

# Bränder i Elektrifierade Truckar

---

Cecilia Östholm

BRANDTEKNIK | LTH | LUNDS UNIVERSITET



**EXAMENSARBETE**  
**Brandteknik**

**Bränder i Elektrifierade Truckar**

**Cecilia Östholm**

**Lund 2024**

Bränder i Elektrifierade Truckar  
Fire Incidents in Electrical Forklifts and Reachstackers.

Författare/Author: Cecilia Östholm

**Report 5712**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--5712--SE**

**Antal sidor/Number of pages:** 56, including appendixes.

### **Sökord/Keywords**

Litium-jon batteri bränder, Elektrifierade truckar, Förebyggande åtgärder, Åtgärder under brand, Litteraturstudie, Intervjustudie.

Lithium-ion battery fires, Electrified Forklifts, Prevention, mitigation during fire, Interview study, Literature Study.

### **Abstract**

The aim of this thesis is to quantify the consequences of a fire in Kalmar Globals Heavy Electric Forklifts and Electric Reachstackers as well as what actions can be taken to reduce the effects of an ongoing fire and what preventing measures can be made by Kalmar Globals customers to create a safe environment and reduce the probability of a fire breaking out. This thesis builds on information gathered during a literature study and a complementary interview study.

Fires in lithium-ion batteries generate a high heat release rate and a smoke production consisting of a mix of toxic and flammable gases. This thesis finds that the bigger the battery the larger the scale of the consequences will be. Compared to a conventional electric vehicle such as a car, Kalmar Globals working machines are larger in size and mass due to the ability of lifting heavy objects. Despite a larger size the heat release rate of Kalmar Globals machines is not proportionally higher than that of an electric car. Compared to a diesel driven version of the same model of forklift or reachstacker, the heat release rate of the electric version is marginally higher with the smallest battery size available for the Heavy Electric Forklift producing the equivalent heat release rate.

When it comes to actions that can be taken during a fire in a lithium-ion battery an important aspect is that of making sure there is good ventilation to reduce the concentration of toxic gases as well as limit the spread to nearby objects. Measures that can be taken as a preventing action include creating a safe place for the charging of the battery.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2024

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2024.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering  
Faculty of Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
Telephone: +46 46 222 73 60



## **Förord**

Denna rapport utgör ett examensarbete på Brandingenjörsprogrammet vid Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 22.5 högskolepoäng och är skrivet utav Cecilia Östholm.

Arbetet har gjorts i samarbete med Kalmar Global, Cargotec AB.

Jag vill tacka Erik Johansson och Oscar Träff vid Kalmar Global för deras handledning och hjälp under arbetets gång.

Tack till Nils Johansson vid LTH för god handledning och värdefulla tips.

Trevlig läsning!



## Sammanfattning

Kalmar Global är ett dotterföretag till Cargotec AB som tillverkar truckar i flera storlekar och för olika användningsområden. Nytt i deras utbud är elektrifierade versioner av deras Heavy Forklift och Reachstacker modeller med litium-jon batterier. De elektrifierade truckarna erbjuds i batterikapaciteter mellan 163-587 kWh. Cirka 2–6 gånger större batterier än typiska batterier i moderna elbilar. Kunskapsnivån när det kommer till bränder i den aktuella storleken av litium-jon batterier är bristande jämfört med kunskap om brandriskerna i bly-syra batterier, som använts i mindre truckar i decennier.

Detta arbete har utförts för att undersöka vad konsekvenserna av en brand i ett litium-jon batteri i Kalmar Globals truckar skulle bli samt att undersöka hur konsekvenserna i en elektrifierad truck förhåller sig jämfört med en dieseldriven motsvarighet. I arbetet har det även undersökts vilka åtgärder som behöver vidtas vid en brand i Kalmar Globals truckar samt vilka förebyggande åtgärder deras kunder rekommenderas att vidta för att öka säkerheten och minska konsekvenserna vid brand.

Arbetet har utförts genom två metoder; litteraturstudie och intervjustudie. Litteraturstudien har främst använts för att reda ut konsekvenserna vid brand och utgör huvuddelen av rapporten. Som resultat av litteraturstudien har relevant teori, beräkningar och analyser tagits fram. Intervjustudien har använts för att komplettera den information som tagits fram under litteraturstudien. Totalt intervjuades två personer från svensk räddningstjänst med kompetenser och erfarenheter av litium-jon batteribränder.

Statistik från MSB över elbilsbränder år 2018–2022 visar att bilar med förbränningsmotorer brinner ca 11–17 gånger oftare än bilar med hybrid- eller batteridrift. Statistiken visar att de flesta bränder i elbilar inte varit möjligt att fastställa orsaken till, bland de som det varit möjligt att fastställa är de två största kategorierna under färd samt under laddning. En ekvation som beskriver sambandet mellan ett litium-jon batteris kapacitet och den maximala effektutvecklingen som produceras, PHRR, utvärderades och det fanns underlag till att motivera användning av sambandet i arbetets beräkningar. Den maximala effektutveckling som produceras från litium-jon batterierna vid brand är mellan 2.68–5.78MW. Resterande brännbart i truckarna bidrar vid brand med en effektutveckling på 2.4 MW. Vilket ger en total maximal effektutveckling mellan 5.08- 8.18 MW beroende på kapaciteten på batteriet. En motsvarande dieseltruck skulle ge en effektutveckling på 4.9 MW. Det vill säga, givet att givet att brand uppstår, kan den maximala effektutvecklingen som uppstår i en elektrifierad truck bli större än i en dieseldriven. Rökproduktionen från en brand i ett litium-jon batteri blir större med en ökande storlek på batteriet, problematiska och toxiska gaser så som vätefluorid produceras.

Åtgärder som rekommenderas att vidtas under brand bör fokusera på att hindra spridning till närliggande och känsliga objekt, genom att exempelvis förflytta det brinnande objektet till en öppen yta eller utomhus. På grund av den höga mängden brandgaser som produceras bör även fokus ligga på att skapa goda ventilationsförhållanden och underlätta för räddningspersonal att genomföra en insats. Förebyggande åtgärder som rekommenderas innebär att dimensionera säkra laddningsplatser inom egen brandcell med god ventilation, inga möjliga tändkällor i närheten samt tillgång till släckutrustning.

Detta arbete är ett första steg för att kvantifiera bränder i litium-jon batterier av den här storleken, vidare studier behövs för att erhålla en bättre bild av en sådan situation.





## Summary

Kalmar Global is a subsidiary of Cargotec AB that manufactures forklifts and work machines in various sizes and for different applications. A recent addition to their product range includes electrified versions of their Heavy Forklift and Reachstacker models equipped with lithium-ion batteries. These electrified trucks are offered with battery capacities ranging from 163-587 kWh, approximately 2-6 times larger than typical batteries in modern electric cars. Knowledge about fire risks in lithium-ion batteries of this size is currently lacking compared to the understanding of fire risks in lead-acid batteries, which have been used in smaller trucks for decades.

The objective of this work is to investigate the consequences of a fire in a lithium-ion battery in Kalmar Global's trucks and compare these consequences to those in a diesel-powered counterpart. The study also explores the actions that need to be taken in the event of a fire in Kalmar Global's trucks and recommends preventive measures for their customers to enhance safety and minimize the consequences of a fire.

This work has used two methods: a literature review and an interview study. The literature review primarily addresses the consequences of fires and has produced the main part of the report. Relevant theories, calculations, and analyses are derived from the literature study. The interview study complements the information obtained during the literature review. Two individuals from local fire departments in Sweden with expertise and experience in lithium-ion battery fires were interviewed.

Statistics from the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) on electric vehicle fires from 2018 to 2022 indicate that vehicles with internal combustion engines burn approximately 11-17 times more frequently than hybrid or battery-powered vehicles. The two main causes of electric vehicle fires during this period were accidents that occurred during driving and during charging of the battery.

An equation describing the relationship between the capacity of a lithium-ion battery and the maximum heat release rate (PHRR) was evaluated. The maximum heat release rate from lithium-ion batteries ranges from 2.68 to 5.78 MW. The remaining combustibles in the trucks contribute to a heat release rate of 2.4 MW, resulting in a total heat release rate between 5.08 and 8.18 MW, depending on the battery capacity. A diesel version of the same models would have a heat release rate of 4.9 MW. Smoke production from a fire in a lithium-ion battery increases with the battery size, and problematic and high concentrations of toxic gases such as hydrogen fluoride are produced.

Recommended actions during a fire should focus on preventing the spread to nearby and sensitive objects, such as moving the burning object to an open area or outdoors. Due to the high volume of toxic gases produced, emphasis should also be on creating good ventilation conditions and facilitating firefighting efforts. Preventive measures include designing secure charging stations within a dedicated fire compartment with good ventilation, no possible ignition sources nearby, and access to firefighting equipment.

This work represents an initial step in quantifying fires in lithium-ion batteries of this size, and further studies are necessary to provide a more comprehensive understanding of such situations.

## Nomenklaturlista och förkortningar

<b>Ord eller förkortning</b>	<b>Beskrivning</b>
<b>HRR</b>	Heat Release Rate
<b>PHRR</b>	Peak Heat Release Rate
<b>SoC</b>	State of Charge- Batteriets laddning i %
<b>MSB</b>	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
<b>HF</b>	Vätefluorid, Hydrogen Fluoride
<b>NMC</b>	Litium-jon batteri med materialkombinationen litium, nickel, mangan och koboltoxid

# Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Mål.....	2
1.4	Metod.....	2
1.5	Avgränsningar och begränsningar .....	2
2	Kalmar Globals Truckar .....	3
2.1	Truckarnas Uppbyggnad .....	3
2.2	Laddning och batterier .....	3
3	Teori.....	5
3.1	Litium-jon batterier .....	5
3.2	Typer av battericeller.....	6
3.2.1	Uppbyggnad .....	6
3.2.2	Termisk rusning .....	7
3.2.3	Utsläpp av farliga gaser .....	8
3.3	Statistik.....	8
4	Resultat och analys.....	11
4.1	Effektutveckling från elektrifierade truckar .....	11
4.1.1	Maximal effektutveckling.....	11
4.1.2	Effektutveckling från övrigt material i trucken.....	13
4.1.3	Sammanlagd effektutveckling.....	14
4.1.4	Effektutveckling från en dieseltruck.....	15
4.1.5	Tillväxthastighet.....	15
4.2	Rökproduktion.....	17
4.3	Åtgärder under brand.....	18
4.3.1	Släckmetoder .....	18
4.3.2	Påverkan på omgivning och räddningspersonal.....	19
4.4	Förebyggande åtgärder.....	20
4.4.1	Säkra laddningsplatser .....	20
4.4.2	Kartläggning av truckarnas användning inom verksamheten.....	21
5	Diskussion .....	23
5.1	Statistik.....	23
5.2	Effektutveckling .....	23
5.3	Osäkerheter.....	24
5.4	Rökproduktion.....	25

5.5	Förebyggande arbete .....	25
5.6	Metodval.....	26
6	Slutsats.....	27
7	Fortsatta studier .....	29
8	Referenser .....	31
	Bilaga A Beräkning av korrelationskoefficient .....	35
	Bilaga C Intervju Joakim Ilmrud Räddningstjänsten Syd.....	38
	Bilaga D Intervju Patrick Sonberger Räddningstjänsten Storgöteborg.....	39

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Cargotec Ab är ett globalt företag som erbjuder produkter och tjänster inom transportsektorn. Kalmar Global är ett dotterbolag till Cargotec som specialiserar sig på arbetsmaskiner, främst truckar, som används bland annat inom industrier, distributionscentraler och hamnar. I deras produktutbud ingår en bred uppsättning av truckar i olika storlekar och för olika ändamål, allt från mindre motviktstruckar med en lyftkapacitet på 9 ton till truckar med kapaciteten att lyfta och transportera containrar med en vikt upp till 50 ton s.k. Reachstackers.

Kalmar Global driver en utveckling av elektrifieringen av deras arbetsmaskiner och en stor del av deras utbud, främst de truckar som ligger längre ner på lyftkapacitet-spektrumet, har funnits som elektrifierade ett stort antal år och erbjuds nästan exklusivt som batteridrivna idag. De har kommit en bra bit på vägen med elektrifieringen av resterande delen av deras utbud och fler versioner av deras maskiner drivna med Litium-jon batterier har tillkommit marknaden sen år 2022. De ser ett stort intresse för dessa batteridrivna modeller från deras kunder då utöver mindre miljöpåverkan är den beräknade drift- och servicekostnaden för en batteridrivna truck mindre än motsvarande modell med förbränningsmotor (Kalmar Global, n.d.) samt att arbetsmiljön blir bättre med mindre buller och utsläppsgaser (Kalmar Global, n.d.).

De senaste åren har en ökande andel av de nysålda bilarna på marknaden varit drivna av Litium-jon batterier. 2021 stod elbilar för 18% av antalet nyregistrerade bilar i Sverige, ett år senare, 2022, var andelen uppe på 32% (Statistiska Centralbyrån, 2023) vilket är en fördubbling på ett år. I takt med en ökande elbilsförsäljning har även mängden forskning i området kring batteridrivna fordon ökat, mycket fokus har lagts på att förstå brandrisker och ökandet av säkerheten vid användning av batteridrivna fordon. Batterikapaciteten för de elfordonsmodellerna på marknaden idag ligger mellan 21-123 kWh med ett medelvärde på 69 kWh och det är i det kapacitets spannet som forskning och experimentella studier avseende brandbeteende för elfordon bedrivits (Pastorelli, Musumeci and Mandrile, 2021).

Batterikapaciteten på de batteridrivna truckar som Kalmar tillverkar ligger inom spannet 163-587kWh, väsentligt större än de som finns i de elbilar som körs på vägarna idag. Det finns därmed inga empiriska värden att gå efter för att uppskatta storleken och konsekvenserna för en eventuell brand i en truck av de storlekarna.

De batteridrivna truckar som funnits på marknaden en längre tid har traditionellt använts sig av bly-syra batterier. För bly-syra batterier finns lagar och riktlinjer som styr användandet av dessa truckar och utformningen av verksamheterna som använder dem. I Sverige styrs laddning och underhåll av bly-syra batterier genom arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 1988:4 och motsvarande föreskrifter finns bland annat i Australien (SafeWork, 2023) och USA (Occupational Safety and Health Administration, 2001). För de truckar och arbetsmaskiner som använder sig av Litium-Jon batterier saknas motsvarande föreskrifter och kunskaperna om risker specifikt när det kommer till bränder är inte kartlagda på samma omfattande sätt. Litium-jon batteridrivna truckar är nytt på marknaden och det saknas statistik kring bränder i denna typ av fordon vilket även bidrar till bristen på kunskap inom området.

Bristen på kunskaper inom litium-jon batteri bränder hos större arbetsmaskiner har orsakat många frågetecken från Kalmar Globals sida om vilka brandrisker deras maskiner förknippas med samt vilka kunskaper behöver som deras kunder behöver ha avseende att förebygga och begränsa konsekvenserna av brand i dessa fordon.

## **1.2 Syfte**

Syftet med arbetet är att sammanställa den information som Cargotec Sweden AB:s kunder kan behöva för att öka säkerheten och minimera skadorna vid en brand i batteridrivna truckar.

## **1.3 Mål**

Målet med arbetet är att undersöka möjliga konsekvenser av en brand i ett litium-jon batteri av större modell och hur det skulle tänkas den direkta omgivningen, hur en olycka bör hanteras samt vilka kunskaper som bör finnas för att öka säkerheten vid brand.

För att konkretisera arbetet har följande frågeställningar valts ut.

1. Vad kan konsekvenserna bli vid en brand i en batteridrivna truck?
2. Hur kan man öka säkerheten och minimera risken för brand i en eldriven truck?
3. Vilka åtgärder bör vidtas vid brand i en eldriven truck?

## **1.4 Metod**

För att besvara de ovanstående frågeställningarna har arbetet delats upp i två huvudsakliga metoder.

En litteraturstudie har genomförts för att besvara samtliga frågeställningar och en intervjustudie har genomförts för att besvara frågeställningarna gällande åtgärder under brand och förebyggande åtgärder.

Litteratursökningen har genomförts kontinuerligt över arbetets gång och skett genom databaser över vetenskapliga artiklar, så som Lunds universitets egen databas, LuBSearch, samt ScienceDirect, men även genom hemsidor för företag och myndigheter. Sökning efter artiklar har skett genom att kombinera ett flertal relevanta sökord, för att sortera och filtrera urvalet av artiklar som sökningarna har resulterat i har huvudsakligen vetenskapligt granskade artiklar använts.

Intervjustudien har genomförts genom att e-post skickats ut till räddningstjänster i Sverige med en beskrivning av arbetet och vad den önskade intervjun handlar om. I urvalet av de räddningstjänster som kontaktades ingick räddningstjänster i större städer alternativt förbund som inkluderar ett flertal städer i ett förbund, detta då de antogs att dessa räddningstjänster har störst kollektiv erfarenhet när det kommer till bränder i elfordon och batterier och därmed kan bidra med relevant kunskap för detta arbete. Räddningstjänsterna har därmed internt föreslagit en lämplig kandidat som gått med på att intervjuas. Innan intervjun har den intervjuade personen har tagit del av resultat i arbetet som bedömts vara relevant för att bidra med sina åsikter om resultaten. Intervjuerna genomfördes därefter online och transkribering av intervjun har skett för hand samt blivit inspelat och sedan transkriberats genom ordbehandlingsprogram. Slutligen intervjuades två personer.

Ett flertal platsbesök hos företaget i Ljungby har även gjorts där exemplar av de berörda truckarna har besökts och samtal med relevanta personer inom företaget har skett.

## **1.5 Avgränsningar och begränsningar**

I denna rapport har endast intervjuer och platsbesök inom Sverige utförts. Information som delgivits till författaren av Kalmar Global som till exempel presentationer eller bilder från platsbesök är påverkade av ett sekretessavtal och får inte delas vidare. Arbetet tar endast hänsyn till truckar ur Kalmar Globals sortiment. De truckar i Kalmars sortiment som kommer behandlas i detta arbete innefattar Heavy Electric Forklift(EGC 180-330) och Electric Reachstacker (ERG450)

## 2 Kalmar Globals Truckar

Detta avsnitt ger bakgrund till läsaren om de truckar som arbetet fokuserar på.

### 2.1 Truckarnas Uppbyggnad

Denna rapport fokuserar på två modeller från Kalmar Globals utbud.

Heavy Electric Forklift är en gaffeltruck med en lyftkapacitet på 18-33 ton, beroende på modell. Den elektrifierade modellen kommer i tre batterikapaciteter beroende på kundens önskan: 163, 245 & 395 kWh (*Kalmar Heavy Electric Forklift Trucks 18-33 Tonnes | Kalmarglobal, n.d.*).

Electric Reachstacker är en truck gjord för att lyfta och hantera containers upp till 45 ton. En Electric Reachstacker väger ca 75ton och finns i fyra batterikapaciteter beroende på kundens behov: 245, 326, 407 & 587 kWh (*Kalmar Electric Reachstacker | Kalmarglobal, n.d.*). Truckarnas kropp och lyftsystem består i huvudsak av stål vilket bidrar till att trucken har en hög massa som används i funktionen av motvikt. Batterierna väger ca 9kg per kWh, vilket innebär att vikten på batterimodulerna varierar mellan 1467-5283kg beroende på önskad batterikapacitet. I Figur 1 och Figur 2 syns bilder på en Heavy Electric Forklift och en Electric Reachstacker från Kalmar Global AB.



Figur 1 Heavy Electric Forklift (Kalmar Global)



Figur 2 Electric Reachstacker (Kalmar Global)

### 2.2 Laddning och batterier

Batterierna som används i dessa av Kalmar Globals truckar är litium-jon batterier av typen NMC. Batterierna används för att driva körningen av själva trucken, lyftkapaciteten drivs av ett separat hydraulbaserat system och drivs därmed inte av batterierna utan av hydraulpumpar. Truckarna har möjligheten att erbjudas i olika batteristorlekar då batterierna har en modulär design som möjliggör en skräddarsydd kapacitet baserat på kundens önskemål. För Heavy Electric Forklift modellen är batteriet lokaliserat bakom förarhytten på översidan av truckens baksida medans för Electric Reachstacker modellen sitter batteriet på undersidan av truckens kropp.

Batterierna har ett tillhörande övervakningssystem som kontinuerligt övervakar spänning, temperatur, kylvätska och flöde. Skulle någon av dessa parametrar vara utanför ett definierat säkert värde har truckarna ett säkerhetssystem som stänger av hela systemet (*Kalmar Heavy Electric Forklift Trucks 18-33 Tonnes | Kalmarglobal, n.d.*). Laddning av batterierna sker via uttag och laddstolpe identiskt med de flesta moderna elbilar.





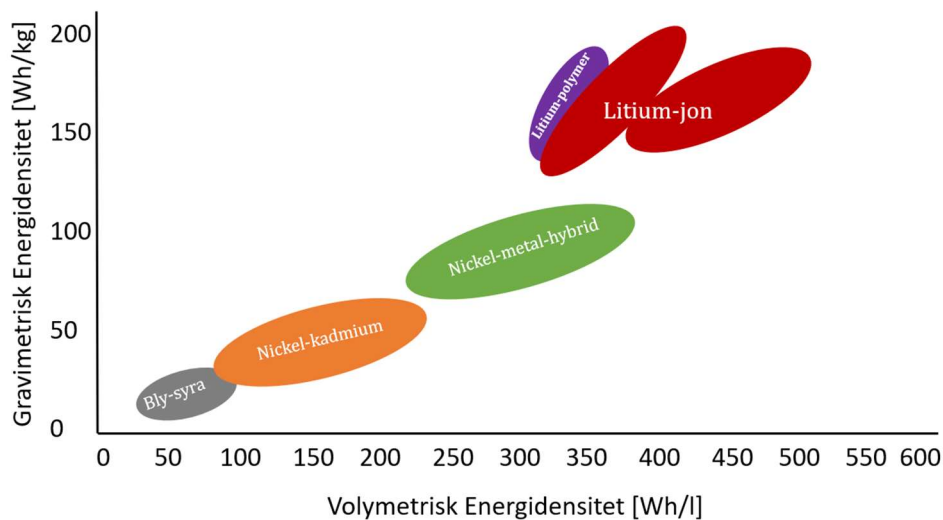
### 3 Teori

Detta kapitel utgör en del av resultatet av litteraturstudien och presenterar den teori som läsaren behöver för att förstå resultaten av frågeställningarna.

#### 3.1 Litium-jon batterier

Batterier använder kemiska processer för att utvinna och förvara energi, användningsområdena för batterier är stora på grund av ett flertal anledningar bland annat för att de är portabla och möjliggör energianvändning utan behov att ständigt vara uppkopplat till energinätet. Ett batteri kan bestå av ett flertal olika materialkombinationer som ger olika egenskaper på batteriet vilket gör att det är möjligt att anpassa valet av batterityp utifrån användningsområdet och behovet.

De vanligaste materialkombinationer för batterier som används kommersiellt är bly-syra, nickel-kadmium, nickel-metall-hybrider och litium-jon batterier. De olika sorterna har olika energidensitet vilket redovisas i Figur 3.



Figur 3 Illustration över olika batteritypers energidensitet. Grov skiss av en illustration från (Pastorelli et al., 2021)

Bly-syra batterier uppfanns redan under den senare delen 1800-talet och har använts i en bred utsträckning av användningsområden sen dess, i modern tid används bly-syra batterier främst i de bilbatterier som används för att starta förbränningsmotorerna i fossildrivna fordon. De främsta fördelarna med bly-syra batterier är den relativt låga kostnaden och bra möjligheter för återvinning av materialen men nackdelarna är den relativt låga energidensiteten, som syns i Figur 3, kort livspann och de faror som associeras med bly och svavelsyra (Evans et al., 2022).

Nickel-kadmium och nickel-metall-hybrid batterier uppfanns år 1899 och är mindre använda batterityper med en högre energidensitet och bättre livscykel än bly-syra batterier. I modern tid används de främst i mindre batterityper så som AA och AAA som är populära på konsumentmarknaden idag (BU-203, 2010). Höga kostnader för materialen och de miljöfarliga ämnena som har gjort användningen av batterierna kontroversiella (Evans et al., 2022).

Litium-jon batterier har den högsta energidensiteten av de batterityper som används kommersiellt idag och används i allt från leksaker till eldrivna fordon vilket har gjort att produktionen och användningen av litium-jon batterier har ökat de senaste åren och förväntas öka i framtiden (Infographic, 2020). Inom kategorin litium-jon batterier finns det flera varianter beroende på exakta sammansättningen av ämnen som används. I Tabell 1 redovisas de

vanligaste varianterna (Dragonfly Energy, 2022). Inom detta arbete är typen NMC intressant då det är den typen som används i Kalmars truckar.

Tabell 1 Varianter av Litium-jon batterier

Variant	Sammansättning av material
LCO	Litium & koboltoxid ( $\text{LiCoO}_2$ )
LMO	Litium & manganoxid ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )
NMC	Litium, nickel, mangan & koboltoxid ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ )
LFP	Litium & järnfosfat ( $\text{LiFePO}_4$ )
NCA	Litium, nickel, kobolt & aluminiumoxid ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ )
LTO	Litium & titanat ( $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ )

## 3.2 Typer av battericeller

När det gäller litium-jon batterier finns det tre modelltyper av battericeller som används kommersiellt; Cylindrical, Pouch och Prismatic.

Cylindrical är långa och runda och är uppbyggda av tätt lindade elektroder som är omslutna av en metallcylinder. Jämfört med Pouch och Prismatic battericellerna är celler av typen prismatic mindre till storlek och en enskild cell har en begränsad kapacitet, det är däremot möjligt att koppla ihop ett flertal av cylindriska celler till en större batterimodul som kan användas i tex elbilar. I några av elbiltillverkaren Teslas tidigare bilmodeller exempelvis modellen Roadster användes 6831 cylindriska battericeller som kopplats ihop till batterimoduler (Gruber, 2017).

I pouchmodellen är batterikomponenterna inneslutna i ett aluminiumfoliepaket vilket bildar en cell, liksom cylindriska battericeller är kapaciteten i pouchmodeller begränsad men det är möjligt att koppla ihop ett flertal till en större modul med större kapacitet. Foliepaketet som innesluter batteriet är känsligt för yttre påverkan så som punktering och det är därmed vanligt att batteriet används i produkter där det är väl skyddat från omgivningen så som i mobiler eller bärbara datorer (Solarsquare, 2022).

Prismatic har batterikomponenterna inneslutna i ett styvt fodral, ofta rektangulärt, vilket bidrar till att batterierna kan vara större i fysisk storlek och kapacitet och samtidigt mindre känslig för yttre påverkan.

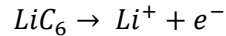
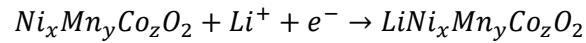
För att beskriva batteriets laddning används SoC, *State of Charge*, som är batteriets laddning i procent. Enheten som används för att beskriva batteris energikapacitet är wattimmar [Wh]. För batterier med mindre kapacitet anges ofta kapaciteten i amperetimmar [Ah] som går att konvertera om till kilowattimmar med hjälp av batteriets spänning:

$$[kWh] = \frac{[Ah] * [V]}{1000} \quad [\text{Ekvation 1}]$$

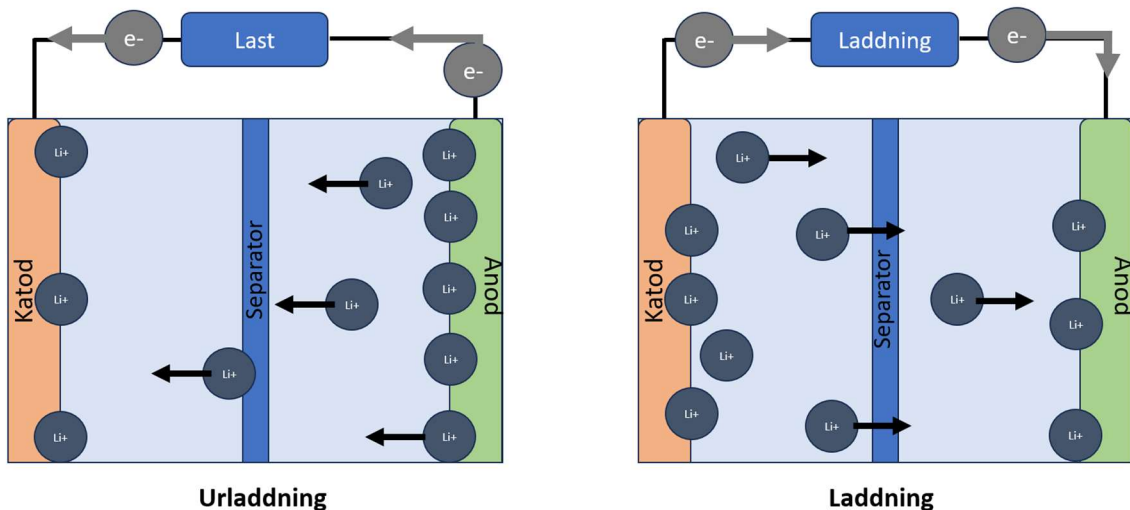
### 3.2.1 Uppbyggnad

En litium-jon battericell består av fem huvudsakliga komponenter: katod, anod, elektrolyt, strömledare och en separator. För NMC-batterier består katoden av ett material med en komposition av litium, nickel, mangan, kobolt och syre (Piątek et al., 2021). Anoden består av litium och grafit, elektrolyten varierar beroende på exakt modell, vanligast är en lösning av litium-salter (tex  $\text{LiPF}_6$ ) och ett oorganiskt icke-vatten baserat lösningsmedel (tex dimetylkarbonat (DMC)) (Piątek et al., 2021).

Den kemiska reaktionen som sker i NMC batterier är enligt nedan (Piątek et al., 2021).



Vid urladdning av en battericell flödar elektroner spontant från anoden till katoden via strömledaren och litium-joner flödar via elektrolyten från anoden till katoden. Vid uppladdning av batteriet sker samma process omvänt, denna process sker inte spontant utan kräver tillförsel av ström, se Figur 4.



Figur 4 Schematisk figur av urladdning och uppladdning av Litium-jonbatteri, Egenillustrerad

### 3.2.2 Termisk rusning

Termisk rusning är en process som kan ske i ett batteri som orsakar en kraftig ökning i batteriets temperatur. Termisk rusning kan uppstå om batteriet utsätts för (MSB, 2020):

- **Intern kortslutning** på grund av fel i tillverkningen av batteriet.
- **Över- eller urladdning** av batteriet under en längre period.
- **Fysisk skada** som exempelvis punktering eller yttre skada på batteriet.
- **Höga temperaturer** som exempelvis brand i komponenter runt omkring batteriet eller värmeexponering.

Sker något av de ovanstående kan det leda till en kedjereaktion där materialen inuti battericellerna bryts ner och det blir en exotermisk reaktion. En inre temperatur på 150-250°C är tillräcklig för att nedbrytning ska ske (MSB, 2020). Nedbrytningshastigheten ökar exponentiellt med en ökande temperatur i batteriet och det blir därmed en skenande reaktion som leder till vidare nedbrytning i hela batteriet (Seham & Agelin-Chaab, 2022). Tiden det tar för en hel batterimodul att påverkas av den termiska rusningen varierar utifrån storleken på batteriet, till en början kommer inte hela batteriet att påverkas och det kommer dröja innan samtliga battericeller är påverkade.

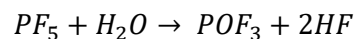
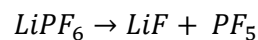
I batteriets anod och katod finns det syremolekyler som frigörs under termisk rusning (Sharifi-Asl et al., 2019). Dessa syremolekyler bidrar till att en eventuell brand får en ökad syretillförsel som gör att branden kan till en grad syresätta sig själv och behovet av syre från luften minskar.

Den höga temperaturen och energin samt syret som frigörs under termisk rusning ökar risken för en brand avsevärt (Held et al., 2022).

### 3.2.3 Utsläpp av farliga gaser

Som följd till termisk rusning och ökad temperatur inuti battericellerna ökar trycket vilket leder till att elektrolyten förångas och släpps ut i form av brandfarliga och toxiska gaser.

De ämnen som produceras beror stort på vilken sammansättning av ämnen som batteriet består utav, störst påverkan har den elektrolyten som används. Som nämnts i avsnitt 3.2.1 är den vanligaste typen elektrolyten, som används oavsett vilken sort av litium-jon batteri (Tabell 1), en oorganisk icke-vattenbaserad lösning och litium-salter som oftast består av litiumhexafluorfosfat  $\text{LiPF}_6$ . Vid höga temperaturer och förekomst av vattenmolekyler, omständigheter som uppstår under bränder, kan litiumhexafluorfosfatet bilda giftiga gaser så som vätefluorid (HF), fosforpentafluorid ( $\text{PF}_5$ ) och fluorfosfat ( $\text{POF}_3$ ) enligt reaktionerna (Larsson et al., 2017).



Vätefluorid är ett ämne med akut toxisk verkan för människor. Ämnet kan finnas i gas- och vätskeform. Om vätefluorid i gasform kommer i kontakt med vatten, tex släckvatten, bildas fluorvätesyra som riskerar att rinna ut i omgivningen och orsaka skada för miljön. Kontakt med ämnet har en korrosiv effekt och orsakar irritation av ögonen, näsan och luftvägar för ämnet i gasfas. Exponering av höga koncentrationer eller av låga koncentrationer under längre tid kan vara dödligt (CDC, 2019).

Fosforpentafluorid kan vara dödligt vid inandning, förtäring eller kontakt med hud för höga koncentrationer. Ämnet i gasfas är korrosivt mot huden, ögon och luftvägar (NOAA, 2020).

Utöver de fluorbaserade ämnena som nämnts ovan bildas även ämnen så som kolmonoxid (CO) och koldioxid ( $\text{CO}_2$ ). Kolmonoxid är en kvävande gas och inandning av kolmonoxid hämnar blodkropparnas förmåga att transportera syre till kroppen och effekterna av kolmonoxid på kroppen försvinner inte när exponering inte längre sker utan effekterna kan vara långvariga. Symptom på kolmonoxidexponering inkluderar huvudvärk, illamående, svårt att andas och ökad andningsfrekvens (CDC, 2023). Inandning av koldioxid ger liknande symptom som kolmonoxid där effekterna är störst på andningen och syresättningen av kroppen men till skillnad från kolmonoxid är effekterna av koldioxid endast aktiva under exponering (Government of Canada, 2023).

## 3.3 Statistik

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap för statistik över olyckor och bränder utifrån räddningstjänsternas insatser. I rapporten *Sammanställning av bränder i elfordon och eltransportmedel år 2018–2022* (MSB, 2023b) sammanställdes bränder i olika typer av eltransportmedel. I rapporten sammanställs även beskrivningar av inträffade händelser med bränder i el/hybrid fordon, 44 av 82 händelser i rapporten involverar en hybridbil, det vill säga en bil som har både en förbränningsmotor med tillhörande drivmedelstank och ett batteri.

I Tabell 2 redovisas de data som presenteras i rapporten kompletterat med ytterligare data om bränder i fordon med andra drivmedel än batterier taget från MSBs statistikdatabas (MSB, n.d.).

Tabell 2 Statistik över bränder i elfordon samt samliga fordon 2018–2022 (MSB), \*ingen data tillgänglig

År	Antal Elbilar	Antal Laddhybrider	Totalt antal El/hybrider	Antal Bränder	Andel (%)	Totalt antal Bilar	Antal Bränder	Andel (%)
2018	16 664	139 667	156 331	8	0.005	4 870 783	3 840	0.08
2019	30 343	177 561	207 904	7	0.003	4 887 904	3 444	0.07
2020	55 790	252 695	308 485	20	0.006	4 944 067	3 383	0.07
2021	110 177	342 236	452 413	24	0.005	4 986 750	*	*
2022	197 709	413 007	610 716	23	0.004	4 980 543	3 354	0.07

År 2020 fanns det 308 485 batteri-/hybriddrivna bilar, i Sverige. under det 2020 skedde det 20 bilbränder för att jämföra med år 2022 där antalet batteridrivna/hybrid-bilar var nästan dubbla med 610 716 bilar där skedde 23 bränder. Trots en ökande andel batteridrivna/hybrid-bilar har mängden bränder inte ökat i samma takt, andelen av el/hybridbilar som brinner har minskat från 0.006% till 0.004%. För bilar oavsett drivmedel har andelen som brinner legat runt 0.07% under 2018–2022, vilket är en 11–17 gånger större andel än för de el/hybriddrivna.

Tabell 3 Olycksorsaker för elbilsbränder under 2018-2022 (MSB)

Olycksorsaker/ År	Under färd	Laddning	Övrigt/Okänd	Totalt
2018	2	1	5	8
2019	2	2	3	7
2020	2	4	14	20
2021	6	8	10	24
2022	6	4	13	23
<b>Totalt</b>	18	19	45	82
<b>Andel</b>	<b>22%</b>	<b>23%</b>	<b>55%</b>	

I Tabell 3 presenteras olycksorsakerna för samtliga bränder i elbilar under 2018–2020. I statistiken är alla bränder i elfordon inräknat oavsett om orsaken är fastställd att den är kopplad till batteriet eller om den uppkommit på grund av annan orsak som till exempel förbränningsmotorn i hybridbilar.

Av de sammanlagda 82 bränderna so skedde under denna period har 18 bränder, vilket motsvarar 22% av totala andelen bränderna, skett under färd, i några av dessa fallen har branden haft en direkt koppling till batteriet medans i andra av fallen har brand uppkommit i samband med frontalkrock eller kraftigt krockvåld (MSB, 2023). 19 bränder, motsvarande 23% av totala andelen bränder, har uppkommit då elfordonet stått på laddning. Den största andelen på 55% är orsaken "Övrigt/Okänd" vilket innebär att orsaken till branden inte varit möjlig att fastställa under utredningen eller att branden startat i en annan del av bilen än batteriet (MSB, 2023b).



## 4 Resultat och analys

I detta avsnitt presenteras resultat från litteraturstudien samt intervjustudien.

### 4.1 Effektutveckling från elektrifierade truckar

#### 4.1.1 Maximal effektutveckling

För att kvantifiera konsekvenserna av en brand i en elektrifierad truck har effektutvecklingen, PHRR, bedömts vara en viktig parameter att bestämma för att besvara frågeställningarna i detta arbete. Som etablerats tidigare är de batterierna som är av intresse av en storlek betydligt större än de som finns i ordinarie elfordon på vägarna idag. Det medför även att det empiriska data som finns för effektutvecklingar vid bränder av elfordon inte inkluderar elfordon med batterier av storleken som finns i Kalmars truckar.

I *A review of Battery Fires in Electric Vehicles* (Sun et al., 2020) presenteras ett samband för att approximera den maximala effektutvecklingen för bränder i litium-jon batterier. Sambandet som presenteras är:

$$PHRR = 2E_b^{0.6} \quad [\text{Ekvation 2}]$$

Och innebär att den maximala effektutvecklingen i kW, PHRR, beror på batteriets kapacitet,  $E_b$ , i Wh. Ekvation 2 har tagits fram genom en litteraturstudie och använts utifrån testdata taget från ett flertal artiklar och inkluderar mindre battericeller med en kapacitet på  $\sim 10^1$  Wh till battery power stations med en kapacitet upp till  $\sim 10^7$  Wh.

Ekvation 2 har därmed tagits fram med hänsyn för batterier i den storleken som finns i Kalmars truckar men för att ytterligare motivera användning av sambandet för beräkning av en initial uppskattning av den PHRR som utvecklas vid en brand i ett batteri med en kapacitet upp till 587 kWh, så som finns i Kalmar Globals truckar, behöver sambandet ovan undersökas vidare. Detta har gjort genom en korrelationsanalys med testdata från ytterligare artiklar där PHRR för litium-jon batterier undersökts. Korrelationsanalysens beräkningar redovisas i bilaga A och har genomförts genom att använda den så kallade minsta kvadrat metoden som undersöker om ett antal datapunkter kan förklaras av ett undersökt samband. Ger korrelationsanalysen ett positivt resultat kan sambandet ovan motiveras för användning av uppskattning av konsekvenserna i en brand i en elektrifierad truck.

I *Characteristics of lithium-ion batteries during fire tests* (Larsson et al., 2014) har kommersiella battericeller exponerats för en propan flamma och ett flertal parametrar undersökts. Bland annat undersöktes batteriets PHRR samt SoCs påverkan på HRR. Under två försök på en battericell med en kapacitet på 112 Wh och 100% SoC uppmättes en PHRR på 55 respektive 51 kW.

*Full-scale fire testing of battery electric vehicles* (Kang et al., 2023) redovisar fullskaliga tester utförda på elbilar samt motsvariga bilar med förbränningsmotorer. En elbil med en batterikapacitet på 64kWh testades under tre försök; ett med enbart batteripaketet, ett med endast bilkroppen samt ett med hela bilen. Ett försök gjordes även med en hel elbil med en batterikapacitet på 39 kWh. SoCn för batterierna var 100%. För batteripaketet med en kapacitet på 64 kWh uppmättes en PHRR på 1.54 MW. Bilkroppen gav en PHRR på 7.81 MW och den kompletta bilen gav en PHRR på 7.25 MW. Bilen med en lägre kapacitet på 39 kWh gav en PHRR på 6.51 MW. I artikeln konstateras att det i bilkroppen och i specifikt passagerarutrymmet finns ett flertal brännbara material som bidrar till den totala effektutvecklingen för den kompletta bilen i högre grad än vad litium-jon batteriet bidrar med.

I *An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter* (Fu et al., 2015) har battericeller med en kapacitet på 2.6Ah och 3.6V (0.00936 kWh) samt en SoC på 100, 70, 65, 50 respektive 0 % utsatts för en infallande strålning på 50 kW/m<sup>2</sup>. Resultaten för PHRR blev 6.8, 6.5, 5.8, 1.5 respektive 1.1 kW. Utöver PHRR mättes även yttemperaturen och koncentrationen av toxiska gaser och det konstaterades att koncentrationen av de toxiska gaserna ökade med ett högre SoC värde. I artikeln uppskattas det även att ca 13% av den totala energin som producerades av batterierna vid brand kunde kopplas till det syre som frisätts från batterikomponenterna.

I *Combustion behaviour of lithium iron phosphate battery induced by external heat radiation* (Wang et al., 2017) har två tester med LFP batterier utförts där termisk rusning blivit inducerat med en 3kW elektrisk värmare. Batteriets yttemperatur, förbränningsbeteende, effektutveckling, flamtemperatur och massavbrinning mättes för två SoC-nivåer; 50% och 100%. Den maximala effektutvecklingen som mättes var 55.93kW respektive 64.32kW.

Batterierna i de olika artiklarna är av olika typer och har antänts av olika källor vilket kan orsaka osäkerheter i jämförbarheten mellan de olika testerna. Då detta arbete går ut på att ta fram en initial uppskattning har dessa osäkerheter har i det stora bedömts vara försumbara på grund av den begränsande mängden relevanta artiklar för det här arbetet.

SoC är det så kallade *State of Charge* i ett batteri, i dagligt språk benämns SoCn som laddningsprocenten. I denna rapports analyser har endast batterier med SoC värden på 100% använts, detta är för att SoC nivån i en trucks batteri varierar under en typisk arbetsdag och det finns svårigheter i att ta hänsyn till hur den varierar. Batteriet kan däremot inte innehålla mer energi än vad den gör när den är 100% ladda och en högre SoC ger en större effektutveckling och produktionen av toxiska gaser ökar samtidigt som tiden till antändning minskar (Fu et al., 2015). 100% SoC utgör därmed det värsta scenariot som kan uppstå och något försök på analysering av hur PHRR varierar med laddningsnivån har ej genomförts.

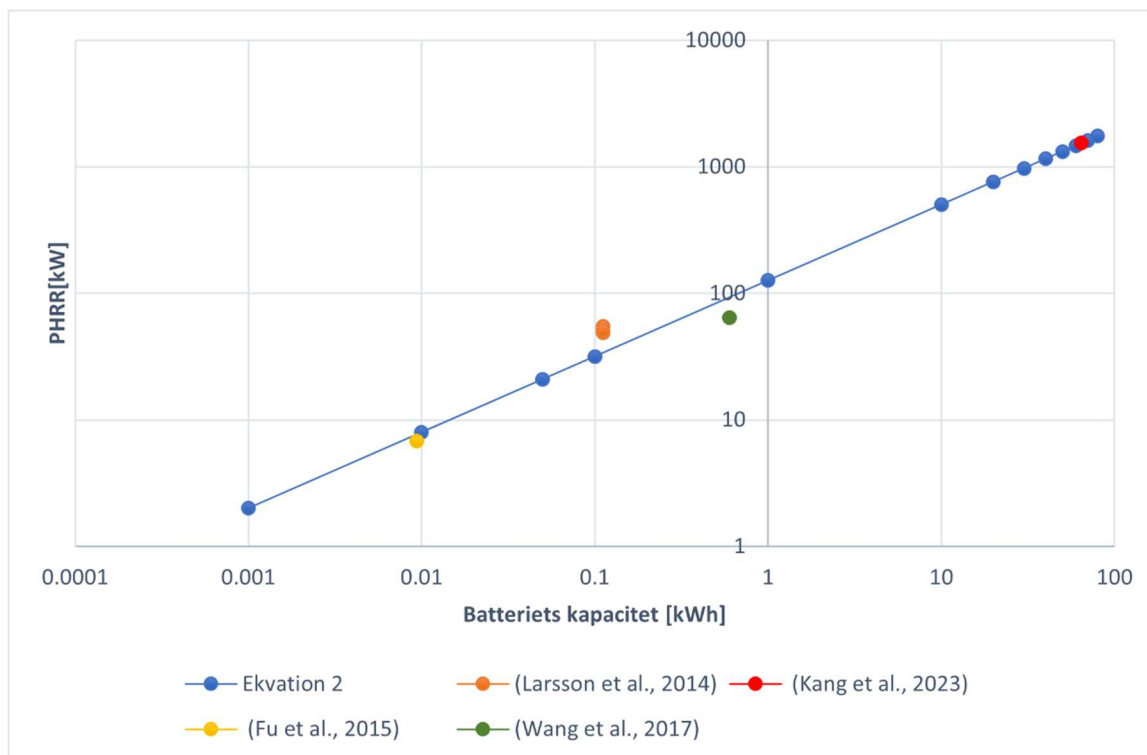
Testdata från artiklarna ovan har använts för att ytterligare motivera användningen av ekvation 2. De datapunkter som använts redovisas i Tabell 4.

Tabell 4 sammanställning av data för utvärdering av ekvation 2

Batteriets kapacitet, $E_b$ [kWh]	Uppmätt PHRR [kW]	Taget från artikel
0.00936	6.8	(Fu et al., 2015)
0.112	55	(Larsson et al., 2014)
0.112	51	(Larsson et al., 2014)
0.6	64.32	(Wang et al., 2017)
64	1540	(Kang et al., 2023)

Vid plottning av dessa datapunkter tillsammans med det undersökta sambandet, i logaritmisk skala, fås resultatet i Figur 5.





Figur 5 Det undersökta sambandet och datapunkter från artiklarna, i logaritmisk skala

En korrelationsanalys har gjorts utifrån sambandet och datapunkterna från artiklarna. Värdet på den uträknade korrelationskoefficienten  $r$  mellan datapunkterna från artiklarna och det undersökta sambandet är  $r = 0.98174$  vilket tyder på en stark positiv korrelation. Sambandet antas därmed vara tillförlitlig och kan användas för att uppskatta den maximala effektutvecklingen i batteripaketet.

I Tabell 5 redovisas de beräknade maximala effektutvecklingarna för de olika storlekarna av batterier som finns i Kalmars truckmodeller, de beräknade värdena är en extrapolering utanför de nivåer som ingår i korrelationen ovan.

Tabell 5 Uppskattade PHRR för batteripaketet i Kalmars truckar

Batterikapacitet [kWh]	Uppskattad maximal HRR [MW]
163	2.68
245	3.42
326	4.06
395	4.56
407	4.64
587	5.78

#### 4.1.2 Effektutveckling från övrigt material i trucken

Utöver batteriet finns även en tank med hydraulolja som vid brand kommer bidra med en signifikant del av del totala effektutvecklingen. För att räkna ut hydrauloljans bidrag till den

totala effektutvecklingen vid brand i en av Kalmars truckar har modellen för pölbrand använts, beräkningarna redovisas i bilaga B och ger ett värde på  $\dot{Q} \approx 1.2\text{MW}$  och pågår under 410 minuter eller 6h50min.

Varje truck har, oavsett modell, fyra däck av modellen *Continental ConainerMaster 18.00-25* med en vikt på 385kg per däck och diametern 1.69m. I *Fire test with a front wheel loader rubber tyre* (Ingason & Hammarström, Rolf, 2010) har maximala effektutvecklingen för ett däck för arbetsmaskiner med liknande dimensioner och material uppmätts. Rapporten redovisar ett värde på  $0.2\text{MW}/\text{m}^2$  att användas för uträkning av effektutvecklingen hos stora däck för arbetsmaskiner.

Arean på ett däck hos Kalmars truckar är  $\sim 2.25\text{m}^2$ . Arealen på fälgen uppskattades visuellt under platsbesök till  $\sim 0.75\text{m}^2$  och subtraheras från den totala arean vilken ger en area på själva däcket på  $1.5\text{m}^2$ . Det ger en maximal effektutveckling för ett däck på  $0.3\text{MW}$ . Alla fyra däck på en truck ger en total maximal effektutveckling på  $1.2\text{MW}$ , förutsatt att de brinner samtidigt.

Övrigt material i trucken så som kablar, plast och förarsäte antas bidra med en så pass liten effektutveckling att det inte kommer påverka den slutgiltiga analysen. En uppskattning av materialfördelningen av trucken gjord av Kalmar Global uppskattar att resterande delar av trucken som inte tagits upp här, så som elektroniken och förarhytten står för mindre än 1% av massan av båda truckmodellerna.

#### 4.1.3 Sammanlagd effektutveckling

Den sammanlagda effektutvecklingen för Kalmar Globals truckar ligger mellan  $5.08\text{MW}$  för den minsta batterikapaciteten och  $8.18\text{MW}$  för den allra största batterikapaciteten.

Tabell 6 sammanställer den totala maximala effektutvecklingen för en hel truck utifrån kapaciteten på batteriet.

Tabell 6 Sammanställning av den totala effektutvecklingen för en hel truck utifrån respektive batterikapacitet

Batterikapacitet [kWh]	Total PHRR [MW]
163	5.08
245	5.82
326	6.46
395	6.96
407	7.04
587	8.18

Denna beräkning har inte tagit hänsyn till spridning av branden och hur det påverkar effektutvecklingen över tid.

I *Full-scale fire testing of battery electric vehicles* (Kang et al., 2023) producerade fullskaliga 5-sits elbilar med batterikapaciteter på  $39\text{kWh}$  och  $64\text{kWh}$  en maximal effektutveckling på  $6.51\text{MW}$  respektive  $7.25\text{MW}$ . Artikeln fann att den större delen av effektutvecklingen beror på mängden brännbart material som finns i bilkroppen och passagerarsätena.

#### 4.1.4 Effektutveckling från en dieseltruck

För att jämföra en elektrifierad truck med en dieseltruck behöver effektutvecklingen för en dieseltank uträknas. Effektutvecklingen för en brand i en dieseltruck skiljer sig beroende av brandorsak och vilka komponenter som är påverkade. Det finns därmed ingen metod som ger exakt resultat. I syfte att jämföra brand i en elektrifierad truck och en dieseldriven truck antas dieseltanken utgöra en behållare där i det sker en pölbrand. Beräkningarna sker med samma metod som för uträkningen av hydrauloljetanken och redovisas i Bilaga B. Uträkningen ger ett värde för effektutvecklingen på 2.5MW som håller på i 1.85h. Den totala maximala effektutvecklingen för en dieseltruck skulle därmed uppnå 4.9MW

*Full-scale fire testing of battery electric vehicles* (Kang et al., 2023) gjorde även försök med en motsvarande bil som i exemplet i avsnitt 4.1.3 ovan med förbränningsmotor. Bilen producerade en maximal effektutveckling på 7.66MW.

#### 4.1.5 Tillväxthastighet

För att ta fram en tillväxthastighet för respektive batteri i Kalmars truckar behöver en tillväxtfaktor  $\alpha$  [kW/s<sup>2</sup>] tas fram. Utifrån de effektutvecklingskurvor som redovisas i respektive artiklar benämnda nedan har det funnits att bränder i litium-jon batteri följer approximativt den så kallade alpha-t<sup>2</sup> modellen. Tillväxtfaktorn  $\alpha$  kan därmed beräknas genom ekvation 3 nedan (Quintiere et al., 2022):

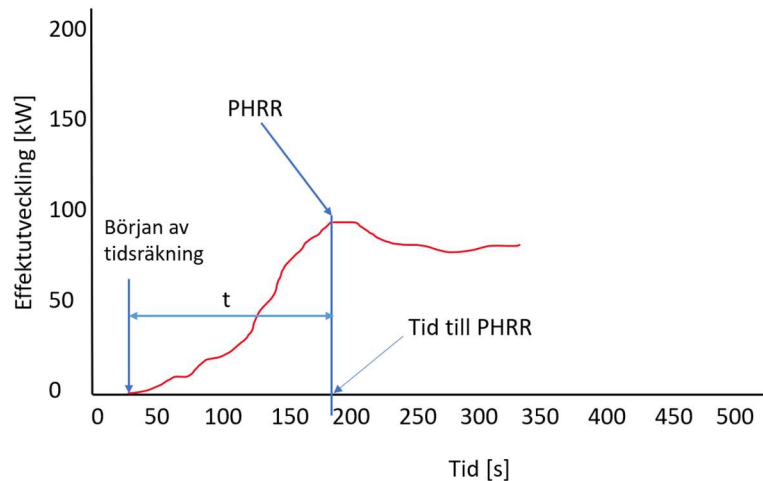
$$\alpha = \frac{PHRR}{t^2} \quad \text{Ekvation 3}$$

Där t är tiden det tar för den maximala effektutvecklingen att utvecklas i sekunder.

I samtliga artiklar som presenteras i avsnitt 4.1.1 redovisas kurvor av effektutvecklingen över tid från respektive försök. Tiden det tar under respektive försök att nå den maximala effektutvecklingen redovisas för varje enskilt försök i Tabell 7.

Tabell 7 Sammanställning tid till PHRR och tillväxtfaktorn för samtliga artiklar

Artikel	PHRR [kW]	Tid till PHRR [sekunder]	$\alpha$ [kW/s <sup>2</sup> ]
(Fu et al., 2015)	6.8	60	0.0018
(Larsson et al., 2014)	55	180	0.0017
(Larsson et al., 2014)	51	180	0.0015
(Wang et al., 2017)	64.32	300	0.00072
(Kang et al., 2023)	1540	780	0.0025



Figur 6 Schematisk figur över beräkning av tillväxtfaktorn

Uträkningen av tillväxtfaktorn utifrån effektutvecklingskurvorna i respektive artikel ovanför har skett enligt den schematiska bilden i Figur 6. Där  $t$  ej är tiden från tidsräkningens början utan från den tidpunkt då effektutveckling börjar produceras.

Tillväxtfaktorn för samtliga artiklar ligger inom liknande storleksgrad och det genomsnittliga värdet för samtliga  $\alpha$ -värden i Tabell 7 är  $\alpha = 0.00294 \text{ kW/s}^2$  vilket ger en långsam tillväxt på branden. Detta kan förklaras av det som presenteras i 3.2.2, det vill säga att det tar tid för nedbrytningen av cellerna att sprida sig till närliggande celler och till slut omfatta hela batteriet.

I Tabell 8 redovisas tiden det tar för respektive batterikapacitet att uppnå det uträknade PHRR-värdet som presenteras i avsnitt 4.1.1 ovan med tillväxtfaktorn  $\alpha = 0.00294 \text{ kW/s}^2$ .

Tabell 8 Tid till PHRR uppnås för respektive batterikapacitet

Batterikapacitet [kWh]	Uppskattad PHRR [MW]	Tid till PHRR [Minuter]
163	2.6	15.9
245	3.42	18
326	4.06	19.6
395	4.56	20.72
407	4.64	20.94
587	5.78	23.4

Det tar 1.47 gånger så lång tid för den största batterikapaciteten att uppnå dess maximala effektutveckling än vad det gör för den allra minsta modellen trots att batterikapaciteten är 3.6 gånger större. Skillnaden är endast  $\sim 7.5$  minuter.

Denna approximerade tillväxtfas bygger på ett antagande om att batterimodulerna sitter sammankopplat i ett block, detta stämmer för truckmodellen Heavy Forklift men inte för Reachstackern, där batterimodulerna sitter separerade i tre block inuti trucken, även om de är separerade sitter de förhållandevis nära varandra. I modellen av Reachstackern med störst batterikapacitet på 587kWh är batteriet uppdelat i 6 batteripaket där 1 paket har en kapacitet på 97.8kWh. Ett "block" av batterier består i 587kWh modellen av två paket med en sammanlagd

kapacitet på 195.6kWh. För ett sådant block att komma upp till den maximala effektutvecklingen på 2.9MW tar det ~16.5 minuter.

Tiden till spridning till de resterande närliggande batteripaketerna är svår att uppskatta exakt men då den inre temperatur som krävs för att nedbrytning av en battericell kan uppstå ligger mellan 150–250°C vilket är en förhållandevis låg temperatur och är därmed rimligt att anta att spridningen till resterande batteripaket inte kommer fördröja tillväxten av branden väsentlig och det är därmed rimligt att fortsatt analysera batteripaketerna i Reachstacker modellerna som om hela batteriet sitter sammankopplat i ett block.

## 4.2 Rökproduktion

I *Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires* (Larsson et al., 2017) har brandtester utförts på ett flertal batterier av typerna LCO(prismatic), LFP(pouch & cylindrical) och NCA(pouch) med varierande batterikapacitet. Fokus i testerna har varit att mäta produktionen av gaser. I artikeln fann författarna att produktionen av gaser varierar utifrån nivån av SoC och typ av batteri. Generellt fann man en ökning av produktionen av den toxiska gasen vätefluorid(HF) vid större batterikapaciteter, mängden HF som genereras ligger inom intervallet 20-200mg/Wh vilket motsvarar en produktion mellan 2-20kg HF för ett 100kWh batteri. I alla utförda tester gav 100% den lägsta produktionen av HF och produktionen nådde det högsta värdet vid 50% SoC. Även den toxiska gasen fosfatfluorid(POF<sub>3</sub>) genererades med 15-22mg/Wh men gasen visade sig endast produceras i tester med batteri av typen LCO med 0% SoC. I några av testerna användes vattendimma för att imitera den vanligaste släckmetoden för batteribränder och produktionen av HF visade sig öka under tiden som vattendimman användes men ingen skillnad i totala produktionen av HF uppvisades.

I *Composition and Explosivity of Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries Undergoing Thermal Runway* (Amano et al., 2023) undersöks gasproduktionen och explosiviteten av de producerade gaserna hos NMC(batterier bestående av litium, nickel, mangan och koboltoxid) batterier av pouchmodell vid termisk rusning vid olika SoC-nivåer. Elektrolyten i batterierna innehöll salter bestående av LiPF<sub>6</sub> och kapaciteten hos batterierna låg mellan 9.25Wh och 118Wh. Produktionen av brandfarliga gaser så som kolkolmonoxid (CO), metan (CH<sub>4</sub>), eten (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) och vätecyanid (HCN) ökade vid större batterikapaciteter. Fokus i testerna var att mäta explosiviteten av de producerade gaserna och slutsatsen som konstaterades av testerna var att den koncentrationen av de brandfarliga gaserna som produceras har hög sannolikhet att överstiga den nedre explosionsgränsen. En trend för hur produktionen av HF påverkades av storleken på batterierna kunde inte konstateras, däremot påvisades den högsta koncentrationen av HF vid 100% SoC.

*Lithium-ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the basis of Experimental Abuse Tests* (Larsson et al., 2016) redovisar tester utförda på mindre litium-jon batterier med kapaciteter mellan 7-45 Ah(3.2-3.6V). När det kommer till gasproduktion lägger artikeln störst fokus på produktionen av HF och de utförda testerna visar att den högsta nivån av HF ges vid en SoC på 50% och den lägsta vid 100% SoC. Mängden HF som förväntas produceras ligger i intervallet 50-120mg/Wh. Författarna till artikeln jämför sina resultat med resultaten från *Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry* (Ribi re et al., 2012) där resultaten från liknande tester gett resultaten 37-69mg/Wh f r HF vilket ligger inom den intervall som de själva kommit fram till men f r (Ribi re et al., 2012) ger 100% SoC högst produktion av HF vilket motsäger resultatet från (Larsson et al., 2016).

Tabell 9 Sammanfattning produktion av vätefluorid från ovan nämnda artiklar

SoC som ger högst HF-produktion [%]	Mängd HF producerat [mg/Wh]	Artikel
50	20-200	(Larsson et al., 2017)
100	-	(Amano et al., 2023)
50	50-120	(Larsson et al., 2016)
100	37-69	(Rivière et al., 2012)

Gemensamt med dessa artiklar är att fokus läggs på produktionen av vätefluorid vid bränder i litium-jon batterier. Den stora produktionen av vätefluorid är ett problem och så som presenterats i avsnitt 3.2.3 är ämnet ett toxiskt ämne och därmed av stort intresse vid analys av bränder i litium-jon batterier. Batteriets SoC har enligt artiklarna ovan en tydlig påverkan på produktionen av toxiska gaser men artiklarna skiljer sig åt när det kommer till vilken SoC som ger högst produktion. I litteraturstudien har ingen förklaring till avvikelserna i resultaten hittats.

Något som artiklarna däremot gemensamt påvisar är att mängden vätefluorid och övriga gaser ökar med en ökande storlek på batteriet. Detta är något som simpelt kan förklaras av att batterierna är fysiskt större och innehåller mer av ämnena som bidrar till produktionen av gaserna, det leder inte bara till att produktionen av vätefluorid ökar utan övriga gaser som produceras vid bränder i litium-jon batterier, exempelvis, koldioxid (CO<sub>2</sub>), kolmonoxid (CO), metan (CH<sub>4</sub>), eten (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) och vätecyanid (HCN), många av dem är brännbara och kan bidra till explosionsrisk.

### 4.3 Åtgärder under brand

I detta avsnitt presenteras resultat från litteraturstudie samt intervjuer. Transkribering av intervjuer redovisas i Bilaga C och D.

#### 4.3.1 Släckmetoder

De släckmetoder som redogörs för här utgår från två scenarion som en elfordonsbrand kan delas upp i; batteriet ej påverkat och termisk rusning.

Är batterier ej påverkat i branden, det vill säga det brinner i en övrig del av fordonet och branden ej har spridit sig till batteriet, hanterar insatspersonalen situationen som en vanlig fordonsbrand. Det kan dock vara svårt för insatspersonalen att avgöra huruvida batteriet är påverkat eller om det finns en risk att batteriet blir involverat under insatsen. Har termisk rusning skett i batteriet alternativt om branden har spridit sig till batteriet blir hanteringen av branden betydligt komplexare.

Vatten har en bevisad effekt på att reducera konsekvenserna av en litium-jonbatteri brand och kan vid tillräcklig tillförsel släcka branden (Zhu et al., 2018) (MSB, 2023a). (Zhang et al., 2021) undersökte den mängd vatten som är tillräckligt för att orsaka en drastisk effekt på brand i litium-jon batterier och fann att 20.8g/Wh var tillräckligt för att stanna upp eller drastiskt minska den effekt som branden producerade. Vattnet behöver tillföras på ett effektivt sätt så samtliga berörda celler i batteriet hamnar i kontakt med vattnet vilket är ett problem för många batterier i elfordon, Kalmars elektrifierade truckar inkluderade, då battericellerna är inneslutna i skal av ett hårdare material, ofta metall, som gör åtkomsten begränsad.

Enligt Joakim Ilmrud, yttre befäl och brandingenjör på Räddningstjänsten Syd, finns det ingen metod för släckning av batterier som utsatts för termisk rusning som ger en garanterad släckeffekt. De metoder som generellt används för att komma åt svårnådda bränder, där skärsläckare är ett beprövat och standardiserat verktyg, har enligt Räddningstjänsten Syds erfarenhet ingen påverkan på släckningen. Användning av skärsläckare för att släcka termisk rusning hos batterier riskerar även att orsaka ytterligare fysisk skada på battericellerna som i sin tur kan förvärra förloppet och förvärra konsekvenserna (MSB, 2015).

Problem kan även uppstå med skärsläckare då närvaro av vatten ökar den momentana produktionen av toxiska gaser som sedan sköljs bort av och hamnar i släckvattnet som riskerar rinna ut i brunnar och vattendrag och slutligen grundvatten om det inte finns en dimensionerad uppsamling för släckvattnet.

Sammanfattningsvis finns det därmed ingen praktisk metod som en verksamhet kan enskilt göra för att släcka en brand.

#### **4.3.2 Påverkan på omgivning och räddningspersonal**

I arbetsmiljöverkets föreskrift om rök- och kemdykning (AFS 2007:7) beskrivs arbetsgivarens ansvar när det kommer till sina arbetstagare vid rök- eller kemdykning. Föreskriften ställer krav på att arbetsledaren ska genomföra en riskbedömning för den aktuella insatsen med hänsyn till de ämnen som de som genomför insatsen exponeras för samt ta beslut huruvida skyddsutrustningen är tillräcklig. I *Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen* (MSB, 2023c) redovisas beräkningar för toxisk verkan av ämnen som bildas vid bränder i fordon med alternativa bränslen, däribland fordon med litium-jon batterier. För bränder i litium-jon batteri fordon har koncentrationer av vätefluorid (HF) använts som skadekriterie. Beräkningar har gjorts för fordon med batterikapaciteter på 16.5 respektive 23.5 kWh och visar att räddningspersonal med personlig skyddsutrustning klarar exponering av de koncentrationer som produceras vid ett skyddsavstånd på 7-9 meter (MSB, 2023c).

Batterikapaciteterna som de resultaten baserats på är något mindre än de som finns i moderna elbilar och en bråkdel av de kapaciteterna som finns i Kalmars truckar. Som konstaterats i avsnitt 4.2 ökar produktionen av brandfarliga samt toxiska gaser linjärt med storleken på batteriets kapacitet vilket innebär att de koncentrationer som räddningspersonal utsätts för vid bränder i Kalmars truckar kommer vara betydligt högre än de som berörs i MSBs rapport ovan. Enligt Joakim Ilmrud klarar den personliga skyddsutrustningen av den mängden gaser som uppstår vid bränder i moderna elbilar förutsatt att ventilationen är tillräcklig, befinner sig det brinnande fordonet utomhus eller i ett större parkeringsgarage är det generellt inget problem men befinner sig fordonet exempelvis i en carport eller garage med begränsade ventilationsförhållanden kan insatsledaren göra riskbedömningen att situationen är för osäker och därmed prioritera säkerheten för räddningspersonalen över att släcka branden.

På grund av den höga effektutvecklingen i kombination med den höga produktionen av brandgaser som förväntas utvecklas vid brand i Kalmars truckar är det enligt Joakim Ilmruds och Patrick Sondbergers (Brandingenjör, Räddningstjänsten Storgöteborg) åsikter och erfarenhet svårt att uppskatta en taktik för släckning av en eventuell brand. Enligt dem är det viktigaste att skapa bra förutsättningar för räddningstjänstens insats genom god ventilation, lättillgängliga insatsvägar samt att minska risken för spridning till närliggande objekt.

Den bästa metoden för ett scenario med brand i en av Kalmars truckar är, enligt Joakim Ilmrud, genom så kallad "lämpning" eller "begränsning" vilket innebär att få bort det brinnande objektet till en öppen plats där objektet kan brinna men utan att riskera spridning till närliggande objekt, utöver det skapas bättre förutsättningar för räddningstjänstens arbete. Enligt Joakim Ilmrud är

skyddsfaktorn för spridning till närliggande objekt direkt beroende av avståndet i kvadratoch därmed desto längre bort det praktiskt går att förflytta ett brinnande objekt desto säkrare blir situationen för räddningspersonalen samt risken för spridning till närliggande objekt minskar.

#### **4.4 Förebyggande åtgärder**

I detta avsnitt presenteras resultat från litteraturstudie samt intervjuer. Transkribering av intervjuer redovisas i Bilaga C och D.

##### **4.4.1 Säkra laddningsplatser**

Statistiken som presenteras i 3.3 visar att 23% av alla inträffade bränder i el/hybridbilar har skett när fordonet stått på laddning. Enligt Patrick Sonberger, Brandingenjör på Räddningstjänsten Storgöteborg, är det vanligt att fel branden startas i laddningsutrustningen och sprider sig till fordonet. Därmed poängterar Patrick Sonberger på viktigheten av säkra laddningsplatser. Optimalast är om det är möjligt att placera laddningsplatserna utomhus, inte i direkt närhet av en husfasad eller i närheten av ventilationsintaget för byggnad för att begränsa den spridningen av branden och brandgaser till övriga lokaler och objekt.

I Sverige finns det föreskrifter som beskriver utformningen av laddningsplatser för truckar med bly-syra batterier. I AFS 1988:4 som styr kraven för laddning och underhåll av bly-syra batterier på en arbetsplats finns paragrafer som är relevanta när det kommer till dimensioneringen av laddningsutrymmen för litium-jon truckar.

Enligt §9 är laddning eller underhåll av batteri endast tillåtet i särskilt rum eller plats inom verksamheten specifikt avsedd för ändamålen. Detta innebär praktiskt att laddning eller underhåll av truckar inte får ske okontrollerat ute i verksamheten, laddningen av Kalmar Global truckar sker via en laddstolpe som måste installeras av en entreprenör och därmed är möjligheten att ladda batteriet på en okontrollerad plats mer begränsad än för ett bly-syra batteri men det är fortsatt viktigt att laddning sker på en plats avsett för det.

Enligt Patrick Sonberger bör dessa laddningsplatser vara placerade i en egen brandcell med minimalt av brännbart material och det bör finnas möjlighet att transportera bort en brinnande truck direkt ut till det fria genom exempelvis en port, detta på grund av det som diskuterats i avsnitt 4.4 ovan gällande förhindring av spridning till andra objekt och underlättande av räddningspersonalens insats.

§9 sätter krav på ventilationen vid laddningsplatser, i fallet för bly-syra batterier är detta för att hindra en explosiv blandning av vätgas och syrgas som produceras när bly-syra batterier laddas. Detta är inget problem när det kommer till litium-jon batterier, däremot är ventilation en viktig funktion under brand på grund av det som presenterats i föregående avsnitt 4.3.2, god ventilation under brandförloppet skapar bättre förutsättningar för räddningspersonalen att genomföra sin insats samt minska tryckkuppbyggnad och explosionsrisken i lokalen på grund av rökproduktionen.

Relaterat till produktionen av vätgas och syrgas vid laddning av bly-syra batterier finns §10 som sätter förbud mot öppen låga eller andra tändkällor i laddningslokalen för att de brandfarliga gaserna inte ska antändas. Paragrafen är fortfarande relevant för litium-jon batteridrivna truckar för att allmänt minska risken för antändning av batteriet i sig och antändning av andra delar av trucken som kan orsaka brand som sedan sprider sig till batteriet.

§12 ställer krav på att det ska finnas släckutrustning så som brandsläckare lättillgängligt vid laddningsplatsen. Detta är för att det ska finnas möjlighet att släcka en eventuell brand innan den blir för okontrollerbar. Som etablerats i avsnitt 4.3.1 ovan är det svårt att släcka en brand i ett batteri som genomgår termisk rusning, det är därmed inte meningen att föreslå



släckutrustning i form av en brandsläckare ska släcka en fullt utvecklad brand utan är mening att släcka uppkomst av brand i annan del av trucken innan branden sprids och blir okontrollerad. Utrustningen ska vara välmarkerad och helst ska en koldioxidbrandsläckare finnas tillgänglig för släckning av brand i elutrustning.

Utöver ovanstående rekommendationer är installation av ett sprinklersystem att rekommendera enligt Patrick Sonberger, ett sprinklersystem skulle minska risken för spridning till ytterliggare objekt. För exakt dimensionering av laddningsplatser och den erforderliga luftomväxling som behövs när det kommer till rekommendationerna ovan gällande ventilation rekommenderas det att anlita brandingenjör/riskingenjör med kompetenser inom området och som kan göra exakta beräkningar, enligt Patrick Sonberger.

#### **4.4.2 Kartläggning av truckarnas användning inom verksamheten**

En icke önskvärd situation som kan uppstå är om en truck skulle börja brinna i närheten av skyddsobjekt som är kritiska för verksamhetens produktion eller som kan orsaka en spridning till större delar av verksamheten. Risk finns i den situationen att branden sprids, värmestrålningen eller brandröken förstör exempelvis en maskin vilket kan kosta en verksamhet en stor summa pengar i reparations- eller saneringskostnader.

För att undvika detta kan en verksamhet göra en kartläggning av vart truckarna behöver röra sig inom verksamheten och kartlägga objekt som kan klassas som skyddsobjekt och efter bästa förmåga dimensionera skyddsavstånd där begränsad eller ingen trucktrafik får ske inom. Vanligt inom industrier med truckverksamheter idag är att ha någon form av kartläggning av trucktrafiken utifrån ett personalsäkerhetsperspektiv för att hålla trucktrafiken borta från områden där gångtrafiken är hög.

Truckar har i många verksamheter en central roll och det finns svårigheter i att begränsa vilka områden truckarna får röra sig inom, exempelvis hamnar och distributionscentraler där truckarna är i direktkontakt med verksamhetens centrala del. I sådana scenarion är det fortfarande viktigt med en kartläggning av vart truckarna rör sig inom verksamheten för att skapa en släckvattenutredning. Som tidigare kartlagts som risk vid brand i ett litium-jon batteri är produktionen av toxiska gaser ett problem, dessa gaser kan hamna i det vatten som använts för att släcka branden och hamna i brunnar och vattendrag som sedan rinner ut till grundvattnet och orsakar skada på ekosystem och människor. En släckvattenutredning görs av brandingenjör eller motsvarande med kompetenser inom området och innebär en systematisk genomgång av bland annat släckvattenuppsamling och är ett krav inom svensk lagstiftning för industrier som hanterar kemikalier eller annan riskfylld verksamhet (Förordning om brandfarliga och explosiva varor (2010:1075)).



## 5 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultaten som kommit fram till genom litteraturstudien och intervjustudien utifrån frågeställningarna, syftet och målet med arbetet.

### 5.1 Statistik

Statistiken över elbilsbränder som förts av MSB målar upp en intressant bild över frekvensen av bränder i elbilar. Trots en ökande mängd elbilar på vägarna har inte antalet bränder ökat i samma takt utan procentuella andelen av de elbilar som brinner har gått ner de senaste åren. Vad orsaken till denna stagnation av antalet beror på är svårt att analysera, en möjlig orsak kan vara att det förebyggande brandskyddet har förbättrats och de batterier och laddare som används i den senaste generationens bilar är säkrare än vad de var för 5 år sedan-

Om man analyserar situationen från andra hållet istället och fokuserar på varför en större andel av de fossildrivna bilarna brinner finns det några tänkbara förklaringar. En tänkbar förklaring kan vara att fossildrivna bilar har funnits en längre tid och snittåldern för de bilarna på vägarna är högre än för elbilar som först tillkommit det senaste årtiondet. En högre ålder på bilarna betyder mer slitage på komponenter som kan orsaka fel och fler olyckor som i sin tur leder till brand. I fossildrivna fordon finns en fundamental skillnad från batteridrivna fordon som är att i fossildrivna bygger processen som driver fordonet framåt på förbränning, det innebär att komponenterna i fossildrivna bilar generellt har en högre temperatur under körning, fossildrivna bilar har en lägre verkningsgrad än elbilar vilket innebär att det finns mycket energi som förloras i processen (*Öresundskraft*, no date). Det i kombination med brännbar olja och bränsle som det kan ske läckage av utgör en delvis förklaring till den större andelen fossildrivna bilar som brinner.

Vid analys av statistiken utifrån ett perspektiv relevant för Kalmar Globals truckar är orsakerna till bränder i elbilar relevant att ta hänsyn till. En stor andel av de elbilsbränder där det varit möjligt att bekräfta orsaken har orsakats under körning vilket i stort sett innebär att elbilen börjat brinna efter någon typ av olycka. I och med att truckar kör på vägar och i trafik på samma sätt finns inte den risken i närheten av samma utsträckning. Den stora orsak som, utöver övrigt/okänt, återstår som är lika relevant för elektrifierade truckar som elbilar är laddning vilket ytterligare motiverar betydelsen av säkra laddningsplatser.

### 5.2 Effektutveckling

Resultaten av beräkningarna visar att det finns en ekvation som beskriver sambandet mellan ett litium-jonbatteris kapacitet och den maximala effektutvecklingen som produceras vid en brand. Kalmar Globals Heavy forklift och Reachstacker har en vikt som är ca 30–40 gånger större än en typisk personbil, trots det ligger effektutvecklingen runt samma nivå som en personbil, både batteridrivna och med förbränningsmotor. Trots storleken och vikten hos en Heavy forklift och Reachstacker finns det inte en hög grad av brännbart material, 70% av vikten hos en Reachstacker kommer från stålkroppen och lyftanordningen vars funktion i stort sett är agera motvikt och göra det möjligt att lyfta tunga vikter. Jämför man med en personbil där största delen av effektutvecklingen kommer från allt material som finns i passagerarkupén med 5 säten, mycket plast och kablar som inte finns i Kalmars Globals Truckar.

Jämför man effektutvecklingen i de elektrifierade truckarna med motsvarande truckar som drivs av diesel ser man att de elektrifierade truckarna har ett något högre effektutveckling. Den högre nivån beror på faktumet att batterierna, i alla storlekar på kapaciteterna, ger en högre effektutveckling än vad dieseltanken ger. Den allra minsta batterikapaciteten på 163kWh som finns tillgänglig i Heavy Forklift modellen ger en något större effektutveckling än en dieseldrivna

med en marginal på endast 100kW vilket motsvarar ungefärligen en brand i en papperskorg och borde, utan en utförd ordentlig osäkerhetsanalys, hamna inom felmarginalen av beräkningarna.

Det går även att diskutera vad denna högre effektutveckling hos de elektrifierade truckarna jämfört med de dieseldrivna truckarna praktiskt innebär. En högre effektutveckling innebär att värmeöverföringen från de batteridrivna truckarna kommer vara något högre än för de dieseldrivna truckarna men det innebär inte att vid en brand i de dieseldrivna truckarna att det inte riskerar påverka objekt i omgivningen över huvud taget. Risknivån vid en brand i en truck går inte från en nollnivå till en hög nivå om en verksamhet skulle byta ut en dieseldriven truck mot en elektrifierad utan realistiskt kommer konsekvensnivån gå från en hög nivå till en något högre nivå. Denna ökning av konsekvenser kommer rent praktiskt inte göra någon markant skillnad för verksamheten, produktionen av rök samt värmeöverföringen i form av strålning och konvektion kommer fortsatt vara hög, en brand på ~5MW, den nivå som de dieseldrivna truckarna ligger på, är en väldigt stor brand som kommer ha en stor påverkan på omgivningen.

Tillväxten hos litium-jon batterierna är väldigt långsam, för en dieseldriven truck kommer tillväxten troligtvis ske mycket snabbare, beroende på brandens orsak och typ. Den långsamma tillväxten för en brand i ett litium-jon batteri kan utgöra både en för och en nackdel. I och med att batterierna sitter i en kompakt gruppering, och i fallet för Reachstackermodellen lokaliserat undertill och ej synbart, kan detta orsaka att branden är svårupptäckt, den termiska rusningen kan sprida sig internt i batteriet och det finns risk att det inte upptäcks förens en större del av batteriets celler är påverkade. Upptäcks den termiska rusningen i batteriet i tid däremot finns det möjlighet att få räddningspersonal på plats tidigt under brandens skede vilket ger bättre förutsättningar för en lyckad insats.

Det finns flera intressanta anledningar till den höga nivån av effektutveckling som uppstår vid bränder i litium- jon batterier. En av anledningarna är det kemiskt bundna syret i litium-jonbatteriers komponenter som frigörs under brand. Bättre tillgång till syre betyder en mer effektivare förbränning men det betyder även en svårsläckt brand. En annan anledning är den höga energidensiteten i ett batteri som fundamentalt är anledningen till att litium-jon batterier är användbara i fordon men också en anledning till att effektutvecklingen blir så pass hög, det finns mycket energi i ett batteri som tillåts frigöras under en brand.

Energin i ett batteri påverkas av SoCn, i denna rapport har endast 100% SoC tagits hänsyn till då det utgör det värsta möjliga scenariot men realistiskt kommer SoCn variera baserat på hur truckarna används. I dem artiklar som undersökt effektutvecklingar hos batterier med olika SoC nivåer har sett en nedgång i effekt hos batterier med en SoC under 100% men något exakt samband har inte fastslagits men det är därmed rimligt att anta att effektutvecklingen som utvecklas i de flesta fall kommer anta ett värde lägre än det värsta möjliga scenario som uträknats i detta arbete. För gasproduktionen visade dem undersökta artiklarna avvikande resultat gällande vid vilken SoC nivå som gav högst gasproduktion, det kan därmed mycket väl vara att en lägre SoC nivå ger en högre produktion av gaser.

### **5.3 Osäkerheter**

För att genomföra beräkningar i detta arbete har ett nödvändigt val varit att förenkla den verklighet som beräkningarna syftar till att beskriva. Beräkningarna som gjorts har utförts med syftet att vara en initial uppskattning för användning som underlag till vidare analyser. Därför har simplifierade modeller och antaganden gjorts under beräkningarnas gång och det är viktigt att inse osäkerheterna i resultaten av beräkningarna.

Den korrelationen mellan ett litium-jon batteris kapacitet och den effektutveckling som produceras har i denna rapport utvärderats utifrån testdata på batterier som varit begränsade

till betydligt lägre storlekar och brandeffekter än de batteristorlekar som sambandet använts för i rapporten. För att minska osäkerheten i detta arbete hade testdata från batterier i storlekar närmare de som behandlas i detta arbete varit fördelaktigt, men på grund av den begränsande mängd av tillgängliga artiklar som berör den storleken av batterier har den möjligheten inte funnits.

Spridning av branden inom trucken är något som inte behandlats särskilt inom detta arbete, för att få en uppskattning av den maximala effekt som kan produceras vid en truckbrand har de brännbara materialen antagits börjat brinna samtidigt, i verkligheten är detta inte fallet och detta gör att det finns osäkerheter huruvida den totala maximala effektutveckling som beräknats kommer uppnås eller om spridningen kommer påverka den maximala effektutvecklingen. Något som inte heller tagits hänsyn till i denna rapport har varit vilken typ av flamma, turbulent diffusionsflamma eller en turbulent jetflamma, en brand i en truck av detta slag kommer brinna med, i de undersökta artiklar har inte någon karakterisering av flammorna beskrivits vilket har gjort det svårt att undersöka. I dessa beräkningar har modeller som antar en turbulent diffusionsflamma använts men förbehåll bör vidtas att en sådan brand i verkligheten inte beter sig fullt som en turbulent diffusionsflamma.

Tidigare i rapporten har en batteribrands förmåga att konsumera det syre som frigörs från batteriets egna komponenter benämnts. En artikel uppskattade den andel av effektutvecklingen som batteriets egen syre bidrog med var uppemot 13%, beroende på vilken metod de empiriska mätningarna av en batteribrands har använt för att beräkna effektutvecklingen finns det risk i att effektutvecklingen underskattats som i sin tur orsakar osäkerheter i detta arbetes beräkningar.

## **5.4 Rökproduktion**

Batteriets SoC har även en påverkan på de gaser som produceras vid brand. I litteraturen är det oklart om korrelationen är positiv eller negativ mellan SoCn och produktionen av exempelvis vätefluorid, det vill säga om produktionen ökar eller om det minskar med ett ökande SoC. Oavsett så är det inget som praktiskt går att göra något åt i fallet med Kalmar Globals truckar. Likt alla bränder är produktionen av brandgaser ett problem och det är viktigt att ha kunskaper om vilka faror det ställer för människor och objekt lika så.

## **5.5 Förebyggande arbete**

Det förebyggande arbetet har en stor betydelse i att dämpa de konsekvenser som kan uppstå vid en brand. Både det förebyggande arbetet med att minska sannolikheten att en brand uppstår som främst innebär att producera en säker produkt, i Kalmar Globals truckar finns säkerhetssystem som bland annat stänger av trucken vid en detekterad ökad temperatur i batteriet vilket är ett exempel på förebyggande arbete i en produkt. Den andra sortens förebyggande arbete som finns är att mitigera de effekter som uppstår när en brand väl inträffar. Kostnader som uppstår av att implementera dessa förebyggande åtgärder är oftast mindre än de som kan uppstå på grund av och efter en brand. Många försäkringsbolag som riktar sig mot industrier kräver förebyggande åtgärder mot bränder för att få ner den försäkringspremie som behöver betalas.

Många av de förebyggande åtgärder som föreslås är redan implementerade i många industrier och verksamheter idag. Släckvattenutredningar exempelvis är något som många industrier och verksamheter redan utfört då det krävs vid särskilda tillstånd relaterade till miljön eller hantering av vissa kemikalier.

## 5.6 Metodval

Gällande metodvalen under arbetets gång finns det i efterhand alternativ som hade bidragit till en högre kvalitet på resultaten eller lyft andra intressanta vinklar till arbetet.

En sak som hade höjt kvalitén på arbetet hade varit att intervjua fler personer till intervjustudien, mejl skickades ut till sex räddningstjänster runt om i Sverige men endast två skickade svar tillbaka. Detta är något som kan påverka validiteten i resultaten och en större mängd respondenter hade ökat validiteten och pålitligheten i slutsatserna. I efterhand hade det möjligtvis gjort en skillnad att gå via andra kanaler än mejl så som telefon och kontakta relevanta personer att intervjua personligen istället för att gå via deras organisation. I ursprungliga planen för arbetet ingick intervju och platsbesök hos en av Kalmar Globals kunder men det föll igenom och uteblev, något som hade bidragit med en intressant vinkeln till arbetet som inte kom med i slutresultatet.

Att dela upp arbetet i tre frågeställningar underlättade arbetet och skapade en röd tråd under arbetets gång då resultaten i den första frågeställningen gällande konsekvenserna av en brand lade en grund till arbetet med frågeställningarna om förebyggande åtgärder och åtgärder under brand.

Valet att göra en litteraturstudie gjordes då det var det som behövdes för att samla in den mängd data och information som behövdes för att genomföra analyser samtidigt som de skulle vara möjligt att använda artiklar och källor som var vetenskapligt granskade, något som inte hade varit möjligt genom endast en intervjustudie till exempel. En intervjustudie bedömdes däremot inte vara helt o användbart då det skulle ge en möjlighet att komplettera den information som samlats in genom litteraturstudien med den praktiska erfarenhet och insikter som räddningstjänster sitter på som är relevant utifrån arbetets frågeställningar. Som exempel är det lätt att läsa och skriva om metoder för släckning av ett batteri i artiklar där experiment utförts i kontrollerad miljö men det som är mest intressant utifrån mina frågeställningar är det som fungerar praktiskt vilket är information som kan fås genom att intervjua personer som har första hands erfarenhet med det, det vill säga räddningstjänstpersonal. En enkätstudie ansågs inte vara relevant då det är mer användbart vid insamling av kvantifierbar data vilket inte var det som behövdes för arbetets frågeställningar.

## 6 Slutsats

Slutsatsen som kan dras av detta arbete är att effektutvecklingen hos de elektrifierade truckarna av modellerna Heavy Forklift och Reachstacker blir högre än för dieseldrivna versionen av motsvarande modell, hur mycket högre beror på kapaciteten av batteriet. Effektutvecklingen för Heavy Electric Forklift modellen uppskattas variera mellan cirka 2.5 MW och ca 5MW . För Electric Reachstacker varierar uppskattningsvis effektutvecklingen mellan cirka 3.4MW och 6 MW. Effektutvecklingen för den dieseldrivna motsvarigheten för respektive modell ligger på 4.9MW

Rökproduktionen för en brand i ett litium-jon batteri ökar med en ökande storlek på batteriet. Ett stort problem är produktionen av toxiska gaser så som vätefluorid som riskerar skada på människor och ekosystem.

Statistiken över elbilsbränder visar att bilar med förbränningsmotorer brinner 11-17 gånger oftare än elbilar där 2022 det endast brann i 0.004% av alla elbilar i Sverige. De två största orsakerna till bränder i elbilar är "Under Färd" och "Laddning". Vilket innebär att de flesta elbilsbränder orsakas av olyckor eller under laddning. Kalmar Globals truckar används inte i trafik i ett jämförbart sätt med elbilar och risken att brand sker under användning på grund av olycka är mindre och därmed är mest relevanta orsaken för bränder i Kalmar Globals truckar under laddning.

Användarna av en truck bör vara införstådda i innebörden av en brand i en elektrifierad truck och ha rutiner för att hantera detta. Som åtgärder under brand bör fokus ligga på att få bort den brinnande trucken från omgivning för att begränsa spridningen och skada på ytterligare objekt Att underlätta räddningspersonalens insatser bör även vara i fokus och kan uppnås genom:

- Ventilera bort toxiska brandgaser genom god ventilation.
- Skapa skyddsavstånd för räddningspersonalen genom att få den brinnande trucken till en öppen yta eller säker plats.

Som förebyggande åtgärder för att minska konsekvenserna av en brand är det viktigt att dimensionera säkra laddningsplatser, likt de krav för bly-syra batterier i AFS 1988:4. Följande åtgärder rekommenderas

- Laddning ska ske i ett utrymme särskilt utformat inom egen brandcell.
- God ventilation inom laddningsutrymmet.
- Inga möjliga tändkällor i närheten.
- Tillgång till släckutrustning.

Vid laddningsutrymmet är ett sprinklersystem rekommenderat och det bör även göras en kartläggning av vart inom ett område trucken används och identifiera riskobjekt inom området. Utifrån kartläggningen bör även en släckvattenutredning göras.





## 7 Fortsatta studier

Detta arbete behandlar ett område som är relativt nytt och det tillkommer kontinuerligt ny relevant information som kan appliceras inom detta område.

Det som saknats under litteraturstudien har varit empirisk data och kunskap kring batterier i storlekar över 100kWh. Storleken på de batterier som används kommersiellt idag blir kontinuerligt större och därmed är det inte orimligt att anta att fokus på större batterier kommer ske fortsatt längre fram i tiden, en uppdatering av de resultat och beräkningar som gjorts i detta arbete utifrån framtida resultat är fördelaktigt.

Ett ämne där det idag sker mycket diskussioner är energilagring där batterier med höga kapaciteter används för att lagra energi. Riktlinjer och föreskrifter kring det är under god utveckling och det är en intressant aspekt som hade kunnat appliceras inom detta arbete.



## 8 Referenser

A detailed guide on Li-ion pouch cells: What are they and their benefits? (2022, October 20). *Solar Square Blog*.

<https://www.solarsquare.in/blog/li-ion-pouch-cells/>

Amano, K. O. A., Hahn, S.-K., Butt, N., Vorwerk, P., Gimadieva, E., Tschirschwitz, R., Rappsilber, T., & Krause, U. (2023). Composition and Explosibility of Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries Undergoing Thermal Runaway. *Batteries*, 9(6), Article 6.

<https://doi.org/10.3390/batteries9060300>

*BU-203: Nickel-based Batteries*. (2010, September 22). Battery University.

<https://batteryuniversity.com/article/bu-203-nickel-based-batteries>

*Carbon Monoxide | NIOSH | CDC*. (2023, May 15).

<https://www.cdc.gov/niosh/topics/co-comp/default.html>

*CDC | Facts About Hydrogen Fluoride (Hydrofluoric Acid)*. (2019, May 15).

<https://emergency.cdc.gov/agent/hydrofluoricacid/basics/facts.asp>

*Comparison of Different Types of Electric Vehicle Battery Cells | KEYENCE India*. (n.d.). Retrieved 13 November 2023,

<https://www.keyence.co.in/products/marker/laser-marker/resources/laser-marking-resources/comparison-of-different-types-of-electric-vehicle-battery-cells.jsp>

Dougal, Drysdale. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Ltd.

Dragonfly Energy. (2022, December 13). A Guide To The 6 Main Types Of Lithium Batteries.

<https://dragonflyenergy.com/types-of-lithium-batteries-guide/>

*Elbilar: För- och nackdelar*. (n.d.). Retrieved 19 December 2023,

<https://www.oresundskraft.se/blogg/elbilar---ja-eller-nej/>

Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2022). Energy Storage Technologies. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00030-9>

Fu, Y., Lu, S., Li, K., Liu, C., Cheng, X., & Zhang, H. (2015). An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter. *Journal of Power Sources*, 273, 216–222.

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.09.039>

Government of Canada, C. C. for O. H. and S. (2023, June 13). *CCOHS: Carbon Dioxide*.

[https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem\\_profiles/carbon\\_dioxide.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide.html)

Gruber, P. (2017, May 23). What is inside your Roadster Battery Pack? *Gruber Motors*.

<https://grubermotors.com/2017/05/23/what-is-inside-your-roadster-battery-pack/>

*Heat values of various fuels—World Nuclear Association*. (n.d.). Retrieved 12 December 2023, from

<https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>

Held, M., Tuchs Schmid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L. D., Welte, U., Kompatscher, M., Hermann, M., & Nachev, L. (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *165*, 112474.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474>

*Infographic: High Demand for Lithium-Ion Batteries*. (2020, December 18). Statista Daily Data.

<https://www.statista.com/chart/23808/lithium-ion-battery-demand>

Ingason, H. & Hammarström, Rolf. (2010). *Fire test with a front wheel loader rubber tyre*.

*Kalmar Electric Reachstacker | Kalmarglobal*. (n.d.). Retrieved 14 December 2023, from

<https://www.kalmarglobal.se/produkter-service/reachstackers/electric-reachstacker/>

*Kalmar Global*. (n.d.). *Framtiden är elektrisk | Kalmarglobal*. Retrieved 11 December 2023, from

<https://www.kalmarglobal.se/miljoeffektivt/framtiden-ar-elektrisk/>

*Kalmar Heavy Electric Forklift Trucks 18-33 tonnes | Kalmarglobal*. (n.d.). Retrieved 14 December 2023,

<https://www.kalmarglobal.se/produkter-service/motviktstruckar/electric-heavy-forklift/>

Kang, S., Kwon, M., Yoon Choi, J., & Choi, S. (2023). Full-scale fire testing of battery electric vehicles. *Applied Energy*, *332*, 120497.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120497>

Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., Lorén, A., & Mellander, B.-E. (2014). Characteristics of lithium-ion batteries during fire tests. *Journal of Power Sources*, *271*, 414–420.

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.08.027>

Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., & Mellander, B.-E. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Scientific Reports*, *7*(1), Article 1.

<https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>

- Larsson, F., Andersson, P., & Mellander, B.-E. (2016). Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests. *Batteries*, 2(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.3390/batteries2020009>
- MOLYKOTE® PAO Polyalphaolefin Oil. (n.d.). Retrieved 4 December 2023,  
<https://www.dupont.com/molykote/polyalphaolefin-pao.html>
- MSB. (n.d.). *Statistik över räddningstjänstens insatser*. Retrieved 29 November 2023, from  
<https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/raddningstjanst-och-raddningsinsatser/statistik-om-olyckor-brander-och-skador/statistik-raddningstjanstens-insatser/>
- MSB. (2015). *Släckprov av e-fordon*.
- MSB. (2020). *Vägledning, räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer*. MSB.  
<https://rib.msb.se/filer/pdf/29268.pdf>
- MSB. (2023a). *Demonstration av släck---metod för litiumjonbatterier. Metodtillämpning på olika aggregations-nivåer -- modul, sub-batteri, elbilspack och fordonsnivå*.  
<https://rib.msb.se/filer/pdf/30340.pdf>
- MSB. (2023b). *Sammanställning av bränder i elfordon och eltransportmedel år 2018–2022*.  
<https://rib.msb.se/filer/pdf/29438.pdf>
- MSB. (2023c). *Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen*.  
<https://rib.msb.se/filer/pdf/29389.pdf>
- NOAA. (2020). *PHOSPHORUS PENTAFLUORIDE | CAMEO Chemicals | National Oceanic and Atmospheric Administration*.  
<https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/4244>
- PAO 4—Low Vis PAO - Dowpol Chemical International Corp. (n.d.). Retrieved 4 December 2023,  
<http://en.dowpol.com/low-pao/product-16.html>
- Pastorelli, M., Musumeci, S., & Mandrile, F. (2021). *Battery Sources and Power Converters Interface in Waterborne Transport Applications*. 1–5.  
<https://doi.org/10.23919/AEITAUTOMOTIVE52815.2021.9662776>
- Piątek, J., Afyon, S., Budnyak, T. M., Budnyk, S., Sipponen, M. H., & Slabon, A. (2021). Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling. *Advanced Energy Materials*, 11(43), 2003456.  
<https://doi.org/10.1002/aenm.202003456>

- Quintiere, J. G., Karlsson, B., & Johansson, N. (2022). *Enclosure Fire Dynamics, Second Edition* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22214>
- Ribière, P., Grugeon, S., Morcrette, M., Boyanov, S., Laruelle, S., & Marlair, G. (2012). Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry. *Energy & Environmental Science*, 5(1), 5271–5280. <https://doi.org/10.1039/C1EE02218K>
- Seham, S., & Agelin-Chaab, M. (2022). A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries. *Energy Conversion and Management: X, Volume 16*. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100310>
- Sharifi-Asl, S., Lu, J., Amine, K., & Shahbazian-Yassar, R. (2019). Oxygen Release Degradation in Li-Ion Battery Cathode Materials: Mechanisms and Mitigating Approaches. *Advanced Energy Materials*, 9(22), 1900551. <https://doi.org/10.1002/aenm.201900551>
- Simonson, M., Milovancevic, M., & Persson, H. (1998). *Hydraulic fluids in hot industry: Fire characteristics and fluid choice. RALF project 97-1612*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-4440>
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*, 56(4), 1361–1410. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>
- Wang, Q., Huang, P., Ping, P., Du, Y., Li, K., & Sun, J. (2017). Combustion behavior of lithium iron phosphate battery induced by external heat radiation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49, 961–969. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.12.002>
- Zhang, L., Duan, Q., Liu, Y., Xu, J., Sun, J., Xiao, H., & Wang, Q. (2021). Experimental investigation of water spray on suppressing lithium-ion battery fires. *Fire Safety Journal*, 120, 103117. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103117>
- Zhu, M., Zhu, S., Gong, J., & Zhou, Z. (2018). Experimental Study on Fire and Explosion Characteristics of Power Lithium Batteries with Surfactant Water Mist. *Procedia Engineering*, 211, 1083–1090. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.113>

## Bilaga A Beräkning av korrelationskoefficient

Korrelationskoefficienten  $r$  som beskriver hur nära ett linjärt samband som datapunkterna ligger. Det linjära sambandet som undersökts är sambandet för PHRR som presenterats i avsnitt 4.1.1.

$$PHRR = 2E_b^{0.6}$$

Där  $E_b$  är batteriets kapacitet i kWh och PHRR är den maximala effektutvecklingen som utvecklas i kW.

Korrelationskoefficienten  $r$  ger ett värde mellan -1 och 1 och beskriver hur väl uppmätta datapunkter kan förklaras av ett samband. 1 ger ett maximalt positivt samband vilket innebär att om en variabel, i det här fallet det sambandet som undersöks, ökar kommer den andra variabeln att öka i samma grad. -1 innebär motsatt effekt, det vill säga att om ena variabeln ökar kommer den andra att minska. 0 innebär inget samband.

Korrelationskoefficienten  $r$  har beräknats genom minsta kvadrat-metoden

$$r = \sqrt{\frac{\text{var}(\text{mean}) - \text{var}(\text{samband})}{\text{var}(\text{mean})}}$$

Där

$$\text{var}(\text{mean}) = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}$$

$$\text{var}(\text{samband}) = \frac{\sum (y_i - y_{\text{samband}})^2}{n}$$

$y_i$  är uppmätta värdet på effektutvecklingen för datapunkten  $i$

$\bar{y}$  är medelvärdet på effektutvecklingen för samtliga datapunkter

$y_{\text{samband}}$  är det uppskattade effektutvecklingen utifrån sambandet

$n$  är antalet datapunkter,  $n = 5$

För att kunna tillämpa minsta kvadratmetoden behövs ett linjärt samband och därmed har samtliga datapunkter konverterats till logaritmisk skala.

I tabellen nedan redovisas samtliga datapunkter

Datapunkt	Batteriets kapacitet, $E_b$ [kWh]	$\text{LOG}_{10}(E_b)$	Uppmätt PHRR [kW]	$\text{LOG}_{10}(\text{PHRR})$
1	0.00936	-2.0287	6.8	0.8325
2	0.112	-0.9508	55	1.7403
3	0.112	-0.9508	51	1.7075
4	0.6	-0.2218	64.32	1.8083
5	64	1.8061	1540	3.1875

Vid insättning av de logaritmiska värdena i formlerna ovan fås:

$$\text{var}(\text{mean}) = 0.57163$$

Och

$$\text{var}(\text{samband}) = 0.020690258$$

Vilket ger ett värde på korrelationskoefficienten:

$$r = \sqrt{\frac{0.57163 - 0.020690258}{0.57163}} = 0.98174$$

Nedan följer beräkningarna gjorda i Microsoft Excel:

Plot Area		kWh	log(kWh)	PHRR(kW)	log(PHRR)	Uppskattad PHRR(kW)	log( uppskattad)
	artikel 3	0.00936	-2.02872	6.8	0.832508913	7.652361973	0.883795505
	artikel 1	0.112	-0.95078	55	1.740362689	33.9281992	1.530560809
	artikel 1	0.112	-0.95078	51	1.707570176	33.9281992	1.530560809
	artikel 4	0.6	-0.22185	64.32	1.808346036	92.87968758	1.967920746
	artikel 2	64	1.80618	1540	3.187520721	1530.164	3.18473798
				medelvärde av log	1.855261707		
	<b>mean</b>				<b>fit</b>		
	Differens från medelvärdet	kvadrat	var(mean)		differens från linje	kvadrat	var(fit)
	artikel 3	-1.022752794	1.04602		-0.051286592	0.002630315	
	artikel 1	-0.114899017	0.0132		0.20980188	0.044016829	
	artikel 1	-0.147691531	0.02181		0.177009367	0.031332316	
	artikel 5	-0.046915671	0.0022		-0.15957471	0.025464088	
	artikel 2	1.332259014	1.77491		0.002782741	7.74365E-06	
	summa	2.85815	<b>0.57163</b>			0.103451291	<b>0.020690258</b>
	R^2	0.963804845	R	0.98174			



## Bilaga B Uträkning av HRR för hydraulolja

Det finns flera typer av hydraulolja som används i fordon och maskiner. För arbetsmaskiner i industrier är den vanligaste typen så kallad PAO olja (*MOLYKOTE® PAO Polyalphaolefin Oil*, n.d.) och för uträkningarna för hydrauloljan i Kalmars truckar har värden för PAO olja använts.

För uträkning av HRR har modellen för pölbränder använts (Dougal, Drysdale, 2011):

$$\dot{Q} = \dot{m}'' * A * \Delta H_{c,eff}^{\circ}$$

I *Hydraulic fluids in hot industry: Fire characteristics and fluid choice* (Simonson et al., 1998) har brandegenskaperna för olika sorters hydraulolja testats. I testerna uppmättes den effektiva förbränningsentalpin,  $\Delta H_{c,eff}^{\circ}$ , för PAO hydraulolja till ett värde på  $\Delta H_{c,eff} = 41.34$  MJ/kg.

Utifrån visuell uppskattning av hydrauloljetankens storlek vid platsbesök har arean, A, uppskattats till ca 1m<sup>2</sup>.

Enligt *An Introduction to Fire Dynamics* (Dougal, Drysdale, 2011) har crude oil ett massavbränningsvärde,  $\dot{m}''$ , mellan 0.022-0.045kg/m<sup>2</sup>s. För en approximation har ett värde på  $\dot{m}'' = 0.03$  kg/m<sup>2</sup>s valts.

Vid insättning av dessa värden i

$$\dot{Q} = \dot{m}'' * A * \Delta H_{c,eff}^{\circ}$$

Fås då ett värde på  $\dot{Q} \approx 1.2$  MW

Hydraulolja har en densitet på 820kg/m<sup>3</sup> (*Dowpol Chemical International Corp*, no date). Hydrauloljetanken i Kalmars truckar har en volym på 900 liter vilket gör att en tank innehåller ca m=738kg hydraulolja.

Med massavbränningsvärdet  $\dot{m}'' = 0.03$  kg/m<sup>2</sup>s kan då tiden det tar för hydrauloljan att brinnas upp med formeln:

$$t = \frac{m}{\dot{m}'' * A}$$

Vilket blir t=24600s vilket är lika med 410 minuter eller 6.83h.

För uträkning av en dieseltank på 450l används samma metod med följande indata.

$\dot{m}'' = 0.055$ kg/m<sup>2</sup>s (Dougal, Drysdale, 2011)

$\Delta H_{c,eff} = 45$  MJ/kg (*Heat Values of Various Fuels - World Nuclear Association*, n.d.)

A= 1m<sup>2</sup>

Densiteten för diesel är ca 815kg/m<sup>3</sup> och en tank på 450l innehåller en massa på 366kg.

Vilket ger en effektutveckling för en dieseltank på  $\dot{Q} \approx 2.5$  MW som håller på i 1.85h.

# Bilaga C Intervju Joakim Ilmrud Räddningstjänsten Syd

Brandingenjör och yttre befäl

20/11-2023

## **Fråga: Egna erfarenheter från elbilsbränder eller större batteribränder, har ni på Räddningstjänsten Syd någon taktik eller handlingsplaner?**

När det kommer till bränder i batterier finns det i stort sett två scenarion; ej batteripåverkan och Propagering, termisk rusning, i batteriet.

När en brand startat i ett fordon och batteriet ej är påverkat hanterar vi det som en vanlig fordonsbrand.

Men har det skett en propagering i batteriet, det vill säga när cell efter cell bryts ner är det betydligt mycket svårare att hantera. Det vi funnit är att skärsläckare eller skärspik inte hjälper och i de tester som utförts av bland annat MSB är det osäkert huruvida skärsläckaren faktiskt gör något eller om batteriet slutar brinna av sig själv. Vi brukar därmed säga internt att vi inte har en generell metodik för att hantera bränder.

När vi har en brand eller propagering av ett batteri som brinner så vet vi att det är väldigt svårt och det är svårt att påverka när termisk rusning väl sker utan det kommer gå från cell till cell i det hela för det finns inget vedertaget sätt och när det gäller sådana här stora batterier kommer det pågå väldigt länge. Man brukar säga att i bilar med 60-100 kWh kommer det pågå kanske i ett par timmar men om man nu i ditt fall har batterier upp till 5 gånger större så är det värsta scenariot jag kan tänka mig att det kommer pågå mycket längre.

Det metodik vi har idag som är applicerbar är att "begränsa" eller "lämpa" det vill säga att om vi har ett objekt där det sker en propagering i batteriet ligger fokus på att få bort objektet om det går till en öppen plats där man låter objektet brinna men minska påverkan på omgivningen och verksamheten. Skyddsfaktorn är i stort sett avståndet upphöjt i 2 så kan man få bort det brinnande objektet från omgivningen gör det väldigt stort skillnad, inte bara för att skydda närliggande objekt utan också för att det skapar bättre förutsättningar för räddningsinsatser.

Jag vet att andra verksamheter där de har eldrivna maskiner som har en betydlig roll i verksamheten har de byggt parkeringsplatser åt maskinerna som är avskärmd från omgivningen. Jag kan tänka mig att dessa truckar används mycket inom verksamheter utomhus där det är mycket öppenhet och relativt lätt att skapa skyddsavstånd.

Att placera det brinnande objektet i en öppen yta skapar även bättre förutsättningar att ventilera bort de gaser som produceras vid bränder som både kan vara toxiska och brandfarliga. Vi har konstaterat genom tester att produktionen av vätefluorid uppnår vanligtvis inte tillräckligt höga koncentrationer som våran skyddsutrustning inte klarar av om branden sker i ett välventilerat område, många elbilar börjar brinna ute på vägar eller i större parkeringsgarage där ventilationsförhållandena är bra, men skulle ett stort batteri börja i ett mindre utrymme med dålig ventilation blir möjligheterna till en säker insats osäker. Så jag skulle säga en viktig skyddsåtgärd är att minska risken för ansamling av brandfarliga gaser genom bra ventilationsförhållanden.

## **Bilaga D Intervju Patrick Sonberger Räddningstjänsten Storgöteborg**

22/11-2023, transkriberat med hjälp av Microsoft Words transkriberingsfunktion

### **Fråga: Egna erfarenheter från elbilsbränder eller större batteribränder, har ni på Räddningstjänsten Syd någon taktik eller handlingsplaner?**

**Patrick Sonberger**

Vad där du hade räknat lite på effektutveckling och rökutveckling och lite. Vad kom du fram till då, liksom om du hjälper med vanliga bränder så det kan vara kul att. Vad de har räknat på det och vad man använder.

**Cecilia Östholm**

Alltså, för att jag har nu har jag typ det mesta bara kollat på avgränsar mig lite till batterierna så att jag har inte fått än så länge har jag inte fått jättemycket information om. Resten av materialuppsättningen i truckarna så jag kan inte kunna liksom ta det hela, men batterien är. Jag har hittat för att det som varit problemet har ju liksom varit lite i det finns mycket tester på mindre batterier men problemet har varit lite hur man skalar i typ effektutvecklingen och så så. Det har jag kollat mycket på och jag har hittat ett samband så att jag har lyckats skala upp. Som jag sen också gjort lite korrelationsberäkningar och sånt på. Och kollat att det är liksom stämma överens med lite stor sånt som finns och . Det blir ju större. Effekterna vad det en artikel jag hittar där man hade bränt en vanlig elbil, dels bara batteriet i sig och sedan hela bilen och då hade de kommit fram att ett 64 kilowattimmar batterier som hade gett 1,5 megawatt i maxeffektutveckling. Och sen totala bilen hade gett cirka 7 MW

**Patrick Sonberger**

OKOK ja just det.

**Cecilia Östholm**

Det jag har kommit fram till att den störst alla största modellen på batteri som är 587 kilowattimmar. Den har ett max effektvärde på 5,7 megawatt. Så att det och sen har jag också kollat lite på hur kurvorna ser ut. Och det jag ser att de har väldigt låg eller sakta tillväxt. Och nu.

Och sedan att den är väl när maxvärdet så ligger de där ett tag några minuter innan de senaste. Inte så att det ligger ju inte på maxvärdet hela tiden.

Speaker

Just det.

**Patrick Sonberger**

Jag tänker också på laddningsgraden. I batterierna.

**Cecilia Östholm**

Ja, jag har ju gått från att eller för att det testade och sånt artiklar jag kollar på har de ju testa olika laddningsgrader, men det jag har använt är bara 100 % för att det har varit väldigt svårt att se ett samband mellan laddningsgraden och effektutvecklingen. Jag har inte sett någon eller det har varit jättesvårt att kompensera för laddningsgraden för du kan inte bara ta laddningsgraden gånger totala kapaciteten på batteriet för att skulle du ha 0 % på laddning. Det är inte så att du har noll energi alls för det finns ju fortfarande massa kvar så att det är svårt att kompensera så då har jag utskott från 100% laddningsgrad.

**Patrick Sonberger**

Ja, det låter mer. Det låter mer rimligt ja.

**Cecilia Östholm**

100 % och sedan kört att det är worst case scenario med sedan realistiskt sätt så.

Speaker

Ja, det var sant.

**Cecilia Östholm**

Batteri kommer inte vara på 100 % länge. Länge liksom, va?

**Patrick Sonberger**

Nej, nej nej, så är du det? Men det låter mer som en RISE fråga forskningsfråga eller låta och så va.

**Cecilia Östholm**

Så är det ju, så det är väl.

**Cecilia Östholm**

Egentligen bara den första delen av mitt arbete som handlar lite om att kvantifiera effekterna också. Jag har också kollat lite på rökproduktion och det är hittat. Där är också att det skalar upp ganska linjärt med storleken på batteriet också.

**Patrick Sonberger**

Och det är också, det är ju också väldigt beroende på laddningsgrad hur det blir med rökproduktionen liksom. Det är ju också jättesvårt att veta alltså. Det måste vara väldigt krångligt att få fram det här, att man ska vara ärlig. Det låter så.

**Cecilia Östholm**

Ja jo, jag insåg ju det att det var lite krångliga vad jag trodde så att jag har eller fått avgränsa mig lite.

**Patrick Sonberger**

Fattar det.

**Cecilia Östholm**

Har jag fått göra? Men det jag vill ha från dig, eller liksom för att för att det är jättelätt även för att den första delen av mitt arbete är liksom att försöka kvantifiera lite av konsekvenserna. Och det är typ det jag har berättat nu lite.

**Patrick Sonberger**

Just det.

**Cecilia Östholm**

Och, men sen så är det också för att företaget de vill ha. Lite information som de sen kan ge till deras kunder och så om. Dels vad man kan göra för att minska risken att man får terminsrusning och sånt och att det börjar brinna. Sen också om det där börjar brinna, vad finns det eller vad är bra att ha för resurser liksom för verksamheter som har de här tryckarna och så och. För mig att läsa i en artikel och så att ja, det här har någon testat liksom i ett väldigt kontrollerat scenario, men sedan praktiskt. Är ju en helt annan sak.

**Patrick Sonberger**

Ja, det är klart, man kan väl säga så här då att det. Är ju ganska ganska kraftiga batterier då liksom, och. Med elbilar och så där. Att det. Kommer ju krävas någon form av rejäl riskanalys. Det är ju så liksom man får ju, man får ju det här. Jag säger nu. Det blir liksom en en första kanske input ifrån våran sida då liksom och vi vi lär ju oss hela tiden också och utvecklingen går väldigt fort och och vi är bara några stycken som håller på med detta på den känns historiskt och jag. En av dem då? Så att. Det blir en allmän input, lite mer

om man säger så. Som sen kommer sluta med att att. Får man får. In en konsult och. En en risk att risk på. Då? Men jag, men jag tänkte, jag tänkte bara fråga de här truckarna då jag. Ja, men det var hamnar och det var mindre industrier och det var lite allt möjligt. Du skrev att de används på va? Är det så? Jag vet ju ungefär hur? Brukar se ut på ett ställe där. Kör, stora dieseltryckare och så är det lika galt här då. Fast det är ett batteri bara liksom man man kör utan hus och hämtar grejer och man kör inomhus man.

**Cecilia Östholm**

Ja alltså, det var ju självklart, liksom från verksamheter verksamhet och industri, men i allra största användningsgrad så är det det liksom.

**Patrick Sonberger**

Är liksom relativt. Ja, för det finns ju? Till exempel laddningen. Det är ju lite nytt nu då istället för dieselruckar laddningen. Det är ju risk riskmiljö eller en ökad risk om man säger så då va så att ibland när man hör talas om brand i batterier så handlar det ju om att det började i ladd utrustningen liksom så men så står det i tidningen att det var brand i batterier. Va, men det började. Laddatutrustning liksom. Min fråga blir ju här till exempel, de tål ju givetvis utomhusmiljö i minstade begränsad miljö eller begränsad tid men kan man. Är de såna som de tål och liksom ställas upp utomhus sedan natt, eller?

**Cecilia Östholm**

Jag vet faktiskt inte riktigt.

**Patrick Sonberger**

Nej, men vi kan ta med det i. Är det bra om man? Ha såna här grejer utomhus, och. Det skulle de stå inomhus och det börjar brinna. Är det bra om man får ut? Alltså, det är ju. Är ju. Men det är ändå. Det är ändå bra att ta med det som en punkt liksom då, va?

**Cecilia Östholm**

Ja, jag ska åka upp till dem på företaget imorgon så det är en fråga jag kan ställa då.

Speaker

Ja vad bra.

**Patrick Sonberger**

Ja eller hade du specifika frågor som jag ska svara? Nu börjar nu prata. Jag ju bara här.

**Cecilia Östholm**

Ja nej, men det är bara allmänt, liksom lite om. Ni har några erfarenheter från ja, men typ alltså nu jag har kollat jättemycket på erbjudsbänder för att det är det som finns som är relativt. Liknande så.

**Patrick Sonberger**

Vad sa du att du kollar på?

**Cecilia Östholm**

Blir alltså. Jag har ju gått mycket från så här elbinsbänner och sånt för det är det som finns med relativt likna, så det är liksom ni har några erfarenheter från det, eller liksom om ni har någon speciell taktik.

Speaker

Ja ja.

**Cecilia Östholm**

Ni har en sådan brand eller liksom? Ja, allmänt.

Speaker

Ja, det är ju det.

**Patrick Sonberger**

Här är så pass nytt för brandmännen och alla de här så att man har ju. Man har ju de få brännena som har varit som har. Renare om man säger containerbranden i. Och någon annan. Grej så här. Det man har ju fått ta det. Vi har ju lärt oss mycket på den, så kan man säga då så nu kommer det kanske. Mer specifik. Med att, men det handlar ju liksom om. I det fallet då vad det är för allmänt, så i det fallet så var det. Har du läst rapporten eller?

**Cecilia Östholm**

Nej, jag har inte läst rapporten, men jag har sett alltså läst artiklar och sånt om den, men jag har inte läst någon rapport om det. Jag vet inte om man kan hitta den.

**Patrick Sonberger**

Nej, jag kan fixa det om du vill sen så kanske vi kan till dig.

**Cecilia Östholm**

Vill du jättegärna?

**Patrick Sonberger**

Ja ja, men det var ju en container då liksom och och. Det som hände då, det var ju det att. Man man börjar liksom man tänkte att nu ska vi släcka det här då, så så gör man det på ett bra. Då körde man ju in en skärsläckare och så såg. Det kom vattendimma inne i. I kontakt. Då va? Men men då hände ju det då som är liksom ett stort frågetecken och framförallt då var ett stort frågetecken och det är ju liksom spår man ut gaserna då så pass mycket så att de hamnar i det. Farliga området. Förmodligen var det så? Och och man är ju väldigt osäker på liksom fortfarande hur kraften egentligen är. Den verkar vara väldigt stor. Den här kraften som kan bli i ett slutet utrymme av batteribränner då så att då fick man ju inom explosionsområdet och så blev det en smäll. Och man blir. Och att det var en brandman? Stod på kanten där liksom och dörrarna kom ju uppflygande ifrån från containern då va de var stängda vet ju med såna här står.

Ju upp, du vet, och hela containern blir ju bucklig, liksom så att då fattar man. Vilka krafter man har att göra med. Han klarar sig precis alltså dörren kom flygande. Ja, så vad gör man då? Ja, då blir man ju, då backar ju man eller något befäl, då blir man ju genast mer försiktig. Då åker andningsutrustningen, alltså det blir speciella zoner och sen så börjar man släcka från håll. Då tänker vi, nu måste vi kyla, tänker man då? Ja. Och det är ju ganska ineffektivt i kylan container, liksom utifrån det är det är lite ineffektivt om man säger och det blir väldigt mycket släktvatten väldigt mycket kontaminerat släktvatten. Så så att. Du kommer in tack klass jättemycket framöver nu då har vi tagit. En ny släktutrustning på något företag, jag. Tror den heter sting ray. Jag känner inte till mer mer än så egentligen. Jag var inbjuden till 1 förevisning om en sån då, men tydligen ska man kunna gå in i batteriet då du har sett de här från Utkiken. När man går in i batteriet genom att man skär hålet och så går man in så släcker man på cellnivå liksom man går in i och så släcker man med vatten då då verkar det med att man sipprar in vatten. Alltså släcker det ju liksom branden i sin kärna så jag tror att många, många applikationer kommer att utvecklas från över om man gör så va? Men men rent allmänt då så kan jag säga så här när? Gäller risk för Kalmar globalt. Tänker jag så här? Jag, jag tror jag förstår hur det, hur det, hur det ser ut. Det är truckar som kör ute på gårdsplanen och lyfter och grejar och så kommer de in i. Och så kör de 7 det. Det är nog så på många olika ställen då va? Då tänker jag rent allmänt då, liksom att när det gäller elbilar och och eltruckar elfordon el, arbetsmaskiner och sånt då får man vara noga med påkörningsskydd, liksom att man inte att man inte. Ja, jag vet inte varför det är. Någon brukar sitta väldigt lågt.

**Cecilia Östholm**

Ja i det här fallet så sitter de faktiskt ganska. Inte på undersidan jag mutar mer på översidan faktiskt. De sitter. Vad heter det jag kan vända?

**Patrick Sonberger**

Ja, kan du dela, så är det bra.

**Cecilia Östholm**

För det, för det är en sak jag faktiskt har noterat, för jag vet ju att i elbilar sitter oftast batteri liksom på undersidan och att det är då svårt att komma åt.

**Patrick Sonberger**

Just det.

**Cecilia Östholm**

Jag skickar en bild nu i chatten. Ja, där ser du den stora gaffeltucken de är de är ja, den stora svarta, liksom lådan på så som jag har fått det så är det batteriet.

**Patrick Sonberger**

Det ser ut som att han har någon last. Så här, men. Är det batteriet då? Ja.

**Cecilia Östholm**

Ja det är batteriet som sitter.

**Patrick Sonberger**

Ja jag förstår ja.g Jag fick en fråga till exempel, från nu kommer jag inte ihåg det var företag, men det var någon som jobbade med med. Tunnelbygge och såna grejer och de vill också byta eventuellt eller de de var. De ställde frågan liksom är det lämpligt att byta till elfordon el arbetsfordon då liksom då? Funderade vi mycket på det liksom, och och ja, men. Problemet är då. Det var just att att de sa att deras batterier var ganska lågt. De fanns liksom ganska lågt va och där fanns det ju en miljö som gjorde att man kunde. Köra på. Och och lite allt möjligt kan man. Vilket gjorde, vilket gjorde. Det liksom var direkt olämpligt om man inte gör det om man inte är väldigt noga. Göra riktiga analys på det, va? Så att, men här är det ju. Så uppenbarligen det ser. Här då. Då behöver. Ju inte vara så rädd för det? Va men, men det är. Är liksom en grej då utan kan du skriva då utomhusförvaring frågetecken, tål om det. Det är alltid bra om man får branden utomhus så är det ju mycket bättre inomhus någonstans. Om man har truckar. Så så som tar l då liksom eller batterierna så är det ju. Om man kan få ut dem. Så att man inte kör in dem, menar man har en stor byggnad kör in dem.

**Cecilia Östholm**

Jag pratade med i måndags, nu pratar jag med. En från revidsjö syd och han sa ju därför att liksom att uppskyddsavståndet är ju liksom. En skyddsfaktorn är ju liksom väldigt linjärt med avståndet i upphöjt till 2 i stort sett ju längre bort du kan få någonting. Desto säkrare blir det.

**Patrick Sonberger**

Ja ja, absolut så det är ju sunt förnuft egentligen, men det är ju absolut.

**Cecilia Östholm**

**Patrick Sonberger**

Är det ju, sen är det? Här med lappplatserna då? Kan man ladda utomhus frågetecken, då är det ju bra liksom man. Sig att man har något carports liknande väderskyddsliknande. Och så laddar man ut deus där där har. Ju lite ökade risker. Jämförelse med att man bara har trunken, va? Måste man ha. Laddplatsen inomhus då ska man ju ha den i en egen brandcell utmed en fasad någonstans. Där man kan där man? Öppna utifrån. Och så. Man inget annat brännbar, det vet du ju. Det är ungefär som dom har. Då det är det

påminner lite om det. Då ska. Ju vara ventilerat då utåt och och tryckavlastning också i det här fallet utåt. Om man vill ha det inomhus då alltså laddplasterna.

### **Cecilia Östholm**

Ja och så för om jag har uppfattat det så är alltså liksom laddplatserna är i princip motsvarande såna som elbilar använder. Det är ganska exakt sådana laddstolpar

### **Patrick Sonberger**

Nej, men sen sen är det ju, sen är det sen sen får man ju helt enkelt i den här analysen. Man får ju jobba med brandcellsindel. Ja, man vet att trunkarna ska köra in till en byggnad till exempel. Hur får man ju jobba? Då får man ju fundera lite, tycker jag då. För nu är det nu helt plötsligt bryter man från diesel tullar och annat till till riktiga batteritrukar. Liksom då får. Ju vara får man tänka ja, men här är liksom en annan typ av risk. Det kan bli riktigt illa om det tar sig bla bla bla. Då vill man ju skydda trucken från brand utifrån till exempel alltså. Man vill inte att en annan brand ska påverka trucken så att. Man får en ökning, liksom. Det kan man ju absolut ta med sig sedan sedan. Det är ju bra man fördelar igenom då på företaget. Hur hur. Truckarna i företaget var ska vi tillåta att de kör? Så så de inte kör okontrollerat eller förstår du vad jag menar utan man har tänkt igenom badrum här, så här får de köra och ta händer. Då gör vi så liksom då drar vi ut. Åt det hållet där och en dörr. Släck system givetvis är ju bra, sprinklig eller bra. Brandland såklart brandventilation ja.

### **Cecilia Östholm**

Ja, det är ju det här som jag har tänkt på det du sa lite innan det här med att. Liksom du har mycket vatten och att det riskerar att få liksom. Ja, men typ brand gasaren ner i vattnet och sen som sen sprider sig. Behöver man liksom dimensionera någon form av liksom släck, vattenupptagning eller utredningen?

### **Patrick Sonberger**

Ja det det, det berör man. Det är så pass stora. Det är så pass stora batterier här och sen. Sen tror jag. Att det håller samhället håller ju på och kommer i fattar du med regler och sådär och det här? Det här kommer ju prioriteras liksom. Det märker jag ju i diskussionerna och man vill inte förstöra miljön det. Det är ju ett väldigt hett område om man säger va så att det kommer att bli ja, så någon form av släktvattenutredning där man har tänkt igenom då att där truckarna till exempel vistas i inne i byggnaden eller ute på planen. Där ser man ju till att brunnarna där. Att de går. Lokalväg till till någon annan tank som samlar upp allting eller någonting. Sånt va det det? Det där finns ju olika varianter på då men men grundprincipen är ju att det inte ska komma ut okontrollerat i dagvattensystemet eller genom vattnet och sånt va så att det det det kommer ju garanterat att behöva tas fram, men det gör man ju i en sån här analys liksom där ska jag där ska jag tuggarna vara där ska de köra, där är brölloparna ja, men då vet inte det. Brunnarna ska vi liksom? Ja, du förstår. Och sen är det ju en riskanalys av en konsult då? Tittar på alltihopa. Ja så. Ja lite lite matnyttigt så.