



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Brannteknikk

ING3037

Predefinert informasjon

| | | | |
|-----------------------|---|------------------------|----------------------------|
| Startdato: | 30-04-2019 15:50 | Termin: | 2019 VÅR |
| Sluttdato: | 08-05-2019 14:00 | Vurderingsform: | Norsk 6-trinns skala (A-F) |
| Eksamensform: | Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon | | |
| SIS-kode: | 203 ING3037 1 PRO-1 2019 VÅR Haugesund | | |
| Intern sensor: | (Anonymisert) | | |

Deltaker

Kandidatnr.: 118

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Studie av brannfaren til lette elektriske kjøretøy

Engelsk tittel *: A study of light electric vehicle's fire hazard

Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen Nei**
konfidensiell materiale?:

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

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 5

Andre medlemmer i gruppen: Deltakeren har innlevert i en enkeltmannsgruppe

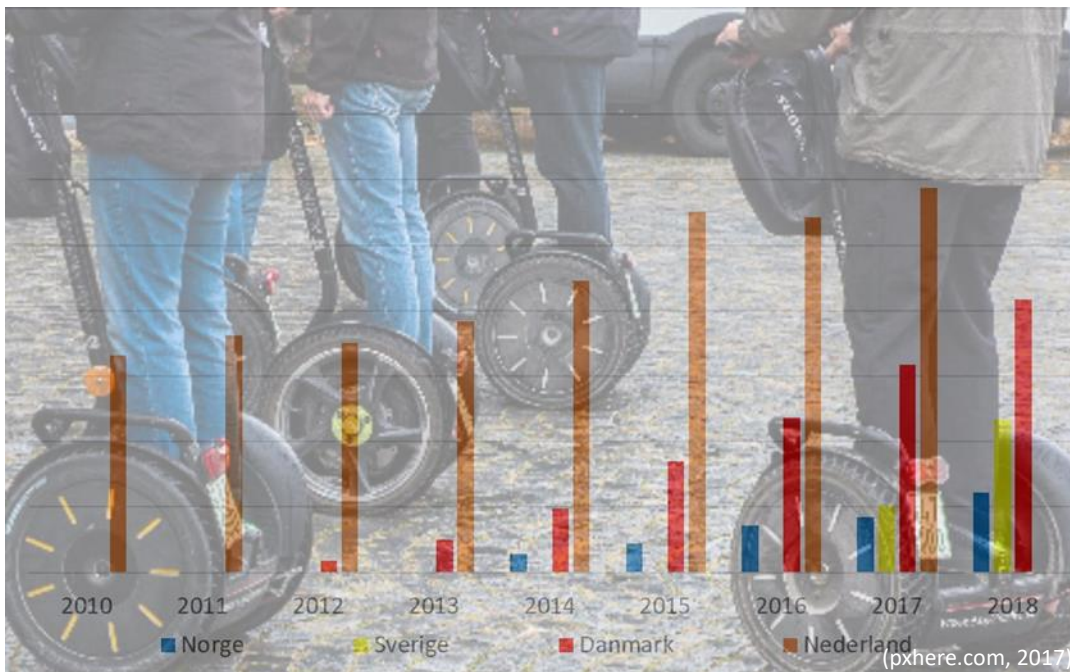
Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

BACHELOROPPGAVE

Studie av brannfaren til lette elektriske
kjøretøy

A study of light electric vehicle's fire hazard



Øyvind Aleksander Sæther

Kandidatnr: 118

Brannsikkerhet

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder Arjen Kraaijeveld

8. mai 2019


Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

BACHELORPROSJEKT

| | |
|---|---|
| Studenten(e)s navn: | Øyvind Aleksander Sæther |
| Linje & studieretning | Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet |
| Oppgavens tittel: | <i>Studie av brannfaren til lette elektriske kjøretøy</i> |
| Oppgavetekst: | <p>Grunnet batteriets høye energikompakthet og letthet har litium-ion sekundærbatteriet fått en stor utbredelse de siste årene. Det har vært en jevn utvikling innen forbrukerteknologi, der flere og flere produkter benytter seg av batterier. Samtidig har det oppstått flere branner som kan knyttes til litium-ion batterier.</p> <p>Det er ønskelig å se nærmere på årsaken til disse brannene og hvilken fare forbrukerelektronikk med litium-ion batterier utgjør. For å kunne finne mulige årsaker til brann i litium-ion batterier er det nødvendig å finne de forholdene som påvirker sikkerheten til et batteri. Med nye produkter dukker det opp nye utfordringer som vil kunne påvirke brannsikkerheten. Fokus skal være på lette elektriske kjøretøy. Konsekvensene av en brann vil avhenge av bruken, det er derfor interessant å se på risikoen i forbindelse med lading, bruk, levetid og oppbevaring.</p> <p>En kartlegging av branntilløp i lette elektriske kjøretøy i Norge og utvalgte andre land inngår i studie.</p> <p>Studenten skal undersøke brannfaren til lette elektriske kjøretøy. Som et produkt av prosjektet skal studenten skrive en artikkel som ville kunne gi en bedre forståelse for sikkerhetene knyttet til lette elektriske kjøretøy.</p> |
| Endelig oppgave gitt: | 01.03-'19 |
| Innleveringsfrist: | Onsdag 8.mai 2019 kl. 12.00 |
| Intern veileder: | Arjen Kraaijeveld |
| Ekstern veileder: emailadresse ekstern veileder: | Vivi Helgesen Røe, Norsk brannvernforening Vivi.roe@brannvernforeningen.no |

Godkjent av studieansvarlig:

Dato:


30/4-19

| | | |
|--|---------------------------------|---|
| Oppgavens tittel | | Rapportnummer |
| Studie av brannfaren til lette elektriske kjøretøy | | |
| Utført av Øyvind Aleksander Sæther | | |
| Linje Sikkerhet | Studieretning Brannsikkerhet | |
| Gradering Åpen | Innlevert dato 08.05.2019 | Veiledere Arjen Kraaijeveld, HVL Vivi Helgesen Røe, Norsk Brannvernforening |

Ekstrakt

Det har oppstått flere branner knyttet til lette elektriske kjøretøy de siste årene. Prosjektet skal se nærmere på brannfaren til lette elektriske kjøretøy i Norge. Dette har blitt gjort ved å se på hva som påvirker sikkerheten til Li-ion batterier og hva som gjør slike kjøretøy særegent. Det er samlet inn brannstatistikk og erfaringer fra Skandinavia og Nederland. Det er vist at det kan forventes en økning i antall slike branner. Dette skyldes stor økning i antall enheter og aldring. En slik utvikling vil bidra med flere boligbranner.

Forord

Takk til Vivi Helgesen Røe og Arjen Kraaijeveld for veiledning og mange gode innspill gjennom prosjektet. Takk til André Sæther, Tore Sæther og Øivinn Melle for gjennomlesning og korrektur.

Takk til alle som har støttet meg gjennom prosjektet.

Definisjoner

| | |
|--|---|
| <i>Lette elektriske kjøretøy (LEV)</i> | Kommer fra definisjonen light electric vehicle (LEV), som omfatter elektriske kjøretøy av en mindre art, under 100 kg. |
| <i>Elektrisk sykkel</i> | Elektrisk sykkel også kalt for elsykkel og pedelec, er tråsykkel med elektrisk hjelpemotor, defineres i EU som sykkel hvis spesifikasjonene er oppfylt. Elektriske tråsykler som har en høyere hastighetsbegrensning en 25km/t går under navnet S-pedelec og defineres som moped. |
| <i>Små elektriske kjøretøy (SEV)</i> | Dette er en definisjon som benyttes i «forskrift om krav til sykkel» for alle elektriske kjøretøy innen forskriftens rammer som ikke er elektrisk tråsykkel. |
| <i>Elektrisk kjøretøy (EV)</i> | Electric Vehicle, dette er en betegnelse på tyngre kjøretøy som benytter elektrisitet som drivkraft. EV benyttes oftest til å omtegne elbil. SSB har oversikt over antallet elektriske kjøretøy i Norge, der kategoriene benyttes er: Personbiler, Ambulanser, Busser, Varebiler, Kombinerte biler, Lastebiler, Mopeder, Lette motorsykler, Tunge motorsykler, Beltemotorsykler, Traktorer og Motorredskaper: |
| <i>Hoverboard</i> | Hoverboard er en samlebetegnelse på elektriske kjøretøy som benytter seg av selvbalsnering og med utformingen som et brett. Kalles også for elektrisk balansebrett, elektrisk ståhjuling og elektrisk ståbrett. Hoverboard har fått navnet fra og skal ikke forveksles med sveveskateboard. |
| <i>Forskrift om krav til sykkel</i> | Forskriften som setter krav til LEV i Norge. Forskriften ligger under Samferdselsdepartementet. |
| <i>Elektrisk strøm</i> | Elektrisk strøm måles i ampere [A] Ampere time [Ah] beskriver ladningsmengden over én time. |
| <i>Spenning</i> | Spenning måles i volt [V] og er forholdet i elektrisk potensiale mellom to punkter. |
| <i>Oksidasjon og reduksjon</i> | Oksidasjon er når atomer gir fra seg elektroner og reduksjon er når atomer tar opp elektroner. |
| <i>Grafitt</i> | Grafitt er en naturlig variant av grunnelementet karbon, grafitt skilles seg ut i form av strukturen. Grafitt har en lagvisstruktur som tillater at ioner kan feste seg imellom disse lagene. |
| <i>SOC</i> | State of charge er den standard betegnelsen for hvilket batterinivå batteriet er i. SOC måles som regel i prosent av den maksimale kapasiteten. |
| <i>Dendritt</i> | Dendritter er grenformasjoner som bygger seg opp ut ifra anoden. Dette er et resultat av elektroplettering, der li-metall blir avlagt på utsiden av anoden. |
| <i>SEI</i> | Solid Electrolyte Interface er en hinne som skapes på anodens overflate etter reaksjon mellom elektrolytt og anode. |

1 Innholdsfortegnelse

| | |
|---|------|
| Forord..... | III |
| Definisjoner..... | IV |
| Summary | VIII |
| 1. Innledning..... | 1 |
| 1.1 Bakgrunn | 1 |
| 1.2 Formål- og problemstilling..... | 1 |
| 1.3 Rammer for oppgaven | 1 |
| 1.4 Hypoteser | 1 |
| 2 Teori | 2 |
| 2.1 Lette elektriske kjøretøy | 2 |
| 2.2 Litium Batteri | 3 |
| 2.2.1 Litium-ion sekundær batterier | 3 |
| 2.3 Batteribrann..... | 5 |
| 2.3.1 Thermal runaway..... | 5 |
| 2.3.2 Overlading..... | 6 |
| 2.3.3 Overutlading..... | 7 |
| 2.3.4 Indre kortslutning | 7 |
| 2.3.5 Ytre kortslutning..... | 8 |
| 2.3.6 Aldring..... | 8 |
| 2.3.7 BMS | 9 |
| 2.3.8 Produksjon og kvalitet..... | 9 |
| 2.3.9 Skadefrembringende bruk | 10 |
| 3 Metode..... | 11 |
| 3.1 Litteratur og statistikk..... | 11 |
| 3.1.1 Oversikt over innsamlet statistikk | 12 |
| 3.2 Statistikkens begrensninger | 14 |
| 3.2.1 Styrker og svakheter med innsamlet statistikk | 14 |
| 4 Funn..... | 16 |
| 4.1 Elsykkel utbredelse..... | 16 |
| 4.1.1 Norsk elbilpark statistikk..... | 17 |
| 4.2 LEV Brannstatistikk | 18 |
| 4.2.1 Brann ved lading: | 20 |
| 4.2.2 Månedsfordeling:..... | 21 |
| 4.2.3 Enkelthendelser | 22 |
| 4.2.4 Hoverboard branner..... | 22 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.5 | Elsykkel branner..... | 24 |
| 5 | Drøfting..... | 26 |
| 5.1 | LEV brannfare..... | 26 |
| 5.2 | Li-ion batteri brannsikkerhet faktorer..... | 28 |
| 5.3 | Lette elektriske kjøretøy sammenligning..... | 33 |
| 5.4 | Hvor ofte oppstår branner i lette elektriske kjøretøy..... | 34 |
| 6 | Konklusjon..... | 38 |
| 7 | Referanser..... | 40 |
| 8 | Vedlegg..... | 43 |
| 8.1 | Vedlegg 1..... | I |

Figurliste

| | |
|--|----|
| Figur 1: Li-ion batteri illustrasjon..... | 4 |
| Figur 2: Gjennomsnittlige temperatur grenser for Li-ion batterier..... | 6 |
| Figur 3: Årsak til separator svikt..... | 7 |
| Figur 4: Endring i elsykkel statistikk for Norge, Sverige, Danmark og Nederland 2010-2018..... | 16 |
| Figur 5: Elsykkel og elbilpark endringer Norge 2014-2018..... | 17 |
| Figur 6: LEV branner per måned, Norge, Sverige, Danmark 2016-2018 og Nederland 2013-2018 | 18 |
| Figur 7: Elsykkel og SEV fordeling samlet..... | 19 |
| Figur 8: Elsykkel og SEV fordeling Sverige..... | 19 |
| Figur 9: Elsykkel og SEV fordeling Norge..... | 19 |
| Figur 10: Elsykkel og SEV fordeling Nederland..... | 19 |
| Figur 11: Lade ikke lading fordeling samlet..... | 20 |
| Figur 12 Lade ikke lading fordeling Norge..... | 20 |
| Figur 13: Lade ikke lading fordeling Sverige..... | 20 |
| Figur 14: Lade ikke lading fordeling Nederland..... | 20 |
| Figur 15: Lading og LEV fordeling samlet..... | 21 |
| Figur 16: Svenske hoverboard brann forhold..... | 23 |
| Figur 17: Elsykkelbranner Norge 2016-2018..... | 24 |
| Figur 18: Elsykkelbranner Sverige 2016-2018..... | 24 |
| Figur 19: Elsykkelbranner Nederland 2013-2018..... | 24 |

Tabelliste

| | |
|---|----|
| Tabell 1: De fire stadiene av thermal runaway (Abada, et al., 2018)..... | 5 |
| Tabell 2: Oversikt over innsamlet statistikk, Norge..... | 12 |
| Tabell 3: Oversikt over innsamlet statistikk, Sverige, Danmark og Nederland..... | 13 |
| Tabell 4: Elsykkel samlet import og salgsstatistikk for Norge, Sverige, Danmark og Nederland 2010-2018..... | 16 |
| Tabell 5: LEV branner per år, Norge, Sverige 2016-2018 og Nederland 2013-2018..... | 18 |
| Tabell 6: Måned samlet..... | 21 |
| Tabell 7: Måned No..... | 21 |
| Tabell 8: Måned Se..... | 21 |
| Tabell 9: Måned Nl..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Tabell 10: Antall hoverboard branner i Sverige juli 2016 til mai 2018 | 23 |
| Tabell 11: Elsykkel statistikk med prognose Norge 2016-2025..... | 25 |
| Tabell 12: Elsykkelstatistikk med prognose Sverige 2016-2018 | 25 |
| Tabell 13: Elsykkelstatistikk med prognose Nederland 2013-2025 | 25 |

Summary

A study of light electric vehicle's fire hazard

With an increasing focus on environmentally friendly transport, light electric vehicles (LEV) have experienced a large increase in popularity and prevalence in recent years. Along with this increase, there have also been several fires associated with LEV. The purpose of the project is to reveal what fire hazard LEV constitutes in Norway. In order to answer this problem statement, it was divided into three parts. How often do LEV-fires occur. What affects the fire safety of the Li-ion batteries that LEV uses. What distinguishes such products from other devices. A statistics search has been carried out for fire-, sales- and import statistics for LEV in Norway, Sweden, Denmark and Netherland. This search has resulted in fire statistics for Norway, Sweden and the Netherlands. Electric bicycle statistics for Norway, Sweden, Denmark and the Netherlands. These statistics have been used to look more closely at the prevalence and growth of electric bicycles, the relationship between fire occurrence with or without battery charging, when the in the year such fires occurred and whether it could describe future development. These statistics have shown that LEV fires are a small portion of the fires in Norway but are growing due to a large increase in prevalence. Li-ion battery's fire safety will deteriorate with age, since LEV is a new product type the age impact will be revealed in the years to come. Small electric vehicles (SEV) are likely to catch fire during charging. LEV fires have a greater frequency during summer and lowest in winter. There are no substantial signs that LEV is suffering from fires after overwinter intermissions, caused by over discharge. The Li-ion battery's need for temperate charging makes homes exposed to LEV fires, which can have major consequences for life or health.

Studie av brannfaren til lette elektriske kjøretøy

Med et økende fokus på miljøvennlig transport har lette elektriske kjøretøy (LEV) opplevd en stor økning i popularitet og utbredelse de siste årene. Sammen med denne økningen har det også oppstått flere branner knyttet til LEV. Formålet for prosjektet er å avdekke hvilken brannfare LEV utgjør i Norge. For å svare på denne problemstillingen ble den delt opp i tre delproblemstillinger. Hvor ofte slike branner oppstår. Hva påvirker brann sikkerheten til Li-ion batteriene som LEV benytter. Hva som skiller slike produkter fra andre enheter. Det har blitt gjennomført søk etter brann-, salg- og importstatistikk for LEV i Norge, Sverige, Danmark og Nederland. Dette søket ga resultater ved brannstatistikk for Norge, Sverige og Nederland. Elsykkelstatistikk for Norge, Sverige, Danmark og Nederland. Denne statistikken har blitt benyttet til å se nærmere på utbredelse og vekst til elektriske sykler, forhold mellom branntilløp med eller uten lading, når på året slike branner oppstod og om det kunne beskrive fremtidig utvikling. Denne statistikken har vist at LEV branner er en liten andel av branner i Norge, men er i vekst grunnet en stor økning i utbredelse. Li-ion batteriers brann sikkerhet vil svekkes med alderen. Siden LEV er en ny produkttype vil alderens påvirkning først vise seg i årene fremover. Små elektriske kjøretøy (SEV) er spesielt utsatt for brann under lading og LEV branner har en større hyppighet om sommeren og lavest om vinteren.. Det er ingen tydelige tegn på at LEV er utsatt for branner forårsaket av overutlading etter vinterpause. Li-ion batteriets behov for temperert lading gjør boliger spesielt utsatt for LEV branner, som kan ha store konsekvenser for liv og helse.

1. Innledning

Med et økende fokus på å redusere forurensing har overgangen til bruken av elektriske kjøretøy blitt viktig. Reduksjon av bruken av fossilt brennstoff har blitt et fokusområde for å forbedre miljøet. Sammen med den elektriske bilen har mindre elektriske kjøretøy også opplevd en stor økning i bruk. Elektriske sykler og andre lette elektriske kjøretøy har gått fra å være et hjelpemiddel til å bli et sosialt akseptert transportmiddel. Regjeringen har et ønske om å redusere biltrafikk i byene, dette vil gjøre lette elektriske kjøretøy til et naturlig alternativ og supplement til bilen. Sammen med populariteten til lette elektriske kjøretøy har det oppstått flere branner knyttet til denne typen kjøretøy. Nr.no har skrevet om tre elsykkelbranner av ulike omfang i januar¹, mai² og september³ i 2018 der konsekvensene strakk seg fra røykskader til totalskade av bolig. Dette er kun tre av mange nyhetsoppslag om lette elektriske kjøretøy som har antent. Er mediedekningen grunnet at branner knyttet til slike produkter er en «god» overskrift eller er slike branner utbredt? Hvor ofte oppstår slike branner? Hva påvirker brannsikkerheten til lette elektriske kjøretøy?

1.1 Bakgrunn

Lette elektriske kjøretøy er et relativt nytt produkt. Selv om det har oppstått flere branner knyttet til lette elektriske kjøretøy finnes det ingen oversikt over hvor ofte dette oppstår. Dette er en tematikk som ikke har fått mye oppmerksomhet. Det vil være interessant å finne ut om lette elektriske kjøretøy utgjør en betraktelig brannfare og hva som påvirker denne brannfaren.

1.2 Formål- og problemstilling

Formålet med oppgaven er å undersøke hvilken brannfare lette elektriske kjøretøy utgjør, ved å kartlegge utbredelsen av slike branner. Ved å øke kunnskapen om hva som påvirker sikkerheten til litium-ion batterier vil det være enklere å vurdere brannfaren ved bruk av lette elektriske kjøretøy. Den overordnede problemstilling for oppgaven er:

Hvilken brannfare utgjør lette elektriske kjøretøy i Norge?

For å svare på dette er det delt opp i tre delproblemstillinger:

Hvilke faktorer kan påvirke brannsikkerheten for litium-ion batteri?

Hvordan skiller lette elektriske kjøretøy (LEV) seg fra andre produkter med tanke på brannfare?

Hvor ofte oppstår branner i lette elektriske kjøretøy?

1.3 Rammer for oppgaven

De rammene som har blitt satt for oppgaven er at prosjektet skal omhandle lette elektriske kjøretøy, og begrenses til elektriske kjøretøy som er innenfor *Forskrift om krav til sykkel*. Fokus på litium-ion sekundærbatterier siden dette er den vanligste batterivarianten benyttet i disse produktene. Oppgaven har fokus på Norge med bruk av statistikk og erfaringer fra Skandinavia og Nederland.

1.4 Hypoteser

1. Batteribranner oppstår oftest under lading
2. Batteribrannfaren øker med alderen
3. Det kan oppstå brann i et «dødt» batteri
4. Økning i antall hendelser om våren grunnet overutlading av batterier

¹ 9.jan 2018 (Solås & Klausen, 2018)

² 2. mai 2018 (Martinsen & Gildestad, 2018)

³ 17.september 2018 (Stangenes & Samuelsen, 2018)

2 Teori

2.1 Lette elektriske kjøretøy

Det er et stort fokus på å begrense forurensning, for å forhindre mulige konsekvenser dette vil ha i det lange løp. En stor bidragsyter til forurensningen er transport med bruk av ikke-fornybar energi. Dette har skapt en stor interesse og villighet for overgangen fra fossilt brennstoff til fornybar energi. Elektriske biler har opplevd en god utvikling i salg og popularitet. Mindre elektriske kjøretøy har også blitt mer populært. Mindre elektriske kjøretøy slik som elektriske sykler, elektriske sparkesykler, selvbalsenerende og andre små elektriske kjøretøy er alle alternativer til bruk av bil. I Norge kan små elektriske kjøretøy defineres som sykler om de har de riktige spesifikasjonene etter lovverket. Det norske stortinget bestemte i klimaforliket i 2012 at de største byområdene skulle ha et «nullvekstmål» for trafikk. (Energi- og miljøkomiteen, 2012, s. 4) Dette vil si at økningen i trafikk skal kun skje via kollektivtransport, sykling og gange. Dette er et mål satt for å unngå at befolkningsveksten i de større byområdene også fører til økt biltrafikk. Et av de prosjektene som arbeider for å nå dette målet er Buskerudbyen som er et samarbeidsprosjekt med ansvar for offentlig utvikling innen transport, miljø og arealutvikling. Buskerudbyen bruker tiltak beskrevet i Buskerudbypakken 2 (Buskerudbyen, 2018), for å tilrettelegge for miljøvennlig ferdsel i byområdet. En økonomisk forutsetning for denne typen prosjekter er bompenger. Med en politikk som ønsker å begrense privat bilbruk har populariteten til lette elektriske kjøretøy fått en kraftig vekst. Lette elektriske kjøretøy har alene eller sammen med kollektivtrafikk blitt et godt alternativ til bil. For eksempel har elektriske sykler gått fra å være et hjelpemiddel benyttet kun av de med nedsatt bevegelse, til å bli et sosialt akseptert alternativ til bilen. Bilbruk har blitt mer kostbart og det har blitt registrert en kraftig økning i elsykkelsalg ved inntredelse av bompenger og rushtidsavgifter. Stavanger Aftenblad⁴ skrev i 2018, da det ble innført nye bompenger og rushtidsavgifter i området rundt Stavanger. At lokale sykkelbutikker opplevde stor vekst i salget sammenlignet med samme tid året før.

Lette elektriske kjøretøy er el-drevne persontransport-kjøretøy av mindre art. Kjennetegn på lette elektriske kjøretøy er at de benytter seg av elektriske batterier til å drive en elmotor. Utforming og spesifikasjoner varierer veldig innen lette elektriske kjøretøy. Dette er en ny og voksende produkttype. Den mest anvendte varianten er den elektriske sykkel, en tråsykkel med elektrisk hjelpemotor. Elsykkelen har oppnådd stor suksess i hele verden, spesielt i Europa. (Bovag, Rai vereniging, 2018) Norsk vegtrafikklov ble endret i 2014, slik at den passet overens med EU-regelverket der elsykkel allerede var etablert innen regelverket. Elsykkel defineres som tråsykkel i (Forskrift om krav til sykkel, 2019). Forskjellen mellom elektrisk sykkel og sykkel er motorsystemet. Der det er begrenset maksimal effekt på motoren, motor hastighetsbegrensninger på 25 km/t og at hjelpemotoren skal kun virke når pedalene på sykkel er i gang. I 2014 tillot regjeringen bruk av enda en kategori innen elektriske kjøretøy, selvbalsenerende kjøretøy. Dette er elektriske kjøretøy med én aksel som benytter selvbalsenerende teknologi. I 2018 ble alle små elektriske kjøretøy likestilt, dette gjorde at det ble tillatt med enda flere varianter av lette elektriske kjøretøy. Elektriske kjøretøy som tidligere hadde de korrekte fartsbegrensningene på 20km/t og de rette dimensjonene, men manglet selvbalsenering ble da tillatt. Dette er produkter slik som elektriske sparkesykler og elektriske skateboard. Sammen med denne endringen ble aldersgrensen for selvbalsenerende og små elektriske kjøretøy fjernet slik at det var likestilt med sykkel. Felles med alle disse variantene av lette elektriske kjøretøy er deres behov for lette og energi kompakte batterier som energikilde. Litium-ion batterier er den mest brukte batteritypen benyttet i slike produkter. LEV (Light Electric Vehicle) er en særegen produkttype med tanke på bruksmåte, energikompakthet og brukergruppe. LEV er enheter som benyttes ute i det fri, og det utsettes for mange variabler. LEV utsettes for vær og vind, dette kan være en utfordring med tanke på korrosjon. LEV er også særegent siden det er en del av trafikkbildet. Som kjøretøy er det utsatt for skader, både grunnet egen og andres hastighet. Det er i dag ingen aldersgrense eller sertifikatkrav for LEV som omfattes av *forskrift om krav til sykkel*. Det har blitt sett en sammenheng mellom eldre sykkelister og en

⁴ Avis artikkel fra Stavanger Aftenblad 22.august 2018 (Fintland, 2018)

økning i elsykkel ulykker, dette begrunnes med at elsykkel har gitt flere uerfarne eldre brukere muligheten til å benytte sykkel. (Harms & Kansen, 2018) Samtidig er det et behov for å ta LEV med inn for oppbevaring og lading. Dette skyldes manglende lade muligheter utenfor bolig, behov for tempererte batterier ved lading og frykt for tyveri og hærverk. LEV er enkle å håndtere og de større LEV har avtakbare batterier som gjør det lett å ta med inn i bolig eller andre bygg.

2.2 Litium Batteri

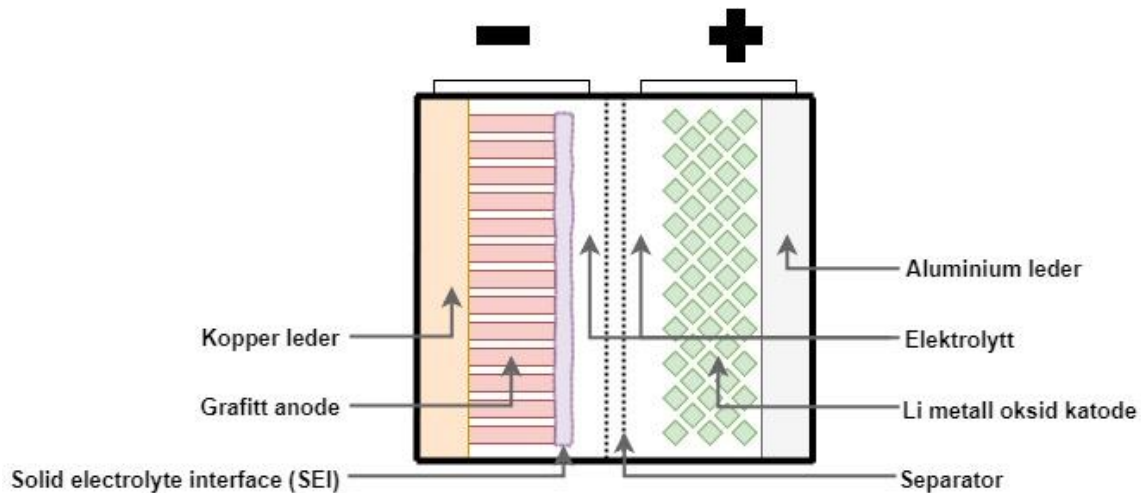
Batterier har blitt en nødvendighet i dagens samfunn. Populær forbrukerelektronikk slik som mobiler, bærbare datamaskiner, nettbrett og større enheter slik som elektriske kjøretøy benytter seg av denne teknologien. Forbrukerelektronikk har utviklet seg sammen med batteriteknologien. Der kompakte og lette batterier har gjort skapt mange muligheter for innovasjon innen elektronikk og transport.

Batterier er en samlebetegnelse på systemer som lagrer energi. Elektriske batterier benytter kjemiske reaksjoner for å lagre og utlade elektrisk energi. Batteriene baserer seg på de kjemiske reaksjonene oksidasjon og reduksjon. Der oksidasjon er en kjemisk reaksjon som får materialet i katoden til å gi fra seg elektroner. Reduksjon oppstår i elektrolytten, der ionene tar opp elektronene avgitt i oksidasjonen. Disse reaksjonene skaper sammen en strøm av elektroner og gjør energien i batteriet tilgjengelig for brukeren. Batterier kan deles inn i primærbatterier og sekundærbatterier. Primærbatterier har ikke egenskapen til å reversere de kjemiske reaksjonene og er dermed ikke oppladbare. I sekundærbatterier er redox-reaksjonene reversible og kan dermed lades opp gjentatte ganger. Ved å tilføre energi til ett sekundær batteriet kan man reversere reaksjonene, dermed få elektronene til å strøme andre veien, slik at utlading kan oppstå igjen. Ved utviklingen av Li-ion sekundærbatterier ble Interkalære elektroder avgjørende. Et interkalært materiale har en åpen struktur som tillater ioner å feste og løsne seg fra materialet. Når materialet er interkalært betyr det at litium-ionene kan legge seg imellom lagene av grafitt. (Rhan & Wang, 2012) Ved bruk av interkalering kan batteriets reaksjoner reverseres og dermed lades opp igjen (Scrosati, 2011, s. 1626) (Rhan & Wang, 2012). På 70 tallet startet det produksjon av de første sekundær Li-metall batteriene som hadde anoder av litium metall. Disse batteriene opplevde problemer med ujevn avsetning av litium, grenformasjoner (dendritter) av Li-metall formet seg i cellene og forårsaket indre kortslutning av celler. For å takle dette problemet ble Li-metall anoden byttet ut med en mer pålitelig anode. (Scrosati, 2011) Det oppstår mange misforståelser grunnet likhetstrekk i navnene til batteri variantene. Den viktigste forskjellen er Litium-ion og Litium metall batterier. Selv om begge batteriene benytter seg av egenskapene til litium er det ikke helt likt. Litium-metall batterier var utgangspunktet for alle batterier som benytter litium som det aktive elektrode materialet, men ble ingen suksess grunnet uønskede reaksjoner i cellene som kunne føre til brann. Litium-ion batterier har en katode som er et Litium metall oksid, en kjemisk sambinding med litium atomer. Det finnes mange varianter av Li-ion batterier, der det er mange variasjoner av litium metall oksid i katoden og elektrolytten. (Rhan & Wang, 2012)

2.2.1 Litium-ion sekundær batterier

Litium-ion batterier har skilt seg ut fra andre typer batterier grunnet sin kompakte energi kapasitet, letthet og oppladbare egenskaper. Litium-ion er en batterikategori av typen sekundærbatterier som benytter redox-reaksjonene til litium for lagre og utlade battericellene. Litium-ion batteriet er et resultat av litium-metall batteriets sikkerhets problemer. Litium-ion sekundær batterier kan deles inn i to typer, det som skiller disse fra hverandre er typen elektrolytt og cellebeholder. Litium-ion batteriet med flytende elektrolytt er typen som blir omtalt som Litium-ion batteri. Den andre typen er Litium-ion-polymer batteri, eller populært kalt «Lipo». Lipo batteriet skiller seg fra andre litium-ion-batterier ved at Lipo benytter en polymer som elektrolytt. Det brukes flere forskjellige polymer i batterier, det kan benyttes både tørr eller gele polymer. Grunnet bruken av denne varianten av elektrolytt har Lipo batteriet noen andre egenskaper enn andre litium-ion-batterier. Det som kjennetegner Lipo batterier er aluminiums posen som Lipo batterier benytter som cellebeholder, Lipo kan også ha rigide beholdere. Elektrolytten og aluminiums posen gir muligheten til å lage veldig tynne og fleksible celler. Litium-ion

batterier benytter seg av rigide cellebeholder av aluminium i sylindriske og prismatisk form. (Battery University Group, 2017)



Figur 1: Li-ion batteri illustrasjon figuren er reproduisert med inspirasjon fra (Samsung SDI, u.d.) og (Ren, et al., 2017)

Litium-ion batteriers består av to elektroder, elektrolytt, separator og cellebeholder. Elektrodene ligger på hver sin side med separatore i midten, mellom separator og elektrodene ligger batteriets «medie» elektrolytten. I Li-ion batterier er Litium metall oksid (LiMO_2) og litiert karbon (Li_xC) de aktive materialene i elektrodene. Elektrodene er plassert i hver sin ytterkant av cellen. Som en del av elektrodene har batteriet en leder til hver av dem. Dette er en kopper-plate på anoden og aluminium-plate på katoden. Elektrodene er separert med en elektrolytt i form av veske eller polymer. Elektrolytten består av organisk løsemiddel og litium salter. Elektrolytten i batteriet benyttes til å diffusere litium ioner mellom de motsatt ladede elektrodene. Når et grafittmateriale er interkalært, ligger Li-ionene mellom lagene til grafitten. (Rhan & Wang, 2012) Katode defineres som den positive ladede elektroden ved utlading. Selv om ladningen på elektrodene er motsatt ved opplading, skifter ikke elektrodene navn ved reversert strømning. Katoden i et Li-ion-batteri er litium kilden, ved lading av batteriet vil det oppstå oksidasjon i katoden. Ved oksidasjon blir det avgitt elektroner som føres til den positive ladede anoden via en leder. Litium vil da bryte bindingen og litium-ionet vil føres over til anoden. Dette er reversibelt og vil virke i motsatt retning ved utlading. Litium-ion celler kan benytte forskjellige materialer i katoden, avhengig av ønsket egenskaper for batteriet. Vanlige materialer benyttet i katoder er LiCoO_2 eller LiFePO_4 , LiMn_2O_4 og LiNiO_2 . Litium kobolt oksid var det materialet som ble først suksessfullt benyttet i Li-ion katoder og benyttes fortsatt i de fleste Li-ion celler. (Qingsong Wang, 2012, p. 214) Katodens materiale er avgjørende for hvilke egenskaper batteriet skal ha, det påvirker kostnad, sikkerhet, spesifikk energi, spesifikk kraft, oppførsel og levetid. Anoden er den negative elektroden i en ladet Li-ion celle og består som oftest av grafitt. Grafitt er en av de naturlige «formasjonene» av karbon. Grafitt er et interkalært materiale som gjør at anoden reversibelt kan ta opp Li-ionene. Separatoren er en passiv komponent i cellen, det er ingen kjemiske reaksjoner mellom separatore og de andre delene av batteriet. Separatorens rolle i cellen er å isolere den negative og positive elektroden, og tillate gjennomstrømning av litium-ioner under lading og utlading. Separatoren kan være av ulikt materiale, porøs polymer membran, non-woven og kompositt separator. Der porøs polymer membran varianten er den mest vanlige separatortypen i Li-ion batteri celler. (Hoang, 2010)

2.3 Batteribrann

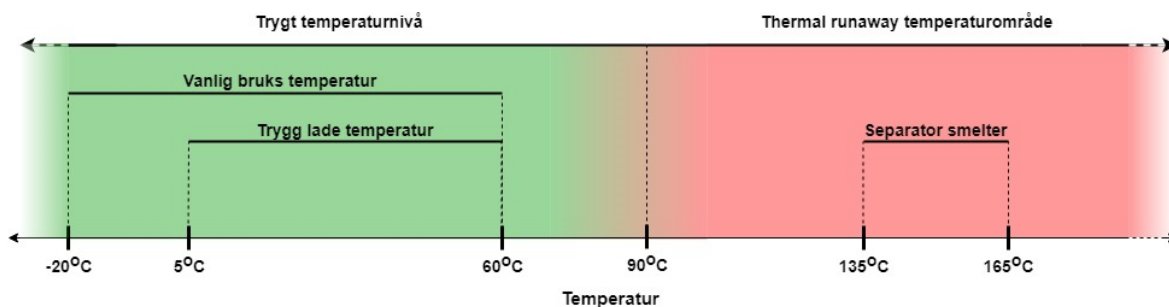
2.3.1 Thermal runaway

Thermal runaway oppstår som en følge av en rekke eksoterme reaksjoner som på forskjellige måter bidrar til varmeøkning i battericellen. Når den kjemiske varmegivelsen er større enn varmeavgivelsen til cellen har thermal runaway oppstått. Disse reaksjonene oppstår når enkelte komponenter oppnår kritiske temperaturer. Thermal runaway kan deles inn i 4 stadier. For at disse stadiene skal slå inn må cellen oppnå en uønsket høy temperatur. Dette kan forårsakes av overlading, indrekortslutning eller overoppheting. Når disse stegene inntreffer avhenger av flere aspekter, slik som materialene benyttet i cellen, form, design, ladenivå (SOC) og alder. (Abada, et al., 2018) Dette er batteriets termiske stabilitet, der en høy stabilitet betyr det må en høy økning i temperatur før de nedbrytende reaksjonene oppstår. SOC har en stor påvirkning på om thermal runaway oppnås og alvorlighetsgraden, Golubkov (2015) sine forsøk viste at utladede batterier ikke oppnådde thermal runaway og at høyere SOC førte til kraftigere thermal runaway ved at dette frigjorde større mengde oksygen slik at forbrenningen av elektrolytten hadde lettere tilgang på oksygen ved forbrenning. Når ett av eksoterme stadiene inntreffer vil den økte varmen kunne utløse alle de andre stadiene. Dette medfører en voldsom temperaturøkning. Ved thermal runaway vil temperaturer være så høye at varmespredningen til nærliggende celler kan aktivere thermal runaway for disse cellene også om batteriet ikke avkjøles.

Tabell 1: De fire stadiene av thermal runaway (Abada, et al., 2018)

| DE FIRE STADIENE AV THERMAL RUNAWAY | | | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------|------------|--------------------|-------|--------------------|-------|----------------------------------|-------|---------------------|-------|
| SEI NEDBRYTING | Det første stadium i thermal runaway er nedbryting av SEI filmen, avhengig av cellens kjemi vil denne reaksjonen oppstå mellom 90 °C og 120 °C. | | | | | | | | | | |
| NEGATIV ELEKTRODE/ELEKTROLYTT REAKSJON | Det andre stadiumet oppstår etter første stadiumet når SEI filmen brytes ned og gjør det mulig at elektrolytten kan reagere med det aktive materialet i den anoden (negative elektroden). Elektrolytten reagerer voldsomt med det aktive materialet og akselererer varmeøkningen. | | | | | | | | | | |
| POSITIV ELEKTRODE NEDBRYTING | Tredje stadium er noe som slår inn når katoden (positiv elektrode) oppnår høy nok. Materialet i katoden brytes ned når materialet oppnår en materialspesifikk kritisktemperatur. Denne reaksjonen frigjør oksygen ut i elektrolytten, som tillater antennelse når den organiske væsken i elektrolytten når sin antennelses temperatur. | | | | | | | | | | |
| | KRITISKE TEMPERATURER | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Elektrode materiale</th> <th>Temperatur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LiNiO₂</td> <td>180°C</td> </tr> <tr> <td>LiCoO₂</td> <td>200°C</td> </tr> <tr> <td>LiMn₂O₄</td> <td>220°C</td> </tr> <tr> <td>LiFePO₄</td> <td>240°C</td> </tr> </tbody> </table> | Elektrode materiale | Temperatur | LiNiO ₂ | 180°C | LiCoO ₂ | 200°C | LiMn ₂ O ₄ | 220°C | LiFePO ₄ | 240°C |
| Elektrode materiale | Temperatur | | | | | | | | | | |
| LiNiO ₂ | 180°C | | | | | | | | | | |
| LiCoO ₂ | 200°C | | | | | | | | | | |
| LiMn ₂ O ₄ | 220°C | | | | | | | | | | |
| LiFePO ₄ | 240°C | | | | | | | | | | |
| LITIUMSALT NEDBRYTING | Fjerde stadiet er når temperaturen til elektrolytten overstiger ca. 200°C. Litiumsaltene i elektrolytten brytes ned som fører til videre akselerasjon av temperaturøkningen. | | | | | | | | | | |

Thermal runaway kan lede til enkel ventilering og røykproduksjon eller i verste fall eksplosjon og brann. Konsekvensene av thermal runaway avhenger av batteriets kjemi, SOC, størrelse og cellebeholder. Om cellebeholderen har lett for å ventilere ut trykkes etter som det bygger seg opp vil konsekvensene begrenses. Ventileringen vil da slippe ut gassen gradvis, denne gassen kan antenne om temperaturen er høy nok. Hvis batteriet ikke ventilerte tidlig nok vil gassen antenne grunnet den høye temperaturen og trykket. Dette omtales som «venting with flame». Ved posebatterier der de ikke er noen ventileringmulighet avhenger det av at posen revner før slike trykk- og temperaturnivåer oppstår for å unngå at batteriet ventilerer med flammer. I batterier der ventilering ikke er tilrettelagt vil batteriet revne når trykket er for stort, og ventileringen er voldsom når den først skjer. Batteriet vil eksplodere om trykket bygger seg opp slik at beholderen sprekker, da vil all den brennbare komprimerte elektrolytten ekspandere og antenne. (University of Washington, 2018)



Figur 2: Gjennomsnittlige temperatur grenser for Li-ion batterier

2.3.2 Overlading

Overlading er når en battericelle blir ladet videre etter at cellen har oppnådd sin tilberregnede spenning. Dette er et fenomen som forhindres ved å benytte en cellbalanser for å unngå ujevn spenning i de forskjellige cellene i batteripakken. I en 12 Volt batteripakke med tre 4 Volts battericeller som lades uten en celle balanser, kan hver battericelle oppnå ulike spenninger. Der den samlede spenningen er nådd 12Volt, men enkeltceller kan lades opp til over 4 Volt. Disse cellene er da overladet. Dette kan også oppstå ved jevne celler om lading ikke avbrytes av et batteri management system. Når en celle lades utover det den er ment for, vil litium-ionene fortsette å overføres til anoden. Når anoden oppnår sin maksimale kapasitet, vil ikke litium-ionene kunne føres inn i (interkalæres) grafitten. Litiumet blir da avsatt på anoden som litium-metall elektroplettering. Om ladingen fortsetter etter dette punktet vil litiumet fortsette å bygge seg opp og forme dendritter. Disse dendrittene er grenformasjoner som vil vokse hver gang overlading oppstår. Dendrittene kan punktere separatorene og forårsake indre kortslutning mellom negativ og positiv elektrode. (Jordan, 2013)

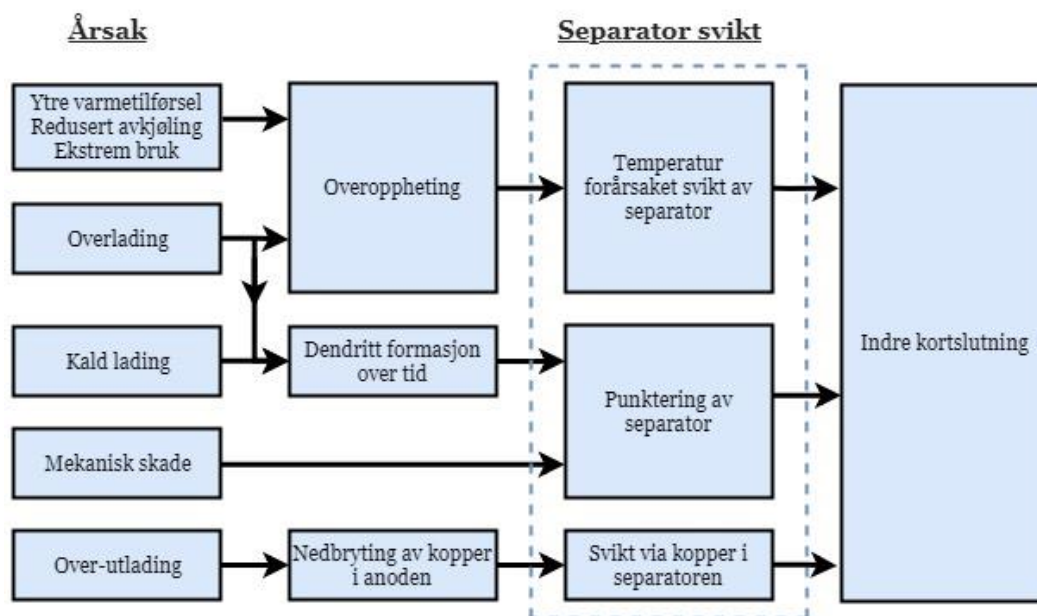
Ved et scenario der batteriet overlades og det lades frem til svikt. Vil varmen øke når spenningen overstiger batteriets maksimale spennings kapasitet. Når overladning i cellene øker enda mer, vil metall ionene i katoden oppløse seg og elektrolytten vil starte å oksidere. Samtidig som disse reaksjonene foregår vil litium-metall fordele seg på overflaten til anoden, dette oppstår når grafitten har nådd sitt maksimale nivå av interkalært litium. Det avsatte litium-metallet reagerer med SEI laget og bidra til at laget blir tykkere og den indre motstanden i batteriet øker. Ettersom temperaturen øker, øker trykket i batteriet. Når den økte temperaturen forårsaket av overladingen er høy nok vil sette i gang stadiene i thermal runaway. Battericellen oppnår etter hvert et slikt varme eller trykknivå at separatorene svikter og skaper en indre kortslutning i cellen. Dette slipper fri alt av lagret elektrisk energi i battericellen. (Ren, et al., 2017; Ren, et al., 2017)

2.3.3 Overutlading

Når et batteri når sin nedre grense for utlading, bør utlading stanses for å forhindre overutlading av cellene. Hvis batteriet ikke har «funksjon/komponent» som forhindrer overutlading, vil kopper anoden begynne å løse seg opp. Disse kopperpartiklene som frigis ut i elektrolytten vil kunne punktere den tynne separatorene og forårsake indre kortslutning. Denne reaksjonen kan oppstå og allikevel ikke føre til kortslutning, mengden kopper nødvendig for kortslutning varierer. (Jordan, 2013) Konsekvensene av overutlading vill ikke utarte seg før batteriet blir ladet opp og det er energi i batteriet som kan frigis som varme. Overutlading kan oppstå ved at det ikke blir ladet, batteriet vil tappes over tid.

2.3.4 Indre kortslutning

Indre kortslutning er kortslutning mellom katode og anode i en battericelle. Dette oppstår når separatorene mister sin funksjon og det oppstår kortslutning mellom elektrodene. Hvis separatorene skades vil kortslutningens oppførsel være avhengig av skadens størrelse. Kortslutningen starter som regel i det små der det kun tillates en liten strøm av elektrisitet som føres igjennom separatorene. Varmen som dette frigjør vil da kunne smelte separatorene videre og føre til en større skade. Motstanden mellom polene er da kun motstanden i elektrolytten, dette tillater en stor elektrisk strøm gjennom elektrolytten. Dette kan føre til en stor varmeproduksjon i elektrolytten hvis batteriet har tilstrekkelig med elektrisk lading. Om batteriet har nok energi kan dette sette i gang thermal runaway.



Figur 3: Årsak til separator svikt

Dendrittformasjon

Dendrittformasjon i elektrolytten kan føre til indre-kortslutning. Dette kan oppstå ved overlading, lading ved lav temperatur eller ved for hurtig lading. Elektroplattering oppstår når Li-ionene ikke blir interkalært inn i anoden, men legger seg på utsiden i form av Li-metall. Hvis disse uønskede forholdene er tilstede gjentatte ganger ved lading, vil dendrittformasjoner vokse ut fra anoden. Dette er grener som kan skape kortslutning mellom elektrodene ved å penetrere separator. (Hendricks, Williard, Mathew, & Pecht, 2015) Kraftig dendrittformasjon kan forårsakes av lave temperaturer. Med lave temperaturer menes ca. 5 °C og lavere. Lave temperaturer har elektrolytten en høyere viskositet og SEI laget blir tynnere, dette øker dendrittformasjonen i battericellen. Hvor lett slike formasjoner etablerer seg avhenger også av elektrolyttens sammensetning, fordi dette påvirker SEI laget der dendrittformasjonen starter å vokse. Hurtigheten til dendrittens vekst avhenger av temperatur, der høy temperatur reduserer veksten av dendritter. (Kong, Xing, & Pecht, 2018) (Jordan, 2013)

Overoppheting

Overoppheting er når temperaturen går over de brukstemperaturen batteriet er beregnet for, årsaken til overoppheting kan forårsakes av flere eller enkelte grunner. Overoppheting er ikke nødvendigvis farlig for batteriet, men dette er temperaturnivåer der videre temperatur økning kan føre til skadelige forhold. De skadelige forholdene er brudd i separator og de eksoterme reaksjonene som leder til thermal runaway. De vanligste separatorene er polyetylen og polypropylen i celler med 3Ah eller mindre. Overgangstemperaturen til disse materialene ligger på 135 °C og 165 °C, dette er når separatoren vil miste sin struktur og svikte. (Ordendorff, 2012)

Mekanisk skade

Når en battericelle blir skadet kan dette forårsake indre kortslutning, ved å skade separatoren som isolerer elektrodene. Separatoren kan bli skadet av enten penetrering av celle og separator eller voldsomme slag, støt, ristninger og klemskader som kan skade selve separatoren. Standard litium-ion celler har et hardt ytre som beskytter cellen til en viss grad. Dette gjør cellene mer motstandsdyktig for skader på cellen. Litium-ion polymer batterier er en mer fleksibel innpakning med sitt velkjente aluminium folie ytre. Li-ion polymer batterier har et større behov for ytre beskyttelse. Produktet som battericellene er plassert inn i er avgjørende for batteriets beskyttelse mot skader. (Jordan, 2013)

2.3.5 Ytre kortslutning

Kortslutning kan oppstå på utsiden av battericellene også.. Når denne kortslutning oppstår vil kretsen ha en meget lav elektrisk motstand (ohm) og det vil bli ført en høy strømstyrke gjennom kortslutningen. Energien vil frigjøres som varme og med høy strømstyrke vil kortslutningen kunne virke som tennkilde. Kortslutning oppstår når det skapes en fysisk kontakt mellom to motsatt ladede ledere. I en batteripakke kan dette skje av ulike årsaker slik som at batteriets kontakter kommer i fysisk kontakt med et ledende materiale eller batteriets isolerende komponenter blir skadet, noe som tillater elektrisk kontakt mellom ledere.

2.3.6 Aldring

Når man ser på hvordan alderen til batteriet påvirker batteriets sikkerhet, kan man dele det inn i to deler. Den første delen er hvordan sikkerheten har blitt brutt ned over tid uavhengig av bruk og gjennomførte ladesykluser. Den andre delen er det som har påvirket sikkerheten grunnet bruk. Ved sammensetning av litiumbatterier reagerer elektrolytten med grafitten i anoden og etablerer SEI lag på anoden. Etableringen av SEI laget reduserer batteriets kapasitet, men bidrar til å begrense videre reaksjon mellom elektrode og elektrolytt. Når batteriet gjennomgår ladesykluser vil elektrodene oppleve sammentrekning og ekspansjoner. Dette eksponerer nye overflater til elektrolytten og SEI former seg videre og fører til videre reduksjon i batterikapasitet. Dette er hvordan batteriets kapasitet reduseres via utlading og lading, reduksjonen i kapasitet er ikke reversibel. (Hendricks, Williard, Mathew, & Pecht, 2015) Alderens påvirkning på batteriets sikkerhet avhenger av hvilke materialer som benyttes og hvordan egenskapene til disse endrer seg over tid. Materialenes termiske stabilitet har en stor påvirkning på batteriets sikkerhet, siden den termiske stabiliteten avgjør når de forskjellige eksoterme reaksjonene inntreffer. Eksperimenter beskrevet i (Abada, et al., 2018) viser at eldre LiFePO₄ (LFP) battericeller oppnår thermal runaway ved en lavere temperatur enn ferske celler. Dette er forsøk utført på LiFePO₄ celler der aldringsprosessen er akselerert ved å lagre dem på 60 °C. LFP katode anses som den mest termiske stabile katoden med en eksoterm reaksjon start temperatur på over 240 °C. Aldringen ble definert som kapasitet tap, der 80% resterende kapasitet ofte defineres som «end of life» selv om batteriet kan benyttes lenge etter dette. En tilsvarende forskningsrapport (Röder, et al., 2014) beskriver et forsøk gjort på celler med LiMn₂O₄ og Li(Ni_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3})O₂ som katodemateriale. Der samme akselerert aldringsmetode ble benyttet. De kunne konkludere med at eldre battericeller har en økt oppvarmings rate ved temperaturer over 200 °C enn nye celler. Den økte overflatearealet til katoden som er grunnen til dette, siden eldre katoder vil sprekke opp og eksponere nye overflater og akselerer den eksoterme reaksjonen. I dette tilfellet var starttemperaturen for den eksoterme reaksjonen på den aldrede anoden

lavere, dette skyldes at SEI laget er mer nedbrutt i gamle batterier. Aldringens effekt akselerer ved høye temperaturer og avhenger av SOC. Et batteri er under minst påkjenning ved SOC på 30-50%, dette er årsaken til at det anbefales at batterier skal lagres på 40%.

Dendrittformasjon er noe som formerer seg over tid ved gjentatte ladesykluser under uønskede forhold. Ved bruk med lite hensyn til batteriets sikkerhet vil sjansen for indre kortslutning via dendrittformasjoner øke med alderen.

Elsykler sin levetid er begrenset og avhenger av kvalitet på de ulike komponentene. Sykkelen i seg selv kan brukes i flere titalls år med vedlikehold og utbytting av slitedeler. Avhengig av kvalitet og bruk vil batteri kunne vare i 2-5 år før det er behov for å bytte ut batteriet. Batteriet vil fortsatt ha mange år igjen med bruk, men etter 5 år med bruk vil kapasiteten være kraftig redusert. Motor estimeres også til å vare i 2-5 år avhengig av kvalitet og bruk, men i motsetning til batterier er det vanligere at produsent tilbyr 5 års garanti på motorer. Både batteri og motor har en potensiell lengre levetid, men 10 år vil nok være det begrensende bruksårstallet for de fleste elsykler. Å bytte ut motor etter garantiens utløp er uvanlig, så levetiden til motor kan defineres som levetiden til en elsykkel. (André Sæther, personlig kommunikasjon, mars 2019)

2.3.7 BMS

Battery management system er hardware and firmware som kan bidra til å opprettholde sikkerheten til batteripakker. BMS benyttes ikke hos alle batteripakker, men er blitt en vanlig komponent i sekundærbatteripakker. BMS funksjon og bruksmåte kan variere fra batteri til batteri avhengig av kvalitet og produkttype, men en avansert BMS er et godt tiltak for å opprettholde sikkerheten til batteriet. BMS er en liten datamaskin integrert i batteripakken som loggfører, behandler dataen og styrer batteriet etter de forholdene batteriet er utsatt for. BMS har mulighet til å kontrollere og justere slik at cellen har lik spenning og unngår at cellene overutlades eller overlades. En av de viktigste funksjonene som BMS har er å kalkulere ladningen til batteriet (SOC), som er hvor stor andel av batteriets maksimale kapasitet batteriet har igjen. SOC kan kalkuleres ved å måle spenning, elektrisk strøm, temperatur og alder. Når BMS har kontroll på SOC til batteriet vil BMS kunne forhindre at batteriet går utenfor batteriets grenser for SOC, med andre ord unngå overlading og overutlading. BMS bruker SOC til å utlede maksimal lade og utlading strøm, slik at batteriet ikke lades til overlading eller overutlades. Lade og utlading strøm påvirkes av temperatur, spenning og SOC, dette kompenserer BMS for, slik at det ikke oppstår uønskede forhold i cellene. BMS måler og kontrollerer temperaturen til batteriet, ved å måle temperatur på enkeltceller og ambient temperatur. Ved avanserte batterisystemer vil BMS kunne aktivere og deaktivere temperaturkontrollerende funksjoner etter behov. Det vanligste innen forbruker teknologi er at avkjøling av batterier foregår via naturlig varmeoverføring, uten bruk av vifter eller ekstern oppvarming. Da er batteriet avhengig av at BMS forhindrer at batteriet brukes ved kritiske temperaturer. Eksempel på dette er når batteriet har oppnådd en såpass høy temperatur at videre bruk kan skade batteriet, eller at temperaturen er så lav at lading kan sette i gang dendrittvekst. Hvis BMS er forberedt på å takle slike tilfeller kan den stoppe batteriet fra å lades eller utlades. (Cheng, Divakar, Wu, Ding, & Ho, 2010)

2.3.8 Produksjon og kvalitet

Ved produksjon er det viktig for batterienes sikkerhet at produksjon foregår med høyt fokus på å forhindre at cellene blir forurenset av partikler. Metallpartikler er spesielt skadelig siden det kan skape kortslutning hvis dette legger seg mellom elektrode og separator. Dette er partikler som lett kan oppstå i en produksjon. Metall partikler kan skape kortslutning i cellen. Fuktighet må også unngås i cellene siden H₂O vil reagere med Li-ion saltene i elektrolytten og akselerere aldringsprosessen til batteriet. Andre ikke-ledende partikler er uønsket, men er en mindre alvorlig forurensning. (ELIBAMA) For å opprettholde en slik høy kvalitet på battericellene medfører det ekstra kostnader. Kvaliteten til batteripakker avhenger av mange ting, de forskjellige komponentene produseres som regel hver for seg

og monteres i etterkant. Kvaliteten til et hvert produkt avhenger av hvilke egenskaper som er ønsket og hvilke kostnader som dette krever. Med tanke på sikkerhet og kvalitet er det opp til LEV produsent i hvilke egenskaper og sikkerhetsfunksjoner som de ønsker i sitt produkt.

2.3.9 Skadefrembringende bruk

Skadefrembringende bruk kan fremkomme i mange former, av ulik art og alvorlighetsgrad, gjerne er dette grunnet uforsiktighet eller manglende kunnskap. Lading er en av de grunnleggende funksjonene til et batteri, men det er også en risiko ved lading. Lading i seg selv vil frigjøre varme, denne varmen er begrenset og vil ikke alene føre til skadelige temperaturnivåer. Hvis batteriets lade-varme kombineres med at varmen ikke transporteres vekk fra cellene, ved at batteriet tildekkes eller blir tilført varme fra andre kilder kan dette skade battericellene. Ladevarmen kan skade batteriet hvis det lades med feil lader som benytter en høyere ladestrøm, enn batteriet er ment for. Ved for høy ladestrøm vil det bli unaturlig varmt og dendrittformasjon vil starte å forme seg. Dette er fordi det transporteres Li-ioner raskere enn anoden kan ta imot, det legger seg da på utsiden av anoden. Høy ladestrøm kan forårsake overoppheting og thermal runaway enten under lading eller over tid ved dendritter som kortslutter cellen. (Amietszajew, McTurk, Fleming, & Bhagat, 2018) Lading ved lave temperaturer akselerer også dendrittformasjon, dette er temperaturer under 5 °C. Hvis det har oppstått kortslutning i et utladet batteri vil konsekvensen av dette ikke vise seg før det lades. Når det lades vil varmen bygge seg opp grunnet kortslutningen.

Mekaniske skader er påført ved sammenstøt, deformasjoner eller vibrasjoner. Slike skader er alvorlige for batteriet sikkerhet. Batterier benyttes i mobile enheter, som er sårbare for slike skader. LEV har i tillegg påkjenningene som trafikk og høye hastigheter kan påføre. Batteriene kan bli deformert eller penetrert slik at cellen kortsluttes. Batteriets barriere mot fukt og veske er ofte begrenset, dette kan ødelegges i sammenstøt. Dette kan svekke sikkerheten over tid ved at det tillater korrosjon av batteriet eller forårsake kortslutning. BMS kan også bli skadet slik at den ikke fungerer som ment og selv om batteriet celler ikke er skadet kan det oppstå skadelige forhold da BMS ikke lenger er i stand til å passe på batteriet. Innen LEV er det ikke uvanlig at batteriene er avtakbare, dette eksponerer batteriets kontaktpunkter. Batteriene må behandles med forsiktighet siden dette kan forårsake kortslutning om batteriets kontakter kommer i kontakt med noe ledende. Dette er som regel noe som kan unngås ved at batteriet har en barriere som forhindrer at kontaktene kan lede strøm uten at det er tilkoblet lader eller batteri. Det bør allikevel ikke legges sammen med ledende materiale for å unngå at batteriet kortsluttes. Batteriene kan skades av å ikke være i aktivitet ved at batteriet naturlig vil utlades, batteriet krever at det vedlikeholdes. Vedlikeholds lading sørger for at batteriet ikke utlader seg helt og man unngår overutlading. Batteriet har det best ved 30-50% SOC så dette er nivået som batteriet bør oppbevares ved. Overutlading kan oppstå ved selvutlading, dette er en fare ved langvarige pauser fra bruk av enhet. Dette er også noe som kan skape brann ved at man tar i bruk enheter som man har sluttet å bruke for lenge siden. Siden pris på batterier til LEV er en stor andel av total verdi på et produkt har det oppstått en etterspørsel etter utbytting av battericeller. Å bytte ut cellene med billigere celler er en måte å spare penger istedenfor å kjøpe nytt originalbatteri når batteriets kapasitet har blitt redusert. Et bekymrings element ved dette er manglende kompatibilitet mellom original BMS og nye uoriginale celler. Slike batterier kan ha en lavere sikkerhet ved at BMS og celler ikke er optimale sammen og ikke kan forhindre uønskede forhold. Slik utbytting av celler er noe LEV produsenter advarer mot å gjøre. (Norsk Bosch representant, personlig kommunikasjon, juli 2018)

3 Metode

3.1 Litteratur og statistikk

For å svare på problemstillingene er det et behov for innsamling av statistikk for branner knyttet til lette elektriske kjøretøy. Slik statistikk er mangelfull. Ved prosjektets start var det ingen publisert brannstatistikk for denne produkttypen. Det var da behov for å samle denne statistikken fra ulike databaser. For å få en større mengde hendelser, ble det søkt etter statistikk for Norge, Sverige, Danmark og Nederland. Nederland ble valgt å se nærmere på grunnet sin særegne sykkelkultur.

Ved innsamling av brannstatistikk ble etater i Norge, Sverige, Danmark og Nederland kontaktet for å etterspørre nasjonale brannstatistikk. I Norge var det Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) som kunne tilby slik informasjon via BRIS databasen. I Sverige var det Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). I Danmark var det Beredskabsstyrelsen som kunne gi ut statistikk fra databasen Online Dataregistrerings- og Indberetningssystem (ODIN). I Nederland fantes det ikke en slik database på nasjonalt nivå. Det beste de hadde lett tilgang på var en rekke Li-ion batteri branner som var dokumentert via media og samlet inn av en hazmat-offiser i Amsterdam-Amstelland brannvesen. I tillegg ble det gjennomført et media søk med Atekst gjennom norske aviser der det var elleve hendelser i 2017-2018. Dette ga fire hendelser som ikke hadde dukket opp i BRIS databasen. For alle hendelsene som dukket opp i media ble det kontaktet det relevante brannvesenet for å høre om de hadde informasjon om hendelsene. Dette ga resultater ved fem hendelser der det var tilgjengelig annen informasjon enn den som var i BRIS. De nye hendelsene og nye informasjonen ble lagt til statistikken fra BRIS. Fra mediasøket var det to av hendelsene branner som oppstod i sykkelbutikker, dette ga muligheten til å prate med personer som hadde opplevd LEV batteri branner. Det ble da gitt hendelses beskrivelser fra disse ved én av hendelsene via telefonintervju.

Statistikkøket som ble gjennomført, der det ble samlet inn informasjon om antall branner knyttet til lette elektriske kjøretøy, ga resultater av ulik art. Både i kvalitet og form. I Norge og Sverige ble det mottatt detaljert informasjon om alle hendelser som passet overens med søkeordene sendt til DSB og MSB. Blant denne informasjonen var det dato for hendelsen, hendelse beskrivelse, årsak og produkttype. Kvaliteten på denne informasjonen var varierende fra hendelse til hendelse. For eksempel var det flere av registrerte hendelsene der produkttype var uspesifisert eller beskrivelsen var så vag at det var vanskelig å avgjøre om hendelsen var relevant for oppgaven. Fra Beredskabsstyrelsen i Danmark var statistikken som var tilgjengelig av en annen karakter. Av totalt 15 registrerte hendelser var det kun to branner som kunne identifiseres at lette elektriske kjøretøy var involvert. Bruksvennligheten til den danske statistikken er veldig dårlig og har blitt utelatt i grafene.

Denne statistikken ble deretter behandlet slik at alle hendelser som ikke omhandlet LEV branner ble sortert ut, dette etterlot kun de hendelsene som var forårsaket av LEV. Deretter ble statistikken delt inn i to kategorier. Elsykkel og alle de resterende lette elektriske kjøretøyene. Dette er fordi elsykkel er en så distinktiv type LEV at det var lett å skille de fra de andre LEV. Den andre kategorien som inneholdt alle lette elektriske kjøretøy som ikke var sykkel, var noe vanskeligere å dele opp i flere kategorier siden det er mange forskjellige uttrykk som benyttes for samme produkt og mange forskjellige produkter som blir omtalt med samme navn. Resterende LEV som ikke er elektriske sykler blir omtalt som «små elektriske kjøretøy» (SEV) slik som det gjøres i forskrift om krav til elsykkel. Statistikken deles også opp i hendelser som oppstår under lading.

For å ha noe å sammenlikne brannene med ble det også søkt etter statistikk som kunne beskrive antallet LEV i landene. Det ble ikke funnet salgsstatistikk eller importstatistikk for LEV generelt. Dette ble gjennomført for elsykkel siden dette er et særegent produkt som lett skilles fra andre lette elektriske kjøretøy. I Norge hadde Elbilforeningen gjennomført innsamling av salgstall til flere større aktører innen elsykkelsalg. Det var da tilgjengelig salgstall for 2014-2016. Norske import tall kan hentes fra Statistisk sentralbyrå sine nettsider og ligger under varekoden 87116002 som inneholder statistikk for 2017-2018. I Sverige var import tallene tilgjengelig på Statistiska Centralbyrå under varekoden 87116010 og

inneholdt statistikk for 2017-2018. Dansk importstatistikk var tilgjengelig på Danmarks Statistik sine nettsider under varekodene 87116010 og 87119010 som inneholder statistikk for 2012-2018. Nederlandsk elsykkelstatistikk er fra Bovag som har publisert en rapport over sykkelstatistikk for Nederland for 2018-2019, denne inneholder statistikk for elektriske sykler fra 2010 til 2017.

3.1.1 Oversikt over innsamlet statistikk

Tabell 2: Oversikt over innsamlet statistikk, Norge

| Beskrivelse | Kilde | Søkeord |
|--|---|---|
| Norge | | |
| Brannstatistikk for LEV i Norge 2016-2018 | Tilsendt av direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, 2019) | Lithium, litium, Li-ion, Litium-polymer, li-po, Elsykkel, El-sykkel, elektrisk sykkel, Hoverboard, hoverboard, Balance scooter, ståhjuling, ståbrett, Selvbalanserende, airwheel, Elektrisk sparkesykkel, elscooter |
| LEV branner mediasøk | Eget søk gjennom Atekst | Lithium, litium, Li-ion, Litium-polymer, li-po, Elsykkel, El-sykkel, elektrisk sykkel, Hoverboard, hoverboard, Balance scooter, ståhjuling, ståbrett, Selvbalanserende, airwheel, Elektrisk sparkesykkel, elscooter |
| Hendelses beskrivelse av hendelse 1 Intervju | Samtale med butikksjef Vedlegg 1 | |
| Hendelses beskrivelse av 2 LEV branner. Vestfold IKS Facebook innlegg | Vestfold Interkommunale Brannvesens Facebook side (Vestfold Interkommunale Brannvesen, 2018) | |
| Hendelses beskrivelse av brann Utryknings- rapporter Fredrikstad brann- og redningskorps | Utrykningsrapporter tilsendt fra Fredrikstad brann og redningskorps | |
| Importstatistikk for elsykler inn i Norge 2017-2018 | (Statistisk sentralbyrå, 2019) | Varekode: 87116002 Sykler med elektrisk fremdriftsmotor |
| Salgsstatistikk for elektriske tråsykler 2014-2016. Sist endret 31.12.2016 | (Norsk Elbilforening, 2016) | |
| Bilpark statistikk for kjøretøy med el som drivstofftype i Norge | (Statistisk sentralbyrå, 2019) | Tabell kode: 07849 Drivstofftype, type kjøring og kjøretøygrupper (K) |

Tabell 3: Oversikt over innsamlet statistikk, Sverige, Danmark og Nederland

| Beskrivelse | Kilde | Søkeord |
|--|--|--|
| Sverige | | |
| LEV brannstatistikk for Sverige 2016-2018 | Tilsendt fra Myndigheten för samhällsskydd och beredskap | Litium, Lithium, litium-ion, lithium ion, Li-ion, Litium-polymer, li-po, el cykel, el-cykel, elcykel, Elektrisk cykel, Hoverboard, hooverboard, Elektrisk, sparkcykel, elscooter |
| Importstatistikk for elsykler inn i Sverige 2017-2018. | (Statistiska Centralbyrån, 2019) | Varekode: 87116010 Pedalassisterande cyklar, trhjulingar och fyrhjulingar med en elektrisk hjålmotor med en största kontinuerlig märkeffekt på <= 250 watt |
| Danmark | | |
| «el/hybridkjøretøj» brannstatistikk for Danmark. | Tilsendt fra Beredskabsstyrelsen sin Online Dataregistrerings- og Indberetningssystem (ODIN) | El/hybridkjøretøj |
| LEV Brannstatistikk for Danmark | Tilsendt fra Beredskabsstyrelsen sin Online Dataregistrerings- og Indberetningssystem (ODIN) | Lithium, litium, Li-ion, Litium-polymer, li-po, el cykel, el-cykel, elcykel, Elektrisk cykel, Hoverboard, hooverboard, Airboard, airwheel, Elektrisk Løbehjul, elscooter, elektrisk scooter, Pedelec |
| Importstatistikk for elsykler inn i Danmark 2012-2018. | (Danmarks Statistik, 2019) | Varekode 1: 87116010 To-, tre- og firehjulede pedalcykler, med elektrisk hjålpemotor med en kontinuerlig nominel effekt på ikke over 250 W Varekode 2: 87119010 Cykler, med en elektrisk hjålpemotor med en kontinuerlig nominel effekt <=250 W |
| Nederland | | |
| LEV branner fra media samlet av Hazmat offiser i Amsterdam- Amstelland brannvesen. | Jetty Middelkoop hos Branweer Amsterdam- Amstelland | |
| Nederlandsk elsykkel statistikk for 2010-2017 | (Bovag, Rai vereniging, 2018) | |

3.2 Statistikkens begrensninger

3.2.1 Styrker og svakheter med innsamlet statistikk

Statistikk fra de nasjonale databasene har en bedre pålitelighet, men er som oftest kun førsteinntrykk og ikke årsaks beskrivelse basert på etterforskning. Andelen branner som er registrert av det totale antallet er høy siden dette er etater med et varslingsystem. Det vil være hendelser som ikke er dokumentert siden det ikke ble rapportert inn til lokalt brannvesen. Brannstatistikk er komplisert fordi kvaliteten til statistikken avhenger av innsamlingsmetode, rapporteringssystemer, database oppbygging, interesse og hva som er avdekket i hvert enkelt tilfelle. Interesser og behov for statistikken forandrer seg over tid, informasjon som tidligere ikke var av interesse eller ikke kunne benyttes, kan ved senere tid bli en nødvendighet. Rapporteringssystemene er også avgjørende for kvaliteten og relevansen til informasjonen som blir rapportert. Når det gjelder brannstatistikk er det sjeldent at det blir differensiert mellom ulike typer elektriske årsaker. Dette gjør at det ikke er en enkel måte å få en oversikt over hvilke branner der batterier er innblandet. Statistikken benyttet i oppgaven er hendelser der lette elektriske kjøretøy anses som arnested. Ved de fleste tilfeller er det ikke gjennomført en omfattende etterforskning inn i brannens årsak, dette kan føre til at noen branner forårsaket av andre årsaker blir definert som en LEV brann i oppgaven, men i realiteten har spred seg til LEV. Siden det ofte mangler en kategori spesifikt for lette elektriske kjøretøy, er det ofte kun hendelsesbeskrivelsen som identifiserer om den er relevant for oppgaven. Det var begrenset med hendelser tilgjengelig, dette ble kompensert for ved å se på statistikk fra flere land. I de tilfellene der det var media rapporter for hendelsene ble det benyttet for å kompensere for manglende beskrivende tekst i BRIS, som kunne gjøre det enklere å få en forståelse av situasjonen.

Media statistikk har fordeler ved at det gir en god oversikt over hendelsen på et overordnet nivå, men kan ofte være partisk. Detaljene presentert i media er basert på hva journalisten mente var relevant for leseren. Dette kan føre til at detaljer er utelatt som kan ha vært relevant for oppgaven. Journalister har begrenset med brannkunnskap og dette kan ha en negativ påvirkning på statistikken. Kan ikke dekke alle hendelser som kan tilsi at media er kun en mindre andel av de totale hendelsene.

Salgs- og importstatistikk har sine svakheter ved at det er sykler som ikke er registrert. Mindre aktører har ikke registrert salget sitt, som vil si at det er salgstill som ikke er med i statistikken. Kvaliteten til denne statistikken avhenger av antallet deltager. Statistikken for 2017 ble ikke publisert siden det var for få deltagere. Nøyaktigheten til disse tallene avhenger av at det benyttes riktige varekoder ved import av varer. Varekodene for elektriske sykler er relativt nye og dette vil tilsi at det er en større mengde sykler importert før det var mulig å registrere nøyaktige statistikk. Bruken av salgstill og importtall var et godt tiltak for å få et bedre bilde av det reelle tallet, men salgstill var kun tilgjengelig for Norge. Styrker og svakheter med behandlingen av statistikk

Det er gjort en antagelse at alle lette elektriske kjøretøy benytter seg av Li-ion batterier og at alle kjøretøy i statistikkøk som ikke er beskrevet med andre spesifikasjoner bruker Li-ion batterier. Det kan være tilfeller der kjøretøyet bruker andre batterivarianter.

Importstatistikken og salgsstatistikken er akkumulert for å benytte som tall for å beskrive det totale antallet elektriske sykler i de ulike landene. Denne metoden for å anslå antall elsykler har svakheter. Denne metoden tar ikke med tap av sykler. Dette gjør antagelsen at de syklene som er solgt eller importert inn i landet forblir i landet. Det er heller ikke fjernet sykler grunnet alder. Det akkumulerte antallet elektriske sykler har en svakhet siden det ikke tar forbehold for reduksjon av elsykler. Levetiden til elektriske sykler er begrenset, brukstiden til en elektrisk sykkel avhenger av batteriets, drivsystemets og sykkelkonstruksjonens levetid. Det er ikke fjernet sykler i statistikken grunnet manglende statistikk på slike produkters levetid.

Inndelingen av hendelser i lading og ikke lading har svakheter ved at det kan være hendelser som ikke har blitt identifisert som lading. Kriteriene til denne statistikken er at hendelsene ble delt inn i lading og ikke lading, for at hendelsen skal kunne komme under kategorien «lading» måtte det bli nevnt at LEV eller batteri var tilkoblet lading. Alle andre hendelser som ikke hadde en beskrivelse eller ble presisert at det ikke var til lading, kom under kategorien «ikke lading». Dette gjør at andelen «lading» kan være enda større enn det som var mulig å identifisere. Det er ikke mulig å identifisere om batteriene faktisk mottok strøm når hendelsen oppstod.

Det har blitt gjort estimater for fremtidig antall branner og antall enheter. Ved elektriske sykler var det tilgang på statistikk over antall enheter, antall registrerte branner og et estimat over fremtidig elsykkelsalg. Estimater av antall branner for årene fremover hadde da et relativt godt grunnlag. Dette var ikke tilfelle for alle LEV branner, siden det ikke er tilgjengelig informasjon om det totale antallet lette elektriske kjøretøy. Var det heller ingen god måte å anta videre vekst av antallet LEV.

4 Funn

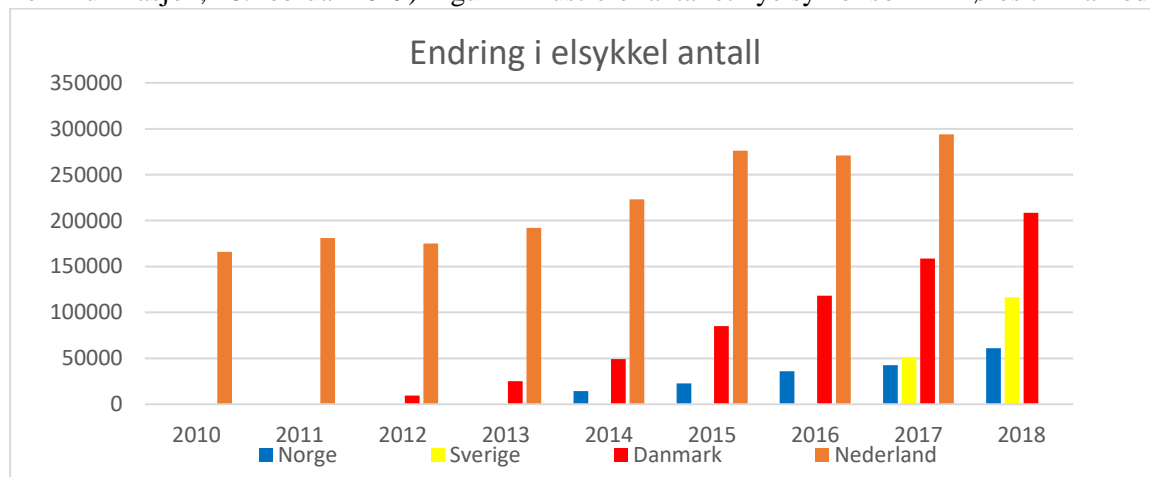
4.1 Elsykkel utbredelse

Det er samlet inn elsykkelstatistikk for Norge⁵, Sverige⁶, Danmark⁷ og Nederland⁸. Den norske statistikken er en kombinasjon av Salgsstatistikk for 2014-2016 og importstatistikk for 2017-2018. Svensk og dansk statistikk er importstatistikk. Den nederlandske er salgsstatistikk for 2010-2017. Tabell 4 viser det totale registrerte antallet elektriske sykler for hvert år, dette tar for seg kun elsykler som er registrert solgt eller importert, det er ikke kompensert for annen vekst eller fradrag.

Tabell 4: Elsykkel samlet import og salgsstatistikk for Norge, Sverige, Danmark og Nederland 2010-2018

| | | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Norge | Endring | - | - | - | - | 14341 | 22518 | 35965 | 42684 | 61185 |
| | Total | - | - | - | - | 14341 | 36859 | 72824 | 115508 | 176693 |
| Sverige | Endring | - | - | - | - | - | - | - | 51412 | 116431 |
| | Total | - | - | - | - | - | - | - | 51412 | 116431 |
| Danmark | Endring | - | - | 9319 | 25236 | 49237 | 84927 | 118177 | 158512 | 208352 |
| | Total | - | - | 9319 | 25236 | 49237 | 84927 | 118177 | 158512 | 208352 |
| Nederland | Endring | 166000 | 181000 | 175000 | 192000 | 223000 | 276000 | 271000 | 294000 | - |
| | Total | 166000 | 347000 | 522000 | 714000 | 937000 | 1213000 | 1484000 | 1778000 | 1778000 |

Fremtidig utbredelse innen elsykler varierer fra land til land, i Norge har Elbilforeningen som arbeider for å fremme miljøvennlig transport i sitt arbeid med Jobbsykkelen-prosjektet anslått at salget av elektriske sykler ville flate seg ut i 2018 og stabilisere seg på 60 000-70 000 sykler i året. Dette er en antagelse de fortsatt mener stemmer godt med dagens situasjon. (Hulda Tronstad, personlig kommunikasjon, 28. februar 2019) Figur 4 illustrerer antallet nye sykler som innføres til markedet.



Figur 4: Endring i elsykkel statistikk for Norge, Sverige, Danmark og Nederland 2010-2018

⁵ (Norsk Elbilforening, 2016) og (Statistisk sentralbyrå, 2019)

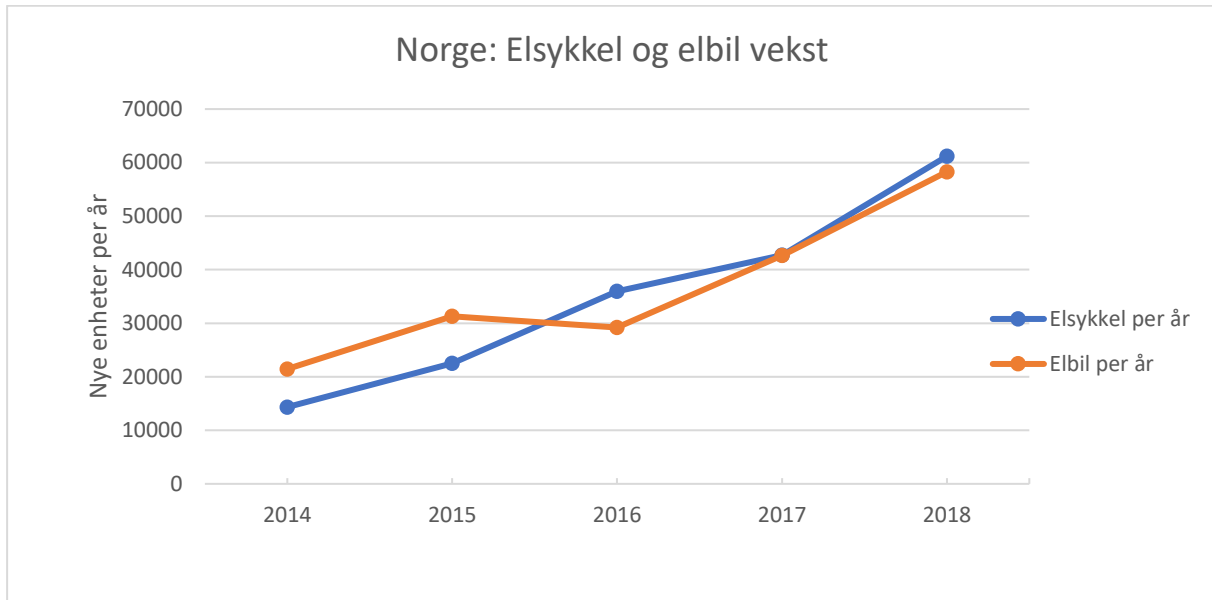
⁶ (Statistiska Centralbyrån, 2019)

⁷ (Danmarks Statistik, 2019)

⁸ (Bovag, Rai vereniging, 2018)

4.2 Norsk elbilpark statistikk

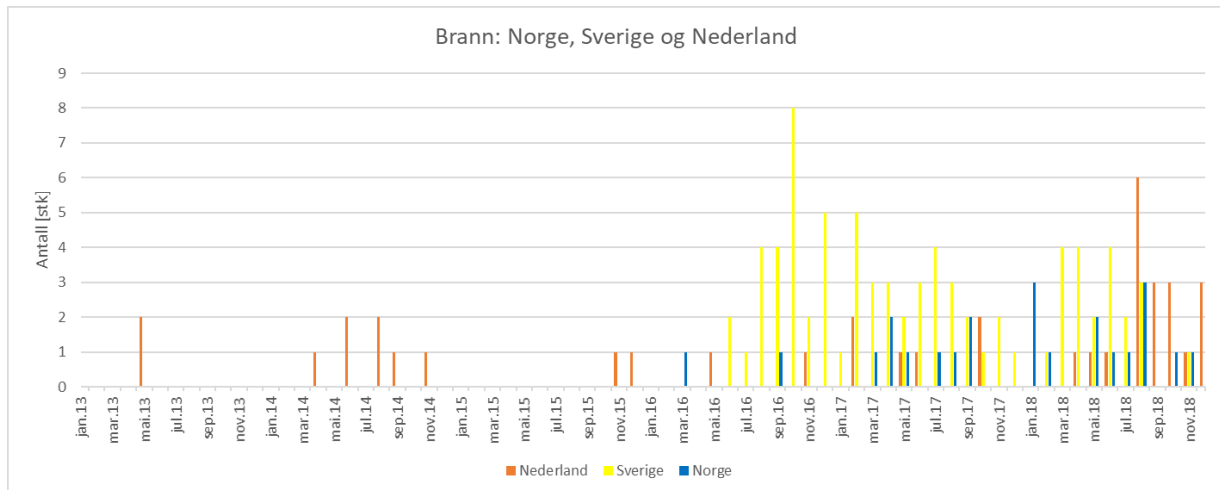
I Norge er elsykkel i antall og vekst sammenlignbar med elbil. Norge er ledende innen bruk av elektriske biler med det høyeste elbil per innbygger tallet i verden. I Figur 5 fremstilles endringen i registrerte elektriske kjøretøy (Statistisk sentralbyrå, 2019) og salgs/importstatistikken for elektriske sykler for 2014-2018 (Statistisk sentralbyrå, 2019) (Norsk Elbilforening, 2016). Begge er kategorier elektriske kjøretøy som er i vekst. Elbilforeningen beregner at det vil være 400 000 elektriske biler i Norge i utgangen av 2020. (Norsk elbilforening)



Figur 5: Elsykkel og elbilpark endringer Norge 2014-2018

4.3 LEV Brannstatistikk

I Figur 6 presenterer alle LEV brannene som har blitt samlet inn i statistikkøket per måned i Norge, Sverige og Nederland. Dette er branner der lette elektriske kjøretøy eller tilhørende utstyr som batteri og ladeenhet var eller antas å være kilden til branntilløp. De norske tallene er hovedsakelig hentet fra BRIS-databasen for perioden 2016-2018 med 4 hendelser fra media som ikke dukket opp i BRIS søket. De Svenske tallene er samlet fra MSB sin database for perioden 2016-2018 og de nederlandske tallene er hendelser fra media som brannvesenet for Amsterdam-Amstelland har samlet inn for perioden 2013-2018. Grafen viser at det har vært flere branner i lette elektriske kjøretøy de siste årene i Norge, Sverige og Nederland. For perioden 2016-2018 er dette et gjennomsnitt på én brann annenhver måned i Norge, to i måneden for Sverige og 0,75 i måneden for Nederland.



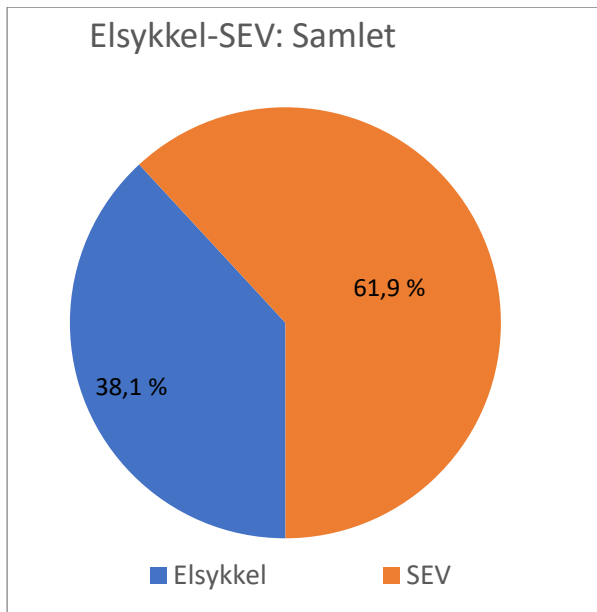
Figur 6: LEV branner per måned, Norge, Sverige, Danmark 2016-2018 og Nederland 2013-2018

I Tabell 5 presenteres branner per år, det er 77 registrerte branner i Sverige der LEV trolig var årsak siden 2016. I samme tidsperiode er det registrert 24 tilsvarende branner i Norge. Mellom 2016 og 2018 har det blitt samlet inn 38 rapporter fra media om LEV branner. Hendelsene er delt opp i elsykler og små elektrisk kjøretøy (SEV).

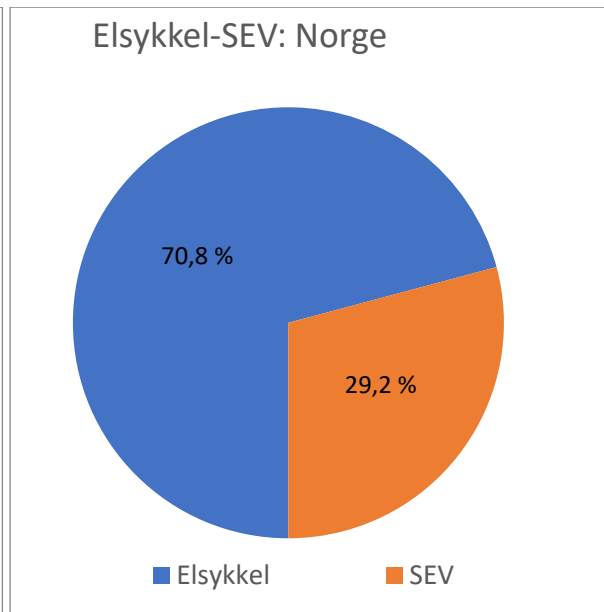
Tabell 5: LEV branner per år, Norge, Sverige 2016-2018 og Nederland 2013-2018

| | NORGE | | | SVERIGE | | | NEDERLAND | | |
|-------------|---------|-----|--------|---------|-----|--------|-----------|-----|--------|
| | Elsykel | SEV | Samlet | Elsykel | SEV | Samlet | Elsykel | SEV | Samlet |
| 2013 | | | | | | | 2 | 0 | 2 |
| 2014 | | | | | | | 6 | 1 | 7 |
| 2015 | | | | | | | 1 | 1 | 2 |
| 2016 | 1 | 1 | 2 | 3 | 23 | 26 | 1 | 1 | 2 |
| 2017 | 5 | 3 | 8 | 3 | 27 | 30 | 4 | 2 | 6 |
| 2018 | 11 | 3 | 14 | 4 | 17 | 21 | 12 | 7 | 19 |
| SUM | 17 | 7 | 24 | 10 | 67 | 77 | 26 | 12 | 38 |

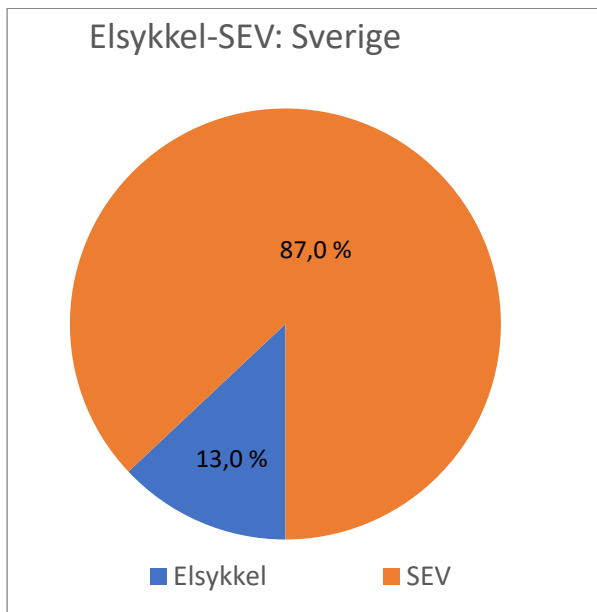
Av alle hendelsene samlet inn i Norge, Sverige og Nederland er 38% av hendelsene elsykler. I Norge og Nederland var majoriteten elsykler med ca. 70% av tilfellene. I Sverige var bare 13% av hendelsene elsykler som var involvert i hendelsene. Figur 7 til Figur 10 viser forholdet mellom branner i elsykler og alle resterende små elektriske kjøretøy (SEV).



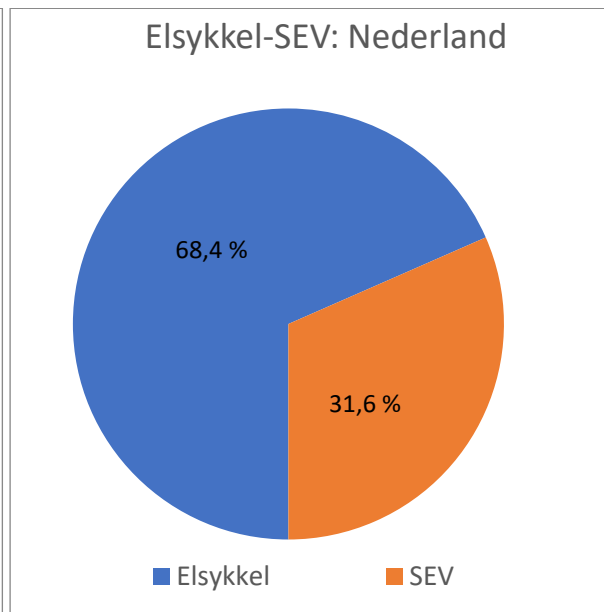
Figur 7: Elsyssel og SEV fordeling samlet



Figur 9: Elsyssel og SEV fordeling Norge



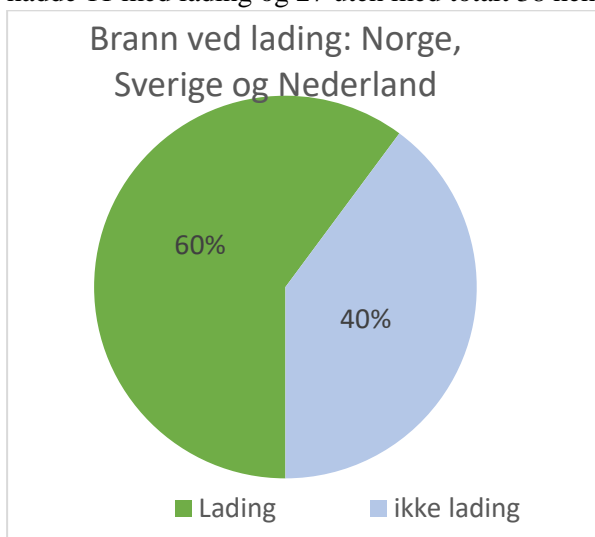
Figur 8: Elsyssel og SEV fordeling Sverige



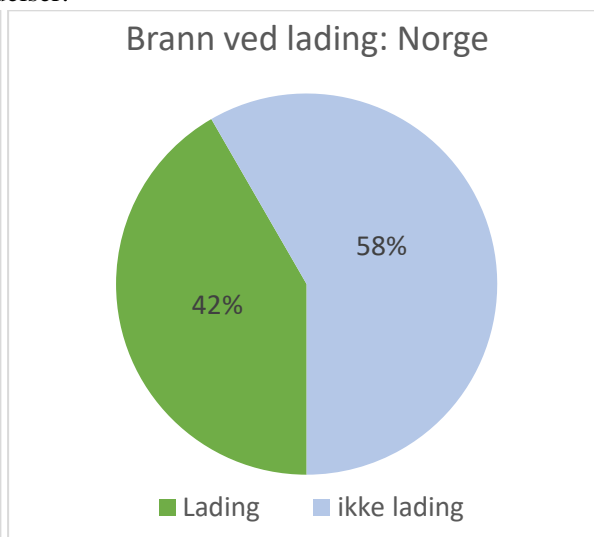
Figur 10: Elsyssel og SEV fordeling Nederland

4.3.1 Brann ved lading:

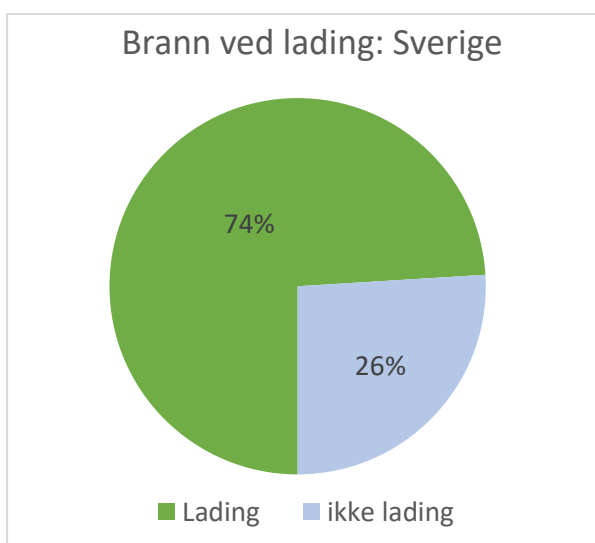
Brannene kan deles opp med tanke på om batteriene til de lette elektriske kjøretøyene var eller ikke var tilkoblet lading da hendelsen oppstod. Dette beskriver ikke om batteriet faktisk tok imot elektrisk strøm da brannen inntraff, men kun om tilkobling var tilstede. Hendelsene som er kategorisert som «lading» er kun de hendelsene der det nevnes at batteriet var tilkoblet lader og «ikke lading» er de resterende der det ikke var spesifisert eller usikkerhet om det var tilkoblet. Figur 11 til Figur 14 viser forholdet mellom branntilløp ved tilkoblet lading prosentvis. Dette er basert på 139 hendelser fordelt over Norge og Sverige fra tidsrommet jan. 2016 til des.2018 og Nederland fra jan. 2013 til des. 2018. Figur 11 er det samlede fordelingen mellom lading og ikke lading branner. Den samlede statistikken som er innhentet i prosjektet viser at 60% av tilfellene var tilkoblet lading da brannen oppstod. Av de 128 hendelsene var 77 av dem med lading og 51 uten. Figur 12 viser forholdet for hendelsene registrert i Norge, her er andelen hendelser ved lading mindre enn ved ikke lading med 42% av hendelsene oppstod under lading. De norske tallene er basert på 24 hendelser der 10 tilfeller var beskrevet at det var under lading. Det svenske fordelingen er vist i Figur 13. Blant de hendelsene som er registrert er 74% av hendelsene beskrevet at de oppstod under lading, dette er da 77 hendelser der 57 er med lading og 20 uten. Figur 14 beskriver forholdet mellom branner som oppstod ved lading og uten i Nederland, her er 29% av brannene funnet i media søket blitt beskrevet som at batteri var satt til lading. Det nederlandske med mediasøket hadde 11 med lading og 27 uten med totalt 38 hendelser.



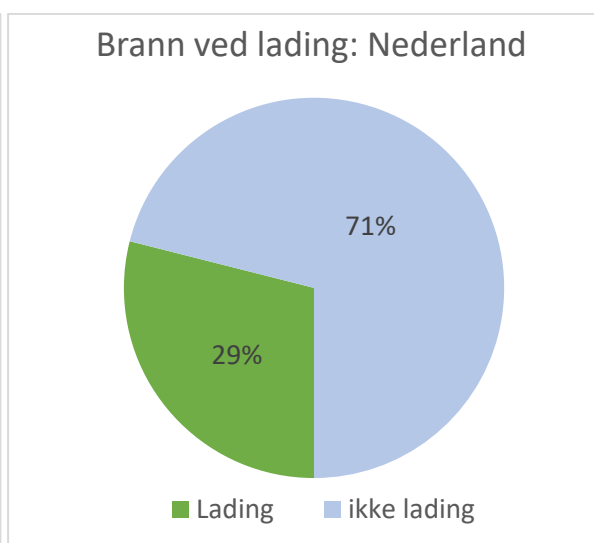
Figur 11: Lade ikke lading fordeling samlet



Figur 12 Lade ikke lading fordeling Norge

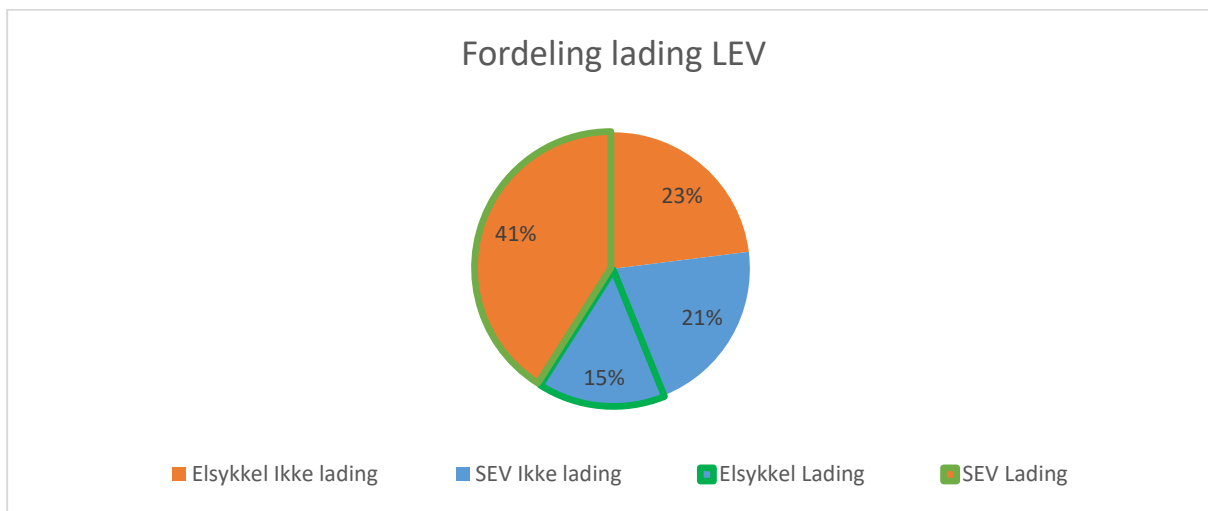


Figur 13: Lade ikke lading fordeling Sverige



Figur 14: Lade ikke lading fordeling Nederland

Ved å kombinere LEV fordelingen og ladefordelingen for branntilfellene, kan forholdet mellom lading for elsykkel og SEV illustreres. Figur 15 viser at SEV har en høyere andel branntilfeller der enheten er tilkoblet lading enn hos elsykler.



Figur 15: Lading og LEV fordeling samlet

4.3.2 Månedsfordeling:

Tabell 6 til Tabell 9 viser fordelingen av branntilfeller per måned, dette er basert på 128 hendelser fordelt over Norge og Sverige fra tidsrommet jan. 2016 til des. 2018 og Nederland fra jan. 2013 til des. 2018. August er den mest utsatte måneden med 13 % av alle hendelsene, det oppstår flest branntilfeller i august i alle landene. Det er færrest branntilfeller i vintermånedene og flest på sommeren.

Tabell 6: Måned samlet

| Måned | Antall | % |
|-------|--------|------|
| jan | 4 | 3 % |
| feb | 9 | 6 % |
| mar | 9 | 6 % |
| apr | 11 | 8 % |
| mai | 12 | 9 % |
| jun | 14 | 10 % |
| jul | 9 | 6 % |
| aug | 22 | 16 % |
| sep | 13 | 9 % |
| okt | 15 | 11 % |
| nov | 10 | 7 % |
| des | 11 | 8 % |
| sum | 139 | |

Tabell 7: Måned No

| Måned | antall | Prose |
|-------|--------|-------|
| jan | 3 | 13 % |
| feb | 1 | 4 % |
| mar | 2 | 8 % |
| apr | 2 | 8 % |
| mai | 3 | 13 % |
| jun | 1 | 4 % |
| jul | 2 | 8 % |
| aug | 4 | 17 % |
| sep | 3 | 13 % |
| okt | 1 | 4 % |
| nov | 1 | 4 % |
| des | 1 | 4 % |
| sum | 24 | |

Tabell 8: Måned Se

| Måned | Antall | % |
|-------|--------|------|
| jan | 1 | 1 % |
| feb | 6 | 8 % |
| mar | 7 | 9 % |
| apr | 7 | 9 % |
| mai | 4 | 5 % |
| jun | 9 | 12 % |
| jul | 7 | 9 % |
| aug | 10 | 13 % |
| sep | 6 | 8 % |
| okt | 9 | 12 % |
| nov | 5 | 6 % |
| des | 6 | 8 % |
| sum | 77 | |

Tabell 9: Måned NI

| Måned | Antall | % |
|-------|--------|------|
| jan | 0 | 0 % |
| feb | 2 | 5 % |
| mar | 0 | 0 % |
| apr | 2 | 5 % |
| mai | 5 | 13 % |
| jun | 4 | 11 % |
| jul | 0 | 0 % |
| aug | 8 | 21 % |
| sep | 4 | 11 % |
| okt | 5 | 13 % |
| nov | 4 | 11 % |
| des | 4 | 11 % |
| sum | 38 | |

4.3.3 Enkelthendelser

Hendelsesforløpene i de hendelsene som har blitt sett nærmere på er av ulik art. Ved to av hendelsene var det symptomer hos batteriet, enten om det ikke fungerte eller det ikke ville ta imot lading. Hendelse 2-3 beskrivende for de mer alvorlige tilfellene der selve brannen er voldsom og med høyt brannspredningspotensiale.

Hendelse 1 (Vedlegg 1)

Elsykel batteri antente ved lading etter overvintring. Brannen oppstod hos en sykkelbutikk, etter at en kunde kom innom med et batteri som ikke tok imot lading etter at det hadde ligget ubrukt etter vinteren. I sykkelbutikken ble batteriet satt til lading og det viste tegn til å ta imot strøm. Batteriet stod til lading da arbeidsdagen var over og batteriet ble forlatt uten oppsyn. Batteriets ladenivå viste ca. 85%. En time senere blir det observert brann fra sykkelbutikken. Batteriet blir identifisert som brannens arnested av politi. Det er uvisst om batteriet hadde blitt skadet før hendelse. Brannen førte til at butikken brant, men leiligheter i samme bygg opplevde bare store røykskader.

Hendelse 2

Hendelse 2 oppstod etter at brukeren opplevde at batteriet ikke funkete. Når batteriet ble tatt med inn i bolig «smalt det».

Da jeg satte ned batteriet på bordet smalt det som et fyrverkeri med gnistregn inne i stua. Jeg måtte få evakuert ut en annen person fra boligen og ba denne ringe nødetatene. Jeg så løp ut for å hente hageslangen. På den korte tiden jeg var ute etter hageslangen og fosser det røyk mot meg da jeg var tilbake ved inngangsdøren. Jeg fant det best å ikke gå inn. Livet er viktigere, det forteller han oss.

Batteriet var kjøpt for ikke lenge siden fra en amerikansk elsykkelprodusent og ble brukt på en offroad sykkel. Det fungerte fint på den første turen. Når jeg skulle prøve det her om dagen, virket det ikke. Jeg tok det ut av holderen på sykkel, og skulle kikke litt på det i dag. Jeg brukte ingen verktøy, men plutselig så smalt det.⁹

Hendelse 3:

Blant de nederlandske hendelsene var det en hendelse der battericellene i en elektrisk scooter ble kastet med høy kraft bort fra batteribrannen. Det ble funnet enkelt celler opptil 40 meter unna. Dette forhindret tilskuere å gjøre slukningsforsøk siden batteriet cille ble sendt av gårde som naturligvis skremte dem. (Middelkoop, 2014)

4.3.4 Hoverboard branner

Hoverboard er små elektrisk selvbalerende kjøretøy. Produktet har blitt en meget populær variant av lette elektriske kjøretøy, spesielt for yngre brukere. Hoverboard har vært trendy de siste årene grunnet mye bruk i populærmedia som rekvisitter i videoer, filmer, reklamer og musikkvideoer. Det er stor konkurranse blant produsentene av selvbalerende kjøretøy, der det er høy andel billige versjoner. Mange ulovlige kopier har dukket opp grunnet den store etterspørselen, som koster brøkdelen av original versjonene. Fra juli 2016 til mai 2018 har MSB registrert 79 branner med hoverboard vist i Tabell 10. Dette inneholder også hoverboardbranner som ikke er rapportert inn til redningstjenesten, dette er

⁹ Utdrag fra Vestfold Interkommunale Brannvesen sitt Facebook innlegg 1. juni 2018 (Vestfold Interkommunale Brannvesen, 2018)

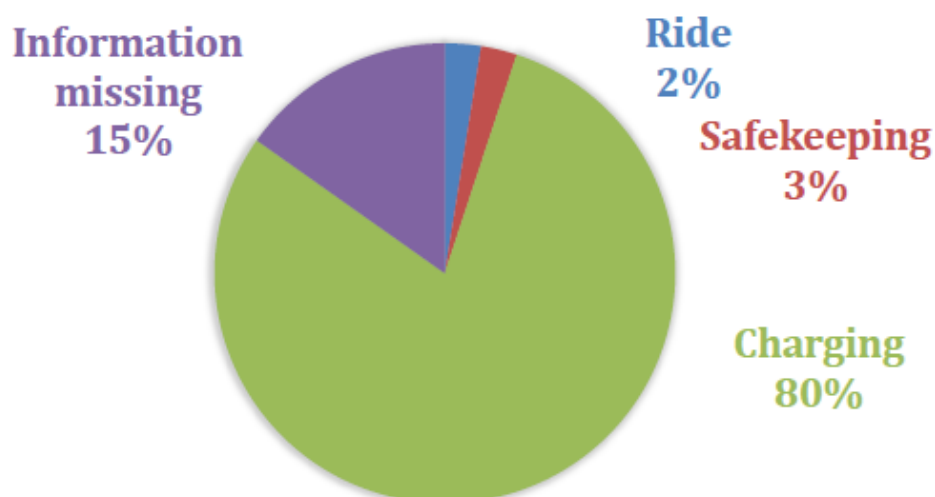
grunnen til at det er et så mye større antall hendelser enn det som er registrert i MSB sin database. (Strömngren, 2018) Dette førte til at det svenske *Arbetsmiljö Verket* gjennomførte en markedskontroll av 13 typer hoverboard. Dette avdekket at 10 av 13 hoverboard ikke opprettholdt de CE merking kravene stilt til disse produktene og ble satt salgstopp for disse. Produktene hadde ikke dokumentasjonen som krevdes for omsetning. (Arbetsmiljö verket, 2017) Dette i seg selv tilsier ikke at produktene var brannfarlig, men at de ikke kunne dokumentere at produktet opprettholder de kravene som stilles til de. Blant disse kravene er sikkerhetskravene for elektrisk utstyr. I 2018 gjennomførte Nederland en tilsvarende inspeksjon av de 30 mest brukte hoverboard merkene. Samtlige av hoverboardene hadde alvorlig sikkerhetsrisiko for brann, der den gjentakende grunnen var batteriets manglende beskyttelse for overlading. (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, 2018) Overlading av batterier kan føre til kritiske forhold i batteriet der konsekvens er antennelse eller eksplosjon. Disse produktene ble forbudt å selge og advarsler for produktene ble utstedt.

Tabell 10: Antall hoverboard branner i Sverige juli 2016 til mai 2018 hentet fra (Strömngren, 2018) ¹⁰

| Månad och år | Antall bränder i hoverboards* |
|-------------------------|-------------------------------|
| Juli - december 2016 | 34 |
| Januari - december 2017 | 37 |
| Januari - maj 2018 | 8 |
| Totalt perioden | 79* |

* Med reservation för att detta är antalet MSB känner till.

Blant de Svenske hoverboardbrannene ble det registrert hvilke forhold batteriet antente under. Blant disse hendelsene var det 80% av hendelsene som oppstod under lading. Hoverboardbrannenes karakteristikk blir beskrevet som at det starter med en eksplosjon og halv meter høye flammer. Eksplosjonen ved disse hendelsene skjedde uten noen tegn til fare, ingen lukt, røyk eller lyd. (Strömngren, Fires in Hoverboards, 2018)

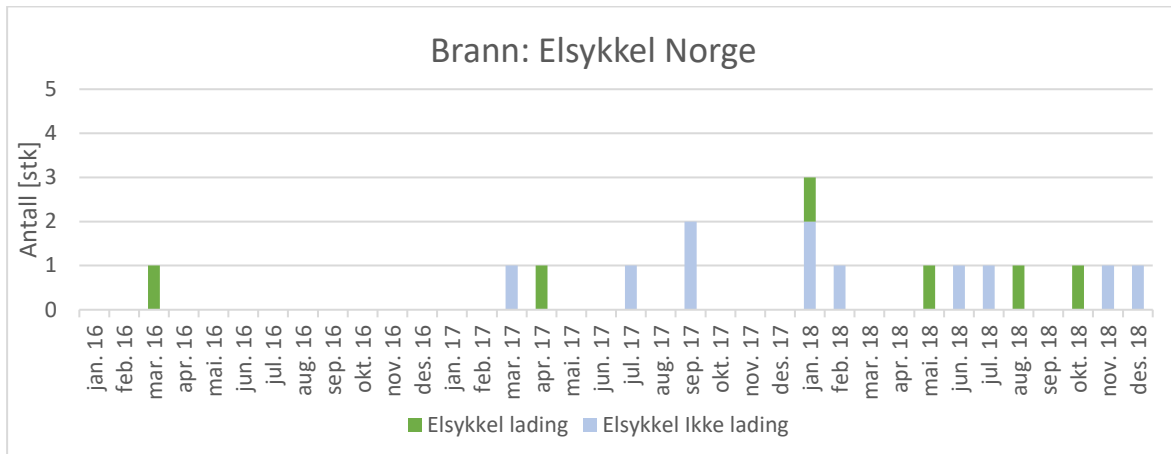


Figur 16: Svenske hoverboard brann forhold, hentet ifra (Strömngren, Fires in Hoverboards, 2018)

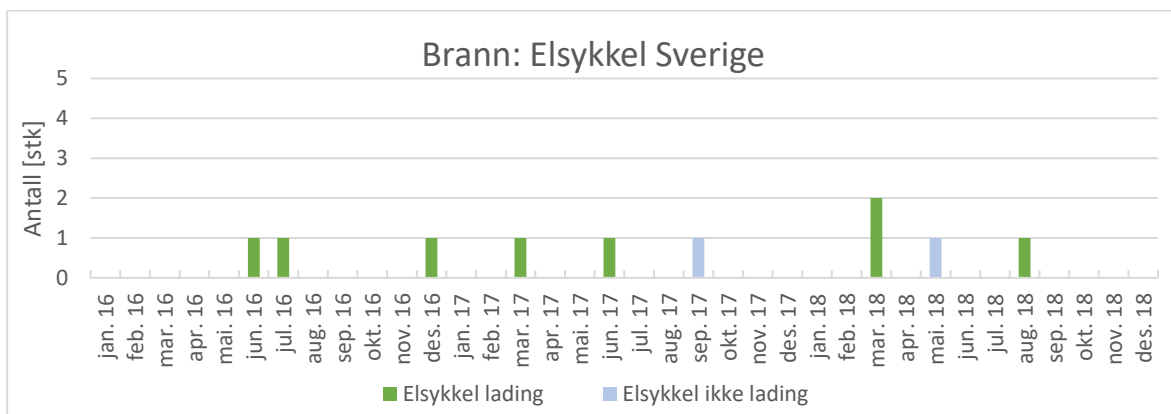
¹⁰ Tabellen er gjenskapelse av slik den var ment å presenteres, den publiserte tabellen hadde feil årstall. Dette er avklart med Strömngren 30.04.19

4.3.5 Elsykkel branner

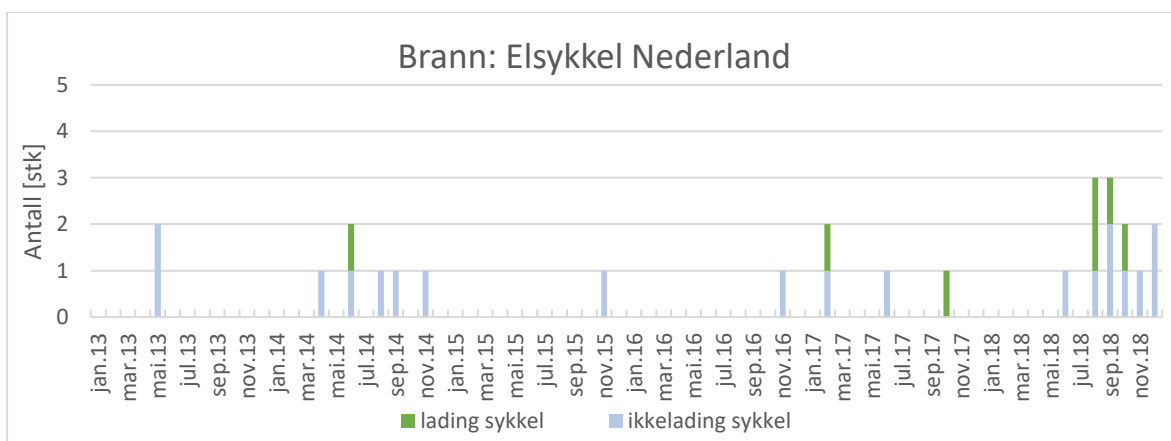
Figur 17 - Figur 19 viser en oversikt over de hendelsene der LEV av typen elektrisk sykkel var involvert og forholdet mellom lade og ikke lade branner innen denne typen. Disse hendelsene er kun de som er beskrevet slik at det med sikkerhet dreier seg om en tråsykkel med elektrisk hjelpemotor.



Figur 17: Elsykkelbranner Norge 2016-2018



Figur 18: Elsykkelbranner Sverige 2016-2018



Figur 19: Elsykkelbranner Nederland 2013-2018

Ved å kombinere import og salgsstatistikk kan man komme frem til at den norske elsykkelparken ligger på ca. 175.000 sykler. Salg før 2014, etter 2016 og import før 2017 er ikke en del av denne statistikken. Ved kombinere elsykkel antall og elsykkel brann statistikk. Kan det regnes ut antall branner per elsykkel og dermed lage en prognose basert på salgs prognoser gjort av Elbilforeningen.

Tabell 11 viser en prognose frem til 2025. Økningen i antall elsykler er basert på elbilforeningens antagelse at salg av elektriske sykler vil stabilisere seg på 60.000-70.000 per år, der tabellen benytter 65.000 per år. Ved å se på 2016-2018 har det blitt utregnet at det er et gjennomsnitt 0.00004 branner per elsykkel. Dette tilsvarer en økning på ca. 3 branner i året.

Tabell 11: Elsykkel statistikk med prognose Norge 2016-2025

| Dagens statistikk | | | | Prognose | | | | | | |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Norge | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Brann | 1,0 | 5,0 | 11,0 | 9,6 | 12,2 | 14,8 | 17,4 | 19,9 | 22,5 | 25,1 |
| Antall elsykler | 72824 | 115508 | 176693 | 241693 | 306693 | 371693 | 436693 | 501693 | 566693 | 631693 |
| Brann /sykkel | 0,000014 | 0,000043 | 0,000062 | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 |

I Sverige var det tre branner i 2016, fire i 2018 og 2019. Det er elsykkel statistikk tilgjengelig for 2017-2018.¹¹ Dette ga en gjennomsnittlig 0,000046 brann per sykkel. Gjennomsnittet av import fra 2017 og 2018, er 58216 som benyttes som en antatt stigning i antall elektriske sykler i årene fremover. Dette benyttes til å estimere økning i antall elsykkelbranner i Sverige, det viser en økning på ca. 3 elsykkelbranner i året.

Tabell 12: Elsykkelstatistikk med prognose Sverige 2016-2018

| Dagens statistikk | | | | Prognose | | | | | | |
|------------------------|------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sverige | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Brann | 3 | 3 | 4 | 8,1 | 10,8 | 13,5 | 16,2 | 18,9 | 21,6 | 24,3 |
| Antall elsykler | | 51412 | 116431 | 174647 | 232862 | 291078 | 349293 | 407509 | 465724 | 523940 |
| Brann /sykkel | | 0,0000584 | 0,0000344 | 0,000046 | 0,000046 | 0,000046 | 0,000046 | 0,000046 | 0,000046 | 0,000046 |

I Nederland har det vært 26 elsykkelbranner i perioden 2013-2018. Det er hentet ut elsykkelstatistikk for 2010-2018.¹² Dette gir et gjennomsnitt på $5,9 \cdot 10^{-6}$ branner per elsykkel. Antar en økning på 250 000 sykler i året. Dette tilsvarer en økning på ca. én elsykkel brann i året.

Tabell 13: Elsykkelstatistikk med prognose Nederland 2013-2025

| Statistikk | | | | | | | Prognose | | | | | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Brann | 2,0 | 6,0 | 1,0 | 1,0 | 4,0 | 12,0 | 7,4 | 8,2 | 9,0 | 9,9 | 10,7 | 11,5 | 12,3 |
| Antall sykler | 714k | 937k | 1213k | 1484k | 1778k | 2 028k | 2 278k | 2 528k | 2 778k | 3 028k | 3 278k | 3 528k | 3 778k |
| Brann /sykkel | $2,8 \cdot 10^{-6}$ | $6,4 \cdot 10^{-6}$ | $8,2 \cdot 10^{-7}$ | $1,3 \cdot 10^{-6}$ | $2,2 \cdot 10^{-6}$ | $5,9 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-6}$ |

Øker med 250.000sykler i året.

¹¹ (Statistiska Centralbyrå, 2019)

¹² (Bovag, Rai vereniging, 2018)

5 Drøfting

5.1 LEV brannfare

LEV er kjøretøy som benyttes ute i naturen og i trafikken både som rekreasjon og transportmiddel. LEV har tekniske behov for å lades under tempererte forhold, dette kombinert med ønske om å beskytte enheten fra vær, tyveri og hærverk gjør at LEV blir tatt med inn i bygg. LEV sine behov for å ha temperert lading er knyttet til sikkerhet, ved at lading under 5 °C vil føre til dendrittfformasjoner som kan lede til brann. Det vil da være anbefalt å lade under tempererte forhold, men det kan også være krav som BMS stiller for at batteriet vil kunne lade. Dette begrenser mulighetene for ladeområder i store deler av året i Norge og lignende klima. De fleste benytter LEV om dagen så lading vil foregå om kvelden muligens utover natta. Tradisjonelle garasjer, boder og sykkelrom er ikke nødvendigvis innenfor disse temperaturkravene eller har tilgjengelig strømuttak. LEV har begrenset med beskyttelse fra tyveri grunnet sin utforming og lette vekt. Dette er faktorer som gjør at oppbevaring og lagring er mer praktisk i boenhet.

Ved oppbevaring i tilrettelagte oppbevaringsplasser slik som garasjer eller boder vil en eventuell brann kunne påvirke beboere via spredning siden dette er struktur som er nær eller knyttet til bolig. Det er allikevel en mindre fare ved oppbevaring og lading utenfor bolig fordi dette vil gi en større margin mellom brannutbrudd og kritiske forhold oppstår der man bor. I boligbygg med flere boenheter er rømningsveier noe utsatt for oppbevaring av LEV, dette er uønsket siden brennbart materiale kan sette ut funksjonen til disse rommene hvis en brann oppstår. LEV som kan fungere som en tennkilde vil kunne forhindre rømning ved en brann og ha alvorlige konsekvenser. Det er allikevel en mindre sannsynlighet for at LEV blir oppbevart i disse arealene siden dette ikke er areal tilpasset lading. LEV har et stort behov for regelmessig lading grunnet sin begrensede rekkevidde. Boenhet er da mer utsatt for oppbevaring av LEV siden dette er areal som tilbyr god beskyttelse mot tyveri og har muligheter for temperert lading.

Plassering av lading i boenhet avhenger av hvor det er tilgjengelig plass og lånemuligheter. Hvis hele LEV er tatt med inn vil oppbevaring begrense seg til areal der det er god plass og gjerne områder som tåler å bli skittent, siden dette er utstyr som benyttes ute og vil bringe med seg skitt. Dette gjør areal slik som inngangspartier utsatt. Hvis batteriet er avtagbart vil det kreves veldig lite areal og ikke være like skittent. Dette gjør hele boligen et alternativ til plassering. Plasseringen styres av mulighetene for lading. I de tilfellene der inngangsparti benyttes som plassering vil LEV brann kunne forhindre rømning gjennom nødutgangen. Dette kan ha alvorlige konsekvenser for beboerne av boligen.

Ved en LEV brann i bolig vil brannen påvirke beboerne veldig raskt etter brannen har startet. Hvis LEV brannen er av en slik art at det oppstår brannspredning og det ikke blir håndtert kan LEV brann være en fare for liv og helse. LEV branner kan utarte seg på ulike måte, fokuset ligger på batteriene som blir benyttet i elektriske kjøretøy. Ved batteribranner kan det variere fra røykutvikling til eksplosjon, konsekvensene varierer da med hvor alvorlig brannen er. Om batteriet antenner eller bare lager masse røyk vil dette kunne være håndterbare situasjoner av de fleste beboere. Hendelser kan være alvorligere og skumlere. Ved å se på hendelse 2 og 3. Hendelse 2 var en brann der batteriet ble tatt med inn og plutselig antente med det eieren beskriver som et «gnistregn» som førte til brannspredning. Hendelse 3 er en Nederlandsk LEV brann der battericellene i batteriet ble skutt ut og landet opptil 40meter unna. Ved batteribranner som er av denne arten vil brannspredning kunne oppstå svært raskt. Det kan også være vanskelig eller farlig å ta seg forbi en slik brann grunnet dens intensitet.

I 2014 og 2018 ble det gjort endringer i regelverk for å tillatte bruk av nye kategorier elektriske kjøretøy. Sammen med disse endringene ble alle aldersrestriksjoner for lette elektriske kjøretøy omfattet i *forskrift om krav til sykkel* fjernet. Etter endringene i 2018 er det tillatt bruk av mange varianter av LEV, men det er fortsatt mange begrensninger til disse for at det skal kunne behandles som sykler. Endringene i norske forskrifter muliggjør bruken av LEV og åpnet for flere varianter av elektriske kjøretøy. Et bredere spekter av elektriske kjøretøy kan føre til økt bruk av LEV, ved at det er tilgjengelig LEV som passer

overens med flere sine preferanser og gjøre det til et mer attraktivt alternativ til annen transport. Det er fortsatt mange begrensninger i forskriften og om dette endres i fremtiden kan dette tillate enda flere varianter. Stortinget har via klimapolitikk satt fokus på bruk av sykkel og gange som alternativ til biltrafikk i storbyene. Der de har gått inn for at storbyområdene skal ha et nullveksts mål som er at veksten i trafikk skal foregå ved kollektiv transport, sykkel og gange, og ikke ved biltrafikk. Dette er en politikk som har ført til økte kostnader for biltrafikkanter ved bompenger og avgifter. Der det har blitt observert at slike økte kostnader for bilbruk har et utslag på elsykkelsalget ved at sykkelbutikker har opplevd store økninger i salget samtidig som slike avgifter inntreer. Grunnet fokuset på tilrettelegging for kollektivtransport, sykkel og gange i byområdene vil dette også gjøre det mer lukrativt å bruke LEV. Selv om gater og veier tilpasses en økt bruk av LEV så har storbyområdene en større befolkningstetthet og det er begrenset med plass. I storbyer er det en mindre andel som har tilgang på garasjer eller annen trygg lagringsplass for LEV. Dette kan føre til at en større andel lagrer og lader LEV inne i boliger som er mindre optimalt sammenlignet med oppbevaring separat fra bolig. LEV vil kunne få en vekst i bruk grunnet politikk og endringer i bytrafikk. Denne veksten vil hovedsakelig skje i store byområder, dette kan føre til flere og muligens alvorligere branner. Begrunnelsen for denne antagelsen er at dette er et område der det i dag er begrenset med plass som kan føre til en høyere andel LEV i boenheter istedenfor at det er plassert ute, i garasje, i bod eller annet tilpasset areal.

Det er ingen tilgjengelig statistikk for antall LEV som en samlet kategori, men elsykkel som er en av de større variantene finnes det en del statistikk for. Innen lette elektriske kjøretøy skiller elsykkelen seg ut ifra de andre variantene grunnet sin tradisjonelle utforming. Det er da tilgjengelig statistikk for elsykler via salg og import statistikk. Dette er noe som mangler for resterende LEV variantene. Det har vært en kraftig vekst innen elsykkel salg i Europa de siste årene og det forventes å stige. Statistikken tilsier at det er ved utgangen av 2018, ca. 175 000 i Norge, ca. 115 000 i Sverige, ca. 210 000 i Danmark og mer enn 1 780 000 elsykler i Nederland. Det er tydelig at det er en stigning i antall nye sykler per år, dette kan være en trend som fortsetter årene frem. I Norge forventer elbilforeningen at denne stigningen skal avta og flate ut å ligge på 60 000 – 70 000 i året. En slik økning vil kunne ha en tilsvarende økning i antall branner hos elektriske sykler. Siden det ikke er tilgjengelig noen statistikk eller forventet økning innen SEV, vil det ikke kunne illustreres med utbredelses statistikk hvordan endringer i antall LEV branner vil se ut. I Norge kan elbiler og elsykler sammenlignes siden de er ganske like innen totalt antall og økning per år. Dette kan skyldes at begge er et mer miljøvennlig alternativ til den tradisjonelle bilen. Hvis elsykkel utviklingen følger elbilens utvikling vil etter Elbilforeningens forventinger til elbil salg det være ca. 400 000 elektriske sykler i utgangen av 2020. En mer moderat forventning til elsykkelsalget fra Elbilforeningen vil resultere i ca. 300 000 elsykler i utgangen av 2020. Antall elsykler fra 2018 forventes å økes med halvparten eller fordobles i løpet av 2 år. Det kan forventes mellom 300 000 og 400 000 elektriske sykler i utgangen av 2020.

Siden Li-ion batteriene er en så stor andel av kostnaden til LEV er det en etterspørsel etter utbytting av battericeller som et alternativ til å bytte til en ny original batteripakke. Slike utbyttinger kan ha en negativ effekt for batteriets sikkerhet ved at cellene ikke nødvendigvis passer overens med den originale BMS som er batteripakken. BMS vil da ikke kunne beskytte batteriene i en like stor grad og batteriene er sårbar for skader under lading. De nye battericellene er nødvendigvis ikke av samme kvalitet som original battericellen, dette kan da være i form av at cellene har lavere kritiske temperaturer eller at det oppstår lettere indrekortslutning. Tilbudet for slike tjenester er tilstede, men siden dette er ikke noe som er relevant før batteriene er gamle og mistet sin kapasitet. Dette er noe som vil kunne bli en større problematikk i fremtiden når LEV er blitt et etablert produkt og det er en større andel gamle LEV.

Årsakene til at LEV branner oppstår varierer, men batteriets alder vil øke sannsynligheten for thermal runaway og deretter brann. Siden LEV er en ny produkttype er det en større andel nye batterier på markedet. Effekten av aldring har muligens ikke fått vist seg i statistikken enda. Dette er da noe som vil vise seg i fremtiden. I Norge ble det åpnet for nye typer LEV i årene 2014, 2016 og 2018, effekten av

aldring vil kunne vise seg etter fem år. Dette kan føre til en ny vekst i antall branner i 2019, 2021 og 2023.

5.2 Li-ion batteri brannsikkerhet faktorer

Det er mange faktorer som påvirker sikkerheten til Li-ion batterier. Sikkerheten til Li-ion batterier avhenger av batteriets egenskaper, alder og hvordan det blir behandlet. Thermal runaway er scenarioet som ønskes å unngå for at battericeller ikke forårsaker brann, siden thermal runaway vil lede til ventilering av batteri og kunne føre til brann. Thermal runaway er når varmen frigjort i cellen er større enn varmen som transporteres bort fra cellen som en følge av en rekke eksoterme reaksjoner. Reaksjonene er; nedbryting av SEI-lag, elektrolytt-anode reaksjon, katodenedbryting og litiumsalt nedbryting. Dette er reaksjoner som inntreffer når battericellen har et unormalt høyt temperaturnivå.

Nedbrytningen av SEI lagene oppstår på temperaturer mellom 90 °C og 120 °C, dette eksponerer overflater av anoden som reagerer med elektrolytten. Ved temperaturer fra 180 °C til 240°C, avhengig av metallet benyttet, vil katoden brytes ned. Dette vil frigjøre oksygen ut i elektrolytten. Ved ca. 200 °C vil det oppstå en reaksjon der litiumsaltet brytes ned. Thermal runaway kan lede til ventilering av gass, brann og eksplosjon om avkjøling ikke er oppnådd. Utfallet av thermal runaway avgjøres av hvilke avkjølede effekter som er tilstede, tilstanden til batteriet og batteriets elektriske ladning. Om thermal runaway oppstår og hvor raskt varmen frigjøres under thermal runaway avhenger av SOC til batteriet. Thermal runaway vil være vanskeligere å oppnå hvis batteriet er utladet, det vil da kreve en større mengde ekstern varme. Et høyere ladenivå vil føre til at kortslutning vil bidra med mer varme som gjør at thermal runaway vil oppnås lettere. Når thermal runaway har oppstått vil et batteri med høy SOC frigjøre oksygen raskere enn ved lav SOC. Disse eksoterme reaksjonenes startpunkt avgjøres av hvilke egenskaper materialet benyttet i cellen har. Hver av disse reaksjonene trigges av varme og frigjør varme som gjør det vanskelig å stoppe når det først har startet. Det er da avgjørende at man kan unngå at de første reaksjonene starter.

SEI-lagets nedbryting er den eksoterme reaksjonen med det laveste kritiske temperaturen og vil være avgjørende for om thermal runaway blir oppnådd. SEI-laget er et produkt av korrosjon mellom anode og elektrolytt, dette lagets egenskaper avhenger av hvilken komposisjon elektrolytten består av. Å øke de andre komponentenes termiske stabilitet vil også være viktig for å kunne gi batteriet tid til å transportere bort den høye varmen. En av de mest avgjørende komponentene er batteriets positive elektrode (katoden) som benytter seg av et litium metal oksid som aktivt materiale. Det benyttes mange forskjellige legeringer som aktivt materiale, der de forskjellige materialene har ulike egenskaper og termisk stabilitet. Valg av katode materiale er viktig for batteriets sikkerhet, men påvirker mange andre aspekter ved batteriet også. Katodens materiale påvirker batteriets kostnad, sikkerhet, spesifikk energi, spesifikk kraft, oppførsel og levetid. Om reaksjonen i katoden iverksettes vil det kunne oppstå forbrenning i elektrolytt før det ventileres.

Separatorens smeltetemperatur er viktig siden dette er en barriere som svikter tidlig grunnet høye temperaturer. Når separatoren smelter vil dens isolerende funksjon bli borte og indre kortslutning oppstår. Separatorens smeltepunkt avhenger også av materiale og utforming. Siden separatoren er barrieren som hindrer indre kortslutning vil det være avgjørende for batteriet sikkerhet at det skal mye til for å smelte separatoren. Separatoren vil svikte et sted mellom 135°C og 165°C. Hvis batteriet er ladet vil en intern kortslutning føre til en kraftig økning i temperatur i cellen og muligens sette i gang thermal runaway. Selv om de forskjellige reaksjonene har ulike kritiske temperaturer vil ikke dette nødvendigvis bestemme hvilken reaksjon som oppstår først. Temperaturen i cellen vil ikke være uniform og avhenger av hva som er årsaken til den økte temperaturen. Det vil kunne være hotspots der temperaturen er mye høyere enn resten av batteriet. Dette sammen med den tilgjengelige tiden for avkjøling tilsier viktigheten med å ha en høy termisk stabilitet på alle komponentene og ikke kun de med lavest kritisk temperatur.

Et full ladet batteri vil oppnå thermal runaway raskere og temperaturen vil øke raskere som vil kunne føre til ventilering tidligere. Utladete batterier vil kunne oppnå thermal runaway, men har ikke batteriets elektriske energi til å bidra med varme. Det vil da måtte være tilstede en varmekilde utenfra som kan få batteriet opp i de farlige temperaturnivåene. Utladete batterier vil ikke utgjøre en far i seg selv uten at det tilføres varme. Batteri sikkerheten avhenger av batteri materialets egenskaper å håndtere varme. Batteriets SOC er avgjørende for om thermal runaway oppnås. Gjennomsnittlige eksoterme reaksjoner vil inntre ved temperaturer over 90°C.

Når disse reaksjonene starter avhenger av batteri materialenes egenskaper. Materialets termiske stabilitet avhenger av hvilket materiale benyttet i batteriet, men også av alderen siden eldre batterier har lavere termisk stabilitet og at thermal runaway vil ha en høyere temperatur akselerasjon en ny battericelle. Batteriets egenskaper i forhold til temperatur endrer seg som en følge av tid og bruk. Li-ion batteriene takler aldri på ulikt vis, men alderen gjør at de eksoterme reaksjonene vil starte ved lavere temperaturer og at katoden vil gi fra seg varme mye hurtigere enn hos nye celler. Noe som er avgjørende for thermal runaway siden katode reaksjonen frigjør oksygen. Den akselerasjonen knyttet til aldri kommer av at katoden vil sprekke opp over tid og bruk, som vil øke overflate arealet som den eksoterme reaksjonen kan oppstå på. I tillegg til dette kan det bygge seg opp dendrittformasjoner i cellene som kan føre til indrekortslutning. Dendrittformasjon er når Li-ioner legger seg på utsiden av elektroden istedenfor å interkalære seg inn i materialet. Elektropletteringen som oppstår på anoden vil bygge seg utover i elektrolytten over tid. Dendrittene som er Li-metall grenformasjoner som vokser på anoden vil kunne penetrere separator og kortslutte cellen. Dette er noe som oppstår når batteriet lades ved lave temperaturer eller under overoppladning. Dendritt formasjoner er noe som vokser over tid og er kun en fare for batteriet når veksten har nådd separatorene.

Batterier vil gjennom sin levetid bli utsatt for mange forskjellige situasjoner som kan skade batteriet og øke sannsynligheten for brann. Dette vil avhenge av bruksmønsteret, brukerens kunnskapsnivå og de barrierene som er tilgjengelig for å forhindre at batteriet skades. Når alderen til cellene øker vil sikkerhetsmarginen mellom normal brukstemperatur og de kritiske temperaturene reduseres. Dette gjør at det skal mindre til for at thermal runaway oppstår i eldre batterier. Normal aldri og bruk kan ikke forhindres, men man kan redusere risikoen for gamle batterier ved å behandle batteriene godt. Ved å unngå skadelig bruk av batteriet gjennom batteriets levetid kan man redusere batteriets sannsynlighet for thermal runaway. Når batteriet aldri vil batteriets kapasitet reduseres, dette kan være risikoreduerende siden den maksimale elektriske energien i batteriet er mindre vil også dette bidra mindre i varme produksjonen ved kortslutning. Det har blitt observert at thermal runaway oppstår lettere i eldre batterier, men det er uvisst hvordan den termiske stabiliteten til Li-ion batterier vil utvikle seg gjennom et helt livsløp. Eksoterme reaksjoner vil starte ved lavere temperaturer hos eldre batterier. Sikkerhetsmarginen mellom brukstemperatur og skadelige temperaturer. Det skal da mindre til for at brann oppstår hos et eldre batteri. Dendrittformasjoner vokser over tid og om dendritt forårsaker kortslutning vil dette skje når batteriet har vært gjennom nok laddinger til at separator punkteres. Mekaniske skader vil kunne svekke sikkerheten til batteriet over tid, og tilslutt kunne føre til svikt.

Indre kortslutning er en kortslutning inne i cellene mellom elektrodene. Barrieren som forhindrer dette i en celle er separatorene som fungerer som en isolator mellom elektrodene. Når det oppstår brudd i separator vil dette tillate elektroner å strømme mellom elektrodene. Dette er avgjørende for batteriets sikkerhet siden et slikt scenario vil kunne trigge thermal runaway hvis det er tilstrekkelig med elektrisk energi. Indre kortslutning kan forårsakes av ulike hendelser slik som dendrittformasjoner, deformasjoner og overoppheting. Indre kortslutning via mekanisk skade kan oppstå som et følge av at batteriet har blitt påført store krefter og forårsaket deformasjon av celler. Dette kan gjøre at separatorene revner eller blir punktert og det vil oppstå indre kortslutning. Batteriet vil kunne gå inn i thermal runaway hvis det blir utsatt for skader, slag eller kraftige ristningen. Batterier er sårbare for mekaniske skader og har et behov for beskyttelse fra slike skader. Beskyttelsen fra slike skader avhenger av battericellen og hvilke tiltak

som er på plass for å forhindre mekaniske skader. Li-ion celler har ulike typer beholdere som tilbyr forskjellige egenskaper. Li-ion batteriene som har en flytende elektrolytt trenger en rigid beholder mens Li-po batteriet som har elektrolytt som er tørr eller av gele som tillater bruk av fleksibel beholder til cellene. Forskjellen mellom Li-ion og Li-po batterier er små, men er viktig for hvordan et brannforløp i slike batterier utløper seg. Li-ion batteriet har en rigid cellebeholder, slike beholdere kan eksplodere hvis batteriet ikke har fungerende ventileringsmuligheter, men for den fleksible Li-po vil ventilere siden posen revner lettere. Cellebeholderen til Li-ion batteriene har en innvirkning på batteriets sikkerhet i form av mekanisk beskyttelse, aluminium beholderen vil kunne forhindre punktering av cellen. Denne beskyttelsen er noe som Li-po celler i poser mangler og er mer avhengig av ekstern beskyttelse, enten i form av batteripakke eller av produktet som cellene er en del av. Indre kortslutning er avgjørende for sikkerheten, når dette oppstår vil batteriets elektriske energi slippes fri og øke varmen i batteriet. Batterier er sårbare for mekaniske skader, siden dette kan forårsake indre kortslutning.

Kaldlading forårsaker vekst av dendritter i battericellen, den lave temperaturen forhindrer anoden i å ta imot ioner like lett som ved høye temperaturer. Veksten av dendritt akselerer ved lave temperaturer. Dette kan oppstå enten som en følge av at batteriet lades i kalde omgivelser eller batteriet i seg selv er veldig nedkjølt ved lading. Det er temperaturer lavere enn 5 °C som er problematisk for batteriene. Norge og land med likt klima har da en utfordring med at batteriene har behov for at de lades under tempererte forhold. Dette bidrar til at uoppvarmede boder, garasjer eller andre områder ikke er optimale plasser å lade når det er kaldt. Det er ikke kun årstider som skaper variasjoner i temperatur, det kan variere kraftig mellom dag og natt også. Dette er relevant siden de fleste setter batteriene til lading om ettermiddagen eller kvelden. Dette kan føre til at temperaturforholdene er gode når det settes på lading, men forverres utover i ladeprosessen. Grunnet størrelse, design og vektbegrensninger har dagens LEV ingen muligheter for å regulere varmen med varmeelementer, slik som større kjøretøy har. Dette gjør batteriet avhengig av at bruker har tilgang på tempererte ladearealer. Kaldlading kan forårsake indre kortslutning dette gir utfordringer for ladested og ladeforhold. Trygg batterilading krever at batteriet er temperert gjennom prosessen.

Lading av Li-ion batterier kan skade batteriet om batteriet ikke har et fungerende system som forhindrer skadelig lading, dette omhandler overlading, kaldlading, feil lader, eller overoppheting. Overlading av battericelle oppstår som en følge av lading utover battericellens tilbergnede spenningsnivå. Dette er noe som kan forhindres med en fungerende cellbalancer, som sørger for at cellene i batteripakken ikke lades opp til ulike nivåer og som følge av dette lades over tilbergnede nivå. Ved tilfeller der batteripakken ikke har en funksjon som stopper lading når batteriet er fullt vil lading fortsette og overlading oppstår. Konsekvensen av dette er at litium-ionene tilslutt ikke har plass i anoden og vil legge seg på utsiden av anoden som elektroplettering på overflaten. Ved kontinuerlig overlading eller gjentatte tilfeller vil plettingen bygge seg opp videre og føre til dendritt formasjoner som strekker seg ut fra anoden. Samtidig løser katoden seg opp og reagerer med elektrolytten og øker temperaturen. Dette er temperaturnivåer som kan føre til thermal runaway. Overlading er resultatet av en defekt batteripakke eller manglende sikkerhetsfunksjoner. Hvis batteriet lades etter at over opplading er oppstått vil 0.0 batteriet tilslutt kortslutte og thermal runaway vil kunne inntreffe. Dendrittformasjonen som oppstår er også et viktig faremoment ved over opplading siden dendrittformasjon over tid kan bli så massivt at batteriet kortslutter når grenene punkterer separator. Overlading vil da ikke nødvendigvis forårsake brann første gang man lader batteriet til denne tilstanden, men kan oppstå etter gjentatte ladninger. Overlading oppstår ved lading av batterier der spenningen til batteriet overstiges, dette kan forårsake brann enten ved varmeøkning direkte eller over tid ved dendrittformasjon. Overlading vil vanligvis forhindres av BMS.

Overoppheting er når det er temperaturer i cellen overstiger de normale brukstemperaturene. Årsaken til temperaturstigningen kan skyldes flere grunner slik som lading, utlading, redusert avkjøling, ekstern varme og eksoterme reaksjoner i cellen. Hvis batteriet når høy nok temperatur vil det smelte separatore

og starte thermal runaway reaksjonene. Separator vil svikte grunnet varme ved en temperatur mellom 135-165°C. Som følge av høye temperaturer kan det oppstå indre kortslutning, det er da ønskelig å unngå at batteriet går utenfor normale brukstemperaturer. Et viktig tiltak som kan forhindre dette er BMS som måle temperatur og forhindre videre bruk når den når høye temperaturer, slik at batteriet ikke bidrar selv med varme og kan på denne måten unngå overoppheting. Overopphetingen kan forårsakes av andre årsaker, enten egenprodusert varme eller ekstern varme. Det er da viktig å ha en god varmetransport ut fra batteripakken, dette er begrenset på samme måte som oppvarmingsmuligheter for å forhindre kalde batterier. Grunnet LEV design og vektbegrensninger er det vanskelig å regulere batteriets temperatur på annen måte enn naturlig avkjøling og forhindre tildekking eller andre varmekilder. Indre kortslutning kan oppstå som en følge av høy temperatur, når separatoren blir så varm at den svikter. Overoppheting forhindres ved å regulere temperaturen.

Ytre kortslutning av batterier kan oppstå hvis det blir en uønsket elektrisk kontakt mellom de motsatt ladede elektrodene. Grunnet manglende motstand vil dette frigi varme på samme måte som indre kortslutning. Ytre kortslutning vil utarte seg noe annerledes enn den indre, her foregår varmeoppbygningen utenfor cellen og kan ha tilgang på både brennbart materiale oksygen. Brann kan oppstå så fort det brennbare materialet har nådd sin antennelses temperatur. Et hendelsesforløp som kan lett oppstå er at batteriets kontakter kobles sammen ved at batteriet kommer i kontakt med elektrisk ledende materiale. Dette er noe LEV batterier er utsatt for siden mange benytter seg av avtakbare batterier slik at de skal være mer håndterlige og praktiske. Dette gjør batteriene mer sårbare, siden kontaktene er eksponert når det er frakoblet. Batteriene kan enkelt bli plassert med kontaktene inntil noe elektrisk ledende og forårsake brann på denne måten. Ytre kortslutning kan også oppstå som et resultat av kontakt med vann eller andre væsker med elektrisk ledende egenskaper. LEV batterier er noe utsatt for fuktighet siden det benyttes ute og nær bakken. Dette vil på samme måte frigjøre store mengder varme og kan føre til antennelse. Det er da viktig at batteripakken har gode barrierer mot vannlekkasjer, dette er derimot en barriere som kan skades ved sammenstøt eller andre skader. Brudd på denne barrieren kan føre til at vann slippes inn og forårsaker kortslutning og korrosjon på batteriets komponenter. Mekaniske skader kan også føre til at det oppstår kortslutning ved at batteriet deformeres og det oppstår elektrisk kontakt mellom ledere. Dette er noe LEV kan bli utsatt for med sin innblanding i trafikkbildet og bruk i høye hastigheter. Ytre kortslutning kan i flere tilfeller være lettere å forutse siden kortslutning ofte er et resultat av et traume i motsetning til andre LEV brannårsaker som oppstår over tid eller under lading og bruk. Ytre kortslutning kan oppstå ved skader eller ved feilhåndtering som fører til at det oppstår kontakt mellom batteriets kontakter.

Overutlading oppstår når battericellene utlades til en spenning lavere enn cellen er beregnet for. Dette oppstår enten av selvutlading over tid eller at batteriet tappes for elektrisitet helt til det er tomt. Når batteriet får en for lav spenning vil kopperlederen på anoden begynne å løse seg opp. Disse kopperpartiklene vil blande seg i elektrolytten og kunne punktere separator. Når over utlading oppstår er spenningen i batteriet så lav at det er begrenset med varmeutvikling som kan oppstå i en kortslutning. Varmen vil frigjøres når batteriet lades opp slik at det er tilgjengelig elektrisitet som kan strømme gjennom kortslutningen. Det anbefalte SOC når batteriet legges bort for lagring er 40%, dette er fordi batteriets nedbryting er neglisjerbar mellom 30% og 50%. Selvutladningen til batterier kan variere avhengig av batterikvalitet, dette krever at batteriet blir ladet opp slik at det ikke utlades. I dagligtalen er et «tomt» Li-ion sekundærbatteri et batteri som har nådd sitt minimum bruksspenning, det er fortsatt spenning i batteriet som ved vanlige omstendigheter ikke er tilgjengelig. Dette kan tappes ved selvutlading. Overutlading er noe som vil oppstå ved lengre perioder uten oppladning, siden batteriet vill tappes naturlig over tid. Tiden dette tar avhenger av batteriets SOC etter sist det ble brukt. Batterier i LEV er utsatt for slike skader siden kjøretøyenes bruk er begrenset i løpet av de kalde månedene, dette er mest relevant for de områdene som har kalde vintre. I Norge med kald vinter og snø er det i dag et fåtall som benytter LEV gjennom hele året. Dette tilsier at det er mange batterier til LEV som overvintre. Vedlikehold av Li-ion batterier gjennom denne perioden er ikke krevende, men lett å glemme og man kan oppleve at batteriene ikke fungerer som de skal etter vinteren. Selv om

overutlading oppstår og kopperet starter å løse seg opp kan batteriet fortsette å virke som ment, mengden kopper i elektrolytten nødvendig for at separator skal svikte er uvisst. I de tilfellene der batteriene har opplevd overutlading til et nivå der kortslutning er oppnådd vill oppladning kunne føre til thermal runaway og deretter brann. Å forhindre oppladningen av slike batteriene avhenger av hvor avansert BMS er og hvilket kunnskapsnivå brukeren har om slike batterier. Langvarige perioder uten bruk kan skyldes mange årsaker, men vinterlagring er en årlig utfordring for mange batterier. Dette kan ha en betydelig påvirkning på brannsikkerheten til LEV i land med lange og kalde vintre. Siden LEV har blitt et mer nyttig fremkomstmiddel, kan det hende at batterier har tilsvarende dvale igjennom sommeren når den ikke benyttes til daglig trafikk til og fra virke. Utlading oppstår over tid, ved lange tidsperioder uten lading. Om batteriet utlades nok vil overutlading oppstå og kunne forårsake indrekortslutning. Konsekvensene av overutlading vil ikke vise seg før batteriet blir ladet opp og batteriet kan frigjøre varme via kortslutningen. LEV er utsatt for overutlading siden de fleste LEV er sesongbetont.

Batteriets management system er en av de viktigste tiltakene for å opprettholde batteriets sikkerhet knyttet til lading og utlading. Kvaliteten på slike systemer kan være varierende, men mulighetene er mange. BMS er systemet som registrerer tilstanden til batteriet og forhindrer spesielle skadelige forhold. BMS kan forhindre overlading, ubalansert spenning i cellene, skadelig lading og overoppheting. BMS sine muligheter og funksjoner avhenger mye av kostnad, selv om systemer som BMS kan forhindre mange uønskede hendelser vil ikke batterier alltid vær utstyrt med dette. Dette er noe som ble observert ved de nederlandske hoverboardene fra delkapittel 4.3.4, som ikke hadde tiltak for å forhindre overlading. Kostnadene for BMS må matche behovet og ikke alle skadelige forhold er like pressende. Det er også viktig at BMS er tilpasset batteriets bruk. Tiltak som forhindrer f.eks. over lading er en nødvendighet for å opprettholde sikkerheten, men batteri utfordringer som er mer nisje slik som å forriglet lading ved lave temperaturer er ikke alltid en nødvendighet. Det er derfor viktig at BMS er tilpasset det særegne bruksmønsteret og det vide bruksområdet som LEV har. BMS er et sikkerhetstiltak som kan bli defekt slik som alle de andre komponentene, dette kan føre til at batterier som tidligere «passet på seg selv» ikke lenger klarer å forhindre skadelige forhold. BMS er viktig for å opprettholde trygge temperaturnivåer og ladeforhold for batteriet. BMS må tilpasses produktets bruksmønster slik at BMS kan forhindre de skadelige forholdene som kan oppstå. BMS som en barriere kan svikte ved skader på batteriet.

Ventilering av batterier er avgjørende for faren batteriene utgjør, hvis batteriet ha manglende mulighet for kontrollert ventilering vil batteriet oppleve en voldsommere ventilering. Hvis battericellen ikke ventilerer tidlig nok vil batteriet ventilere med flamme. Dette kan være eksplosjon eller ildkule, ved slike voldsomme ventileringer vil det være høyere risiko for brannspredning. Batteriers ventilering kan variere fra å slippe ut gass til å forårsake kraftig brann som enkelt kan spre seg. Det er store krefter som slippes ut når ventilasjonen oppstår som kan forårsake brannspredning langt fra batteriet.

Batteriernes sikkerhet avhenger av batteriets kvalitet, det er da kritisk at produksjon av battericeller foregår i kontrollerte forhold med fokus på sikkerheten til cellene. Produksjon av Li-ion celler bør skje under rene og systematiske forhold for å unngå partikkel forurensning av cellene. Vann i batteriene vil akselerere aldringsprosessen til cellen. Metall partikler kan forårsake kortslutninger om dette kommer imellom elektrode og separator. En stor del av kvaliteten til battericeller er da graden av renhet under produksjon. Det er da viktig at battericellene produseres under systematiske og rene forhold, dette er standard for de store batteriprodusentene, men grunnet stor etterspørsel vil det være flere mindre aktører. Li-ion batterier er kostbart og det kan være ekstra kostbart å opprettholde god beskyttelse mot partikkelforurensning. Partikkelforurensning kan oppstå i ulike stadier av produksjon, dette kan bli kostbart å forsikre seg at både egen produksjon og leverandører opprettholder gode rutiner for dette. Kvaliteten til battericellene avhenger også av materialene og behandlingen av materialene til cellene, dette er et kost-nytte regnestykke. Kvaliteten til batteriet avhenger av hvilke ønskede egenskaper cellene skal ha og hvilke akseptable kostnader dette krever. I Li-ion batterier kan produksjonsfeil forårsake eller øke sannsynligheten for brann. Metallpartikler kan forårsake indre kortslutning og fuktighet kan

akselerere aldringsprosessen og dermed fremskynde brannrisiko knyttet til alder. Materialvalg er også viktig for sikkerheten til Li-ion batterier ved at dette påvirker batteriets kritiske temperaturnivå.

Det ble sett nærmere på én hendelse der det var tilgang på informasjon fra før hendelsen oppstod. Som kunne gi innsikt i mulige årsaker. Batteriet i Hendelse 1 var «dødt» etter vinteren. Det tok først ikke imot strøm, men ved et nytt forsøk hos sykkelbutikken viste batteriet tegn til at den mottok strøm. Batteriet var ved 85% ladekapasitet før det ble forlatt en time før brannen ble observert. Politiet har konkludert med at brannen i butikken oppstod i dette batteriet for å så spre seg. Batteriet hadde utladet seg gjennom vinteren, årsaken til dette er ukjent. Dette kan skyldes normal utlading eller at batteriet hadde opplevd kortslutning før vinteren som hadde tappet batteriet. Når batteriet tok imot lading førte dette til at batteriet antente. Dette kan skyldes at batteriet opplevde thermal runaway eller kortslutning i sammenheng med laderen. Årsaken til at batteriet antente er ukjent, men man kan se på sammenhengen mellom at batteriet ikke virket etter at det hadde utladet seg over vinteren og at det antente når det ble ladet. Dette er forhold som kan tilsi at overutladingen forårsaket kortslutning i batteriet. Da batteriet lå utladet i løpet av vinteren har kopperet i anoden løst seg opp nok til å kortslutte en eller flere celler. Dette førte til at batteriet gikk inn i thermal runaway når batteriet ble tilført energi. Siden dette er første gangen batteriet lades etter vinteren kan brannen også være en konsekvens av en skade batteriet pådro seg før det ble lagt bort. Brannen kan også oppstått som en følge av ubalanserte celler som ble overladet. Basert på den informasjonen som er tilgjengelig vil det ikke kunne komme frem til hva som var den eksakte årsaken til brannen, men overutlading kan ha vært årsak i dette tilfellet.

5.3 Lette elektriske kjøretøy sammenligning

Lette elektriske kjøretøy er et særegent produkt, når det gjelder popularitet, bruk og utforming. Dette påvirker hvilke utfordringer batteriene til LEV utsettes for og hvilke egenskaper de har. LEV er komplekse utfordringer knyttet til sitt bruksmønster med tanke på sikkerhet. LEV deler mange av de utfordringene som elektriske biler er utsatt for. Slik som faren for kollisjoner, vær og vind, men mangler ofte de mulighetene til å beskytte seg på som elektriske biler har. Det stilles samtidig mindre krav til LEV brukere enn til bilister, det er ingen aldersgrense eller sertifikat krav på bruk av LEV. Dette gjør LEV mer utsatt for uerfarne brukere, denne omfattende brukergruppen øker risiko for skader på kjøretøyet. Dette er faremomenter som kombineres med det at det ofte er behov eller høyst praktisk å ta med enhet eller batteri med inn. LEV er forbrukerelektronikk som skiller seg fra annen elektronikk ved at det har et bruksmønster og behov som er særegent. Battericelleteknologien benyttet i LEV og EV er lik, men LEV benytter seg av færre og mindre celler. De er begge avhengig av de egenskapene som Li-ion batterier innehar, men mengden energi behovet er forskjellig. LEV er mindre i utforming og har et mindre strømbehov i kapasitet og styrke. Grunnet batterienes kapasitet og spenningsforskjell benytter EV seg av høyere lade strøm enn LEV. Grunnet utformingen av de fleste LEV vil de ikke kunne tilby de samme sikkerhetstiltakene som en elektrisk bil. EV er større i utforming som gir de muligheten til å utformes slik at batteri beskyttes mot ulike farer. Disse vektbegrensningene påvirker mulighetene for å beskytte batterier fra skader eller andre sikkerhetsfremmende tiltak. Dette kan være komponenter som kan regulere batteritemperatur. Grunnet LEV sine begrensninger innen vekt og batterikapasitet vil batteriet være mer utsatt for temperatur avhengige skader. Muligheten for å varme opp et kaldt batteri eller kjøle ned et overopphetet batteri er begrenset. Dette gjør LEV mer utsatt for kaldlading og overoppheting, som gjør batteriet mer avhengig av at brukeren behandler batteriet riktig. Det er moderate muligheter for å beskytte LEV batterier fra mekaniske skader, grunnet design og vektbegrensninger. LEV er allikevel en del av trafikken som gjør at det lett kan oppstå skader som fører til brann enten på ulykkesstedet eller senere. LEV mulighet til å skjerme batteriet fra vær og fukt er begrenset, da det er ofte kun plast deksler som holder vann ute fra batteripakken. Dette er en barriere som lett svekkes ved mindre skader på batteripakker og kan føre til skadelig korrosjon på batteriets komponenter. LEV er da utsatt for skader knyttet til trafikk og vær. LEV er mer sårbar for mekaniske skader enn andre elektriske kjøretøy er fordi det er begrenset med beskyttelse for batteriet. De er også sårbar for skader

knyttet til temperaturer slik som kaldlading og overoppheting. LEV har ingen alder eller sertifikat krav for bruk, dette vil gjøre LEV mer utsatt for skader.

Dette er en annen måte LEV skiller seg fra EV med at bruksområdet strekker seg inn i bolig og kan ha en relativt større konsekvens ved eventuell brann. Elektriske biler begrenses til utendørs eller tilpassede garasjer, men det er en mer naturlig del av LEV sitt bruksmønster at det tas med inn i boenhet. Bruk av andre enheter med litiumbatterier inne og i boliger er en ganske vanlig, men LEV skiller seg noe ut fra enheter slik som mobiler, laptop, og andre mobile enheter med at LEV har relativt mye større batterier med flere battericeller. Disse batteriene har større potensiale for å slippe ut større mengder gass og energi ved en brann enn de mindre batteriene. LEV er særegen på den måten at det brukes ute og er en del av trafikken, men kan tas med inn.

5.4 Hvor ofte oppstår branner i lette elektriske kjøretøy

LEV opplever en pågående høy vekst i popularitet og er en del av fokusområdet til trafikkutviklingen i Norge. Med det økende fokuset med å begrense biltrafikk vil LEV bli et viktigere verktøy for å nå slike mål. I utgangen av 2018 er det beregnet at det var ca. 175 000 elektriske sykler i Norge. Elektriske sykler er kun en andel av det totale LEV antallet i Norge som kan antas å være mye større. Det er ingen tilgjengelig statistikk for SEV, som vil utgjøre et betraktelig antall enheter. Det har ikke vært mulig å anslå det totale antallet LEV. Eلسykkelens økende utbredelse er en god indikasjon på veksten til LEV totalt sett. Denne utviklingen i popularitet vil påvirke hvor ofte LEV branner oppstår i fremtiden.

Gjennom prosjektet er det registrert 24 branner i Norge og 77 i Sverige der lette elektriske kjøretøy antas å være tennkilde i tidsrommet jan.2016 til des. 2018. Dette er gjennomsnittlig én brann annenhver måned i Norge og 2 hver måned i Sverige for perioden. I Nederland har det vært 38 branner siden 2013, med en sterk økning i branner i 2018 da det gikk fra et gjennomsnittlig antall på 4 branner i året til 19. Statistikken viser at LEV i 2017-2018 var en liten bidragsyter til det totale antallet branner i Norge sammenlignet med andre årsaker. I Norge har antallet LEV branner per år steget fra 2 i 2016 og 8 i 2017 til 14 branner i 2018. En slik økning kan skyldes økningen i antall LEV benyttet i Norge. Det er antall branner innen kategorien elsykkel som har økt mens SEV har holdt seg stabil. Det kan knyttes opp mot at antallet elektrisk sykler i Norge også økes, det antas at det var 175 000 elektriske sykler i Norge i slutten av 2018. Samtidig har Sverige et stabilt antall branner på elsykler der det var 4-3 branner per år, men et betraktelig høyere antall branner innen SEV med et gjennomsnitt på 22 per år. Det er en betydelig forskjell i antall LEV branner i Norge og i Sverige, dette kan skyldes flere årsaker. Sverige er et større land med ca. dobbelt så mange innbyggere. Selv om det ikke finnes noe statistikk på samlet antall LEV vil det være rimelig å tro at Sverige har et større antall, selv om antall også avhenger av andre aspekter som f. eks. økonomi, popularitet og politikk. Det svenske markedet er også forskjellig fra det norske, de samme produktene og merkene er ikke nødvendigvis tilgjengelig i begge land. Dermed kan Sverige ha hatt en større andel LEV av dårligere kvalitet enn Norge. Markedsforskjellene kan også ha påvirket forskjellen i antall LEV branner. Statistikken fra Nederland viser en sterk økning i antall branner, både for elsykler og andre LEV. Det er noe vanskeligere å si om dette er realiteten siden statistikken er tatt fra media og ikke statlige databaser. En slik økning i antall registrerte branner kan skyldes økningen i sykler, men kan også skyldes en hyppigere dekning av slike branner i media.

Forholdet mellom branner oppstått mellom elsykler og SEV er samlet sett at elsykkel er ca. 40% av tilfellene. Sverige hadde et kraftig overtall av branner oppstått innen SEV kategorien med kun 13% elsykkelbranner. Norge og Nederland hadde flere elsykkelbranner med ca. 70% av alle tilfellene. Samlet sett er det den største andelen LEV branner produkter slik som hoverboard, skateboards, sparkesykler, airwheels, Segways o.l. Dette er grunnet Sveriges høye antall branner innen denne sjangeren, der hoverboard har vært det problematiske produktet. Det har vært en liten nedgang i denne typen branner i 2018. Siden det totale antallet LEV ikke er kjent kan ikke det benyttes for å tilsi hvilken kategori som er mer utsatt for brann. Forholdet er ganske likt i Norge og Nederland med ca. 70% av tilfellene var elsykler som brant, dette kan være knyttet til at det kanskje er et overtall av elsykler i Norge og

Nederland, dette er antageligvis tilfellet for Nederland som har en særegent god sykkelkultur. Sverige har hatt mange SEV branner dette er alle hoverboardbrannene de siste årene, dette har blitt identifisert og satt inn tiltak mot. SEV branner i Sverige vil da kunne reduseres fremover slik at legger seg mer på linje med Norge. Norge og Nederland har

Lading er den triggende eller medvirkende hendelsen i mange av de hendelsesforløpene som kan forårsake brann i Li-ion batterier. Slik som overlading, overoppheting, dendrittfomasjon via kaldlading eller overlading og energi tilførsel til kortslutninger. Blant statistikken som er samlet inn via prosjektet utgjorde 60% av de 128 LEV brannene tilfeller der det var dokumentert at batteriet var tilkoblet lader når brannen oppstod. Både Norge og Nederland hadde en større andel ikke tilkoblede branner med Norge på 42% og Nederland på 29%. Den svenske statistikken hadde 74% batterier tilkoblet når brannen oppstod. Hvis man separerer statistikken fra hverandre og ser på SEV og elsykler hver for seg, er ca. 80% av SEV hendelsene når enheten er tilkoblet lading. Hos elsykler er det 46% av hendelsene som er når enheten er tilkoblet lading. Grunnet «Ikke lading» kategorien også inneholder hendelser der lading ikke er bekreftet kan det være en høyere andel «Lading» enn det som ikke er telt. SEV er en omfattende kategori med mange forskjellige produkter innenfor, blant annet er det hoverboard som MSB har identifisert som et risikoprodukt. Blant Hoverboard brannene i Sverige var det også 80% av brannene som oppstod under lading. Ved markedsundersøkelsen ble det avdekket at majoriteten av hoverboardene i undersøkelsen manglet dokumentasjon som bekreftet at kravene til sikkerhet var opprettholdt. Mesteparten av statistikken i oppgaven er hentet ut ifra hendelser dokumentert av nødetater og inneholder kun det som har blitt varslet om. Behovet for nødetater kan være mer trengende ved et batteri til lading. Lading er noe som foregår i sammenheng med bygg eller annet anlegg der brannspredning er et mulig utfall. Dette kan være en faktor som gjør at andelen innen de nødetat innrapporterte hendelsene har en høyere andel lade branner enn realiteten. Andelen lading per brann kan være høyere blant hendelser som er innrapportert til nødetater enn i realiteten. Statistikken benyttet er ikke nødvendigvis en god skildring av realiteten for alle batteribranner, men gir en innsikt i brannfaren ved lading for hendelser som utgjør en større fare for folk og bygg. SEV er noe mer utsatt for brann ved lading enn elsykkel er. Elsykler er allikevel ganske utsatt med omtrent halvparten av hendelsene oppstod ved lading.

Klima vil ha en påvirkning på batterisikkerheten til LEV. Siden LEV bruk ofte er begrenset til perioder der været er temperert vil dette føre en større andel batterier som ikke blir benyttet gjennom vinteren som kan føre til skader som følge av over utlading. Ekstreme varme tidsperioder vil også kunne bidra til brann i batterier. Da batterier vil lettere nå uønskede temperaturnivåer ved bruk i høye omgivelses temperaturer. Statistikken samlet inn ble behandlet slik at man kan se nøyere på fordelingen av branner utover året for alle LEV brannene. I den samlede statistikken for Norge, Sverige og Nederland er det august (16%), oktober (11%) og juni (10%) som er de 3 månedene da flest branner oppstår. Ved se på årstidene vinter, vår, sommer og høst, var det sommeren som hadde mest av andelen med 32% av alle hendelsene, høst med 27%, vår med 23% og vinter med 17%. I Norge er det august (17%), januar (13%), mai (13%) og september (13%) som er de månedene med flest tilfeller. Sommer- og vårmånedene hadde begge 29% av hendelsene, men vinter og høst hadde begge 21% av tilfellene. I Sverige er det august (13%), juni (12%) og oktober (12%) som hadde flest branner. Sommeren hadde flest branner med 34%, høst med 26%, vår med 23% og vinter med 17% av brannene. Hendelsene i Nederland var fordelt med størst andel på august (21%), mai (13%) og oktober (13%). I Nederland er det høsten som har flest tilfeller med 34% og så er det sommer med 32%, vår med 18% og vinter med 16%. 16% av alle brannene i statistikken oppstod i august som gjorde det til den mest utsatte måneden. Det oppsto flest branner i august for Norge, Sverige og Nederland individuelt. Dette kan være knyttet til økt bruk denne måneden. Det er også mulig at en bidragsyter til denne høye frekvensen er at batterier ligger ubrukt gjennom sommeren og startes opp igjen i august. Det ble sett etter en sammenheng mellom årstid og LEV branner. I den samlede statistikken for Norge, Sverige og Nederland var det flest hendelser om sommeren og færrest om vinteren. Dette kan nok knyttes opp mot geografi og at LEV er lettere å benytte seg av når

det er varmt i været. Ett annet aspekt som det ble sett etter er om det er en økning i hendelser på våren når LEV tas frem etter vinterdvale slik som Hendelse 1 beskriver. Det var ingen utpreget økning i hendelser på våren i forhold til sommer og høst. Den Norske statistikken alene hadde ingen store forskjeller mellom årstidene med sommer og vår med 29% og høst og vinter med 21%. I Norge er det da et noe større antall hendelser om våren enn det er om høsten, det er allikevel ingen utpreget forskjell. Noe som gjør det vanskelig uten mer statistikk å knytte det opp mot over utlading etter vinter. Sverige har også flest hendelser om sommeren med 34%, 26% om høsten, 23% om våren og 17% om vinteren. I Sverige er det da ingen økning i antall hendelser om våren. Nederland sin årstidsfordeling skiller seg ut noe ved at det er flest tilfeller om høsten, deretter sommer, vår og vinter. I motsetning til en økt mengde branner på våren er det en større andel om høsten utenom i Norge. Dette kan være knyttet til mer bruk om høsten enn om våren. Det tydelige som kan ses fra statistikken er at det er en betydelig forskjell i branner avhengig av årstid. Det ble observert en tydelig forskjell i frekvensen til LEV branner i de forskjellige årstidene. Sommeren er mest utsatt for LEV branner og det oppstår færrest branner om vinteren. Dette knyttes opp mot bruk og at mer hyppigere bruk vil føre til flere branner. Statistikken er hentet fra land der vinteren er kald og nedgangen i hendelser om vinteren skyldes mindre bruk. Dette er et mønster som kan endre seg med utviklingen av ny batteriteknologi, klima- og brukskultur endringer. En hypotese som ble sett etter var om det var en større mengde branner som oppstod om våren. Denne hypotesen var knyttet til overutlading og kalde vintre. Det var ingen tydelig økning i branner utenom den naturlige økningen knyttet til økt bruk i forhold til vinteren. Dette kan indikere at overutlading ikke er et så utbredt problem.

Sverige har hatt mange SEV branner i 2016-2018 sammenlignet med Norge og Nederland. Dette er grunnet det store antallet hoverboardbranner som Sverige har opplevd siden juli 2016 til mai 2018. MSB har en egen statistikk som dokumenterer 79 branner i perioden juli 2016 til mai 2018, som i mai 2017 førte til en markeds kontroll av 13 hoverboard på det svenske markedet. Kontrollen avdekte at 10 av 13 hoverboard ikke opprettholdt kravene for CE merking som var grunnlag for salgstop. Nederland har også gjennomført kontroll av de 30 mest brukte hoverboard merkene i Nederland. Dette avdekte at samtlige hadde alvorlig risiko for brann, grunnlaget for dette var at de fleste manglet beskyttelse for overlading. Disse ble da forbudt å selge og det ble sendt ut advarsler mot dem. Ved å se på forholdet mellom elsykkel og SEV branner i Sverige er det tydelig at hoverboard brannene har vært avgjørende for denne store forskjellen. Ifølge prosjektets egen-innsamlede statistikk var bare 13% av LEV brannene i Sverige elsykler. Dette kan skyldes at elsykkel er en smalere kategori enn SEV. Det er da en stor andel av brannene som skyldes hoverboard. Det er samtidig ingen statistikk som kan beskrive antall hoverboard eller forholdet mellom antallet elektriske sykler og SEV i Sverige. Dette gjør det ikke kan anslås antall branner per hoverboard. Markedskontrollen avdekte at det faktisk var uregelmessigheter hos et stort antall hoverboard, at disse ikke hadde dokumentasjon for at de oppfylte de kravene som stiltes til dem. Blant de svenske hoverboardbrannene er det avdekket at 80% av hendelsene oppstod ved lading.

Det er en liten reduksjon i LEV branner etter 2017 i Sverige. Som kan tyde på at salgsforbud og advarslene har bidratt til å redusere branntilfeller ved slike produkter. Den brannfare som var tilfelle ved de svenske hoverboardbrannene skyldes antageligvis dårlig kvalitet og svakheter ved sikkerheten fra produsenten. 80% av hendelsene oppstod under lading, dette er også en brannfare som har blitt identifisert i hoverboard i Nederland der det manglet beskyttelse mot overlading. Dette kan ha vært tilfelle i Sverige også.

Elsykler er en kategori innen LEV der det har vært mulig å samle inn god statistikk for branner og for antall sykler. Det har vært mulig å finne hvor mange branner per elsykkel for flere år for Norge, Sverige og Nederland. Dette forholdet mellom sykler og branner har blitt benyttet til å anslå antall branner per år fremover. I Norge er gjennomsnittlig brann/sykkel er $3,9 \cdot 10^{-5}$, dette gjennomsnittet benyttes videre for å utlede en prognose for branner per år. Elbilforeningens antagelse der de anslår at det vil hvert år

selges 60 000-70 000 elsykler benyttes til å anta en økning på totalt antall elsykler på 65 000 i året. Ved å kombinere de to antagelsene, sykkelparkprognosen og gjennomsnittlig brann/sykkel utledes det en prognose fra 2019 til 2025. Dette viser en fordobling av elsykkelbrannene fra 2018 i 2024, på 22,5 branner.. Dette tilsvarer en økning i antall branner per år med ca. 3 branner i året. En annen fremgangsmåte som beskriver brann utviklingen som er basert på likhetstrekkene mellom elsykkel og elbilsalg. Det ble det anslått at det vil være 400 000 sykler i utgangen av 2020 om denne trenden fortsetter. Dette tilsvarer 16 branner i 2020 som er ca. fire flere enn prognosen basert på det flate salgstallet. Dette er basert på forventninger til elbilsalget og det er ingen antagelser etter 2020. En prognose ble laget for Sverige også som benyttet seg av det gjennomsnittlige importtallet for 2017-2018 som et antatt videre økning i elsykler. I Norge har det vært gjennomsnittlig $4,6 \cdot 10^{-5}$ branner per sykkel. Prognosen basert på videre salg viste en økning i antall branner på 3 per år. Prognosen som viste en økning på 3 per år var en relativt moderat antagelse siden den var basert på gjennomsnittlige importtall, og det antageligvis vil være en økning i salg av sykler per år. I statistikken samlet inn har det gjennomsnittlig vært 4 branner per 100 000 elsykler i Norge og det forventes et salg på 60.000-70.000 per år, dette tilsvarer en økning på 3 elsykkelbranner i året. Hvis elsykkelsalget følger elbilsalget, slik som det har gjort til en viss grad de siste årene vil det øke med 5 elsykkelbranner i året. Det kan da antas en økning elsykkelbranner på 3-5 i året. Med denne antagelsen vil det blitt en fordobling av antall branner som oppstod i 2018 i løpet av tidsrommet 2020-2024, altså 20 branner i året.

6 Konklusjon

Prosjektets formål var å studere brannfaren til lette elektriske kjøretøy i Norge, denne problemstillingen ble delt inn i tre delproblemstillinger som skulle svare på hva som påvirker Li-ion batteriers brannsikkerhet, hvordan lette elektriske kjøretøy skilte seg ut fra andre produkttyper og hvor ofte LEV branner oppstod.

Litteratursøket ga svar på hva som påvirker sikkerheten til Li-ion batterier. Brannsikkerheten til Li-ion batterier avhenger av batteriets egenskaper, ladenivå, alder og hvordan det blir behandlet. Thermal runaway er scenarioet som ønskes å unngå for at batteri cellen ikke skal forårsaker brann. Når de eksoterme reaksjonene som er årsakene til den høye varmeøkningen under thermal runaway oppstår avhenger av batterimaterialenes egenskaper. Thermal runaway vil oppstå ved et lavere temperatur nivå ved eldre batterier. Brannfaren er større hos et gammelt batteri enn det er hos et nytt. Batteriene er sårbar for skader, så dette kan gi batteriet en økt slitasje over tid som svekker brannsikkerheten til batteriet med alderen. Svakheter ved produksjon kan føre til at en slik aldringsprosess akselerere eller at det oppstår kortslutning i cellen.

Batteriets ladenivå (SOC) har en stor påvirkning på batteriets sikkerhet ved at SOC kan avgjøre om thermal runaway oppstår eller ikke. Utladete batterier vil ikke ha nok energi til å alene aktivere thermal runaway. Batterier med et høyt ladenivå i kombinasjon med indre kortslutning vil lettere oppnå thermal runaway. Batterier med høyere ladenivå vil frigjøre mer varme under selve thermal runaway. Batteriet vil kunne gå inn i thermal runaway hvis det blir utsatt for skader, slag eller kraftige ristningen, siden dette kan forårsake indre kortslutninger. Lading av Li-ion batterier kan skade batteriet om batteriet ikke har et fungerende system som forhindrer skadelig lading. Dette er overlading og kaldlading. Overlading kan lede til thermal runaway som følge av den økte varmen, men kan også via dendrittfformasjoner føre til thermal runaway ved kortslutning av cellen. Lading av batterier under ca. 5 °C skal unngås for å at batteriet ikke skal utvikle dendrittfformasjoner.

Ved å la batteriet utlades vil batteriet kunne overutlades slik at indre kortslutning oppstår. Siden det ikke er noe elektrisk energi lagret i batteriet vil konsekvensene ikke vise seg før det lades opp og varme kan frigjøres via kortslutningen. Utlading er noe som vil naturlig skje over tid hvis batteriet ikke er i bruk. Klima vil ha en påvirkning på batterisikkerheten til LEV. Siden LEV bruk ofte er begrenset til perioder der været er temperert vil dette føre en større andel batterier som ikke blir benyttet gjennom vinteren som kan føre til skader som følge av overutlading. Perioder med ekstremt varmt vær vil også kunne bidra til brann i batterier. Da batterier vil lettere nå uønskede temperaturnivåer ved bruk i høye omgivelsestemperaturer.

Lette elektriske kjøretøy skiller seg fra andre produkter på mange ulike måter. Lette elektriske kjøretøy er et særegent produkt, når det gjelder bruk og utforming. Dette påvirker hvilke utfordringer batteriene til LEV utsettes for og hvilke egenskaper de har. Elektriske biler (EV) er en av de naturlige kategoriene å sammenligne lette elektriske kjøretøy med. En grunnleggende forskjell mellom LEV og EV er bruker gruppen. EV er kjøretøy som sterkt reguleres og det stilles store krav til hvem som kan kjøre de og hvor de kan kjøres. LEV har en mer allsidig brukergruppe siden det ikke kreves noe sertifikat for å benytte LEV. Dette er utfordrende siden batteriene må behandles med forsiktighet. Ved en så vid brukergruppe vil det være ulike forutsetninger for brukere å kunne opprettholde sikkerheten for Li-ion batteriene. Battericelleteknologien benyttet i LEV og EV er lik, men LEV benytter seg av færre og mindre battericeller. EV og LEV er begge avhengig av de egenskapene til Li-ion batterier, men LEV har et mindre energibehov. Grunnet LEV sine begrensinger i utforming og vektbegrensninger er de mer utsatt for skader. LEV er mer utsatt for mekaniske skader, kaldlading og overoppheting enn EV er. LEV skiller seg noe ut fra enheter slik som mobiler, laptop, og andre mobile enheter, med at LEV har relativt mye større batterier med flere battericeller. Disse batteriene har et større potensiale for å slippe ut større mengder gass og energi ved en brann enn de mindre batteriene. Hvis LEV tas med inn er det for oppbevaring eller lading og ikke fordi det skal brukes. Dette gjør ganger, trappeopp ganger og

rømningsveier mer utsatt for LEV branner enn for andre batteribranner. LEV batterier utgjør en større trussel for rømningsforholdene enn annen bærbar forbrukerelektronikk ved batteribrann.

Statistikkøket som er gjennomført avdekket flere hendelser der lette elektriske kjøretøy er innblandet. Denne statistikken ble behandlet slik at det ble sett nærmere på lading, årstid og type kjøretøy. LEV opplever en høy vekst i popularitet og er en del av fokusområdet til trafikktviklingen i Norge. Med det økende fokuset på å begrense biltrafikk vil LEV bli et viktigere verktøy for å nå slike mål. Denne utviklingen i popularitet vil påvirke hvor ofte slike branner oppstår i fremtiden. Det ble observert en tydelig forskjell i frekvensen til LEV branner i de forskjellige årstidene. Sommeren er mest utsatt for LEV branner og det oppstår færrest branner om vinteren. Dette knyttes opp mot bruk og at hyppigere bruk vil føre til flere branner. En hypotese som ble sett etter var om det var en større mengde branner som oppstod om våren. Denne hypotesen var knyttet til overutlading og kalde vintre. Det var ingen tydelig økning i branner utenom den naturlige økningen knyttet til økt bruk i forhold til vinteren. Dette kan indikere at overutlading ikke er et så utbredt problem. Lading er en av de triggende årsakene til at thermal runaway kan oppstå. Statistikken viste at ca. 80% av SEV brannene var tilkoblet lading og ca. 50% av elsykler var tilkoblet da brann oppstod. Det er identifisert totalt 24 LEV branner i den norske BRIS databasen i perioden 2016-2018. Branner per år har økt kraftig for hvert år. Det ble estimert hvordan antall elsykkelbranner kommer til å utvikle seg gjennom de neste årene. Det antas at det er minst 175 000 elektriske sykler i Norge i utgangen av 2018. Det forventes en økning på 3-5 branner per år innen elsykkelsegmentet i Norge. Antall LEV branner i dag er ikke veldig høyt og er en veldig liten andel av det totale antallet branner i Norge. Siden dette er en produkttype i vekst vil antall LEV branner øke fremover de neste årene. Årsakene til at disse brannene oppstår varierer, men batteriets alder vil øke sannsynligheten for thermal runaway og deretter brann. Siden LEV er en relativt ny produkttype er det en større andel nye enheter på markedet, og effekten av aldring har ikke fått vist seg i statistikken enda. Det antas at en økning grunnet alder vil kunne starte å vise seg først i årene etter 2019 for elsykler, 2021 for selvbalsenerende kjøretøy og 2023 for de resterende små elektriske kjøretøyene.

Brannfaren til lette elektriske kjøretøy avhenger av hvor det benyttes, sikkerheten til batteriene og tilstanden til batteriet. LEV har et stort potensiale til å skape farlige situasjoner, og konsekvensene til en brann avhenger av plassering. Ved en eventuell LEV brann er det fare for at det oppstår bygningsbranner siden LEV har behov som gjør det praktisk å tas med inn. Dette er behov knyttet til tyverisikker oppbevaring og temperert lading. Dette gjør at boliger er mer praktisk plassering for slike enheter. Boenheter er da mer utsatt for LEV branner enn det ganger og trapperom er, siden boliger kan tilby lading i både vått og kaldt vær. Det er da en fare for at LEV branner kan forhindre rømming om brannen er av en slik art at det ikke kan lett slukkes.

LEV har opplevd en stor økning i bruk de siste årene i Norge. Dette er fordi det har blitt tilrettelagt for bruk både via lov og infrastruktur. Regjeringen har satt seg som mål at i byområdene skal videre vekst i trafikk skje via kollektivtransport, sykkel og gange. Det økte fokuset på sykkel og gange vil kunne føre til en enda større vekst i bruken av LEV i fremtiden. Denne økningen vil antagelig stige mest i byområdene, der det er mindre plass som kan føre til en høyere andel LEV i boliger. Denne utviklingen kan føre til økt antall boligbranner knyttet til LEV.

Det konkluderes med at LEV i dag ikke utgjør en stor brannfare, men kan føre til mange branner i fremtiden grunnet stor vekst av denne nye kjøretøytypen. Det vil oppstå et økt antall LEV branner i årene fremover og konsekvensene av slike branner kan være store med tanke på oppbevaring og lading. Lading øker sannsynligheten for at brann oppstår i LEV som i kombinasjon med at optimale ladeforhold er inne i bygg, gjør boliger utsatt for LEV branner. Statistikken som er tilgjengelig for Norge i dag har ikke blitt påvirket av den svekkede sikkerheten alderen til slike enheter medfører. Største andelen av slike branner vil oppstå i sommerhalvåret og det kan være en større økning i LEV boligbranner for byområdene.

7 Referanser

- Abada, S., Petit, M., Lecocq, A., Marlair, G., Sauvant-Moynot, V., & Huet, F. (2018, July 24). Combined experimental and modeling approaches of the thermal runaway of fresh and aged lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, pp. 264-273.
- Amietszajew, T., McTurk, E., Fleming, J., & Bhagat, R. (2018, januar 12). Understanding the limits of rapid charging using instrumented commercial 18650 high-energy Li-ion cells. *Electrochimica Acta*, ss. 346-352.
- Arbetsmiljö verket. (2017). *Marknadskontroll av elektriska balansbräddor i butik*. Stockholm: Arbetsmiljö verket.
- Battery University Group. (2017, 7 31). *Batteryuniversity.com*. Hentet fra Battery university: https://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype
- Bovag, Rai vereniging. (2018). *Mobiliteit in Cijfers Tweewielers 2018-2019*. Amsterdam: Bovag-Rai Mobiliteit.
- Buskerudbyen. (2018, juni). *Buskerudbypakke 2*. Hentet fra Buskerudbyen.no: <https://www.buskerudbyen.no/om-buskerudbyen/om-buskerudbypakke-2/>
- Cheng, K. W., Divakar, B. P., Wu, H., Ding, K., & Ho, H. F. (2010, oktober 25). Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.60, No.1, ss. 76-88.
- Danmarks Statistik. (2019, april 04). *KN8Y: Im- og eksport KN (EU Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed*. Hentet fra Statistikbanken.dk: <http://www.statistikbanken.dk/KN8Y>
- Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap. (2019, mars). BRIS. Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap.
- ELIBAMA. (u.d.). *ELECTRODES AND CELLS MANUFACTURING WHITE PAPER*. Hentet april 19, 2019 fra Elibama: <https://elibama.files.wordpress.com/2014/10/elibama-white-paper-full.pdf>
- Energi- og miljøkomiteen. (2012, juni 8). Innst. 390 S. *Innstilling til Stortinget fra energi- og miljøkomiteen*, side 4. Oslo. Hentet fra <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/innstillinger/stortinget/2011-2012/inns-201112-390.pdf>
- Fintland, O. (2018, august 26). *Dobling i salg av elsykler*. Hentet fra Aftenbladet.no: <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/J1AdIX/Dobling-i-salg-av-elsykler>
- Golubkov, A. W., Scheikl, S., Planteu, R., Voitic, G., Wiltsche, H., Stangl, C., . . . Hacker, V. (2015, June 22). Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes - impact of state of charge and overcharge. *The Royal Society of Chemistry 2015*, ss. 57171-57185.
- Harms, L., & Kansen, M. (2018). *Cyckling Facts*. Haag: Ministry of Infrastructure and Water Management.
- Hendricks, C., Williard, N., Mathew, S., & Pecht, M. (2015, august 6). A failure modes, mechanisms, and effects analysis (FMMEA) of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, ss. 113-120.

- Hoang, X. (2010, desember 30). Separator technologies for lithium-ion batteries. *Journal of Solid State Electrochemistry*, pp. 649-662.
- Jordan, J. (2013). *Lithium secondary batteries and hobbies*. Dallas.
- Kong, L., Xing, Y., & Pecht, M. (2018, mars 12). In-Situ Observations of Lithium Dendrite Growth. *IEEE*, ss. 8387-8393.
- Martinsen, E., & Gildestad, B. A. (2018, mai 2). *Denne elsykkelen brant i dag*. Hentet fra Nrk.no: <https://www.nrk.no/ostlandssendingen/denne-elsykkelen-brant-i-dag-1.14031635>
- Middelkoop, J. (2014, august 22). 2014-08-22 Burgh Haamstede - containerebrand met elektriske scooters - batterijen gelanceerd. Nederland: upublisert.
- Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. (2018). *Hoverboards*. Hentet fra nvwa.nl: <https://www.openbare-inspectieresultaten.nvwa.nl/productonderzoek/productonderzoek/hoverboards>
- Norsk Elbilforening. (2016, 12 31). *Statistikk elsykkel*. Hentet fra Elbil.no: <https://elbil.no/info-elsykkel/elsykkel-statistikk/>
- Norsk elbilforening. (u.d.). *Elbilbarometeret 2018*. Hentet fra Elbil.no: <https://elbil.no/elbilstatistikk/elbilbarometeret/>
- Ordendorff, C. J. (2012). The Role of Separators in Lithium-Ion Cell Safety. *The Electrochemical Society Interface Summer 2012*, ss. 61-65.
- pxhere.com. (2017, februar 22). wheel-vehicle-motorcycle-tire-wheelchair-motor-799160-pxhere.com. Hentet fra <https://pxhere.com/en/photo/799160>
- Qingsong Wang, P. P. (2012, januar 5). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, pp. 210-224.
- Ren, D., Feng, X., Lu, L., Ouyang, M., Zheng, S., Li, J., & He, X. (2017, juni 13). An electrochemical-thermal coupled overcharge-to-thermal-runaway model for lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, ss. 328-340.
- Rhan, C. D., & Wang, C.-Y. (2012). *Battery Systems Engineering*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Röder, P., Stiaszny, B., Ziegler, J. C., Baba, N., Lagaly, P., & Wiemhöfer, H.-D. (2014, juni 15). The impact of calendar aging on the thermal stability of a LiMn2O2-Li(Ni1/3Mn1/3Co1/3)O2/graphite lithium-ion cell. *Journal of Power Sources*, ss. 315-325.
- Samferdselsdepartementet. (2019, mars). Forskrift om krav til sykkel. *Forskrift om krav til sykkel*. Norge. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1990-02-19-119>
- Samsung SDI. (u.d.). *The Four Components of Li-ion Battery*. Hentet mars 2019 fra Samsungsdi.com: <http://samsungsdi.com/column/all/detail/55272.html?idx=55272#>
- Scrosati, B. (2011, Februar 28). History of lithium batteries. *Springer*, ss. 1623-1630.
- Solås, S. V., & Klausen, J.-F. (2018, januar 9). *Elsykkel tok fyr - brannvesenet skjønner ingenting*. Hentet fra Nrk.no: <https://www.nrk.no/ostfold/elsykkelbatteri-begynte-a-brenne-1.13857169>

- Stangenes, K., & Samuelsen, J.-A. (2018, september 17). *Elsykkel-batteri eksploderte-bolig ble totalskadd*. Hentet fra Nrk.no: <https://www.nrk.no/vestfold/elsykkel-batteri-eksploderte--bolig-ble-totalskadd-1.14208655>
- Statistisk sentralbyrå. (2019, mars 29). *Bilparken*. Hentet fra ssb.no: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg>
- Statistisk sentralbyrå. (2019, mars 31). *Utenrikshandel med varer*. Hentet fra ssb.no: <https://www.ssb.no/statbank/list/muh/>
- Statistiska Centralbyrån. (2019, april 04). *Varuimport från samtliga länder efter varugrupp KN 2,4,6,8-nivå och handelspartner, sekretessrensad, ej bortfallsjusterat. År 1995 - 2018*. Hentet 04 04, 2019 fra Statistikdatabasen.scb.se: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__HA__HA0201__HA0201B/ImpTotaKNAr/?rxid=6b8ef97d-30b2-4a81-be69-d9191c1bd150
- Strömgren, M. (2018). *Fires in Hoverboards*. (M. Strömgren, Artist) Nordisk brandutredarkonferens, Danmark.
- Strömgren, M. (2018, august 20). *Kända bränder i hoverboards*. Hentet fra msb.se: <https://www.msb.se/sv/Om-MSB/Nyheter-och-press/Nyheter/Nyheter---Statistik/Kanda-brander-i-hoverboards/>
- University of Washington. (2018, april). *LITHIUM BATTERY SAFETY*. Hentet fra www.ehs.washington.edu: <https://www.ehs.washington.edu/system/files/resources/lithium-battery-safety.pdf>
- Vestfold Interkommunale Brannvesen. (2018, juni 1). *Vestfold Interkommunale Brannvesen oppdatering 1. juni 2018*. Hentet fra Facebook.com: <https://www.facebook.com/brannvesenet/posts/1712550838830035>

8 Vedlegg

| Nr. | Vedlegg | Side |
|-----|---------------------|------|
| 1 | Hendelse 1 Intervju | I |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

8.1 Vedlegg 1

Hendelse 1: Intervju

Elsykelbatteri

Kontaktperson: Dagligleder i butikk

Intervjuer: Øyvind Aleksander Sæther

Produkt navn: Diavelo

Dato for brann: 17.04.17

Dato for intervju: 11.03.19

| Spørsmål | Svar |
|--|--|
| Hendelses beskrivelse | Batteriet er utladet etter vinter og vil ikke lades. Det blir da forsøkt lades opp av butikk medarbeidere, batteriets lys indikerer at batteriet mottar lading. Batteriet blir forlatt når det har oppnådd 85% kapasitet, en time senere blir brannen observert av naboer. Første etasje står i flammer. |
| Når | Ca. 19.00 |
| Hvor | I butikklokale |
| Årsak | Bruker og Politi konkluderer med at defekt batteri var årsaken, men ingen videre årsak er bestemt. |
| Deteksjonsmetode | Naboer observert røyk |
| Lading/utlading | Tilkoblet lading med en standard lader, men det var ladeproblemer første gang det ble satt til lading. |
| Tilstand til batteriet, nytt, gammelt, skadet | Batteriet var «dødt» etter vinteren |
| Skader | Store skader, på lokalet og røykskader på boliger bygget. |
| Nivå/spenning? | 85 prosent vist når de gikk hjem |

Notater til telefonsamtalen:

Det var en kunde som ikke fikk batteriet til å lade etter vinteren, det var helt dødt. De tok med batteriet til butikken slik at det kunne ses på. Batteriet ble satt til lading i butikken og viste at det ladet. Batteriet hadde nådd 85% da arbeidsdagen var over. En times tid etter stenging ble det varslet av noen som hadde sett røyk fra butikken. Da ansatt fikk vite det gikk tankene direkte til dette batteriet, det ble også konkludert av politiet at det var et defekt batteri som var årsaken til brannen.

«Butikken opplevde store brannskader og leilighetene over butikken ble fylt med røyk»

Batteri: Diavelo, Li-ion 400 Wh 7,2 ampere.