



Rekommendationer för den operativa verksamheten vid litiumjonbatteri-bränder

Räddningsväsendets rekommendationer

Kimmo Rytönen, Jari Mikkonen, Juha Laitinen, Antti Hanhineva, Mika Lankinen, Miikka Jylhä, Marko Hassinen, Ulla Lassi, Vesa Linja-aho, Karoliina Meurman, Helena Mäkinen, Joonatan Suosalo och Iiro Wennberg



Innehållsförteckning

1	Inledning	4
2	Förkortningar och begrepp	5
3	Litiumjonbatteri	6
3.1	Konstruktion	6
3.2	Termisk rusning och dess orsaker	7
3.3	Litiumjonbatteribrand	8
4	Kemisk exponering vid litiumjonbatteribränder, skydd och dekontaminering av utrustning	10
4.1	Kemiska orenheter vid förbränning	10
4.2	Kemiska ämnen vid litiumjonbatteribränder och faktorer som påverkar dem	10
4.3	Gränsvärden för akut exponering och fluorvätekoncentrationer som konstaterats vara skadliga	11
4.4	Bekämpning av exponering	11
4.4.1	Branddräkt	11
4.4.2	Tekniska underkläder och stationsdräkt	12
4.4.3	Brandhjälm	12
4.4.4	Brandhandskar och underhandskar	13
4.4.5	Skyddsskor	13
4.4.6	Andningsskydd	13
4.4.7	Tilläggsutrustning för att förebygga hudexponering	13
4.4.8	Skydd för brandutredare och andra aktörer	14
4.4.9	Exponering via matsmältningskanalen och spridning av föroreningar	14
4.5	Underhåll efter användning	14
5	Identifiering av batteribrand samt släckningsteknik och -taktik	16
6	Små batterier	18
6.1	Släckning av små batterier och efterbehandlingsåtgärder (flercelliga)	18
7	Litiumjonbatteribaserade energilager	20
7.1	Litiumjonbatteribaserade energilager (BESS) i bostads- och småfastigheter	20
7.2	Litiumjonbatteribaserade energilager (BESS), energilagerfält och batterilager	21
8	Elfordon	24
8.1	Släckning av elfordonsbrand och åtgärder i efterhand	24
9	Släcknings-/nedkylningsmetoder för elfordon	28
9.1	Bilbrandfält	28
9.2	Genomträngande metoder	28



9.3	Extern nedkylning.....	30
9.4	Nedsänkning.....	32
Källor		34
Bilagor		39
Bilaga 1.	Informationsblad för elfordonsbrand, öppet utrymme	39
Bilaga 2.	Informationsblad för elfordonsbrand, slutet utrymme	40
Bilaga 3.	Informationsblad för brand i litiumjonbatteribaserat enegilager.....	41
Bilaga 4.	Litiumjonbatteribränder under transport eller lagring	42
Bilaga 4.	Objektkortsmall för batterienergilager	43



1 Inledning

Antalet litiumjonbatterier ökar i hushållen och industrin. Det ökade antalet batterier, deras ökade energitäthet och åldrande ökar risken för termisk rusning, där batteriets temperatur börjar stiga okontrollerat, vilket förstör batteriet. Vid termisk rusning frigörs giftiga kemiska ämnen och heta kaststycken. Giftiga ämnen kan öka risken för slutanvändare och heta kaststycken orsakar i sin tur brännskador och sprider dessutom branden.

Denna rekommendation är avsedd för räddningsverkens och fabriksbrandkårernas operativa verksamhet vid litiumjonbatteribränder. I rekommendationerna presenteras litiumjonbatterityperna, deras konstruktion, termisk rusning och vad som orsakar termisk rusning. Dessutom ges anvisningar för identifiering och särskiljande av litiumjonbatteribränder från till exempel från en normal trafikmedelsbrand.

I rekommendationerna fördjupar man sig också i kemiska skadliga ämnen som uppstår vid förbränning och i synnerhet vid litiumjonbatteribränder och hur man skyddar sig mot dem samt utrustningens underhåll efter användning.

I rekommendationerna går man också igenom de rekommenderade släckningsmetoderna för små batterier (mobiltelefoner, reservströmkällor, bärbara högtalare, eltandborstar, bärbara datorer, elcyklar och elsparkcyklar). Rekommendationen innehåller också släckningstaktik och -teknik för släckning av bostads- och småfastigheter, industrins litiumjonbatteribaserade energilager, energilagerfält och batterilager. Även olika släckningsmetoder för elbilar jämförs och fördelarna och nackdelarna med dem övervägs.

I slutet av rekommendationen (bilagorna 1 och 2) presenteras informationsbladen för elfordonsbrand och brand i litiumjonbatteribaserat energilager, där man i korthet går igenom stegen i räddningsverksamheten från de första åtgärderna till att avsluta uppdraget. Bilaga 3 innehåller också en mall för batterienergilagars objektkort som kan användas vid utarbetandet av objektkort.

2 Förkortningar och begrepp

ABEK-P3	Kod för filtrets filtreringsförmåga enligt standarden EN14387.
ADR	ADR är en förkortning av den europeiska överenskommelsen om internationell transport av farligt gods på väg.
AEGL	Gränsvärde för akut exponering, AEGL-värden har fastställts för flera olika exponeringstider. I första hand används 10 min och 30 min.
Batteri	Återladdningsbar spänningskälla, batteriets funktion grundar sig på en elektrolytisk reaktion (elektrolys)
Batterimodul	Består av flera battericeller
Akkumulatorbatteri	Består av flera battericeller eller batterimoduler
BESS	Battery Energy Storage System, Batterienergilagringssystem
BMS	Battery Management System. Batterihanteringssystemet övervakar laddningsutrymmet, temperaturen och batteriets skick. Batterihanteringssystemet ger andra styrenheter och användare information om batterisystemets status. Batterihanteringssystemet främjar batteriets livslängd och säkerställer driftsäkerheten. Driftsäkerhet omfattar allmän elsäkerhet och skydd vid felsituationer.
Elektrolyt	Flytande eller fast ämne som innehåller rörliga joner som gör ämnet joniskt ledande
ESMS	Energy Storage Management System. Hanteringssystem för energilager
ESS	Energy Storage System, energilagringssystem
HTP	Den koncentration i luften på arbetsplatsen som bedömts vara skadlig är ämnets lägsta koncentration som bedömts orsaka hälsorisker, och anges i allmänhet som förhållandet mellan skadliga molekyler och mängden luftpartiklar i miljondelar ppm. Vanligtvis används 15 min och 8 h.
kWh	Energi i kilowattimmar
SOC	Batteriets laddningsnivå (State of charge)
TFÄ	Transport av farliga ämnen
PFAS-föreningar	Per- och polyfluorerade alkylföreningar
De vanligaste litiumjonbatterikemierna (Katodmaterial)	
LCO	Litium-Koboltoxid
LFP	Litium-Järnfosfat
LMO	Litium-Manganoxid
LTO	Litium-Titanatoxid
NCA	Nickel-Kobolt-Aluminiumoxid
NMC	Litium-Nickel-Mangan-Koboltoxid

3 Litiumjonbatteri

3.1 Konstruktion

Det finns olika modeller av litiumjonbatterier. Huvudsakligen används cylindriska celler, påsceller eller prismatiska celler (Bild 1).



Bild 1. Litiumjonbatteriets celler. Cylindrisk cell, påscell och prismatisk cell. (CRBAman 2024)

Battericellerna har ett skyddshölje med separat anod, katod, frånskiljare och elektrolyt (Bild 2). Materialen i anoden och katoden har olika batterikemier. Elektrolyten är lättantändlig och dess sammansättning varierar i olika batterier.

I litiumjonbatteriet rör sig litiumjonerna (Li^+) internt mellan katoden och anoden. Elektronerna rör sig i motsatt riktning i den yttre kretsen. Händelsen i fråga är orsaken till att batteriet förser apparaten med ström, eftersom det skapar elström. När batteriet urladdas frigör anoden litiumjoner till katoden, vilket skapar en elektronström som bidrar till att förse apparaten med ström. När batteriet laddas sker en motsatt reaktion där katoden frigör litiumjoner och anoden tar emot dem.

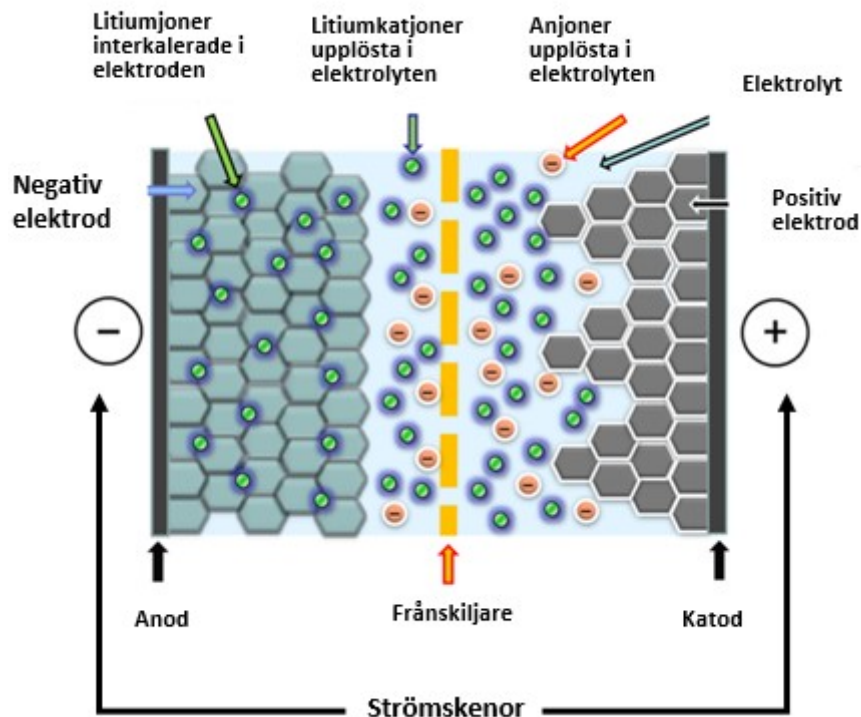


Bild 2. Litiumjoncellens struktur

- Elektroder: Positivt och negativt laddade poler av cellen. Fästs vid strömuppsamlarna
 - Anod: Negativ elektrod
 - Katod: Positiv elektrod.
- Elektrolyt: Vätska eller gel som leder el (lättantändlig).
- Strömuppsamlare: Ledande filmer på båda elektroderna i cellen som är anslutna till polerna i cellen. Genom cellens poler går det elström mellan batteriet, apparaten och den energikälla som använder batteriet.
- Frånskiljare: En porös polymerfilm som skiljer elektroderna från varandra och möjliggör utbyte av litiumjoner från ena sidan till den andra.

Alla celltyper (bild 1) används i olika apparater och den använda celltypen kan i regel inte identifieras på grund av batteriernas inkapsling. Litiumjonbatterier används i många apparater, exempelvis handverktyg, elektroniska apparater, bilar, cyklar, truckar, gruvmaskiner osv.

3.2 Termisk rusning och dess orsaker

Termisk rusning innebär att den elektriska och kemiska energin omvandlas till värme på ett okontrollerat sätt. Temperaturen i battericellen stiger snabbt och under reaktionen bryts den brandkänsliga elektrolyten ner till brandfarliga gaser. Under reaktionen bildas värme och brandfarliga gaser, och det inre trycket i cellen stiger. I högklassiga celler och batteripack har man beaktat möjligheten till tryckavlastning som en försiktighetsåtgärd. Enligt de olika kemierna bildas en gasblandning som till exempel kan innehålla 30–50 procent väte (H). I början av en termisk rusning innehåller största delen av

den gas som bildas från batteriet kolos (CO) och koldioxid (CO₂), och under reaktionen frigörs syre (O₂) som upprätthåller branden (MSB, 2024, kapitel 4).

Under termisk rusning kan litiumjonbatteriet bilda 0,5–5 l/Wh gas (Willstrand m.fl., 2020, s. 20). Beräkningsmässigt kan till exempel ett fulladdat 800 Wh batteri på en elcykel bilda 4 m³ lättantändlig gas. Batteriets laddningsnivå påverkar den termiska rusningen och brandens intensitet. Ett fulladdat batteri bildar betydligt mer gas under termisk rusning och sannolikheten för brand är större än hos ett batteri med låg laddningsnivå. När batteriets laddningsnivå är låg antänds inte nödvändigtvis de gaser som bildas under termisk rusning och därför är risken för uppflamning av lättantändliga gaser förhöjd (dsb, 2021, s. 23).

I ett encelligt batteri är den termiska rusningen kort och snabb. I flercelliga batterier kan den termiska rusningen sprida sig till intilliggande celler, varvid brandens intensitet, effekt och varaktighet ökar. Alla celler reagerar inte samtidigt vid samma händelse, utan kan efter en lång tid hamna i termisk rusning på grund av en tidigare skada och därmed orsaka återantändning. Termisk rusning kallas också själv-uppvärmning och innebär ett instabilt tillstånd där cellens inre temperatur stiger okontrollerat till exempel på grund av en kemisk reaktion. Batterier som skadats på grund av ovan nämnda egenskaper ska föras till ändamålsenlig efterbehandling. Batterier som varit i en eldsvåda ska flyttas bort från byggnaders inomhusutrymmen på grund av återantändningsrisken.

Faktorer som orsakar termisk rusning (Barowy):

Omgivningen	Överhettning, laddning i en kall miljö och kemisk exponering, såsom exponering för saltvatten.
Mekanisk	Fall, krossning, avtryck, slag, vibration, stöt eller perforation av cellen så att den mekaniska belastningen orsakar ett fel i frångiljaren.
Överladdning	Cellen har laddats över den bestämda spänningen. Orsakar en exotermisk reaktion i katoden, vilket leder till en defekt i frångiljaren och slutligen till termisk rusning.
Överurladdning	Cellens spänning sjunker under cellkonstruktionens gräns för urladdningsspänning, vilket leder till att koppar löses upp från anoden och orsakar en intern kortslutning
Extern kortslutning	Värmer upp cellen och orsakar termisk rusning på grund av den stora urladdningsströmmen
Konstruktions- och tillverkningsfel	Lösa delar, elektrodinriktningsfel, skägg, knappa toleranser och kontamination som kan orsaka kortslutning som leder till termisk rusning.
Åldrande	Batteriernas användningsförhållanden, laddning, lagringsförhållanden, dendritbildning (ScienceDaily 2019, s.21)

3.3 Litiumjonbatteribrand

Termisk rusning är en kedjereaktion där händelser i olika reaktionsfaser ökar cellens interna temperatur och tryck (Hassinen, 2022, s. 11). Den egentliga branden är en del av en kemisk kedjereaktion som inte nödvändigtvis uppstår. Situationen påverkas av laddningsnivån och temperaturen på de gaser

som rinner ut. När temperaturen stiger blir elektrolyten inne i cellen gasformig, som frigörs med kraft när cellens konstruktion ger efter. När gasens temperatur och temperaturen som omger cellen överskrider antändningsgränsen för gaserna som tränger ut bildas en flambrand. En extern eller intern gnista kan antända gaserna som tränger ut och som överskrider antändningsgränsen (Held m.fl., 2022, s. 2).

Den snabba tryckökningen i cellen ger upphov till ett knäppande ljud när cellens konstruktion förändras och förstörs. När reaktionen accelererar kan i synnerhet de cylindriska cellerna kastas flera meter ut ur det defekta batteriet och kaststyckena kan antända en sekundär brand. Även påsceller och prismatiska celler kan ge upphov till kaststycken. Kaststyckena kan vara brinnande delar av cellen eller batteripaket.

Att släcka en flambrand förhindrar inte termisk rusning i cellen. Vid släckning av litiumjonbatteribränder släcker avlägsnandet av yttre syre inte branden när cellen producerar de förutsättningar som behövs för att brinna självständigt (värme, kemisk reaktion och bränsle). Vid litiumjonbatteribränder kan man inte avlägsna bränslet och värmekällorna som orsakar reaktionerna. Det bästa alternativet för att förhindra termisk rusning är att kyla ner cellerna. Genom nedkylning strävar man efter att avlägsna den värme och värmestrålning som den kemiska reaktionen ger upphov till samt förhindra att den leds till andra celler (Mylenbusch m.fl., 2023, s. 2).

I praktiken kan man inte längre rädda en cell som hamnat i termisk rusning. Syftet med nedkylningen är att skydda andra celler och att förhindra reaktionens spridning. Det är svårt att åstadkomma en kylande effekt på cellerna på grund av batteriernas inkapsling och batteripackens inre konstruktioner. Enligt flera undersökningar är vatten det effektivaste sättet att släcka litiumjonbatteribränder och kyla ner cellen (Ghiji m.fl., 2020, s. 13).

4 Kemisk exponering vid litiumjonbatteribränder, skydd och dekontaminering av utrustning

4.1 Kemiska orenheter vid förbränning

Det uppstår otaliga kemiska föreningar vid förbränning som uppträder i form av partiklar, gaser, ångor och aerosoler. Deras toxicitet påverkas i första hand av de brännbara materialen, den tillgängliga syrehalten och förbränningstemperaturen (IARC, 2022). I brandgaserna finns syretransporthämmare, såsom kolmonoxid, vätecyanid och svavelväte, som försvårar cellernas syresättning (Savolainen & Kirchner, 1998; Reinhardt & Ottmar, 2004; Varone m.fl. 2006). Dessutom innehåller brandgaserna irriterande ämnen, såsom formaldehyd, kväve- och svaveloxider samt klor- och fluorvätesyra, som kan orsaka ett inflammationstillstånd i lungorna (Bolstad-Johnson m.fl., 2000; Posniak, 2000; Laitinen m.fl., 2015). Ovan nämnda kemiska ämnen orsakar omedelbara symptom, men en del av föreningarna orsakar också långvariga effekter. Dessa är till exempel bensen, polycykliska aromatiska kolväten, asbest, perfluorerade och -klorerade föreningar (Edelman m.fl., 2003; IARC, 2022). En del av de ämnen som orsakar långvariga effekter är sensibiliserande för huden och luftvägarna, cancerframkallande samt mutagena och giftiga för det centrala nervsystemet. Dessutom består röken av små partiklar som kan framskrida i lungorna ända till lungblåsorna och orsaka förändringar i cirkulationsorganen och hjärtat (IARC, 2010). Orenheterna sprids i brandmännens kropp via andningsvägarna, huden och matsmältningsorganen (Laitinen m.fl., 2012; Fent m.fl., 2013; Fent m.fl., 2014; Laitinen m.fl., 2014; Laitinen m.fl., 2015; Laitinen m.fl., 2016; Laitinen m.fl., 2019; Taeger m.fl., 2023). År 2022 höjdes klassificeringen av cancerrisken i brandmansarbete till den högsta klassen 1, vilket innebär att det finns ett tillräckligt samband mellan brandmännens kemiska exponering och insjuknande i urinblåsecancer och mesoteliom (Demers m.fl., 2022; IARC, 2022). För att exponeringen ska kunna hållas så låg som möjligt spelar den personliga skyddsutrustningens funktion, kompatibilitet och underhåll en nyckelroll i bekämpningen av exponering via olika exponeringsvägar.

4.2 Kemiska ämnen vid litiumjonbatteribränder och faktorer som påverkar dem

Utsläppen av koldioxid, kolmonoxid och totalkolväten visade sig vara mycket likartade när de jämfördes i omfattande brandtest för bilar med förbränningsmotor och elbilar (Lecocqin m.fl., 2012; Hynynen m.fl., 2023). Det fanns skillnader i utsläppen av fluorväte, litium, aluminium, kobolt, mangan, nickel och zink, som var större hos elbilar (NMC-kemi) än hos bilar med förbränningsmotor (Hynynen m.fl., 2023).

Vid litiumjonbatteribränder har man särskilt lyft fram fluorväteutsläppen, och deras mängd har utretts av flera forskningsgrupper. Ribiere jämte forskningsgrupp uppmätte fluorväteutsläppet från LMO-batterier till 36–68 mg/Wh (Ribiere m.fl., 2012). Lococq konstaterade å sin sida att fluorväteutsläppen från LFP-batterier var 50–105 mg/Wh (Lococq m.fl., 2016). Larsson jämte forskningsgrupp testade LFP-batterier i fyra test och uppmätte deras fluorväteutsläpp till 170–200 mg/Wh, 60–125 mg/Wh, 10–25 mg/Wh och 50 mg/Wh. Larsson testade också LCO-batterier och konstaterade fluorväteutsläpp på 20 mg/Wh (Larsson m.fl., 2017). Hynynen jämte forskningsgrupp uppmätte NMC-batteriernas fluorväteutsläpp till 15–42 mg/Wh i test där man inte ingrep i elbilens brand (Hynynen m.fl., 2023).

De tillfälliga utsläppen från litiumjonbatterier påverkas avsevärt av den termiska rusningsfasen. När batteriet uppvärms externt, som i merparten av testerna, blir skyddslagret på anodens yta instabilt redan vid en temperatur under 100 °C. Då uppstår småmolekylära föreningar, såsom kolmonoxid,

kolväten och fluorföreningar. När skyddsskiktet ger efter reagerar elektrolyten med den litiumbehandlade anoden och påskyndar den exotermiska reaktionen, vilket leder till att elektrolyten förångas. Då uppstår en ljus rök som innehåller brandfarliga gaser såsom karbonater, organiska lösningsmedel och perfluorerade föreningar. Dessutom bryts elektrolytens salt litiumhexafluorofosfat ned till vätefluorid, fosforpentafluorid och fosforylfluorid. Fukten ger upphov till vätefluorid och vidare fluorvätesyra. Om frångiljaren inte kan släcka cellen uppstår en kortslutning i batteriet när den smälter. Därefter börjar katoden brytas ned (Larsson m.fl. 2017; Hynynen m.fl. 2023). I detta skede frigörs metaller och heta kaststycken enligt batteriets kemi. Katodens nedbrytning börjar vid olika temperaturer med olika batterikemier: LCO (150°C), NCA (160°C), NMC (210°C), LMO (TR:265°C) och LFP (310°C) (Wu m.fl. 2018).

Batteriets utsläpp påverkas också avsevärt av släckningsåtgärderna. En litiumjonbatteribrand påminner om en gasbrand. Om batteriets termiska rusning har börjat, men de brandfarliga gaserna som batteriet producerar ännu inte har antänts, uppstår det snabbt en koncentration som kan överskrida deras antändningsgräns. Om de brandfarliga gaserna (elektrolytångorna) antänds och de får brinna kontrollerat minskar explosionsrisken. I fluorväteutsläppen går det tvärtom: ju bättre vi kan kontrollera branden med släckningsåtgärderna, desto bättre minskar fluorväteutsläppen (Laitinen & Jumponen, 2016; Hallikainen, 2017; Hynynen m.fl., 2023).

4.3 Gränsvärden för akut exponering och fluorvätekoncentrationer som konstaterats vara skadliga

Som isoleringsgränsvärden för akut exponering vid fluorväteolyckor används AEGL₃ (30 minuter) och som varningsgräns AEGL₂ (30 minuter) (Arbetshälsoinstitutet 2023). Gränsvärdet AEGL₃ (30 minuter) är 51 mg/m³ och gränsvärdet AEGL₂ (30 minuter) är 28 mg/m³. Om man teoretiskt räknar ut en jämn fördelning av fluorväteutsläppet (42 mg/Wh) från en eldriven paketbil med energiinnehåll på 40 kWh som uppmäts av Hynynens forskningsgrupp i ett parkeringshus på 2500 m³, skulle gränsvärdet AEGL₃ uppnås redan när 7,5 procent av batteriet har brunnit.

På arbetsplatser tillämpas koncentrationer som konstaterats vara skadliga. För kortvarig exponering för fluorväte har man gett ett femton minuters HTP-värde på 2,5 mg/m³ och för långvarig exponering under hela arbetsdagen ett åtta timmars gränsvärde på 1,5 mg/m³ (SHM, 2020).

4.4 Bekämpning av exponering

Vid en litiumjonbatteribrand ska man vid bekämpning av kemikalieexponering i första hand använda tekniska metoder och i andra hand personlig skyddsutrustning. Som tekniska metoder ska man utnyttja anvisningarna för kemiska riskfaktorer (TOKEVA). Anvisningar finns för primära litiumjonbatterier T4.3 och litiumjonbatterier T9b. Anvisningarna innehåller en verksamhetsmodell för hur man ska närma sig objektet från rätt vinkel, för rekognosering och släckningsåtgärder ovanför vinden samt för riskfaktorer såsom explosionsrisk, ATEX-krav för mätinstrument och naturligtvis för behövlig skyddsutrustning.

4.4.1 Branddräkt

Branddräkten spelar en viktig roll i bekämpningen av hudexponering. Vid vägtrafikeräddning och rökdykning i ett slutet utrymme används en tung branddräkt som uppfyller kraven på nivå 2 i standarden EN468:2020. Även dräkter avsedda för teknisk räddning på nivå 1 i samma standard har använts vid



vägfikrärddning och byggnadsbränder. De har en klart sämre värmeskyddsförmåga än nivå 2. Därför får de inte användas för släckningsangrepp i ett slutet utrymme, utan endast för släckning utifrån. Eftersom det förekommer heta kaststycken i litiumjonbatteribränder rekommenderas det att man i släckningssituationer i första hand använder branddräkter på nivå 2.

Kemikalieskyddet av branddräkter avsedda för teknisk räddning är detsamma som i branddräkter på nivå 2. För att dräkterna ska uppfylla kraven i standarden EN468:2020 ska de sänka koncentrationen av kemikalierna till minst en femtedel av koncentrationen utanför dräkten.

I Sverige har MSB undersökt branddräktens skyddseffektivitet för polycykliska aromatiska kolväten, och i mätningarna sänkte branddräkten koncentrationen i genomsnitt till en 146-del av koncentrationen utanför branddräkten (Wingfors m.fl. 2018). På motsvarande sätt undersökte samma arbetsgrupp branddräkternas skydd mot fluorväte (HF) genom att imitera rökdykningens olika skeden. Skyddseffektiviteten mot fluorväte var i genomsnitt 120 och varierade mellan 9,3 och 260 (Wingfors m.fl., 2021).

De undersökte också hur fluorväte absorberas genom huden vid 20 minuters exponering för olika koncentrationer 8,3 mg/m³ (torr hud), 83 mg/m³ (både torr och svettig hud) och 830 mg/m³ (torr hud). Resultaten visade att fluorväte absorberades åtta gånger bättre genom svettig hud än genom torr hud (Wingfors m.fl., 2021). I undersökningen konstaterades också att den uppmätta absorptionen av fluorväte med koncentrationen 83 mg/m³ vid 20 minuters exponering var en sjundedel av det uppskattade gränsvärdet för akut toxicitet för fluorväte hos vuxna, 5 milligram per kilo kroppsvikt. Om vi beaktar branddräktens minsta uppmätta skyddskoefficient 9,3 och absorptionen av fluorväte genom huden i förhållande till gränsvärdet för akut toxicitet, skulle den totala säkerhetskoefficienten när branddräkten används vara 65 och i genomsnitt 840 (Wingfors m.fl., 2021). Om fluorväte omvandlas till fluorvätesyra på grund av svetten ökar absorptionen genom huden betydligt (Dennerlein m.fl., 2016).

4.4.2 Tekniska underkläder och stationsdräkt

För att avlägsna svett från huden rekommenderar vi att du under branddräkten använder tekniska underkläder med långa ärmar och byxben. Dess uppgift är att avlägsna fukt från hudytan och på så sätt förhindra att fluorväte omvandlas till fluorvätesyra, som absorberas genom huden snabbare än fluorväte (Dennerlein m.fl., 2016). Dessutom ger underkläder med långa ärmar och byxben ytterligare skydd mot andra kemikalier. Vid skogsbränder har man konstaterat att tekniska underkläder med långa ärmar och byxben minskar exponeringen för polycykliska aromatiska kolväten i bröst- och ryggområdet med 70 procent samt i lår- och vristområdet med 90 procent jämfört med personer som använt korta underbyxor och t-skjortor vid exponeringen (Laitinen m.fl., 2021). Under branddräkten och ovanpå de tekniska underkläderna rekommenderar vi mellandräkt av bomull eller stationsdräkt med långa ärmar och byxben vid litiumjonbatteribränder.

4.4.3 Brandhjälm

Exponering via huvudet kan minskas med en underhuva under brandhjälm som uppfyller standarden EN 13911. En tung brandhjälm som uppfyller standarden EN 443 (Ala-Kokko, 2021) skyddar huvudet mot heta kaststycken från litiumjonbatteribränder.

4.4.4 Brandhandskar och underhandskar

Exponeringen via händerna minskas med brandhandskar som uppfyller standarden EN 659 (Ala-Kokko, 2021). Under brandhandskarna rekommenderas undre handskar av läder eller bomull. I torra förhållanden har man konstaterat att redan bomullshandskar minskar brandmännens exponering för polycykliska aromatiska föreningar via händerna med 80 procent (Laitinen m.fl., 2010). Under våta förhållanden rekommenderas nitrilhandskar under brandhandskarna för att förhindra skadliga kemiska ämnen från att absorberas under arbetet eller när utrustningen tas av (Everaert m.fl., 2023). Brandhandskarnas elektriska ledningsförmåga testas inte och därför lämpar de sig inte för räddningssituationer med hög spänning. I spänningsarbeten ska handskar enligt standarden EN 60903 användas i arbetet. Problemet är att handskar som är avsedda för spänningsarbete inte tål långvarig exponering för hetta. När man väljer handskar ska deras klass och särskilda egenskaper tas i beaktande. Med tanke på räddningssväsandets användning rekommenderas handskar åtminstone i klass 0 (1000 V) med specialegenskapen RC. De tål syror, olja, ozon och köld. Handskar som är designade för spänningsarbete tål ansträngning och skärning sämre än brandmanshandskar.

4.4.5 Skyddsskor

Brandmannens skyddsskor uppfyller standarden EN 15090 och är av tre olika typer, varav typ 2 (F2A) lämpar sig för rökdykning. För litiumjonbatteribränder rekommenderas skor av typ 3 (F3I) med kemikalieskydd som också uppfyller kraven på elisolering. När man väljer skyddsskor ska man också beakta deras kemikalieskydd. Med skyddsskor används alltid yllesockor för att öka värmeisoleringen och användarkomforten (Ala-Kokko, 2021).

4.4.6 Andningsskydd

Vid litiumjonbatteribränder stiger kemikaliekoncentrationerna snabbt och i brandgaserna förekommer föreningar som fläktassisterade andningsskydd inte kan filtrera (Lecocqin m.fl., 2012; Hynynen m.fl., 2023). Kväveoxid och kolmonoxid är besvärliga föreningar med tanke på filtreringen. Dessa går inte att filtrera alls. Även filtren för småmolekylära kolväten har en mycket begränsad filtreringskapacitet. Dessutom begränsar höga koncentrationer användningstiden för andningsskydd med filter och deras skyddseffektivitet är klart sämre än hos tryckluftsapparater med säkerhetstryck. Således rekommenderar vi vid litiumjonbatteribränder tryckluftsapparater som uppfyller standarderna EN136 och EN137 (Ala-Kokko, 2021).

4.4.7 Tilläggsutrustning för att förebygga hudexponering

När man skaffar extra skydd mot fluorväte rekommenderar vi mellandräkt av aktivt kol vid arbete i krävande förhållanden. Mellandräkten av aktivt kol uppfyller standarden EN ISO 13982. En mellandräkt av aktivt kol tål enligt tillverkaren minst 20 tvättar och en dräkt som avlägsnats ur förpackningen är i funktionsduglig i sju år. I testerna var skyddskoefficienten för branddräkten och mellandräkten av aktivt kol fortfarande 132 efter 24 rökdykningar. Utan mellandräkt av aktivt kol var skyddet 70 gånger mindre med normal mellandräkt och branddräkt (Ekberg m.fl., 2021). Mellandräkten av aktivt kol kan kläs på stationsklädseln eller de tekniska underkläderna. Mellandräkten med aktivt kol kan belasta räddaren mer än normalt under räddningsverksamheten.



En annan möjlighet att få extra skydd mot hudexponering är en värmetålig kemikalieskyddsdräkt som kläs ovanpå branddräkten och som uppfyller standarden EN 14116 med avseende på sitt skydd mot hetta och eld.

I krävande räddningssituationer, särskilt i slutna utrymmen, där fluorvätekoncentrationerna är höga och när explosionsrisken har uteslutits är det också motiverat att använda en värmetålig och gastät kemikalieskyddsdräkt. Kemikalieskyddsdräkten uppfyller standarden EN 943-2:2019.

4.4.8 Skydd för brandutredare och andra aktörer

Brandutredare och andra som arbetar vid brandobjektet exponeras för samma skadliga ämnen som räddarna. Laitinen m.fl. (2010) har utrett hur brandutredare och andra aktörer vid brandobjekt skyddar sig mot kemiska föroreningar. Vid brandutredning av batteribränder ska man skydda sig med minst en motoriserad helmask med andningsskydd och kombinationsfilter av klass ABEK-P3, korttidsoverall (kategori III och som uppfyller kraven för typ 4/5 eller 5/6), skyddsskor (EN 15090 typ 3, F3I), lätthjälms (EN 16471/EN 16473) och kemikalieskyddshandskar eller spänningsskyddshandskar vid hantering av batterier (EN 60903 klass 0 RC, handskena är inte skärbeständiga).

Före brandutredningen ska utrymmena vara väl ventilerade och man ska se till att det är tryggt att ta sig in i och ut ur utrymmet. Korttidsoverallens huva ska skydda huvudet och under handskena kan man använda bomulls- eller nitrilhandskar.

Efter brandutredningen ska all utrustning som ska tvättas packas i en tät självupplösande påse och engångsoverallen i en tät plastpåse. Transport av kontaminerad utrustning i ett separat utrymme. Utrustning som används flera gånger ska tvättas omsorgsfullt och ändamålsenligt skyddad.

Akutvårdare och andra myndigheter på olycksplatsen ska hålla sig borta från riskområden och områden där omedelbar fara föreligger. Patienter inom den prehospitla akutsjukvården ska vara dekontaminerade före överlåtelsen för att minska akutvårdarnas exponering för skadliga ämnen.

4.4.9 Exponering via matsmältningskanalen och spridning av föroreningar

I statsrådets förordning 113/2024 om agenser som medför risk för cancersjukdom, mutagena agenser och reproduktionstoxiska agenser i arbetet konstateras att arbetstagarnas mat- och vätskeförsörjning ska ordnas så att arbetstagarna inte utsätts för cancerframkallande agenser under underhållet på räddningsområdet. Dessutom ska tvättmöjlighet erbjudas så snabbt som möjligt efter exponeringen, eftersom hudexponeringen inte upphör förrän huden har rengjorts från exponeringsfaktorerna. Uppmärksamhet ska också fästas vid att förhindra att föroreningar sprids från skyddsutrustningen.

4.5 Underhåll efter användning

Förorenad utrustning och fallskydd ska tas av redan på situationsplatsen och förpackas i självupplösande påsar. Under avklädningen används andningsskydd för att undvika onödig exponering. Utrustningen transporteras för underhåll separat från manskapsrummet och bör flyttas till tvättmaskinerna i självupplösande tvättpåsar. Utrustningen ska tvättas så snabbt som möjligt efter att den blivit smutsig, varvid man kan minska mängden av föroreningar som fastnar i utrustningen. Förtvättprogrammet är viktigt för att säkerställa att de självupplösande påsarna öppnas så att den egentliga tvätten snabbt kan komma i gång. Programmet ska också innehålla tre huvudtvättar för att uppnå ett bra tvättresultat. För att förhindra korsförorening rekommenderar vi att man tvättar en branddräkt åt gången och



sorterar tvätten utifrån hur smutsig den är. Branddräkter, mellandräkter och underkläder tvättas vid olika tvättar. Det är viktigt att kontrollera branddräkter som använts vid litiumjonbatteribränder efter tvätten, eftersom vätefluor är mycket frätande (Salmi & Laitinen 2023).

Enligt undersökningsresultaten var vattentvättens reningseffektivitet för PAH-föreningar i branddräkters yttre lager i genomsnitt 56 procent. Resultaten visar att en tvättemperatur på 40 °C räckte och att torkning i värmeskåp eller torkrum fungerade bra. Av tilläggsbehandlingarna ökade ozonering vattentvättens reningseffektivitet även i brandrockens yttre lager, men efter ozoneringen ska utrustningen vädras väl, och för att förhindra icke-önskade reaktioner ska branddräkterna vara mycket torra före ozoneringen. Vi rekommenderar ozonbehandling med reservation (Salmi & Laitinen 2023).

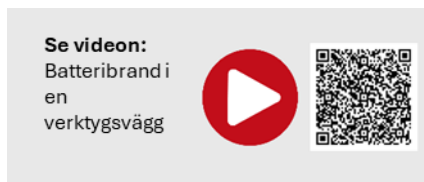
Rengöring av branddräkter med LCO₂-teknik visade en rengöringseffektivitet på 74 procent på de yttre lagren, men särskilt väl rengjordes branddräktens mittersta lager som uppnådde en rengöringseffektivitet på upp till 85 procent. För att dräkternas egenskaper ska bevaras och deras livslängd vara så lång som möjligt rekommenderar vi behandling med flytande koldioxid minst en gång per år för att säkerställa att branddräktens mellanlager blir rena och fungerar. Effektiverad tvätt rekommenderas också i standarden NFPA 1851 med ett halvt års mellanrum eller för branddräkter som exponerats för särskilt utmanande kemikalier (NFPA 1851, 2020; Salmi & Laitinen, 2023).

Det överlägset vanligaste rengöringssättet för ansiktsdelar i tryckluftsandningsskydd är handtvätt, som visade en rengöringseffektivitet på 85 procent. Det effektivaste sättet var vattentvätt i en industriell tvättmaskin, som visade en 94 procents rengöringseffektivitet. Med spruttvätt uppnåddes också 75 procents tvätteffektivitet. Vi rekommenderar i första hand handtvätt och vattentvätt för rengöring av ansiktsdelarna (Salmi & Laitinen 2023).

För att rengöra värmekamerorna och deras skyddspåsar testade vi i ett första test en ytrensökningsduk och kombinerade den med väteperoxidbehandling. Kombinationens reningseffektivitet var 60 procent. Även förlusten av VOC-föreningar i väteperoxidbehandlingen visade att metoden är lämplig för att avlägsna även brandrester. Enbart yttorkning skulle ha gett ett dåligt resultat. Vi rekommenderar denna kombinationsrengöring för rengöring av värmekameror och deras skyddspåsar. I ett andra test för att rengöra värmekamerorna och deras skyddspåsar testade vi en ytrensökningsduk och kombinerade behandlingen med vattentvätt av värmekamerans skyddspåse. Kombinationens reningseffektivitet för PAH-föreningar var 91 procent. Enbart yttorkning skulle ha gett ett dåligt resultat. Vi rekommenderar denna kombinationsrengöring för rengöring av värmekameror (Salmi & Laitinen, 2023).

5 Identifiering av batteribrand samt släckningsteknik och -taktik

Det är viktigt att identifiera en litiumjonbatteribrand för att kunna välja rätt släckningstaktik och -teknik (Bild 3). Man identifierar termisk rusning av att batteriet kraftigt avger ljus rökgas som blir mörkare när batteriet blir varmare och branden antänds. När elektrolyten förångas är röken ljus, men när andra batteridelar (plast) bidrar till branden blir rökens färg mörk. När gaserna som frigörs antänds uppstår en kraftig låga av gasbrandstyp som är kortare än en flambrand av tryckbärande gas. Exempelvideo om termisk rusning och förbränning i ett litet batteri:



Släckningstaktiken vid bränder i litiumjonbatteribaserade energilager är i allmänhet angripande yttre släckning eller avvärjande yttre släckning. Energilager inomhus och separata containrar utgör en flammrisk av brandfarliga rök-gaser inomhus, som alltid ska beaktas vid valet av släckningstaktik (Bild 3). Valet av släckningstaktik ska grunda sig på en helhetsbedömning av situationen.

I fråga om litiumjonbatteribaserade energilager ska man sträva efter att identifiera om termisk rusning har skett och om brandsäkerhetsutrustningen i ett stort batterienergilager har fungerat. Stora energilager har en signal eller ett ljud utomhus som anger brandsäkerhetsutrustningens status. Det är svårt att upptäcka termisk rusning i slutna utrymmen i litiumjonbatteribaserade energilager om det ännu inte har uppstått en flambrand. En flambrand minskar rök-gasernas flammrisk.

Att släcka och kyla ner en drivbatteribrand eller termisk rusning i ett elfordon är avvärjande yttre släckning, där det huvudsakliga syftet är att kyla ner batteriet (Hassinen, 2022, s. 32). Innan man kylar ner drivbatteriet ska man använda angripande yttre släckning för en brand i elbilens inredning, såsom vid en konventionell bilbrand.

Vid elbilsbrand ska man identifiera och särskilja en batteribrand. Om drivbatteriet inte har reagerat kan en elbilsbrand släckas på samma sätt som en brand i ett förbränningsmotorfordon (Hassinen, 2022, s. 30). En batteribrand kan identifieras på att brandfarliga gaser frigörs kraftigt genom batteriets tryckutjämningsöppningar eller på den övriga övertrycksmekanismen i batteriet och på den för batteribränder typiska susningen (Hassinen, 2022, s. 30). Utöver susningen kan det höras små knäppande ljud som uppstår när cellerna går sönder, dessa hörs inte nödvändigtvis om branden är intensiv. I elbilsbränder kan man utnyttja fyrfältsmodellen för byggnadsbränder (Bild 3). I regel är det primära målet att släcka branden och det sekundära målet att kyla ner batteriet. Utan släckning och nedkylning kan ett elfordon brinna i cirka 3–5 timmar (EV FireSafe, 2023). Det är nästan omöjligt att förflytta ett brinnande elfordon, och detta påverkas också starkt av fordonets läge (öppet eller slutet utrymme). Om drivbatteriet inte har reagerat vid en elbilsbrand ska fordonet kylas ner för att förhindra att värmen från elbilsbranden påverkar batteriet.

Närmare information om den släckningsteknik som ska användas finns i avsnitt 5, 6, 7 och 8 som behandlar användningsobjekten.



Bild 3. Fyrfältsmodell för släckning av brand (Ala-Kokko, 2021, s. 62).

6 Små batterier

Det sker i verkligheten mer termisk rusning i små batterier och relaterade eldsvådor än man kan härleda från räddningsväsendets uppdrag. Som små batterier kan räknas batterier i till exempel mobiltelefonen, en reservströmkälla, en bärbar högtalare, en eltandborste, en bärbar dator, en elcykel, en elsparkcykel e.d.

Termisk rusning i encelliga små batterier är en snabb enskild händelse. Branden sprids i allmänhet inte från brandplatsen om det inte finns lättantändligt material i närheten, såsom en soffa, en säng, papper/papp e.d. Giftig och skadlig gas bildas i ringa mängd. Termisk rusning bildar inte nödvändigtvis lågor.

I flercelliga batterier sker termisk rusning inte samtidigt i alla celler, vilket gör att battericellerna efter branden kan innehålla bunden energi som kan reagera senare. Om den termiska rusningen fortsätter kan batteriet bete sig okontrollerat och flera celler kan reagera samtidigt. Händelseförloppet är liknande också i större batterier.

6.1 Släckning av små batterier och efterbehandlingsåtgärder (flercelliga)

I samband med rekognoseringen ska man utreda om det är fråga om ett enskilt batteri eller eventuellt ett centraliserat batteriladdningsverk, ett företag som utför batteriunderhåll eller motsvarande. Termisk rusning leder inte alltid till en flambrand, och därför kan antändliga rökgaser förekomma i ett slutet utrymme.

- a) Rekognosering
 - a. Skyddsnivå
 - i. Enhetschef: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetsstryck (Inrikesministeriet, 7.4), flergasmätare (kolmonoxid och kolväte), med tillräckligt mätområde (dsb, 2021, s. 35) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - ii. Räddare: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetsstryck (Inrikesministeriet, 7.4) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - iii. Dessutom räddningsgrupp 3: mellandräkt av aktivt kol, om man är tvungen att arbeta länge i ett slutet utrymme, till exempel ett batteriladdningsverk e.d.
 - b. Giftiga och brandfarliga gaser i slutna utrymmen (exponering för skadliga ämnen ska beaktas)
 - i. Elcyklars och elsparkcyklars batterier kan bilda en flambar gasblandning i ett normalstort rum i samband med termisk rusning, om ingen egentlig brand ännu har uppstått (Meraner & Meliá, 2020, s. 45).
 - c. Är det fråga om ett centraliserat batteriladdningsverk eller en batteriserviceverkstad?
- b) Var beredd på att släcka en byggnadsbrand
 - a. Material som ligger längre bort från batteriet kan antändas på grund av kaststyckena från batteriet
 - b. Under termisk rusning kan det uppstå en kraftig gasformig låga som kan få branden att spridas när den träffar annat material.
- c) Ett slutet utrymme ska börja vädras innan branden släcks.
- d) Ett brinnande litiumjonbatteri kyls ned och släcks med vatten (dsb, 2021, s. 30 och Ghiji m.fl., 2020, s. 13)



- a. Se upp för kaststycken från batteriet
- b. Flera celler som reagerar i en kedjereaktion
- c. Kyl ner batteriet till minst 50 °C före förflyttning (MSB, 2024, s. 53).
- e) För ut batteriet/batterierna från inomhusutrymmena
 - a. Helt brända batterier behöver inte flyttas. De(t) flyttade defekta batteriet/batterierna ska antecknas eller fotograferas för den eventuella brandutredningen
 - b. Använd spänningsskyddshandskar vid manuell förflyttning av defekta batterier med flera celler under efterröjningen.
 - i. I höghus flyttas batteriet ut den yttre vägen t.ex. med hjälp av en brandlina.
 - ii. Använd spade eller dylikt.
 - c. **För inte batteriet (elcykel- eller elsparkcykelbatteriet) till en plats där du inte kan komma bort eller backa ut.**
 - d. Lämpligt förslutbart kärl för transport och förvaring med tryckavlastningsventil (får inte vara lufttät).
 - i. Sänk det skadade batteriet ner i vatten (dsb, 2021, s. 11), vermikulit, sand eller porös glaskross före förflyttningen. Förhindrar inte termisk rusning, men förhindrar spridningen av en brand som orsakas av den termiska rusningen. Återantändning av flercelliga batterier ska förhindras.
- f) Kontrollera utrymmena med en värmekamera (kaststycken från batteriet?)
- g) Överlåtelse av objektet och åtgärder i efterhand:
 - a. Ett objekt kan överlåtas till ägaren eller innehavaren när:
 - i. Branden har släckts och de(t) skadade batteriet eller batterierna har förts ut ur byggnaden
 - ii. Objektet har inspekterats. Omgivningen har kontrollerats med värmekamera för eventuella kaststycken.

Välfärdsområdets räddningsverk ska komma överens med producentsammanslutningen om hur man ska gå till väga med skadade batterier. Producentsammanslutningen ansvarar för att ta emot batterier i enlighet med batteriförordningen. Mer information om verksamhetsmodellerna per e-post info@recser.fi.

7 Litiumjonbatteribaserade energilager

7.1 Litiumjonbatteribaserade energilager (BESS) i bostads- och småfastigheter.

Batterienergilager utnyttjas i bostads- och småfastigheter till exempel för lagring av elenergi som produceras av solpaneler och för utjämning av elpriset. Batterienergilagren kan finnas på olika ställen i småfastigheter på grund av bristande anvisningar och övervakning. De vanligaste installationsplatserna finns utomhus på väggarna, i garaget, i lagerutrymmet, i en separat byggnad eller i en container. Energilagrens storlek kan variera från några kilowattimmar till tiotals kilowattimmar. Ett (ackumulator)batteri i termisk rusning ska hanteras på samma sätt som gasflaskor (MSB, 2024, s. 33).

- a) Var beredd på att släcka en byggnadsbrand.
- b) Fastställ riskområdena (Inrikesministeriet, 7.1 och Tokeva, T9b)
 - a. Område där omedelbar fara föreligger minst 25 m
 - b. Observera rökens spridning, varna människorna i närheten.
- c) Enheter på tillräckligt avstånd från området där omedelbar fara föreligger och ovanför vinden (Inrikesministeriet, 8.1)
- d) Rekognosera: (Fundera på släckningstaktiken (kapitel 3) en stund innan du går in i objektet, gör en riskbedömning)
 - a. Skyddsnivå
 - i. Enhetschef: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetsstryck (Inrikesministeriet, 7.4), flergasmätare (kolmonoxid och kolväte), med tillräckligt mätområde (dsb, 2021, s. 35) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - ii. Räddare: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetsstryck (Inrikesministeriet, 7.4), flergasmätare (kolmonoxid och kolväte), med tillräckligt mätområde (dsb, 2021, s. 35) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - iii. Dessutom räddningsgrupp 3: mellandräkt av aktivt kol, om man är tvungen att arbeta länge i slutna utrymmen,
 - b. Inverkan av batteriernas placering på räddningsverksamheten
 - i. Utomhus, förhindrande av brandens spridning och nedkylning
 - ii. Slutet utrymme, brandfarliga rökgasers flamrisk, förhindrande av brandens spridning. Inledande av ventilation före släckningsuppgiften och inträde i utrymmet.
 - iii. (Evakueringsöppning för röken/gasen med gnistfria redskap).
- e) Närmande ovanför vinden
 - a. Minskning av exponering (PAH, PFAS, HCN, HCL, HF, CO, metaller).
- f) Avstängning av elen i energilagret (Vi rekommenderar installation av separat nödbrytare)
 - a. Återstående bunden energi i energilagret, högspänningsriskerna ska beaktas. Energi-lagrets spänningar varierar mellan 210 och 980 V beroende på tillverkare.
 - b. Om strömförsörjningen inte kan brytas, släcks den på avstånd med beaktande av el-riskerna och skyddet av omgivningen.
- g) Inledande av ventilationen av ett slutet utrymme före inträde i utrymmet, om det inte brinner i objektet
 - a. Minskning av brandfarliga rökgasers flamrisk, om obrända gaser orsaka tryck på 1–4 kPa när de antänds (Schraiber m.fl., 2023, s. 190).
 - b. Undvik att vistas i närheten av fönster eller dörrar.

- h) Släckning och nedkylning med vatten
 - a. Batteriet ska kylas ner utöver att man släcker branden (Ghiji m.fl., 2020, s. 13).
 - b. Säkerställ en tillräcklig mängd släckvatten
 - c. Med vattendimma späds giftiga gaser ut (t.ex. fluorväte och klorväte är vattenlösliga (Arbetshälsoinstitutet))
 - d. Aerosol-/gasbaserade släckmedel avlägsnar den synliga lågan, men förhindrar inte termisk rusning i batterierna. Minskar dock värmen från flambranden. **Observera de brandfarliga rökgasernas flamrisk inomhus!**
 - e. Använd vid behov kompletterande släckningsmetoder vid släckning av ett slutet utrymme. Till exempel: Släckningsspjut, UHP, insticksrör osv. Undvik gnistbildande metoder. **Innan du använder kompletterande metoder ska du ta reda på var batterierna är placerade.**
- i) Om termisk rusning inte går att förhindra eller om släckningsarbete inte är möjligt på grund av rökgasernas flamrisk, skydda omgivande konstruktioner/byggnader och förhindra brandens spridning.
 - a. En flambrand minskar brandfarliga rökgasers flamrisk. Observera eventuella sidoutrymmen där brandfarliga rökgaser kan ha ansamlats.
- j) Sörj för en tillräcklig manskapsrotation om det tar längre tid att släcka branden.
 - a. Exponeringen ska minskas och det rekommenderas att släckningsmanskapat byts ut vid varje rökdykning (en tryckluftsflaska, högst 30 minuter). När man använder mellandräkt av aktivt kol kan man arbeta längre.
 - b. Beroende på energilagrets (BESS) storlek kan nedkylningen och släckningsarbetet pågå från några timmar till en dag.
- k) Kalla in en yrkesutbildad elektriker som känner till batteribaserade energilager (om möjligt en representant för utrustningens leverantör)
 - a. Elektrikern kontrollerar om det finns kvar energi i energilagret och kan utföra nödvändiga frikopplingar. Man ska bära andningsskydd när man går in i ett slutet utrymme.
- l) Kontrollera utrymmena med en värmekamera.
- m) Objektets efterbevakning
 - a. Objektet kan överlåtas till fastighetsinnehavaren när eldsvådan och den termiska rusningen har upphört och batteriets temperatur är under 50 °C efter en timmes uppföljning eller har förts ut ur byggnaden (MSB, 2024, s. 53)
 - b. Flytta inte batterierna innan elektrikern ger tillstånd. Små ackumulatorbatterier kan flyttas ut ur byggnaden för att förhindra återantändning.
 - i. Det kan finnas kvar bunden energi i batterierna, vilket ökar sannolikheten för elstöt
 - ii. Vid förflyttningen ska man använda lämpliga verktyg och spänningsskyddshandskar.

7.2 Litiumjonbatteribaserade energilager (BESS), energilagerfält och batterilager

Batterienergilager som utnyttjas för att jämna ut efterfrågan inom industrin och elnätet kan finnas i separata containrar eller inne i byggnader. Energilagerfälten har i allmänhet flera separata batterienergicontainrar.

I regel ska man inte närma sig eller öppna dörrarna till ett litiumjonbatteribaserat energilager i ett slutet utrymme där termisk rusning pågår. Man ska inte gå till energilagerfältet förrän en expert från



objektet är på plats eller man har säkerställt av experten att det är säkert att gå in i objektet. Ett (ackumulator)batteri i termisk rusning ska hanteras på samma sätt som gasflaskor (MSB, 2024, s. 33).

I Finland förvaras batterier som celler, batterier eller ackumulatorbatterier inom industrin. Storleken på batterilagren varierar mellan aktörerna. Vid dessa objekt rekommenderas att man bekantar sig med och fördjupar sig i brandsäkerheten och hur man ska gå till väga i exceptionella situationer (EU:s batteriförordning 2023/1542, artikel 12).

- a) Var beredd på att släcka en byggnadsbrand
 - a. Uppdraget kan vara långvarigt, kräva mycket resurser och när det gäller stora energilagrar kan man bli tvungen att kyla ner och följa upp situationen i flera dagar.
- b) Fastställ riskområdena (Inrikesministeriet, 7.1 och Tokeva, T9b)
 - a. Område där omedelbar fara föreligger 50–100 m. På energilagerfält minst 100–300 m.
 - b. Observera rökens spridning, evakuera människorna i närheten.
- c) Enheter på tillräckligt avstånd från området där omedelbar fara föreligger och ovanför vinden.
- d) Rekognosering: (Fundera på släckningstaktiken (kapitel 3) en stund innan du åker till objektet, gör en riskbedömning.)
 - a. Skyddsnivå
 - i. Enhetschef: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetsstryck (Inrikesministeriet, 7.4), flergasmätare (kolmonoxid och kolväte) med tillräckligt mätområde (dsb, 2021, s. 35) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - ii. Räddare: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetsstryck (Inrikesministeriet, 7.4), flergasmätare (kolmonoxid och kolväte) med tillräckligt mätområde (dsb, 2021, s. 35) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - iii. Dessutom räddningsgrupp 3: mellandräkt av aktivt kol, om man är tvungen att arbeta länge i slutna utrymmen.
 - b. Inverkan av batteriernas placering på räddningsverksamheten
 - i. Utomhus: Förhindrande av brandens spridning. Brandfarliga rökgaser kan utgöra en flamrisk inuti ett litiumjonbatteribaserat energilager
 - ii. Slutet utrymme: **Brandfarliga rökgasers flamrisk**, förhindrande av brandens spridning.
 - c. Ta reda på objektets uppgifter på objektkortet eller av representanten för objektet (För objektet rekommenderas till exempel en skylt eller närmare anvisningar med QR-kod. Objektkortsmall bilaga 4).
 - i. Anvisningar om räddningsverksamhet vid objektet.
 - ii. Objektets släckningssystem och verksamhetssätt.
 - iii. Tillverkaren ska ge objektets ägare anvisningar om hur man ska gå till väga vid undantagssituationer eller eldsvådor (EU:s batteriförordning 2023/1542, artikel 12).
- e) Närmande ovanför vinden.
 - a. Minskning av exponering (PAH, PFAS, HCN, HCL, HF, CO, metaller).
- f) Avstängning av elen på objektet via nödbrytaren eller huvudbrytaren.
 - a. På batterienergilerfält ska du vänta på att objektets representant anländer eller ta reda på hur frikopplingen kan utföras på ett säkert sätt
 - b. Det finns bunden energi kvar i energilagret. Batterimoduler är i allmänhet utformade så att termisk rusning inte lätt kan spridas från en modul till en annan. Alla batterimoduler reagerar inte samtidigt under en brand.
- g) Närma dig inte objektet innan röken och lågorna har försvunnit från objektet.



- a. Ta reda på om släckningsutrustningen har fungerat (akustisk eller optisk signalering). Om inte, utlös släckningsutrustningen manuellt
- b. Energilagrets släckningsutrustning
 - i. Aerosol-/gasbaserade släckningssystem avlägsnar den synliga lågan, men förhindrar inte termisk rusning i batterierna. De minskar dock värmen från flambranden.
Observera de brandfarliga rökgasernas flamrisk inomhus!
- c. Kontrollera om tryckavlastningsluckan har fungerat
- d. **Låt energilagrets egen släckningsutrustning och brandsäkerhetssystem göra sitt. Vänta i minst 30 minuter**
- e. Ta i mån av möjlighet reda på LEL% på objektet.
- f. Undvik fönster/dörrar (flammande rökgaser leder till en tryckstegring och glassplitter).
- h) Ventilation av rökgaser (minskning av risken för flammande rökgaser).
 - a. Utnyttja rökevakueringsutrustningen om en sådan har installerats i objektet
 - b. (Gör en rököppning, använd inte gnistbildande redskap).
- i) Släckning och nedkylning med vatten.
 - a. Ett (ackumulator)batteri ska kylas ner utöver att man släcker branden med vatten (Ghiji m.fl., 2020, s. 13).
 - b. Säkerställ tillräcklig vattentillgång
 - i. Använd torrsprinklern om en sådan finns i objektet
 - c. Använd kompletterande släckningsmetoder, exempelvis brandsläckare med teleskop-handtag, skärsläckare eller ett insticksrör, använd inga gnistrande redskap.
- j) Om termisk rusning eller brand inte går att förhindra eller om släckningsarbete inte är möjligt på grund av rökgasernas flamrisk, skydda omgivande konstruktioner eller byggnader och förhindra brandens spridning.
 - a. Separata energilagercontainer: Skydda andra batterienergilager i omgivningen. Kontrollerad förbränning av en brinnande batterienergilagercontainer.
- k) Sörj för en tillräcklig manskapsrotation.
 - a. Vid termisk rusning frigörs giftiga gaser som är skadliga för människor och omgivningen
 - b. Exponeringen ska minskas och det rekommenderas att släckningsmanskapat byts ut efter varje tryckluftsflaska (ungefär 30 minuters mellanrum). Med en mellandräkt av aktivt kol kan man arbeta längre i området där omedelbar fara föreligger. Man kan minska exponeringen med den valda släckningstaktiken.
- l) Kalla in en yrkesutbildad elektriker som har kännedom om energilager till platsen (om möjligt en representant för utrustningens leverantör).
 - a. Elektrikern kontrollerar om det finns kvar elenergi i energilagret och utför nödvändiga frikopplingar.
- m) Efterbevakning av objektet och miljöskada.
 - a. Objektet kan överlåtas till fastighetsinnehavaren när branden och den termiska rusningen har upphört och batteriernas temperatur är under 50 °C efter en timmes uppföljning (MSB, 2024, s. 53)
 - b. **Flytta inte på batterimodulerna, det kan finnas energi kvar i dem**
 - c. Anmäl branden till miljöskyddsmyndigheten (stora litiumjonbatteribaserade energilager: Om släckningsvattnet har kommit i kontakt med batterikemin är släckningsvattnet förorenat). Släckningsavfallsvatten har konstaterats vara skadligt för miljön (Mellert m.fl., 2020, s. 64).

8 Elfordon

Antalet eldrivna fordon har ökat betydligt under de senaste åren. Antalet elbilar har ökat och den tunga trafikens materiel elektrifieras i allt högre grad. I större städer har antalet elbussar ökat i lokaltrafiken i och med att kriterierna för miljökonsekvenserna har skärpts. Inom industrin används fortfarande många blybatteridrivna truckar, men när de når slutet av sin livslängd ersätts de med litiumjonbatteritrukar. Vid fordonsbränder och trafikolyckor ska räddningsverket identifiera fordonets drivkraft för att kunna förbereda sig på de särdrag som varje drivkraft medför.

Lågan vid en litiumjonbatteribrand kan se likadan ut som lågan från en gasbrand, men lågan är kortare och dess styrka varierar. Under termisk rusning frigörs brandfarliga gaser kraftigt från batteriets tryckutjämningsöppningar eller någon annan av tillverkaren planerad övertrycksmekanism (Hassinen, 2022, s. 28).

Vid termisk rusning och brand i ett drivbatteri i ett slutet utrymme är de primära åtgärderna rökventilation och skydd av omgivningen innan fordonsbranden släcks.

Stora litiumjonbatterier som hamnat i termisk rusning eller brunnit är alltid farliga tills de har återvunnits vid återvinningsanläggningen. Risken för återantändning ska alltid beaktas i räddningsverksamheten och vid förflyttning av elfordon till karantän eller återvinning.

8.1 Släckning av elfordonsbrand och åtgärder i efterhand

- a) Räddningsenheten på tillräckligt avstånd från objektet.
- b) Fastställ riskområdena, minst 25 m (Inrikesministeriet, 7.1 och Tokeva, T9b).
- c) Rekognosering:
 - a. Skyddsnivå: Branddräkt (nivå 2), lång underdräkt, tryckluftsapparat med säkerhetstryck, flegasmätare, om ett slutet utrymme (CO och kolväte) tillräckligt mätområde (dsb, 2021, s. 35) och värmekamera (dsb, 2021, s. 30)
 - i. Om kolmonoxidvärdet (CO) är förhöjt nära fordonet kan det tyda på en händelse i drivbatteriet (MSB, 2024, s. 48).
- d) Identifiera brandkällan.
 - a. **Om drivbatteriet inte reagerar, traditionell släckning av bilbrand** (Hassinen, 2022, s. 18)
 - b. Frånkoppling av högspänningsdrivbatteri enligt fordonsspecifika anvisningar, om batteriet inte har reagerat, till exempel vid en trafikolycka.
 - i. Enligt biltillverkarna kopplas drivbatteriet ur automatiskt vid olyckor om någon säkerhetsanordning i elbilen har reagerat
 - ii. Spänningshandskar och -verktyg!
- e) Säkerställande av tillgången till tilläggsvatten.
 - a. Släckningen/nedkylningen kan kräva mer än 10 000 l vatten i en elbilsbrand
 - i. Vattenmängd minst 400 l/min (DEMA, 2023, s. 9)
 - ii. Nedkylningen är som effektivast när vattnet kan föras in i batteripacket och vattenmängden som behövs är mindre än vid extern nedkylning (Sturm, 2022, kapitel 3.2)
- f) Elen från laddningsplatsen för ett fordon som är i laddning stängs av från nödbrytaren.
 - a. Frånkoppling av laddningskabeln
 - i. Laddningskabeln får inte skäras på grund av risken för elstöt



- ii. Laddpistolens låsning kan öppnas enligt den fordonsspecifika anvisningen. (Euro Rescue, Crash Recovery System och fordonsmanualen).
- g) **I ett slutet utrymme i första hand ventilation av gaser/rök (minskning av exponeringen och risken för flammande rökgaser), i öppna utrymmen släckning och nedkylning av drivbatteribranden**
 - a. Närmande ovanför vinden
 - b. Utnyttjande av rökfläktar i slutna och öppna utrymmen
 - c. Observera rökevakueringsutgång och isolera området från utomstående
 - d. Närma dig fordonet i en 45 graders vinkel (inte direkt från sidan, framifrån eller baki-från) (CTIF, s. 63)
 - i. Undvik lågorna och gasurladdningen samt bilens eventuella rörelse.
- h) När den termiska rusningen börjar avges det kraftigt ljus/grå rök från bilens undersida som gradvis blir mörkare
 - a. Rök/gas kan tränga in i fordonets interiör, där det kan bildas en explosiv/flambar blandning. Slå sönder elfordonets fönster om du misstänker att gas ansamlas inne i bilen
 - b. Det kan förekomma gasbrandliknande lågor som avges från bilens undersida.
- i) Kila däcken för att förhindra fordonet från att röra på sig.
- j) Släckning/nedkylning (Extern nedkylning, perforering eller nedsänkning av batteriets hölje i vatten)
 - a. Kyl ner batteriet med vatten utöver att släcka branden (Ghiji m.fl., 2020, s. 13–15)
 - b. Nedkylningen är mest effektiv när vattnet leds till batteripacket (Willstrand m.fl., 2019, s. 9; MSB, 2024, s. 32)
 - c. Observera en tillräcklig mängd släckvatten
 - d. Släckning av flambranden förhindrar inte termisk rusning i batteriet.
- k) **Börja släcka med ett strålrör, en direktstråle på avstånd och öka strålvinkeln när du närmar dig.**
 - a. **Släck först den egentliga branden i elfordonet före nedkylning av drivbatteriet**
 - b. **Det andra paret hanterar rökgaserna med strålröret och skyddar det första paret släckningsarbete.**
 - c. Högspänningsbatterier (<400 V <) i fordon, beakta vid behov säkerhetsavståndet
 - d. Det har ännu inte konstaterats elstötsolyckor vid elfordonsbränder (EV FireSafe och MSB, 2024, s. 26–27). ”Flytande system” i elfordon, dvs. drivbatteriet är inte jordat i ramen, vilket gör att risken för elstöt är liten, men systemet kan skadas.
- l) Kyl ner drivbatteriet i minst 30 minuter, fortsatt vid behov i 60 minuter.
 - a. Om det finns en ”brandmanslucka”, nedkylning via luckan med rakstråle (se fordons-specifika anvisningar)
 - b. Använd till exempel brandsläckare med teleskophandtag eller chassispinkler för nedkylning underifrån
 - c. Om nedkylningen inte fungerar kan man utnyttja genomgående metoder **som utförs av en räddningsgrupp med separat utbildning i denna metod.**
 - d. Skydda omgivande fordon eller konstruktioner. Kontrollera batteriernas temperatur med en värmekamera (målet är en yttemperatur under 50 °C)
 - e. **Släckning och nedkylning är alltid den primära åtgärden, men i en utmanande situation ska du överväga en kontrollerad slutförbränning som skyddar näromgivningen**
 - f. Ingen regelbunden nedsänkning av elfordon i vatten (kapitel 9.4)



- i. Nedsänkning kan leda till termisk rusning på grund av kortslutning som orsakas av vattnet. Det löses upp miljöskadliga ämnen i nedsänkningstvattnet från batteriet.
 - ii. Nedsänkningstvattnet får inte släppas ut i naturen eller i avloppet. Nedsänkningstvattnet ska levereras till en lämplig avfallshanteringsanläggning (Held m.fl., 2020, kapitel 5).
- m) Skydda och förhindra att branden sprids till fordon eller konstruktioner i omgivningen.
- n) Efterbevakning (SPPL, 2022, s. 4).
 - a. Efterbevakning ska utföras i minst en timme och batteriets temperatur ska följas upp, batteriet får inte avge ljud, gnistor eller rök
 - b. Kontinuerlig släckningsberedskap under efterbevakningen.
- o) Sörj för skadebekämpning och släckningstvatten.
 - a. När nedsänkningssmetoden används ska släckningsavfallstvattnet levereras för behandling. Under nedsänkningen löses skadliga ämnen upp i vattnet från batteriet och fordonet (Mellert m.fl., 2020, s. 64–65).
 - b. Sköljning av batteriet ökar släckvattnets skadlighet för miljön (Hynynen m.fl., 2023, s. 36).
- p) Förflyttning av fordonet, slutet eller öppet utrymme.
 - a. Förflyttningen kan utföras när den termiska rusningen är under kontroll och batteriet har svalnat. Observera risken för återantändning.
 - b. Använd hjuldollyn som placeras under däckerna vid transport av fordonet från ett slutet utrymme (Bild 4)
 - c. Alternativ 1: Transport till överenskommen plats med bärgningsbil
 - i. Ett bränt fordon ska placeras avskilt från andra objekt och avståndet till dem ska vara minst 8 meter.
 - ii. Isolering i minst en vecka
 - iii. Instruktioner för bärgningsbilens förare, i en tät stadsmiljö kan räddningsverket eskortera transporten
 - d. Alternativ 2: Förflyttning av bilen på släckflak eller i en öppen container
 - i. Ingen vattenfyllning
 - ii. Förflyttning av släckflaket eller containern till en på förhand överenskommen plats och avstånd till andra objekt minst 8 meter.
 - iii. Isolering i minst en vecka
 - iv. När termisk rusning har startat på nytt ska flaket eller containern fyllas med vatten ända upp till batteriet.
 - v. Nedkylningstvattnet är problemavfall och ska levereras för behandling.

Fordonets ägare ansvarar för fordonet efter att räddningsverksamheten har avslutats. Räddningsväsendet flyttar vid behov elfordonet på grund av risken för återantändning samt för att förhindra att en eventuell brand sprids till andra konstruktioner. Om fordonet måste lämnas i ett slutet utrymme efter att räddningsverksamheten avslutats, till exempel för brandutredning, ska tillräcklig bevakning fastställas för minst 24 timmar på grund av risken för återantändning.



Bild 4. Transportplattform för fordon (liro Wennberg).

9 Släcknings-/nedkylningsmetoder för elfordon

Släckning och nedkylning av litiumjonbatterier är mest kostnadseffektivt med vattenbaserade släckmedel. Nackdelen är att vattnet reagerar med ämnena och värmen i batteriet. Vattnet ökar till exempel bildningen av fluorväte, syre och väte, men dessa ämnen bildas även i övrigt i samband med termisk rusning. På grund av vattnet och andra föroreningar sker det kortslutning i batteriet (Ghiji, 2020, kapitel 6).

Vid batteribränder i elfordon kan vattnet som förs in i batteripacket avsevärt minska mängden vatten som behövs och förkorta tiden som behövs för släckning och nedkylning (MSB, 2023, s. 39 och Hassinen, 2022, s. 37). Utmaningar vid sprutning av vatten i batteripacket är batteripackens konstruktion och batteriets placering i elfordonen. Många av de presenterade metoderna lämpar sig inte för att släcka eller kyla ner bränder i den tunga materielens drivbatterier. Tunga fordon släcks i första hand genom yttre nedkylning.

En batteribrand i ett elfordon kan inte kylas ner eller släckas med handbrandsläckare, även om tillverkarna av brandsläckare säger så (Ev Firesafe, 04.10). Handbrandsläckarnas kapacitet räcker inte till för att kyla ner stora batterier tillräckligt, vilket är den viktigaste metoden för att släcka litiumjonbatteribränder. Handbrandsläckare lämpar sig väl för andra fordonsbränder.

9.1 Bilbrandfilt

Bilbrandfilten fungerar inte vid elbilsbränder och rekommenderas inte. Bilbrandfilten förhindrar inte termisk rusning. Lättantändliga och brandfarliga gaser ansamlas under brandfilten och utgör en flamrisk.

Bilbrandfilten kan användas för att minska intensiteten av elbilsbranden, men det är svårt att få den på plats och täta till filtens kanter. Bilbrandfilten kan förebygga att röken från batteriet reagerar med en yttre oxidant, även om den inte påverkar det syre som frigörs från batteriet. Gasblandningarna från batteriet kan variera mycket under branden. Därför är filten förknippad med risker som ofta överviner de eventuella nyttorna av filten. Det kraftiga gasläckaget och lågan som batteribränder orsakar kan flytta brandfiltens kanter och den kan inte göras tillräckligt tät. Själva batteriet producerar det syre som branden behöver, och därför åstadkommer filten inte samma kvävande effekt som i andra slags bränder (Sturm m.fl., 2022, kapitel 3.2.1; Albero 2021, s. 9; FSRI, 2025).

Användning av bilbrandfilten på annat brännbart material i fordonet kan vara mycket effektivt med beaktande av omständigheterna, utredningssträckan och helhetssituationen. I detta fall framhävs släckarnas kompetens och den eventuella identifieringen av en batteribrand. Bilbrandfilten kan förhindra brandens spridning, men den isolerar in värmen väl och kan påskynda batteriets reaktion. Dessutom är nackdelarna med bilbrandfilten dess vikt och svåra installation utanpå fordonet under situationen. I praktiken kan en bilbrandfilt endast användas en gång, eftersom den är svår att rengöra från skadliga ämnen (EV Firesafe, 04.10; Sturm m.fl., 2020, kapitel 4; Albero, 2021, s. 9).

9.2 Genomträngande metoder

Genomträngande metoder är inte de primära metoderna vid bränder i elfordonets drivbatteri. Genomträngande metoder ska övas och en liten andel av personalen ska få specialutbildning i metoden. Det rekommenderas att den materiel som används koncentreras till de räddningsstationer där det finns tillräcklig kompetens och förmåga att utföra metoden.

Syftet med den genomträngande metoden är att dränka batteriet i sitt eget hölje. När genomträngande metoder används ska elfordonet stabiliseras så rakt som möjligt för att vattnet ska kunna fördelas i batteripacket. Vatten som matas in med hårt tryck kan bubbla, varvid den kylande effekten sjunker, men vattnet kan tvingas överallt i batteripacket. Trycket från termisk rusning kan skjuta bort vatten från de öppningar som bildats i batteripacket.

Batterikonstruktionen i ett elfordon kan förhindra att vattnet tar sig runt i batteripacket. Batteripack kan ha en inre konstruktion som påminner om en stege (Bild 5) eller de nyare kan ha fyllnadsmaterial mellan cellerna som förhindrar att vattnet sprids i batteripacket. Hybridbilarnas batterier avviker betydligt från elbilarnas batteripack och för att kyla ner dem kan man inte nödvändigtvis utnyttja genomträngande metoder. Batteripackets inre konstruktion kan inte identifieras utifrån. Fordonens räddningskort eller manualer innehåller ingen information om batterikonstruktionen för släckningsverksamheten, men detta kan ändras i framtiden. Vid användning av en genomträngande metod är räddarens förmåga att tolka den aktuella situationen den mest avgörande faktorn för att metoden ska fungera på en batteribrand.



Bild 5. Batteripackets inre konstruktion i en Audi.

Det snabbaste sättet att släcka en batteribrand i ett elfordon är att spruta vatten direkt i batteriet. Nedkylning med en genomträngande metod minskar avsevärt den vattenmängd som behövs för att kontrollera termisk rusning (Sturm m.fl., 2020, kapitel 3.2.2). Det bör observeras att det uppstår nya kortslutningar i batteriet när metoden används. *Det finns olika metoder för genomträngning och den ger en effektivare kyleffekt. Nackdelen är att metoden är utmanande och att risken för återantändning ökar. Genomträngning skadar lätt cellerna inuti batteriet, vilket får cellerna att reagera* (Hassinen, 2022, s. 30).

Tillverkare av elbilar rekommenderar inte genomträngande metoder, men några undersökningar visar att det är det effektivaste sättet att hantera termisk rusning (Ev Firesafe, 04.10). I följande underavsnitt presenteras några anordningar som kan användas för att tränga igenom batteripacket. Nya anordningar har kommit ut på marknaden utöver dessa, men i regel är största delen endast avsedda för elbilar.

UHP/Skärläckare (Cold Cut Cobra, eller annan)

Med UHP-systemet (Ultra High Pressure System) görs ett hål i bilens kupé genom golvet till batteriet och genom hålet sprutas vatten med högt tryck till batteriet. Ett andra räddningspar ska skydda UHP-användare ska mot lågorna från bilens undersida med lågtrycksstråle. Exponeringen för gaser och rök kan minskas med en rökfläkt som placeras bakom räddarna och genom räddarnas rätta placering. Vid

användning av UHP-anordningar är taktiken att använda en värmekamera för att söka värmepunkter vid vilka UHP-anordningen används för att tränga igenom golvkonstruktionerna. Genomträngningsstället ändras enligt de observerade effekterna (hur lågorna avlägsnas och rökbildningen). Skärsläckarens säkerhet kan ökas med att lägga till en förlängningsdel till lamsdelen. Enhetschefen ska observera omgivningen och vid behov styra räddarna. Man ska öva på verksamhetsmodellen så att den lyckas i en verklig situation. Enligt den senaste undersökningen är risken för elstötar mycket liten och verksamhetsmodellen rekommenderas i Nederländerna och Sverige (NIPV, 2024, kapitel 8; MSB A, 2023).

Stickstrålrör

E-Murer och T-ISS tillverkar stickstrålrör som kan slås in i batteripaket med en slägga. När dessa rör används ska man veta var batterierna ligger och särskilt det område där den termiska rusningen förekommer för att åstadkomma den önskade kylande effekten. Rören är skyddade med ett 1000 V isolerande skikt. Det finns även andra tillverkare av liknande modeller (Hassinen, 2022, s. 33).

Stickstrålrören behöver arbetsutrymme och två räddare för att slå in röret i batteripaket. Idén är att få vattnet i batteripaket, men utmaningen är hur det ska vara möjligt att nå batteriet och om strålröret kan slås tillräckligt långt. Genomföringsstället kan avge gnistor och eld när röret träffar cellerna. Samtidigt ska man kyla batteriet utifrån.

AVL Stingray one

Anordningen monteras inne i fordonet mellan fordonets tak och innergolv. Placeringsplatserna är begränsade, eftersom anordningen behöver takkonstruktionen som en andra punkt och direkt kontakt med golvet. Fordonets säten förhindrar anordningens fria placering. Stickdelen trängs in i batteripaket och via den åstadkommer man en kylande effekt i batteriet (Hassinen, 2022, s. 34).

Utmaningen när anordningen monteras är att räddaren ska arbeta inne i elfordonet. När anordningen används ska man samtidigt utföra extern nedkylning och gasventilering.

Jøni Firegun

Jøni Aabybro tillverkar en borrhjulen släckningslans. Anordningen kan borra ett hål i ett valfritt ställe i fordonets golv och spruta vatten samtidigt. Den kan lämnas på plats efter att hålet gjorts för att kyla ner batteriet. Anordningen är skyddad med ett 1000 V isolerande skikt.

Genomträngande anordningar som placeras under bilen

En genomträngningsmetod är att göra ett hål i batteripaketet med en lämplig anordning från bilens undersida. Här går det till exempel med Rosenbauers BEST-apparat som skjuter in spiken i batteripaket, via vilken man kan spruta vatten i batteriet för att kyla ner cellerna. BEST-apparaten ryms inte direkt under låga elbilar på grund av sin storlek. I separata test har man observerat att apparaten är svår att avlägsna från fordonets chassi efter användningen, eftersom spiken som avfyrats genom höljet kan fastna (Hassinen, 2022, s. 33).

En liknande anordning som placeras under elbilen har också utvecklats i Finland. Denna anordning har inte ännu testats till fullo för att släcka en brand i elbilens drivbatteri. Tack vare anordningens tekniska lösning fastnar den inte i elbilens chassi. Anordningen kan användas för att kyla ner chassit och spruta vatten i batteripaket samtidigt.

9.3 Extern nedkylning

Extern nedkylning är den primära metoden vid brand i elfordonets drivbatteri. Avsikten är att binda värme för att stoppa värmeledningen från en cell till en annan. Extern nedkylning ska också utföras i samband med andra metoder (Hassinen 2022, 31). Extern nedkylning kan genomföras med ett traditionellt strålrör eller med metoder enligt följande underavsnitt. Nedkylning av chassit kan i regel genomföras på personbilar, men för större elfordon ska olika metoder tillämpas enligt batteriernas placering.

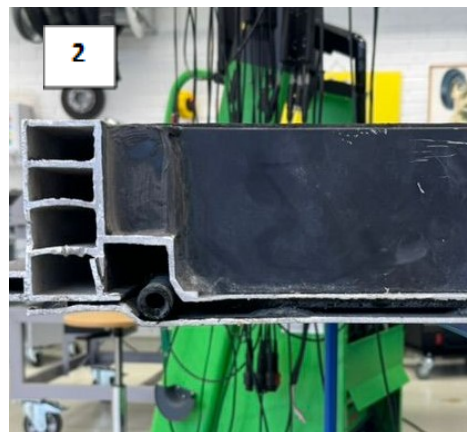
Nedkylningens effekt beror på fordonets och batteriernas konstruktion. Chassit i moderna elbilar och batteripackets konstruktion är starkare och har flera skikt, vilket minskar effekterna av extern nedkylning på drivbatteriet. Även batterimodulerna och cellerna är större, och därför ska chassit kylas ner på ett så stort område som möjligt.

Nedkylningens inriktning på batterierna kan vid behov underlättas genom att luta elfordonet (Hassinen, 2022, s. 31). Vid nedkylning med strålrör är vattenmängden stor, men släckningen/föroreningen av nedkylningsvattnet är mindre än vid nedsänkning.

Chassisprinkler

Chassisprinkler kan användas för att kyla ner ett batteri i elfordonets undersida. Vid användning av chassisprinkler exponeras räddarna inte för rök- och brandgaser och den kan användas av en enda räddningsenhet. Nedkylningen påverkar inte batteriet direkt, vattenmängden är stor och släckningsvattnet kan inte tas tillvara (Helander, 2022, s. 37–38). Räddningsverken har självständigt byggt upp några liknande lösningar, men det finns också lösningar tillverkade av olika företag på marknaden.

Chassisprinklernas nedkylande effekt påverkas starkt av batteripackets konstruktion och dess tjocklek. Till skillnad från till exempel andra tillverkares batteripack är Teslas batteripack enkla (Bild 6, 1), varvid den kylande effekten fås direkt till den konstruktion som skyddar batterierna. Batteripackets material kan variera från aluminium till rostfritt stål och den starkaste delen av batteripacket är dess undersida. Batteripackets botten kan vara tjock, ha flera skikt, där batteriets egna kylkanaler eller batteripacket kan skyddas med ett separat grundpansar (Bild 6).



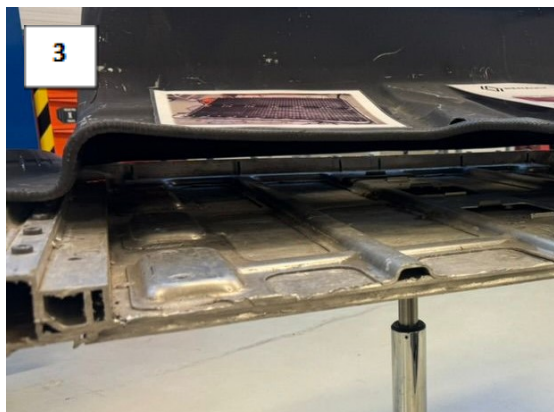


Bild 6. Batteripackets konstruktioner. 1. bilden Teslas batteripack och 2. samt 3. genomskärning av två andra elbilstillverkares batteripack (lirö Wennberg).

Brandsläckare med teleskopskaft

En brandsläckare med teleskopskaft kan skjutas under bilen och därmed minska räddarnas exponering. Brandsläckare med teleskopskaft är avsedda för yttre släckning av en fordons- eller lägenhetsbrand (Hassinen, 2022, s. 32). Det finns flera olika typer av brandsläckare med teleskopskaft hos olika tillverkare. Man kan också själv installera en brandsläckare med teleskopskaft i fordonets kupé

9.4 Nedsänkning

Genom nedsänkning får man eventuellt en bättre kyleffekt än genom extern nedkylning och vattenbadet binder skadliga ämnen som frigörs vid brand. Å andra sidan ökar vatten som eventuellt hamnar i batteriet risken för återantändning avsevärt. I nedsänkningssmetoden kommer vattnet inte in i batteriet i det aktiva skedet av branden, när batteriets inre tryck är högt och cellerna öppnas. Vattnet kommer in i batteriet när batteriets inre tryck sjunker (Hassinen, 2022, s. 30, 37).

Nedsänkningssmetoden har motiverats med att den urladdar batteriet. Det finns inga starka bevis för att batterierna skulle urladdas under nedsänkning. Enligt den nuvarande uppfattningen återstår det laddning i batteriets intakta celler. Långvarig nedsänkning utsätter intakta celler för rost och föroreningar, vilket ökar möjligheterna till kortslutning. Räddningspersonalen kan inte verifiera att batteriet urladdats.

Det finns flera nedsänkningssmetoder, till exempel flak, container eller separata bassänger, som monteras runt omkring fordonet. Vid användning av nedsänkningssflak eller container ska batteriets termiska rusning och brand stoppas innan fordonet tryggt kan flyttas till dem. Elfordonet kan dras eller lyftas till nedsänkningssflaket eller containern. När man använder ett nedsänkningssflak eller en container ska fordonet lämnas där i minst ett par dygn för att förhindra återantändning (Hassinen, 2022, s. 36). **När nedsänkningssmetoden används urladdas batteriet inte nödvändigtvis, utan det kan finnas laddning kvar i cellerna!**

Ett släckflak (Bild 7) eller en släckningscontainer utan vatten kan användas för förvaring och förflyttning av elfordon. Då kan dessa vid behov fyllas med vatten vid ny termisk rusning. Modellen i fråga förhindrar effektivt brandens spridning och gör det möjligt att ta tillvara släckningsavfallsvatten

(Helander, 2022, s. 42). Vinterförhållanden är en utmaning för användningen av nedsänkingsflak eller container. När container används ska man se till att den inte är tät och att de brandfarliga gaserna som bildas i batteriet ventileras bort. Flera elbilstillverkare rekommenderar för närvarande inte nedsänkingsmetoden. Denna modell förorenar släckvattnet kraftigt och ska levereras för separat behandling (Hynynen m.fl., 2023, s. 36; Mellert m.fl., 2020, s. 64–65).



Bild 7. Släckflak

Tillfälliga bassänger kan användas, men man kan inte nödvändigtvis göra dem tillräckligt täta, utan man kan då och då bli tvungen att fylla på dem med vatten. När en tillfällig bassäng används ska den termiska rusningen och branden ha upphört och elfordonet bör stanna på plats för att nedkylningen ska vara tillräckligt effektiv. Denna modell förorenar släckvattnet kraftigt och ska levereras för separat behandling (Hynynen m.fl., 2023, s. 36; Mellert m.fl., 2020, s. 64–65).

Källor

Ala-Kokko, V. 2021. Guide för rökdykning. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_A/A2_2021.pdf.

Barowy, A. UL Research institute. The Science of Fire and Explosion Hazards from Lithium-Ion Batteries. <https://fsri.org/lithium-ion-battery-guide>.

CRBAman. 2024. Litiumjonbatteriets celler. CC BY-SA 4.0. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=151003049>.

CTIF, Comité Technique International de prevention et d'extinction de Feu. 2020. FIRE SERVICE OPERATIONAL HANDBOOK EMERGENCY RESPONSE ON VEHICLES. <https://www.ctif.org/training-and-tools/emergency-response-vehicles>.

DEMA. Danish Emergency Management Agency. 2023. Theme Booklet. Responding to electric and hybrid vehicle fires. <https://www.brs.dk/en/nyheder-og-publikationer/publikationer2/alle-publikationer/2023/responding-to-electric-and-hybrid-vehicle-fires/>.

dsb. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Risk assessment and handling of fire in lithium-ion batteries. 2021. <https://www.dsb.no/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieell/risk-assessment-and-handling-of-fire-in-lithium-ion-batteries/>.

Ekberg, L., Langer, S., Strandberg, B. 2021. Testing of clothing for the protection of firefighters against exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in fire smoke. <https://www.cppgarments.com/tests-and-reports>.

Europeiska unionens förordning 2023/1542. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32023R1542>.

EV FireSafe. 2023. All electrified transport lib fire incidents. https://www.evfiresafe.com/files/ugd/8b9ad1_c25fd371dc4b43849a09d37fa53089f7.pdf.

EV FireSafe. 2024. Passenger EV LIB fire incident. https://www.evfiresafe.com/files/ugd/8b9ad1_1e058681d2e447fdbe00fce9c46d4ec8.pdf.

Everaert, S., Schoeters, G., Claes, K., Raquez, J-M., Buffel, B., Vanhaecke, T., Moens, J., Laitinen, J., Van Larebeke, N., Godderis, L. 2023. Balancing Acute and Chronic Occupational Risks: The Use of Nitrile Butadiene Rubber Undergloves by Firefighters to Reduce Exposure to Toxic. Contaminants <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10301703/>.

FSRI. Fire Safety Research Institute. The Fire Protection Research Foundation and the Fire Safety Research Institute Issue Notice Around Potential Hazard Involving Fire Blankets Used for Electric Vehicle Fire Suppression Efforts with Battery Involvement. 2025. <https://fsri.org/news/potential-hazard-involving-ev-fire-blankets>

Ghiji, M., Novozhilov, V., Moinuddin, K., Joseph, P., Burch, I., Suendermann, B. ja Gamble, G. 2020. A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression. <https://vuir.vu.edu.au/42560/1/energies-13-05117-v2.pdf>.

Hallikainen, V. 2017. Ajoneuvojen Li-ion-akkujen palotutkimus. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Insinööri (AMK) Auto- ja kuljetustekniikka, Insinööriyö. <https://pdfs.semanticscholar.org/efe3/a926849dcd3031fd462e2ddc0c2781ef3114.pdf>.

Hassinen, M. 2022. Räddningsinstitutet. Uudet energiamuodot liikennevälineissä ja energiavarastoissa. Sammutustaktiikka ja -tekniikka. http://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B2_2022.pdf.

Helander, T. 2022. Sähköautojen akkupalojen sammutusmenetelmät. Pelastustoimen toteuttamat sammutusmenetelmät tilannepaikalla. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/780338/Sa%cc%88hko%cc%88autojen%20akkupalojen%20sammutusmenetelma%cc%88t.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Held, M., Tuchschnid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L., Welte, U., Kompatscher, M., Hermann, M., Nache, L. 2022. Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122003793>.

Huttu, I., Ala-Kokko, V., Paloluoma, P., Smura, M., Ronkainen, J., Jämsä, J., Mustonen, A., Meurman, K. och Hassinen, M. 2022. Räddningsinstitutet. Släckning av byggnadsbrand. https://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_A/A1_2023.pdf.

Hynynen, J., Willström, O., Blomqvist, P., Quant, M. 2023. Rise. Investigation of extinguishing water and combustion gases from vehicle fires. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1744894/FULLTEXT01.pdf>.

Hynynen, J., Willstrand, O., Blomqvist, P., Andersson, P. 2023. Analysis of combustion gases from large-scale electrical vehicle fire tests. Fire Safety Journal 139 103829. [Analysis of combustion gases from large-scale electric vehicle fire tests - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378437523000000).

IARC. 2010. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. Painting, Firefighting, and Shiftwork. Firefighting 98, 397–451.

IARC. 2022. IARC monographs evaluate the carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-evaluate-the-carcinogenicity-of-occupational-exposure-as-a-firefighter/>.

Laitinen J., Hassinen M., Kiviranta K., Toivanen P., Huttu I., Savola R., Ahonen V., Ruusunen J., Rissanen S., Uusitalo A. 2022. Pelastajan työvälineet ja henkilökohtaiset suojaimet metsäpaloissa. Räddningsinstitutet, B-serien 1/2022. Kuopio. http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B1_2022.pdf.

Laitinen J., Koponen J., Koikkalainen J., Kiviranta H. 2014. Firefighters' exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in firefighting foams. Toxicology Letters, 231: 227–232

Laitinen J., Lindström A., Jumpponen, M., Lallukka, H., Hassinen, M. 2019. Asbestille altistuneiden työvaatteiden varustehuollon toimivuuden testaaminen. Rapport till Arbetarskyddsfonden. Tietoatöystä -serien. Arbetshälsoinstitutet Helsingfors. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=117083#materials>.

Laitinen J., Mäkelä M., Mikkola J., Huttu I. 2012. Firefighters' multiple exposure assessments in practice. Toxicology Letters 213:129–133.

Laitinen, J., Jumpponen, M. 2016. Korkeajänniteakkukennojen ja akkujen palot, niiden sammuttaminen ja riskienhallinta. Arbetshälsoinstitutet. TYHYG-2016- 327990.

Laitinen, J., Jumpponen, M., Heikkinen, P., Lindholm, H., Lindholm, T., Sistonen, H., Halonen, J. 2015. Tehostesavujen haitalliset keuhko- ja verisuonivaikutukset ja niiden torjunta. Rapport till Arbetarskyddsfonden, Brandskyddsfonden och Statskontoret. April 2015, Arbetshälsoinstitutet. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=112091#materials>.

Laitinen, J., Lindholm, H., Aatamila, M., Hyttinen, S., Karisola, P. 2016. Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa toiminnassa. Raportti Palosuojelurahastolle ja Työsuojelurahastolle. Tietoa Työstä-serien, Arbetshälsoinstitutet Helsingfors. <https://www.tsr.fi/valmiit-hankeet/hanke?h=113080#materials>.

Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P., Hakkarainen, T., Tillander, K., Palokoski, T. 2010. Kemikaalialtistumisen vähentäminen palokohteissa. https://www.researchgate.net/profile/Panu-Oksa/publication/42091535_Kemikaalialtistumisen_vahentaminen_palokoh-teissa/links/0912f505ff5d098542000000/Kemikaalialtistumisen-vaehentaaminen-palokohteissa.pdf

Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., Mellander, B.-E. 2017. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Sci. Rep. 7, 10018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>.

Lecocq, A., Bertana, M., Truchot, B., Marlair, G. 2012. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle, in: International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2012. Chicago. pp. 183–194. <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973680/document>.

Mellert, L., Tuchschild, M., Hermaan, M., Tesson, M. 2020. Risikominimierung von Elektrofahrzeugbränden in unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen. https://amstein-walthert.ch/media/files/2021/01/Risikominimierung_von_Elektrofahrzeugbr%C3%A4nden_in_unterirdischen_Verkehrsinf_w74WhYu.pdf.

Meraner C. Li, T. Meliá, C. 2021. RISE. Avgassing fra litium-ion batterier i hjemmet. <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/andre-rapporter/rapport---avgassing-fra-litium-ion-batterier-i-hjemmet.pdf>.

MSB. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 2023. Demonstration av släckmetod för litiumjonbatterier. <https://rib.msb.se/filer/pdf/30340.pdf>.

MSB. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 2024. Vägledning - Räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer. <https://www.msb.se/sv/publikationer/vagledning---raddningsinsats-dar-litiumjonbatterier-forekommer/>.

Mylenbusch, I., Claffey, K., Chu, B. 2023. Hazards of lithium-ion battery energy storage systems (BESS), mitigation strategies, minimum requirements, and best practices. https://www.researchgate.net/publication/371850177_Hazards_of_lithium-ion_battery_energy_storage_systems_BESS_mitigation_strategies_minimum_requirements_and_best_practices.

NFPA. National Fire Protection Association. NFPA 1851 (2020): Standard on Selection, Care, and Maintenance of Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting.

NIPV. Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. 2024. Fire experiment to examine the use of ultra-high pressure extinguishing systems for fires in batteries of electric vehicles. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2024/11/20241126-NIPV-Fire-experiment-to-examine-the-use-of-ultra-high-pressure-extinguishing-systems-for-fires-in-batteries-of-electric.pdf>.

Posniak, M. 2000. Chemical hazards in fire-fighting environments. Medycyna Pracy 51 (4), 335–344.

Salmi, R., Laitinen, J. 2024. Varusteiden ja kaluston puhdistusmenetelmien arviointi ja kehittäminen (SAVE-hanke). http://info.smedu.fi/kirjasto/sarja_B/B1_2024.pdf.

Savolainen, H., Kirchner, N. 1998. Toxicological mechanism of fire smoke. The International Journal of Rescue and Disaster Medicine 1 (1).

Schraiber, A., Barowy, A., Gaudet, B., Kimmerly, V. 2023. Considerations for Fire Service Response to Residential Battery Energy Storage System Incidents. https://www.iaff.org/wp-content/uploads/IAFF_DOE_ResidentialESSConsiderations_Final.pdf.

ScienceDaily. 2019. Scientists pinpoint cause of harmful dendrites and whiskers in lithium batteries. <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/10/191014111723.htm>.

Inrikesministeriet. 2023. Anvisning för räddningsdykning - och ytbärgning inom räddningsverksamheten. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/items/116dd901-90a9-4bcf-b5b1-5393e50ea334>.

SPPL. Finlands Brandbefälsförbund. 2022. Toimintaohje 12/2022. Sähköautopalo pysäköintilaitoksessa. https://sppl.fi/content/uploads/2023/08/OHJE_Sahkoautopalo-pysakointilaitoksessa_SPPL-1.pdf.

SHM. 2020. HTP-värden 2020: Koncentrationer som befunnits skadliga. Social- och hälsovårdsministeriets publikationer 2020: 25. Social- och hälsovårdsministeriet 2020, Helsingfors.

Sturm, P, Fößleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Franz Heindl, S., Krausbar, S., Heger, O. 2022. Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711222001722#sec3>.

Taeger, D., Koslitz, S., Käfferlein, H., Pelzl, T., Heinrich, B., Breuer, D., Weiss, T., Harth, V., Behrens, T., Brüning T. 2023. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons assessed by biomonitoring of fire-fighters during fire operations in Germany. International Journal of Hygiene and Environmental Health 248, 114110

Tokeva. <https://tokeva.fi/#/tervetuloa>.

Arbetshälsoinstitutet. Fluorivety ja fluorivetyhappo. <https://ova.ttl.fi/fluorivety-ja-fluorivetyhappo>.

Varone, C., Jutras, K., Molis, J. 2006. Report of the Investigation Committee into the Cyanide Poisoning of Providence Firefighters. <http://www.waterburyfire.org/Docs/providence.pdf>.

Willstrand, O., Bisschop, R. ja Rosenbergen, M. 2019. Fire Suppression Tests for Vehicle Battery Pack. https://www.researchgate.net/publication/337330881_Fire_Suppression_Tests_for_Vehicle_Battery_Pack.

Willstrand, O., Bisschop, R., Blomqvist, P., Temple, A., Anderson, J. 2020. RISE. Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf>.

Wingfors, H., Magnusson, R., Thors, L., Thunell, M. 2021. Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen – risker för hudupptag vid insatser. <https://rib.msb.se/filer/pdf/29507.pdf>.

Wingfors, H., Rattfelt Nyholm, J., Magnusson, R., Hammar Wijkmark C. 2018. Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. Annals of Work Exposures and Health, 62, No. 2, 221–231 doi: 10.1093/annweh/wxx097.

Wu, T., Chen, H., Wang Q., Sun, J. 2018. Comparison analysis on the thermal runaway of lithium-ion battery under two heating modes. Journal of Hazardous Materials 344, 15:733-741. [Comparison analysis on the thermal runaway of lithium-ion battery under two heating modes - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389418307741).

Albero. 2021. Summary of the results of the project ALBERO. Transport of alternatively operated vehicles on RoRo ferries. https://alberoprojekt.de/index.htm_files/all_over_Summary_ALBERO_Results_final.pdf



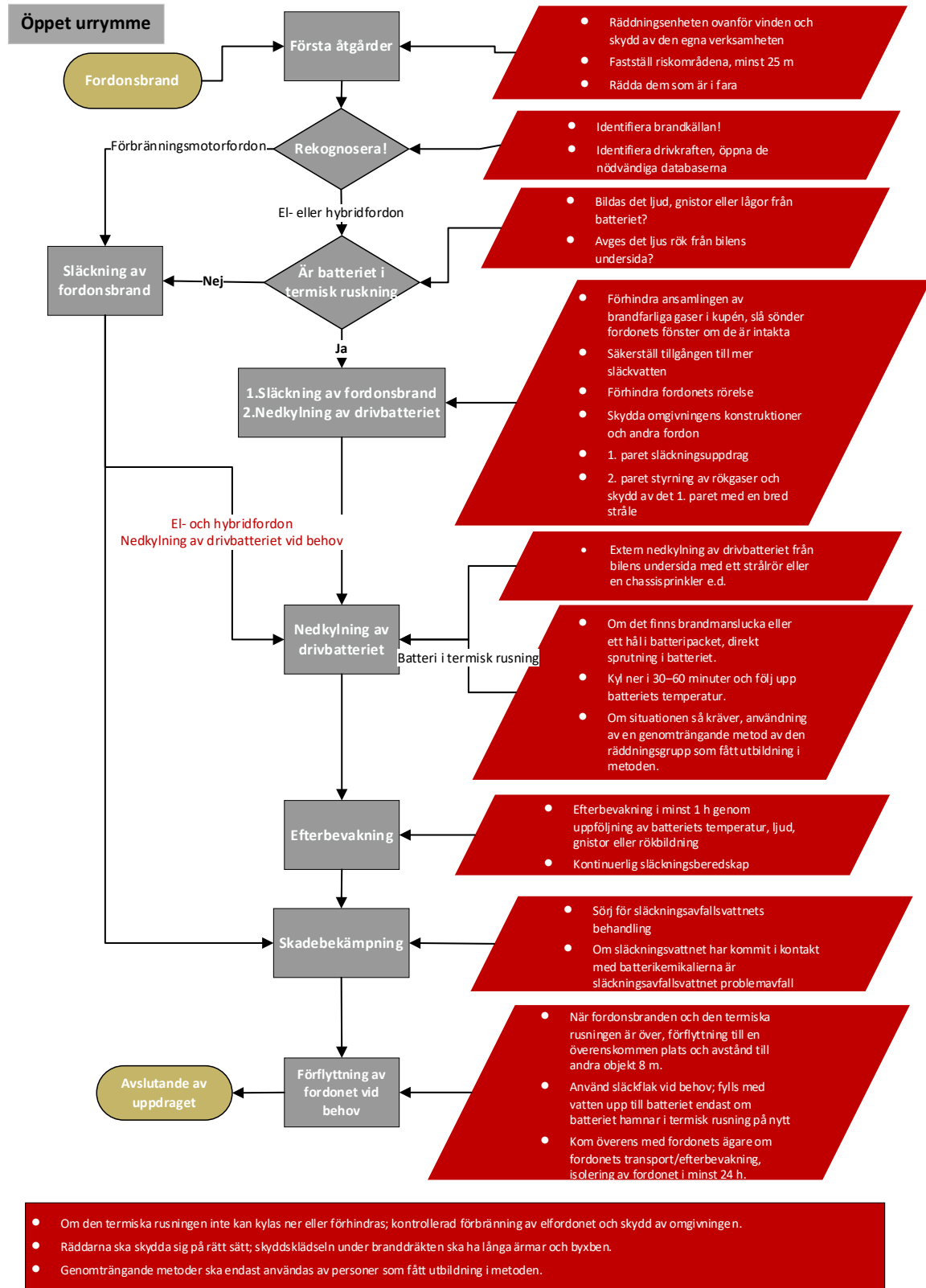
PELASTUSOPISTO

PSR
PALOSUOJELURAHASTO



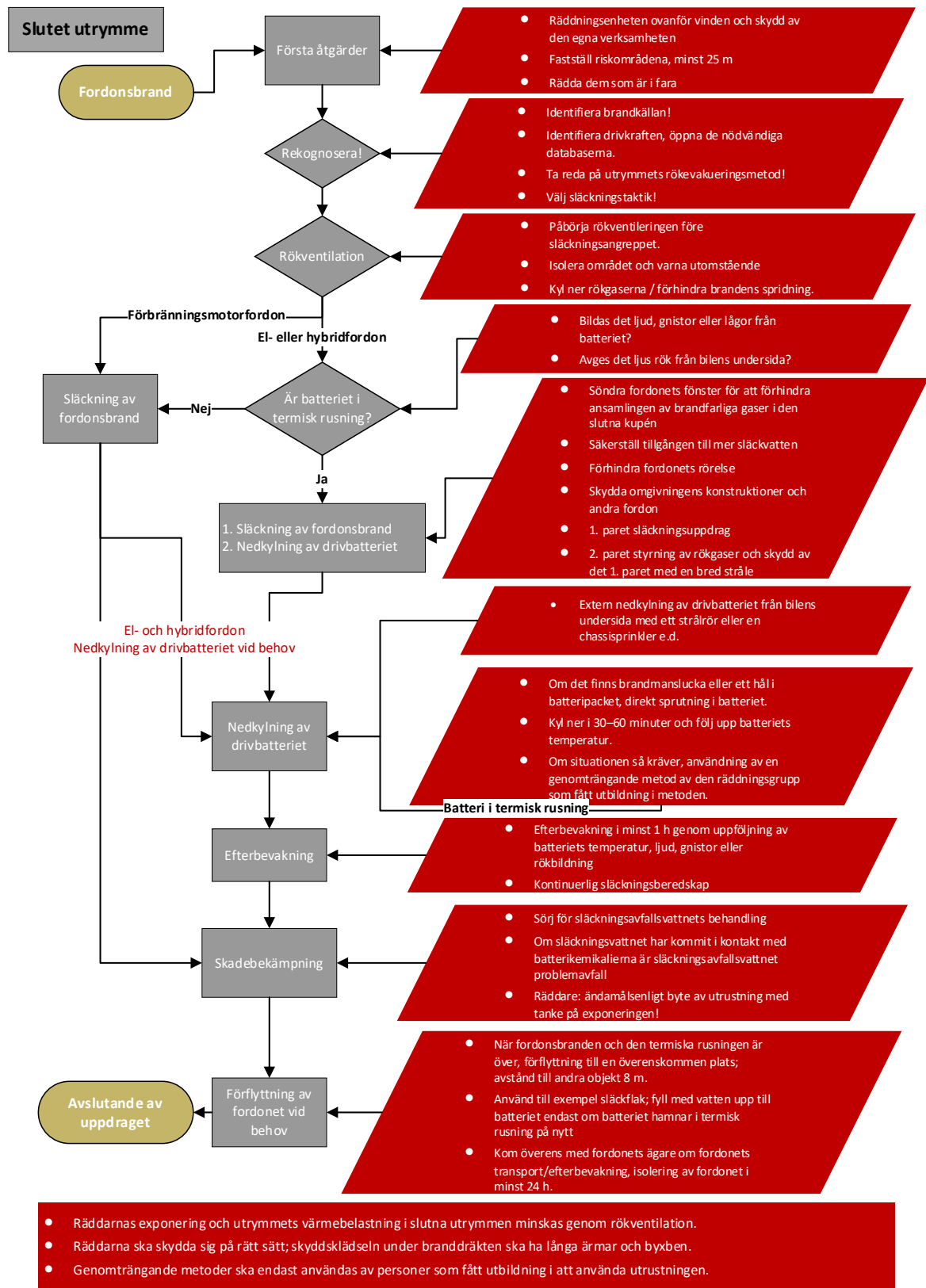
Bilagor

Bilaga 1. Informationsblad för elfordonsbrand, öppet utrymme

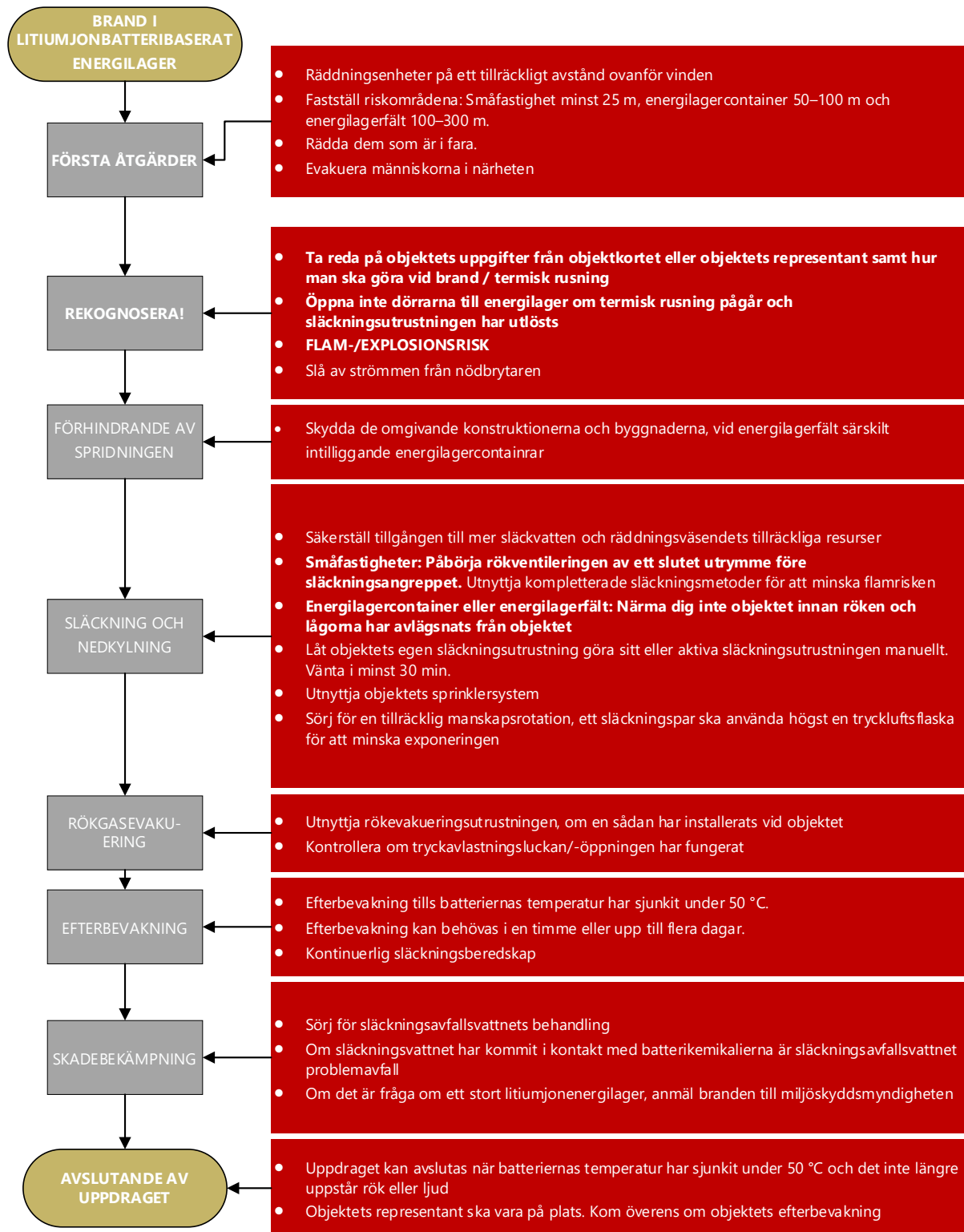




Bilaga 2. Informationsblad för elfordonsbrand, slutet utrymme

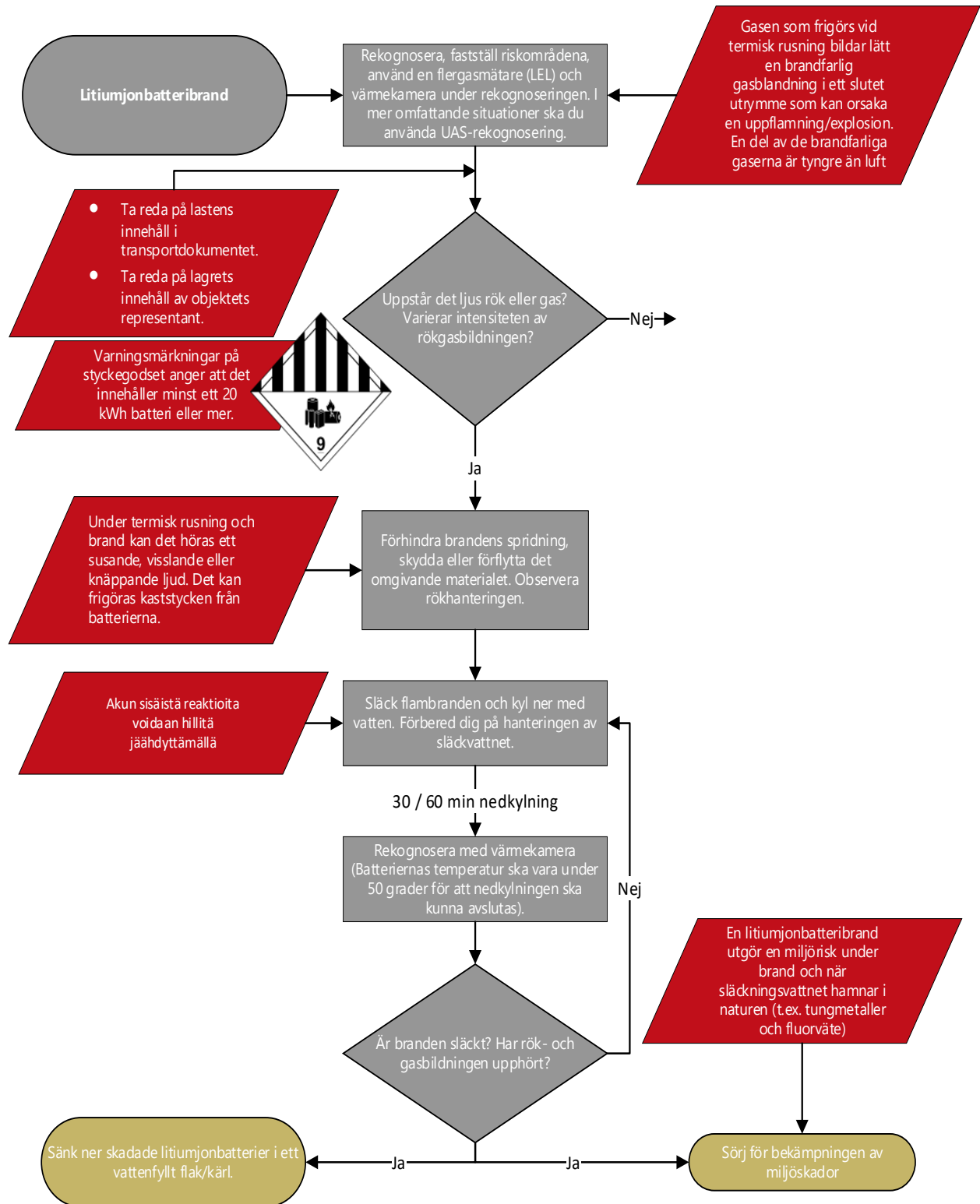


Bilaga 3. Informationsblad för brand i litiumjonbatteribaserat energilager



Bilaga 4. Litiumjonbatteribränder under transport eller lagring

Litiumjonbatteribränder under transport eller lagring.





Bilaga 4. Objektkortsmall för batterienergilager

Objektkortsmallen har redigerats utifrån objektkortet som designats av Iiro Wennberg. Den kan användas som mall när man skapar objektkort för batterienergilager. På varje sida anges vad som ska fyllas i under punkten i fråga. Objektkortet kan redigeras enligt räddningsverkets behov eller kombineras med befintliga objektkortmallar.

Det rekommenderas att objektkortet implementeras elektroniskt så att det är tillgängligt vid objektet till exempel med hjälp av en QR-kod.

Säkerhets- och räddningskort för batterienergilager för nödsituationer

Företagsuppgifter

objektets adress

QR-kod eller kortadress till det elektroniska objektkortet.



Sammandrag

Basuppgift

Kontaktuppgifter i nödsituationer	(person(er), telefonnummer)
Använd batteri-kemi	(NMC, LFP osv.)
Energilagrets storlek	xxx kWh (antal containrar på batterienergilagarfältet xx st.)
Miljöpåverkan	(beläget på grundvattenområde, närmaste bosättning)

Brandsäkerhet

Gasidentifiering och -hantering:	(genomförts med vilken metod och vilka gaser följs upp)
Explosions-/Flam-risk:	(föreligger en sådan och hur har risken minskats)
Varningssystem:	(kort beskrivning av varningssystemets funktion. Ljud, ljus osv.)
Släckningssystem	(kort beskrivning av släckningssystemet)
Distansövervakning:	(kort beskrivning av distansövervakningen och dess funktion)
Tillgång till släckvatten:	(kort beskrivning av hur tillgången ordnats)

Risker vid objektet

- (Förteckning över identifierade risker för räddningsväsendet, t.ex. flamrisk osv.)
- xx
- xx

Räddningsverkets första åtgärder vid objektet (anpassas enligt de lokala anvisningarna)

1	Kontrollera att strömmen har stängts av vid objektet före räddnings- eller släckningsåtgärder
2	Håll dig på avstånd från det brinnande objektet och rökgaserna
3	Isolera och avgränsa en brinnande container från andra intakta containrar med vattenstrålar
4	Kontakta objektets innehavare/representant



Innehåll

1. Identifiering av litiumjonbatteribaserade energilager och objektets byggnader
2. Tillträde till objektet och containrarna samt låsningar
3. Elsäkerhet och avstängning av strömmen
4. Vid eldsvåda
5. Gashantering
6. Mer information



1. Identifiering av litiumjonbatteribaserade energilager och objektets byggnader

Ange följande information:

- Hurdana energilager och hur många samt vilka andra byggnader i anslutning till batterienergilagret som finns på objektet. Fotografi samt konstruktionsbild av batterienergilagret.
- Lägg till en flygbild med batterienergilagren och övriga tillhörande byggnader markerade. Räddningsverkets köranvisningar och infartsled ska vara markerade på bilden.
 - a. Flygbilden ska ange nödbrytarens placering samt alla andra nödvändiga markeringar, såsom rökevakueringsluckan osv.

2. Tillträde till objektet och containrarna samt låsningar

Ange följande information:

- Hur områdets portar har låsts och hur räddningsverket kommer in på området
- **Vilka byggnader eller byggnadsdelar räddningsverket inte ska röra eller gå in i (spänningsförande utrymmen)**
 - Bifoga en bild av detta utrymme eller denna byggnad
- Lägg till en beskrivning om hur man kan närma sig containern/containrarna säkert efter en eldsvåda, förtydligande bilder vid behov.

3. Elsäkerhet och avstängning av strömmen

Ange följande information:

- Instruktioner om hur man kopplar bort batterienergilagret/-lagren eller batterienergilagerfältet från elnätet.
- Bifoga en bild av nödstoppsbrytarens placering i containern eller på batterienergilagerfältet, markera de punkter som räddningsverket inte får röra.
- Lägg till en beskrivning av systemets funktion om brandsäkerhetsutrustningen stänger av elen automatiskt.
- Lägg till nödvändiga anvisningar om elsäkerhet

4. Vid eldsvåda

Ange följande information:

- Objektets brandsäkerhetsutrustning (automatisk, aerosol, sprinkler, osv.)



- Bifoga bilder av brandsäkerhetsutrustningen
- Hur man har förhindrat spridningen av termisk rusning från en batterimodul till en annan
- Hur brandsäkerhetsutrustningen fungerar
 - **Hur man identifierar om brandsäkerhetsutrustningen har utlösts**
- Lägg till anvisningar om hur räddningsverket ska göra vid eldsvåda
 - Även anvisningar om vad man inte får göra vid eldsvådor
- Bifoga en kartbild med brandposter eller vattenstationer markerade. Ange också deras storlek xxx mm och vattenproduktion (l/min).

5. Gashantering

Ange följande information:

- Hur man har ordnat hanteringen av gaser som bildas vid termisk rusning, om det finns tryckutloppsöppning eller rökventilation
- Om det finns ett gasidentifieringssystem vid objektet

6. Mer information

Ange följande information:

- Annat att observera som inte passar under tidigare rubriker