



SAFETY & TRANSPORT  
RISE FIRE RESEARCH



## Brannrisiko ved lagring av ikke-tilkoblede litium-ion og litiumbatterier

Andreas Sæter Bøe, Karin Glansberg

RISE-rapport 2019:98

# Brannrisiko ved lagring av ikke-tilkoblede litium-ion og litiumbatterier

Andreas Sæter Bøe, Karin Glansberg

# Abstract

## **Fire risk associated with storage of Lithium- and Lithium-ion batteries**

In this project we have been in contact with several different actors that handle and store large quantities of non-connected lithium and lithium-ion batteries. Batteries will, during their lifetime, be stored at different locations, and the locations that are considered to have the largest amount of batteries are manufacturers / distributors and recycling plants.

For operators who store large quantities of new batteries, it is common to store the batteries on pallets in conventional storage buildings secured by a water sprinkler system. Based on information from the plants we have been in contact with, we consider the fire risk to be about the same as an ordinary warehouse. Factors that may affect the fire risk are: The amount of batteries, battery state of charge, possible ignition sources, general fire protection of the storage, and knowledge of battery-related fire. One possible cause of fire during storage and handling of batteries in a warehouse is due to mechanical damage, for example by a falling pallet from truck. Mechanical damage can cause internal short-circuits in the battery cells, which will generate heat, and possibly a fire. Handling by truck is in itself a possible source of ignition as there are examples that a truck has started to burn both during charging and while driving.

At a battery packaging facility we have been in contact with, who receives battery cells directly from a manufacturer, the cells had a charge state of 20 % and were packed according to the transport standard UN 3480. The focus on fire safety and the knowledge of batteries in general was high.

For actors distributing batteries as part of a larger product assortment, the amount of batteries will be substantially smaller, and knowledge of battery-related fire will normally be less. The charging state of batteries in such warehouses is stated to be higher than that of the manufacturer and may be about 50 – 95 %. A high state of charge makes the cells more unstable and based on this we believe that the risk is somewhat higher for such storage, than storage of battery cells with lower charge levels.

At recycling facilities, there is a significantly higher fire risk than storage of new batteries in storage, mainly because cells have been (and are) subject to mechanical stresses in the form of vibrations and shocks, which can lead to more unstable cells and possibly lead to internal short circuits. External short circuits can also occur if the terminals of a battery come into contact through a low-resistance connection. The recycling plants we have been in contact with, have a high focus on fire safety and have taken a number of precautions to prevent a fire to occur, and have put in place measures that can prevent a small fire to develop into a larger fire. The recycling plants seem to have good control over the fire risk of batteries that are checked and sorted, while the fire risk is somewhat higher in the area where the batteries can be unsorted and not currently controlled. Several of the recycling plants experience regular fire outbreaks caused by lithium / lithium-ion batteries, but these cases are normally handled with simple fire extinguishing measures on site.

Based on those we have been in contact with, we believe that the actors with the greatest amount of batteries also have a high focus on fire safety and a great deal of knowledge about battery safety, which together pose an acceptable risk.

The fire risk for actors handling and storing smaller amounts of batteries may be higher, as there is less focus on and knowledge of battery safety.

As the result of this project mainly is based on visiting different actors, there may be other actors with a slightly different focus on fire safety and knowledge about batteries.

The following learning points have been extracted:

### **General**

- Have good procedures to reduce fire risk.
- Ensure that practices comply with procedures.

### **Storage of batteries in stock**

- Keep the cells in as low charge state as possible. When packaging according to UN 3480, this is automatically fulfilled.
- Have good dialogue with the local fire department.
- Have good truck driving routines to avoid dropping pallets.
- Place possible sources of ignition (e.g. truck charger) at a sufficient distance from combustible materials.

### **Batteries at recycling plants**

- Limit the amount of batteries in one place.
- Store different battery types separated in appropriate storage containers, in a dry location.
- Ensure that degassing from batteries may not lead to accumulation of combustible gases.
- Keep combustible materials at a safe distance.
- Provide a safe zone where unstable batteries can temporarily be stored.
- Ensure good training of employees.
- Have general order and orderliness.
- Access to local fire extinguishing equipment.
- Have good dialogue with the local fire department.
- Provide good access for the fire service.

Further work is needed to document the fire characteristics of a pallet of non-connected battery cells, in the form of full-scale fire tests to document flammability, fire spread and fire dynamics, and how such a fire can be extinguished.

Key words: FIRE, BATTERY, STORAGE

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2019:98

ISBN: 978-91-89049-28-4

Prosjektnummer: 20421

Kvalitetssikring: Ragni Fjellgaard Mikalsen

Finansiert av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Direktoratet for byggkvalitet

Forsidebilde: Eksempel på lagring av ikke-tilkoblede batterier. Foto: RISE Fire Research

Trondheim 2019

# Innhold

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>4</b>
<b>Forord</b> .....	<b>6</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Bakgrunn</b> .....	<b>9</b>
1.1 Metoder.....	9
1.2 Ordforklaringer .....	11
1.3 Avgrensninger .....	11
1.4 Regelverk .....	11
<b>2 Brannrisiko batterier</b> .....	<b>12</b>
2.1 Batterioppbygging .....	12
2.1.1 Separator.....	12
2.1.2 Katode og anode.....	12
2.1.3 Elektrolytten .....	12
2.2 Primær- vs sekundærbatterier .....	12
2.3 Fare for at brann oppstår i et batteri .....	13
2.3.1 Intern kortslutning .....	13
2.3.2 Ekstern kortslutning.....	14
2.3.3 Litium-ion batteri .....	14
2.4 Forskjeller mellom tilkoblet og ikke-tilkoblet batteri .....	14
2.5 Konsekvenser av en batteribrann .....	15
2.5.1 Utfordring å slokke en brann .....	15
2.5.2 Fare for personskade ved varme og røyk .....	16
2.5.3 Samfunnspåvirkning .....	16
2.5.4 Tiltak for å forebygge en storbrann.....	16
2.6 Branntest av litium-ion batterier.....	17
<b>3 Livsløpet til et batteri</b> .....	<b>19</b>
3.1 Batterifabrikk .....	20
3.2 Mellomlager hos forhandlere.....	22
3.3 Brukere .....	23
3.4 Salg i butikk .....	23
3.5 Avfallshåndtering og resirkulering .....	23
3.5.1 Omvisning på anlegg for mottak og mellomlagring av farlig avfall .....	24
3.5.2 Omvisning på Stena Recycling .....	26
3.5.3 Erfaringer fra Norsk Batteriretur Fredrikstad.....	28
3.5.4 Spørreundersøkelse .....	30

3.5.5	Oppsummering gjenvinning.....	32
<b>4</b>	<b>Eksempler på branner ved lagring av litium/litium-ion batterier .....</b>	<b>36</b>
4.1	Batteribranner på gjenvinningsanlegg .....	36
4.2	Andre branner ved ikke-tilkoblede batterier.....	37
<b>5</b>	<b>Pakking av batterier på en trygg måte .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Diskusjon om brannrisiko.....</b>	<b>39</b>
6.1	Brannrisiko for tilkoblet vs ikke-tilkoblet batteri .....	39
6.2	Livsløp batteri – risiko for brann.....	40
6.2.1	Brannrisiko fabrikk.....	41
6.2.2	Brannrisiko på mellomager hos forhandlere .....	43
6.2.3	Brannrisiko midlertidig lager hos bruker .....	43
6.2.4	Brannrisiko på lokalt og nasjonalt gjenvinningsanlegg .....	44
6.3	Læringspunkter .....	44
6.3.1	Generelt.....	44
6.3.2	Bruk av vermikulitt .....	45
6.3.3	Fabrikk og store lager .....	45
6.3.4	Gjenvinningsanlegg .....	46
6.4	Andre batterirelaterte brannrisikoer .....	48
6.4.1	Batterier i forbrukerelektronikk.....	48
6.4.2	Batterier i restavfall .....	48
6.5	Forslag til videre arbeid .....	48
<b>7</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>49</b>
<b>Vedlegg A.</b>	<b>Spørsmål i spørreundersøkelse .....</b>	<b>A-1</b>
<b>Vedlegg B.</b>	<b>Sikkerhets-mekanismer i et batteri.....</b>	<b>B-1</b>
<b>Vedlegg C.</b>	<b>Regelverk.....</b>	<b>C-1</b>
<b>Vedlegg D.</b>	<b>UN 3480.....</b>	<b>D-1</b>

# Forord

En stor del av informasjonen i dette prosjektet har vi tilegnet oss gjennom godt samarbeid med aktører som håndterer og lagrer batterier. Vi vil rette en takk til samtlige som har delt sine erfaringer og historier, og bidratt med konstruktive tilbakemeldinger om hvordan sikkerheten knyttet til batterier kan ivaretas. En spesiell takk rettes til Morten Onsrud ved Norsirk som har bidratt ekstra ved å organisere befaringer ved ulike anlegg, og har kommet med gode innspill til prosjektet.

Vi har også stor tro på at det å dele erfaringer og tørre å være åpen også om uheldige episoder vil bidra til redusere risikoen ved brann for hele bransjen.



# Sammendrag

I dette prosjektet har vi vært i kontakt med flere ulike miljøer som håndterer og oppbevarer store mengder ikke-tilkoblede litium- og litium-ion batterier. Batterier vil i løpet av sitt livsløp forflytte seg mellom ulike aktører, og de aktørene som er vurdert å besitte størst mengde batterier er produsenter/distributører og gjenvinningsanlegg.

Hos aktører som oppbevarer større mengder ubrukte ikke-tilkoblede batterier er det vanlig å oppbevare batteriene på paller i konvensjonelle lagerbygninger sikret med sprinkleranlegg. Basert på informasjon fra de anleggene vi har vært i kontakt med, vurderer vi brannrisikoen til å være omtrent som på et ordinært lager. Faktorer som kan påvirke brannrisikoen er mengden batterier, ladetilstand på batterier, mulige tennkilder, generell brannsikring av lageret, og kunnskap om batterirelatert brann. En mulig brannårsak ved oppbevaring og håndtering av batterier på et lager er mekanisk skade ved fall fra høyde, for eksempel ved at pall faller ned under flytting av truck. Mekaniske skader kan forårsake interne kortslutninger i battericellene, som vil føre til varmgang, og eventuelt brann. Håndtering med truck utgjør i seg selv en mulig tennkilde ettersom det finnes eksempler på at en truck har begynt å brenne både under lading og under kjøring.

Hos en batteripakkefabrikk vi har vært i kontakt med, som mottar battericeller direkte fra en produsent, hadde cellene en ladetilstand på 20 %, og var pakket i henhold til transportstandarden UN 3480. Fokuset på brannsikkerhet og kunnskapen om batterier generelt var høyt.

Hos aktører som distribuerer batterier som en del av et større vareutvalg, vil mengden batterier være vesentlig mindre, og kunnskap om batterirelatert brann normalt være mindre. Ladetilstanden til batterier på et slikt lager er oppgitt å være høyere enn hos produsent, og vil kunne ligge på ca. 50 – 95 %. Høy ladetilstand gjør cellene mer ustabile, og basert på dette vurderer vi at risikoen er noe større for slike anlegg enn hos batteriprodusenter som oppbevarer celler med lavere ladenivåer.

Hos gjenvinningsanlegg er det en vesentlig høyere brannrisiko enn for nye battericeller som ligger på et lager, i hovedsak på grunn av at celler i langt større grad har blitt (og blir) utsatt for mekaniske påkjenninger i form av vibrasjoner og støt, som kan føre til at cellen blir mer ustabil og eventuelt føre til interne kortslutninger. Eksterne kortslutninger kan også oppstå dersom polene på et batteri kommer i kontakt gjennom en lavmotstandskobling. De gjenvinningsanleggene vi har vært i kontakt med har stort fokus på brannsikkerhet og har tatt en rekke forholdsregler for å unngå at en brann oppstår, og satt inn tiltak som kan forhindre at et branntilløp utvikler seg til en større brann. Gjenvinningsanleggene virker å ha god kontroll på brannrisikoen for batterier som er kontrollert og sortert, mens brannrisikoen er noe høyere i mottaket der batteriene kan være usortert og foreløpig ikke kontrollert. Flere av gjenvinningsanleggene opplever regelmessig branntilløp forårsaket av litium/litium-ion batterier, og disse tilfellene håndteres normalt med enkle slokketiltak av personell på stedet.

Basert på de vi har vært i kontakt med vurderer vi at de aktørene som besitter størst mengder batterier har et høyt fokus på brannsikkerhet og mye kunnskap om batterisikkerhet, som tilsammen gir en akseptabel risiko.

Brannrisikoen for aktører som håndterer og oppbevarer mindre mengder batterier kan være høyere, ettersom det er mindre fokus på, og kunnskap om batterisikkerhet.

Ettersom kunnskapen vår i dette prosjektet i hovedsak er basert på informasjon fra et utvalg av anlegg, må det tas høyde for at det hos andre anlegg kan være noe forskjellig fokus på brannsikkerhet og kunnskap om batterier.

Følgende læringspunkter er trukket ut:

### **Generelt**

- Ha gode prosedyrer for å redusere brannrisiko.
- Ettergå at praksis samsvarer med prosedyrer.

### **Lagring av batterier på lager**

- Oppbevar cellene med så lav ladetilstand som mulig. Ved pakking etter UN 3480, er dette automatisk oppfylt.
- Ha god dialog med lokalt brannvesen.
- Ha gode rutiner for truckkjøring for å unngå at paller med batterier faller ned.
- Plasser mulige tennkilder (eks. trucklader) i tilstrekkelig avstand fra brennbart materiale.

### **Batterier på gjenvinningsanlegg**

- Begrens mengden batterier på ett sted.
- Lagre batterier på hensiktsmessig måte, eksempelvis ved at ulike batterityper lagres atskilt i egnede beholdere, på et tørt sted.
- Bruk av vermikulitt e.l. kan redusere konsekvensene dersom et lagret batteri begynner å brenne.
- Sørg for at avgassing fra batterier ikke kan føre til akkumulering av brennbar gass.
- Ha tilstrekkelig avstand til brennbart materiale.
- Ha egen sikker sone der ustabile batterier trygt kan plasseres og oppbevares midlertidig.
- Sørg for god opplæring av ansatte.
- Ha generell orden og ryddighet.
- Ha tilgang på lokalt slukkeutstyr.
- Ha god dialog med lokalt brannvesen.
- Sørg for god tilkomst for brannvesenet.

Det er behov for videre arbeid for å dokumentere de branntekniske egenskapene til en palle med ikke-tilkoblede battericeller, i form av fullskala branntester for å dokumentere antennelighet, brannspredning og branndynamikk, samt hvordan en slik brann kan sløkkes.

# 1 Bakgrunn

I de siste årene har mengden batterier i samfunnet økt, og da spesielt litium-ion batterier. Ved økt omløp vil det også være et økt behov for å lagre batterier i kortere eller lengre perioder, i såkalt ikke-tilkoblet tilstand.

På bakgrunn av dette har Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) bedt RISE Fire Research (RISE) om å kartlegge hvor det finnes store opplag av ikke-tilkoblede litium-ion batterier, hvordan praksisen er ved håndtering og lagring, og belyse eventuelle utfordringer til brannfaren ved disse. Basert på denne informasjonen skal forholdsregler og risikoreducerende tiltak identifiseres. Resultatet av dette skal kunne brukes som et grunnlag til en veiledning for sikker oppbevaring av ikke-tilkoblede litium/litium-ion batterier.

## 1.1 Metoder

**Litteraturstudie:** Det er gjennomført søk i vitenskapelige databaser og i andre kilder for å kartlegge forskningsfronten innenfor feltet, samt søk etter andre publikasjoner, rapporter og veiledninger som kan inneholde relevant informasjon. Informasjon og veiledninger ble også tilsendt direkte fra kontakter i batteribransjen.

**Omvisning batterifabrikk:** Det har blitt gjennomført et besøk hos Siemens sin batterifabrikk i Trondheim<sup>1</sup>. Sammen med representanter fra Siemens ble det diskutert brannrisiko knyttet til lagring og håndtering av litium-ion batterier og løsninger for å redusere denne risikoen til et akseptabelt nivå.

**Kontakt med forhandlere:** Det har blitt gjennomført telefonintervju med to tilfeldig valgte forhandlere som har opplag av litium/litium-ion batterier for å samle erfaringer og eksempler på hvordan litium/litium-ion batterier lagres.

**Omvisning gjenvinningsanlegg:** Det har blitt gjennomført to omvisninger ved avfallsanlegg som håndterer og midlertidig lagrer litium/litium-ion batterier. Hensikten med omvisningene var å samle erfaringer og eksempler på hvordan litium/litium-ion batterier lagres, og hvilke metoder og tiltak som er iverksatt på disse anleggene for å redusere brannrisiko. Det første anlegget var mottak og mellomlager av farlig avfall og avfall<sup>2</sup> og det andre anleggene var behandlingsanlegg for elektrisk og elektronisk avfall (EE-avfall), og batterier<sup>3</sup>. De to omvisningene ble organisert av en representant fra et returselskap for batterier<sup>4</sup>, som også deltok under omvisningene. Det ble også gjennomført en omvisning på et anlegg for mottak og mellomlager av farlig avfall i forbindelse med et annet prosjekt, hvor lagring av litium/litium-ion batterier var en del av omvisningen.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Besøk hos Siemens batterifabrik 02.09.2019.

<sup>2</sup> Omvisning på anlegg for mottak og mellomlager av farlig avfall 21.06.2019.

<sup>3</sup> Omvisning på Stena recycling 21.06.2019.

<sup>4</sup> Morten Onsrud, NORSRIK, juni 2019.

<sup>5</sup> Omvisning på anlegg for mottak og mellomlager av farlig avfall 16.05.2019.

**Omvisning batterigjenvinningsanlegg:** Det har blitt gjennomført et besøk hos Norsk Batteriretur i Fredrikstad<sup>6</sup>, i tillegg til mailkorrespondanse<sup>7</sup>. Hensikten med omvisningen var å samle erfaringer og eksempler på hvordan litium/litium-ion batterier lagres, og hvilke metoder og tiltak som er iverksatt for å redusere brannrisiko.

**Spørreundersøkelse:** En spørreundersøkelse ble utformet, med mål om å samle inn innspill fra bransjen vedrørende tiltak for å redusere brannrisiko på avfallsanlegg<sup>8</sup>. Spørreundersøkelsen var nettbasert og bestod av ti spørsmål, se Vedlegg A. Et av disse spørsmålene omhandlet spesifikt brannsikker lagring av store mengder litium/litium-ion batterier. Denne ble sendt ut via epost til postmottak til de store avfallsorganisasjonene i Norge, med informasjon om at vi ønsker at de distribuerer denne til sine medlemmer. Det ble mottatt bekreftelse fra fire avfallsorganisasjoner (Avfall Norge, Norsk forening for farlig avfall, Maskinentreprenørenes Forbund, Norsk Industri) at de videresendte info om spørreundersøkelse til sine medlemmer, totalt ble det sendt til ca. 370 kontakter. I tillegg ble informasjon om undersøkelsen sendt direkte til ca. 50 kontaktpersoner ved anlegg for mottak, mellomlagring og behandling av farlig avfall. Undersøkelsen ble sendt ut 2019-05-07, med opprinnelig frist syv dager senere, men som ble forlenget ytterligere fem dager. Spørsmål i undersøkelsen er gjengitt i Vedlegg A.

Det ble registrert totalt 83 svar på spørreundersøkelsen, hvorav én dublett ble fjernet fra datasettet. I etterkant ble det i tillegg mottatt seks svar via epost, som også ble inkludert. Totalt ble det mottatt 88 svar, hvorav 22 inkluderte svar på spørsmålet om lagring av litium/ litium-ion batterier.

Fritekstsvar om innspill til brannsikker lagring av litium/ litium-ion batterier ble gjennomgått individuelt, hvorpå like eller lignende innspill ble samlet under felles rubrikker.

---

<sup>6</sup> Omvisning på Norsk Batteriretur sitt anlegg 25.oktober 2018.

<sup>7</sup> Mailkorrespondanse med Sikkerhetsrådgiver ved Norsk Batteriretur

<sup>8</sup> Spørreundersøkelsen ble utformet i samarbeid med et annet RISE-prosjekt, Branner i avfall 2019:61 (ikke publisert per september 2019).

## 1.2 Ordforklaringer

Uttrykk	Forklaring
<b>BMS</b>	BMS er en forkortelse for Battery management system, og har som oppgave å overvåke tilstanden til alle battericellene i et batteri. Den sørger for at celledspennningen er likt fordelt over alle celler, at celler ikke lades opp eller lades ut for mye, og kan sette i gang tiltak (for eksempel stenge av lading, starte kjølesystem m.m.) dersom det oppdages at parametere er utenfor normalområde.
<b>EE-avfall</b>	Elektrisk og elektronisk avfall
<b>Litium-batteri</b>	Et litium-batteri forstås som et ikke-oppladbart batteri med rent litium i anoden.
<b>Litium-ion batteri</b>	Et litium-ion batteri er et oppladbart batteri bestående av bundet litium i katoden.
<b>Primærbatteri</b>	En samlebetegnelse på alle batterier som ikke er oppladbare
<b>Sekundærbatteri</b>	En samlebetegnelse på alle batterier som er oppladbare
<b>Thermal runaway</b>	Thermal runaway er en betegnelse på en ukontrollert eksoterm kjemisk reaksjon som bryter ned anode, katode og elektrolytt i en battericelle.

## 1.3 Avgrensninger

Studien omhandler større opplag av ikke-tilkoblede litium/litium-ion batterier, der både litiumbatterier (primære, ikke ladbare) og litium-ion batterier (sekundære, ladbare), er inkludert. Litium/litium-ion batterier som er under transport er ikke inkludert i studien, og heller ikke batterier som befinner seg i elektrisk avfall.

Det er ikke fokusert på andre batterityper enn litium og litium-ion batterier, men andre batterityper er nevnt enkelte steder for sammenligning.

De områdene vi har fokusert på i dette prosjektet har vært batterier på fabrikk, mellomlager og gjenvinningsstasjon, siden det er her tettheten av batterier vil være størst.

## 1.4 Regelverk

Regelverk relevant for lagring og håndtering av litium-/litium-ion batterier er oppsummert i Vedlegg C.

## 2 Brannrisiko batterier

### 2.1 Batterioppbygging

Det finnes en rekke ulike typer batterier i markedet, men alle er i hovedsak bygget opp av de samme komponentene, nemlig en katode og en anode som er adskilt av en separator. Ioner fraktes mellom anoden og katoden, oppløst i en elektrolytt. [1]

#### 2.1.1 Separator

Separatoren har som funksjon å hindre transport av elektroner mellom anoden og katoden, og samtidig tillate transport av ioner mellom anoden og katoden. En separator består normalt av en eller flere porøse plastfolier med en tykkelse på 20 – 100  $\mu\text{m}$ . Dersom det blir et brudd i separatoren eller den smelter vil det oppstå direkte kontakt mellom anode og katode, og det oppstår en intern kortslutning.

I løpet av de siste årene har energitettheten til batterier økt kraftig, og en av hovedgrunnene til dette skyldes at separatoren har blitt tynnere og utgjør en mindre del av cellens volum. En tynn separator penetreres lettere enn en tykkere og øker faren for en intern kortslutning. [2]

I enkelte separasjoner, såkalte *shut-down separasjoner*, er det en innebygd sikring som vil kunne redusere konsekvensene av varmgang i batteriet. Hvis kjernen av separatoren når ca. 130 °C vil porene i separatoren lukke seg, og på den måten hindres transporten av ioner gjennom separatoren. Når transporten av ioner stopper, vil varmeutviklingen normalt stoppe, og dette kan forhindre at cellen oppnår thermal runaway. [2]

#### 2.1.2 Katode og anode

Et batteri har to elektroder, en positiv og en negativ. Elektroden som leverer elektroner ved utlading kalles anoden, mens elektroden som mottar elektroner kalles katoden. Katoden er den positive elektroden, og anoden er den negative. [1,2]

#### 2.1.3 Elektrolytten

Elektrolytten er en væske eller gel som bidrar til å transportere ioner mellom anoden og katoden. Det finnes en rekke ulike elektrolytter tilpasset ulike batterikjemier, og egenskapene til elektrolytten er med og påvirker hvor brannfarlig batteriet er. [1,2]

## 2.2 Primær- vs sekundærbatterier

Primærbatterier er mer kjent under betegnelsen ikke-oppladbare batterier. Primærbatterier har normalt en høyere energitetthet enn oppladbare batterier, og

benyttes i en rekke applikasjoner fra hjemmeelektronikk, til applikasjoner hvor det ikke er mulig eller lite hensiktsmessig å måtte lade opp batteriet, eksempelvis i militære formål, pacemakere, utstyr til redningsoperasjoner m.m. I tillegg til at de varer lengre, er de også vesentlig billigere enn oppladbare, og har en potensiell høy resirkuleringsgrad. [2]

I litium primærbatterier består anoden av rent litium, og det aktive elementet er i katoden. Dette er motsatt av litium-ion batterier der anoden er grafittbasert, og katoden er litiumbasert. [1,2]

I motsetning til primærbatterier er sekundærbatterier oppladbare. Ettersom den kjemiske reaksjon må kunne gå begge veier, dvs både opplading og utlading, er det færre kjemiske varianter å velge mellom, og energitettheten er derfor vesentlig lavere for sekundærbatterier enn for primærbatterier [2].

## 2.3 Fare for at brann oppstår i et batteri

Det er mange grunner til at et batteri kan begynne å brenne, blant annet intern og ekstern kortslutning, overlading, eksponering for varme m.m. Noen batterityper er mer utsatt for dette enn andre, ettersom type batteri og batterikjemi påvirker faren for brann. Et batteri er i tillegg utsatt for ulike påkjenninger i løpet av sitt livsløp, noe som påvirker faren for at brann oppstår. [3,4]

For ikke-tilkoblede batterier vurderer vi at faren for at brann skal oppstå er størst på grunn av intern og ekstern kortslutning.

### 2.3.1 Intern kortslutning

En intern kortslutning kan oppstå for alle typer batterier dersom de blir utsatt for en mekanisk påkjenning slik at katoden og anoden kommer i direkte kontakt. Dette vil føre til varmgang, og kan føre til en brann dersom varmeavgivelsen er tilstrekkelig til å antenne elektrolytt eller brennbart materiale i nærheten. Hvor mye varme som avgis vil påvirkes av type batteri, cellekjemi og i hvilken grad batteriet er oppladet. Intern kortslutning i fullt oppladede celler har større sannsynlighet for å resultere i en brann enn celler som er delvis eller helt utladet<sup>9</sup>. Dette skyldes at den lagrede elektriske energien overføres til varme ved kortslutning, og jo mer man har av lagret elektrisk energi (ladetilstand), desto mer varme vil genereres. Dersom varmen som produseres av den interne kortslutningen er høy nok kan thermal runaway initieres i cellen. Thermal runaway er mer utsatt for å oppstå i fullt oppladete celler enn utladete celler, både fordi grensen for thermal runaway er lavere ved en fullt oppladet celle, og ved at varmen som genereres er høyere ved en fullt oppladet celle [5]. I tillegg er maksimal temperatur ved thermal runaway høyere for en fullt oppladet celle enn celle med lav ladetilstand [5].

På et gjenvinningsanlegg vil det finnes celler som både er helt utladete, men også fullt oppladete. Ulike batterityper har ulik grad av selvutlading, dvs tiden det tar før et oppladet batteri blir utladet kun ved å ligge i ro, og celler med sakte selvutlading vil da

<sup>9</sup> Epostkorrespondanse med batteriekspert hos FFI, august 2019.

være spesielt utsatt for mekanisk påkjenning i en lengre tid enn celler som lader seg ut raskt. Litium-ion batterier har eksempelvis mindre grad av selutlading enn nikkel-metallhybridbatteri (NiMH) og nikkel-kadmiumbatteri (NiCd) [2].

I løpet av livsløpet til et ikke-tilkoblet batteri vurderer vi at faren for brann som følge av intern kortslutning er størst ved endt bruk, dvs når batteriet blir transportert til, og håndtert på et gjenvinningsanlegg.

### 2.3.2 Ekstern kortslutning

Dersom den positive og den negative elektroden til et batteri kommer i kontakt med hverandre oppstår en ekstern kortslutning. Dette kan for eksempel skje gjennom en lavmotstand kobling mellom elektrodene, eksempelvis metall. Da strømmer elektroner fra den negative elektroden til den positive, noe som resulterer i kraftig varmeutvikling. Varmen som frigis kan være nok til å starte en brann dersom det er brennbare materialer i nærheten.

### 2.3.3 Litium-ion batteri

I tillegg til at intern og ekstern kortslutning kan føre til varmgang og brann direkte vil dette i tillegg kunne initiere thermal runaway i en litium-ion celle. Ved en slik tilstand vil katoden, anoden og elektrolytten brytes ned i en eksoterm reaksjon som produserer masse varme og brennbare gasser, noe som ofte resulterer i en brann. Når thermal runaway først har blitt initiert er den ikke mulig å stoppe. [3,4]

Li-ion batterier skiller seg i tillegg ut ved at de har et relativt begrenset spenningsområde hvor cellen er stabil. Ved for høy spenning (for eksempel gjennom overlading) eller for lav spenning ved dyputlading, kan cellen bli ustabil og faren for thermal runaway øker [2,3].

For en mer utfyllende beskrivelse av hvordan brann kan oppstå i en litium-ion battericelle, henviser vi til referanse [3,4].

## 2.4 Forskjeller mellom tilkoblet og ikke-tilkoblet batteri

Et tilkoblet batteri forstås som et batteri som er installert i et produkt (med aktiverte sikkerhetssystemer, hvis slike finnes). Et ikke-tilkoblet batteri er ikke tilkoblet eller installert i et produkt.

Store batterier (dvs et batteri bestående av mange battericeller) har en rekke innebygde sikkerhetsmekanismer, både passive og aktive systemer på cellenivå og batterinivå (se Vedlegg B for oversikt). Disse skal hindre at thermal runaway oppstår i en battericelle, og hindre at thermal runaway sprer seg til større deler av batteriet. Sikkerhetssystemene skal blant annet passe på at celler ikke blir overladet eller dyputladet, og at temperaturen



i cellene er innenfor et normalnivå. Dersom et batteri ikke er tilkoblet mister batteriet noe av dette sikkerhetsnettet som skal hindre at batteriet blir ustabil. BMS-en har en viktig rolle under bruk, og ved opplading og utlading, men ettersom ikke-tilkoblede kasserte batterier verken lades opp eller lades ut vil ikke frakoblingen fra BMS-systemet påvirke sikkerheten rundt bruk og lading påvirkes så mye. Samtidig om en unormal situasjon skulle oppstå vil ikke dette registreres av BMS-en (som er avslått), og kjølesystemer vil ikke kunne aktiveres.

Ikke-tilkoblede battericeller lagres i større grad i bulk i stedet for i moduler. I tillegg er ytre forhold for ikke-tilkoblede batterier annerledes, ettersom battericeller i bulk i større grad er utsatt for mekanisk skade. En oversikt over aspekter som påvirker brann sikkerheten for tilkoblede og ikke-tilkoblede batterier, samt vår vurdering av om disse er positive eller negative for brann sikkerheten er presentert i kapittel 6.1.

## 2.5 Konsekvenser av en batteribrann

### 2.5.1 Utfordring å slokke en brann

Det finnes mange eksempler på at en brann i litium og litium-ion batterier kan være utfordrende å slokke. Dette skyldes flere forhold:

- **Thermal runaway ikke mulig å stoppe**  
Thermal runaway er eksoterm selvforsterkende reaksjon, som ikke er mulig å stoppe. Thermal runaway initieres i en celle når temperaturen når 130 – 230 °C, avhengig av cellekjemi og ladetilstand [3,4]. Varmen som genereres bidrar til å antenne elektrolytten og brennbare gasser som blir produsert. Katoden inneholder oksygen, og ved høy nok temperatur frigjøres oksygenet, som bidrar i forbrenningen.  
Ladetilstanden til en celle påvirker hvor reaktiv cellen er, når thermal runaway oppstår, og hvor mye varme som produseres. Jo lavere ladetilstanden er, desto mer stabil er cellen. I et helt utladet batteri vil ikke thermal runaway oppstå på samme måte som i et oppladet batteri, men elektrolytten vil kunne selvantenne og brenne tilsvarende som parafin, dersom temperaturen overstiger 400 °C <sup>10</sup>.
- **Vanskelig å komme til med vann der det trengs**  
Thermal runaway er ikke mulig å stoppe, og den eneste kjente måten å slokke en brann på er å sørge for at thermal runaway ikke sprer seg til nærliggende celler. Dette kan gjøres ved å kjøle ned både den cellen som brenner, og cellene som ligger inntil og blir varmet opp. Utfordringen med denne strategien er at battericeller ofte er pakket godt inn, og vannet ikke kommer til der hvor det skal. Dette har ført til at det i slokkestester er benyttet mange tusen liter vann for å slokke batteribrannen. [6]

En brann kan også være vanskelig å slokke av andre grunner, eksempelvis at tilkomsten for brannmannskaper kan være vanskelig, eller at brannen er skjult, eller vanskelig å komme til. En brann på et lager, en ferge, eller brann på et gjenvinningsanlegg er eksempler hvor tilgangen kan være vanskelig.

---

<sup>10</sup> Epostkorrespondanse med batterieksperter hos FFI, august 2019.

- **Vann og litium primær batterier**

Litium primær batterier inneholder rent litium i anoden, og i kontakt med vann vil det dannes hydrogengass. For branner med mye annet brennbart materiale kan vann benyttes, mens for branner som kun består av litium-batterier, bør andre slökkemidler enn vann vurderes, eksempelvis sløkkevæske av klasse D for metallbranner [4]. Dette vil imidlertid ikke fungere på litium-ion batterier ettersom det ikke finnes rent litium i batteriet.

Omfanget av en brann vil påvirkes både av hva som brenner (ladetilstand, cellekjemi), mengden som brenner, mengden brennbart materiale i nærheten, tilkomsten til brannvesenet, om vannet kommer til der det trengs, vindretning, innelukkning m.m.

## 2.5.2 Fare for personskade ved varme og røyk

En brann avgir generelt varme og betydelige mengder av gass og røyk, som kan være skadelig for mennesker. Litium-ion batterier som brenner kan frigi gasser som hydrogenfluorid (HF) og fosforylfluorid ( $\text{POF}_3$ ), ved at fluorinneholdende litiumsalter i elektrolytten omdannes. [7,8]

Ved høyere ladetilstand på batteriene vil mer av disse gassene dannes. Den totale mengden utslipp av HF ved en brann varierer for forskjellige typer av batterier [7,8]. HF i gassform eller i vannløsning (flussyre) har svært høy toksisitet. Eksponering kan for mennesker være skadelig, og gi alvorlige, dyptgående etseskader og risiko for livstruende forgiftning [9]. Brann i større batterier og i innelukkete områder vil da være spesielt kritisk, der konsentrasjonen av HF kan forventes bli høy [8].  $\text{POF}_3$  er potensielt veldig giftig, og kan være enda mer giftig enn HF [7].

Personer uten tilstrekkelig vernebeskyttelse skal derfor ikke oppholde seg i røyk fra en brann, og om det oppstår gassing fra battericeller (dvs kun røyk, ingen brann), må rommet evakueres og luftes godt før arbeidet på nytt kan starte opp igjen.

## 2.5.3 Samfunnspåvirkning

Store branner kan ha store samfunnsmessige konsekvenser, uavhengig av hva som brenner. Store branner avgir store mengder røyk, og avhengig av vindretning og nærhet til annen bebyggelse og infrastruktur, kan en stor brann føre til at mange mennesker må evakuere, og at viktig infrastruktur som vei og jernbane må stenge. To nylige eksempler på dette er fra en stor brann på Gjøvik og på Bryn i Oslo i mars 2019 [10,11]. I tillegg til røyk, vil det ved store branner være økt fare for at miljøgifter spres i naturen ved avrenning av sløkevann til fjorder, innsjøer, bekker og jord [12].

Eksempler på branner i opplag av litium/ litium-ion batterier som ført til, eller kunne ført til, samfunnsmessige konsekvenser er beskrevet i Kapittel 4.

## 2.5.4 Tiltak for å forebygge en storbrann

Den beste måten å unngå uheldig samfunnspåvirkning er å forebygge at store branner oppstår, ved å ha gode:

- **Organisatoriske tiltak**

Dette handler om god opplæring av personell, fokus på brannsikkerhet i hverdagen, og gjennomføring av brannøvelser. Dette tiltaket er både for å unngå at en brann skal oppstå, men også for at man skal ha en plan dersom det oppstår brann.

- **Fysiske tiltak**

Dette handler om å ha gode brannskiller mellom ulike lagre av brennbart materiale, sørge for å redusere mengden brennbart materiale på et sted, sørge for tidlig varsling og god tilkomst til brannvesenet. Egne kummer for oppsamling av slokkevann vil være nyttig på steder hvor det er et storbrannpotensiale. Disse tiltakene vil i hovedsak være konsekvensreducerende tiltak ved at de virker først etter at en brann har oppstått.

## 2.6 Branntest av litium-ion batterier

FM Global har utført flere fullskala forsøk med lagring av litium-ion battericeller på paller [13]. Det ble utført tester med og uten sprinkleranlegg.

Battericellene som ble benyttet var av typen litium jernfosfat ( $\text{LiFePO}_4$ ) poseceller med en kapasitet på 20 Ah, 50 % oppladet. Cellene var lagret i pappesker, 20 celler i hver eske, med beskyttende plastmateriale rundt to og to celler. Totalt 56 esker var plassert på en pall. Brannlasten per eske var fordelt slik: Papp 8.3 MJ (9,6 %), plast 58 MJ (67.8 %), elektrolytt 19,6 MJ (22.8 %). For en ytre brann vil pappen være lettest tilgjengelig, deretter plasten og til slutt elektrolytten.

Fribranntesten bestod av tre høyder med paller, to i bredden og en i dybden. De to nederste pallene var dummy-paller av ubrennbart materiale. Brannen ble initiert med en 20 kW brenner like under pallene på nivå to. I løpet av 5 minutter økte brannen til 6 MW, og videre til dens maksimum på 8,75 MW etter 10 minutter. Basert på analyse er det estimert at battericellene begynte å brenne etter ca. 2 minutter og 30 sekunder.

I sprinklertesten var det tre paller i høyden, fire i bredden og to i dybden. Brannen utviklet seg likt fram til den første sprinklerdysen ble utløst, ved ca. 1 minutt og 30 sekunder. Brannen ble raskt redusert, og var slokket etter ca. 6 minutter uten manuell inngripen. Omtrent en palleekvivalent var brent bort. Maksimal branneffekt var 1,4 MW, og ble nådd ved dyseutløsning. På grunn av resultatet ble det konkludert at lagring opp til 4,6 m under en takhøyde på opp til 12,2 m ble tilstrekkelig beskyttet med et sprinkleranlegg med k-faktor  $320 \text{ L/min/bar}^{1/2}$ , med en  $74 \text{ }^\circ\text{C}$  bulb, en dyseavstand på 3 m, og trykk lik 2,4 bar. Utløsning av første dyse skjedde før noen batterier ble involvert i brannen. Thermal runaway i en battericelle spredte seg ikke til andre celler innad i en eske. Det ble også konkludert med at oksygentilgangen inne i en eske ikke var tilstrekkelig til å opprettholde forbrenningen. Brannspredningen skjedde derfor i hovedsak på utsiden av esken.

FM konkluderte med at emballasjematerialet i hovedsak påvirket brannen fram til første sprinkler ble løst ut. Pappemballasjen dominerte brannveksten i den første fasen, mens plastemballasjen (rundt cellene) bidro under hele brannen. Dersom emballering endres

vil brannen kunne utvikle seg annerledes, og resultatene er kun gyldige for den batteritypen og emballeringen som beskrevet.

### 3 Livsløpet til et batteri

Alle batterier gjennomgår en form for livsløp fra de blir produsert til de ender opp på en gjenvinningsstasjon. Dette livsløpet kan variere avhengig av hva slags type batteri det er, hva slags applikasjon det er ment for, og hvem brukeren er.

For et småbatteri (AA, AAA o.l.) kan et livsløp ligne på fremstillingen i Figur 3-1, der batterier går igjennom følgende områder:

- 1) Batteriet blir produsert på en fabrikk, og eventuelt montert inn i elektronikk.
- 2) Batteriene befinner seg på et mellomlager hos distributør/leverandør.
- 3) Batteriene befinner seg i elektronikkprodukter til salg i ulike butikker
- 4) Produktene kjøpes av forbrukere.
- 5) Ved endt bruk samles batteriene/produktene inn ved lokale innsamlingsstasjoner, og ender til slutt opp på nasjonale gjenvinningsstasjoner.

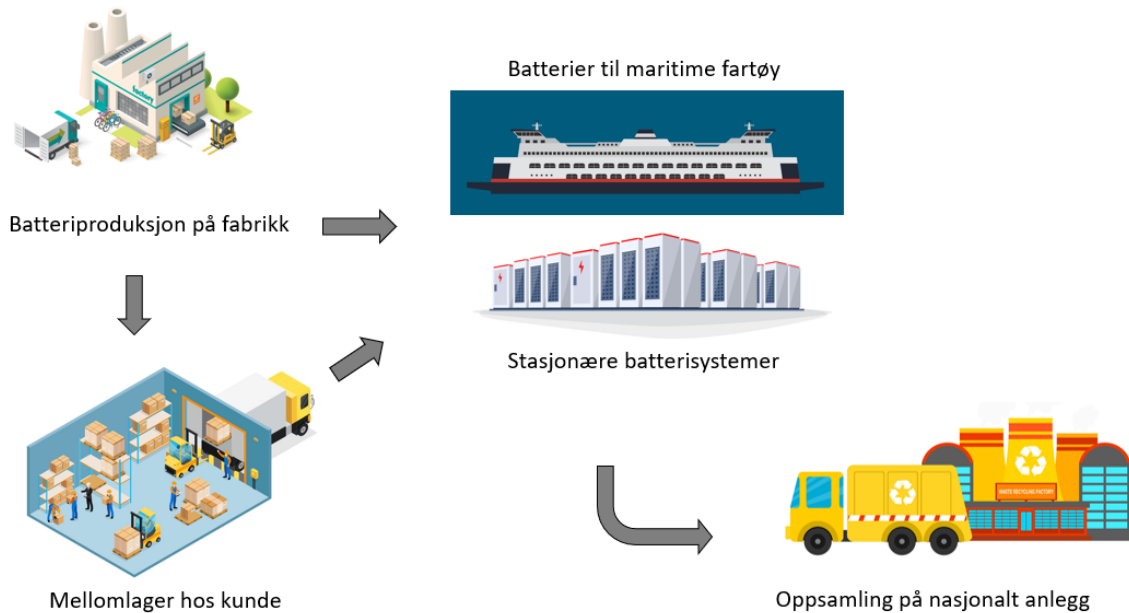


Figur 3-1 Et typisk livsløp til småbatterier.<sup>11</sup>

Større batterier kan ha en annen reise gjennom sitt livsløp, og et mulig livsløp for større batterier er vist i Figur 3-2, og omfatter følgende områder:

- 1) Flere celler settes sammen til moduler på en fabrikk
- 2) Modulene kan bli mellomlagret hos kunde eller distributør
- 3) Flere moduler settes sammen til et større batteri enten i et maritimt fartøy eller som et stort stasjonært batteri.
- 4) Ved endt bruk ender batteriene opp på nasjonal gjenvinningsstasjon.

<sup>11</sup> Kreditering illustrasjoner: [tele52], [dreamsvector], [elenabs], [TuI Chalothonrangsee] og [macrovector] © 123RF.com



Figur 3-2 Et mulig livsløp til et større batteri.<sup>12</sup>

I løpet av batteriets livsløp vil det bli utsatt for en rekke ulike miljøer og ytre påkjenninger. Tettheten av batterier vil variere i løpet av dets livsløp, men vil være størst hos produsent, distributør og på gjenvinningsstasjon. De områdene vi har hatt mest fokus på i dette prosjektet har vært batterier på fabrikk, mellomlager og gjenvinningsstasjon, siden det er her tettheten av ikke-tilkoblede batterier er vurdert til å være størst.

## 3.1 Batterifabrikk

### Bakgrunnsinformasjon

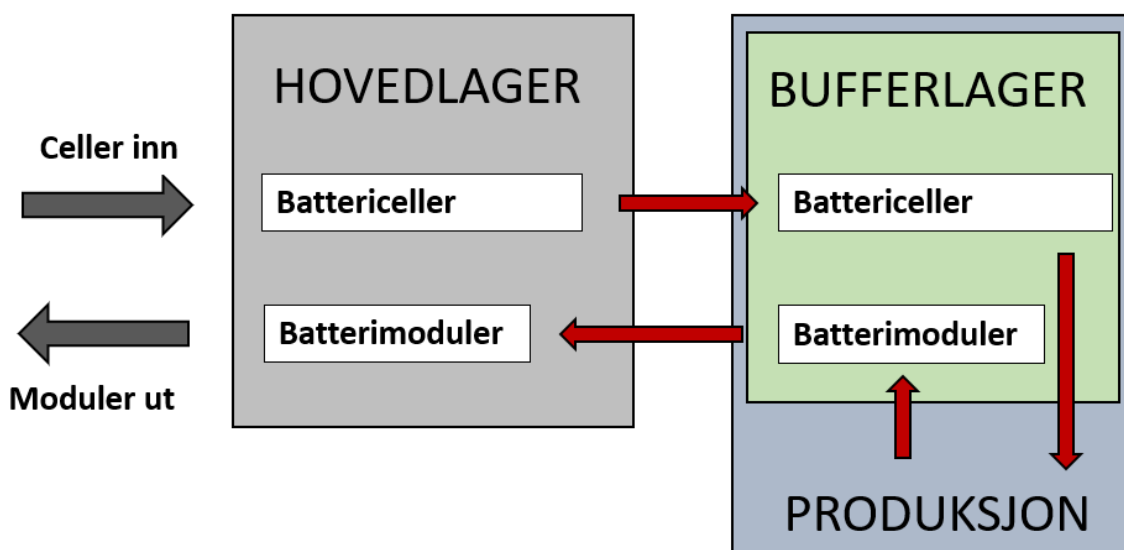
Som eksempel for å studere brannrisiko på en batterifabrikk, har vi valgt Siemens sin batterifabrikk i Trondheim som case-studie. Informasjonen som følger er innhentet gjennom befaring<sup>13</sup> på fabrikk, og samtaler med de ansatte.

Siemens batterifabrikk er en såkalt batteripakkefabrikk, som innebærer at de kjøper ferdigproduserte enkeltceller og setter de sammen til moduler, som igjen kan settes sammen til et større batteri.

Batteriflyten på anlegget kan forenklet se ut som i Figur 3-3, der battericeller kommer direkte fra produsent og lagres på hovedlageret. Mindre mengder celler fraktes til et bufferlager i direkte tilknytning til produksjonsområde. En serie med roboter pakker enkeltceller sammen til større moduler, og ferdige moduler lagres midlertidig i bufferlageret. Ferdige moduler flyttes så kontinuerlig over til hovedlageret. Mengden battericeller og batterimoduler på hoved- og bufferlager bestemmes av ordremengden.

<sup>12</sup> Kreditering illustrasjoner: [tele52], [macrovector], [petovarga], [Denis Dubrovin] og [dreamsvector] © 123RF.com

<sup>13</sup> Besøk hos Siemens batterifabrikk 02.09.2019.



Figur 3-3 Batteriflyt på Siemens sin batteripakkefabrikk

### Brannrisiko og risikoreduserende tiltak

Hovedlageret består av standard hyllereoler i metall, og lageret har installert sprinkleranlegg<sup>14</sup>.

I lageret er det lagret paller med enkeltceller, og paller med ferdige moduler, se Figur 3-4. Både cellene og modulene er pakket i henhold til UN 3480 [14,15], som er en standard for pakking av litium-ion celler for transport (se Vedlegg D for ytterligere informasjon). Celler pakket etter UN 3480 har gjennomgått en rekke tester, som inkluderer blant annet ventilering, kortslutning, og krav til produksjon. I tillegg er det et krav til hvordan innpakking skal skje og at celler er lagret med en ladetilstand på mindre enn 30 %. Siemens sine batterier har normalt en ladetilstand på 20 %.

Siemens har en prosedyre om at lettantennelige materialer som papp ikke skal plasseres tett på gamle lysrør, ettersom de kan utgjøre en potensiell tennkilde.

I produksjonsområdet er det ikke montert sprinkleranlegg, men et lokalt vanntåkeanlegg er montert på de stedene hvor risikoen er vurdert til å være høyest, ved sveisestasjonen og ved teststasjonen.

<sup>14</sup> RISE har ikke vurdert dimensjonering på sprinkleranlegg i forhold til brannlast.



Figur 3-4 Venstre: Lagring av enkeltceller direkte fra produsent. Høyre: Lagring av ferdige batterimoduler. Både celler og moduler er pakket i henhold til UN 3480. Foto: RISE Fire Research.

## 3.2 Mellomlager hos forhandlere

Et annet område hvor det kan finnes store mengder av ikke-tilkoblede batterier er hos importører, forhandlere, distributører og eventuelt hos kunder som skal installere store batteribanker, for eksempel fergeselskaper.

To forhandlere<sup>15</sup> av batterier ble kontaktet. Disse lagerfører ikke-tilkoblede batterier for salg til sluttbrukere. Begge forhandlerne oppgav at andelen litium/litium-ion batterier på lagret var lavt, og at mesteparten av lagerbeholdningen bestod av batterier av andre typer. Litium/litium-ion batteriene ble oppbevart i reoler ved siden av de andre typene av batterier. Hoveddelen av de lagrede litium/litium-ion batteriene var nye batterier, mens en liten del var brukte litium/litium-ion batterier som skulle sendes til gjenvinning. De nye litium/litium-ion batteriene ble oppgitt å være ladet til 50 – 95 %. Begge forhandlerne som ble kontaktet oppga at de ikke hadde hatt noen hendelser av røykutvikling eller varmegang i litium/litium-ion batterier.

<sup>15</sup> Exide Technologies AS og Norsk Batteriimport AS



### 3.3 Brukere

Når det gjelder brukere av batterier, har vi identifisert to hovedgrupper:

Den første gruppen er vanlige forbrukere som kjøper forbrukerelektronikk som inneholder batterier, og separate batterier til bruk i forbrukerelektronikk. Hos slike forbrukere vil det til enhver tid samlet sett befinne seg store mengder batterier, både tilkoblet i ulike produkter og i ikke-tilkoblet tilstand, brukt eller ubrukt. Mengden av batterier per bruker vil likevel ikke være spesielt stor, og brannrisiko hos denne typen brukere er derfor ikke vektlagt i denne studien.

Den andre typen brukere er firmaer som kjøper inn store mengder batterier, for eksempel til bruk i maritime fartøy, som elferger. I perioden der batteriene kobles til, vil det kunne være et stort lager av ikke-tilkoblede batterimoduler lagret på et midlertidig lager, og som et halvferdig batteri inne i ferga uten tilkoblede sikkerhetssystemer. Mange moduler vil likevel ha en viss ekstra sikring mot brann, ved at modulene vanligvis har gjennomgått et testregime før produksjon. Midlertidige lagre kan ha lavere sikkerhetsnivå enn permanente lagre, for eksempel ved at sprinkleranlegg kanskje ikke er installert. Vi har imidlertid ikke lyktes i å komme i kontakt med brukere av denne typen, og har ikke fått bekreftet eller avkreftet dette.

### 3.4 Salg i butikk

Det finnes en rekke butikker som selger eller håndterer batterier, men for de aller fleste butikker vil mengden batterier være begrenset. Det kan likevel finnes spesialbutikker med relativt store mengder, eksempelvis bilforretninger og elsykkelbutikker med verksted, med et lager av nye og brukte batterier. Brannrisiko for et slikt lager vil i stor grad være det samme som for et mellomlager, men med unntak av det kanskje kan være enkelte skadde batterier på lager.

### 3.5 Avfallshåndtering og resirkulering

Kasserte og defekte batterier fra husholdninger og næringsvirksomhet blir stegvis håndtert av virksomheter i avfallsbransjen. Batterier blir levert til et anlegg for mottak og mellomlagring, og sendes deretter til et behandlingsanlegg før de til slutt sendes til sortering og sluttbehandling i utlandet. Et returselskap sørger for at batterier blir innsamlet og at de blir behandlet og gjenvunnet i henhold til avfallsforskriften, kapittel 3 [16].

Batterier, og da spesielt litium/litium-ion batterier, identifiseres som et voksende problem i avfallsbransjen<sup>16</sup>. Litium/litium-ion batteriene utgjør en potensiell tennkilde og kan gi store konsekvenser i tilfelle de starter en brann i et gjenvinningsanlegg. Brannrisikoen er delvis knyttet til håndtering og lagring av litium/litium-ion batterier i

<sup>16</sup> Personlig korrespondanse og samtaler med bransjen, samt spørreundersøkelsen i kapittel 3.5.4.

rene fraksjoner (dvs. ikke feilsorterte), men også i stor grad til litium/litium-ion batterier som befinner seg i andre typer avfallsfraksjoner. Her inngår feilsorterte litium/litium-ion batterier, samt batterier i EE-avfall. Batterier som er kastet i restavfall utgjør en potensiell tenk kilde, spesielt ved komprimering/kverning av avfallet. I hvor stor grad feilsorterte litium/litium-ion batterier faktisk er årsak til branner er vanskelig å si. Ofte blir brannårsaken begrunnet med at det blir funnet batterier i avfall som har brent [17–19]. Litiumbatterier har en egen avfallskode under farlig avfall: «NS 9431:2011» [20].

EE-avfall kan inneholde både store og små batterier. Normalt skal batteriene fjernes på behandlingsanlegg, men det hender likevel at batterier ikke blir sortert ut.<sup>17</sup> Det er også særskilt fare for brann ved transport/flytting av EE-avfall, og da gjerne i transporten før EE-avfall kommer til gjenvinningsanlegg. Batterier i EE-avfall er imidlertid ikke definert som ikke-tilkoblede batterier, og en videre analyse av brannrisikoen er ikke inkludert i denne studien.

I dette prosjektet har vi vært på besøk hos et anlegg for mottak og mellomagring av farlig avfall, et behandlingsanlegg for EE-avfall og batterier, og et behandlingsanlegg kun for batterier. Ytterligere et anlegg for mottak og mellomagring av farlig avfall ble besøkt i forbindelse med et annet prosjekt. Innspill fra den omvisningen er inkludert i oppsummeringen i kapittel 3.5.5.

Informasjonen i kapittel 3.5.1 og 3.5.2 under er basert på omvisningene på anlegget for mottak og mellomagring av farlig avfall<sup>18</sup> og behandlingsanlegget for EE-avfall og batterier<sup>19</sup>.

### 3.5.1 Omvisning på anlegg for mottak og mellomagring av farlig avfall

Et lokalt anlegg for mottak og mellomagring av alle slags typer avfall ble besøkt, og informasjonen som følger kommer fra dette besøket<sup>16</sup>.

Ved anlegget håndteres alle slags typer avfall, og der batterier kun er en liten del av alt avfallet de håndterer. Likevel er det stort fokus på brannrisiko knyttet til batterier, og flere tiltak er iverksatt for å redusere sannsynlighet for og konsekvens av brann.

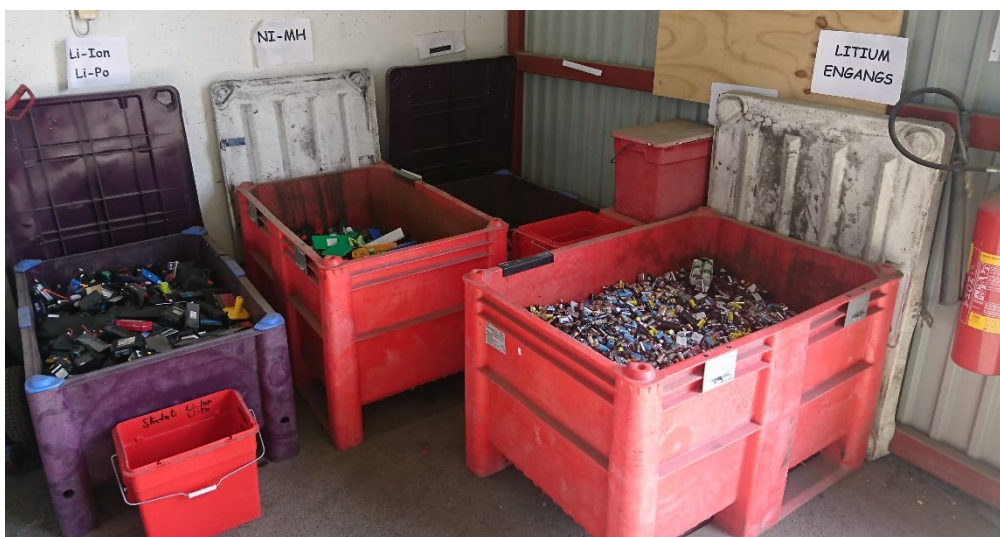
På anlegget ble alle batterier som ble levert inn sortert manuelt etter kategori (litium, bly, alkalisk, NiMH m.fl.), og lagret i ulike kasser i et skur (se Figur 3-5). Dersom det er uklart hvilken type batteri som er mottatt, kontaktes et behandlingsanlegg som har mer kompetanse på ulike typer batterier. Hvis batteritypen etter dette fortsatt var ukjent, ble batteriet lagret i egen beholder sammen med andre ukjente batterityper. Det var viktig å få sortert ut litium/litium-ion batterier fra for eksempel blybatterier. Blybatterier gjennomgår en gjenvinningsprosess der batteriene knuses. Et litium/ litium-ion batteri som følger med inn i denne prosessen og som knuses kan starte brann.

<sup>17</sup> Samtale med ansatt ved besøk hos Stena Recycling.

<sup>18</sup> Omvisning på anlegg for mottak og mellomagring av farlig avfall 21.06.2019.

<sup>19</sup> Omvisning på Stena recycling 21.06.2019.

Etterhvert som kasser med ferdigsorterte batterier ble fulle ble de fraktet bort til et lager (se Figur 3-6) med værbeskyttelse. Mengden batterier på lageret påvirkes av hvor mye som leveres inn, og hvor lenge det er siden forrige henting.



Figur 3-5 Sortering og oppbevaring av batterier ved mottak av farlig avfall på kommunalt gjenvinningsanlegg. Foto: RISE Fire Research.



Figur 3-6 Lagring av batterier før videre transport. Foto: RISE Fire Research.

Anlegget oppgav at de med jevne mellomrom opplever varmgang i batterier, men at dette sjelden opplevs som dramatisk.

### 3.5.2 Omvisning på Stena Recycling

Stena Recycling (Stena) er en aktør som mottar og behandler elektrisk avfall. Informasjonen som følger er basert på befarig på anlegget<sup>20</sup>.

Ved anlegget fjernes og sorteres batterier som befinner seg i elektriske produkter. Dette skjer manuelt på et samleband og egne demonteringsbord. Ulike batterityper lagres deretter i egne beholdere, enten kasser eller tønner. De bruker vermikulitt<sup>21</sup> som isolerende materiale ved lagring av litium-ion batterier. Se Figur 3-7 og Figur 3-8.

EE-produkter er etter hvert blitt meget komplekse, og til tross for manuell utsortering av batterier fra det elektriske avfallet kan det skje avvik ved at enkelte batterier ikke blir detektert og fjernet fra det elektriske avfallet. Slike batterier utgjør en brannrisiko ved at EE-avfallet blir utsatt for store mekaniske påkjenninger, og ved at EE-avfall går gjennom en kverningsprosess senere i gjenvinningsprosessen, og da kan batterier føre til varmeutvikling og brann.

En problemgruppe er batterier i leketøy. Batteriene er ofte vanskelige å fjerne og leketøyet i seg selv, som for eksempel bamser, består ofte av brennbart materiale. Sortering og demontering av leketøy, og lignende produkter, er tidskrevende. Disse sorteres ut og lagres midlertidig til det er kapasitet på avfallsanlegget til å håndtere dem (perioder med mindre volum avfall).

Stena opplyser om at de ukentlig opplever varmeutvikling og små branntilløp av battericeller, men at det som regel ikke er noe dramatisk rundt dette fordi personellet er drillet til å håndtere slike hendelser. Ifølge Stena skjer branntilløp primært i litium-batterier, og noe sjeldnere for litium-ion.

Stena sin strategi ved større branntilløp er å isolere det som brenner, og frakte det til et sikkert sted. Selvutviklede mobile slokkestasjoner fraktes da til brannen med truck, og slokking iverksettes av industrivernet. De mobile slokkestasjonene består av 1000-liters dunker fylt med vann plassert på en pall med påkoblet pumpe og brannslange. Siden denne løsningen er flyttbar med truck gjør det at man raskt kan komme til med store mengder vann, lenge før brannvesenet er på stedet.

Det er også et fokus på at man ikke skal ha for store mengder EE-avfall og batterier samlet. Dette er løst ved fysiske barrierer mellom binger, og å sørge for hyppig videresending av batterier og EE-avfall.

Varmekamera ble angitt som en av de viktigste tiltakene for å oppdage varmegang i batteri i behandlingsanlegget. Denne reagerer på temperaturer over 100 °C. Røykdetektorer er også installert i anlegget. Etter en hendelse med brannstart i lunsjen da ingen var tilstede i lokalet, ble det innført ny praksis der det alltid må være personell i lokalet for å kunne oppdage en eventuell brannstart.

Stena anser brannfaren som størst i mottak, håndtering og transport av batterier. Batterier som er kontrollert og pakket vurderes å utgjøre redusert risiko.

<sup>20</sup> Omvisning på Stena recycling 21.06.2019.

<sup>21</sup> Vermikulitt er et silikatmineral som absorberer væske og har god isoleringsevne.



Figur 3-7 Litium/litium-ion batterier blir lagret i kasser lagvis med vermikulitt. Foto: RISE Fire Research.



Figur 3-8 UN-godkjente tønner for lagring og transport av litium/litium-ion batterier. Tønnene er fylt med etterfølgende lag av batterier og vermikulitt. Etter sortering og kontroll blir litium/litium-ion batterier lagret i tønner som plasseres værbeskyttet utendørs under tak. Foto: RISE Fire Research.

Behandlingsanlegget vurderer brannrøyk som en stor negativ effekt av brann. Det kan forventes stor røykutvikling også fra relativt små batterier. Anlegget har et eget

rensesystem for slokkevann, og dermed anser de forurensing av slokkevann som lite sannsynlig.

### 3.5.3 Erfaringer fra Norsk Batteriretur Fredrikstad

Norsk Batteriretur (Batteriretur) er en aktør som mottar batterier fra større og mindre avfallsanlegg i Norge. Her sorteres batterier etter ulike kjemier, pakkes og sendes ut av landet hvor videre gjenvinning skjer. Informasjonen som følger er basert på mailkorrespondanse og befaring på batteriretur sitt anlegg i Fredrikstad<sup>22</sup>.

#### **Lagring av batterier**

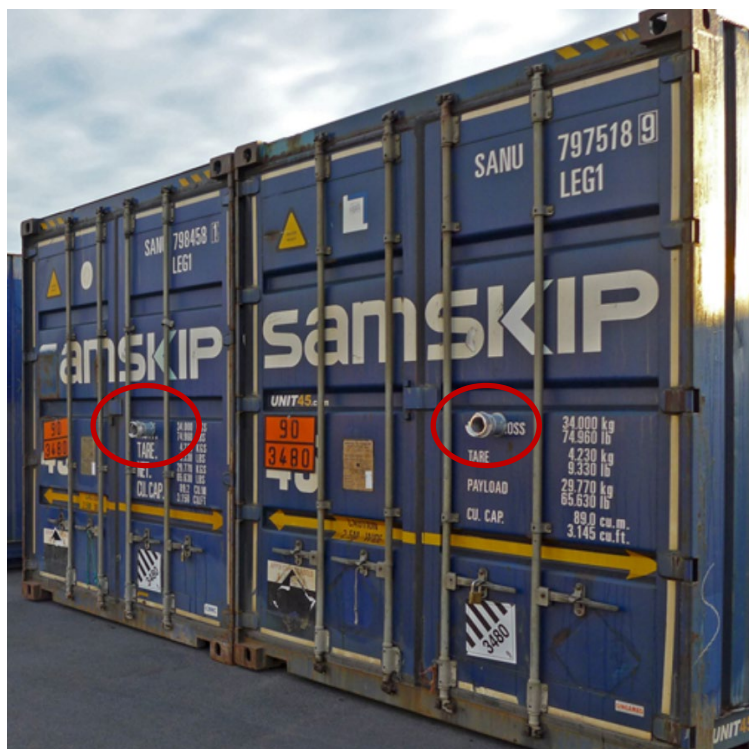
Alle batterier som ankommer Batterireturs anlegg, skal være pakket og merket i henhold til ADR-bestemmelser og egne krav fra Batteriretur. Dette innebærer at alle tønner som inneholder litium/ litium-ion og alle tønner med usorterte småbatterier skal pakkes lagvis med vermikulitt i UN-godkjente tønner før de blir sendt til Batteriretur. Tønner med usorterte småbatterier inneholder alle typer batterier, og det har i den siste tiden vært en økende andel litium/litium-ion batterier.

Når batteriene ankommer anlegget lagres Li-primær og Li-ionbatterier i egne tønner i frittstående containere i påvente av sortering. Primære og sekundære litiumbatterier er adskilt under lagring, og containere er merket med deres faktiske innhold.

Kontainerene som disse batteriene er lagret i har fått montert på hurtigkoblinger for brannslanger, dvs at ved en eventuell brann kan brannvesenet koble sine slanger direkte på containerne og på den måten få kontroll på en brann raskt (se Figur 3-9).

---

<sup>22</sup> Mailkorrespondanse med sikkerhetsrådgiver, Batteriretur Fredrikstad, august og september 2019. Omvisning 25.10.2018.



Figur 3-9 Containere med påmontert hurtigkobling til brannslange (rød sirkel). Foto: Norsk batteriretur.

Kontainerene står i par, med litt avstand mellom hvert par. Hensikten med denne plasseringen er å gi mulighet for brannvesenet å kjøle ned nabocontainer dersom det er varmeutvikling/brann i en container.

Taket på kontainerne er hvitmalt for å bidra til at temperaturen ikke blir altfor høy inni kontainerne om sommeren.

Det lagres ikke litium/litium-ion batterier inne i lagerhallen med unntak av under sortering. Halvfulle fat kjøres ut i containere ved arbeidsløst slutt. Fat med usorterte småbatterier lagres inne i lagringshallen i påvente av sortering. Det er faste oppmerkede plasser til alle typer batterier.

Et framtidig tiltak er å montere temperatursensorer inne i alle kontainerne når det er mulig å skaffe slike sensorer av høy nok kvalitet.

### **Pakking og lagring etter sortering**

Usorterte batterier sorteres på Batteriretur sitt anlegg. Litium/litium-ion batterier lagres etter sortering i UN-godkjente tønner lagvis med 5 cm batterier og minimum 5 cm vermikulitt. Tønnene lagres deretter i containere som beskrevet over.

Andre batterityper lagres i egne UN-godkjente tønner på faste plasser i lagerhall etter type. Det er plass til å gå rundt de ulike plasseringsområdene for å forenkle tilkomst ved en eventuell brann.

Inne i lagerhall og sorteringshall er det montert varmekamera som vil varsle om det oppdages temperaturer over normalnivå.

### **Brannreduserende tiltak**

I tillegg til tiltak som allerede er nevnt, har Batteriretur en egen definert sikkerhetssone hvor ustabile batterier kan plasseres, for å hindre at en brann eskalerer. Alle tønner står på paller, og det er derfor mulig å frakte ut batterier til sikker sone, enten ved hjelp av en truck eller en jekketralle.

Alt personell ved anlegget har fått opplæring om brannrisiko knyttet til batterier, og vet hva som skal gjøres ved temperaturøkning eller røykutvikling. Det utføres jevnlig brannøvelser med og uten brannvesen. Dette organiseres av en uavhengig aktør.

Puter av vermikulitt er tilgjengelige på ulike steder av anlegget og kan legges over batterier for å redusere spredning av røyk i lokalet. I tillegg finnes det kasser med tørr sand, kasser med vermikulitt, Pyrobubbles®<sup>23</sup> og varmebestandige hansker. Dette er ikke direkte slokkeutstyr, men utstyr som kan bidra til å dempe brannutviklingen fram til brannvesen kommer.

### **Branntilfeller og læring**

Batteriretur vurderer faren for brann størst ved mottaket av batterier og under sortering. Det har vært noen få tilfeller med røyk- og varmeutvikling, men disse hendelsene har blitt håndtert av personell på stedet før de rakk å utvikle seg til en større brann.

Det var imidlertid brann på en trailer på vei til Batteriretur for noen år siden [21], og denne hendelsen førte til større bevissthet rundt brannsikkerhet og behovet for vermikulitt ved transport og lagring.

## **3.5.4 Spørreundersøkelse**

En nettbasert spørreundersøkelse ble sendt til flere aktører innen avfallsbransjen<sup>24</sup>. I et av spørsmålene i undersøkelsen ble mottakene spurt om de hadde konkrete innspill til brannsikker lagring av store mengder litium/litium-ion batterier. Fritekstsvarene til dette spørsmålet ble gjennomgått og er oppsummert i dette kapittelet.

Generelt kan det utleses av de 22 fritekstsvarene at respondentene er bevisste på brannrisikoen ved håndtering og oppbevaring av litium/litium-ion batterier. En av respondentene uttrykker håndteringen av denne risikoen på følgende måte:

*Batteriene må lagres slik at det ikke gjør noe om det tar fyr og at brannen ikke sprer seg. Og da snakker vi ikke om det tar fyr, men når det tar fyr.*

Avfallsanlegg (fritekstsvar i spørreundersøkelsen)

<sup>23</sup> Pyrobubbles® er porøse glassgranulater med god isoleringsevne. <https://www.genius-group.de/en/products/pyrobubbles/>

<sup>24</sup> Se nærmere beskrivelse i kapittel 1.1 Metoder og Vedlegg A.



I fritekstsvarene presiserer flere av respondentene at litium/litium-ion batterier må lagres slik at en brann ikke kan spre seg til brennbart materiale eller gjøre skade på bygg. Følgende måter å lagre litium/litium-ion batterier ble nevnt i spørreundersøkelsen:

- egne brannsikre containere isolert fra annet avfall
- utendørs i betonglommer
- utendørs under tak
- betongbygg
- celler med brannsikker vegg mot annet avfall og andre batterier

Lagring i containere var det svaret som ble gjentatt flest ganger. Lagring skjer med fordel med god avstand til bygningsmasse, for eksempel fra stykkgoods, sorteringshall og andre lager, samt adskilt fra farlig avfall og gassbeholdere. Det er viktig at lagerplassen er utformet på en måte som kan avgrense en eventuell brann, og at det finnes branngater slik at industrivern og brannmannskaper kommer til om det skulle begynne brenne. Branngater kan også bidra til å begrense spredning av en brann. Egne brannskiller kan også være aktuelt inne i for eksempel en container.

For oppbevaring av litium/litium-ion batterier ble det anbefalt emballasje i henhold til ADR regelverket [22]. Stålkasser som kan flyttes med truck er også angitt som lagringsmetode. Batteriene bør lagres slik at batterideler fra en eventuell eksplosjon eller ekspansjon ikke blir spredt eller gir skade. Av respondentene var det flere som svarte at de bruker vermikulitt som brannhemmende medium. Vermikulitt legges lagvis mellom batteriene i tønner og kasser. Bruk av Pyrobubbles® ble også nevnt.

For å unngå brannstart eller redusere konsekvenser av en brann i et opplag av batterier er det ifølge respondentene viktig å begrense mengden batterier på lager, samt å sortere og kontrollere batteriene. Følgende tiltak ble nevnt:

- begrense mengden litium/litium-ion batterier på lager
- skille mellom skadde og ikke-skadde batterier
- dekke til polene til skadde og større batterier (eksempelvis sykkelbatteri) med tape e.l.
- sortere ut litium/litium-ion batterier som kommer inn som del av blandet avfall
- manuell kontroll ved mottak av batteri

Av deteksjons og overvåkingsmetoder ble termisk kamera og gass-/røykdetektorer nevnt.

For beredskap og håndtering i tilfelle det blir brann i et batteri er det oppgitt at det er viktig å isolere brannen for å unngå spredning og legge til rette for slokking. Det er viktig å ha tilgjengelig brannsløkkeutstyr som er egnet og dimensjonert for brann i batteri. En måte å håndtere en brann er å ha metallfat med vann eller sand tilgjengelig som man kan legge batteriet ned i hvis det begynner å brenne. Metalklype ble oppgitt å bli brukt for å håndtere et brennende batteri. Metallfatene bør kunne fraktes ut og isoleres med hjelp av en jekketralle e.l.

Eksempel på organisatoriske tiltak som ble nevnt i svarene fra spørreundersøkelsen var:

- opprette og følge rutiner på anlegg, eksempelvis ha kontroll på hvor på anlegget batteriene befinner seg.
- etablere industrivern
- tett samarbeid med lokalt brannvesen og utarbeide en plan for slokking sammen
- informasjonsarbeid til ansatte og ut mot publikum slik at de forstår og respekterer risikoen med batteribrann

Via spørreundersøkelsene kom det også innspill til tiltak som respondentene mener *ikke* fungerer. Her er noen eksempler (sitat fra fritekstsvar):

*Termokameraer og slokkeutstyr som ikke er kalibrert/dimensjonert for batteribrann.*

*Fjerning av litiumbaserte batterier fra EE-avfall på kommunalt anlegg før det kommer til behandlingsanlegget.*

Via spørreundersøkelsen kom det og fram at regelverket knyttet til oppbevaring av ikke-tilkoblede batterier kan bli tydeligere.

### 3.5.5 Oppsummering gjenvinning

Måten batterier ble lagret på varierte mellom ulike anlegg, men hos samtlige anlegg som ble besøkt ble batteriene lagret i beholdere i henhold til ADR-regelverket, enten i tønner eller i kasser med lokk. Hver tønne rommet ca. 300 kg. Enkelte var konsekvent på at lagring kun skulle skje utendørs, mens andre godtok lagring av kontrollerte batterier innendørs. Samtlige aktører hadde værbeskyttelse av batterier som ble lagret utendørs.

Mengden batterier som ble oppbevart varierte også fra anlegg til anlegg, og fra sesong til sesong. Mengden ble påvirket av hvor fort en tønne eller kasse ble fylt opp, og hvor lenge fylte kasser stod på anlegget før de ble transportert videre. Som eksempel ble det oppgitt at en kasse kunnen fylles på to uker eller to måneder, avhengig av mengde batterier som kom til mottaket.

Sortering og håndtering av batterier skjedde i hovedsak for hånd, men det fantes også noe automatisk sortering. En fordel med den manuelle metoden var at varmgang i batteriene lettere ble oppdaget, og tiltak kunne iverksettes før situasjonen forverret seg. Det fantes ulike løsninger for å kjøle ned et varmt batteri, blant annet å legge det i en tønne med vann, benytte et slokkeapparat beregnet for batterier (se Figur 3-10), dekke det til med vermikulitt, og/eller frakte det til en sikker sone.



Figur 3-10 Eksempler på ulike slökkemiddel. Til venstre en tønne med vann som batterier kan puttes oppi ved varmgang. Til høyre et brannslukningsapparat beregnet for batterier. Foto: RISE Fire Research.

Alle gjenvinningsanleggene som ble besøkt brukte vermikulitt ved lagring av litium-/litium-ion batterier. Vermikulitt og batterier ble lagt lagvis i beholdere for å redusere brannspredningen fra brann i en celle. Det var noe ulik praksis på hvilke typer batterier som ble lagret med vermikulitt, og hvor mye vermikulitt som ble benyttet.

Det ble poengtert hvor viktig det var å ha orden og ryddighet på et gjenvinningsanlegg. Anleggene trenger derfor et godt system for logistikk av alle avfallsfraksjoner og tilstrekkelige områder til å oppbevare dem på. Et annet viktig poeng som ble nevnt var å begrense mengder avfall på lager. Dette for å unngå at en liten brann kan utvikle seg til en stor brann.

Videre er det viktig å implementere gode rutiner og prosedyrer, og at disse blir respektert og fulgt av personell. Det ble påpekt at hele bransjen må ta sitt ansvar gjennom å ta brannrisiko på alvor. Det må ikke legges skjul på at det forekommer hendelser som involverer brann og varmgang, og bransjen må være åpen med utfordringene knyttet til branntilløp i batterier.

Aktørene vi har vært i kontakt med var ikke bekymret for brann i batterier som har blitt kontrollert og sortert. Faren ble imidlertid ansett som større i mottak, håndtering og transport da batteriene flyttes på og håndteres. Den største bekymringen i forbindelse med batterier i gjenvinningsanlegg var batterier som kom med andre avfallsfraksjoner, for eksempel som en del av EE-avfall eller kastet i restavfall. Utover de innebygde batteriene i EE-avfall var det et problem at batterier ble gjemt med overlegg i EE-avfall, for eksempel inne i kopimaskiner og kjøleskap. De gjenvinningsanleggene som ble besøkt mottok små mengder av batterier på størrelse av elbilbatterier, og det var derfor

få negative hendelser med slike batterier. Basert på erfaring var det derfor størst risiko med mindre batterier så som «lommelyktbatterier» og PC-batterier.

Gjenvinningsanleggene oppga at de ofte har kontroller, både interne og fra eksterne aktører. Forsikringsselskap, returselskap, brannvesen med flere ser da blant annet på rutiner og brannrisiko. Gjenvinningsanleggene oppgir også at de har regelmessige øvelser sammen med brannvesenet.

En oppsummering av metoder og beredskap for lagring av litium/litium-ion batterier på de gjenvinningsanlegg som har blitt kontaktet er presentert i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Oppsummering av metoder og beredskap for lagring av litium/litium-ion batterier på to anlegg for mottak og mellomlagring av avfall, et behandlingsanlegg og et batterigjenvinningselskap.

	<b>Mottak og mellomagring av farlig avfall og avfall</b>	<b>Kommunalt avfallsanlegg, betjent mottak for farlig avfall</b>	<b>Behandlingsanlegg</b>	<b>Batteri-gjenvinnings-selskap</b>
<b>Lagring</b>	Innendørs i telt	Innendørs i bygg	Utendørs (før kontroll), innendørs i sorteringshall (kontrollerte batterier), Værbeskyttet under tak med tre faste vegger	Utendørs i containere
<b>Emballasje</b>	Tønner	Bokser med lokk	Tønner og bokser	Tønner
<b>Brannhemmende medium i emballasje</b>	Vermikulitt lagvis med ca. 20 cm batterier og 10-15 cm vermikulitt	Vermikulitt «etter skjønn» (brukes ikke for små litium/litium-ion batterier)	Vermikulitt «etter skjønn»	Vermikulitt lagvis med 5 cm batterier og minimum 5 cm vermikulitt.
<b>Lagring av avfallsfraksjoner i nærheten</b>	EE-avfall lagres i samme telt	Mottak for farlig avfall i samme bygg. Ved mellomagring før transport lagres batterier separat i båser.	Sortering av EE-avfall i samme bygg. Mellomlagring værbeskyttet ute med tre vegger og tak.	Ingen andre avfallsfraksjoner
<b>Beredskap for førsteinnsats</b>	Interne prosedyrer, brannvesen innen kort avstand	Interne prosedyrer for varsling og evakuering	Industrivern, et lag per skift	Vermikulittputer, sand og håndsløkkere lett tilgjengelig
<b>Håndtering slokkevann</b>	Sugepumpebiler med stor kapasitet på beredskap.		Fordrøyningskummer og eget renseanlegg.	Kum for oppsamling av slokkevann

## 4 Eksempler på branner ved lagring av litium/litium-ion batterier

### 4.1 Batteribranner på gjenvinningsanlegg

Ved søk i nyhetssaker i Norge og internasjonalt kommer det frem at branner i avfallsanlegg forekommer relativt ofte. Fra rapporten «Branner i avfallsbransjen – årsaker og tiltak» av NOMIKO [18] fremgår det at batterier er årsak til en stor andel av brannene på gjenvinningsanlegg. De fleste branner skjer i forbindelse med omlasting, hvor avfall håndteres og/eller lagres innendørs, og i avfallskvern. Branner startet også oftest i restavfallet. Da muligens på grunn av batterier som ikke har blitt sortert. I rapporten blir spesielt litium/litium-ion batterier nevnt som et problem for brannsikkerheten.

I USA, Canada og Storbritannia har det vært flere større hendelser med brann i litium/litium-ion batterifraksjoner i gjenvinningsanlegg [4]. Årsakene til brannene er oppgitt å være mangelfull oppbevaring og pakking, som i sin tur har bidratt til kortslutning og antennelse. Både eksponering mot fukt og poler som ikke er blitt tapet har blitt nevnt som mulige bidragende årsaker. Tiltak i etterkant av hendelsene inkluderte å fysisk skille litium/litium-ion batteriene fra øvrig avfall for å forhindre spredning av en eventuell brann. Likevel spredte en senere brann seg fra litium/litium-ion batteriene til nærliggende avfall via flammende prosjektiler fra den brennende batterifraksjonen.

I juni i år var det et eksempel på en slik brann ved et lokalt gjenvinningsanlegg i Norge [23], der en brann oppstod under sammenpressing i en kompresjonskvern. Et forkullet elsykkelbatteri ble i etterkant funnet, og brannen oppstod trolig som følge av en intern kortslutning av batteriet med tilstrekkelig varmgang til at annet avfall begynte å brenne.

På de gjenvinningsanleggene som ble besøkt i denne studien ble det uttrykt bekymring til: Hendelser med varmgang i litium/litium-ion batterier, og batterier i restavfall som kan forårsake brann ved håndtering og kverning.

Det ble også beskrevet hendelser med varmgang og røykutvikling i litium/litium-ion batterier som er sortert i riktig avfallsfraksjon. Et vanlig husholdningslitiumbatteri på 5 x 3 cm begynte å brenne i et telt hvor litium/litium-ion batterier pakkes for videre transport. Dette ga en kraftig røykutvikling som fylte teltet der batteriet ble oppbevart og brannvesen ble tilkalt. Brannen i batteriet ble slokket med håndsløkkere før brannvesenet kommet frem til plassen. Ansatte som ble eksponert for røyken ble sendt til sykehus for sjekk. <sup>25 26</sup>

En av de ansatte som jobber med pakking av batterier på et mottak for mellomlagring av avfall informerte om at han flere ganger hadde opplevd varmgang i litium/litium-ion batteriene under pakking. I de tilfellene har de hatt over vermikulitt. Batteriet ble deretter isolert og overvåket en periode til situasjonen igjen ble betegnet som stabil.

<sup>25</sup> Omvisning mottak for mellomlagring av avfall og farlig avfall 16.05.2019

<sup>26</sup> E-post korrespondens med Trøndelag brann- og redningstjeneste 29.03.2019

Ifølge den ansatte var bruk av vermikulitt fremfor å foretrekke fremfor en håndsløkker, siden han var mest vant til å håndtere og kjent med vermikulitt.<sup>27</sup>

Et annet gjenvinningsanlegg<sup>28</sup> bekreftet at stor røykutvikling kunne komme fra relativt små batterier. De beskrev en hendelse av brann i litium-ion batteri under sortering. Situasjonen ble deretter raskt håndtert av de ansatte. Etter en annen brann på utendørsområdet ble det innført separering av avfall med hjelp av binger. Båsene hindrer spredning av brann. Dette poengterer gjenvinningsanlegget som et viktig tiltak.

## 4.2 Andre branner ved ikke-tilkoblede batterier

Brann på gjenvinningsanlegg dominerer blant de branner i større beholdninger av litium/litium-ion batterier. Det finnes likevel noen unntak.

I 2018 begynte det å brenne på et lager med 6000 elsykkelbatterier og 3000 sykler hos en elsykkelprodusent i Nederland. På grunn av den kraftige røyken måtte 300 personer i nabolaget evakueres [24]. Etter denne hendelsen er også flere lignende branner rapportert i det samme selskapet [25].

I oktober, 2019 oppstod det brann og påfølgende eksplosjon i et batterisystem på en hybrid diesel/batteri ferge i Norge. I etterkant av hendelsen har det kommet frem at batteriet ikke var koblet til da brannen startet [26]. Det er på nåværende tidspunkt uklart om også BMS-en var koblet fra. Hendelsen er foreløpig ikke ferdig gransket, og årsak til brannen og andre omstendighetene rundt brannen er på nåværende tidspunkt ikke klare.

---

<sup>27</sup> Omvisning mottak for mellomlagring av avfall og farlig avfall 16.05.2019

<sup>28</sup> Omvisning Stena Recycling 21.06.2019

## 5 Pakking av batterier på en trygg måte

I en studie [27] ble fem ulike isolerende materialer sammenlignet med hensyn på isolasjonsevne ved pakking av batterier. Følgende materialer ble testet: sand, vermikulitt<sup>29</sup>, sorbix<sup>30</sup>, Pyrobubbles®<sup>31</sup> og absorbent<sup>32</sup>.

To ulike type tester ble gjennomført:

- 1) En enkeltcelle (av typen 18650) omgitt av isolerende materiale ble varmet til thermal runaway, og temperaturen ble målt i ulike avstander fra batteriet.
- 2) To lag med tilsammen 24 battericeller (type 18650) ble plassert i en viss avstand fra hverandre atskilt av isolerende materiale. Hvert lag med batterier hadde en tykkelse på 18 mm. Thermal runaway i det ene batterilaget ble initiert av et varmeelement, og det ble observert om thermal runaway spredte seg fra den ene laget med batteri til det andre. Dersom dette skjedde ble testen gjentatt med nye batterier og 5 mm økt avstand mellom de. Dette ble gjennomført til det ikke lenger var spredning mellom batteriene.

Testene resulterte i en anbefaling til minimum tykkelse på det isolerende laget mellom to lag batterier for å oppnå trygg pakking av batterier, for de fem typene isolerende materiale som ble testet, som presentert i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 Minimum anbefalt tykkelse for ulike typer isolerende medium

Type isolerende materiale	Minimum anbefalte tykkelse	Temperatur ved batterilag 1	Temperatur ved batterilag 2
Sand	10 mm (± 2mm)	526,8 °C	111,8 °C
Absorbent	15 mm (± 2mm)	662,2 °C	115,1 °C
Sorbix	25 mm (± 2mm)	763,9 °C	120,1 °C
Vermikulitt	30 mm (± 2mm)	771,6 °C	112,5 °C
Pyrobubbles®	35 mm (± 2mm)	724,0 °C	87,7 °C

<sup>29</sup> Vermikulitt er et silikatmineral som absorberer væske og har god isoleringsevne

<sup>30</sup> Sorbix er et oljebindende middel basert på kalsiumsilikat med innhold av SiO<sub>2</sub>, CaO og Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

<sup>31</sup> Pyrobubbles® er porøse glassgranulater med god isoleringsevne

<sup>32</sup> Absorbent ligner på store korn av kattesand, og består av bentonitt, klinoptilolit og sepiolitt.



## 6 Diskusjon om brannrisiko

### 6.1 Brannrisiko for tilkoblet vs ikke-tilkoblet batteri

En oversikt over aspekter som påvirker brann sikkerheten for tilkoblede og ikke-tilkoblede batterier, samt vår vurdering av om disse er positive eller negative for brann sikkerheten er presentert i Tabell 6-1.

Tabell 6-1 Forutsetninger for god brann sikkerhet i batterier, og forskjeller mellom et tilkoblet og ikke-tilkoblet batteri, delt inn i ✓ = oppfyller forutsetningen for god brann sikkerhet, ✗ = oppfyller ikke forutsetningen for god brann sikkerhet. Tabellen gjelder for større batterier som består av flere moduler.

Forutsetninger for god brann sikkerhet	Tilkoblet	Ikke-tilkoblet	Kommentar
BMS aktiv	✓	✗	BMS (battery management system) er i hovedsak forbeholdt store batteripakker, som batterier i elbiler, og store stasjonære batterier, og er ikke forventet å finnes i vanlig forbrukerelektronikk. Når batterier kobles fra enheten sin, for eksempel fjernes fra en elbil, vil også BMS-kobles fra. Dette vil føre til at batteriet ikke lenger overvåkes, og BMS vil derfor ikke varsle dersom unormale forhold oppstår, og mottiltak som kjøling/stopp av lading m.m. vil ikke kunne settes i gang.
Inndeling i moduler	✓	✓ ✗	Et frakoblet batteri kan fortsatt være inndelt i moduler, eksempelvis et elbilbatteri som er tatt ut fra en bil kan fortsatt være inndelt i ulike moduler og grupper. Det er først når batteriet deles opp i enkeltceller at denne sikkerhetsbarrieren opphører. Mindre batterier er sjelden inndelt i moduler, og vil ikke påvirkes av om de er tilkoblet eller ikke.
Aktivt kjølesystem	✓ ✗	✗	Enkelte batteripakker har aktive kjølesystem som skal holde temperaturen på battericellene innenfor et bestemt temperaturintervall. Dette vil naturligvis bli frakoblet når batteriet kobles fra.
Passive sikkerhetsmekanismer	✓	✓	Passive sikkerhetsmekanismer er installert inne i hver celle, og tilstedeværelsen av disse endres ikke om batteriet er tilkoblet eller ikke.
Ingen bulk lagring	✓	✗	Ikke-tilkoblede batterier blir ofte lagret tett i tett i store mengder, og batteritettheten kan derfor bli større enn i tilkoblede enheter. Ved lagring i bulk kan det likevel forekomme eksempler på fysiske skiller, som ved bruk av vermikulitt.
Lavt ladenivå	✓ ✗	✓ ✗	Ladetilstanden til både tilkoblede og ikke-tilkoblede batterier vil kunne variere fra nesten utladet til fullt oppladdet, mens vi vurderer at ladetilstanden til ikke-tilkoblede batterier i større grad vil være lavere enn for

Forutsetninger for god brann-sikkerhet	Tilkoblet	Ikke-tilkoblet	Kommentar
			tilkoblede. Fullt oppladete batterier har en høyere brannrisiko enn utladete batterier.
Beskyttet mot mekanisk skade	✓	✓ X	Et tilkoblet batteri kan være kapslet inn og beskyttet på en bedre måte enn et ikke-tilkoblet batteri. Ser man bort ifra batterier som benyttes til transportformål (eks. elbil) er tilkoblede batterier normalt ikke utsatt for store mekaniske påkjenninger. Ikke-tilkoblede batterier vil før bruk, dvs rett fra fabrikk være pakket godt inn og beskyttet, samtidig som de normalt behandles pent. Ikke-tilkoblede batterier ved endt bruk derimot, vil bli utsatt for mye større mekaniske påkjenninger ved at de ikke lenger er pakket inn i beskyttende materialer, og vil bli flyttet på og mulig behandlet mindre skånsomt.

## 6.2 Livsløp batteri – risiko for brann

Vi har definert følgende områder i livsløpet til et batteri (Figur 3-1 og Figur 3-2):

1. Fabrikk
2. Mellomlager
3. Butikk
4. Bruker
5. Gjenvinningsanlegg

I løpet av dette livsløpet vil risikoen for brann være ulik. Ut fra dialog med og besøk hos ulike aktører har vi identifisert følgende fem kategorier som vil påvirke brannrisikoen:




- **Mengde:** Mengden batterier vil naturligvis påvirke både sannsynligheten for at brann oppstår i et batteri, og påvirke konsekvensene dersom det oppstår en brann. Jo høyere mengde, desto større risiko.
- **Ladetilstand:** Faren for at en brann skal oppstå spontant er høyere med økt energivå og med ladetilstand til batteriene. Fullt oppladete batterier er mer ustabile<sup>33</sup> og dermed mer utsatt for å begynne brenne enn batterier som er utladete.
- **Fare for mekanisk påkjenning:** Mekaniske påkjenninger som støt, vibrasjoner, deformering m.m kan føre til ustabile batterier og økt fare for at en brann oppstår.
- **Faglig nivå hos ansatte og fokus på batterisikkerhet:** Fokus på brannsikkerhet generelt og kunnskap om hva som kan forårsake en batteribrann kan bidra til å redusere både sannsynligheten for at en brann oppstår, og for å redusere konsekvensene av en brann.























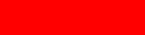
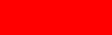
<sup>33</sup> Sannsynligheten for at et uskadd oppladet batteri skal begynne å brenne vurderes imidlertid til å være svært liten.

- **Ytre tennkilder**

En batteribrann trenger nødvendigvis ikke å starte i en battericelle, den kan også starte ved at en ytre brann sprer seg til et lager med batterier. Derfor vil brannrisikoen knyttet til batterier også påvirkes av hvor god kontroll man har på ytre tennkilder.

Vurdering av risikonivåer for brann i fabrikk, mellomlager, og lokal og nasjonal gjenvinningsstasjon er oppsummert i Tabell 6-2. I noen tilfeller er det satt to risikonivåer for samme kategori, se nærmere beskrivelse i kapittel 6.2.1 til 6.2.4. Brukere er ikke tatt med her på grunn av manglende informasjonsgrunnlag, se kapittel 6.2.3.

Tabell 6-2 Risiko forbundet med ulike kategorier som kan påvirke brannrisikoen for ulike områder hvor batterier oppbevares, hvor  Grønn = Lav risiko,  Gul = Medium risiko,  Rød = Høy risiko.

	Mengde	Lade-tilstand	Fare for mekanisk skade	Kunnskap om batterier	Ytre tennkilder
Fabrikk					
					
Mellomlager					
					
					
Lokalt gjenvinningsanlegg					
					
					
Nasjonalt gjenvinningsanlegg					
					
					

## 6.2.1 Brannrisiko fabrikk

Brannrisiko på en batterifabrikk vil innebære både brannrisiko ved lagring og ved produksjon. Våre vurderinger er i stor grad basert på Siemens sin batterifabrikk. Vi vurderer at risikoelementene for produksjonsdelen vil kunne variere endel fra fabrikk til fabrikk, mens risiko i forbindelse med lagring vil være relevant for andre typer store lager som håndterer batterier.

På fabrikker som pakker batterier vil det finnes både paller med enkeltceller og paller med ferdige moduler. Celler som transporteres på paller vil normalt være pakket etter UN 3480, og ladetilstand vil da være begrenset til maksimalt 30 %. Ferdige moduler til bruk i store stasjonære anlegg, eller til maritim virksomhet skal ha gjennomgått en rekke brann- og sikkerhetstester, og lagring av slike vurderes til å være sikrere enn lagring av enkeltceller. Nøyaktig hvordan en reell brann ville ha utviklet seg, vet vi ikke, men det er sannsynlig at brann i en celle lagret sammen med andre enkeltceller vil utarte seg annerledes enn en celle som er installert i en modul.

Det finnes få potensielle tennkilder for batterier i et lagerbygg, men en mulig tennkilde er at det kan oppstå en brann i en truck [28] som enten står til lading eller som kjører, der en slik brann kan spre seg til batterilageret. For å redusere denne risikoen bør laderen til trucken være flyttet et godt stykke unna reoler med batterier.

En brann kan også oppstå dersom battericeller blir utsatt for kraftig mekaniske påkjenninger, og den mest åpenbare årsaken på et lager er at paller med batterier faller ned fra lagring i høyden. Det faktum at ladetilstanden er på kun 20 %, og at batteriene er pakket etter UN 3480 bidrar til å redusere sannsynligheten for mekaniske påkjenninger, og konsekvensene av eventuelle mekaniske påkjenninger.

En annen mulig tennkilde er feil på det elektriske anlegget, og at feil på lysrør kan antenne lett antennelig brennbart materiale som måtte befinne seg i nærheten. For å redusere sannsynligheten for dette scenariet bør lagerets interne prosedyrer sørge for å unngå at lett antennelig materiale som papp lagres tett på lysrør.

Både fokuset på brannsikkerhet og den faglige kunnskapen om brann ved batterier var, som forventet, høyt på batterifabrikken vi besøkte. Det var montert brannalarmanlegg på hele anlegget, sprinkleranlegg på hovedlagret, samt lokalt vanntåkeanlegg i produksjonsområdet hvor brannfaren er vurdert å være høyest. En ekstern brannrådgiver har vært med å kartlegge sikkerheten og foreslå tiltak.

Når det gjelder brannrisiko på produksjonslageret, var tettheten av celler liten, bortsett fra i bufferlageret. Sveiseområdet er et naturlig område hvor en brann lett kan oppstå, men her var risikoen redusert ved at lokalt vanntåkeanlegg var installert. Det har under produksjon skjedd at enkeltceller har blitt litt røft behandlet av robotene, uten at dette har ført til røykutvikling eller varmgang. Også her hadde cellene en ladetilstand på 20 % som gjør cellene mer stabile. Likevel kan det tenkes at celler som får røff behandling av roboter kan føre til thermal runaway med utslipp av giftig røyk, høye temperaturer og åpne flammer. Ettersom tettheten av brennbare materialer i nærheten er liten, vil en slik brann sannsynligvis kunne håndteres relativt enkelt, enten av personell tilstede, eller av lokalt brannvesen/industrivern.

Fra branntestene som FM Global utførte (se kapittel 2.6) konkluderte de med at battericeller med ladetilstand mindre enn 50 % kan beskyttes med et sprinkleranlegg. Brannen utviklet seg i hovedsak ved forbrenning av emballasjematerialer (papp og plast), og battericeller begynte å brenne (i fribranntesten) på et tidspunkt etter at sprinkleranlegget ble aktivert.

Et punkt som skiller seg noe fra FM Global sitt sprinkleranlegg i forhold til norske sprinkleranlegg er vannmengden som ble levert. Dysene installert under testen hadde en k-faktor på 320, som tilsvarer ca. 500 liter/min pr dyse, og 53 mm/min. Vi er ikke kjent med at norske lager er dimensjonert med samme vannmengde<sup>34</sup>. Høyeste vanntetthet for sprinkleranlegg på lager i henhold til NS-EN 12845 [29] er 30 mm/min.

Overført til et lager med battericeller lagret i henhold til UN 3480, kan vi trekke ut følgende:

- Cellene pakket etter UN 3480 har lavere ladetilstand enn cellene i branntesten, < 30 % i forhold til 50 %.

---

<sup>34</sup> Korrespondanse med brannrådgiver, TEKØK. 14.09.2019

- Pakking etter UN 3480 ligner mye på hvordan cellene i brann testen ble pakket. Det innebærer at hovedandelen brennbart materiale består av papp og plast.
- Celler vil bli antent i hovedsak fra varmeeeksponering fra utsiden, og ikke fra celle til celle, blant annet på grunn av for lite oksygentilgang.
- Sprinkleranlegg i Norge leverer generelt mindre vann per dyse enn sprinkleranlegget i testen.

Til tross for at vi ikke kjenner i detalj hvordan en palle med batterier vil brenne, og vil kunne håndteres av sprinkleranlegg dimensjonert etter NS-EN 12845, vurderer vi at brannrisikoen på en batterifabrikk til å være på et akseptabelt nivå, og at det ikke er cellene i seg selv som utgjør den største brannfaren, men emballasjematerialet. Sannsynligheten for at en brann oppstår er størst i produksjonsdelen, og i forbindelse med håndtering/flytting av paller, ettersom det da både er fare for at paller kan falle ned, og fordi en truck i seg selv utgjør en mulig tennekilde.

## 6.2.2 Brannrisiko på mellomlager hos forhandlere

Lager med varer på paller er utformet omtrent likt uavhengig av om det er batterier som er lagret på pallene, eller om det er andre varer. Et mellomlager skiller seg fra lageret til en fabrikk ved at det normalt vil være en mindre mengde batterier, og at det vil være et flere ulike typer varer som lagres ved siden av batteriene. Fra samtale med ulike aktører tyder det også på at batteriene har en høyere ladetilstand enn batterier på batterifabrikk (eksempelvis på Siemens sitt lager). Vår vurdering er også at kunnskapen om batterier er mindre, ettersom batterier kun er en del av vareporteføljen.

Faremomenter vil i hovedsak være de samme som på et lager tilknyttet en batterifabrikk, blant annet det å miste ned batterier fra lagring i høyden, og ekstern brann som oppstår for eksempel i truck eller feil på elektrisk anlegg.

I denne delen av livsløpet skal batteriene i utgangspunktet være uskadde, de skal være hensiktsmessig pakket, og skal normalt ikke bli utsatt for mekanisk påkjenning av noen form. I motsetning til hos batterifabrikk vil normalt ikke den faglige kompetansen og fokuset på brannsikkerheten være like sterkt ved mellomlager. Dette kan bidra til at brannrisikoen er noe høyere ved et mellomlager enn hos batterifabrik.

Med økt bruk og etterspørsel av litium/litium-ion batterier kan det forventes at flere forhandlere får en økt lagerbeholdning av litium/litium-ion batterier i årene som kommer.

## 6.2.3 Brannrisiko midlertidig lager hos bruker

Hos kunder som har bestilt et stort batterisystem, for eksempel et skipsverft som skal bygge et elektrisk maritimt fartøy, vil det kunne befinne seg en relativt stor mengde av ikke-tilkoblede batterier på midlertidige lager. Batteriene vil fortsatt være pakket i

henhold til UN 3480 med en ladekapasitet på mindre enn 30 %. I hvilken grad lageret er sikret mot brann vil kunne variere fra anlegg til anlegg.

Vi har ikke lyktes i å komme i kontakt med brukere med et slikt lager, og kan derfor ikke vurdere brannsikkerheten ytterligere på slike lager.

## 6.2.4 Brannrisiko på lokalt og nasjonalt gjenvinningsanlegg

Fra spørreundersøkelsen og besøkene på anleggene fremgår det at det er en overhengende brannrisiko ved håndtering av litium/litium-ion batterier på gjenvinningsanlegg. Flere svar fra spørreundersøkelsen og gjenvinningsanleggene vitner om regelmessige hendelser med varmegang og røykutvikling, og også åpne flammer. Det er en generell bekymring omkring brannsikkerheten og flere tiltak er presentert for å redusere denne. Basert på svar fra anleggene er risikoen for brannutvikling størst under transport internt på anlegget og under håndteringen. Når batteriene ligger i ro under lagring er risikoen mindre. Representanter fra avfallsbransjen poengterer også at litium/litium-ion batterier som befinner seg i EE-avfall utgjør en potensiell brannfare (se kapittel 6.4), men dette er utenfor fokusområdet i dette prosjektet.

Ved endt bruk blir batterier tatt ut av produktene sine og sendt til gjenvinning, ofte er det flere mellomstopp fra forbruker leverer inn batterier til det ender opp på gjenvinningsanlegg. I denne prosessen vil brannrisikoen være størst både ved at tettheten av batterier er stor, behandlingen av batteriene er ikke så skånsom som i tidligere ledd av livsløpet, og at de har liten eller ingen form for beskyttende emballasje rundt seg. I tillegg er batteriene brukt og har blitt utsatt for slitasje, noe som kan ha gjort de mer ustabile. Majoriteten av batteriene vurderes å være utladet eller ha et lavt ladenivå, noe som reduserer faren for at en brann kan oppstå.

Mengden av batterier vil mest sannsynlig være større på et nasjonalt gjenvinningsanlegg sammenlignet med et lokalt. Dette vil utgjøre en mulig større risiko både for sannsynligheten at en brann oppstår, men også konsekvensene ved en brann. Også faren for mekaniske skader er vurdert å være noe høyere ved et nasjonalt anlegg, ved at større mengder batterier håndteres og flyttes. Kompetansen om faren ved litium/litium-ion batterier vil derimot antas være noe høyere ved et nasjonalt gjenvinningsanlegg, noe som vil redusere risikoen sammenlignet med aktører med et lavere faglig nivå.

## 6.3 Læringspunkter

### 6.3.1 Generelt

Av de aktørene vi har besøkt har vi erfart at fokus på brannsikkerhet generelt er høyt, og de ulike anleggene synes å ha gode prosedyrer for å redusere sannsynligheten for at en brann oppstår, og planer for hva som skal gjøres dersom en brann oppstår. Slike planer og prosedyrer utgjør et godt rammeverk for å redusere brannrisiko, men her er det svært viktig at prosedyrene følges opp i praksis. For å oppnå dette må praksis kontinuerlig kontrolleres mot sin egen prosedyre, slik at tiltak kan settes inn for å endre dårlig praksis, dersom dette oppdages. I tillegg er det viktig for alle anlegg som håndterer store mengder

batterier å ha god dialog med brannvesen, samt ha realistiske brannøvelser med jevne mellomrom.

### 6.3.2 Bruk av vermikulitt

Vermikulitt benyttes av mange aktører som et isolerende materiale mellom batterier ved lagring i tønner og kasser. Måten vermikulitt brukes på varierer imidlertid noe mellom ulike aktører. Enkelte bestemmer mengden vermikulitt mellom batterier basert på skjønn, mens andre har klare interne retningslinjer for hvor mye vermikulitt som skal brukes mellom lagene.

I en studie [27] (se kapittel 5) ble minimum sikkerhetsavstand til vermikulitt funnet å være 30 mm ( $\pm 2$  mm). Samtidig var tykkelsen på batterilaget kun 18 mm, noe som er vesentlig tynnere enn det som er praksis hos samtlige aktører vi har vært i kontakt med.

For å være sikker på at thermal runaway i et batterilag ikke overføres til et annet lag, anbefaler vi å øke denne tykkelsen til minimum 50 mm for batterilag med tykkelse maksimalt 50 mm.

Denne anbefalingen er erfaringsbasert, ut fra praksis som gjennomføres blant annet av Batteriretur, og vi har ikke fått tilbakemeldinger om at det har oppstått brann som har spredt seg fra et batterilag til et annet ved bruk av denne denne praksisen. Dersom det meldes inn hendelser der dette har skjedd bør tykkelsen revideres, og en ny og mer omfattende studie bør gjennomføres for å finne nødvendig minimum tykkelse av vermikulitt for batterilag av ulike tykkelser og batterityper.

Til tross for at det er noen forskjeller i hvordan vermikulitt brukes, og at det er noe usikkerhet knyttet til hva som er minimum tykkelse av vermikulitt, konkluderer vi at måten dette gjennomføres på i hovedsak er gjort på en tilfredsstillende sikker måte.

### 6.3.3 Fabrikk og store lager

Flere ledd i livsløpskjeden vil ha behov for å lagre batterier, og dersom det er snakk om store mengder nye batterier vil lagring på paller i et reollager være en praktisk måte å gjøre dette på.

Størrelsen på lageret, mengden batterier i forhold til andre varer, og ladetilstanden til batteriene vil kunne variere på slike lager. Uavhengig av dette har lager normalt de samme beskyttelsestiltakene, og de samme potensielle tennkildene.

En potensiell årsak til at en brann kan oppstå i lager/fabrikk er i forbindelse med håndtering og flytting av paller, ettersom det da både er fare for at paller kan falle ned og påføre skade på batteriene. I tillegg utgjør håndtering med truck i seg selv en mulig tennkilde [28].

Et risikoforhøyende element for fabrikk/lager som mottar store mengder enkeltceller direkte fra produsent i utlandet, er dersom fabrikken mottar mer batterier enn den i utgangspunktet har kapasitet til å ta imot. Dette er noe som kan skje på grunn av Norges posisjon i den globale verdenshandelen. Siden Norge er en nokså liten kunde i

internasjonal målestokk vil ikke bestillinger fra norske aktører prioriteres så høyt, og norske aktører kan risikere å ikke få batterier når de bestiller, og risikere å måtte motta celler uten at de er bestilt<sup>35</sup>. Dette kan føre til at en aktør plutselig mottar flere celler enn den har kapasitet til på lager, og må velge midlertidige lagerløsninger med lavere sikkerhet enn det ordinære. For å unngå at dette skjer bør fabrikker/lager sørge for å ha tilstrekkelig bufferkapasitet på sitt ordinære lager.

Batterier bør lagres med så lav spenning som mulig, ettersom ladetilstanden påvirker stabiliteten til battericeller. I tillegg vil en brann i celler med høy ladetilstand avgi mer varme enn celler med lav ladetilstand [30]. Dersom batteriene er pakket i henhold til UN 3480 er dette ivaretatt ved at høyeste tillatte ladetilstand er 30 %. Pakking etter UN 3480 gir også en viss beskyttelse mot mekaniske skader.

Et element som gjør det utfordrende å kvantifisere brannrisiko for et lager med batterier, er at vi ikke vet nok om brannegenskapene til en palle med ikke-tilkoblede battericeller. Under brannegenskaper som bør dokumenteres er antennelighet (hvor lett den tar fyr), og hvor godt den brenner. Det er heller ikke kjent i hvilken grad et sprinkleranlegg installert etter NS-EN 12845 vil klare å kontrollere en slik brann.

Generelt kan man si at en brann i et lager kan være utfordrende å slokke, fordi det er vanskelig å komme til med vann hvor det trengs, og viktigheten av god tilkomst for slökkemansskaper vil derfor være en faktor som bidrar til hvor raskt en brann kan bli sløkket.

### 6.3.4 Gjenvinningsanlegg

Gjenvinningsanlegg står overfor en helt annen brannrisiko enn nye batterier på lager, ved at batteriene kan ha vært, og blir, utsatt for forhold (fukt, vibrasjon, støt) som kan bidra til å gjøre dem ustabile. De viktigste generelle læringspunktene vi har erfart gjennom kontakt med ulike anlegg er som følger:

- **Begrense mengden batterier:**  
Sørg for å ikke ha for store opplag av batterier på samme sted. Dette kan løses ved å ha fysiske barrierer mellom oppbevaringssteder, og sørge for at videresending av batterier skjer hyppig nok til at mengden batterier ikke blir for stor.
- **Hensiktsmessig lagring og tilstrekkelig avstand til brennbart materiale**  
Lagre ulike batterityper atskilt, på et tørt sted og sørg for at avgassing av batterier ikke kan føre til akkumulering av brennbar gass. I tillegg er det viktig å sørge for at det ikke finnes lett antennelig brennbart materiale i nærheten, noe som kan utgjøre forskjellen mellom en liten og lett håndterbar brann, og en storbrann med store samfunnsøkonomiske eller miljømessige konsekvenser. Bruk av vermikulitt kan benyttes for å redusere konsekvensene av et batteri som begynner å brenne.
- **God tilkomst:**

<sup>35</sup> Møte med ansatte ved Siemens batterifabrikk, 02. September 2019.



Ha god tilkomst til de ulike batterilagrene, slik at slokkemannskaper lett kan komme til ved en eventuell brann. God tilkomst vil også kunne gi bedre oversikt, og naturlig separering av batteriene.

- **Sikker sone for ustabile batterier:**  
Det bør finnes et trygt sted hvor ustabile eller brennende batterier kan flyttes til, hvor det ikke er fare for spredning eller personskaade ved varme- eller røykutvikling. Lagring av batterier bør også skje på en måte som gjør at de lett kan fraktes bort til denne sikre sonen.
- **Tilstrekkelig opplæring av ansatte:**  
Alle ansatte bør få opplæring av rutiner rundt håndtering av batterier, og hva som skal gjøres dersom det oppstår varmetvikling, røyk eller brann.
- **Generell orden og ryddighet**  
Generell orden og ryddighet har flere positive sider, men vil være spesielt viktig ved brann, ettersom mangel på orden og ryddighet kan føre til at evakuering blir hindret, at brannmannskaper ikke kommer til for å slukke, at slokkeutstyr eller verneutstyr ikke befinner seg der det skal.
- **Etterlevelse av prosedyrer**  
Gode prosedyrer har liten verdi dersom prosedyrene ikke etterleves. Kontroll av etterlevelse bør derfor være et kontinuerlig pågående arbeid, og tiltak for å endre dårlig praksis må iverksettes, dersom dette oppdages.
- **Dialog med lokalt brannvesen:**  
Å ha god dialog med lokalt brannvesen vil effektivisere innsatsen ved en eventuell brann, og bidra til å finne gode løsninger som både brannvesen og anlegg kan stille seg bak.
- **Tilgang på manuelt slokkeutstyr**  
Det bør finnes manuelt slokkeutstyr på strategisk plasserte områder rundt omkring på anlegget. Slokketiltak iverksatt på et tidlig tidspunkt kan kontrollere/slukke en brann før den rekker å utvikle seg til en større brann.

### **Eksempler på innovative løsninger for deteksjon og slokking observert hos ulike aktører:**

- Stena Recycling har flere mobile slokkestasjoner på anlegget sitt. Slokkestasjonen består av 1000-liters dunk fylt med vann og installert med en vannpumpe og brannslange. Denne kan lett flyttes rundt med en truck, og kan dermed raskt bli fraktet til en brann, og slokking kan iverksettes av industrivern innen kort tid.
- Norsk Batteriretur har montert hurtigkobling på sine containere hvor de lagrer litium/litium-ion batterier. Ved en hendelse kan brannvesenet koble på sine slanger direkte på containere og fylle disse med vann, dersom dette anses nødvendig.
- Flere anlegg har montert varmekamera som raskt detekterer en temperaturøkning i batterier.

- Flere anlegg har kummer som samler opp alt vann, og sørger slik for at forurenset slokkevann ikke kommer på avveie, slik det er påkrevd av forurensningsmyndighetene [31].

## 6.4 Andre batterirelaterte brannrisikoer

Gjennom samtaler med ulike aktører har vi blitt oppmerksomme på andre utfordringer knyttet til batteri og brannrisiko, enn hva som har vært fokusområde i dette prosjektet.

### 6.4.1 Batterier i forbrukerelektronikk

Gjennom samtaler med ulike gjenvinningsanlegg har vi forstått at batterier som befinner seg i forbrukerelektronikk utgjør en vesentlig brannrisiko. I utgangspunktet skal alle batterier fjernes før produktene går til gjenvinning. Dette har gjenvinningsseksjonene gode rutiner på, likevel skjer det at enkelte batterier ikke blir oppdaget. Dette utgjør en brannrisiko fra flere ulike hold. For det første kan forbrukerelektronikk være utsatt for mekanisk skade. De blir løftet og flyttet på, og batteriene som da er igjen vil kunne bli utsatt for kraftige mekaniske vibrasjoner og støt, noe som øker faren for brann. I tillegg vil batteriene følge med inn i kverningsprosessen, og gjenværende batterier vil utgjøre en antennelseskilde og kunne føre til brann.

### 6.4.2 Batterier i restavfall

Batterier som ikke leveres inn og sorteres, men som kastes rett i restavfallet utgjør også en stor brannfare. Et av anleggene hadde et branntilløp like etter at vi var på befaring der. I det tilfellet var det et elsykkelbatteri som hadde havnet i restavfallet og hadde begynt å brenne ved komprimering i en komprimeringsmaskin.

For å unngå at batterier blir kastet i restavfall er det viktig at informasjon om farene ved batteri i restavfall blir poengtert bedre for vanlige forbrukere.

## 6.5 Forslag til videre arbeid

I dette prosjektet har det kommet frem at det er mangefull dokumentert kunnskap om hvor lett en palle med ikke-tilkoblede battericeller kan begynne å brenne (antennelighet), hvordan en slik brann vil utvikle seg (brannspredning og brannodynamikk), og hvordan en slik brann kan slokkes. Disse egenskapene vil påvirke både brannrisiko for batterier som befinner seg på et lager, men også for batterier som er under transport. Et forslag til videre arbeid er derfor å gjennomføre fullskala branntester bestående av en eller flere paller med nye battericeller.

## 7 Referanser

- [1] Ø. Hasvold, «Sikker anvendelse av litiumbatterier», Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), FFI-rapport 2010/00215, jan. 2010.
- [2] B. Isidor, *BATTERIES in a portable world*, Fourth Edition. Cadex Electronics Inc., 2016.
- [3] X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia, og X. He, «Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review», *Energy Storage Materials*, bd. 10, s. 246–267, jan. 2018.
- [4] Diego Lisbona; Timothy Snee, «A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries», *Process Safety and Environmental Protection*, bd. 89, nr. 6, s. 434–442, nov. 2011.
- [5] J. Liu, Z. Wang, J. Gong, K. Liu, H. Wang, og L. Guo, «Experimental Study of Thermal Runaway Process of 18650 Lithium-Ion Battery», *Materials*, 2017.
- [6] C. C. Grant, «Responding to Electric Vehicle Battery Fires», presentert på 3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014, Berlin, Germany, 2014, s. 231–242.
- [7] P. Andersson, P. Blomquist, A. Lorén, og F. Larsson, «Investigation of fire emissions from Li-ion batteries», SP Technical Research Institute of Sweden, Fire Technology SP Report 2013:15, 2013.
- [8] F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist, og B.-E. Mellander, «Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires», *Scientific reports*, bd. 7, 2017.
- [9] «Hydrogenfluorid (flussyre og hydrogenfluoridgass) - behandlingsanbefaling ved forgiftning», 25 jan. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/hydrogenfluorid-flussyre-og-hydrogenfluoridgass-behandlingsanbefaling-etseskader-og-systemiske-effekter>. [Åpnet: 08 jul. 2019].
- [10] «Omtrent 200 beboere evakueres på grunn av brann i Hunndalen i Gjøvik», *aftenposten.no*, 23 mar. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.aftenposten.no/norge/i/OprzIO/Omtrent-200-beboere-evakueres-pa-grunn-av-brann-i-Hunndalen-i-Gjovik>. [Åpnet: 12 sep. 2019].
- [11] «Eksplisjonsfaren over etter brann på Bryn i Oslo», 11 mar. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.abcnyheter.no/nyheter/norge/2019/03/11/195560150/eksplisjonsfaren-over-etter-brann-pa-bryn-i-oslo>. [Åpnet: 12 sep. 2019].
- [12] «Alle sløkkevæsker er farlige for miljøet», *Brannmannen*, 24 jul. 2015.
- [13] B. Ditch, «Development of Protection Recommendations for Li-ion Battery Bulk Storage: Sprinklered Fire Test», FM Global, 2016.
- [14] H. Huo, Y. Xing, M. Pecht, B. J. Züger, N. Khare, og A. Vezzini, «Safety Requirements for Transportation of Lithium Batteries», *Energies*, bd. 10, nr. 6, 2017.
- [15] *Recommendations on the transport of dangerous goods - manual of tests and criteria.*, Sixth revised edition. New York: United Nations, 2015.
- [16] Klima- og miljødepartementet, *Forskrift 1. juni 2004 nr. 930 om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften)*. 2004.
- [17] N. Høm, «Brannforebyggende tiltak på avfallsanlegg», Sweco, Brannteknisk rapport RIBr03, Oppdragsnummer 12320001, feb. 2015.
- [18] S. Valde, E. Wormstrand, og G. K. Milli, «Branner i avfallsbransjen- årsaker og tiltak», Nomiko AS, Version 01, mar. 2019.

- [19] A. Lönnermark, H. Persson, F. Trella, P. Blomqvist, S. Boström, og Å. Bergérus Rensvik, «Brandsäkerhet vid lagring av avfallsbränslen», Avfall Sverige, Rapport 2018:09, 2018.
- [20] Standard Norge, «NS 9431:2011 Klassifikasjon av avfall». Standard Norge, 01 jan. 2011.
- [21] «Vogntog i brann - 16 tønner med batterier tok fyr», *moss-avis.no*, 15 aug. 2013. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.moss-avis.no/nyheter/nyheter/vogntog-i-brann-16-tonner-med-batterier-tok-fyr/s/2-2.2643-1.8020589>. [Åpnet: 06 sep. 2019].
- [22] *ADR/RID forskrift 1. april 2009 nr. 384 om landtransport av farlig gods: 2019*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2019.
- [23] «Sykkelbatteri i pressa ga branntiløp hos ROAF», *kretslopet.no*, 28 jun. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <http://kretslopet.no/gjenvinning/775-sykkelbatteri-i-pressa-ga-branntilop-hos-roaf>. [Åpnet: 06 sep. 2019].
- [24] J.-W. van Schaik, «300 People Evacuated During Fire in Stella's E-Bike Battery Warehouse», *BIKE europe*, 13 jul. 2018.
- [25] D. Hernandez, «E-Bike Manufacturer Has Third Fire in Less Than a Year», *Bicycling*, 24 jan. 2019.
- [26] «Ferjebatteriet var kopla frå då det tok fyr. No átvarar batteriprodusenten», *NRK*, 15 okt. 2019.
- [27] Q. Pan, R. Weyhe, og A. Melber, «Packaging Materials for Li-Ion Batteries», presentert på 19th International Congress for Battery Recycling (ICBR), Hamburg, Germany, 2014.
- [28] Ahrens, Marty, «INDUSTRIAL LOADER AND FORKLIFT FIRES», NFPA, 2009.
- [29] «NS-EN 12845:2015 Faste brannsløkkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold». Standard Norge, sep. 2015.
- [30] D. H. Doughty, «Vehicle Battery Safety Roadmap Guidance», National Renewable Energy Laboratory, Albuquerque, New Mexico, USA, okt. 2012.
- [31] *Lov 13 mars 1981 nr.6 om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven)*. .
- [32] R. F. Mikalsen *mfl.*, «Energieffektive bygg og brannsikkerhet», RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2019:02, ISBN: 978-91-88907-16-5, apr. 2019.
- [33] P. G. Balakrishnan, R. Ramesh, og T. Prem Kumar, «Safety mechanisms in lithium-ion batteries», *Journal of Power Sources*, bd. 155, nr. 2, s. 401–414, apr. 2006.
- [34] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 8. juni 2009 nr. 602 om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen (Forskrift om håndtering av farlig stoff)*. 2009.
- [35] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 20. desember 2011 nr. 1434 om industrivern*. 2011.
- [36] «Kollegiet for brannfaglig terminologi», 15 mai. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.kbt.no>.
- [37] Justis- og beredskapsdepartementet, *Lov 14. juni 2002 nr. 20 om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver*. 2002.
- [38] Justis- og beredskapsdeparementet, *Forskrift av 01. april 2009 nr. 384 om landtransport av farlig gods med veiledning*. 2009.

# Vedlegg A. Spørsmål i spørreundersøkelse

## **Branner i avfallsanlegg: spørreundersøkelse**

*Det er 10 spørsmål, undersøkelsen tar ca. 5-10 min å besvare.*

*RISE Fire Research gjennomfører nå en studie av branner i avfallsanlegg, på oppdrag fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), Miljødirektoratet og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK).*

*Innspill fra bransjen er svært viktig. Vi ønsker innspill fra dere som er eiere eller har ansvar for daglig drift på avfallsanlegg, og fra andre som har innspill til gode tiltak for å redusere brannrisiko på avfallsanlegg.*

*Målsettingen er å frembringe et faktagrunnlag som belyser hvilke risikoer som er knyttet til branner i avfallsanlegg, og å identifisere tiltak som kan forebygge brann og begrense brannens skadeomfang og miljøpåvirkning. Resultatene fra spørreundersøkelsen vil sammenstilles og brukes i en åpen rapport.*

*Det er frivillig å svare og du svarer anonymt. Svarfrist 19.mai 2019 (NB! utvidet frist)*

*Vær gjerne så detaljert og konkret som mulig når du fyller inn svar.*

Hvem representerer du/dere?

- Anlegg for mottak og mellomlagring av avfall
  - Anlegg for mottak og mellomlagring av farlig avfall
  - Behandlingsanlegg for avfall
  - Behandlingsanlegg for farlig avfall
  - Forsikring
  - Brannvesen
  - Annet
- [fritekst]

I hvilke avfallsfraksjoner har dere opplevd flest små branntilløp (ulming/små flammer) eller større branner? Kryss av maks 3 alternativer, utdyp gjerne under Annet/Other.

- Våtorganisk avfall
- Park- og hageavfall
- Treavfall
- Slam
- Papir, papp og kartong
- Glass
- Metall
- Betong og tegl
- Slagg, støv, bunnaske, flygeaske
- Plast
- Gummi

- Tekstiler
- Kasserte kjøretøy
- Lett forurensede masser
- Blandet avfall (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- EE-avfall (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- Farlig avfall (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- Batterier (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- Vet ikke
- Ikke relevant
- Annet  
[fritekst]

Hvilke avfallsfraksjoner mener dere kan føre til størst konsekvenser i tilfelle brann (miljø, natur, bygningsteknisk, driftsstans, helse etc)? Kryss av maks 3 alternativer, utdyp gjerne under Annet/Other.

- Våtorganisk avfall
- Park- og hageavfall
- Treavfall
- Slam
- Papir, papp og kartong
- Glass
- Metall
- Betong og tegl
- Slagg, støv, bunnaske, flygeaske
- Plast
- Gummi
- Tekstiler
- Kasserte kjøretøy
- Lett forurensede masser
- Blandet avfall (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- EE-avfall (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- Farlig avfall (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- Batterier (vennligst spesifiser under Annet/Other nedenfor)
- Vet ikke
- Ikke relevant
- Annet  
[fritekst]

Har dere eksempler på metoder og tiltak som dere bruker som fungerer for å unngå brannstart? Stikkord: teknisk, organisatorisk, hva, hvordan, hvorfor, hvorfor ikke?

[fritekst]

Har dere eksempler på metoder og tiltak som dere har prøvd eller vet om, som IKKE fungerer for å unngå brannstart? Stikkord: teknisk, organisatorisk, hva, hvordan, hvorfor, hvorfor ikke?

[fritekst]

Har dere eksempler på metoder og tiltak som fungerer for å unngå at et lite branntilløp (ulming/små flammer) blir til en større brann? Stikkord: teknisk, organisatorisk, hva, hvordan, hvorfor, hvorfor ikke?

[fritekst]

Har dere eksempler på metoder og tiltak som dere har prøvd eller vet om, som IKKE fungerer for å unngå at et lite branntilløp (ulming/små flammer) blir til en større brann? Stikkord: teknisk, organisatorisk, hva, hvordan, hvorfor, hvorfor ikke?

[fritekst]

Hvilke tiltak mener dere kan redusere miljøpåvirkning på jord, luft og vann som følge av brann?

[fritekst]

Til slutt et spørsmål kun for de som håndterer litium og litium-ion batterier (gjelder ikke feilsorterte batterier): Se de 5 forrige spørsmålene, har dere konkrete innspill til brannsikker lagring av store mengder Li-batterier?

[fritekst]

Kan vi kontakte deg hvis vi har oppfølgingsspørsmål? Hvis ja, vennligst oppgi kontaktinformasjon (behandles konfidensielt og vil ikke knyttes til dine svar i vår rapport).

[fritekst]

# Vedlegg B. Sikkerhetsmekanismer i et batteri

Et batteri har ulike sikkerhetsmekanismer som skal redusere sannsynligheten for at en brann oppstår. Sikkerhetsmekanismer på cellenivå er gitt i Tabell B-1, og sikkerhetsmekanismer på batterinivå er gitt i Tabell B-2.

Tabell B-1 Sikkerhetsmekanismer på cellenivå. Innholdet i tabellen er hentet fra rapporten «Energieffektive bygg og brannsikkerhet» [32], ut fra en studie av Balakrishnan [33].

Sikkerhetsmekanisme	Beskrivelse
PTC (Positive temperature coefficient)	Hvis strømmen gjennom en celle overstiger en gitt grense vil PTC-en begrense strømmen ved at motstanden øker med temperaturen.
CID (Circuit interrupt device)	En mekanisme som bryter strømkretsen dersom det indre gasstrykket overstiger en grense
Termostat	Strømmen kuttes hvis den interne temperaturen i batteriet blir for høy. Termostaten er innstilt på en maksimaltemperatur som ligger godt under smeltepunktet til metallet og den mekaniske bruddtemperaturen til separatoren
Smeltesikring	Benyttes til beskyttelse mot thermal runaway. Smeltesikringer er ofte innstilt på å smelte ved en temperatur som ligger 30 – 50 °C høyere enn vanlig driftstemperatur.
Sikkerhetsventil	Dersom det indre trykket i cellen overstiger en gitt grense, åpner en sikkerhetsventil seg og frigjør trykket. Dette hindrer i stor grad at cellen eksploderer ukontrollert.

Tabell B-2 Sikkerhetsmekanismer på batterinivå. Innholdet i tabellen er hentet fra rapporten «Energieffektive bygg og brannsikkerhet» [32], ut fra en studie av Balakrishnan [33].

Sikkerhetsmekanisme	Beskrivelse
BMS (Battery Management System)	BMS-en er batteriets hjerne og overvåker alt som skjer i batteriet. Den sørger blant annet for at det tappes strøm jevnt over battericellene, og at celler ikke overlades. Dersom BMS-en registrerer parametere som er utenfor deres normalområde, vil den sette i gang tiltak for å forsøke å normalisere situasjonen. Eksempler på dette er at ved unormal lading kan ladingen stenges av, ved unormal temperatur kan ekstra ventilasjon/kjøling iverksettes m.m.
Inndeling i moduler og grupper	Alle større batterier er delt inn i større og mindre grupperinger. Flere battericeller utgjør en modul, og flere moduler utgjør en gruppe. Inndelingen har en praktisk nytte ved at da kan man bygge så store batterier man vil ved å legge til flere grupper. Samtidig spiller grupperingene en rolle ved for eksempel thermal runaway. Til tross for en rekke sikkerhetsbarrierer, kan man ikke garantere at thermal runaway kan unngås. Det er imidlertid viktig at thermal runaway i en celle ikke får spre seg til et helt batteri. Ved å dele batteriet inn i moduler, kan fortsatt thermal runaway spre seg innad i en modul, men har vanskeligere for å spre seg fra modul til modul.
Kjølesystem	Mange store batterier har et kjølesystem inkludert, basert på enten luft eller vann. Et slikt system vil bidra til å holde celletemperaturene på et riktig nivå, og bremse oppvarmingen av en battericelle, og varmeoverføringen til naboceller. Ved luftsystemer er det ofte vanlig å kunne oppjustere lufthastigheten dersom unormale forhold detekteres.



## Vedlegg C. Regelverk

Følgende regelverk er relevant for lagring og håndtering av ikke-tilkoblede litium- og litium-ion batterier:

### **Forskrift om håndtering av farlig stoff**

Forskrift om håndtering av farlig stoff [34] regulerer brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff som definert i forskriftens § 4. Forskriftens virkeområde ekskluderer ikke produkter. Ifølge DSB kan batterier anses som beholdere med stoff, og at forskriften med det omfatter batterier som inneholder stoff som omfattes av definisjonen i § 4. For eksempel vil primærceller med rent litium i anoden og batterier med brannfarlig elektrolytt være omfattet av forskriften.<sup>36</sup>

### **Avfallsforskriften**

Avfallsforskriften [16] er en omfattende og detaljert forskrift som regulerer mottak, innsamling, gjenvinning og annen behandling av avfallsfraksjoner som håndteres i Norge. Bestemmelser i kapittel 3 regulerer innsamling, mottak, behandling og gjenvinning av kasserte batterier. Forhandlere skal motta kasserte, løse batterier i retur fra forbruker, og skal sørge for at batteriene oppbevares på en sikker måte. Produsenter av batterier skal være medlem i et godkjent returselskap for kasserte batterier. Returselskapene skal samle inn kasserte batterier og sørge for at alle batterier som er innsamlet blir behandlet og gjenvunnet i henhold til kravene i § 3-17 i avfallsforskriften.

Litiumbatterier har en egen avfallskode under farlig avfall, i henhold til NS 9431:2011 «Klassifikasjon av avfall» [20]. Videre er det spesifisert at det er kun batterier/knappceller med farlige egenskaper iht. kap 11 i avfallsforskriften som skal deklarerer som farlig avfall.

### **Forskrift om industrivern**

Forskrift om industrivern [35] skal sørge for at virksomheter har et robust industrivern som kan begrense konsekvenser av uønskede hendelser for liv, helse, miljø og materielle verdier. Forskriften gjelder for virksomheter som gjennomsnittlig sysselsetter 40 eller flere personer i året. Dette punktet er per dags dato under revisjon, og kan bli redusert til 20 personer<sup>37</sup>. Ifølge forskriften skal virksomheter ha en *oversikt over uønskede hendelser*, og denne skal brukes som beslutningsgrunnlag for organisering og dimensjonering av industrivernet. Videre skal virksomhetene ha en skriftlig

---

<sup>36</sup> Korrespondanse med DSB i forbindelse med prosjektstart, 6. desember 2018.

<sup>37</sup> Ifølge representant fra NSO- Næringslivets sikkerhetsorganisasjon, som administrerer forskriften, møte 28. februar 2019

beredskapsplan og være organisert slik at førsteinnsats<sup>38</sup> ved uønskede hendelser ivaretas. Det skal gjennomføres øvelser minst hver sjetten måned.

### **Brann- og eksplosjonsvernloven**

Brann- og eksplosjonsvernloven [37] regulerer brannsikkerhet på et overordnet nivå. Verken i loven eller i tilhørende forskrifter er det stilt bestemte krav til brannsikkerheten for enkelte bransjer, virksomheter eller anlegg. I henhold til brann- og eksplosjonsvernloven §6 er det *eier* av byggverket som har ansvar for nødvendige sikringstiltak for å forebygge og begrense brann, eksplosjon eller annen ulykke. Ifølge §6 annet ledd har eier og bruker videre en plikt til kontroll av sikringstiltakene for å påse at disse til enhver tid virker etter sin hensikt. Under *sikringstiltak* kommer både tekniske og organisatoriske tiltak.

Et særskilt brannobjekt er opplag, områder, virksomheter m.m. hvor brann kan medføre tap av mange liv eller store skader på helse, miljø eller materielle verdier. Det er kommunen som har ansvar for å identifisere og føre fortegnelse over disse. Kommunen skal sørge for at det føres tilsyn på særskilte brannobjekter for å påse at disse er tilstrekkelig sikret mot brann. [37]

### **Forskrift landtransport av farlig gods og ADR**

Forskrift om landtransport av farlig gods [38] implementerer de europeiske avtalene om internasjonal vegtransport av farlig gods, ADR [22]. ADR gir detaljerte bestemmelser for transport av litium/litium-ion batterier som last. For transport av litium/litium-ion batterier som avfall skilles det mellom sorterte batterier og de som er innmontert i utstyr. Kriterier for emballasje og pakking av litium metall og litium ion batterier er beskrevet i ADR.

---

<sup>38</sup> Førsteinnsats er innsats som utføres av den først ankomne komplette styrken, fram til forsterkninger er satt i arbeid innenfor samme innsatssted [36].

# Vedlegg D. UN 3480

Transport av større mengder litium-ion batterier krever at batteriene har oppfylt en rekke krav i henhold til UN 3480. UN er en serie med standarder for hvordan ulike materialer og produkter skal pakkes. Denne serien med standarder er utarbeidet av *United Nations Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods*. Litium/litium-ion batterier faller inn under klasse 9 og standarden UN 3480.

Klasse 9 i standarden er beskrevet i dokumentet *Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS Manual of Tests and Criteria* [15]. Litium-og litium-ion batterier er beskrevet under kapittel 38.3.

Her beskrives en rekke tester som batteriene må gjennomgå:

**1. «Altitude simulation» - Høydesimulering**

Celle eller batteri skal lagres ved et trykk på 11.6 kPa eller mindre for minst seks timer ved temperatur  $20 \pm 5$  °C.

Testen er bestått dersom det ikke oppstår lekkasje, ventilering og brann, og spenningen skal være på minst 90 % av spenningen før testen.

**2. «Thermal test» - Termisk test**

Celle eller batteri skal lagres i minst seks timer ved en temperatur på  $72 \pm 2$  °C, deretter seks timer ved en temperatur på  $-40 \pm 2$  °C. Maksimum 30 minutter mellom maks og min temperatur. Denne prosedyren skal repeteres 10 ganger. Deretter skal celle og batteri lagres i romtemperatur i minst 24 timer.

Testen er bestått dersom det ikke oppstår lekkasje, ventilering og brann, og spenningen skal være på minst 90 % av spenningen før testen.

**3. «Vibration» - Vibrasjon**

Celle eller batteri monteres til en vibratormaskin som skal vibrere fra 7 Hz til 200 Hz, og tilbake til 7 Hz i løpet av 15 minutter. Syklusen skal repeteres 12 ganger, og utføres i tre akser.

Testen er bestått dersom det ikke oppstår lekkasje, ventilering og brann, og spenningen skal være på minst 90 % av spenningen før testen.

**4. «Shock-test» - Sjøkktest**

Små batterier skal bli utsatt for et sjokk med maks akselerasjon på 150 g og en pulsvarighet på 6 ms, mens store batterier skal bli utsatt for en maks akselerasjon på 50 g og en pulsvarighet på 11 ms.

Testen er bestått dersom det ikke oppstår lekkasje, ventilering og brann, og spenningen skal være på minst 90 % av spenningen før testen.

**5. «External short circuit test» – Ekstern kortslutningstest**

Celle eller batteri skal varmes opp til  $57 \pm 4$  °C, og deretter kortsluttes gjennom en kobling med mindre enn 0,1 ohm. Kortslutningen skal vare i minst 30 minutter.

Testen er bestått dersom overflatetemperaturen ikke overstiger 170 °C, og ingen lekkasje, ventilering eller brann oppstår.

**6. «Impact» - Støt**

Celle plasseres på en flat overflate. En 9,1 kg stålsylinder minst 6 cm lang og med diameter 15,8 mm slippes fra en 61 cm høyde ned på cellen med en tilnærmet friksjonsfri snor eller kanal.

**7. «Crush» - Sammenklemming**

En celle skal klemmes sammen mellom to flater. Klemming vil foregå med en hastighet på 1,5 cm/s, og vil fortsette fram til en av de tre kriteriene under er møtt:

- a) Kraften mellom platene når  $13 \text{ kN} \pm 0.78 \text{ kN}$
- b) Cellespenningen faller med minst 100 mV.
- c) Cellen er deformert med 50 % i forhold til dens opprinnelige tykkelse.

Når a), b) eller c) er oppfylt opphører sammenklemmingen.

Testen er bestått dersom overflatetemperaturen ikke overstiger 170 °C, og ingen lekkasje, ventilering eller brann oppstår.

**8. «Overcharge» - Overlading**

Ladestrømmen skal være dobbel av produsenten sin maksimale anbefaling.

Testen er bestått dersom det ikke oppstår brann i løpet av syv dager etter test.

**9. «Forced discharge» - Tvungen utlading**

Celle skal være utladet ved å koble cellen i serie med en 12 V DC strømenhet med en initiell strøm tilsvarende maksimal utladingsstrøm spesifisert av produsent.

Testen er bestått dersom det ikke oppstår brann i løpet av syv dager etter test.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

Gjennom internasjonalt samarbeid med akademi, næringsliv og offentlig sektor bidrar vi til et konkurransekraftig næringsliv og bærekraftig samfunn. RISEs 2 200 medarbeidere driver og støtter alle typer innovasjonsprosesser. Vi tilbyr et hundretalls test- og demonstrasjonsmiljø for framtidssikre produkter, teknikker og tjenester. RISE Research Institutes of Sweden eies av den svenske staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB Postboks 4767 Torgarden, 7465 TRONDHEIM Telefon: 464 18 000 E-post: <a href="mailto:post@risefr.no">post@risefr.no</a> , Internett: <a href="http://www.risefr.no">www.risefr.no</a>	RISE Fire Research RISE-rapport 2019:98 ISBN:
---	---