslutt MMI og Taktisk plan

#### Hva er målet med innsatsen?

Gjennomføre en livreddende innsats ved å ta ut savnet person fra livstruende område.

#### Hvordan skal den taktiske planen være?

##### Innledningsvis:

Start ventilering av parkeringskjeller. Start søk og lokaliser savnet person.

##### Deretter:

Er det mye avgassing, benytt spredt stråle. Ta ut savnet person. Forsikre at alle personer er gjort rede for. Sikre kjøretøy. Avbryt ekstern strømkilde. Hvis mulig, kutt hovedstrøm. Bruk defensiv tilnærming og kjøøl ned med store mengder vann.

##### Avslutningsvis:

Overvåke, batteri kan reantenne. Revurder innsats: (Alternative tiltak)

- › Taue ut bilen
- › Brannteppe

Etter EK har fått stabil temperatur, kan EK transporteres til sikkert sted. På grunn av fare for reantening bør brannvesenet følge redningsbil frem til EK er flyttet til trygt sted.

#### Metodevalg:

Røykdykkere eller kjemikaliedykkere med normalutlegg.

#### Sikkerhet:

Valg av beskyttelsesnivå avgjøres med hensyn på eksponering av røyk.



## Trinn 2: Situasjon B

### Finn mulige tiltak

#### Type hjelpebehov

Hva er det aktuelle hjelpebehovet? I denne situasjonen er alle personer gjort rede for. Derfor legges det opp til at hjelpebehovet er å begrense skadeomfang.

#### Ressurstilgang

Hvilke ressurser er det tilgang på? Her er det viktig å få en oversikt over alle ressursene en har tilgjengelig. Når det gjelder slokkeutstyr har vann vist seg å være det mest egnede slokkemiddelet, i tillegg kan bruk av brannteppe være effektivt for å hindre spredning. Det må også vurderes hvilke verneutstyr som skal benyttes for å ivareta personelletts sikkerhet under innsats. Under en slik innsats vil man enten ha røykdykkere eller kjemikaliedykkere med tilhørende verneutstyr.

Det finnes en ekstern database for redning av kjøretøy kalt *Crash Recovery*. Denne databasen inneholder informasjon om kjøretøyene som vil være nyttig under innsats. Blant annet finnes det informasjon om hvor man kan frakoble hovedstrøm på EK, samt plasser på kjøretøyet det er mulig klippe.

#### Risikovurdering

Hvordan skal man forholde seg til risikomentene? Risikoen på stedet kan kreve spesielle tiltak eller begrensninger. Tiltakene som iverksettes skal stå i forhold til det aktuelle hjelpebehovet som i dette tilfellet er å berge liv. Siden en hendelse i parkeringskjeller er å anse som delvis lukket rom, finnes det større handlingsrom i form av mulige risikoreduserende tiltak som kan gjennomføres. Dette vil ha en betydning for valg av verneutstyr i denne innsatsen. Det er noen risikoreduserende tiltak som kan utføres. Avgassinger kan spyles ned med vann i form av spredt stråle. I tillegg kan avgassinger ventileres bort fra innsatsområde med mekanisk ventilering. Derfor kan det ansees å være forsvarlig å gå i innsats med røykdykkerbekledning der tiltakene kan utføres og det er mulig å unngå direkte eksponering for røykgasser. I situasjoner dette ikke er mulig, bør kjemikalievernutstyr benyttes. Er temperaturen derimot  $\geq 70$  °C, kan ikke kjemikalievernutstyret benyttes. Det bør dermed tilstrebtes å gjennomføre tiltak slik at en av vernebekledningene kan benyttes.

#### Tilgjengelig tid

Muligheten til valg av tiltak styres ofte av tilgjengelig tid. En dynamisk ulykke, hvor ulykken forandres over tid, begrenser tiden for befal til å vurdere mulige tiltak. Det er viktig gjennom en proaktiv handling å skaffe seg tid gjennom såkalt forberedende tiltak. Er ulykken statisk og ikke forverres med tiden, er det mer tid til å vurdere mulige alternativ, for eksempel å knytte seg til eksperthjelp etc. En stabil statisk ulykke kan dog raskt stille innsatspersonell overfor nye hjelpebehov. Derfor trenger man ved en ustabil situasjon å finne tiltak som raskt stabiliserer situasjonen og gjør ulykken kontrollerbar, før man tar en beslutning om å fortsette med tiltak [47]. Siden hjelpebehovet er å begrense skadeomfang, vil tilgjengelig være relativt lang.





## Mulige tiltak

Utfordringen med å velge riktige tiltak er å forstå hva som raskest og mest effektivt bryter den negative hendelsesutviklingen. For å raskt kunne lage en struktur i tiltakene, kan man benytte følgende inndeling:

- › Umiddelbare tiltak  
Nærliggende områder bør sikres for å hindre en ytterligere eskalering av hendelsesutviklingen og tilrettelegging for en sikker innsats. Finnes det systemer som må aktiveres manuelt, bør dette gjøres umiddelbart, eksempelvis ventilasjon eller sprinkleranlegg.
- › Forberedende tiltak  
Orienteringsplan bør lokaliseres for å skaffe en oversikt over parkeringskjelleren. Slangeutlegg, vanntilførsel og angrepsvei bør etableres. Om nødvendig bør forsterkninger rekvireres for å håndtere en langvarig innsats.
- › Endelige tiltak  
Iverksett røykdykkerinnsats/kjemikaliedykkerinnsats med mål om å redusere skadeomfang ved å starte aktiv slokking, risikoreduserende tiltak bør være i fokus.
- › Alternative tiltak  
I forhold til hjelpebehovet som er definert, er det flere alternative tiltak som kan vurderes:
  - › Taue ut kjøretøy
  - › Brannteppe

### Trinn 3: Situasjon B

#### Beslutt MMI og Taktisk plan

#### Hva er målet med innsatsen?

Begrense skadeomfang.

#### Hvordan skal den taktiske planen være?

##### Innledningsvis:

Start ventilering av parkeringskjeller, lokaliser og sikre kjøretøyet.

##### Deretter:

Bruk defensiv tilnærming og kjøøl ned med store mengder vann.

##### Avslutningsvis:

Overvåke, batteri kan reantenne. Revurder innsats: (Alternative tiltak)

- › Taue ut bilen
- › Brannteppe

Etter EK har fått stabil temperatur, kan EK transporteres til sikkert sted. På grunn av fare for reantening bør brannvesenet følge redningsbil frem til EK er flyttet til trygt og egnet sted.

#### Metodevalg:

Røykdykkere eller kjemikaliedykkere med normalutlegg.

#### Sikkerhet:

Valg av beskyttelsesnivå avgjøres med hensyn på eksponering av røyk.



## 6.2.2 Brann i batterirom på skip

### Trinn 1

#### Les ulykken og gjør en risikovurdering

#### Risikovurdering

Hvilke faremomenter må man være obs på ved en slik hendelse? Det er mange risikofaktorer som burde vurderes ved brann i LIB på et skip. Det bør gjennomføres en risikovurdering før en innsats startes. Risikovurderingen bør inneholde følgende momenter:

- › Finnes det personer om bord?
- › Fare for strøm
- › Eksplosjon
- › Farlig gass
- › Røykspredning til bebygget område

#### Batterisystemet

Hvordan er batterisystemet? For å få innsikt i hvordan batterisystemet er bygget opp burde produsenten av systemet kontaktes tidlig i hendelsesforløpet. Produsenten har kunnskap på systemets størrelse og omfang. Overvåkningssystemet til batteriene må lokaliseres, her er det mulig å overvåke celletemperatur til batteriene.

#### Brannen

Hvor brenner det? Det er viktig å lokalisere hvor det brenner, sammen med hvor batterisystemet eller batterirommet befinner seg på skipet. Finn ut hvor lenge brannen har pågått, dette har en stor betydning på hvilke mengder avgassing som kan finnes på skipet. Vurder om det er spredningsfare til andre områder på skipet, samt nærliggende objekter som kan påvirkes av brannen som for eksempel bebyggelse, andre skip og lignende. Dette er for å få overblikk over hvor stort skadeomfanget kan bli.

#### Skipet

Hvilken type skip brenner det i? Skip kan ha mange forskjellige typer utforming, det vil være en vesentlig forskjell på vurderinger som må gjøres ved hendelser på et lasteskip kontra ferje. Hvor mange personer som vil være i fare og kan trenge hjelp vil være avgjørende for innsatsen som skal utføres. Å anskaffe plantegninger over skipet vil gi et tydelig oversiktsbilde over mulige angrepsveier og ventilasjonsmuligheter. Ved branntilløp er det mulig at automatiske slokkeanlegg er blitt utløst. Det kan være av betydning å vite om et anlegg er løst ut og hvilken type anlegg det er.

#### Adkomst

Hvor befinner skipet seg? Beliggenheten til skipet har stor betydning for hvilken innsats som kan iverksettes. Dersom skipet ikke ligger nærme land, må spesielle ressurser benyttes for å nå objektet. Eksempel på slike ressurser er RITS og RITS-K innsatstyrkene.

#### Omgivelser

Hvordan er tilgangen til slokkevann? Vurder om det er mulig å få plassert kjøretøy på en hensiktsmessig måte i forhold til gjennomføringen av en innsats. Vindretning kan være en betydelig faktor, er det mye røyk burde man ha vinden i ryggen for å kunne komme nærmest mulig skipet uten å eksponeres for røyk. Del inn området i cold, warm og hot zone i henhold til rutiner for CBRNE-hendelser.



## Trinn 2: Situasjon A

### Finn mulige tiltak

#### Type hjelpebehov

Hva er det aktuelle hjelpebehovet? I denne situasjonen er det antatt å være bekreftet at det er savnede personer inne på skipet. Derfor skal innsatsen styres i retning mot at livreddende innsats skal forsøkes.

#### Ressurstilgang

Hvilke ressurser er det tilgang på? Her er det viktig å få en oversikt over alle ressursene en har tilgjengelig. Når det gjelder slokkeutstyr, har vann vist seg å være det mest egnede slökkemiddelet. Det må også vurderes hvilke verneutstyr som skal benyttes for å ivareta personellens sikkerhet under innsats. Under en slik innsats vil man enten ha røykdykkere eller kjemikaliedykkere med tilhørende verneutstyr. Disse kan enten komme sammen med det ordinære brannvesen, eller gjennom en RITS innsatsstyrke.

Bruk av ekstern kompetanse med kjennskap rundt viktige komponenter og mannskap på skip med lokal kjennskap på skipets utforming, kan bidra i å gi et tydeligere bilde på innsatsen som skal gjennomføres.

#### Risikovurdering

Hvordan skal man forholde seg til risikomomentene? Risikoen på stedet kan kreve spesielle tiltak eller begrensninger. Tiltakene som iverksettes skal stå i forhold til det aktuelle hjelpebehovet som i dette tilfellet er å berge liv. Det bør settes begrensninger for innsatsen.

Grunnet faren for høye HF verdier i batterirommet kan en begrensning være å kun bruke kjemikalieverndrakt under en slik innsats. Dette medfører for øvrig en ny begrensning, da kjemikalieverndrakter ikke tåler en høyere varmebelastning enn 70 °C. Ved en eventuelt savnet person i batterirom, kan det ikke forventes at det er liv å redde i særlig lang tid, grunnet det giftige miljøet inne i batterirommet. Dersom det allikevel vurderes at sannsynligheten for at liv kan reddes er særdeles stor ved en hurtig innsats, kan røykdykkerbekledning benyttes ved entring av batterirom sammen med bruk av spredt vannstråle. Innsatspersonellet bør oppholde seg kortest mulig i batterirommet og saneres umiddelbart etter innsats. Risikoen bør vurderes nøye før en slik innsats iverksettes.

Når det gjelder resten av skipet kan en livreddende innsats gjennomføres med røykdykkerbekledning gitt at rommene settes under overtrykk og at det er liten spredning av avgassinger fra batterirom.

#### Tilgjengelig tid

Muligheten til valg av tiltak styres ofte av tilgjengelig tid. En dynamisk ulykke, hvor ulykken forandres over tid, begrenser tiden for befal til å vurdere mulige tiltak. Det er viktig gjennom en proaktiv handling å skaffe seg tid gjennom såkalt forberedende tiltak. Er ulykken statisk og ikke forverres med tiden, er det mer tid til å vurdere mulige alternativ, for eksempel å knytte seg til eksperthjelp etc. En stabil statisk ulykke kan dog raskt stille innsatspersonell overfor nye hjelpebehov. Derfor trenger man ved en ustabil situasjon å finne tiltak som raskt stabiliserer situasjonen og gjør ulykken kontrollerbar, før man tar en beslutning om å fortsette med tiltak [47]. Siden hjelpebehovet er å berge liv vil tilgjengelig tid være svært lav.



## Mulige tiltak

Utfordringen med å velge riktige tiltak er å forstå hva som raskest og mest effektivt bryter den negative hendelsesutviklingen. For å raskt kunne lage en struktur i tiltakene, kan man benytte følgende inndeling:

- › Umiddelbare tiltak  
Nærliggende områder bør sikres for å hindre en ytterligere eskalering av hendelsesutviklingen og tilrettelegging for en sikker innsats.
- › Forberedende tiltak  
Det bør settes faresoner inndelt i hot, warm og cold zone slik at det blir tydeliggjort hvilket verneutstyr som kan benyttes i ulike områder rundt havaristen. Slangeutlegg, vanntilførsel og angrepsvei bør etableres.  
Om nødvendig bør forsterkninger rekvireres for å håndtere en langvarig innsats.
- › Endelige tiltak  
Iverksett røykdykkerinnsats med søk etter savnet person.
- › Alternative tiltak  
I forhold til hjelpebehovet som er definert, er det få alternative tiltak som kan gjøres i en slik situasjon grunnet mangel på tilgjengelig tid.

### Trinn 3: Situasjon A

#### Beslutt MMI og Taktisk plan

#### Hva er målet med innsatsen?

Gjennomføre en livreddende innsats ved å ta ut savnet person fra livstruende område.

#### Hvordan skal den taktiske planen være?

##### Innledningsvis:

Starte søk, lokaliser person.

##### Deretter:

Bruk spredt stråle på branngasser for å senke temperatur og eksplosjonsfare. Ta ut savnet person. Forsikre at alle personer er gjort rede for. Forsøk å sette overtrykk og kjøøl ned nærliggende rom.

##### Avslutningsvis:

Kontroller temperaturer og overvåk. Ikke entre batterirom. Forsøk ventilering av gasser, vær obs på eksplosjonsfare. Overvåk batteri i et tidsintervall på 24 timer. Ved temperaturøkning eller avgassing fra batteri starter intervallet på ny.

#### Metodevalg:

Røykdykkere med normalutlegg.

#### Sikkerhet:

Dersom sikkerheten vurderes til å være tilstrekkelig, kan røykdykking gjennomføres i henhold til normal prosedyre. Risiko bør vurderes nøye, dersom risikoen vurderes å være for høy bør kjemikalievernutstyr benyttes.



## Trinn 2: Situasjon B

### Finn mulige tiltak

#### Type hjelpebehov

Hva er det aktuelle hjelpebehovet? I denne situasjonen er alle personer gjort rede for. Derfor legges det opp til at hjelpebehovet er å begrense skadeomfang.

#### Ressurstilgang

Hvilke ressurser er det tilgang på? Her er det viktig å få en oversikt over alle ressursene en har tilgjengelig. Når det gjelder slokkeutstyr har vann vist seg å være det mest egnede slokkemiddelet. Det må også vurderes hvilke verneutstyr som skal benyttes for å ivareta personellens sikkerhet under innsats. Under en slik innsats vil man enten ha røykdykkere eller kjemikaliedykkere med tilhørende verneutstyr. Disse kan enten komme sammen med det ordinære brannvesen, eller gjennom en RITS innsatsstyrke.

Bruk av ekstern kompetanse med kjennskap rundt viktige komponenter og mannskap på skip med lokal kjennskap på skipets utforming kan bidra i å gi et tydeligere bilde på innsatsen som skal gjennomføres.

#### Risikovurdering

Hvordan skal man forholde seg til risikomomentene? Risikoen på stedet kan kreve spesielle tiltak eller begrensninger. Tiltakene som iverksettes skal stå i forhold til det aktuelle hjelpebehovet som i dette tilfellet er å begrense skadeomfang. Det bør settes begrensninger for innsatsen. Grunnet faren for HF vil en begrensning være å kun bruke kjemikalieverndrakt under en slik innsats. Dette medfører for øvrig en ny begrensning, da kjemikalieverndrakter ikke tåler en høyere varmebelastning en 70 °C. Entring av batterirom vil i et slikt tilfelle ikke vurderes som forsvarlig.

#### Tilgjengelig tid

Muligheten til valg av tiltak styres ofte av tilgjengelig tid. En dynamisk ulykke, hvor ulykken forandres over tid, begrenser tiden for befal til å vurdere mulige tiltak. Det er viktig gjennom en proaktiv handling å skaffe seg tid gjennom såkalt forberedende tiltak. Er ulykken statisk og ikke forverres med tiden, er det mer tid til å vurdere mulige alternativ, for eksempel å knytte seg til eksperthjelp etc. En stabil statisk ulykke kan dog raskt stille innsatspersonell overfor nye hjelpebehov. Derfor trenger man ved en ustabil situasjon å finne tiltak som raskt stabiliserer situasjonen og gjør ulykken kontrollerbar, før man tar en beslutning om å fortsette med tiltak [47]. Siden hjelpebehovet er å begrense skadeomfang, vil tilgjengelig tid være lang. Erfaringsmessig har hendelser med brann i LIB på skip vist seg å vare over en lengre periode.

#### Mulige tiltak

Utfordringen med å velge riktige tiltak er å forstå hva som raskest og mest effektivt bryter den negative hendelsesutviklingen. For å raskt kunne lage en struktur i tiltakene, kan man benytte følgende inndeling:

- › Umiddelbare tiltak  
Nærliggende områder bør sikres for å hindre en ytterligere eskalering av hendelsesutviklingen og tilrettelegging for en sikker innsats.
- › Forberedende tiltak  
Det bør settes faresoner inndelt i hot, warm og cold zone slik at det blir tydeliggjort hvilket verneutstyr som kan benyttes i ulike områder rundt havaristen. Slangeutlegg,



vanntilførsel og angrepsvei bør etableres.

Om nødvendig bør forsterkninger rekvireres for å håndtere en langvarig innsats.

› Endelige tiltak

Iverksett kjemikaliedykkerinnsats for å kjøle ned nærliggende rom.

› Alternative tiltak

Siden dette hendelsesforløpet kan gå over lengre tid er det større muligheter for iverksetting av alternative tiltak. En kan vurdere å benytte seg av droner med IR-kamera for å få dannet seg et tydeligere oversiktsbilde.

### Trinn 3: Situasjon B

#### Beslutt MMI og Taktisk plan

#### Hva er målet med innsatsen?

Begrense skadeomfang.

#### Hvordan skal den taktiske planen være?

##### Innledningsvis:

Kjøøl ned nærliggende rom. Bruk spredt stråle på eventuelle branngasser for å senke temperatur og eksplosjonsfare.

##### Deretter:

Kontroller temperaturer og overvåk. Ikke entre batterirom. Forsøk ventilering av gasser, vær obs på eksplosjonsfare.

##### Avslutningsvis:

Overvåke batteri i et tidsintervall på 24 timer. Ved temperaturøkning og avgassing fra batteri starter intervallet på ny.

#### **Metodevalg:**

Hot zone: Kjemikaliedykkere med normalutlegg.

Warm zone: Røykdykkere med normalutlegg.

#### **Sikkerhet:**

Dersom sikkerheten vurderes til å være tilstrekkelig, kan kjemikaliedykking og røykdykking gjennomføres i henhold til normal prosedyre. Dersom høye temperaturer oppstår inne i skipet, må kjemikaliedykking avbrytes.



## 6.3 FORSLAG TIL INSTRUKS

Ut ifra nåværende kunnskap rundt temaet brann i LIB og refleksjonene gjort i delkapittel 6.2, er det laget forslag til instruks for innsatspersonell ved brann i LIB på skip og i parkeringskjeller.

### 6.3.1 Brann i elektrisk kjøretøy i parkeringskjeller

#### Trinn 1

1. Gjør en risikovurdering:
  - > Savnede personer – Situasjon A
  - > Spredningsfare
  - > Bæreevne - fare for kollaps
  - > Etsende gasser
  - > Røyk til bebygget område
  - > Eksplosjonsfare
2. Få oversikt over ventileringsmuligheter, bruk orienteringsplan.
3. Lokaliser brannen og finn ut hvor elbilen befinner seg i parkeringskjelleren.
4. Kartlegg tilgang på slokkevann, sikre vanntilførsel.

#### LIVREDDENDE INNSATS

##### Trinn 2: Situasjon A

- 5A. Valg av beskyttelsesnivå:
- a. Borte fra røyk, røykdykkere.
  - b. Inn i røyk, kjemikaliedykkere

#### BEGRENSE SKADEOMFANG

##### Trinn 2: Situasjon B

- 5B. Valg av beskyttelsesnivå:
- a. Borte fra røyk, røykdykkere.
  - b. Inn i røyk, kjemikaliedykkere.

##### Trinn 3: Situasjon A

#### MMI: Gjennomføre en livreddende innsats

- 6A. Start ventilering.
- 7A. Starte søk, lokaliser person.
- 8A. Er det mye avgassing, spredt stråle.
- 9A. Ta ut savnet person.
- 10A. Forsikre at alle personer er gjort rede for.
- 11A. Bruk defensiv tilnærming og kjøøl ned med store mengder vann.
- 12A. Sikre kjøretøy.
- 13A. Avbryt ekstern strømkilde.
- 14A. Kutt hovedstrøm hvis mulig.
- 15A. Overvåke, batteri kan reantenne.
- 16A. Revurder innsats (Alternative tiltak):
  - a. Taue ut bilen eller nærliggende biler
  - b. Brannteppe
- 17A. Etter kjøretøy har fått stabil temperatur, kan kjøretøy transporteres til sikkert sted. På grunn av fare for reantenning bør brannvesenet følge etter redningsbil frem til kjøretøyet er flyttet til trygt sted.

##### Trinn 3: Situasjon B

#### MMI: Begrense skadeomfang.

- 6B. Start ventilering.
- 7B. Lokaliser og sikre kjøretøy.
- 8B. Bruk defensiv tilnærming og kjøøl ned med store mengder vann.
- 9B. Overvåke, batteri kan reantenne.
- 10B. Revurder innsats (Alternative tiltak):
  - a. Taue ut bilen eller nærliggende biler
  - b. Brannteppe
- 11B. Etter kjøretøy har fått stabil temperatur, kan kjøretøy transporteres til sikkert sted. På grunn av fare for reantenning bør brannvesenet følge etter redningsbil frem til kjøretøyet er flyttet trygt.



## 6.3.2 Brann i batterirom på skip

### Trinn 1

1. Gjør en risikovurdering:
  - › Savnede personer - Situasjon A
  - › Spredningsfare
  - › Fare for strøm
  - › Etsende og giftige gasser
  - › Eksplosjonsfare
  - › Røyk til bebygget område.
2. Påse at produsent av batteri blir kontaktet.
3. Lokaliser overvåkningssystem til batteriene og få en oversikt over celleteperaturer.
4. Lokaliser brannen og batterirommet på skipet. Få tak i plantegninger.
5. Sperr av område: cold, warm, hot zone.
6. Er det automatiske slokkeanlegget løst ut? Om ikke, vurder å løse ut.
7. Kartlegg ventilasjonsmuligheter:
  - › Lokaliser inntak og utkast til batteriets ventilasjonssystem.
  - › Lokaliser eventuelle røykluker/nødutganger.
8. Kartlegg tilgang på slokkevann, sikre vanntilførsel.

#### LIVREDDENDE INNSATS

#### BEGRENSE SKADEOMFANG

##### Trinn 2: Situasjon A

##### Trinn 2: Situasjon B

- 9A. Valg av beskyttelsesnivå:
- a. Røykdykkerbekledning.
  - i. Vurder risiko.

- 9B Valg av beskyttelsesnivå:
- a. Hot zone: kjemikalieverndrakt.
  - b. Warm zone: røykdykkerbekledning.

##### Trinn 3: Situasjon A

##### Trinn 3: Situasjon B

#### MMI: Gjennomføre en livreddende innsats

#### MMI: Begrense skadeomfang

- 10A. Starte søk, lokaliser person.
- 11A. Bruk spredt stråle på branngasser for å senke temperatur og eksplosjonsfare.
- 12A. Ta ut savnet person.
- 13A. Forsikre at alle personer er gjort rede for. Deretter avsluttes livreddende innsats.
- 14A. Umiddelbar sanering etter innsats.
- 15A. Valg av beskyttelsesnivå:
  - a. Hot zone: kjemikalieverndrakt.
  - b. Warm zone: røykdykkerbekledning.
- 16A. Kjøl ned nærliggende rom.
- 17A. Kontroller temperaturer og overvåk BMS. Ikke entre batterirom.
- 18A. Forsøk ventilering av gasser, vær obs på eksplosjonsfare.
- 19A. Overvåke batteri i et tidsintervall på 24 timer. Ved temperaturøkning eller avgassing fra batteri starter intervallet på ny.

- 10B Kjøl ned nærliggende rom.
- 11B Kontroller temperaturer og overvåk BMS. Ikke entre batterirom.
- 12B Forsøk ventilering av gasser, vær obs på eksplosjonsfare.
- 13B Overvåke batteri i et tidsintervall på 24 timer. Ved temperaturøkning eller avgassing fra batteri starter intervallet på ny.





## 7 KONKLUSJON

---

Formålet med oppgaven var å gi innsatspersonell bedre forutsetninger til å håndtere en brann i litium-ion batteri i lukkede rom. Dette har blitt gjort ved å kartlegge risikomomenter under innsats. For å få mer kunnskap om temaet ble det gjennomført et litteraturstudium med fordyping i forskning på brann i litium-ion batteri. I tillegg ble det gjennomført en befaring på et hybridskip med litium-ion batteri installert, samt deltagelse på et seminar der håndteringen av brann i litium-ion batteri var i fokus.

De spesifikke risikomomentene som ble identifisert ved en slik situasjon var eksplosjonsfare, dannelse av hydrogenfluorid og fare for strøm. Grunnet den store ansamlingen av brennbare gasser vil det være en vesentlig risiko for eksplosjon, både i batterirom og i parkeringskjellere. Det har vist seg å være spesielt vanskelig å ventilere ut brennbare gasser uten å risikere en eksplosjon i batterirom. Betydelige mengder av giftig hydrogenfluorid gass kan forekomme fra brann i litium-ion batteri, denne gassen kan være livstruende selv ved lave konsentrasjoner. Når det gjelder fare for strømgjennomgang ansees det som svært usannsynlig ved brann i elektrisk kjøretøy. I batterirom i skip er det for øvrig en reell risiko for strømgjennomgang.

Oppgaven har resultert i rutiner og instruks for brannvesenet som presenterer forslag for håndtering av brann i litium-ion batteri i lukkede rom. Bakgrunnen for rutinene og instruksene er basert på risikomomentene brann i litium-ion batteri medfører.

Selv om det blir presentert en instruks som tilrettelegger for at innsatspersonell kan entre batterirom ikledd røykdykkerbekledning under en livreddende innsats, er det ikke nok grunnlag i oppgaven for å garantere at innsatspersonellets sikkerhet blir ivaretatt. Grunnet nåværende kunnskap om brann i litium-ion batteri er det stor usikkerhet knyttet til en fullstendig risikoevaluering rundt dette temaet. Ved å øke kunnskapen med videre forskning, vil flere moment belyses slik at det kan utarbeides mer pålitelige og effektive tiltak når det kommer til sikkerhet for innsatspersonell.



## 8 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

---

Det er fortsatt mye uavklart når det kommer til brann i LIB. Det burde gjennomføres mer forskning på hvordan innsatspersonells sikkerhet kan ivaretas ved en slik brann. Det anbefales at følgende momenter sees videre på i fremtiden:

- › Videre testing av verneutstyrs motstandsevne mot HF
- › Teste hvilken effekt ulike ventilasjonsløsninger kan ha for å redusere eksplosjonsfaren. Kan det være behov for EX-installasjoner i batterirommet som for eksempel avlastningsflater?
- › Forske på effekt og konsekvens for ulike slökkemetoder
- › Kan endring av regelverk være et virkemiddel for å øke sikkerheten rundt brann i LIB? Eksempelvis strengere krav til ventilasjon og opplæring av innsatspersonell.
- › Gjennomføre flere forsøk med måling av HF og øke kunnskapen rundt HF-eksponering.

Angående problemstillingen med verneutstyr hadde det vært interessant å sett på muligheten for å få laget varmeresistente kjemikaliedrakter eller røykdykkerbekledning som kan motstå gassinntrengning. En potensiell mulighet for å redusere fare for eksplosjon i batterirom kunne vært å fulle det med inert gass som for eksempel nitrogen. Som alternativ til ventilerings av batterirom, ville det også vært interessant å undersøke muligheten for å tilrettelegge for at brannvesenet kunne koblet seg opp på et mulig tørrsprinkleranlegg og fylle rommet med ferskvann.



## REFERANSER

- [1] Samferdselsdepartementet, "Plan for fossilfri kollektivtrafikk i 2025," 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/plan-for-fossilfri-kollektivtrafikk-i-2025/id2662445/>.
- [2] R. Bisschop, O. Willstrand, F. Amon og M. Rosengren, "Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles," RISE Research Institute of Sweden, Borås, 2019:50, 2019. [Online]. Tilgjengelig: [https://www.researchgate.net/publication/336640117\\_Fire\\_Safety\\_of\\_Lithium-Ion\\_Batteries\\_in\\_Road\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/336640117_Fire_Safety_of_Lithium-Ion_Batteries_in_Road_Vehicles)
- [3] Maritime Battery Forum, "Alternative Fuels Insight," 15.04.2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://afi.dnvgl.com/>.
- [4] A. Skovlund, "Køretøyer med ikke- fossile brændstoffer og deres påvirkning af Omgivelser- og beredskabet ved brand," Masteravhandling, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet, København, 2019.
- [5] G. Knudsen, T. Kristoffersen, S. Sivertsen, K. Rusås, H. P. Nilsen og D. Håkonsen, "Håndtering av utilsiktede hendelser som brann, eksplosjon og avgassing knyttet til bruk av Li-ion batterier," Bergen brannvesen, upublisert.
- [6] N. Mjøs *et al.*, "Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems," DNV GL Maritime Advisory, 2016-1056, 2016. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/maritime-and-offshore-battery-systems-download.html>
- [7] T. Välisalo, "Firefighting in case of Li-ion battery fire in underground conditions: literature study," VTT Technical Research Centre of Finland, VTT-R-00066-19, 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://cris.vtt.fi/en/publications/firefighting-in-case-of-li-ion-battery-fire-in-underground-conditions>
- [8] F. Larsson, "Assesment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation," Doktoravhandling, Department of Physics, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2017.
- [9] T. Lian, "Sikkerhetsaspekter i litiumionbatterier," Masteravhandling, Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet, Universitetet i Oslo, 2017.
- [10] N. K. Reitan, A. G. Bøe og J. P. Steinsaas, "Brannsikkerhet og alternative energibærere: El- og gasskjøretøy i innelukkede rom," SP Fire Research AS, Trondheim, A16 20096-1:1, 2016. [Online]. Tilgjengelig: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2016/spfrrapport-a16-20096-1.pdf>
- [11] B. Gully, H. Helgesen, J. E. Skogtvedt og D. Kostopoulos, "Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression," DNV GL AS Maritime Environment Advisory, 2019-1025, 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/Technical-Reference-for-Li-ion-Battery-Explosion-Risk-and-Fire-Suppression-report-download.html>
- [12] M. Su, "Hydrofluoric Acid and Fluorides," i *Goldfrank's Toxicologic Emergencies*, L. S. Nelson, N. A. Lewin, M. A. Howland, R. S. Hoffman, L. R. Goldfrank og N. E. Flomenbaum red., 9. utg. New York: The McGraw-Hill Medical, 2011, s. 1374-1380.
- [13] Medical Care System, "First aid in chemical accidents involving hydrofluoric acid," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.medicalcare.se/hexafluorine-en/>.
- [14] *Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer*, 2013.
- [15] Arbeidstilsynet, "Grenseverdier for kjemisk eksponering," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/grenseverdier-for-kjemisk-pavirking/>.



- [16] M. J. Hurley, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 5. utg. New York: Springer New York, 2016.
- [17] D. Bjerketvedt, J. R. Bakke og K. v. Wingerden, "Gas Explosion Handbook," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 52, nr. 1, s. 1-150, 1997.
- [18] CarAndBike Team, "Hyundai Kona Electric Explodes In Owner's Garage In Canada; Automaker Launches Investigation," 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.carandbike.com/news/hyundai-kona-electric-explodes-in-owners-garage-in-canada-automaker-launches-investigation-2078409>.
- [19] A. Ljosdal, "Brann i MF «Ytterøyningen»," Vest brann og redning, 10.10.2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://vestbrannregion.no/wp-content/uploads/2019/11/Evalueringsrapport-Brann-i-MF-Ytter%C3%B8yningen.pdf>
- [20] B. Steinsvik, L. Brenden, H. Kleppe, S. Hagen og V. H. Røe, *Grunnkurs for Brannkonstabel, Hefte 2*, 3. utg. Oslo: Norsk brannvernforening, 2019.
- [21] R. T. Long, A. F. Blum, T. J. Blum og B. R. T. Cotts, "Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results," The Fire Protection Research Foundation, Quincy, 1205174.000 F0F0 0613 RTL3, 2013. [Online]. Tilgjengelig: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/final\\_report\\_nfpa.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/final_report_nfpa.pdf)
- [22] B. Steinsvik, L. Brenden, H. Kleppe, S. Hagen og V. H. Røe, *Grunnkurs for Brannkonstabel, Hefte 1*, 3. utg. Oslo: Norsk brannvernforening, 2019.
- [23] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, "Norges brannskole," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.dsb.no/menyartikler/norges-brannskole/>.
- [24] Næringslivets sikkerhetsorganisasjon, "Om røyk- og kjemikaliedykking i industrivernet," 2018. [Online]. Tilgjengelig: <https://nso.no/wp-content/uploads/2020/03/Veiledning-for-r%C3%B8yk-og-kjemikaliedykking-i-industrivernet.pdf>.
- [25] B. Steinsvik, L. Brenden, H. Kleppe, S. Hagen og V. H. Røe, *Grunnkurs for Brannkonstabel, Hefte 3*, 3. utg. Oslo: Norsk brannvernforening, 2019.
- [26] Legevakthåndboken, "Soner, fare- og innsatsområder," 2020. [Online]. Tilgjengelig: [https://www.lvh.no/naar\\_det\\_haster/masseskader\\_og\\_katastrofer/cbrne-hendelser/soner\\_fare-og\\_innsatsomraader](https://www.lvh.no/naar_det_haster/masseskader_og_katastrofer/cbrne-hendelser/soner_fare-og_innsatsomraader).
- [27] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, *Veiledning om røyk- og kjemikaliedykking*, 2005.
- [28] *Åndedrettsvern - Helmasker - Krav, prøving, merking*, NS-EN 136, 1998.
- [29] *Åndedrettsvern - Selvforsynte pustestyr med åpent kretsløp og luft under trykk - Krav, prøving, merking*, NS-EN 137, 2006.
- [30] H. Wingfors, A. Fredman og M. Thunell, "Brandskyddsklāders skyddskapacitet-materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon," Totalförsvarets forskningsinstitut, MSB1350–Januari2019, 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.msb.se/sv/publikationer/brandskyddsklāders-skyddskapacitet--materialtester-med-kemikalier-som-bildas-vid-bränder-och-termisk-rusning-i-li-jon-batterier-i-e-fordon--studie/>
- [31] *Vernetøy for brannmannskap - Ytelseskrav til vernetøy for brannsløkking*, NS-EN 469, 2005.
- [32] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, "Definisjoner," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://farliggodspermen.no/definisjoner/>.
- [33] *Vernetøy mot farlige faste, flytende og gassformige kjemikalier, innbefatted flytende og faste aerosoler - Del 1: Funksjonskrav for type I (gassette) beskyttelsesdresser for kjemikalier*, NS-EN 943-1, 2019.



- [34] *Vernetøy mot farlige faste, flytende og gassformige kjemikalier, innbefatted flytende og faste aerosoler - Del 2: Funksjonskrav for type 1(gasstette) beskyttelsesdresser mot kjemikalier for redningsstyrker, NS-EN 943-2, 2019.*
- [35] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, *Veiledning til forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen*, 2015.
- [36] *Forskrift om kvalifikasjoner og sertifikater for sjøfolk*, 2012.
- [37] *Forskrift om industrivern*, 2012.
- [38] *Lov om petroleumsvirksomhet*, 1996.
- [39] A. Raaer, "Temaartikkel LUF60," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <http://www.brannmannen.no/fagstoff/temaartikkel-luf60/>.
- [40] OBRE, "Oslo Brann- og redningsetat," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.flickr.com/photos/obre/>.
- [41] J. Rosengren, "Vild container skal slukke brande i el-biler," 2019. [Online]. Tilgjengelig: <https://newsbreak.dk/vild-container-skal-slukke-brande-i-el-biler/>.
- [42] T. B. Dugan, "Reducing the flash hazard," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 13, nr. 3, doi: 10.1109/MIA.2007.353665.
- [43] Fire Eater, "Fire eater official approvals," 2013. [Online]. Tilgjengelig: [https://issuu.com/kabafireeater/docs/indatbd0066\\_official\\_approvals\\_mail](https://issuu.com/kabafireeater/docs/indatbd0066_official_approvals_mail).
- [44] 3M, "3M™ Novec™ 1230 Fire Protection Fluid Technical Data," 2020. [Online]. Tilgjengelig: <https://multimedia.3m.com/mws/media/124688O/3m-novec-1230-fire-protection-fluid.pdf>.
- [45] 3M, "3M™ Novec™ 1230 Fire Protection Fluid Safety Data Sheet," 2019. [Online]. Tilgjengelig: [https://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn\\_zu8l9N1482xNx29Mv70k17zHvu9lxtD7SSSSSS--](https://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8l9N1482xNx29Mv70k17zHvu9lxtD7SSSSSS--).
- [46] 3M, "Thermal Decomposition Considerations with 3M™ Novec™ 1230 Fire Protection Fluid," 2004. [Online]. Tilgjengelig: <https://multimedia.3m.com/mws/media/311626O/3mtm-novectm-1230-fire-protection-fluid-decomp-consideration.pdf>.
- [47] M. Mattson og L. Eriksson, *Taktikkboken - en håndbok i systematisk ledelse av slokkeinnsatser mot bygningsbranner*. Oslo: Norsk brannvernforening, 2017.



## VEDLEGG A – INSTRUKS NORGES BRANNSKOLE

---

### Ved brann i batteripakke

#### Ved brann i batteripakke

Brann i litiumbatteri lar seg vanskelig slukke, og må brenne ut. Kjøl ned med store mengder med vann for å hindre at flere celler antennes og at brannen sprer seg.

- › Inneholder organisk elektrolytt som brenner som olje og utvikler flussyre.
- › Elektrodene avgir oksygen ved ca. 200°C. Dette opprettholder en brann.
- › Skum og pulver er ikke anbefalt.
- › Skjærslukker ikke anbefalt. Det gir fare for at flere celler i batteriet blir berørt.
- › Det har vært hendelser hvor el-biler har begynt å brenne tre uker etter en kollisjon. Informer derfor bergingspersonell om plassering i trygge omgivelser ved biledepoter o.l.

#### Forsiktighetsregler før innsats

- › Sjekk og identifiser biltype
- › Vurder skader på kjøretøy, deformasjon ved batterikasse og kabler.
- › Er det tegn på varmeutvikling i batteriet? Bruk gjerne infrarødt kamera. Dersom batteriet har interne skader vil dette medføre kortslutning og brann i løpet av minutter. Vær også oppmerksom at batteriet kan ha høy temperatur lenge etter en brann er slukket.
- › Identifiser frikoblingsbryter og eventuelt klippesoner.
- › **Ha alltid** verneutstyr tilgjengelig før berøring. Samt hansker godkjent for 1000 V.
- › Opprett en "hot zone" rundt skadested; det bør være en minimum sikkerhetsavstand på 15 meter.

#### Forsiktighetsregler under innsats

- › Skru av kjøretøyets tenning – ved kontaktløs tenning fjernes sender/nøkkel minst 15 m vekk fra bilen.
- › Koble fra hovedbryter batteri.
- › Blokker hjul.
- › Klargjør for kjøling og slukking – hvis skader tilsier dette.
- › Vær forberedt på at en brann i batteriet kan oppstå plutselig.
- › Kjettingtrekk kan påføre batteriet brekkasje som fører til at en brann oppstår. Velges kjettingtrekk som metode, betinger det at fastklemte er livstruende skadet og man har f.eks. et 1000 l strålerør tilgjengelig for skjerming av den/de fastklemte.
- › Unngå innånding av røyk da den kan inneholde fluorgass.

#### Forsiktighetsregler etter innsats

- › Batteriet vil fremdeles ha restenergi – den forsvinner ikke av seg selv.
- › Sjekk batteritemperatur og om den er stigende. Et skadet batteri er ustabil og kan plutselig få en intern kortslutning mellom celler og begynne å brenne.
- › Før transport fra skadestedet må batteriet være koblet fra ved hjelp av hovedbryter. Vurder også om ytterlige tiltak er nødvendig før transport, vær oppmerksom om kjøretøy må trekkes/taues av bergingsbil o.l.



## Brann i bil som står til lading

- › Det gjelder de samme forsiktighetsregler og tiltak som er gitt foran.
- › Stopp lading ved å dra ut kontakten.
- › Ved hurtiglading trykkes nødstop.
- › Kjøl ned store mengder med vann til temperaturen på batteriet er normal.
- › Fjern kjøretøyet fra tilstøtende bygg, garasje o.l. Påse vakhold.

Brannmannskap må vise stor aktsomhet ved hendelser hvor slike kjøretøy er involvert. Bruk gjerne ulike oppslagsverk over forskjellige typer kjøretøy. Det finnes også ulike typer apper som kan lastes ned som et støtteverktøy. Det er også en god del bilforhandlere om kan skaffe ulike sikkerhetskort for sine modeller. Ta gjerne også kontakt med bilforhandlere for en teknisk gjennomgang med verkstedpersonellet.

Litium ion batterier begynner også bli utbredt i husholdningen, verktøy, datamaskiner, samt mange hjelpemidler som f.eks rullestoler m.m. Disse batteriene er ofte i en mykere innpakning og ikke så godt beskyttet, derfor større sannsynlighet for brekkasje og selvantennelse.

Vi må derfor være forberedt på utfordringer ved brannslukking der slikt er involvert.



## VEDLEGG B – INSTRUKS BERGEN BRANNVESEN

### Retningslinjer ved brann i litium-ion batterier

**Thermal runaway:** Beskriver en eksotermisk kjemisk prosess som skjer inne i en battericelle. Ved oppvarming av en battericelle vil kjemiske komponenter inne i cellen starte en kjemisk reaksjon som fører til dannelse av nye forbindelser og mye varme. Varmen som blir produsert fører til at den kjemiske prosessen går hurtigere og man får en selvforsterkende effekt. I denne prosessen vil det dannes oksygen, brennbar og etsende gass. Antennes gassen fører dette til flammer med temperatur opp mot 1000 grader, som vil være umulig å slukke. Den høye temperaturen kan føre til at naboceller blir oppvarmet som igjen fører til at disse går i *thermal runaway* og en kjedereaksjon har startet.

### Brann i mindre litium-ion batterier (Eks. mobil, elsykkel, el scooter)

**Mål Med Innsats:** Forhindre brannspredning og hindre eksponering av farlig brannrøyk

**Faremomenter:** *Inhalasjon, brannspredning, stor røykutvikling.*

1. Mindre litiumbatterier slukkes som vanlig brann, med normal brannbekledning. Enkelt celler som brenner er være umulig å slukke men brenner fort opp.
2. Bruk vann for å kjøle batteri. Ikke bruk skum, da dette reduserer batteriets varmeavgivelse til omgivelsene.
3. Vurder om det er mulig å flytte batteri som brenner til åpent område.
4. Start ventilering av brannrommet.
5. Utstyr og bekledning som har vært eksponert for røyk skal saneres etter bruk.

### Generelle retningslinjer i forbindelse med brann i El-bil

- 1 Livreddende innsats ved fastklemt person gjøres med komplett vernutstyr og hansker som normalt.
- 2 Plasser alltid kjøretøy og utstyr i forsvarlig avstand slik at det ikke kommer i kontakt med røyken, da den inneholder giftige og etsende stoffer.
- 3 Etabler vannverk, evt. tankbil da det ofte skal anvendes store vannmengder.
- 4 Bruk alltid brannbekledning med pusteutstyr.
- 5 Tilstreb å angripe med vinden i ryggen.
- 6 Opphold i røyken skal foregå i kortest mulig tid, unngå opphold midt i røykskyen.
- 7 Angrep skal ikke foretas foran eller bak kjøretøyet, da bilen kan spontant begynne å kjøre grunnet kortslutninger i el-nettet. Kloss opp bilen.
- 8 Klipp, kutt eller skjær aldri i kjøretøyet for å få slukkevann inn til batteriet. Dette på grunn av fare for kontakt med strømførende komponenter.
- 9 Utstyr og bekledning som har vært eksponert for røyk skal saneres etter bruk.

### Brann i Elbil i lukkede/nesten lukkede rom. Termal runaway

**Mål Med Innsats:** Forhindre brannspredning, hindre eksponering for personer og innsatspersonell for giftig og etsende stoffer.

**Faremomenter:** *eksplosjon, inhalasjon, etseskade, brannspredning*

- 1 Ventiler bort røykgasser fra inntrengningsveien til innsatspersonell.
- 2 Pass på at branngassene ikke ventileres til områder hvor det oppholder seg personer. Eller hvor gassene kan samles opp og skape en eksplosiv konsentrasjon. *Hvis ikke røykgassene kan ventileres bort bør området betraktes som område med direkte kontakt med etsende stoffer og full beskyttelse/gassverndrakt må benyttes.*
- 3 Sperr av området, etabler hot-, warm- og cold zone.





- 4 Angrip brannen, unngå kontakt med røyken. Vurder bruk av brannteppe for skjerming av omgivelser.
- 5 Avbryt ekstern strømkilde, hvis bilen står på lading. Hvis ekstern strømkilde ikke er brutt, skal brannen regnes som brann i spenningsførende installasjon. Kutt strøm til ekstern strømkilde. Bruk riktig verneutstyr.
- 6 Kloss opp bilen.
- 7 Kutt strømforbindelse internt i bilen hvis mulig. Bruk crash recovery, for å finne fremgangsmåte.
- 8 Bruk defensiv taktikk. Bruk spredt stråle til kjøling av omgivelser og skjerming/oppsamling av farlige stoffer fra røyken. Bruk store mengder vann med så små dråper som mulig. Ikke bruk skum.
- 9 Iverksett vedvarende kjøling av batteriet med store mengder vann. Ikke bruk skum, da dette reduserer batteriets varmeavgivelse til omgivelsene.
- 10 Avbryt periodevis kjøling av batteri og kontroller temperatur med IR kamera.
- 11 Fortsett kjøling til av batteri til temperatur er under 80 grader.
- 12 Kontroller av temperatur er under 80 grader i 60 minutter.
- 13 Transporter kjøretøy til egnet sted med minst 5 meter fra annet brennbart materiale og bygninger. Opplysningene deles med bergingsbil

## Brann i store litium-ion batterier. Thermal runaway (Eks. ferger, industri, boliger)

**Mål Med Innsats:** Forhindre brannspredning og hindre eksponering av farlig brannrøyk

**Faremomenter:** *eksplosjon, inhalasjon, etseskade, strømgjennomgang.*

1. Kontakt produsent av batteri installasjonen.
2. Lokaliser overvåkningssystem til batteriene. Om mulig se hvilken celledetemperatur og spenning batteriene har. Ikke slå av batterisystem. Viktige parametere som aktive celler, spenning og temperatur vil ikke være mulig og overvåke.
3. Vurder å løse ut slukkesystem ved brann.
4. Skaff plantegning, vurder spredningsfare.
5. Pass på at branngassende ikke ventileres til områder hvor det oppholder seg personer.
6. Entring av batterirom må kun vurderes utført ved livreddende innsats, og må da foretas med stor aktsomhet da det kan være fare for eksplosjon samt at anlegget fortsatt er spenningsførende. Bruk hjelpemidler som drone, IR- kamera og batteriets overvåkningssystem for å skaffe så mye informasjon som mulig før entring. Kjøl omgivelsene til batterirom for å hindre spredning.
7. Vurder bruk av gassdrakt ved mye røyk.
8. Røyk i batterirom kjøles med spredt stråle/vanntåke for å senke eksplosjonsfaren og binde opp farlige gasser.
9. Start vedvarende ventilering av batterirom.
10. Battericeller som har temperatur over 80 grader kjøles med store mengder rent vann. IKKE bruk saltvann eller skum.
11. Kortslutning i batteri installasjonen kan forekomme selv ved bruk av rent vann. Vannet binder partikler som aske, sot og metallpartikler som gjør det ledende. I den grad det lar seg gjøre må kjøling foretas så langt fra batteri installasjonen som mulig.
12. Ikke berør batterier da disse er elektrisk spenningsførende.
13. Forsett kjøling med store mengder vann til alle battericeller har en temp på under 80 grader.
14. Start overvåking. Hvis mulig bruk hjelpemidler som videostrømming til å overvåke batterirom.



15. Batterirom overvåkes i 24 timer. Ved endring i batteritemperaturer eller avgassing fra battericeller starter overvåkningstiden på nytt.
16. I den grad det lar seg gjøre, samle opp slukke vann. Dette kan ha en lav PH verdi som over tid kan skade konstruksjoner.
17. Alltid bruk friskluftapparat, batterier kan spontant frigjøre dødelig og etsende gass. Giftig gass er tyngre enn luft og kan samles i lavere deler av konstruksjonen. Bruk gassmåler.
18. Utstyr og bekledning som har vært eksponert for røyk skal saneres etter bruk.

## VEDLEGG C - BILDESERIE FRA BEFARING PÅ OV RYVINGEN

Som en del av oppgaven var studentene på befaring på hybridskipet OV Ryvingen. Det ble tatt bilder under befaringen som er presentert i en bildeserie:



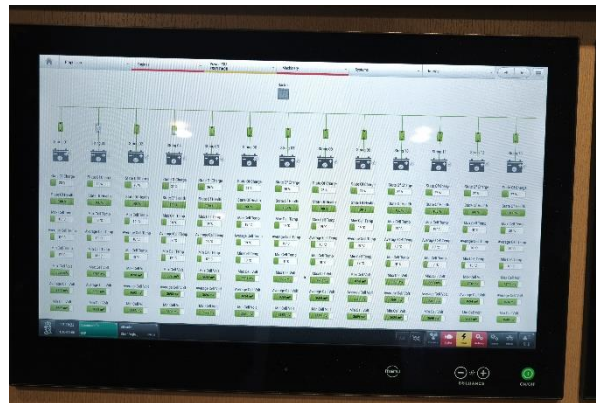
*Studentene på befaring*



*OV Ryvingen*



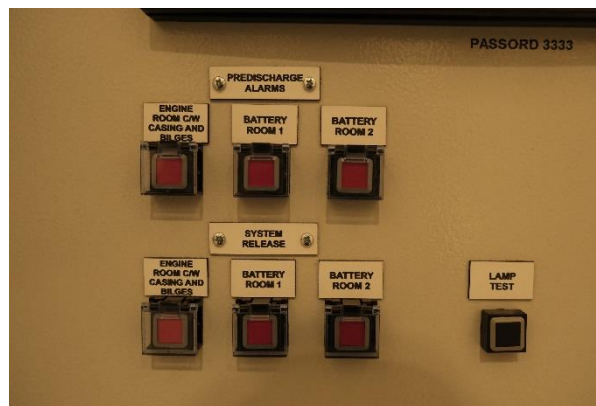
*Systemovervåking*



*Temperaturovervåking*



*Kontrollrom som overvåker batteriene*



*Manuell utløsning av Novec 1230*



*Fareskilt på dør inn til batterirom*



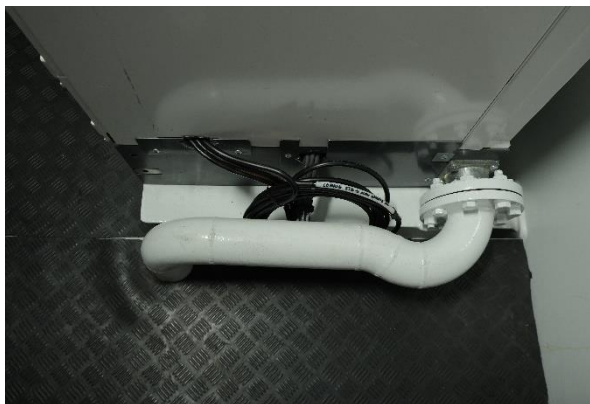
*Batterirommet*



*Produsent av batteriene på OV Ryvingen*



*Overvåkingskamera i batterirom*



*Avsug fra batteriene*



*Gassmåler i batterirom*

## VEDLEGG D - DATA FRA GJENNOMFØRTE TESTER PÅ NMC-CELLER

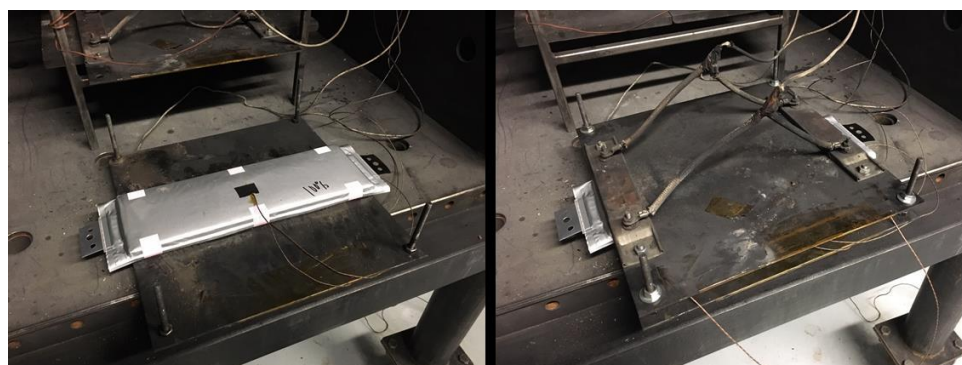
Denne oppgaven tar utgangspunkt i data funnet i DNV GLs rapport "Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression". Her er det blitt gjennomført en rekke tester på LIB med NMC-celler. Dette vedlegget vil presentere data fra forsøker gjort på de nevnte cellene.

### Test oppsett:

Kapasitet [Ah]	Type battericelle	Kjemi på battericelle
63	Pose	NMC



*Testoppsett*



*Testbatteri*

### FORSØK GJORT PÅ 63 AH POUCH NMC CELLE

SOC [%]	Årsak til svikt	Synlig flamme
100	Overoppheting	Ja
50	Overoppheting	Nei
100	Overlading 50A	Ja
75	Overoppheting	Ja
100	Kortslutning mellom batteriterminaler	Nei

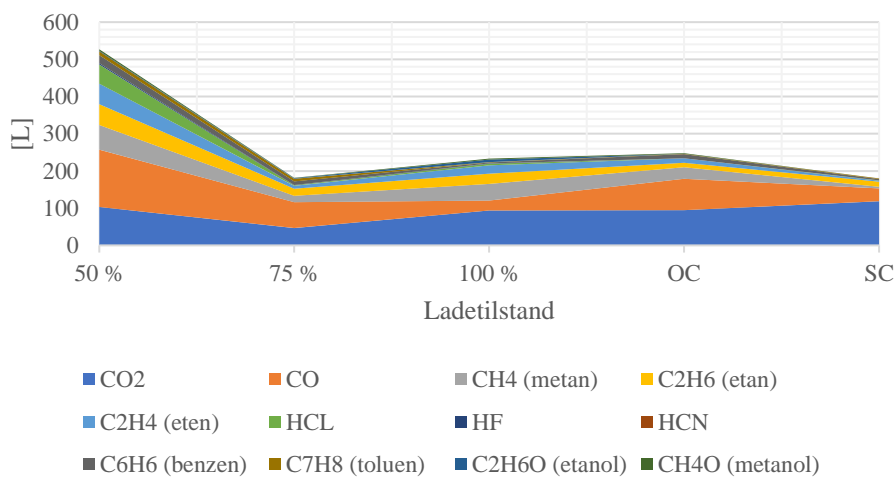


Avgassing	Batteriets ladetilstand				
	50	75	100	OC	SC
CO <sub>2</sub>	19,6	25,7	40,3	38,8	65,9
CO	29,2	38,1	11,4	34,4	19
CH <sub>4</sub> (metan)	12,6	9,4	19,4	12,5	2,7
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (etan)	10,6	10,5	11,7	4,8	7,6
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (eten)	10,5	4,4	9,6	4,9	1,6
HCL	9,7	0,8	1,9	0,2	0,2
HF	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1
HCN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (benzen)	4,1	5,2	1,1	4,3	1,9
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (toluen)	2,0	4,1	0,3	0,5	0,9
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O (etanol)	0,3	0,7	2,9	0,1	0,0
CH <sub>4</sub> O (metanol)	0,7	0,8	1,1	0,5	0,2
Volum [L]	527	182	233	245	180
Gjennomsnittlig omgivelsestemperatur under thermal runaway [°C]	131	166	201	221	57
Volum normalisert til 25 °C omgivelsestemperatur [L]	388	124	146	148	161
L/Ah normalisert til 25 °C omgivelsestemperatur	6,2	2,0	2,3	2,3	2,6

Avgassingsverdier fra testing av NMC celle med overoppheiting fra forskjellige ladetilstander

Diagrammet under er produsert for å gi en grafisk fremstilling av hvordan batteriets SOC påvirker volumet og sammensetningen til avgassingene.

Avgassinger fra LIB



Gass	Max % observert på cellenivå [%]	L av spesifikk gass per Ah (Antagelse 2,6 l/Ah) [L/Ah]	Grenseverdi for umiddelbar fare for liv og helse [ppm]	Relativ damp tetthet (luft=1)
CO	38,1	0,9906	1200	0,97
HCL	9,7	0,2522	50	1,3
HF	0,7	0,0182	30	0,92
HCN	0,0	0,0	50	0,94
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5,2	0,1352	500	2,7
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	4,1	0,1066	500	3,1

Volumandeler av gasser med hensyn på giftighet



## VEDLEGG E – BEREGNINGER HF SCENARIO

Doktoravhandlingen "Assesment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation" skrevet av Fredrik Larsson presenterer verdier for produksjon av HF. Ved hjelp av disse verdiene gjennom ekstrapolasjon er det laget to scenarier som viser et grovt anslag av hvilke konsentrasjoner av HF man kan få i en parkeringskjeller og i et batterirom på skip. En vesentlig forutsetning for disse beregningene er Larssons estimer for hvor mye HF som produseres per Wh fra forsøkene som ble gjennomført som en del av doktorgradsavhandlingen. HF produksjonen ble satt til å være 20-200 mg/Wh.

### Elektrisk kjøretøy i parkeringskjeller:

Størrelse på batteri [kWh]	Volum av rom [m <sup>3</sup> ]
100	7500

$$(20 - 200) \frac{mg}{Wh} \cdot \frac{1 kg}{1,0 \cdot 10^6 mg} \cdot 100 kWh \cdot \frac{1,0 \cdot 10^3 Wh}{1 kWh} = (2 - 20) kg HF$$

$$\frac{(2 - 20) kg}{7500 m^3} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^6 mg}{1 kg} = (267 - 2670) \frac{mg}{m^3}$$

$$\frac{24,45}{20,01} \cdot (267 - 2670) \frac{mg}{m^3} \approx 320 - 3200 ppm$$

### Batterimodul på skip:

Her antas det at det er oppstått thermal runaway i en hel batterimodul. Det er tatt utgangspunkt i en modul i batterisystemet til skipet OV Ryvingen. I et batterirommet hadde skipet flere stringer på 113 kWh. Hver streng hadde 20 moduler, som betyr at hver modul hadde en størrelse på 5,65 kWh.

Størrelse på batteri [kWh]	Volum av rom [m <sup>3</sup> ]
5,65	67,5

$$(20 - 200) \frac{mg}{Wh} \cdot \frac{1 kg}{1,0 \cdot 10^6 mg} \cdot 5,65 kWh \cdot \frac{1,0 \cdot 10^3 Wh}{1 kWh} = (0,113 - 1,13) kg HF$$

$$\frac{(0,113 - 1,13) kg}{67,5 m^3} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^6 mg}{1 kg} = (1674 - 16740) \frac{mg}{m^3}$$

$$\frac{24,45}{20,01} \cdot (1674 - 16740) \frac{mg}{m^3} \approx 2000 - 20000 ppm$$



## VEDLEGG F - REFERAT FRA MØTE MED 3M

---

**Skype møte 11. Mars 2020 08:00-09:00**

### **Deltagere:**

Fra 3M: Nick Johnson, David Nyberg, Ian Kelsall

Fra HVL: Åsmund Hovda, Levent Smakiqi, Thomas Halleraker, Arjen Kraaijeveld

Det ble gjennomført et møte med 3M, produsenten av Novec 1230 for å diskutere problematikken rundt mulig produksjon av HF gass ved bruk av Novec 1230 på litium-ion batteribranner.

Møtet ble oppsummert i nummererte punkter der studentene presenterte deres hypotese rundt HF gass og Novec. 3M fikk anledning til deres kommentarer til hvert individuelle punkt:

- 1. According to technical data, January 2020 from 3M (white paper) chap. Use of Novec 1230 Fluid - Lithium-Ion batteries, Novec 1230 cannot stop thermal runaway, once initiated.**

### **3M's Comment:**

Novec 1230 fluid in a gaseous overhead fire suppression system, designed and installed per the ISO 14520 Standard or NFPA 2001 Standard, can extinguish Class A, B and C hazard fires. Novec 1230 fluid utilized in total flooding fire suppression systems designed for Class A, B and C hazard fires, cannot stop thermal runaway once initiated. Any additional benefit of a fire suppression mechanism, device or delivery system using Novec 1230 fluid to prevent a cascading lithium-ion battery thermal runaway event is highly dependent on the battery properties and the system itself which include factors outside of 3M's knowledge or control, including battery design, state of battery charge, and Novec 1230 fluid concentration levels, as a few illustrative examples. Accordingly, the fire suppression system manufacturer is solely responsible for ensuring that any claim regarding the ability of the system to prevent a cascading lithium-ion battery thermal runaway event is true and accurate. (For details please refer to the Technical Data Sheet for Novec 1230 fluid)

- 2. The main reason for installing Novec 1230 in a battery room is to extinguish fires external of the batteries e.g. aux equipment. This can help to protect the batteries from overheating due to a fire.**

### **3M's Comment:**

As noted, many factors beyond 3M's control and uniquely within a fire suppression system manufacturer's knowledge and control can affect the use and performance of Novec 1230 fluid in a particular application. A fire suppression system manufacturer is solely responsible for evaluating Novec 1230 fluid and determining whether it is fit for a particular purpose and suitable for its method of application. Please refer to the Technical Data Sheet regarding use of Novec 1230 fluid in spaces where lithium-ion batteries are stored or utilized.





- 3. If a fire in a battery module occurs (for example due to a thermal runaway) and the Novec 1230 system has been activated, most likely flaming fire in the batteries will be extinguished.**

**3M's Comment:**

Please refer to 3M's comment above on #1 and #2.

- 4. In that case there might be a prolonged glowing or smouldering fire or hot surfaces within or in the vicinity of the burning battery module. (Novec 1230 is not designed for extinguishing these kinds of fires, probably no extinguishing system can extinguish a battery fire fully)**

**3M's Comment:**

Please refer to 3M's comment above on #1 and #2.

- 5. Prolonged presence of hot surfaces and or heat production will lead to increased thermal decomposing of Novec 1230 thus production of HF.**

**3M's Comment:**

The magnitude of thermal decomposition production resulting from the interaction of a halocarbon agent with a flame front is dependent upon numerous factors, including fire size-to-enclosure volume ratio, the agent volumetric concentration, and the discharge time. For details, we refer you to the technical brief on thermal decomposition which was provided to Arjen Kraaijeveld on March 10, 2020. This document can also be found on 3M's website on <https://multimedia.3m.com/mws/media/1246880/3m-novec-1230-fire-protection-fluid.pdf>

- 6. Due to the Novec 1230 gas' density there is a possibility for increased concentrations of Novec 1230 at floor level in a room with limited ventilation over time. (Normal procedure is to close all doors after detection of a fire). The increased concentration of Novec 1230 after the turbulent phase might increase thermal decomposing.**

**3M's Comment:**

This does not occur due to the density of Novec 1230 fluid, but the room leakage. In a completely sealed container and above the dew point of the designed concentration of Novec 1230 fluid, the concentration would remain uniform.

- 7. There are two possible sources of HF yield in a battery room: 1 the batteries, 2 Novec 1230**

**3M's Comment:**

There may be several other sources where HF can originate from other than batteries and Novec 1230 fluid. It is unclear what other materials were in the room that may have also contributed to the formation of HF.



- 8. In a scenario where Novec 1230 gas is present in a battery room for many hours and hot surfaces or heat release are present as well due to an ongoing battery fire, large amounts of HF are produced due to thermal decomposing of Novec 1230.**

**3M's Comment:**

NFPA 2001 9.8.5 states “*Duration of Protection. It is important that the agent design concentration not only shall be achieved, but also shall be maintained for a sufficient period of time to allow effective emergency action by trained ship’s personnel. In no case shall the hold time be less than 15 minutes.*”. Lithium ion batteries can be a material source of HF. How long Novec 1230 fluid is present in a room after a single, ten second discharge from a fire suppression system can be determined by a door fan test.

- 9. There is uncertainty regarding the recommended use of safety gear for firefighters when it comes to an incident involving li-ion battery fires combined with a released Novec 1230 system. Guidelines are lacking.**

**3M's Comment:**

Turnout gear and self-contained breathing apparatus (SCBA) equipment is what is commonly used. NFPA 2001 2018 ed 1.5.1.5.1 states “*Suitable safeguards shall be provided to ensure prompt evacuation of and prevent entry into hazardous atmospheres and also to provide means for prompt rescue of any trapped personnel. Safety items such as personnel training, warning signs, discharge alarms, self-contained breathing apparatus (SCBA), evacuation plans, and fire drills shall be considered.*”



## VEDLEGG G - INNSATSKORT FOR BRANN I SKIP OG PARKERINGSKJELLER

1		2A		2B	
1. Hvordan er risikobildet?		<b>LIVREDDENDE INNSATS</b>		<b>BEGRENSE SKADEOMFANG</b>	
2. Type batterisystem?		Valg av beskyttelsesnivå	Røykdykkerbekledning Vurder risiko!	Valg av beskyttelsesnivå	Etabler hot, warm, cold zone: Hot: kjemikalieverdrakt Warm: røykdykkerbekledning
3. Hvor brenner det?		<b>MMI Berge liv</b>		<b>MMI Begrense skadeomfang</b>	
4. Er slukkesystemer løst ut?		Inledningsvis	Starte søk, lokalisere og ta ut savnet person.	Inledningsvis	Avkjøle nærliggende rom.
5. Hvordan er muligheter for ventilering?		Deretter	Forsikre at alle personer er gjort rede for.	Deretter	Kontroller temperaturer og overvåk.
		Avslutningsvis	Avkjøle nærliggende rom. Overvåke batteri i et tidsintervall på 24 timer. Ved temperaturøkning starter intervallet på ny.	Avslutningsvis	Overvåke batteri i et tidsintervall på 24 timer. Ved temperaturøkning starter intervallet på ny.
			Iverksett umiddelbar sanering etter innsats.		Iverksett umiddelbar sanering etter innsats.

RISIKOFAKTORER	
<p><b>Hydrogenflourid</b></p>  	<p>&gt; Dødelig både i gass form og som syre.</p> <p>&gt; Farer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Livsfarlig ved både hudkontakt og innånding</li> <li>▪ Dødelig ved 30 ppm</li> <li>▪ Etseskader på hud, øyne og lunger</li> </ul>
<p><b>Eksplisjon</b></p> 	<p>&gt; Oppsamling av gasser kan føre til eksplosjon.</p> <p>&gt; Farer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utkast (splinter/gjenstander)</li> <li>▪ Kraftig varmeutvikling</li> <li>▪ Trykkbølge, små rom kan føre til stor kraft:</li> </ul> $\text{Trykk} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Avlastningsareal}}$
<p><b>Strømgjennomgang</b></p> 	<p>&gt; Kontakt med strømførende objekt kan føre til strømgjennomgang.</p> <p>&gt; Farer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hjertestans</li> <li>▪ Muskelkramper</li> <li>▪ Brannskader</li> </ul>



## BRANN I PARKERINGSKJELLER

1

- Hvordan er risikobildet? **Gjør en risikovurdering med hensyn på risikofaktorer.**
- Hvordan er ventilasjonsmulighetene? **Vurder om det lar seg gjøre å ventilere bort branngasser.**
- Hvor befinner kjøretøyet seg? **Lokaliser kjøretøyet, bruk Crash Recovery til å få informasjon om kjøretøyet. Dersom det er et fossilt kjøretøy som brenner, kan brannen håndteres som en ordinær brann.**
- Hvordan er tilgangen til sløkkevann? **Kartlegg tilgangen på sløkkevann. Det kreves svært mye vann for å slukke en batteribrann.**

2A

### LIVREDDENDE INNSATS

Valg av beskyttelsesnivå **Borte fra røyk, røykdykkere  
Inn i røyk, kjemikaliedykkere**

2B

### BEGRENSE SKADEOMFANG

Valg av beskyttelsesnivå **Borte fra røyk, røykdykkere  
Inn i røyk, kjemikaliedykkere**

3A

**MMI Berge liv**  
Inledningsvis **Start ventilering, søk og lokaliser savnet person.**  
Deretter **Spredt stråleilde for å slå ned branngasser. Ta ut savnet person. Kjøøl ned med store mengder vann**  
Avslutningsvis **Overvåk batteri. OBS, kan reantenne.**

Etter kjøretøy har fått stabil temperatur, kan kjøretøy transporteres til sikkert sted. På grunn av fare for reantening bør brannvesenet følge redningsbil frem til EK er flyttet til trygt og egnet sted

3B

**MMI Begrense skadeomfang**  
Inledningsvis **Start ventilering, lokaliser og sikre kjøretøy.**  
Deretter **Kjøøl ned med store mengder vann.**  
Avslutningsvis **Overvåk batteri. OBS, kan reantenne.**

Etter kjøretøy har fått stabil temperatur, kan kjøretøy transporteres til sikkert sted. På grunn av fare for reantening bør brannvesenet følge redningsbil frem til EK er flyttet til trygt og egnet sted.



## RISIKOFAKTORER

### Hydrogenflourid



- > **Dødelig både i gass form og som syre.**
- > **Farer:**
  - Livsfarlig ved både hudkontakt og innånding
  - Dødelig ved 30 ppm
  - Etseskader på hud, øyne og lunger

### Eksplasjon



- > **Oppsamling av gasser kan føre til eksplosjon.**
- > **Farer:**
  - Utkast (splinter/gjenstander)
  - Kraftig varmeutvikling
  - Trykkbølge, små rom kan føre til stor kraft:
$$\text{Trykk} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Avlastningsareal}}$$

### Strømgjennomgang



- > **Kontakt med strømførende objekt kan føre til strømgjennomgang.**
- > **Farer:**
  - Hjertestans
  - Muskelkramper
  - Brannskader