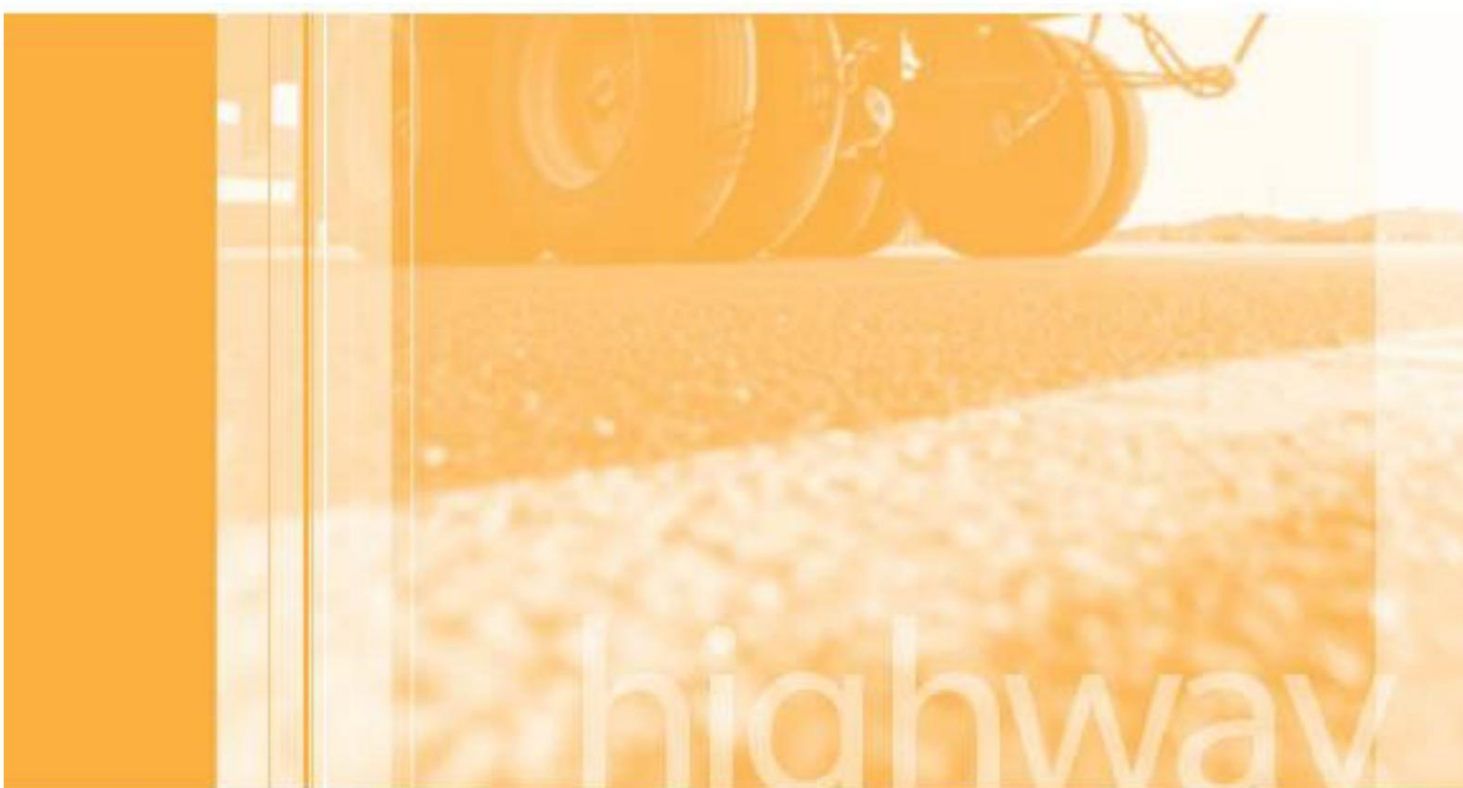


# Riscuri de siguranță pentru personalul de intervenție de la litiu-ion Incendiile bateriei la vehiculele electrice



Raport de siguranță

NTSB/SR-20/01  
PB2020-101011



National  
Transport  
Panou de siguranță

NTSB/SR-20/01

PB2020-101011

Notația 59989

Adoptat la 13 noiembrie 2020

## Raport de siguranță

---

Riscuri de siguranță pentru personalul de intervenție de la litiu-ion  
Incendiile bateriei la vehiculele electrice



National  
Transport  
Panou de siguranță

490 L'Enfant Plaza, SW  
Washington, DC 20594

Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor. 2020. Riscuri de siguranță pentru personalul de intervenție de la incendiile bateriilor cu ioni de litiu la vehiculele electrice. Raport de siguranță NTSB/SR-20/01. Washington DC.

Rezumat: Ca parte a unei investigații privind riscurile de siguranță cu care se confruntă cei care au intervenit în situații de urgență atunci când au de-a face cu bateriile litiu-ion de înaltă tensiune care alimentează vehiculele electrice, Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor (NTSB) a studiat trei accidente de vehicule electrice care au dus la incendii (în Lake Forest) și Mountain View, California și Fort Lauderdale, Florida) și un incendiu fără accident care a implicat un vehicul electric (în West Hollywood, California). Accidentele au provocat pagube extinse care s-au extins în zona protejată a carcasei bateriilor de înaltă tensiune ale mașinilor, rupând carcasa și deteriorând modulele bateriei și celulele individuale. Incendiul non-crash a fost cauzat de o defecțiune internă a bateriei. În fiecare caz, agenții de intervenție în caz de urgență s-au confruntat cu riscuri de siguranță legate de șoc electric, evadare termică, aprindere și reaprindere a bateriei și energie blocată. Investigația a examinat, de asemenea, standardele naționale și internaționale stabilite pentru a maximiza siguranța vehiculelor electrice și ghidurile de răspuns în caz de urgență produse de producătorii de vehicule. NTSB a identificat două probleme principale de siguranță: (1) inadecvarea ghidurilor de răspuns în caz de urgență ale producătorilor de vehicule pentru a minimiza riscurile pentru primul și cel de-al doilea răspuns (pompieri și operatori de remorcare) prezentate de incendiile bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice și (2) lacune în standardele de siguranță și cercetări legate de bateriile litiu-ion de înaltă tensiune implicate în accidente de mare viteză și gravitate. Pe baza constatărilor sale, NTSB face recomandări de siguranță către Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi, producătorilor de vehicule electrice echipate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune și șase organizații profesionale care reprezintă sau operează programe de instruire pentru primul și al doilea răspuns. .

NTSB este o agenție federală independentă dedicată promovării siguranței aviației, căilor ferate, autostrăzilor, maritime și conductelor. Înființată în 1967, agenția este mandatată de Congres prin Actul Independent Safety Board din 1974 să investigheze accidentele de transport, să determine cauzele probabile ale accidentelor, să emită recomandări de siguranță, să studieze problemele legate de siguranța transportului și să evalueze eficiența în siguranță a agențiilor guvernamentale implicate în transport. NTSB își face publice acțiunile și deciziile prin rapoarte de accident, studii de siguranță, rapoarte de investigații speciale, recomandări de siguranță și analize statistice.

NTSB nu atribuie vina sau vina pentru un accident sau incident; mai degrabă, așa cum se specifică în regulamentul NTSB, „investigațiile de accidente/incidente sunt proceduri de stabilire a faptelor fără probleme formale și fără părți adverse . . . și nu sunt efectuate în scopul de a determina drepturile sau obligațiile oricărei persoane” (Titlul 49 Codul Reglementărilor Federale secțiunea 831.4). Atribuirea culpei sau a răspunderii legale nu este relevantă pentru misiunea statutară a NTSB de a îmbunătăți siguranța transportului prin investigarea accidentelor și incidentelor și emiterea de recomandări de siguranță. În plus, limbajul legal interzice admiterea în probe sau utilizarea oricărei părți a unui raport NTSB legat de un accident într-o acțiune civilă pentru daune rezultate dintr-o problemă menționată în raport (Titlul 49 Codul Statelor Unite ale Americii

secțiunea 1154 litera (b)).

Pentru informații de fundal mai detaliate despre acest raport, vizitați [www.nts.gov](http://www.nts.gov) și căutați ID-ul accidentului NTSB HWY19SP002. Publicațiile recente sunt disponibile în întregime pe [site-ul NTSB](http://site-ul NTSB). Alte informații despre publicațiile disponibile pot fi obținute de pe site-ul web sau contactând:

Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor  
Divizia de management al înregistrărilor, CIO-40  
490 L'Enfant Plaza, SW  
Washington, DC 20594  
(800) 877-6799 sau (202) 314-6551

Copii ale publicațiilor NTSB pot fi descărcate gratuit din Biblioteca Națională de Rapoarte Tehnice a Serviciului Național de Informații Tehnice la <https://ntrl.nts.gov/NTRL/>. Acest produs poate fi accesat folosind numărul de produs PB2020-101011. Pentru asistență suplimentară, contactați:

Serviciul Național de Informații Tehnice ([www.ntis.gov/](http://www.ntis.gov/))  
5301 Shawnee Rd.  
Alexandria, VA 22312 (800)  
553-6847 or (703) 605-6000

# Cuprins

Figuri și tabele .....	v
Acronime si abrevieri .....	vii
Rezumat.....	viii
1. Introducere.....	1 1.1
Prezentare generală.....	1 1.2
Domeniul de aplicare al raportului .....	2
1.3 Baterii litiu-ion de înaltă tensiune.....	4 1.3.1
Proprietăți.....	4 1.3 .2
Riscuri de siguranță.....	6
2 Investigațiile NTSB cu privire la incendiile bateriilor de vehicule electrice .....	9
2.1 Lake Forest, California, august 2017.....	9 2.1.1
Răspunsul inițial .....	10 2.1.2
Răspuns secundar .....	11 2.1.3
Inspecție după accident .....	12
2.2 Mountain View, California, martie 2018.....	14 2.2.1
Răspunsul inițial .....	15 2.2.2
Răspuns secundar .....	16 2.2.3
Inspecție după accident .....	18
2.3 Fort Lauderdale, Florida, mai 2018.....	20 2.3.1
Răspuns inițial .....	20 2.3.2
Răspuns secundar .....	21 2.3.3
Inspecție după accident .....	22
2.4 West Hollywood, California, iunie 2018.....	24 2.4.1
Răspuns inițial .....	25 2.4.2
Răspuns secundar ..	26 2.4.3
Inspecție post-incident.....	26
3 Alte incendii de baterii de înaltă tensiune.....	28 3.1
Chevrolet Volt Incendiu după testul NCAP .....	28 3.2
Exemple internaționale.....	29 3.2.1
Norvegia, martie 2017 . .....	29 3.2.2
Belgia, mai 2017 .....	31 3.2.3
Țările de Jos, martie 2019 .....	32
4 Acțiuni de reglementare și din industrie.....	34 4.1
Standardul federal de siguranță al vehiculelor cu motor din SUA 305 .....	34

4.2 Reglementare tehnică globală pentru vehicule electrice .....	35
Standarde internaționale SAE .....	36
4.3.1 Ghiduri de intervenție în situații de urgență .....	37
4.3.2 Dezactivarea sistemelor de înaltă tensiune .....	38
4.3.3 Inspectia vehiculului după incident .....	39
4.3.4 Comunicarea pericolelor .....	40
4.4 Standardul ISO 17840.....	40
4.5 Îndrumări din industrie pentru personalul de intervenție în situații de urgență....	43
4.5.1 Ghid de teren de urgență NFPA.....	43
4.5.2 Ghidurile producătorilor de răspuns în situații de urgență....	45
5 Analiză .....	52
5.1 Îndrumări pentru personalul de intervenție în situații de urgență.....	52
5.1.1 Deconectare de înaltă tensiune .....	53
5.1.2 Suprimarea incendiilor .....	54
5.1.3 Evadarea termică și reaprinderea bateriei .....	55
5.1.4 Energie eșuată .....	56
5.1.5 Probleme de format .....	58
5.1.6 Recomandări pentru îmbunătățirea îndrumării și diseminarea informațiilor.....	59
5.2 Standarde și cercetare .....	61
6 Constatări.....	63
7 Recomandări.....	64
Anexă: Incendiile bateriilor cu ioni de litiu în aeronave.....	66
Referințe.....	68

## Figuri și tabele

Figura 1. Ilustrație a modelului Tesla S care arată locația acumulatorului și detaliile modulului și celulei bateriei, cu comparație cu dimensiunea bateriei AA standard .....	6
Figura 2. Vedere postcrash a garajului, care arată pompierul direcționând apa spre SUV-ul care arde și fum care iese de pe acoperișul garajului.....	10
Figura 3. Imagine statică din videoclip realizată de ofițerul departamentului șerifului care arată SUV-ul reaprins pe platforma camionului de remorcare.....	12
Figura 4. Vedere de dedesubt și spre spate a părții inferioare a SUV-ului care arată colțul din față drept rupt al carcasei bateriei și evidențiază celulele individuale ale bateriei descoperite de ruptură.....	13
Figura 5. Aranjarea modulelor bateriei cu litiu-ion ale SUV-ului.....	14
Figura 6. SUV-ul care arde pe US-101 în direcția nordului după prăbușire .....	15
Figura 7. Imagine din videoclipul de securitate din curtea securizată care arată un pompier turnând apă pe SUV.....	17
Figura 8. SUV avariata cu cabluri portocalii de înaltă tensiune expuse în fața scaunului din față .....	19
Figura 9. Mașina care arde lângă calea de acces rezidențială după accident .....	20
Figura 10. Mașină parcată la curtea de remorcare care prezintă pagube grave prin accident și incendiu.....	22
Figura 11. Grămadă de resturi pe palet cu resturi de motor electric și module de baterie evidențiate .....	22
Figura 12. Suprafața superioară a părții anterioare a carcasei bateriei care arată deteriorarea față și orificiul topit prin capacul din oțel.....	23
Figura 13. Imagine din videoclipul spectatorului cu foc vizibil în spatele roții din stânga față și în compartimentul roții din stânga spate.....	24
Figura 14. Imagine din videoclipul șoferului care arată mașina după ce flăcările s-au stins, dar cu fumul încă în creștere.....	25
Figura 15. Pachet de baterii cu capacul superior scos pentru a arăta locația orificiilor în carcasa bateriei și inserții care arată în prim plan zonele deteriorate.....	27
Figura 16. Serii de imagini care arată (a) încercarea de a declanșa un scurtcircuit prin zdrobirea mașinii cu buldozerul; (b) flăcări care izbucnesc la 8 minute după străpungerea mașinii cu tija de metal; (c) flăcările nu mai sunt vizibile, dar bateria continuă în fugă termică; și (d) focul care se stinge, cu săgeata îndreptată spre tija de metal.....	31

Figura 17. BMW, după ce pompierii au încercat să stingă incendiul, cu macaraua poziționată deasupra și un val slab de fum vizibil deasupra parbrizului mașinii .....	32
Figura 18. BMW încărcat într-un rezervor umplut cu apă.....	33
Figura 19. Ghid de răspuns în caz de urgență de o pagină („foaie de referință rapidă”) pentru stingerea incendiilor în vehiculele electrice.....	38
Figura 20. Conținutul fișelor de salvare a vehiculului și al ghidurilor de răspuns în situații de urgență, așa cum sunt definite în standardul ISO 17840.....	42
Tabelul 1. Etape de inspecție post-incidentă recomandate de SAE J2990.....	39
Tabelul 2. Criterii pentru determinarea da/nu a informațiilor critice din ghidurile de răspuns în situații de urgență ale producătorilor, cu coloana corespunzătoare din tabelul 3.....	46
Tabelul 3. Prezența sau absența informațiilor critice în ghidurile de intervenție în caz de urgență pentru 36 de vehicule electrice echipate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune.....	48

# acronime si abrevieri

AC	curent alternativ
BEV	vehicul electric cu baterie
CFR	Codul reglementărilor federale
CTIF	Asociația Internațională a Serviciilor de Pompieri și Salvare (Comité Tehnica internațională de prevenire și stingere a incendiilor)
DC	curent continuu
Euro NCAP	Programul european de evaluare a mașinilor noi
FMVSS-uri	Standardele federale de siguranță pentru autovehicule
GTR	reglementare tehnică globală
materii periculoase	materiale periculoase
hp	cai putere
ISO	Organizația Internațională pentru Standardizare
km/h	kilometri pe ora
kWh	kilowatt-oră
NCAP	Program de evaluare a mașinilor noi
NFPA	Asociația Națională de Protecție împotriva incendiilor
NFRD	Departamentul Norvegian de Pompieri și Salvare
NHTSA	Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi
NiMH	hidrură de nichel-metal
NTSB	Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor
PHEV	vehicul electric hibrid plug-in
EIP	echipament individual de protecție
SAE	SAE International (fostă Societatea Inginerilor Auto)
SCBA	aparat de respirație autonom
SUV	vehicul utilitar sport
UNECE	Comisia Economică pentru Europa a Națiunilor Unite
US-101	Autostrada SUA 101



# Rezumat

Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor (NTSB) a investigat trei accidente de vehicule electrice care au dus la incendii după accident și un incendiu non-accident care implică un vehicul electric, toate acestea ilustrând riscurile pentru personalul de intervenție pe care le prezintă bateriile litiu-ion de înaltă tensiune ale vehiculelor. NTSB a examinat, de asemenea, standardele naționale și internaționale stabilite pentru a maximiza siguranța vehiculelor electrice. O atenție deosebită a fost acordată documentelor de orientare în caz de urgență furnizate de producătorii de vehicule pentru a atenua riscurile de siguranță pentru primul și cel de-al doilea răspuns care se ocupă de accidente de vehicule electrice și incendii de baterii litiu-ion de înaltă tensiune.<sup>1</sup>

Incendiile din vehiculele electrice alimentate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune prezintă riscul de șoc electric pentru personalul de intervenție în caz de urgență din cauza expunerii la componentele de înaltă tensiune ale unei baterii litiu-ion deteriorate. Un alt risc este acela că celulele deteriorate din baterie pot experimenta creșteri necontrolate de temperatură și presiune (fuga termică), ceea ce poate duce la pericole precum reaprinderea/incendiul bateriei. Riscurile de șoc electric și de reaprindere/incendiu a bateriei apar din energia „înșurubată” care rămâne într-o baterie deteriorată.

## Probleme de siguranță

Ancheta a identificat următoarele probleme de siguranță:

- Inadecvarea ghidurilor de răspuns în caz de urgență ale producătorilor de vehicule pentru a minimiza riscurile pentru primul și cel de-al doilea răspuns, prezentate de incendiile bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice.
- Lacune în standardele de siguranță și cercetări legate de bateriile litiu-ion de înaltă tensiune implicat în accidente de mare viteză, de mare gravitate.

## Constatări

- Ghidurile de răspuns în caz de urgență ale producătorilor oferă suficiente informații specifice vehiculului pentru deconectarea sistemului de înaltă tensiune al unui vehicul electric atunci când deconectările de înaltă tensiune sunt accesibile și nedeteriorate de forțele de impact.
- Daunele provocate de accident și incendiile rezultate pot împiedica primii care răspund să acceseze deconectări de înaltă tensiune în vehiculele electrice.
- În instrucțiunile din ghidurile de răspuns în caz de urgență ale majorității producătorilor pentru combaterea incendiilor bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune, lipsesc detaliile necesare, specifice vehiculului, cu privire la stingerea incendiilor.
- Evadarea termică și reaprinderile multiple ale bateriei după suprimarea inițială a incendiului sunt riscuri de siguranță în incendiile bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune.

---

<sup>1</sup> Informații suplimentare legate de acest raport de siguranță (numărul de caz NTSB HWY19SP002) pot fi găsite accesând [Sistemul de management al dosarelor](http://www.nts.gov) la [www.nts.gov](http://www.nts.gov). Pentru mai multe informații despre recomandările de siguranță NTSB, consultați [baza de date privind recomandările de siguranță](http://www.nts.gov) la [www.nts.gov](http://www.nts.gov).

- Energia rămasă într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată, cunoscută sub denumirea de energie eșuată, prezintă un risc de șoc electric și creează potențialul de evaporare termică care poate duce la reaprinderea bateriei și la incendiu.
- Bateriile litiu-ion de înaltă tensiune din vehiculele electrice, atunci când sunt deteriorate de forțele de impact sau de defecțiunea internă a bateriei, prezintă provocări speciale pentru primul și cel de-al doilea răspuns din cauza informațiilor insuficiente din partea producătorilor privind procedurile de atenuare a riscurilor de energie blocată.
- Depozitarea unui vehicul electric cu o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată în interiorul zonei libere recomandate de 50 de picioare poate fi imposibilă în curțile de remorcare sau depozitare.
- Producătorii de vehicule electrice ar trebui să utilizeze șablonul standard 17840 al Organizației Internaționale de Standardizare pentru a prezenta informații de răspuns în caz de urgență.
- Acțiunea Administrației Naționale pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi, similară cu cea luată de Programul European de Evaluare a Autovehiculelor Noi, pentru a include punctajul în raport cu disponibilitatea ghidului de răspuns în situații de urgență al unui producător și aderarea acestuia la standardul 17840 al Organizației Internaționale de Standardizare și practica recomandată SAE International J2990 în Programul de evaluare a mașinilor noi din SUA ar fi un stimul pentru producătorii de vehicule vândute în Statele Unite cu sisteme de baterii litiu-ion de înaltă tensiune să respecte aceste standarde.
- Deși standardele existente abordează daunele suferite de sistemele de baterii litiu-ion de înaltă tensiune în cazul accidentelor care pot supraviețui, așa cum sunt definite de standardele federale privind accidentele, ele nu abordează accidentele de mare viteză și gravitate care au ca rezultat deteriorarea bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune. și energia eșanată asociată.

## Recomandări

Către Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi:

Atunci când determinați scorul Programului de evaluare a mașinilor noi din SUA al unui vehicul, luați în considerare disponibilitatea ghidului de răspuns în caz de urgență al unui producător și respectarea acestuia la standardul 17840 al Organizației Internaționale pentru Standardizare și practica recomandată SAE International J2990. (H-20-30)

Convocați o coaliție de părți interesate pentru a continua cercetările inițiate de organizația dvs. cu privire la modalități de atenuare sau dezactivare a energiei eșuate din bateriile litiu-ion de înaltă tensiune și de a reduce pericolele asociate cu evadarea termică rezultată din accidente de mare viteză și gravitate. Publicați rezultatele cercetării. (H-20-31)

Producătorilor de vehicule electrice echipate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune: (BMW Group; BYD Motors; FCA Group; General Motors Company; Ford Motor Company; Gillig; Honda Motor Company; Hyundai Motor Company; Karma Automotive; Kia Motors Corporation ; Mercedes-Benz SUA; Mitsubishi Motors; Nissan Motor Company; Nova Bus, Inc.; Porsche Cars America de Nord; Proterra,

Inc.; Subaru nord-american; Tesla, Inc., Toyota Motor America de Nord; Van Hool NV; Grupul Volkswagen din America; și Volvo Car Corporation):

Modelați ghidurile de răspuns în caz de urgență conform standardului 17840 al Organizației Internaționale de Standardizare, așa cum este inclus în practica recomandată SAE International J2990 și includeți informații specifice vehiculului privind (1) combaterea incendiilor bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune; (2) atenuarea evadării termice și a riscului de reaprindere a bateriei litiu-ion de înaltă tensiune; (3) atenuarea riscurilor asociate cu energia eșuată în bateriile litiu-ion de înaltă tensiune, atât în timpul răspunsului inițial în caz de urgență, cât și înainte de mutarea unui vehicul electric avariat de la fața locului; și (4) depozitarea în siguranță a unui vehicul electric care are o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată. (H-20-32)

Către Asociația Națională pentru Protecția împotriva Incendiilor, Asociația Internațională a Focului Sefi, Asociația Internațională a Pompierilor, National Alternative Fuels Consorțiul de Formare, Consiliul Național al Pompierii Voluntari și Remorcarea și Asociația de recuperare din America:

Informați-vă membrii cu privire la circumstanțele riscurilor de incendiu descrise în acest raport și la îndrumările disponibile personalului de urgență care răspund la incendiile de baterii litiu-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice. (H-20-33)

# 1. Introducere

## 1.1 Prezentare generală

De mai bine de 100 de ani, vehiculele de autostradă au fost propulsate de motoare cu ardere internă care ard benzină sau motorină. În ultimii 20 de ani, totuși, vehiculele care funcționează cu combustibili alternativi au devenit populare, văzute ca un mijloc de reducere a dependenței lumii de combustibilii fosili, de scădere a costurilor la combustibil și de a reduce poluarea mediului. Cel mai utilizat combustibil alternativ pentru vehicule este electricitatea.<sup>1</sup>

Până în 2000, vehiculele care combinau un motor cu ardere internă cu un motor electric, cunoscute sub numele de vehicule hibrid-electrice, au fost introduse pe piața americană (Honda Insight, 1999; Toyota Prius, 2000).<sup>2</sup> Vehiculele foloseau motorul electric ca secundar. sursă de energie (pentru a ajuta motorul cu ardere internă în accelerare, de exemplu) și, de asemenea, pentru a capta energia cinetică din frânare care ar fi de obicei convertită în căldură și pierdută.<sup>3</sup> O baterie de nichel-hidruură metalică (NiMH), încărcată de motorul cu ardere internă, alimenta motoarele primelor vehicule hibride.<sup>4</sup> Puterea motoarelor era mică, variind de la 13 la 40 de cai putere (CP).

Vehiculele electrice hibride plug-in (PHEV) echipate cu motoare electrice mai puternice au fost introduse 10 ani mai târziu.<sup>5</sup> Primul PHEV disponibil pe scară largă a fost Chevrolet Volt din 2011. Volt avea un motor electric de 149 CP alimentat de o baterie litiu-ion de înaltă tensiune, pe lângă un motor mic pe benzină de 84 CP.<sup>6</sup>

Astăzi, vehiculele electrice cu baterie (BEV) devin vehiculele dominante cu energie alternativă.<sup>7</sup> BEV-urile au un grup motopropulsor complet electric, adică nu au un motor cu ardere internă, ci sunt alimentate exclusiv de un motor electric alimentat cu baterii reîncărcabile.<sup>8</sup> La început BEV-urile au inclus Tesla Roadster, introdus în 2008; Nissan Leaf, introdus în 2010; și modelul Tesla S, introdus în 2012. Bateriile litiu-ion de înaltă tensiune sunt sursa standard de energie pentru BEV.

---

<sup>1</sup> Alți combustibili alternativi obișnuiți pentru vehicule sunt gazul natural, hidrogenul, propanul (gaz petrolier lichefiat) și biodieselul.

<sup>2</sup> Prius a fost introdus în Japonia în 1997; Insight a fost lansat în Japonia în același an ca și în Statele Unite (vezi [site-ul Mașină și șofer](#), accesat 4 august 2020).

<sup>3</sup> Procesul este cunoscut sub numele de frânare regenerativă. Energia captată este stocată în baterie.

<sup>4</sup> Unii producători de vehicule electrice, cum ar fi Toyota, continuă să folosească baterii NiMH în vehiculele lor electrice hibride.

<sup>5</sup> PHEV-urile sunt numite astfel deoarece bateriile lor sunt încărcate prin conectarea la o priză electrică externă.

<sup>6</sup> (a) În inginerie auto, tensiunea înaltă este considerată orice valoare peste tensiunea maximă sigură pentru oameni; consultați secțiunile 1.3.1 și 1.3.2 pentru detalii. (b) Motorul pe benzină ar putea genera putere pentru motorul electric al lui Volt după ce bateria și-a pierdut încărcarea, extinzând astfel autonomia mașinii.

<sup>7</sup> Conform datelor de la sfârșitul anului, BEV-urile au reprezentat trei sferturi din vânzările de vehicule electrice în Statele Unite în 2019 (vânzările combinate de PHEV și BEV au totalizat 326.000). Vezi [site-ul Green Car Congress](#) și site-ul web [Argonne National Laboratory](#), ambele accesate pe 18 martie 2020.

<sup>8</sup> Bateriile care produc puterea de a deplasa un vehicul se numesc baterii de tracțiune.

## 1.2 Domeniul de aplicare al raportului

În virtutea mandatului său de a studia problemele legate de siguranța transporturilor, Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor (NTSB) are un interes în siguranța tehnologiei emergente, inclusiv a surselor alternative de combustibil. Problemele de siguranță legate de bateriile litiu-ion de înaltă tensiune utilizate în vehiculele electrice au câștigat pentru prima dată atenția pe scară largă atunci când un Chevrolet Volt a luat foc la 3 săptămâni după un test de impact în mai 2011.<sup>9</sup> Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi (NHTSA), care a supravegheat testul de impact, a investigat atât cauza incendiului, cât și riscul de incendiu la mașinile Volt care au suferit accidente grave. După ce a examinat toate rapoartele privind evenimentele grave care au implicat Chevrolet Volts, NHTSA nu a găsit nicio înregistrare a vreunui incendiu cauzat de accidente care implică bateriile dintr-un Volt sau din orice alt vehicul electric.<sup>10</sup> Deși NHTSA nu a găsit niciun defect la Volt, Chevrolet a modificat designul carcasei bateriei vehiculului pentru a oferi o rezistență îmbunătățită la deteriorarea accidentului.

La momentul incendiului Volt, industria transporturilor începea să evalueze siguranța bateriilor litiu-ion. În săptămânile dinaintea incendiului Chevrolet Volt, NHTSA a sponsorizat un simpozion tehnic privind siguranța bateriilor cu litiu-ion, care a rezumat activitatea NHTSA, Departamentul Transporturilor din SUA și Departamentul Energiei din SUA în dezvoltarea bateriilor mai sigure pentru vehiculele electrice.<sup>11</sup> Până atunci, NHTSA a dezvoltat un plan de cercetare pe mai multe niveluri pentru a „înțelege riscurile de defecțiune, a dezvolta metode de siguranță și a dezvolta valori bazate pe performanță” pentru bateriile cu litiu-ion.<sup>12</sup> În anii care au urmat, NHTSA a continuat să sponsorizeze conferințe la care experții au identificat subiecte de cercetare ulterioară. .

La sfârșitul anului 2011, NHTSA a început să colaboreze cu Asociația Națională pentru Protecția împotriva Incendiilor (NFPA) pentru a ajuta primii respondenți (pompieri) și cei de a doua intervenție (operatorii de remorcare) în manipulare. baterii litiu-ion după un accident și a lucrat cu producătorii de vehicule pentru a dezvolta protocoale după accident pentru a trata vehiculele alimentate cu baterii litiu-ion.<sup>13</sup> Anul precedent, NFPA a publicat rezultatele unui studiu privind pericolele pentru pompieri și situații de urgență. respondenții de la vehicule electrice, deși accentul s-a pus pe bateriile NiMH de uz curent (Grant 2010). Un studiu mai recent (Long și alții 2013) a prezentat cele mai bune practici pentru cei care răspund în situații de urgență la pericolele care implică bateriile din vehiculele electrice. În 2015, NFPA a început să publice ghiduri de teren de urgență pentru vehiculele cu combustibil alternativ, ca parte a programului său de instruire în materie de siguranță.

Primele investigații ale NTSB privind incendiile bateriilor cu litiu-ion au implicat riscuri de siguranță în aviație. În 2013, NTSB a investigat un incendiu de baterie cu litiu-ion la un avion Boeing 787 din Boston și

---

<sup>9</sup> Secțiunea 3.1 descrie incidentul în detaliu.

<sup>10</sup> Aceste informații sunt din raportul NHTSA despre incendiul Volt (Smith 2012). Au fost considerate evenimente grave acelea în care un airbag s-a declanșat, un ocupant a fost rănit sau viteza vehiculului s-a schimbat cu mai mult de 12 mph. A se vedea, de asemenea, [comunicatul de presă](#) al NHTSA din 20 ianuarie 2012, emis după ce investigațiile sale au fost finalizate.

<sup>11</sup> Simpozionul (desfășurat pe 18 mai 2011) a fost intitulat „Considerații de siguranță pentru vehiculele electrice [vehicule electrice] alimentate cu baterii Li-ion [litiu-ion]”. Prezentarea de diapozitive a Departamentului de Energie poate fi vizualizată pe [site-ul web NHTSA](#) (accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>12</sup> După cum se precizează în Smith (2012), p. 4.

13(a) Primii intervenții în acest context se referă la pompieri, dar tehnicienii medicali de urgență, paramedicii și ofițerii de poliție sunt, de asemenea, clasificați ca primii respondenți. În acest context, cei de a doua intervenție se referă la șoferii de camion de remorcare sau la operatorii de remorcare, dar pot include și cei responsabili pentru controlul temporar al traficului sau alte funcții de asistență la locul accidentului. (b) Eforturile NFPA sunt raportate în Smith (2012).

a asistat la investigarea incendiilor de baterii litium-ion la o altă aeronavă Boeing 787 (în Japonia) și la un Boeing 747 (în Emiratele Arabe Unite). Ca urmare a investigației sale asupra incendiului Boeing 787 din Boston, NTSB a emis recomandări de siguranță pentru evaluarea și gestionarea riscului de scurtcircuit și incendiu în bateriile litium-ion (NTSB 2014). Tot în 2013, NTSB a convocat un forum public intitulat „Bateriile litium-ion în transport” și a continuat să monitorizeze problemele de siguranță legate de bateriile litium-ion din aeronave. În 2018, NTSB s-a adresat vehiculelor electrice cu celule de combustie cu hidrogen atunci când a investigat un incendiu asupra unui vehicul care transporta hidrogen comprimat pentru utilizare la o stație de alimentare (NTSB 2019c). Mai recent, în mai 2020, NTSB a emis un raport de recomandare de siguranță intitulat Standarde pentru transporturile aeriene de baterii litium-ion (NTSB 2020b),

în urma unui incendiu care a implicat baterii litium-ion de format mare care fuseseră livrate pe calea aerului. (Consultați anexa pentru informații suplimentare despre activitățile NTSB de mai sus.)

Prima investigație a NTSB a incendiilor de baterii de vehicule electrice pe drumurile din SUA a fost în 2017, când o baterie litium-ion de înaltă tensiune a luat foc după ce un BEV a părăsit drumul și s-a prăbușit într-un garaj rezidențial cu viteză mare (pentru detalii, vezi secțiunea 2.1). . Până în 2017, liderul de piață în industria vehiculelor electrice a fost Tesla, Inc., care acum reprezintă aproximativ 80% din vânzările de BEV în Statele Unite.<sup>14</sup> Între 2017 și 2018, NTSB a investigat alte două de mare viteză, de mare severitate. accidente care au dus la incendii după accident (a se vedea secțiunile 2.2 și 2.3) și un incendiu non-accident care a implicat un BEV (a se vedea secțiunea 2.4), toate acestea implicate vehicule fabricate de Tesla. Pe parcursul investigațiilor sale, NTSB a luat în considerare riscurile de siguranță pentru primul și cel de-al doilea răspuns pe care le prezintă bateriile litium-ion de înaltă tensiune ale vehiculelor - riscuri care diferă de problemele prezentate de incendiile la vehiculele alimentate cu motoare cu ardere internă. Acest raport de siguranță se concentrează pe aceste riscuri.

Pe măsură ce NTSB și-a încheiat investigațiile, au ieșit la iveală incidente internaționale privind alți producători de vehicule, inclusiv cele trei incendii de baterii litium-ion de înaltă tensiune din Europa, care sunt descrise în secțiunea 3. În plus, anchetatorii NTSB au evaluat șase surse de date pentru informații despre prevalența incendiilor la vehiculele electrice. Cercetarea a constatat că, deși fiecare bază de date conținea unele informații legate de incendiile vehiculelor, toate aveau limitări serioase, de exemplu, în capacitatea lor de a identifica bateriile ca sursă de incendii de vehicule.

15

Secțiunea 4 descrie acțiunile de reglementare și din industrie întreprinse pentru a maximiza siguranța atât a vehiculelor alimentate cu baterii de înaltă tensiune, cât și a personalului de urgență care răspunde la accidente și alte incidente care implică respectivele vehicule. Secțiunea se încheie cu un rezumat al îndrumărilor disponibile pentru cei care intervin în situații de urgență, inclusiv o revizuire detaliată a ghidurilor de răspuns în caz de urgență publicate (voluntar) de producătorii de vehicule electrice.

<sup>16</sup> Secțiunea 5

prezintă analiza NTSB și face recomandări pentru abordarea (1) insuficiențelor în îndrumările producătorilor de vehicule pentru reducerea la minimum a riscurilor pentru personalul de intervenție în situații de urgență prezentate de incendiile bateriilor cu litium-ion de înaltă tensiune și (2) lacune în standardele și cercetările legate de bateriile litium-ion de înaltă tensiune implicate în bateriile litium-ion de înaltă tensiune, de mare viteză și severitate. se prăbușește. Mai jos, noi

---

<sup>14</sup> După cum a raportat pentru 2017 de către Statista, „Tesla domină piața vehiculelor electrice din SUA”, iar pentru 2019, tot de Statista, „Vânzări estimate de vehicule electrice cu baterii în SUA în funcție de marcă 2019” (ambele accesate pe 28 septembrie 2020).

<sup>15</sup> Raportul de date („Prevalența incendiilor de baterii de vehicule electrice”) este disponibil în [dosarul public NTSB](#) (caz numărul HWY19SP002).

<sup>16</sup> Nu există cerințe federale pentru ghidurile de răspuns în caz de urgență, deși reglementările acoperă transportul și eliminarea bateriilor litium-ion de înaltă tensiune.

caracterizează bateriile litiu-ion care alimentează BEV-urile și subliniază riscurile unice pe care le prezintă pentru primul și pentru cel de-al doilea răspuns.

## 1.3 Baterii litiu-ion de înaltă tensiune

BEV-urile necesită baterii de mare energie - baterii care stochează cantități semnificative de energie (electricitate), o rețin eficient și o descarcă la un ritm ridicat. Bateriile litiu-ion au fost alese pentru BEV-uri deoarece au o densitate mare de energie (permițându-le să stocheze cantități mari de energie pentru un volum dat), o rată scăzută de auto-descărcare (permițându-le să păstreze încărcarea) și un potențial electrochimic excelent (permițând descărcarea de mare putere). Circuitele de protecție sunt necesare pentru a menține încărcarea și descărcarea în limite de siguranță.

### 1.3.1 Proprietăți

Ca toate bateriile, bateriile litiu-ion constau din celule care produc curent electric prin transformarea energiei chimice în energie electrică. Fiecare celulă de baterie constă din doi electrozi (unul negativ, anodul și unul pozitiv, catodul) care conduc electricitatea. O barieră permeabilă între electrozi previne scurtcircuitul intern și permite unei alte substanțe, electrolitul, să transfere ionii încărcăți între electrozi.<sup>17</sup> Anodul este de obicei realizat din carbon (grafit), iar catodul este, în general, format din straturi de litiu și metal. oxid.<sup>18</sup> Electrolitul constă dintr-o sare de litiu dizolvată într-un solvent organic, în principal carbonați.

(Electrolitii din bateriile litiu-ion pot fi lichide sau geluri.) Solvenții organici folosiți în bateriile litiu-ion sunt inflamabili.<sup>19</sup>

Cu cât un electrod poate absorbi și elibera mai mulți ioni în raport cu dimensiunea și greutatea sa - cunoscută sub numele de capacitate - cu atât mai multă energie poate stoca. Capacitatea este măsurată în kilowați-oră (kWh)—adică cantitatea de energie electrică pe care o baterie o poate furniza sau absorbi în decurs de 1 oră. Bateria Chevrolet Volt 2011 (un PHEV echipat atât cu un motor cu ardere internă, cât și cu un motor electric) are o capacitate de 16 kWh. În modelul Tesla S 2019 complet electric, care are atât o versiune de bază, cât și una de înaltă performanță, capacitatea bateriei variază de la 60 la 100 kWh.

Tensiunea unei baterii (exprimată în volți) este potențialul acesteia de a produce un curent electric - adică de a împinge electroni în jurul unui circuit închis.<sup>20</sup> Bateriile litiu-ion din vehiculele electrice sunt descrise ca fiind de înaltă tensiune deoarece au un potențial de 300 până la 400 de volți sau mai mult, cu vehicule electrice de 800 de volți planificate sau deja pe piață.<sup>21</sup> În comparație, mașina familiară cu plumb-acid

---

<sup>17</sup> Ionii încărcăți dintr-o baterie litiu-ion sunt atomi ai elementului litiu cărora le lipsește un electron, dând le o sarcină electrică pozitivă. Litiul este cel mai ușor metal din tabelul periodic al elementelor.

<sup>18</sup> În bateriile litiu-ion sunt folosiți diferiți oxizi de metal, inclusiv oxidul de litiu cobalt (LiCoO<sub>2</sub>), cel mai comun. Bateriile din cele patru incendii investigate de NTSB au conținut litiu nichel mangan cobalt oxid (LiNiMnCoO<sub>2</sub>). Consultați online Battery University („BU-205: Tipuri de litiu-ion”) pentru mai multe informații (accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>19</sup> Cercetătorii au ajuns la concluzia că solvenții inflamabili din bateriile cu litiu-ion sunt aproximativ la fel de periculoși ca și benzină sau motorină utilizată în vehiculele convenționale (Stephens și alții 2017, pp. 2-30-2-31).

<sup>20</sup> Din punct de vedere tehnic, tensiunea este diferența de potențial electric dintre două locuri, numită diferența de potențial electric.

<sup>21</sup> Porsche a lansat o mașină sport BEV de 800 de volți, numită Taycan, în 2019, după cum se raportează pe site-ul [Green Car Congress](#). (accesat 24 aprilie 2020).

bateria, care furnizează energie pentru pornirea unui motor cu ardere internă și pentru a rula sistemele electrice auxiliare ale unui vehicul, are doar 12 volți.

Bateriile cu litiu-ion au diferite forme și dimensiuni (cilindrice, prismatice, eliptice, pungă). Bateria pentru un BEV constă din celule individuale împachetate strâns împreună pentru a produce tensiunea, puterea și energia necesare. Celulele sunt asamblate în module, iar modulele sunt asamblate în pachete și sisteme de baterii. Bateria este ambalată într-o carcasă concepută pentru a rezista deteriorărilor cauzate de forțele externe și amplasată pentru protecție împotriva accidentelor.

Sistemele de management al bateriei mențin funcționarea în siguranță a pachetelor de baterii. Pe lângă monitorizarea datelor de tensiune și temperatură de la celule și module, aceștia monitorizează și bateria starea de încărcare (nivel de încărcare raportat la capacitate) pentru a proteja împotriva supraîncărcării sau subîncărcării. Circuitele de protecție menționate mai devreme limitează tensiunea de vârf a celulei și împiedică scăderea prea scăzută a tensiunii. Celulele sunt protejate de temperaturi extreme prin sisteme de management termic integrate în module și de suprapresiune prin sisteme de aerisire. niste designul bateriilor încorporează sisteme de răcire cu lichid.

Diferiți producători de vehicule folosesc diferite baterii și diferite pachete de baterii. După cum se arată în figura 1, modelul Tesla S (ca și alte vehicule ale producătorului) are un acumulator plat care se află sub podea. Pachetul de baterii este format din mii de celule de baterie mici, cilindrice (puțin mai mari decât o baterie AA) ambalate în 16 module. Chevrolet Volt, ca exemplu de la un alt producător, folosește celule tip pungă (aproximativ de dimensiunea unui plic standard de 8 1/2 inci pe 11 inci), iar acumulatorul are formă de T, cu partea superioară a fitingului T. sub bancheta din spate a mașinii. Pachetul de baterii Volt conține 192 de celule ambalate în patru module.

Bateriile litiu-ion produc curent continuu (DC). Proprietarii de vehicule electrice își pot încărca mașinile conectându-le la o priză rezidențială de curent alternativ (AC) de 120 sau 240 de volți, deoarece mașinile sunt echipate pentru a converti curent alternativ în curent continuu. Bateriile pot fi încărcate și la stațiile comerciale de încărcare rapidă DC.<sup>22</sup> Stațiile pot încărca un vehicul în mai puțin de o oră, comparativ cu câteva ore folosind o priză rezidențială.

---

<sup>22</sup> Rețeaua [EVgo](#) instalează stații de încărcare rapidă DC în locații precum magazinele alimentare (accesate pe 12 noiembrie 2020).



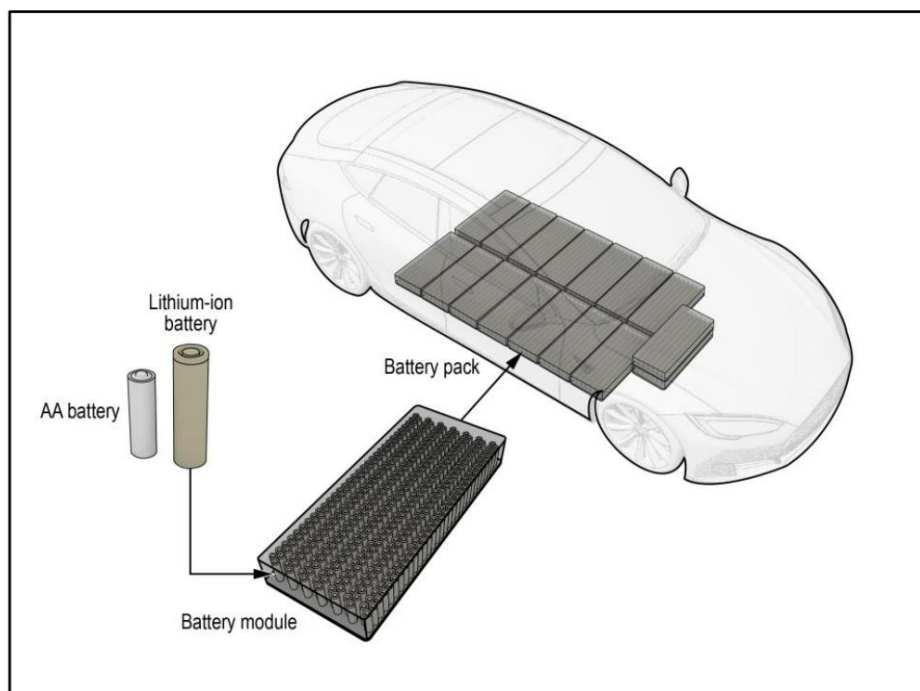


Figura 1. Ilustrație a modelului Tesla S care arată locația acumulatorului și detaliile modului și celulei bateriei, cu comparație cu dimensiunea bateriei AA standard. (desen NTSB)

### 1.3.2 Riscuri de siguranță

Incendiile din vehiculele electrice alimentate cu baterii litiu-ion prezintă două pericole principale pentru personalul de intervenție. În primul rând este riscul de șoc electric în urma expunerii la conexiunile de înaltă tensiune dintr-o baterie deteriorată. În al doilea rând este riscul ca celulele deteriorate din baterie să experimenteze creșteri necontrolate ale temperaturii și presiunii, cunoscute sub numele de evaporare termică, care poate duce la aerisirea și arderea gazelor toxice, ruperea celulelor și eliberarea de proiectile și reaprinderea/incendiul bateriei. Riscurile de șoc electric și reaprinderea/incendiul bateriei apar din energia care rămâne într-o baterie deteriorată - cunoscută sub numele de energie blocată.

Soc electric. Corpul uman este un conductor electric; dacă intră în contact cu o sursă de energie electrică, curentul va curge prin ea. Rezistența corpului — capacitatea sa de a reduce curentul electric — variază de la persoană la persoană și în funcție de faptul că pielea este umedă sau uscată, printre altele. Tensiunile maxime considerate sigure pentru oameni sunt 50 sau 60 volți DC și 30 volți AC.<sup>23</sup> Sistemul de înaltă tensiune al unui BEV funcționează cu mult peste aceste praguri (la 300 până la 400 volți sau mai mult), creând un risc de siguranță atunci când bateria de tensiune este deteriorată într-un accident și caracteristicile de siguranță, cum ar fi capacele de protecție și siguranțele circuitelor sunt învinse. După cum este descris în secțiunea 4, pentru a proteja ocupanții, trecătorii care interacționează cu persoanele rănite și personalul de intervenție împotriva șocurilor electrice, standardele de siguranță impun izolarea electrică a sistemului de baterii de înaltă tensiune de șasiul vehiculului. Dacă un accident deteriorează sistemul de izolare electrică, o persoană care atinge

<sup>23</sup> Pragurile se bazează pe standardul tehnic 60479-1 al Comisiei Electrotehnice Internaționale; 2005-07, „Efectele curentului asupra ființelor umane și animalelor”. Efectele fiziologice ale unui curent electric pot fi orice, de la o ușoară senzație de înțepătură până la arsuri și stop respirator sau cardiac. Curentul DC are un efect mai puțin sever asupra corpului uman decât curentul AC.

vehiculul (sau un conector expus) poate deveni parte a circuitului de înaltă tensiune și poate suferi răni grave sau deces.

Fuga termică. Runawayul termic este un proces chimic care produce căldură (o reacție exotermă); căldura crește viteza de reacție, ceea ce crește și mai mult temperatura și intensifică procesul. Evacuarea termică se poate răspândi de la o celulă de baterie la mai multe celule, într-un efect domino. Cauza originară a evadării termice este, în general, scurtcircuitarea în interiorul celulei bateriei și o creștere rezultată a temperaturii interne a celulei. Un scurtcircuit într-o celulă de baterie litiu-ion poate rezulta din defecte introduse în timpul producției, cum ar fi contaminarea, sau din deteriorarea celulei cauzată de strivire sau perforare - exact tipul de daune produse de accidente de mașină cu impact puternic și grav. . Un incendiu extern ar putea, de asemenea, să încălzească o celulă a bateriei suficient pentru a iniția fuga termică.

Pot apărea incendii și explozii atunci când celulele intră în fugă termică. Solventul inflamabil din electrolit se poate aprinde dacă este expus la temperaturi ridicate sau scânteii electrostatice. Popping sau alte zgomote rezultate din evacuarea căldurii și a gazelor însoțesc adesea o evadare termică. Un studiu recent (Stephens și alții 2017) a identificat patru pericole principale ale fuga termică:

(1) evacuarea vaporilor toxici și inflamabili din solventul electrolitic, prin dispozitive de reducere a presiunii sau orificii din carcasa bateriei; (2) arderea vaporilor ejectați din solventul electrolit inflamabil; (3) suprapresiune localizată; și (4) ruperea carcasei celulei și eliberarea proiectilelor în cazul în care dispozitivele de reducere a presiunii lipsesc sau nu. Pericolele secundare identificate în studiu au fost eliberarea de substanțe chimice toxice și corozive, aprinderea și arderea pieselor combustibile ale vehiculului, asfixierea ocupanților vehiculului de gazele toxice evacuate de baterie și șocul electric pentru ocupanți, primii intervenitori sau personalul de întreținere în urma expunerii. la conductorii de înaltă tensiune dacă izolațiile electrice și izolatorii se topesc sau ard. Potrivit studiului, gazele inflamabile (hidrogen, etilenă, etan și propan) degajate dintr-o baterie deteriorată constituie cea mai importantă amenințare de incendiu.

După cum se detaliază în secțiunile ulterioare ale acestui raport, stingerea unei baterii litiu-ion care arde poate necesita aplicarea a mii de galoane de apă. Secțiunea 3 descrie o metodă pe care pompierii din Europa au folosit-o pentru a stinge un incendiu de baterie cu litiu-ion - scufundarea întregului vehicul într-o cuvă plină cu apă. Această metodă, totuși, creează un potențial de scurtcircuitare și ar putea fi, de asemenea, nepractică.

Energie blocată. Dacă o baterie de înaltă tensiune este deteriorată, energia rămâne în interiorul acesteia module de baterie și celule nedeteriorate, fără cale de descărcare. Această energie eșuată poate face ca o baterie de înaltă tensiune să se reaprindă de mai multe ori după ce pompierii sting incendiul unui vehicul electric. Răspunsurile în caz de urgență nu au nicio modalitate de a măsura cantitatea de energie rămasă într-o baterie deteriorată și nici o modalitate de a consuma acea energie, în afară de metode care consumă mult timp, cum ar fi permiterea incendiului bateriei să se stingă singur.<sup>24</sup> Inginerii sau alți specialiști pot folosi bateria. sistem de management pentru a verifica tensiunea rămasă dacă sistemul este funcțional, iar unele baterii au porturi de descărcare încorporate, de asemenea pentru utilizare de către specialiști. Cu toate acestea, sistemul de baterii de înaltă tensiune poate fi deteriorat într-un accident, împiedicând accesul la sistemul de management al bateriei sau la porturile de descărcare. Mai mult, așa cum este descris în secțiunea 4, unul dintre primii pași în reacția la incendiul unui vehicul electric

---

<sup>24</sup> Modulele din bateriile Tesla sunt separate în așa fel încât să permită uneia dintre acele baterii să se epuizeze ar fi puțin probabil să elimine toată energia.

este să tăiați cablul de alimentare la bateria de 12 volți, ceea ce va deconecta sistemul de gestionare a bateriei.

Vehiculele electrice sunt adesea echipate cu bucle de tăiere de urgență, bucle de sârmă de joasă tensiune care Primii respondenți pot tăia în siguranță pentru a deconecta sistemul de înaltă tensiune de restul vehiculului.<sup>25</sup> Separarea buclelor tăiate va izola puterea de înaltă tensiune din interiorul bateriei, protejând astfel restul vehiculului. Cu toate acestea, tăierea buclelor nu va elimina energia din bateria de înaltă tensiune.

Producătorii au dezvoltat instrumente pentru a descărca bateriile de înaltă tensiune din vehiculele lor, dar instrumentele, care necesită operare de către un specialist, sunt de obicei specifice vehiculului și funcționează numai pe o baterie intactă.<sup>26</sup> O metodă de a deconecta o baterie deteriorată este să scufundați-l într-o baie cu apă sărată (apa sărată conduce electricitatea). S-ar putea, totuși, să nu fie posibilă extragerea unei baterii deteriorate dintr-un vehicul după un accident sever, iar primii care răspund, în general, nu au experiența necesară pentru a scoate o baterie deteriorată.

---

<sup>25</sup> Firele sunt etichetate în locul unde trebuie tăiate.

<sup>26</sup> Instrumentele și tehnicile pentru evaluarea energiei eșuate sunt investigate în Rask și alții (2020). Autorii au dezvoltat un prototip de instrument de descărcare, potrivit pentru utilizare de către neexperți, care s-ar conecta la un port de acces dedicat de înaltă tensiune într-o parte protejată a unui vehicul electric. Instrumentul ar necesita, totuși, acces la un sistem funcțional de gestionare a bateriei sau conexiune directă la modulele interne ale bateriei. Un astfel de acces ar fi problematic, sau imposibil, în cazul unei baterii care a fost avariata într-un accident sau a suferit o fugă termică.

## 2 Investigații NTSB ale bateriei vehiculelor electrice Incendii

NTSB a investigat toate incendiile interne de baterii de înaltă tensiune din SUA din vehiculele electrice de care am luat cunoștință în timpul unei perioade de un an (august 2017 până în august 2018).<sup>27</sup> În cele patru incendii care au implicat baterii litiu-ion pe care NTSB le-a identificat în acea perioadă, trei dintre baterii fuseseră avariate în accidente de mare viteză, de mare gravitate, care au precedat incendiile. Toate trei bateriile deteriorate în urma impactului s-au reaprins după ce pompierii au stins incendiile vehiculului. (În scopul acestui raport, o reaprindere a unui incendiu a bateriei este definită ca un eveniment de incendiu - fum, zgomote de izbucnire din baterie sau flăcări reale - care apare în baterie după ce incendiul vehiculului a fost stins și vehiculul a fost stabil timp de mai multe minute.)<sup>28</sup> Bateria din cel de-al patrulea caz - un incendiu care a avut loc în timpul operațiunilor normale ale vehiculului - nu s-a reaprins.

Toate bateriile au fost examinate după incidente, așa cum este descris mai jos. Pentru fiecare incident, indicăm dacă primul și cel de-al doilea răspuns au consultat îndrumările de răspuns în caz de urgență făcute Rețineți că pe disponibil de către producătorul vehiculului sau contactat direct producătorul.<sup>29</sup> deplin personal echipamentele de protecție (EIP) și aparatele de respirație autonome (SCBA) sunt echipamente standard pentru pompieri pentru toate incendiile vehiculelor, nu doar cele care implică vehicule electrice (Long și alții 2013, p. 18).

### 2.1 Lake Forest, California, august 2017

Vineri, 25 august 2017, la ora 18:17, ora de vară a Pacificului, un vehicul utilitar sport (SUV) Tesla model X din 2016, ocupat de un șofer și un pasager, circula pe o stradă rezidențială din Orange County, California, care avea o limită de viteză publicată de 35 mph. Șoferul a pierdut controlul autovehiculului, care a părăsit carosabilul, a traversat un trotuar și un terasament, a coborât pe un șanț de drenaj și s-a ciocnit cu un canal. În cele din urmă, SUV-ul a lovit un zid al proprietății, un garaj deschis și o mașină neocupată parcată în garaj. Potrivit înregistratorului de date de la bordul SUV-ului, șoferul accelerase până la 82 mph cu puțin timp înainte de accident.<sup>30</sup> Șoferul a suferit răni grave în accident, iar pasagerul a suferit răni ușoare. Un incendiu după accident s-a extins de la SUV la mașina parcată în garaj, la garaj însuși și la casă (figura 2).

---

<sup>27</sup> Toate vehiculele erau BEV.

<sup>28</sup> Reaprinderea poate avea loc cu bateriile litiu-ion, deoarece bateria în sine conține cele trei elemente necesare pentru a susține un incendiu (căldură, combustibil și oxigen). Zgomotele izbucnite în interiorul sau între celulele bateriei indică un schimb de energie.

<sup>29</sup> Consultați secțiunile 4.3 și 4.4 pentru practici recomandate și îndrumări pentru răspunsul la incendiile vehiculelor electrice. Ghidurile de răspuns în caz de urgență sunt discutate în secțiunea 4.5.

<sup>30</sup> Un raport privind datele preluate de la unitatea electronică de control a vehiculului se găsește în [registrul public](#) pentru acest accident (număr de caz NTSB HWY17FH013). Raportul Factual de anchetă și alte documente aflate în dosarul public oferă mai multe detalii despre accident.



Figura 2. Vedere postcrash a garajului, care arată pompierul direcționând apa spre SUV-ul care arde și fum care iese de pe acoperișul garajului. (Sursa: Departamentul Sheriffului Orange County)

### 2.1.1 Răspunsul inițial

Autoritatea de pompieri a județului Orange a primit prima alarmă la ora 18:17, iar pompierii au sosit la fața locului la ora 18:25. Ofițerii de la Departamentul Șerifului din Orange County au sosit la ora 18:28 și au înființat o comandă unificată. Ofițerii au gestionat locul, ceea ce a inclus identificarea celor implicați și luarea declarațiilor martorilor.

Când au sosit pompierii, atât SUV-ul, cât și casa erau în flăcări. Primul echipaj aflat la fața locului a atacat cu apă incendiul vehiculului din garaj. Până la ora 18:44, cea mai mare parte a incendiului era stinsă, dar părea să fie o sursă de combustibil în garaj, iar focul ardea în podul de deasupra garajului. Structura garajului era lasată, făcând dificil accesul pompierilor la focul de la mansardă, ceea ce a amenințat casa. Pompierii au oprit evoluția incendiului structural în jurul orei 19:00. Focul de sub SUV părea să fi fost stins, dar apoi s-a reaprins de un număr nespecificat de ori.

Până la ora 19:17, echipajul de la camionul greu de salvare de la fața locului stabilizase peretele garajului. Pompierii au scos apoi SUV-ul din garaj pentru a evalua incendiul și au identificat sursa de combustibil ca fiind acumulatorul de înaltă tensiune al SUV-ului. La 20:04, după ce SUV-ul a fost tras pe alee, bateria s-a reaprins. Incendiul a fost stins rapid cu apă, după care SUV-ul a rămas stabil timp de aproximativ 45 de minute. În acest timp, pompierii au adus focul casei sub control.

SUV-ul a început să emită fum alb greu la 45 de minute după stingerea flăcărilor. SUV-ul s-a aprins din nou și a început să ardă într-un mod pe care pompierii au descris-o ca fiind o „pistolă”. Pompierii au aplicat apă cu până la 200 de galoane pe minut, dar nu a făcut-o

stinge flăcările. Echipajul a permis vehiculului să ardă liber pentru a elimina cât mai multe interior combustibili posibil. La 21:13, pompierii au sprijinit SUV-ul pe blocuri pentru a expune partea inferioară și au aplicat mai multă apă, la o rată maximă de 600 de galoane pe minut, timp de aproximativ 45 de minute pentru a răci bateria.<sup>31</sup> Aplicarea cu apă pe partea inferioară a SUV-ului a stins focul.

Unul dintre șefii de batalion care au răspuns le-a spus anchetatorilor că incendiul a fost „foarte sever” și mai greu de stins decât se așteptau pompierii. Chiar dacă au aplicat o cantitate mare de apă, partea inferioară a vehiculului a continuat să se reaprindă și nu s-a stins. Potrivit șefului batalionului, echipajele de pompieri au revizuit ghidurile de intervenție în caz de urgență și au căutat online îndrumări cu privire la măsurile adecvate de luat.<sup>32</sup> Șeful a spus că pompierii au folosit aparate de respirație din cauza cantităților mari de fum acru – a spus că se simțea aproape ca un hazmat (materiale periculoase) incendiu. El a mai spus că cei care comandă intervenția la incendiu ar fi dorit să lase incendiul vehiculului să se stingă singur, dar s-au îngrijorat că ar putea dura până la 24 de ore și că fumul va afecta oamenii din cartier.

33

Ca urmare a eforturilor inițiale de răspuns în caz de urgență, doi ofițeri ai departamentului șerifului din Orange County au suferit răni minore din cauza inhalării de fum. Peste 20.000 de galoane de apă au fost aplicate incendiului vehiculului, cu ritmuri diferite, timp de cel puțin 2 ore.

### 2.1.2 Răspuns secundar

Un serviciu de remorcare a vehiculelor a fost chemat la ora 22:40 și a sosit la 23:09. În timp ce SUV-ul era încărcat în camionul de remorcare, acesta a început din nou să scoată fum, iar focul bateriei s-a reaprins (figura 3). Pompierii au aplicat apă, dar au avut dificultăți în direcționarea apei sub vehicul deoarece acesta se sprijinea pe scânduri (roțile acestuia fuseseră deplasate în urma impactului). SUV-ul a fost coborât de pe platforma, iar pompierii au stins din nou focul. Șoferul camionului de remorcare a suferit arsuri ușoare la brațe în timp ce cobora SUV-ul de pe platforma, deoarece comenzile erau aproape de părțile laterale ale vehiculului în incendiu și a trebuit să-și scoată mânușile umede și alunecoase pentru a le opera.

Pompierii au continuat să aplice apă la aproximativ 300 de galoane pe minut pentru a răci bateria. Odată ce bateria s-a răcit, SUV-ul a fost remorcat de la fața locului. Ora a fost 12:21, la aproximativ 6 ore după accident.

---

<sup>31</sup> Blocurile de pat sunt structuri temporare din lemn folosite pentru a susține obiecte grele în timpul construcției, demontării vehiculelor și așa mai departe.

<sup>32</sup> Șeful nu a spus în mod explicit că echipajul a consultat ghidul de răspuns în caz de urgență al producătorului vehiculului, dar ghidul pentru SUV oferă locații și descrieri ale componentelor de înaltă tensiune, airbag-urilor, cilindrii de umflare, dispozitivelor de pretensionare a centurilor de siguranță și materialelor de înaltă rezistență din caroseria vehiculului. Ghidul include o procedură de dezactivare de înaltă tensiune și considerații de siguranță specifice acestui SUV. Consultați secțiunea 4.5 pentru mai multe informații despre ghidurile de răspuns în caz de urgență și despre cum pot fi accesate.

<sup>33</sup> Ghidul vehiculului de răspuns în caz de urgență precizează: „Incendiile bateriei pot dura până la 24 de ore pentru a se stinge. Considera permițând bateriei să ardă protejând în același timp expunerile.”



Figura 3. Imagine statică din videoclip realizată de ofițerul departamentului șerifului care arată SUV-ul reaprins pe platforma camionului de remorcare. (Sursa: Departamentul Sheriffului Orange County)

Bateria s-a reaprins pentru câteva secunde în timp ce SUV-ul era descărcat în curtea de remorcare. Deși vehiculul a emis fum, nu a luat foc, iar șoferul de remorcare nu a cerut un răspuns de urgență.<sup>34</sup> SUV-ul a fost poziționat în curtea de remorcare cât mai departe posibil de alte vehicule sau clădiri – la aproximativ 40 de picioare de alte vehicule de pe două laturi, la aproximativ 20 de picioare de alte vehicule pe a treia latură și la aproximativ 10 picioare de un zid de beton pe a patra latură. Potrivit jurnalului de remorcare, lucrarea a fost finalizată la ora 1:15

### 2.1.3 Inspecție după accident

În perioada 6-7 septembrie 2017, anchetatorii NTSB au examinat SUV-ul și bateria la curtea de remorcare. Au vizitat și locul accidentului. SUV-ul a suferit daune mari de incendiu și impact. Bucla tăiată de înaltă tensiune se afla în zona incendiului grav și a daunelor de impact asupra interiorului, făcând imposibilă stabilirea dacă pompierii au reușit să o acceseze și să o întrerupă. Când vehiculul a fost ridicat astfel încât partea inferioară să poată fi văzută, anchetatorii au descoperit că colțul din dreapta față al carcasei bateriei s-a rupt, dezvăluind celule individuale ale bateriei, așa cum se arată în figura 4.

<sup>34</sup> După cum s-a menționat mai devreme, un incendiu poate consta în fum sau zgomote de zgomot, care nu implică neapărat flăcări.





Figura 4. Vedere de jos și spre spate a părții inferioare a SUV-ului, care arată colțul din față drept rupt al carcasei bateriei și evidențiază celulele individuale ale bateriei descoperite de ruptură. Roata din spate dreapta este vizibilă în fundal.

Bateria litiu-ion a SUV-ului conținea 16 module (figura 5).<sup>35</sup> Ruptura expuse părților modulelor 13 și 15 din colțul din dreapta față, în linie cu locul în care fuseseră deplasate roata față dreaptă, discul de frână și alte componente, majoritatea probabil în ciocnirea SUV-ului cu canalul de drenaj. Modulele 11 și 9, direct în spatele modulului 13, au fost avariate. Bateriile de la modulele 13 și 15 au fost dislocate sau deplasate, iar celulele individuale au fost găsite pe stradă, în alee și în șanțul de scurgere.

<sup>36</sup>

Bateria a prezentat daune termice, deformare și deformare la aproximativ 80% din exteriorul carcasei bateriei (consultați figura 4). Doar colțurile din spate nu au prezentat daune termice. Toate supapele de suprapresiune prezentau semne de aerisire a gazului fierbinte, iar orificiile de ventilație din față au fost complet arse.<sup>37</sup> Cele din partea stângă și din mijloc au prezentat daune termice extinse, în timp ce cele din spate au avut mai puține.

Deși bateria a prezentat daune termice, o mare parte a rămas intactă. Durata incendiului de după accident și reaprinderile multiple ale bateriei au fost dovezi că bateria conținea

<sup>35</sup> Toate bateriile discutate în această secțiune a raportului au avut aceeași configurație de bază. Cititorii sunt invitați să consultați figura 5 din secțiunile în care este descrisă deteriorarea bateriei la celelalte vehicule.

<sup>36</sup> Fiecare modul din bateria SUV-ului avea 515 celule.

<sup>37</sup> Spațiile dintre modulele carcasei bateriei conțineau șiruri de mici orificii de aerisire care găzduiau supape unidireționale care ar descărca gazul fierbinte în caz de evadare termică. Supapele au fost poziționate pentru a direcționa gazul de aerisire departe de habitacul.



energie blocată. Cantitatea de energie eșuată nu a putut fi măsurată direct, totuși, deoarece terminalele de conectare ale modului erau inaccesibile.

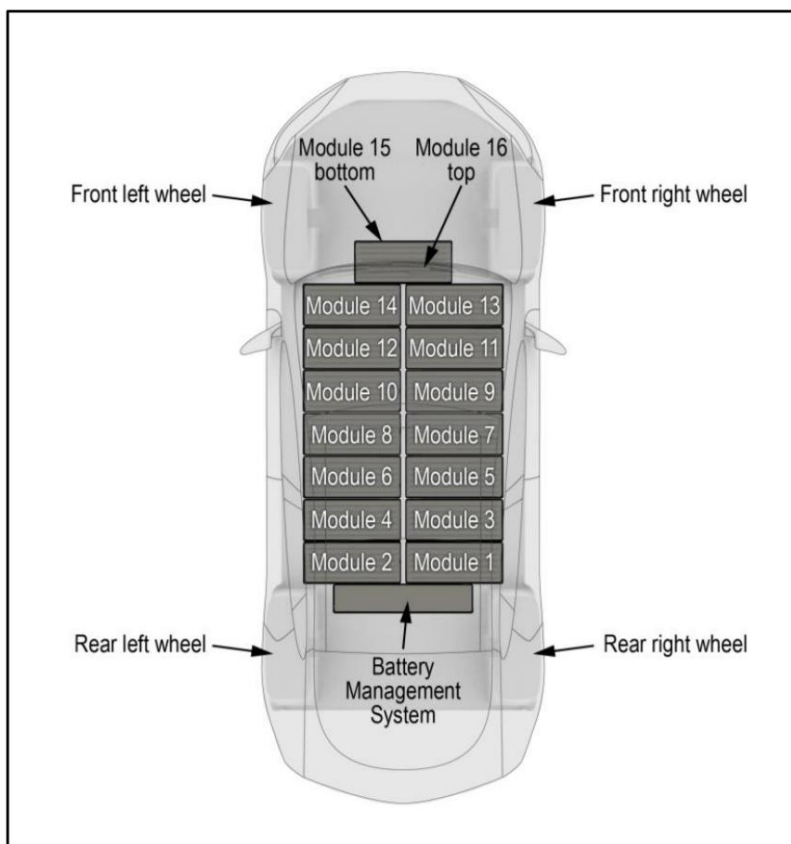


Figura 5. Aranjamentul modulelor bateriei litiu-ion ale SUV-ului.

## 2.2 Mountain View, California, martie 2018

Pe 23 martie 2018, la ora 9:27, ora de vară a Pacificului, un SUV Tesla model X din 2017 circula pe US Highway 101 (US-101) în comitatul Santa Clara, California. SUV-ul a intrat într-o zonă asfaltată, care despărțea principalele benzi de circulație ale US-101 de State Route 85 și a lovit un atenuator de accident deteriorat, neoperațional, la capătul unei bariere de beton, la 71 mph.<sup>38</sup> SUV-ul s-a ciocnit cu alte două mașini și a luat foc după ce s-a oprit (figura 6). Șoferul a murit din cauza rănilor traumatice suferite în accident.<sup>39</sup>

<sup>38</sup> Un atenuator de impact este un tip de hardware de siguranță în trafic conceput pentru a proteja șoferii prin reducerea forțelor de coliziune asupra unui vehicul. Când partea din față a unui vehicul lovește un atenuator, dispozitivul se telescoapează în spate și ajută la absorbția energiei de impact a vehiculului care se ciocnește. Atenuatoarele sunt de obicei plasate în fața structurilor fixe de pe autostrăzi, cum ar fi barierele care separă benzile de circulație. Consultați raportul de recomandare de siguranță al NTSB legat de coliziunea cu atenuatorul din Mountain View (NTSB 2019a).

<sup>39</sup> Pentru mai multe detalii, consultați raportul NTSB privind investigația sa asupra prăbușirii din Mountain View (NTSB 2020a).

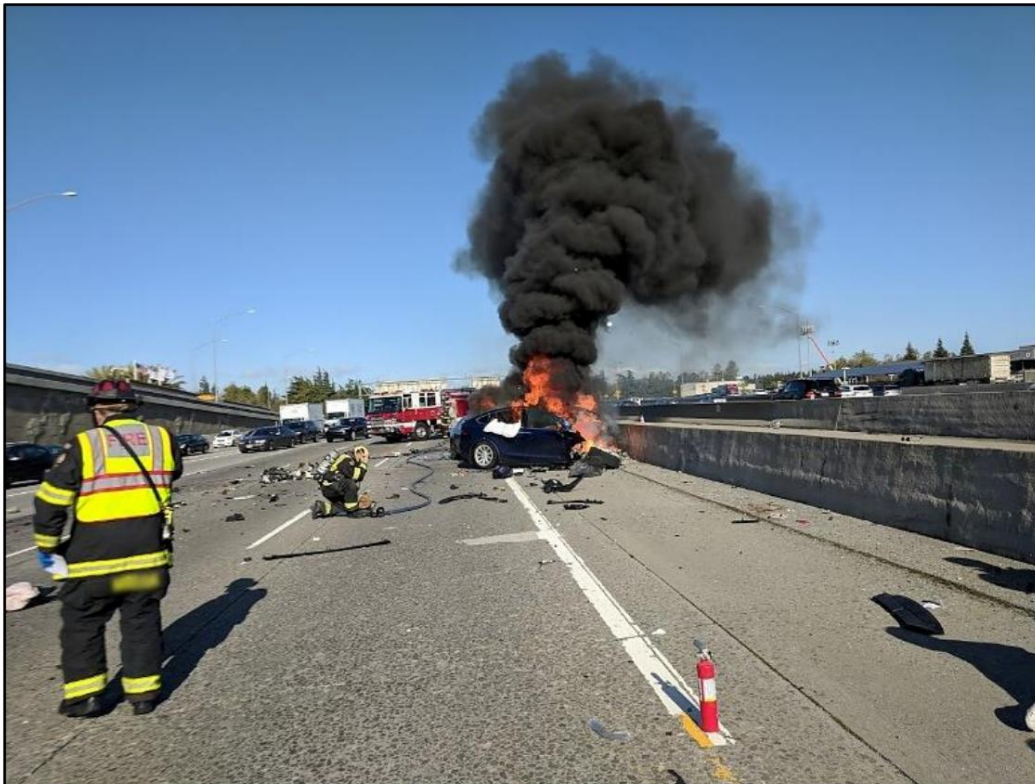


Figura 6. SUV-ul care arde pe US-101 spre nord după accident. (Sursa: martor S. Engleman)

### 2.2.1 Răspunsul inițial

Primul apel de urgență la 911 a fost primit la ora 9:28. Trei minute mai târziu, Departamentul de Pompieri din Mountain View a trimis echipamente și personal la locul accidentului (trei unități de motoare, o unitate de salvare și un camion pentru îngrijirea pacientului, stingerea incendiilor și echipamente). sau recuperarea personalului). Aparatul de pompieri și unitățile de salvare au sosit între orele 9:37 și 9:40. Patrula de autostradă din California s-a alăturat răspunsului la fața locului la 9:46 și a coordonat lucrările.<sup>40</sup>

Pompierii le-au spus anchetatorilor NTSB că incendiul vehiculului a fost stins rapid, folosind un amestec de apă și spumă. Ei au estimat că stingerea incendiului vehiculului a durat doar aproximativ 30 de secunde pentru față și un timp similar pentru spate, folosind aproximativ 200 de galoane de apă și spumă. Arcul electric a fost vizibil în partea din față a vehiculului în timpul stingerii incendiului. După ce flăcările au fost stinse, s-au auzit zgomote intermitente, însoțite de fum, care i-au determinat pe pompieri să aplice mai multă apă. În epavă erau vizibile cabluri electrice expuse. Pompierii au încercat să folosească un „stick fierbinte” pentru a măsura tensiunea pe suprafețele vehiculului și pe cablurile expuse, dar nu a dat o citire, deoarece a fost conceput pentru a detecta tensiunea de curent alternativ.<sup>41</sup>

<sup>40</sup> O documentație suplimentară privind răspunsul în caz de urgență poate fi găsită în Factorii de supraviețuire și vehicule raport în [dosarul public](#) pentru ancheta Mountain View (ID accident NTSB HWY18FH011).

<sup>41</sup> Un baston fierbinte este un dispozitiv de siguranță care constă dintr-un stâlp izolat pe care respondenții îl pot folosi pentru a contacta obiectele sub tensiune. de la o distanță sigură. Se dezvoltă o nouă tehnologie pentru măsurarea tensiunii continue (Kane 2018).

Din cauza îngrijorărilor legate de tensiunea înaltă și de energia eșuată asociată cu bateria litiu-ion, comandantul de incident al departamentului de pompieri a contactat producătorul cu privire la acțiunile suplimentare necesare pentru a asigura siguranța vehiculului. Unul dintre inginerii de baterii ai producătorului a sfătuit că vehiculul nu este în siguranță din cauza amplorii daunelor și că tot personalul ar trebui să stea departe de SUV până când acesta poate fi evaluat de către reprezentanții producătorului. (Accidentul a avut loc nu departe de sediul producătorului și de fabrica acestuia.)

Șeful batalionului departamentului de pompieri a coordonat cu Patrula de Autostrăzi din California, care a fost de acord să țină autostrada închisă și să aștepte sprijinul producătorului. În timp ce personalul de intervenție așteaptă, un sunet puternic a venit de la SUV, dar nu a fost evident niciun incendiu, așa că nu a mai fost întreprinsă stingerea incendiului. Producătorul a trimis doi ingineri de baterii, care au sosit la fața locului în jurul orei 12:30. Au încercat să îndepărteze piesele deteriorate ale bateriei și au plasat celule slăbite ale bateriei și alte componente ale bateriei, inclusiv modulul 16 (care era în epavă, dar s-a îndepărtat din carcasa bateriei) într-o găleată mare umplută pe jumătate cu apă.

În timp ce inginerii încercau să îndepărteze componentele deteriorate ale bateriei, din vehicul au venit din nou zgomote de zgomot și s-a observat că podeaua SUV-ului se mișca. Inginerii s-au îndepărtat de vehicul și au stabilit că încercările ulterioare de a îndepărta piesele deteriorate ar fi nesigure. O mare parte a bateriei părea a fi intactă, ceea ce a făcut ca bateria să fie de înaltă tensiune

risc de siguranță.

Inginerii au stabilit că SUV-ul nu poate fi stabilizat la fața locului și că ar trebui a fi eliminat. Inginerii au spus că cel mai bine ar fi să mențineți vehiculul pe o suprafață plană pentru a evita îndoirea structurii vehiculului (care ar putea reaprinde bateria), dar pentru că patul camionului de tractare care a venit la fața locului era din metal, s-au folosit blocuri de lemn. pentru a menține izolarea electrică. Inginerii au sfătuit ca o mașină de pompieri să escorteze camionul de remorcare, în ciuda faptului că anticipau o călătorie de o oră până la curtea de remorcare, așa că a fost asigurată o escortă. SUV-ul a fost încărcat în camionul de remorcare, iar locul a fost eliberat la 15:05.

### 2.2.2 Răspuns secundar

Camionul de remorcare care transporta SUV-ul a fost escortat de către California Highway Patrol și Departamentul de Pompieri din Mountain View la o curte sechestrată din San Mateo, California. Au urmat inginerii. SUV-ul a sosit în curte la ora 16:17. Inginerii le-au spus anchetatorilor NTSB că au subliniat importanța de a lăsa o rază de 50 de picioare în jurul vehiculului, așa cum este recomandat de ghidul de răspuns la urgență al producătorului, dar că nu era suficient spațiu în curte, așa că muncitorii au făcut tot ce au putut pentru a separa SUV-ul de obiectele care păreau a fi inflamabile.

Potrivit inginerilor, la aproximativ 20 de minute după ce SUV-ul a sosit în curtea sechestrului, un ofițer din California Highway Patrol a auzit zgomote venind din epavă și a sunat la Departamentul de Pompieri din San Mateo. O mașină de pompieri a sosit la ora 16:46 Pompierii au monitorizat SUV-ul cu camere termice, dar nu au luat nicio măsură de stingere a incendiului. Mașina de pompieri a fost expediată din nou la curtea sechestrată mai puțin de o oră mai târziu (la 17:20), după ce bateria s-a reaprins. Echipaje

a monitorizat vehiculul, dar focul s-a stins de la sine, iar pompierii nu au luat nicio măsură de stingere a incendiului<sup>42</sup>.

Bateria s-a reaprins din nou la 5 zile după accident. La 19:01 pe 28 martie, un agent de securitate a raportat un incendiu în curtea sechestrului. Văzuse fum ieșind de sub o prelată care fusese așezată peste epava SUV-ului. Anchetatorii din California Highway Patrol au inspectat vehiculul mai devreme în aceea zi și, în cursul îndepărtării echipamentelor electronice, stăteau pe părți ale vehiculului, lângă partea din față a carcasei bateriei.

Potrivit jurnalului de expediție al Departamentului de Pompieri San Mateo, pompierii au sosit la ora 19:09 și au raportat flăcări cu înălțimea de 8 până la 12 inci provenind din partea dreaptă față a SUV-ului. Pompierii au stins focul cu apă și spumă. O cameră de securitate a înregistrat un pompier care aplica apă și spumă pe SUV, care era încă parțial acoperit de prelată și de un semn rutier care fusese folosit pentru ancorarea prelatei (figura 7).



Figura 7. Imagine din videoclipul de securitate din curtea securizată care arată un pompier turnând apă pe SUV în dreapta, parțial acoperit cu prelată și indicator rutier; mașina de pompieri este vizibilă în stânga. (Sursa: Atlas Towing)

A fost folosit un furtun cu o capacitate de 90 de galoane pe minut până când a epuizat cei 500 de galoane de apă ai motorului, după care pompierii au pus o conductă de alimentare la un hidrant de incendiu. Au aplicat aproximativ 600 până la 700 de galoane de apă timp de 30 până la 40 de minute, dar focul a continuat să emită fum și să ardă. Șeful batalionului aflat la fața locului le-a spus anchetatorilor NTSB că pompierii sunt îngrijorați de riscul ca energia electrică să circule în sus pe cursul apei și au început și au oprit cu precauție aplicarea apei.<sup>43</sup> Pompierii au telefonat inginerilor producătorului, care

<sup>42</sup> Micile celule de baterie litiu-ion utilizate în baterie au fost proiectate pentru a crea o separare robustă între celule. În acest caz, designul respectiv a fost un factor în care reaprinderile s-au oprit fără alte intervenții și fără a consuma restul bateriei.

<sup>43</sup> În 2013, NFPA a comandat cercetări (raportate în Long și alții 2013) privind potențialul ca pompierii să sufere șocuri electrice din fluxul de apă folosit pentru a suprima incendiile vehiculelor electrice - o îngrijorare deoarece apa este un conductor electric. Cercetările au arătat că curentul electric dintre șasiul vehiculului și duza furtunului de incendiu folosit în teste a fost neglijabil, la fel ca și nivelurile de tensiune la duză. Nu au fost observate condiții electrice nefavorabile. Ca rezultat al testelor, ghidurile de urgență ale NFPA (vezi NFPA 2018) includ o declarație conform căreia „Folosirea apei sau a altor agenți standard nu prezintă un pericol electric pentru personalul de stingere a incendiilor”.

i-a sfătuit să aplice spumă și că electricitatea „nu ar trebui să fie un mare risc”, în cuvintele șefului. La ora 20:10, după aproximativ 5 minute de aplicare a spumei, nu a mai fost observat fum sau foc.

Pompierii au monitorizat vehiculul cu o cameră termică (au verificat și temperatura din găleata cu apă care conținea piesele bateriei asamblate la fața locului). Un inginer de la producător a sosit și a monitorizat vehiculul pentru fum suplimentar, dar nu a apărut niciunul. O unitate de materii periculoase a Departamentului de Pompieri din San Mateo a testat scurgerea incendiului și a stabilit că este toxic. A Echipajul de lucrări publice a fost adus pentru a aspira aproximativ 600 de galoane de apă, spumă și fluide ale vehiculului din cel mai apropiat canal de scurgere.<sup>44</sup> Scena a fost declarată sigură la 21:50.

Combinând răspunsurile inițiale și secundare, un total de aproximativ 1.400 de galoane de apă iar spuma a fost folosită pentru a stinge incendiile bateriei.

### 2.2.3 Inspecție după accident

Anchetatorii de la NTSB și reprezentanții ai Patrului de Autostrăzi din California au inspectat SUV-ul pe 27 și 28 martie 2018 și din nou pe 6 aprilie 2018. Lor li s-au alăturat în curtea sechestrului pe 6 aprilie o mașină de pompieri și un echipaj de la San Mateo. Departamentul de Pompieri și de către inginerii de la producător, care au încercat să dezalimenteze bateria litiu-ion de înaltă tensiune a vehiculului (înlătură energia eșuată).

Conform discuțiilor cu producătorul, bateria de înaltă tensiune a SUV-ului avea un port de descărcare sub carcasa bateriei, acoperit de un panou, care putea fi folosit pentru descărcarea bateriei. Pentru a accesa portul, inginerii au ridicat vehiculul pe blocuri de lemn, dar doar suficient de sus pentru a accesa portul, astfel încât să minimizeze mișcarea vehiculului. Partea inferioară a SUV-ului părea nedeteriorată de efectele fizice sau termice.

Inginerii au scos panoul, apoi au scos ștecherul din portul de descărcare. Apa și resturile s-au scurs din port, iar noroiul și resturile au putut fi văzute pe interiorul capacului. Apa și resturile făcuseră nefuncțional conectorul electric al portului. Inginerii au încercat să conecteze un aparat de descărcare la bornele expuse ale bateriei de la modulul 14, în partea din față a carcasei bateriei rupte (consultați diagrama bateriei din figura 5, secțiunea 2.1.3). Calculatorul aparatului de descărcare a arătat că terminalul nu era conectat la o baterie funcțională, ceea ce însemna că terminalul nu putea fi folosit pentru descărcare.

Tensiunea dintre bara bus pozitivă expusă a modulului 14 și carcasa bateriei măsurat 25,4 volți și aproximativ 3 volți au fost măsurați în alte zone ale bateriei deteriorate.<sup>45</sup> Deși tensiunea măsurată nu a fost la fel de mare ca valoarea periculoasă pentru tensiunea de curent continuu (50 până la 60 de volți), valorile au indicat prezența componentelor sub tensiune și a fost asumat riscul de înaltă tensiune. Au fost luate în considerare opțiuni pentru tăierea sau reducerea în alt mod a barei expuse, dar nu au putut fi încercate cu instrumentele disponibile. În schimb, s-au făcut eforturi pentru a izola terminalul expus. Cablurile de înaltă tensiune portocalie expuse (nu buclele tăiate menționate mai devreme) au fost măsurate și s-a constatat că nu au potențial electric.

---

<sup>44</sup> Un specialist San Mateo în domeniul sănătății mediului și al materialelor periculoase s-a consultat cu departamentul de pompieri pentru a stabili ce măsuri trebuie întreprinse.

<sup>45</sup> O magistrală electrică, sau bară, colectează și distribuie curentul, furnizând energie diferitelor subsisteme ale unui vehicul.

Inginerii au încercat să stabilească o conexiune computerizată la sistemul de management al bateriei de sub bancheta din spate a SUV-ului. Accesul a fost realizat prin îndepărtarea materialului ars și tăierea structurii vehiculului. Bateria de 12 volți care alimenta sistemul de management al bateriei fusese deplasat în accident. A fost stabilită o sursă alternativă de alimentare și a fost atașat un computer la punctele corespunzătoare. Încercările de a comunica cu sistemul de management al bateriei au eșuat. Deoarece bateria nu a putut fi deconectată și nu au putut fi obținute informații despre starea bateriei, bateria a fost inspectată manual, luând măsurile electrice și de siguranță corespunzătoare la incendiu.

Partea din față a SUV-ului a fost grav avariată. Lipsa bucla de tăiere de înaltă tensiune, aflată în mod normal la baza parbrizului, la fel ca întregul motor electric frontal și alte componente.<sup>46</sup> Au fost expuse cablurile portocalii care duceau la motor și alte puncte de conectare de înaltă tensiune (figura 8). Încercările de măsurare a tensiunii au fost neconcludente și s-a presupus că orice terminale expuse, precum și componentele deteriorate ale bateriei, prezintă un risc de înaltă tensiune.



Figura 8. SUV deteriorat cu cabluri portocalii de înaltă tensiune expuse în fața scaunului din față.

Îndepărtarea materialelor arse din partea din față a carcasei bateriei, chiar în fața scaunelor din față, a arătat că capacul bateriei din oțel de peste modulele 15 și 16 s-a desprins și a fost poziționat peste modulele 13 și 14 (consultați diagrama bateriei din figura 5), secțiunea 2.1.3). Modulele din spatele modulelor 15 și 16 păreau a fi intacte, deși carcasa din jurul modulelor 13 și 14 a fost deteriorată. Gurile de ventilație au arătat dovezi de activitate termică la modulul 8 și la modulele 10 până la 14 (indicând faptul că apărările termice încorporate ale bateriei au funcționat așa cum sunt proiectate pentru a descărca fierbinte

---

<sup>46</sup> Unele vehicule electrice, inclusiv modelul X, au motoare electrice duble, unul pentru roțile din față și altul pentru roțile din spate.



gazele generate de fuga termică).<sup>47</sup> Modulele 15 și 16 au fost prea deteriorate pentru a stabili starea orificiilor de aerisire a acestora. Toate celelalte orificii de ventilație păreau a fi nedeteriorate.

Bateria s-a reaprins de cel puțin șase ori a fost o dovadă că conținea energie eșuată, susținută de măsurătorile potențialului electric și prezența celulelor intacte.

Scoaterea carcasei bateriei pentru o inspecție ulterioară a fost considerată nesigură. Prin urmare, energia eșuată rămasă în baterie nu a fost evaluată.

## 2.3 Fort Lauderdale, Florida, mai 2018

Marți, 8 mai 2018, la ora 18:46, ora de vară de est, o mașină Tesla model S din 2014, ocupat de un șofer și doi pasageri, circula pe un drum urban din Fort Lauderdale, Comitatul Broward, Florida. Mașina s-a apropiat de o curbă în timp ce se deplasa cu o viteză înregistrată de 116 mph într-o zonă de 30 mph.<sup>48</sup> Mașina a părăsit șosea și a izbucnit în flăcări după ce a lovit peretele de lângă o alee rezidențială. Mașina a reintrat pe șosea, a lovit un stâlp de lumină și s-a oprit pe aleea unei reședințe adiacente (figura 9). Șoferul și pasagerul din față au suferit răni mortale. Pasagerul din spate a suferit răni grave.<sup>49</sup>

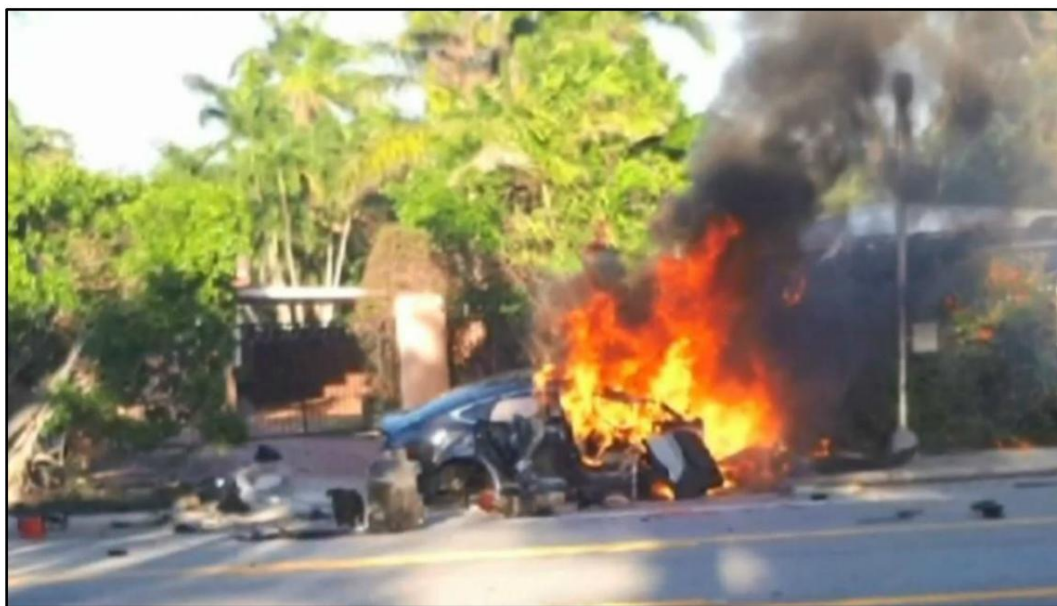


Figura 9. Mașină care arde lângă calea de acces rezidențială după accident. (Sursa: CBS4 Miami)

### 2.3.1 Răspunsul inițial

Centrul de apeluri din județul Broward a primit primul apel la 911 despre accident la ora 18:46. Unitățile de poliție au sosit la fața locului la 6:49 pm. Pompierii de la Fort Lauderdale Fire Rescue au fost trimiși la 6:46 pm și au ajuns la fața locului 4 minute mai târziu. Când au sosit pompierii, greu

---

<sup>47</sup> După cum sa menționat mai devreme, supapele din orificiile de ventilație au fost poziționate pentru a direcționa gazele fierbinți departe de habitacul.

<sup>48</sup> Curba a avut o viteză avizată de 25 mph.

<sup>49</sup> Pentru mai multe detalii, consultați raportul NTSB cu privire la investigarea accidentului din Fort Lauderdale (NTSB 2019b).

din partea din față a mașinii veneau flăcări, iar căldura era intensă, potrivit șefului batalionului aflat la fața locului. Echipajul motorului a aplicat pe foc o spumă/agent de umectare. După ce motorul a consumat jumătate din cei 500 de galoane de apă din rezervorul său, a fost stabilită o linie de alimentare către un hidrant la aproximativ 150 de picioare nord de motor, iar pompierii au continuat să atace incendiul.

După ce au stins incendiul din interiorul mașinii, care a durat mai puțin de un minut, pompierii s-au concentrat asupra incendiului din colțul din dreapta față al mașinii. Pompierii au raportat că căldura a fost intensă și că au putut vedea arc electric. Șeful batalionului le-a spus anchetatorilor că a venit focul dintr-un modul de baterie litiu-ion care a fost depus sub stâlpul A al mașinii.<sup>50</sup> Modulul se rupsese, iar celulele individuale ale bateriei din interior erau vizibile. Pompierii au estimat că au folosit între 200 și 300 de galoane de apă și spumă pentru a opri flăcările și arcul electric. Două bucăți mari din baterie fuseseră complet separate de vehicul și au fost găsite în stradă. Deși piesele nu păreau să fie în flăcări, pompierii le-au aplicat apă și spumă. Partea principală a bateriei de înaltă tensiune era încă conectată la mașină, dar căzuse la pământ.

Șeful batalionului le-a spus anchetatorilor că, atunci când a ajuns la fața locului, a folosit „aplicația Tesla” (ghidul online de răspuns în situații de urgență al companiei) pentru a „obține o explicație detaliată a vehiculului și unde tăiem și fără tăieturi și lucruri de acest fel. au fost. Și indicase unde erau amplasate bateriile sub vehicul.”<sup>51</sup>

### 2.3.2 Răspuns secundar

În cadrul anchetei și curățării poliției, vehiculul și resturile asociate au fost încărcate în camioane de tractare. Operatorul unui camion le-a spus anchetatorilor NTSB că a participat la un curs de instruire Tesla și că era familiarizat cu vehiculele companiei. El a spus că, în timp ce transporta mașina pe camionul său (în jurul orei 19:45), întreaga carcasă a bateriei s-a separat de vehicul. Bateria s-a reaprins, dar o scurtă aplicare de apă și spumă a stins incendiul. Operatorul a spus că bateria s-a reaprins pentru scurt timp când un lanț a trecut peste carcasa bateriei în timp ce bateria și două grămezi de resturi erau încărcate într-un camion separat (aproximativ 20:00). Bateria s-a autostins (nu s-a efectuat stingerea incendiului).

În timp ce era descărcată la curtea de remorcare la aproximativ 3 ore după accident, carcasa bateriei și modulele au arcut pentru scurt timp și au dat fum, dar bateria s-a autostins din nou, fără a fi efectuată nicio stingere a incendiului. La curtea de remorcare, vehiculul și resturile au fost depozitate afară. Angajații de la curtea de remorcare lucraseră anterior cu vehicule electrice și erau conștienți că ar trebui izolate. Angajații au pus grămezile de resturi la aproximativ 20 de picioare de alte obiecte sau vehicule. O grămadă a constat dintr-un pachet de baterii pe un palet de lemn cu alte piese de mașină libere, învelite în plastic transparent. Al doilea morman era format din resturi învelite într-o prelată grea.

---

<sup>50</sup> Stâlpul A al unei mașini este o piesă structurală verticală care susține parbrizul și partea din față a plafonului.

<sup>51</sup> O caracteristică standard a ghidurilor de răspuns în caz de urgență ale producătorilor descrise în secțiunea 4.5 este o diagramă care arată unde pompierii pot tăia în siguranță structura vehiculului (pentru a elibera ocupanții) fără a lovi elementele de înaltă tensiune sau alte pericole.



### 2.3.3 Inspecție după accident

Pe 7 iunie 2018, NTSB s-a întâlnit la curtea de remorcare cu reprezentanți ai Departamentului de Poliție din Fort Lauderdale și ai Patrolului de Autostradă din Florida pentru a inspecta vehiculul (figura 10) și grămezile de resturi. Obiectele împachetate în prelată au fost îndepărtate și așezate lângă vehicul. În prelată au fost găsite celule individuale ale bateriei, precum și anvelopa din față dreapta și resturi mici. Articole mari, inclusiv ușa din stânga din față, motorul electric față, ansamblul roții din față dreapta și modulele bateriei deteriorate care s-au separat de vehicul (determinate a fi modulele 15 și 16), au fost găsite deasupra carcasei bateriei în al doilea moloz. grămadă (figura 11).

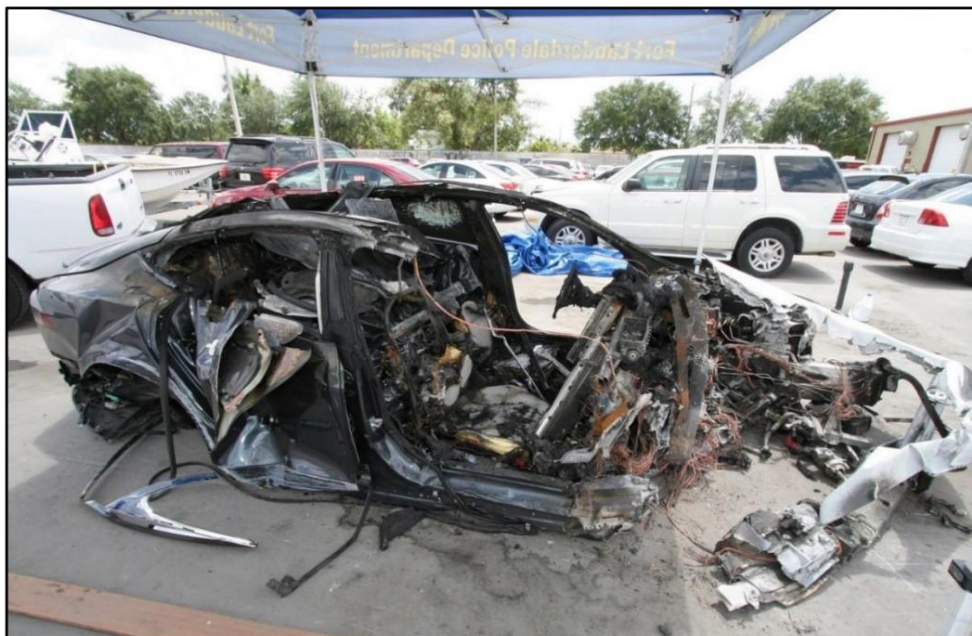


Figura 10. Mașină parcată la curtea de remorcare care prezintă un accident grav și daune provocate de incendiu.



Figura 11. Morman de resturi pe palet cu resturi de motor electric și module de baterie evidențiate.

Bucă tăiată de înaltă tensiune a fost găsită atașată la motorul electric frontal și nu fusese întreruptă. Pompierii le-au spus anchetatorilor că buclă tăiată a fost inaccesibilă în timpul intervenției la incendiu. Revizuirea buclei de tăiere, a ghidului de răspuns în caz de urgență și a vehiculelor exemplare a evidențiat o inconsecvență minoră în instrucțiunile buclei de tăiere, astfel încât, la unele vehicule, eticheta buclei tăiate ar putea fi ascunsă sub un panou ornamental. Acest model de vehicul, fabricat după iunie 2013, avea și o buclă tăiată la tocul ușii din stânga spate, în cazul în care buclă tăiată față nu era accesibilă. Atingerea buclei tăiate din spate a necesitat pătrunderea în tocul ușii cu un ferăstrău circular la o adâncime indicată de o etichetă la locul buclei tăiate. S-a constatat că eticheta a fost atașată incorect pe ușa din dreapta spate a vehiculului, unde nu a fost instalată nicio buclă tăiată. Pompierii nu au încercat să folosească buclă tăiată din spate.

Carcasa bateriei a fost grav deteriorată și ruptă pe toată lungimea suprafeței frontale și extinzându-se în zona modulelor 13 și 14, care au fost montate chiar în spate. modulele 15 și 16 (figura 12).<sup>52</sup> Două găuri neregulate se topiseră prin carcasa bateriei, variind de la 3 la 5 inci în diametru. Unul era în partea de sus a carcasei bateriei și ar fi fost între scaunele din față în vehiculul intact. Celălalt era pe fundul carcasei și corespundea unei orificii prin podeaua vehiculului, în aproximativ aceeași locație. Fotografia din figura 12 arată capacul din oțel de pe partea de sus a carcasei bateriei. Locația corespunde intersecției a patru module de baterie (nr. 11, 12, 13 și 14) și este locația punctelor de conectare de înaltă tensiune. Carcasa bateriei a fost semnificativ deformată și deformată în această zonă.



Figura 12. Suprafața superioară a părții anterioare a carcasei bateriei care arată deteriorarea față și orificiul topit prin capacul din oțel (încercuit), cu modulele numerotate.

Anchetatorii au inspectat gurile de ventilație ale modulului și au găsit fie apă și resturi, fie rămășițe de spumă de stingere a incendiilor în toate canalele de aerisire. Au găsit dovezi ale daunelor termice și

<sup>52</sup> După cum sa menționat mai devreme, la toate vehiculele Tesla, carcasa bateriei este montată sub podea.

aerisire la orificiile de ventilație pentru modulele 9, 12, 13 și 14.<sup>53</sup> Starea orificiilor de ventilație pentru modulele 15 și 16 a fost ascunsă de deteriorarea accidentului. Anchetatorii au scos capacul pachetului de baterii pentru a accesa bornele de înaltă tensiune și au măsurat tensiunile pe fiecare modul – la borna din față la masă și la borna din spate la masă. Modulul 14 avea tensiune zero. Modulele 6 până la 13 și modulele 15 și 16 aveau tensiuni cuprinse între 3,3 și 46,9 volți. Tensiunile modulelor de la 1 la 5 au variat de la 69,9 la 167,3 volți. Măsurătorile au confirmat că energia eșuată a rămas în bateria litiu-ion de înaltă tensiune.

## 2.4 West Hollywood, California, iunie 2018

Vineri, 15 iunie 2018, în jurul orei 17:30, ora de vară a Pacificului, o mașină Tesla model S din 2012 circula pe un drum urban din West Hollywood, județul Los Angeles, California. Alți șoferi au văzut fum din mașină și l-au oprit pe șofer. Șoferul a oprit și a părăsit vehiculul, care a luat apoi foc. Șoferul a fost nevătămat. O mașină de patrulă a Departamentului Sheriff-ului din Los Angeles a oprit, iar ofițerii au direcționat traficul în jurul mașinii care ardea. După ce pompierii de la o stație de pompieri din apropiere din Los Angeles County au stins incendiul, vehiculul a fost remorcat fără incidente.<sup>54</sup>

Două persoane au surprins videoclipuri ale evenimentului — un spectator și șoferul. Videoclipul realizat de trecător a surprins partea stângă a mașinii. Figura 13 este o imagine statică luată de la cei din jur video care prezintă incendiul în spatele roții din stânga față și în compartimentul roții din stânga spate (cercuri mari), precum și bucăți de material aruncate din vehicul (cercuri mici). Imaginea a fost făcută la 26 de secunde de la începutul înregistrării trecătorului și a avut loc în 2 minute de la începutul incidentului.



Figura 13. Imagine din videoclipul spectatorului cu foc vizibil în spatele roții din stânga față și în compartimentul roții din stânga spate. (Sursa: Departamentul Sheriffului din Los Angeles County)

<sup>53</sup> Un incendiu intens a izbucnit în apropierea roților din față ale mașinii, celulele bateriei slăbite ieșind din carcasă din cauza gazului evacuat rapid.

<sup>54</sup> Informații detaliate adunate în investigația NTSB a incendiului bateriei de la West Hollywood pot fi găsite în dosarul [public](#) (număr de caz NTSB HWY18FH014).



### 2.4.1 Răspunsul inițial

Potrivit raportului de incident al Departamentului de Pompieri din Los Angeles, alarma a venit la 17:38, mașina de pompieri a sosit la fața locului la 17:40, iar ultima unitate a degajat locul la 18:28. După ce pompierii au stins flăcările și au întrerupt bucla de deconectare de înaltă tensiune, au aplicat apă și spumă la diverse locații, inclusiv firewall și sub puțurile roților.<sup>55</sup>

Figura 14 este o imagine statică din videoclipul realizat de șoferul mașinii, care arată fum care ieși din partea din față a vehiculului după ce pompierii au stins flăcările. Imaginea a fost făcută la 14 minute și 34 de secunde de la înregistrare.

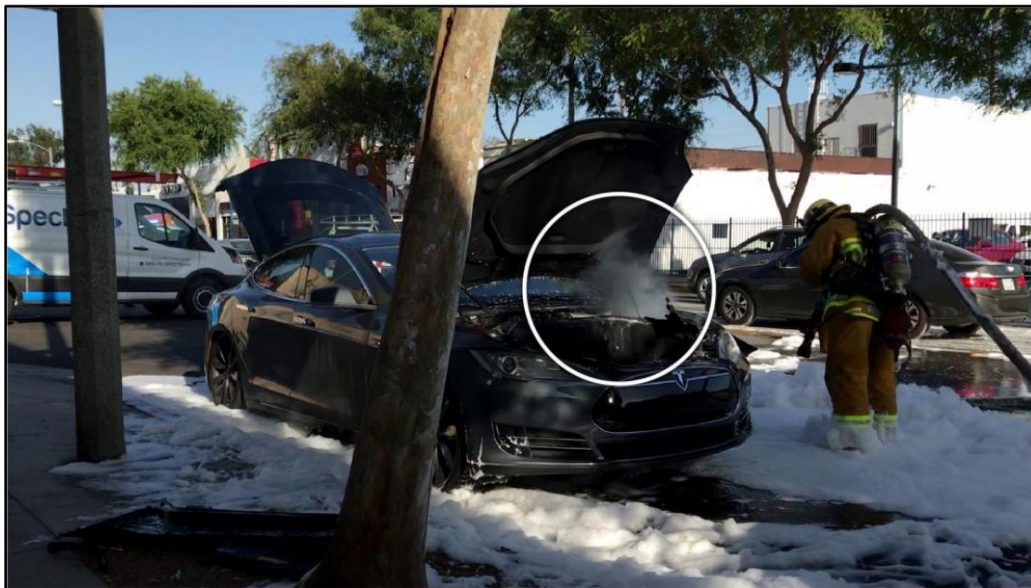


Figura 14. Imagine din videoclipul șoferului care arată mașina după ce flăcările au fost stinse, dar cu fum încă urcând (încercuit). (Sursa: șoferul mașinii)

Căpitanul pompierilor le-a spus anchetatorilor NTSB într-un interviu după incident că flăcările s-au stins rapid, dar că fumul a continuat să iasă din vehicul. Acesta a fost surprins de faptul că vehiculul a continuat să scoată fum și a spus că pompierii au aplicat apă mai mult timp (aproximativ 30 de minute) decât s-ar fi așteptat la un astfel de eveniment. El a estimat că pompierii au folosit 300 de galoane de apă și spumă și a spus că nu s-au conectat la un hidrant.

În efortul de a opri fumul, pompierii au îndepărtat părți ale aripilor față stânga și ale capotei vehiculului, folosind o bară de levier cu o gheară de tăiere a metalului și au aplicat apă și spumă suplimentară sub capotă și în spatele roților din față. Căpitanul pompierilor a spus că a fost surprins că, după ce bucla tăiată a fost întreruptă, ecranul computerului vehiculului a rămas aprins. (Căpitanul le-a spus anchetatorilor că a fost instruit în vehicule electrice și știa unde să găsească bucla tăiată.)

După ce au stins flăcările, dar cu fum încă prezent, proprietarul a sunat la reprezentantul producătorului vehiculului. Căpitanul pompierilor a vorbit cu reprezentantul, care i-a spus că bateria de 12 volți care alimenta computerul era separată de bateria principală și că după întreruperea buclei, sistemul de 12 volți va dura între 10 și 15 minute. putere scazuta. Căpitanul pompierilor

<sup>55</sup> Mașinile Model S fabricate înainte de 2013 au o singură buclă tăiată, în față.

a vorbit cu reprezentantul despre fumul continuu. I s-a spus că pompierii trebuie să aplice apă pentru a răci bateria de înaltă tensiune până când nu mai fumează.

#### 2.4.2 Răspuns secundar

Reprezentantul producătorului autovehiculului a sfătuit să nu tracteze imediat mașina, din cauza riscului ca bateria să se reaprindă. Căpitanul pompierilor a decis însă să mute autovehiculul de la fața locului pentru a deschide drumul circulației. Mașina a fost dusă la un teren sechestrat. Producătorul a contactat proprietarul și a primit permisiunea de a inspecta vehiculul; Compania apoi a cumpărat mașina pentru a face o investigație completă. Vehiculul a fost dus din lotul sechestrat la Burbank, California, pentru inspecție la una dintre unitățile de service ale producătorului (după cum este descris mai jos). Mașina a fost considerată sigură pentru transport. Apoi a fost dus la producător Centrul de cercetare din Sunnyvale, California, la câteva ore spre nord, pentru o inspecție completă și demontarea bateriei. Bateria nu s-a reaprins în niciun moment în timpul răspunsului inițial sau secundar.

#### 2.4.3 Inspecția post-incident

NTSB a primit acces la fotografiile de la inspecția Burbank. Pachetul de baterii a fost scos din vehicul, iar capacul pachetului a fost scos pentru a putea fi accesate bornele de înaltă tensiune. Toate modulele s-au dovedit a fi intacte, cu excepția modulului 14, care a fost singurul care a experimentat evadarea termică (consultați diagrama bateriei din figura 5, secțiunea 2.1.3). Modulul 14 a fost izolat electric, iar celelalte module au fost descărcate o stare de încărcare de aproximativ 50 la sută.<sup>56</sup> Reducerea încărcării bateriei la 50 la sută a permis un transport în siguranță, iar producătorul vehiculului a ales să nu dezactiveze complet bateria pentru a păstra dovezile. Producătorul a informat NTSB că inspecția sa nu a găsit niciun indiciu că un impact sau alt factor extern ar fi fost implicat în defecțiunea bateriei.

Anchetatorii NTSB au participat la o a doua inspecție în Sunnyvale pentru a vedea daunele aduse vehiculului, bateriei și carcasei bateriei și pentru a observa efectele evadării termice. Inspecția vehiculului a fost urmată de o demontare a acumulatorului. Carcasa bateriei prezenta găuri în partea stângă și în mijlocul față, care păreau a fi cauzate de aerisirea gazului. Figura 15 prezintă întregul pachet, cu zonele deteriorate încercuite și inserții care evidențiază detaliile daunelor. Daunele au creat căi pentru ca gazele și flăcările evacuate să ajungă atât la orificiile de suprapresiune din stânga, cât și din dreapta ale acumulatorului. Zonele deteriorate au fost fotografiate după ce au fost îndepărtate resturi și părți ale acumulatorului.

---

<sup>56</sup> Producătorul vehiculului a informat NTSB că a deconectat modulele bateriei conectându-le la un încălzitor proprietar cu coeficient de temperatură pozitiv. Astfel de încălzitoare folosesc cerneluri conductoare imprimate pe substraturi pe bază de polimeri pentru a genera căldură, mai degrabă decât fire și bobine și sunt autoreglabile, astfel încât să nu se supraîncălzească.



Figura 15. Pachet de baterii cu capacul superior scos pentru a arăta locația orificiilor în carcasa bateriei și inserții care arată în prim plan zonele deteriorate.

## 3 Alte incendii de baterii de înaltă tensiune

Deși toate cele patru investigații efectuate de NTSB (secțiunea 2) au implicat mașini sau SUV-uri Tesla, problema investigată a fost incendiile vehiculelor cauzate de bateriile litiu-ion de înaltă tensiune, nu designul vehiculului. În trei dintre cele patru investigații, bateriile fuseseră deteriorate în accidente de mare viteză și gravitate. Într-un caz, incendiul a rezultat dintr-o defecțiune internă a bateriei. În toate cazurile, incendiile bateriei au prezentat probleme unice primului și celui de-al doilea răspuns. După cum este ilustrat mai jos, bateriile litiu-ion de înaltă tensiune din vehiculele electrice de la alți producători au pus probleme similare pentru cei care au intervenit în situații de urgență atunci când carcasa bateriei sau celulele bateriei au fost deteriorate sau au defectat intern.

### 3.1 Chevrolet Volt Incendiu după testul NCAP

În iunie 2011, un Chevrolet Volt a luat foc la o unitate de testare la 3 săptămâni după un test de impact efectuat pe 12 mai. Testul de impact a fost efectuat ca parte a Programului de evaluare a mașinilor noi (NCAP) al NHTSA pentru vehiculele din anul model 2011 și pentru a verifica conformitatea cu Standardele Federale de Siguranță a Autovehiculelor (FMVSS). NCAP este un program federal de informare a consumatorilor care evaluează performanța noilor modele de automobile împotriva amenințărilor de siguranță precum accidentele.<sup>57</sup> (Alte țări operează programe similare.)

Testul de impact efectuat pe Chevrolet Volt în mai 2011 a fost un test de impact lateral (mașina a fost ciocnită lateral într-un stâlp rigid cu o viteză de până la 20 mph, cu un manechin plasat pe scaunul șoferului). Mașina a fost rotită de-a lungul axei longitudinale (rulată) la 90 de grade la sfârșitul testului pentru a verifica dacă există scurgeri de lichid. Ca rezultat al testului, NHTSA a acordat lui Volt un rating de cinci stele de siguranță în caz de accident - cel mai înalt.

La trei săptămâni după test, Volt a luat foc în timp ce era parcat în afara centrului de testare. Incendiul a afectat patru mașini din apropiere. Examinarea criminalistică a constatat că rigidizarea transversală de sub scaunul șoferului a pătruns în compartimentul bateriei lui Volt, a deteriorat bateria cu litiu-ion și a rupt sistemul de răcire cu lichid al bateriei. „ora testului”, conform raportului NHTSA despre incident (Smith 2012). Examinatorii au stabilit că incendiul a fost precipitat de deteriorarea celulelor bateriei și de scurtcircuitare electrică. Lichidul de răcire s-a scurs în celulele bateriei prin carcasa deteriorată a bateriei și s-a uscat în timp, creând scurtcircuite de la sărurile reziduale ale lichidului de răcire.

În septembrie 2011, NHTSA a repetat testul polilor laterali pe un alt Volt. Testul nu a replicat rezultatele celui original - nu a existat nicio intruziune în compartimentul bateriei, nicio deteriorare a celulei sau scurtcircuitare, nicio scurgere și nici un incendiu post-impact. Mașina a fost monitorizată timp de 3 săptămâni după aceea, fără activitate termică sau electrică observată în vehicul sau în baterie. NHTSA a efectuat apoi teste de impact pe șase baterii litiu-ion Chevrolet care fuseseră scoase din vehicule și atașate la suporturi fixe. Trei baterii au luat foc, una ca urmare a prinderii altei baterii

---

<sup>57</sup> NHTSA a anunțat într-un [comunicat de presă](#) pe 16 octombrie 2019, că plănuia să actualizeze NCAP în 2020, aniversarea a 40 de ani a programului.

<sup>58</sup> Un rigidizare este un suport structural care întărește și stabilizează caroseria vehiculului. În acest caz, rigidizarea era o grindă metalică care trecea dintr-o parte în alta pe sub scaunul șoferului.

foc. NHTSA a concluzionat că incendiile au fost cauzate de scurtcircuitarea electronică a bateriei, cauzată, la rândul său, de lichidul de răcire al bateriei care s-a scurs în compartimentul bateriei atunci când bateriile au fost răsturnate ca parte a testului.

În noiembrie 2011, NHTSA a anunțat că deschide o investigație privind defecțiunile de siguranță pentru a evalua riscul de incendiu la Chevrolet Volts care a fost implicat în accidente grave.<sup>59</sup> La încheierea investigației sale, NHTSA a emis un comunicat de presă în care afirmă: cred că Chevy Volts sau alte vehicule electrice prezintă un risc mai mare de incendiu decât vehiculele pe benzină” și că agenția a rămas „neștientă de niciun accident din lumea reală care a dus la un incendiu legat de baterie care implică Chevy Volt sau orice alt vehicul electric. vehicul.”<sup>60</sup> După incidentul de testare, General Motors a făcut modificări de design pentru a îmbunătăți rezistența carcasei bateriei la forțele de impact.

## 3.2 Exemple internaționale

Au fost documentate cazuri internaționale de incendii de baterii litiu-ion de înaltă tensiune. NTSB nu a fost implicat în investigațiile niciuna dintre aceste incendii și informații limitate sunt disponibile publicului. Trei cazuri care ilustrează problemele pe care le prezintă astfel de incendii pentru cei care răspund la situații de urgență și modul în care personalul de urgență a răspuns, sunt descrise mai jos.

### 3.2.1 Norvegia, martie 2017

La 30 martie 2017, Departamentul Norvegian de Pompieri și Salvare (NFRD) din regiunea Nedre Romerike a folosit un BMW i3 2017 donat, ușor deteriorat, într-un exercițiu de testare și antrenament.<sup>61</sup> Participanții la exercițiu au fost NFRD, Unitatea de Cercetare a Apărării din Norvegia, poliția locală, un serviciu local de ambulanță, o companie de asigurări și o companie de eliminare a bateriilor.

Exercițiul a constat în tăierea caroseriei și cadrului vehiculului (fără a atinge bateria), încercarea de a declanșa un scurtcircuit și incendiu prin zdrobirea vehiculului în diferite locuri cu un buldozer și conducerea unei tije metalice mari prin centrul vehiculului pentru a perfora bateria. Pierderea bateriei a dus la un incendiu, dar pompierii nu au putut opri fuga termică, iar focul a fost lăsat să se stingă de la sine.

Figura 16 ilustrează succesiunea evenimentelor folosind imagini dintr-o înregistrare video a exercițiului de antrenament. În timpul exercițiului au fost aplicate aproximativ 2.000 de galoane de apă și spumă.

---

<sup>59</sup> Vezi [comunicatul de presă](#) din 25 noiembrie 2011.

<sup>60</sup> Vezi [comunicatul de presă](#) din 20 ianuarie 2012.

<sup>61</sup> Vezi scrisoarea NFRD din 18 septembrie 2018, în [dosarul public](#) al NTSB pentru acest raport.





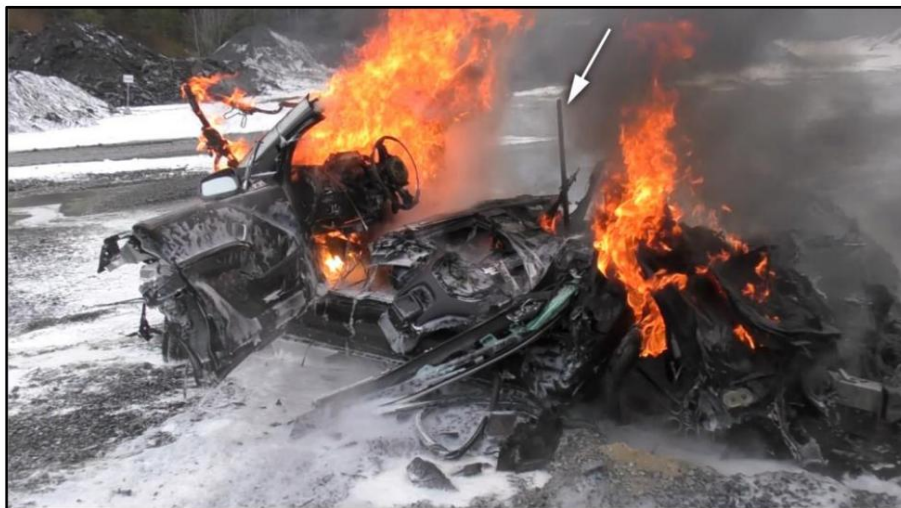
(A)



(b)



(c)



(d)

Figura 16. Serii de imagini care arată (a) încercarea de a declanșa un scurtcircuit prin zdrobirea mașinii cu buldozerul; (b) flăcări care izbucnesc la 8 minute după străpungerea mașinii cu tija de metal; (c) flăcările nu mai sunt vizibile, dar bateria continuă în fugă termică; și (d) focul care se stinge, cu săgeata îndreptată către tija de metal. (Sursa: video NFRD)

### 3.2.2 Belgia, mai 2017

Pe 13 mai 2017, un Mitsubishi Outlander PHEV, echipat cu o baterie litiu-ion de înaltă tensiune, a lovit un copac în Dilsen-Stokkem, Belgia, și a luat foc. Potrivit unei relatări publicate de Asociația Internațională a Serviciilor de Pompieri și Salvare (CTIF), o echipă de salvare a primit un apel că o mașină se afla împotriva unui copac cu o persoană prinsă înăuntru.<sup>62</sup> În timp ce o mașină de pompieri și o echipă de intervenție se deplasau la loc, un alt apel a informat echipa că vehiculul ar putea fi în flăcări. Comandantul a ordonat doi pompieri să se îmbrace cu aparate de respirat.

La sosirea pompierilor, din compartimentul motor al mașinii ieșea fum și se vedeau flăcări. Pompierii au ținut focul sub control și l-au eliberat pe șofer prin îndepărtarea stâlpului B al mașinii.<sup>63</sup> Șoferul a fost dus la un spital local, unde a murit din cauza rănilor.

Pompierii au deconectat bateria de 12 volți a mașinii și au aplicat apă pentru a răci compartimentul motorului. Înainte de a părăsi șantierul, aceștia au verificat vehiculul cu ajutorul unei camere termice. În timp ce mașina era transportată pe un camion, focul a reaprins, precedat de o bubuitură puternică și un jet albastru de flacără, potrivit șoferului camionului de remorcare. Solicitanții au pus mașina pe o parte, sperând să ajungă la bateria de înaltă tensiune. După „mult timp”, au găsit ștecherul de serviciu, l-au scos în timp ce purtau EIP recomandat (mănuși izolate electric și ecrane de protecție) și au stins incendiul. Pompierii au însoțit mașina într-un loc sigur.

<sup>62</sup> Vezi [contul publicat de CTIF](#) pe 7 martie 2018 (accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>63</sup> Stâlpul B este suportul vertical structural din spatele ușii din față a mașinii.

### 3.2.3 Țările de Jos, martie 2019

Pe 25 martie 2019, în Tilburg, Țările de Jos, pompierii au aruncat un BMW model i8 coupe într-o baie de apă, după ce mașina a început să fumeze în timp ce era expusă la o dealer (a se vedea figurile 17 și 18).<sup>64</sup> Mașina a fost ținută în apă timp de 24 de ore. După cum au explicat Detașamentul de Pompieri din Brabantul Central și de Vest într-un mesaj pe pagina sa de Facebook, „Stingerea unei mașini electrice necesită multă apă pentru o perioadă mai lungă de timp, parțial pentru că bateriile sunt greu de atins și focul se aprinde din nou celula după celulă.”<sup>65</sup>



Figura 17. BMW, după ce pompierii au încercat să stingă incendiul, cu macaraua poziționată deasupra și un val slab de fum vizibil deasupra parbrizului mașinii. (Sursa: Brigada de Pompieri din Brabantul Central și de Vest)

---

<sup>64</sup> Vedeți diverse știri online ([autorevoluție](#), 26 martie 2019; [Motor ilustrat](#), 26 martie 2019; [Stiri Motor 1](#), 26 martie 2019; [Energy Live News](#), 4 aprilie 2019) și [blogul BMW](#), 26 martie 2019 (toate accesate 12 noiembrie 2020). Incidentul este descris și în Roman (2020) și este citat într-un studiu suedez privind siguranța bateriilor de vehicule cu litiu-ion (Bisschop și alții 2019).

<sup>65</sup> (a) Vezi postarea originală [de pe Facebook](#), 26 martie 2019 (traducere Google) (accesată pe 12 noiembrie 2020). (b) The NTSB nu a putut confirma că bateria de înaltă tensiune a mașinii a fost sursa incendiului.



Figura 18. BMW încărcat într-un rezervor umplut cu apă. (Sursa: Brigada de Pompieri din Brabantul Central și de Vest)



## 4 Acțiuni de reglementare și industrie

De la începutul anilor 1990, atât organizațiile naționale, cât și internaționale au emis reglementări și standarde pentru vehiculele electrice și bateriile litiu-ion de înaltă tensiune care le alimentează. Printre organizațiile din SUA a căror activitate se referă la problemele de siguranță cu care se confruntă agenții de urgență se numără NHTSA, SAE International (SAE) și NFPA. Printre entitățile internaționale se numără Comisia Economică pentru Europa a Națiunilor Unite (UNECE) și Organizația Internațională pentru Standardizare (ISO).

### 4.1 Standardul federal de siguranță al vehiculelor cu motor din SUA 305

Pentru a vinde un vehicul în Statele Unite ale Americii, producătorii trebuie să certifice singuri că acesta îndeplinește cerințele de performanță FMVSS. FMVSS 305 se aplică în mod specific vehiculelor electrice.<sup>66</sup> Standardul a fost adoptat în septembrie 2000, în paralel cu participarea NHTSA la efortul Națiunilor Unite (descriș în secțiunea următoare) de a armoniza standardele globale pentru siguranța vehiculelor. Scopul inițial al FMVSS 305 a fost acela de a reduce decesele și rănilile cauzate de accident care ar putea apărea din cauza electrolitului vărsat din baterii, a pătrunderii bateriilor sau a convertoarelor electrice în habitacul sau a șocului electric:

- Nu este permisă vărsarea electrolitului în habitacul și nu se permite să se scurgă mai mult de 5,0 litri de electrolit în afara vehiculului în decurs de 30 de minute de la un test de coliziune și după un test de răsturnare static (efectuat după testele de coliziune cu barieră; vezi mai jos).
- Dispozitivele de stocare sau conversie a energiei electrice trebuie să fie ancorate de vehicul și să rămână atașate de cel puțin un punct de ancorare după testele de impact. Dispozitivele poziționate în afara compartimentului pentru pasageri nu trebuie să pătrundă în compartiment.
- Fiecare sursă de înaltă tensiune trebuie să îndeplinească una dintre cele trei cerințe: (1) trebuie să fie izolată electric de șasiul vehiculului; (2) tensiunea sa trebuie să fie sub nivelurile considerate protejate de pericolele de electrocutare (30 volți AC sau 60 volți DC); sau (3) trebuie să fie închisă într-o barieră fizică pentru a preveni contactul uman direct.<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> FMVSS 305, codificat la Titlul 49 Codul Reglementărilor Federale (CFR) 571.305, a fost adoptat în septembrie 2000 și a intrat în vigoare la 1 octombrie 2001 (65 Federal Register 57980). Titlul complet este „Vehicule cu propulsie electrică: deversări de electroliti și protecție împotriva șocurilor electrice”. Standardul se aplică autoturismelor și vehiculelor de pasageri multifuncționale, camioanelor și autobuzelor cu o greutate nominală brută a vehiculului de 4.536 kilograme (10.000 de lire sterline) care utilizează componente de propulsie electrică ale căror tensiuni de lucru sunt mai mari de 60 volți DC (sau 30 volți AC) și care poate atinge o viteză mai mare de 40 de kilometri pe oră (km/h; 25 mph) pe o distanță de 1,6 km (1 milă) pe o suprafață plană asfaltată.

<sup>67</sup> Standardul definește izolarea electrică ca fiind „rezistența electrică dintre sursa de înaltă tensiune și oricare dintre șasiul electric al vehiculului împărțită la tensiunea de lucru a sursei de înaltă tensiune”. Rezistența electrică se măsoară în ohmi. Cerințele minime de izolare electrică pentru componentele de curent continuu și sistemele de curent alternativ care au protecție fizică cu barieră (100 ohmi/volt) sunt mai mici decât pentru componentele de curent alternativ care nu au o barieră fizică (500 ohmi/volt).

Cerințele de mai sus ale FMVSS 305 sunt evaluate după ce un vehicul electric este testat la impact și apoi rulat pe axa sa longitudinală (răsturnare). Condițiile testului de impact sunt specificate de FMVSS 208 (CFR 571.208, „Protecția ocupantului în caz de accident”). Se administrează următoarele teste: (1) lovirea unei bariere frontale cu până la 48 km/h (30 mph); (2) să fie lovit din lateral de o barieră care se mișcă cu până la 54 km/h (33,6 mph) și (3) să fie lovit din spate de o barieră care se mișcă cu până la 80 km/h (50 mph).

FMVSS 305 cere ca bateriile de înaltă tensiune să fie marcate cu un triunghi galben care conține o săgeată neagră zimțată și mărginite cu negru. Marcajul nu este necesar pentru barierele de izolare electrică care nu pot fi accesate fără unelte sau pentru conectorii electrici sau priza de încărcare a vehiculului. Cablurile și componentele de înaltă tensiune trebuie identificate cu un înveliș portocaliu. Exteriorul unui vehicul nu trebuie să fie marcat pentru a indica locația buclilor tăiate de înaltă tensiune sau alte mijloace de deconectare a sistemului de înaltă tensiune. Standardul nu specifică o metodă de deconectare a alimentării de înaltă tensiune a vehiculului.

FMVSS 305 a fost modificat de nouă ori de când a intrat în vigoare în 2001. Cele mai recente modificări au fost făcute pentru a aduce reglementările SUA în armonie cu cerințele de siguranță electrică ale reglementărilor tehnice globale (GTR) pentru vehiculele cu hidrogen și cu celule de combustibil (GTR 13) i vehicule electrice (GTR 20).<sup>68</sup>

## 4.2 Regulamentul tehnic global pentru vehicule electrice

Din 1952, Națiunile Unite a condus un efort de a dezvolta reglementări tehnice pentru mașini și alte autovehicule care pot fi coordonate sau armonizate la nivel mondial. Un acord semnat în 1998, cunoscut sub numele de Acordul din 1998, a stabilit un proces pentru dezvoltarea în comun a GTR-urilor legate de autovehicule, echipamente și piese.<sup>69</sup> Statele Unite ale Americii sunt semnatare (parte contractantă) a Acordului din 1998. Un registru global al reglementărilor armonizate a fost creat în conformitate cu Acordul din 1998. Părțile contractante folosesc procesele individuale de reglementare ale țărilor lor pentru a încorpora GTR-urile în legile și reglementările lor naționale.

GTR 20, primul GTR axat pe siguranța vehiculelor electrice, a fost înscris în registrul global pe 14 martie 2018 (UNECE 2018). GTR 20 este faza 1 a unui proces de stabilire a standardelor globale uniforme pentru vehiculele electrice. Faza 2 se referă la testele de propagare termică, aerisirea și gestionarea gazelor eliberate după accident și cerințele pentru semnalele de avertizare. Un grup de lucru pentru siguranța vehiculelor electrice, înființat de Forumul Mondial pentru Armonizarea Vehiculelor

---

<sup>68</sup> FMVSS 305 a fost modificat în 2017 pentru a adopta cerințele de funcționare normală ale GTR 13 (82 Federal Register). 44945) și în 2019 să se armonizeze atât cu GTR 13, cât și cu GTR 20 (84 Federal Register 6758). Lucrările la GTR 13 au început în 2005, cu scopul de a stabili cerințe de performanță legate de siguranță pentru vehiculele alimentate cu hidrogen, care să atingă niveluri de siguranță echivalente cu cele pentru vehiculele convenționale cu ardere internă (un grup de lucru GTR a început să cerceteze reglementările și standardele existente pentru vehicule cu combustibil alternativ în 1998). GTR 13 acoperă siguranța pieselor electrice de înaltă tensiune și include cerințe pentru izolarea electrică pentru a proteja împotriva șocurilor electrice, atât în condiții de non-accident, cât și post-accident. GTR 13 a fost emis în 2013 (UNECE 2013; accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>69</sup> Titlul complet al Acordului din 1998 este „Acord privind stabilirea reglementărilor tehnice globale pentru vehicule cu roți, echipamente și piese care pot fi montate și/sau utilizate pe vehicule cu roți”. A intrat în vigoare în anul 2000.

Regulamente (parte a UNECE), dezvoltă standardele. NHTSA participă în calitate de delegație americană la grupul de lucru.

GTR 20 specifică atât cerințele în timpul utilizării (care acoperă utilizarea normală a vehiculului) cât și cerințele după accident. Cerințele de utilizare se referă la siguranța ocupanților pentru evenimentele termice care pot duce la incendiu, explozie sau fum. Vehiculele sunt obligate să avertizeze în prealabil o situație periculoasă în interiorul habitacului, care va permite ieșirea în 5 minute și producătorii trebuie să pună la dispoziție documente care descriu sistemul de avertizare (inclusiv o analiză de reducere a riscurilor, diagrame și documente de inginerie, cum ar fi teste).

GTR 20 stabilește patru măsuri pentru determinarea siguranței ocupanților vehiculelor electrice, a lucrătorilor de salvare și a primilor intervenții după un accident. Cerințele trebuie îndeplinite printr-un test de impact separat. Este lăsat la latitudinea fiecărei țări să specifice criteriile în funcție de propriile cerințe de testare a impactului. Trebuie îndeplinită cel puțin una dintre următoarele măsuri de protecție împotriva șocului electric după accident: (1) absența tensiunii înalte ( $< 60$  volți în 60 de secunde de la impact pentru autobuzele de înaltă tensiune); (2) energie electrică scăzută (energia totală a curenților de impuls trebuie să fie  $< 0,2$  jouli, de la componente la șasiul vehiculului); (3) protecție fizică; și (4) rezistența de izolare.<sup>70</sup>

Pentru a proteja împotriva șocurilor electrice de la contactul indirect, sunt date cerințe de rezistență pentru părțile conductoare expuse (între părți și șasiul electric sau între părțile conductoare accesibile simultan). Ca și în cazul cerințelor în utilizare, cerințele post-accident pentru rezistența de izolare electrică specifică valori minime între magistrala de înaltă tensiune și șasiul electric pentru grupurile motopropulsoare constând din magistrale DC și AC separate sau combinate.

Cerințele după accident pentru sistemul de stocare a energiei electrice reîncărcabile ale unui vehicul electric includ teste pe bază de vehicul pentru scurgerile de electroliți, reținerea pachetului de baterii (trebuie să rămână atașat la vehicul și să nu pătrundă în habitacul și pericole de incendiu (nu există dovezi de incendiu). sau explozie timp de 1 oră după un test de impact). Cerința privind scurgerile de electrolit nu permite scurgerile de la baterie în habitacul și scurgeri de cel mult 7% din electrolit (maximum 5,0 litri) în afara habitacului timp de 60 de minute după un accident. (Nu sunt permise scurgeri dacă electrolitul nu este lichid.)

### 4.3 Standarde internaționale SAE

SAE este o societate profesională cu sediul în SUA care creează standarde, organizează întâlniri tehnice și publică lucrări tehnice prin eforturi voluntare, de colaborare.<sup>71</sup> Practica recomandată SAE J2990 (practica recomandată pentru primul și al doilea răspuns hibrid și EV) abordează pericolele cu care se confruntă primul și cel de-al doilea răspuns. respondenții la accidente și alte incidente (cum ar fi incendiile în garaj) care implică vehicule electrice.<sup>72</sup> Practica recomandată a fost publicată pentru prima dată în noiembrie 2012 și a fost republicată în iulie 2019. Ea subliniază aspectele chimice, electrice și

<sup>70</sup> Joule este unitatea de lucru sau energie din Sistemul Internațional de Unități. Un joule = 1 watt-secundă (energia eliberată în 1 secundă de un curent de 1 amper printr-o rezistență de 1 ohm). Un kWh = 3,6 milioane de jouli și 1 joule =  $2,77778 \times 10^{-7}$  (0,000000277778) kWh.

<sup>71</sup> SAE sa concentrat inițial pe industria auto americană, dar de atunci s-a extins la nivel global și în altele industriile de transport, cum ar fi industria aerospațială.

<sup>72</sup> Practica recomandată J2990 poate fi achiziționată de pe [site-ul SAE](#) (accesat 12 noiembrie 2020).

riscurile termice asociate cu sistemele de înaltă tensiune (inclusiv bateriile) ale vehiculelor electrice și recomandă cele mai bune practici pentru a „ajuta la protejarea personalului de intervenție în caz de urgență, a personalului de remorcare și/sau de recuperare, depozitare, reparare și salvare”. SAE J2990 ia în considerare numai bateriile litiu-ion și nu discută pericolele asociate combustibililor alternativi, cum ar fi hidrogenul (tratată într-o altă publicație SAE).

#### 4.3.1 Ghiduri de răspuns în caz de urgență

SAE J2990 oferă recomandări de format și conținut pentru ghidurile de răspuns în caz de urgență produse de producătorii de vehicule electrice. Acesta recomandă producătorilor să creeze foi de referință rapide, urmând îndrumările din standardul ISO 17840: Vehicule rutiere – Informații pentru primul și al doilea răspuns (a se vedea secțiunea 4.4 pentru detalii). De asemenea, recomandă standardizarea ghidurilor de răspuns în caz de urgență folosind șabloanele ISO 17840 pentru organizare și aspect (titluri de capitole, succesiune de capitole, coduri de culoare, grafice) și pentru designul și culoarea etichetelor de combustibil și energie.


SAE J2990 observă că ghidurile producătorilor „acoperă multe dintre domeniile necesare pentru respondenți, dar acestea variază ca stil și conținut. . . [iar] textul este adesea scris dintr-o gândire inginerască și tehnică, mai degrabă decât din punctul de vedere al unui răspuns.” Un apendice la SAE J2990 prezintă un ghid de referință rapid de 1 pagină (figura 19, din ghidul NFPA de urgență [NFPA 2018]) care rezumă informații critice despre stingerea incendiilor în vehiculele hibride și electrice.

SAE J2990 recomandă ca ghidurile de răspuns în caz de urgență „să conțină informații esențiale și aprofundate legate de foaia de referință rapidă” și să enumere exemple de ghiduri de răspuns disponibile, inclusiv ghidul de urgență NFPA și cum pot fi obținute (site-uri web ale producătorilor individuale, platforme care trebuie achiziționate și aplicații pentru smartphone).<sup>73</sup>

---

<sup>73</sup> Consultați secțiunea 4.5 pentru informații despre ghidul de câmp de urgență NFPA și ghidurile de răspuns în caz de urgență de la producători individuali.





## GENERAL PROCEDURES FOR HYBRID AND ELECTRIC VEHICLE FIRE SUPPRESSION

**GENERAL**

- Use standard vehicle firefighting equipment and tactics in accordance with department SOPs/SOGs.
- Hybrid and electric vehicles do not require special equipment for fire suppression/extinguishment.

**PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT**

- All personnel should wear and utilize full PPE and SCBA as required at all vehicle fires.

**EXTINGUISHING AGENTS**


- Use water or other standard agents for vehicle fires.
- The use of water does not present an electrical hazard to firefighting personnel.
- If an HV battery catches fire, it will require a large, sustained volume of water.

**WARNINGS**


- If using water to extinguish/suppress a high voltage battery, use a large volume of water. Using only a small amount could allow dangerous toxic gases to be released.
- If a Lithium Ion (Li-Ion) HV battery is involved in a fire, there is a possibility that it could reignite after extinguishment. If available, use thermal imaging to monitor the battery. Do not store a vehicle containing a damaged or burned Li-Ion HV battery in or within 50 feet of a structure or other vehicle until the battery can be discharged.

**NOTE:**

Because high voltage batteries are in protective cases, it is very difficult to get any extinguishing agent directly onto the burning cells. The application of large volumes of water may cool the high voltage battery sufficiently to prevent the propagation of fire to adjacent cells.



Use Full PPE and SCBA



Safe to Use Water

FIRE

Figura 19. Ghid de intervenție în caz de urgență de o pagină („foaie de referință rapidă”) pentru stingerea incendiilor în vehiculele electrice. SOP/SOG-uri = proceduri standard de operare/orientări standard de operare. HV = tensiune înaltă. (Sursa: NFPA)

#### 4.3.2 Dezactivarea sistemelor de înaltă tensiune

SAE J2990 recomandă trei metode pentru dezactivarea (deconectarea) sistemelor de înaltă tensiune, observând că metodele „în general nu îndepărtează complet tensiunea înaltă din vehicul”, ci au scopul „să limiteze distribuția acestuia în jurul unui vehicul”: (1) oprire automată; (2) comutarea contactului la OFF (care ar trebui să deconecteze sistemul de înaltă tensiune de la sursele de înaltă tensiune și să descarce sistemul la 60 volți DC sau 30 volți AC în 10 minute); (3) tăiat sau

deconectați cablurile bateriei pentru a descărca sistemul de 12 volți și tăiați sau deconectați cablul de ieșire de 12 volți. În plus, SAE J2990 recomandă ca cel puțin două metode să fie încorporate în proiectarea unui vehicul electric.

SAE J2990 afirmă că îndepărtarea deconectării manuale a unui vehicul electric nu ar trebui să fie o metodă principală pentru primii care răspund pentru a dezactiva circuitele de înaltă tensiune, deoarece (1) varietatea de modele face ca localizarea și activarea deconectărilor manuale să fie inefficientă, (2) primii respondenți nu o fac. au întotdeauna EIP-ul necesar și (3) deconectarea manuală ar putea fi inaccesibilă.<sup>74</sup> Practica recomandată include considerente de proiectare pentru deconectările manuale dacă producătorii preferă să le îndepărteze ca metodă de dezactivare a sistemelor de înaltă tensiune.

#### 4.3.3 Inspecția vehiculului după incident

SAE J2990 recomandă două etape de inspecție după un accident sau alt incident pentru a vă asigura că sistemul de înaltă tensiune s-a oprit și nu este deteriorat - una la locul incidentului și una la locul de depozitare ulterior. Vehiculul trebuie să rămână izolat fizic până când a trecut inspecția. Pașii de inspecție recomandați și acțiunile de întreprins sunt enumerate în tabelul 1.

Tabelul 1. Etape de inspecție post-incident recomandate de SAE J2990.

Etapa	Acțiune	Note
1	Verificați pentru semne de incendiu sau mocnit.	Folosiți o cameră termică sau o sondă de temperatură cu infraroșu, dacă este posibil.
2	Ascultați gălgăitul, clocotirea, trosnitul, șuieratul sau zgomotele de la baterie.	Sunetele pot indica aerisirea celulelor supraîncălzite sau arc în sistemul de înaltă tensiune.
3	Dacă grupurile de celule ale bateriei s-au separat de carcasa bateriei, alertați persoanele care răspund cu privire la expunerea potențială la tensiune înaltă sau la reaprindere a incendiului.	Contactați producătorul echipamentului pentru recomandări de deconectare, instrucțiuni de ambalare și recomandări de eliminare. Dacă nu sunt disponibile suficiente informații, consultați cea mai recentă versiune a Ghidului de răspuns la urgență al Departamentului de Transport al SUA/Transport Canada pentru bateriile litiu-ion (ghidul 147) sau NiMH (ghidul 171).a
4	Dacă vehiculul este scufundat, nu scoateți deconectarea de serviciu scufundată, ci opriți contactul dacă este posibil. Dezactivați vehiculul prin blocarea roților, plasarea în parcare și scoaterea cheii de contact sau deconectarea bateriei de 12 volți.	Înțelegeți că vehiculele electrice sunt proiectate pentru a fi sigure în apă. Bulele mici care emană din vehicul nu creează pericol de șoc. Daunele cauzate de apă la componentele electrice pot duce la reaprindere. Nu depozitați vehiculul care a fost scufundat în interior până când energia de înaltă tensiune este oprită.
5	Asigurați-vă că sistemul de înaltă tensiune este dezactivat.	Consultați ghidul de răspuns în caz de urgență al producătorului sau ghidul de urgență pentru a verifica. Cel puțin, dezactivați sistemul de 12 volți.
6	Examinați integritatea mecanică a sistemului de baterii.	Carcasa este ruptă, crăpată, perforată sau înțepată?
7	Verificați dacă există dovezi de incendiu sau daune cauzate de căldură.	Semnele includ reziduuri de fum sau daune cauzate de căldură în jurul sistemului de baterii și miros de ars din sistemul de baterii.

<sup>74</sup> Deconectările manuale, numite și deconectări manuale de service, sunt dispozitive precum prize, pârghii sau întrerupătoare pe care personalul de intervenție în caz de urgență le poate manipula pentru a deconecta sistemul de înaltă tensiune al unui vehicul electric. Dispozitivele se găsesc în diferite locații, de exemplu, în spatele banchetei din spate sau lângă o anvelopă din spate, în funcție de marca și modelul vehiculului.

Etapa	Acțiune	Note
8	Verificați dacă există dovezi de arc în sistemul de înaltă tensiune. Anunțați șoferul camionului de tractare cu privire la pericolele potențiale și recomandările pentru izolare.	Urmele de carbon indică faptul că izolarea sistemului de înaltă tensiune a fost pierdută.
9	Verificați dacă există dovezi de scurgeri ale bateriei externe. Informați șoferul camionului de tractare cu privire la pericolele potențiale și cerințele de izolare.	Electrolitul bateriei litiu-ion are un miros dulce, precum eterul, care ar putea indica o scurgere a bateriei. Scurgerile de electrolit creează în mod normal picături, nu bălți.

<sup>A</sup>  
O nouă ediție a fost publicată în august 2020. Ghidul este destinat utilizării de către pompieri, poliție și alți personal de urgență care ar putea fi primii care ajung la locul unui incident de transport care implică mărfuri periculoase. Disponibil online în engleză și spaniolă.

SAE J2990 recomandă tractarea unui vehicul electric avariat pe o platformă, pentru a evita generarea de tensiune de la roțile care se rotesc. Dacă roțile vehiculului trebuie întoarse — pentru că a ieșit de pe șosea, de exemplu —, viteza acestuia ar trebui să fie menținută sub 5 mph. După ce a fost încărcat pe un camion de remorcare, trebuie verificată integritatea structurală a vehiculului. Dacă vehiculul se rostogolește în timp ce se află pe camionul de remorcare, pașii de inspecție enumerați mai sus trebuie repetați.

SAE J2990 prevede că operatorii de remorcare ar trebui să aranjeze remorcarea vehiculului într-o locație în afara amplasamentului unde poate fi izolat. Odată ajuns acolo, vehiculul trebuie inspectat din nou. De asemenea, ar trebui să fie inspectat pentru dovezi ale unor scurgeri interne ale bateriei, care ar putea duce la scurtcircuite sau pierderea izolației de înaltă tensiune, iar bateria trebuie examinată pentru pierderea integrității mecanice. Dacă airbag-urile s-au declanșat, ar trebui să se efectueze pași de diagnosticare suplimentari pentru a evalua integritatea sistemului de înaltă tensiune, cum ar fi măsurarea temperaturii bateriei.

SAE J2990 recomandă două metode de barieră pentru un vehicul electric în timpul depozitării: (1) separați vehiculul de combustibili și structuri cu 50 de picioare pe toate părțile sau (2) creați o barieră de pământ, oțel, beton sau zidărie solidă în jurul vehiculului.

#### 4.3.4 Comunicarea pericolelor

SAE J2990 afirmă că o linie telefonică de 24 de ore din 24 oferită de producătorul vehiculului „nu este un mediu de comunicații adecvat pentru primul și cel de-al doilea răspuns în acest moment” (în primul rând, experții în domeniu sunt larg dispersați și a le pune la dispoziție în mod constant nu este practic.). În schimb, recomandă producătorilor să pună oricând la dispoziție ghiduri de răspuns în situații de urgență în format digital, accesibile prin link-uri de pe un site web, și ca informațiile să fie accesibile terților.

## 4.4 Standardul ISO 17840

ISO este o federație mondială a organismelor naționale de standardizare. Publică standarde internaționale pe mii de subiecte, inclusiv managementul calității, managementul mediului, sănătatea și siguranța, energia, siguranța alimentelor și tehnologia informației. Lucrările sunt efectuate de comitete tehnice. Orice membru interesat de un anumit subiect poate fi reprezentat în comitetul tehnic corespunzător. Statele Unite sunt un organism membru.

Standardul ISO 17840 (Vehicule rutiere — Informații pentru primul și al doilea răspuns) este un set de patru documente care definesc structura și conținutul informațiilor despre care vehiculul

producătorii asigură intervenții de urgență la incendii sau accidente de vehicule.<sup>75</sup> Standardul a fost creat de CTIF, în colaborare cu Programul european de evaluare a mașinilor noi (Euro NCAP) și Sistemul de informații Schengen din Europa.<sup>76</sup>

ISO 17840-1 (publicat în august 2015) standardizează conținutul și aspectul foilor de salvare pentru autoturisme și vehicule utilitare ușoare. Fișele de salvare sunt documente scurte care oferă informații rapide despre construcția unui vehicul, destinate utilizării de către personalul de urgență la locul unui accident. Standardul acoperă vehiculele convenționale (diesel, benzină), gaz petrolier lichefiat, gaz natural comprimat, vehicule electrice și hibride electrice. ISO 17840-2 (publicat în aprilie 2019) standardizează fișele de salvare pentru autobuze, autocare și vehicule comerciale grele.

ISO 17840-3 (publicat în aprilie 2019) stabilește un șablon și definește conținutul general pentru ghidurile de răspuns în situații de urgență ale producătorilor – documente mai lungi care oferă „informații necesare și utile” aprofundate despre un vehicul implicat într-un incident. Ghidurile de răspuns în caz de urgență sunt destinate utilizării împreună cu foile de salvare, în general pentru instruirea personalului de intervenție în caz de urgență pe vehicule neconvenționale. Această parte a ISO 17840 se aplică autoturismelor, autobuzelor, autocarelor și vehiculelor comerciale ușoare și grele.

ISO 17840-4 (publicat în iunie 2018) definește etichetele și culorile utilizate pentru a indica combustibilul sau energia utilizată pentru propulsarea unui vehicul. De exemplu, un diamant portocaliu cu un zigzag alb în centru indică tensiune înaltă. Utilizarea etichetelor include foile de salvare definite în ISO 17840-1 și -2 și ghidurile de răspuns în caz de urgență acoperite în ISO 17840-3.

Textul care introduce ISO 17840-3 leagă standardul de luarea rapidă a deciziilor cerută de către cei care intervin în situații de urgență la locul unui accident și de nevoia ca personalul de intervenție în caz de urgență să evite riscul propriei vieți în timp ce îi salvează pe alții. Șablonul stabilit de standard este descris ca „o organigramă pentru principalele acțiuni ale primului și celui de-al doilea răspuns care sosesc la locul accidentului” și ca un mijloc de promovare a „acțiunii corecte cu privire la tehnologia vehiculului în cauză”. Șablonul oferă titluri pentru diferitele secțiuni ale unui ghid de răspuns în caz de urgență (cum ar fi „Dezactivarea pericolelor directe/regulamente de siguranță” sau „În caz de incendiu”) și ordinea în care ar trebui să apară.

(vezi figura 20), dar lasă producătorilor să completeze informații specifice pentru fiecare secțiune.

Sunt date standarde pentru culori și grafice, inclusiv pictograme pentru a indica locul în care rezervoarele, bateriile și alte componente sunt amplasate într-un vehicul. Titlurile și succesiunea secțiunilor sunt aceleași atât pentru foile de salvare, cât și pentru ghidurile de răspuns la urgență.

---

<sup>75</sup> Standardele sunt disponibile pentru cumpărare [online](#) din ISO sau din [magazinul web ANSI](#) (ambele accesate 12 noiembrie 2020).

<sup>76</sup> NFPA este organizația reprezentativă a SUA la CTIF.

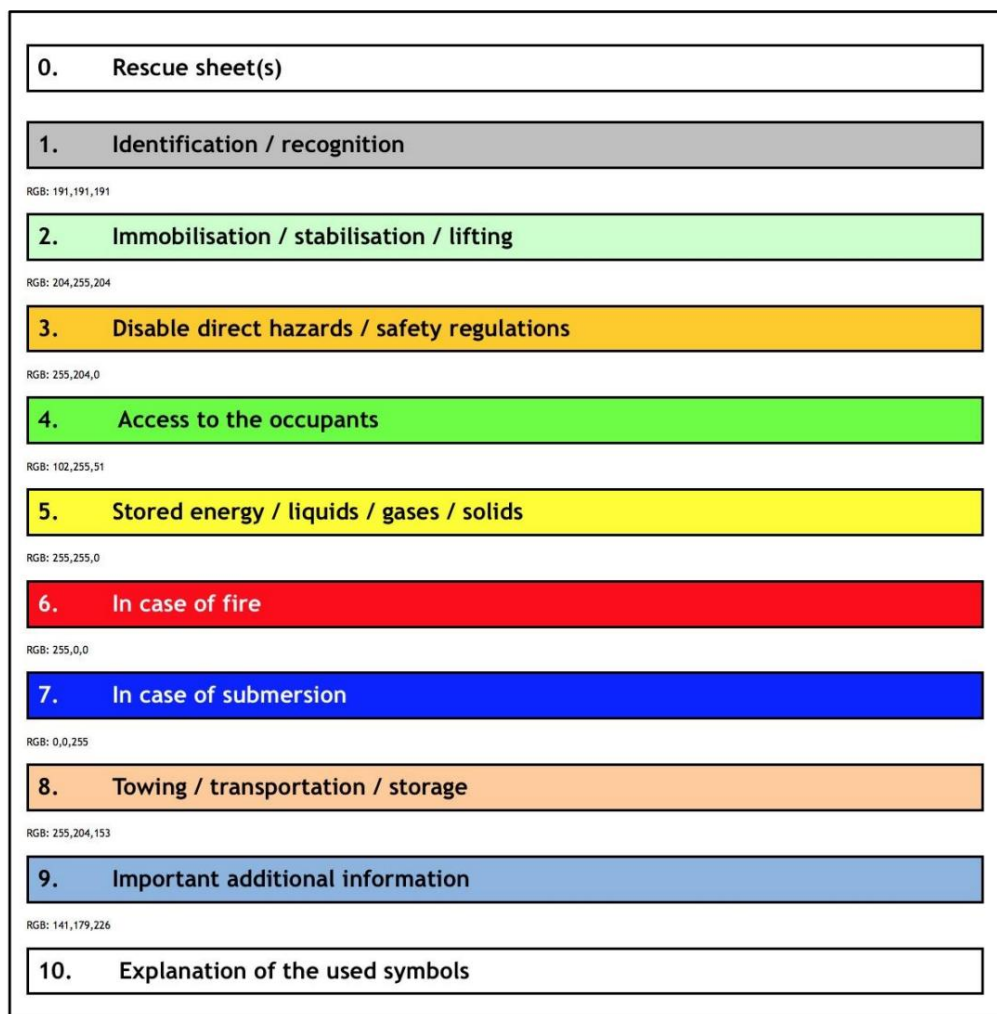


Figura 20. Conținutul fișelor de salvare a vehiculului și al ghidurilor de răspuns în situații de urgență, așa cum este definit în standardul ISO 17840. (Sursa: CTIF)

În februarie 2020, Euro NCAP a publicat un protocol pentru testarea și evaluarea de salvare, descarcerare și siguranță (versiunea 1.1), care promovează utilizarea standardului ISO 17840 și încorporează scorul în raport cu disponibilitatea foilor de salvare ale unui producător.<sup>77</sup> Protocolul a

fost întocmit în coordonare cu CTIF. Promovează disponibilitatea foilor de salvare deoarece „serviciile de salvare necesită informații detaliate, dar ușor de înțeles cu privire la construcția vehiculelor individuale, pentru a extrage ocupanții prinși cât mai rapid și în siguranță posibil”, care „devine din ce în ce mai presant pe măsură ce vehiculele folosesc diferite surse de energie ( de exemplu electric/hibrid, hidrogen).”

<sup>78</sup> Australasian NCAP, care publică rezultatele testelor de impact pentru vehiculele vândute în Australia și Noua Zeelandă, a publicat versiunea 1.1.1 a unui protocol similar în iulie 202079.

<sup>77</sup> Protocolul este descris pe [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com) (accesat 12 noiembrie 2020). Se acordă puncte pentru utilizare standardul ISO.

<sup>78</sup> Cotațiile sunt din descrierea protocolului de la [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com) (accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>79</sup> Vezi [documentul de protocol](#) (accesat 11 august 2020).

Euro NCAP a anunțat în iunie 2020 că a centralizat fișele de salvare ale producătorilor într-o aplicație mobilă gratuită, care poate fi descărcată pentru personalul de urgență, numită „Euro Rescue”. NCAP din Australia și-a lansat propria aplicație, „ANCAP Safety”, în același timp. În comunicatul său de presă, Euro NCAP a declarat: „Pe măsură ce vehiculele au devenit mai dure, mai complexe și cu propulsie alternativă, a devenit din ce în ce mai important ca primii care au intervenit să știe ce pot și ce nu pot face la locul accidentului”.<sup>80</sup>

## 4.5 Ghid din industrie pentru personalul de intervenție

Cei peste 40 de producători de vehicule electrice sau alte vehicule alimentate cu combustibil alternativ elaborează în mod voluntar linii directe pentru pompieri și alt personal de urgență care răspund la incidente care implică vehiculele lor. Link-uri către ghidurile de răspuns în caz de urgență ale producătorilor sunt disponibile pe site-ul web NFPA, precum și pe site-urile web ale producătorilor individuali,<sup>81</sup> de asemenea, un ghid de urgență de 460 de pagini (NFPA 2018) care poate fi comandat și descărcat de pe site-ul său. site-ul web. NFPA a adăugat recent pe site-ul său un videoclip de instruire pentru pompieri, intitulat „Energie blocată – Cât de puțin știi că te-ar putea șoca”.<sup>82</sup> Un videoclip pregătit pentru Simpozionul North American Heavy Rescue din 2019 de către NFPA și alții demonstrează cele mai bune practici de răspuns la incendiile vehiculelor electrice.<sup>83</sup>

### 4.5.1 Ghid de teren de urgență NFPA

NFPA este o organizație nonprofit care lucrează pentru îmbunătățirea siguranței la incendiu și oferă instruire și educație. Ghidul de urgență al organizației este conceput ca o referință rapidă de utilizat la fața locului sau ca ajutor de studiu. Începe prin a stabili proceduri generale pentru răspunsul inițial la accidente de vehicule, incendii, scufundare în apă, scurgeri și pericole de scurgere. Un capitol separat oferă îndrumări pentru primul ajutor în cazul expunerii la electroliții bateriei sau la gaz natural sau propan. Cea mai mare parte a ghidului de teren este dedicată înregistrărilor scurte, specifice vehiculului, extrase din ghidurile de răspuns în situații de urgență ale producătorilor, dar care nu sunt destinate să le înlocuiască.

#### 4.5.1.1 Proceduri generale

Răspuns inițial. Sunt date proceduri pentru identificarea tipului de vehicul și a combustibilului acestuia și pentru imobilizarea și stabilizarea vehiculului. Ghidul afirmă: „Presumați întotdeauna că vehiculul este un tip de vehicul hibrid, electric sau alimentat alternativ, până când se dovedește contrariul.” Pentru a imobiliza un vehicul, personalul de intervenție ar trebui să se apropie de el într-un unghi de 45 de grade, pentru a rămâne departe în caz că se mișcă. Primul pas în stabilizarea unui vehicul este să opriți contactul și să deconectați bateria de 12 volți. O metodă alternativă de oprire este dată dacă respondenții nu pot accesa contactul.

<sup>80</sup> Vezi [comunicatul de presă](#), 17 iunie 2020 (accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>81</sup> De asemenea, sunt disponibile aplicații pentru smartphone și platforme comerciale, cum ar fi Moditech. Unele sunt gratuite, altele trebuie cumpărate. Site-ul [web al companiei Boron Extrication](#) are linkuri similare cu cele ale NFPA (accesat la 12 noiembrie 2020).

<sup>82</sup> Videoclipul poate fi vizionat la [secțiunea de instruire și certificare](#) a site-ului web NFPA (accesat la 5 iunie 2020).

<sup>83</sup> Videoclipul [demonstrează](#) folosind o cameră de imagini termice pentru a verifica temperatura bateriei și sprijinirea unui vehicul pentru a aplica apă direct pe carcasa bateriei. Videoclipul a fost sponsorizat de NFPA, Departamentul pentru Silvicultură și Protecția împotriva incendiilor din California și compania de instruire Advanced Extrication, cu sprijinul Tesla (accesat pe 8 iunie 2020).

Descarcare. Se dau măsuri pentru a scoate ocupanții din interiorul unui vehicul accidentat. Sunt date proceduri separate pentru vehiculele hibride și electrice, vehiculele cu celule de combustibil pe hidrogen și vehiculele cu combustibil gazos. Toate vehiculele trebuie mai întâi imobilizate și stabilizate. Pentru vehiculele hibride și electrice, respondenții ar trebui să verifice vizual componentele sau cablurile de înaltă tensiune expuse. Solicitanții sunt avertizați să presupună întotdeauna că sistemul de înaltă tensiune este alimentat. De asemenea, sunt date avertismente pentru a nu tăia cablurile portocalii de înaltă tensiune (diferite de cablurile de baterie de 12 volți și cele de joasă tensiune). tăiați buclele care deconectează circuitele de înaltă tensiune) și să nu pătrundă în componentele de înaltă tensiune. În plus, pompierii sunt avertizați că, dacă sistemul de 12 volți nu poate fi dezactivat, sistemele de protecție a ocupanților, cum ar fi airbag-urile, ar putea rămâne active, chiar dacă sistemul de înaltă tensiune este oprit.

Secțiunea de extracție prezintă procedurile de manipulare a bateriilor de înaltă tensiune deteriorate. Îndrumarea-

- Subliniază necesitatea EIP și SCBA.
- Avertizează despre scurgeri de lichide, scântei, fum sau zgomote de barbotăie de la bateria de înaltă tensiune și instruieste personalul de intervenție să aerisească vehiculul pentru a evita acumularea de fum.
- Avertizează că scântele, fumul și zgomotele de barbotăie sunt semne ale unei posibile supraîncălziri baterie, ceea ce ar putea duce la un incendiu întârziat.
- Avertizează asupra unui pericol semnificativ de șoc (și pentru a evita contactul cu bateria).

O secțiune despre deconectările manuale de service notează că îndepărtarea unei deconectări manuale nu va descărca bateria de înaltă tensiune.

Stingerea incendiului. Procedurile generale pentru stingerea incendiilor în vehiculele cu combustibil alternativ prevede că „tot personalul trebuie să poarte și să folosească EIP complet și SCBA așa cum este necesar la toate incendiile vehiculelor”. Procedurile pentru vehiculele hibride și complet electrice includ utilizarea echipamentelor și tacticilor standard de stingere a incendiilor; nu sunt necesare echipamente speciale pentru stingerea incendiilor vehiculelor electrice. Dificultatea de a stinge un incendiu de baterie de înaltă tensiune depinde de (1) dimensiunea și locația bateriei, (2) amploarea incendiului în baterie, (3) accesul la baterie și „capacitatea agentului de stingere a stingerii să fie aplicat pe carcasa bateriei” și (4) dacă deschiderile din carcasa bateriei permit ca agentul de stingere să fie aplicat direct pe celulele care arde. Aspectele făcute despre agenții de stingere sunt următoarele:

- Utilizați apă sau alți agenți standard pentru incendiile vehiculelor electrice.
- Apa nu prezintă un pericol electric pentru pompieri.
- Dacă o baterie de înaltă tensiune ia foc, „va necesita un volum mare și susținut de apă” (2.600 de galoane sau mai mult, în funcție de dimensiunea și locația bateriei). Solicitanții trebuie să stabilească o sursă de apă susținută (hidrant sau sursă de apă statică).<sup>84</sup>

Se subliniază următoarele avertismente:

- Dacă utilizați numai apă pentru a stinge sau a suprima un incendiu de înaltă tensiune a bateriei, utilizați un mare Cantitate. O cantitate mică de apă poate elibera gaze toxice.

---

<sup>84</sup> Sursă de apă statică înseamnă un lac, un pârâu sau un iaz.

- Un incendiu într-o baterie litiu-ion se poate reaprinde. Ar trebui luați următorii pași:

Folosiiți imagini termice dacă sunt disponibile pentru a monitoriza bateria (pentru a determina prezența de foc).

Nu depozitați un vehicul cu o baterie litiu-ion deteriorată sau arsă la 50 de picioare de o structură sau alt vehicul până când bateria nu este descărcată.

Reaprindearea este însoțită de un sunet de „șușut” sau „popping”, urmat de degajarea de gaze a fumului alb sau a arcurilor electrice sau a scânteilor care se reaprind cu flăcări vizibile sau foc. Reaprindearea poate avea loc în câteva ore până la o zi sau mai mult după stingerea incendiului.

Ghidul notează următoarele despre incendiile în bateriile de înaltă tensiune:

- Este dificil să direcționați un agent de stingere asupra celulelor care arde, deoarece bateriile de înaltă tensiune sunt într-o carcasă de protecție. Aplicarea unui volum mare de apă poate răci suficient bateria pentru a preveni propagarea focului la celulele adiacente. Aplicarea apei într-o zonă localizată pentru o perioadă lungă de timp duce la o stingere mai rapidă. Apa trebuie aplicată chiar și după ce nicio flăcără nu este vizibilă.
- Anticipați timpi mai lungi de stingere a incendiilor dacă este implicată bateria de înaltă tensiune. Teste arată că suprimarea poate dura o oră sau mai mult.

#### 4.5.1.2 Ghid specific vehiculului

Aproape 400 de pagini din ghidul de urgență NFPA oferă proceduri de răspuns inițial specifice pentru 43 de mărci și 195 de modele (numărând generațiile aceluiași model separat) de vehicule cu combustibil alternativ, inclusiv camioane, autobuze și camionete, precum și mașini. Ghidul a fost pregătit de producători și adunat împreună în ghidul de teren de urgență. Intrările sunt organizate alfabetic după producător și apoi după modelul vehiculului. Fiecare intrare este prezentată într-un format de 2 sau 3 pagini.

#### 4.5.2 Ghidurile de răspuns la urgențe ale producătorilor

După cum sa menționat mai devreme, link-urile către ghidurile de răspuns în caz de urgență publicate de producătorii de vehicule cu combustibil alternativ pot fi găsite pe site-ul NFPA. Ghidurile descărcabile pot fi accesat făcând clic pe „Instruire privind siguranța vehiculelor cu combustibil alternativ” din partea de jos a paginii web NFPA, apoi făcând clic pe „Ghiduri de răspuns în caz de urgență”. În total, sunt 41 de producători listate.<sup>85</sup> Ghidurile includ foi de răspuns rapid (2 până la 4 pagini), care sunt similare cu ghidul specific vehiculului publicat în ghidul de urgență NFPA, dar nu neapărat identice. Unii producători publică și ghiduri mai lungi de răspuns în caz de urgență (cum ar fi manualul de salvare de 108 pagini al BMW), care sunt incluse în linkuri. Ghidurile sunt organizate pe model și an și acoperă vehicule hibride electrice, BEV, vehicule cu celule de combustibil și vehicule propulsate de

---

<sup>85</sup>Ghidurile descărcabile includ doi producători (Karma și BYD) care nu sunt enumerați în ghidul de urgență NFPA. Ghidul de urgență al NFPA conține îndrumări specifice vehiculului de la patru producători care nu se află pe lista care poate fi descărcată (Electric Vehicles International, Ferrari, Smart și XLhybrids).



gaz natural comprimat. Sunt incluși șapte producători de autobuze electrice, camioane comerciale sau camionete.

Ghidurile încep, în general, cu informații despre modul de identificare a unui vehicul, inclusiv marcele și numerele de identificare a vehiculului, apoi continuată să descrieți diferite aspecte ale funcționării vehiculului. Locația componentelor de înaltă tensiune este de obicei prezentată pe diagrame sau fotografii. Unele diagrame etichetează piesele; alții se bazează pe codificarea culorilor și pe o cheie imprimată sub diagramă. Sunt adesea oferite informații despre airbag-uri, inclusiv locația acestora și importanța pentru siguranță dezactivarea sistemului de 12 volți care alimentează airbag-urile (pentru a preveni declanșarea airbag-urilor în timpul unei operațiuni de urgență). Organizarea și tipul informațiilor despre pericol variază.

NTSB a revizuit ghidurile de răspuns ale producătorilor și a evaluat dacă aceștia acoperă 11 categorii de informații considerate critice pentru personalul de urgență care răspunde la incendiile de baterii de înaltă tensiune. A fost luat în considerare doar subșetul de 36 de producători ale căror vehicule folosesc baterii litiu-ion de înaltă tensiune. Ceea ce constituia informații critice a fost determinată din

revizuirea de către NTSB a reglementărilor și standardelor legate de riscurile cu care se confruntă agenții de intervenție în caz de urgență (a se vedea secțiunile 4.1 la 4.4), precum și din investigația sa privind răspunsul de urgență la patru incendii de vehicule electrice (a se vedea secțiunea 2).

Tabelul 2 enumeră criteriile utilizate de NTSB pentru a determina dacă (da sau nu) un ghid de răspuns la urgență a acoperit un anumit element de informații critice pentru primul și al doilea răspuns. Stabilirea dacă ghidurile de răspuns au inclus elemente găsite în ghidul de teren de urgență NFPA și îndrumările specifice vehiculului a făcut parte din revizuire. Tabelul 3 prezintă rezultatele revizuirei.

Tabelul 2. Criterii pentru determinarea da/nu a informațiilor critice din ghidurile producătorilor de răspuns în caz de urgență, cu coloana corespunzătoare din tabelul 3.

Criterii pentru determinarea Da/Nu	Tabelul 3 Coloană
Formatul ghidului este conform cu standardul ISO 17840? Formatul urmează structura organizatorică și ordinea informațiilor din ISO 17840.	2
Ghidul conține elemente în ghidul NFPA pentru vehiculul respectiv? Elementele din ghidul NFPA includ identificarea vehiculului, imobilizarea vehiculului, vehiculul dezactivat, avertismentele (tensiune ridicată, airbag, mișcare silențioasă) și evacuarea ocupanților.	3
Ghidul conține instrucțiuni specifice vehiculului pentru deconectarea bateriei de înaltă tensiune de restul vehiculului? Exemplele includ utilizarea buclelor tăiate, îndepărtarea ștecherelor, tragerea pârghiilor, îndepărtarea siguranțelor, deconectarea bateriei de 12 volți.	4
Ghidul include informații despre stabilizarea vehiculului și utilizarea EIP? Exemplele de stabilizare includ plasarea vehiculului în parc sau blocarea roților. Exemplele de EIP includ purtarea SCBA pentru combaterea incendiilor vehiculelor și echipament de protecție de înaltă tensiune atunci când se manipulează componente de înaltă tensiune.	5
Ghidul include informații generale despre deteriorarea bateriei de înaltă tensiune sau incendiu? Exemplele includ avertismente că (1) bateriile deteriorate pot evacua gaz toxic, (2) incendiile bateriilor de înaltă tensiune necesită cantități mari de apă și (3) bateriile de înaltă tensiune se pot aprinde după ce au fost stinse.	6

Criterii pentru determinarea Da/Nu	Tabelul 3 Coloană
Ghidul conține informații specifice vehiculului despre combaterea incendiului bateriei de înaltă tensiune? Exemplele includ (1) locații specifice pentru aplicarea apei și (2) proceduri pentru aplicarea apei pentru stingerea incendiului și răcirea bateriei. Unele ghiduri afirmă că compartimentul pentru ocupanți trebuie să fie aerisit sau că focul sau căldura pot aprinde componentele din apropierea bateriei.	7
Ghidul conține informații despre vehiculul scufundat? Exemplele includ declarație că vehiculul nu prezintă risc de șoc electric sau proceduri pentru atenuarea riscului.	8
Ghidul conține informații despre recuperarea după incident sau remorcarea vehiculului avariat? Exemplele includ că platforma ar trebui utilizată pentru transport, iar vehiculul ar trebui monitorizat pentru reaprindere.	9
Ghidul conține informații despre depozitarea vehiculului electric deteriorat? Exemplele includ faptul că vehiculul ar trebui să fie izolat în aer liber, la 50 de picioare de alte surse de incendiu.	10
Ghidul conține informații specifice despre atenuarea riscurilor de energie eșuată? Exemplele includ proceduri pentru minimizarea riscurilor de reaprindere a bateriei; de asemenea, informații pentru a contacta producătorul.	11
Ghidul conține informații despre bateria de înaltă tensiune a vehiculului? Exemplele includ tensiunea de vârf a acumulatorului sau capacitatea de stocare a bateriei.	12

Modelele de vehicule care folosesc baterii NiMH mai degrabă decât baterii litiu-ion au fost excluse din revizuire (bateriile NiMH nu conțin un electrolit inflamabil). Numărul de modele de vehicule produse de diferiți producători a variat de la doar 1 la mai mult de 20. Când un producător a publicat ghiduri de răspuns pentru mai multe modele de vehicule și ani de model, a fost selectat cel mai recent model, acordând prioritate BEV-urilor față de PHEV (cele cinci PHEV-uri, enumerate în tabelul 3 conțin baterii litiu-ion). Dacă o companie-mamă (cum ar fi Toyota) a publicat un ghid care acoperă mai mulți producători sau mărci (cum ar fi Lexus și Toyota), precum și un ghid pentru fiecare marcă specifică, ambele tipuri de ghid au fost revizuite.

Tabelul 3. Prezența sau absența informațiilor critice în ghidurile de intervenție în caz de urgență pentru 36 de vehicule electrice echipate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune.

1 Marca și modelul vehiculului	2 format ISO 17840	3 Elemente ale ghidurilor NFPA specifice vehicului	4 Instrucțiuni specifice vehiculului pentru desprețarea HV	5 Stabilizare și informații despre deteriorarea HV	6 Informații generale despre deteriorarea bateriei foc	7 Instrucțiuni specifice vehiculului pentru incendiul bateriei HV	8 Informații despre vehicul scufundat	9 Avariat recuperare EV/ informații despre remorcare	10 Avariat Informații de stocare EV	11 Informații privind atenuarea riscului de energie eșuată	12 Caracteristicile bateriei HV	13 Note
Acura MDX Sport EV hibrid	Nu	da	da	Nu	Nu	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Audi A8 TFSI e	Nu	da	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	--
Tranzit Azure Conectați Van EVa	Nu	da	da	Nu	da	Nu	Nu	da	Nu	Nu	da	--
BMW i3 EV 2015– 2018 și BMW Multi-Vehicule 2017	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Buick LaCrosse și Regal Hybrid EV 2012–2016	Nu	da	da	Nu	Nu	Nu	da	Nu	Nu	Nu	da	--
Seria BYD K9M Autobuz EV	Nu	da	da	da	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	da	Vehiculul are sistem automat de stingere a incendiilor.
Cadillac ELR EV cu rază extinsă 2014–2016	Nu	Nu	da	Nu	da	Nu	da	Nu	Nu	Nu	da	--
Chevrolet Spark EV 2014–2016	Nu	Nu	da	Nu	da	Nu	da	Nu	Nu	Nu	da	--
Chrysler 2017 Pacifica Hybrid	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Fiat 500e EV 2013– 2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	Nu	Nu	Nu	da	--
Fisker Karma PHEV 2011–2012a	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	Nu	Nu	Nu	--
Ford 2018 Focus ACEST	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul oferă informații de contact ale producătorului.
Gillig Bus EV 2016– 2018	Nu	Nu	da	Nu	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	da	--
GMC Sierra Hybrid ACEST 2016–2018	Nu	Nu	da	Nu	da	Nu	da	Nu	Nu	Nu	da	--

## NTSB

1 Marca si modelul vehiculului	2 format ISO 17840	3 Elemente ale ghidurilor NFPA specifice vehicului	4 Instrucțiuni specifice vehicului pentru deprețarea HV	5 Stabilizare și informații despre deprețarea HV	6 Informații generale despre deteriorarea bateriei foc	7 Instrucțiuni specifice vehiculului despre incendiul bateriei HV	8 Informații despre vehicul scufundat	9 Avariat recuperare EV/ informații despre remorcare	10 Avariat Informații de stocare EV	11 Informații privind atenuarea riscului de energie eșuată	12 Caracteristicile bateriei HV	13 Note
Honda Clarity EV 2017-2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Hyundai Ioniq EV 2017-2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul instruieste pompierii să monitorizeze bateria cu camera termică înainte de a părăsi locul.
Infiniti Q50 Hybrid 2014-2018	Nu	da	da	da	da	N	da	Nu	Nu	Nu	da	--
Karma Revero 2017-2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	Nu	Nu	da	--
Kia Soul EV 2015- 2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	Nu	Nu	da	--
Lexus LC500h 2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Lincoln MKZ Hybrid 2013-2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul oferă informații de contact ale producătorului.
Mercedes-Benz	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul conține carduri de salvare de 1 pagină pentru toate Mercedes-Benz autoturisme de pasageri.
MINI Countryman PHEV 2017-2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Mitsubishi Outlander PHEV 2018	Nu	da	da	da	da	da	da	da	da	Nu	da	Ghidul instruieste să inundați vehiculul cu apă.
Nissan Leaf EV 2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	--
Nova Bus LFSe EV 2016-2019	Nu	da	da	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	da	--
Porsche AG Taycan Fișe tehnice 2019	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul oferă sursa pentru informații suplimentare.
Catalizator Proterra E2 Autobuz EV 2017-2018	Nu	da	da	da	da	da	Nu	Nu	Nu	Nu	da	Ghidul spune să focalizezi apa la orificii de ventilație, să folosești o cameră termică până când toate sursele de căldură sunt stinse.

## NTSB

Raport de siguranță

1 Marca și modelul vehiculului	2 format ISO 17840	3 Elemente ale ghidurilor NFPA specifice vehicului	4 Instrucțiuni specifice vehiculului pentru deșchidarea HV	5 Stabilizare și informații despre HV	6 Informații generale despre deteriorarea bateriei HV sau foc	7 Instrucțiuni specifice vehiculului pentru incendiul bateriei HV	8 Informații despre vehicul scufundat	9 Avariat recuperare EV/ informații despre remorcare	10 Avariat Informații de stocare EV	11 Informații privind atenuarea riscului de energie eșuată	12 Caracteristicile bateriei HV	13 Note
Scion iQ EV 2013b	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul oferă sfaturi pentru atacul ofensiv cu foc (inundă bateria cu apă) sau atac defensiv (lăsați-l să se stingă).
Pasul Smith Newton Din 2012-2017a	Nu	Nu	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	--
Subaru Crosstrek Hibrid 2019	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul recomandă să nu inundați bateria și să nu îi lăsați să se ardă.
Tesla Model 3 EV 2017-2018	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul afirmă că ar putea fi necesari 3.000 de galoane de apă aplicate direct pe baterie. Luați în considerare să lăsați să ardă; stingerea poate dura 24 de ore.
Toyota Prius PHEV 2012-2015	Nu	da	da	da	da	Nu	da	da	da	Nu	da	Ghidul recomandă ca focul să se stingă singur.
Autobuz Van Hool (celula de combustibil)	Nu	Nu	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Autobuzul are atât combustibil cu hidrogen celule și baterii litiu-ion.
Volkswagen e-Golf ACESTA 2014-2018	Nu	Nu	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Este oferit doar un ghid de răspuns rapid de 3 pagini.
Volvo XC60 PHEV 2018	Nu	Nu	da	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	--
TOTAL Da	0	28	36	24	28	2	26	21	17	0	30	--
TOTAL Nr	36	8	0	12	8	34	10	15	19	36	6	--

NOTĂ: EV = vehicul electric; HV = tensiune înaltă.  
un producător nu mai este în activitate.

<sup>b</sup> Scion a fost întrerupt în 2016.

După cum se arată în tabelul 3, cele mai multe (28) ghiduri ale producătorilor conțin elemente ale ghidului specific vehiculului care face parte din ghidul de răspuns la urgență al NFPA. Cu toate acestea, niciunul dintre producători nu urmează formatul sau ordinea elementelor din ISO 17840 în ghidurile lor, așa cum este recomandat de SAE J2990.<sup>87</sup>Toți producătorii oferă informații specifice vehiculului pentru dezactivarea sistemului de înaltă tensiune, ceea ce înseamnă deconectarea circuitelor de înaltă tensiune de restul vehiculului, nu deconectarea bateriei de înaltă tensiune în sine. Sunt descrise diverse dispozitive și proceduri, cum ar fi bucle tăiate pentru întreruperea conexiunii dintre sistemul de înaltă tensiune și restul vehiculului sau ștecherile care pot fi ridicate manual pentru a deconecta sistemul de înaltă tensiune. Ghidurile includ în general diagrame sau fotografiile ale procedurilor de deconectare, însoțite de instrucțiuni scrise.

Două treimi (24) din ghidurile producătorilor oferă informații despre stabilizarea unui vehicul avariat și, de asemenea, descriu EIP adecvat pentru diferite situații de urgență. Toate ghidurile, cu excepția celor 10, conțin informații despre vehiculele scufundate, cum ar fi că șasiul nu va fi alimentat dacă vehiculul este sub apă (și, prin urmare, este sigur la atingere). Douăzeci și unu oferă informații despre remorcarea vehiculului, de exemplu, că ar trebui utilizat un camion cu platformă.

Douăzeci și opt de ghiduri ale producătorilor avertizează asupra pericolelor, inclusiv incendiul, prezentate de bateriile de înaltă tensiune deteriorate. Cu toate acestea, doar doi producători dau instrucțiuni specifice vehiculului pentru combaterea unui incendiu de baterie de înaltă tensiune (Mitsubishi recomandă inundarea cu apă a unui vehicul avariat; Proterra, care produce un autobuz electric, instruește pompierii să concentreze apa spre carcasa bateriei). Subaru recomandă să nu inundați o baterie, ci să o lăsați să se ardă singură. Toyota recomandă, de asemenea, să lăsați focul bateriei să se stingă singur. Hyundai și Proterra recomandă monitorizarea unei baterii deteriorate folosind o cameră termică. În general, lipsesc din ghid informații specifice despre unde să aplicați apă unei baterii de înaltă tensiune care arde și despre cum să determinați când este sigur să opriți aplicarea apei, cum ar fi pragurile adecvate de temperatură.

Niciunul dintre producători nu oferă instrucțiuni specifice, cum ar fi o listă de proceduri, pentru a minimiza pericolele prezentate de energia blocată, inclusiv riscul de reaprindere a bateriei. Six nu oferă nicio informație despre caracteristicile bateriei precum tensiunea de vârf.

---

<sup>87</sup> Vezi secțiunea 4.4.

## 5 Analiză

Acest raport de siguranță începe cu investigațiile de către NTSB a patru incendii de vehicule electrice. Trei dintre incendii (Lake Forest, Mountain View și Fort Lauderdale) au rezultat din coliziuni de mare viteză, cu un singur vehicul, care au deteriorat bateriile litium-ion de înaltă tensiune ale vehiculelor. Al patrulea incendiu (West Hollywood) a fost cauzat de o defecțiune internă a bateriei litium-ion de înaltă tensiune a vehiculului în timpul operațiunilor normale de conducere.

Cele trei accidente au fost mult mai grave și au dus la pagube mai mari ale vehiculelor și bateriilor decât în condițiile în care vehiculele electrice sunt testate pentru a îndeplini standardele federale de siguranță (FMVSS 305 și FMVSS 208). Două dintre accidente au implicat vehicule care circulau cu mult peste limita de viteză afișată (82 mph în Lake Forest și 116 mph în Fort Lauderdale). În accidentul din Mountain View, vehiculul a lovit un atenuator de impact nefuncțional la viteze de autostradă (71 mph). Toate cele trei accidente au provocat pagube extinse care s-au extins în zona protejată a carcasi bateriei de înaltă tensiune, rupând carcasa și deteriorând modulele bateriei și celulele individuale.

Accidentele din Mountain View și Fort Lauderdale au dus la moartea ocupanților vehiculului. Cerințele FMVSS 305 (pentru a preveni scurgerile de electrolit, pentru a păstra dispozitivele electrice de stocare sau de conversie și pentru a asigura siguranța electrică) sunt evaluate după ce un vehicul electric este testat la impact în condițiile descrise în FMVSS 208 (axat pe protecția ocupanților la viteze de impact cuprinse între 30 și 50 mph). Ambii ocupanți au supraviețuit accidentului din Lake Forest, ceea ce ilustrează faptul că accidentele la viteze mai mari de impact care provoacă daune grave ale bateriei și incendiu pot fi supraviețuitoare.

Ca parte a analizei sale, NTSB a examinat standardele naționale și internaționale stabilite pentru a maximiza siguranța vehiculelor electrice. O atenție deosebită a fost acordată îndrumărilor furnizate de producătorii de vehicule electrice pentru primul și al doilea răspuns la accidente de vehicule și incendii de baterii de înaltă tensiune. Examinarea sa concentrat pe bateriile litium-ion de înaltă tensiune. Analiza a identificat două probleme principale de siguranță:

- Inadecvarea ghidurilor de răspuns în caz de urgență ale producătorilor de vehicule pentru a minimiza riscurile pentru primul și cel de-al doilea răspuns, prezentate de incendiile bateriilor litium-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice.
- Lacune în standardele de siguranță și cercetări legate de bateriile litium-ion de înaltă tensiune implicat în accidente de mare viteză, de mare gravitate.

Mai jos, discutăm rezultatele investigației și prezentăm recomandări pentru îmbunătățirea siguranței primului și celui de-al doilea răspuns care se ocupă de incendiile de baterii litium-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice.

### 5.1 Îndrumări pentru personalul de intervenție în caz de urgență

NTSB a revizuit documentele de îndrumare pregătite pentru respondenții în situații de urgență de 36 de producători de vehicule electrice alimentate cu baterii litium-ion de înaltă tensiune. Rezultatele, prezentate în tabelul 3, secțiunea 4.5.2, arată că îndrumările sunt puternice în anumite privințe, dar lipsite în altele, în special în ceea ce privește instrucțiunile specifice pentru combaterea bateriilor litium-ion de înaltă tensiune.

incendii și pentru abordarea riscurilor prezentate de energia eșuată. Fiecare subsecțiune de mai jos desenează concluziile referitoare la un aspect critic al ghidului, urmate de o subsecțiune care conține recomandări pentru îmbunătățirea ghidului și pentru diseminarea informațiilor către primul și al doilea răspuns despre riscurile și îndrumările descrise în acest raport.

#### 5.1.1 Deconectare de înaltă tensiune

Personalul de intervenție se confruntă cu un risc de șoc electric din cauza energiei stocate în bateriile litiu-ion de înaltă tensiune deteriorate. Pentru a proteja împotriva șocurilor electrice, standardele de siguranță necesită izolarea sistemului de baterii de înaltă tensiune al unui vehicul electric de șasiu, oferind valori minime pentru rezistența de izolare. De asemenea, necesită marcaje specifice pentru sistemele de înaltă tensiune și acoperiri portocalii pentru a identifica cablurile de înaltă tensiune și alte componente.

Pentru a reduce riscurile de înaltă tensiune în vehiculele electrice deteriorate, producătorii includ metode de izolare a sistemului de înaltă tensiune prin deconectarea circuitelor de înaltă tensiune dintre bateria litiu-ion și grupul motopropulsor. Primii respondenți care consultă oricare dintre ghidurile de răspuns în caz de urgență revizuite de NTSB vor găsi instrucțiuni despre cum să izolați un vehicul electric. baterie litiu-ion de înaltă tensiune (consultați coloana 4, tabelul 3). Fiecare dintre ghidurile de răspuns în caz de urgență include o ilustrare grafică a metodei de deconectare a vehiculului respectiv, iar în toate vehiculele electrice acoperite de ghiduri, culoarea portocalie este utilizată pentru identificarea componentelor de înaltă tensiune. Metodele de deconectare a circuitelor de înaltă tensiune variază în funcție de producătorul vehiculului - standardele federale (FMVSS 305) nu impun o metodă uniformă. După cum sa menționat mai devreme, deși deconectările vor izola o baterie cu litiu de înaltă tensiune, ele nu vor elimina energia din baterie în sine.

SAE J2990, care abordează pericolele cu care se confruntă primul și cel de-al doilea răspuns la accidente și alte incidente care implică vehicule electrice, recomandă producătorilor să încorporeze cel puțin două metode de deconectare a sistemelor de înaltă tensiune ale vehiculelor. Recomandarea enumeră următoarele metode: (1) oprire automată; (2) comutarea contactului pe OFF (pentru a deconecta sistemul de înaltă tensiune de la sursele de înaltă tensiune și pentru a descărca sistemul la 60 volți DC sau 30 volți AC în 10 minute); (3) tăiați sau deconectați cablurile bateriei pentru a descărca sistemul de 12 volți și tăiați sau deconectați cablul de ieșire de 12 volți. SAE J2990 afirmă că utilizarea a deconectarea manuală (cum ar fi tragerea din priză) nu ar trebui să fie metoda principală pentru primii care răspund pentru a dezactiva circuitele de înaltă tensiune ale unui vehicul. Acest lucru se datorează faptului că (1) varietatea de modele face ca localizarea și activarea deconectărilor manuale să fie ineficientă, (2) primii respondenți nu au întotdeauna EIP necesar și (3) mecanismul de deconectare manuală ar putea fi inaccesibil.

Metodele de dezactivare încorporate de producători includ deconectări manuale de service și bucle de tăiere care pot fi întrerupte pentru a deconecta sistemul de înaltă tensiune și a-l izola de restul vehiculului. Câțiva producători preferă să opereze deconectarea manuală ca metodă de dezactivare a sistemului de înaltă tensiune. Dacă deconectările fizice nu sunt disponibile sau sunt inaccesibile, unii producători recomandă să trageți o anumită siguranță sau să scoateți toate siguranțele. Pentru mai multe modele, ghidul precizează că sistemul de înaltă tensiune al vehiculului se va deconecta automat dacă airbag-urile se declanșează. Pentru alte modele, respondenților de urgență li se spune că apăsarea butonului de pornire/oprire va declanșa automat o deconectare de înaltă tensiune.



Toate vehiculele din cele trei incendii de baterii post-accident investigate pentru acest raport au fost echipate cu dispozitive de deconectare de urgență. În aceste circumstanțe, însă, niciunul dintre primii care au intervenit la incendiu nu a folosit niciunul dintre dispozitive. În cazul Lake Forest, bucla de tăiere de înaltă tensiune a fost în zona de incendiu grav și daune de impact în partea din față a SUV-ului. Accidentul din Mountain View a dus la ruperea completă a buclei tăiate (și în partea din față a vehiculului). În timpul inspecției de după accidentul din Fort Lauderdale, pompierii le-au spus anchetatorilor NTSB că incendiul a făcut ca bucla tăiată din partea din față a mașinii să fie inaccesibilă, chiar dacă știau unde să o caute<sup>88</sup>. În incendiul West Hollywood, care nu a urmat. Într-un accident, primii respondenți au întrerupt cu succes bucla de deconectare de înaltă tensiune a vehiculului, deși au exprimat confuzia cu privire la relația dintre sistemul de înaltă tensiune și sistemul de 12 volți care alimenta computerul vehiculului. NTSB concluzionează că ghidurile de răspuns în caz de urgență ale producătorilor oferă suficiente informații specifice vehiculului pentru a deconecta sistemul de înaltă tensiune al unui vehicul electric atunci când deconectările de înaltă tensiune sunt accesibile și nedeteriorate de forțele de impact. NTSB concluzionează, în continuare, că daunele accidentale și incendiile rezultate pot împiedica primii care răspund să acceseze deconectarea de înaltă tensiune din vehiculele electrice.

### 5.1.2 Suprimarea incendiilor

Ghidul de urgență NFPA afirmă că sunt necesare volume mari și susținute de apă pentru a stinge un incendiu de baterie de înaltă tensiune: „ar putea necesita peste 2.600 de galoane, în funcție de dimensiunea și locația bateriei”. Ghidul subliniază, de asemenea, dificultatea aplicării agenților de stingere direct pe celulele care arde din cauza carcasei de protecție a bateriilor. Mai departe afirmă că aplicarea unui volum mare de apă ar putea răci suficient bateria pentru a preveni propagarea incendiului la celulele adiacente. O baterie litiu-ion de înaltă tensiune este proiectată să reziste la apă, dar apa este esențială pentru răcirea celulelor supraîncălzite pentru a opri evadarea termică și arderea ulterioară (așa cum se discută în secțiunea următoare).

În cele patru investigații NTSB, cantitatea totală de apă folosită pentru a suprima Incendiile de baterii litiu-ion de înaltă tensiune au variat de la 300 de galoane în Fort Lauderdale și West Hollywood la 1.000 de galoane în Mountain View și la peste 20.000 de galoane în Lake Forest. În incidentul de la Fort Lauderdale, incendiul bateriei a fost intens, dar o ruptură în carcasa bateriei dintre scaunele din față a permis să pătrundă apă în carcasă, ceea ce a ajutat la stingerea incendiului. În incendiul bateriei de la West Hollywood, care nu a rezultat în urma unui accident, flăcările s-au stins rapid, dar pompierii au fost nevoiți să aplice încă 30 de minute pentru a opri bateria să mai fumeze. În cazul Mountain View, și flăcările au fost stinse rapid, dar a trebuit să se aplice mai multă apă când s-a reaprins focul bateriei. În cazul Lake Forest, pompierii au aplicat cantități mari de apă, dar nu au putut stinge focul până nu au ridicat vehiculul și au aplicat apă direct pe baterie de pe partea inferioară.

Conform analizei NTSB a ghidurilor de răspuns în caz de urgență disponibile primului și celui de-al doilea răspuns, majoritatea producătorilor oferă informații generale despre bateriile de înaltă tensiune deteriorate și despre pericolul de incendiu, inclusiv faptul că astfel de incendii necesită cantități mari de apă pentru a se stinge. Cu toate acestea, producătorii, în general, nu oferă informații specifice vehiculului pentru combaterea unui incendiu de baterie litiu-ion de înaltă tensiune (consultați coloana 7, tabelul 3), cum ar fi unde și cum

---

<sup>88</sup> Buclele tăiate pot fi în față sau în spate, sau atât în față, cât și în spate, ca în mașinile Tesla model S construite după iunie 2013 (cum ar fi vehiculul din incendiul de la Fort Lauderdale).

să aplice apă pentru a stinge și răci bateria. În incendiul Lake Forest, pompierii au căutat online asistență, dar nu au aplicat suficientă apă direct pe carcasa bateriei la început pentru a răci bateria de înaltă tensiune, care a ajuns să necesite 2 ore și 20.000 de galoane de apă pentru stingere. În incendiul de la West Hollywood, pompierii au contactat producătorul

imediat după ce flăcările s-au stins, deoarece nu au putut stabili unde să aplice pentru a opri vehiculul să fumeze. În timp ce caută o modalitate de a aplica apă la baterie, pompierii a folosit un levier metalic pentru a îndepărta panourile caroseriei din vehicul, procedură care prezenta un risc de șoc electric și asupra căreia documentele de orientare avertizează.

Astfel, pe lângă împiedicarea stingerii eficiente a incendiilor de baterii litiu-ion de înaltă tensiune, lipsa informațiilor clare, specifice vehiculului, poate duce la confuzie sau la acțiuni nerecomandate din partea primilor care răspund, chiar și atunci când sunt disponibile îndrumări generale. NTSB concluzionează că instrucțiunile din ghidurile de răspuns la urgență ale majorității producătorilor pentru combaterea incendiilor bateriei litiu-ion de înaltă tensiune nu lipsesc detaliile necesare, specifice vehiculului stingerea incendiilor.

NTSB notează că, în Franța, Renault (neinclusă în documentele de orientare analizate pentru acest raport deoarece vehiculele sale nu sunt importate în Statele Unite) a colaborat cu serviciile de pompieri și de urgență pentru a proiecta porturi de admisie prin care, în caz de incendiu, apă poate fi aplicat direct bateriilor litiu-ion din vehiculele sale electrice. Potrivit unui site web al companiei, pompierii pot stinge un incendiu de baterie în mai puțin de un minut folosind porturile de acces.<sup>89</sup>

### 5.1.3 Evadarea termică și reaprinderea bateriei

Bateriile litiu-ion de înaltă tensiune deteriorate reprezintă un risc pentru personalul de intervenție din cauza potențialului de evadare termică, care poate provoca aprinderea sau reaprinderea bateriei. Riscul de evadare termică a vehiculelor electrice alimentate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune a devenit evident în 2011, când un Chevrolet Volt a luat foc la 3 săptămâni după un test de impact.

Energia de înaltă tensiune stocată în bateriile litiu-ion și inflamabilitatea electrolitului bateriilor creează potențialul de evadare termică și incendiu. Evadarea termică începe cu supraîncălzirea în celulele individuale ale bateriei care degradează izolarea lor electrică și poate fi în progresează chiar și atunci când flăcările nu sunt vizibile în afara bateriei. SAE J2990 recomandă utilizarea unei camere termice sau a unei sonde de temperatură cu infraroșu pentru a inspecta o baterie deteriorată. De asemenea, cei care răspund în caz de urgență sunt sfătuiți să-și folosească simțurile atunci când inspectează un vehicul electric avariât - pentru a asculta zgomotele de la baterie (gârâit, clocotire, trosnet, șuierat sau popping), ceea ce poate indica faptul că celulele supraîncălzite se aerisesc sau că tensiunea înaltă. sistemul este arc; și pentru a observa dacă bateriei provine un miros de ars, ceea ce este o dovadă a deteriorării cauzate de incendiu sau de căldură.

SAE J2990 avertizează că, dacă o baterie litiu-ion de înaltă tensiune este implicată într-un incendiu, „există posibilitatea ca aceasta să se poată reaprinde după stingere”. Ghidul de urgență al NFPA avertizează, de asemenea, că un incendiu într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune s-ar putea reaprinde și recomandă ca personalul de intervenție să utilizeze imagini termice pentru a monitoriza bateria. Ghidul afirmă că reaprinderea este însoțită de un sunet de „șușut” sau „popping”, urmat de degajarea de gaze a fumului alb sau

---

<sup>89</sup> Vezi [articolul](#) din 16 mai 2018, pe site-ul Groupe Renault: „Vehicule electrice: Groupe Renault Works Hand in Hand with Fire Services” (accesat la 1 iunie 2020).

arcuri electrice sau scântei care se reaprind, cu flăcări vizibile sau foc. Ghidul afirmă că reaprinderea poate avea loc în câteva ore până la o zi sau mai mult după stingerea incendiului. NFPA îi sfătuiește pe pompieri să continue să aplice apă (chiar și după ce nu mai pot vedea o flacără) pentru a răci suficient acumulatorul - ar putea dura o oră sau mai mult - pentru a reduce riscul de reaprindere.

Toate, cu excepția celor 36 de ghiduri de răspuns în situații de urgență ale producătorilor examinate pentru acest raport, conțin informații generale despre deteriorarea bateriilor de înaltă tensiune, inclusiv faptul că bateriile de înaltă tensiune se pot reaprindi după ce sunt stinse. Îndrumarea Tesla pentru modelul S afirmă în mod specific că sunt necesare aproximativ 3.000 de galoane de apă pentru a răci bateria litiu-ion de înaltă tensiune, că poate avea loc reaprinderea și că bateria trebuie să fie complet răcită înainte de a fi eliberată către respondenții secundari. Vehiculele atât din accidentul Lake Forest, cât și din Mountain View au suferit cel puțin șase reaprinderi ale bateriei după ce incendiile vehiculelor au fost stinse. Bateria în accidentul din Fort Lauderdale s-a reaprins de trei ori. (Bateria din incendiul de la West Hollywood nu s-a reaprins.) În toate cele trei cazuri, cei care au intervenit în situații de urgență fie au consultat ghidurile de răspuns în caz de urgență online, fie au contactat direct producătorul. Cu toate acestea, pompierii și șoferii de remorcher nu au putut împiedica reaprinderile. NTSB concluzionează că evadarea termică și reaprinderile multiple ale bateriei după suprimarea inițială a incendiului reprezintă riscuri de siguranță în incendiile bateriilor cu litiu-ion de înaltă tensiune.

#### 5.1.4 Energie blocată

NTSB concluzionează în secțiunea 5.1.1 că ghidurile de răspuns în caz de urgență ale producătorilor conțin suficiente informații pentru ca primii intervenitori să deconecteze sistemul de înaltă tensiune al unui vehicul electric, cu condiția ca deconectările să fie accesibile și să nu fie deteriorate de forțele de impact. Cu toate acestea, chiar dacă sistemul de înaltă tensiune al unui vehicul electric este deconectat, energia va rămâne prinsă într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată. Energia eșuată prezintă un risc de șoc electric pentru personalul de intervenție și creează potențialul de evadare termică care poate duce la reaprindere și incendiu.

Reapriinderea bateriei poate fi cauzată de mijloace termice sau mecanice. La o reaprindere termică, bateria nu este suficient de răcită și rezultă o fugă termică, ca în incendiul Lake Forest. Reapriinderea mecanică are loc atunci când părți ale unei baterii sau alte resturi conductoare provoacă un scurtcircuit în celulele care conțin energie eșuată. De exemplu, dacă se schimbă un vehicul electric deteriorat, răsucirea epavei poate crea noi conexiuni electrice care pot apoi elibera energie și pot provoca reapriinderea. După incendiul din Fort Lauderdale, bateria s-a reaprins de două ori - o dată în timp ce epava era încărcată într-o camionetă de tractare și din nou când un lanț a trecut peste baterie după ce vehiculul a fost încărcat în camion.

În cele trei accidente de mare viteză și gravitate pe care NTSB le-a investigat, bateriile litiu-ion de înaltă tensiune ale vehiculelor s-au reaprins de cel puțin 15 ori în total. Reapriinderile au fost dovezi că energia eșuată a rămas în părțile nedeteriorate ale bateriilor de înaltă tensiune. La inspecția sistemului de baterii după accidentul și incendiul din Fort Lauderdale, tensiunea din modulele bateriei de la 1 la 5 a variat între 69,9 și 167,3 volți DC, cu mult peste limitele de siguranță pentru expunerea umană (50 până la 60 volți DC). Inspecția bateriei de înaltă tensiune după incendiul de la West Hollywood a constatat că modulul 14 a suferit defecțiuni interne și că toate celelalte module au rămas încărcate.

Tehnicienii unui centru local de service operat de producător, care a intrat în posesia vehiculului, au scos bateria și au descărcat energia blocată cu 50 la sută.

90

După accidentul din Mountain View, inginerii au încercat de două ori să elimine energia blocată din sistemul energetic de înaltă tensiune al vehiculului. La fața locului, și-au oprit încercarea când au întâlnit semne de reaprindere. După ce vehiculul a fost mutat în mediul mai controlat al unei curți de remorcare, inginerii au făcut o a doua încercare de a elimina energia blocată din baterie, folosind un conector la exteriorul bateriei. Cu toate acestea, conectorul a fost contaminat cu apă și resturi, iar încercările de deconectare a bateriei au eșuat. Eforturile de măsurare a tensiunii au fost neconcludente.

După prăbușirea și incendiul Lake Forest, o mare parte a bateriei litiu-ion de înaltă tensiune a rămas intactă, dar nu a fost posibilă confirmarea faptului că bateria conținea energie blocată, deoarece bornele de conectare ale modului erau inaccesibile. În exemplul Chevrolet Volt din 2011, a rămas suficientă energie eșuată după un test de impact, în care bateria a luat foc în timp ce vehiculul era depozitat 3 săptămâni mai târziu. În două exemple internaționale de incendii de baterii litiu-ion de înaltă tensiune în vehicule electrice analizate pentru acest studiu, un model BMW i3 și un Mitsubishi Outlander au experimentat, de asemenea, reaprinderi. Deși niciunul dintre incendiile de baterie investigate sau analizate pentru acest raport de siguranță nu a dus la șoc electric pentru ocupanții vehiculului sau pentru cei care au intervenit în situații de urgență, o baterie litiu-ion de înaltă tensiune sub tensiune prezintă întotdeauna un astfel de risc. NTSB concluzionează că energia rămasă într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată, cunoscută sub denumirea de energie blocată, prezintă un risc de șoc electric și creează potențialul de evadare termică care poate duce la reaprinderea bateriei și la incendiu.

Pompierii nu au nicio metodă de a determina dacă energia eșuată este prezentă într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată sau de a elimina energia din acumulator.<sup>91</sup> Inginerii sau alți specialiști pot utiliza sistemul de management al bateriei pentru a verifica dacă sistemul este funcțional, iar unele baterii au porturi de descărcare încorporate. Cu toate acestea, în trei dintre cele patru investigații NTSB discutate în acest raport, sistemul de baterii de înaltă tensiune a fost deteriorat într-un accident, împiedicând accesul la sistemul de management al bateriei sau la porturile de descărcare. În plus, starea unei baterii deteriorate este necunoscută și trebuie tratată ca o înaltă tensiune risc de siguranță.

În toate cele patru investigații NTSB, ghidurile de răspuns în caz de urgență pentru fiecare vehicul au fost disponibile primilor care au intervenit atât de pe site-ul web NFPA, cât și direct de la producătorul vehiculului. Analiza NTSB a ghidurilor de răspuns în caz de urgență de la 36 de producători a constatat că toate conțineau informații specifice vehiculului pentru atenuarea riscurilor de înaltă tensiune, cum ar fi locația bateriei de înaltă tensiune și metode de deconectare a sistemului de înaltă tensiune. Cu toate acestea, niciunul dintre ghiduri nu a oferit informații pentru atenuarea riscurilor de energie eșuată, cum ar fi o listă de proceduri pentru reducerea la minimum a șanselor de reaprindere a bateriei sau instrucțiuni specifice despre unde și cum se aplică apă pentru a răci o baterie de înaltă tensiune. O metodă de îndepărtare a șuvițelor

---

<sup>90</sup> După cum sa menționat mai devreme, încărcarea a fost redusă la 50% pentru a permite transportul în siguranță pe distanțe lungi a bateriei și, de asemenea, pentru a păstra dovezile.

<sup>91</sup> Metodele existente de deconectare a bateriei (cum ar fi accesarea manuală a bornelor sau inundarea pachetului de baterii cu o soluție conductivă) nu sunt în domeniul de aplicare a unui răspuns de urgență și durează de obicei un timp nepractic de lung.

energia de la o baterie litiu-ion de înaltă tensiune este de a o separa de vehicul și de a o descărca într-o baie de apă sărată.

Videoclipul recent de instruire al NFPA care abordează sistemele de baterii de înaltă tensiune și energia blocată evidențiază provocările pentru cei care răspund în situații de urgență.<sup>92</sup> NFPA avertizează respondenții că ar trebui să presupună întotdeauna că sistemul de înaltă tensiune este alimentat. Prin urmare, primii care răspund trebuie să presupună că energia blocată este prezentă într-un vehicul electric avariat și au nevoie de informații specifice vehiculului despre cum să gestioneze și să minimizeze riscurile asociate pentru reaprinderea bateriei și incendiu.<sup>93</sup> Intervenții secundari, inclusiv operatorii de remorcare și instalația de depozitare operatorii, trebuie, de asemenea, să evalueze și să atenueze riscurile asociate bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune. După cum sa menționat mai devreme, în efortul de recuperare din Fort Lauderdale, un lanț care a trecut peste bateria de înaltă tensiune a făcut-o să se reaprindă. După accidentul Lake Forest, când vehiculul s-a aprins în timp ce era mutat pe un camion de remorcare cu platformă, operatorul camionului a suferit răni ușoare. NTSB concluzionează că bateriile litiu-ion de înaltă tensiune din vehiculele electrice, atunci când sunt deteriorate de forțele de impact sau de defecțiunea internă a bateriei, prezintă provocări speciale pentru primul și cel de-al doilea răspuns din cauza informațiilor insuficiente din partea producătorilor privind procedurile de atenuare a riscurilor de energie blocată.

Depozitarea unui vehicul electric cu o baterie litiu-ion de înaltă tensiune este problematică atunci când vehiculul este deteriorat sau a avut loc un incendiu al bateriei. Incendiile bateriilor investigate de NTSB s-au reaprins de mai multe ori, chiar și la câteva zile după un accident, punând alte vehicule și structurile din apropiere în pericol de incendiu. Chevrolet Volt care s-a aprins la 3 săptămâni după ce un test de impact a avariat patru vehicule din apropiere. NFPA și producătorii de vehicule recomandă să lăsați un spațiu liber de 50 de picioare în jurul unui vehicul electric depozitat, deteriorat, pentru a preveni deteriorarea vehiculelor sau structurilor din apropiere, în cazul în care bateria se reaprinde. (Ghidul din SAE J2990 oferă o soluție alternativă: creați o barieră de pământ, oțel, beton sau zidărie solidă în jurul vehiculului.) Facilități de depozitare pentru vehiculele implicate în accidente și incendiile investigate de NTSB în Lake Forest, Mountain View, iar Fort Lauderdale nu a putut găzdui o rază de 50 de picioare în jurul vehiculelor avariate. Dacă în aceeași unitate ar fi depozitat mai mult de un vehicul electric cu risc de reaprindere a incendiului, asigurarea unui spațiu suficient pentru a atenua riscurile unui incendiu ulterior ar fi, cel mai probabil, imposibilă. NTSB concluzionează că depozitarea unui vehicul electric cu o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată în interiorul zonei libere recomandate de 50 de picioare poate fi imposibilă în curțile de remorcare sau depozitare.

### 5.1.5 Probleme de format

Ghidurile de răspuns în caz de urgență trebuie să fie clare cu privire la procedurile specifice vehiculului și criteriile de evaluare necesare pentru a minimiza riscul de aprindere sau reaprindere a unei baterii litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată. Organizația de pompieri/salvare CTIF a elaborat standardul ISO 17840 (Vehicule rutiere – Informații pentru primul și al doilea răspuns) ca standard din patru părți care se adresează tuturor tipurilor de vehicule, inclusiv autoturisme, vehicule comerciale ușoare, autobuze și vehicule comerciale grele (a se vedea secțiunea 4.4 pentru detalii). Partea 3 a standardului, publicată în aprilie 2019, conține un șablon pentru ghiduri de răspuns în caz de urgență care se aplică diferitelor tipuri de vehicule, inclusiv vehiculele electrice. Șablonul definește aspectul și conținutul general al ghidurilor de răspuns în caz de urgență, cu scopul de a stabili un format standard pentru claritate și ușurință de utilizare de către prima

<sup>92</sup> Videoclipul poate fi vizionat pe [site-ul web de instruire și certificare al NFPA](#) (accesat 5 iunie 2020).

<sup>93</sup> Videoclipul NFPA subliniază necesitatea ca respondenții să ia în considerare tipul, cantitatea și locația bateriilor într-un vehicul electric deteriorat.

și al doilea răspuns. Scopul este ca respondenții să aibă informațiile de care au nevoie pentru a lua decizii rapide și corecte în caz de incendiu, scufundare a vehiculului sau scurgeri de lichid. Standardul precizează titlurile pentru diferitele secțiuni ale unui ghid de răspuns în caz de urgență (cum ar fi „Dezactivarea pericolelor directe/ regulamente de siguranță” sau „În caz de incendiu”), dar lasă producătorilor să completeze informații specifice pentru fiecare secțiune a documentului. ghid.

NTSB a constatat că niciunul dintre producătorii de vehicule electrice nu își organizează ghidurile de răspuns în caz de urgență conform formatului stabilit în standardul ISO 17840, așa cum este recomandat în SAE J2990. Standardul ISO este destinat să sprijine salvarea rapidă și sigură a ocupanților vehiculului, precum și siguranța personalului de intervenție. Beneficiile documentelor de îndrumare standardizate se extind și la îmbunătățirea formării personalului de intervenție în situații de urgență. Dacă producătorii au folosit șablonul standard ISO 17840 pentru a prezenta informațiile de răspuns în caz de urgență, ar putea crește eficiența răspunsului, ar putea îmbunătăți înțelegerea de către personalul de urgență a acțiunilor pe care trebuie să le întreprindă atunci când se confruntă cu un vehicul electric deteriorat și bateria sa litiu-ion de înaltă tensiune, ar putea permite instruirea consecventă pentru situații de urgență. respondenții și să minimizeze riscurile pentru respondenții în caz de urgență asociate cu sistemele de energie de înaltă tensiune, deoarece informațiile ar fi prezentate într-o manieră consecventă pentru toate vehiculele și vor conține niveluri echivalente de detalii specifice vehiculului. Prin urmare, NTSB concluzionează că producătorii de vehicule electrice ar trebui să utilizeze șablonul standardului ISO 17840 pentru a prezenta informații de răspuns în caz de urgență. Euro NCAP, în coordonare cu CTIF, încorporează scorul în raport cu disponibilitatea ghidului de răspuns în situații de urgență al unui producător și conformarea acestuia cu standardul ISO 17840.94 NTSB concluzionează că acțiunea NHTSA, similară cu cea luată de Euro NCAP, pentru a include notarea în raport cu disponibilitatea unui ghid de răspuns în situații de urgență al unui producător și aderarea acestuia la standardul ISO 17840 și standardul SAE J2990 în US NCAP ar fi un stimulent pentru producătorii de vehicule vândute în Statele Unite cu sisteme de baterii de înaltă tensiune să respecte aceste standarde.

#### 5.1.6 Recomandări pentru îmbunătățirea îndrumării și diseminarea informațiilor

NTSB a constatat că îndrumările oferite de producătorii de vehicule electrice primului și celui de-al doilea răspuns lipsesc în privințe importante (după cum se arată în mențiunile „nu” din tabelul 3, secțiunea 4.5.2) – în special în ceea ce privește riscurile de siguranță ale stingerii incendiilor care implică baterii litiu-ion de înaltă tensiune și pericolele pe care le prezintă energia eșuată într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată. NTSB a identificat că aproape toate ghidurile de răspuns în situații de urgență ale producătorilor conțin informații generale despre riscurile prezentate de bateriile litiu-ion de înaltă tensiune. În vehiculele electrice - cum ar fi că bateriile deteriorate se pot aprinde sau reaprinde - dar doar două ghidurile oferă informații specifice vehiculului pentru suprimarea unui incendiu de înaltă tensiune a bateriei. Informațiile critice includ unde să aplicați apă pentru a stinge un incendiu al bateriei într-un vehicul electric și când este sigur să opriți aplicarea apei, cum ar fi când sunt atinse pragurile de temperatură.

O îngrijorare suplimentară este faptul că niciunul dintre ghidurile revizuite nu oferă persoanelor de intervenție în caz de urgență informații despre cum să se ocupe de riscurile prezentate de energia blocată într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată. Pompierii care participă la răspunsul inițial în caz de urgență și șoferii de camion de remorcare care mută un vehicul electric avariat de la fața locului pot fi cu toții expuși riscurilor de energie blocată. Depozitarea unui vehicul electric cu o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată este un

---

94

Scorul se bazează pe disponibilitatea versiunilor scurte ale ghidurilor de răspuns în situații de urgență ale producătorilor, cunoscut sub numele de foi de salvare.

problema suplimentară. Documentele de îndrumare își limitează, în general, sfaturile la apelarea producătorului pentru instrucțiuni sau la lăsarea de cel puțin 50 de picioare în jurul vehiculului. NTSB consideră că acest sfat nu este practic în cel mai bun caz. Având în vedere recomandarea SAE de a lua în considerare și izolarea unui vehicul electric deteriorat în interiorul unei bariere de pământ, oțel, beton sau zidărie, producătorii ar putea lua în considerare includerea unei astfel de alternative în ghidul lor.

O modalitate evidentă de a face informațiile de orientare ușor accesibile pentru cei care răspund în caz de urgență ar fi să le prezinte sub forma unei liste de verificare, similară listei din tabelul 1, secțiunea 4.3.3 (pașii post-incident recomandați în SAE J2990). NTSB este de acord cu SAE și cu alții că publicarea ghidurilor de răspuns în caz de urgență într-un format clar și consecvent ar îmbunătăți utilitatea acestora pentru cei care răspund în situații de urgență, precum și ar minimiza riscurile pentru respondenți asociați cu bateriile litium-ion de înaltă tensiune. NTSB îndeamnă, de asemenea, producătorii de vehicule să includă în ghidurile lor de răspuns în caz de urgență informații specifice fiecărui vehicul, astfel încât pompierii și șoferii de camion de remorcă să poată acționa eficient și în siguranță în situațiile de urgență care implică vehicule electrice care sunt alimentate de baterii litium-ion de înaltă tensiune.

Prin urmare, NTSB recomandă producătorilor de vehicule electrice echipate cu baterii litium-ion de înaltă tensiune să-și modeleze ghidurile de răspuns în caz de urgență conform standardului ISO 17840, așa cum este inclus în practica recomandată SAE J2990, și să încorporeze informații specifice vehiculului cu privire la (1) combaterea nivelului de urgență, incendiul de baterie litium-ion de tensiune; (2) atenuarea evadării termice și a riscului de reaprindere a bateriei litium-ion de înaltă tensiune; (3) atenuarea riscurilor asociate cu energia eșuată în bateriile litium-ion de înaltă tensiune, atât în timpul răspunsului inițial în caz de urgență, cât și înainte de mutarea unui vehicul electric avariat de la fața locului; și (4) depozitarea în siguranță a unui vehicul electric care are o baterie litium-ion de înaltă tensiune deteriorată.<sup>95</sup>

Piața vehiculelor electrice se extinde, iar NCAP al NHTSA evaluează performanța noilor modele de vehicule în raport cu diferite măsuri de siguranță. NTSB a concluzionat în secțiunea 5.1.5 că includerea punctajului în NCAP în raport cu disponibilitatea ghidului de răspuns în situații de urgență al unui producător și respectarea acestuia la standardele ISO și SAE relevante ar fi un stimulent pentru producătorii de vehicule vândute în Statele Unite cu sisteme de baterii de înaltă tensiune să respecte aceste standarde. Stimulentul s-ar aplica atât producătorilor actuali, cât și noilor producători de vehicule electrice, iar aderarea ar spori siguranța primului și celui de-al doilea răspuns prin îmbunătățirea ghidurilor de răspuns în caz de urgență furnizate de producători. Prin urmare, NTSB recomandă ca atunci când se determină scorul NCAP al unui vehicul din SUA, NHTSA să ia în considerare disponibilitatea ghidului de răspuns în situații de urgență al producătorului și respectarea acestuia la standardul ISO 17840 și practica recomandată SAE J2990.

---

<sup>95</sup> Producătorii (inclusiv subdiviziunile sau mărcile subsidiare) care fac obiectul acestei recomandări sunt următorii: BMW Group (BMW și MINI); Motoare BYD; Grupul FCA (Chrysler și Fiat); Compania General Motors (Buick, Cadillac, Chevrolet și GMC); Ford Motor Company (Ford și Lincoln); Gillig; Honda Motor Company (Honda și Acura); Compania Hyundai Motor; Karma Automotive; Kia Motors Corporation; Mercedes-Benz SUA; Mitsubishi Motors; Nissan Motor Company (Infiniti și Nissan); Nova Bus, Inc.; Porsche Cars America de Nord; Proterra, Inc.; Subaru nord-american; Tesla, Inc.; Toyota Motor America de Nord (Lexus și Toyota); Van Hool NV; Grupul Volkswagen din America (Audi și Volkswagen); și Volvo Car Corporation. Trei companii ale căror ghiduri de răspuns în situații de urgență au fost revizuite pentru acest raport și-au încetat activitatea: Azure Dynamics, Fisker și Smith. Toyota și-a întrerupt marca Scion în 2016.



Este vital ca primul și cel de-al doilea răspuns să fie conștienți de riscurile asociate cu bateriile litiu-ion de înaltă tensiune din vehiculele electrice. NFPA și alte organizații au lucrat pentru a disemina astfel de informații. NTSB este încurajat în mod deosebit că pericolele energiei blocate au început să fie mediatizate, ca în noul videoclip de instruire al NFPA și în articolul recent din jurnal (Roman 2020). Cu toate acestea, este posibil ca unii pompieri și șoferi de camion de remorcare să nu înțeleagă pe deplin riscurile pe care le implică combaterea unui incendiu de baterie de înaltă tensiune sau transportul unui vehicul electric avariat sau este posibil să nu știe unde să găsească informații de orientare. Un exemplu de îngrijorări ale respondenților care reflectă o lipsă de înțelegere clară a apărut în timpul eforturilor de a suprima reaprinderea finală a bateriei după accidentul din Mountain View. Pompierii au aplicat apă sporadic, temându-se de șoc electric din fluxul de apă - un risc potențial pe care NFPA l-a studiat și a ignorat.

Asociațiile profesionale care reprezintă sau operează programe de formare pentru primul și al doilea răspuns includ, pe lângă NFPA, Asociația Internațională a Șefilor de Pompieri, reprezentând conducerea pompierilor și a asistenței de urgență din întreaga lume; Asociația Internațională a Pompierilor, un sindicat care reprezintă pompierii cu normă întreagă și personalul medical de urgență din Statele Unite și Canada; Consorțiul Național de Formare pentru Combustibili Alternativi, o organizație de formare la nivel național care elaborează programe și implementează instruire, sensibilizare și educație cu privire la utilizarea vehiculelor cu combustibil alternativ; Consiliul Național al Pompierii Voluntari, care reprezintă pompierii voluntari, serviciile medicale de urgență și serviciile de salvare și administrează Programul Național de Formare a Intervențiilor pentru Managementul Incidentelor de Trafic; și Towing and Recovery Association of America, care, în parteneriat cu Federal Highway Administration, operează Programul național de certificare a șoferilor pentru operatorii de camioane de remorcare. Prin urmare, NTSB recomandă ca NFPA, Asociația Internațională a Șefilor Pompierilor, Asociația Internațională a Pompierilor, Consorțiul Național de Formare a Combustibililor Alternativi, Consiliul Național al Pompierii Voluntari și Asociația de Remorcare și Recuperare din America să își informeze membrii despre circumstanțele de riscurile de incendiu descrise în acest raport și îndrumările disponibile personalului de urgență care răspund la incendiile de baterii litiu-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice.

## 5.2 Standarde și cercetare

Necesitatea de a evalua riscurile asociate cu incendiile bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune, energia blocată și depozitarea vehiculelor după accident (sau după incident) începe să fie recunoscută. În 2017, NHTSA a publicat un raport care abordează problemele de siguranță în sistemele de baterii litiu-ion de înaltă tensiune ale vehiculelor electrice și a identificat daunele cauzate de accident și după accident ca o lacună în reglementări și standarde de siguranță (Stephens și alții 2017). De la acel raport, NHTSA a inițiat proiecte de cercetare în sistemele de management al bateriilor și a energiei blocate. De exemplu, Rask și alții (2020) au analizat riscurile și pericolele asociate cu energia eșuată rămasă în sistemele de baterii litiu-ion de înaltă tensiune. Cercetarea s-a concentrat pe defecțiuni ale bateriei vehiculelor nedeteriorate sau vehicule avariate în accidente de supraviețuire (nivel FMVSS 208). Strategiile de atenuare (care au inclus instrumente de descărcare a bateriei dezvoltate de producător) presupun accesul la conexiunile bateriei, care, după cum s-a văzut în accidentele investigate de NTSB, ar putea să nu fie fezabile la fața locului sau să nu fie deloc posibile după o viteză mare, de mare severitate. prăbușire. În plus, standardul federal actual (FMVSS 305), eforturile grupului de lucru al Națiunilor Unite pentru siguranța vehiculelor electrice (GTR 20) și îndrumările de răspuns în caz de urgență detaliate în SAE J2990 nu abordează în prezent accidentele de mare viteză și gravitate care rezultă în deteriorarea unei baterii litiu-ion de înaltă tensiune și a

energia eșanată asociată în sistemul de înaltă tensiune. NTSB concluzionează că, deși standardele existente abordează daunele suferite de sistemele de baterii litium-ion de înaltă tensiune în accidente de supraviețuire, așa cum sunt definite de standardele federale de accident, ele nu se referă la viteză mare, de mare severitate. accidente care duc la deteriorarea bateriilor litium-ion de înaltă tensiune și a energiei eșuate asociate.

NHTSA este cel mai bine poziționat pentru a facilita cercetarea în Statele Unite cu privire la accidentele de vehicule de mare viteză și gravitate care au ca rezultat deteriorarea bateriilor litium-ion de înaltă tensiune și pentru a comunica descoperirile comunității internaționale de vehicule electrice. Unul dintre obiectivele studiului Rask și alții (2020) a fost acela de a dezvolta un instrument prototip care să le permită neexperților, cum ar fi șoferii de camion de remorcare, să evalueze și, eventual, să dezalimenteze un sistem de baterii de înaltă tensiune după un accident. Cu toate acestea, instrumentul prototip ar necesita fie un sistem funcțional de gestionare a bateriei, fie o conexiune directă la modulele interne ale bateriei printr-un port de înaltă tensiune. Sistemul de management al bateriei sau porturile, sau ambele, sunt susceptibile de a fi deteriorate într-un accident sau într-un eveniment de fugă termică (după cum se vede în investigațiile NTSB discutate în acest raport), făcând accesul la acestea problematic sau imposibil. Dispozitivele de deenergizare existente durează ore sau zile pentru a elimina energia blocată dintr-o baterie litium-ion de înaltă tensiune nedeteriorată. Prin urmare, NTSB recomandă ca NHTSA să convoace o coaliție de părți interesate pentru a continua cercetările inițiate de NHTSA cu privire la modalități de atenuare sau dezactivare a energiei eșuate din bateriile litium-ion de înaltă tensiune și pentru a reduce pericolele asociate cu evadarea termică care rezultă din viteza mare, mare - accidente de gravitate. NHTSA ar trebui să publice rezultatele cercetării.

## 6 Constatări

1. Ghidurile de răspuns în caz de urgență ale producătorilor oferă suficiente informații specifice vehiculului pentru deconectarea sistemului de înaltă tensiune al unui vehicul electric atunci când deconectările de înaltă tensiune sunt accesibile și nedeteriorate de forțele de impact.
2. Daunele provocate de accident și incendiile rezultate pot împiedica primii care interveniți să acceseze deconectări de înaltă tensiune în vehiculele electrice.
3. Instrucțiunile din ghidurile de răspuns în situații de urgență ale majorității producătorilor pentru combaterea incendiilor de baterii litiu-ion de înaltă tensiune nu lipsesc detaliile necesare, specifice vehiculului, despre stingerea incendiilor.
4. Evadarea termică și reaprinderile multiple ale bateriei după suprimarea inițială a incendiului sunt sigure riscuri în incendiile bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune.
5. Energia rămasă într-o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată, cunoscută sub denumirea de energie blocată, prezintă un risc de șoc electric și creează potențialul de evadare termică care poate duce la reaprinderea bateriei și la incendiu.
6. Bateriile litiu-ion de înaltă tensiune din vehiculele electrice, atunci când sunt deteriorate de forțele de impact sau de defecțiunea bateriei interne, prezintă provocări speciale pentru primul și cel de-al doilea răspuns din cauza informațiilor insuficiente din partea producătorilor privind procedurile de atenuare a riscurilor de energie blocată.
7. Depozitarea unui vehicul electric cu o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată în interiorul zonei libere recomandate de 50 de picioare poate fi imposibilă în curțile de remorcare sau depozitare.
8. Producătorii de vehicule electrice ar trebui să utilizeze șablonul standard 17840 al Organizației Internaționale de Standardizare pentru a prezenta informații de răspuns în caz de urgență.
9. Acțiunea Administrației Naționale pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi, similară cu cea întreprinsă de Programul European de Evaluare a Autoturismelor Noi, pentru a include punctajul în raport cu disponibilitatea ghidului de răspuns în situații de urgență al unui producător și respectarea acestuia la Standardul Organizației Internaționale pentru Standardizare 17840 și practica internațională SAE J2990 recomandată în Programul de evaluare a mașinilor noi din SUA ar fi un stimulent pentru producătorii de vehicule vândute în Statele Unite cu sisteme de baterii litiu-ion de înaltă tensiune să respecte aceste standarde.
10. Deși standardele existente abordează daunele suferite de sistemele de baterii litiu-ion de înaltă tensiune în accidente de supraviețuire, așa cum sunt definite de standardele federale privind accidentele, ele nu abordează accidentele de mare viteză și gravitate care au ca rezultat daune la litiu-ion de înaltă tensiune, bateriile și energia eșuată asociată.

## 7 Recomandări

În urma investigației sale, Consiliul Național pentru Siguranța Transporturilor face următoarele noi recomandări de siguranță:

Către Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi:

Atunci când determinați scorul Programului de evaluare a mașinilor noi din SUA al unui vehicul, luați în considerare disponibilitatea ghidului de răspuns în caz de urgență al producătorului și respectarea acestuia la Standardul Organizației Internaționale pentru Standardizare 17840 și practica recomandată SAE International J2990. (H-20-30)

Convocați o coaliție de părți interesate pentru a continua cercetările inițiate de organizația dvs. cu privire la modalități de atenuare sau dezactivare a energiei eșuate din bateriile litiu-ion de înaltă tensiune și de a reduce pericolele asociate cu evadarea termică rezultată din accidente de mare viteză și gravitate. Publicați rezultatele cercetării. (H-20-31)

Producătorilor de vehicule electrice echipate cu baterii litiu-ion de înaltă tensiune: (BMW Group; BYD Motors; FCA Group; General Motors Company; Ford Motor Company; Gillig; Honda Motor Company; Hyundai Motor Company; Karma Automotive; Kia Motors Corporation ; Mercedes-Benz SUA; Mitsubishi Motors; Nissan Motor Company; Nova Bus, Inc.; Porsche Cars America de Nord; Proterra,

Inc.; Subaru nord-american; Tesla, Inc., Toyota Motor America de Nord; Van Hool NV; Grupul Volkswagen din America; și Volvo Car Corporation):

Modelați ghidurile de răspuns în caz de urgență conform standardului 17840 al Organizației Internaționale de Standardizare, așa cum este inclus în practica recomandată SAE International J2990 și includeți informații specifice vehiculului privind (1) combaterea incendiilor bateriilor litiu-ion de înaltă tensiune; (2) atenuarea evadării termice și a riscului de reaprindere a bateriei litiu-ion de înaltă tensiune; (3) atenuarea riscurilor asociate cu energia eșuată în bateriile litiu-ion de înaltă tensiune, atât în timpul răspunsului inițial în caz de urgență, cât și înainte de mutarea unui vehicul electric avariat de la fața locului; și (4) depozitarea în siguranță a unui vehicul electric care are o baterie litiu-ion de înaltă tensiune deteriorată. (H-20-32)

Către Asociația Națională pentru Protecția împotriva Incendiilor, Asociația Internațională a Focului Sefi, Asociația Internațională a Pompierilor, National Alternative Fuels Consorțiul de Formare, Consiliul Național al Pompierii Voluntari și Remorcarea și Asociația de recuperare din America:

Informați-vă membrii cu privire la circumstanțele riscurilor de incendiu descrise în acest raport și la îndrumările disponibile personalului de urgență care răspund la incendiile de baterii litiu-ion de înaltă tensiune în vehiculele electrice. (H-20-33)

NTSB

Raport de siguranță

DE CONSILIUL NAȚIONAL DE SIGURANȚĂ A TRANSPORTURILOR

ROBERT L. SUMWALT, III Președinte

JENNIFER HOMENDY

Membru

BRUCE LANDSBERG

MICHAEL GRAHAM

Vicepresedinte

Membru

THOMAS B. CHAPMAN

Membru

Data raportului: 13 noiembrie 2020

## Anexă: Incendii de baterii cu litiu-ion în aeronave

Bateriile litiu-ion pot alimenta sistemele de avioane, precum și automobile. În 2013, NTSB a efectuat trei investigații asupra bateriilor litiu-ion ca echipamente instalate pentru aeronave și a găzduit un forum despre bateriile litiu-ion în transport. În 2020, NTSB a emis un raport de recomandare de siguranță care se referă la transportul pe calea aerului a bateriilor litiu-ion.

### Investigatii

NTSB a investigat un incendiu de baterie din 7 ianuarie 2013 în unitatea auxiliară de alimentare a unui Boeing 787-8 Japan Airlines din Boston.<sup>1</sup> Avionul era parcat pe un aeroport din Boston când personalul de întreținere a văzut fum și foc provenind din carcasa bateriei unitatea auxiliară de putere a aeronavei. NTSB a concluzionat că cauza probabilă a incendiului a fost un scurtcircuit intern în bateria litiu-ion a unității de alimentare, care a dus la o fugă termică care a căzut în cascadă la celulele adiacente și la eliberarea de fum și foc. Recomandările de siguranță NTSB au vizat evaluarea și gestionarea riscului de scurtcircuit și incendiu în bateriile cu litiu-ion.

NTSB a asistat Consiliul pentru Siguranța Transporturilor din Japonia în investigarea unui incident cu o baterie pe un Boeing 787 All Nippon Airways pe 16 ianuarie 2013.<sup>2</sup> Consiliul pentru Siguranța Transporturilor din Japonia a concluzionat că o celulă din bateria principală a aeronavei a suferit, cel mai probabil, un scurtcircuit, care a dus la o fugă termică care a distrus bateria și a dus la aterizarea de urgență și la evacuarea aeronavei. NTSB a asistat, de asemenea, Autoritatea Generală de Aviație Civilă a Emiratelor Arabe Unite în investigarea incendiului de marfă și a prăbușirii unui Boeing 747-400F al United Parcel Service pe 3 septembrie 2013, în deșertul din afara Dubaiului. Ancheta Autorității Generale de Aviație Civilă a concluzionat „cu o certitudine rezonabilă că locul incendiului a fost într-un element al încărcăturii care conținea, printre altele, baterii cu litiu.”<sup>3</sup>

### forum

În aprilie 2013, NTSB a convocat un forum public intitulat „Bateriile litiu-ion în transport.”<sup>4</sup> Panelurile au discutat despre proiectarea, dezvoltarea și performanța bateriilor litiu-ion; reglementările și standardele asociate cu fabricarea bateriilor litiu-ion, utilizarea consumatorilor și în industrie și transportul bateriilor ca marfă; și aspectele de aplicare și siguranță ale tehnologiei bateriilor litiu-ion în diferite moduri de transport.

---

<sup>1</sup> Pentru informații suplimentare, a se vedea NTSB (2014) De asemenea, [https://www.ntsb.gov/investigations/Pages/boeing\\_787.aspx](https://www.ntsb.gov/investigations/Pages/boeing_787.aspx).

<sup>2</sup> Pentru informații suplimentare despre incendiul Nippon Airways, consultați raportul Comitetului pentru Siguranța Transporturilor din Japonia: [Evacuare de urgență cu ajutorul toboganelor, All Nippon Airways Co., Ltd., Boeing 787-8, JA804A, Aeroportul Takamatsu, la 08:49 JST, 16 ianuarie, 2013](#). Aircraft Serious Incident Investigation Report AI2014-4 (Tokyo, Japonia: JTSA) (accesat 12 noiembrie 2020).

<sup>3</sup> Pentru informații suplimentare, consultați raportul Emiratelor Arabe Unite: [Un incendiu de marfă neconținut care duce la pierderea controlului în zbor și la coborâre necontrolată în teren](#), Raport final de investigare a accidentelor aeriene, Boeing 747-44AF, N571UP, caz 13/2010 (Dubai, Emiratele Arabe Unite: sectorul de investigare a accidentelor aeriene) (accesat la 12 noiembrie 2020).

<sup>4</sup> Consultați rezumatul evenimentului NTSB .

## Raport de recomandare de siguranță

În mai 2020, NTSB a emis un raport de recomandare de siguranță intitulat Standarde pentru transporturile aeriene de baterii litiu-ion (NTSB 2020b). Raportul a urmat unui accident din 3 iunie 2016, în care un camion de livrare FedEx și toată încărcătura acestuia au fost distruse de incendiu, în timp ce șoferul livra patru baterii litiu-ion de format mare unei afaceri din Brampton, Ontario, Canada. Nu au fost raportate răni. Bateriile fuseseră transportate din Sarasota, Florida, în două avioane cargo înmatriculate în SUA. Cauza probabilă a incendiului a fost stabilită a fi un scurtcircuit electric la unul dintre baterii, provocând o fugă termică care a aprins bateria și ambalajul acesteia.

NTSB a concluzionat că, dacă fuga termică s-ar fi produs pe un avion, accidentul ar fi putut duce la deteriorarea sau pierderea semnificativă a avionului. NTSB a făcut recomandări către Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration pentru a elimina prevederile speciale și scutițiile de la testare pentru bateriile litiu-ion de producție redusă sau prototip care sunt transportate pe calea aerului.



## Referințe

- Bisschop, R., O. Willstrand, F. Amon și M. Rosengren. 2019. [Siguranța la incendiu a bateriilor litiu-ion în vehiculele rutiere](#). Raport 2019:50. Göteborg: Institutul de Cercetare RISE din Suedia.
- Grant, CC 2010. Siguranța pompierilor și răspunsul la urgență pentru vehicule electrice și hibride electrice. Raport final. Quincy, Massachusetts: Fundația de cercetare pentru protecția împotriva incendiilor.
- Kane, M. 2018. [„Hotstick Reveals High Voltage Detector for First Responders.”](#) InsideEVs. 29 iunie.
- Long, RT, Jr., AF Blum, TJ Bress și BRT Cotts. 2013. Cele mai bune practici pentru răspunsul de urgență la incidente care implică pericolele bateriei vehiculelor electrice: un raport privind rezultatele testelor la scară completă. Raport final ([partea 1](#), [partea 2](#), [partea 3](#)). Pregătit pentru Fire Protection Research Foundation, Quincy, Massachusetts, de Exponent, Inc., Bowie, Maryland.
- NFPA (Asociația națională de protecție împotriva incendiilor). 2018. Programul de instruire pentru siguranța vehiculelor cu combustibil alternativ al NFPA: Ghid de urgență, ediția 2018. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- NTSB (National Transportation Safety Board). 2014. [Incendiu bateriei unității de alimentare auxiliare, Japan Airlines Boeing 787-8, JA829J, Boston, Massachusetts, 7 ianuarie 2013](#). Raport de incident NTSB/AIR-14/01. Washington, DC: NTSB.
- \_\_\_\_\_. 2019a. [Abordarea problemelor sistemice legate de repararea în timp util a hardware-ului pentru siguranța traficului în California](#). Raportul de recomandare privind siguranța autostrăzii NTSB/HSR-19/01. Washington, DC: NTSB.
- \_\_\_\_\_. 2019b. [Accident și incendiu în afara drumului cu un singur vehicul, Fort Lauderdale, Florida, 8 mai 2018](#). Brief Accident de Autostradă NTSB/HAB-19/08. Washington, DC: NTSB.
- \_\_\_\_\_. 2019c. [Air Products and Chemicals, Inc. Modul de remorcă cu tuburi Eliberare de hidrogen și Ulterior incendiu, Diamond Bar, California, 11 februarie 2018](#). Raport de incident cu materiale periculoase NTSB/HZM-19/02. Washington, DC: NTSB.
- \_\_\_\_\_. 2020a. [Coliziune între un vehicul utilitar sport care funcționează cu automatizare parțială a condusului și un atenuator de accident, Mountain View, California, 23 martie 2018](#). Raport de accident rutier NTSB/HAR-20/01. Washington, DC: NTSB.
- \_\_\_\_\_. 2020b. [Standarde pentru transportul aerian de baterii litiu-ion](#). Raportul de recomandare de siguranță NTSB/HZMSR-20/01. Washington, DC: NTSB.
- Rask, E., C. Pavlich, K. Stutenberg, M. Duoba și G. Keller. 2020 [Tehnici și instrumente de evaluare a energiei eșuate](#). DOT HS 812 789. Washington, DC: pregătit pentru NHTSA de către Laboratorul Național Plaza Argonne.

Roman, J. 2020. „Stranded Energy”. Jurnalul NFPA. Ianuarie februarie.

Smith, B. 2012. [Raport de prezentare generală a incidentului bateriei Chevrolet Volt](#). DOT HS 811 573. Washington, DC: NHTSA.

Stephens, D., P. Shawcross, G. Stout, E. Sullivan, J. Saunders, S. Risser și J. Sayre. 2017. [Probleme de siguranță a bateriilor cu litium-ion pentru vehiculele electrice și hibride cu priză](#). DOT HS 812 418. Washington, DC: pregătit pentru NHTSA de către Battelle Memorial Institute.

UNECE (Comisia Economică a Națiunilor Unite pentru Europa). 2013. Anexa 13: Regulamentul tehnic [global privind vehiculele cu hidrogen și celule de combustibil](#). ECE/Trans/180/Add. 13. Geneva, Elveția: Națiunile Unite.

\_\_\_\_\_. 2018. Anexa 20: Regulamentul tehnic global nr. 20: [Regulamentul tehnic global privind siguranța vehiculelor electrice \(EVS\)](#). ECE/Trans/180/Add. 20. Geneva, Elveția: Națiunile Unite.