



# SIGURANȚĂ ȘI TRANSPORT CERCETARE ÎN FOC



Siguranță a la incendiu a bateriilor litiu-ion în drumuri  
Vehicule

Roeland Bisschop, Ola Willstrand, Francine Amon,  
Max Rosengren

Raport RISE 2019:50



## Siguranță a la incendiu a bateriilor litiu-ion în drumuri Vehicule

Roeland Bisschop, Ola Willstrand, Francine Amon,  
Max Rosengren

# Abstract

Cererea de vehicule rutiere alimentate cu baterii litiu-ion continuă să crească în întreaga lume. Pe măsură ce mai multe dintre acestea devin operaționale pe tot globul, implicarea lor în accidente de circulație și incidente de incendiu este probabil să crească. Acest lucru poate deteriora bateria litiu-ion și, ulterior, poate reprezenta o amenințare pentru ocupanții și pentru cei care au intervenit, precum și pentru cei implicați în operațiunile post-accident. Există multe tipuri diferite de baterii litiu-ion, cu ambalaje și chimie diferite, dar și variații în modul în care sunt integrate în vehiculele moderne. A utiliza în siguranță bateriile litiu-ion înseamnă a menține celulele într-o fereastră definită de tensiune și temperatură. Aceste limite pot fi depășite ca urmare a unui accident sau a unor defectiuni. Acest raport oferă informații de bază privind bateriile litiu-ion și integrarea pachetului de baterii în vehicule. Sunt identificate pericolele de incendiu și sunt prezentate mijloacele de prevenire și control al acestora. Se discută posibilitatea unor sisteme fixe de stingere și detecție a incendiilor în vehiculele electrice.

Cuvinte cheie: baterii litiu-ion, vehicule electrice, riscuri de incendiu, manipulare după accident, risc Management, securitate la incendiu

Institutele de Cercetare RISE din Suedia AB

Raport RISE 2019:50  
ISBN: 978-91-88907-78-3  
Borås 2019

Imagine de copertă : un colaj de patru imagini diferite. Arderea unui camion greu pe o autostradă , arderea unui autoturism într-o zonă urbană , autoturisme în trafic dens, autobuz care circulă printr-o zonă urbană .

## Mulțumiri

Proiectul (Nr. 45629-1) este finanțat de programul suedez FFI (Strategic Vehicle Research and Innovation) care este un parteneriat între guvernul suedez și industria auto. Partenerii acestui proiect sunt RISE Research Institutes din Suedia, Scania, Volvo Buses, SFVF (Asociația Suedeză a Atelierelor de Vehicule), Fogmaker International și Dafo Vehicle Fire Protection. Tot sprijinul din cadrul proiectului este recunoscut.

# Conținut

Rezumat .....	2
Mulțumiri .....	3
Conținut .....	4
1. Introducere .....	6
2 Vehicule rutiere electrice.....	7
2.1 Statistici.....	7
2.2 Configurațiile vehiculului .....	10
2.3 Încărcarea prin plug-in .....	14
3 baterii litiu-ion .....	15
3.1 Ambalare.....	15
3.2 Celula electrochimică .....	17
3.2.1 Electrolitul .....	18
3.2.2 Separator .....	19
3.3 Bateriile litiu-ion în vehiculele rutiere.....	20
3.3.1 Pachete de baterii, module și celule litiu-ion .....	20
3.3.2 Autoturisme cu baterii litiu-ion .....	21
3.3.3 Vehicule grele cu baterii litiu-ion .....	26
4 Riscuri de incendiu asociate cu bateriile litiu-ion .....	30
4.1 Evadarea termică .....	30
4.2 Cauzele defectării bateriei.....	32
4.2.1 Scurtcircuit intern al celulei.....	33
4.2.2 Deformarea mecanică și impactul .....	34
4.2.3 Încărcare .....	36
4.2.4 Descarcare.....	37
4.2.5 Scurtcircuit extern .....	38
4.2.6 Expunerea la temperaturi ridicate .....	39
4.3 Pericole și factori de risc.....	40
4.3.1 Chimie .....	41
4.3.2 Starea de încărcare și capacitatea celulei .....	42
4.3.3 Propagarea termică .....	44
4.4 Provocări pentru respondenți .....	45
4.4.1 Identificarea vehiculelor electrice .....	45
4.4.2 Toxicitatea gazelor evacuate și a scurgerii apei de incendiu.....	46
4.4.3 Materiale compozite cu fibre.....	47
5 Ciocniri și incendii.....	48
5.1 Incidente documentate .....	48

5.1.1	Tendințe și statistici .....	50
5.2	Manipularea vehiculelor electrice avariate.....	51
5.2.1	Pericole de incendiu .....	52
5.2.2	Pericole electrice .....	56
6	Soluții de siguranță .....	59
6.1	O viziune holistică .....	59
6.1.1	Nivelul celulei bateriei.....	60
6.1.2	Sistemul de management al bateriei (BMS).....	60
6.1.3	Nivelul modului bateriei .....	62
6.1.4	Nivelul bateriei.....	62
6.1.5	Nivelul vehiculului .....	63
6.2	Sisteme fixe de detectare și suprimare a incendiilor .....	64
6.2.1	Detectare .....	64
6.2.2	Suprimare.....	65
6.3	Atelier de identificare a pericolelor.....	68
6.3.1	Metoda .....	68
6.3.2	Rezultate .....	69
7	Concluzii .....	71
8	Referințe .....	72
Anexa A,	Documentația de la atelier .....	91
	Prevenirea.....	91
	Recuperare.....	98
Anexa B,	Participanții la atelier .....	104

# 1 Introducere

Cererea de vehicule electrice (EV) continuă să crească în întreaga lume. Aceasta este în mare parte din cauza reglementărilor legate de calitatea aerului și problemele de mediu în combinație cu cererea consumatorilor și sisteme de stocare a energiei reîncărcabile mai ieftine. Mai mult, dezvoltări semnificative au făcut ca aceste sisteme de stocare, în special cele aparținând familiei litiu-ion, să fie potrivite pentru aplicații auto [1].

Pe măsură ce mai multe vehicule rutiere alimentate cu baterii litiu-ion (LIB) devin operaționale pe tot globul, este probabil ca implicarea lor în accidente de circulație să crească. În ceea ce privește combustibilul convențional vehiculelor, sistemul de stocare a energiei la bord este un factor de risc pentru cei implicați în accidente sau care răspund la acestea. În timp ce riscurile asociate vehiculelor convenționale sunt bine definite și general acceptate de societate; sunt necesare timp și educație pentru a atinge acest nivel de confort pentru vehiculele rutiere cu motor LIB. Când vine vorba de vehicule electrice, există riscul ca LIB se poate aprinde după o perioadă semnificativă de timp după ce a fost deteriorat sau se poate reaprinde după ce a fost stins. Această chestiune nu îi privește doar pe pompieri, ci și pe cei implicați în manipularea vehiculelor electrice avariate prin remorcare, atelier, depozit de deșeuri sau activități de reciclare.

Acest raport RISE, parte a proiectului actual (nr. 45629-1), abordează aceste și alte preocupări printr-o revizuire a literaturii disponibile. Sunt prezentate informații fundamentale despre VE și LIB-uri și sunt investigate aspecte legate de riscurile de incendiu și soluțiile de siguranță. Aceasta oferă o bază științifică celor care încearcă să-și dezvolte propriile linii directoare și rutine pentru gestionarea riscurilor asociate cu LIB în vehiculele rutiere.

Proiectul actual va continua să investigheze și să dezvolte rutine relevante de gestionare a riscurilor și să evalueze sistemele de stingere a incendiilor și proceduri de urgență. Pentru acesta din urmă, vor fi efectuate experimente la scară completă pentru a evalua dacă pot spori siguranța atunci când sunt integrate în LIB-uri.

## 2 Vehicule rutiere electrice

În ultimii ani a existat o creștere continuă și puternică a numărului de vehicule electrice pe drumurile noastre. Acest lucru se datorează în mare măsură reglementărilor legate de calitatea aerului și problemele de mediu, în combinație cu cererea consumatorilor și sisteme de stocare a energiei reîncărcabile mai ieftine. Mai mult, dezvoltări semnificative au făcut ca aceste sisteme de stocare, în special cele aparținând familiei litiu-ion, să fie potrivite pentru aplicații auto [1].

Cu toate acestea, trecerea la mijloace de transport și infrastructură noi și diferite este însoțită de noi riscuri. Prin urmare, este important să aveți o înțelegere de bază despre aceste vehicule, deoarece implicarea lor în accidente de circulație este probabil să crească. Acest capitol se adresează aceasta prin furnizarea de informații de bază necesare pentru înțelegerea vehiculelor electrice. Subiectele specifice includ statistici legate de numărul tot mai mare de vehicule electrice, precum și principiile de funcționare și mecanismele de alimentare ale acestora. Împreună, oferă o perspectivă de bază asupra sferei de penetrare a pieței lor și a caracteristicilor unice care îi deosebesc de alte vehicule.

### 2.1 Statistici

Datele de la Agenția Internațională pentru Energie până în 2017, prezentate în Figura 1, arată că majoritatea mașinilor de pasageri din lume pot fi găsite în Republica Populară Chineză (China), Uniunea Europeană (UE) și Statele Unite ale Americii. (SUA) [2]. În 2017, aproximativ 40 % din toate mașinile electrice de pasageri din lume puteau fi găsite circulând în China. Pe locul al doilea se află UE, cu aproximativ 870 000 de mașini electrice de pasageri. Aceasta este relativ aproape de SUA, unde au fost înregistrate 760 000 de mașini electrice pentru pasageri pentru același an.

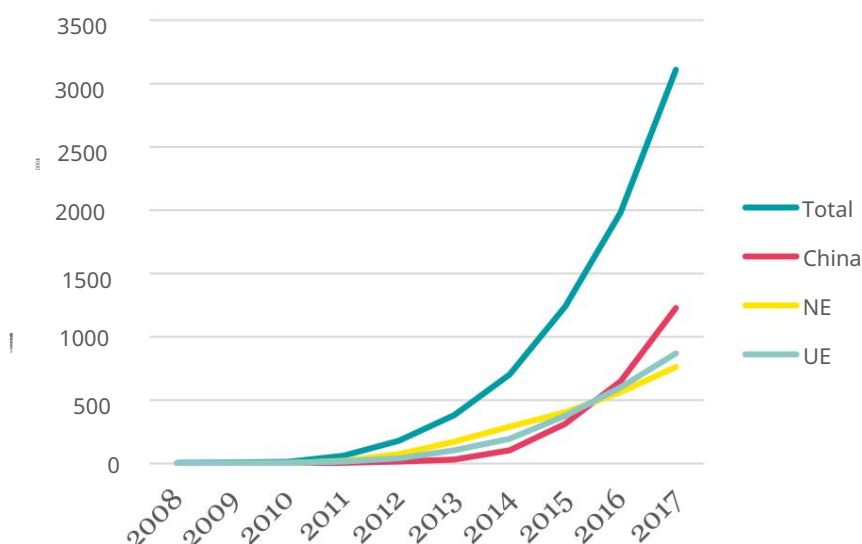


Figura 1 Utilizarea mașinilor electrice de pasageri este dominată de China, SUA și UE [2].



Figura 2 arată modul în care numărul de mașini electrice de pasageri din țările nordice se compară cu restul UE, conform Observatorului European de Combustibili Alternativi [3]. Împreună, țările nordice reprezintă cea mai mare piață a vehiculelor electrice din UE, majoritatea achizițiilor fiind efectuate în Norvegia și Suedia [4]. Țara care iese cel mai mult în evidență este Norvegia.

În 2018, aproximativ jumătate din toate mașinile de pasageri vândute în Norvegia au fost electrice [3]. Aceasta este mult mai mare decât în alte țări nordice, unde mașinile electrice vândute în Suedia, Danemarca, Finlanda și Islanda au reprezentat aproximativ 8%, 2%, 5% și, respectiv, 20% din toate mașinile noi vândute în 2018 [3].

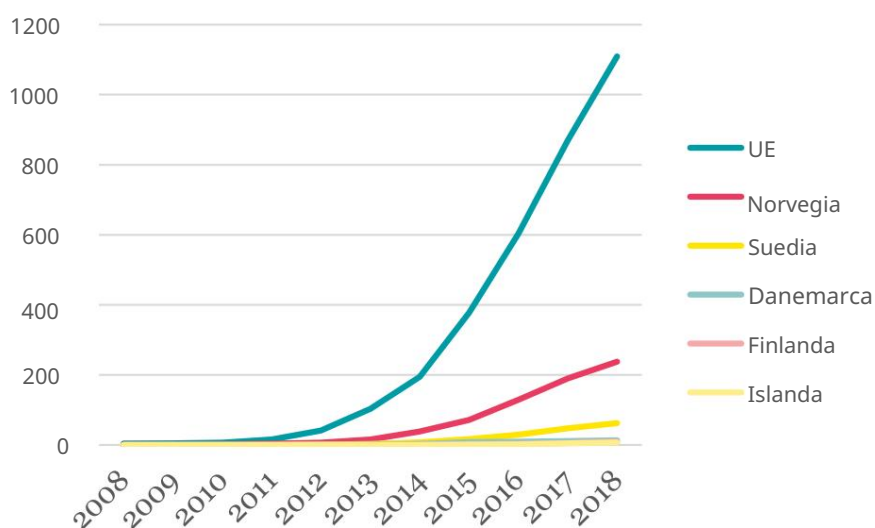


Figura 2 Creșterea mașinilor electrice de pasageri în Europa și țările nordice [3]

Alte tipuri de vehicule, cum ar fi autobuzele, se confruntă cu tendințe similare celor observate pentru autoturisme, vezi Figura 3. În prezent, această schimbare este evidentă în special pentru soluțiile de transport public din orașele mari. Factorii care influențează acest lucru sunt costul și greutatea pachetelor de baterii litiu-ion. Mai exact, bateriile mai mici pot fi folosite în traficul local și urban, datorită rutelor scurte și opririlor frecvente. În schimb, autobuzele pe distanțe lungi, cum ar fi autocarele, necesită baterii foarte mari și grele sau necesită încărcare continuă. Prin urmare, nu este surprinzător faptul că creșterea actuală a fost cea mai semnificativă în zonele metropolitane.

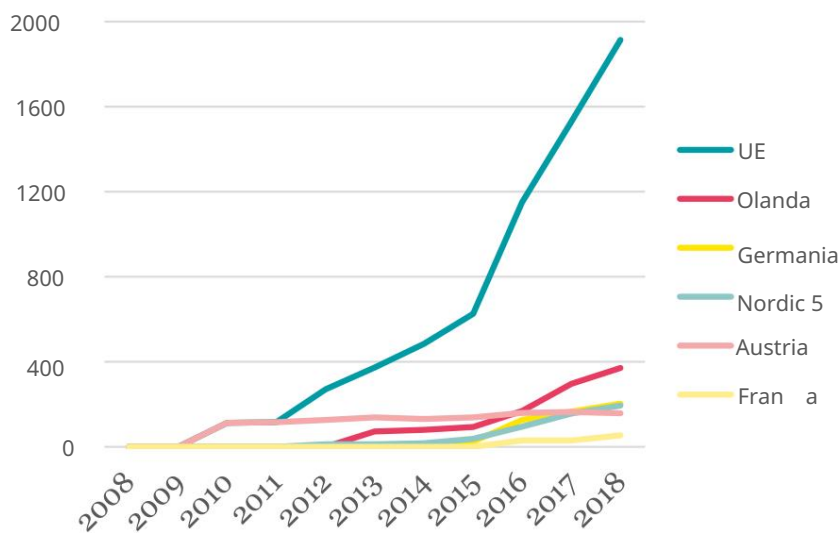


Figura 3 Numărul de autobuze electrice care funcționează în Uniunea Europeană [5].

Tendințele similare se observă atunci când vine vorba de transportul de mărfuri cu camioane electrice grele. Sistemele de stocare a energiei reînnoșabile, cum ar fi bateriile cu litiu-ion, sunt încă mai puțin dense din punct de vedere energetic decât combustibilii fosili<sup>1</sup>. Aceasta înseamnă că este necesară o infrastructură semnificativă de încărcare și/sau o dezvoltare în tehnologia bateriilor pentru a susține funcționarea continuă pe distanțe lungi. În prezent, sunt mai potrivite pentru livrarea pe distanțe scurte în zonele metropolitane. Un bun exemplu sunt camioanele grele folosite pentru a livra mărfuri în zonele metropolitane sau servicii către și dinspre porturi și stații feroviare. De obicei, aceste camioane grele parcurg distanțe scurte cu opriri frecvente pentru încărcare, descărcare și încărcare. Acest lucru îi face candidați potriviți pentru electrificare.

Alte aspecte sunt cerințele din ce în ce mai stricte privind emisiile și zgomotul la vehicule.

Pentru a pătrunde în unele nuclee urbane, vehiculele trebuie să aibă emisii scăzute, în timp ce emisiile reduse de zgomot de la un camion electric ar face posibilă funcționarea liniștită pe timp de noapte, ceea ce este foarte atractiv pentru, de exemplu, colectorii de gunoi și distribuitorii de ultima milă. În prezent, pe piața actuală sunt operaționale doar câteva camioane grele electrice, cu toate acestea, așa se vede în Figura 3. Este posibil ca acest lucru să se schimbe, deoarece mai multe camioane electrice grele urmează să fie lansate în acest an, așa cum se vede în Tabelul 1.

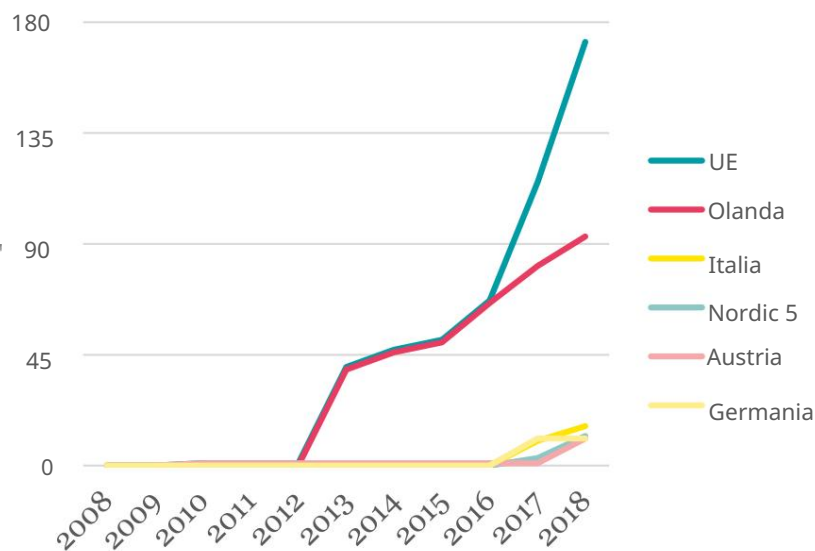


Figura 4 Numărul de camioane electrice grele care operează în Uniunea Europeană [6]

<sup>1</sup> Pentru a da un exemplu, o celulă de baterie comercială litiu-ion de tip LCO cu o tensiune nominală de 3,7 V și o densitate de energie de 200 mAh/g are o capacitate specifică de 0,74 kWh/kg [1]. Cea de la benzină și motorină este în jur de 13 kWh/kg [250].

Tabelul 1 Camioane electrice grele care nu au fost încă lansate.

Camioane Grele Electrice	Utilizare/Rol	Disponibilitate
Scania L 320 6x2 PHEV [7]	Urban, distribuție, deseuri, construcții	Lansare pe piață , 2019
DAF LF Electric [8]	Urban, ușoară	Test de teren, 2018/2019
DAF CF Electric [8]	Urban, serviciu mediu	Test de teren, 2018/2019
DAF CF Hybrid [8]	Urban, gama medie	Test de teren, 2018/2019
Volvo FL Electric [9]	Urban	Lansare pe piață , 2019
Volvo FE Electric [10]	Urban, încărcături	Lansare pe piață , 2019
Mack LR Electric [11]	grele Urban, colectare	Test de teren, 2019
Volvo Vera [12]	deșeurii Porturi de transport și centre logistice, călători scurte autonome, repetitive, încărcături grele.	Necunoscut

## 2.2 Configurații ale vehiculului

Există mai multe avantaje semnificative cu electrificarea. S-au dovedit că reduc emisiile și funcționează mai eficient decât vehiculele conduse cu combustibili fosili. Problema majoră cu sistemele de propulsie convenționale constă în sursa de energie, motorul cu ardere internă.

Chiar și cele mai avansate tipuri pentru aplicații auto funcționează sub 50 % eficiență [13] [14]. Mașinile electrice (EM), totuși, funcționează cu o eficiență de aproximativ 95 % [13].

Alte tehnologii, cum ar fi frânarea regenerativă, oferă beneficii suplimentare de eficiență electrică rii. Un număr semnificativ de vehicule au fost hibridizate în acest scop.

Când vehiculul frânează, energia este generată și stocată într-o baterie mică de bord. Această energie este utilizată ulterior pentru a alimenta vehiculul. Astfel de vehicule sunt denumite în mod obișnuit hibridi blânzi.

Există multe opțiuni diferite pentru a conduce total sau parțial cu energie electrică. În funcție de definiția unui vehicul electric, acestea pot fi hibride, hibride plug-in, cu autonomie extinsă, electrice cu baterie sau electrice cu pile de combustibil. O prezentare generală a acestora și abrevierile lor comune pot fi văzute mai jos în Tabelul 2. Rețineți că aceste clasificări se reflectă în principal asupra modului în care este configurat sistemul de propulsie al unui vehicul. În acest studiu, vehiculele care au un grup motopropulsor hibrid sau complet electric sunt denumite vehicule electrice (EV).

Tabelul 3 prezintă un vehicul alimentat convențional și condus. Acest tip de vehicul are la bord un rezervor de combustibil. Combustibilul este pompat în gheață și arde în cilindrii acestuia. Ulterior, energia de ardere propulsează o manivelă, care antrenează un volant mare conectat la o transmisie, care transformă puterea în viteză și forța necesare conducerii vehiculului.

Procedând astfel, energia chimică a combustibilului a fost convertită în lucru mecanic.

Procesul de ardere a combustibilului pentru a genera lucru mecanic are o eficiență scăzută. Eficiența ICE-urilor actuale pentru autoturisme se situează în intervalul 30-36% [14]. ICE-urile foarte eficiente alimentate cu motorină pot atinge 39-47% [13] [14].

Cantitatea de combustibil stocată în autoturismele și vehiculele grele este în mod normal în intervalul 50-100 L și, respectiv, 400-1000 L [15]. La autoturisme rezervorul de combustibil este normal plasat lângă puntea spate. Acest lucru oferă protecție împotriva impactului, ceea ce este important deoarece majoritatea combustibililor convenționali sunt extrem de inflamabili.

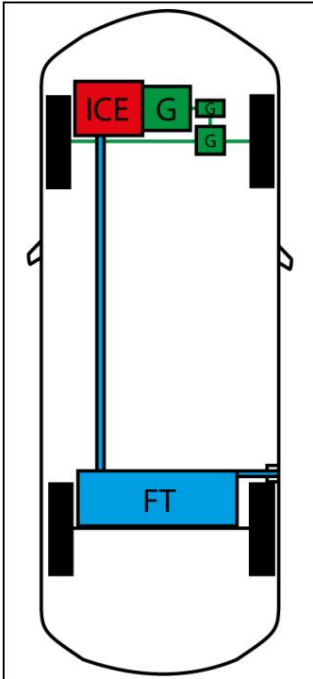






Tabelul 2 Clasificarea vehiculelor rutiere electrice.

Vehicul	Motorul 1. Acronimul motorului 2			Electric Intervalul 2 [km] [16]	Sursa de putere
Vehicul conventional	Intern combustie motor (ICE)	Nici unul	ICEV	0	Combustibil fosil
Vehicul electric hibrid	GHEATA	Mașină electrică (ÎN)	ÎMPREUNĂ	0 la 10	Combustibil fosil combinat cu plumb-acid, NiMH sau Li-ion baterie
Vehicul electric hibrid plug-in	Gheata sau masina electrica (ÎN)	EM sau ICE	PHEV	20 până la 85	Combustibil fosil combinat cu baterie Li-ion
Vehicul electric cu autonomie extinsa	ÎN	GHEATA	REEV sau PHEV	75-145	Combustibil fosil combinat cu baterie Li-ion
Vehicul electric cu baterie	ÎN	Nici unul	BEV	80 până la 400	baterie Li-ion
Vehicul electric cu pile de combustibil	ÎN	Nici unul	FCEV	160 până la 500	Pilă de combustie, poate fi combinată cu baterie Li-ion sau supercondensator

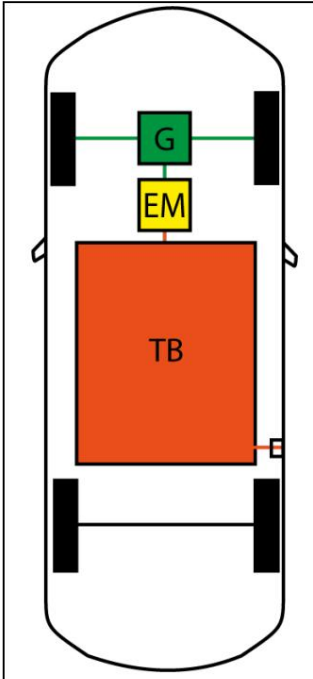




BEV nu consumă combustibil fosil și nu emite gaze de eșapament. Sistemul de propulsie BEV constă în principal dintr-o baterie de tracțiune, o mașină electrică și un sistem de transmisie sau de transmisie finală. Acest lucru poate fi văzut în Tabelul 4. În centrul BEV se află o baterie de tracțiune cu litiu-ion. Acestea trebuie să fie de dimensiuni semnificative pentru a atinge autonomie suficiente. Ocupă mult mai mult spațiu decât rezervoarele de combustibil, deoarece bateriile cu litiu-ion generează mai puțină energie pe unitate de greutate decât benzina sau motorina. Mai exact, 0,1-0,2 kWh/kg față de mai mult de 10 kWh/kg pentru combustibilii convenționali. Aceasta înseamnă, de asemenea, că TB reprezintă o mare parte din greutatea totală a vehiculelor. De exemplu, acumulatorul din Tesla Model S 85 reprezintă 30% din greutatea sa totală [17].

<sup>2</sup> Autonomie de rulare electrică indicativă pentru autoturisme.

Tabelul 3 Configurația ICE și componentele sistemului

	Sistem	Aplicație	
 <p>Figura 5 Configurația ICE</p>		<p>Combustibilul arde în cilindrii ICE, propulsând o manivelă, care transferă energia de ardere la lucrul mecanic. Eficiență &lt; 50% [13] [14].</p>	
		<p>Angrenaj</p>	<p>Transferă lucrări mecanice. Angrenajul se referă la transmisie, diferențial, transmisie divizată și orice alte dispozitive care transferă puterea mecanică.</p>
		<p>Mecanic În mod obișnuit, arborii și osiile se rotesc datorită unui cuplu aplicat.</p>	
		<p>Rezervor de combustibil</p>	<p>În general, pentru autoturismele, rezervoarele de combustibil pot stoca între 50 și 100 L de combustibil, în timp ce sunt grele. Vehiculele precum camioanele și autobuzele stochează 400 până la 1000 L de combustibil [15].</p>
		<p>Linia de combustibil</p>	<p>De obicei, sub formă de furtunuri de cauciuc între rite.</p>
	<p>Port de combustibil</p>	<p>Port care se conectează la echipamentul de alimentare pentru a reumple rezervorul de combustibil.</p>	

Tabelul 4 Configurația BEV și componentele sistemului

	Sistem	Aplicație	
 <p>Figura 6 Configurația BEV</p>		<p>Stocază energia electrică care poate fi eliberată și pusă la dispoziție pentru a alimenta vehiculul. Bateriile litiu-ion (LIB) sunt opțiunea preferată pentru bateriile de tracțiune în PHEV și BEV.</p>	
		<p>Electric Folosit ca motor de tracțiune și uneori ca mașină generatoare [18]. Eficiență ~95% [13].</p>	
		<p>Înaltă și electronica de putere, precum și între tensiune electronica de putere și mașinile electrice. Cablurile lor greutatea totală poate fi de până la 10 kg în vehiculele hibride de pasageri [18].</p>	
		<p>Rețelele electrice furnizează curent alternativ, iar bateriile pot stoca doar curent continuu. Bateria electrică trebuie astfel convertită. Acest lucru se realizează prin încărcător fie un convertor AC/DC la bord, fie printr-un convertor integrat în stația de încărcare în sine [18].</p>	

În industria auto, hibridii sunt vehicule care au un grup motopropulsor electric, precum și un sistem ICE. Acest lucru permite economii semnificative de combustibil. Acesta permite frânarea regenerativă, motoare mai mici și condiții de funcționare mai eficiente, precum și capacitatea de oprire a motorului la ralanti sau la condiții de sarcină scăzută [17].

Există diferite tipuri de hibridi pe piață. Ele pot fi clasificate ca hibridi serie, paraleli sau serie/paraleli. Fiecare dintre acestea are avantajele și dezavantajele sale. Hibridii de serie funcționează pe mașina electrică. Au un TBC mare și un CI mic [17]. După cum se vede în Figura 7, nu există nicio legătură mecanică între ICE și roți. Acest lucru permite ICE să funcționeze continuu la cele mai eficiente turații ale motorului.

Hibridii paraleli au opțiunea de a fi alimentați de EM sau ICE independent sau de a le folosi simultan, vezi Figura 8. În acest caz, există o conexiune directă între ICE, transmisie și transmisia finală. Aceste condiții oferă o conducere eficientă la viteze pe autostradă. De obicei, hibridii paraleli au un ICE mare și un TB mic [17].

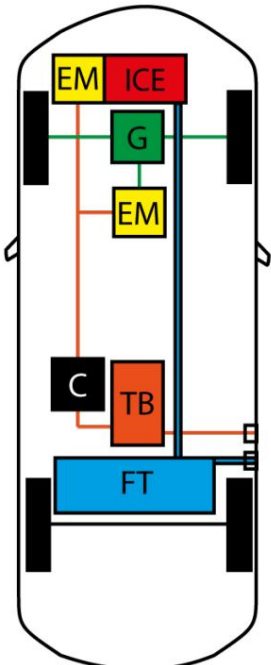
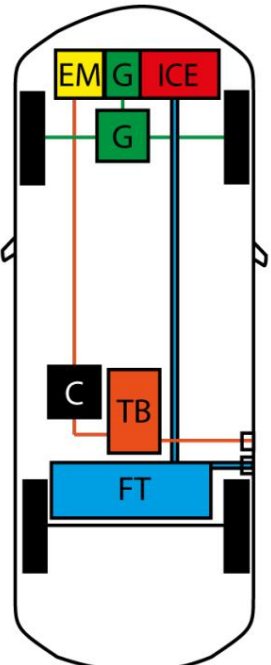
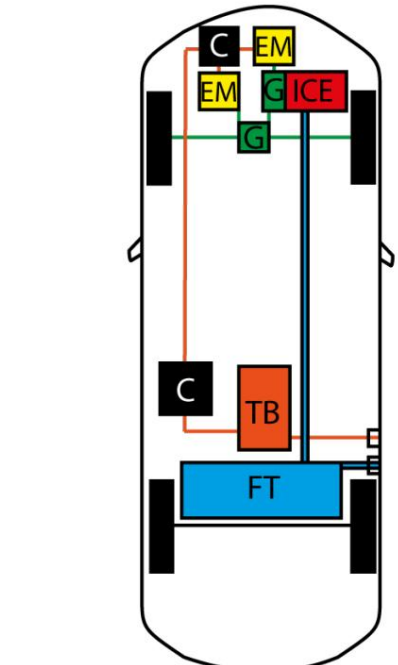

Hibridii split, denumiți și serie/paralel, combină cele mai bune dintre aceste configurații.

După cum se poate vedea din Figura 9, acestea permit ca vehiculele să fie alimentate direct de ICE, cu ajutorul EM, sau ca ICE să alimenteze un generator care alimentează EM. Această flexibilitate mai mare vine, în general, la un cost mai mare și cu un design de vehicul mai complex.

Hibridii plug-in (PHEV) urmează aceste principii în aceeași măsură pe care o fac și HEV-urile. Principala diferență este că PHEV-urile au baterii mai mari și, prin urmare, autonomie de rulare electrică mai mare.

Sistemele de generare a energiei, cum ar fi frânarea regenerativă, nu sunt suficiente pentru a încărcă aceste baterii mari, prin urmare este necesară încărcarea externă.

Tabelul 5 Configurații hibride și componente ale sistemului

 <p>Figura 7 Hibrid în serie</p>	 <p>Figura 8 Hibrid paralel</p>	 <p>Figura 9 Split hibrid</p>
	<p>Convertoare de putere de propulsie</p>	<p>Convertoare de putere de la AC/DC sau DC/AC. Convertorul DC/AC este situat între baterie și motorul electric. Vehiculele hibride sunt, de asemenea, echipate cu un convertor AC/DC între generator și bateria de tracțiune [18].</p>
	<p>DC/DC convertor</p>	<p>Convertor care se conectează la o baterie de 12V (autoturisme) care alimentează echipamentele auxiliare. La vehiculele electrice, această baterie este încărcată de bateria de tracțiune [18].</p>

## 2.3 Încărcare prin plug-in

În ceea ce privește vehiculele convenționale, autonomia de rulare a vehiculelor electrice este limitată de combustibilul său. În acest caz însă, în loc să umpleți rezervorul de combustibil cu lichid, bateria trebuie să fie alimentată cu energie electrică. Există trei moduri diferite de a face acest lucru, și anume schimbând bateria cu una complet încărcată, încărcând fără fir sau încărcând prin plug-in.

Încărcarea prin plug-in este utilizată pentru a încălca marea majoritate a vehiculelor electrice din Europa [16]. Încărcarea are loc prin conectarea fizică a unui cablu de alimentare de la EV la rețea. Există un standard internațional pentru sistemele de încărcare conductivă pentru vehicule electrice, și anume IEC 61851. Acest standard definește patru moduri de încărcare.

Primul mod de încărcare, modul 1, consideră că EV este conectat la rețea folosind prize și cabluri uzuale de uz casnic. Curentul care este furnizat este foarte limitat [16]. În plus, nu există sisteme de protecție [19]. Prin urmare, nu este foarte relevant pentru vehiculele electrice și este folosit mai frecvent pentru a încălca vehicule ușoare, de exemplu, biciclete și scutere [20].

Încărcarea în modul 2 ia în considerare și încărcarea prin prize de uz casnic. Acest tip de încărcare este considerat lent sau semi-rapid [16]. Un cablu special este utilizat cu echipamentul de încărcare încorporat iar acest cablu este echipat cu o așă a-numită funcție pilot și un întrerupător. Funcția pilot detectează prezența vehiculului, comunică curentul maxim admisibil de încărcare și controlează încărcarea.

Al treilea mod de încărcare conectează EV-ul la o stație de încărcare printr-o priză specială. Acest tip de încărcare este conceput special pentru vehicule electrice și permite încărcarea la niveluri de putere mai mari. În acest caz există comunicare între vehicul și stația de încărcare dedicată, nu cu cablul. Acest tip de încărcare are un grad ridicat de siguranță deoarece aceste sisteme de protecție sunt instalate chiar în stația de încărcare. Printre altele, sursa de alimentare trebuie să îndeplinească cerințele stabilite de încărcătorul de bord și cele ale stației de încărcare. Dacă nu, nu există transfer de energie între stația de încărcare și EV.

Modul final de încărcare și cel mai rapid este denumit Modul 4. Aici EV-ul este conectat la rețeaua electrică printr-un încărcător în interiorul unei stații de încărcare externe [21]. În acest caz, funcțiile de control și protecție precum și cablul de încărcare sunt instalate permanent în stația de încărcare. Stația de încărcare în sine convertește puterea AC în putere DC în interiorul stației de încărcare. Pentru celelalte moduri de încărcare, această conversie se realizează cu

Convertoare AC/DC care se află în interiorul EV. Ca atare, Modul 1 – 3 este uneori denumit încărcare la bord, în timp ce Modul 4 este numit încărcare externă. Rețineți că nu toate vehiculele electrice permit încărcarea DC.

### 3 Baterii litiu-ion

Energia bateriilor litiu-ion (LIB) este găzduită în celulele individuale ale bateriilor. Fiecare celulă are un terminal pozitiv și unul negativ. Aceste terminale sunt conectate la o folie metalică subțire care a fost acoperită cu material electrochimic activ. Materialul activ pentru partea negativă și pozitivă a bateriei este denumit material anod și, respectiv, catod. Când bateria este descărcată, electricitatea curge în anod și iese din catod, vezi Figura 10.

În funcție de geometria celulei, colectoarele de curent sunt presate sau laminate împreună cu separatoarele de polimer și scufundate în electrolit. Acesta este un mediu conductiv electric care permite transportul ionilor de litiu dintr-o parte în alta. Transferul ionilor de litiu dintr-o parte în cealaltă, printr-un material de separare, are ca rezultat reacții chimice care generează un curent electric. Direcția curentului depinde dacă bateria este descărcată sau încărcată. În cazul încărcării, aceasta curge de la anod la catod, vezi Figura 10. Opusul se întâmplă când bateria este descărcată.

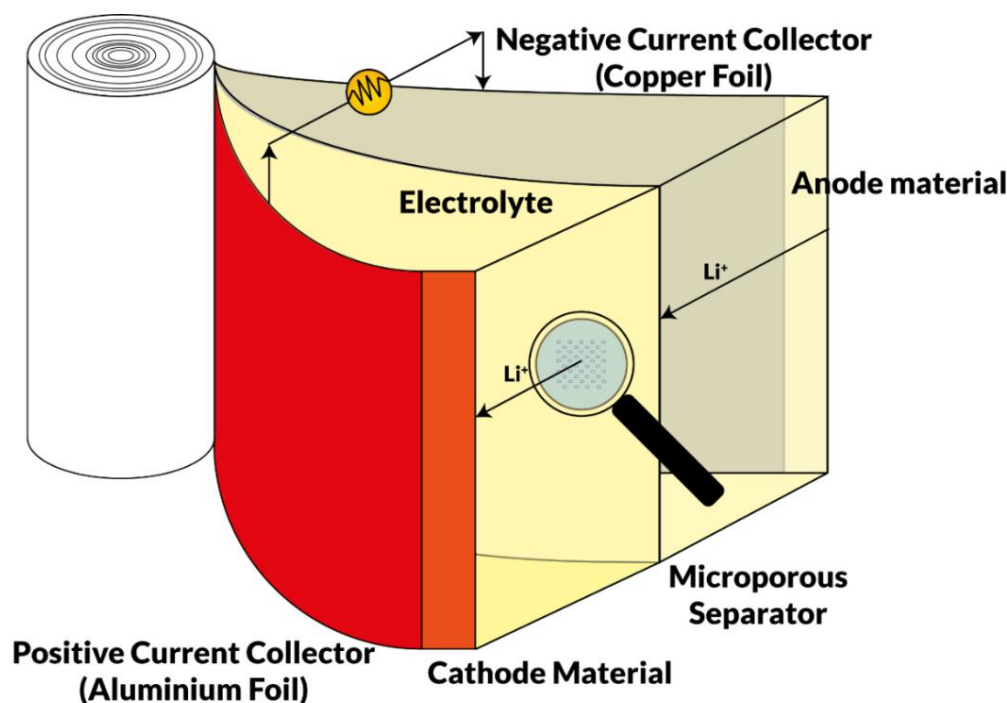


Figura 10 Principiul de funcționare al unei baterii litiu-ion când este descărcată.

#### 3.1 Ambalare

Materialul de ambalare este folosit pentru a proteja componentele electrochimice ale celulei bateriei cu litiu-ion. Acest ambalaj poate fi din diferite materiale și forme. Ele se disting de obicei prin forma pachetului. Ca atare, celulele LIB sunt uneori denumite celule cilindrice, prismatice sau în pungă. Acestea sunt prezentate în Figura 11.





Cilindric

Pungă

Prismatic

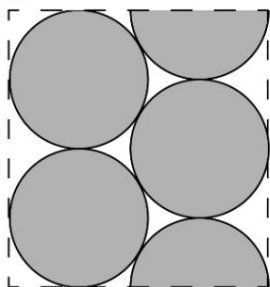
Figura 11 Tipuri de carcasă exterioară care sunt comune pentru celulele bateriei cu litiu-ion.

Celulele cilindrice au o stabilitate mecanică foarte mare deoarece forma lor distribuie forțele, datorită creșterii presiunii interne, uniform pe circumferință. Forma lor face totuși mai dificilă împachetarea lor împreună într-o manieră eficientă, deoarece se pierde o cantitate semnificativă de spațiu la aranjarea lor într-o formă dreptunghiulară. Acest lucru, totuși, face mai ușor ca aerul să curgă liber în jurul unui grup de celule cilindrice, rezultând o gestionare termică mai ușoară [22].

Celulele prismatice sunt utilizate în mod obișnuit pentru bateriile de tracțiune auto. Forma lor prismatică le face mai ușor de integrat într-un pachet de baterii decât celulele cilindrice, vezi Figura 12. Acest lucru poate face mai dificilă reglarea temperaturii lor. Conținutul celulelor prismatice urmează principiul celulelor cilindrice. În loc să fie rulate, mai multe straturi de pachete colectoare curente sunt puse unul peste altul. Ca rezultat, celulele prismatice tind să fie strâns împachetate, ceea ce are ca rezultat solicitări mecanice relativ mari asupra pachetului prismatic [22].

Celulele din pungă își stochează conținutul într-o pungă de folie flexibilă, mai degrabă decât într-un recipient rigid. În acest caz, ansamblul colector curent este stivuit în interiorul pachetului de pungă, mai degrabă decât rulat. Acest lucru oferă cea mai mare parte a spațiului din interiorul ambalajului pentru a fi folosit pentru material electrochimic și permite astfel o densitate mare de energie per celulă de pungă. Forma lor plată permite, de asemenea, o eficiență foarte mare de ambalare de 90-95% atunci când vine vorba de integrarea lor în pachetele de baterii [23]. Ca urmare, managementul temperaturii devine și mai important pentru acest tip de celulă, deoarece este mai dificilă disiparea căldurii. Construcția lor moale poate fi, de asemenea, un dezavantaj, deoarece îi face vulnerabili la deteriorări mecanice externe. În plus, celulele pungă necesită o structură de suport, deoarece nu sunt rigide mecanic.

#### Packing principle for cylindrical cells



#### Packing principle for prismatic/pouch cells

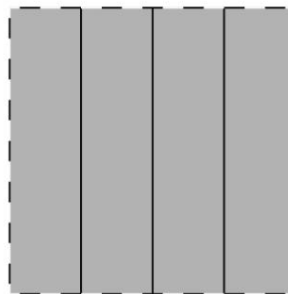


Figura 12 Forma ambalajului celulelor bateriei influențează densitatea pachetului și disiparea căldurii.

## 3.2 Celula electrochimică

Un pachet LIB este format din diferite materiale electrochimice. Acestea includ anodul, catodul, separatorul și electrolitul. Fiecare dintre ele joacă un rol în proprietățile bateriilor în ceea ce privește energia specifică, durata de viață, siguranța și costul.

Tipul de material catodic este adesea folosit pentru a clasifica bateriile litiu-ion în grupuri. Acest lucru se datorează în mare parte faptului că chimia lor este una dintre principalele variabile în construcția lor. Există multe opțiuni diferite disponibile, vezi Tabelul 6. Rețineți că tipurile de catodi prezentate aici sunt doar o selecție a celor mai comune și comercializate tipuri. Pentru o prezentare mai completă, consultați Nitta și colab. [1].

Oxidul de litiu cobalt (LCO), după cum se vede în tabelul 6, este comun într-un număr foarte mare de dispozitive de consum, cum ar fi smartphone-urile. Oferă o capacitate și o tensiune relativ ridicată în comparație cu alte materiale catodice și este relativ ușor de fabricat [24]. Există totuși preocupări semnificative de siguranță, în special la temperaturi ridicate și supraîncălzire.

Introducerea de noi tehnologii, cum ar fi vehiculele electrice, pe o piață dominată de vehicule cu combustibil convențional vine cu o barieră majoră, adică frica de necunoscut. Compromisul cu privire la siguranță și acceptarea riscului ca vehiculele electrice să ia foc din cauza defectării LIB, chiar și atunci când sunt abuzate, este deci nu este o opțiune. Prin urmare, industria auto evită în general substanțele chimice despre care se știe că au stabilitate termică scăzută. În schimb, ei optează pentru materiale catodice mai sigure, cum ar fi fosfatul de fier litiu (LFP), oxidul de litiu nichel mangan cobalt (NMC), oxidul de litiu mangan (LMO) sau amestecuri de diferite materiale catodice.

Performanța este factorul major de influență atunci când producătorii aleg anumite materiale catodice, fără a face compromisuri cu privire la siguranță. Pentru a obține o accelerație de înaltă performanță și rapidă, o baterie trebuie să fie capabilă să furnizeze multă putere. Atunci când sunt necesare intervale de rulare mai lungi, focalizarea se schimbă pentru a obține o densitate mare de energie. În mod normal, atât puterea mare, cât și densitatea mare de energie sunt de dorit, iar astăzi NMC, sau oxidul de litiu nichel cobalt aluminiu (NCA), asociat cu anodi de grafit este cel mai comun [25] [26].

Caracteristicile materialelor catodice pot fi modificate în continuare prin amestecarea diferitelor materiale catodice. Astfel de materiale sunt denumite materiale catodice hibride sau amestecate.

Această tehnologie a fost dezvoltată de furnizorii comerciali de baterii auto și constă dintr-un amestec de două sau mai multe materiale active diferite [27]. Amestecarea permite ca diferite materiale catodice să se completeze reciproc. Combină cele mai bune proprietăți ale materialelor active individuale și ajută la reducerea deficiențelor materialelor părinte.

Julien și colab. arată că dezavantajele LFP, adică densitatea relativ scăzută de energie, ar putea fi depășite prin amestecarea acesteia cu NMC [28]. În același timp, materialul a avut o stabilitate termică mai bună decât NMC în sine, datorită influenței pozitive a LFP.

Tabelul 6 Prezentare generală a proprietăților materialelor catodice comune.

	Energie specifică [29]	Tensiune la 50% SOC [29]	Durată de viață [17]	Siguranță [17]	Cost [17]
LFP	160 Ah/kg	3,4 V	Înalt	Înalt	Mediu
OVM	100-120Ah/kg	4 V	Scăzut	Mediu	Scăzut
LCO	155 Ah/kg	3,9 V	Mediu	Scăzut	Mediu
NCA	180 Ah/kg	3,7 V	Mediu	Scăzut	Înalt
NMC	160 Ah/kg	3,8 V	Înalt	Mediu	Înalt

Numărul de opțiuni atunci când vine vorba de materialele anodice este mai limitat. Există două tipuri de materiale anodice disponibile comercial, și anume cele compuse din diferite configurații de carbon și oxid de titanat de litiu (LTO) [1]. Primul oferă un echilibru bun între cost, disponibilitate, energie și densitatea puterii, precum și durata ciclului de viață, în timp ce cel de-al doilea oferă performanțe mai bune când vine vorba de stabilitate termică, rata de încălzire/descălzire și durata de viață, dar suferă când vine vorba de costuri, tensiunea celulei și capacitatea celulei [1].

### 3.2.1 Electrolitul

Componentele individuale din interiorul LIB-urilor sunt înmuiate într-o soluție conductoare de electricitate denumită electrolit. Acest mediu permite transportul ionilor între electrozii pozitivi și negativi. Acesta joacă un rol foarte important în siguranța și performanța generală a LIB-urilor. Există multe tipuri diferite de compoziții posibile și disponibile, dar nu toate sunt compatibile cu alte componente ale bateriei sau capabile să mențină încălzirea.

Marea majoritate a electrolitelor pentru LIB sunt soluții neapoase [30] [31], adică apa nu este solventul. Electrolitii utilizați pentru LIB constau în mod normal din săruri de hexafluorofosfat de litiu (LiPF<sub>6</sub>) și solvent carbonat organic, cum ar fi carbonatul de etilenă (EC). Compoziția soluțiilor a rămas în mare parte aceeași în ultimul deceniu. Xu [31] susține că acest lucru se datorează a trei factori cheie; componentele electrolitice fiind foarte sensibile, aditivii fiind mai eficienți și faptul că industria bateriilor a fost reticentă în a schimba lanțul de aprovizionare existent.

Componentele electrolitice pentru LIB sunt sensibile. Temperatura lor de funcționare este limitată și se situează de obicei între -20 °C și +50 °C [32]. Atunci când sunt expuse la medii care nu se află în acest interval de funcționare sigură, acestea pot fi deteriorate permanent. Aceasta începe cu reacțiile de descompunere a stratului de interfață dintre anod și electrolit, denumite interfața de electrolit solid (SEI). Herstedt [33] a descoperit că debutul acestor reacții este puternic dependent de sarea care este utilizată. Sisteme de electrolit cu săruri de tetrafluoroborat de litiu (LiBF<sub>4</sub>) sau hexafluorofosfat de litiu (LiPF<sub>6</sub>), aceste reacții încep la aproximativ 60-80 °C, respectiv 80-100 °C. Pentru sistemele cu triflat de litiu (LiTf) și bisimidă de litiu (LiTFSI)<sub>3</sub>, reacțiile de descompunere încep la 110-120 °C și, respectiv, 125-135 °C. Acest lucru este potențial urmat de alte reacții exoterme în interiorul LIB.

<sup>3</sup> Bis(trifluorometansulfonil)imidă de litiu

O altă problemă majoră cu electroliții actuali luați în considerare pentru LIB este inflamabilitatea acestuia. După cum se vede în Tabelul 7, nu toți constituenții electroliților sunt la fel de inflamabili. Cel mai inflamabil solvent este acetatul de etil (EA). Printre altele, acest lucru se datorează faptului că are un punct de aprindere foarte scăzut. Când este expus la temperaturi sub zero, EA eliberează suficienti vapori pentru a susține arderea dacă este aprins de o scânteie sau flacăra. Rețineți totuși că, în comparație cu benzina, un combustibil convențional care există de mai bine de un secol, acest solvent este relativ sigur.

S-a demonstrat că aditivii și componentele electrolitice sunt capabile să scadă inflamabilitatea și să încetinească degradarea termică a electrolitului [32]. Principalul lor dezavantaj este totuși că pot reduce performanța [34]. Electroliții alternativi sunt în curs de dezvoltare.

Mai exact, compușii fluorosilici, lichide ionice și electroliții polimerici [31] [25] [30]. Nici unul dintre acestea, cu excepția anumitor electroliți polimerici, nu a fost încă comercializat pe scară largă. Electroliții polimerici disponibili în prezent oferă rezistență mecanică îmbunătățită și un potențial mai mic de scurgere a fluidelor toxice [35] rămân totuși limitate la aceeași fereastră de siguranță ca electrolitul convențional [36].

Tabelul 7 Date de inflamabilitate pentru solventul electrolit din celulele LIB și date pentru combustibili convenționali pentru automobile pentru comparație.

Solvenți organici cu electroliți	Fierbere Temperatura [°C]	Autoaprindere Temperatura [°C]	Flash Punct [°C]	Limite de inflamabilitate, inferioară /superioară [°C]
Acetat de etil (EA) [37] [38]	77	427	-3	2.2 / 9
Carbonat de dimetil (DMC) [37] [38]	91	458	16	4,22 / 12,87
Carbonat de etil metil (EMC) [37] [38]	110	440	24	-/-
Carbonat de dietil (DEC) [37] [38]	126	445	25	1.4 / 14.3
Carbonat de etilenă (EC) [37] [38]	248	465	143	3.6 / 16.1
Carbonat de propilenă (PC) [37] [38]	242	455	132	1,8 / 14,3
Benzină [39]	30 până la 210	> 350	< -40	1,4 / 7,6
Diesel [40]	>180	240	>61,5	0,7 / 5

### 3.2.2 Separator

Separatorul împiedică electrodul pozitiv și negativ să intre în contact unul cu celălalt, permițând în același timp să curgă prin el cât mai mulți ioni conductori. Din punct de vedere al siguranței, primul este foarte important. Dacă separatorul ar fi încă lăsat sau se contractă semnificativ, există riscul ca un scurtcircuit intern să se materializeze. Weber și colab. [41] subliniază, prin urmare, că separatoarele trebuie să aibă caracteristici de rezistență ridicată, dilatare termică neglijabilă și punct de topire ridicat.

LIB-urile cu electroliți organici folosesc de obicei separatoare microporoase [42]. Acestea pot fi fabricate din materiale precum polietilena (PE) și polipropilena (PP) [43]. Aceste

tipurile de separatoare au un punct de topire în jur de 125-130 °C, respectiv 155-160 °C [37] [44]. Dacă separatorul se topește, bariera dintre electrodul pozitiv și negativ este spartă și are loc un scurtcircuit intern, care poate declanșa o putere mare de căldură urmată de reacții chimice necontrolabile și generarea unei cantități masive de gaz care ar putea duce la o explozie a carcasei celulei dacă năerisit [32] [44]. Separatoarele pot fi, de asemenea, pe bază de ceramică sau compozit. Acest material oferă îmbunătățiri în ceea ce privește rezistența mecanică, rezistența termică, performanța și durata de viață a celulei [41]. Conform lui Nesler et al. [45] această tehnologie are nevoie de mai mult timp pentru a se dezvolta înainte de a putea fi utilizată în mod obișnuit pentru vehiculele electrice.

## 3.3 Bateriile litiu-ion în vehiculele rutiere

Bateriile litiu-ion sunt soluția preferată de stocare a energiei pentru vehiculele electrice moderne. Proprietățile lor de neegalat, cum ar fi ciclul de viață ridicat, densitatea mare de energie și eficiența ridicată, le fac foarte potrivite pentru aplicații auto [1]. Ele pot fi mici și pot fi utilizate pentru sisteme de pornire-oprire a vehiculelor electrice sau pot fi mult mai mari și utilizate pentru a alimenta grupul motopropulsor.

Pachetele mari de baterii se găsc de obicei în PHEV și BEV, în timp ce HEV necesită mai puțină capacitate energetică și, prin urmare, mai puține baterii. În această secțiune se concentrează asupra vehiculelor care sunt proiectate pentru a se potrivi cu baterii mari. Este important să luați în considerare acest lucru, deoarece exemplele date pot să nu se aplice neapărat sau să fie relevante pentru HEV.

### 3.3.1 Baterii, module și celule litiu-ion

Când vorbim de LIB în industria auto, există mai multe niveluri distincte de componente care trebuie înțelese. Acestea sunt prezentate în Figura 13. Nivelul cel mai de bază este celula litiu-ion. Dispozitivele de consum, cum ar fi smartphone-urile, constau de obicei dintr-o singură celulă de baterie. Tensiunea lor este astfel limitată la ceea ce poate furniza o celulă, adică aproximativ 4 V.

O cantitate mult mai mare de energie stocată poate fi obținută prin conectarea celulelor bateriei și a modulelor, împreună în serie sau în paralel. Celulele LIB pentru aplicații auto sunt în mod normal conectate între ele, în serie și/sau paralel, pentru a forma un modul. Numărul de celule per modul variază, dar în general se adună la mai puțin de 60 V per modul. Tensiunile mai mari de 30 VAC sau 60 VDC sunt considerate dăunătoare pentru oameni și definite ca tensiuni înalte în industria vehiculelor [21]. Restricționarea tensiunii modulelor bateriei este astfel benefică din perspectiva manipulării și expedierii. În cele din urmă, modulele bateriei sunt conectate pentru a forma pachete de baterii pentru a satisface energia și puterea necesare. Rețineți că în unele sisteme, mai multe pachete de baterii sunt cuplate împreună pentru a crea întregul sistem de baterii. Procedând astfel, aplicații precum autoturisme, vehicule grele și nave electrice pot atinge capacități în jur de 10-100, 10-400 și, respectiv, 500-4000 kWh.

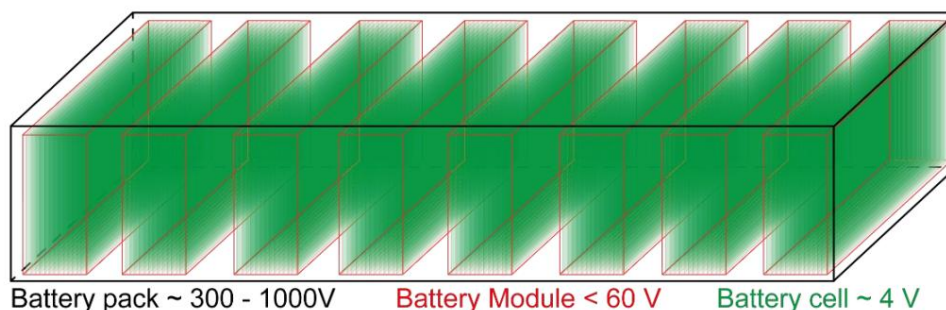


Figura 13 Construcția generală a unui pachet de baterii.

### 3.3.2 Autoturisme cu baterii litiu-ion

Multe celule de baterie trebuie să fie integrate într-un vehicul electric pentru a obține puterea și energia necesare. Scopul general al designului EV este de a obține cel mai mare pachet de baterii posibil, menținând în același timp un nivel adecvat de siguranță.

O abordare comună este instalarea acumulatorului în interiorul compartimentelor rigidizate și întărite sau în zone mai puțin predispușe să fie afectate în condiții de accident [46], vezi Figura 14 și Figura 15. Aceasta din urmă poate fi denumită „zonă sigură” a unui autoturism [47]. Această zonă ia în considerare în mod normal zona din centrul și asilului, între ampatament. Prin integrarea pachetului LIB în acest domeniu, producătorii de automobile urmăresc să elimine posibilitatea ca bateria să fie afectată de condițiile de accident sau impact.

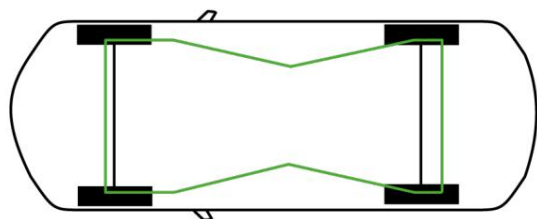


Figura 14 „Zona sigură” bazată pe [48]

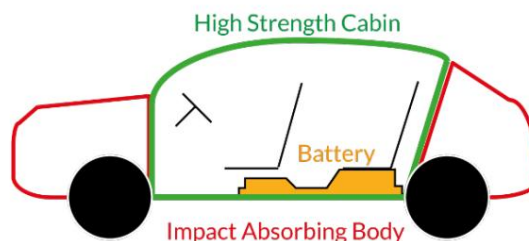


Figura 15 Dispunerea bateriei pentru un Nissan Leaf [49]

Pentru mașinile de pasageri există trei configurații principale în care este utilizată „zona sigură”. Cele mai frecvente sunt configurațiile „Floor” și „T” [50] în care bateria este distribuită într-o zonă pătrată sau dreptunghiulară, ca cea prezentată în Figura 16 sau dispusă în forma literei „T” așa cum se vede în Figura 17. A treia opțiune poate fi denumită soluția „Spate” ilustrată în Figura 18. Aici acumulatorul se află în spatele vehiculului și, în unele cazuri, este stivuit în sus.

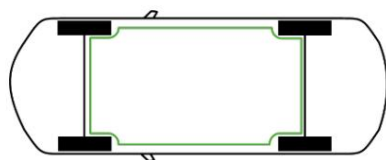


Figura 16 Soluția „Pardoseală”.

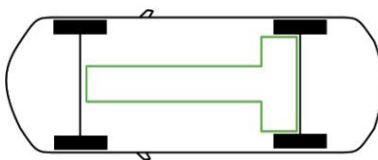


Figura 17 Soluția „T”.

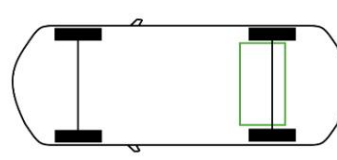


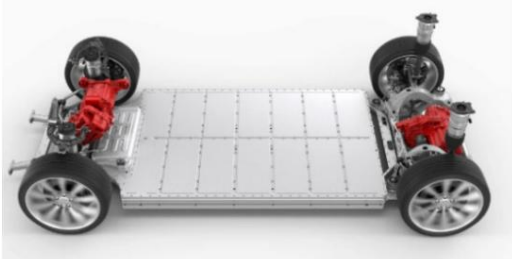



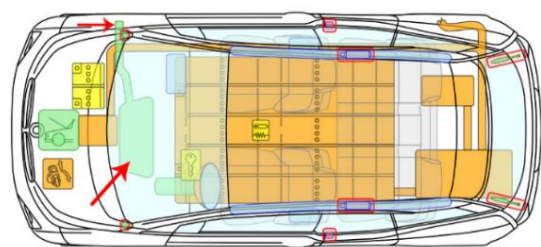


Figura 18 Soluția „spate”.

Tipul „pardoseală ” utilizează tot spațiul disponibil din „zona sigură”. Întregul pachet de baterii este situat sub habitacul. Acest lucru oferă mai mult spațiu interior pentru pasageri și bagaje, dar permite și stocarea de energie ridicată. Unul dintre dezavantajele acestui aranjament este că există o gardă la sol mai mică și că există o țintă mai mare pentru resturile de sol [50]. Consultați Tabelul 8 pentru o prezentare generală a mai multor vehicule electrice care iau în considerare configurația „Etaj”.

Tabelul 8 Selectarea vehiculelor electrice care utilizează soluția „Floor” pentru a-și integra pachetele de baterii.

Nissan Leaf, Tip EV: BEV	
<p>Figura 19 și Figura 20 arată pachetul de baterii „de podea” din Nissan Leaf. Pachetul variază în formă pe măsură ce mai multe celule de baterie sunt plasate sub scaunele din față și din spate. Acest model folosește celule de pungă în acumulatorul său. Aceste celule plate sunt orientate orizontal, ca un teanc de hârtie, în secțiunile mai subțiri ale pachetului. Sub scaune se ridică mai sus, deoarece sunt orientate vertical, ca hârtia într-un dulap de dosare.</p>	
	
Figura 19 Nissan Leaf, copiată din [51].	Figura 20 Baterie, copiată din [52]
Tesla Model S, Tip EV: BEV	
<p>Configurația găsită pe Tesla este deosebit de plată în comparație cu alte modele de vehicule. Tesla se referă la soluția lor ca la un pachet de baterii „skateboard”. Acest pachet subțire asigură maxim spațiu interior disponibil.</p>	
	
Figura 21 Tesla Model S, copiată din [53]	
Renault Zoe, Tip EV: BEV	
<p>Figura 22 și Figura 23 arată acumulatorul Renault Zoe. Acest pachet este situat sub podeaua habitaculului. Capacitatea totală a acestui pachet este de 41 kWh la o greutate de 300 kg [54], aproximativ 20% din greutatea totală a vehiculului.</p>	
	
Figura 22 Renault Zoe ZE40, copiată din [54].	Figura 23 Baterie, copiată din [55]







BMW i3, EV Tip BEV/PHEV	
<p>Soluția „Floor” pentru BMW i3 poate fi văzută în Figura 24. Există diferite versiuni disponibile ale acestui model, una dintre ele fiind PHEV (sau REEV). În mod normal, vehiculele au rezervoarele de combustibil între roțile din spate. După cum se arată în Figura 25, acesta nu este cazul aici. Rezervorul de combustibil, indicat de săgeata roșie, este plasat în fața acumulatorului.</p>	
 <p>Figura 24 BMW i3, copiată din [56]</p>	 <p>Figura 25 REEV, copiată din [57]</p>

Soluția „T” aranjează modulele bateriei într-o formă de T în zona de siguranță, așa cum este ilustrat în Figura 17. Această configurație permite un spațiu mai mare între sol și acumulator. Acest lucru se realizează prin reducerea suprafeței pasagerilor. Este destul de îngustă și de obicei protejată de axa față a vehiculului [58]. Acest lucru asigură protecția acumulatorului împotriva coliziunii frontale și a impactului lateral [50]. Mai multe vehicule electrice cu formă de T sau o configurație similară pot fi văzute în Tabelul 9.


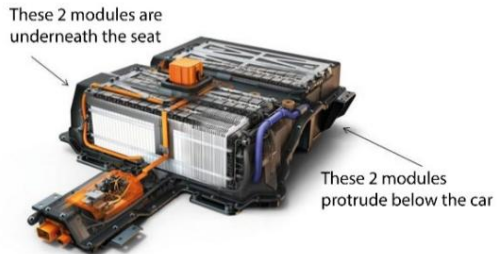
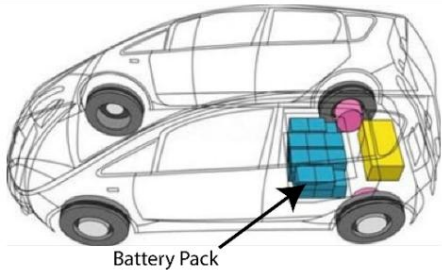

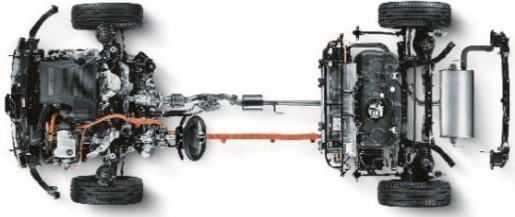
Soluția „Spate” folosește spațiul disponibil dintre roțile din spate ale vehiculului. De obicei, acest tip de configurație se găsește la vehiculele mici sau hibrid, deoarece necesită o capacitate de stocare mai mică. Pentru a crește energia disponibilă, unele vehicule electrice folosesc spațiul din spatele sau deasupra roților din spate. O selecție de vehicule electrice care urmează această configurație este prezentată în Tabelul 10.



Tabelul 9 Selectarea vehiculelor electrice care utilizează soluția „T” pentru a-și integra pachetele de baterii.

Volkswagen e-Golf, Tip EV: BEV	
<p>Volkswagen combină o formă de T împreună cu spațiul de sub scaune și podea pentru acumulatorul Volkswagen e-Golf. Acest pachet are o capacitate energetică de 24,2 kWh [59] și poate fi văzut în Figura 26 și Figura 27. Acest pachet de baterii reprezintă o mare parte din greutatea totală a vehiculului, și anume 20 %.</p>	
	
Figura 26 Volkswagen e-Golf, copiată din [60].	Figura 27 Baterie, copiată din [59].
Chevrolet Volt / Opel Ampera, Tip EV: PHEV	
<p>Chevrolet Volt (Opel Ampera în UE [61]) poate fi văzut în Figura 28 și Figura 29. Pachetul de baterii în sine este format din celule de pungă dispuse vertical (de exemplu, hârtie într-un dulap de dosare).</p>	
	
Figura 28 Chevrolet Volt, copiată din [62].	Figura 29 Pachetul de baterii, copiat din [63].
Volvo XC60, Tip EV: PHEV	Mitsubishi Outlander, Tip EV: PHEV
<p>Pachetul de baterii din Volvo XC60 PHEV este o variantă a soluției „T”. În acest caz, o parte a „T” este formată din acumulator, iar cealaltă din rezervorul de combustibil, vezi Figura 30.</p>	<p>Configurația utilizată în Mitsubishi Outlander, văzută în Figura 31, urmează pe cea a lui Volvo XC60. Designul său este mai puțin liniar/dreptunghiular, dar urmează același principiu. Adică, „T” este alcătuit din pachetul de baterii și rezervorul de combustibil combinate.</p>
	
Figura 30 Volvo XC60 PHEV, copiată din [64]	Figura 31 Mitsubishi Outlander, copiată din [65].

Tabelul 10 Selecția de vehicule electrice care utilizează soluția „Spate” pentru așezarea și integrarea pachetelor de baterii

Chevrolet Spark, Tip EV: BEV	
<p>După cum se vede în Figura 32, acumulatorul este situat în jurul axei spate. Modulele sunt poziționate astfel încât două module să fie amplasate sub zona scaunelor din spate și două dintre ele ieșind în afară de sub partea din spate a cabinei auto, vezi Figura 33.</p>	
 <p>Figura 32 Chevrolet Spark, copiată din [66]</p>	 <p>These 2 modules are underneath the seat</p> <p>These 2 modules protrude below the car</p> <p>Figura 33 Baterie, copiată din [67]</p>
Mitsubishi Colt EV, Tip EV: BEV	
<p>Pachetul de baterii pentru acest vehicul este indicat de săgeata din Figura 34. Este poziționat ușor în fața osiei din spate.</p>	
 <p>Battery Pack</p> <p>Figura 34 Mitsubishi Colt EV, copiată din [68]</p>	
Volkswagen Passat, tip EV: PHEV Kia Niro, tip EV PHEV	
<p>În cazurile văzute în Figura 35 și în Figura 36, este utilizat un acumulator scurt, dar larg. Pachetul în sine este montat între roți, aproape de puntea spate. Rezervorul de combustibil al acestor vehicule este instalat aproape în spatele acestui pachet.</p>	
 <p>Figura 35 Volkswagen Passat, copiată din [69].</p>	 <p>Figura 36 Kia Niro PHEV, copiată din [70]</p>

După cum se vede în Tabelul 11, diferiți producători de autoturisme iau în considerare diferite tipuri de substanțe chimice și tipuri de celule de baterie. În general, se consideră că chimii bateriilor asigură un echilibru între energie și densitatea de putere, precum și siguranță. Este interesant de observat că multe dintre vehiculele luate în considerare folosesc catozi amestecați.

Tabelul 11 Rezumatul diferitelor configurații ale pachetului LIB pentru autoturismele BEV și PHEV.

Autoturisme: BEV	Acumulator		Celula bateriei	
	Energy Cap. [kWh]	Configurare	Tip	Chimie [Anod/Catod]
Nissan Leaf (2015)	30 [71]	etaj [72]	Husă [71]	C/LMO-NCA [71]
Renault Zoe (2017)	41 [54]	etaj [54]	Husă [71]	C/NMC [71]
Volkswagen e-Golf (2016)	36 [71]	Podea / în formă de T [59]	Prismatic [71]	C/LMO-NCA-NMC [71]
BMW i3 (2017)	33 [71]	etaj [73]	Prismatic [71]	C/LMO-NCA-NMC [71]
Modelul Tesla S (2012)	60-100 [71]	Skateboard [53] [74]	Cilindrică [71]	C/NCA [71]
Mitsubishi Outlander (2015)	12 [75]	etaj [65]	Prismatic [75]+ [76]	C/LFP [75]
Volkswagen Passat GTE (2015)	9,9 [77]	spate [69]	Prismatic [59]	-/-
Volvo XC60 (2017)	10,4 [78]	Linear [64]	Husă [79]	NMC [79]
Volkswagen Golf GTE (2015)	8,7 [80]	spate [81]	Prismatic [59]	C/LMO-NCA-NMC [82]
Kia Niro (2017)	1,56 [83]	spate [70]	Husă [84]	-/-
Chevrolet A fost (2016)	18,4 [85] în	formă de T [63]	Husă [84] + [85]	C/LMO-NMC [85]

### 3.3.3 Vehicule grele cu baterii litium-ion

Vehiculele grele precum autobuzele și camioanele grele sunt, de asemenea, electrificate. Dispunerea și designul lor în ceea ce privește capacitatea lor de a proteja bateria în accidente de circulație sunt prezentate în această secțiune. Această înțelegere generală este necesară pentru a identifica pericolele asociate cu vehiculele electrice grele deteriorate.

#### 3.3.3.1 Autobuze

Autobuzele nu urmează neapărat configurațiile prezentate pentru autoturisme. În loc să integreze acumulatorul sub vehicul, producătorii de autobuze precum Volvo Bus, Solaris, BYD și VDL optează pentru a le plasa deasupra vehiculelor lor. Acest lucru este prezentat în Figura 37 și Tabelul 12. Plasarea bateriei deasupra vehiculului necesită mai puține modificări pentru autobuzele existente. De asemenea, facilitează mișcarea pasagerilor și optimizează

spațiul ocupantului. Alte beneficii includ faptul că bateriile sunt mai ușor expuse la aer, permițându-le să fie răcite de vehiculul în mișcare și sunt mai ușor accesibile pentru anumite sisteme de încălzire.

Există totuși câteva dezavantaje ale acestei strategii. Plasarea unor baterii relativ grele deasupra unui vehicul face mai dificilă obținerea unui centru de greutate scăzut. În plus, soluțiile montate pe acoperiș necesită protecție împotriva deșeurilor și acumulării de umezeală. Acest lucru trebuie luat în considerare, așa cum a fost ilustrat printr-o retragere a anumitor modele de autobuze în SUA în 2011 [86].

Unele autobuze integrează acumulatorul sub spațiul pentru pasageri. Un exemplu în acest sens este catalizatorul Proterra. Pachetul lor de baterii este situat sub podeaua autobuzului, așa cum se vede și în Tabelul 12. Procedând astfel, acest model de autobuz poate integra suficiente baterii pentru a obține capacități energetice de până la 660 kWh [87].

Autobuzele electrice chinezești sunt, de asemenea, echipate în mod obișnuit cu un număr mare de baterii pentru a obține capacități mari de energie. Un exemplu în acest sens este BYD K9. Acest autobuz este prezent în Europa din 2013. Configurația sa este menită să furnizeze suficientă capacitate de stocare a energiei pentru funcționarea pe o zi întreagă. Nu iau în considerare o configurație „de podea”, ci ating o capacitate mare prin integrarea mai multor pachete de baterii diferite în vehicul, așa cum se vede în Figura 37 și Tabelul 12.

Autobuzele Volvo, VDL și Solaris rezervă mai puțin spațiu pentru bateriile lor. Ca rezultat, capacitatea lor energetică este mai mică decât BYD K9 și Catalyst Proterra. Pentru a-și susține funcționarea, acestea se bazează pe încălzire oportună, de exemplu, în stațiile de autobuz. Un beneficiu de a avea mai puțin în baterii este faptul că vehiculul are o greutate mai mică. Acest lucru poate permite o construcție mai ușoară și o eficiență mai mare.

Optare Versa are pachetul de baterii în spatele vehiculului, așa cum se vede și în Figura 37 și Tabelul 12. Aceasta este o instalare relativ simplă în comparație cu opțiunea montată pe acoperiș, deoarece această metodă necesită accesorii și echipamente speciale.

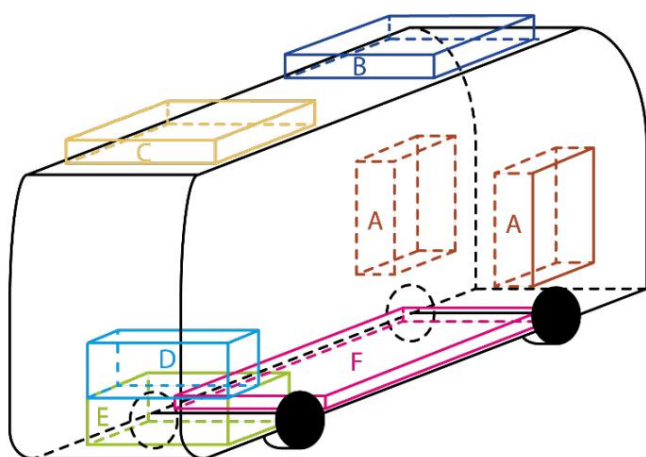


Figura 37 Poziția bateriilor pe autobuzele selectate

Tabelul 12 Pachete de baterii în autobuzele electrice

K9 LUME	A+C+E [88]
Volvo 7900	C [89]
VDL Citea	B [90]
Solaris Urbino	B [91]
Optează Versa	D+E [92]
Proterra Catalizator	F [93] [94]

Tipurile de baterii care sunt luate în considerare de autobuzele discutate în această secțiune sunt prezentate în Tabelul 13. Rețineți că chimiiile LFP par a fi relativ comune pentru autobuze.

LIB-urile din această chimie au o capacitate energetică mai mică pe kg decât alte produse chimice, cum ar fi NMC, care este comună pentru mașinile electrice de pasageri. Cu toate acestea, există mai mult spațiu disponibil în autobuze, prin urmare, acesta joacă un rol mai puțin important. Utilizarea celulelor LFP le permite să profite de beneficiile unei chimii mai stabile a bateriei, putând în același timp să atingă densități mari de energie și putere.

Tabelul 13 Modele selectate de autobuze electrice care funcționează în prezent în Europa și caracteristicile acestora.

Autobuze: BEV sau PHEV	Acumulator		Celula bateriei	
	Capacitate	Configurare	Tip	Anod/Catod
Volvo 7900	energetică [kWh] 76 [95] 150 - 250 [96]	Acoperiș (spate) [89]	-	-/LFP
K9 LUME	216-345 [97]	Acoperiș (spate) + spate și față [88]	Prismatic [98]	-/LFP [99]
Solaris Urbino	80-240 [91]	Acoperiș (față) [91]	Husă [100]	LTO/- [101]
VDL Citea	60-250 [90]	Acoperiș (față) [90]	Prismatic [90] + [102] sau Husă [90] + [103]	LTO/- sau -/LFP [90]
Opta Versa	92-138 [104]	spate [92]	Cilindric [105] + [106]	-/Fier cu litiu Fosfat de magneziu [92]
Proterra	94 -440 (35 ft.) [107]		-	-
Catalizator	94 -660 (40 ft.) [87]	etaj [94]		

### 3.3.3.2 Camioane grele

Nu există încă pe piață multe camioane grele cu baterii litiu-ion. Prin urmare, sunt disponibile doar date limitate despre modul în care sunt integrate pachetele de baterii litiu-ion, vezi Tabelul 14.

Spre deosebire de autobuze, amplasarea pachetelor de baterii în camioanele grele pare a fi mai restrânsă. Pentru a da un exemplu, luați în considerare camionul greu Scania L 320 6x2 PHEV [5]. Aici acumulatorul este situat în spatele axei roții din față pe partea șoferului. O configurație similară poate fi găsită în camioanele electrice grele care au fost anunțate de DAF anul acesta [6]. Imaginile comunicate de presă [21] arată că cele două baterii utilizate la modelele complet electrice sunt situate în spatele punții față. Unul dintre ele este situat pe partea șoferului, iar celălalt pe partea pasagerului, vezi Figura 38. DAF LE Hybrid hibrid are un singur pachet de baterii. În acest caz, rezervorul de combustibil și acumulatorul sunt montate pe părțile opuse ale arborelui de transmisie.

Bateriile cu litiu-ion pot fi integrate în remorci de camioane în viitor. Unele companii lucrează la dezvoltarea de remorci pentru camioane cu panouri solare. Ideea lor este de a stoca excesul de energie produs de aceste panouri în baterii litiu-ion [108]. Această energie poate apoi să fie folosit, de exemplu, pentru a alimenta remorci frigorifice.

Tabelul 14 Modelele de camioane grele selectate și caracteristicile acumulatorului acestora.

Camioane grele: BEV sau PHEV	Acumulator	
	Capacitate energetică [kWh]	Configurare
Scania L 320 6x2 [7]	18.4 (limitat la 7.4)	În spatele axei roții din față, partea stângă a vehiculului.
DAF LF Electric [8]	Până la 222	-
DAF CF Electric [8]	170	În spatele axei roții din față, pe ambele părți ale vehiculului
DAF CF Hybrid [8]	85	În spatele axei roții din față, partea stângă a vehiculului.
Volvo FL Electric [9]	100 - 300	-
Volvo FE Electric [10]	200 - 300	-
Mack LR Electric [11]	Necunoscut	-
Volvo Vera [12]	300 [109]	-

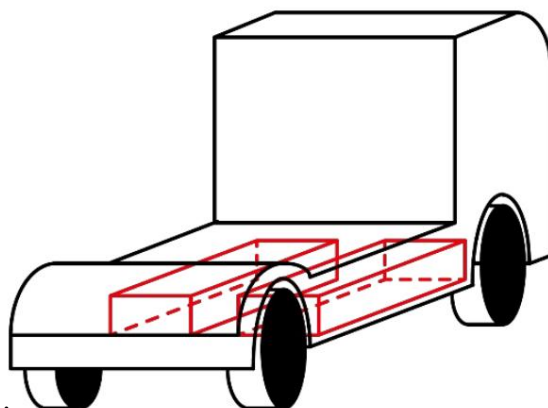


Figura 38 Amplasarea potențială a pachetelor de baterii în camioanele grele.

## 4 Riscuri de incendiu asociate cu litiu-Baterii ionice

Pe măsură ce mai multe vehicule cu motor LIB devin operaționale pe tot globul, este probabil ca implicarea lor în incidente de trafic să crească pe măsură ce prezența lor pe șosea crește. Există șansa, ca și în cazul vehiculelor cu combustibil convențional, ca energia stocată la bord să devină un pericol pentru siguranța celor implicați într-un incident. Riscurile asociate vehiculelor convenționale sunt bine definite și acceptabile în general de societate; cu toate acestea, sunt necesare timp și educație pentru a atinge acest nivel de confort pentru vehiculele electrice alimentate cu LIB.

Videoclipurile și știrile despre incendii și fum din telefoane și laptopuri, precum și hoverboard-uri în timp ce sunt conduse și sau în timp ce sunt încărcate au dat notorietate LIB. Aceste cazuri ilustrează clar ce se poate întâmpla cu LIB-urile atunci când există sisteme limitate care garantează funcționarea lor în siguranță. Recent, a fost efectuat un studiu în Țările de Jos de către Autoritatea pentru Siguranța Produselor Alimentare și de Consum privind siguranța la foc a hoverboard-urilor [110]. Aici au fost identificate erori semnificative de siguranță între 30 de tipuri diferite de hoverboard-uri. Unele dintre aceste produse nu aveau o reglare a temperaturii, aveau o carcasă rezistentă la foc limitată sau permiteau încărcarea LIB-ului pe termen nelimitat. Simpla încărcare a unor astfel de LIB-uri poate duce la incendiu.

### 4.1 Fuga termică

Principala preocupare de siguranță a LIB-urilor provine din celulele individuale ale bateriei care alcătuiesc pachetul de baterii. Celula bateriei poate elibera gaz atunci când este abuzată, care se poate aprinde sau poate provoca o explozie. Condițiile de abuz sunt îndeplinite atunci când fereastra de operare sigură nu este păstrată așa cum este ilustrat în Figura 39. Odată ce limitele de tensiune sau temperatură ale bateriei sunt depășite, în interiorul bateriei pot fi declanșate anumite reacții chimice [44]. Acest lucru poate duce la un scurtcircuit intern sau la creșterea temperaturii interne prin alte mecanisme. Celula bateriei se poate defecta ulterior prin evacuarea de gaze inflamabile, arde, explodează sau devine un proiectil.

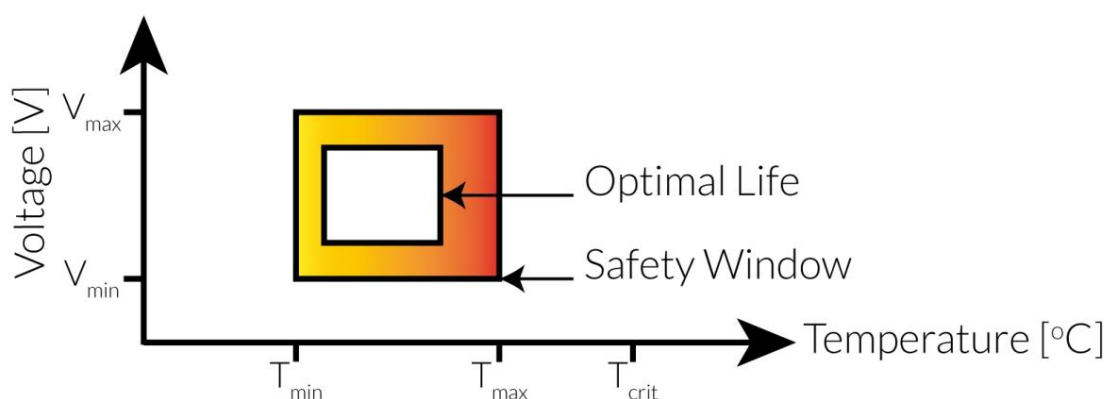


Figura 39 Ilustrarea ferestrei limitate de operare pentru o celulă LIB.

Evenimentele periculoase apar atunci când sunt declanșate anumite mecanisme. Acest comportament se datorează componentelor care alcătuiesc LIB, deoarece există o combinație de combustibil inflamabil, potențial oxidant și generare de căldură în timpul utilizării. Când reacțiile chimice exoterme

generează mai multă căldură decât este disipată, LIB intră într-o așa-zisă fugă termică [44]. Evadarea termică este declanșată de un lanț de reacții chimice în interiorul bateriei care duc la creșterea accelerată a temperaturii interne, vezi Tabelul 15. Mai exact, descompunerea stratului SEI (Solid Electrolyte Interface)<sup>4</sup> și reacțiile dintre electrolit și anod sunt urmate de topirea separatorului și defalcarea materialului catodic.

Rezultatul poate fi acela al arderii complete a LIB însoțită de eliberarea de gaz, proiectile zburătoare și flăcări puternice cu jet [37].

Doughty și Monitor [111] clasifică aceste evenimente care duc la fuga termică în mai multe etape. Mai întâi se declanșează declanșarea încălzirii, care corespunde cu descompunerea stratului SEI la anod. Rata de autoîncălzire este încă controlabilă în acest moment și este practic definită ca 0,2 °C/min de către Doughty și Monitor. Cu toate acestea, dacă această căldură nu este disipată, vor fi declanșate reacții suplimentare care accelerează autoîncălzirea. Aceasta este denumită etapa de accelerare. Etapa finală este cea a fuga termică. Doughty și Monitor caracterizează acest punct ca fiind punctul în care se obține o viteză de autoîncălzire de 10° C/min sau mai mare. Rețineți că punctul în care acest eveniment este declanșat depinde puternic de designul, structura și materialul bateriei.

Tabelul 15 Reacții de autoîncălzire și descompunere ale LIB-urilor.

	Proces	Debut Temperatura [°C]	Note
	Descompunerea lui Strat SEI la anod	80-120 [112] 80-100 [33] > 70 [113]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determină temperatura minimă la care sunt declanșate ireversibil descompunerea termică în formă de lanț [112] [111].</li> <li>Viteza de autoîncălzire de 0,2° C/min [110].</li> <li>Foarte dependent de sarea electrolică utilizată [33]. Datele prezentate iau în considerare electroliții cu LiPF<sub>6</sub>, deoarece aceștia sunt cei mai mulți utilizați.</li> </ul>
	Reacția anodului litiat cu solvenți organici din electrolit după descompunerea SASE straturii	> 1105 [113]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Creșterea temperaturii poate fi de până la 100 °C [114]</li> <li>Se degajă gaze de hidrocarburi inflamabile (etan, metan și altele) [115].</li> </ul>
	Separatorul începe să se topească [37] [44]	> 125 (PE) > 155 (PP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acest lucru cauzează un scurtcircuit intern și crește și mai mult rata de autoîncălzire.</li> </ul>
	Reacția dintre litiu intercalat și liant <sup>6</sup>	> 160 [113]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apare numai dacă mai există material anodic cu care să reacționeze [114].</li> <li>Temperatura depinde de cea considerată material liant. [113]</li> </ul>

<sup>4</sup> Interfață a dintre electrolit și colectoarele de curent. Aici are loc schimbul de electroni.

<sup>5</sup> Dacă utilizat în anod pe bază de carbon.

<sup>6</sup> Materialele de legătură leagă particulele de material activ și colectorul de curent împreună [249].



	Proces	Debut Temperatura [° C]	Note
	Descompunerea materialului catodic.	LFP > 140 [26], 218 [116], 212, 287 [117],	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De obicei, principala sursă de generare de căldură și cauza evadării termice [112].</li> <li>• Căldura de reacție variază foarte mult. Xiang și colab. a înregistrat un interval de la 35 la 458 J/g pentru diferite materiale catodice între 50-225° C [116].</li> <li>• Eliberează oxigen [115]. Nivelul de încălzire mai mare crește cantitatea de oxigen eliberată.</li> </ul>
		LCO > 168 [116]	
LMO > 110 [116], > 190 [113]			
NMC > 212 [117]			
	Descompunerea solventilor electroliților	> 180 [113] > 202 [116]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacții exoterme. Căldura de reacție cuprinde 258 J/g între 50-225° C [116].</li> </ul>
	Arderea solventului [37] [38]	Autoaprindere > 427 Punct de aprindere > -3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxigenul eliberat facilitează condițiile necesare pentru arderea electroliților organici inflamabili [119].</li> <li>• Aprinderea la punctul de aprindere necesită o sursă de aprindere, de exemplu o scânteie sau o flacăra de la LIB.</li> </ul>
	Arderea solidelor	Variază	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuția oxidării plastice în teste de calorimetrie la foc a fost estimată egală cu cea a electrolitului în ceea ce privește degajarea de căldură [120].</li> <li>• LIB-urile foarte încălzite reprezintă o mare problemă de siguranță datorită materialelor combustibile ale anodului litiat [119].</li> <li>• Unele date de aprindere a solidelor pot fi găsite în [121].</li> </ul>

## 4.2 Cauze de defectivitate a bateriei

Pierderea catastrofală a unei celule poate duce la consecințe și mai grave, cum ar fi deteriorarea altor elemente ale sistemului și/sau rănitirea umană sau moartea. Defectarea unei celule poate fi rezultatul defectelor de proiectare sau de fabricație a celulei, abuzului extern (termic, mecanic, electric), proiectarea sau fabricarea defectuoasă a ansamblului bateriei, proiectarea sau fabricarea defectuoasă a componentelor electronice ale bateriei sau echipamentul de suport slab (de exemplu, încălzirea/descălzirea bateriei). echipamente) proiectare sau fabricare. Riscurile principale ale bateriei sunt, în general, rezultatul extern scurtcircuitate interne, temperaturi ridicate sau scăzute, supraîncălzire sau supradescălzire. Aceste mecanisme pot duce la reacții exoterme în interiorul bateriei. Când temperaturile devin suficient de ridicate, sau este prezentă o sursă de aprindere care aprinde gazele inflamabile eliberate de baterie, triunghiul de foc văzut în Figura 40. este finalizat.

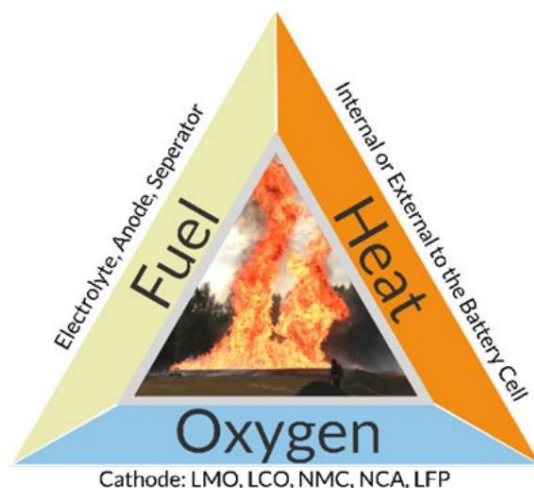


Figura 40 Triunghiul de foc pentru bateriile litiu-ion.

## 4.2.1 Scurtcircuit intern al celulei

Cea mai periculoasă cauză a defectării este cea a unui scurtcircuit intern al celulei [122]. Acest eveniment catastrofal poate avea loc foarte brusc și fără avertisment prealabil. Aceasta poate fi o rezultat al defectelor de fabricație sau al deteriorării fizice datorate creșterii dendritelor sau deformărilor mecanice [122] [37]. Când apare scurtcircuitul intern, daunele rezultate sunt adesea severe. Celula își descarcă energia prin scurtcircuit. Când curentul electric trece prin materialul conductor, acesta produce căldură. Acest mecanism poate fi denumit generare de căldură Joule. În această zonă locală, încălzirea rapidă poate declanșa autoîncălzire și evadare termică [123] [122].

Că scurtcircuitul intern ridică cea mai mare îngrijorare este spus și de Ahlberg Tidblad [124]. Este clar că acest lucru este deosebit de deranjant atunci când se ține cont de faptul că acest tip de defectăune apare la bateriile care respectă standardele din industrie. Acest lucru se datorează erorilor de fabricație, cum ar fi bavuri, alinierea greșită a pachetului de electrozi sau separatoare perforate. Cauza principală se referă la prezența particulelor în sau pe catod [124].

Zhao și colab. [122] au studiat comportamentul celulelor LIB de format mare, adică cele utilizate pentru aplicații auto și comportamentul lor în timpul unui scurtcircuit intern al celulei. Ei explică mecanismul ca crearea unei bucle de curent în cadrul unui strat de electrod unde se găsește scurtcircuitul. Când se formează bucla, energia este descărcată prin acest strat de electrod, totuși, acest lucru stresează și toate celelalte straturi, care generează o cantitate mare de curent din cauza scurtcircuitului. Aceasta încălzește bateria completă.

Santhanagopalan și colab. [125] prezintă patru tipuri probabile de pantaloni scurți pentru celulele interne. Atunci există contact între colectorul de curent negativ la colectorul de curent pozitiv, colectorul de curent negativ la catod, colectorul de curent pozitiv la anod și catod la anod. Acestea sunt clasificate în diferitele tipuri prezentate în Figura 41.

Al treilea tip, Tipul 3, este cel mai periculos [125]. Materialul anodului are o rezistivitate scăzută în comparație cu catodul, ceea ce permite un flux mare de curent. Aceasta înseamnă că va fi generată multă căldură la anod. Simultan, temperatura de debut pentru reacțiile de autoîncălzire este cea mai scăzută la anod, așa cum sa discutat în capitolul 4.1. Acești factori

combinate sunt astfel cel mai probabil să declanșeze mecanisme de autoîncălzire care pot duce la termică fugi.

Tipurile de scurtcircuit rare mase reprezintă o amenințare mai mică conform Santhanagopalan și colab [125]. Tipul 1 are ca rezultat generarea unei cantități mari de căldură, crescând temperatura celulei externe până la 100 °C. Cu toate acestea, materialele colectoare de curent sunt bune conductoare de căldură, ceea ce înseamnă că căldura generată poate fi disipată suficient de rapid pentru a preveni reacții ulterioare. Tipul 2 are cea mai mică cantitate de încălzire localizată dintre toate tipurile. Acest lucru nu este suficient pentru a declanșa mecanismele de autoîncălzire. În cele din urmă, Tipul 4 este cel mai probabil tip de scurtcircuit intern care să apară pe durata de viață a bateriei. Cu toate acestea, fluxul de curent rezultat este scăzut și, prin urmare, nu este considerat o amenințare majoră. Rezultatul va fi limitat la o mică creștere a temperaturii peste temperatura ambiantă. Este important să ținem cont de durata acestor evenimente de scurtcircuit intern. De exemplu, chiar și Tipurile 1, 2 sau 4 pot declanșa o fugă termică dacă sunt susținute pe o perioadă lungă de timp [125].

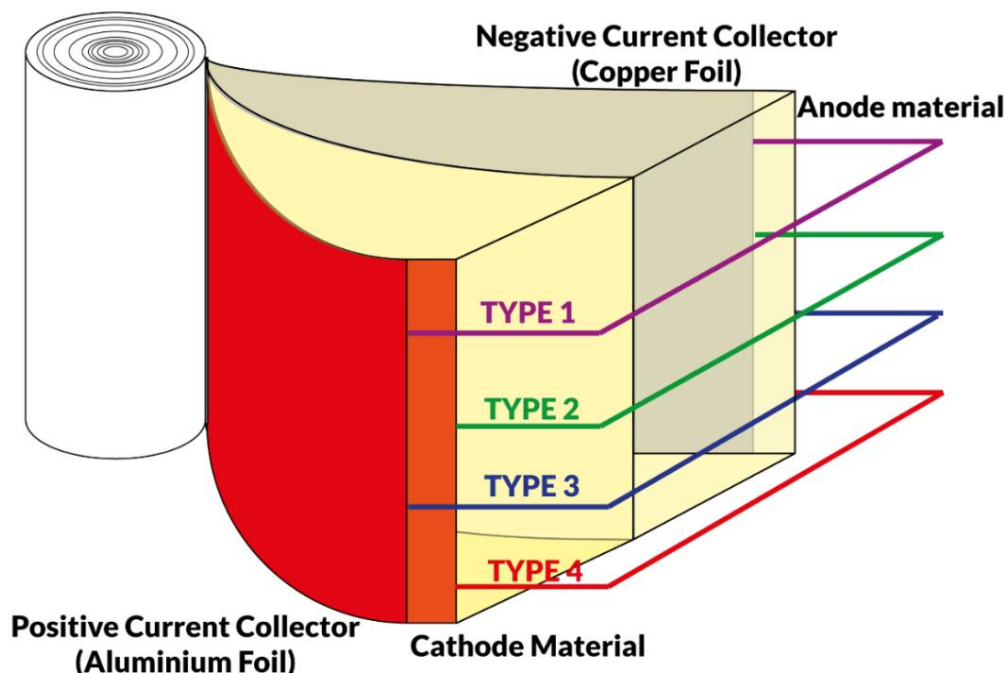


Figura 41 Există patru tipuri diferite de căi de scurtcircuit interne posibile. Nu toate sunt la fel de periculoase [125].

#### 4.2.2 Deformare mecanică și impact

Deformarea mecanică poate iniția, de asemenea, un scurtcircuit intern și poate duce la incendiu, vezi Figura 42. Deformarea severă poate fi rezultatul unui anumit accident sau impact asupra solului condiții. Trebuie evitate deformările severe ale acumulatorului. Sistemul de înaltă tensiune poate fi deteriorat, provocând scurtcircuite și arc și poate duce, de asemenea, la scurgeri de lichide inflamabile și conductoare. Potrivit Trattning și Leitgeb [46], cel mai rău scenariu într-un accident de mașină ar fi combinația de gaze de aerisire sau scurgeri de fluide cu surse de aprindere, cum ar fi arcuri electrice sau suprafețe fierbinți. Acest lucru ar putea duce la un scenariu rapid care trebuie amânat pentru ca pasagerii, potențial prinși, să scape din vehicul în siguranță.

Severitatea rezultatului unui scurtcircuit intern, rezultat din condițiile de accident, depinde de o multitudine de factori. Aceasta implică interacțiunea dintre contactul mecanic, generarea de căldură și descărcarea electrică, care poate duce sau nu la evadarea termică.

[126]. Acest lucru a fost discutat în Secțiunea 4.2.1.

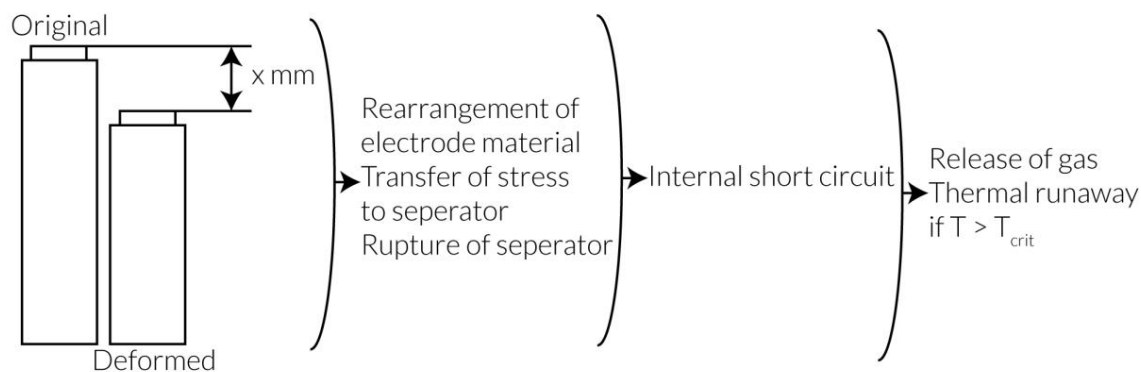


Figura 42 Deformarea mecanică care duce la fuga termică [126]

Pachetele de baterii sunt de obicei amplasate în zonele întărite și rigide ale autoturismelor, vezi Secțiunea 3.3. Zhu și colab. rețineți totuși că aceste pachete sunt încă vulnerabile la pătrunderea în interior coliziuni laterale, accidente mici prin suprapunere, precum și penetrare din cauza impactului cu resturile rutiere [127]. Ei menționează, de asemenea, că forțele generate de decelerația rapidă a vehiculului într-un accident pot fi suficient de mari pentru a duce la un scurtcircuit extern, provocând daune suplimentare.

Nu există multe date de testare disponibile pe vehiculele electrice care au fost testate la crash cu acumulatorul lor. Acest lucru poate fi motivat de faptul că testarea acestei combinații este însoțită de multe pericole pentru instalațiile de testare. Nici manipularea și eliminarea în siguranță a pachetelor de baterii deteriorate nu este simplă, așa cum se discută în Capitolul 5. Ca atare, testarea fizică este evitată, ceea ce înseamnă că multe dintre datele disponibile sunt obținute din simulări numerice [127].

Xia și colab. a dezvoltat un model numeric general care modelează procesul de indentare a LIB-urilor din cauza impactului la sol [50]. Studiul lor arată, printre altele, că nu există posibilitatea ca celulele bateriei să fie deteriorate din cauza impactului pietrelor zburătoare, de exemplu pietrișul.

Cu toate acestea, resturile de drum cu anumite caracteristici geometrice pot perfora bateria în anumite condiții. Ei menționează că este aproape imposibil să previi pe deplin pătrunderea scutului pentru toate obiectele de la sol. Odată ce scutul este perforat, alte straturi se vor fractura la scurt timp după. Acest lucru ar putea pune celulele LIB individuale în contact cu scutul rupt sau resturile de drum.

Proiectul EVERS SAFE a oferit o perspectivă asupra rezistenței la impact a vehiculelor electrice. Acest proiect a fost finanțat de UE și s-a concentrat pe determinarea cerințelor de siguranță necesare pentru vehiculele electrice. O parte din munca lor a luat în considerare răspunsul vehiculelor electrice în anumite condiții de accident prin teste atât fizice, cât și virtuale [58]. Aici, au creat un model care a simulat impactul trenului de rulare, pe baza lucrărilor menționate mai sus a lui Xia și colab. [50], care a considerat un Toyota Yaris EV cu configurația bateriei „T”. În studiul lor, EVERS SAFE a luat în considerare cele mai proaste condiții posibile pentru impactul la sol. Aceasta este o configurație de baterie „Floor”, adică configurația cu cea mai mică gardă la sol, combinată cu îndepărtarea completă a osiei din față a vehiculului. Ei au descoperit că această configurație era într-adevăr vulnerabilă la sol

impact, deoarece în interiorul bateriei au fost înregistrate sarcini semnificative pentru anumite dimensiuni, forme și viteze de impact.

Proiectul EVERS SAFE a identificat și definit, de asemenea, condiții critice de impact și risc ridicat condiții pentru vehiculele electrice [58] [128]. Două scenarii au fost de interes deosebit în ceea ce privește bateria, și anume impactul longitudinal și lateral. Dintre scenariile longitudinale luate în considerare de EVERS SAFE, s-a stabilit că impactul din spate prezintă cel mai mare risc din cauza cerințelor legale limitate care pot duce la faptul că vehiculele electrice fără rezervor de combustibil nu trebuie să și demonstreze siguranța în caz de accident pentru acest scenariu de accident, ceea ce duce la faptul că acestea Vehiculele electrice nu și demonstrează capacitatea de a proteja acumulatorul în teste fizice de impact spate. Scenariile laterale iau în considerare impacturile pe partea laterală a unui vehicul. Aceste condiții sunt cel mai probabil să aibă ca rezultat deformarea sau prăbușirea aceluiași și a structurii sale de protecție. Dintre diferite teste de impact lateral, impactul stâlpului lateral [129] a fost considerat cel mai periculos pentru vehiculele electrice.

Un alt proiect UE, numit OSTLER, a efectuat testul Euro NCAP pe stâlpi laterali [129] pe un Toyota Yaris EV, ca parte a muncii lor [130]. La o viteză de 50 km/h au găsit o prăbușire semnificativă a acumulatorului de 154 mm. Proiectul EVERS SAFE a efectuat un test similar pe un Mitsubishi iMiEV de prima generație la o viteză de 35 km/h [128]. Ei nu au observat nicio deteriorare a acumulatorului și nu au detectat substanțe chimice sau gaze ale bateriei.

În plus, Justen și Schöneburg de la Mercedes Car Group au prezentat rezultatele unei evaluări a siguranței la accidente a vehiculelor lor hibride și electrice [48]. Deși au descoperit intruziuni majore ale bateriei în timpul testelor de impact, nu au existat reacții termice sau electrice fără ca rezultat incendiu sau explozie. În Capitolul 5.1 sunt prezentate incidentele documentate care au rezultat în incendiu. Există, de asemenea, exemple de incidente reale cu impact de coliziune cu forță mare fără incendiu [131].

Rețineți că cazurile discutate în această secțiune iau în considerare în primul rând mașinile de pasageri, deoarece majoritatea informațiilor disponibile iau în considerare acele cazuri. Studii privind comportamentul de accident al LIB-urilor în vehiculele grele, cum ar fi autobuzele și camioanele grele, nu au putut fi identificate.

### 4.2.3 Încărcare

LIB-urile sunt concepute pentru a primi și stoca o anumită cantitate de energie pe o anumită perioadă de timp. Atunci când aceste limite sunt depășite, ca urmare a încărcării prea rapide sau a supraîncărcării, performanța celulei se poate degrada sau chiar eșua.

Nivelul de încărcare al bateriilor este definit în mod normal în termeni de stare de încărcare (SOC). Limitele lor operaționale pot fi definite de la 0 la 100%, ceea ce înseamnă că o baterie la 100% SOC este considerată complet încărcată la capacitatea sa nominală. Cu toate acestea, capacitatea maximă a bateriei depășește în mod normal capacitatea sa nominală, atât la limita superioară, cât și la cea inferioară.

Supraîncărcarea poate fi realizată atunci când tensiunea celulei este detectată încorect de sistemul de control al încărcării, când încărcătorul se defectează sau când este utilizat încărcătorul greșit [44].

La supraîncărcare, materialul anodului poate deveni excesiv de litiat. Ca urmare, intercalarea litiului încetează și litiul metallic se depune pe anod. Aceste depozite pot crește în degete metalice denumite în mod obișnuit dendrite. Pe măsură ce cresc, pot ajunge în punctul în care prăbușesc în separator și provoacă un scurtcircuit intern [132]. Opusul se întâmplă la catod. Aici supraîncărcarea poate duce la de-litierea până la punctul în care catodul se descompune termic și generează căldură.

Brand și colab. considerat debutul auto-încălzirii din cauza supraîncălzirii abuzului a patru celule de baterie [117]. Ei au descoperit că celulele care au considerat catodul LFP și materialul anodului C erau mai puțin rezistente la supraîncălzire. Când au fost complet încălzite și ușor supraîncălzite, 100 % SOC și, respectiv, 105 % SOC, au fost declanșate mecanisme de auto-încălzire. Au fost testate și alte tipuri de celule, inclusiv NMC și NCA cu anodi de carbon. Acestea au fost mai rezistente la supraîncălzire, deoarece auto-încălzirea a avut loc la 135 % SOC și, respectiv, 130 % SOC.

Când curentul electric trece prin materialul conductor, acesta produce căldură așa-numită căldură Joule. Aceasta înseamnă că curentul ridicat, care poate fi asociat cu rate de încălzire mai rapide, crește căldura care este generată în interiorul celulei bateriei. La un nivel de curent suficient de mare există riscul ca celula bateriei să se defecteze cu ușurință [44]. Tensiunea de încălzire prea mare poate duce, de asemenea, la destabilizarea structurii catodului, ceea ce poate scădea temperatura la care catodul începe să se descompună.

Efectul condițiilor de supraîncălzire, adică încălzirea la rate mari de încălzire, a fost demonstrat de Tobishima și Yamaki [44]. Ei au descoperit că la rate mari de încălzire de 2C7, ventilația de siguranță și carcasa capacului anodului s-ar deschide simultan, cu celula explodând. Testele de supraîncălzire au fost efectuate și de Larsson și colab. în [133] și [134]. În primul studiu, una din patru celule LFP care au fost supraîncălzite cu 2C a dus la incendiu. Wang și colab. [115] a rezumat rezultatul mai multor teste de abuz de supratăzire. Ei menționează că, în general, abuzul poate apărea la încălzirea la 0,5C și peste.

Încălzirea la temperaturi scăzute, de exemplu sub 0°C, ar trebui evitată pentru a preveni inițierea rapidă și creșterea dendritelor de litium capabile să formeze scurtcircuite interne. Amintiți-vă că în timpul procesului de încălzire, ionii de litium se deplasează de la catod la anod. Acestea sunt apoi stocate în structura stratificată a anodului. Încălzirea la temperaturi scăzute afectează acest proces cinetic în interiorul celulei LIB. Ca rezultat, ionii de litium pot forma litium metalic în loc să se intercaleze în anod. Acestea inițiază rapid dendrite [135]. La rândul său, acest lucru poate provoca scurtcircuite interne.

## 4.2.4 Descărcare

Când LIB este descărcat, ionii de litium curg de la colectorul de curent negativ și anodul către colectorul de curent pozitiv și catod. Dacă nivelul de descărcare devine prea mare, totuși, colectorul de curent negativ, care constă din cupru, se poate dizolva. Ca rezultat, mici particule conductoare de cupru sunt eliberate în electrolit care cresc riscul unui scurtcircuit intern [132]. De asemenea, poate duce la degajarea de hidrogen și oxigen, aerisirea celulelor și placarea catodului.

Abuzul de supradescărcare are loc atunci când se descarcă celulele bateriei sub tensiunea lor minimă. În cazul improbabil în care patru celule de baterie sunt în serie, iar una dintre ele este complet descărcată (0 V), acest lucru ar putea duce la descărcarea celulei goale și mai mult [117]. În acest caz, polaritatea celulei se inversează. Brand și colab. au luat în considerare acest scenariu în studiul lor privind abuzul excesiv de descărcare pe celulele C/LFP, C/NMC și C/NCA. Au descărcat bateriile de la 100 % SOC la o rată de 1 C, dar nu au măsurat creșteri semnificative de temperatură (max. 47,5 °C) și nu au observat deteriorarea carcasei celulei.

<sup>7</sup> Aceasta se referă la rata de încălzire și descărcare a bateriei. O rată de încălzire de 2C înseamnă că curentul de încălzire este de două ori mai mare decât capacitatea bateriilor de a stoca sarcina electrică. 1C este curentul necesar pentru a încălzi complet bateria într-o oră.

Testele de abuz de supradescărcare pe celule de pungă C/NMC cu o capacitate de 25 Ah au fost efectuate de Guo și colab. [136]. Ei au identificat diferitele etape de defectare în timpul condițiilor de supradescărcare. La -10% SOC (de capacitate maximă, ceea ce înseamnă polaritatea inversată a celulei) stratul SEI de pe anod a început să se descompună, urmată de dizolvarea colectorului de curent de cupru la -12% SOC. Nivelurile de încărcare sub -12% au dus la scurtcircuite interne, unde intensitatea lor a crescut odată cu scăderea nivelurilor de încărcare. Guo și colab. De asemenea, menționează că acest risc este mai mare atunci când celulele bateriei care sunt conectate în serie [136].

Descărcarea excesivă poate apărea atunci când se descarcă o baterie unde nivelurile de încărcare ale celulelor sale individuale nu sunt în echilibru. În mod normal, există sisteme de siguranță pentru a preveni acest lucru. Cu toate acestea, este încă posibil ca acest lucru să se întâmple dacă aceste sisteme de siguranță eșuează și bateria este utilizată greșit [132]. În cazul în care a fost depozitat pentru perioade lungi de timp, astfel încât auto-descărcarea să aibă un efect, încărcarea poate cauza probleme dacă celulele individuale ating SOC prea scăzut. Cu toate acestea, auto-descărcarea nu poate cauza în sine o supradescărcare în sensul polarității inverse.

## 4.2.5 Scurtcircuit extern

Un scurtcircuit extern este o altă formă de abuz electric care poate destabiliza bateria.

Acest eveniment poate apărea în cazul în care bateria este expusă, de exemplu, la deformări mecanice severe și la impact, scufundare în apă, coroziune și șoc electric în timpul întreținerii.

Răspunsul celulelor prismatice C/LCO din otel inoxidabil atunci când sunt expuse la un scurtcircuit extern a fost investigat de Leisner și colab. [137]. Ei au observat un vârf de curent foarte mare și o temperatură internă a celulei de 132 °C pentru o celulă C/LCO. Reținem că aceste celule nu au fost echipate cu dispozitive de siguranță de limitare a curentului sau de declanșare a temperaturii.

Testele de scurtcircuit extern au fost efectuate de Davidsson et al. pe trei tipuri diferite de celule [138]. Acest lucru a fost realizat cu un contactor care a fost limitat la 10 000 A. Scurtcircuitul al unei celule cu material de ambalare din plastic dur corespundea unui curent inițial de 3200 A înregistrat. Presiunea din interiorul celulei a crescut apoi semnificativ și celula a izbucnit în bucăți. O celulă de pungă, cu o încintă din folie metalică, sa extins semnificativ după un curent inițial de 1800 A urmat de ruperea celulei. Ultima baterie, cu carcasă metalică, nu a fost afectată de scurtcircuit. Nu a fost observată nicio activitate după măsurarea curentului inițial de 200 A. Nu este clar dacă celulele considerate aveau siguranțe încorporate sau orificii de ventilație.

Wang și colab. a rezumat rezultatele testelor externe de scurtcircuit [115]. Metoda de testare a luat în considerare conectarea unui rezistor peste bornele pentru a permite fluxului de curent să încălzească celula considerată a bateriei. Aceștia menționează că, deși există încălzire internă, există și o disipare semnificativă a căldurii a circuitului extern. Ei nu au menționat dacă acest lucru a fost suficient pentru a preveni declanșarea mecanismelor de autoîncălzire.

Larsson și colab. a efectuat teste externe de abuz de scurtcircuit pe celule LIB [133], [134]. În primul test, celula sa extins la 20 până la 30 de secunde după ce scurtcircuitul a fost inițiat.

Apoi curentul măsurat a scăzut în timp ce celulele au ventilat timp de 2 minute. Au fost înregistrate temperaturi ale celulelor externe de până la 100 °C, urmate de descărcare la 43% SOC. Lamelele terminalelor au ars în timpul acestui test pentru una dintre celulele bateriei considerate și astfel au întrerupt scurtcircuitul extern.

Rezistența la scurtcircuit extern a celulelor de pungă de 10 Ah independente și conectate în serie a fost studiată de Kriston și alții. [139]. Scurtcircuitul a fost inițiat prin conectarea bateriei

terminale folosind diferite rezistențe externe. Ei au clasificat comportamentul care a urmat în trei etape. Primii curenți mari sunt înregistrați. Aceasta este urmată de o scădere a curentului, creșterea temperaturii celulei, vaporizarea electrolitului, creșterea presiunii și aerisirea celulelor. În cele din urmă, pe măsură ce materialul activ se descarcă, curentul scade. Rețineri care evadarea termică sau eliberarea unui fum semnificativ nu a fost observată pentru celulele studiate. Cititorul este trimis la Kriston și colab. pentru videoclipuri și imagini detaliate ale testelor [139].

## 4.2.6 Expunerea la temperaturi ridicate

Unul dintre factorii limitanți ai siguranței celulei LIB este stabilitatea sa termică. Când sunt expuse la temperaturi ridicate, mecanismele interne de degradare și reacțiile exoterme pot duce la probleme. Când temperatura externă a bateriei este mai mare decât temperatura internă, aceasta este încălzită în loc de răcită. Odată ce bateria se încălzește la anumite niveluri de temperatură, mecanismele de descompunere sunt declanșate determinând bateria să genereze mai multă căldură. După cum s-a arătat anterior în Tabelul 15, adevărata rata problemă apare atunci când este atins stadiul de fuga.

Rezistența la temperaturi exterioare ridicate poate fi evaluată prin încălzire externă în cuptor sau printr-un foc exterior. Larsson și colab. considerată încălzire externă prin cuptor în [133], [134] și [140].

Aici celulele LIB au fost montate într-un cuptor care a fost încălzit la 300°C într-o perioadă de timp stabilită. În [140] această metodă a fost folosită pentru a evalua celulele LCO-grafit prismatice dure. Acest studiu a constatat că toate celulele au suferit evadare termică la temperaturi peste 190 °C și eliberează fum și gaz. Rețineri care această temperatură se referă la ultimul punct înainte ca temperatura să crească enorm. Pentru aproximativ jumătate din cazurile studiate, gazele acumulate în cuptor s-au aprins și au explodat. Acest lucru a avut loc la aproximativ 15 secunde după ce a fost inițiată fuga termică. Un alt studiu al lui Larsson et al. [133] a constatat că evadarea termică a unei celule Samsung 18650 cilindrice a fost observată la aproximativ 220°C. Acest lucru a avut ca rezultat un incendiu imediat și o rată extremă de creștere a temperaturii. În plus, cu puțin timp înainte de fuga termică, celula a descărcat electrolitul arzând. Același studiu a luat în considerare și celulele pungă LFP. Aici nu au observat semne sau foarte slabe de evadare termică.

În loc să plaseze celulele bateriei într-un cuptor, acestea pot fi expuse la foc extern. Într-un mod similar cu ceea ce s-a discutat înainte, acest lucru poate declanșa un eveniment termic de fuga.

Larsson și colab. a studiat acest lucru în [134], [141], [142], [143] prin expunerea diferitelor celule LIB la arzătorul de propan.

Întregul acumulator poate fi, de asemenea, expus la un incendiu extern. Acesta ar putea fi rezultatul unei scurgeri de combustibil, de exemplu, care se acumulează sub pachetul LIB și se aprinde. În timp, această căldură poate pătrunde într-un pachet de baterii, poate inițierea defectă a celulei și se poate răspândi în interiorul pachetului. Pentru a atenua acest risc, VE-urile trebuie să treacă testele de rezistență la foc, adică Reg. UNECE. nr. 100 [144]. Timpul în care acumulatorul este expus la flăcări externe este de 2 minute. Acest test este similar cu testul efectuat pe rezervoarele de benzină. În test, mărimea incendiului este determinată de geometria bateriei sau respectiv a rezervorului. Atunci când nu există nicio dovadă de explozie în aceste 2 minute sau în următoarea perioadă de observare sau în următoarea perioadă de observare, în care obiectul de testat urmează să atingă temperatura ambiantă sau are o scădere a temperaturii timp de cel puțin în 3 ore, acest test poate fi considerat ca trecut. Rețineri care testul poate fi efectuat fie la nivel de scară completă (EV), fie la nivel de componentă (pachet LIB).

În cazul primelor teste înregistrate au arătat că se poate obține o rezistență la foc foarte mare. Sa constatat că pachetul LIB nu contribuie la incendiu timp de 25-40 de minute când



integrat într-un EV. Această rezistență scade atunci când bateria este luată în considerare separat. Apoi timpul se poate reduce la 2-11 minute [145] [146] [147] [148] [149] [150].

Expunerea la temperaturi ridicate poate fi, de asemenea, rezultatul unor defecte de fabricație, cum ar fi slăbirea conectori pentru celulele bateriei. Beauregard a investigat un PHEV distrus de incendiu în 2008 [151].

Ei au descoperit că cauza probabilă a acestui eveniment au fost conectorii slăbiți. În combinație cu un vehicul vibrant, acest lucru a dus la acumularea de căldură. La rândul lor, celulele bateriei au scurtcircuitat, ceea ce a dus în cele din urmă la arderea vehiculului.

În cele din urmă, este important să se ia în considerare faptul că pot exista implicații negative pentru creșterea temperaturii ambientale a LIB. Deși acest lucru poate să nu declanșeze direct reacții negative, reduce marja de siguranță. Când sunt aproape de marginea acestei margini, reacțiile interne de scurtcircuit care altfel nu ar declanșa reacții de autoîncălzire ulterioare pot împinge o celulă a bateriei peste margine [125].

### 4.3 Pericole și factori de risc

Atunci când o baterie se defectează, aceasta poate avea mai multe rezultate diferite, de exemplu, aerisire, incendiu sau chiar explozie. Aceste pericole diferite au fost clasificate de Consiliul European pentru Cercetare și Dezvoltare Auto (EUCAR), vezi Tabelul 16. Aici o explozie este cel mai grav eveniment. Când se încălzesc LIB-urile, presiunea lor internă se acumulează și, în cele din urmă, celula se crapă și/sau se aerisește sau explodează. Este explozia celulară la care se face referire în Tabelul 16.

În plus, dacă gazul eliberat se poate acumula pentru a crea un mediu exploziv care este aprins, aceasta duce la o explozie. Acest tip de explozie nu este de obicei abordat prin testarea bateriei, cu excepția unor teste dezvoltate mai recent.

În 2015, Hendricks et al. a dezvoltat o metodă cuprinzătoare de analiză a modurilor, mecanismelor și efectelor de defectiune (FMMEA) ale LIB-urilor [132]. FMMEA produce un număr de prioritizare a riscurilor care combină probabilitatea de apariție, severitatea și detectabilitatea defectiunii pentru un anumit sistem de baterii. Articolul lor a inclus un tabel rezultat care rezumă un FMMEA de LIB-uri axat pe modurile de defectiune internă într-o celulă de baterie.

Factorii care afectează gravitatea acestor pericole sunt variații și complexe. Printre altele, acestea pot fi legate de chimia bateriei, nivelul de încălzire a acesteia și cauza defectiunii.

Această secțiune se concentrează pe chimia bateriei și nivelul de încălzire. În plus, este discutat riscul ca eșecurile să se propage de la o celulă la alta.

Tabelul 16 Nivelurile de pericol ale Consiliului European pentru Cercetare și Dezvoltare Auto (EUCAR) și descrieri [152]

Nivel de pericol	Descriere	Criterii de clasificare și efect
0	Fara efect	Fara efect. Fără pierderi de funcționalitate.
1	Protecție pasivă activată	Nici un defect; fără scurgeri; fără aerisire, foc sau flacăra; fără ruptură; fără explozie; nicio reacție exotermă sau evadare termică. Celula deteriorată ireversibil. Este necesară repararea dispozitivului de protecție.
2	Defect/deteriorare	Fără scurgeri; fără aerisire, foc sau flacăra; fără ruptură; fără explozie; nicio reacție exotermă sau evadare termică. Celula deteriorată ireversibil. Este nevoie de reparație.
3	Scurgere, < 50%	Fără aerisire, foc sau flacăra; fără ruptură; nicio explozie. Pierdere în greutate <50% din greutatea electrolitului (electrolit = solvent + sare)
4	Ventilare, 50%	Fără foc sau flacăra; fără ruptură; nicio explozie. Pierdere în greutate 50% din greutatea electrolitului (electrolit = solvent + sare).
5	Foc sau flacăra	Fără ruptură; fără explozie (adică fără piese zburătoare).
6	Ruptură	Nicio explozie, ci pârți zburătoare ale masei active.
7	Explozie	Explozie (adică, dezintegrarea celulei).

### 4.3.1 Chimie

Evadarea termică și dezvoltarea căldurii și focului în baterii variază în funcție de chimia bateriei. Un studiu realizat de Maleki et al. [153] a concluzionat că reacțiile exoterme dintre electrolit și materialul catodic la temperaturi ridicate sunt principalii factori care contribuie la evadarea termică. Doughty și Pesaran [111] afirmă că ordinea stabilității termice pentru materialele catodice urmează LFP>LMO>NCM>NCA>LCO, în ordine descrescătoare. Este important de reținut că stabilitatea termică se referă la cantitatea de căldură care este generată pe unitatea de timp atunci când au fost declanșate reacțiile exoterme. Nu se reflectă asupra temperaturii la care sunt declanșate.

Testarea abuzului de Larsson et al. [37] a arătat că evadarea termică este inițiată după ce temperatura celulei bateriei atinge 150-200°C. Ei au arătat, de asemenea, că LIB-urile cu catod LFP au un eveniment de evadare termică mai puțin sever decât un LIB cu catod LCO [133].

Xiang și colab. [116] a investigat stabilitatea termică a electrolitului pe bază de LiPF<sub>6</sub>, atât independent, cât și în contact cu diferite materiale catodice. Ei au descoperit că electrolitul produce reacții exoterme puternice sub 225°C. După aceasta, ei s-au uitat la electrolitul pe bază de LiPF<sub>6</sub> în combinație cu mai multe materiale catodice. Acest lucru a arătat

<sup>8</sup> „Prezența află că rii necesită prezența unei surse de aprindere în combinație cu combustibil și oxidant în concentrații care vor susține arderea. Un foc sau o flacăra nu va fi observată dacă oricare dintre aceste elemente este absent. Din acest motiv, vă recomandăm să folosiți o sursă de scânteie în timpul testelor care ar putea duce la aerisirea celulelor (ele). Credem că „mediile de abuz credibile” ar include probabil o sursă de scânteie. Astfel, dacă o sursă de scânteie ar fi adăugată configurației de testare și gazul sau lichidul expulzat din celulă ar fi inflamabil, articolul de testat ar progresa rapid de la nivelul 3 sau nivelul 4 la nivelul 5” [152].

<sup>9</sup> Găsit în marea majoritate a LIB-urilor comerciale [37].

că LCO poate elibera oxigen la temperaturi ridicate și poate induce în continuare reacția de ardere a electrolitului pe bază de LiPF<sub>6</sub>.

Xiang și colab. [116] au investigat și celulele cu catozi LFP. Ei au descoperit că acest material catodic poate inhiba descompunerea electrolitului și poate produce un eveniment termic mai puțin sever. Mai exact, că dură sa de reacție a mă sură 35 J/g între 20-225°C. În comparație, electrolitul în sine sau împreună cu catozii LCO sau LMO a dus la 258 J/g, 358 J/g și, respectiv, 308 J/g.

Xiang și colab. [116] a mai descoperit că temperatura de debut pentru reacțiile de descompunere a materialelor catodice a fost cea mai ridicată pentru LFP, adică 218°C. Alți catozi testați, cum ar fi LCO și LMO, au dat o temperatură de debut în jurul valorii de 168°C și, respectiv, 110°C. La 202°C, produsele polimerice din electrolitul pe bază de LiPF<sub>6</sub> au început să se descompună. Rețineți că LMO, care este considerat mai sigur decât LCO [111], s-a dovedit a avea o temperatură de debut mai scăzută. Acest lucru se datorează faptului că siguranța este adesea legată de stabilitatea termică și nu de temperatura de debut. Xing et al. [115] susține că căldura de reacție eliberată sub 225°C este indicatorul cheie pentru stabilitatea termică, care s-a dovedit a fi mai mică pentru LMO decât pentru LCO.

Brand și colab. [117] a înregistrat temperaturile de debut pentru diferite celule LIB folosind calorimetria cu arc accelerat. Ei au descoperit că auto-încălzirea cu viteze de temperatură mai mari de 5°C/min. a avut loc la temperaturi de 212°C și 287°C pentru celulele LFP. S-a constatat că temperaturile de debut pentru celulele NMC și NCA corespund cu 212 și, respectiv, 183°C.

Din punct de vedere al focului și al generării de căldură, LFP este opțiunea preferată. Cu toate acestea, poate să nu fie la fel de favorabil când se ia în considerare eliberarea de gaze toxice sau riscul de explozie. Larsson susține că acesta poate fi efectul secundar negativ al efectului de suprimare pe care îl are LFP [37]. Amestecul de gaze emis de LIB tinde să fie mai toxic atunci când nu arde. În plus, gazele se pot acumula și pot experimenta o aprindere întârziată care are ca rezultat o explozie de gaz dacă are loc într-un loc închis, cum ar fi o cameră, o clădire, o parcare etc. [154].

### 4.3.2 Starea de încărcare și capacitatea celulei

Capacitatea și starea de încărcare (SOC) afectează, printre altele, comportamentul unui LIB care duce la și în timpul evadării termice. Bateriile cu capacitate mare, cum ar fi cele utilizate pentru aplicații auto, generează mai multă căldură atunci când sunt utilizate. Acest lucru se datorează fluxului de curent mai mare în interiorul celulei. Acest lucru le face mai vulnerabile, deoarece reacțiile de auto-încălzire vor fi declanșate mai repede, crescând probabilitatea de evadare termică [125]. La niveluri de încărcare mai mari, gradul de litiare pe anod este mult mai mare. Acest material este foarte reactiv și s-a dovedit că crește te probabilitatea de evadare termică [125] [118].

Larsson și colab. a efectuat teste de abuz pe bateriile cu niveluri de încărcare diferite în [134] și [141] prin expunerea acestora la foc extern. Aici ei au arătat că un nivel de încărcare mai mare corespunde unei eliberări de energie totală mai rapidă și unei rate de eliberare a energiei de vârf mai ridicate. Un nivel de încărcare mai scăzut a produs o rată de eliberare a energiei mai scăzută, distribuită pe o perioadă mai lungă de timp. Cu toate acestea, nivelul de încărcare al bateriilor nu a avut un efect semnificativ asupra cantității totale de energie eliberată.

Eliberarea de gaze toxice este, de asemenea, afectată de nivelul SOC al unui LIB [141]. Larsson și colab. a arătat că SOC mai mic a produs cantități mai mari de fluorură de hidrogen (HF) care trebuie eliberate. Rezultate similare au fost găsite de Ribière et al. în [120]. Ei concluzionează că mă sură

cantitatea de HF indică o dependență de SOC și că concentrația maximă a fost atinsă la zero la sută SOC. Acest lucru poate indica faptul că o parte mai mare de HF este consumată de incendii mai severe cu temperaturi mai ridicate, cum ar fi cele asociate cu niveluri ridicate de SOC.

Ouyang și colab. a investigat pericolul de incendiu asociat bateriilor litiu-ion în condiții de supraîncărcare [155]. Ei au efectuat experimente de abuz pe două tipuri de celule diferite, NMC și LFP. Aceste celule au fost încărcate la diferite niveluri, variind între 4,2 V și 5 V și au fost abuzate. Abuzul a avut în vedere încălzirea lentă a celulelor cu un încălzitor electric. Printre altele, Ouyang et al. au analizat câțiva parametri de siguranță, cum ar fi cei legați de declanșarea evadării termice (TR) și căldura radiată [155]. Pentru comoditatea cititorilor, aceste rezultate ale lui Ouyang et al. au fost copiate și prezentate în Tabelul 17 și Tabelul 18.

Rezultatele prezentate în Tabelul 17 prezintă efectul pe care nivelul SOC îl are asupra răspunsului celulei abuzate [155]. Acest răspuns este prezentat în termeni de timp/temperatură necesar pentru ruperea celulei, aprindere și evadare termică. Rezultatele lor arată că celulele la niveluri mai ridicate de SOC trec prin diferitele etape mai repede, cu o fugă termică deosebit de violentă și eiecție pentru SOC ridicat. Ei au menționat, de asemenea, că atunci când au avut loc fuga termică și eiecție, a fost deosebit de violent pentru un SOC ridicat. Comportament similar a fost înregistrat de Ribière et al. [120]. SOC ridicat a produs o eliberare rapidă a energiei, în timp ce nivelurile mai scăzute de SOC au arătat o evaporare termică mai puțin severă și o ardere mai lentă a bateriei.

Golubkov și colab. a investigat impactul SOC și supraîncărcarea asupra celulelor comerciale LIB cu catodi LFP și NCA [118]. Ei au descoperit că este necesar un nivel minim de încărcare pentru ca evadarea termică să fie inițiată. Încălzirea celulelor complet descărcate la 250 °C nu a dus la evadare termică. Cel puțin în 50 % și 25 % SOC au fost necesare pentru celulele LFP și, respectiv, NCA considerate, pentru ca acest mecanism să fie declanșat. La 100% SOC, a avut loc o auto-încălzire semnificativă atunci când ambele celule s-au încălzit la ~140 °C. Când este supraîncărcat la 143 % SOC, aceasta scade până la 65 °C. A existat totuși o diferență semnificativă între temperaturile maxime înregistrate ulterior. Adică, temperaturi maxime ale celulei de 440 °C și, respectiv, 911 °C pentru LFP și NCA.

Tabelul 17 Specificații ale temperaturii suprafeței bateriei în timpul testării abuzive de căldură Ouyang și colab. [155].

Celulă	Atăta la calea Voltaj [V]	Timp pentru Crăpături [s]	Temp. la Cracks [°C]	Timp pentru Aprindere [s]	Temp. la Aprindere [°C]	Timp pentru Termic Fuga [s]	Temp. la Fuga termică [°C]	Max. Temp. [°C]
NMC	4,2	197	127	239	158	317	232	553
	4,5	196	129	230	162	280	226	606
	4,8	191	133	222	160	273	228	630
	5,0	190	132	219	163	262	230	673
LFP	4,2	201	115	300	182	358	229	571
	4,5	202	115	266	175	310	218	585
	4,8	185	121	259	178	290	224	630
	5,0	181	127	251	181	280	227	647

Ouyang și colab. a măsurat, de asemenea, fluxul de căldură radiativ al bateriilor testate [155]. Acest rezultat este prezentat în Tabelul 18. Informațiile se referă la cantitatea de energie sau căldură care este radiată de celulele bateriei considerate. Cu cât fluxul radiativ de căldură este mai mare, cu atât obiectele din jur se vor încălzi mai repede. Aceasta înseamnă, de asemenea, că se reduce timpul după care alte celule ale bateriei pot defecta. Timpul necesar pentru a aprinde un obiect se referă la cantitatea de energie eliberată pe obiect pe unitatea de timp, adică fluxul de căldură. Cu cât această valoare este mai mare, cu atât mai scurtă

timpul necesar pentru a aprinde o altă suprafață . Ouyang și colab. [154] arată că NMC eliberează mai multă energie decât bateria LFP. Mai important, ei arată că energia radiată crește semnificativ pentru SOC mai mare.

Tabelul 18 Date detaliate despre fluxul de căldură în teste abuzive efectuate de Ouyang și colab. [155].

	Tensiune de întrerupere a celulei [V]	Flux de căldură de vârf [kW/m <sup>2</sup> ]	Căldură radiativă totală [kJ/m <sup>2</sup> ]
NMC	4,2	1,81	25,9
	4,5	3,08	26,7
	4,8	6,51	41,4
	5,0	7,63	41,9
LFP	4,2	1,98	26,7
	4,5	4,77	34,7
	4,8	6,72	36,3
	5,0	1,99	17,9

### 4.3.3 Propagarea termică

Propagarea termică se referă la cazul în care o singură defecțiune a celulei bateriei se răspândește la celulele învecinate. Cu cât este mai mare numărul de celule implicate, cu atât este mai mare cantitatea de gaz și energie care poate fi eliberată. Riscul de propagare semnificativă a incendiului crește în consecință. Este foarte important să nu neglijăm și să prevenim această defecțiune care poate avea originea dintr-o singură celulă și poate duce la fuga termică a unui pachet mare de celule [156]. Rețineți că vehiculele electrice poate conține un număr foarte mare de celule într-un pachet de baterii și, din cauza spațiului limitat și a densității de energie optimizată în pachete, distanța mică sau între celule și module este în general un fapt. Acest lucru este benefic pentru propagarea termică.

Lamb et al. [157] a investigat propagarea eşecului în modulele LIB. Celulele cilindrice și cele de pungă C/ LCO au fost considerate și aranjate ca triunghi sau, respectiv, stivă, pentru a crea un modul de baterie. Celulele au fost fie conectate în serie, fie în paralel. Evadarea termică a fost apoi inițiată într-una dintre celulele din fiecare modul prin penetrarea mecanică a unghiilor. Ei au descoperit că golurile semnificative de aer din jurul celulelor cilindrice limitează transferul de căldură între ele în timpul unei evadări termice. Celulele conectate în paralel au dus la o propagare mai puternică datorită transferului de căldură de-a lungul terminalelor combinat cu scurtcircuit. Transferul de căldură între celule a jucat un rol mai important pentru modulul de pungă. Evacuarea termică s-a propagat prin module, indiferent dacă conexiunea a fost în serie sau în paralel.

În ceea ce privește propagarea termică, este important să se ia în considerare starea încălzită a bateriei. Acest lucru a fost discutat mai detaliat anterior, dar tendința generală este că rata de eliberare a energiei pentru celulele încălzite este mult mai mare decât celulele descălzite. Potrivit Hewson și Domino [158], acesta este motivul pentru care reglementările impun ca bateriile care urmează să fie transportate sau manipulate să fie sub o anumită stare de încălzire critică.

Înainte de ventilare, cantitatea de căldură pe care o poate genera o celulă a bateriei este parțial limitată de cantitatea de oxigen din interiorul celulei. Când celula bateriei se evacuează, este disponibilă o sursă de oxigen proaspăt. Potrivit Santhanagopalan și colab. [123] acest lucru ar putea permite eliberarea de căldură de până la 2 sau 3 ori mai multă decât atunci când celula nu se aerisește. Prin urmare, ei propun să restricționeze disponibilitatea oxigenului în interiorul pachetelor de baterii, astfel încât să fie generată mai puțină căldură de o celulă defectă, reducând ulterior riscul de propagare. Cu toate acestea, este important să se țină cont de limitele de inflamabilitate ale gazelor respective care sunt degajate pentru a evita exploziile.

## 4.4 Provocări pentru respondenți

În 2013, Long și colab. a efectuat teste de incendiu la scară largă pe două tipuri de baterii folosind o machetă carcasă de vehicul utilizată în scopuri de instruire a pompierilor [147]. Unul dintre scopurile acestor teste a fost acela de a determina dacă există cerințe speciale pentru operațiunile de stingere a incendiilor care implică vehicule electrice în comparație cu vehiculele ICE convenționale. Bateriile au fost amplasate în locații relativ ușor accesibile din vehicul: în compartimentul de depozitare a marfă din spate, fie la vedere, fie sub o „placă” simulată. Pompierii au observat că cea mai mare provocare a fost alimentarea cu apă la sursa incendiului. Ar putea să fie exteriorul acumulatorului, dar nu puteau ajunge la celulele care ardeau decât dacă exista o modalitate de a injecta apa în interiorul pachetului. Incendiile s-au aprins de mai multe ori în 5 din cele 6 teste.

În ceea ce privește operațiunile de stingere a incendiilor, cercetătorii au descoperit, de asemenea, că, în mod normal, nu există niciun pericol pentru pompieri pentru șoc electric din cauza utilizării apei ca agent de stingere [147] [159]. Două serii de teste de incendiu au inclus suprimarea incendiilor LIB cu ceață de apă [37] [141]. În ambele cazuri, emisiile totale de HF au fost similare indiferent dacă a fost folosită sau nu ceață de apă, dar producția de HF a crescut semnificativ în timp ce ceață de apă a fost aplicată pe foc. Expunerea la HF ar putea fi astfel un pericol pentru serviciul de pompieri dacă ceață de apă este utilizată ca agent de suprimare sau posibili alți agenți pe bază de apă, cu toate acestea, au fost efectuate foarte puține cercetări în acest sens. Informații suplimentare despre toxicitatea gazelor emise de LIB se găsește în secțiunea 4.4.2 de mai jos.

Egelhaaf [146] a constatat că a fost emisă o cantitate foarte mare de fum după stingerea bateriilor și a recomandat ca o zonă mai mare decât cea normală să fie blocată în comparație cu un incendiu de vehicul ICE.

Pentru vehiculele electrice nu există doar amenințarea unui incendiu imediat după un accident, ci și riscul unui eveniment întârziat. Acest lucru se poate întâmpla în timpul manipulării post-accident, inclusiv în timpul activităților de remorcare și de atelier. În plus, există riscul de a reaprinde o perioadă semnificativă de timp după prima stingere. Aceste riscuri legate de manipularea vehiculelor electrice avariate sunt detaliate în secțiunea 5.2.

### 4.4.1 Identificarea vehiculelor electrice

Una dintre cele mai mari provocări pentru respondenți este identificarea tipului de vehicul cu care au de-a face [160]. Grant [159] afirmă că poate fi greu să distingem vehiculele electrice de vehiculele ICE datorită caracteristicilor exterioare similare. Este foarte important să înțelegem ce tip de vehicul este tratat pentru a face o evaluare adecvată a pericolelor asociate acestuia.

BEV-urile sunt, fără îndoială, cele mai ușor de distinse de vehiculele convenționale, deoarece nu au sistem de evacuare și, prin urmare, nu au țevă de eșapament. Cu toate acestea, acest lucru ar putea fi încă dificil de determinat într-o situație de accident. Componentele de înaltă tensiune sunt identificabile după culoarea portocalie și prezența autocolantelor de avertizare.

Unele vehicule electrice pot fi recunoscute după insigne sau autocolante pe spate sau pe laterale. Pe lângă căutarea autocolantelor sau insinelor pe vehicul, Moore propune să caute și ușuri mici pe lateral, față sau spate ale vehiculului pentru a determina dacă vehiculul considerat este un EV plug-in.

(PHEV & BEV) [161]. Micile ușuri la care se referă Moore pot ascunde gâtul rezervorului de combustibil sau orificiul de încărcare. Două ușuri indică că vehiculul este PHEV, una pentru încărcare și alta pentru

alimentarea cu combustibil. Dacă există o singură ușă, aceasta va trebui deschisă pentru a stabili dacă este pentru alimentare sau încărcare. Este important să se ia în considerare faptul că această strategie nu poate fi utilizată pentru a evalua dacă un vehicul poate avea un LIB la bord. HEV-urile nu sunt proiectate pentru încărcare prin plug-in, dar pot încă găzdui, de exemplu, un LIB de 48 V [17].

Deși recunoașterea imediată ar putea să nu fie posibilă doar pe baza exteriorului vehiculului, o înțelegere a construcției generale a vehiculelor electrice poate fi utilă. Informațiile prezentate în capitolele 2 și 3 oferă câteva informații de bază despre această chestiune. Printre altele, aici s-a constatat că bateriile și, prin urmare, și componentele de înaltă tensiune, sunt plasate în mod normal sub podea și departe de zonele mototolite. Acest lucru este valabil mai ales pentru mașinile de pasageri. Pentru autobuze, bateriile pot fi răspândite în mai multe locații diferite. Nu există încă multe camioane electrice grele pe piață, dar o locație probabilă pentru sistemul de înaltă tensiune este între axele roților din față și din spate.

Există aplicații disponibile care pot ajuta în această problemă. Unul dintre acestea este Crash Recovery System (CRS) dezvoltat de Moditech Rescue Solutions BV [162]. Programe precum al lor pot fi utile în manipularea vehiculelor electrice, deoarece oferă informații despre, printre altele, locația pachetelor de baterii și a sistemelor de înaltă tensiune.

#### 4.4.2 Toxicitatea gazelor evacuate și a scurgerii apei de incendiu

Toxicitatea emisiilor de la LIB este o zonă de îngrijorare pentru siguranța pasagerilor din vehiculele electrice, pompierii și alt personal de intervenție în situații de urgență și pentru mediu. Acest pericol este sporit atunci când vehiculul emite gaze într-un spațiu restrâns, cum ar fi o parcare sau un tunel.

Celulele LIB pot produce o cantitate mare de gaz toxic atunci când experimentează evadarea termică și, de asemenea, pot evacua gaze fără a suferi evadare termică [154]. Compoziția acestor gaze depinde de chimia celulei și de starea de încărcare, temperatură, presiune și condițiile atmosferice înconjurătoare [163]. Eforturile de a suprima incendiile LIB pot avea ca rezultat o cantitate relativ mare de apă contaminată sau alt material de scurgere spumă /lichid care ar trebui colectat și eliminat într-un mod responsabil.

Emisiile de gaz de monoxid de carbon (CO) sunt normale atunci când materialele pe bază de carbon ard. În prezent, nu se știe dacă CO reprezintă o amenințare mai mare într-un incendiu EV decât într-un incendiu ICE.

Posibilele diferențe pot fi legate de interacțiunile dintre CO și gazele emise de baterie, în special în spațiu restrâns al unui vehicul [120]. Amestecul de gaze emis de LIB tinde să fie mai toxic atunci când nu arde. Gazele se pot acumula și pot experimenta o aprindere întârziată, ceea ce duce la o explozie de gaz dacă are loc într-un spațiu închis. [154].

Cea mai mare îngrijorare este fluorura de hidrogen (HF), deoarece este extrem de iritant pentru oameni la concentrații scăzute și pentru că s-au găsit cantități semnificative de HF în testele de incendiu raportate [37] [120] [150] [164]. HF poate fi gazos sau poate fi dizolvat în scurgerea apei de incendiu. Fluorul provine din electrolit și uneori din liantul sau separatorul din celulele LIB, dar se găsește și în materialele ignifuge, cum ar fi materialele plastice din vehicul și mediile de aer condiționat. Astfel, atât EV-urile, cât și ICEV-urile produc HF atunci când ard, deși testele de incendiu arată că un EV produce mai mult HF decât un ICEV, iar momentul eliberării maxime poate fi diferit din cauza arderii bateriei și a sistemului de aer condiționat. [150].

DNV GL precizează că emisiile medii de gaze pe kg de la o baterie care arde sunt mai mici decât cele de la arderea plasticului [165]; cu toate acestea, ele nu specifică toxicitatea emisiilor sau tipul de plastic.

HF este un gaz toxic, corosiv, ușor, care poate pătrunde în unele tipuri de echipamente de protecție [164]. Un nou studiu indică totuși că uneltele de protecție protejează mult mai bine împotriva pătrunderii HF decât se credea anterior [166]. Pompierii pot ezita să se apropie de un vehicul electric care arde fără a purta un costum chimic. Lecocq a constatat că cantitatea de HF măsurată în vaporul de fum în timpul testelor lor de incendiu a fost peste pragul de siguranță atât pentru vehiculele EV, cât și pentru vehiculele ICE, dar concentrația de HF în apropierea pompierului cel mai apropiat de vehiculul care arde a fost sub același prag [150]. Cu toate acestea, concentrația de fum experimentată de pompieri este foarte dependentă de scenariu și pentru un spațiu restrâns poate fi mult mai mare. Testele de incendiu au mai constatat că aplicarea ceață de apă la incendiile LIB crește semnificativ producția de HF în timpul procesului de aplicare, deși cantitatea totală de HF produsă în timpul incendiilor nu s-a modificat [37] [141].

Speciile dizolvate în scurgerea apei de incendiu au fost analizate în lucrarea lui Egelhaaf, în care au fost măsurate niveluri ridicate de fluor și clor [167]. Conform reglementărilor germane, aceste concentrații sunt prea mari pentru a fi eliberate direct în mediu, ceea ce înseamnă că apa scursă trebuie trimisă la o stație de tratare a apelor uzate. Pentru aceste teste, fiecare baterie stinsă a fost lăsată peste noapte depozitată într-un recipient cu apă sărată. Apa de depozitare a fost, de asemenea, analizată și s-a constatat că are niveluri ridicate de fluor și clorură. Când F-500® și Firesorb® au fost folosite pentru a stinge incendiul bateriei, focul a fost stins atât de repede încât nu a fost suficientă apă pentru a avea o probă viabilă pentru analiză.

### 4.4.3 Materiale compozite cu fibre

O problemă cu care se confruntă vehiculele electrice moderne este densitatea relativ scăzută de energie a LIB în comparație cu combustibilii convenționali. Ca urmare, o mare parte din greutatea totală a vehiculului este acumulatorul pentru a atinge intervalele de rulare cerute de consumatori. O modalitate de a obține o autonomie mai mare fără a fi nevoie să adăugăm mai multe baterii este prin luarea în considerare a materialelor structurale mai ușoare. Acest lucru a condus la introducerea mai multor materiale compozite ușoare în vehiculele moderne. Polimerii armați cu fibră de carbon (CFRP) sunt deosebit de potriviți pentru aceasta, deoarece permit proiectarea structurilor foarte rigide și ușoare. Prin urmare, este utilizat pentru a proteja spațiul pentru ocupanții BMW i3, de exemplu [168].

Există totuși unele riscuri asociate acestor materiale atunci când sunt deteriorate sau expuse la foc. Hertzberg oferă câteva exemple [169]. În primul rând, atunci când sunt expuse la foc, CFRP-urile pot elibera fibre inhalabile. O mică parte din aceste fibre din aer poate provoca iritații/inflamații ale țesuturilor pulmonare, fibroză și cancer. În plus, distrugerea violentă a acestui material, de exemplu în cazul unui accident, poate duce și la eliberarea de fibre. În cele din urmă, contactul direct cu CFRP deteriorat poate duce la pătrunderea fibrelor mici prin piele, provocând iritații sau inflamații.

Este important să luăm în considerare aceste pericole, astfel încât să poată fi purtat echipamente de protecție adecvate, în special atunci când manipulați vehiculele electrice deteriorate. Moore [170] recomandă o protecție respiratorie semnificativă pe tot parcursul timpului, orice fibre de carbon ar putea fi prezente sau în aer. Protecția împotriva pătrunderii pielii ar trebui totuși luată în considerare și atunci când există riscul de contact direct cu CFRP deteriorate.



## 5 Ciocniri și incendii

Probabilitatea de incendii după accident crește odată cu energia de coliziune, indiferent dacă vehiculul are sau nu un LIB. În plus, tendințele indică faptul că energia de supraviețuire a coliziunii crește odată cu vehiculele mai noi, ceea ce înseamnă că ocupanții unui vehicul nou pot supraviețui unei coliziuni cu energie mare, dar vor suferi răni grave sau deces din cauza unui incendiu după accident [171].

Pentru vehiculele electrice nu există doar amenințarea unui incendiu imediat după un accident, ci și riscul unui eveniment întârziat al bateriei și incendiu care poate afecta activitățile de remorcare și atelier. În secțiunile de mai jos, este prezentată o prezentare generală a incidentelor de incendiu documentate, inclusiv a vehiculelor electrice, precum și o examinare a ghidurilor disponibile și a riscurilor legate de manipularea vehiculelor electrice deteriorate.

### 5.1 Incidente documentate

Introducerea unui nou concept, cum ar fi vehiculele electrice, este întotdeauna examinată cu atenție, iar multe incidente care implică vehiculele electrice au atras atenția considerabilă a presei. În tabelul 19 unele dintre aceste incidente sunt rezumate. Incidentele cu vehiculele electrice au fost adesea urmate de discuții cu privire la viabilitatea lor pe termen lung, indiferent de cauza incidentului. Tabelul 19 este urmat de o secțiune separată care discută tendințele și statisticile disponibile privind incendiile în vehiculele electrice.

Tabelul 19 Rezumatul unor incendii de vehicule electrice care au atras atenția.

Anul	Locație	Vehicul	Incident	Cauză	Comentarii
2010 [172]	Cu feribotul „Perla Scandinaviei”	Nissan reconstruit Qashqai	Incendiu în timpul încălzirii		După incident, armatorul interzice temporar taxarea
2011 [173]	Hangzhou, China	Zotye M300 EV	Incendiu în timpul conducerii		Toate taxiurile electrice (30) din oraș au fost temporar scoase de pe străzi din cauza incidentului
2011 [174]	Wisconsin, SUA	Chevrolet Volt	Incendiu la 3 săptămâni după testul de impact	Scurgeri de lichid de încălzire în baterie	A fost reprodus și evenimentul de incendiu întârziat
2012 [47]	Michigan, SUA	Unitate de testare GM	Explozie a bateriei în timpul testării	Vechiul ciclu de funcționare nu este compatibil cu noul prototip de baterie	
2012 [47]	Shenzhen, China	LUMEA e6	Lovitură din spate și ciocnire cu copacul	Impact mare de coliziune, copacul a pătruns 1 m	3 decese (probabil din cauza incidentului, nu a incendiului)
2012 [47]	Suedia	Fiat reconstruit 500	Incendiu în timpul încălzirii (după 25 de ore)	Incendiu în compartimentul motor, probabil încălzitor	

Anul Locație	Vehicul	Incident	Cauză	Comentarii	
2012 [175]	Texas/ California, SUA	2 Karma de peș te	Incendii în vehiculele parcate	Al doilea incendiu: pagubele au fost limitate departe de baterie	2 incendii printre 1000 Fisker Sedanuri electrice hibride Karma
2012 [176]	New Jersey, cerb	3 Toyota Prius & 16 Fisker Karma	Incendiu la vehicule scufundate în apa mă rii din cauza uraganului nisipos	Apa sarata	Mai mult decât 2000 de Toyota (hibrid) nu au foc
2013 [177]	Paris, Franta	2 Bollore <small>Maș înă albastră</small>	Incendiu în vehiculul parcat și s- a extins la al doilea vehicul	Poate vandalism, dar nu sigur	
2013 [178]	SUA, Mexic	3 Tesla Model S	3 incendii diferite în 6 să ptă mâni	Lovirea resturilor de drum și a peretelui de beton (și a copacului)	După incidente, Tesla a consolidat construcția
2013 [179]	Japonia	Mitsubishi Outlander PHEV	Câteva incidente de supraî ncă lizare a bateriei		Productia a fost oprita timp de 5 luni
2014 [180]	Toronto, Canada	Tesla Model S	Incendiu în garaj		Patru luni, neconectat
2015 [181]	Østfold, Norvegia EV		Incendiu la 2 ore după ce a fost lovit de tren		Serviciul de pompieri raportează timp lung de stingere
2016 [182]	Oslo, Norvegia Tesla Model S		Declanș ează când este conectat la stația de supraalimentare Tesla	Scurtcircuit în sistemul electric al <small>maș înă</small>	
2016 [183]	Ånge, Suedia Tesla Model S		Incendiu în timpul î ncă rcării		Bateria nu a fost implicată
2016 [184]	Franta	Tesla Model S	Incendiu în timpul evenimentului de testare	Conexiune electrică strânsă necorespunzător  (Declarație Tesla)	
2017 [185]	Essex, Marea Britanie	Smart ForTwo ED	Incendiu în timpul î ncă rcării	Defecți une electrică	
2017 [186]	Guangzhou, China	Tesla Model X	Incendiu după accident	Accident de mare viteză	Pasagerii au fost evacuați prin uș ile din față de pe bancheta din spate
2017 [131]	California, SUA Tesla Model X		Incendiu după accident care s-a extins și la domiciliu		Reaprinș pe camionul de remorcă și la curtea de remorcă
2018 [187]	Bangkok, Tailanda	Porsche Panamera	Incendiu în timp ce este î ncă rcat, ră spândit acasă		Cablul de î ncă rcare al maș inii este conectat la priza din living cameră

Anul Locație	Vehicul	Incident	Cauză	Comentarii	
2018 [131]	California, SUA Tesla Model X	Incendiu după accident (vehicul pe „pilot automat”)		Reaprinș de două ori la curtea de remorcare, câteva zile mai târziu	
2018 [131]	Florida, SUA Tesla Model S	Zid și stâlp lovit, incendiu imediat	Carcasa bateriei s-a rupt	Reaprinș în timpul încărcării pe camionul de remorcare și din nou la curtea de remorcare	
2018 [188]	Rumpt, Olanda	Jaguar I-Pace	Incendiu în vehicul parcat	Poate incendiar, bateria nu este implicată	Unul dintre primii I-Pace a fost livrat
2018 [131]	California, SUA Tesla Model S	Incendiu în timpul conducerii	Începe aerisirea bateriei		
2018 [189]	California, SUA Tesla Model S	Remorcat din cauza unei cauciucuri, incendiul a izbucnit în parcare a atelierului		Reaprinș la curtea de remorcare, vechi de trei luni	
2019 [190]	Tilburg, Olanda	BMW i8	Fum din fațetă, parcat în showroom la dealer		Pompierii au aruncat masa într-un recipient plin cu apă
2019 [191]	China	3 monovolume BJEV	Incendiu în timpul încărcării		3 companii au încetat să mai folosească modelul
2019 [192]	Shanghai, China	Tesla Model S	Incendiu în garaj, la jumătate de oră după sosire	Începe aerisirea bateriei	Videoclipul arată o dezvoltare rapidă a incendiului

### 5.1.1 Tendințe și statistici

În mass-media, mașinile Tesla sunt cele mai parafrazate în ceea ce privește incidentele de incendiu la vehiculele electrice, ceea ce se vede și în Tabelul 19. Tabelul nu include toate incendiile EV sau incendiile Tesla, ci cele care au atras cea mai mare atenție. Potrivit lui Marlair et al [193], au fost raportate 21 de incendii Tesla (prezentate în octombrie 2018) care ar trebui să fie legate de aproximativ 300 000-350 000 de mașini Tesla vândute (la jumătatea anului 2018). Aceasta înseamnă că incendiile Tesla sunt de aproximativ 20 de ori mai puțin probabile decât incendiile de mașini în general [194]. 10 dintre incendiile Tesla raportate se datorează prăbușirilor care, sub rezerva incertitudinilor privind numărul total de accidente, oferă un risc similar sau ușor mai mare în comparație cu riscul de incendii post-accident în general. Statisticile din SUA din 2002 până în 2014 arată că aproximativ 3% din toate accidentele mortale, ceea ce înseamnă forțe mari de coliziune, au ca rezultat incendii [17]. Cu toate acestea, având în vedere statisticile limitate privind incendiile Tesla, nu se poate vorbi despre anumite tendințe. În plus, diferențele de statistici pot avea alte motive decât integritatea la foc a mașinilor, de exemplu modelul de conducere al celor care conduc o mașină sport de lux, cum ar fi Tesla, în comparație cu altele.

Pentru unele modele obișnuite de EV care au fost utilizate de câțiva ani, de exemplu Toyota Prius și Nissan Leaf, nu există cazuri cunoscute de declanșare a incendiilor în TB [131]. Se pot vedea diferențe în chimia bateriei, autonomia, densitatea energiei, puterea totală etc. între acestea și, de exemplu, Tesla, care probabil au un impact. Cu toate acestea, chiar și cu baterii de mare putere și densitate de energie mare, marea majoritate a accidentelor nu vor provoca daune bateriei [48] [58].

Există statistici generale foarte limitate disponibile cu privire la apariția incendiilor de vehicule care implică vehicule electrice, deoarece numărul de vehicule electrice de pe drumuri a fost semnificativ statistic doar în ultimii doi ani, așa cum se vede în figura 1. Cu toate acestea, RISE a primit unele statistici de la norvegia. companii de asigurări care acoperă incidente de incendiu din 2016 și cu ani înainte. Norvegia este interesantă, deoarece are cea mai mare pondere de vehicule electrice din lume în comparație cu numărul total de vehicule înmatriculate din țară. Această pondere a crescut de la aproximativ 0,1% în 2010 la 14% în 2018 [195]. Datele primite de la trei companii de asigurări diferite sunt rezumate în Tabelul 20.

În statisticile companiei de asigurări A, anul de înmatriculare al vehiculelor a relevat că cel mai nou vehicul (ICEV) implicat într-un incendiu a fost înregistrat în 2014, în timp ce majoritatea vehiculelor au fost înmatriculate înainte de 2010. Cel mai nou vehicul electric implicat a fost din 2008, care înseamnă că doar modelele EV foarte timpurii sunt acoperite de aceste statistici. Va mai dura probabil încă 5-10 ani pentru a obține statistici fiabile ale parcului de vehicule de astăzi.

Tabelul 20. Statistici privind incidentele de incendiu EV primite de la companiile de asigurări norvegiene. Statisticile acoperă incidente din anii între paranteze.

Asigurare companie	Numărul total de incidente de incendiu auto	Numărul de incidente de incendiu EV (procent din total)
A (2006-2016)	567	27 (4,8%)
B (2014-2016)	499	13 (2,4%)
C (2016)	386	9 (2,3%)

Alte statistici, furnizate de Agenția Suedeză pentru Contingente Civile (MSB) și raportate de Gehandler și colab. în 2017 [196], menționează că în medie 1 incendiu de vehicul pe an a fost cauzat de încărcarea bateriilor în parcuri cu mai multe etaje sau garaje mai mari.

Numeroase incendii raportate de vehicule electrice nu sunt legate de bateria de tracțiune, ci de alte părți ale sistemului electric sau de motorul cu ardere (pentru hibridi). În plus, incendiile ar putea afecta vehiculele electrice în aceeași măsură ca și alte vehicule. În Suedia există o tendință de creștere a incendiilor incendiare. În zece ani, între 2007 și 2017, numărul apelurilor de urgență la incendii de autoturisme din cauza incendiului a crescut cu peste 70% [197]. Aceasta înseamnă că mai multe vehicule electrice pe drumuri vor duce la mai multe incendii de vehicule electrice din cauza, de exemplu, incendiilor sau accidentelor, indiferent de siguranța la incendiu a bateriei de tracțiune.

## 5.2 Manipularea vehiculelor electrice avariate

Un raport recent, care analizează pregătirea serviciilor de salvare suedeze pentru vehicule electrice, a identificat cinci domenii principale cu probleme [198]:

- Dificultatea de a identifica dacă un vehicul este sau nu un vehicul electric
- Cunoașterea modului de a opri electricitatea la toate modelele de mașini și de a întrerupe un vehicul electric
- Tipurile de fluide care se pot scurge din baterii și modul de manipulare a acestora
- Cum să stingi incendiile în vehiculele electrice și ce gaze se pot dezvolta în aceste incendii
- Riscuri asociate cu electricitatea dacă un vehicul electric intră în contact cu apa sărată și dacă acest risc ar rămâne după o operațiune de salvare

Unele dintre aceste domenii problematice au fost acoperite pe scurt în Capitolul 4, unde au fost oferite informații despre riscurile și provocările asociate cu stingerea incendiilor cu vehiculele electrice. Aceste informații și îndrumări privind procedurile sigure atunci când se răspunde la incendii în vehiculele electrice sunt disponibile din diverse surse, cum ar fi [199] [200] [201] [202] [203]. Investigații suplimentare privind stingerea incendiilor problemele nu intră în domeniul de aplicare al proiectului actual.

Chestiuni despre care nu s-au discutat prea mult în literatură se referă la remorcarea după accident, la atelier, la depozitul de deșeurii și la activitățile de reciclare. Personalul care lucrează în aceste domenii nu are aceeași pregătire sau echipament ca și personalul de stingere a incendiilor. Acest lucru îi face pe ei și pe ei să instaleze echipamentele lor să fie mai vulnerabile atunci când un vehicul electric deteriorat reaprinde. Următoarele secțiuni vor aprofunda provocările cu care se pot confrunta aceste industrii în lumina electrificării în curs. În plus, sunt revizuite liniile directoare disponibile și relevante.

### 5.2.1 Pericole de incendiu

Ciocnirea sau prăbușirea în sine are potențialul de a provoca arderea LIB, așa cum arată, de exemplu, Böe [204]. Acest studiu a investigat riscul de incendiu din cauza unui impact puternic din spate prin scârțarea a unui vehicul electric personalizat de la o înălțime de 20 m. La impact, vehiculul a atins o viteză în jos de 70 km/h. Impactul a dus la eliberarea unei cantități mari de fum din baterie, urmată de un incendiu. Chiar dacă această lucrare arătată că anumite condiții de impact au potențialul de a provoca arderea unui LIB, trebuie menționat că bateriile de vehicule sunt în mod normal testate împotriva impactului mecanic, de exemplu, așa cum este specificat în Regulamentul UNECE 100, pentru a asigura un nivel ridicat de siguranță [124].

Prăbușirea unui vehicul electric în Ft. Lauderdale, SUA, ilustrează, de asemenea, rezultatul potențial al condițiilor extreme de accident care au ca rezultat incendiu [131]. Aici a fost înregistrată o viteză de 86 mph (140 km/h) înainte de impact, conform Consiliului Național pentru Siguranța Transporturilor (NTSB) [205]. Raportul mai precizează că acest accident frontal a cuprins vehiculul în flăcări și a separat părțile LIB de vehicul. Focul a reaprins în timp ce vehiculul era scos de la față a locului, care a fost stins rapid și s-a aprins din nou la sosirea în curtea depozitului.

Într-un alt caz în care un vehicul electric s-a prăbușit într-un obiect cu o viteză de 70,8 mph (114 km/h), bateria a luat foc și s-a reaprins în aceeași zi la locul de sechestru și s-a reaprins din nou la cinci zile după aceea [206].

Cu toate acestea, focul nu este neapărat rezultatul unor condiții extreme de accident. În sudul Iordaniei, SUA, un vehicul electric s-a prăbușit într-un camion greu cu 97 km/h (60 mph). Nu au existat rapoarte de incendiu, în ciuda pagubelor semnificative rezultate în urma impactului frontal [207]. Amploarea daunelor poate fi văzută în Hattem [208]. Un alt caz în care starea gravă de accident nu a dus la un incendiu LIB este dat de King [209].

Cu toate acestea, este important să se evalueze întotdeauna cu atenție dacă bateria ar fi putut fi deteriorată, deoarece există cazuri înregistrate în care un accident minor a dus la un incendiu întârziat. Un caz care ilustrează bine acest lucru este incendiul Chevrolet Volt din 2011 [174]. Aici, Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi (NHTSA) a efectuat un test de impact al stâlpilor laterali NCAP asupra acestui vehicul pentru a observa amploarea deteriorării bateriei. S-au observat avarii semnificative la vehicul, dar deteriorarea acumulatorului a trecut neobservată în momentul testării. Autoturismul a fost ulterior parcat mai bine de trei săptămâni, după care a luat foc. Pentru a determina cauza acestui eveniment, NHTSA a investigat incidentul, urmat de teste folosind aceleași condiții sau condiții similare, precum și teste de impact ale bateriilor. Acest lucru arătată că testul de impact a dus la prăbușirea unui rigidizare transversal în baterie, provocând daune

la acesta și ruperea sistemului său de răcire cu lichid [174]. În plus, protocolul de testare a impactului necesită ca vehiculele să fie întoarse cu susul în jos pentru a verifica dacă există scurgeri de lichide, de exemplu electrolit sau combustibil. Ei au descoperit că acest eveniment de răsturnare poate expune la lichidul de răcire conductiv componente de energie sub tensiune, cum ar fi circuitele și firele. S-a demonstrat, de asemenea, că acest lucru poate duce la un flux de curent prin lichidul de răcire, rezultând produse de electroliză în pachetul de baterii și particule conductive toare pentru a pluti pe suprafața lichidului de răcire<sup>10</sup>. Se credea că acesta din urmă a dus la scurtcircuite externe în cablarea și plăcile de circuite ale pachetului de baterii, urmate de aprinderea fumului combustibil și a produselor de electroliză. Din punct de vedere al manevrării, acest eveniment ilustrează ce se poate întâmpla la recuperarea unui vehicul electric prăbușit. Cu toate acestea, este important să aveți în vedere detaliile acestui eveniment, și anume combinația anumitor condiții de accident și răsturnare, precum și faptul că acumulatorul a fost răcit de un lichid.

Imersarea unui EV în apă sărată sau contaminată poate fi, de asemenea, cauza pentru aprinderea unui incendiu în acumulatorul. Exemple în acest sens sunt incendiile în mai multe HEV din SUA din cauza uraganului Sandy [175], incendiile în două autobuze electrice din China din cauza ploii abundente [210] precum și rechemarea anumitor modele de autobuze în SUA [86]. Dacă, dintr-un anumit motiv, celulele individuale ale bateriei sunt scufundate într-un mediu conductiv, de exemplu apă contaminată, apă sărată sau lichid de răcire, există riscul de incendiu [210]. Apa sărată poate provoca arc electric între bornele bateriei, care pot fuziona bornele împreună sau pot cauza scurgeri de electrolit. De asemenea, rețineți că expunerea prelungită la medii conductoare și corozive, cum ar fi apa de mare, poate cauza deteriorarea cablurilor, cablajelor și a altor materiale izolatoare, ceea ce poate duce la expunerea componentelor sub tensiune.

Rețineți că utilizarea materialelor din fibră de carbon în vehiculele electrice moderne poate prezenta riscuri de manipulare. Vă rugăm să consultați Secțiunea 4.4.3 pentru discuții despre aceasta.

### 5.2.1.1 Atenuarea riscurilor de incendiu

Reaprinerea poate să nu conducă neapărat la probleme atunci când sunt prezenți primii respondenți, deoarece aceștia sunt instruiți să facă față unor astfel de situații. Totuși, reprezintă o mare îngrijorare pentru cei care trebuie să se ocupe de vehiculele electrice deteriorate. Există riscul ca acumulatorul să se reaprindă în timpul remorării sau după ce a fost adus la un atelier, depozit de deșeurii sau loc de reciclare. Un lucru foarte important de luat în considerare atunci când vine vorba de riscul de reaprinere este că generarea de căldură are loc în interiorul acumulatorului. Prin urmare, poate fi dificil să se evalueze riscul prin intermediul examinării vizuale. Monitorizarea continuă a temperaturii bateriei, de exemplu, folosind camere termice sau alți senzori de temperatură, ar fi de dorit, deoarece va ajuta la estimarea riscului de reaprinere. Orice temperatură locală ridicată a acumulatorului poate indica o defecțiune curentă sau viitoare a celulei, care poate duce la reaprinere.

Long și colab. [211]. a folosit atât termocupluri, cât și imagini termice pentru a monitoriza bateriile în timpul testării la incendiu. Odată ce temperatura a scăzut la nivelurile ambiante, au înțeles testarea și au lăsat bateriile să se odihnească pentru o perioadă de 18 ore. Acest lucru a fost pentru a se asigura în continuare că orice activitate din interiorul bateriei a înțeles. La două din cele trei teste pe care le-au efectuat, au reușit și nu a fost reaprinerea bateriei. În cel de-al treilea caz, bateria a început să emită sunete de zgomot în timpul scoaterii din EV fals, dar nu a fost observată nicio dovadă de ardere. La patru ore după ce a fost transferat într-o unitate de depozitare, sa observat că bateria a eliberat gaz și flăcări în interiorul pachetului de baterii.

Programul de testare

<sup>10</sup> Într-unul dintre testele efectuate la nivelul acumulatorului, acest eveniment de electroliză a fost asociat cu un sunet de fierbere audibil.

a inclus stingerea bateriei care arde și, prin urmare, probabil că mai existau celule de baterie în interiorul acumulatorului care nu au fost consumate de incendiu. Incendiile la vehiculele electrice în care acumulatorul a fost consumat complet de incendiu prezintă un risc mai mic de reaprindere. Cu toate acestea, după cum arată Băe [204], un incendiu de mașină complet dezvoltat nu trebuie să implice neapărat bateria, deoarece acumulatorul este în general bine protejat și situat într-o poziție joasă, ceea ce înseamnă un impact mai mic de la căldură și înflăcări.

Dacă un VE a ars sau a suferit daune care ar fi putut afecta LIB, acesta trebuie izolat de materialul combustibil în cazul reaprinderii sau aprinderii întârziate [147] [150]. Acestea includ structuri și alte vehicule și, de asemenea, nu ar trebui să fie depozitate în spații închise în care gazele ventilate ar putea dauna oamenilor sau forma un amestec inflamabil care poate duce la o explozie.

NFPA recomandă ca un vehicul care conține un LIB ars sau deteriorat să fie depozitat la cel puțin în 15 m (50 ft) de structuri, materiale combustibile sau alte vehicule până când bateria este descărcată [199]. Ei recomandă, de asemenea, monitorizarea temperaturii carcasei LIB folosind o cameră de imagine termică, dacă este posibil.

SAE susține următorii pași pentru depozitarea vehiculelor electrice deteriorate [212]:

- Nu depozitați EV în interiorul unei structuri până când nu a fost inspectat conform procedurilor SAE J2990. o

#### Izolarea perimetrului

deschis este o zonă în care toate părțile vehiculului avariat (inclusiv sistemul de baterii) se află la cel puțin în 15 m (50 ft) de materiale combustibile, structuri și alte vehicule, vezi [201] pentru detalii.

O barieră de izolare este o zonă în care vehiculul este separat de toți combustibilii, structurile și vehiculele adiacente printr-un perete din material incombustibil. Dacă peretele înconjoară 3 din 4 laturi ale vehiculului, partea deschisă trebuie să fie la cel puțin în 15 m (50 ft) de cel mai apropiat material combustibil. Nu este recomandată închiderea completă a vehiculului avariat din cauza posibilității de incendiu/reaprindere întârziată sau de evacuare a gazelor nocive sau explozive.

- Deschideți geamurile/ușile vehiculului pentru ventilarea gazelor potențial periculoase. • Nu expuneți EV-ul la ploaie sau alte precipitații dacă LIB este rupt.

EDUCAM, o platformă de cunoștințe și un centru de formare pentru industria auto din zona Benelux, a dezvoltat linii directoare de siguranță privind manipularea vehiculelor electrice. Acestea sunt disponibile în franceză [213] și olandeză [214]. Recomandările lor sunt împărțite între recomandări generale de siguranță atunci când lucrați la vehicule electrice, precum și recomandări specializate. Conform orientărilor generale [215], prima măsură în manipularea vehiculelor electrice este efectuarea unei evaluări. Această evaluare ia în considerare trei lucruri, și anume tipul vehiculului, starea acestuia și pericolele potențiale. Rețineți că îndrumările privind determinarea tipului de vehicul pot fi găsite în secțiunile 2.2, 3.3 și 4.4, în timp ce pericolele potențiale au fost discutate în capitolul 4 și aici în secțiunea 5.2.

Starea vehiculului determină dacă vehiculul poate fi parcat într-un loc obișnuit de parcare sau dacă trebuie mutat într-un loc desemnat pentru a fi asigurat. Acest lucru poate fi determinat prin luarea în considerare a Tabelului 21. Pe scurt, dacă integritatea structurală a șasiului a fost afectată și codurile de eroare au fost înregistrate pentru grupul motopropulsor și/sau BMS, sau există semne de deteriorare a apei, vehiculul poate să nu mai să fie plasat într-un loc obișnuit de parcare și trebuie să fie asigurat înainte de începerea lucrărilor.

Tabelul 21 Instrucțiuni de manipulare și siguranță bazate pe starea unui vehicul conform EDUCAM [215]

Starea vehiculului		Acțiune recomandată
1.	Stare perfectă de funcționare (fără istoric de coduri de eroare pentru grupul motopropulsor și BMS) ȘI Șasi nedeteriorat	Vehiculul poate rămâne într-un sport obișnuit de parcare până la începerea lucrărilor la vehicul.
2.	Stare perfectă de funcționare (fără istoric de coduri de eroare pentru grupul motopropulsor și BMS) ȘI Șasi deteriorat, integritatea structurală intactă	
3.	Vehicul cu o defecțiune - martorul luminos aprins (coduri de eroare înregistrate pentru grupul motopropulsor și/sau BMS) ȘI Șasi nedeteriorat	
4.	Vehicul cu o defecțiune - martorul luminos aprins (coduri de eroare înregistrate pentru grupul motopropulsor și/sau BMS) ȘI Șasi deteriorat, integritatea structurală intactă	
5.	Vehicul cu o defecțiune - martorul luminos aprins (coduri de eroare înregistrate pentru grupul motopropulsor și/sau BMS) ȘI Șasi deteriorat, integritatea structurală afectată	Vehiculul trebuie mutat într-un loc desemnat pentru a fi asigurat înainte de a putea lucra la vehicul începe.
6.	Vehicul cu semne de deteriorare a apei (vehicul scufundat sau deteriorare din cauza pătrunderii apei de ploaie)	

EDUCAM oferă, de asemenea, îndrumări cu privire la procedurile care trebuie urmate în securizarea vehiculelor electrice. Aceste măsuri se bazează pe pericolele asociate cu diferite componente ale EV. Prima categorie include vehiculele electrice sau componentele cu risc. În acest caz măsura este de a informa și avertiza personalul despre acestea. Celelalte categorii se referă la componente care prezintă un pericol de incendiu sau chimic:

Pentru vehiculele electrice sau componentele care prezintă risc de incendiu:

- Urmăriți rutinele din ghidul de răspuns în caz de urgență al vehiculului. Dacă ghidul de răspuns în caz de urgență nu este disponibil: Deconectați bateria de 12 V, asigurați o distanță de siguranță de 10 m față de obiectele din apropiere timp de cel puțin 48 de ore. Această distanță poate fi redusă la 2 m după 48 de ore.
- Nu depozitați vehicule electrice sau componente de înaltă tensiune care prezintă risc de incendiu în interiorul clădirilor.

Pentru vehiculele electrice sau componentele care prezintă un risc chimic:

- Urmăriți rutinele din ghidul de răspuns în caz de urgență al vehiculului. Dacă ghidul de răspuns în caz de urgență nu este disponibil, evitați contactul dintre electrolitul scurs și mediul înconjurător sau personal, adunându-l cu o tavă de colectare adecvată.

De asemenea, trebuie luat în considerare tipul de muncă care este efectuată în apropierea LIB-urilor. Anumite activități pot genera scântei sau pot expune bateria la daune mecanice. Când apar astfel de evenimente, pot avea ca rezultat pagube suficiente pentru a provoca aprinderea sau reaprinderea acestuia. Pașii luați pentru a scoate bateriile din vehiculele electrice deteriorate pot provoca, de asemenea, deteriorarea bateriei.



Sistemele de instruire și cerințele privind calificarea personalului care îndeplinesc astfel de sarcini critice este o modalitate de a controla și reduce riscul. Pe lângă aceasta, se va dovedi utilă documentația tehnică a vehiculului de care se ocupă. Cu toate acestea, în funcție de nivelul de deteriorare, cea mai bună abordare ar putea fi deconectarea bateriei înainte de manipulare. Abordările posibile ar putea fi scufundarea bateriei sau vehiculului în apă sărată sau utilizarea unei sarcini externe, totuși, riscurile de incendiu vor crește în timpul evenimentului de descărcare (dacă nu sunt scufundate în apă).

## 5.2.2 Pericole electrice

Probabilitatea ca șasiul vehiculului să conducă curentul de la sistemul de înaltă tensiune este scăzută. Acest sistem este izolat de șasiu, spre deosebire de sistemul convențional de 12/24/48 V. Așa-numitul teren plutitor pe care îl folosește sistemul de baterii, garantează că nu există nicio conexiune la șasiu. Ca rezultat, atingerea unei părți sub tensiune a sistemului de înaltă tensiune nu va provoca, în mod normal, intrarea curentului în corpul unei persoane. Acest lucru este posibil numai atunci când se contactează simultan ambele părți plus și minus ale sistemului de baterii [47].

Când vehiculul este încărcat, punctul de încărcare poate conecta vehiculul la masă [47] [21]. Dincolo de convertor, între baterie și punctul de încărcare (care se găsește în mod normal în stația de încărcare), sistemul vehiculului încă nu face parte din rețeaua principală și astfel este separat de sol. Cu toate acestea, primul mod de încărcare, Modul 1 (vezi Secțiunea 2.3), nu are mijloace de comunicare cu vehiculul, nu asigură niciun sistem de protecție încorporat și nu se conectează în mod normal la un circuit dedicat. Nu există nicio garanție că circuitele nededicate sau private sunt echipate cu sisteme de protecție, cum ar fi un dispozitiv de curent rezidual. În acest caz, fără sisteme de protecție, riscul de rănire electrică sau riscul de incendiu este semnificativ [216] [217].

Un caz special referitor la încărcare este atunci când un vehicul electric este scufundat în apă în timp ce este încă conectat fizic la un punct de încărcare. În acest caz, Institutul Olandez pentru Siguranță (IFV) discută că există un risc de curent pe structura vehiculului [218].

### 5.2.2.1 Atenuarea riscurilor electrice

Este puțin probabil ca vehiculele electrice să reprezinte o amenințare electrică semnificativă. Cu toate acestea, este recomandat să deconectați fizic orice punct de încărcare de la un vehicul electric înainte de a le manipula, în special în cazul unui incident. Un alt aspect important în cazul unui incident rutier constă în asigurarea vehiculului, astfel încât acesta să nu se miște. Acest pas este necesar pentru a anula riscul de deplasare sau derulare a vehiculului, lucru care poate fi realizat prin blocarea fizică a roților, cuplarea frânei de parcare sau punerea vehiculului electric în parcare. Aici este important să rețineți că vehiculele electrice pot părea a fi oprite, chiar și atunci când nu sunt, din cauza lipsei zgomotului motorului.

Un EV va deconecta automat sistemul bateriei de la grupul motopropulsor dacă vehiculul este oprit sau dacă BMS detectează un nivel de impact sau abuz al LIB. În cazuri speciale poate fi necesar să se efectueze manual această deconectare. Dacă vehiculul este oprit și există acces la bateria de 12/24 volți, deconectarea cablurilor bateriei sau îndeplinirea siguranțelor va împiedica pornirea acestuia, dar nu va opri neapărat vehiculul dacă acesta este deja pornit [147]. Dacă bateria de 12/24 volți sau siguranțele nu sunt accesibile, sistemul de înaltă tensiune poate fi deconectat.

Cu toate acestea, aceasta nu este o procedură simplă din cauza numeroaselor configurații și locații posibile ale intreruperii tensiunii principale.

Câteva îndrumări generale despre cum să deconectați în siguranță acumulatorul de înaltă tensiune sunt rezumate în Tabelul 22. Îndrumări pot fi găsite și în, de exemplu, Ghidul NFPA pentru vehicule hibride și electrice pentru situații de urgență [199] sau ghidurile de răspuns în caz de urgență [219].

Tabelul 22 Instrucțiuni generale privind măsurile care trebuie luate pentru a deconecta în siguranță LIB.

SAE International [212]	ARN (Reciclarea mașinilor din Olanda) [220]
<p>1. Vehiculul se oprește automat pe baza nivelului de impact detectat.</p> <p>2. Rotiți comutatorul de aprindere sau butonul de pornire în poziția oprit (presupunând că circuitele critice ale bateriei nu sunt deteriorate).</p> <p>3. Tăiați sau deconectați cablurile bateriei de 12 volți și cablul de 12 volți al convertorului DC/DC și/sau</p> <p>4. Scoateți deconectarea manuală (deconectare principală de înaltă tensiune). Această acțiune necesită cunoașterea configurației de deconectare principală de înaltă tensiune a vehiculului</p>	<p>1. Marcați EV-ul pentru a informa despre lucrările efectuate la sistemele de înaltă tensiune.</p> <p>2. Pune EV în modul parcare, scoate cheie de contact sau dezactivați-o folosind butonul de pornire. Păstrați cheia la cel puțin în 10 m de EV.</p> <p>3. Deconectați bateria de 12 V de la masă.</p> <p>4. Scoateți și techerul de deconectare de serviciu al bateriei de înaltă tensiune folosind mănuși electrice izolante. Aveți întotdeauna și techerul cu dvs.</p> <p>5. Așteptați cel puțin în 10 minute pentru ca condensatorii să se descarce.</p> <p>6. Măsurați dacă tensiunea a scăzut la 0 V folosind un detector de tensiune adecvat.</p>

Protecție suplimentară împotriva pericolelor electrice poate fi asigurată prin utilizarea echipamentelor de protecție. Potrivit EDUCAM [215], aceasta poate fi sub formă de protecție personală, cum ar fi mănuși sau protecție facială, protecție colectivă sau unelte și echipamente. Exemple dintre acestea au fost rezumate în Tabelul 23. Rețineți că ghidurile de răspuns în caz de urgență pot fi consultate și pentru informații despre acest lucru.

După deconectarea cu succes a LIB și deconectarea sistemului de înaltă tensiune, condițiile de lucru sigure pe sistemul de înaltă tensiune sunt în mod normal garantate, deoarece sistemele de siguranță încorporate atenuează orice risc de contact cu părțile sub tensiune sau șansa de arc electric. Este foarte puțin probabil ca aceste sisteme să nu fie prezente în vehiculele electrice moderne. Dacă, dintr-un anumit motiv, astfel de sisteme de siguranță nu sunt în vigoare, atunci există câteva măsuri care pot fi luate conform EDUCAM [215]:

- Conectați sistemul de înaltă tensiune la masă, descărcați condensatorii și scurtcircuitați sistemul de înaltă tensiune.
- Izolați componentele din apropierea sistemului de înaltă tensiune și a celor care transportă curent.

Tabelul 23 Protecția personală și colectivă, precum și echipamentul de siguranță necesar atunci când se lucrează la vehiculele electrice conform EDUCAM [215]

Protecție personală	<p>Mănuși electroizolante</p> <p>Mănuși care oferă protecție împotriva pericolelor mecanice</p> <p>Mănuși care sunt rezistente la substanțe chimice</p> <p>Încălțăminte de protecție</p> <p>Încălțăminte electroizolante</p> <p>Haina izolatoare electric</p> <p>Protecția ochilor și a feței</p>
Protecție colectivă	<p>Încuietori, semne și avertismente</p> <p>Bariere, bandă de avertizare, steaguri</p>
Echipamente	<p>Detectoare bipolare de tensiune</p> <p>Instrumente de izolare electrică</p> <p>Pătură electroizolantă</p> <p>Coveraj de siguranță electrică</p>

## 6 Soluții de siguranță

În acest capitol, siguranța la incendiu a LIB în vehicule este examinată din trei perspective. În primul rând, este prezentată o abordare holistică, inclusiv măsurile de siguranță la diferite niveluri ale bateriei și ale sistemului vehiculului. În al doilea rând, datorită domeniului de aplicare al proiectului, detectarea și stingerea incendiilor sunt discutate separat. În final, acest capitol include rezultatele unui atelier organizat în cadrul proiectului cu perspectivă de prevenire-recuperare, ceea ce înseamnă că prevenirea incendiului sau evadare termică a fost discutată separat de recuperarea sau atenuarea unui incendiu sau evadare termică.

### 6.1 O viziune holistică

Există multe niveluri de siguranță la incendiu de luat în considerare într-un vehicul electric. Într-o situație ideală, celulele individuale ale bateriei ar fi proiectate pentru a preveni scurtcircuitul și alte defecțiuni care ar putea duce la supraîncălzire și evaporare termică. Celulele sunt aranjate în module care, în mod ideal, ar fi proiectate pentru a preveni propagarea evaporării termice între celule. Modulele vor fi plasate într-un pachet de baterii care ar fi echipat cu sisteme de siguranță care ar putea detecta posibilitatea de incendiu și ar putea acționa pentru a-l preveni sau, în cazul în care a început un incendiu, să-l stingă înainte ca acesta să provoace daune mari bateriei, vehiculului sau pasagerii. Sistemul de management al bateriei (BMS) ar putea face față tuturor amenințărilor la adresa bateriei, atât interne, cât și externe, și ar putea interacționa eficient cu celelalte sisteme de siguranță din vehicul, după cum este necesar. În plus, designul vehiculului în sine ar include, în mod ideal, măsurile de siguranță care se referă la protecția pachetului(lor) de baterie în caz de impact [221].

Nivelurile sistemului de siguranță la incendiu sunt prezentate schematic în Figura 43, unde miezul cercurilor concentrice denotă componenta cea mai de bază a bateriei: chimia din fiecare celulă. După aceea urmează proiectarea și ambalarea celulelor, protecția la scurtcircuit, inclusiv limitatoarele de curent, contactorii bateriei, BMS, proiectarea și carcasa sistemului și managementul termic. Cercul cel mai exterior reprezintă integrarea siguranței la incendiu a bateriei în designul vehiculului [134] [43]. Potrivit lui Ahlberg Tidblad [124], majoritatea producătorilor de baterii și vehicule iau în considerare toate aceste niveluri de siguranță, care sunt în mod normal asigurate de programe extinse de testare pentru omologările vehiculelor.

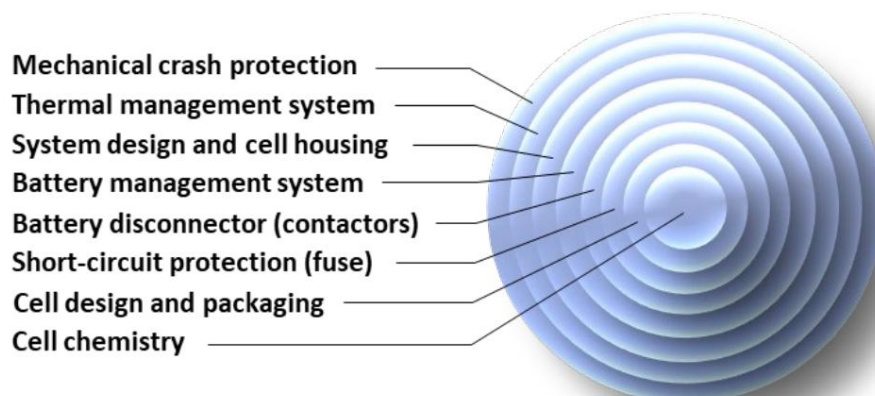


Figura 43 Schema schematică a nivelurilor sistemului de siguranță la incendiu a bateriei pentru vehiculele electrice. Copiat de pe [134] [43].

### 6.1.1 Nivelul celulei bateriei

Soluțiile de siguranță la nivelul celulei includ dispozitive de siguranță chimică /fizică pentru celulă și monitorizarea celulei. Dispozitivele de siguranță proiectate pentru celule cilindrice și prismatice includ limitatoare de curent, cum ar fi coeficientul de temperatură pozitiv (PTC) și întrerupătoare de curent, cum ar fi dispozitivul de întrerupere a curentului (CID) [37] [222]. Primul variază rezistența în funcție de temperatură, în timp ce cel din urmă întrerupe circuitul în cazul creșterii presiunii interne în interiorul celulei. Acest lucru pentru a preveni situațiile de suprapresiune care ar putea duce la evacuarea gazelor. În caz de evadare termică, gazele și alte materiale care ar putea fi ejectate dintr-o celulă sunt forțate prin supapele de aerisire care pot include o cale sinuoasă, un dispozitiv de oprire a flăcării sau un dispozitiv de prevenire a refluxului pentru a întâmpina căldura și a direcționa gazele într-un mod mai controlat care protejează celulele înconjurătoare [154]. Celulele din pungă nu pot folosi aceste dispozitive, dar pot avea puncte slabe deliberate proiectate în pungă pentru a permite gazelor să se evacueze într-un mod mai controlat. În plus, de exemplu, legarea firelor ar putea fi utilizată ca o siguranță electrică în interiorul celulelor pentru a reduce energia eliberată în timpul unui scurtcircuit intern [154].

Eforturile de îmbunătățire a siguranței celulelor prin utilizarea materialelor cu proprietăți termice intrinsec mai bune includ utilizarea separatoarelor ceramice flexibile [223] sau a altor tipuri de separatoare modificate pentru a preveni defectarea separatorului și/sau a minimiza contracția termică a separatorului [37] [154]. Materialul electrolitic mai puțin inflamabil sau neinflamabil poate limita producția de căldură din cauza flăcărilor, iar utilizarea materialelor de umplutură cu capacitate termică crescută, cum ar fi materialele cu schimbare de fază, poate ajuta la disiparea sau răcirea celulelor. În cele din urmă, bateriile cu stare solidă nu au electroliți lichizi sau inflamabili, reducând astfel riscul de gazare/ventilare și incendiu [154].

Principala sursă de oxigen într-un LIB este catodul, care eliberează oxigenul atunci când se descompune în timpul evadării termice. Tratarea catodului cu metale de tranziție crește temperatura la care are loc evadarea termică și astfel poate contribui la stabilitatea termică a celulei [47] [196].

Există numeroase scheme de siguranță care implică monitorizarea stării celulelor. Aceste scheme provin în general din industria LIB de consum și pot să nu fie fezabile pentru bateriile de format mare utilizate în vehicule, deoarece tind să crească greutatea, volumul și costul sistemului de baterii [224]. Cu toate acestea, este posibil ca BMS să monitorizeze starea fiecărei celule și să compenseze într-o oarecare măsură anomaliile de exemplu în impedanță, temperatură, curent și tensiune [37] [196].

### 6.1.2 Sistemul de management al bateriei (BMS)

BMS monitorizează și reglează celulele pentru a optimiza producția lor de energie și pentru a se asigura că sistemul de baterii funcționează în condiții de funcționare sigure. Un BMS relativ sofisticat poate fi integrat în alte sisteme de siguranță ale vehiculului sau BMS poate fi relativ simplu și să funcționeze independent. În mod obișnuit, BMS monitorizează cel puțin în curentul total al bateriei, tensiunile totale ale bateriei și ale celulelor individuale și temperatura în numeroase locuri din interiorul modului [163], cu toate acestea, în vehicule, este obișnuit să existe doar un singur senzor de temperatură per modul ca număr de senzorii dintr-un modul LIB sunt de obicei minimizați pentru a reduce costul, greutatea și volumul modului. Prin urmare, este posibil ca o celulă individuală să se supraîncălzească și să se aerisească fără detectarea în timp util dacă un senzor de temperatură nu este amplasat suficient de aproape de celulă. BMS poate acționa dacă este necesar, pentru a atenua unele probleme, de exemplu, BMS poate închide modulul sau acumulatorul dacă un senzor de temperatură indică o

situație de supraîncălzire [37]. Tabelul 24 oferă o prezentare generală a condițiilor în care BMS poate sau nu să spunde pentru a proteja sistemul de baterii. Conform [196] BMS, în general, deconectează automat sistemul de baterii ca răspuns la următoarele situații:

- Temperatura prea mare
- Subtensiune
- Supratensiune
- Supracurent
- Defecțiune a sistemului de răcire al bateriei
- Senzor de impact deteriorat și/sau declanșat fals
- Vehiculul a început să se răstoarne (așa cum este detectat de senzor)
- Defecțiune a izolației
- Defecțiune curentă, cum ar fi arcul electric

Tabelul 24 O prezentare generală simplificată a situațiilor de abuz în care BMS poate/nu poate proteja sistemul de baterii. Reproducere din [43].

Tipul de abuz	Protecție BMS?	Strategia de protecție
Scurtcircuit acumulator extern	da	Deconectare a bateriei folosind siguranță sau eventual contactoare
Scurtcircuit extern al celulei	Posibil*	BMS poate proteja dacă curentul de scurtcircuit este posibil să fie întrerupt de un întrerupător
Scurtcircuit intern al celulei	Nu**	
Supraîncărcare	Da***	Deconectare a bateriei utilizând contactori
Descărcare excesivă	Da***	Deconectare a bateriei utilizând contactori
Cruce mecanică / deformare / penetrare	Nu	
Încălzire exterioară, ușoară	da	Răcire prin utilizarea sistemului de management termic
Încălzire exterioară, puternică	Nu	
Foc exterior	Nu	
<p>* Acest caz se referă la o situație cu un scurtcircuit extern al uneia sau mai multor celule în interiorul acumulatorului. Teoretic, sunt posibile multe cazuri de scurtcircuit, iar dacă scurtcircuitul se întâmplă să fie într-o cale de curent care implică o siguranță sau posibili contactori, atunci este posibil să se oprească scurtcircuitul.</p> <p>** Pornire spontană la scară micrometrică în interiorul celulei din cauza, de exemplu, contaminării cu particule sau formarea dendritelor.</p> <p>*** Detectarea și acțiunile ulterioare până la oprirea curentului trebuie să fie suficient de rapide pentru a se asigura că bateria nu este expusă la supra/subtensiuni.</p>		

Defecțiunile pot apărea atât la senzori, cât și la BMS. Având în vedere importanța BMS, este deosebit de recomandabil să se includă metode de validare a performanței acestuia.

Senzorii redundanți de toate tipurile (tensiune, curent, temperatură) ar permite detectarea defecțiunilor senzorului și BMS și ar îmbunătăți și capacitatea BMS de a detecta și de a răspunde la potențiale probleme [43]; cu toate acestea, costul, dimensiunea și greutatea sistemului de baterii ar crește și ele [163].

### 6.1.3 Nivelul modulului bateriei

O modalitate de a preveni propagarea evaporării termice de la celulă la celulă este proiectarea modulelor astfel încât să fie dificil ca căldura să fie transferată între celule. Acest lucru poate fi realizat prin a avea un spațiu deschis între celule, folosind scuturi termice sau izolatori [225], plăci de răcire, conductori de căldură, bariere ignifuge, acoperiri intumescente și materiale cu schimbare de fază. Metoda de alegere depinde în mare măsură de utilizarea finală specifică a sistemului de baterii, tipul celulei, configurația modulului și poate include, de asemenea, numeroase alte măsuri de prevenire a propagării termice [222]. Ca și în cazul celulelor individuale, orificiile de aerisire pot fi plasate în modul pentru a controla gazele emise, a opri fumul și a reduce sau a preveni pătrunderea oxigenului din exteriorul modulului [154].

Cablajul din interiorul modulului poate fi proiectat pentru a reduce riscul de propagare termică. Fieele care conectează celulele între ele pot fi localizate strategic și de exemplu configurate astfel încât să se spargă dacă sunt supraîncălzite. Pentru mai multe celule în paralel, configurația conexiunii cu tab-uri poate fi fie ramificată, fie în serie. S-a demonstrat că configurația ramificată îmbunătățește siguranța datorită faptului că o celulă afectată este mai bine izolată electric de celelalte celule [222].

Modulul poate fi proiectat să aibă propriul său sistem dedicat de management termic și/sau sistem de gaz inert dacă constrângerile de spațiu, cost și greutate permit [154].

### 6.1.4 Nivelul acumulatorului

Multe dintre aceleași soluții de siguranță care se aplică modulelor pot fi aplicate și la pachetele de baterii. Exemple de aceste soluții includ furnizarea de bariere de transfer de căldură între module, orificii de aerisire plasate strategic în peretele pachetului de baterii și având un sistem dedicat de răcire și/sau gaz inert [43] [154].

Un sistem mare de baterii poate fi împărțit în mai multe pachete mai mici care sunt izolate termic unele de altele, ceea ce oferă un nivel de siguranță împotriva propagării termice la scară largă. Pe lângă aceste măsuri de siguranță, carcasa pachetului de baterii poate fi proiectată structural pentru o protecție sporită împotriva accidentelor [226].

Zonele care adăpostesc LIB în vehiculele electrice trebuie proiectate astfel încât să fie împiedicată impactul direct sau pătrunderea modulelor bateriei de înaltă tensiune [128]. Pentru autoturismele electrice, deformarea severă este în prezent prevenită prin plasarea pachetelor de baterii în locații armate, asigurarea protecției structurale și limitarea dimensiunii acestora [46], vezi și capitolul 3 pentru discuții despre plasarea LIB în autoturisme, autobuze și camioane grele.

Pachetele de baterii ar putea fi prevăzute cu întăriri suplimentare pentru a reduce potențiala intruziune în anumite condiții de impact. Studiul UE OSTLER a luat în considerare două abordări diferite pentru a realiza acest lucru, și anume protecția pasivă și cea activă. Aceste tehnici se referă la creșterea rezistenței fizice a structurii sau la utilizarea structurilor gonflabile pentru a distribui sarcina în timpul unui accident, respectiv [130]. Folosind aceste metode, au reușit să reducă cantitatea de intruziune cu 26% cu protecție activă și cu 58% folosind protecție pasivă.

## 6.1.5 Nivelul vehiculului

Rezultatele proiectului EVERS SAFE UE indică faptul că nivelul general de siguranță al vehiculelor electrice este relativ ridicat [128]. Ei nu au identificat probleme critice legate de LIB. De fapt, ei au descoperit că există puține șanse ca un accident de mașină electrică să ducă la incendiu sau la emisia de gaze sau lichide toxice. Ei au identificat că nevoia principală în siguranța vehiculelor electrice constă în asistarea pompierilor în identificarea vehiculelor electrice, deconectarea sistemelor electrice și neutralizarea bateriilor după un accident.

EVERSAFE oferă, de asemenea, câteva recomandări legate de proiectarea vehiculului/bateriei în Produsul nr. 3.1 [58]. O selecție a acestor recomandări care se referă la proiectarea acumulatorului/vehiculului sunt enumerate în Tabelul 25. În ceea ce privește impactul trenului de rulare, Tesla a consolidat acumulatorul modelului S după un incendiu cauzat de impactul la sol [227]. Pe lângă întărirea pachetului, au instalat o placă deflectoră /scut frontal.

Tabelul 25 O selecție a recomandărilor pe baza activităților de simulare și a altor studii familiare realizate de EVERS SAFE [58].

Impactul stâlpului din față	Optimizarea structurilor din față, acolo unde nu există motor cu ardere, pentru a construi structuri de absorbție a energiei, în special pentru pătrunderea stâlpilor între și în cadrul.
Impactul trenului de rulare	Utilizarea scutului frontal. Consolidează structura de protecție a pachetului.
Amplasarea bateriei	Amplasarea podelei este avantajoasă deoarece este largă pentru o baterie mare și îmbunătățește comportamentul dinamic al mașinii.
Design baterie	Sistem de răcire cu lichid mai bine protejat în interiorul bateriei sau utilizat într-un sistem de răcire fără lichid. O ruptură a sistemului de răcire ar putea cauza un scurtcircuit la componentele electrice din jur.

În proiectarea vehiculelor, este, de asemenea, important să se ia în considerare amplasarea componentelor de înaltă tensiune. În mod ideal, aceste componente nu vor fi afectate în cazul coliziunilor, de exemplu. Freschi și colab. oferă câteva sugestii, cum ar fi conducte flexibile, direcționarea cablurilor de curent ridicat sub podeaua vehiculului și pentru a localiza bornele bateriei cât mai departe unul de celălalt pentru a minimiza riscul unui posibil contact [21].

Justen și Schöneburg [48] prezintă un concept de siguranță în șapte etape implementat în Mercedes-Benz, și anume:

1. Cod de culoare și protecție de contact pentru toate cablurile de înaltă tensiune cu izolație amplă și mufe speciale,
2. Carcasă din oțel de înaltă rezistență pentru bateria litiu-ion situată bine protejată în zona extrem de rigidă dinaintea peretelui de incendiu,
3. Celulele bateriei sunt așezate într-un gel de absorbție a șocurilor, cu un circuit de răcire separat și un orificiu de evacuare cu disc de spargere,
4. Interblocare de siguranță multiplă pentru a separa automat bornele bateriei,
5. Monitorizare continuă a scurtcircuitului și a defectărilor,
6. Descărcarea activă a sistemului de înaltă tensiune în caz de defectări sau incendiu,
7. Declanșarea pirotehnică a sistemului de tensiune în caz de accident.

Există, de asemenea, măsuri de siguranță externe care trebuie luate pentru a se asigura că daunele aduse împrejurimilor sunt minime în cazul unui incendiu EV sau a unei defectări a bateriei. Aceasta include luarea în considerare a valorii încetinirii sau întârzierii propagării termice, amplasarea stațiilor de încărcare în parcuri, modul în care un vehicul avariat poate fi dezactivat, preocupările privind



stingerea incendiului bateriei și depozitarea corespunzătoare a unui vehicul EV ars sau deteriorat. Manipularea vehiculelor electrice deteriorate, inclusiv depozitarea și scoaterea sub tensiune, este tratată în secțiunea 5.2.

În loc de faptul că poate fi foarte dificil să opriți propagarea evaporării termice în interiorul unui pachet de baterii montat într-un vehicul, încetinirea sau întârzierea propagării folosind unele dintre soluțiile de siguranță discutate în acest capitol poate fi o abordare rezonabilă. Acest lucru ar putea oferi mai mult timp pentru detectarea problemei și răspunsul la ea [43]. De asemenea, ar putea face posibilă izolarea vehiculului, evacuarea oamenilor și pregătirea pentru sosirea pompierilor.

Deoarece vehiculele electrice sunt de obicei încărcate în timp ce sunt parcate, proiectarea parcarilor (în special a parcarilor subterane sau pe mai multe niveluri) ar trebui să ia în considerare cea mai sigură amplasare a stațiilor de încărcare. Amplasarea stațiilor de încărcare în apropierea punctelor de intrare/ieșire sau a altor locații care au o bună ventilație și acces la o sursă adecvată de apă de stingere poate ajuta la minimizarea pericolelor asociate cu evacuarea gazelor și incendiilor [228]. Acest lucru necesită totuși o analiză atentă, deoarece plasarea vehiculelor electrice în apropierea rutelor de evacuare ar putea complica procedurile de evacuare de urgență.

## 6.2 Sisteme fixe de detectare și stingere a incendiilor

Sistemele fixe de detectare și suprimare a incendiilor sunt considerate aici sisteme la bordul vehiculelor cu instalații fixe. Astfel de sisteme sunt utilizate pe scară largă pentru a proteja compartimentele motoarelor vehiculelor grele, de exemplu, 94% din toate autobuzele de transport public din Suedia au instalate sisteme fixe de stingere a incendiilor [229], dar acestea nu sunt comune la vehiculele de pasageri.

Mai jos sunt prezentate informații despre posibilitățile pe care aceste sisteme au în ceea ce privește protecția împotriva incendiilor pentru LIB. Discuțiile nu se limitează doar la sistemele de la bordul vehiculelor, unde cantitatea limitată de agent de suprimare este crucială, ci includ o abordare mai generală privind detectarea incendiilor și suprimarea LIB-urilor.

### 6.2.1 Detectare

Cercetătorii au dezvoltat modele bazate pe diferite condiții măsurabile, cum ar fi temperatura, umiditatea, tensiunea, rezistența și curentul pentru a prezice potențialele scurtcircuite interne și incendii [230] [231] [232] [233]. Având o bună înțelegere a modului în care pot apărea defectiuni catastrofale, este posibil să fie posibilă monitorizarea stărilor caracteristicilor cheie ale celulei/modulului/pachetului de baterii care ar putea furniza date de intrare pentru modelele predictive care pot avertiza BMS sau alte sisteme de siguranță ale vehiculului dacă condițiile sunt potrivite pentru un potențial eșec.

Există factori complicanți în detectarea incendiilor sau a incendiilor iminente într-un LIB, chiar dacă sursa lor este bine înțelesă. De exemplu, numărul de senzori dintr-un modul LIB este de obicei minimizat pentru a reduce costul, greutatea și volumul modulului și, prin urmare, este posibil ca o celulă individuală să se supraîncălzească și să se aerisească fără detectarea în timp util dacă un sensor de temperatură nu este situat suficient de aproape de celulă. BMS monitorizează în mod normal tensiunea fiecărei celule, dar există mai multe motive, inclusiv evadarea termică și incendiul, pentru care tensiunea celulei ar putea scădea. În schimb, în cazul unui incendiu sau degajare de gaz, tensiunea celulei se poate modifica sau nu [134].

Marina SUA are un program de siguranță LIB din 1979 și a făcut cercetări ample în colaborare cu interese comerciale și alte laboratoare din SUA cu privire la opțiunile de detectare.

Ei profită de detectarea timpurie a priori în sistemele comerciale și prototipurile care sunt

bazat pe monitorizarea semnă turilor diferitelor aspecte ale celulelor, modulelor și pachetelor de baterii, cum ar fi tensiunea, curentul, rezistența, impedanța, câmpurile magnetice, deformarea, presiunea, temperatura, umiditatea, emisiile de gaz și particule și proprietățile termice, acustice și optice [234].

Sistemele de detectare la distanță (în afara pachetului de baterii) care sunt în prezent investigate de Marina SUA pot funcționa fără o interfață directă cu bateria, dar pot fi și integrate într-un BMS. Aceste sisteme se bazează pe fizică, cum ar fi: „adulmecare” substanțe chimice care au scăpat din acumulator, ceea ce presupune scurgerea unui modul și a acumulatorului și defectarea a cel puțin unei celule; utilizarea unui polimer electroactiv ca separator între anodul și catodul unei celule care ar putea trimite un semnal magnetic către un sistem de detecție la distanță dacă celula are un scurtcircuit intern; și detectarea modificărilor acustice, electrice sau magnetice într-o celulă, modul sau acumulator [234].

Marina SUA lucrează, de asemenea, la tehnologii de detectare care sunt integrate în sistemele de baterii. Aceste sisteme presupun monitorizarea rezistenței și impedanței folosind un spectrometru de impedanță electrochimic in situ; și măsurarea deformării, presiunii, generării de gaz și modificărilor de volum ale celulelor pungă [234].

Amplasarea senzorilor în modulul LIB sau în pachetul de baterii pentru a detecta hidrocarburile, cum ar fi cele provenite din solvenți electrolizi, sau gazele toxice asociate cu defectarea celulei, cum ar fi fluorura de hidrogen, poate oferi, de asemenea, un indiciu că ceva nu este în regulă în modul [235].

## 6.2.2 Suprimarea

Un foc LIB trebuie răcit la sursă, adică celulele din interiorul modulului. Totuși, accesul la locul focului poate fi dificil, deoarece modulele și acumulatorul sunt proiectate compact cu un nivel ridicat de etanșeitate (ex. IP67). Pachetele de baterii ar putea fi, de asemenea, amplasate în locuri greu accesibile. Multe teste au fost efectuate pe celule individuale, dar cea mai gravă provocare constă în stingerea incendiilor din interiorul bateriilor. Cercetarea și testarea la incendiu a celulelor, modulelor și pachetelor de baterii au dus la multe idei diferite despre cel mai bun mod de a stinge un incendiu într-un LIB, ceea ce este evident în citatele și subsecțiunile următoare.

„Dacă o baterie HV ia foc, va necesita un volum mare și susținut de apă.” [199]

„Producția chimică uscată, CO<sub>2</sub> și spuma sunt adesea metodele preferate pentru stingerea unui incendiu care implică baterii, iar apa nu este adesea primul agent de stingere ales.” [236]

„Tehnicile de stingere a incendiilor pentru vehiculele care folosesc acumulatori Li-ion ar trebui tratate ca orice incendiu electric prin utilizarea unui agent de stingere de clasa C.” [237]

Predomină incertitudinea cu privire la tipul de agent sau sistem de stingere care este cel mai potrivit. O parte din această confuzie provine din similitudinea, doar de nume, dintre bateriile litiu-ion și litiu-metal. Astăzi, primul este reîncărcabil, în timp ce cel din urmă, denumit uneori baterii cu litiu, este nereîncărcabil. Când sunt expuse la apă, aceste baterii pot reacționa exotermic. Cu toate acestea, apa poate fi folosită pentru stingerea incendiilor în LIB [163].

Când vine vorba de stingerea incendiilor LIB, agenții de suprimare care au capacitatea de a elimina căldura din celule/modul și, astfel, de a inhiba propagarea evaporării termice par a fi cei mai pozitivi. Într-un incendiu LIB realist, există flăcări care ar trebui să fie și ele

stins; totuși, stingerea flăcărilor trebuie să fie echilibrată cu posibilitatea că ar putea exista o acumulare de gaz inflamabil care să conducă la o explozie dacă celulele se aerisesc fără o flacăra deschisă în apropiere [163].

Propagarea evaporării termice are loc atunci când o celulă din evaporarea termică încălzește o celulă adiacentă și o face să reacționeze și să experimenteze și evadarea termică. Reacția în lanț ar putea face ca o serie de celule să devină progresiv mai fierbinți și și mai dificil de stins [238]. Utilizarea barierelor termice, firewall-urilor și plăcilor de răcire poate afecta evadarea termică, dar are dezavantajul de a adăuga greutate și dimensiune modulului. De asemenea, situația termică s-ar putea înrăutăți dacă izolarea împiedică îndepărtarea căldurii din celule [163]. Evadarea termică este foarte greu de oprit, uneori nu poate fi oprită chiar dacă există acces în interiorul modulului LIB. Propagarea evaporată termică poate continua timp de câteva ore și poate începe la multe ore după ce a avut loc deteriorarea inițială. Este dificil de judecat dacă sau când un incendiu stins se va reaprinde sau când ar putea începe un incendiu într-un vehicul care a fost avariat [147].

Apa simplă este un agent comun de stingere a incendiilor care este prietenos cu mediul și Larsson și Mellander [43] afirmă că este probabil să fie potrivită pentru incendiile LIB, deoarece oferă o capacitate excelentă de răcire. Ei sugerează că un sistem de inundare a apei pentru acumulatorul ar putea fi o soluție viabilă, chiar dacă există potențiale efecte negative, de exemplu scurtcircuite și scurgeri de apă toxică.

Andersson și colab. [163] propun ca apa să fie aplicată numai dacă are loc evadare termică, deoarece scurtcircuitele nu sunt o prioritate atât de mare în acest moment. Ei sugerează, de asemenea, că modulele ar trebui proiectate astfel încât evadarea termică dintr-o celulă să nu provoace evadarea termică în celulele învecinate, caz în care este mai puțin necesară aplicarea apei în interiorul acumulatorului.

Potrivit DNV GL, stingă torul ideal de incendiu cu baterie ar fi atât foarte conductiv termic, cât și foarte izolant electric. Apa este prima, dar nu cea din urmă.

Apa deionizată este atât până când dizolvă contaminanții din foc, inclusiv cenușă și funinginea [165].

În 2011, pe baza lucrărilor anterioare ale lui Reif și colab., Lisbona [239] a recomandat utilizarea unui stingă tor cu substanțe chimice uscate ABC sau a apei pe bateriile litiu-ion, în funcție de ce alte materiale ar putea fi implicate în incendiu.

### 6.2.2.1 Teste de stingere a incendiilor

Asociația Națională pentru Protecția împotriva Incendiilor (NFPA) raportează că incendiile din vehiculele electrice și hibride necesită atât mai multă apă, cât și timp de stingere mai lung decât incendiile de mașini convenționale [160]. În activitatea lor, stingerea mașinilor hibride necesită 1-4 l de apă și un timp de stingere de 15 – 56 min, în timp ce stingerea incendiilor BEV necesită 4,4-10 l de apă și un timp de stingere de 36 – 60 min. Prin comparație, un incendiu de mașină convențional se stinge în mod normal în 5 minute [228].

O idee despre crearea accesului la pachetul LIB a fost propusă de un grup de cercetare francez care includea Renault [240]. Siguranța la incendiu a două dintre modelele EV ale Renault a fost testată și au descoperit că un incendiu din interiorul acumulatorului nu poate fi stins cu apă decât dacă apa ar putea inunda interiorul pachetului. Ca răspuns la aceste rezultate ale testelor, Renault a proiectat o trapă sensibilă la temperatură situată sub scaunul pasagerului din spate pentru accesul la acumulatorul. Trapa se topește dacă bateria se supraîncălzește sau se aprinde, oferind primilor intervenitori acces la

interiorul acumulatorului. Problemele de siguranță cu această soluție s-au dovedit preliminar a fi neglijabile.

Presupunând că există acces la interiorul pachetelor LIB, Andersson et al. a constatat că agenții cu o capacitate ridicată de căldură, cum ar fi apa și spuma cu expansiune redusă, asigură răcire rapidă și stingerea incendiului [241]. Ei au descoperit că reducerea tensiunii de suprafață a apei ar putea face mai ușoară umezirea suprafețelor adânc în interiorul modului, dar agenții cu vâscozitate ridicată ar putea să nu se poată răspândi la locul focului. Agenții pe care i-au testat cu o capacitate termică mai mică, cum ar fi spuma cu expansiune mare și azotul gazos, au furnizat mai puțină răcire, dar puteau totuși stinge focul dacă erau introduși corect în acumulatorul.

În testele individuale de stingere a incendiilor efectuate de Luo [242], două soluții apoase de stingere a incendiilor, una cu 5% „F-500” și cealaltă cu 5% „surfactant anionic neionic”, stinge incendiile LIB. În jumătate din timpul de ceață de apă pură și, de asemenea, împiedică reaprinderea. În aceste teste, celulele au fost la 50% SOC și au fost perforate pentru a iniția incendiul.

S-a dovedit a fi foarte eficient în auto-suprimarea incendiilor celulelor LIB [243]. Când celula atinge o temperatură critică, FR lichid se evaporă în timp ce peretele capsulei de PMMA slăbește, astfel încât FR este eliberat în celulă. FR face ca temperatura celulei să scadă semnificativ, prevenind evadarea termică și stingerea incendiului. Prezența microcapsulelor nu a inhibat performanța electrochimică a celulelor. FR poate fi selectat pe baza chimiei celulare. O provocare pentru acest tip de sistem de suprimare este că încălzirea bateriilor face ca temperatura lor internă să crească, uneori la temperaturi destul de ridicate, în funcție de sistemul de încălzire specific.

În testarea DNV GL a agenților de stingere pe bază de apă, inclusiv PyroCool®, F-500® și FireIce®, s-a constatat că mediile testate ar putea avea un efect de răcire egal sau mai mic decât apă, dar toate erau conductoare electrice datorită dependenței lor de apă ca mediu de dispersie [165]. Gazele și aerosolii nu s-au răcit la fel de bine ca apa din cauza masei lor termice mai scăzute, a conductibilității termice relativ slabe și a accesului restricționat la focurile adânc înrădăcinate. S-a descoperit în acest program de testare că apa se răcește cel mai bine, cu potențialul efect secundar nedorit de scurtcircuitare a altor celule și că cantitatea de apă necesară pentru stingere depinde de eficiența contactului cu apa cu celulele.

Testele la foc au fost efectuate de Russo et al. [244] pe celule individuale folosind CO<sub>2</sub>, spumă, pulbere, apă pură și ceață de apă ca supresoare. Pentru celulele individuale, apa pură și spuma s-au dovedit a fi cei mai eficienți supresori, datorită capacității lor de a reduce temperatura focului foarte rapid. De asemenea, au făcut un singur test pe un pachet de baterii folosind apă ca agent de suprimare, dar nu au raportat rezultatele acestui test. Distanța dintre celulele pungii din modul a fost ajustată pentru a minimiza transferul de căldură de la o celulă la alta.

Apă cu aditivi abrazivi, împreună cu surfactant, s-a dovedit eficient în unele experimente [245]. Aditivii pot modifica proprietățile apei în moduri diferite, în funcție de ceea ce se adaugă. Dacă apa devine mai vâscoasă, o teorie este că efectul de răcire ar putea fi crescut deoarece apa nu curge departe de suprafața fierbinte la fel de repede, ceea ce intră în conflict cu ideea că fluidele vâscoase nu pot ajunge cu ușurință la locul focului.

Alternativ, dacă se folosește un surfactant pentru a reduce tensiunea superficială, apa ar putea umezi suprafețele mai ușor [228].

Egelhaaf și colab. [167] a efectuat teste de incendiu în care trei baterii identice de format mare de 17 kWh EV Li-ion au fost expuse la incendii cu heptan din piscine. Bateriile au fost puse într-un suport cu o tigare pentru focul de la piscină dedesubt. După aproximativ 8 minute bateriile au început să scurtcircuiteze și să elibereze gaze și particule; au continuat să ardă după ce heptanul s-a epuizat. Bateriile au fost apoi stinse cu apă pură, apă cu 1 % F-500® și apă cu 1,8 % Firesorb®. Ei au descoperit că este nevoie de mult mai puțină apă atunci când se utilizează soluțiile F-500 și Firesorb® (80 l, respectiv 120 l) în comparație cu apa pură (400 l), deși avertizează că poate fi dificil să curgă cantități mari de apă pe un pachet de baterii care este instalat efectiv în sau sub vehicul.

### 6.2.2.2 Idei de suprimare netestate

Extinctus AS din Norvegia lucrează la un sistem de emersiune a apei în care arderea vehiculelor electrice în locații cu risc ridicat, cum ar fi feribot, parcuri, stații de încălzire etc., poate fi neutralizată eficient. Sistemul lor este în curs de dezvoltare și așteaptă testarea de validare [246].

Lebkowski [247] propune utilizarea senzorilor de temperatură, flacără și impact care trimit instrucțiuni pentru deconectarea bateriei și eliberarea supresoarelor în modulul bateriei atunci când condițiile indică faptul că un incendiu este iminent sau a avut loc

Având în vedere eliminarea treptată a substanțelor fluorurate, cum ar fi R134a, care au fost utilizate ca agenți frigorifici în vehicule, CO2 a devenit un competitor ca tehnologie de înlocuire. Kritzer și colab. sugerează să se bazeze pe CO2 un sistem de răcire de urgență redundant și independent pentru bateriile LIB supraîncălzite din EV [248].

## 6.3 Atelier de identificare a pericolelor

Un atelier de identificare a pericolelor (HazId) a avut loc la Stockholm, 6-7 noiembrie 2018. Un atelier HazId este o sesiune sistematică de brainstorming desfășurată de o echipă multidisciplinară, pentru a investiga siguranța unui anumit subiect. Participanții selectați trebuie să reflecte diversitatea subiectului, în sensul că ar trebui să posede toată competența necesară pentru a identifica potențiale pericole și măști de siguranță pentru subiectul specific. Accentul acestui HazId a fost „siguranța la incendiu a vehiculelor LIB și efectul asupra împrejurimilor”, iar experții adunați sunt prezentați în Anexa B, împreună cu expertiza lor în special în proiectarea bateriilor, integrarea vehiculului, testare, analiza riscurilor, manipularea bateriei, siguranța electrică, securitate la incendiu și protecție împotriva incendiilor.

### 6.3.1 Metoda

O foaie de calcul a fost dezvoltată înainte de atelierul HazId, pentru a ghida procedura și pentru documentarea rezultatelor. Foaia de calcul și procedura HazId s-au bazat pe un model cu papion, așa cum se vede în Figura 44.

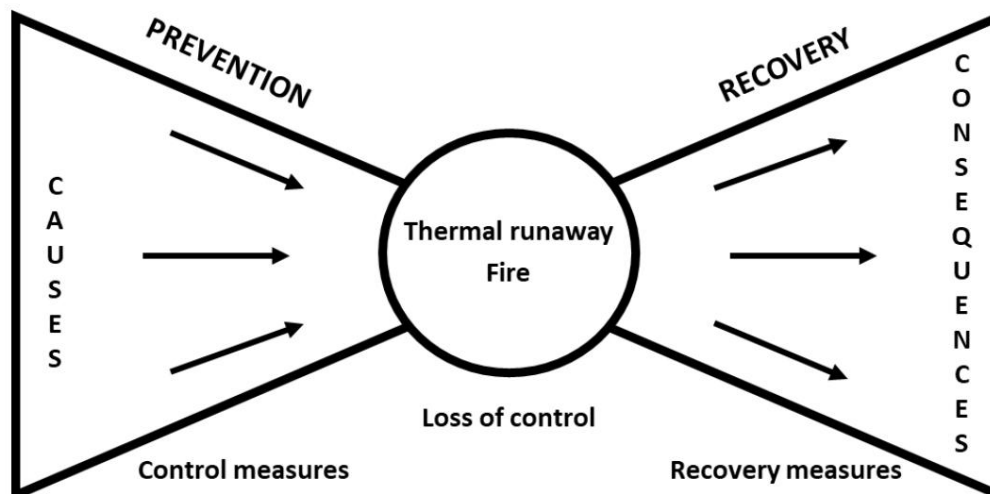


Figura 44 Modelul papion

Inițial, au fost identificate diferite stări interesante ale vehiculului și ale împrejurimilor ca:

- Călătorie
- Parcată
- Încălzire
- Ciocnire
- Căldură sau frig extrem
- Atelier (inclusiv dezmembrări)
- Salvare, remorcare și pornire

Pentru fiecare stare, au fost identificate cauzele care pot duce la evadare termică sau incendiu, împreună cu potențiale măsuri de siguranță, precum și siguranța deja existentă pentru prevenirea evenimentului.

Pentru faza de recuperare, au fost identificate funcțiile dorite și condițiile care afectează pentru a ajuta procesul înainte de a începe identificarea provocărilor și a potențialelor măsuri de siguranță. Această procedură a fost repetată pentru toate nivelurile sistemului de răspândire termică, cum ar fi între celule, între module, de la acumulator la vehicul și de la vehicul la mediul înconjurător. Odată cu întregul proces, a fost notată și o listă de comentarii aferente.

## 6.3.2 Rezultate

Documentația rezultată din atelierul de identificare a pericolelor este prezentată în Anexa A.

Câteva discuții/întrebări notabile din cadrul atelierului au fost:

- Diversitatea mare a diferitelor soluții de baterie și amplasări ale bateriilor. Cum să accesăm ușor aceste informații?
- Rolul central al sistemului de management al bateriei (BMS). În general, este testat riguros de către producătorul vehiculului pentru scopul propus, dar ce zici de aplicațiile de a doua utilizare?
- Lipsa unor linii directoare cu privire la modul de manipulare a vehiculelor avariate:
  - o Autorizație de siguranță?

- o Locație sigură ?
  - o Cum se extrage energie din baterie?
  - o Vehiculul trebuie manevrat diferit în funcție de nivelul de deteriorare?
  - o Cât timp înainte de a începe să manevrezi vehiculul?
- Provocarea detectării precoce a eşecului și a stării de sănătate (SOH). SOH se concentrează astăzi pe probleme de performanță datorate de exemplu îmbătrânirii, dar cum poate fi asigurată fiabilitatea după , de exemplu, o coliziune?
  - Un incendiu stins este întotdeauna cea mai bună alternativă ? Fără incendiu, ar putea exista riscul de explozie a gazului în caz de aerisire a bateriei. Cu ventilația controlată a gazelor în exteriorul vehiculului, acesta este în principal un risc în spațiile înguste, cum ar fi un garaj.
  - Provocarea de a obține o răcire eficientă a celulelor bateriei pentru a întrerupe reacțiile termice în lanț .
- Încărcarea și, în special, încărcarea rapidă stresează bateria, totuși, cu BMS de înaltă calitate riscurile nu sunt mai mari decât în timpul condusului, în afară de riscurile care decurg din încărcarea acasă fără stație de încărcare. Sistemele electrice comune nu sunt proiectate pentru încărcare pe termen lung.

## 7 Concluzii

Acest raport a abordat preocupările privind siguranța la incendiu a vehiculelor rutiere cu baterii litiu-ion (LIB) prin revizuirea literaturii disponibile. Informațiile fundamentale despre VE și LIB au fost prezentate și au fost investigate aspecte legate de riscurile de incendiu și soluțiile de siguranță. Acesta a acoperit domenii precum integrarea pachetului de baterii în vehicule, identificarea pericolelor de incendiu și mijloacele de prevenire și control al incendiilor LIB. De asemenea, a fost investigată adecvarea sistemelor fixe de stingere și detectare a incendiilor în vehiculele electrice și măsurile de prevenire a consecințelor asupra împrejurilor în cazul unui incendiu de vehicule electrice.

Statisticile arată că cererea de vehicule electrice a crescut puternic în ultimii ani și că această tendință continuă. Obișnuită pentru majoritatea vehiculelor electrice este metoda lor de stocare a energiei: LIB. Există totuși multe variații ale LIB-urilor, cu ambalaje și chimie diferite, dar și variații în modul în care sunt integrate în vehiculele moderne. Numărul de celule individuale și tipurile utilizate depind de performanța necesară. A utiliza LIB-urile în siguranță înseamnă a menține celulele într-o fereastră definită de tensiune și temperatură. Aceste limite pot fi depășite ca urmare a unui accident sau a unor condiții de defectare și, astfel, pot deteriora LIB-ul, provocându-le aerisirea și arderea.

Gazele eliberate în acest proces pot reprezenta o amenințare pentru personal, în special atunci când sunt lăuate să se acumuleze. Primii care răspund și cei care gestionează după accident trebuie să fie conștienți de posibilele riscuri prezentate de vehiculele electrice și de cum să le gestioneze. Prin urmare, este important ca primii respondenți să poată identifica cu ușurință vehiculele electrice și LIB ale acestora; o sarcină care poate fi provocatoare, având în vedere standardele actuale. Numai după aceasta riscul poate fi evaluat și pot fi urmate liniile directe și procedurile de lucru adecvate.

Incidentele care implică vehiculele electrice continuă să atragă atenția mass-media considerabilă, ceea ce ar putea spori prudența în rândul respondenților și al publicului. Nu se poate nega faptul că vehiculele electrice sunt însoțite de noi riscuri, dar nu există dovezi că vehiculele electrice sunt mai puțin sigure decât vehiculele convenționale. LIB-urile auto sunt, de asemenea, în mod inerent mai sigure decât cele utilizate pentru aplicații pentru consumatori mici. Acest lucru se realizează prin chimie, design și sistemul de management al bateriei (BMS) de înaltă calitate. Cu toate acestea, eșecurile vor avea loc și vor deveni mai frecvente odată cu creșterea numărului de vehicule electrice. Calea de urmat este de a prelua această provocare prin măsuri și sisteme de siguranță care reduc riscurile la niveluri acceptabile. Numai atunci societatea va atinge același nivel de confort pentru vehiculele electrice ca și pentru vehiculele convenționale.



## 8 Referințe

- [1] N. Nitta, F. Wu, T. Lee și G. Yushin, „Materiale pentru baterii Li-Ion: prezent și viitor”, *Materials Today*, vol. 18, p. 252-264, 2015.
- [2] Agenția Internațională pentru Energie, „Global EV Outlook 2018”, Agenția Internațională pentru Energie, 2018.
- [3] European Alternative Fuels Observatory, „Total Number Alternative Fuels Passenger Cars: AF Fleet (Electricity) (2019)”, 29 octombrie 2018. [Online].  
Disponibil: <https://tinyurl.com/y9g45w6p>. [Accesat 1 februarie 2019].
- [4] Agenția Internațională pentru Energie, „Nordic EV Outlook 2018 - Insights from Leaders in Electric Mobility”, Agenția Internațională pentru Energie, 2018.
- [5] Observatorul european al combustibililor alternativi, „AF Fleet (2018)”, 29 octombrie 2018.  
[Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y8p9myxx>. [Accesat 1 februarie 2019].
- [6] Observatorul European de Combustibili Alternativi, „Heavy Duty (N2-N3): AF fleet Electricity (2019)”, 29 octombrie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y768hxha>.  
[Accesat 1 februarie 2019].
- [7] Scania, „Camioane hibride versatile pentru aplicații urbane”, Scania, 3 septembrie 2018.  
[Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ya8z3put>. [Accesat 2 octombrie 2018].
- [8] M. Kane, „DAF Reveals Three Plug-In Electric Trucks at IAA”, *Inside EVs*, 30 septembrie 2018. [Online].  
Disponibil: <https://tinyurl.com/yaxesmhw>. [Accesat 1 octombrie 2018].
- [9] Volvo AB, „Premiere pentru primul camion complet electric al Volvo Trucks”, 12 aprilie 2018.  
[Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yxcobfuv>. [Accesat 1 octombrie 2018].
- [10] Volvo AB, „Volvo Trucks Prezintă al doilea model de camion electric în trei săptămâni”,  
În interiorul vehiculelor electrice, 8 mai 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yb7dkukm>.  
[Accesat 1 octombrie 2018].
- [11] Truckinginfo, „Mack Plans for Urban Refuse Truck in NYC by 2019”, 24 aprilie 2018.  
[Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ya3c26wq>. [Accesat 12 octombrie 2018].
- [12] Volvo Trucks, „Aceasta este Vera – un vehicul ca niciun altul văzut de la noi până acum”, [Online].  
Disponibil: <https://tinyurl.com/y73tme2e>. [Accesat 11 octombrie 2018].
- [13] T. Earl, L. Mathieu, S. Cornelis, S. Kenny, CC Ambel și J. Nix, „Analysis of Long Haul Battery Electric Trucks in EU”, în 8th Commercial Vehicle Workshop, Graz, 2018.

- [14] H. Liu, J. Ma, L. Tong, G. Ma, Z. Zheng și M. Yao, „Investigation on the Potential of High Efficiency for Internal Combustion Engines”, *Energies*, voi. 11, nr. 513, p. 1-20, 2018.
- [15] YZ Li, „Studiul pericolelor de incendiu și explozie ale vehiculelor cu combustibil alternativ în tuneluri”, Institutul de Cercetare RISE din Suedia, RISE rapport 2018:20, Suedia, 2018.
- [16] Agenția Europeană de Mediu, „Electric Vehicles in Europe”, European Agenția de Mediu, Copenhaga, 2016.
- [17] H. Cui și G. Xiao, „Evaluarea tendințelor tehnologiei de eficiență a combustibilului pentru LDV-uri în China: hibridi și electrificare”, Consiliul internațional pentru transport curat, 2018.
- [18] Lundmark, ST, Alatalo, M., Thiringer, T., Gründitz, EA și Melland, BE, „Vehicle Components and Configurations”, în *Systems Perspectives on Electromobility*, Göteborg, Chalmers Technical University, 2017, pp. 22- 33.
- [19] M. Nicholas și D. Hall, „Lessons Learned on Early Electric Vehicle Fast-Charging Deployments”, International Council on Clean Transportation, Washington, 2018.
- [20] „Moduri de încărcare a vehiculelor electrice”, *Virta*, 6 noiembrie 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ycvww5oq>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [21] F. Freschi, M. Mitolo și R. Tommasini, „Electrical Safety of Plug-In Electric Vehicles”, *IEEE Industry Applications Magazine*, pp. 58-63, mai/iunie 2018.
- [22] E. Maiser, „Battery Packaging - Technology Review”, în *AIP Conference Proceedings*, 2015.
- [23] EPEC - Build to Print Electronics, „Prismatic and Pouch Battery Packs”, EPEC - Build to Print Electronics, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yapfk3ss>. [Accesat 15 octombrie 2018].
- [24] Linden, D. și Reddy, T., *Handbook of Batteries*, 4 ed., New-York: McGraw-Hill, 2011.
- [25] B. Sims și S. Crase, „Review of Battery Technologies for Military Land Vehicles”, Divizia de teren, Grupul de știință și tehnologie a apă rării, Edinburgh, Australia, 2017.
- [26] Golubkov, AW, Planteu, R., Rasch, B., Essl, C., Thaler, A. și Hacker, V., „Thermal runaway and battery fire: comparison of Li-ion, Ni-MH and sealed baterii cu plumb-acid”, în *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*, 16-19 aprilie, Viena, 2018.
- [27] SB Chikkannanavar, DM Bernardi și L. Liu, „A Review of Blended Cathode Materials for use in Li-Ion Batteries,” *Journal of Power Sources*, voi. 248, p. 91-100, 2014.

- [28] CM Julien, A. Mauger, J. Trottier, K. Zhaghib, P. Hovington și H. Groult, „Olivine-Based Blended Compounds as Positive Electrodes for Lithium Batteries,” *Anorganice*, vol. 4, p. 1-12, 2016.
- [29] GE Blomgren, „Dezvoltarea și viitorul bateriilor cu ioni de litiu”, *Jurnal al Societății Electrochimice*, vol. 164, nr. 1, p. A5019-A5025, 2017.
- [30] Li, Q., Chen, J., Fan, L., Kong, X. și Lu, Y., „Progress in Electrolytes for Rechargeable Li-Based Batteries and Beyond”, *Green Energy and Environment*, vol. 1, p. 18-42, 2016.
- [31] X. Kang, „Electrolit și interfațe în bateriile Li-Ion și dincolo,” *Chemical Recenzii*, vol. 114, p. 11503-11618, 2014.
- [32] K. Xu, „Electrolit lichizi non-acoși pentru baterii reîncărcabile pe bază de litiu”, *Chemical Reviews*, vol. 104, p. 4303-4417, 2004.
- [33] M. Herstedt, *Towards Safer Lithium-Ion Batteries*, vol. 876, Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2003.
- [34] Roth, EP și Orendorff, CJ, „How Electrolytes Influence Battery Safety”, *The Electrochemical Society: Interface*, pp. 45-49, 2012.
- [35] Cheng, X., Pan, J., Zhao, Y. și Peng, H., „Gel Polymer Electrolytes for Electrochemical Energy Storage”, *Advanced Energy Materials*, vol. 8, nr. 7, p. 1-16, 2017.
- [36] Biroul FAA pentru Securitate și Siguranță a Materialelor Periculoase, „Lithium Batteries & Dispozitive alimentate cu baterii cu litiu”, 2018.
- [37] F. Larsson, *Lithium-ion Battery Safety: Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation*, Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2017.
- [38] Eshetu GG, Grugeon S, Laruelle S, Boyanov S, Lecocq A, J.-P. Bertrand și G. Marlair, „Analiza în profunzime concentrată pe siguranță a solvenților utilizați în electrolit și pentru bateriile mari cu ioni de litiu”, *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 15, p. 9145-9155, 2013.
- [39] B. Australia, „Fișă cu date de securitate: BP Premium Unleaded Petrol”, 26 aprilie 2012. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y793flse>. [Accesat 17 decembrie 2018].
- [40] BP Oil New Zealand, „Fișă de date de siguranță : BP Diesel”, 21 februarie 2014. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y8ygsybw>. [Accesat 17 decembrie 2018].
- [41] Weber, CJ, Geiger, S. și Roth, M., „Material review of Li ion Battery separators”, în *AIP Conference Proceedings*, 2014.
- [42] Arora, P. și Zhang, Z., „Battery Separators”, *Chemical Reviews*, vol. 104, nr. 10, p. 4419-4462, 2004.

- [43] F. Larsson și B.-E. Mellander, „Lithium-ion Batteries used in Electrified Vehicles – General Risk Assessment and Construction Guidelines from a Fire and Gas Release Perspective”, RISE Research Institutes of Sweden, SP Rapport 2017:41, 2017.
- [44] S. Tobishima și J. Yamaki, „A lithium cell safety consideration”, Journal of Power Sources, voi. 81, nr. 82, pp. 882-886,
- [45] Nesler, T., Schmid, R., Münchgesang, W., Bazhenov, V., Schlim, J., Leisegang, T. și Meyer, D., „Separators - Technology Review: Ceramic based Separators for Secondary Batteries”, în AIP Conference Proceedings, 2014.
- [46] G. Trattnig și W. Leitgeb, „Capitolul 2: Modelarea bateriei pentru simularea siguranței în accident”, în Tehnologia bateriilor auto, Springer, 2014, pp. 19-35.
- [47] D. Sturk și L. Hoffman, „E-vehicle Potential Risk Factors in Traffic Accident - Un raport bazat pe tehnologia e-vehicle, caracteristici de siguranță și chimia modernă a bateriei, Raport din proiectul FFI Rescue Chain,” SP Electronics & Autoliv Development AB, Raport SP 2013:58, Suedia, 2013.
- [48] R. Justen și R. Schöneburg, „Crash Safety of Hybrid and Battery Electric Vehicles”, în a 22-a Conferință privind siguranța în muncă a vehiculelor, Washington, 2011.
- [49] H. Uwau, A. Isoda, H. Ichikawa și N. Takashi, „Development of Body Structure for Crash Safety of the Newly Developed Electric Vehicle”, în 22th Enhanced Safety of Vehicles Conference, Washington, 2011.
- [50] Y. Xia, T. Wierzbicki, E. Sahraei și X. Zhang, „Damage of Cells and Battery Packs due to Ground Impact”, Journal of Power Sources, voi. 267, p. 78-97, 2014.
- [51] N. Asociația pentru vehicule electrice, „flickr”, Asociația norvegiană pentru vehicule electrice, 8 aprilie 2013. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yc3dnrb2>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [52] H. tda NL bp (. aa lift), „Jay's Technical Talk”, 4 aprilie 2015. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y7eef3e>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [53] Tesla, „Electric Powertrain”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/h2k7xzj>. [Accesat 11 octombrie 2018].
- [54] B. Delobel, I. Jimenez Gordon și L. Leveau, „ZOE Battery Durability, Field Experience and Future Vision”, Renault Battery Development Department, 2017. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yd49es9e>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [55] J. Meijer, „Some pictures of the battery”, 2 februarie 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9wj72yr>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [56] T. Moloughney, „Does A BMW i3 Battery Upgrade On An Older Model Are Sense?,” în 14 mai 2016. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9bq3aoe>. [Accesat 27 decembrie 2018].
- [57] Moditech Rescue Solutions BV, „Premiul pentru camioane autonome MAN”, 2018.

- [58] M. Wisch, J. Ott, R. Thomson, Y. Léost, M. Abert și J. Yao, „Recomandations and Guidelines for Battery Crash Safety and Post-Crash Handling”, EVERS SAFE, 2014.
- [59] Green Car Congress, „Driving the VW e-Golf: strategy, assembly in Wolfsburg, Braunschweig battery plant”, 21 iulie 2014. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ycacv34j>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [60] Electric Vehicle News, „LG Chems signs battery deal with Volkswagen”, 19 august 2014. [Online]. Disponibil: <http://www.electric-vehiclenews.com/2014/08/lg-chem-signs-battery-deal-with.html>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [61] Wikipedia, „Chevrolet Volt,” [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ha59tlo>. [Accesat 12 septembrie 2018].
- [62] R. Russel, „GM’s Voltec comes up a winner”, The Globe and Mail, 24 februarie 2012. [Pe net]. Disponibil: <https://www.theglobeandmail.com/globe-drive/news/gms-voltec-comes-up-a-winner/article548874/>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [63] J. Cobb, „2016 Voltec powertrain completely updated”, GM-Volt, 29 octombrie 2014. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yczkmr6z>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [64] În interiorul vehiculelor electrice, „Plug-In Volvo XC60 T8 Enters US Next Month with 10.4 kWh Battery”, 11 august 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yawulhqj>. [Accesat 12 septembrie 2018].
- [65] HybridCars, „Mitsubishi Outlander PHEV Could be here by March 2018”, 12 decembrie 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y7zf3w88>. [Accesat 12 septembrie 2018].
- [66] J. Cobb, „Spark EV versus Volt Battery”, GM-Volt, 2 august 2013. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y8ne4jfe>. [Accesat 11 ianuarie 2019].
- [67] J. Ayre, „How Do The Chevy Bolt & Chevy Spark EV Battery Packs Compare One To Another?”, CleanTechnica, 3 septembrie 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yx9rf5fa>. [Accesat 7 martie 2019].
- [68] M. Carter, „The Electric Mitsubishi Colt | Partea a doua”, Carpages, 13 mai 2005. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ydyt4j3s>. [Accesat 11 ianuarie 2019].
- [69] În interiorul vehiculelor electrice, „Volkswagen Passat GTE Launches in Europe”, 14 iulie 2015. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9ryy46b>. [Accesat 12 septembrie 2018].
- [70] Automobilissimo, „Date tehnice Kia Niro HEV 1.6 GDi Energy 2017”, 9 aprilie 2017. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y82hzpba>. [Accesat 18 septembrie 2018].
- [71] R. Schmuch, R. Wagner, G. Härpel, T. Placke și M. Winter, „Performanță și costul materialelor pentru bateriile auto reîncărcabile pe bază de litiu”, Nature Energy, voi. 3, p. 267-278, 2018.

- [72] C. Arcus, „A tale of 3 battery packs”, Clean Technica, 6 ianuarie 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9hu7b3e>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [73] BMWi, „Discover the BMW i3”, InsideEVs, 11 noiembrie 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9k26o2s>. [Accesat 12 12 2018].
- [74] J. Meise, „Dual-Motor P85D Is the More Well-Doted Model S We All Wanted”, 10 octombrie 2014. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yb45ylqn>. [Accesat 6 septembrie 2018].
- [75] M. Anderman, „Assessing the Future of Hybrid and Electric Vehicles: The xEV Industry Insider Report”, Advanced Automotive Batteries.
- [76] Lithium Energy Japan, „Informatii despre produse”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y89gxm8s>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [77] Green Car Congress, „Volkswagen launches new Passat GTE plug-in hybrid in Europe”, Green Car Congress, 14 iulie 2015. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9nyzsln>. [Accesat 12 decembrie 2018].
- [78] M. Goldmann, „Volvo XC60 T8 Twin Engine (plug-in hybrid)”, Gröna Bilister, februarie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y84uwgkd>. [Accesat 12 12 2018].
- [79] LA Hammond, „Volvo Keeps Options Open for Battery, Plans 3-Cyl”, 8 iunie 2017. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yatbptzy>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [80] Volkswagen, „Battery Technology”, 17 septembrie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ybpdmgrp>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [81] M. Kane, „Doar faptele: Volkswagen Golf GTE”, Inside EVs, 7 septembrie 2014. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yaxl46uk>. [Accesat 12 decembrie 2018].
- [82] P. Lima, „Volkswagen's strategy for batteries”, 13 septembrie 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ycbpwkcb>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [83] KIA, „Niro - Niro PHEV”, 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y96q3xd2>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [84] LG Chem, „Baterie auto”, [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yvc5aux3>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [85] GM, „2016 Chevrolet Volt Battery System”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ybhjllwgd>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [86] „2011 ORION ORION VII LI-ION HYBRID: Recalls & Safety Issues”, National Highway Traffic Safety Administration, 28 octombrie 2011. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yao26jgk>. [Accesat 14 ianuarie 2019].
- [87] Proterra, „The Proterra Catalyst® 40-Foot Transit Vehicle”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yd658avo>. [Accesat 1 februarie 2019].

- [88] bydauto, „BYD Fe Battery”, YouTube, 6 mai 2013. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y8psuqpd>. [Accesat 12 decembrie 2018].
- [89] H. Kesteloo, „A new large fleet of 25 fully electric Volvo 7900 buses is going in operation in Norway”, Electrek, 27 septembrie 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9rp3exd>. [Accesat 12 decembrie 2018].
- [90] VDL Bus and Coach, „Prezentare corporativă ”, 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y7h5u97g>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [91] Autobuz și autobuz Solaris, „Autobuze electrice: totul se schimbă ”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yc2gs9l3>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [92] Optare, „Solo and Versa EV - All Electric Citybus Vehicles”, 2014. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9ar7hqr>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [93] Proterra, „Powering Heavy-Duty Vehicles with High Performing Batteries,” [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yb6blrab>. [Accesat 1 februarie 2019].
- [94] Green Car Congress, „CEC acordă lui Proterra 3 milioane USD pentru o fabrică de producție de autobuze electrice; Foothill Transit comandă încă 13 autobuze”, 9 aprilie 2015. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ycmfb4kd>. [Accesat 28 ianuarie 2019].
- [95] Autobuze Volvo, „Volvo 7900 Electric - Mergeți unde oamenii vor să meargă ”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9dghndw>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [96] Închiderea DA, „Volvo 7900 Electric”, Land Transport Guru - Singapore Transport Information at a glance!, 11 ianuarie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y74skux2>. [Accesat 12 octombrie 2018].
- [97] Sistem de autobuze urbane cu emisii zero, „ZeEUS eBus Report #2 - O prezentare generală actualizată a autobuzelor electrice din Europa”, 2017.
- [98] F. Lambert, „BYD deschide o nouă fabrică de baterii, susține că va fi „cea mai mare din lume””, 29 iunie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yb7ng6nb>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [99] BYD, „Despre: Sponsorul oficial al naturii umane”, [Online]. Disponibil: <http://en.byd.com/usa/about/>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [100] Kläzing, C., Bunzel, A., Krebs, K. și Petersohn, R., „Saxony as a Model Region in Germany for connected”, în EVS29 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Montreal, 2016.
- [101] Sierszynski, M., Pikula, M., Fuc, P., Liwski, P., Siedlecki, M. și Galant, M., „Overview of Solutions for Lithium-Ion Batteries Used in Electric Vehicles,” Jurnalul Internațional de Energie și Mediu, vol. 10, nr. <https://tinyurl.com/ydfgqb9y>, pp. 105-111, 2016.
- [102] Akasol, „High Performance Battery Systems for Buses”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9xd5j85>. [Accesat 27 septembrie 2018].

- [103] Durapower, „Tehnologia celulară Durapower Lithium-LFP”, [Online]. Disponibil: <http://www.durapowerbattery.com/technology/durapower-lithium-lfp-cell-technology/>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [104] Optare, “Optare Electric Vehicles,” [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ydz3m8vs>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [105] LithiumWerks, „Valence Batteries Deployed in Optare Electric Bus Project in the UK”, LithiumWerks, 2 decembrie 2014. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ya86m9me>. [Accesat 27 septembrie 2018].
- [106] DIY Tech & Repairs, „Opening up Valence 12V Lithium battery”, YouTube, 3 martie 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y6vzvmkr>. [Accesat 12 decembrie 2018].
- [107] Proterra, „The Proterra Catalyst 35-Foot Transit Vehicle”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ybw5juxx>. [Accesat 1 februarie 2019].
- [108] E. Wynder, „Battery Maker Delivers Trailer Power to Trucking Industry”, Grand Rapids Business Journal, [Online]. Disponibil: 11 mai 2018. <https://tinyurl.com/yba2rqe7>. [Accesat 28 ianuarie 2019].
- [109] Forbes, „New Volvo Trucks Autonomous Semi Is A Cabless Tractor Pod”, 16 septembrie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y97c3o4w>. [Accesat 2018 octombrie 2018].
- [110] Autoritatea olandeză pentru siguranță a produselor alimentare și de consum, „Investigația NVWA în hoverboard-uri: deficiențe serioase”, 11 octombrie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y86fqxse>. [Accesat 12 octombrie 2018].
- [111] DH Doughty și AA Pesaran, „Ghid pentru foile de parcurs pentru siguranță a bateriei vehiculului”, Laboratorul național de energie regenerabilă, Denver, 2012.
- [112] K. Xu, „Electrolit și interfațe în bateriile Li-Ion și dincolo”, Chemical Reviews, vol. 114, p. 11503-11618, 2014.
- [113] R. Spotnitz și J. Franklin, „Abuse Behavior of High-Power, Lithium-Ion Cells,” Journal of Power Sources, voi. 113, p. 81-100, 2003.
- [114] M. Hietaniemi, „Stabilitatea termică a substanțelor chimice utilizate în bateriile cu ioni de litiu”, Universitatea din Oulu, 2015.
- [115] Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun și C. Chen, „Thermal runaway Caused Fire and Explosion of Lithium Ion Battery”, Journal of Power Sources, voi. 208, p. 210-224, 2012.
- [116] H. Xiang, H. Wang, C. Chen, X. Ge, S. Guo și W. Hu, „Thermal Stability of LiPF<sub>6</sub>-electrolit și baza și efectul contactului cu diverși catozi delimitați ai bateriilor Li-Ion”, Journal of Power Sources, voi. 191, p. 575-581, 2009.



- [117] M. Brand, S. Gläer, J. Geder, S. Menacher, S. Obpacher, A. Jossen și D. Quinger, „Electrical Safety of Commercial Li-Ion Cells Based on NMC and NCA Technology Compared to LFP Technology,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 6, p. 1-9, 2016.
- [118] AW Golubkov, S. Sheikl, R. Planteu, G. Voitic, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, A. Thaler și V. Hacker, „Thermal Runaway of Commercial 18650 Li-Ion Batteries with LFP și NCA Cathodes - Impact of State of Charge and Overcharge,” *RSC Advances*, vol. 5, p. 57171-57186, 2015.
- [119] K. Liu, Y. Liu, D. Lin, A. Pei și Y. Cui. *Science Advances*, voi. 4, p. 1-11, 2018.
- [120] P. Ribière, S. Grugeon, M. Morcrette, B. Simeon, S. Laruelle și G. Marlair, „Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry”, *Energy and Environmental Science*, vol. 5, p. 5271-5280, 2012.
- [121] T. Cafe, „Physical Constants for Investigators”, *TC Forensic*, 17 iunie 2007. [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/dzku94>. [Accesat 17 decembrie 2018].
- [122] W. Zhao, G. Luo și C.-Y. Wang, „Modeling Internal Shorting Process in Large-Format Li-Ion Cells”, *Jurnalul Societ ii Electrochimice*, voi. 162, p. A1352-A1364, 2015.
- [123] S. Sriramulu și R. Stringfellow, „Final Technical Report: Internal Short Circuits in Lithium-Ion Cells for PHEVs”, *TIAX LLC*, 2014.
- [124] A. Ahlberg Tidblad, „Regulatory Outlook on Electric Vehicle Safety”,  n Fifth Conferin a interna ională privind incendiile  n vehicule - FIVE 2018, Borås, 2018.
- [125] S. Santhanagopalan, P. Ramadass și J. Zhang, „Analysis of Internal Short-Circuit  ntr-o celulă de ioni de litiu”, *Journal of Power Sources*, voi. 194, p. 550-557, 2009.
- [126] Laboratorul Na ional Oak Ridge, „Crash Models for Advanced Automotive Batteries”, *Oak Ridge*, 2015.
- [127] J. Zhu, T. Wierzbicki și W. Li, „A Review of Safety-Focused Mechanical Modeling of Commercial Lithium-Ion Batteries”, *Journal of Power Sources*, voi. 378, p. 153-168, 2018.
- [128] R. Thomson, „Recomandări pentru noi cerin e de siguran ă și cercetare”, *EVERSAFE*, 2014.
- [129] Euro NCAP, „Side Pole”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yc9yghhp>. [Accesat 10 ianuarie 2019].
- [130] UE, „Final Report Summary - OSTLER (Optimised storage integration for the electric car)”, 30 11 2014. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yc7rc3r9>. [Accesat 10 ianuarie 2019].

- [131] T. Barth și R. Swaim, „NTSB Investigations of EV Fires”, National Transportation Safety Board (NTSB), SUA, 2018.
- [132] C. Hendricks, N. Williard, S. Mathew și M. Pecht, „A Failure Modes, Mechanisms, and Effects Analysis (FMMEA) of Lithium-Ion Batteries,” *Journal of Power Sources*, voi. 297, p. 113-120, 2015.
- [133] F. Larsson și B.-E. Mellander, „Abuzul prin încălzire externă, supraîncălzire și scurtcircuitare a celulelor comerciale de baterii cu ioni de litiu”, *Journal of the Electrochemical Society*, voi. 161, nr. 10, p. A1611-A1617, 2014.
- [134] F. Larsson, P. Andersson și B.-E. Mellander, „Aspecte ale bateriei cu litiu-ion la incendiile în vehiculele electrificate pe baza testelor experimentale de abuz”, *Bateriile*, voi. 2, nr. 9, 2016.
- [135] CT Love, OA Baturina și KE Swider-Lyons, „Observarea dendritelor de litiu la temperatura ambiantă și mai jos”, *Electrochemistry Letters*, voi. 4, p. A24-A27, 2015.
- [136] R. Guo, L. Lu, M. Ouyang și X. Feng, „Mechanism of the Entire Overdischarge Process and Overdischarge-Induced Internal Short Circuit in Lithium-Ion Batteries,” *Rapoarte științifice*, voi. 6, p. 1-9, 2016.
- [137] RA Leisling, MJ Palazzo, ES Takeuchi și KJ Takeuchi, „Testările abuzive ale bateriilor cu ioni de litiu”, *Journal of the Electrochemical Society*, voi. 148, p. A838-A844, 2001.
- [138] K. Davidsson, I. Karlsson, P. Leisner, M. Bobert și P. Blomqvist, „Safety Test Methods for EV Batteries”, *World Electric Vehicle Journal*, voi. 4, p. 414-420, 2010.
- [139] A. Kriston, A. Pfrang, H. Döring, B. Fritsch, V. Ruiz, I. Adanouj, T. Kosmidou, J. Chem. Ungeheuer și L. Boon-Brett, „External Short Circuit Performance of Graphite-LiNi<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> and Graphite-LiNi<sub>0.8</sub>Co<sub>0.15</sub>Al<sub>0.05</sub>O<sub>2</sub> Cells at Different External Resistances”.
- [140] F. Larsson, S. Bertilsson, F. Maurizio, I. Albinsson și B.-E. Mellander, „Explozii de gaz și evaporări termice în timpul abuzului de încălzire externă a celulelor comerciale de litiu-ion grafit-LiCoO<sub>2</sub> la diferite niveluri de îmbătrânire”, *Journal of Power Sources*, voi. 373, p. 220-231, 2018.
- [141] F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist, A. Lorén și B.-E. Mellander, „Caracteristicile bateriilor litiu-ion în timpul testelor de incendiu”, *Journal of Power Sources*, nr. 271, p. 414-420, 2014.
- [142] F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist și B.-E. Mellander, „Emisii de gaze cu fluorură toxică de la incendiile bateriilor cu ioni de litiu”, 22 martie 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y8o4moa5>. [Accesat 3 mai 2018].

- [143] F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist și B.-E. Mellander, „Emisii de gaz de la celulele bateriei cu ioni de litiu în curs de abuz din cauza incendiului extern”, în a patra Conferință internațională privind incendiul în vehicule, Baltimore, 2016.
- [144] UNECE, „Regulamentul nr. 100 al Comisiei Economice pentru Europa a Națiunilor Unite (UNECE) – Dispoziții uniforme privind omologarea vehiculelor în ceea ce privește cerințele specifice pentru trenul electric [2015/505]”, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, 2015.
- [145] LS Blikeng și SH Agerup, „Fire in an electric car”, Högskolan Stord / Haugesund, Haugesund, 2013.
- [146] M. Egelhaaf, D. Wolpert și T. Lange, Fire Fighting of Battery Electric Vehicle Fires, Stuttgart, 2014.
- [147] T. Long, A. Blum, T. Bress și B. Cotts, „Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicle Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results”, The Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA, SUA, 2013.
- [148] SP Technical Research Institute of Sweden, „3P02888-02 Fire test on Li-Ion batteries”, MSB, 2013.
- [149] Watanabe, „Compararea comportamentelor la incendiu ale unui vehicul alimentat cu baterie electrică și a unui vehicul alimentat cu benzină într-un test de incendiu la scară reală”, Institutul Național de Știință și Poliție, Japonia, 2012.
- [150] A. Lecocq, M. Bertana, B. Truchot și G. Marlair, „Comparison of the Fire Consequence of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle.”, în International Conference on Fire in Vehicles (FIVE 2012), Chicago, IL, SUA, 2012.
- [151] GP Beauregard, „Report of Investigation: Hybrids Plus Plug In Hybrid Electric Vehicle”, eTec, Phoenix, 2008.
- [152] W. Josefowitz, H. Kranz, D. Macerata, T. Soczka-Guth, H. Mettlach, D. Porcellato, F. Orsini și J. Hansson, „Assessment and Testing of Advanced Energy Storage Systems for Propulsion - European Raport de testare”, în cel de-al 21-lea simpozion și expoziție mondială pentru vehicule electrice cu baterii, hibride și celule de combustibil, Monte Carlo, 2005.
- [153] H. Maleki, G. Deng, A. Anani și J. Howard, „Thermal Stability Studies of Li-Ion Cells and Components”, Journal of the Electrochemical Society, voi. 146, nr. 9, p. 3224-3229, 1999.
- [154] Ruiz, V. și Pfrang, A., „Cercetarea exploratorie JRC: Safer Li-ion batteries by preventing thermal propagation - Workshop report: summary & outcomes”, Oficiul pentru Publicații al Uniunii Europene, Luxemburg, 2018.
- [155] D. Ouyang, J. Liu, M. Chen și J. Wang, „Investigation into the Fire Hazards of Lithium-Ion Batteries under Overcharging”, Applied Sciences, vol. 7, p. 1-20, 2017.

- [156] F. Larsson, J. Anderson, P. Andersson și B.-E. Mellander, „Modelarea termică a propagării focului de la celulă la celulă și a efectelor de defectiune termică în cascadă pentru celulele și modulele bateriei cu ioni de litiu care utilizează pereții de incendiu”, *Journal of The Electrochemical Society*, voi. 163, p. A2854-A2865, 2016.
- [157] J. Lamb, C. Orendorff, L.M. Steele și S.W. Spangler, „Failure Propagation in Multi Cell Lithium Ion Batteries”, *Journal of Power Sources*, voi. 283, nr. C, 2014.
- [158] J.C. Hewson și S.P. Domino, „Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries and Hazards of Abnormal Thermal Developments”, în a 9-a întâlnire națională de ardere din SUA, Cincinnati, 2015.
- [159] L. Hoffmann, „Udarea bateriei de tracțiune de 400 volți în apă dulce și în apă sărată”, SP Suedia's Technical Research Institute, Borås, SE, 2013.
- [160] C. Grant, „Răspuns la incendiile bateriilor de vehicule electrice”, în Fire in Vehicles (FIVE) Conferință, Berlin, Germania, 2014.
- [161] R. Moore, „University of Extrinsication: Plug-In Vehicle Identification”, *Firehouse*, 1 mai 2016. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y8gw26yw>. [Accesat 6 februarie 2019].
- [162] Moditech Rescue Solutions, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yb2t5ccq>. [Accesat 7 februarie 2019].
- [163] P. Andersson, J. Wikman, M. Arvidson, F. Larsson și O. Willstrand, „Safe introduction of battery propulsion at sea”, RISE Research Institutes of Sweden, 2017.
- [164] MSB, „Noi riscuri pentru personalul de salvare în cazul incendiilor/gazării pachetelor de baterii din vehiculele electrice”, MSB, 2016.
- [165] DNV GL, „Considerations for ESS Fire Safety - Final Report”, Raport nr.: OAPUS301WIKO(PP151894), Rev. 3, New York, SUA, 2017.
- [166] H. Wingfors și A. Fredman, Writers, Capacitatea de protecție a standului de alarmă legată de incendiul vehiculului. [Performanță]. FOI Total Defense Research Institute, 2018.
- [167] M. Egelhaaf, D. Kress, D. Wolpert și T. Lange, „Combaterea incendiilor a bateriilor de tracțiune Li-ion”, *SAE International Journal of Alternative Power*, vol. 2, nr. 1, p. 37-48, 2013.
- [168] BMW Group, „Cum este creat un BMW i: Conceptul Liferdrive în patru pași”, [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yau7p8a7>. [Accesat 7 februarie 2019].
- [169] T. Hertzberg, „Dangers Relating to Fires in Carbon-Fibre Based Composite Material”, *Fire and Materials*, voi. 29, p. 231-248, 2005.
- [170] R. Moore, „University of Extrinsication: Identifying Carbon Fiber in Vehicles—Part 3”, *Pompieri*, 1 august 2015. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yc6zb5qj>. [Accesat 7 februarie 2019].

- [171] R. Ochoterena, F. Roux, A. Sandinge, C. Nylander, M. Lindkvist, U. Björnstig, D. Sturk și M. Skrifvars, „Post-collision fires in road vehicles, a pre-study”, RISE Research Institutes of Sweden, SP Report 2016:55, Borås, Suedia, 2016.
- [172] Comisia daneză de investigare a accidentelor maritime, „Pearl of Scandinavia fire 17 November 2010”, Danish Maritime Authority, Danemarca, 2011.
- [173] „Hangzhou oprește toate taxiurile electrice când un vehicul electric Zotye Langyue (Multipla) ia foc,” 12 aprilie 2011. [Online]. Disponibil: <http://chinaautoweb.com/2011/04/hangzhou-halts-all-electric-taxis-as-a-zotye-langyue-multipla-ev-catches-fire/>. [Accesat 4 februarie 2019].
- [174] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), „Chevrolet Volt Battery Incident Overview Report”, DOT HS 811 573, Washington DC, SUA, 2012.
- [175] „Al doilea incendiu Fisker Karma aruncă îndoieli proaspete asupra hibridului plug-in”, 13 august 2012. [Pe net]. Disponibil: [https://www.greencarreports.com/news/1078412\\_second-fisker-karma-fire-casts-fresh-doubt-on-plug-in-hybrid](https://www.greencarreports.com/news/1078412_second-fisker-karma-fire-casts-fresh-doubt-on-plug-in-hybrid). [Accesat 2 februarie 2019].
- [176] J. Garthwaite, „Mystery at Port Newark: Why Did 17 Plug-In Cars Burn?”, 2 noiembrie 2012. [Pe net]. <https://wheels.blogs.nytimes.com/2012/11/02/mystery-at-port-newark-why-did-17-plug-in-cars-burn/>. [Accesat 1 februarie 2019].
- [177] „Two Autolib Electric Cars Burn Down in Paris”, 16 octombrie 2013. [Online]. Disponibil: <https://www.plugin-cars.com/two-evs-parisian-autolib-car-sharing-service-burned-down-128577.html>. [Accesat 4 februarie 2019].
- [178] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), „Investigația PE 13-037”, Washington DC, SUA, 2014.
- [179] „Mitsubishi Extends Production Halt on Outlander PHEV as Perplexing Battery Investigation Continues”, 10 aprilie [Online]. 2013. Disponibil: <https://insideevs.com/mitsubishi-extends-production-halt-on-outlander-phev-as-perplexing-battery-investigation-continues/>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [180] „O altă Tesla a luat foc în timp ce ședea într-un garaj din Toronto în această lună”, 13 februarie 2014. [Online]. Disponibil: <https://www.businessinsider.com/february-1st-toronto-tesla-fire-2014-2?r=US&IR=T&IR=T>. [Accesat 4 februarie 2019].
- [181] K. Bolstad și T. Urstad, „Mașină de pasageri lovită de tren în Råde”, Moss Avis, Norvegia, 2015.
- [182] „Cauza incendiului la Tesla Model S în Norvegia clarificată – scurtcircuit”, 19 martie 2016. [Pe net]. Disponibil: <https://www.mestmotor.se/automotorsport/artiklar/nyheter/20160319/brandor-lucru-la-tesla-model-si-norvegia-clarificat-scurt-circuit/>. [Accesat 4 februarie 2019].

- [183] P. Ekstrand, „Second Tesla fire in a short time”, 1 aprilie 2016. [Online]. Disponibil: <http://www.elbilen.org/andra-teslabranden-pa-kort-tid/>. [Accesat 1 februarie 2019].
- [184] „Tesla spune că incendiul Model S din Franța a fost din cauza „conexiunii electrice strânse necorespunzătoare” de către un om în loc de robot”, 9 septembrie 2016. [Online]. Disponibil: <https://electrek.co/2016/09/09/tesla-fire-france-electrical-connection-improperly-tightened-human-robot/>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [185] „Mașina electrică izbucnește în flăcări și arde până la pământ după ce a fost lăsată să se încălzească peste noapte „la un punct de alimentare defect”, 9 iulie 2017. [Online]. Disponibil: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-4679416/Electric-car-left-charging-overnight-destroyed-fire.html>. [Accesat 4 februarie 2019].
- [186] „Proprietarul Tesla cere 1 milion de dolari după ce Model X a luat foc în accident și ușile Falcon Wing nu s-au deschis”, 23 aprilie 2017. [Online]. Disponibil: <https://electrek.co/2017/04/23/tesla-model-x-fire-crash-falcon-wing-doors-stuck/>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [187] „Porsche catches fire while charging”, 16 martie 2018. [Online]. Disponibil: <https://www.bangkokpost.com/news/general/1429518/porsche-catches-fire-while-charging>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [188] „Jaguar I-Pace ia foc în Țările de Jos – descris ca „incident termic” de către Jaguar”, 11 decembrie 2018. [Pe net]. Disponibil: <https://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/nyheter/20181211/jaguar-i-pace-fattade-eld-i-nederlanderna-beskrivs-som-ermisk-incidentav-jaguar/?=IwAR07cFWAP9fqMbIdpIdpJJCPTbd3W6Cptbd3W6Cptbd3Y2QJc>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [189] „O nouă mașină Tesla izbucnește în flăcări DE DOUA ORI într-o zi, iar pompierii folosesc 2000 de galoane de apă pentru a lupta împotriva incendiului”, 21 decembrie 2018. [Online]. Disponibil: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-6519645/Tesla-car-catches-fire-3-ori-o-zi-pompieri-battle-blaze-2000-gallons-water.html>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [190] „BMW i8 Catches Fire In Europe Dealership, Gets Dropped In Huge Bath”, 26 martie 2019. [Online]. Disponibil: <https://motorillustrated.com/bmw-i8-catches-fire-in-europe-dealership-gets-dropped-in-huge-bath/23440/>. [Accesat 29 aprilie 2019].
- [191] „Vehiculele electrice de la unul dintre cei mai mari producători de vehicule electrice din China iau foc”, 19 martie 2019. [Online]. Disponibil: <https://qz.com/1575817/electric-vehicles-from-chinese-car-maker-bjev-are-catching-fire/>. [Accesat 29 aprilie 2019].
- [192] „Tesla investigating explosion of car in Shanghai”, 22 aprilie 2019. [Online]. Disponibil: <https://www.shine.cn/news/metro/1904223436/>. [Accesat 29 aprilie 2019].

- [193] G. Marlair, A. Lecocq, B. Truchot, P. Perlo, M. Petit, D. N'Guyen și P. Desprez, Promoting fire safety in innovating design of electric vehicles: the example of the EU-financed Proiectul DEMOBASE, Borås, Suedia: a 5-a Conferință internațională privind incendiile în vehicule - FIVE2018, 2018.
- [194] M. Ahrens, „Automobile Fires in the US: 2006-2010 Estimates,” Second International Conference on Fires in Vehicles - FIVE2012, Chicago, SUA, 2012.
- [195] „Stocul de vehicule electrice”, 31 Decembrie [Online], 2018. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9r7vzyq>. [Accesat 6 februarie 2019].
- [196] J. Gehandler, P. Karlsson și L. Vylund, „Riscurile asociate cu combustibilii alternativi în tunelurile rutiere și în garaje subterane”, Institutul de cercetare tehnică din SP Suedia, Borås, 2017.
- [197] „Catastrophic rise in car fires”, 12 septembrie 2018. [Online]. Disponibil: [https://www.motormagasinet.se/article/view/619974/katastrofal\\_okning\\_av\\_av\\_anlagda\\_bilbrander](https://www.motormagasinet.se/article/view/619974/katastrofal_okning_av_av_anlagda_bilbrander) [Accesat 6 februarie 2019].
- [198] C. Stave și A. Carlson, „A Case Study Exploring Firefighters' and Municipal Officials' Preparedness for Electrical Vehicles,” Eur. Transp. Res. Rev. (2017) 9:25, <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0240-1>, 2017.
- [199] Asociația Națională de Protecție la Incendiu, „Campul de urgență pentru vehicule hibride și electrice Ghid”, National Fire Protection Association, Quincy, MA, SUA, 2014.
- [200] J. Millner, „Insats - Electric, hybrid and hydrogen vehicle toys (Rescue Guide),” 2010.
- [201] US National Highway Traffic Safety Administration, „Interim Guidance for Electric and Hybrid-Electric Vehicles Equipped With High Voltage Batteries (Law Enforcement/Emergency Medical Services/Fire Department”, US Department of Transportation, DOT HS 811 575, 2012.
- [202] Asigurări legale de accidente germane DGUV (Asigurări legale de accidente germane), „BGI/GUV-I 8686: Calificare pentru lucru cu vehicule HV”, DGUV, 2012.
- [203] B. Joss și H. Döring, „Advice for operations involving electric vehicles”, Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (Școala de Stat de Pompieri din Baden-Württemberg), 2011.
- [204] AS Bøe, „Full-scale fire test of electric car”, SP Fire Research AS, raport SPFR A17 20096:03-01, Norvegia, 2017.
- [205] National Transportation Safety Board, „Raport preliminar: Highway HWY18FH013”, 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y66n2h47>. [Accesat 12 februarie 2019].

- [206] National Transportation Safety Board, „Preliminary Report: Crash and Post-crash Fire of Electric-powered Passenger Vehicle”, 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y9o5knq8>. [Accesat 12 februarie 2019].
- [207] S. Winkler, „FinalReport -Crash involving Tesla Model S –10400 South Bangerter Highway”, South Jordan Police Department, South Jordan, 2018.
- [208] J. Hattem, „APNewsBreak: Tesla in Autopilot Mode Speed Up Before Crashing”, AP News, 26 mai 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y3drdra5c>. [Accesat 12 februarie 2019].
- [209] D. King, „Chevy Volt distrus într-un accident cu Toyota Camry, nimic nu ia foc”, Autoblog, 1 iunie 2012. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y6xyo98h>. [Accesat 12 februarie 2019].
- [210] C. Xu, M. Ouyang, L. Lu, X. Liu, S. Wang și X. Feng, „Studiu preliminar asupra mecanismului pachetului de baterii cu ioni de litiu sub imersie în apă”, în ECS Transactions, New Orleans, 2017.
- [211] RT Long Jr., AF Blum, TJ Bress și BRT Cotts, „Best Practices for Emergency Response to Incidents involving Electric Vehicle Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results”, Exponent, Inc., Fire Protection Research Foundation, SUA, 2013.
- [212] SAE International, „Surface Vehicle Recommended Practice J2990, Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice”, Society of Automotive Engineers, 2012.
- [213] EDUCAM, „Working safely on hybrid and electric vehicles (HEV),” [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y3pg5fyw>. [Accesat 20 februarie 2019].
- [214] EDUCAM, „Working safely on hybrid and electric vehicles (HEV),” [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y4uhj2o>. [Accesat 20 februarie 2019].
- [215] EDUCAM, Standard sectorial EDU 100 V3.0: Lucrul în siguranță pe HEV (vehicule hibride și electrice), EDUCAM.
- [216] T. Brăniș, „Standarde de încărcare EV”, [Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yd66lxyz>. [Accesat 5 februarie 2019].
- [217] D. Hanauer, „Mode 2 Charging - Testing and Certification for International Market Access”, World Electric Vehicle Journal, vol. 9, p. 1-9, 2018.
- [218] J. Molenaar, M. Oude Wolbers, F. Veen van der și M. Meessen, „Fire Response to Incidents with Modern Vehicles”, IFV - Academia de Pompieri, Arnhem, 2016.
- [219] National Fire Protection Association, „Emergency Response Guides”, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/yxfywhck>. [Accesat 21 februarie 2019].



- [220] ARN, „Safe disassembly of hybrid and electric cars”, 23 septembrie 2014.  
[Pe net]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y33dxmss>. [Accesat 20 iunie 2018].
- [221] Consiliul Național al Petrolului, „Advancing Technology for America's Transportation Viitorul, capitolul 13 - Electric”, SUA, 2012.
- [222] CF Lopez, JA Jeevarajan și PP Mukherjee, „Analiza experimentală a evaporării termice și a propagării în modulele de baterii cu ioni de litiu”, Jurnalul Societății Electrochimice, voi. 162, nr. 9, p. A1905-A1915, 2015.
- [223] Freudenberg, „Performance Materials- Separators”, Freudenberg Performance Materials, [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y2kmjmyr>. [Accesat decembrie 2018].
- [224] J. Jeevarajan, „Safety of commercial lithium-ion cells and batteries”, în Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications, Amsterdam, Elsevier, 2014, pp. 387-407.
- [225] KULR Technology, „Lithium-Ion Battery Thermal Management”, 2018. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y6ohex5f>. [Accesat 21 iunie 2018].
- [226] A. Masias, „Electric Vehicle Safety: Design and Research”, în ARPA-E Crash-Safe Energy Storage Systems for Electric Vehicles Workshop, Denver, CO, SUA, 2012.
- [227] G. Shenhar, „Actualizarea scutului bateriei Tesla Model S se dovedește o remediere ușoară și convenabilă”, Consumer Reports, 2 mai 2014. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ydh5hjce>. [Accesat 11 ianuarie 2019].
- [228] NK Reitan, AG Bøe și JP Stensaas, „Fire safety and alternative energy carriers: Electric and gas vehicles in confined spaces”, SP Fire Research AS, raport SPFR A16 20096-1:1, Norvegia, 2016.
- [229] „Statistics on the bus industry”, Sweden's Bus Company, 2017.
- [230] MS Dattathreya, H. Singh și T. Meitzler, „Detectarea și eliminarea unui incendiu potențial în compartimentele motorului și bateriei vehiculelor electrice hibride”, Progrese în sistemele fuzzy, p. ID articol 687652, 2012.
- [231] X. Feng, Y. Pan, X. He, W. Li și M. Ouyang, „Detectarea scurtcircuitului intern în baterie litiu-ion de format mare folosind algoritmul de diagnosticare a erorilor bazat pe model”, Journal of Energy Storage, voi. 18, p. 26-39, 2018.
- [232] M. Ouyang, M. Zhang, X. Feng, L. Lu, J. Li, X. He și Y. Zheng, „Internal short detectarea circuitului pentru acumulator folosind parametri echivalenți și metoda de consistență”, Journal of Power Sources, vol. 294, p. 272-283, 2015.
- [233] X. Feng, C. Weng, M. Ouyang și J. Sun, „Online internal short circuit detection for a large format lithium ion battery”, Applied Energy, vol. 161, p. 168-180, 2016.

- [234] D. Fuentevilla, Lithium Battery Hazards- Detection, Mitigation, and Safety, Atlantic City, NJ, SUA: 8th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, 2016.
- [235] C. Essl, AW Golubkov, R. Panteu, B. Rasch, A. Thaler și A. Fuchs, „Transport of Li-Ion Batteries: Early Failure Detection by Gas Composition Measurements”, în Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, Viena, Austria, 2018.
- [236] C. Grant, „Fire Fighter Safety and Emergency Response for Electric Drive and Hybrid Drive Vehicles”, National Fire Protection Association, Quincy, MA, SUA, 2010.
- [237] Delphi Corporation, „Vehicule electrice hibride pentru primii răspunsuri”, Delphi Corporation, Troy, MI, SUA, 2012.
- [238] T. Malone, „Extinguishment of Lithium-Ion and Lithium-Metal Battery Fires”, US Federal Aviation Administration, DOT/FSS/TC-13/53, 2014.
- [239] D. Lisboa și T. Snee, „O revizuire a pericolelor asociate cu bateriile primare cu litiu și litiu-ion”, Process Safety and Environmental Protection, voi. 89, p. 434-442, 2011.
- [240] C. Petit Boulanger, J. Thomaza, B. Azmi, O. Labadie, B. Poutrain, M. Gentilleau și H. Bazin, „A Partnership between Renault and French First Responders to ensure Safe Intervention on Crash or Fire- deteriorate Electrical Vehicles”, în The 24th ESV Conference Proceedings (ESV2015), Gäteborg, SE, 2015.
- [241] P. Andersson, M. Arvidson, F. Evegren, M. Jandali, F. Larsson și M. Rosengren, „Lion Fire: Extinction and mitigation of fires in Li-ion batteries at sea”, Raport RISE 2018:77 , Borås, 2018.
- [242] WT Luo, SB Zhu, JH Gong și Z. Zhu, „Cercetarea și dezvoltarea tehnologiei de stingere a incendiilor pentru bateriile cu litiu de putere”, Procedia Engineering, voi. 211, p. 531-537, 2018.
- [243] T. Yim, MS Park, SG Woo, HK Kwon, JK Yoo, YS Jung, KJ Kim, JS Yu și YJ Kim, „Self-Extinguishing Lithium Ion Batteries Based on Internally Embedded Fire-Extinguishing Microcapsules with Temperature Responsiveness, ” Nano Letters, vol. 15, p. 5059-5067, 2015.
- [244] P. Russo, C. Di Barib, M. Mazzaroc, A. De Rosac și I. Morriellod, „Sisteme eficiente de stingere a incendiilor pentru baterie cu ioni de litiu”, Tranzacții de inginerie chimică , voi. 67, p. 727-732, 2018.
- [245] DEKRA, „Bateriile litiu-ion oferă siguranță în testele de incendiu Proof,”  
[http://www.dekra.com/de/presserelease?p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_id=ArticleDisplay\\_WAR\\_ArticleDisplay&\\_ArticleDisplay\\_WAR\\_ArticleDisplay\\_articleID=24844066](http://www.dekra.com/de/presserelease?p_p_lifecycle=0&p_p_id=ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay&_ArticleDisplay_WAR_ArticleDisplay_articleID=24844066).

- [246] N. Gundersen, Intervievat, Dezvoltator de produse/Manager de marketing. [Interviu]. 30 noiembrie 2018.
- [247] A. Lebkowski, „Sistem de stingere a incendiilor pentru vehicule electrice”, Przegląd Electrotehnică , vol. 93, pp. ISSN 0033-2097, 2017.
- [248] P. Kritzer, H. Döring și B. Emermacher, „Improved Safety for Automotive Lithium Batteries: An innovative Approach to include an Emergency Cooling Element,” Advances in Chemical Engineering and Science, voi. 4, nr. 2, p. ID articol 44776, 2014.
- [249] Micromeritics Instrument Corporation, „Analysis of Separator and Binder Materials in Lithium Ion Batteries”, AZO Materials, 6 octombrie 2017. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/y7fy83vw>. [Accesat 17 decembrie 2018].
- [250] Wikipedia, „Energy density”, 19 februarie 2019. [Online]. Disponibil: <https://tinyurl.com/ytyos75j>. [Accesat 7 martie 2019].

# Anexa A, Documentația de la atelier

Documentația rezultată din atelierul de identificare a pericolelor este prezentată mai jos întocmit în două tabele, unul pentru prevenirea evadării termice sau incendiului și unul pentru recuperare dintr-o evadare termică sau incendiu.

## Prevenirea

Eveniment	de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranța existentă	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii
Scurt intern circuit		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Particulele din producție creează punte sau găuri în separator</li> <li>* Se acumulează dendritele și se găsește separatorul</li> <li>* Îmbătrânire</li> <li>* Vibrații</li> <li>* Deformare (vezi și coliziunea)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Revizuirea și controlul calității în procesul de fabricație</li> <li>* Securitate indirectă cu BMS (de ex. limitarea curentilor mari care pot cauza eventuale probleme din cauza îmbătrânirii și formării dendritelor)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Asigurarea calității pe tot parcursul procesului de producție</li> <li>* Asigurarea calității BMS (de ex. nu permiteți încălzirea sub o temperatură stabilită)</li> <li>* Teste realiste de vibrații (inclusiv celulele îmbătrânite)</li> <li>* Combinații testate de vibrații simultan cu ciclul de temperatură</li> <li>* Accelerometrul din baterie pentru a raporta vibrațiile/șocurile testate și cele reale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Eliberarea termică poate avea loc înainte ca separatorul să se defecteze (din cauza încălzirii excesive), adică înainte de crearea unui scurtcircuit intern</li> <li>* Problema cu Samsung (Galaxy Note 7) s-a datorat comprimării celulelor. Presiunea prea mare a dus la riscul de scurtcircuit intern (contact în jurul separatorului/separatorului deteriorat)</li> <li>* Consecințele scurtcircuitelor interne pot depinde de tipul de scurtcircuit - anod la catod, anod la colector de curent Al, catod la colector de curent Cu, sau între folia de Al și folia de Cu</li> </ul>
	Scurtcircuit extern al celulelor(ele) (în interiorul modului)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* S-a scurs ceva conductiv în modul, de exemplu lichid de răcire sau sare (coroziune)</li> <li>* Vibrații</li> <li>* Soc/impact (de la marginea drumului sau de la coliziune)</li> <li>* Deformare de exemplu accident</li> <li>* Deteriorări mecanice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* CID (dispozitiv de întrerupere a curentului) întrerupe circuitul atunci când presiunea crește în celulă</li> <li>* PTC (coeficient de temperatură pozitiv) oprește conducerea curentului la temperatură ridicată</li> <li>* ONU 38.3 Încercarea de vibrații a celulelor pentru transport</li> <li>* UNECE R100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Teste realiste de vibrații și combinând testele de vibrații cu cicluri de temperatură simulate</li> <li>* Accelerometrul din baterie pentru a raporta vibrațiile/șocurile testate și cele reale</li> <li>* Clasament IP (de ex. IP69 al pachetului) pentru a preveni, de exemplu, coroziunea</li> <li>* Locația și distanța terminalului celulei vizate (depinde și de configurație,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* De obicei, acumulatorul este etanș (clasă IP ridicată), dar modulele nu sunt etanșe</li> <li>* Tipul celulei și dimensiunea celulei afectează distanța dintre polii celulei, de exemplu, celula cu pungă are polii în aceeași direcție, astfel încât acestea pot fi expuse unui risc mai mare de scurtcircuitare între celule</li> <li>* Cerințele de transport se aplică numai bateriilor slăbite. Bateriile montate</li> </ul>

				de ex. serie/paralel) * Detectarea scurgerilor de lichid (lichid de răcire)	În vehicule nu sunt supuse acelorși cerințe
Scurt extern circuit de modul(e) (în interiorul pachetului)	* S-a scurs ceva conductiv în modul, de exemplu lichid de răcire sau sare (coroziune)  * Vibrații  * Soc/impact (de la marginea drumului sau de la coliziune) * Deformare, de exemplu în urma unui accident  * Deteriorări mecanice	* Cerințele de transport sunt adesea la nivel de modul  * Test de impact/deformare (de exemplu, strângere între plăci cu o forță specificată, cădere de la o înălțime specificată)  * BMS poate detecta, de exemplu, căderi de curent greșite, dar nu remediază scurtcircuitul la modul nivel * UNECE R100	* Teste realiste de vibrații și combină testele de vibrații cu cicluri de temperatură simulate  * Accelerometrul din baterie pentru a raporta vibrațiile/șocurile testate și cele reale * Clasament IP (de ex. IP69 al pachetului) pentru a preveni, de exemplu, coroziunea * Proiectare atentă (de asemenea, parte a siguranței existente) - De exemplu, distanța dintre module pentru a gestiona forțele la coliziune, distanța de la exteriorul pachetului pentru a face față de deformările, poziționarea terminalelor, elementelor de fixare, materialelor etc.  * Detectarea scurgerilor de lichid (lichid de răcire)	* Testele de vibrație folosesc doar anumite frecvențe și sunt de obicei efectuate la nivel de celule. Când celulele sunt montate într-un modul care este montat  Într-un pachet montat pe vehicul, pot exista auto-frecvențe critice * Multe teste se fac la nivel celular și uneori la nivel de modul, dar nu întotdeauna la nivel de pachet * R100 este o cerință pentru vehiculul complet, în principiu, testați la toate nivelurile, mai atent decât, de exemplu, UN 38.3 * UN 38.3 - Clientul poate încerca acest lucru și repetați până funcționează, dezvoltat pentru celule mici (dar se aplică tuturor bateriilor) * UN 38.3 testează doar celulele descărcate, adică fără conexiuni * Multe standarde permit aerisirea celulelor - bine dacă acest lucru este schimbat în viitor	
Scurtcircuit extern (în afara pachetului)	* Scurgere * Vibrații  * Soc/impact (de la marginea drumului sau de la coliziune) * Deformare de exemplu accident * Deteriorări mecanice	* Test de impact al vehiculului complet  * Test de impact/deformare (de exemplu, strângere între plăci cu o forță specificată, cădere de la o înălțime specificată) * Siguranță (poate fi mai multe pentru diferite ieșiri ale bateriei, în general protejează numai împotriva erorilor externe) * BMS poate rupe contactorii la nivelul pachetului	* Design atent (de asemenea, parte din siguranța existentă) * Locația bateriei pe vehicul, tipul de elemente de fixare * Zone de accident mai mari, unde bateriile nu trebuie plasate	* Vehiculele grele au cerințe mai mici, de exemplu în ceea ce privește accidentul zone * Răcire se poate face cu aer, lichid sau cu o placă de răcire/radiator de căldură sau buclă de răcire -> implică diferite riscuri și dacă se folosește lichid este important să se ia în considerare scurgerile * Astăzi se folosește în mare parte răcire lichidă în vehicule, dar există hibridi cu răcire cu aer	
Bateria se descarcă excesiv (problemă la încărcare)	* Sarcină mare și timp prea lung	* Prevenirea BMS, oprește vehiculul la timp * Prevenirea BMS, nu va permite încărcarea dacă tensiunea este prea scăzută			

	Bateria devine supraîncălzită	* Frânează sau rulează pentru o lungă perioadă de timp cu o baterie complet încălzită	* Prevenirea BMS, nu permite încălzirea bateriei peste 100%		
	Foc în afara baterie	* Conexiune greșită * Scurtcircuit extern * Scurgeri de combustibil (în interiorul compartiment pentru baterie) * Foc la piscină sub baterie * Defecțiunea componentelor lângă baterie	* Poziția bateriei (înaltă -> foarte fierbinte de la foc, scăzut -> risc mai mic de încălzire critică a bateriei) * Siguranța protejează în caz de scurtcircuit * BMS indică erori de izolare și va deschide contactoarele	* Locația bateriei (vezi siguranța existentă) * Compartiment separat/protejat pentru baterie * Folosiți materiale rezistente la foc	* Investigațiile și testele de incendiu arată că rezervorul/bateriile cu combustibil scăzut nu sunt întotdeauna implicate în incendiul unui vehicul
	BMS sau alt sistem de siguranță nu mai funcționează	* Foc în afara bateriei (de exemplu)	* Comenzile și electronicele sunt răcite de sistemul de răcire * Contactorii de pe baterie se deschid în caz de defecțiune a BMS		
Eveniment	de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranța existentă	Măsurile de siguranță potențiale	Comentarii
Scurt intern circuit Scurtcircuit extern (celula/modul/pachet)		Vezi mai sus, dar nu vibrații	* Vezi mai sus, dar nu vibrații * Bateria este deja oprită când vehiculul este oprit (contactorii deschisi)	Vezi mai sus, dar nu vibrații	* Unele unități de control sunt active (cu alimentare) chiar și atunci când vehiculul este oprit (unele părți ale BMS) * Unitățile de control sunt testate pentru EMC -> riscul foarte mic ca acestea să fie eliminate prin interferență * Activitatea chimică (de exemplu, efectele de îmbătrânire) este întotdeauna prezentă, dar, de exemplu, dendritele se formează numai la încălzire/descărcare
	Bateria se descarcă excesiv (problemă la încălzire)	* Parcat mult timp * Risc mai mare decât când condus deoarece BMS nu monitorizează * Echilibrarea negativă descarcă celelalte celule dacă o celulă are tensiune scăzută	* BMS previne încălzirea bateriei descărcate, dar dacă 12/24 Sistemul V moare, BMS nu funcționează  * În general, încălzirea trebuie să contacteze BMS pentru a începe încălzirea		* Condiții critice pot apărea în timpul conducerii, dar cu efect întârziat, astfel încât evadarea termică are loc atunci când vehiculele sunt parcate/oprite
	Foc în afara baterie	Vezi deasupra	Vezi deasupra	Vezi deasupra	

Eveniment	de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranță existentă	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii
mesaj lent	Supraîncălzire -> Încalzire interioară (Cu SOC ridicat la fuga termică, scenariul devine mai rău/ mai rapid)	Supraîncălzire (de exemplu, încălzire prea lungă cu curent/tensiune mare)	* BMS nu permite supraîncălzirea * Protecție mecanică în celulă, de exemplu CID, PTC * Încălzirea torului necesită comunicare între BMS și sistemul de încălzire * Atât BMS, cât și încălzirea torului monitorizează curentul și tensiunea (dar de obicei nu fiecare celulă)	Asigurarea calității BMS (cerințe, standarde etc.)	* BMS este central -> în general testat a mult (dar nu este mai bun decât programatorul) - Multe BMS-uri diferite care vor funcționa cu încălzirea toare similare * Multe evenimente paralele de defecțiune sunt necesare pentru ca supraîncălzirea să aibă loc -> puțin * probabil De exemplu, Tesla nu monitorizează celulele individuale - folosește echilibrarea specială /unica a celulelor * Erorile la încălzire pot fi cauzate de, de exemplu erori interne care ating un nivel critic în timpul încălzirii. Bateria este foarte solicitată în timpul încălzirii (în special încălzirea rapidă), ca și în cazul utilizării prelungite la putere mare
	Încălzirea unui acumulator complet descărcat -> Încalzire interioară	De exemplu, încălzirea vehiculelor care au fost oprite de mult timp	* BMS previne încălzirea bateriei complet descărcate, dar dacă Sistemul 12/24 V moare, BMS nu funcționează * În general, încălzirea torului trebuie să contacteze BMS pentru a începe încălzirea		
	Dezechilibrat încălzirea	Încălzirea unei baterii deteriorate (care are piese slăbite sau deteriorare mecanică)	* Prevenirea BMS, va fi descoperită -> Înlocuiți bateria		
	Încălzire rapidă -> încălzire, uzură, îmbătrânire	Încălzire rapidă prea des sau cu putere prea mare	* Prevenirea BMS (de exemplu limitează efectul de încălzire în funcție de nivelul SOC) * Stația de încălzire monitorizează și comunică cu BMS * Pantograf - Nu permite încălzirea fără un contact bun (de exemplu măsoară rezistența) * BMS comunică cu stația de încălzire -> de exemplu ambele măsoară și nu permit valori de măsurare conflictuale * Releu extern atașat vehiculului, adică încălzirea		* Unele mașini nu pot fi încălzite rapid de mai mult de două ori la rând, apoi trebuie reîncălzite lent -> de exemplu, conducerea constantă cu mai multe încălziri rapide poate acumula căldură critică în timp
	Curent/ putere excesivă -> generează căldură, uzură / îmbătrânire care afectează durata de viață	Senzor/măsurare eroare (erorile mici de obicei nu au un risc mare, dar pot afecta durata de viață)			

			curentul nu ajunge la baterie până când BMS îl aprobă		
	Foc în afara baterie	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Încărcând acasă, focul începe în sistemul electric al casei sau în racord</li> <li>* Contact slab la interfața de încărcare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Siguranța (utilizarea extensiei lungi cablul poate face ca siguranța să nu se activeze)</li> <li>* Putere și rezistență</li> <li>* Monitorizare pentru a detecta slăbiciunile la legătură</li> </ul>	Necesită stație de încărcare acasă (instalator autorizat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sistemele electrice obișnuite de acasă nu sunt concepute pentru a fi surse de energie mare pe termen lung (de exemplu, încărcarea multor ore)</li> </ul>
Eveniment	de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranța existentă	Măsurile de siguranță potențiale	Comentarii
Comentarii	Soc/impact care deteriorează bateria -> ex. scurtcircuit	Ciocnire minoră	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Amplasarea bateriei</li> <li>* Construcția bateriei</li> <li>* Teste de impact</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Posibilitatea de a descărca bateria cu sarcină externă</li> <li>* Monitorizarea bateriei după accident (de exemplu, cel puțin în 24 de ore)</li> <li>* Instrucțiuni clare când o baterie poate fi reutilizată și când ar trebui să fie casat</li> <li>* Cerințe mai bune pentru amplasarea în siguranță a bateriilor pe vehiculele grele</li> <li>* Detectarea deteriorării (de exemplu, contact deteriorat sau scurgere de lichid de răcire)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Testele de impact se fac de obicei din față și din lateral, dar nu din spate</li> <li>* Testele de impact se concentrează pe siguranța personală și nu pe starea bateriei</li> <li>* Vehiculele grele au cerințe mai mici (nu fac parte din R100)</li> <li>* Producătorii sunt, în general, precauți și, dacă există riscul de fisurare sau deteriorare a acumulatorului, majoritatea producătorilor aleg să le arunce la casa</li> </ul>
	Deformare sau penetrare	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ciocnire</li> <li>* Ceva pe drum</li> <li>* Păștrunde în baterie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Amplasarea bateriei</li> <li>* Construcția bateriei</li> <li>* Teste de impact</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Posibilitatea de descărcare a bateriei cu sarcină externă (utilizarea băii de sare de ex. la dezmembrarea vehiculului pentru descărcare)</li> <li>* Monitorizarea bateriei după accident (de exemplu, cel puțin în 24 de ore)</li> <li>* Cerințe mai bune pentru amplasarea în siguranță a bateriilor pe vehiculele grele</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* În general, nu există îndrumări pentru manipularea vehiculelor electrice după un accident. Au fost găsite unele documente folosite în Țările de Jos</li> <li>* Este imposibil să folosiți băi de sare pentru descărcarea bateriilor la vehiculele grele, cu excepția cazului în care bateriile pot fi demontate din vehicul</li> </ul>
	Scurtcircuite	Scurgeri de lichid de răcire		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Cerințe care să nu aibă scurgeri de răcire lichidul sau, de exemplu, electrolitul este permis în timpul testelor de impact</li> <li>* Detectarea scurgerilor de lichid de răcire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Astăzi, scurgerile de lichid de răcire sunt permise în timpul testelor de impact</li> </ul>



	Foc în afara bateriei	Scurgeri de combustibil			
Eveniment de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranță existentă	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii	
Incendiu	* Incalzi * Scurt circuit * Îmbătrânire	Căldură sau frig afară specificățiile bateriei în combinație cu conducerea sau încălzirea	* BMS nu permite încălzirea când este prea rece (sau limitează încălzirea la temperaturi scăzute) * Limitați conducerea până când bateria este suficient de caldă * BMS se răcește când este prea cald * Majoritatea sistemelor de răcire sunt active chiar dacă vehiculul este oprit		
	* Incalzi * Scurt circuit * Îmbătrânire	Căldura locală, de exemplu radiația solară, radiația de asfalt	Cel puțin în un senzor de temperatură pe modul, de obicei plasat în cea mai critică poziție	Mai mulți senzori (un echilibru între cost/greutate/spațiu și siguranță)	
Eveniment de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranță existentă	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii	
Atelieră	Foc sau termic fugi	* Vehicul avariata * Scurgere	Rutine și instrucțiuni	* Comunicați cu bateria, citiți codurile de eroare (transport, manipulare etc. în funcție de starea bateriei) * Conectați bateria la o pirotehnică senzor (de exemplu, dacă airbag-ul este eliberat, atunci bateria va fi deconectată sau are propria ei siguranță pirotehnică în baterie care se rupe la o anumită forță g) * Metoda de retragere a energiei din baterie (scăderea SOC), de exemplu, sarcină externă, apă sărată sau zdrobire	* Atelierele nu pot comunica întotdeauna cu toate bateriile, poate fi necesar un software special pentru un anumit producător - important de depășit * Informațiile și instrucțiunile sunt, în principiu, întotdeauna specifice producătorului * Anumite erori mecanice nu pot fi citite * Dacă codurile de eroare de citire nu pot fi citite din cauza deteriorării BMS-ului, este bine să presupunem că ar putea exista o deteriorare serioasă a bateriei

	* Foc sau termic fugi * Soc electric	Manipulare necorespunzătoare în timpul reparației sau demontării	* Instrumente * Rutine și instrucțiuni	* Comunicați cu bateria, citiți codurile de eroare (manevrare etc. în funcție de starea bateriei) * Rutine în funcție de curent nivelul de încărcare (SOC) * Asigurați-vă sistemul nealimentat, mă surați întotdeauna (contactoarele pot fi sudate din cauza scurtcircuitului) * Metoda de retragere a energiei din baterie (scăderea SOC), de exemplu, sarcină externă, apă sărată sau zdrobire	* Dacă comunicarea cu bateria nu funcționează, bateria trebuie deconectată mecanic (contactoarele pot fi sudate)  * Nivelurile mai ridicate de SOC implică întotdeauna riscuri mai mari
Eveniment de stat (efect posibil)	Cauza(e)	Siguranță existentă	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii	
salmon baterie	Foc sau termic fugi	Vezi deasupra		* Rutine, instrucțiuni și ridicarea nivelului de cunoștințe pentru companiile de tractari * În funcție de deteriorare, evitați tractarea prin tuneluri, pe feriboturi sau alte rute critice	* La scurt timp după un accident/incident, riscul ca ceva să se întâmple în timpul remorcării/salvării poate fi mai mare cu vehiculele electrice decât cu alte vehicule
	Vehiculul pornește a conduce		Rutine și instrucțiuni		
	Jumpstart	Bateria de 12/24 V este descărcată -> BMS-ul nu funcționează -> Vehiculul nu se poate porni		Nu porniți sau încărcăți un vehicul electric în această situație	* Dacă bateria de 12/24 V este descărcată, BMS-ul nu funcționează și nu se poate ști ce este în neregulă -> trebuie investigat  (De exemplu, care este starea bateriei de tractare? Sau bateria de 12/24 V se va descărca din nou în curând?)

## Recuperare

Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsurile de siguranță și potențiale Comentarii	
Energii	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Dezvoltare scăzută de căldură</li> <li>* Scăzut generarea de combustibil și toxic gazele</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Chimia bateriei</li> <li>* Tipul de electrolit (și cantitatea de fluor)</li> <li>* Tipul celulei - husă etc.</li> <li>* SOC</li> <li>* Inițială cauza (condiția de abuz)</li> </ul>	Calitate înaltă a celulelor	Toate	Cantitatea de fluor	Minimizarea electrolitului pe bază de fluor (LiPF6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Cercetări intensive sunt în curs de desfășurare cu mulți electroliți alternativi diferiți, chimia bateriei etc.</li> </ul>
				Toate	Combustibil electrolit	Cercetare în curs	<ul style="list-style-type: none"> <li>* În timpul depozitării, se utilizează un SOC scăzut (~ 35%). (Multe baterii/surse de energie ridicată sunt stocate una peste alta)</li> </ul>
				Toate	SOC mai mult de 50 %	Limita nivelul SOC (cerințele sunt pentru transportul bateriilor slăbite, dar nu și pentru transportul vehiculelor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Depozitarea îndelungată cu încălzire scăzută poate cauza Probleme. De exemplu, transportul lung necesită o taxă bună pentru a se asigura că SOC este OK la livrare</li> </ul>
							<ul style="list-style-type: none"> <li>* Cerințele de transport pentru baterii - 30 % SOC (aer) înseamnă risc scăzut de răspândire în caz de defecțiune (crează puțină căldură)</li> <li>Nu există diferențe de cerințe în ceea ce privește bateriile noi/vechi</li> <li>* Runaway termic la încălzire -&gt; risc mai mare de SOC ridicat</li> </ul>
Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsurile de siguranță și potențiale Comentarii	
Aluob luboM	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Nu se răspândește la celulele din apropiere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tipul de celulă (cilindric, prismatic, pungă)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Supapă de siguranță care se deschide la presiune ridicată</li> </ul>	Toate	Direcția supapei de siguranță /ventilație (diferențe între diferitele tipuri de celule)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Construcția celulelor - evitați ventilația îndreptată împotriva celulelor adiacente</li> <li>* Celulă pungă - conștientizarea cel mai slab punct</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* O celulă cu pungă poate ventila în majoritatea direcțiilor, dar de obicei este o sudură slabă în partea de sus sau de jos</li> <li>* Când o celulă ajunge la fuga termică, există riscul ca alte celule să fie aproape la limita lor -&gt; progres rapid (în funcție de tipul evenimentului de defecțiune)</li> </ul>

	* Fără celulă explozie	* Perete celular (transport de caldura) * SOC  * Interacțiune câș între celule  (distanță , material, contact zonă )	* Punct slab pentru celula de pungă (linie de sudare)	Toate	* Propagare de la celulă la celulă * Densitate mare de celule	* Distanță dintre celule (decalaj de aer sau material termoizolant) * Includeți cerințele de propagare în standarde * Răcirea celulelor	* Tipul de celulă afectează zona de contact dintre celule (comparați cilindric și prismatic) * Producătorii de celule specifică cum trebuie instalate celulele, de exemplu, distanță recomandată  * Nu există cerințe de propagare în UNECE R100
			* Linii de răcire sau plăci de răcire	Toate	Răcire eficientă (și pentru evenimentul de defectiune/ depășirea specificațiilor)	* Răcirea între celule * Fluidul dielectric, de exemplu Novec este circulat în modul * Distanță dintre celule	
			* Distanță între celule  * Paravane	Toate	Fără stingere sau stingere limitată la nivel de celule	* Construcție cu racord la baterie (de exemplu, pentru serviciul de pompieri - „porturi de incendiu”) * Ventilația gazelor creează o cale de intrare pentru mediile de stingere	* Renault Zoe are conexiune pentru incendiu service la baterie de sub bancheta din spate * Producătorii de vehicule sunt, în general, precauți cu privire la capacitatea de a umple bateria cu mijloace de stingere
				Toate	Dacă este o conexiune: faceți o conexiune sigură pentru stingere	* Îmbrăcămintea de protecție chimică (greu de lucrat) * Orientări privind concentrațiile de HF (și alte gaze) care pot fi de așteptat și când îmbrăcămintea nu protejează, etc. (care sunt diferențele dintre un electric vehicul și alte vehicule?) * Profități de direcția vântului	* Orientările pentru serviciile de urgență spun că scufundarea cu fum în clădiri ar trebui evitată dacă nu este pentru a salva vieți și există baterii în clădire  * Concentrați-vă pe stingerea incendiilor a vehiculului înainte de a conecta la acumulatorul * Flăcări de jet de la baterie pot apărea în direcții neasteptate
			Toate	Dacă există o conexiune: deteriorarea bateriei, utilizare necorespunzătoare,	* Conexiunea poate fi deschisă prin ventilație (presiune mare a gazului în ambalaj, ar trebui utilizat numai când bateria	* Alte eforturi de stingere a incendiilor pot cauza, de asemenea, probleme (mai ales dacă, de exemplu, se folosesc duze de perforare)	

					scurtcircuit din cauza mijloace de stingere	nu vor fi refolosite) * Orientări clare	
				Toate	Dacă există intern răcire/ stingere de urgență : * Timpul pentru activare * Dispersia eficientă a lichidului de stingere		* Există spațiu liber limitat într-un pachet de baterii (poate fi de ~ 5L, dar variază) și lichidul poate fi dificil de dispersat - de obicei modulul nu este sigilat, dar dispersia lichidului în celule depinde în mare măsură de design
				Toate	Detectare	* Comunicarea între BMS și alte sisteme de siguranță * Senzori de gaz * Sistem de detectare separat conectat la stingere/răcire (dacă BMS-ul nu funcționează, de exemplu după o coliziune)	* Răcire/stingere de urgență internă -> nu este sigur că ajută, dar poate întârzia procesul
Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsurile de siguranță potențiale	Comentarii
1	* Nu se răspândește focul de la modul la modul  * Nu explozie modul/pachet (creșterea presiunii)	* Căi de interacțiune între module (distanță, material, a lua legătura zonă)  * SOC  * Ventilatie	* Linii de răcire sau plăci de răcire  * Distanță între celule  * Paravane  * Ventilatie pe parcursul presiune	Toate	Răcire, suprimare, detectare (vezi mai sus)	Vezi deasupra	
				Toate	Propagare între module (densitate mare)	* Posibilitati mai mari cu protecție la propagare (decat pentru celule) - spațiu mai mare, acoperire modul, selecție material, construcție * Verificată ventilația cu deschideri sau puncte slabe * Blocați flăcări/sudură cu jet	* Densitatea și distanța dintre celule/module sunt aceleași la vehiculele grele ca și la mașinile de pasageri  * Vehiculele grele pot avea mai multe pachete de baterii răspândite în diferite poziții  * Soluție cu părțile ale bateriei pe

			acumulare (de exemplu, dop, supapă sau filtru)			bucle cu material rezistent la căldură	remorca este disponibilă -> permite mai mult spațiu și distanță de siguranță mai mare/locușie sigură (alternativ capacitate mai mare)
				Toate	Ventilație cu gaz (directie și capacitate)	* Conductă de ventilație sau orificiu spre exteriorul vehiculului - control de direcție * În plus față de supapă / conductă de siguranță; asigurați punctele slabe în punctele adecvate ale modulului/pachetului pentru scenarii rapide	
Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii
1	* Fără foc răspândindu-se în afara compartimentului bateriei sau  * Nu explozie  * Controlat emisii de combustibili și gazele toxice	Amplasarea bateriei și a structurilor din apropiere, alte spații sau componente (de ex. rezervor de combustibil)	Ventilație controlată a gaze departe de vehicul, de exemplu conductă din compartimentul bateriei	Toate	* Gaze inflamabile în spații închise (pericol de explozie) * Gaze toxice în zonele personale	* Ventilație controlată a gazele * Conducte de ventilație spre exteriorul vehiculului * Aprinderea gazelor, de exemplu aprinderea prin scânteie în cazul în care gazele sunt evacuate (focul este mai bun decât pericolul de explozie)	Stingerea flăcărilor poate duce la acumularea de gaze combustibile care dau naștere la explozie la reaprindere
				Toate	* Extinderea focului * Radiația de căldură	* Răciți acumulatorul din exterior * Aripioare de răcire/radiator pentru a obține un transfer bun de căldură în interior	
				Toate	* Direcția flăcărilor * Flăcările cu jet * Timpul de la celule/module pot arde noi găuri prin pachet	* Depinde de configurația celulei/modulei (vezi mai sus) * Direcțiile așteptate ar trebui să evite spațiul personal și de exemplu rezervorul de combustibil/conductele de combustibil * Amplasarea atentă a bateriei și firewall-uri dacă este necesar, de exemplu în spațiile personale	

Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsurile de siguranță potențiale	Comentarii
	<p>* Incendiu vehicular trebuie să aibă un efect limitat asupra mediului înconjurător</p> <p>* Stingerea incendiilor</p>	<p>* Localizare</p> <p>* Înconjurător mediu înconjurător</p> <p>* În timpul coliziunii și remorcării (de exemplu tunel, pod, feribot)</p> <p>* Spații închise (de exemplu garaj, clădire, atelier)</p> <p>* Transport rutier vehicule de ex. feribotul și trenul</p> <p>* Materiale inflamabile ambientale, de exemplu industriale zone</p>		<p>*Coliziune</p> <p>*Atelier</p> <p>*Salvare/remorcare</p>	<p>Incendiu se răspândește de la vehiculul prăbușit</p>	<p>* Distanță de siguranță (cel puțin în 6 m), distanță mai mare față de clădiri etc.</p> <p>* Locație separată cu risc scăzut de propagare a incendiului</p> <p>* Locație protejată, de exemplu container fără acoperiș, perete de beton sau altă barieră rezistentă la foc</p> <p>* Manipularea bateriilor/vehiculele deteriorate în aer liber (dar temperatura și umiditatea pot cauza probleme)</p> <p>Sau puneți vehiculul înapoi în aer liber când nu este manipulat (de exemplu, peste noapte)</p> <p>* Important cu analiza riscului - cât de gravă este deteriorarea?, care este starea bateriilor? etc.</p> <p>* Metodă de extragere a energiei din baterie, cum ar fi sarcina externă, apă sărată sau zdrobire</p>	<p>* Un container deschis cu material inflamabil are un spațiu de siguranță recomandat de 6 m</p> <p>* Dulapurile cu bunuri inflamabile (în aer liber) au o distanță de siguranță recomandată de 15 m, de exemplu Tesla recomandă 15 m dacă bateria este deteriorată. O recomandare din Țările de Jos spune 10 m timp de 48 de ore</p> <p>* Dacă autovehiculul arde, în general nu se transporta la atelier ci direct la depozit</p> <p>* Ce acțiuni ar trebui întreprinse înainte de a începe reparația/demontarea vehiculului?</p>
				Atelier	<p>Atelierul este subteran sau face parte dintr-o clădire mai mare</p>	<p>Vezi deasupra</p>	
				<p>*Coliziune</p> <p>*Atelier</p> <p>*Salvare/remorcare</p>	<p>Risc mai mare imediat și la scurt timp după coliziune</p>	<p>* Aspect de timp - manipulare întârziată</p> <p>* În funcție de locație, întârzieți salvarea sau manipularea la atelier/demontare</p>	<p>* Există cel puțin în un caz când a durat 3 săptămâni înainte de aprindere, dar de obicei se întâmplă în 24 de ore</p>

Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii
				Atelier	Material inflamabil la atelier/demontare	Distanța de siguranță (vezi mai sus)	
	* Stingerea incendiilor (de exemplu, scurgeri de combustibil, incendiu la timonerie, componentă electrică etc.) * Nu implica pe baterie în foc			Toate	Pentru a ști unde sunt amplasate bateria/bateriile (pentru serviciile de urgență)		* Cel mai mare accent pe stingerea incendiului - când bateria este implicată, incendiul este de obicei deja mare (într-un regul vehicul)
Sistem	Funcții dorite	Condiții care afectează	Siguranța existentă	Stat	Provocări	Măsuri de siguranță potențiale	Comentarii
	* Raspandirea limitată a focului în interiorul vehiculului și în mediul			Toate	* Evaluarea bateriei după un incendiu minor în vehicul Bateria poate fi reutilizată ?	* SOH - Starea de sănătate a baterie (se concentrează pe performanță, nu pe riscul de funcționare defectuoasă) * Analiza SOH (de exemplu, tendințele de eşec/orice schimbare majoră) poate indica un risc crescut - suport de decizie pentru baterie reutilizare * Modele predictive îmbunătățite (inclusiv AI) * Datele de temperatură pot fi salvate și impactul temperaturii poate fi verificat retroactiv (BMS)	* Degradarea bateriei nu este liniară, poate merge rapid la sfârșit  * Atelierul face evaluare, dar companiile de asigurări decid dacă vehiculul urmează să fie reparat sau casat



## Anexa B, Participanții Atelierului

Participanții la atelierul de identificare a pericolelor sunt prezentați mai jos.

Participanții	Organizare	Profesie/Competențe și Rol
Ola Willstrand	CRE TERE	Expert în siguranța la incendiu și moderator
Max Rosengren	CRE TERE	Expert senior în siguranță electrică și vehicule grele
Roeland Bisschop	CRE TERE	Expert în securitatea la incendiu a vehiculelor și scrib
Petra Andersson	CRE TERE	Cercetare senior și expert în baterii li-ion
Gabriel Oltean	CV Scania	Inginer de dezvoltare, Testarea celulelor bateriei
Stefan Fasth	Autobuze Volvo	Coordonator electromobilitate, Productie
Bo Ericsson	SFVF (Asociația suedeză a atelierelor de vehicule)	CEO
Anders Gulliksson	Protecția împotriva incendiilor vehiculelor Dafo	Director de calitate senior (sisteme de stingere a incendiilor)
Gustav Stigsohn	Fogmaker International	Manager de produs (sisteme de stingere a incendiilor)
Conny Lindstedt	Fogmaker International	Inginer de proiect (sisteme de stingere a incendiilor)

Prin programele noastre internaționale de colaborare cu mediul academic, industria și sectorul public, asigurăm competitivitatea comunității de afaceri suedeze la nivel internațional și contribuim la o societate durabilă. Cei 2.200 de angajați ai noștri susțin și promovează tot felul de procese inovatoare, iar cele aproximativ 100 de baze de testare și facilități demonstrative sunt esențiale în dezvoltarea produselor, tehnologiilor și serviciilor pentru viitor. Institutele de Cercetare RISE din Suedia sunt deținute integral de statul suedez.

În cooperare internațională cu mediul academic, afaceri și sectorul public, contribuim la o viață de afaceri competitivă și la o societate durabilă. Cei 2.200 de angajați ai RISE conduc și susțin în toate tipurile de procese de inovare. Oferim aproximativ 100 de medii de testare și demonstrații pentru produse, tehnologii și servicii de viitor. Institutele de Cercetare RISE din Suedia sunt deținute de statul suedez.



Institutele de Cercetare RISE din Suedia AB  
Box 857, SE-501 15 BORÅS, Suedia  
Telefon: +46 10 516 50 00  
E-mail: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Cercetarea focului  
Raport RISE 2019:50  
ISBN: 978-91-88907-78-3