

Cele mai bune practici pentru  
Răspuns de urgență la incidente care implică  
Pericole ale bateriei vehiculelor electrice:  
Un raport privind rezultatele testelor la scară completă

Raport final

Pregătite de:

R. Thomas Long Jr., PE, CFEI Andrew  
F. Blum, PE, CFEI Thomas J. Bress,  
Ph.D., PE, CRE Benjamin RT Cotts, Ph.D.

Exponent, Inc.  
17000 Science Drive, Suite 200 Bowie,  
MD 20715

© Iunie 2013 Fundația de Cercetare pentru Protecția împotriva incendiilor



THE  
FIRE PROTECTION  
RESEARCH FOUNDATION

**FIRE RESEARCH**

FUNDAȚIA DE CERCETARE PENTRU PROTECȚIA INCENDIILOR

ONE BATTERYMARCH PARK

QUINCY, MASSACHUSETTS, SUA 02169-7471 E-MAIL:

[Foundation@NFPA.org](mailto:Foundation@NFPA.org) WEB: \_\_\_\_\_

[www.nfpa.org/Foundation](http://www.nfpa.org/Foundation) \_\_\_\_\_

(Această pagină a fost lăsată goală în mod intenționat)

## CUVÂNT ÎNAINTE

Incendiile care implică mașini, camioane și alte vehicule de autostradă sunt o preocupare comună pentru situații de urgență respondenții. Personalul Serviciului de Pompieri este obișnuit să răspundă la incendiile vehiculelor convenționale și, în general, primește instruire cu privire la pericolele asociate cu subsistemele vehiculelor (de exemplu, airbag-uri inițiatori, pretensionatoare de centură de siguranță etc). Pentru incendiile de vehicule, și în special incendiile care implică vehicule cu propulsie electrică, o întrebare cheie pentru cei care răspund în caz de urgență este: „ce este diferit cu vehiculele cu propulsie electrică și ce ajustări tactice sunt necesare?”

Scopul general al acestui proiect este de a desfășura un program de cercetare pentru a dezvolta bazele tehnice pentru cele mai bune practici pentru procedurile de răspuns în situații de urgență pentru incidente cu bateriile vehiculelor cu propulsie electrică, ținând cont de anumite detalii, inclusiv: metode și agenți de suprimare; echipament individual de protecție (EIP); și operațiuni de curățare/reviziere. O componentă cheie a obiectivului acestui proiect este efectuarea de teste la scară completă a bateriilor Li-ion de format mare utilizate în aceste vehicule. Acest raport rezumă aceste teste și include discuții cu privire la concluziile cheie referitoare la cele mai bune practici pentru procedurile de răspuns în situații de urgență pentru incidentele cu bateriile vehiculelor cu propulsie electrică.

Fundația de Cercetare își exprimă recunoștința față de autorii raportului R. Thomas Long Jr., Andrew F. Blum, Thomas J. Bress și Benjamin RT Cotts, toți cu Exponent, Inc. (Bowie, Maryland).

Aprecierea este exprimată pentru membrii proiectului Tehnici și tuturor celorlalți care au contribuit la acest efort de cercetare. Mulțumiri speciale sunt exprimate următorilor sponsori de proiect pentru finanțarea acestui proiect: Departamentul de Energie; Departamentul Transporturilor; și Alianța Producătorilor de Automobile. Recunoștința este, de asemenea, extinsă către Laboratorul Național Battelle și Idaho, Institutul de Cercetare Sud-Vest și Institutul de salvare a incendiilor din Maryland pentru îndrumarea și utilizarea continuă a instalațiilor.

Conținutul, opiniile și concluziile conținute în acest raport sunt exclusiv ale autorilor.

(Această pagină a fost lăsată goală în mod intenționat)



SPONSORII PROIECTULUI

Alianța Producătorilor de Automobile



**AUTO ALLIANCE**  
**DRIVING INNOVATION®**

Departamentul de Energie al SUA (Laboratorul Național din Idaho)



Departamentul de Transport al SUA (Administrația Națională pentru Siguranța Traficului)



PANOUL TEHNIC PROIECTULUI

David Anderson, DOE, Departamentul de Energie

David Bryson, NHTSA, Administrația Națională pentru Transport și Siguranță pe Autostrăzi

Chris Dubay, NFPA, National Fire Protection Association

James Francfort, Idaho National Laboratory

Andrew Klock, NFPA, Asociația Națională pentru Protecția împotriva incendiilor

Steve Pegram, IAFC, Asociația Internațională a șefilor de pompieri

Anthony Putorti, NIST, Institutul Național de Standarde și Tehnologie

Scott Schmidt, Alianța Producătorilor de Automobile (Alianța)

Robert Strassburger, Alianța Producătorilor de Automobile (Alianța)

Ken Willette, NFPA, National Fire Protection Association

(Această pagină a fost lăsată goală în mod intenționat)

PANEL CONSULTATIV PENTRU RĂSPUNS LA URGENȚE

Daniel Bates, Poliția Statului New York  
Maria Bianchi, AAA, Asociația Americană de Ambulanță  
Jim Carroll, NAFTD, Academia de pompieri  
CT Laura Cathcart, NAEMT, statul Maryland  
Frank Cheatham, NASEMSO, Asociația Națională a Oficialilor EMS Gregg  
Cleveland, Secția Serviciului de Pompieri NFPA, Departamentul de Pompieri La Crosse, La Crosse WI  
Don Cooper, Președinte NFPA 1670 TC, Biroul Comisarului Pompierilor din Ohio  
John Cunningham, NAFTD, coala de pompieri din Nova Scotia Karen  
Deppa, NASFM Rich Duffy,  
Alexandria VA  
Gregory Frederick, șefii de metrou, Louisville Fire & Rescue., Louisville, KY  
Bill Giorgis, Asociația de remorcare din Michigan, Mike's Wrecker Service, Saginaw, MI  
Victoria Lee, IAFC  
Stéphan Lepouriel, maior - Securitate civilă și management al crizelor, Franța  
Terry McDonnell, Poliția statului New York, Albany, NY  
Ron McGraw, IAFF, Washington DC  
Larry McKenna, USFA, MD Emmitsburg  
Jim Narva, NASFM, Asociația Națională a Comisoriilor de Pompieri de Stat  
Steve Pegram, IAFC și ISFSI, Goshen Township Fire & EMS, Goshen OH  
Al Rosamond, NVFC, Hixon TN  
Tony Sanfilippo, IFMA, Biroul Serviciilor de Pompieri din Michigan

PANOUL CONSULTATIV TEHNOLOGIA BATERIELOR

Domenico Gabrielli, Ford Motor Company  
Robert Galyen, președinte - SAE EV Battery Committee  
Mark Gielow, Mercedes Benz  
Oliver Gross, Chrysler Group  
Christopher Michelbacher, Idaho National Laboratory  
Ron Orlando, General Motors Corp  
Doug Sato, Toyota Motor Sales SUA  
Mark Saxenberg, Toyota Motor Sales SUA  
Keith Schultz, General Motors Corporation  
Dan Selke, Mercedes Benz  
Mathew Shirk, Idaho National Laboratory  
Simon Wilkinson, Chrysler Group  
Keith Wilson, SAE International  
Mark Yeldham, BMW din America de Nord

(Această pagină a fost lăsată goală în mod intenționat)

# Exponent<sup>®</sup>

Științe Termice

Cele mai bune practici pentru situații de urgență  
Răspuns la incidente care implică  
un vehicul electric  
Riscurile bateriei: un raport despre  
Rezultate de testare la scară completă

Cele mai bune practici pentru situații de urgență  
Răspuns la Incidente care implică  
Pericole ale bateriei vehiculelor electrice

Pregatit pentru

Fundația de Cercetare în Protecția împotriva incendiilor

One Batterymarch Park

Quincy, MA 02169

Pregătite de

R. Thomas Long Jr., PE, CFEI Andrew F.

Blum, PE, CFEI Thomas J. Bress,

Ph.D., PE, CRE Benjamin RT Cotts, Ph.D.

Exponent, Inc.

17000 Science Drive, Suite 200 Bowie,

MD 20715

27 iunie 2013

Exponent, Inc.

## Cuprins

---

	<u>Pagină</u>
lista figurilor	noi
Lista de mese	xi
acronime si abrevieri	xiii
Limitări	xv
Rezumat	xvi
1. Fundal	1
1.1 Istoricul proiectului	1
1.2 Obiectivele cercetării și domeniul de aplicare al proiectului 1.2.1 Revizuirea celor mai bune practici din industrie	2 3
pentru stingerea incendiilor 1.2.2 Identificarea, clasificarea și prioritizarea tehnologiilor bateriilor și a tipurilor reprezentative de baterii	3
1.2.3 Identificarea elementelor cheie necesare ale EIP, tactici și operațiuni de revizie 1.2. 4 Dezvoltarea	3
programului de testare la incendiu la scară completă 1.2.5 Testarea	4
la incendiu la scară completă	4
1.2.6 Raport și rezumat al celor mai bune practici	4
2 Răspunsul actual al stării de urgență la incendiile ICE și EDV	6
2.1 Prezentare generală Li-ion	6
2.2 Prezentare generală a vehiculului electric	12
2.3 Cercetarea curentă EDV și alte eforturi	13
2.4 Prezentare generală a incendiilor de vehicule	15
2.5 Incendii convenționale de vehicule ICE	17
2.6 Tacticile de incendiu convenționale curente ale vehiculelor ICE	18
2.7 Tactici actuale de foc EDV	20
2.7.1 Identificați vehiculul	21
2.7.2 Imobilizați vehiculul	21
2.7.3 Dezactivați vehiculul	22
2.7.4 Descarcare	24

2.7.5 Stingere 2.7.6 Operațiuni	24
de revizie	25
2.8 Incendii de baterii de înaltă tensiune	26
2.9 Rezumat	28
3 Rezumatul programului de testare	30
4 Descrieri baterie 4.1.1 Bateria A	32
4.1.2 Bateria B	32
	34
5 Test de configurare	36
5.1 Testarea HRR 5.1.1	36
Poziționarea bateriei	38
5.1.2 Descrierea arzătorului 5.1.3	39
Măsurători HRR	45
5.1.4 Produse de prelevare de probe de gaz de combustie	45
5.1.5 Măsurători de temperatură și flux de căldură 5.1.6	46
Măsurători de senzori interni ai bateriei	49
5.1.7 Sistem DAQ 5.1.8	52
Imagini termice, fotografiere și video de înaltă definiție	53
5.2 Testare la scară completă de stingere a	53
incendiilor 5.2.1 VFT și poziționarea bateriei	55
5.2.2 Descrierea arzătorului 5.2.3	68
Măsurători electrice în timpul stingerii incendiului	68
5.2.4 Prelevarea de probe de	73
apă 5.2.5 Măsurători de temperatură și flux de căldură 5.2.6	74
Măsurători de senzori interni ai bateriei	78
5.2.7 Sistem DAQ 5.2.8	81
Imagini termice, fotografiere statică și video de înaltă definiție 5.2.9 Activități de	82
suprimare	83
5.3 Protocoale de incendiu la scară completă	85
5.3.1 Testarea HRR 5.3.2	85
Testarea suprimării	86
6 Rezultatele testului	89
6.1 Baterie de testare	89
6.1.1 HRR B	89



6.2 Testarea suprimării 6.2.1	101
Testul bateriei A1 6.2.2	101
Testul bateriei A2 6.2.3	112
Testul bateriei A3 6.2.4	123
Testul bateriei B1 6.2.5	139
Testul bateriei B2 6.2.6	153
Testul bateriei B3	168
7 Discuție	185
7.1 Observații generale ale testului	185
7.2 Tactici de stingere a incendiilor	186
7.3 EIP pentru primul răspuns	187
7.4 Pericole electrice	187
7.5 Riscuri respiratorii	188
7.6 Pericole de apă	188
7.7 Agent de stingere (apă)	189
7.8 Calcule debit de apă	189
7.9 Revizuire și curățare	190
8 constatări cheie	191
8.1 Întrebări și răspunsuri pentru răspunsul la urgență	191
8.2 Cele mai bune practici sugerate pentru tactici și	194
8.2.1 proceduri generale de EIP pentru stingerea incendiilor hibride și	194
EDV 8.2.2 Echipament de protecție personală	195
8.2.3 Tactici pentru agenții de	195
8.2.4 stingere	198
8.2.5 Incendii care implică stații de încărcare	199
8.2.6 Revizuire și recuperare	199
9 Recomandări și lucrări viitoare	201
10 Mulțumiri	202
Anexa A Raport de testare SwRI	203
Anexa B Desene de proiectare VFT	204
Anexa C Raportul laboratoarelor Microbac	205

Anexa D Raportul Analyze, Inc

206

Anexa E Măsurători electrice

207

# lista figurilor

---

	<u>Pagină</u>
Figura 1 Funcționarea celulei Li-ion, în timpul încărcării ionii de litiu se intercalează în anod, invers are loc în timpul descărcării	8
Figura 2 Baza unei celule cilindrice Li-ion care prezintă structura plăgii (sus); Celula este derulată dezvăluind mai multe straturi: separatorul este alb, colectorul de curent din aluminiu (parte a catodului) pare strălucitor (partea de jos)	9
Figura 3 Exemplu de 18650 de celule cilindrice (acestea sunt cel mai comun factor de formă a celulei Li-ion din electronice de consum)	10
Figura 4 Exemplu de celulă prismatică cu carcasă rigidă	10
Figura 5 Exemplu de celulă polimerică cu pungă moale	11
Figura 6 Bateria A	33
Figura 7 Baterie O zonă de încărcare deasupra compartimentului bateriei	33
Figura 8 Compartimentul bateriei A din zona de încărcare cu covorul și capacul din plastic turnat scoase	34
Figura 9 Bateria B	35
Figura 10 Bateria B instalată în vehicul	35
Figura 11 Configurația bateriei B și locațiile arzătorului pentru testarea HRR	38
Figura 12 Disponibilitatea și disponibilitatea instrumentelor perimetrice de testare HRR	39
Figura 13 Disponibilitatea ansamblului arzătorului	42
Figura 14 Ansamblu arzător (sus); un singur arzător (stânga jos); și DAQ (dreapta jos)	43
Figura 15 Arzător în formă de T compus din patru arzătoare	44
Figura 16 Patru arzătoare poziționate sub baterie B	44
Figura 17 Capota SwRI și aranjamentul de testare	46
Figura 18 Locațiile TC din jurul bateriei B în timpul testării HRR (vezi Figura 12 pentru TC și Pozițiile HFG în jurul perimetrului pachetului de baterii)	48
Figura 19 Instalarea TC-urilor tipice în interiorul bateriei B	49
Figura 20 Modul magistrală CAN NI 9862 și cutie de deconectare NI CAN cu 7 porturi	51
Figura 21 Locația punctelor de conectare la senzorii interni ai bateriei (circuit la dreapta)	51

Figura 22 Schema de protecție pentru punctele de conectare și cabluri	52
Figura 23 Desen de proiectare VFT	56
Figura 24 VFT: Profil lateral (sus); profil spate cu hatchback deschis (stânga jos); și profil frontal cu capota deschisă (dreapta jos)	57
Figura 25 Cărucior instalat în interiorul VFT poziționat deasupra celor patru arzătoare situate în poziția de testare din spate	58
Figura 26 Bateria A poziționată pe cărucior deasupra arzătoarelor și în interiorul VFT	58
Figura 27 Bateria B poziționată pe cărucior deasupra arzătoarelor din interiorul VFT; arzătoare situate în poziția centrală de testare	59
Figura 28 Dispunerea și dispunerea instrumentelor perimetrice de testare a suprimării	60
Figura 29 Vedere de ansamblu a VFT cu finisaje interioare pentru Testul A3	60
Figura 30 Tabloul de bord și scaunele din față instalate în interiorul VFT pentru testul A3	61
Figura 31 Scaune din față instalate în interiorul VFT pentru testul A3	61
Figura 32 Scaunele din spate instalate în interiorul VFT pentru Testul A3	62
Figura 33 Covor instalat deasupra bateriei pentru testul A3	62
Figura 34 Vedere a bateriei B în interiorul VFT fără panoul de podea (sus) și cu panoul de podea (jos); rezervorul albastru din spatele bateriei este rezervorul de benzină gol pentru vehiculul de producție, care blochează accesul direct în partea din spate a bateriei	64
Figura 35 Vedere de sus a bateriei B în interiorul VFT fără panoul de podea (sus) și cu panoul de podea (jos); siguranța galbenă din mijlocul tăvii roșii de podea este singura gaură din interiorul tăvii care permite accesul la baterie	65
Figura 36 Vedere de ansamblu a VFT cu finisaje interioare pentru Testul B3	66
Figura 37 Tabloul de bord, scaunele din față și covorul instalate în interiorul VFT pentru testul B3	66
Figura 38 Scaune din față și covor instalate în interiorul VFT pentru Testul B3	67
Figura 39 Scaunele din spate instalate în interiorul VFT pentru Testul B3	67
Figura 40 Scaunele din spate și covorul instalate în interiorul VFT pentru Testul B3	68
Figura 41 Sârmă de cupru torsadată de 14 AWG lipită la o clemă de furtun și fixată pe carcasa exterioară a duzei	71
Figura 42 Schema de circuit simplificată pentru măsurătorile electrice	72
Figura 43 Colectarea probei de apă în timpul testului A1 chiar în fața VFT	74
Figura 44 Locațiile TC (cercuri roșii) pe exteriorul bateriei pentru testele bateriei A	76

Figura 45	Locațiile TC (cercuri roșii) pe exteriorul/interiorul bateriei pentru testele bateriei B	77
Figura 46	Puncte de conectare la bateria B odată instalată în interiorul VFT (înainte de protecție)	79
Figura 47	Schema de protecție pentru punctele de conectare și cablurile care merg la bateria B	80
Figura 48	Modulul NI 9213 TC și modulul de tensiune NI 9207 (pentru HFG) conectate la NI cDAQ 9178 șasiu de achiziție de date	82
Figura 49	Ferestrele VFT erau toate deschise la aer, iar partea superioară a trapei din spate era înut deschis în timpul testelor	85
Figura 50	0 minute (stânga sus), 2:30 minute (dreapta sus), 4:20 minute (stânga jos), 13 minute (dreapta jos)	91
Figura 51	14:50 minute: Un flux mare de scântei iese din partea de jos a capătului NV al bateriei din interiorul acesteia	92
Figura 52	20:40 minute (stânga sus), 25:00 minute (dreapta sus), 47:10 minute (stânga jos), 01:34:00 minute (dreapta jos)	93
Figura 53	HRR în funcție de timp	95
Figura 54	Tensiunile și temperaturile interne ale celulei (Senzorul #7) în timpul testării HRR	98
Figura 55	Locația senzorului de temperatură #7 în baterie B	99
Figura 56	Imagine termică 0 ore (sus); 2 ore (mijloc); și 3 ore (de jos) după flăcări vizibile au încetat	100
Figura 57	Test A1: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)	104
Figura 58	Testul A1: Începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)	105
Figura 59	Testul A1 TC plot	108
Figura 60	Testul A1 HFG plot	109
Figura 61	Bateria A1 din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vizualizare) a bateriei A1 la 25 de minute (jos)	111
Figura 62	Testul A2: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)	115
Figura 63	Testul A2: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); post-suprimare (dreapta jos)	116
Figura 64	Testul A2 TC plot	119
Figura 65	Testul A2 HFG plot	120

Figura 66 Bateria A2 din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a bateriei A2 la 40 de minute, înfățișând „punctul fierbinte” (jos)	122
Figura 67 Test A3: aprindere (stânga sus); spate implicat (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)	127
Figura 68 Testul A3: Începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)	128
Figura 69 Testul A3 TC plot	132
Figura 70 Testul A3 graficul HFG	132
Figura 71 Bateria A3 din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a bateriei A3 la 41 de minute, înfățișând „punctul fierbinte” (jos)	135
Figura 72 Gazificarea bateriei A3 la aproximativ 22 de ore după încheierea Test	136
Figura 73 Reaprinerea bateriei A3 la aproximativ 22 de ore după încheierea test (flacără înconjurată roșu)	137
Figura 74 Testul B1: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)	142
Figura 75 Testul B1: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)	143
Figura 76 Testul B1 TC plot	148
Figura 77 Testul B1 HFG grafic	148
Figura 78 Ansamblu panou de podea din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a Bateria B1 la 60 de minute (de jos)	151
Figura 79 Măsurători extinse de temperatură pentru Testul B1	152
Figura 80 Test B2: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); flăcări de la siguranță (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)	156
Figura 81 Testul B2: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)	157
Figura 82 Testul B2 TC plot	162
Figura 83 Testul B2 HFG plot	162
Figura 84 Tensiunile și temperaturile interne ale celulei în timpul testului B2	163
Figura 85 Locația senzorului de temperatură nr. 6 în baterie B2	164
Figura 86 Ansamblu panou de podea din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a Baterie B2 la 75 de minute (de jos)	166

Figura 87 Măsurători extinse de temperatură pentru Testul B2	168
Figura 88 Test B3: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)	172
Figura 89 Testul B3: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)	173
Figura 90 Testul B3 TC plot	177
Figura 91 Testul B3 Graficul HFG	177
Figura 92 Tensiunile și temperaturile interne ale celulei în timpul testului B3	178
Figura 93 Ansamblu panou de podea din partea laterală a VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a Bateria B3 la 60 de minute (de jos)	181
Figura 94 Măsurători extinse de temperatură pentru Testul B3	183

## Lista de mese

---

	Pagină
Tabelul 1 Componentele ansamblului arzătorului	40
Tabelul 2 Rezumatul locațiilor TC	47
Tabelul 3 Rezumatul locațiilor HFG	47
Tabelul 4 Rezumatul locațiilor TC	75
Tabelul 5 Rezumatul locațiilor HFG	75
Tabelul 6 Rezumatul observațiilor cheie din testul HRR	90
Tabelul 7 Rezumatul măsurătorilor HRR	95
Tabelul 8 Rezumatul măsurătorilor temperaturii maxime	96
Tabelul 9 Rezumatul măsurătorilor fluxului de căldură maxim	97
Tabelul 10 Observații cheie ale testului A1	102
Tabelul 11 Test A1 Timp de curgere a apei	106
Tabelul 12 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului A1	107
Tabelul 13 Rezumatul Măsurătorilor pentru fluxul termic maxim al testului A1	108
Tabelul 14 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test A1	109
Tabelul 15 Rezumatul măsurătorilor de temperatură a testului A1 după 60 de minute	112
Tabelul 16 Observații cheie ale testului A2	113
Tabelul 17 Testul A2 Timp de curgere a apei	117
Tabelul 18 Rezumatul Măsurătorilor Temperaturii Maxime Test A2	119
Tabelul 19 Rezumatul Măsurătorilor fluxului de căldură maxim test A2	119
Tabelul 20 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) de test A2	120
Tabelul 21 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului A2 după 60 de minute	123
Tabelul 22 Testul A3 Observații cheie	124
Tabelul 23 Test A3 Timp de curgere a apei	129
Tabelul 24 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului A3	131
Tabelul 25 Rezumatul Măsurătorilor pentru fluxul termic maxim al testului A3	131



Tabelul 26 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test A3	133
Tabelul 27 Rezumatul măsurătorilor de temperatură a testului A3 după 60 de minute	136
Tabelul 28 Rezumatul analizei probei de apă pentru testul A3	138
Tabelul 29 Testul B1 Observații cheie	140
Tabelul 30 Test B1 Timp de curgere a apei	144
Tabelul 31 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului B1	147
Tabelul 32 Rezumatul Măsurătorilor pentru fluxul de căldură maxim al testului B1	147
Tabelul 33 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test B1	149
Tabelul 34 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului B1 după 1, 2, 3, 6, 12 și 18 ore	152
Tabelul 35 Testul B2 Observații cheie	154
Tabelul 36 Test B2 Timp de curgere a apei	158
Tabelul 37 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului B2	161
Tabelul 38 Rezumatul Testului B2 Măsurătorile fluxului de căldură maxim	161
Tabelul 39 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test B2	164
Tabelul 40 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului B2 după 1, 2, 3, 6, 12 și 18 ore	167
Tabelul 41 Testul B3 Observații cheie	169
Tabelul 42 Test B3 Timpi de curgere a apei	174
Tabelul 43 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului B3	176
Tabelul 44 Rezumatul testului B3 Măsurătorile fluxului de căldură maxim	176
Tabelul 45 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test B3	179
Tabelul 46 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului B3 după 1, 2, 3, 6, 12 și 18 ore	182
Tabelul 47 Rezumatul analizei probei de apă pentru testul B3	184
Tabelul 48 Rezumatul calculelor debitului de apă pentru toate testele	190

## acronime si abrevieri

---

AC	curent alternativ
Ah	Amperi oră
BEV	vehicul electric cu baterie
POATE SA	retea de control
DC	curent continuu
CĂPPIOARĂ	Departamentul de Energie
PUNCT	Departamentul Transporturilor
aceasta	vehicul cu propulsie electrică
EREV	vehicul electric cu rază extinsă
ACEST	vehicul electric
FMVSS	Standard federal de siguranță pentru autovehicule
FPRF	Fundația de Cercetare în Protecția împotriva incendiilor
FTIR	infraroșu cu transformată Fourier
gpm	galoane pe minut
acid clorhidric	acid clorhidric
HCN	acid cianhidric
ÎMPREUNĂ	vehicul electric hibrid
HF	fluorură de hidrogen
HRR	rata de eliberare a căldurii
H.V	vehicul hibrid
Hz	Hertz
GHEA Ă	motor cu combustie interna
IFSTA	Asociația Internațională de Formare a Serviciului de Pompieri
kHz	kilohertz
kW	kilowatt
kWh	kilowatt oră
m	metru
VIN	Institutul de pompieri și salvare din Maryland
MJ	mega joule
mph	mile pe oră
Dimensiună	milisecundă
MW	megawatt
NiMH	Hidrură metalică de nichel
NFPA	Asociația Națională de Protecție împotriva incendiilor
NHTSA	Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi
NOx	oxizi de azot
ULEI	limitele de expunere profesională

PBI	Polibenzimidazol
PBZ	zona de respirație personală
EIP	echipament individual de protecție
PHEV	vehicul electric hibrid plug-in
RESS	Sistem reîncărcabil de stocare a energiei
SAE	Societatea Inginerilor Auto
SCBA	aparat de respirație autonom
S	Siemens
SOC	starea de sarcina
SRS	Sistem de reținere suplimentar
SwRI	Institutul de Cercetare Sud-Vest
UL	Laboratoarele Underwriters
ÎN	volt
VDC	curent continuu de volți
VFT	antrenor de pompieri auto
COV	compus organic volatil
Wh	Watt oră

## Limitări

---

La solicitarea Fundației de Cercetare pentru Protecția împotriva incendiilor (FPRF), Exponent a evaluat cel mai bun practici pentru răspunsul de urgență la pericolele bateriei vehiculelor cu propulsie electrică (EDV). Acest raport rezumă un program la scară largă de testare și suprimare a incendiilor care implică electrice hibride de dimensiune completă (HEV) și baterii cu rază extinsă pentru vehicule electrice (EREV) litiu-ion (Li-ion) instalate într-un vehicul de antrenament de incendiu (VFT) prop. Domeniul de aplicare a serviciilor efectuate în timpul acestui program de testare este posibil să nu abordeze în mod adecvat nevoile altor utilizatori ai acestui raport și orice reutilizare a acestui raport sau constatările, concluziile sau recomandările prezentate aici sunt pe riscul exclusiv al utilizatorului.

Strategia de testare a machetei vehiculului la scară largă, protocolul de expunere a arzătorului și orice recomandările făcute sunt strict limitate la condițiile de testare incluse și detaliate în aceasta raport. Efectele combinate (inclusiv, dar fără a se limita la) ale diferitelor tipuri de baterii, vehicul tipuri, daune prin coliziune, densitatea energiei bateriei și designul, starea de încărcare, chimia celulei etc. nu au fost încă pe deplin înțelese și este posibil să nu fie deduse numai din rezultatele acestor teste.

Constatările formulate în această revizuire se bazează pe observații și informații disponibile la momentul scrierii. Constatările prezentate aici sunt făcute într-un grad rezonabil de științific și certitudinea inginerescă. Dacă devin disponibile date noi sau există omisiuni percepute sau denaturări din acest raport, solicităm ca acestea să ne fie aduse la cunoștință cât mai curând posibil că avem ocazia să le abordăm pe deplin.

# Rezumat

---

Acest raport rezumă rata de eliberare a căldurii la scară completă (HRR) și testele de suprimare a incendiilor ale EDV baterii Li-ion de format mare.

Într-un efort de a consolida îndrumările preliminare emise de Asociația Națională pentru Protecția împotriva incendiilor (NFPA) pentru urgențe de incendiu care implică EDV, au fost efectuate teste de stingere a incendiilor la scară largă pentru a colecta date și a evalua orice diferențe asociate cu incendiile EDV în comparație cu cele tradiționale incendii de vehicule cu motor cu ardere internă (ICE). EDV-urile pot prezenta riscuri noi, necunoscute și variabile pentru respondenții de urgență. În special, membrii de răspuns de urgență comunitatea are întrebări cu privire la (1) echipament individual de protecție (EIP); (2) stingerea incendiilor tactici de suprimare; și (3) cele mai bune practici pentru revizie și curățare după incendiu. Specific, întrebările din partea comunității de răspuns în situații de urgență cu privire la aceste trei subiecte includ:

1. EIP adecvat pentru a fi utilizat pentru a răspunde la incendii care implică baterii EDV:

- A. Este EIP actual adecvat în ceea ce privește expunerea respiratorie și dermică la ventilație gaze și produse de ardere?
- b. Este EIP actual adecvat în ceea ce privește potențialele pericole de șoc electric?
- c. Care este dimensiunea zonei de pericol unde EIP complet, inclusiv respirator protecție, trebuie purtat?

2. Tactici pentru stingerea incendiilor care implică bateriile EDV:

- A. Cât de eficientă este apa ca supresor pentru incendiile mari de baterii?
- b. Există pericole cu proiectile?
- c. Cât timp trebuie efectuate eforturile de stingere pentru a ține focul sub control și apoi să-l stingi complet?
- d. Ce nivel de resurse va fi necesar pentru a sprijini aceste eforturi de stingere a incendiilor?
- e. Este nevoie de eforturi extinse de suprimare?

f. Care sunt indicatorii pentru cazurile în care serviciul de pompieri ar trebui să permită un mare acumulator să ardă mai degrabă decât să încerce suprimarea?

3. Cele mai bune practici pentru tactici și EIP care urmează să fie utilizate în timpul reviziei și curățării după incendiu operațiuni.

Domeniul de activitate a inclus, dar nu s-a limitat la, următoarele șase sarcini principale:

1. O revizuire a celor mai bune practici din industrie pentru tacticile de stingere a incendiilor pentru ICE și EDV (vezi Secțiunea 2);
2. Identificarea, clasificarea și prioritizarea tehnologiilor bateriei și tipuri de baterii reprezentative pentru testarea la scară completă împreună cu proiectul Panelul tehnic și grupurile lor consultative (a se vedea secțiunea 4);
3. Identificarea elementelor cheie necesare ale EDV de răspuns în caz de urgență EIP, tactici, și operațiuni de revizie (vezi Secțiunea 2);
4. Dezvoltarea unui program de testare la incendiu la scară largă pentru fiecare baterie care urmează să fie testată (vezi Secțiunea 5);
5. Testarea la foc la scară completă conform programului de testare la incendiu la scară completă dezvoltat mai sus, inclusiv un test HRR nesuprimat și șase teste suprimate (vezi Secțiunea 6); și
6. Raportul rezultatelor finale și rezumatul celor mai bune practici pentru răspunsul la urgență incidente care implică pericole pentru bateriile EDV.

Pe scurt, acest proiect a implicat testarea HRR la scară completă și de stingere a incendiilor bateriilor EDV singur (test HRR) și instalat într-un suport VFT generic (teste de suprimare a incendiilor). Foc testele de suprimare au fost efectuate cu și fără finisaje interioare ale vehiculului. Toate testele supuse bateriile la expunerea simulată a incendiilor care provin de sub șasiul vehiculului. Tot foc activitățile de suprimare au fost efectuate de pompieri în serviciu activ calificați.

Scopul primordial al acestui proiect de cercetare a fost acela de a colecta date pentru a consolida îndrumările actuale furnizate de NFPA prin Ghidul lor de urgență pentru vehicule electrice. O listă completă a observațiilor proiectului în legătură cu ghidul actual al NFPA sunt furnizate în secțiunea 8 a acestui articol raport.

# 1. Fundal

---

## 1.1 Istoricul proiectului

În 2009, National Fire Protection Association (NFPA) a început un parteneriat cu SUA Departamentul de Energie (DOE) și industria auto să dezvolte și să implementeze a program cuprinzător de instruire pentru a oferi instruire în materie de siguranță pentru pregătirea personalului de intervenție în caz de urgență aceștia pentru rolul lor în gestionarea în siguranță a incidentelor care implică vehicule cu propulsie electrică (EDV). Pe parcursul acestui raport, termenul EDV este folosit pentru a descrie un vehicul rutier de pasageri cu un sistem electric de propulsie capabil să propulsoze vehiculul numai cu energie electrică sau în interior combinație cu motorul cu ardere internă (ICE). Acest program avea o lipsă de date folosiți pentru a aborda pericolele potențiale asociate cu bateriile EDV deteriorate. EDV-urile pot prezintă riscuri și variabile noi, necunoscute pentru personalul de intervenție. În special, membrii Comunitatea de răspuns în caz de urgență are întrebări cu privire la (1) echipamentul de protecție personală (EIP); (2) tactici de stingere a incendiilor; și (3) cele mai bune practici pentru revizie și după incendiu curățată. Mai exact, întrebările din partea comunității de răspuns în caz de urgență includ:

1. EIP adecvat pentru a fi utilizat pentru a răspunde la incendii care implică baterii EDV:
  - A. Este EIP actual adecvat în ceea ce privește expunerea respiratorie și dermică la ventilație gaze și produse de ardere?
  - b. Este EIP actual adecvat în ceea ce privește potențialele pericole de șoc electric?
  - c. Care este dimensiunea zonei de pericol unde EIP complet, inclusiv respirator protecție, trebuie purtat?
2. Tactici pentru stingerea incendiilor care implică bateriile EDV:
  - A. Cât de eficientă este apa ca supresor pentru incendiile mari de baterii?
  - b. Există pericole cu proiectile?
  - c. Cât timp trebuie efectuate eforturile de stingere pentru a ține focul sub control și apoi să-l stingi complet?
  - d. Ce nivel de resurse va fi necesar pentru a sprijini aceste eforturi de stingere a incendiilor?

e. Este nevoie de eforturi extinse de suprimare?

f. Care sunt indicatorii pentru cazurile în care serviciul de pompieri ar trebui să permită un mare acumulator să ardă mai degrabă decât să încerce suprimarea?

3. Cele mai bune practici pentru tactici și EIP care urmează să fie utilizate în timpul reviziei și curățării după incendiu operațiuni.

## 1.2 Obiectivele cercetării și domeniul de aplicare al proiectului

Obiectivul general al cercetării proiectului a fost dezvoltarea unei baze tehnice pentru cele mai bune practici pentru răspuns de urgență pentru stingerea incidentului cu bateriile EDV, inclusiv echipamentul individual de protecție necesar pentru prima intervenții la incendiu, adecvarea apei ca agent de suprimare și cele mai bune practici pentru revizuire.

Domeniul de activitate a inclus, dar nu s-a limitat la, următoarele șase sarcini principale:

1. O revizuire a celor mai bune practici din industrie pentru tacticile de stingere a incendiilor pentru ICE și EDV (vezi Secțiunea 2);
2. Identificarea, clasificarea și prioritizarea tehnologiilor bateriei și tipuri de baterii reprezentative pentru testarea la scară completă împreună cu proiectul Panelul tehnic și grupurile lor consultative (a se vedea secțiunea 4);
3. Identificarea elementelor cheie necesare ale EDV de răspuns în caz de urgență EIP, tactici, și operațiuni de revizie (vezi Secțiunea 2);
4. Dezvoltarea unui program de testare la incendiu la scară largă pentru fiecare baterie care urmează să fie testată (vezi Secțiunea 5);
5. Testarea la foc la scară completă conform programului de testare la incendiu la scară completă dezvoltat mai sus, inclusiv un test de ardere nesuprimată și șase teste de suprimare (a se vedea secțiunea 6); și
6. Raportul rezultatelor finale și rezumatul celor mai bune practici pentru răspunsul la urgență incidente care implică pericole pentru bateriile EDV.

O descriere mai detaliată a sarcinilor efectuate de Exponent pentru a îndeplini obiectivele proiectului este furnizate mai jos.



### 1.2.1 Revizuirea celor mai bune practici din industrie pentru stingerea incendiilor

Exponent a colectat, revizuit și rezumat cele mai bune practici disponibile din industrie pentru EDV stingerea incidentelor cu bateriile în legătură cu pericole, frecvență, EIP, tactici de suprimare, agenți de suprimare, revizie și curățare. Această sarcină a inclus o revizuire a tacticilor de stingere a incendiilor literatura de specialitate, precum și discuții tehnice cu Institutul de pompieri și salvare din Maryland (MFRI) în ceea ce privește cele mai bune practici din industrie pentru combaterea incendiilor ICE și EDV (vezi Secțiunea 2).

### 1.2.2 Identificarea, categorizarea și prioritizarea bateriei Tehnologii și tipuri de baterii reprezentative

Exponent, împreună cu Comitetul tehnic al proiectului, a identificat trei Li-ion candidati baterii de la trei producători diferiți de EDV pentru testare. Exponent asistat la analiză și procurarea bateriilor candidate. O descriere a fiecărei baterii este furnizată în Secțiunea 4.

Tehnologia bateriei Li-ion cu o capacitate aproximativă de 5,0 kWh DC sau mai mare dacă este concepută pentru un vehicul electric hibrid plug-in (PHEV) sau vehicul electric cu autonomie extinsă (EREV) și 15.0 DC kWh sau mai mare dacă este proiectat pentru un vehicul electric cu baterie (BEV) a fost folosit ca punct de referință pentru selectarea bateriei.

Exponent a lucrat, de asemenea, cu producătorii de baterii și de automobile pentru a dezvolta protocoale de siguranță încărcarea și caracterizarea bateriilor înainte de testare și descărcarea și îndepărtarea în siguranță a bateriile după testare, acolo unde este necesar.

### 1.2.3 Identificarea elementelor cheie necesare ale EIP, tactici și operațiuni de revizie

Exponent, împreună cu Comitetul Tehnic al Proiectului și MFRI, a identificat și a rezumat elementele cheie necesare ale EIP, tactici și revizuirii de răspuns în caz de urgență operațiuni bazate pe o revizuire a pericolelor de incendiu EDV și a răspunsurilor tradiționale la vehicul și incendii electrice care implică echipamente sub tensiune. Această analiză a inclus o revizuire a industriei referințe, precum și discuții cu MFRI și resurse auto cu privire la EIP (vezi Secțiunea 2).

#### 1.2.4 Dezvoltarea programului de testare la incendiu la scară completă

Exponent, împreună cu Comitetul tehnic al proiectului și grupurile consultative ale acestora, au fost dezvoltate un program adecvat pentru testarea la incendiu la scară completă, separat în două categorii: (1) testarea HRR a unui pachet de baterii de sine stătător și (2) testarea la scară largă de stingere a incendiilor a pachetelor de baterii din acestea locația corectă de montare poziționată în interiorul unui dispozitiv de antrenament de incendiu al vehiculului (VFT), împreună cu altele materiale combustibile adecvate, inclusiv finisaje și componente ale interiorului vehiculului. plin- teste de suprimare la scară au implicat un suport VFT modificat pentru a simula încărcăturile tipice de combustibil ale vehiculului și aprinderea și reținerea bateriilor Li-ion.

#### 1.2.5 Testarea la foc la scară completă

Testarea de incendiu la scară completă a implicat un test de incendiu de sine stătător HRR cu ardere liberă, fără suprimare și teste de incendiu suprimate ale bateriilor Li-ion într-un VFT. Au fost furnizate instrumente pentru monitorizare creșterea și dezvoltarea incendiului, inclusiv, dar fără a se limita la, rata de eliberare a căldurii, temperatura și flux de caldura. Au fost colectate probe de gaz și probe de apă pentru stingerea incendiilor pentru analiză contaminanți potențiali.

Pentru testarea care a folosit VFT, Exponent a colaborat cu MFRI, care a oferit expertiză în comanda incidentului, tactici de stingere a incendiilor, operațiuni de revizie și EIP pentru pompieri. Antrenamentul lor personalul a fost utilizat pentru a identifica cele mai bune practici recomandate pentru răspunsul de urgență la incendiu EDV incidente și pentru a facilita încercările și stingerea incendiilor.

Pompierii activi de la MFRI au efectuat toate operațiunile de suprimare și revizie. Orice evenimente periculoase, cum ar fi lansări de proiectile, reacții adverse la agenții de suprimare și au fost înregistrate șocuri electrice.

#### 1.2.6 Raport și rezumat al celor mai bune practici

Exponent a colectat și procesat datele de testare din programul de testare la scară completă în acest formal raport de inginerie de cercetare. Acest raport prevede:

1. O privire de ansamblu asupra lucrărilor proiectului până în prezent;
2. Un rezumat al datelor de testare la scară completă;

3. Comparație cu comentariile din ghidurile intermediare ale NFPA; și
4. Identificarea potențialelor cercetări viitoare.

## 2 Răspunsul actual privind starea de urgență la ICE și EDV Incendii

---

### 2.1 Prezentare generală Li-ion

Bateriile Li-ion sunt utilizate pe scară largă astăzi de către consumatori. Pe măsură ce această tehnologie a evoluat și densitățile de energie au crescut, utilizarea acestei tehnologii a fost aplicată în multe produse de larg consum, inclusiv industria auto. Celulele bateriei Li-ion dispuse în dimensiuni mari Bateriile Li-ion în format sunt folosite pentru a alimenta mai multe tipuri de EDV. Pe măsură ce EDV-urile intră în Pe piața din SUA, se așteaptă o creștere abruptă a numărului și dimensiunii pachetelor de baterii în depozit și utilizare. Un studiu recent realizat de FPRF<sup>1,2</sup> al NFPA evidențiază pericolele potențiale și utilizări ale celulelor și pachetelor de baterii Li-ion în timpul ciclului de viață al depozitării și distribuției. Un De asemenea, este inclusă o prezentare generală a tehnologiei Li-ion și a modurilor de defecțiune ale acesteia. Un scurt rezumat al Tehnologia Li-ion este furnizată aici.

Li-ion a devenit chimia dominantă a bateriilor reîncărcabile pentru dispozitivele electronice de larg consum și este pe cale să devină un loc obișnuit pentru industria, transportul și stocarea energiei aplicatii. Această chimie este diferită de bateria reîncărcabilă populară anterior chimice (de exemplu, hidrură de nichel metal, nichel cadmiu și acid de plumb) în mai multe moduri. Din punct de vedere tehnologic, datorită densității mari de energie, tehnologia Li-ion a permis alimentarea EDV-urilor. Din punct de vedere al siguranței și al protecției împotriva incendiilor, o densitate energetică ridicată cuplat cu un electrolit organic inflamabil, mai degrabă decât apos, a creat o serie de noi provocări în ceea ce privește proiectarea bateriilor care conțin celule Li-ion și în ceea ce privește incendiul suprimare.

Termenul Li-ion se referă la o întreagă familie de substanțe chimice ale bateriilor. Este dincolo de scopul acestui lucru raport pentru a descrie toate substanțele chimice utilizate în bateriile comerciale Li-ion. În plus, acesta Trebuie remarcat faptul că chimia bateriilor Li-ion este un domeniu activ de cercetare și noile materiale sunt în curs de dezvoltare. Informații suplimentare detaliate cu privire la bateriile Li-ion sunt

---

<sup>1</sup> Long RT și colab. „Evaluarea pericolelor și a utilizării bateriilor cu litiu-ion.” Raportul Fundației de Cercetare pentru Protecția împotriva incendiilor, iulie 2011. <http://www.nfpa.org/assets/files//PDF/Research/RFLithiumIonBatteriesHazard.pdf>

<sup>2</sup> Long RT, și colab. „Pericole ale bateriilor cu litiu-ion: ce trebuie să știți.” Inginerie de protecție împotriva incendiilor T4 2012.

disponibil într-un număr de referințe<sup>3,4</sup> și un volum mare de publicații de cercetare și lucrările conferinței pe această temă.

În sensul cel mai elementar, termenul baterie Li-ion se referă la o baterie unde electrodul negativ

Materialele (anod) și electrozi pozitivi (catod) servesc drept gazdă pentru ionul de litiu (Li+).

Ionii de litiu se deplasează de la anod la catod în timpul descărcării și sunt intercalați (inserați

în goluri) în structura cristalografică a catodului. Ionii inversează direcția în timpul

încărcare, așa cum se arată în Figura 1. Deoarece ionii de litiu sunt intercalați în materialele gazdă în timpul încărcării

sau descărcării, nu există litiu metal liber într-o celulă Li-ion<sup>5,6</sup>, astfel, dacă o celulă se aprinde

din cauza impactului unei flăcări externe sau a unei defecțiuni interne, tehnicile de stingere a incendiilor din metal nu sunt adecvat pentru controlul incendiului.

---

<sup>3</sup> Linden's Handbook of Batteries, Ediția a 4-a, Thomas B. Reddy (ed.), McGraw Hill, NY, 2011.

<sup>4</sup> Advances in Lithium-Ion Batteries, WA van Schalkwijk și B Scrosati (eds), Kluwer Academic/Plenum Publishers, NY, 2002.

<sup>5</sup> În anumite condiții de abuz, metalul de litiu în cantități foarte mici se poate plasa pe suprafețele anodului. În orice caz, aceasta nu ar trebui să aibă niciun efect apreciabil asupra comportării la foc a celulei.

<sup>6</sup> S-au discutat despre posibilitatea ca în celule să apară reacții „stil termitice” (reacția unui oxid de metal cu aluminiu, de exemplu oxidul de fier cu aluminiul, reacția clasică cu termita sau, în cazul celulelor cu ioni de litiu, oxidul de cobalt cu colector de curent din aluminiu). Chiar dacă sunt favorizate termodinamic (pe baza căldurilor de formare a oxizilor), în general aceste tipuri de reacții necesită amestecuri intime de pulberi fine din ambele specii pentru a se produce. Astfel, potențialul colectorului de curent din aluminiu de a suferi o reacție în stil termită cu un material catod poate fi posibil, dar aluminiul în vrac este dificil de aprins (Babrauskas V, Ignition Handbook, Society of Fire Protection Engineers, 2003, p. 870) și astfel, reacția poate fi împiedicată cinetic. Temperaturile de aprindere ale reacțiilor de tip termită depind în mare măsură de proprietățile suprafeței. Propagarea unor astfel de reacții poate fi, de asemenea, puternic dependentă de proprietățile amestecului. Până în prezent, Exponent nu a observat dovezi directe ale reacțiilor de tip termită în celulele care au suferit reacții de evadare termică și nici Exponent nu are cunoștință de vreo cercetare disponibilă public care să evalueze efectul unor astfel de reacții asupra ratelor globale de eliberare a căldurii celulelor. Cu toate acestea, chiar dacă un design specific al celulei este susceptibil la o reacție termică, acea reacție va reprezenta doar o parte din incendiul rezultat, astfel încât utilizarea tehnicilor metalice de stingere a incendiilor va rămâne inadecvată.

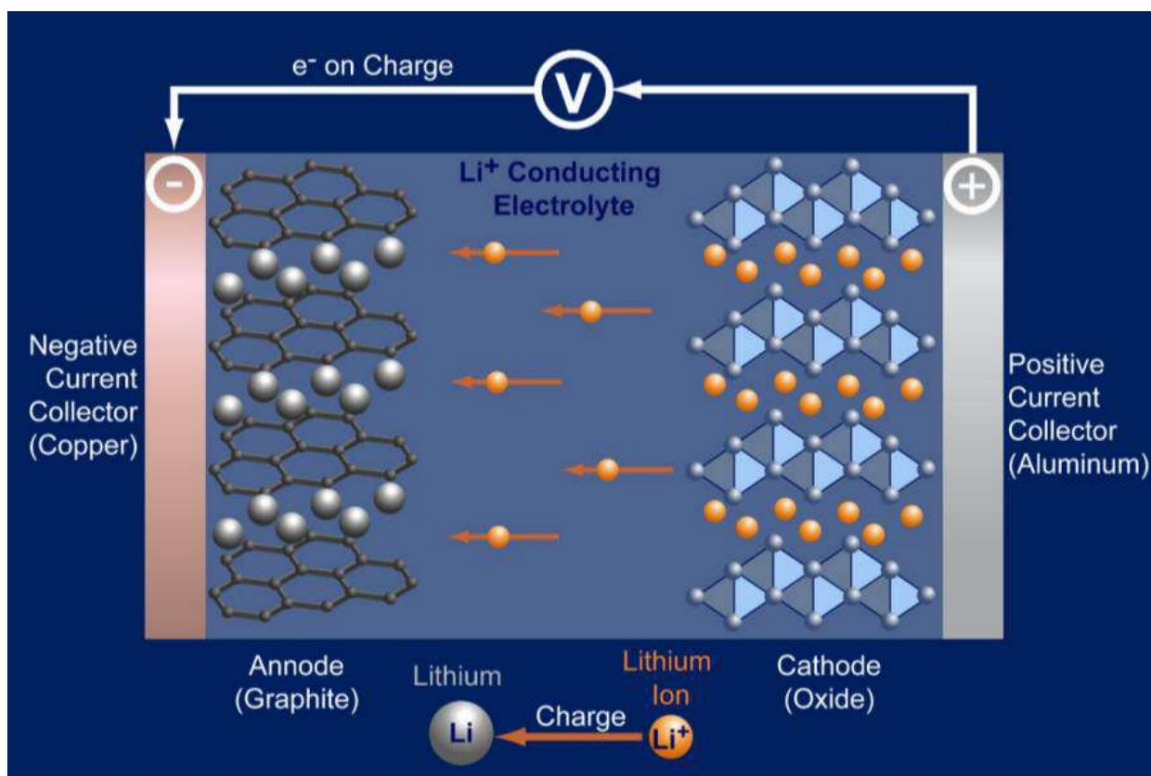


Figura 1 Funcționarea celulei Li-ion, în timpul încărcării ionii de litiu se intercalează în anod, invers are loc în timpul descărcării

Într-o celulă Li-ion, straturi alternative de anodi și catodi sunt separate printr-o peliculă poroasă (separator). Un electrolit compus dintr-un solvent organic și sare de litiu dizolvată oferă mijloacele de transport pentru Li-ion. O celulă poate fi construită prin stivuirea straturilor alternative de electrozi (tipici pentru celulele prismatice cu capacitate mare) sau prin înfășurarea benzilor lungi de electrozii într-o configurație „rulă de jeleu” tipică pentru celulele cilindrice, așa cum se arată în Figura 2. Stivele sau rolele de electrozi pot fi introduse în carcase rigide care sunt sigilate cu garnituri (majoritatea celule cilindrice comerciale), așa cum se arată în Figura 3, carcase rigide sudate cu laser, așa cum se arată în Figura 4, sau închise în pungă din folie cu cusături sigilate la căldură (denumite în mod obișnuit celule de polimer Li-ion<sup>7</sup>), așa cum se arată în Figura 5. O varietate de mecanisme de siguranță ar putea fi, de asemenea, incluse în

<sup>7</sup> Rețineți că termenul „polimer de litiu” a fost folosit anterior pentru a descrie celulele reîncărcabile cu litiu metalic care utilizau un electrolit pe bază de polimer. Termenul polimer de litiu este utilizat acum pentru a descrie o gamă largă de celule litiu-ion închise în pungă moi cu electrolit care poate fi sau nu pe bază de polimer.

proiectarea mecanică a unei celule, cum ar fi dispozitivele de întrerupere a încărcării și comutatoarele cu coeficient de temperatură pozitiv.<sup>8,9</sup>

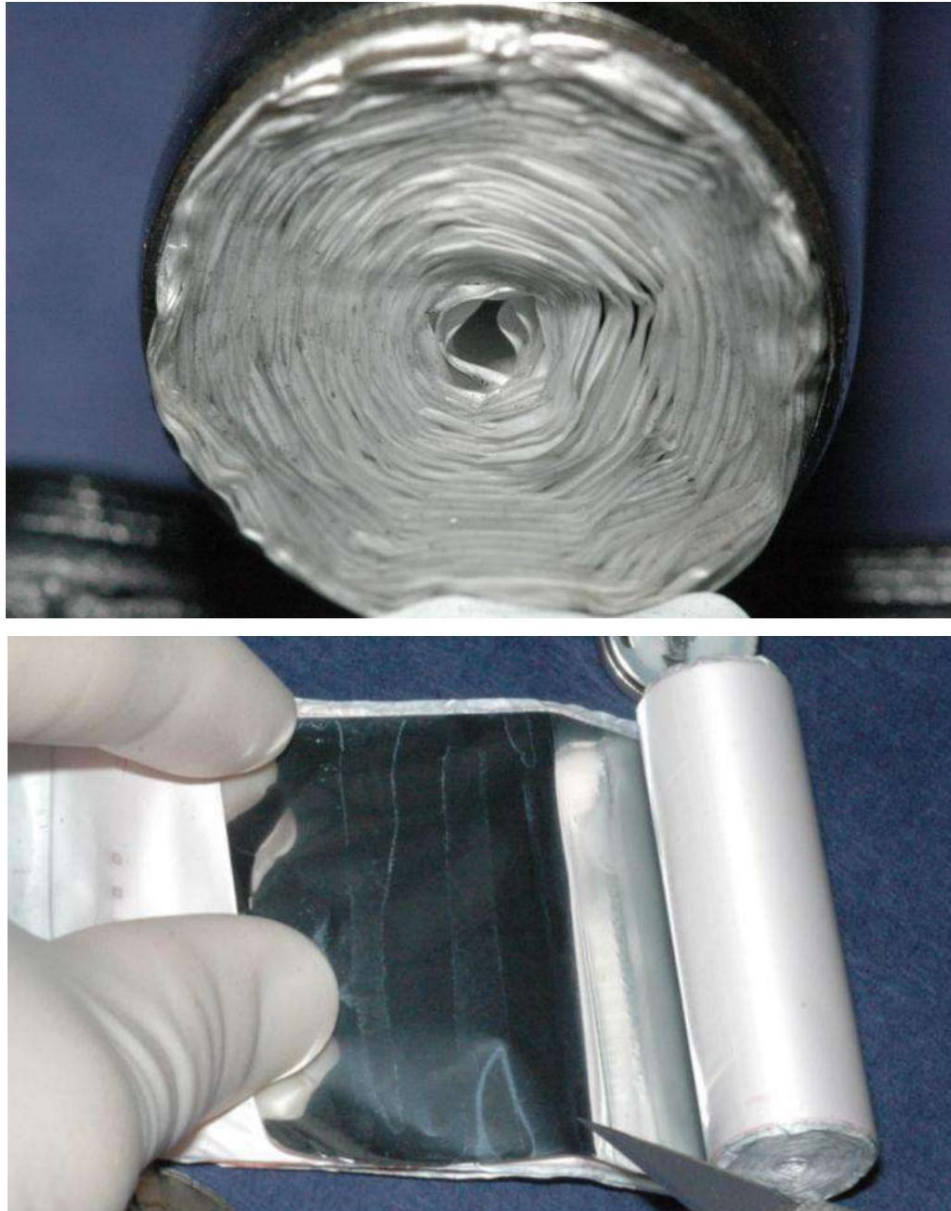


Figura 2 Baza unei celule cilindrice Li-ion care prezintă structura plăgii (sus); Celula fiind derulată dezvăluie mai multe straturi: separatorul este alb, colectorul de curent din aluminiu (parte a catodului) pare strălucitor (partea de jos)

<sup>8</sup> Pentru o discuție mai detaliată despre celulele Li-ion, vezi: Dahn J, Ehrlich GM, „Lithium-Ion Batteries,” Linden's Handbook of Batteries, 4th Edition, TB Reddy (ed), McGraw Hill, NY, 2011.

<sup>9</sup> Pentru o revizuire a diferitelor mecanisme de siguranță care pot fi aplicate celulelor Li-ion, vezi: Balakrishnan PG, Ramesh R, Prem Kumar T, „Mecanisme de siguranță în bateriile cu ioni de litiu”, *Journal of Power Source*, 155 (2006), 401-414.



Figura 3 Exemplu de 18650 de celule cilindrice (acestea sunt cele mai comune electronice de larg consum factor de formă a celulei Li-ion)

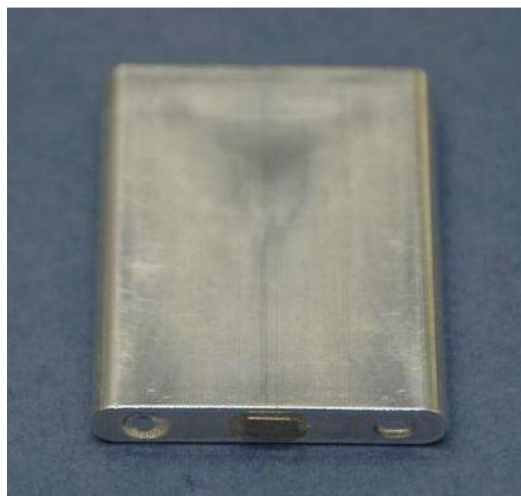


Figura 4 Exemplu de celulă prismatică cu carcasă rigidă





Figura 5 Exemplu de celulă polimerică cu pungă moale

O baterie Li-ion este fabricată din mai multe celule individuale ambalate împreună cu cele asociate sistem de control și electronică de protecție. Prin conectarea celulelor în paralel, proiectanții cresc capacitatea pachetului. Prin conectarea celulelor în serie, proiectanții cresc tensiunea pachetului. Astfel, majoritatea bateriile vor fi etichetate cu o tensiune nominală care poate fi utilizată pentru a deduce numărul de elemente din serie și, împreună cu energia totală a acumulatorului (în wați oră [Wh]), pot fi utilizate determinați capacitatea (în amperi oră [Ah]) a fiecărui element din serie (dimensiunea celulelor individuale sau numărul de celule conectate în paralel).

Pentru acumulatorii de format mare, celulele pot fi conectate împreună (în serie și/sau în paralel) în module. Modulele pot fi apoi conectate în serie sau în paralel pentru a forma baterii complete. Modulele sunt utilizate pentru a facilita configurațiile ușor modificate și înlocuirea ușoară a celor defecte porțiuni de baterii mari. Astfel, arhitectura pachetului de baterii de format mare poate fi complexă.

Bateriile EDV utilizează de obicei multe celule individuale cuprinse în module. Modulele sunt apoi asamblate pentru a forma un pachet de baterii de format mare. Pachetele de format mare conțin de obicei un sistem activ de protecție pentru a monitoriza curentul electric, tensiunea și temperatura celulelor la optimizați performanța pachetului și reduceți potențialele defecțiuni, inclusiv incendiile. Numeroase standarde și protocoale sunt disponibile pentru aceste pachete, inclusiv, dar fără a se limita la:

- Underwriters Laboratories (UL) Subiectul 2580: Baterii pentru utilizare în vehicule electrice;

- SAE J2464: Stocare de energie reîncărcabilă pentru vehicule electrice și hibride  
Sisteme (RESS), Testare de siguranță și abuz; și
- SAE J2929: Standard de siguranță pentru sistemul de baterii de propulsie pentru vehicule electrice și hibride  
– Celule reîncărcabile pe bază de litiu.

Este dincolo de scopul acestui raport să discutăm toate standardele și protocoalele potențiale; cu toate acestea, a rezumatul multor protocoale de testare pentru celulele Li-ion a fost publicat anterior.

10

## 2.2 Prezentare generală a vehiculului electric

Diferite tipuri de EDV sunt create prin combinații unice ale componentelor standard ale a sistem hibrid și/sau electric al vehiculului, inclusiv bateria, motorul electric, generatorul, transmisie mecanică și sistem de control al puterii. Există patru tipuri principale de EDV:

1. Vehicule electrice hibride (HEV);
2. Vehicule electrice hibride plug-in (PHEV);
3. Vehicule electrice cu rază extinsă (EREV); și
4. Vehicule electrice cu baterie (BEV).

Următoarele rezumă cele patru tipuri principale de EDV și modul în care acestea funcționează în mod obișnuit.

Unele variații vor apărea de la producător la producător. HEV-urile folosesc un mic electric

baterie pentru a suplimenta un ICE. Bateria electrica este reincarcata de motorul pe benzina si

frânare regenerativă. PHEV-urile sunt vehicule cu combustibil dublu, unde motorul electric și/sau ICE

poate propulsa vehiculul. PHEV-urile folosesc un pachet de baterii mai mare decât HEV-urile și sunt încărcate direct

de la rețeaua electrică pentru a suplimenta un ICE mai mic. EREV-urile sunt propulsate numai de motoare electrice.

Când bateria de propulsie este epuizată, iar ICE este folosit pentru a alimenta un generator electric care

furnizează energie electrică motoarelor de antrenare. În cele din urmă, BEV-urile nu au deloc ICE și sunt EV-uri complete.

Aceste vehicule trebuie să se conecteze la rețeaua electrică pentru a se reîncărca.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> UL: „Probleme de siguranță pentru bateriile cu ioni de litiu”, 2012.

<sup>11</sup> [http://www.tva.com/environment/technology/car\\_vehicles.htm](http://www.tva.com/environment/technology/car_vehicles.htm)

## 2.3 Cercetarea curentă EDV și alte eforturi

EDV-urile implicate în incidente de coliziune și incendiu pot prezenta pericole unice asociate cu sistem de înaltă tensiune (inclusiv sistemul de baterii). Aceste pericole pot fi grupate în trei categorii distincte: chimice, electrice și termice. Consecințele potențiale pot varia în funcție de, dar fără a se limita la, dimensiunea, configurația și chimia specifică a bateriei. Recent, Society of Automotive Engineers (SAE) International a lansat J299012, Hybrid și Practica recomandată pentru primul și al doilea răspuns EV, care descrie potențialul consecințele asociate cu pericolele generate de EDV și sugerează proceduri comune pentru a ajuta protejați personalul de intervenție în caz de urgență, remorcarea și/sau personalul de recuperare, depozitare, reparare și salvare după a avut loc un incident cu un vehicul electrificat. Hidrură metalică de nichel (NiMH) și Li-ion bateriile utilizate pentru puterea de propulsie a vehiculului sunt sistemele de baterii presupuse ale acestuia Practică recomandată.

Recent, testele de incendiu la scară largă au comparat comportamentul la foc al EDV-urilor cu cel al vehiculelor ICE convenționale. În prima serie de teste<sup>13</sup>, cercetătorii au efectuat teste la scară completă ale unui electric EDV alimentat de baterii și un vehicul ICE comparabil. În această serie de teste, HRR total al vehiculele care arde au fost calculate folosind ratele de pierdere de masă. HRR de vârf a EDV a fost s-a dovedit a fi de aproximativ trei ori mai mare decât cea a vehiculului ICE; cu toate acestea, având în vedere că EDV și ICE nu au fost identice, nu este clar dacă HRR-urile de vârf pot fi comparate direct. În timpul testului EDV, nu au fost observate proiectile sau explozii. S-a remarcat că în timp ce HRR de vârf a fost mai mare, energia totală eliberată pentru EDV a fost cu aproximativ 50% mai mare decât vehiculul ICE testat, dar cu 15% mai puțin decât cel al unui sedan ICE de lux.

Într-o a doua serie de teste<sup>14</sup>, cercetătorii au efectuat teste de incendiu pe două vehicule. Primul a fost un EDV iar cel de-al doilea vehicul testat a fost un vehicul ICE analog. Pentru aprindere a fost folosit un arzător cu gaz

---

<sup>12</sup> SAE International, Practică recomandată pentru vehicule de suprafață J2990 NOV2012, 11-2012, Practică recomandată pentru primul și al doilea răspuns hibrid și EV.

<sup>13</sup> Watanabe, N. i colab. „Compararea comportamentului la incendiu al unui vehicul alimentat cu baterie electrică și al unui vehicul alimentat cu benzină într-un test de incendiu la scară reală.” Institutul Național de Cercetare pentru Știința Poliției, Japonia. Prezentat la a doua conferință internațională privind incendiile în vehicule, 27-28 septembrie 2012, Chicago, IL.

<sup>14</sup> Lecocq, A. i colab. „Comparație între consecințele incendiului ale unui vehicul electric și ale unui vehicul cu motor cu ardere internă.” INERIS – Institutul Național de Mediu Industrial și Riscuri, Verneuil-en-Halatte, Franța. A doua conferință internațională privind incendiile în vehicule, 27-28 septembrie 2012, Chicago, IL.

vehiculelor și a fost amplasat pe scaunul șoferului din față. Evoluția incendiului a fost similară pentru ambele vehicule și nici proiectilele nu au fost observate. HRR maxim a fost similar pentru ambele vehicule, 4,2 MW pentru EDV și 4,8 MW pentru vehiculul ICE. Analiza gazelor a constatat că hidrogenul fluorura (HF) a fost emisă în cantități semnificative atât în testele vehiculelor EDV, cât și ICE. A fost observată o zonă distinctă de emisie de HF în timpul arderii EDV care a fost atribuită în special la arderea bateriei EDV, cu toate acestea, aceste vârfuri au fost mai mici decât vârful HF inițial și maxim care a fost posibil atribuit agentului frigorific de aer condiționat.

Lucrările anterioare efectuate asupra bateriilor EDV expuse incendiilor din piscine au fost, de asemenea, revizuite.<sup>15</sup> În acest test din seria, trei baterii EDV Li-ion de format mare de 17 kWh au fost expuse incendiilor de piscine alimentate cu combustibil într-un rack situat deasupra unui foc de expunere. Bateriile nu au fost instalate în vehiculul gazdă original. Bateriile au fost apoi stinse cu apă și/sau apă cu aditivi. Bateria s-au înregistrat temperaturile exterioare și cantitatea totală de apă utilizată.

Focul piscinei a fost plasat direct sub baterie, a fost alimentat cu 45 de litri de heptan și a durat aproximativ 11 minute. Când au fost expuse la flăcări, s-a observat că gazele scapă din baterie și produc flăcări vizibile asemănătoare focului și „scurtcircuite” caracterizate prin flăcări albe strălucitoare. Au arătat probe de apă colectate după stingerea bateriilor concentrații de fluor și clorură. Patruzeci (40) până la 80 de litri de apă cu diverși aditivi au fost folosite pentru stingerea incendiului.

Institutul Național pentru Securitate și Sănătate în Muncă (NIOSH)<sup>16</sup> a evaluat recent expunerea la substanțe chimice și particule la pompieri în timpul antrenamentului de stingere a incendiilor vehiculelor. Au fost colectate și analizate probe de fum de la incendiile motoarelor și din cabină pentru identificarea principalului substanțe chimice din fum. Au fost colectate și probe din zona personală de respirație (PBZ). S-au găsit niveluri ridicate de substanțe chimice periculoase în probele de fum din fumul vehiculului, cu toate acestea, eșantioanele PBZ au fost sub limitele de expunere ocupațională (OEL). Recomandări inclus:

---

<sup>15</sup> Egelhaaf, M., Kress, D., Wolpert, D., Lange, T. și colab., „Fire Fighting of Li-Ion Traction Batteries”, SAE Int. J. Alt. Power. 2(1):37-48, 2013, doi: 10.4271/2013-01-0213.

<sup>16</sup> Fent, KW și colab. „Evaluarea expunerilor la substanțe chimice și la particule în timpul antrenamentului de suprimare a incendiilor pentru vehicule.” Raport de evaluare a pericolelor pentru sănătate HETA 2008-0241-3113, NIOSH, Yellow Springs, OH, iulie 2010.

- Implementarea utilizării aparatelor de respirat autonome (SCBA) în timpul stingerea incendiilor vehiculelor;
- Atacarea incendiilor din poziții în amonte;
- Parcarea aparatelor de incendiu în fața vântului;
- Purtarea SCBA înainte de a ataca incendiul vehiculului; și
- Țineți SCBA pornit până la finalizarea reviziei.

## 2.4 Prezentare generală a incendiilor de vehicule

Incendiile vehiculelor de pe autostrăzi sunt unul dintre tipurile comune de incendii la care răspund pompierii.

Cu toate acestea, numărul incendiilor de vehicule pe autostradă care au loc în Statele Unite a fost la o tendință descendentă constantă din 1980, când NFPA a început să urmărească astfel de incidente. Conform NFPA, între 1980 și 1982, a existat o medie de aproximativ 447.000 de autostrăzi

incendii de vehicule pe an; între 2009 și 2011, au existat în medie aproximativ 187.500 de incendii de vehicule pe an.<sup>17</sup> Un vehicul de autostradă este definit ca un vehicul destinat

utilizare pe autostradă și este clasificat fie ca vehicul rutier pentru pasageri, fie ca vehicul rutier camion/de marfă.<sup>18</sup>

Vehiculele rutiere de pasageri sunt vehicule concepute în principal pentru a transporta persoane pe drumuri. Pasager vehiculele rutiere includ mașini, autobuze, vehicule de agrement și motocicletele, dar această clasificare nu include camionete, care sunt clasificate ca camioane. Automobilele și mașinile sunt cele mai frecvente vehicule de autostradă implicate în incendii. Între 2003 și 2007, peste 70% din incendiile vehiculelor de pe autostradă au implicat automobile sau mașini.<sup>19,20</sup>

În ultimele decenii, modificări ale componentelor structurale și ale elementelor interioare ale automobilelor au făcut incendiile vehiculelor moderne mai provocatoare. Vehiculele moderne conțin o creștere

---

<sup>17</sup> Karter, M. Fire Loss in the United States 2011, NFPA Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA, septembrie 2012.

<sup>18</sup> Ahrens, M. US Vehicle Fire Trends and Patterns. Divizia de analiză și cercetare a incendiilor NFPA, Quincy, MA, iunie 2010.

<sup>19</sup> Ibid.

<sup>20</sup> Informații mai detaliate despre incendiile vehiculelor de pasageri sunt disponibile în: Long RT, et al. Incendii de vehicule de pasageri. Capitolul 1, Secțiunea 21. Manual de protecție împotriva incendiilor, ediția a 20-a. National Fire Protection Association (NFPA), pp. 21-3-21-14, Quincy, MA, 2008.

cantitatea de plastic și prezintă, de asemenea, alte pericole, cum ar fi barele cu gaz comprimat și amortizoare care poate exploda în condiții de incendiu. Vehiculele moderne pot avea componente construite din metale combustibile care pot reacționa la aplicarea apei. În plus, majoritatea vehiculelor acum conțin diverse sisteme suplimentare de reținere (SRS), adică airbag-uri, pentru a proteja pasagerii în timpul a ciocniri și/sau răsturnare. Airbagurile se pot declanșa în timpul îndepărtării victimelor accidentului, rezultând în răni ale pompierilor dacă nu sunt manipulate corespunzător.

În prezent, pompierii caută modalități de a gestiona creșterea recentă și prognozată a numărului și tipul de EDV și potențialele incendii care pot rezulta. Pe lângă pericole descrise mai sus, aceste vehicule pot prezenta provocări suplimentare pentru serviciul de pompieri. Multe aceste vehicule au caracteristici operaționale cu care personalul de pompieri este în prezent necunoscut. De exemplu, EDV-urile sunt în mod normal silențioase când vehiculul este oprit. Astfel un EDV poate fi „pornit” și gata să se propulseze singur dacă accelerația este apăsată. În mod similar, multe HEV-uri „hibernează” când se opresc. Aceste vehicule sunt, de asemenea, gata să se miște dacă accelerația este deprimat. Personalul de intervenție în caz de urgență nu mai poate presupune că un vehicul este „oprit” atunci când ei nu se aude motorul în funcțiune. Cu toate acestea, Departamentul Transporturilor (DOT)/Național Administrația pentru Siguranța Traficului pe Autostradă (NHTSA) a emis recent o Notificare de Propunere Elaborarea de reguli pentru un nivel minim de zgomot care să fie adăugat la EDV, ceea ce ar putea reduce sau elimina această problemă în viitor.<sup>21</sup>

EDV-urile conțin baterii de înaltă tensiune și componente electrice care prezintă risc de șoc sau eventual electrocutarea primilor intervenitori dacă nu este manipulat corespunzător. Acestea nu sunt pericole întâlnit de obicei în timpul răspunsurilor la incendii în vehiculele convenționale pe autostradă alimentate cu ICE. Pompierii ar putea fi expuși riscului de șoc/rănire/electrocuție gravă dacă încalcă un componenta electrica de inalta tensiune sau bateria de inalta tensiune. De asemenea, pompierii pot fi șocați prin intrarea în contact cu o componentă de înaltă tensiune sub tensiune care a fost compromisă de daune provocate de incendiu sau coliziune.

---

<sup>21</sup> US DOT/NHTSA a emis recent o notificare privind propunerea de reglementare referitoare la cerințele minime de sunet pentru vehiculele hibride și electrice (49 CFR 571; dosar nr. NHTSA-2011-0148) pe baza proiectului lor de evaluare de mediu (dosar nr. NHTSA-2011-). 0100), din ianuarie 2013.

## 2.5 Incendii convenționale de vehicule ICE

Practicile de stingere a incendiilor pentru incendiile convenționale ale vehiculelor ICE nu s-au schimbat semnificativ în timpul ultimii 30 de ani, deși pompierii s-au adaptat la noile pericole prezentate de modern vehicule, așa cum este descris anterior. Incendiile vehiculelor au fost odată tratate cu o relativă complezență. Adesea, pompierii purtau doar porțiuni din ansamblul EIP atunci când luptau cu un incendiu de vehicul. Pompierii au luat rareori măsuri pentru a se proteja de inhalarea fumului și a gazelor emise de vehiculele care arde. Creșterea conștientizării pericolelor asociate cu modernul vehiculele, cuplate cu o cultură mai dezvoltată a siguranței au determinat serviciul de pompieri solicită utilizarea tuturor elementelor de siguranță pentru a preveni leziunile și cronicizarea pe termen lung boli.

Combaterea incendiilor în vehiculele moderne poate pune pompierii în pericol de rănire cu proiectile. Vehiculele moderne sunt construite cu diferite componente sigilate, goale, care pot deveni presurizat când este încălzit. Barele de protecție cu absorbție a șocurilor, arborii de transmisie și barele folosite pentru ridicare capotele și hatchback-urile se pot rupe și deveni proiectile în timpul unui incendiu. Este esențial ca personalul este complet echipat cu echipamente structurale pentru a limita riscul de accidentare din proiectile.

Un alt factor care a afectat tactica de răspuns la incendiile vehiculelor este folosirea materialelor plastice componente ale vehiculului. Componentele din plastic se găsesc în aproape toate compartimentele moderne vehicule (de exemplu, motor, cabină și zona de marfă) și pe exteriorul vehiculelor. Materialele plastice pot avea a rata de degajare a căldurii mai mare decât produsele utilizate la construcția vehiculelor mai vechi. În plus, vehiculele moderne pot avea componente din metale care pot arde și reacționa cu apa.

Caracteristicile vitezei ridicate de eliberare a căldurii ale materialelor plastice necesită utilizarea unei mai mari debite decât ar fi fost utilizate în mod obișnuit în anii trecuți. Aceste debite mai mari facilitează stingerea mai rapidă a incendiului și oferă un nivel mai ridicat de protecție pompierilor. Era obișnuit în urmă cu 30 de ani, ca pompierii să implementeze linii de amplificare de la  $\frac{3}{4}$  inch până la 1 inch pentru a combate vehiculul incendii. În prezent, pompierii desfășoară linii de atac de cel puțin 1,5 inci în diametru pe vehicul incendii, conform recomandărilor Asociației Internaționale de Formare a Serviciului de Pompieri (IFSTA). IFSTA De asemenea, recomandă să nu vă bazați pe liniile de amplificare, deoarece acestea „...nu oferă protecție sau rapidă

răcire necesară pentru a lupta eficient și în siguranță cu un incendiu de vehicule.” În plus, IFSTA încurajează desfășurarea unei linii de rezervă cât mai curând posibil.<sup>22</sup>

Utilizarea sporită a materialelor plastice și a altor materiale, combinată cu o înțelegere mult mai clară a efectelor nocive asupra sănătății asociate cu incendiile vehiculelor a dus, de asemenea, la modificări la tactici. În trecut, nu era obișnuit ca pompierii să poarte un SCBA în timp ce stingeau a incendiul vehiculului. O conștientizare în creștere a gamei vaste de compuși organici volatili (COV) și alte gaze emise în timpul unui incendiu de vehicul și efectele potențiale asociate asupra sănătății au făcut ca purtarea SCBA-urilor să fie esențială la fiecare incendiu de vehicul.<sup>23</sup>

## 2.6 Tacticile de incendiu convenționale curente ale vehiculelor ICE

Pentru a examina modul în care prevalența EDV-urilor ar trebui să influențeze operațiunile tactice la vehicul incendii, este important să ne uităm la modul în care sunt, în general, incendiile în vehiculele ICE convenționale stins în prezent. Următoarea este o listă de sarcini în ordine cronologică, de obicei efectuat la un incendiu de vehicul. Operațiunile descrise mai jos presupun că există cel puțin patru incendii personalul de service la fața locului. Dacă mai puțin personal este prezent, toate sarcinile trebuie să fie efectuate de acel personal la fața locului.<sup>24</sup>

1. La sosirea pompei(lor), aparatul este parcat la cel puțin 50 de picioare de incendiu. vehicul, într-o astfel de poziție încât să protejeze pompierii de traficul vehiculelor.
2. Pompierii (FF1 și FF2) și ofițerul poartă EIP complet și SCBA. Operatorul pompei (FF3) nu este de obicei în EIP complet.
3. Ofițerul efectuează o mărime la 360 de grade pentru a identifica pericolele și pentru a determina dacă există ocupanți prinși sau civili răniți. Ofițerul conduce pompierii pe tot parcursul stingere.

---

<sup>22</sup> IFSTA. Esențiale pentru combaterea incendiilor. Stillwater, OK: Publicații privind protecția împotriva incendiilor. 2008.

<sup>23</sup> Fent, K. și Evans, D. Evaluarea riscului pentru pompieri din cauza vaporilor și gazelor chimice în timpul stingerii incendiului vehiculului. 2010.

<sup>24</sup> Aceste tactici sunt operațiunile de bază de incendiu ale vehiculelor cunoscute de MFRI.



4. Pompierii întind o linie de atac (1-1/2" sau 1-3/4") de la primul pompier sosit.  
În acest moment, își îmbracă SCBA (atașează masca pe față și încep să respire aer cilindric), dacă nu ar fi făcut-o deja.
5. Ofițerul informează pompierii cu privire la orice pericole observate, victime etc.
6. FF3 încarcă linia de atac cu apă din rezervorul de apă al pompei.
7. FF1 deschide balotul duzei și reglează debitul duzei. FF1 avansează spre vehiculul cu un model larg (ceață de 60°) de la deal/în sus, dacă este posibil, se apropie spre unul dintre colțurile vehiculului sau lateralul vehiculului, dar nu din față sau spatele vehiculului. Principala prioritate a FF1 este de a proteja pe oricine ar putea fi prins vehiculul.
8. FF2 sau ofițerul blochează o roată a vehiculului pentru a împiedica rularea acestuia ca FF1 se apropie de vehicul.
9. Dacă focul este în habitacul și geamurile au defectat deja, FF1 îngustează modelul la o ceață de 30° și direcționează fluxul la distanță apropiată în cabina vehicul care arde. Dacă geamurile nu au eșuat, FF2 încearcă să deschidă portiera vehiculului cu mânerul ușii. Dacă ușile sunt încuiate, FF2 folosește un instrument de intrare forțată pentru a sparge geamurile vehiculului. FF1 poate direcționa apoi fluxul în cabină.
10. Dacă focul este în compartimentul motor, FF1 poate direcționa fluxul de ceață de 30° în sus prin caturile de roată, prin grătar sau sub capotă de la baza parbrizului.  
FF2 încearcă să elibereze zăvorul capotei din cabina vehiculului și să ridice capota.  
Dacă eliberarea capotei nu funcționează, FF2 poate folosi un instrument indiscret pentru a crea un spațiu între capota și aripa prin care poate fi îndreptat curentul. Unele departamente folosesc duze perforante care pot fi introduse prin capotă pentru a curge apa în motor compartiment.
11. Pe măsură ce focul din compartimentul motorului este doborât, FF2 începe să forțeze intrarea în compartimentul motorului prin spargerea/blocarea capotei/clema capotei sau folosind alte instrumente pentru a ridicați colțurile din spate ale capotei și tăiați prin balamalele capotei. niste departamentele folosesc ferăstraie electrice pentru a tăia o gaură în capotă.

12. Accesul la un incendiu care arde în zona portbagajului poate fi obținut prin metode similare celor descris pentru a forța intrarea în capotă. În unele cazuri, un pompier poate fi capabil introduceți încuietoarea portbagajului cu o unealtă de intrare forțată și alegeți blocarea dezactivată mecanism cu o șurubelniță.
13. FF1 se deplasează în jurul vehiculului cu linia de atac pentru a accesa toate zonele incendiate ale vehicul. Tot focul vizibil este stins.
14. FF2 accesează compartimentul în care se află bateria vehiculului și taie sau deconectează cablu negativ (de masă) de la borna bateriei (sau ambele cabluri de la ambele terminale), pentru a preveni ca un sistem electric scurtcircuitat să reaprindă un incendiu. Acest pas se repetă dacă vehiculul are o a doua baterie.
15. Pompierii și ofițerul efectuează revizii autovehiculului pentru a se asigura că incendiul este complet stins prin deschiderea zonelor unde focul poate fi ascuns și/sau mocnește; aceste zone sunt bine înmuiate.
16. Ofițerul face o anchetă pentru a stabili originea și cauza incendiului. Politistul poate apela la un investigator de incendiu dacă cauza este nedeterminată, incendiară sau suspectă.

## 2.7 Tactici actuale de foc EDV

Pompierii se confruntă cu pericole și provocări suplimentare atunci când au de-a face cu EDV.

Următoarele bune practici abordează incendiile EDV.<sup>25,26,27</sup> Operațiunile descrise mai jos nu precizați câți personal de pompieri vor fi la fața locului. Oricât de mulți sunt prezenți, toți sarcinile încă trebuie îndeplinite de către personalul respectiv la fața locului. Aceste sarcini includ:

1. Identificați vehiculul;
2. Imobilizați vehiculul;
3. Dezactivați vehiculul;

---

<sup>25</sup> Asociația Națională de Protecție împotriva incendiilor. Ghid de urgență pentru vehicule electrice. Quincy, MA. 2012.

<sup>26</sup> Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi. Ghid intermediar pentru vehicule electrice și vehicule hibrid-electrice echipate cu baterii de înaltă tensiune. Washington, DC 2012.

<sup>27</sup> SAE International, Practică recomandată pentru vehicule de suprafață J2990 NOV2012, 11-2012, Practică recomandată pentru primul și al doilea răspuns hibrid și EV.

4. Descarcare;
5. Stingere; și
6. Operațiuni de revizie.

### 2.7.1 Identificați vehiculul

Identificarea unui vehicul ca EDV este prima provocare cu care se confruntă pompierii la sosirea la a incendiul vehiculului. Trebuie să devină parte a operațiunilor de mărire a dimensiunii fiecărui pompier pentru a determina dacă a vehiculul care arde este un EDV. În multe cazuri, poate fi ușor evident din vehicul marca/modelul sau din insigne/logo-uri exterioare. În alte cazuri, s-ar putea să nu fie atât de evident. Daunele suferite de vehicul fie printr-o coliziune/răsturnare, fie prin incendiu și fumul însuși face identificarea foarte dificilă. În timpul extinderii incidentului, pompierii ar trebui să caute etichete de avertizare de pe EDV care avertizează despre tensiune înaltă. Unele etichete pot fi mai puțin directe comunicând faptul că vehiculul în cauză este un EDV.

Dacă focul este limitat la compartimentul motorului sau portbagaj, un pompier poate obține vedere a instrumentarului de pe tabloul de bord al vehiculului. În acest caz, pompierii ar trebui să caute cuvinte și simboluri care indică că vehiculul este un EDV. Dacă vehiculul este „pornit”, pompierul poate vedea simboluri liniuțe care indică starea de încărcare a bateriei sau că nu există combustibil

ecartament.

Indiferent de metoda folosită pentru identificarea vehiculului, tot personalul care operează la fața locului trebuie să fie informat dacă vehiculul incendiat este un EDV.

### 2.7.2 Imobilizarea vehiculului

Ca și în cazul vehiculelor ICE convenționale, este important să plasați calea în față și în spate a unuia dintre roțile pentru a preveni rularea vehiculului. EDV-urile pot hiberna; deși poate să nu fie evident că motorul funcționează, vehiculul poate fi pregătit să se miște de îndată ce accelerația este deprimat. EDV-urile trebuie blocate pentru a preveni orice mișcare accidentală a vehiculului ca cât de curând posibil. Deși este o măsură preventivă bună, sufocarea singură nu poate preveni

mişcare dacă sistemul de antrenare este cuplat. Dacă este posibil, setarea frânei de urgență și amplasarea vehiculul aflat în parcare poate adăuga protecție suplimentară împotriva mișcării accidentale.

### 2.7.3 Dezactivați vehiculul

Determinați starea vehiculului vizualizând afișajul bordului, poziția cheii în aprindere și/sau butonul de pornire pentru a vedea dacă are un indicator luminos aprins. Dacă vehiculul este „pornit”, întoarceți-vă cheia pentru poziția „oprit”. Unele EDV-uri noi funcționează cu o cheie de proximitate. Dacă proximitatea cheia se află în raza de acțiune a vehiculului (de obicei la mai puțin de 16 picioare), vehiculul este pornit de un butonul de pe liniuță. Opriți vehiculul apăsând acest buton. Apoi scoateți cheia din contactul și plasați-l dincolo de raza de acțiune a vehiculului (de obicei mai mare de 16 picioare).

Pe lângă bateria de înaltă tensiune care alimentează un motor EDV, există un 12-baterie de volți situată undeva pe vehicul. Bateria de 12 volți alimentează multe vehicule accesorii și este utilizat pentru controlul contactoarelor de înaltă tensiune. Separă împământarea bateriei de 12 volți cablul va împiedica pornirea vehiculului. Tăierea bateriei de 12 volți într-un vehicul care este „pornit”, totuși, nu va opri vehiculul, așa cum poate fi alimentat de către convertorul DC/DC ține contactorul închis. După ce vehiculul a fost oprit de la cheia/butonul de contact, pompierii ar trebui să dezactiveze în continuare vehiculul prin întreruperea pământului negativ al bateriei de 12 volți cablu. Ofițerul ar trebui să se refere la Ghidul de urgență pentru vehicule electrice al NFPA sau altele ghiduri adecvate pentru informații specifice vehiculului cu privire la locația bateriei de 12 volți și siguranțe care pot fi trase pentru a dezactiva sistemul de înaltă tensiune.

Dacă pompierii nu pot avea acces în zona unde se află bateria de 12 volți sau siguranțele, pot încercați să izolați sistemul de înaltă tensiune prin scoaterea sau oprirea rețelei de înaltă tensiune deconectare (sau „deconectare serviciu de înaltă tensiune”). Pompierii vor avea nevoie de un ghid, cum ar fi Ghidul de urgență al vehiculului electric al NFPA , pentru a determina locația înaltului deconectarea principală de tensiune și identificarea metodei adecvate de deconectare a sistemului. Este posibil ca pompierii să nu poată finaliza acest pas decât după stingerea incendiului.<sup>28</sup> În continuare detalii despre recomandările pentru dezactivarea sistemului de înaltă tensiune pot fi găsite în SAE International Practică recomandată J2990. J2990 recomandă producătorilor de vehicule să ofere a

---

<sup>28</sup> Corporația Delphi. Vehicule electrice hibride pentru primul răspuns. Troy, MI. 2012.

minim două metode de inițiere a deconectării sistemului de propulsie de la mare surse de tensiune. Utilizarea mai multor metode crește probabilitatea ca tensiunea înaltă sursele au fost deconectate. SAE recomandă următoarele metode de inițiere a deconectare în ordinea preferată:

1. Oprire automată a sistemului de înaltă tensiune pe baza detectării unei prescise nivelului impactului vehiculului;
2. Comutarea comutatorului de aprindere sau a butonului de alimentare în poziția „oprit” (presupunând că nu există deteriorarea circuitelor de oprire sau a circuitelor de descărcare de înaltă tensiune;
3. Tăierea sau deconectarea cablurilor negative și pozitive ale bateriei de 12 volți pentru a descărca Sistem de 12 volți în timp ce tăiați sau deconectați și ieșirea de 12 volți a convertorului DC/DC cablu; și/sau
4. Scoaterea deconectării manuale. Cu toate acestea, aceasta a fost listată ca nefiind primară metodă pentru primii care răspund pentru a dezactiva circuitele de înaltă tensiune ale vehiculelor, deoarece există a varietate de modele și locații de deconectare manuală.

Pompierii cărora li sa atribuit sarcina de a dezactiva sistemul de înaltă tensiune prin intermediul rețelei principale ar trebui să ia în considerare purtând mănuși de protecție de înaltă tensiune clasa 0/1000v cu huse exterioare din piele. Cu toate acestea, o recenzie a unei selecții de cerințe ale producătorilor de automobile pentru echipamentele de protecție electrice a arătat semnificativ variații conform unui atelier recent NFPA.<sup>29</sup> Acest atelier a subliniat, de asemenea, că există diferențe semnificative între EIP utilizate de pompieri și profesioniștii electrici când manipularea echipamentelor electrice sub tensiune.

Poate dura până la zece minute pentru ca un sistem de înaltă tensiune să-și disipeze energia după ce rețeaua de alimentare are fost tras/oprit. Cu toate acestea, trebuie remarcat faptul că tensiunea înaltă va fi în continuare prezentă în interiorul pachetului de baterii și pe partea pachetului de baterii a întrerupătorului principal de înaltă tensiune.

În cazul în care EDV-ul ar fi conectat la o stație de încărcare în momentul unui incendiu, cea mai bună practică ar fi includ izolarea alimentării cu energie electrică a stației de încărcare într-un loc sigur de către instruiți profesioniști înainte de orice încercare de a dezactiva sistemul de înaltă tensiune din interiorul vehiculului.

---

<sup>29</sup> Echipament de protecție personală (EIP) pentru intervenția de urgență pentru vehicule hibride și electrice 1 mai 2012.

## 2.7.4 Descarcare

La sosirea la un incident care implică evacuarea victimelor dintr-un EDV, răspuns personalul trebuie să utilizeze pașii identificați mai sus pentru a imobiliza și a dezactiva vehiculul. Din cauza gradul de deteriorare a vehiculului și/sau aspectul fizic al vehiculului, respondenții pot trebuie să utilizeze metode secundare pentru dezactivarea vehiculului, așa cum este descris mai sus. The sistemele suplimentare de reținere din majoritatea vehiculelor vor rămâne active dacă bateriile de 12 volți nu sunt deconectat.

O baterie de înaltă tensiune deteriorată poate emite vapori corozivi, toxici și inflamabili. Dacă respondenții să devină conștienți de mirosurile neobișnuite și/sau de iritația simțită a ochilor, nasului sau gâtului, ar trebui să nu EIP și SCBA. În plus, respondenții ar trebui să folosească tehnici de ventilație pentru a proteja ocupanților vehiculului și împiedică acumularea de vapori inflamabili în portbagaj sau pasager compartiment.

O linie de atac încărcată ar trebui să fie instalată în imediata apropiere a vehiculului în timpul descarcerării. Solicitanții trebuie să monitorizeze în mod constant pentru indicii că o baterie poate fi deteriorată supraîncălzire, cum ar fi scântei, fumat sau scoaterea de sunete de barbotare.

Pe parcursul stabilizării și deblocării, personalul de intervenție trebuie să evite contactul accidental cu toate cablurile de înaltă tensiune și componentele de înaltă tensiune. Personalul de răspuns nu ar trebui niciodată tăiați prin orice componentă electrică de înaltă tensiune. Personalul care efectuează descarcerarea ar trebui verifica vizual prezența cablurilor electrice de înaltă tensiune și a componentelor sistem suplimentar de reținere înainte de inițierea fiecărei tăieturi sau deplasări (de exemplu, levi). The amplasarea și direcționarea componentelor de înaltă tensiune pot împiedica o anumită descătușare avansată tehnici, cum ar fi tunelul trunchiului și obținerea accesului prin partea inferioară sau prin podea vehicul.

## 2.7.5 Stingere

Incendiile limitate la cabina sau portbagajul unui EDV pot fi stinse folosind tactici asociate cu vehicule conventionale. EDV-urile conțin aceleași cloruri de polivinil, poliuretani și reactiv

metale ca vehicule convenționale, precum și pericolele de proiectil discutate anterior.

Pompierii trebuie să aibă EIP complet cu SCBA îmbrăcat.

Pompierii trebuie să evite contactul cu orice cabluri electrice portocalii și componente care au înalte etichete de avertizare de tensiune. Dacă un incendiu a ars etichetele de avertizare sau le-a făcut altfel ilizibile, pompierii nu trebuie să atingă nicio unitate electrică sau componentă a sistemului de acționare. Pompierii ar trebui nu încercați niciodată să spargeți o baterie de înaltă tensiune sau carcasa acesteia din orice motiv.

Incendiile din compartimentul motor al unui EDV pot necesita tactici diferite. Multe de înaltă tensiune componentele sunt accesibile direct din compartimentul motor. Aplicând defensiv o ceață curgerea prin deschiderile existente în puțurile pentru roți și grătarul poate fi făcută în siguranță pentru a doborî focul. Pompierii nu ar trebui să încerce să forțeze intrarea în compartimentul motorului cu indicii unelte și nici nu ar trebui să încerce să înțepe sau să taie capota sau aripile cu o duză de perforare, tăind unealtă sau unealtă indiscretă. Efectuarea oricăreia dintre aceste sarcini poate duce la un pompier grav socat sau electrocutat.

Este posibil ca pompierii să nu poată avea acces la compartimentul motor. În acest

De exemplu, tacticile defensive de stingere a incendiului ar trebui folosite până când focul este complet stins.

Dacă nu există expuneri și incendiul implică bateria de înaltă tensiune, în prezent defensivă tacticile sunt recomandate. Din cauza dificultății potențiale de a aplica o cantitate suficientă de agent de stingere a unei baterii de înaltă tensiune care arde, comandantul incidentului poate permite vehiculul să se ardă singur. Dacă bateria de înaltă tensiune este implicată în incendiu, un atac ofensiv poate fi recomandat dacă există expuneri (alte vehicule, clădiri etc.). Dacă tensiunea înaltă bateria nu este implicată în incendiu, un atac ofensiv poate fi lansat indiferent dacă există expuneri.

## 2.7.6 Operațiuni de revizie

După stingere, EDV-ul trebuie revizuit corespunzător. Răspunsurile ar trebui mai întâi

verificați că vehiculul a fost imobilizat și dezactivat corespunzător și luați măsurile corespunzătoare pentru a

îndeplini aceste sarcini dacă nu au fost îndeplinite. Ca în toate fazele oricărui răspuns la incidente care implică un EDV, respondenții trebuie să evite contactul cu orice componentă de înaltă tensiune în timpul fazei de revizie a incidentului. Răspunsurile nu ar trebui să încerce niciodată să taie, să încalce sau scoateți bateria de înaltă tensiune sau orice componentă de înaltă tensiune. Gândire sânguincioasă și grijă ar trebui să fie exercitat înainte de a manipula EDV în orice mod cu orice unelte forțate.

În timpul reviziei, pompierii vor verifica dacă incendiul a fost stins complet.

Pompierii nu ar trebui să conducă unelte indiscrete în orice zonă care poate adăposti sau acoperi tensiune înaltă componente. De asemenea, pompierii ar trebui să observe cu atenție compartimentul bateriei de înaltă tensiune asigurați-vă că nu fumează, nu scoate scânteii sau nu scoate sunete clocotite. O cameră de imagine termică poate să fie utilizat pentru a evalua temperatura bateriei și pentru a ajuta la determinarea dacă aceasta produce căldură.

Persoanele care răspund trebuie să contacteze un dealer/reprezentant al producătorului pentru a scoate tensiunea de înaltă tensiune baterie (dacă este posibil) și pentru a determina dispoziția finală a vehiculului. Răspunsurile ar trebui informați compania care recuperează vehiculul că este un EDV și sfătuiți-o să nu depoziteze vehiculul vehicul în interiorul unei structuri sau la 50 de picioare de o structură sau alt vehicul în conformitate cu ghidul actual al NFPA. EDV-urile ar trebui recuperate pe un camion plat.

## 2.8 Incendii de baterii de înaltă tensiune

Pot apărea incendii într-o baterie EDV de înaltă tensiune sau un incendiu se poate extinde la baterie. Majoritatea bateriilor EDV aflate în prezent pe drum sunt NiMH.<sup>30</sup> Cu toate acestea, numărul de mașini alimentate cu Li-ion bateriile cresc. Aceste baterii pot prezenta diferite caracteristici de ardere și pot reacționa diferit de expunerea la căldură. Există foarte puțină literatură referitoare la tacticile recomandate pentru EDV-uri în care bateria arde. O parte din literatura de specialitate întâlnită în timpul acestei revizuri este contrazis de altă literatură, demonstrând că testele și cercetările ulterioare, cum ar fi în aceasta este necesar un program de testare.

Pentru a arăta variația în literatura revizuită cu privire la incendiile bateriilor de înaltă tensiune, câteva fragmente din literatura de specialitate sunt citate mai jos.

---

<sup>30</sup> Corporația Delphi. Vehicule electrice hibride pentru primul răspuns. Troy, MI. 2012.



Ghidul de teren pentru urgențe pentru vehicule electrice al NFPA31 prevede următoarele:

Utilizarea apei sau a altor agenți standard nu prezintă un pericol electric pentru personalului de pompieri.

Dacă o baterie HV ia foc, va necesita un volum mare și susținut de apă.

Dacă bateria Li-ion HV este implicată în incendiu, există posibilitatea ca aceasta să se reaprindă după stingere. Dacă este disponibilă, utilizați imagini termice pentru a monitoriza bateria. Nu depozitați a vehicul care conține o baterie Li-ion HV deteriorată sau arsă în sau pe o rază de 50 de picioare, de a structura sau alt vehicul până când bateria poate fi descărcată.

Raportul Fundației de cercetare pentru protecția împotriva incendiilor, Siguranța pompierilor și răspunsul la urgență pentru vehicule electrice și vehicule hibride-electrice<sup>32</sup> afirmă:

Produsele chimice uscate, CO<sub>2</sub> și spuma sunt adesea metodele preferate pentru stingerea unui incendiu care implică baterii, iar apa nu este adesea primul agent de stingere ales.

Un alt aspect important în cazul unui incendiu EV sau HEV este că automatul încorporat măsurile de protecție pentru prevenirea electrocutării de la un sistem de înaltă tensiune pot fi compromisă. De exemplu, relele în mod normal deschise pentru sistemul de înaltă tensiune ar putea este posibil să eșueze într-o poziție închisă dacă sunt expuse la căldură și dacă suferă daune. Mai departe, scurtcircuite la șasiu/corp pot deveni posibile cu energia încă conținută în bateria de înaltă tensiune sau oricare dintre cablurile de înaltă tensiune încă conectate la baterie.

Vehiculele electrice hibride de la Delphi Corporation pentru primul răspuns<sup>33</sup> afirmă:

Tehnicile de stingere a incendiilor pentru vehiculele care utilizează acumulatori Li-ion ar trebui tratate ca oricare incendiu electric prin utilizarea agentului de stingere de clasa C.

Atacul inițial asupra incendiilor unui acumulator hibrid HEV: efectuați un atac agresiv rapid.

În cazul în care se produce un incendiu în bateria de înaltă tensiune NiMH, echipajele de atac ar trebui să utilizeze o apă flux sau ceață pentru a stinge orice incendiu în interiorul portbagajului. Comandantul incidentului

---

<sup>31</sup> Asociația Națională de Protecție împotriva incendiilor. Ghid de urgență pentru vehicule electrice. Quincy, MA. 2012.

<sup>32</sup> Grant, C. Siguranța pompierilor și răspunsul în situații de urgență pentru vehiculele cu propulsie electrică și vehicule electrice hibride. Quincy, MA. 2010.

<sup>33</sup> Corporația Delphi. Vehicule electrice hibride pentru primul răspuns. Troy, MI. 2012.

ar trebui să facă apelul dacă să efectueze un atac cu foc ofensiv sau defensiv în zona din jurul pachetului de baterii HEV.

Publicația National Highway Traffic Safety Administration, Interim Guidance for

Vehiculele electrice și hibride electrice echipate cu baterii de înaltă tensiune<sup>34</sup> precizează:

Dacă incendiul implică bateria litiu-ion, va necesita volume mari și susținute de apa pentru stingere. Dacă nu există nicio amenințare imediată pentru viață sau proprietate, luați în considerare tactici defensive și lăsați focul să se stingă.

Pe baza celor de mai sus, în prezent nu există un consens cu privire la cele mai bune practici pentru stingerea incendiilor de acumulatori EDV. Rezultatele preliminare<sup>35,36</sup> indică faptul că apa poate fi o stingere eficientă agent pe ambele baterii NiMH și Li-ion; cu toate acestea, niciuna dintre literatura de specialitate analizată nu a indicat nivelul de șoc/pericol de electrocutare de la aplicarea directă a unui curent de apă la un nivel ridicat sub tensiune baterie de tensiune care a fost compromisă de căldură și foc. În plus, unele dintre teste a fost realizat prin aplicarea apei direct pe bateriile EDV care erau libere (nu instalat în vehicule). În timp ce aceste teste au arătat că apa este un agent de stingere eficient, poate fi dificil să curgă cantități mari de apă pe o baterie care este de fapt instalată în/dedesubt vehiculul.

## 2.9 Rezumat

Versiunile actuale ale diferitelor ghiduri de stingere a incendiilor sunt în concordanță între ele în ceea ce privește primul tactici de stingere a incendiilor pentru a imobiliza/dezactiva vehiculul. Cu toate acestea, un nou pas pentru primul respondenții au fost identificați la compararea tacticilor pentru vehiculele ICE convenționale și EDV-uri. Aceasta implică identificarea dacă vehiculul este sau nu un EDV. Pompierii de obicei nu vor ști ce tip de vehicul este implicat înainte de a ajunge la locul incidentului sau tipul de vehicul poate să nu fie evident odată ce ajung și își încep tactica. Ca atare,

---

<sup>34</sup> Administrația Națională pentru Siguranța Traficului pe Autostrăzi. Ghid intermediar pentru vehicule electrice și vehicule hibrid-electrice echipate cu baterii de înaltă tensiune. Washington, DC 2012.

<sup>35</sup> Egelhaaf, M. și Kreß, D. Combaterea incendiilor pentru bateriile de tracțiune Li-Ion, DEKRA Automobile GmbH, SAE International, 2012

<sup>36</sup> Corporația Delphi. Vehicule electrice hibride pentru primul răspuns. Troy, MI. 2012.

Efectuarea aceluiași practici pentru toate incendiile de vehicule ar asigura că primii respondenți acționează în siguranță și în mod corespunzător, indiferent de tipul de vehicul implicat în incident.

În ceea ce privește suprimarea, în majoritatea cazurilor, literatura disponibilă sugerează că aplicarea lui apă poate stinge incendiile EDV, așa cum este cazul majorității incendiilor la vehiculele ICE convenționale. Cu toate acestea, poate fi dificil să aplicați un debit suficient de apă la o baterie care arde instalată în/sub un vehicul cu uneltele disponibile în prezent pentru pompieri.

În majoritatea EDV-urilor, bateria este amplasată în șasiu, găzduită într-o carcasă din plastic sau metal. În aceste cazuri, apa poate să nu fie suficientă pentru a obține stingerea completă, ci mai degrabă apa poate servi ca mediu pentru a transfera căldura și a răci componentele bateriei și celei ca evaporare termică cedează și sau este întreruptă de aplicarea apei.

Pe baza unei revizuirii a literaturii de specialitate, subiectul final care necesită cercetări suplimentare este pericolul electric prezentat de arderea bateriilor vehiculelor. O parte din literatura de specialitate<sup>37</sup> analizată sugerează că a baterie EDV care arde are potențialul de a descărca energie electrică în cadrul și corpul vehiculului. În plus, aplicarea curenților de apă la arderea EDV la distanță apropiată poate deveni, de asemenea, recunoscute ca o practică inacceptabilă, dacă se constată că există potențialul de șoc de înaltă tensiune.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Grant, C. Siguranța pompierilor și răspunsul în situații de urgență pentru vehiculele cu propulsie electrică și vehicule electrice hibride. Quincy, MA. 2010.

<sup>38</sup> Backstrom, R. i colab. „Proiect de cercetare privind siguranța pompierilor și instalații fotovoltaice.” Underwriters Laboratories, Northbrook, IL, 29 noiembrie 2011.

### 3 Rezumatul programului de testare

---

Exponent, împreună cu Comitetul tehnic al proiectului și grupurile consultative ale acestora, au fost identificați trei ansambluri diferite de baterii pentru testare la scară completă. Cele trei baterii procurate au fost diferite ca mărime și poziție de instalare a vehiculului pentru a simula situația de urgență cu diferite pericole respondenții s-ar putea confrunta pe teren în funcție de producătorul de automobile. Un mai detaliat descrierea fiecărei baterii este furnizată în Secțiunea 4.

Testele de incendiu la scară completă au fost separate în două categorii: (1) ardere liberă, HRR nesuprimată testarea unui pachet de baterii autonom și (2) testarea de suprimare la scară completă a unui pachet de baterii în locația corectă de montare poziționată în interiorul unui VFT, împreună cu alt combustibil adecvat materiale, inclusiv finisaje interioare ale vehiculului.

Odată ce incendiul bateriei s-a autostins, ca în cazul incendiului nesuprimat, sau stins, ca și în incendiile suprimate, Exponent a continuat să monitorizeze bateriile vizual și prin a combinație de imagini termice și măsurători de temperatură cu termocuplu. Acesta a fost efectuat pentru a furniza date privind manipularea în siguranță a bateriilor post-incendiu pentru intervenții la incendiu și cei implicați în revizie și depozitare.

Testul HRR de ardere liberă, nesuprimat a fost efectuat pe o baterie de sine stătătoare. Date colectate în timpul acestui test a inclus:

- HRR;
- Produse de ardere (prelevare de probe de gaz);
- Temperaturi;
- Fluxuri de căldură;
- Observații proiectile;
- Temperatura internă a bateriei;
- Măsurători de tensiune internă a celulei bateriei;

- Imagine termica;
- Fotografie statică; și
- Video de înaltă definiție.

Testele de stingere a incendiilor la scară largă au fost efectuate împreună cu MFRI și acestora personalul de instruire a pompierilor. Datele colectate au inclus:

- Temperaturi;
- Fluxuri de căldură;
- Observații proiectile;
- Prelevarea probelor de apă de suprimare;
- Volumul debitului de apă de suprimare;
- Măsurătorile tensiunii și curentului duzei;
- Măsurători de tensiune și curent pe șasiu;
- Temperaturile interne ale bateriei;
- Măsurători de tensiune internă a celulei bateriei;
- Imagine termica;
- Fotografie statică;
- Video de înaltă definiție; și
- Observații personalului MFRI/pompierului.

Pachetele de baterii au fost testate în configurație și aranjament, așa cum ar fi amplasate în interior vehiculul propriu-zis. Pentru aprinderea bateriilor s-a folosit un sistem de arzător extern cu gaz. Benzina arzătoarele au fost amplasate sub vehicul pentru a simula un incendiu moderat cu benzina dedesubt acumulatorul.

O descriere detaliată a acestor măsurători, a configurațiilor de testare și a protocoalelor de testare pentru fiecare test seria este prezentată în secțiunea 5.

## 4 Descrieri baterie

---

În colaborare cu FPRF al NFPA și cu panoul tehnic al proiectului, Exponent a achiziționat baterii de la doi producători de automobile pentru testare, desemnate Baterie A și Baterie B.<sup>39</sup> Ambele bateriile procurate au fost bazate pe o tehnologie Li-ion sunt utilizate în prezent în producție vehicule în Statele Unite. Bateria A este o baterie de 4,4 kWh care este instalată sub spate compartimentul de marfă al vehiculului. Bateria B este o baterie de 16 kWh care este instalată sub panoul podelei vehiculului și se întinde pe aproape lungimea vehiculului de la puntea din spate la axa din față în o configurație în formă de T. Bateria A și Bateria B acoperă un spectru larg de dimensiuni ale bateriilor și pozițiile de instalare a vehiculelor pentru a simula diferitele pericole pe care le-ar putea confrunta agenții de urgență pe teren în timpul incidentelor reale de incendiu EDV.

Ca parte a acordului cu producătorii de vehicule care au donat cu bunăvoință bateriile, Bateriile EDV nu au fost deschise, modificate sau manipulate înainte, în timpul sau după testele de incendiu. Proiectele, descrierile și detaliile bateriilor din următoarele secțiuni au fost furnizate Exponent de către producătorii de vehicule, precum și din informațiile disponibile publicului surse.

### 4.1.1 Bateria A

Bateria A este proiectată pentru un PHEV și dispune de un vehicul hibrid de înaltă tensiune de capacitate mare (HV) ansamblu baterie care conține celule de baterie Li-ion sigilate. Pachetul de baterii HV de 4,4 kWh este închis într-o carcasă metalică (vezi Figura 6) și este montat rigid în partea inferioară a spatelui zona de încărcare din spatele banchetei din spate, așa cum se arată în Figura 7. Carcasa metalică este izolată de sus tensiune și ascuns și separat de habitacul printr-un capac din plastic turnat cu mochetă, așa cum se arată în Figura 8. Electrolitul utilizat în celulele bateriei Li-ion este a electrolit organic inflamabil.

---

<sup>39</sup> Trei (3) baterii Li-ion de aproximativ 10 kWh au fost achiziționate pe lângă bateria A și bateria B de la un al treilea producător. Cu toate acestea, odată procurate, s-a constatat că pachetele de baterii prezintă anomalii semnificative și celule deteriorate, care prezentau pericole semnificative de siguranță asociate cu manipularea și încărcarea pachetelor de baterii. Prin urmare, aceste baterii nu au fost incluse în programul de testare.



Figura 6 Bateria A



Figura 7 Baterie O zonă de încărcare deasupra compartimentului bateriei



Figura 8 Compartimentul bateriei A din zona de încărcare cu coverul și capacul din plastic turnat scoase

## 4.1.2 Bateria B

Bateria B este proiectată pentru un EREV și are un ansamblu baterie care conține Li-ion sigilat celulele bateriei. Pachetul de baterii de 16 kWh se află deasupra unei plăci de oțel și este închis într-o fibră de sticlă carcasă, așa cum se arată în figura 9. Bateria în formă de T se întinde pe aproape lungimea vehiculului de la puntea spate pe axa față și este montată rigid sub panoul podelei vehiculului, așa cum se arată în Figura 10. O panou de podea a compartimentului pentru pasageri al vehiculului separă ansamblul bateriei de habitacul. Electroliții folosiți în celulele bateriei Li-ion este un organic inflamabil electrolit.



Spate



Redirec iona

Figura 9 Bateria B



Figura 10 Bateria B instalată în vehicul

## 5 Test de configurare

---

Testele de incendiu la scară completă au fost separate în două categorii: (1) testare HRR și (2) la scară completă testarea stingerii incendiilor. Configurația de testare pentru fiecare fază a proiectului este descrisă aici.

Intenția generală a testării este de a oferi un experiment științific repetabil care să evalueze suprimarea pe bază de apă a unui incendiu EDV. Datele generate vor fi apoi folosite pentru a răspunde la mulți dintre întrebările primilor care au răspuns cu privire la incendiile EDV. În plus, datele vor facilita orice revizuire necesară a materialelor de instruire NFPA pentru primii respondenți în ceea ce privește cum să se facă stingeți în siguranță și eficient incendiile EDV, subliniind în același timp modul în care aceste incendii sunt diferite de cele care implică vehicule tradiționale ICE. Următoarele sunt ipoteze cheie legate de testare:

- Bateriile EDV au fost testate la un SOC 100%.
- Testele de suprimare au fost efectuate într-un VFT modificat capabil să găzduiască pachete de baterii de diferiți producători.

### 5.1 Testarea HRR

Testarea HRR la scară completă a fost efectuată la Southwest Research Institute (SwRI) din San Antonio, Texas.<sup>40</sup>

Obiectivul testării HRR a fost de a determina cantitatea de energie eliberat numai din baterie atunci când a fost aprins de o sursă externă de aprindere. The obiectivul secundar al testării a fost acela de a verifica că bateria ar putea fi indusă în termoficare fugă cu sursa externă de aprindere (arzătoarele alimentate cu propan poziționate sub baterie) pentru utilizare în timpul testelor de stingere a incendiilor la scară completă și pentru a colecta date cu privire la indicii că bateria se confruntă cu evadarea termică. Datorită unui număr limitat de baterii disponibile pentru proiect, doar un pachet de baterii autonom a fost desemnat pentru HRR testarea din setul de mostre de baterie B. Datele colectate în timpul acestui test au inclus:

- HRR;

---

<sup>40</sup> SwRI este una dintre cele mai vechi și mai mari organizații independente, nonprofit, de cercetare aplicată și dezvoltare în Statele Unite. Departamentul de Tehnologia incendiilor este una dintre cele mai mari organizații din lume dedicate cercetării și testării incendiilor.

- Produse de ardere (prelevare de probe de gaz);
- Temperaturi;
- Fluxuri de căldură;
- Observații proiectile;
- Temperatura internă a bateriei;
- Măsurători de tensiune internă a celulei bateriei;
- Imagine termica;
- Fotografie statică; și
- Video de înaltă definiție.

SwRI a fost responsabil pentru asigurarea instalației pentru testul de incendiu și pentru realizarea următoarelor analize:

- Măsurători HRR folosind calorimetria oxigenului;
- Produse de ardere prin colectarea probelor de gaze și analiza gazului utilizând spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FTIR);
- Măsurători de temperatură folosind termocupluri;
- Măsurători de flux de căldură cu ajutorul manometrelor de flux de căldură;
- Observații de testare;
- Fotografie statică; și
- Înregistrare video de înaltă definiție.

Raportul SwRI complet care detaliază aceste măsurători este furnizat în Anexa A.

Exponent a fost responsabil pentru următoarele:

- Observații de testare;
- Fotografie statică;

- Înregistrare video de înaltă definiție;
- Asigurarea și controlul ansamblului arzătorului extern;
- Măsurătorile interne ale tensiunii și temperaturii celulei bateriei prin direct comunicarea cu bateria; și
- Imagini termice ale bateriei în timpul și după test.

### 5.1.1 Poziționarea bateriei

Bateria B era centrată sub o capotă de 20 de picioare pe 20 de picioare susținută de cinci picioare din oțel inoxidabil, așa cum prezentate în Figura 11 și Figura 12. Suporturile pentru picioare țineau bateria în poziție, douăzeci de inci deasupra solului pentru a oferi un unghi de vizualizare la partea de jos a bateriei în timpul testării.



Figura 11 Configurația bateriei B și locațiile arzătorului pentru testarea HRR

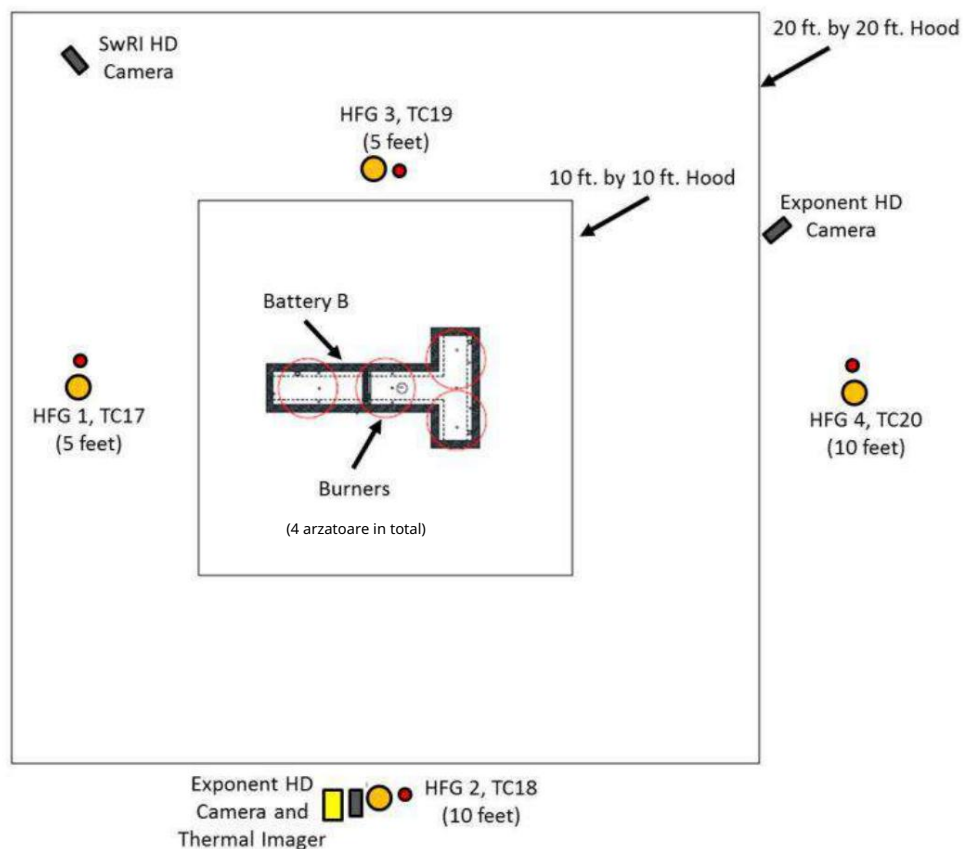


Figura 12 Dispunerea și dispunerea instrumentelor perimetrice de testare HRR

### 5.1.2 Descrierea arzătorului

Ca parte a acordului cu producătorii de vehicule, bateriile EDV nu trebuiau să fie deschis, modificat sau manipulat intern înainte, în timpul sau după testare. Aceasta a inclus aprinderea bateriilor în timpul testării. Ca atare, a fost aleasă o sursă externă de aprindere. Incendiile care apar dintr-un tip de defecțiune internă a celulei sunt, prin urmare, în afara domeniului de aplicare al acestui proiect. Având în vedere că EDV-urile reprezintă încă un procent mic din piață, o coliziune care implică un EDV iar un vehicul ICE a fost considerat un posibil scenariu. Pe baza unei analize a datelor NFPA privind riscul de incendiu al vehiculelor<sup>41</sup>, lichidele sau gazele inflamabile sau combustibile au fost primul element aprins în 31% dintre incendiile vehiculelor de pe autostrăzile din SUA, care au dus la 70% din morți civili, 58% dintre răniile civililor și 31% din daunele directe materiale. Ca atare, a fost selectat un scenariu de incendiu în piscină în cadrul EDV

<sup>41</sup> Ahrens, M. „Tendințe și modele de incendiu în vehicule din SUA”. National Fire Protection Association, Quincy, MA; iunie 2010.

ca scenariul probabil de aprindere în care bateriile devin aproape complet implicate și „ard propriile lor.”

În timp ce testele anterioare au avut succes în arderea bateriilor cu o expunere la foc din piscină, o piscină sursa de aprindere a focului nu este ușor de „accelerată” sau „oprită”. Ca atare, patru gaz propan arzătoare au fost utilizate ca sursă externă de aprindere în această serie de teste pentru a induce bateriile în fuga termică. Arzătoarele alimentate cu propan au fost alese pentru a permite controlul definitiv al expunerii și repetabilitate, precum și pentru a permite oprirea expunerii odată ce bateria a fost pusă în fugă termică, astfel încât scenariul de incendiu „numai baterie” să poată fi evaluat.

Ansamblul arzătorului cuprindea trei secțiuni principale: alimentarea cu combustibil, controlul combustibilului și arzătoare, ca prezentate în Figura 13 și Figura 14 și listate în Tabelul 1. Gazul propan a fost furnizat de la două Cilindri cu capacitate de 100 galoane (400 lb.) și reglați la o presiune de lucru de până la 35 psi. The buteliile de gaz au fost conectate la secțiunea de control al combustibilului prin furtunuri de 9/16 inch, care se introduceau într-un secțiune de țevă din oțel inoxidabil, o supapă de închidere manuală de 1 inch și o supapă electrică de 1 inch. electrovalvă (ASCO Model HV285926002), respectiv.

Tabelul 1 Componentele ansamblului arzătorului

Componenta ansamblului arzătorului	Figura 13 / Figura 14 Numărul
Alimentare cu combustibil: cilindri de propan de 100 galoane (400 lb) furtunuri cu diametrul de 9/16 inch Conductă din oțel inoxidabil cu diametrul de 1 inch	1
Controlul combustibilului: Supapă de închidere manuală de 1 inch Electrovalvă de 1 inch Controler de debit de masă de 1 inch DAQ	2 3 4 8
Arzătoare: Supapă de izolare manuală a arzătorului de 1/4 inch Regulator de a doua etapă și furtun împletit din oțel inoxidabil de 1/4 inch Arzătoare cu diametrul de 19 inch	5 6 7

În aval de supapa solenoidală, un regulator de debit de masă (Bronkhorst M+W Model D6383, cu o precizie de  $\pm 2\%$ ) a fost instrumentat pentru a permite măsurarea și controlul masei de gaz LP rata de aprovizionare. Supapa solenoidală și controlerul debitului masic au fost controlate de date sistem de achiziție (DAQ), care este discutat în Secțiunea 5.1.7. Toate secțiunile de conductă dintre Supapa de închidere manuală, supapa solenoidală și controlerul debitului masic au fost de 1 inch și construite din oțel inoxidabil.

De la ieșirea controlerului debitului de masă, gazul LP a continuat prin conducte de oțel inoxidabil de 1 inch către un colector cu patru ieșiri, care permite funcționarea simultană a până la patru (4) arzătoare. Din fiecare dintre orificiile colectoarelor, o supapă de izolare manuală de  $\frac{1}{4}$  de inch și un regulator de a doua etapă sunt instrumentat, respectiv. Un furtun flexibil din oțel inoxidabil împletit de  $\frac{1}{4}$  de inch, cu o lungime de 40 de picioare folosit pentru a conecta ieșirea celui de-al doilea regulator la un gaz circular cu diametrul de 19 inci arzător care conține optzeci și opt (88) duze cu diametrul de 0,30 inci. Exponent a folosit patru arzătoare poziționat sub nivelul bateriei în formă de T pentru a oferi o sursă de căldură uniformă întregului acumulator, așa cum se arată în Figura 15 și Figura 16. Arzătoarele au fost plasate la șase inci sub acumulator, măsurat de la vârful duzei până la partea de jos a cadrului bateriei permite dezvoltarea optimă a flăcării de la arzătoare.

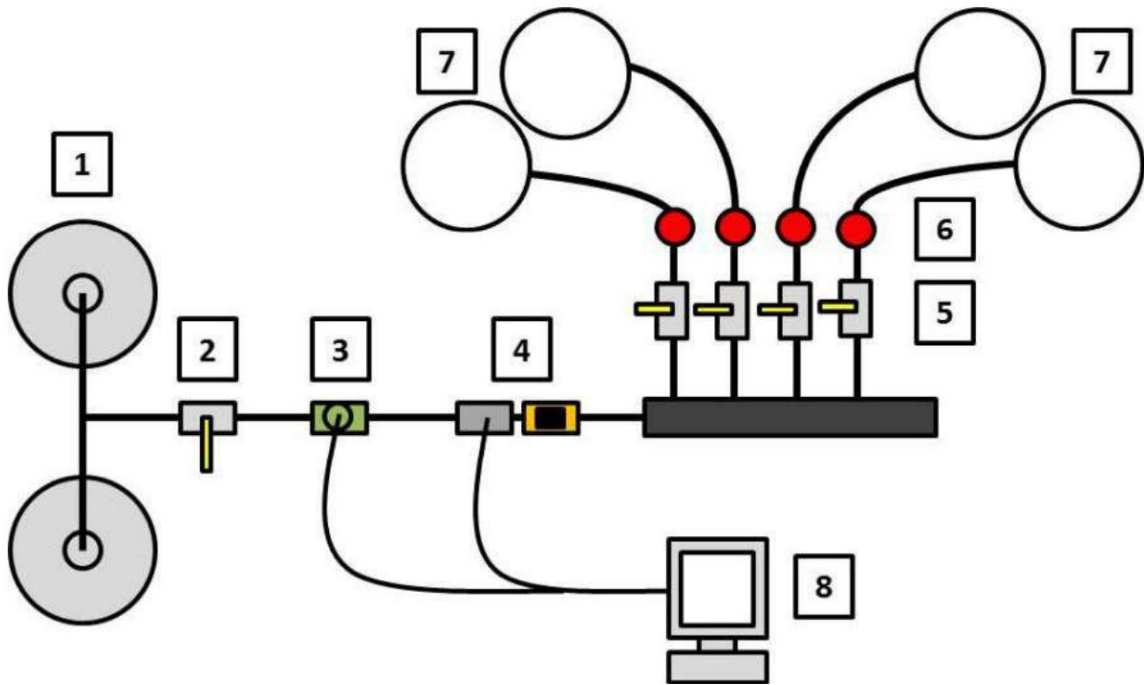


Figura 13 Dispunerea ansamblului arzătorului



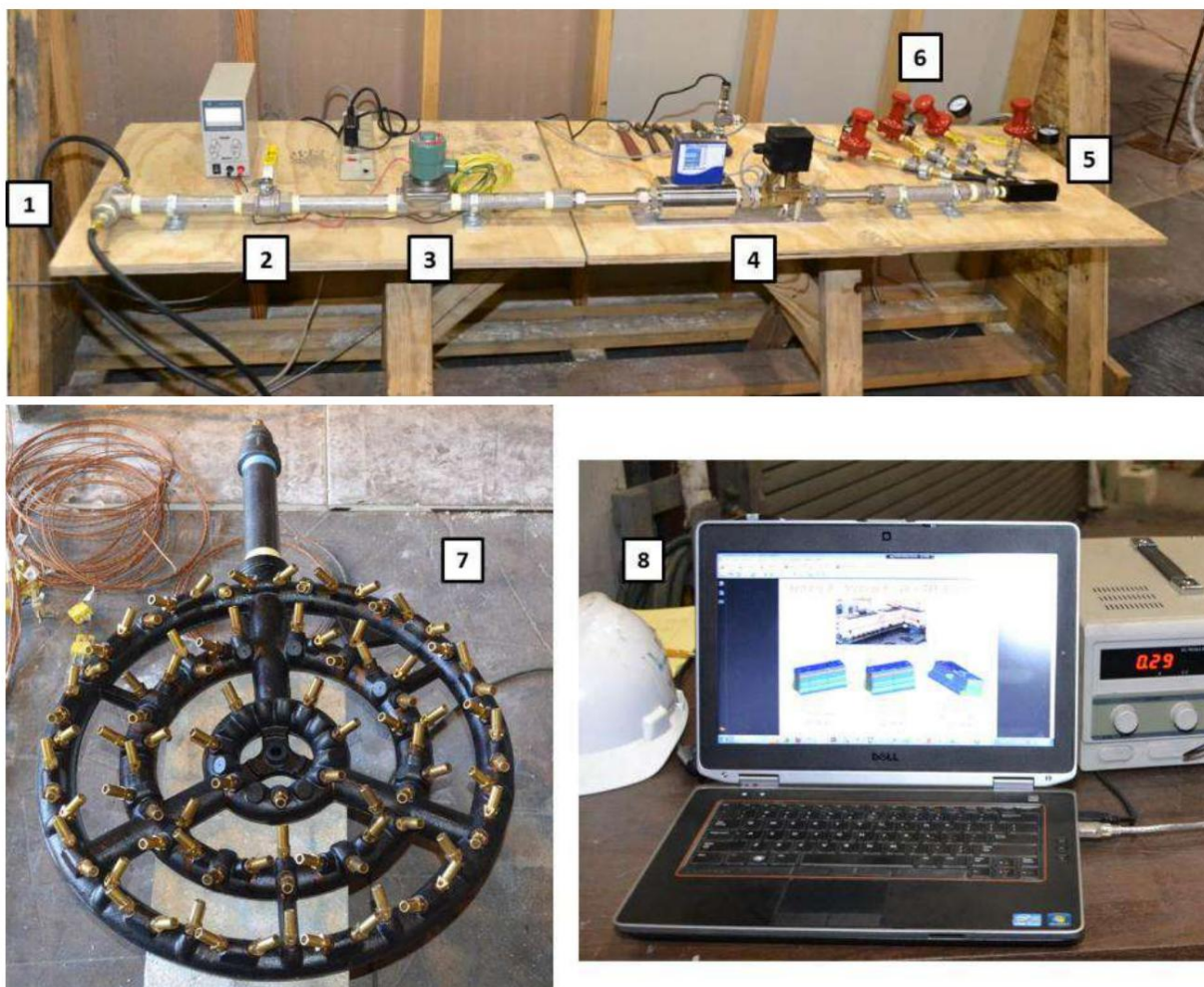


Figura 14 Ansamblu arzător (sus); un singur arzător (stânga jos); și DAQ (dreapta jos)



Figura 15 Arzător în formă de T compus din patru arzătoare



Figura 16 Patru arzătoare poziționate sub baterie B

### 5.1.3 Măsurători HRR

HRR a fost măsurat în timpul testului de către SwRI utilizând calorimetria consumului de oxigen. Acest proces necesită măsurarea concentrațiilor de gaz, și anume oxigen (O<sub>2</sub>), dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>) și monoxid de carbon (CO) în conducta de evacuare și debitul volumetric al acestor gaze. Produsele de ardere și aerul antrenat au fost colectate într-o hotă și extrase printr-o conductă de o ventilator de evacuare. O probă de gaz a fost extrasă din conducta de evacuare printr-o linie de probă de către o pompa și analizate pentru concentrațiile de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> și CO. Temperatura gazului și diferența presiunii pe o sondă bidirecțională a fost, de asemenea, măsurată pentru a determina debitul masic al gaze de esapament. În plus, au fost efectuate măsurători ale producției de fum și ale temperaturii fumului pe toată durata testului.

### 5.1.4 Produse de prelevare a gazelor de ardere

Prelevarea produsului de gaz de ardere a fost efectuată prin SwRI utilizând spectroscopie FTIR pentru analiza produselor secundare ale incendiului bateriei. SwRI a efectuat aceste măsurători prin poziționare o capotă tronconică de oțel mai mică de 10 picioare pe 10 picioare deasupra acumulatorului, așa cum se arată în Figura 17. Hota a fost poziționată în acest mod pentru a concentra produsele de ardere pentru eșantionarea FTIR. Partea superioară a capotei era deschisă pentru a permite colectarea temporară a produselor în capota mai mică, dar în cele din urmă scăpați în configurația de capotă mare pentru măsurători HRR. Un tub de prelevare a probelor de gaz cu nouă (9) găuri de 1 mm a fost amplasat în partea de sus a hotei mai mici și a fost conectat la o linie de probă încălzită. O pompă a tras gazele prin găurile de 1 mm și linie de probă încălzită și saci de prindere Tedlar umpluți la intervale de cinci minute în timpul testării.



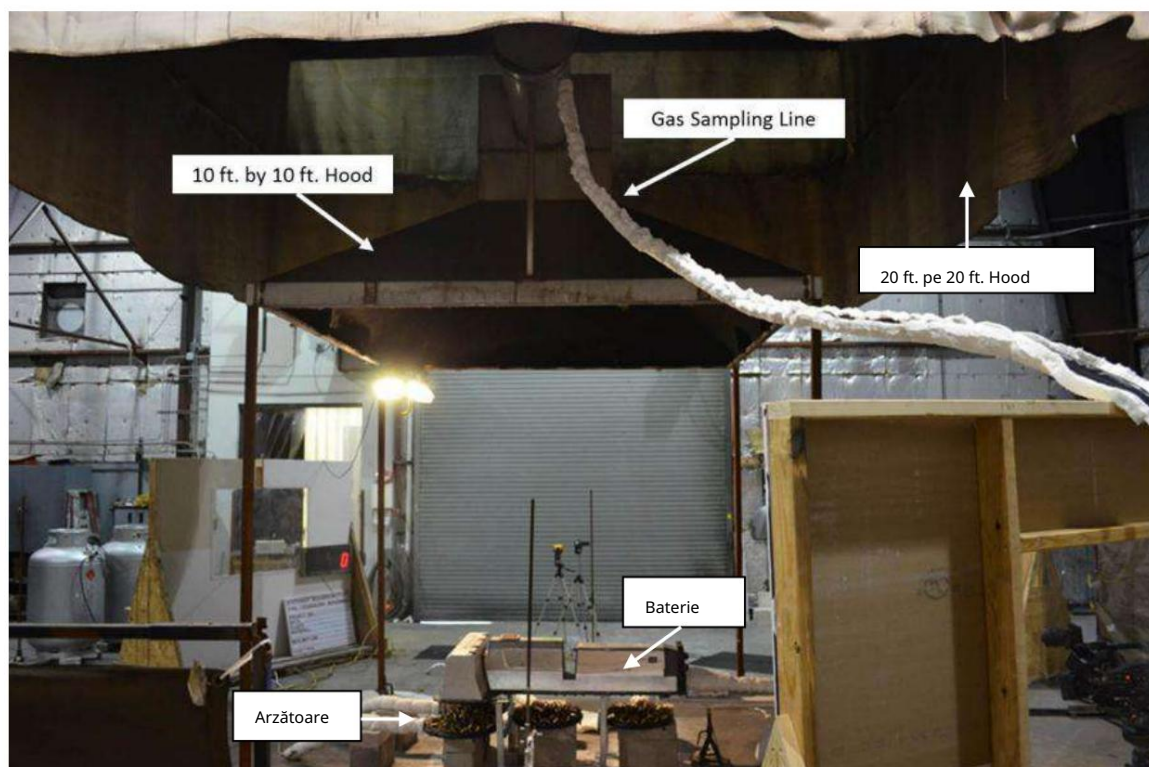


Figura 17 Capota SwRI și aranjamentul de testare

### 5.1.5 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile temperaturii și fluxului de căldură au fost efectuate de SwRI folosind un total de douăzeci Termocupluri de tip K (TC) și patru HFG Schmidt-Boelter, așa cum se arată în Figura 12 și Figura 18. Locația și descrierea măsurătorilor TC și HFG sunt enumerate în Tabelul 2 și Tabelul 3.

Tabelul 2 Rezumatul locațiilor TC

TC	Măsurare	TC	Măsurare
1	Exteriorul bateriei	11	Exteriorul bateriei
2	Exteriorul bateriei	12	Exteriorul bateriei
3	Exteriorul bateriei	13	Interior baterie
4	Exteriorul bateriei	14	Interior baterie
5	Exteriorul bateriei	15	Interior baterie
6	Exteriorul bateriei	16	Temperatura flăcării
7	Exteriorul bateriei	17	Temperatura aerului (5 ft)
8	Exteriorul bateriei	18	Temperatura aerului (10 ft)
9	Exteriorul bateriei	19	Temperatura aerului (5 ft)
10	Exteriorul bateriei	20	Temperatura aerului (10 ft)

Tabelul 3 Rezumatul locațiilor HFG

Indicator de flux de căldură	Măsurare	Termocuplu	Măsurare
1	Flux de căldură (5 ft)	3	Flux de căldură (5 ft)
2	Flux de căldură (10 ft)	4	Flux de căldură (10 ft)

TC-urile de la 1 la 12 au fost fixate pe suprafața exterioară a bateriei folosind Omega Bond CC High Ciment de lipire la temperatură. Cimentul a fost amplasat peste cordonul TC și a fost lăsat uscat timp de cel puțin 24 de ore înainte de testare. TC-urile 13 până la 15 au fost amplasate în interiorul a trei orificii de ventilație a bateriei, așa cum se arată în Figura 19. TC-urile au fost plasate prin deschiderea de ventilație pentru a măsura temperatura aerului intern din carcasa bateriei. Orificiul de aerisire a fost acoperit cu huse autoadezive adecvate furnizate de producător. TC 16 a fost poziționat la 1 inch sub placa de oțel inferioară a acumulatorului, chiar deasupra arzătoarelor pentru a măsura temperatura aproximativă a flăcării. TC-urile 17 până la 20 au fost poziționate în jurul perimetrului acumulator pentru a măsura temperatura aerului la distanțe de distanță de cinci și trei picioare. HFG-uri 1 prin 4 au fost, de asemenea, poziționați la aceleași distanțe de distanță de cinci și trei picioare și au fost capabili să măsoare un flux de căldură radiantă între 0 și 50 kW/m<sup>2</sup>.

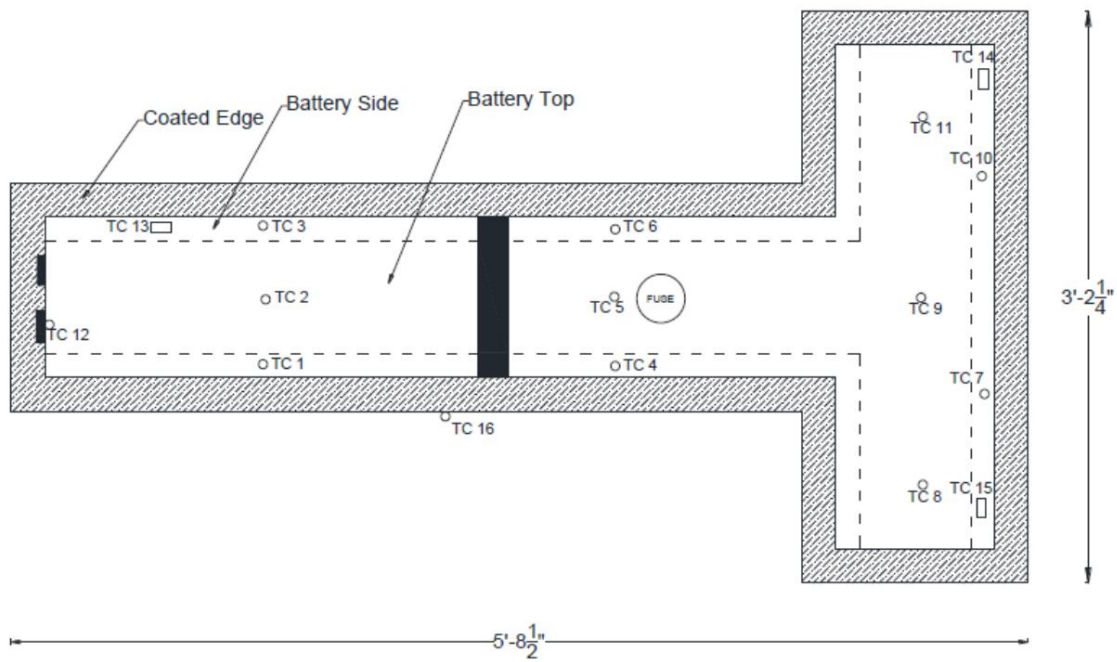


Figura 18 Locațiile TC din jurul bateriei B în timpul testării HRR (vezi Figura 12 pentru TC și HFG poziții în jurul perimetrului acumulatorului)

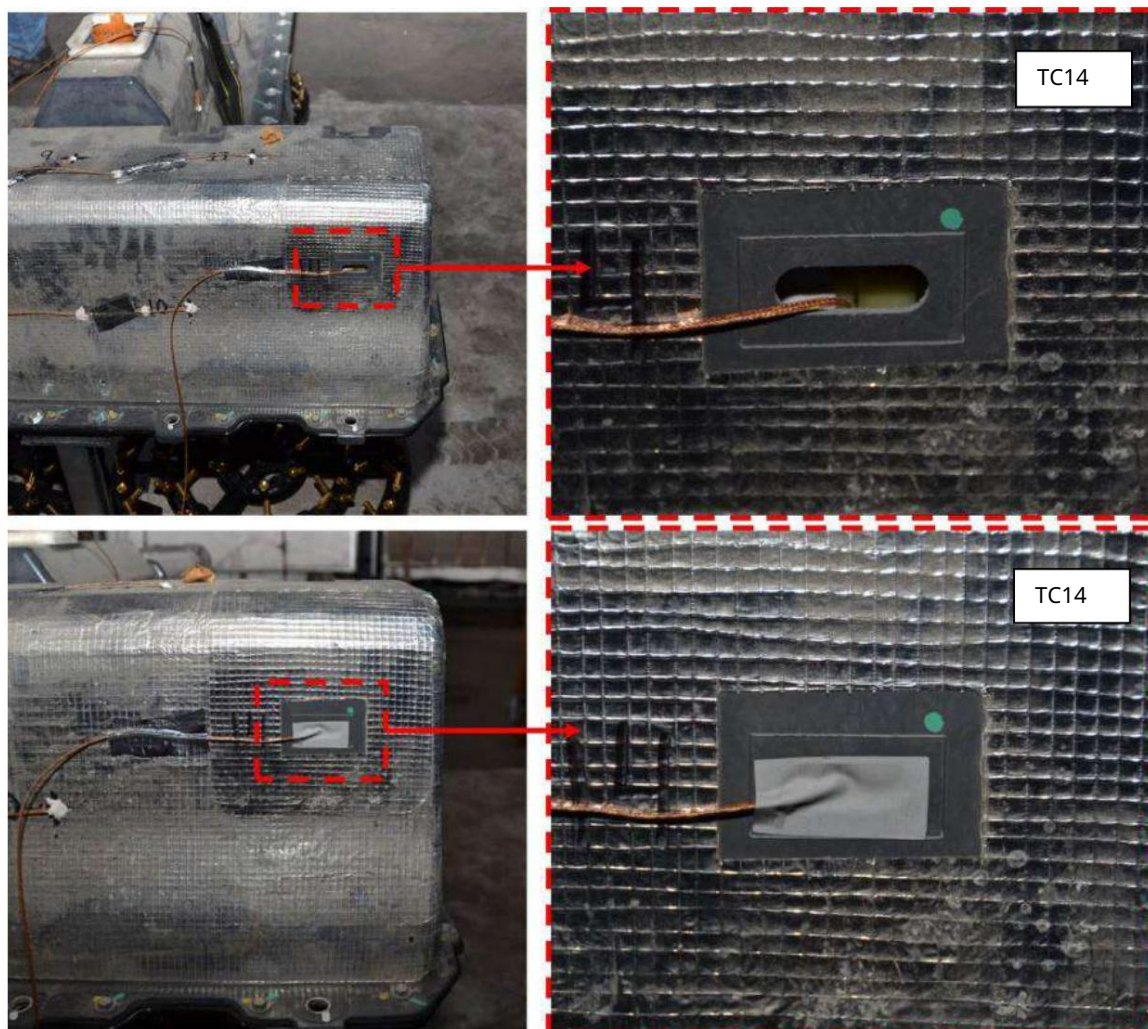


Figura 19 Instalarea TC-urilor tipice în interiorul bateriei B

### 5.1.6 Măsurătorile senzorului intern al bateriei

În timpul testului de incendiu, Exponent a colectat temperaturile interne ale bateriei și celula individuală tensiuni de la senzorii proprii ai bateriei, inclusiv 96 de tensiuni pentru celule și nouă senzori de temperatură pe cât posibil. Pentru a colecta aceste date, Exponent a comunicat direct cu bateria prin intermediul acestuia propriul protocol CAN bus utilizând un program software personalizat Lab VIEW. Acest lucru a permis Exponent pentru a prelua temperaturile interne ale bateriei și tensiunile celulei în timp ce bateria era în funcțiune expus la o sursă de căldură externă. Protocolul CAN bus este un standard de magistrală serială care permite componentele auto pentru a comunica între ele. Codul personalizat Lab VIEW a folosit Protocolul XNET National Instruments (NI) în combinație cu modulul de magistrală CAN NI 9862 și o cutie de breakout NI CAN cu 7 porturi, care a permis Exponent să trimită și să primească date individuale

cadre la și de la baterie. NI 9862 este un modul de magistrală CAN de mare viteză cu un singur port și cutia de deblocare NI CAN cu 7 porturi a oferit un mijloc de alimentare a portului CAN și de a seta rezistență la terminare. Modulul de magistrală NI 9862 și cutia de deconectare CAN sunt prezentate în figură 20. NI 9862 a fost conectat la cutia breakout folosind un cablu de mare viteză NI CAN. The Cutia de breakout a fost la rândul său conectată la baterie folosind un cablu de interfață personalizat furnizat de producător. În plus, producătorul a furnizat codurile binare necesare lui Exponent utilizați în programul personalizat Lab VIEW, astfel încât comunicarea să poată avea loc. Acest cablu conectat direct la baterie, așa cum se arată în Figura 21. Pentru a proteja aceste puncte de conectare și cablurile, un ansamblu de placă de silicat de calciu a fost instalat chiar sub punctele de conectare pentru a proteja zona de impact direct al flăcării de către arzătoarele de dedesubt. În plus, izolație Kaowool Pături din fibră ceramică au fost înfășurate în jurul acestor puncte de conectare și cabluri pentru a le izola de la căldură, așa cum se arată în Figura 22.

Programul personalizat Lab VIEW a făcut parte din același sistem DAQ care a fost folosit pentru a controla ansamblul arzătorului discutat anterior în Secțiunea 5.1.2. DAQ-ul va fi discutat mai mult detalii în Secțiunea 5.1.7.



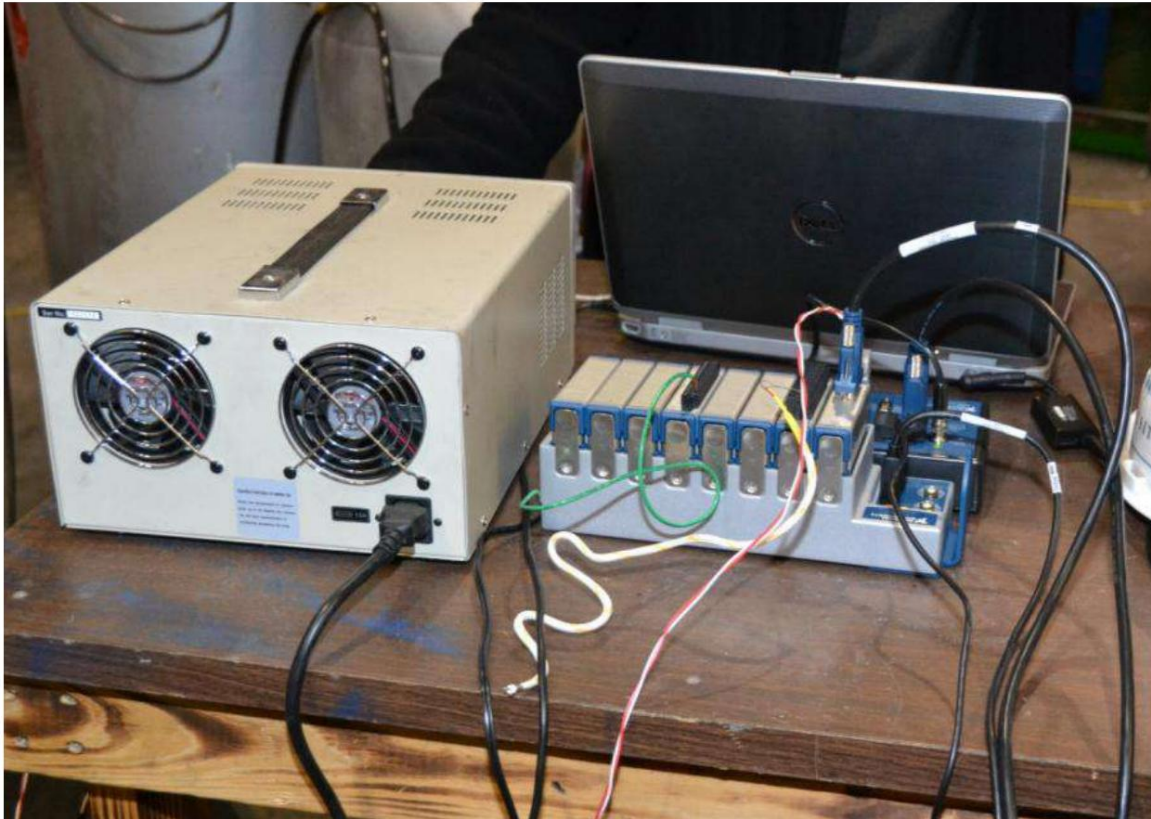


Figura 20 Modul magistrală CAN NI 9862 și cutie de deconectare NI CAN cu 7 porturi

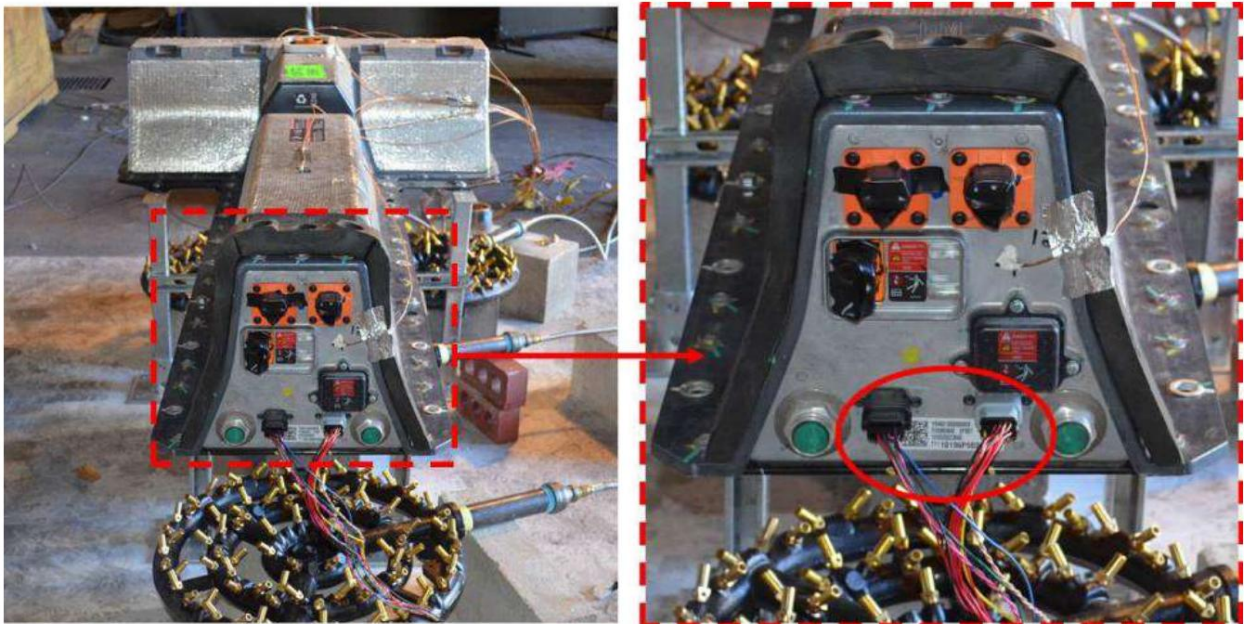


Figura 21 Locația punctelor de conectare la senzorii interni ai bateriei (circuit la dreapta)

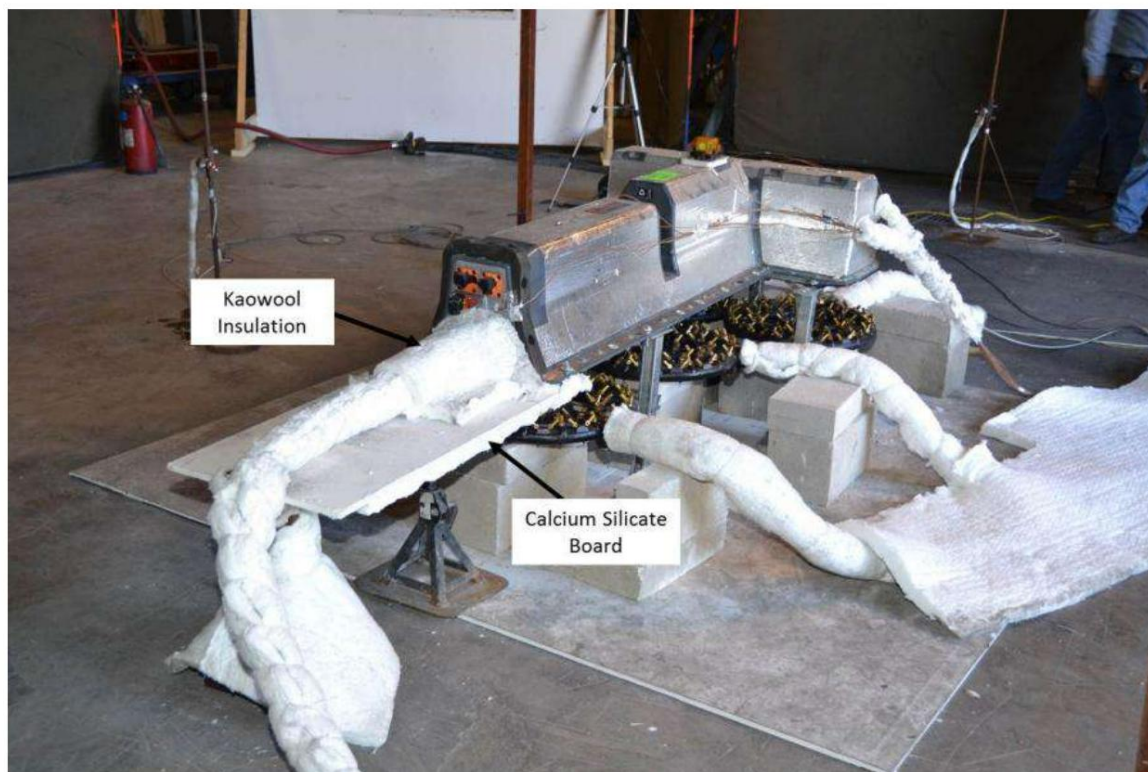


Figura 22 Schema de protecție pentru punctele de conectare și cabluri

### 5.1.7 Sistem DAQ

Achiziția datelor a fost efectuată printr-un cod personalizat Lab VIEW. Codul a efectuat trei sarcini simultane în timpul testării HRR:

- Comunicare CAN bus cu senzori interni de tensiune și temperatură a celulei bateriei;
- Ieșire digitală către modulul releu pentru controlul arzătorului; și
- Intrare și ieșire serială către debitmetrul masic.

Aceste sarcini au fost efectuate de un sistem modular de achiziție de date, un NI cDAQ 9178, care este un șasiu de achiziție de date bazat pe USB cu opt sloturi. Pentru a comunica cu bateria, DAQ-ul datele solicitate la intervale de o secundă. Cu toate acestea, comunicarea cu bateria prin intermediul Autobuzul CAN era asincron, ceea ce înseamnă că datele sunt transmise intermitent, mai degrabă decât în mod constant curent. Comunicarea cu bateria a constat în difuzarea unei cereri pentru un anume informație și apoi așteptați un răspuns. Cereri pentru toate tensiunile și temperaturile au fost realizate cu o rată de unu pe secundă, totuși nu toate datele ar fi primite în acest timp

aceeași secundă datorită naturii asincrone a magistralei CAN. Pentru a ocoli această problemă, fiecare Cadru de date primit de la baterie includea octeți de identificare și un marcaj de timp, deci datele care a fost primit ar putea fi identificat și sincronizat corespunzător.

Pentru a comunica cu comenzile arzătorului, o comutare cu 8 canale  $\pm 60$  VDC, 750 mA NI 9485 modulul de releu și un cablu serial a fost conectat la șasiul cDAQ 9178. Modulul releu a fost folosit pentru a porni și opri arzătoarele în timpul testului. Cablul serial a fost folosit pentru comunica cu regulatorul debitului masic în timpul testului.

Restul datelor colectate în timpul testelor HRR, cum ar fi O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> și CO concentrațiile pentru calorimetria oxigenului, măsurătorile TC și HFG efectuate de SwRI au fost înregistrate de asemenea la intervale de o secundă.

### 5.1.8 Imagini termice, Fotografie statică și Video de înaltă definiție

Imaginile termice, fotografiile statice și videoclipurile de înaltă definiție au fost, de asemenea, înregistrate în timpul Testarea HRR de către SwRI și Exponent. Termocamera este o cameră în infraroșu Fluke TI32 cu un interval de măsurare a temperaturii de până la 1112°F. Imaginile în infraroșu au fost capturate la 1 minut intervale în timpul testului și după finalizarea testului pentru a monitoriza bateriei după incendiu. Încă Fotografia a fost realizată cu o cameră digitală Nikon D3100. Imagini reprezentative ale au fost capturate pe cât posibil în timpul testului. Videoclipul de înaltă definiție a fost capturat folosind un Canon Cameră video de înaltă definiție Vixia HFS10. Trei camere video au fost folosite în timpul testării (una de SwRI și două de către Exponent) pentru a se asigura că toate unghiurile bateriei au fost capturate. Poziționarea a camerelor video de înaltă definiție și a camerelor termice în timpul testării este prezentată în Figura 12.

## 5.2 Testare la scară completă de stingere a incendiilor

Testarea de suprimare la scară completă a fost efectuată la MFRI din College Park, Maryland.

<sup>42</sup> The

Obiectivul testului de suprimare a fost de a evalua următoarele atunci când se confruntă cu un EDV incendiu baterie:

---

<sup>42</sup> MFRI este agenția cuprinzătoare de instruire și educație în caz de incendiu și intervenție în caz de urgență din Maryland. MFRI planifică, cercetează, dezvoltă și oferă programe de calitate pentru a spori capacitatea furnizorilor de servicii de urgență de a proteja viața, mediul și proprietatea.

- Tactici și proceduri pentru primul răspuns;
- EIP al primului răspuns;
- Adecvarea și cantitatea de apă ca unic agent de suprimare; și
- Proceduri pentru revizie și curățare după incendiu.

Au fost efectuate șase teste; trei pentru bateria A și trei pentru bateria B. Pentru fiecare tip de baterie, două dintre teste au fost efectuate doar cu acumulatorul poziționat în interiorul VFT-ului ca ele ar fi poziționat în vehiculul gazdă și a fost efectuat un test cu interior tipic finisaje/tapițerie (adică scaune auto, mochetă, bord etc.). Finisajele interioare suplimentare au fost instalate în VFT pentru a simula o sarcină de combustibil mai tipică unui incendiu de vehicul. Date colectate în timpul acestui test au inclus:

- Temperaturi;
- Fluxuri de căldură;
- Observații proiectile;
- Prelevarea probelor de apă de suprimare;
- Volumul debitului de apă de suprimare;
- Măsurătorile tensiunii și curentului duzei;
- Măsurători de tensiune și curent pe șasiu;
- Temperaturile interne ale bateriei;
- Măsurători de tensiune internă a celulei bateriei;
- Imagine termica;
- Fotografie statică;
- Video de înaltă definiție; și
- Observații personalului MFRI/pompierului.

MFRI a fost responsabil pentru asigurarea instalației pentru testarea la incendiu, echipamentul și echipamentul necesare pentru eforturile de suprimare, toate EIP și SCBA necesare pompierilor, precum și personalului pentru efectuarea activităților de stingere a incendiilor. Exponent a fost responsabil pentru furnizarea și controlul ansamblului arzător extern utilizat pentru a aprinde acumulatorul și pentru furnizarea tuturor alte instrumente legate de colectarea datelor, fotografierea statică și înregistrarea video.

## 5.2.1 VFT și Poziționarea bateriei

În locul achiziționării de vehicule de producție complet intacte pentru testele de suprimare la scară largă din cauza costurilor extreme, Exponent, împreună cu un contractor extern, Tactical Incident Systems<sup>43</sup>, a proiectat și fabricat un VFT care ar putea fi echipat cu cele două baterii diferite ansambluri. Acest lucru a permis mai multe teste de diferite dimensiuni, dimensiuni și diferite baterii toate locațiile de instalare în timp ce utilizați același VFT.

VFT a fost construit pentru a semăna cu un EDV modern atât ca dimensiune, cât și ca design, așa cum se arată în Figura 23 și Figura 24. Are aproximativ 57 inci înălțime, 70 inci lățime și 15 picioare lung. VFT a fost proiectat să se deschidă în spate, similar unui hatchback, pentru a permite instalarea bateriilor precum și pentru a facilita accesul pompierilor. Bateriile au fost puse deasupra unei plăci de oțel de ¼ inch care simulează planșeul vehiculului. Tava de podea avea două gauri decupate pentru a permite arzătoarelor, poziționate sub VFT, acces direct la partea de jos a ansamblului de baterii, așa cum se arată ca zonele umbrite din Figura 23. Fiecare dintre ansamblurile de baterii cântăreau peste 400 de lire sterline, ca atare, au fost construite două cărucioare, câte unul pentru fiecare tip de baterie pentru ca ansamblurile de baterii să stea în interiorul VFT-ului. Trăsurile au fost plasate în interiorul VFT-ului și rostogolit în poziție, fie în compartimentul de marfă pentru bateria A, fie în mijlocul VFT-ului pentru Bateria B, așa cum se arată în Figura 25 până la Figura 27. Cărucioarele s-au rulat pe roți în două (2) Canale sudate late de 3 inci instalate deasupra tavii de podea din oțel. Compartimentul pentru pasageri a fost încadrat dintr-un tub de oțel sudat de 2 inch pe 2 inch pe ¼ inch. Exteriorul VFT a fost format din plăci de oțel de ¼ inch și a fost vopsit în negru. Cadrul era susținut de patru „cuiete picioare” ascunse în spatele ansamblurilor fixe de anvelope din oțel. Anvelopele fixe nu erau operaționale și erau numai în scop estetic. Au fost instalate două (2) tuburi de oțel de 8 inci pe 4 inci pe ¼ inci

---

<sup>43</sup> Tactical Incident Systems, 9130 Flint Overland Park, Kansas 66214







Figura 24 VFT: Profil lateral (sus); profil spate cu hatchback deschis (stânga jos); și profil frontal cu capota deschisă (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3





Figura 25 Căruțor instalat în interiorul VFT poziționat deasupra celor patru arzătoare situate în poziția de testare din spate



Figura 26 Bateria A poziționată pe căruțor deasupra arzătoarelor și în interiorul VFT





Figura 27 Bateria B poziționată pe cărucior deasupra arzătoarelor din interiorul VFT; arzătoare situate în poziția centrală de testare

VFT a fost plasat pe un suport de ardere de beton la MFRI, așa cum se arată în Figura 28. Arzătoarele au alunecat sub VFT și în poziție în funcție de tipul bateriei și avea acces direct la partea de jos a bateriilor prin orificiile tăiate în tava de podea VFT. Pentru bateria A, cele patru arzătoarele au fost centrate la șase inci sub bateria dreptunghiulară, așa cum se arată în Figura 25 și Figura 26. Pentru primele două teste, Testele A1 și A2, bateria a fost instalată singură în VFT, așa cum se arată anterior în Figura 26. Pentru testul A3, finisaje interioare/tapițerie tipice, inclusiv scaune de mașină, un tablou de bord și un strat de covor deasupra bateriei (folosit pentru a separa baterie din compartimentul de marfă) au fost instalate și în VFT, așa cum se arată în Figura 29 prin Figura 33. Interioarele autoturismelor au fost procurate de la vehicule de dimensiuni similare cu VFT. Aceste finisaje suplimentare pentru interiorul vehiculului au fost instalate pentru a simula mai bine combustibilul sarcina unui vehicul tipic.

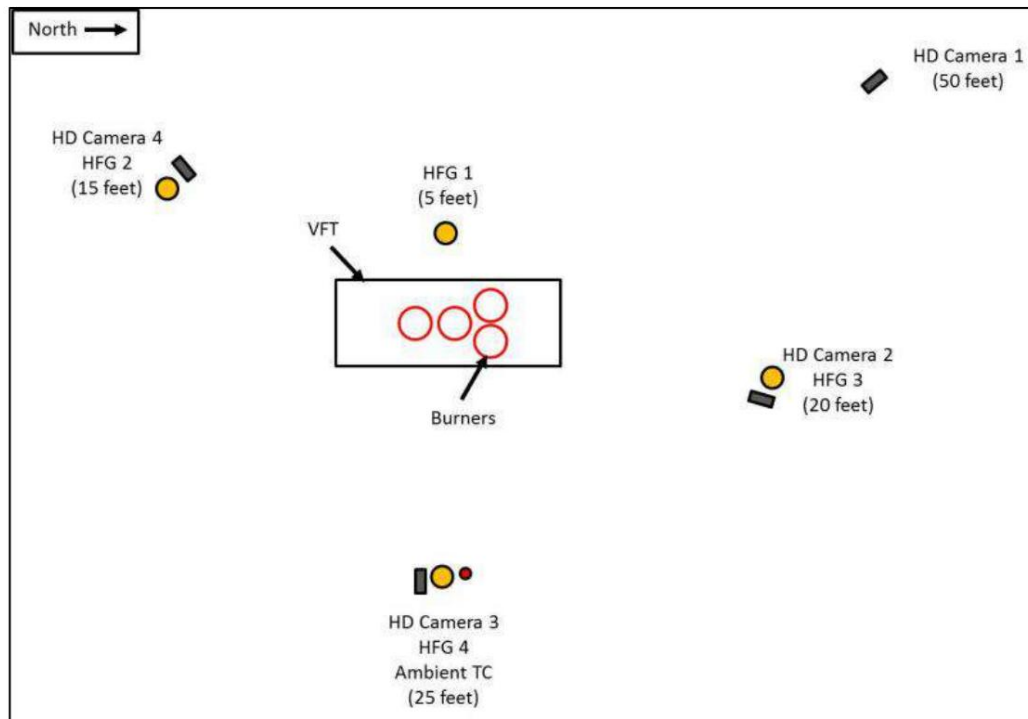


Figura 28 Dispunerea și dispunerea instrumentelor perimetrice de testare a suprimării



Figura 29 Vedere de ansamblu a VFT cu finisaje interioare pentru Testul A3





Figura 30 Tabloul de bord și scaunele din față instalate în interiorul VFT pentru testul A3



Figura 31 Scaune din față instalate în interiorul VFT pentru testul A3



Figura 32 Scaunele din spate instalate în interiorul VFT pentru Testul A3

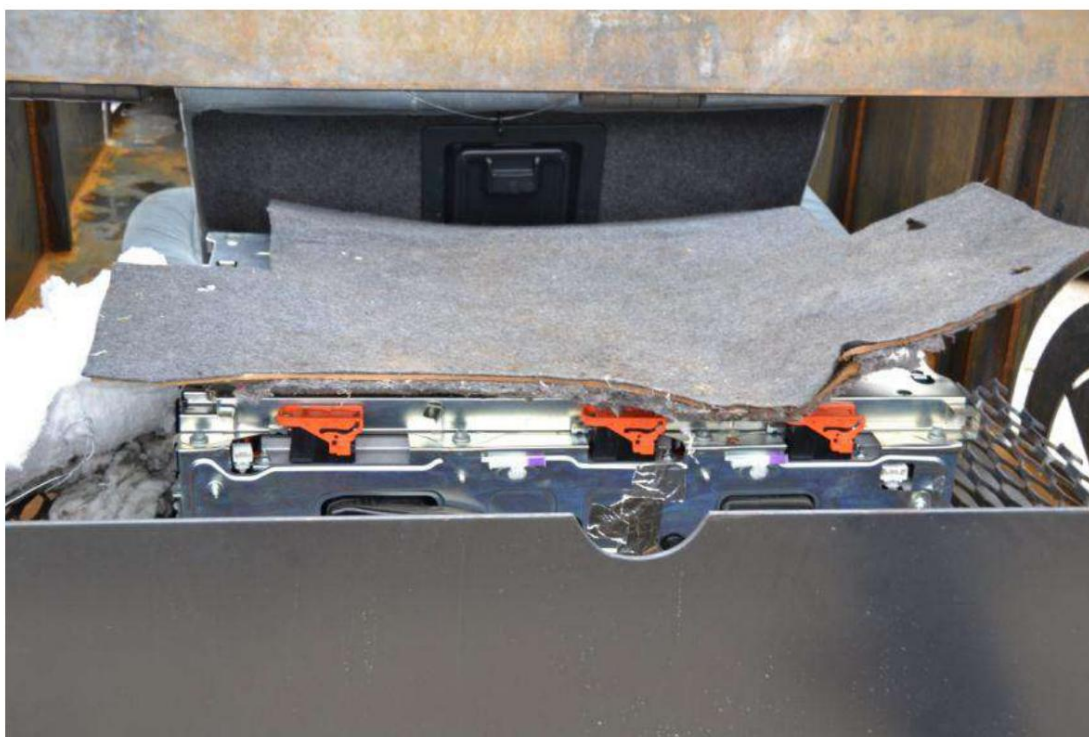


Figura 33 Cover instalat deasupra bateriei pentru testul A3

Pentru bateria B, cele patru arzătoare au fost poziționate sub intervalul bateriei în formă de T furnizați o sursă uniformă de căldură întregului pachet de baterii, așa cum este descris în Secțiunea 5.1.2 pentru Testul HRR. În interiorul vehiculului său de producție, o tavă de podea din oțel este poziționată deasupra bateriei, separându-l de habitacul. Ca atare, producătorul de vehicule care a donat Bateria B a donat, de asemenea, o tavă de podea de oțel dintr-un vehicul real pentru a fi plasată deasupra bateriei în timpul testării. Această configurație a oferit un scenariu de incendiu al vehiculului mai realist, așa cum se arată în Figura 34 și Figura 35. Pentru primele două teste, Testele B1 și B2, bateria și podeaua de oțel pan au fost instalate în VFT. Pentru Testul B3, finisaje interioare/tapițerie tipice, inclusiv Scaunele auto, un tablou de bord și mocheta au fost adăugate la VFT împreună cu bateria și oțelul panou de podea, așa cum se arată în Figura 36 până la Figura 40. Interioarele mașinii au fost procurate din vehicule de dimensiuni similare cu VFT. Aceste finisaje suplimentare pentru interiorul vehiculului au fost instalate la să simuleze mai bine sarcina tipică de combustibil așteptată într-un incendiu de vehicul.



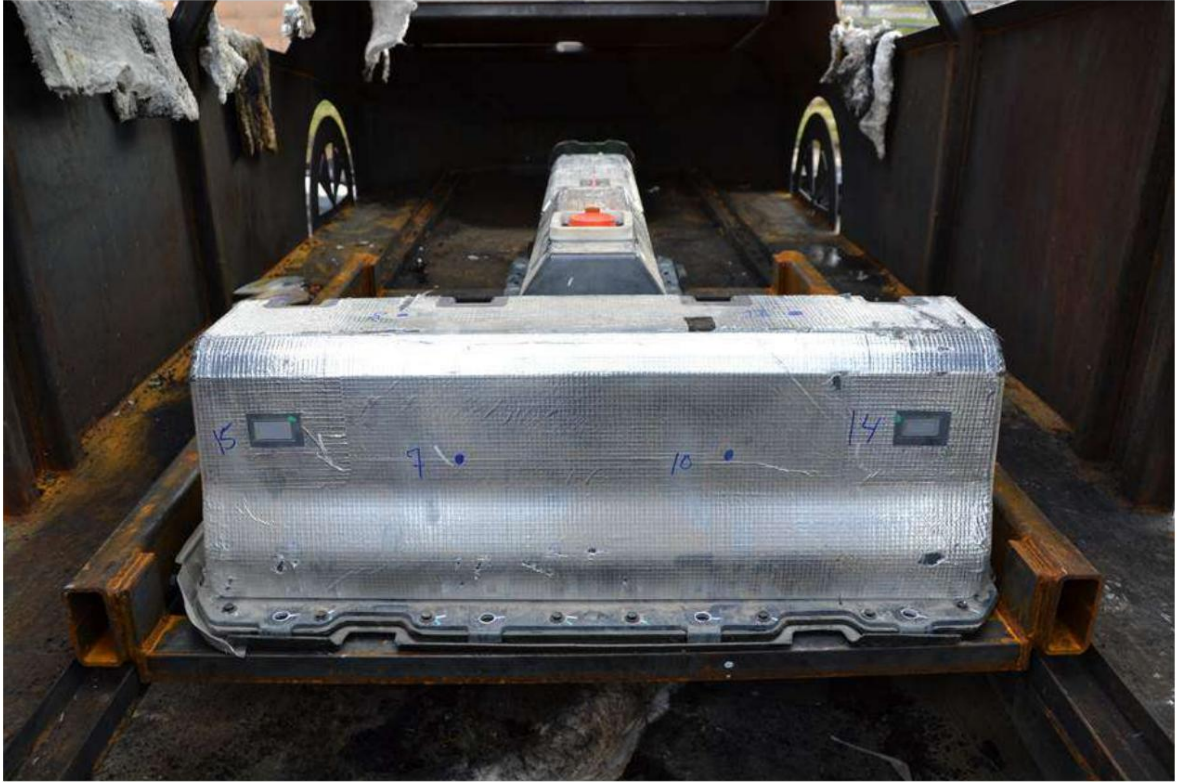


Figura 34 Vedere a bateriei B în interiorul VFT fără panoul de podea (sus) și cu panoul de podea (jos); rezervorul albastru din spatele bateriei este rezervorul de benzină gol pentru vehiculul de producție, care blochează accesul direct în partea din spate a bateriei



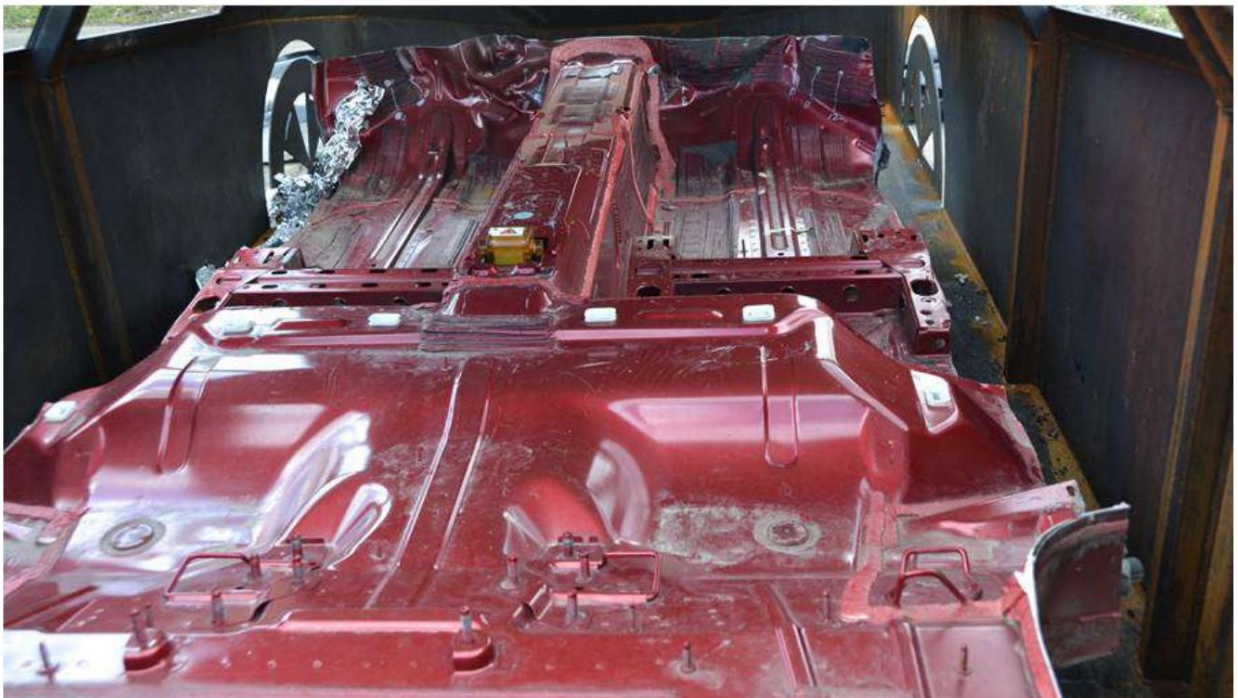
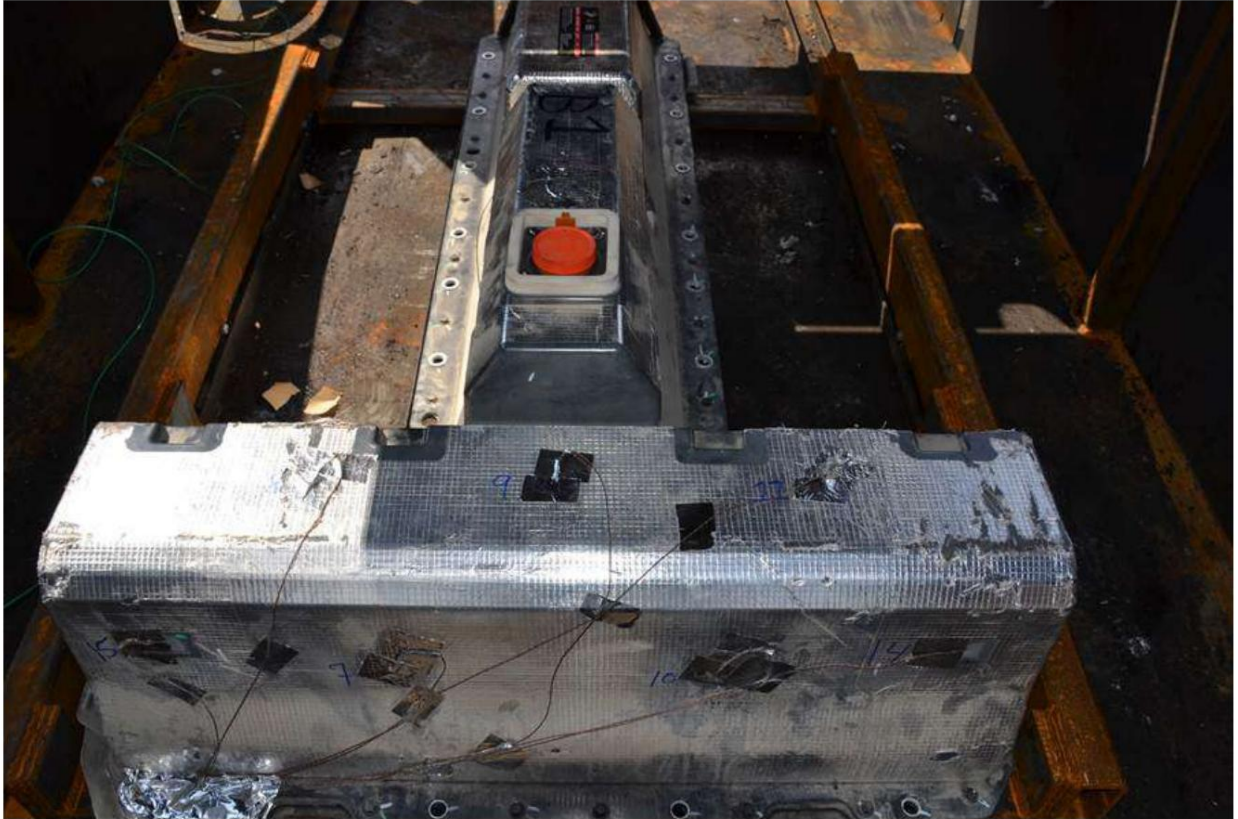


Figura 35 Vedere de sus a bateriei B în interiorul VFT fără panoul de podea (sus) și cu panoul de podea (jos); siguranța galbenă din mijlocul tăvii roșii de podea este singura gaură din interiorul tăvii care permite accesul la baterie



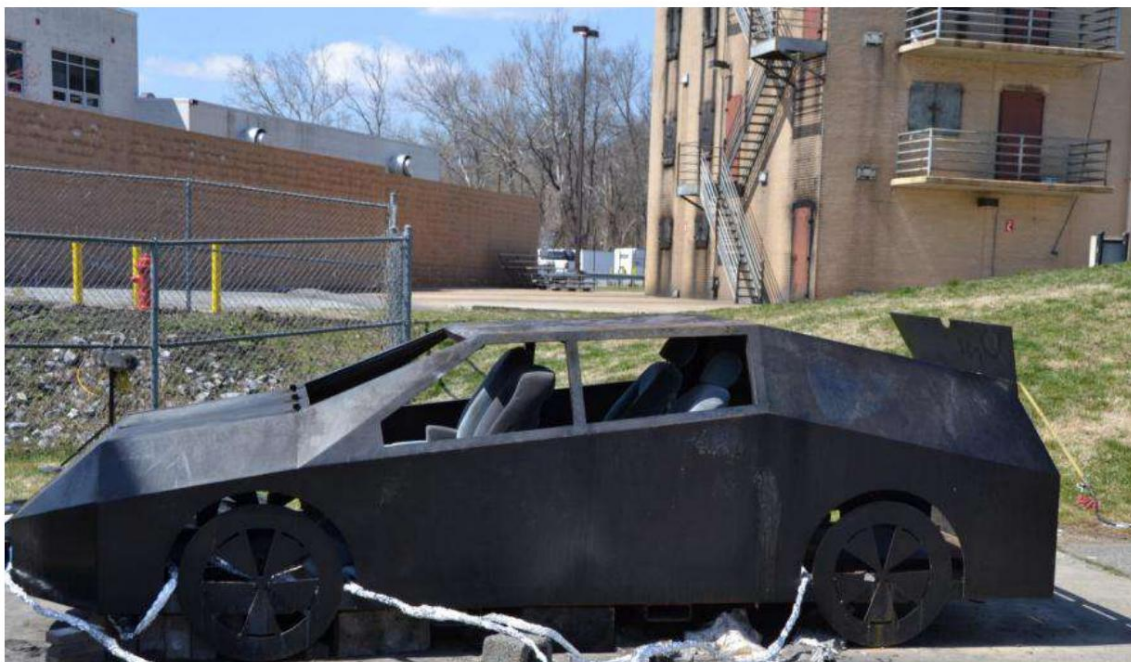


Figura 36 Vedere de ansamblu a VFT cu finisaje interioare pentru Testul B3



Figura 37 Tabloul de bord, scaunele din față și coverul instalate în interiorul VFT pentru testul B3





Figura 38 Scaune din față și cover instalate în interiorul VFT pentru Testul B3



Figura 39 Scaunele din spate instalate în interiorul VFT pentru Testul B3



Figura 40 Scaunele din spate și covorul instalate în interiorul VFT pentru Testul B3

## 5.2.2 Descrierea arzătorului

Componentele, designul și funcția ansamblului arzătorului utilizate în timpul incendiului la scară maximă testele de suprimare au fost aceleași cu cele utilizate în timpul testului HRR, așa cum a fost descris anterior în Secțiunea 5.1.2. Singura diferență dintre cele două configurații, baterie A și baterie B, a fost poziționarea arzătoarelor sub VFT, așa cum este descris în secțiunea anterioară.

## 5.2.3 Măsurători electrice în timpul stingerii incendiului

Unul dintre obiectivele acestei serii de teste a fost evaluarea potențialelor pericole de șoc electric asociate cu combaterea incendiilor EDV. Literatura de specialitate a fost revizuită pe tema șocurilor electrice și răspunsul fiziologic la potențialele de atingere, precum și impedanța corpului uman.<sup>44,45,46,47</sup> În plus, literatura a fost revizuită pentru a investiga metodologiile focului.

---

<sup>44</sup> Backstrom, R. și Dini, DA, „Proiect de cercetare pentru siguranța pompierilor și instalații fotovoltaice” noiembrie, 29, 2011.

<sup>45</sup> NFPA 15, ediția 2007, capitolul 6.

suprimarea incendiilor electrice<sup>44,48,49,50,51,52,53</sup>, precum și literatura care discută despre cele utilizate anterior metodologii de testare pentru măsurarea tensiunii și curentului printr-un curent de apă și efectul din PPE. <sup>44,48,54</sup> Aceste studii anterioare au oferit îndrumări cu privire la modul cel mai bun de măsurare și colectare date electrice în timpul testului pentru (1) proteja pompierii stingând incendiile și (2) asigură date utile comunității de pompieri cu privire la potențialele pericole electrice în timpul suprimarea unui incendiu EDV.

Au fost înregistrate măsurători electrice pentru a investiga posibilitatea de șoc electric de către a pompier în timp ce suprima un incendiu EDV. În timp ce atât măsurătorile de tensiune cât și de curent au fost înregistrat, parametrul important pentru caracterizarea pericolului potențial de șoc este curentul. În timp ce măsurătorile simultane de tensiune pot oferi o indicație cu privire la prezența a pericol de șoc, efectele tensiunii asupra diferiților indivizi pot varia substanțial. Invers, magnitudinea curentului poate fi direct legată de efecte fiziologice variind de la ușoare senzație de furnicături la stop cardiac și moarte probabilă.

55

Un alt parametru important este conductivitatea apei utilizate pentru stingerea incendiului. Conductivitatea electrică este o măsură a capacității unui material de a conduce (sau permite curgerea) electricitate și se măsoară în unități de Siemens pe metru (S/m). Conductoarele bune, cum ar fi cuprul, au o conductivitate foarte mare ( $5,96 \times 10^7$  S/m), în timp ce conductoarele slabe (sau izolatorii),

---

<sup>46</sup> OSHA Construction eTool, „Cum afectează curentul electric corpul uman”, [http://www.osha.gov/SLTC/etools/construction/electrical\\_incidents/eleccurrent.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/construction/electrical_incidents/eleccurrent.html)

<sup>47</sup> Olsen, GR, Schneider, JB, Tell, RA, „Arsuri de frecvență radio la locul de muncă al sistemului de alimentare” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, nr. 1, ianuarie 2011.

<sup>48</sup> Bolander, GG, Jughes, JT, Toomey, TA, Carhart, HW și JT Leonard. „Utilizarea apei de mare pentru combaterea incendiilor electrice” Centrul de tehnologie marine pentru siguranță și supraviețuire, Divizia de chimie. 25 mai 1989.

<sup>49</sup> „Conductibilitatea electrică a agenților de stingere”, Manualul Factory Mutual de protecție împotriva pierderilor industriale,

<sup>50</sup> Thorns, J., „Operațiuni de stingere a incendiilor la vehicule de înaltă tensiune: instrucțiuni de construcție, funcționare și operare” BrandSchutz, revistă pentru întreg serviciul de pompieri, pentru servicii de salvare și protecția mediului. (Traducere în engleză: Firefighting on High Voltage Vehicles: Structure, Function, and Application notes), martie 2011

<sup>51</sup> Blog online de instruire pentru siguranța vehiculelor electrice, 14.08.2012

<sup>52</sup> Firehouse World, blog online pentru pompieri, <http://www.firehouse.com/forums/t20745/>

<sup>53</sup> Raportul de sustenabilitate conEdison 2010 descărcat de la: <http://www.conedison.com/ehs/2010annualreport/print-template.asp>

<sup>54</sup> Sprague, CS și CF Harding. „Conductibilitatea electrică a fluxurilor de foc” Seria de cercetare nr. 53. Stația de experimente de inginerie, Universitatea Purdue Lafayette, Indiana, ianuarie 1936

<sup>55</sup> OSHA [http://www.osha.gov/SLTC/etools/construction/electrical\\_incidents/eleccurrent.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/construction/electrical_incidents/eleccurrent.html)

precum sticla, au o conductivitate foarte scăzută (aproximativ  $1 \times 10^{-11}$  S/m sau mai puțin). The conductivitatea apei este de obicei mult mai mică decât conductoarele bune și, prin urmare, este adesea măsurată în unități de microSiemens pe centimetru ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Conductivitatea apei este, totuși, foarte dependent de cantitatea de alte materiale (minerale, săruri etc.) dizolvate în apa. De exemplu, apa deionizată este un conductor slab ( $0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), în timp ce apa de mare (cu un conținut ridicat de sare) este un conductor mult mai bun ( $58.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Pentru un pompier pentru a suferi un șoc electric în timpul eforturilor de stingere a incendiului, pompierul trebuie să facă fie contact fizic cu ceva ținut la un potențial de tensiune ridicat (oferind astfel o cale pentru curentul la pământ) sau electricitatea trebuie să treacă prin curentul de apă înapoi la pompier pentru a finaliza circuitul. Conductivitatea (sau capacitatea apei de a conduce electricitate) va juca, prin urmare, un rol în determinarea potențialului pericol de șoc. O mostră de apă a fost colectată din sursa de apă de suprimare utilizată pentru teste și conductivitatea acesteia a fost testat de Microbac Laboratories, Inc.<sup>56</sup> Conductivitatea apei utilizate în timpul testele de suprimare s-au dovedit a fi de  $190 \mu\text{S}/\text{cm}$ , ceea ce este o conductivitate foarte scăzută. Plin Raportul Microbac Laboratories este furnizat în Anexa C.

Testele anterioare<sup>57</sup> au caracterizat pericolul de șoc al electricității de curent alternativ (AC) la a varietate de niveluri de tensiune, modele de duze și distanțe, precum și conductivitățile apei. În aceste teste, un ecran sau o placă metalică a fost alimentat în mod intenționat la o tensiune specificată și apoi nivelul de tensiune și/sau curent a fost măsurat în funcție de distanța de la sursa alimentată. Efectul conductivității apei a fost, de asemenea, evaluat în aceste teste, cu apa variind de la puțin apă ( $185 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) la apa de mare ( $58.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). În cele din urmă, aceste teste anterioare au fost efectuate măsurători în care duza a fost conectată printr-un scurtcircuit la masă (fără suplimentare rezistență) sau, opțional, printr-un rezistor de  $500 \text{ Ohm}$  pentru a simula rezistența unei medii persoană la fluxul de energie electrică (în condiții umede).

Urmând o metodologie similară cu studiile anterioare, măsurătorile electrice au fost efectuate în Testele de stingere a incendiilor la scară largă ale Exponent au fost efectuate prin măsurarea atât a tensiunii, cât și curent la duză. În plus, tensiunea și curentul de la corpul șasiului în care

---

<sup>56</sup> Microbac Laboratories, Inc. 2101 Van Deman Street. Baltimore, MD 21224

<sup>57</sup> Sprague și Harding, 1936; Bolander 1989



baterie a fost plasată au fost, de asemenea, măsurate. Pentru măsurătorile electrice la duză, 14 AWG sârmă de cupru torsionată a fost lipită în siguranță de o clemă de furtun și fixată pe exteriorul duzei carcasă, așa cum se arată în Figura 41. Testele de continuitate au confirmat că partea din față a duzei de la care apa a fost expulzată a fost conectată electric la porțiunea de refulare a duzei. The firul a fost apoi direcționat înapoi la sistemul DAQ utilizat pentru a colecta tensiunea și curentul măsurători, așa cum se arată în Figura 42. În mod similar, la șasiu, un țesut separat de 14 AWG sârmă de cupru a fost conectată în siguranță la corpul șasiului și a trecut de-a lungul solului până la Sistemul DAQ, unde a fost conectat la circuitul de măsurare prezentat în Figura 42. În interiorul șasiu, componente metalice suplimentare, cum ar fi șasiul glisant și caroseria VFT componente au fost, de asemenea, conectate folosind un fir de cupru de 14 AWG la același cablu de măsurare astfel încât toate elementele conductoare, inclusiv șasiul glisant și VFT componentele corpului, au fost conectate electric. Din cauza temperaturilor ridicate așteptate în interior VFT, firele interne au fost protejate cu folie de aluminiu și Kaowool. Deși în majoritatea testelor izolația firului cea mai apropiată de cea mai intensă porțiune a incendiului a fost găsită degradată evaluarea post-test, continuitatea după fiecare test a fost confirmată pentru a verifica toate obiectele conductoare în șasiu a rămas conectat electric pe tot parcursul testului.



Figura 41 Sârmă de cupru torsionată de 14 AWG lipită la o clemă de furtun și fixată pe carcasa exterioră a duzei

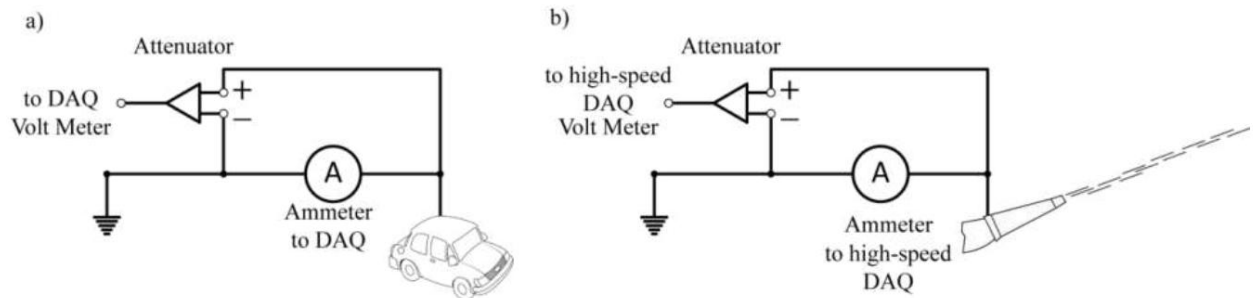


Figura 42 Schema de circuit simplificată pentru măsurătorile electrice

Datorită naturii probabile tranzitorii a conexiunii electrice de la bateria EDV la duză prin fluxul de apă, a fost efectuată o rată mare de eşantionare de 2 kiloherți (kHz) pentru a identifica orice conexiune electrică scurtă a tensiunii bateriei EDV la duză. Acest lucru a permis pentru detectarea oricărei activități electrice la duză, astfel încât pericolul să fie transmis către pompierii cât mai repede posibil, iar datele ar putea fi colectate și analizate ulterior cu privire la potențialele pericole electrice implicate de suprimarea unui incendiu EDV. Pentru măsurătorile șasiului, natura tranzitorie a fluxului de tensiune/curent nu era de așteptat; prin urmare, măsurătorile au fost înregistrate la intervale de o secundă sau 1 Hertz (Hz). Aceste măsurători au fost colectate atâta timp cât se desfășurau activități de stingere a incendiilor.

În ambele cazuri de măsurare, nivelul maxim de tensiune al bateriei a fost de aproximativ 400 VDC, în timp ce tensiunea maximă de intrare a DAQ a fost limitată la  $\pm 10$  V. Pentru a asigura că întreaga gamă de tensiune a fost acoperită, un atenuator de tensiune a fost încorporat în tensiune circuit de măsurare, așa cum se arată în Figura 42. În plus, datorită firelor lungi necesare în conectând duza și șasiul la sistemul DAQ, au fost prezente surse externe de zgomot. Zgomotul cel mai răspândit a fost de la liniile electrice la 60 Hz și armonicile acestora. Cel de 1 Hz eşantionarea utilizată pentru măsurătorile șasiului a fost prea mică pentru a fi afectată de zgomotul liniei de alimentare; cu toate acestea, măsurătorile duzei prelevate la 2 kHz au fost afectate semnificativ nu numai de Frecvența fundamentală de 60 Hz a liniei de alimentare, dar și primele 15 armonice (120 Hz, 180 Hz,... 960 Hz). Analiza post-test a confirmat că zgomotul de la aceste surse de alimentare electrică a fost observate în măsurătorile de tensiune. Ca atare, un filtru pieptene care cuprinde fiecare dintre aceste frecvențe a fost aplicat datelor înregistrate pentru a atenua aceste efecte.

Măsurătorile curente atât pentru duză, cât și pentru șasiu au fost efectuate prin utilizarea Hall-sonde de efect. Mărimea curentului condus la masă fie prin duză, fie din se aștepta ca șasiul să fie relativ scăzut, prin urmare o setare de câștig relativ mare (100 mV/A) a fost selectat pentru ambele sonde. În timp ce această selecție este mai probabil să detecteze relativ scăzut nivelurile de curent pe firele respective, câștigul mai mare contribuie și la un zgomot relativ mai mare niveluri, care au fost abordate prin filtrarea post-test și prelucrarea datelor, inclusiv scăderea zgomotului de fond și medierea.

Cele patru măsurători descrise aici, curentul și tensiunea frecvenței de eșantionare de mare viteză de 2 kHz măsurători ale duzei și măsurători de eșantionare de 1 Hz ale curentului de șasiu și tensiunea au fost efectuate folosind DAQ-ul descris în Secțiunea 5.2.7.

#### 5.2.4 Prelevarea de probe de apă

Scurgerea apei contaminate creată de suprimarea unui incendiu EDV reprezintă o preocupare de mediu, precum și o preocupare pentru primii care răspund în ceea ce privește EIP. Pentru a evalua acest potențial pericol, Exponent a colectat mostre de apă după fiecare test pentru a analiza ceea ce, dacă există, potențial produse secundare nocive pot fi prezente în apă. S-a colectat aproximativ un litru de apă într-un borcan de sticlă sigilat după fiecare test. Apa a fost colectată de pe pământ aproximativ două picioarele în fața VFT după ce eforturile de suprimare au încetat de către unul dintre pompieri, după cum se arată în Figura 43. Această metodă de colectare a fost utilizată, spre deosebire de colectarea apei din direct sub baterie printr-o tavă de colectare sau jgheab, pentru a preleva mai bine dintr-o locație care Primii respondenți ar efectua activități, eventual stând în apă, în timpul și imediat după activitățile de suprimare. Analiza chimică a probelor de apă a fost efectuată de Analyze, Inc.<sup>58</sup>

Odată primite de Analyze, Inc., probele de testare au fost filtrate de orice particule (resturi) înainte la analiză. Fiecare probă a fost analizată pentru pH folosind un Fisher Scientific Accumet Excel XL15 pH-metru și screening pentru cationi și anioni folosind un cromatograf ionic Dionex ICS-2000. În plus, analiza elementară a fost efectuată pentru a evalua cantitatea de organice și anorganice

---

<sup>58</sup> Analyze, Inc. 318 South Bracken Lane, Chandler, Arizona, 85224.

carbon prezent în probe. Raportul complet de prelevare de probe de apă de la Analyze, Inc. care detaliază tehnicile de măsurare sunt furnizate în Anexa D.



Figura 43 Colectarea probei de apă în timpul testului A1 chiar în fața VFT

### 5.2.5 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile temperaturii și fluxului de căldură au fost efectuate folosind șaisprezece diametrul de 0,10 inchi TC de tip K și patru HFG Schmidt-Boelter, așa cum se arată în Figura 28. Locația și descrierea măsurătorilor TC și HFG sunt furnizate în Tabelul 4 și Tabelul 5. Acestea măsurătorile au fost colectate timp de cel puțin o oră după testare sau până la baterie externă temperaturile scăzuseră aproape de nivelurile ambiante, oricare a fost primul.

În timpul testelor bateriei A, TC-urile de la 1 la 12 au fost fixate pe suprafața exterioară a bateriilor folosind Ciment Omega Bond CC High Temperature Bonding, așa cum se arată în Figura 44. Cimentul a fost amplasat deasupra bilei TC și lăsat să se usuce înainte de testare. Un TC ambiental a fost plasat la 25 de picioare la est de VFT, așa cum se arată în Figura 28.



În timpul testelor bateriei B, TC-urile 1 până la 15 au fost instalate în aceleași locații din jurul exteriorul bateriei și în interiorul bateriei prin orificiile de aerisire, așa cum este descris în Secțiunea 5.1.5 și așa cum se arată în Figura 45.

În timpul tuturor celor șase teste ale bateriei A și B, HFG-urile de la 1 la 4 au fost poziționate la 5, 15, 20 și Distanțe de distanță de 25 de picioare față de VFT. HFG-urile au fost capabile să măsoare un flux de căldură radiantă între 0 și 50 kW/m<sup>2</sup>.

Tabelul 4 Rezumatul locațiilor TC

Termocuplu	Măsurare	Termocuplu	Măsurare
1	Exteriorul bateriei	9	Exteriorul bateriei
2	Exteriorul bateriei	10	Exteriorul bateriei
3	Exteriorul bateriei	11	Exteriorul bateriei
4	Exteriorul bateriei	12	Exteriorul bateriei
5	Exteriorul bateriei	13	Interiorul bateriei (numai B)
6	Exteriorul bateriei	14	Interiorul bateriei (numai B)
7	Exteriorul bateriei	15	Interiorul bateriei (numai B)
8	Exteriorul bateriei	16	Temperatura ambientala

Tabelul 5 Rezumatul locațiilor HFG

Indicator de flux de căldură	Măsurare	Termocuplu	Măsurare
1	Flux de căldură (5 ft)	3	Flux de căldură (20 ft)
2	Flux de căldură (15 ft)	4	Flux de căldură (25 ft)

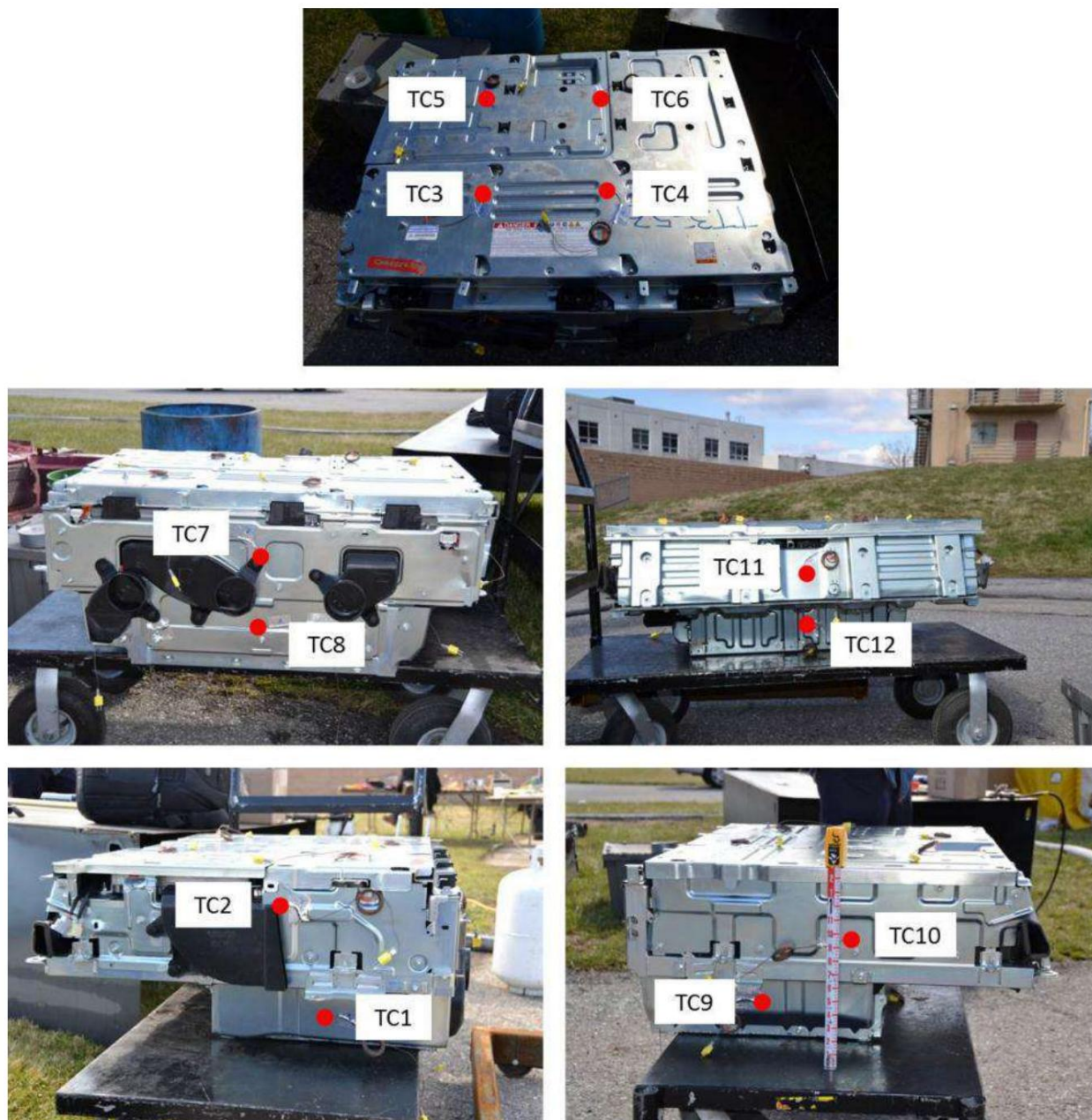


Figura 44 Locațiile TC (cercuri roșii) pe exteriorul bateriei pentru testele bateriei A



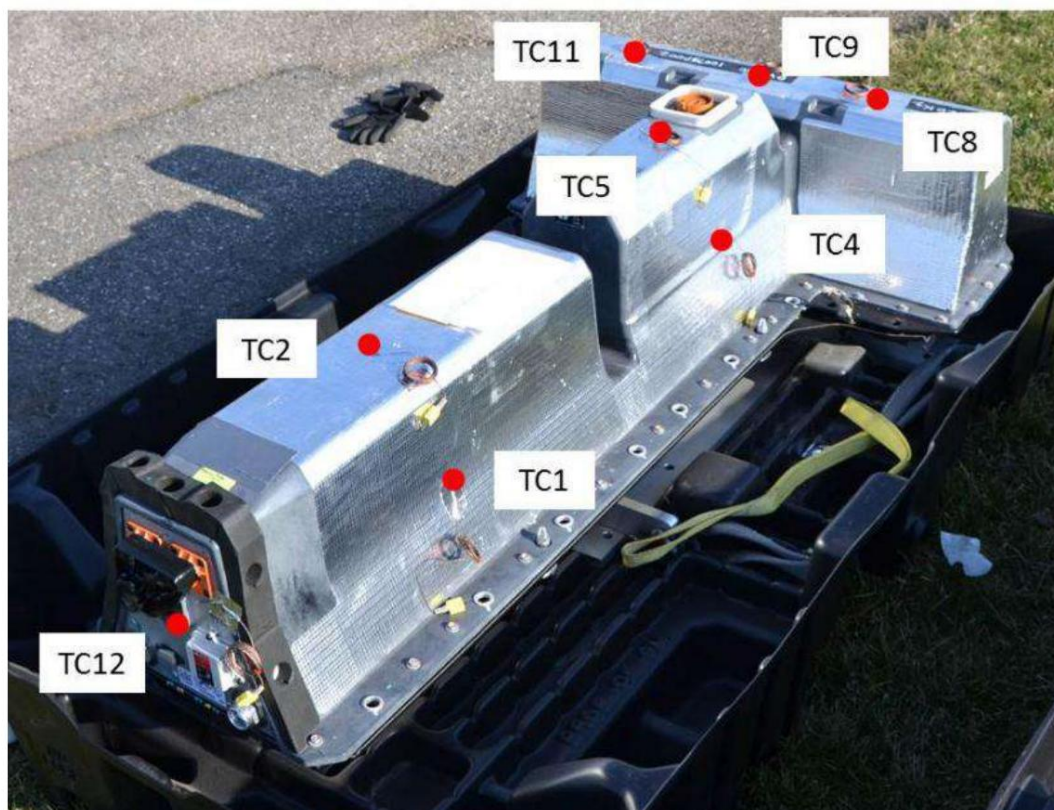
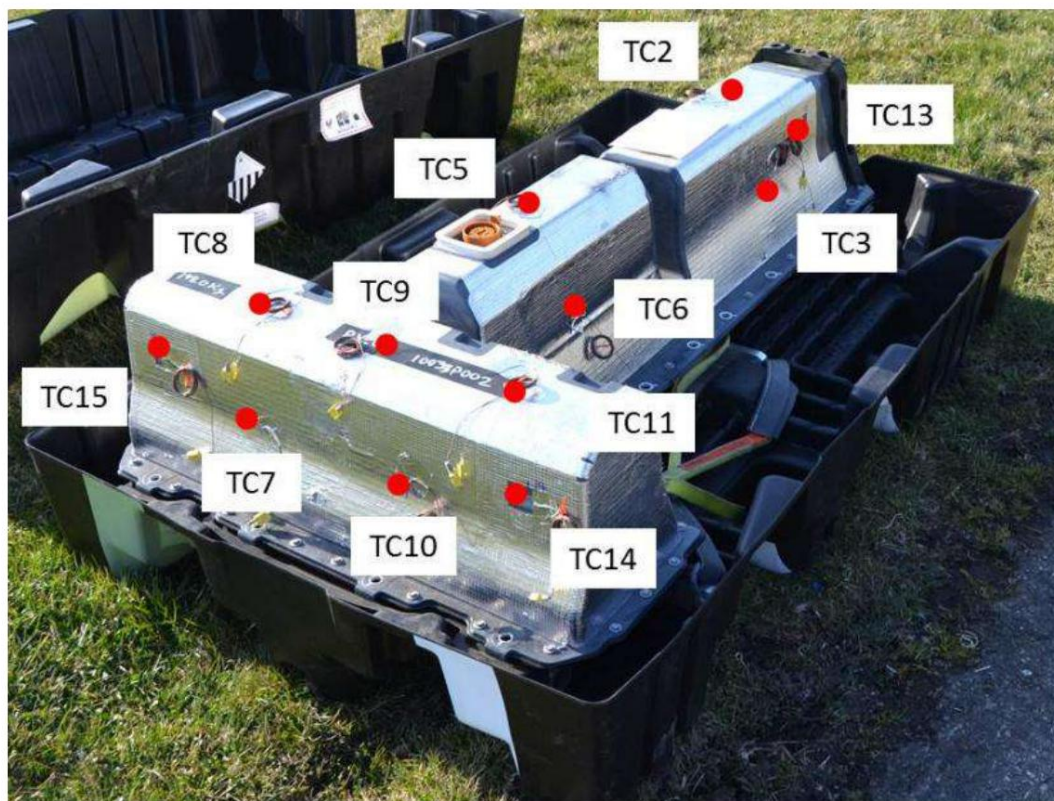


Figura 45 Locațiile TC (cercuri roșii) pe exteriorul/interiorul bateriei pentru testele bateriei B

## 5.2.6 Măsurătorile senzorului intern al bateriei

În timpul testelor bateriei B, Exponent a colectat temperaturile interne ale bateriei și celula individuală tensiuni de la senzorii proprii ai bateriei. Exponentul nu a fost furnizat cu necesarul informații de sprijin pentru a comunica cu bateriile din seria A. Aceste măsurători au fost colectate atâta timp cât ar permite conexiunea dintre baterie și sistemul DAQ (adică până când condițiile de expunere la foc au compromis căile de comunicare). A colecta aceste date, Exponent a comunicat direct cu bateria folosind aceleași programe software, cabluri, echipamente, senzori și puncte de conectare la baterie descrise în Secțiunea 5.1.6.

Cu toate acestea, înainte de testele de suprimare, bateria a fost instalată în VFT, ceea ce a cerut o schemă de protecție ușor modificată pentru punctele de conectare ale bateriei. Pentru a le proteja pe acestea puncte de conectare, o structură modificată de placă de silicat de calciu a fost ridicată în jurul capătului frontal a bateriei odată ce a fost poziționat în VFT, așa cum se arată în Figura 46 și Figura 47. Aceasta structura a protejat zona de conectare de impactul direct al flăcării de către arzătoarele de dedesubt, cum ar fi precum și orice flăcări care lingă în jurul marginii inferioare și părților laterale ale bateriei. În plus, Kaowool a fost introdus în structură pentru a izola mai mult punctele de conectare și a fost înfășurat în jurul cablurilor care merg la baterie de la sistemul DAQ.





Figura 46 Puncte de conectare la bateria B odată instalată în interiorul VFT (înainte de protecție)



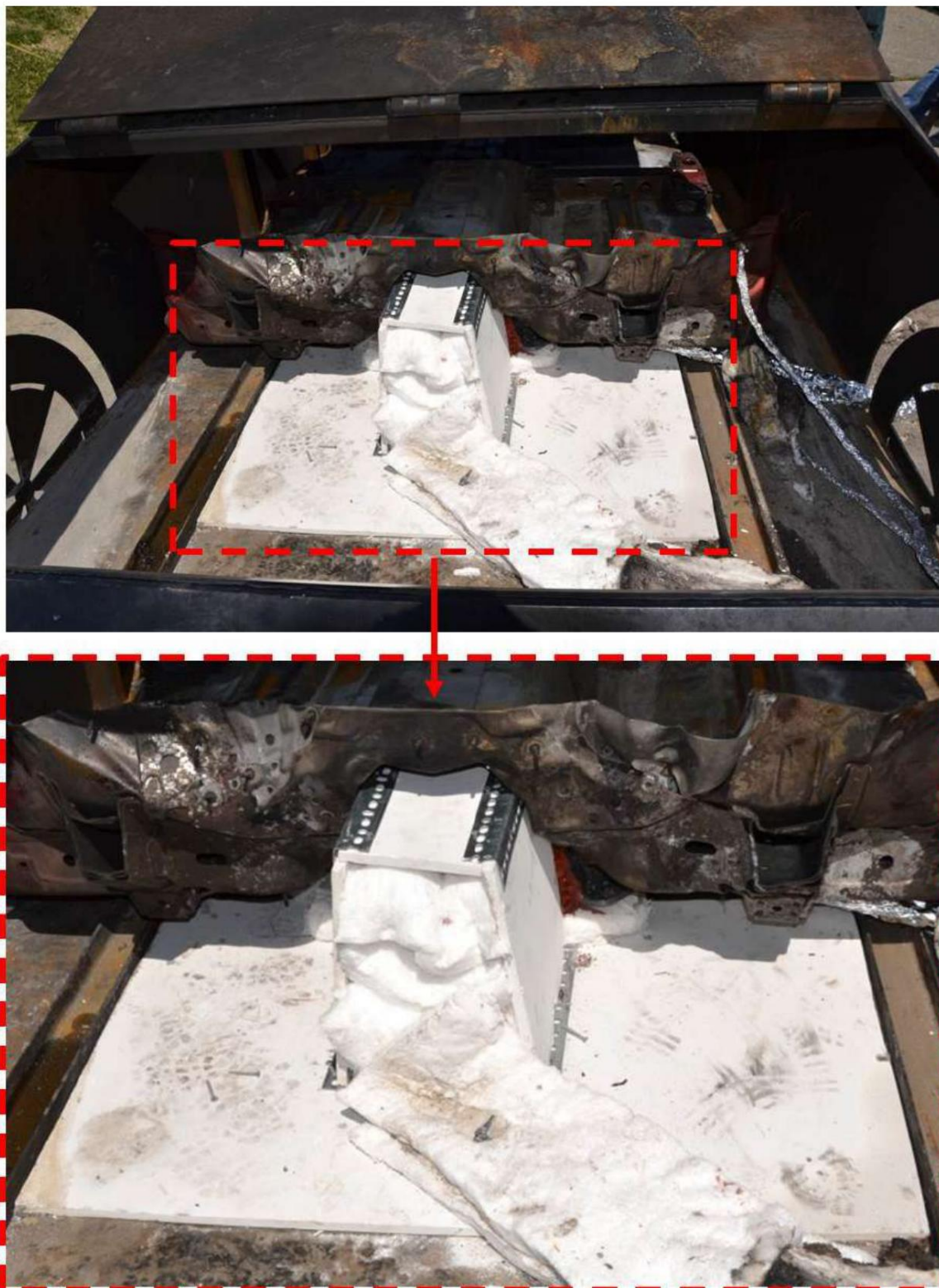


Figura 47 Schema de protecție pentru punctele de conectare și cablurile care merg la bateria B

## 5.2.7 Sistem DAQ

Achiziția datelor a fost efectuată printr-un cod personalizat Lab VIEW. Codul a efectuat cinci sarcini simultane în timpul testării de suprimare:

- Intrare analogică la o rată de 1 Hz pentru măsurătorile electrice TC, HFG și șasiu;
- Intrare analogică la o rată de 2 kHz pentru măsurătorile electrice ale duzei;
- Comunicare cu magistrala CAN cu tensiunea și temperatura individuale ale celulei interne ale bateriei senzori;
- Ieșire digitală către modulul releu pentru controlul arzătorului; și
- Intrare și ieșire serială către controlerul debitului de masă.

Măsurătorile de temperatură au constat în până la șaisprezece TC de tip K și patru calibrate HFG-uri Schmidt-Boelter. TC-urile au fost monitorizate de o rezoluție NI 9213 cu 16 canale și 24 de biți Modul TC cu compensare încorporată a joncțiunii la rece, așa cum se arată în Figura 48. HFG-urile au fost monitorizat de un modul de curent NI 9207 cu 8 canale/tensiune cu 8 canale și o rezoluție de 24 de biți modul cu respingere a zgomotului 50/60 Hz. TC și HFG au fost monitorizate continuu la a rata de eșantionare de 1 Hz sau o dată pe secundă.

Măsurătorile electrice au fost efectuate la două rate de eșantionare diferite cu două date module de achiziție. Tensiunea și curentul pe șasiu au fost monitorizate la o rată de eșantionare de 1 Hz prin modulul NI 9213 descris mai sus. Tensiunea și curentul duzei au fost continuu eșantionat la o rată de 2000 Hz de un modul NI 9239, o intrare analogică cu 4 canale de mare viteză modul cu 24 de biți de rezoluție, izolație canal la canal și circuite anti-aliasing.

Comunicarea cu magistrala CAN și controlul arzătorului au fost efectuate folosind aceleași programe software, cablurile, echipamentele și punctele de conectare la baterie descrise în Secțiunea 5.1.7.

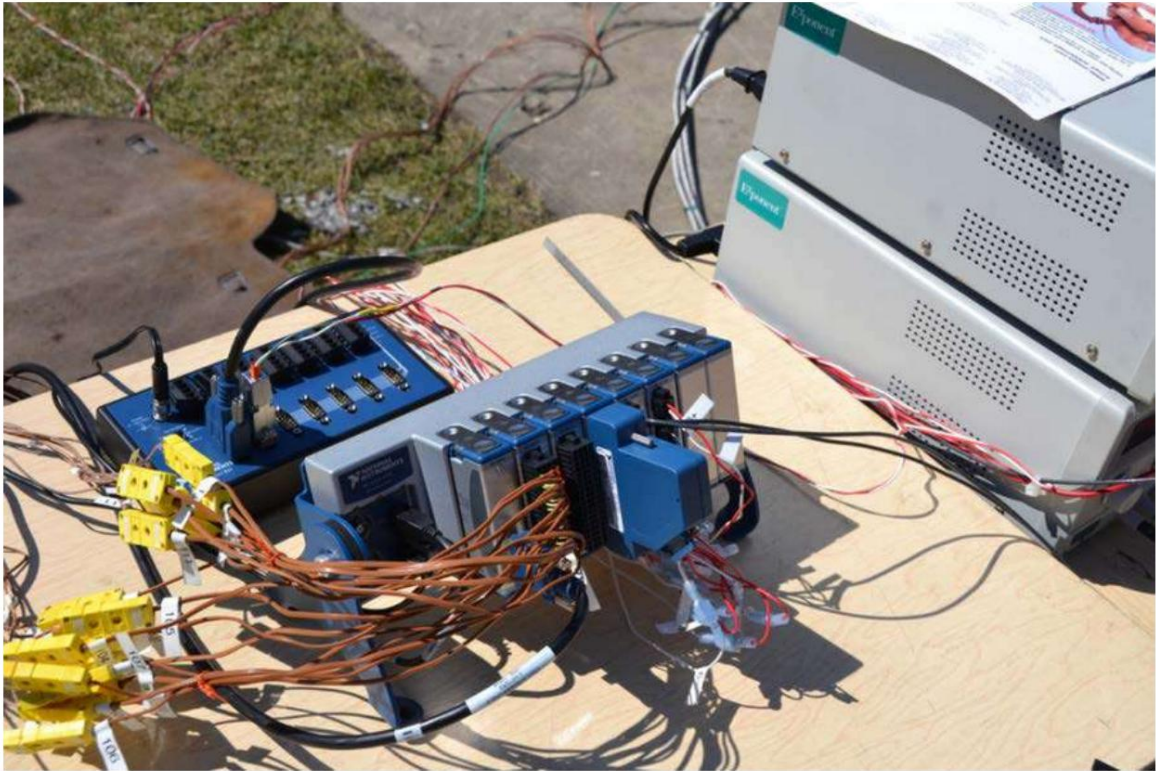


Figura 48 Modulul NI 9213 TC și modulul de tensiune NI 9207 (pentru HFG) conectate la șasiul de achiziție de date NI cDAQ 9178

### 5.2.8 Imagini termice, Fotografie statică și Video de înaltă definiție

Fotografiile statice și videoclipurile de înaltă definiție au fost înregistrate în timpul testării de suprimare de către Exponent folosind aceleași camere ca cele descrise în Secțiunea 5.1.8. Imaginile testelor au fost surprinse în măsura în care situația a justificat și/sau au avut loc evenimente importante. Patru de înaltă definiție Camerele video au fost folosite în timpul testării pentru a se asigura că toate unghiurile VFT și ale bateriei au fost înregistrate. Poziționarea camerelor video de înaltă definiție în timpul testării este prezentată în Figura 28.

Din cauza poziției bateriilor în VFT, nu a fost posibilă realizarea de imagini termice care ar putea furniza date semnificative în timpul testelor de suprimare, având în vedere că accesul direct a fost obstrucționat de componentele VFT sau de podea. Totuși, imaginile termice au fost înregistrate după finalizarea testului pentru a suplimenta TC în monitorizarea bateriei după incendiu. Camera termică utilizat în timpul testelor de suprimare a fost același cu cel descris în Secțiunea 5.1.8.



## 5.2.9 Activități de suprimare

Activitățile de suprimare au fost gestionate de MFRI. Pompierii nu au fost îndrumați referitor la ce puteau și nu puteau face din punct de vedere tactic pentru a suprima incendiile. Erau au fost instruiți să lupte cu focul, deoarece în mod normal s-ar apropia de incendiul unui vehicul cu o ofensivă atac. Orice tactică sau modificări aduse acelor tactici în timpul testelor de foc au fost la bază la discreția personalului MFRI și bazat pe mulți ani de stingere a incendiilor și instruire experiențială. Echipa de suprimare a fost interzisă să folosească orice instrumente forțate pentru a accesa VFT sau bateria din motive de siguranță.

Cu toate acestea, din cauza setării testelor, au existat două limitări în ceea ce privește modul în care ar putea MFRI ataca incendiile: (1) nu au fost capabili să lupte cu focul din partea de est a VFT, deoarece firele și cablurile de instrumente din acea zonă reprezentau un pericol de împiedicare și (2) nu au putut pentru a lupta cu focul de sub VFT (adică trage cu apă până la trenul de rulare al baterii) datorită prezenței celor patru arzătoare cu propan.

Aceste două limitări nu au afectat în mare măsură tactica MFRI, așa cum a fost proiectat să ofere VFT acces amplu la interiorul VFT-ului. Fiecare fereastră VFT era deschisă la aer, mimând mai mult a implicat incendiul vehiculului, unde toate geamurile ar fi sparte înainte de sosirea pompierilor sau de către primii care au intervenit o dată la fața locului, așa cum se arată în Figura 49. În plus, secțiunea superioară a trapei din spate a fost lăsată deschisă pentru a oferi un acces mai bun la baterii în timpul testului. MFRI pompierii au declarat că ar încerca în mod normal să deschidă trapei din spate sau portbagajul ca unul dintre primele lor acțiuni dacă acesta ar fi un adevărat scenariu de incendiu. Ca atare, din motive de siguranță, ca mijloc de limitare atingerea, mișcarea și manipularea VFT-ului în timp ce pompierii stau în câțiva picioarele unei baterii potențial implicate complet, partea superioară a trapei din spate a fost ținută deschisă începutul testului. În cele din urmă, deschiderea trapei a fost de asemenea foarte ajutată în videoclip înregistrări și fotografiile capturate în timpul testelor.

Toate testele au fost efectuate cu un comandant și asistent de facto incident și doi activi pompierii; unul pe duză și unul pe furtun. Acest lucru este echivalent cu o companie, ca definit de NFPA 1710, Standard pentru organizarea și implementarea suprimării incendiilor Operațiuni, operațiuni medicale de urgență și operațiuni speciale pentru public în funcție de carieră

Pompieri, ediția 2010. Tot personalul din afara echipei de suprimare a fost ținut în spatele unui 50-perimetrul piciorului în jurul VFT. O conductă de furtun cu diametrul de 1,75 inci alimentată de un hidrant privat a fost folosit pentru furnizarea duzei Elkhart Brass - Chief (model nr. 4000-10, ceață variabilă 30 grade, 60 grade și 90 de grade), care a descărcat aproximativ 125 de galoane de apă pe minut (gpm) la 75 psi. Consumul de apă a fost urmărit de personalul Exponent (timp de estimare a aplicării) în timpul testele astfel încât să se poată determina o estimare a apei totale utilizate pentru suprimare. Final datele au fost verificate încrucișat cu înregistrarea video pentru acuratețe. În plus, interviuri cu pompierii după ce au fost efectuate testele, printre altele, pentru a obține informații despre:

- Ce au văzut;
- Cum au atacat incendiul;
- Cum diferă incendiul de un incendiu de vehicul convențional;
- Ce au învățat ei din testul referitor la tactici; și
- Observații generale.

Echipele de suprimare a doi pompieri a îmbrăcat SCBA complet și echipament de participare la stingerea incendiilor înainte începutul testului și și-au scos SCBA-urile doar dacă aveau nevoie să schimbe un cilindru sau odată ce incendiul a fost considerat „stins”. Echipamentul de participare la vot a constat din:

- Îneliș cu polibenzimidazol (PBI) (Globe G-Extreme sau Lion Apparel Janesville);
- pantaloni PBI (Morning Pride);
- Casca din policarbonat (Morning Pride Ben Franklin II sau MSA 660);
- Mănuși de piele de cangur (Honeywell) sau piele (Shelby);
- Capota PBI (Firecraft) sau lanzing (PAC II); și
- Cizme din piele (Warren Pro sau HAIX).



Figura 49 Ferestrele VFT erau toate deschise la aer, iar partea superioară a trapei din spate a fost păstrată deschis în timpul testelor

### 5.3 Protocoale de incendiu la scară completă

Exponent a creat două protocoale pentru testele de incendiu la scară completă; unul pentru testul HRR și unul pentru teste de suprimare.

#### 5.3.1 Testarea HRR

Protocolul de testare pentru testul HRR a fost următorul:

1. Bateria a fost poziționată și echipamentul de testare a fost configurat așa cum este descris în Secțiunea 5.1.
2. Următoarele date de fundal au fost colectate timp de 2 minute:
  - A. Concentrații de gaz pentru calorimetria oxigenului;
  - b. Termocupluri;
  - c. Manometre de flux de căldură; și

- d. Măsurătorile senzorului bateriei interne.
3. Înregistrările video de înaltă definiție au fost începute simultan cu colectarea datelor.
4. Imaginile termice au fost înregistrate la intervale de 1 minut începând cu un timp scurs de 1 minut.
5. După 1 minut și 45 de secunde, luminile pilot de la arzătoarele de propan au fost aprinse cu un torță.
6. După 2 minute, alimentarea cu propan a arzătoarelor a fost pornită la un debit de masă de propan viteza de 67 litri pe minut (aproximativ 100 kW expunere) și aprinderea arzătoarelor prin luminile pilot a apărut.
7. După ce s-a verificat că toate duzele de pe cele patru arzătoare sunt aprinse (la 3 minute și 30 secunde), debitul masic al propanului a fost crescut la 267 litri pe minut (aproximativ 400 kW expunere).
8. Probele de gaz au fost colectate la intervale de cinci minute începând cu 5 minute.
9. Arzătoarele au fost lasate să funcționeze până când au apărut semne vizibile de implicare a bateriei.  
Aceste semne vizibile includ:
  - A. Arc, flăcări vizibile sau proiectile eminate de la baterie;
  - b. 80 °C măsurată la senzorii interni de temperatură;
  - c. Tensiunile individuale ale celulelor în scădere; și
  - d. Aerisirea electrolitului și/sau arderii.
10. Fotografii statice au fost înregistrate pe tot parcursul testului, după cum a fost necesar.
11. Toate echipamentele de colectare a datelor au fost oprite odată ce au apărut semne vizibile de ardere încetat.
12. Bateria a fost monitorizată continuu cu camera termică pentru a verifica manipularea în siguranță temperaturile fuseseră atinse înainte de revizie.

### 5.3.2 Testarea suprimării

Protocolul de testare pentru testele de suprimare a fost următorul:

1. Bateria a fost poziționată și echipamentul de testare a fost configurat așa cum este descris în Secțiunea 5.2.
2. Următoarele date de fundal au fost colectate timp de 1 minut:
  - A. Termocupluri;
  - b. Manometre de flux de căldură;
  - c. Măsurătorile senzorului bateriei interne (dacă este cazul); și
  - d. Măsurători electrice la șasiu și duză VFT.
3. Înregistrările camerelor video de înaltă definiție au fost începute simultan cu datele Colectie.
4. După 1 minut, alimentarea cu propan a arzătoarelor a fost pornită la un debit de masă de propan viteza de ~267 litri pe minut (~400 kW expunere) și arzătoarele cu propan au fost aprinse cu o torță.
5. Arzătoarele au fost lasate sa functioneze pana cand au aparut semne vizibile de implicare a bateriei. Aceste semne vizibile includ:
  - A. Arc, flăcări vizibile sau proiectile emanate de la baterie;
  - b. 80 °C măsurată la senzorii interni de temperatură (dacă este cazul);
  - c. Tensiunile individuale ale celulelor în scădere (dacă este cazul); și
  - d. Aerisirea electrolitului și/sau arderii.
6. După oprirea arzătoarelor, focul a fost lăsat să ardă independent timp de 1 minut înainte de a începe operațiunile de suprimare.
7. Măsurătorile electrice la șasiul și duza VFT au fost monitorizate în timp ce apă cererea a fost în curs de desfășurare pentru a verifica că nu au apărut pericole de siguranță electrică în timpul operațiunii de suprimare.
8. Operațiunile pompierilor au continuat până când semnele de ardere au încetat.
9. Fotografii statice au fost înregistrate pe tot parcursul testului, după cum a fost necesar.
10. O probă de scurgere de apă a fost colectată la sfârșitul testului.

11. Toate echipamentele de colectare a datelor au fost oprite odată ce au apărut semne vizibile de ardere a încetat, iar măsurătorile TC/imagistica termică au fost aproape de temperaturile ambiante.
12. Bateria a fost monitorizată în mod continuu cu camera termică și TC, după cum a fost necesar, pentru a verifica temperaturile de manipulare sigure au fost atinse înainte de revizie.

## 6 Rezultatele testului

---

### 6.1 Testarea HRR

Testul HRR a fost efectuat la unitatea de testare SwRI situată la 6220 Culebra Road, Clădirea #143, San Antonio, Texas 78238 pe 13 martie 2013, sub supravegherea Karen Carpenter de la SwRI și R. Thomas Long, Jr., Andrew Blum și Thomas Bress de la Exponent.

#### 6.1.1 Bateria B

Datorită numărului limitat de baterii disponibile pentru acest proiect de cercetare, doar unul dintre B bateriile a fost desemnată pentru testarea HRR la scară completă ca un pachet de baterii autonom. Următoarele secțiunile rezumă datele colectate de SwRI (HRR, TC, HFG, eșantionare de gaz, videoclipuri, încă fotografie și observații) și datele colectate de Exponent (senzori interni ai bateriei, puterea de căldură a arzătorului, imagini termice, videoclipuri, fotografiile și observații) în timpul Testul HRR.

##### 6.1.1.1 Observații de testare

Tabelul 6 rezumă evenimentele cheie observate de Exponent și SwRI în timpul testului HRR.

Imaginile la momente semnificative de testare sunt furnizate în Figura 50 până la Figura 52. În general, testul a demonstrat că o sursă de căldură externă, cum ar fi arzătoarele cu propan, ar putea induce bateria B în fuga termică și are ca rezultat o eliberare și aprindere vizibilă a materialului electrolit.

Cu toate acestea, odată ce sursa externă de căldură a fost îndepărtată (adică, arzătoarele au fost oprite) incendiul bateriei s-a redus rapid la o eliberare controlată de gaze inflamabile și în cele din urmă a ars însuși afară.

Tabelul 6 Rezumatul observațiilor cheie din testul HRR

Timp	Eveniment
-0:02:00	Încep datele de referință
0:00:00	Arzătoare cu propan aprinse cu un debit de 67 l/m (~100 kW)
0:00:46	Învelișul de plastic de pe marginea bateriei se aprinde
0:01:36	Debitul de propan a crescut complet la 267 l/m (~400 kW)
0:02:30 - 0:02:40	Primul foc fulger observat (mic) și se aude un pop puternic
0:04:21	Comunicarea cu magistrala CAN pierdută
0:09:50	Flăcări trăgând din orificiul sudic al bateriei
0:12:00 - 0:12:35	Creșterea dimensiunii flăcării, se aude un zgomot puternic, aerisire și flăcări care ies din siguranța de sus
0:13:03	Scântei vizibile care vin din interiorul capătului NV al bateriei
0:14:50	Un flux mare de scântei iese din partea de jos a capătului NV al bateriei din interiorul acesteia
0:15:02	Focul lichidului din bazin se aprinde pe sol la sud de baterie
0:17:42	Scântei vizibile care vin din interiorul orificiului de aerisire NV
0:20:36	Arzătoarele cu propan s-au oprit
0:23:00 - 0:25:00	Dimensiunea focului începe vizibil să slăbească
0:47:10	Flăcările au observat doar împușcarea din fanta de nord-vest a bateriei, siguranța superioară și porturile de conexiune al magistralei CAN
1:03:00	Se aude un pop tare și focul de la siguranța de sus se stinge
1:20:00	S-a auzit un zgomot puternic
1:30:00	S-a auzit un zgomot puternic
1:34:00	Ultima flacără se stinge, bateria continuă să fumeze



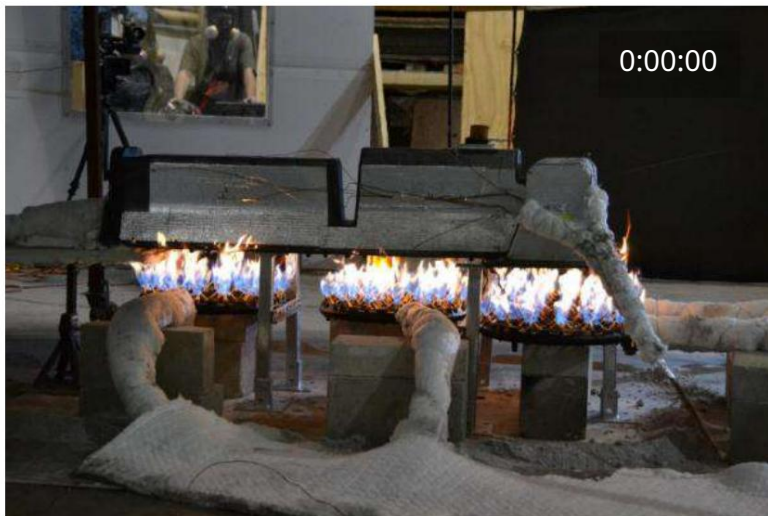


Figura 50 0 minute (stânga sus), 2:30 minute (dreapta sus), 4:20 minute (stânga jos), 13 minute (dreapta jos)



Figura 51 14:50 minute: Un flux mare de scântei iese din partea de jos a capătului NV al bateriei din interiorul acesteia

1205174.000 F0F0 0613 RTL3





Figura 52 20:40 minute (stânga sus), 25:00 minute (dreapta sus), 47:10 minute (stânga jos), 01:34:00 minute (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3

### 6.1.1.2 Măsurători HRR

Măsurătorile HRR au fost colectate de SwRI în timpul testării o dată la secundă, așa cum se arată în Figura 53. Rezultatele reflectă observațiile din test. RFC maxim măsurat în timpul testării a fost de aproximativ 700 kW, la timpul testului 17 minute și 30 de secunde (aproximativ 3 minute înainte ca arzătoarele să fie oprite), după cum este rezumat în Tabelul 7. Scoaterea 400 arzătoare cu propan kW, eliberarea de căldură de vârf a bateriei atribuită incendiului a fost doar aproximativ 300 kW. Creșterea inițială de la zero la aproximativ 100 kW în timpul testului zero a fost aprinderea arzătoarelor. A doua denivelare văzută la momentul 1 minut și 30 de secunde a fost debitul de propan fiind crescut până la debitul maxim de 400 kW. Între timpul de testare 3 și 4 minute există o creștere a HRR la aproximativ 550 kW, care a fost atribuită aprinderii din materialele limitate ale capacului bateriei, dintre care multe erau din plastic. HRR a scăzut și s-a stabilit în intervalul de 400 kW produs de arzătoare de la timpul de testare 5 minute până la 12 minute 30 de secunde; în acest timp, bateria nu a furnizat prea mult, dacă există, HRR suplimentar după s-au consumat materialele inițiale de acoperire din plastic. HRR-ul a crescut apoi la peste 600 kW și a rămas acolo de la timpul de testare 15 minute până la 20 de minute, când arzătoarele au fost oprite. În această perioadă de timp, s-au observat flăcări vizibile ieșind din siguranța superioară a baterie, porturile de conexiune CAN Bus și cele trei orificii de ventilație pentru baterie, care au furnizat HRR suplimentar. Odată ce arzătoarele au fost oprite în aproximativ 20 de minute, HRR-ul încet a scăzut de la 20 de minute la 36 de minute, când a atins practic o citire de zero.

În plus față de HRR maxim raportat în tabelul 7, HRR mediu pe întregul 90 testul pe minut și eliberarea totală de căldură au fost calculate a fi 128 kW, respectiv 720 MJ.

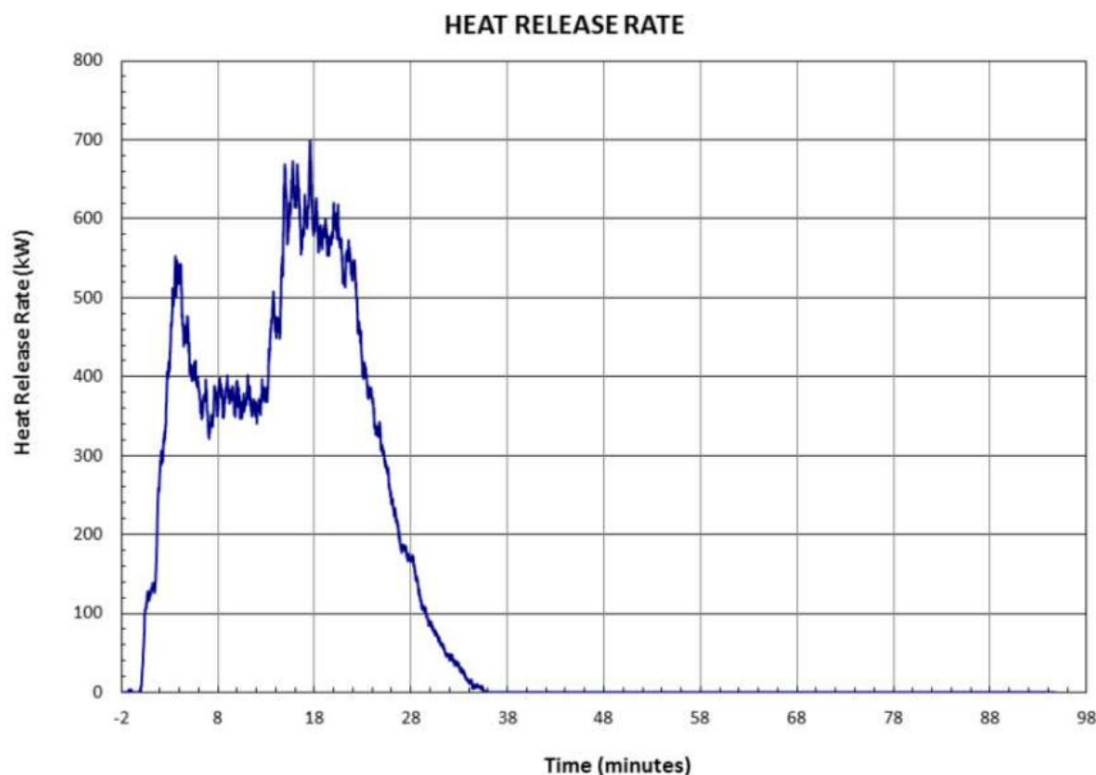


Figura 53 HRR în funcție de timp

Tabelul 7 Rezumatul măsurătorilor HRR

HRR	Valoare	Timp
Maxim	698 kW	0:17:33
In medie	128 kW	----
Căldura totală eliberată	720 MJ	----

### 6.1.1.3 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de SwRI în timpul testării o dată la fiecare al doilea. Temperaturile maxime măsurate în timpul testării și timpii corespunzători acestora sunt rezumate în Tabelul 8 și Tabelul 9. Majoritatea temperaturilor maxime măsurate în timpul testului a avut loc în timp ce arzătoarele cu propan erau încă PORNITE. TC 5, 6 și 13 experimentat o temperatură maximă după stingerea arzătoarelor; cu toate acestea, acele maxime au fost la scurt timp după (în decurs de 30 de secunde) arzătoarele au fost oprite. TC 12, 14, 17, 18 și 20 toate a experimentat temperaturi maxime la un moment dat după ce arzătoarele au fost OPRITE (între 2 și 27 de minute după stingerea arzătoarelor), ceea ce poate fi explicat prin poziția lor în și

în jurul bateriei. Fiecare dintre acești TC au fost în contact strâns cu flăcările și gazele fierbinți de evacuare fie în afara zonei de conectare a magistralei CAN, fie în interiorul celor trei orificii de aerisire care continuau pentru a produce flăcări pentru o perioadă de timp după ce arzătoarele au fost oprite sau au fost în imediata apropiere a acestuia acele orificii de aerisire.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC 1 până la 12) au fost între 1264 și 2112 °F. Temperaturile maxime interne (TC 13 până la 15) au fost între 1263 și 2234 °F. Temperaturi maxime la o distanță de 5 picioare de baterie au fost între 202 și 230 °F. La o distanță de trei metri, temperaturile maxime a scăzut la între 107 și 127 °F.

Măsurătorile fluxului de căldură au urmat o tendință similară cu cea observată în datele TC, unde majoritatea dintre valorile maxime au fost găsite înainte ca arzătoarele să fie oprite. Singura scutire a fost HFG1, care a avut un flux de căldură maxim la aproximativ trei minute după ce arzătoarele au fost oprit. Acest lucru s-a datorat flăcărilor și gazelor fierbinți eminate de conexiunea magistralei CAN zona la acel moment. Fluxurile maxime de căldură la o distanță de distanță de cinci picioare de baterie au fost între 17,1 și 18 kW/m<sup>2</sup> și la trei picioare au scăzut între 3,7 și 4,7 kW/m<sup>2</sup>.

Tabelul 8 Rezumatul măsurătorilor temperaturii maxime

TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp
1	1600,5	0:18:19	11	1490,7	0:17:09
2	1342,4	0:18:19	12	1264,1	0:23:26
3	2111,9	0:18:19	13	2233,8	0:20:54
4	1472	0:17:04	14	1311,4	0:47:04
5	2040,1	0:20:58	15	1262,7	0:18:13
6	1977,4	0:20:54	16	1975,5	0:05:20
7	1533,4	0:19:57	17	201,7	0:24:09
8	1713,9	0:16:57	18	127	0:24:27
9	1609,9	0:06:45	19	230	0:18:14
10	1419,8	0:05:58	20	106,7	0:22:35

Tabelul 9 Rezumatul măsurătorilor fluxului de căldură maxim

Măsurare	Valoare	Timp
HFG1 (5 picioare)	17,1 kW/m <sup>2</sup>	0:23:05
HFG2 (10 picioare)	4,7 kW/m <sup>2</sup>	0:15:52
HFG3 (5 picioare)	18,0 kW/m <sup>2</sup>	0:14:54
HFG4 (10 picioare)	3,7 kW/m <sup>2</sup>	0:14:54

#### 6.1.1.4 Măsurătorile senzorului intern al bateriei

Tensiunile interne ale celulei și măsurătorile senzorului de temperatură a bateriei interne au fost colectate de Exponent în timpul testării la o rată efectivă de o dată pe secundă, așa cum se arată în Figura 54. As demonstrat în complot, sistemul DAQ a pierdut contactul cu bateria după 6 minute și 21 secunde (timp de testare 0:04:21). La acel moment, avea un singur senzor de temperatură intern (Senzorul #7). schimbat semnificativ de la începutul testului. Ca atare, acesta a fost singurul senzor de temperatură reprezentat în Figura 54. A înregistrat o temperatură maximă de 41 °C la momentul comunicării la baterie s-a pierdut. În același timp, niciuna dintre tensiunile individuale ale celulei nu a înregistrat a scăderea tensiunii. După cum sa arătat anterior în Figura 50 și Figura 53, învelișurile combustibile sunt puse exteriorul bateriei a fost pe deplin implicat în această perioadă, iar HRR-ul a crescut mai sus 500 kW.

Senzorul de temperatură #7 a fost găsit în porțiunea de est a bateriei, așa cum prezentat în Figura 55. Cel mai apropiat termocuplu intern instalat de Exponent (TC13) prin ventilația de sud a crescut de la aproximativ 200 °F la ora 0:02:45 la peste 1500 °F până la 0:04:21, când comunicarea cu bateria a încetat. O investigație criminalistică post-test în CAN cablurile de comunicație ale magistralei și sistemelor DAQ și punctele de conexiune au dezvăluit modul de defecțiune a fost intern bateriei, posibil un scurtcircuit la sursa de alimentare CAN bus. Busul CAN al bateriei funcționează pe o sursă de alimentare de 12 V furnizată extern. Puterea este furnizată prin pini același conector care transportă pini de semnal al magistralei CAN. În timpul testelor de ardere, această putere a fost furnizat de o sursă de alimentare GPC-3030D. Când comunicarea magistrală CAN a eșuat, ieșirea puterea sursei a scăzut de la 12V la aproximativ 8V și sursa de alimentare a fost comutată de la modul de tensiune constantă la modul de curent constant, indicând faptul că bornele de alimentare au avut a fost scurtcircuitat intern. Cablurile magistralei CAN care se întind de la DAQ la magistrala CAN zona de conectare au fost recuperate în urma testelor și continuitatea pinii care transportă intrarea

a fost verificată tensiunea. Cablurile nu au fost scurtcircuitate, indicând în continuare că problema de comunicare a fost internă bateriei. Modul de eroare probabil a fost unul intern firul care transmite puterea către magistrala CAN a dezvoltat un scurtcircuit, punând capăt capacității baterie pentru a comunica prin magistrala CAN.

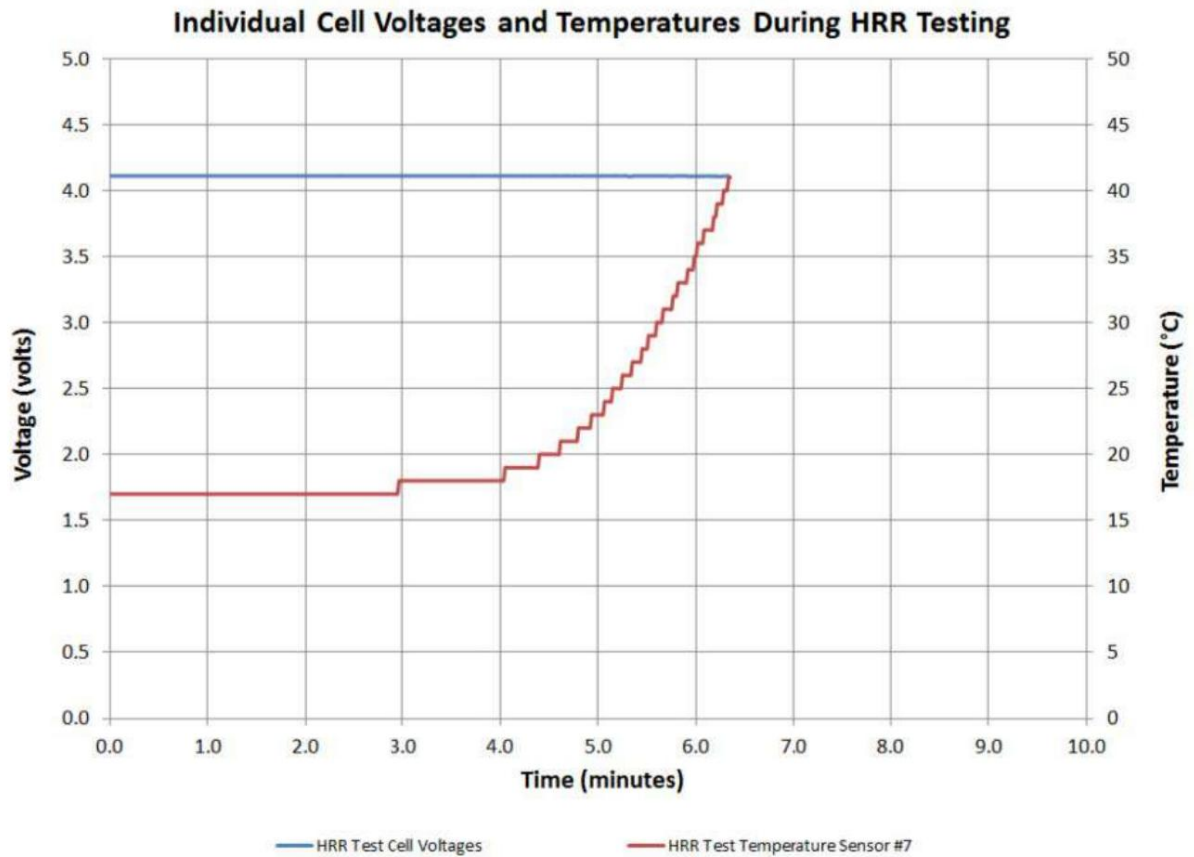


Figura 54 Tensiunile și temperaturile interne ale celulei (Senzorul #7) în timpul testării HRR



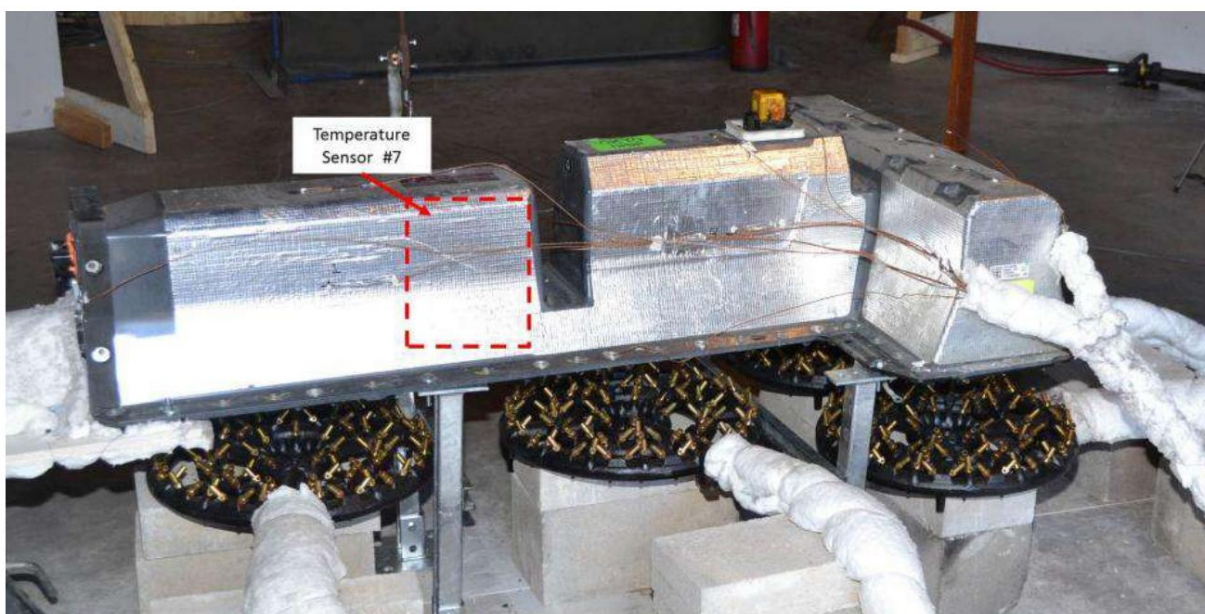


Figura 55 Locația senzorului de temperatură #7 în baterie B

#### 6.1.1.5 Rezultate prelevarea gazelor

Un total de paisprezece probe de aer au fost prelevate folosind saci de prindere Tedlar. S-a efectuat prelevarea de probe la fiecare 5 minute, începând cu 5 minute de la test. Fiecare probă a fost extrasă timp de 1 minut perioadă. Pungile au fost apoi analizate pentru HCl, HF, HBr, HCN, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, acroleină, și formaldehidă prin FTIR. Rezultatele au arătat doar CO și CO<sub>2</sub> prezente. Fiecare spectre a fost examinat direct pentru semnăturile fazei de vapori pentru HCN; nici unul nu a fost depistat. În plus, fiecare spectre a fost examinat direct pentru HF. Nu a fost detectat HF; totuși, o linie de bază zgomotoasă a dus la unele citiri fals pozitive.

#### 6.1.1.6 Rezultatele revizuirii

După aproximativ 1:34 minute de timp scurs, toate flăcări vizibile au încetat. Imagini termice au fost înregistrate pe măsură ce bateria s-a răcit. Imaginile termice au fost capturate pentru încă trei ore și 15 minute. Când flăcări vizibile au încetat la 1:34, maximul exterior observat temperaturile au fost de aproximativ 753 °F. Două ore mai târziu, temperaturile maxime observate au fost de aproximativ 358 °F. La trei ore după ce toate flăcări vizibile au încetat, maxim observat temperaturile au fost de aproximativ 312 °F, așa cum se arată în Figura 56.

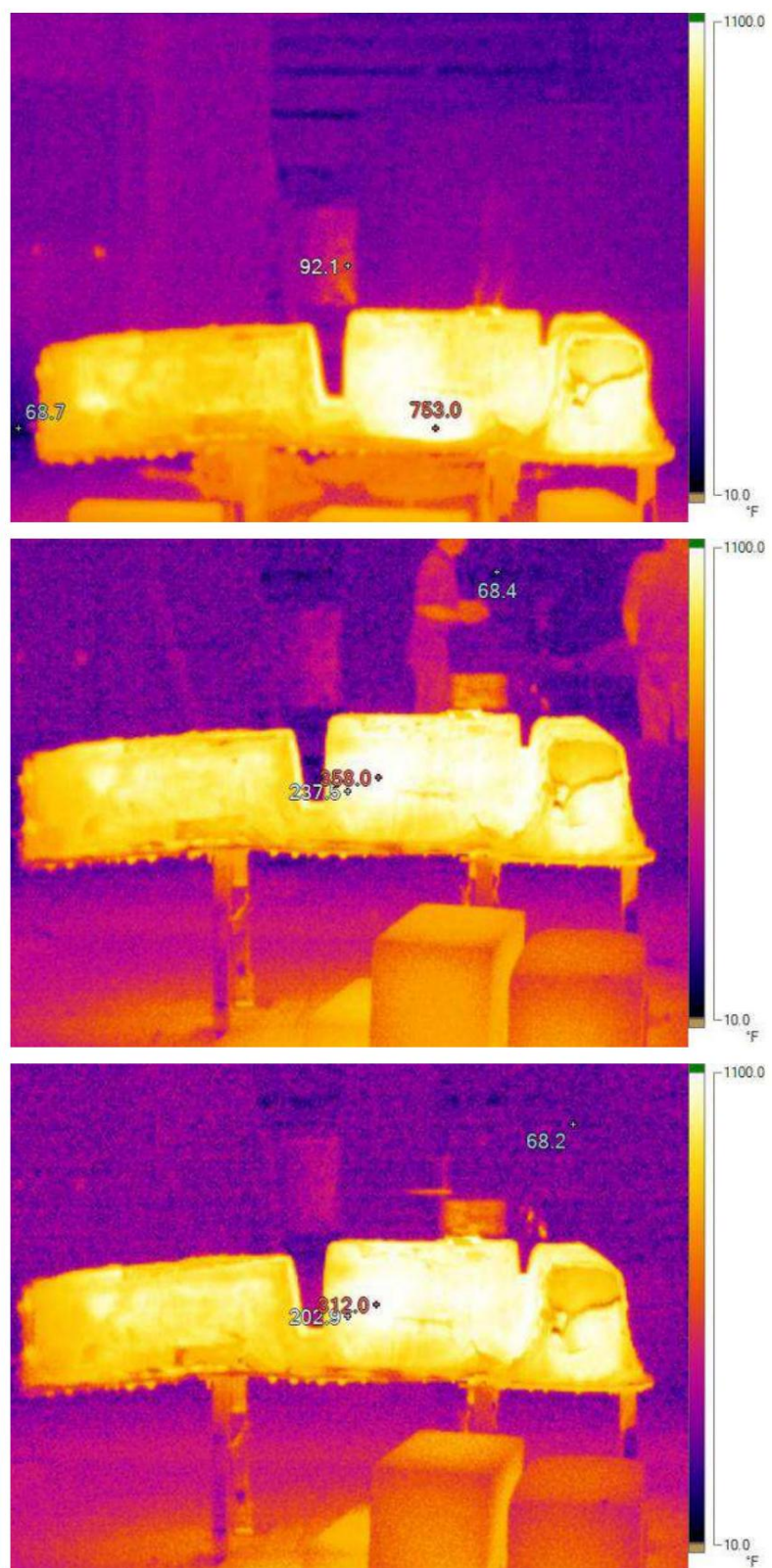


Figura 56 Imagine termică 0 ore (sus); 2 ore (mijloc); și 3 ore (de jos) după încetarea flăcării vizibile

## 6.2 Testarea suprimării

Testele de suprimare au fost efectuate la instalația de testare MFRI de la 4500 Paint Brach Parkway, College Park, Maryland 20742 între 27 martie 2013 și 3 aprilie 2013, în conformitate cu supravegherea lui Marty Lepore de la MFRI și a lui R. Thomas Long, Jr., Andrew Blum, Thomas Bress și Benjamin Cotts de la Exponent. Au fost efectuate șase teste; trei folosind bateria A (desemnate A1, A2 și A3) și trei folosind bateria B (desemnate B1, B2 și B3). Pentru fiecare tip baterie, două dintre teste au fost efectuate cu acumulatorul singur poziționat în interiorul VFT (A1, A2, B1 și B2) și un test a fost efectuat cu finisaje interioare/tapițerie tipice instalat în VFT în plus față de acumulatorul (A3 și B3), așa cum este descris în secțiune 5.2. Testele au fost aranjate în acest mod pentru a evalua repetabilitatea expunerii la foc inducerea evadării termice în acumulatorul și pentru a colecta observații cu privire la diferențe între un incendiu numai de baterie și un incendiu care implică o baterie și finisaje/tapițerie interioare ale vehiculului. Feedback-ul comunității de pompieri a indicat că orice recomandări de instruire ar fi fii cel mai bine primit dacă incendiile ar părea cât mai realiste posibil.

### 6.2.1 Testul bateriei A1

Bateria A este un pachet de baterii HV de 4,4 kWh închis într-o carcasă metalică și a fost montat rigid în partea inferioară a zonei de încărcare din spate a VFT, așa cum este descris anterior în secțiunile 4.1.1 și 5.2. Testul A1 a fost efectuat pe 27 martie 2013, la aproximativ 14:00. La începutul testului, vremea a fost înnorat, cu temperaturi de aproximativ 51 °F și o umiditate relativă de aproximativ 40%. Vântul a fost dinspre vest-nord-vest, cu o viteză medie a vântului de 15 mile pe oră (mph) și rafale de până la 24 mph. Următoarele secțiuni rezumă datele colectate de Exponent în timpul testului de suprimare A1.

#### 6.2.1.1 Observații de testare

Tabelul 10 rezumă evenimentele cheie observate de personalul Exponent în timpul testării de suprimare. Imaginile la momente semnificative de testare sunt furnizate în Figura 57 și Figura 58. În general, testul a demonstrat că o sursă externă de căldură, cum ar fi arzătoarele cu propan, ar putea induce bateria A în fuga termică în timp ce a fost poziționat în interiorul VFT și are ca rezultat eliberarea vizibilă și aprinderea materialului electrolit. Au fost zgomote puternice din interiorul bateriei scânteii auzite și vizibile au fost observate de multe ori pe parcursul testului. fum alb

și degajarea de gaze albe au fost observate de mai multe ori și au fost în concordanță cu eliberarea de material electrolitic inflamabil din celule individuale. Cu toate acestea, fără proiectile violente, explozii sau explozii au fost observate în timpul testului în timp ce bateria a fost expusă arzătoarelor, în timp ce era în stare de ardere liberă, în timp ce era suprimat sau după eforturi de suprimare încetate.

Odată ce a început suprimarea manuală, incendiul inițial al bateriei a fost rapid doborât (în termen de aproximativ 25 de secunde), cu toate acestea, bateria a continuat să fumeze și să scadă gaz pentru ceva timp după aceea. În mai multe rânduri, gazele reziduale au fost reaprinse și au avut nevoie de apă suplimentară pentru a suprima flăcările reaprinse. Eforturile de suprimare activă au încetat aproximativ șase minute după prima aplicare de apă și într-o oră, exteriorul bateriei revenise la aproape de temperaturile ambiante. Consultați secțiunile 6.2.1.2 și 6.2.1.3 pentru mai multe detalii despre stingerea incendiilor eforturile și Secțiunea 6.2.1.6 pentru mai multe detalii despre operațiunile de revizie.

Tabelul 10 Observații cheie ale testului A1

Time	Eveniment
0:00:00	Porniți DAQ și camere video
0:01:27	Aprindeți arzătoarele
0:01:30	Fum alb produs
0:02:28	Sunet pop auzit din interiorul bateriei (pops)
0:02:40	Producția de fum alb crește
0:02:59 – 0:04:32	Pops sporadice, măbind dimensiunea flăcării
0:05:20	Pops în creștere; fum întunecat produs
0:05:29	Pops
0:06:05	Creșterea dimensiunii focului; popsuri constante; fum mai întunecat produs
0:07:00 – 0:07:40	Pops constant; fum greu
0:08:27	Arzătoarele s-au oprit, nicio modificare vizibilă a mărimii focului
0:09:24	Începe suprimarea
0:09:49 – 0:10:20	Pops
0:10:54	Focul bateriei s-a aprins și a fost suprimat

Timp	Eveniment
0:11:45	Focul bateriei s-a aprins și a fost suprimat
0:12:15 – 0:12:23	S-au observat scântei electrice
0:13:00	Pops
0:14:30	Începeți aplicarea apei în porturile din spate ale bateriei
0:14:43	Scântei observate
0:18:26 – 0:19:04	Gaze off / fum alb
0:23:18	Pops
0:35:20	Gaze off / fum alb
1:00:00	Achiziția datelor este dezactivată





Figura 57 Test A1: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzatoare oprite (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3



Figura 58 Testul A1: Începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3

## 6.2.1.2 Măsurătorile debitului de apă

După cum se raportează în Tabelul 11, incendiul inițial al bateriei a fost doborât rapid de MFRI după aproximativ 23 de secunde de aplicare a apei la un debit de 125 gpm. Cu toate acestea, bateria a continuat să fumeze, fum de gaz alb, și reaprinde pentru ceva timp după aceea, ceea ce a cerut șapte aplicații suplimentare de apă pentru timpi cuprinși între patru și douăzeci și șase de secunde. Toate eforturile active de suprimare au încetat la aproximativ șase minute după prima aplicare a apei. Exponent estimează că a fost folosit un total de aproximativ 275 de galoane de apă pentru a controla incendiul Testul A1.

Tabelul 11 Test A1 Timp de curgere a apei

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:09:24	0:09:47	0:00:23	48	
0:10:17	0:10:21	0:00:04	8	
0:11:34	0:12:00	0:00:26	54	
0:12:17	0:12:38	0:00:21	44	
0:13:04	0:13:24	0:00:20	42	
0:13:33	0:13:52	0:00:19	40	
0:14:54	0:15:02	0:00:08	17	
0:15:06	0:15:17	0:00:11	23	
	Total	0:02:12	275	

## 6.2.1.3 Tactici și observații ale pompierilor

În timpul testului A1, aproximativ la marca de paisprezece minute, pompierul de pe duză a spus:

„Nu putem obține apă acolo unde trebuie.” Discuțiile post-test cu pompierii au reflectat acest lucru afirmativ. Cea mai mare provocare cu care s-au confruntat pompierii a fost aplicarea cu apă acolo unde se aflau de fapt avea loc un incendiu, care se afla în interiorul carcasei metalice a bateriei și cel mai probabil la celule individuale. Deoarece pompierii nu au putut avea acces direct în interiorul bateriei, lor tactica principală a fost aplicarea intermitentă de apă asupra flăcărilor care s-au reaprins după suprimarea inițială.

În timp ce această aplicare intermitentă a redus volumul total de aplicare a apei, un debit constant de apă poate să fi răcit carcasa metalică a bateriei, reducând astfel șansa de a continua fuga termică a celulei.



#### 6.2.1.4 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de către Exponent în timpul Testului A1 o dată fiecare secunda. Temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului și a acestora timpii corespunzători au fost rezumați în Tabelul 12 și Tabelul 13 și reprezentați grafic în Figura 59 și Figura 60. <sup>59</sup> Majoritatea temperaturilor maxime și fluxurilor de căldură măsurate în timpul testului a avut loc înainte ca arzătoarele să fie oprite. TC4 a experimentat un maxim temperatura după ce arzătoarele au fost oprite, chiar înainte de începerea suprimării.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC 1, 4, 5, 7, 10 și 11) au fost între 766 și 2547 °F. Odată ce au început eforturile de suprimare, temperaturile au fost rapid a scăzut aproape de mediu cu câteva vârfuri între 10 și 15 minute pe măsură ce bateria s-a reaprins.

Măsurătorile fluxului de căldură au urmat o tendință similară cu datele TC, unde toate au fost maxime valorile au fost găsite înainte ca arzătoarele să fie oprite. Fluxul maxim de căldură la o distanță de 5 picioare față de VFT a fost de 3,5 kW/m<sup>2</sup>, iar la distanțe ulterioare, 15, 20 și 25 de picioare, fluxurile maxime de căldură au fost între 1,6 și 2,6 kW/m<sup>2</sup>.

Tabelul 12 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului A1

TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp
1	1760	0:08:11	7	1408	0:03:26
4	1156	0:09:11	10	2547	0:06:51
5	766	0:08:24	11	1827	0:06:45

<sup>59</sup> Câteva dintre TC-uri au eșuat în timpul testării sau au furnizat valori eronate probabil în timpul evenimentelor de scurtcircuitare/suprimare. Ca atare, pentru a oferi diagrame mai clare și tabele rezumative, a fost trasat/raportat câte un TC pentru fiecare parte a exteriorului ale bateriei (TC 1, 7, 10 și 11) și două TC din partea de sus a bateriei (TC 4 și 5) au fost reprezentate/raportate.

Tabelul 13 Rezumatul Măsurătorilor pentru fluxul termic maxim al testului A1

Măsurare	Fluxul de căldură (kW/m <sup>2</sup> )	Time
HFG1 (5 picioare)	3.5	0:01:37
HFG2 (15 picioare)	2.6	0:03:57
HFG3 (20 de picioare)	2.0	0:04:17
HFG4 (25 picioare)	1.6	0:02:40

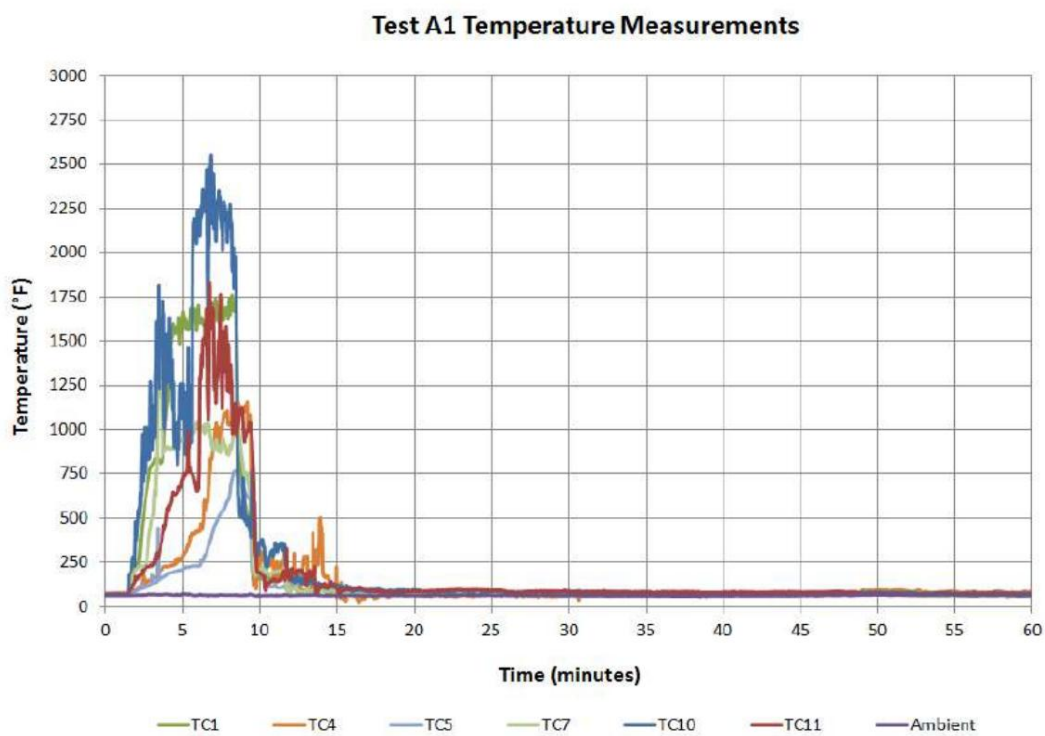


Figura 59 Testul A1 TC plot

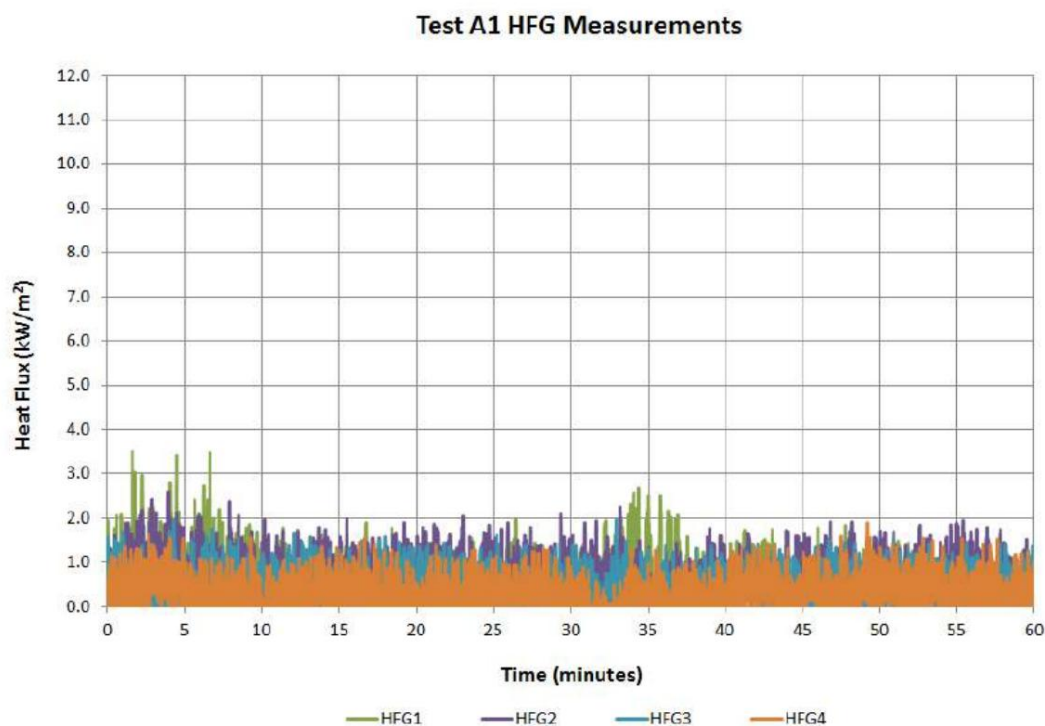


Figura 60 Testul A1 HFG plot

### 6.2.1.5 Măsurători electrice

Măsurătorile de curent și tensiune pentru Testul A1 au fost efectuate utilizând configurația și metodologia descrisă anterior. Măsurătorile au fost înregistrate în timpul unei porniri inițiale perioadă de încercare înainte de aprindere sau de stingere a incendiului pentru a determina o linie de bază măsurarea surselor de zgomot de fond. Măsurătorile au continuat pe parcursul întregului test și un rezumat al rezultatelor în timpul activităților de stingere a incendiilor este prezentat în Tabelul 14 de mai jos, afișând valorile maxime, minime și trei quartile pentru toate cele patru măsurători înregistrate.

Măsurătorile complete sunt furnizate în Anexa E.

Tabelul 14 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test A1

	Mediana maximă	Q3		Î1	Minim
Curentul duzei	1.5	0,2	0,0	-0,2	-1,8
Tensiunea duzei	0,37	0,01	0,00	-0,01	-0,05
Curentul șasiului	5	--	--	--	-5
Tensiune șasiu	1.09	0,48	0,00	-0,48	-0,99

O analiză detaliată a semnalului înregistrat la rezoluție completă de 2 kHz pentru curentul și tensiunea duzei au fost efectuate măsurători. Măsurători de curent în timpul activităților de stingere a incendiilor a rămas în aceleași niveluri de zgomot ca cele observate în timpul înregistrării inițiale de fundal și rezultatele de mai sus sunt rezumate pentru filtrarea mediană a datelor de 50 ms pentru a reduce efectul aparent al zgomotului asupra rezultatelor. La fel, măsurătorile tensiunii în timpul stingerii incendiilor activitățile au rămas în general în aceleași niveluri de zgomot observate în timpul de fond inițial înregistrare. Scurte abateri de la nivelul de fundal au fost observate ocazional când pompierii au introdus duza în interiorul șasiului, posibil contactând o porțiune expusă a baterie, cu toate acestea, aceste modificări ale tensiunii au fost scurte și nu au fost înregistrate niveluri de tensiune în exces de  $\pm 0,4$  V.

Rezoluția curentului de șasiu a fost setată la  $\pm 5$  mA în acest test. Nu au fost depășite măsurători această valoare în orice moment în timpul activităților de stingere a incendiilor. În cele din urmă, măsurătorile tensiunii pe șasiu indică o mică tensiune DC a fost prezentă intermitent pe corpul șasiului (consistent cu teste post-măsurare), cu abateri scurte de până la  $\pm 1,1$  V.

#### 6.2.1.6 Rezultatele reviziei

Imaginile termice ale bateriei au început la 25 de minute, aproximativ 10 minute după activare activitățile de suprimare au încetat, să monitorizeze, împreună cu TC-urile bateriei, bateria după foc. După cum se arată în Figura 61, imagistica termică a demonstrat că exteriorul bateriei era sub 100 °F pe toate părțile la 10 minute după ce eforturile de suprimare au încetat. Bateria a rămas în VFT pentru încă 35 de minute și monitorizat cu imagini termice și TC pentru orice activitate suplimentară. După 60 de minute, TC-urile exterioare instalate pe baterie au scăzut mai mult până la niveluri apropiate de mediu, așa cum este raportat în Tabelul 15, și testul a fost oprit. Momentan, toate celelalte semne de ardere, inclusiv degajarea de gaze și fumul încetaseră, de asemenea.

Bateria a rămas în VFT pentru restul zilei și a fost scoasă diminea a următoare după un timp scurs de 18 ore. Înainte de îndepărtare, rezultă o imagine termică a indicat că temperaturile exterioare ale carcasei au fost aproximativ ambiante. A fost mutat pe o baterie zonă de depozitare fără probleme.

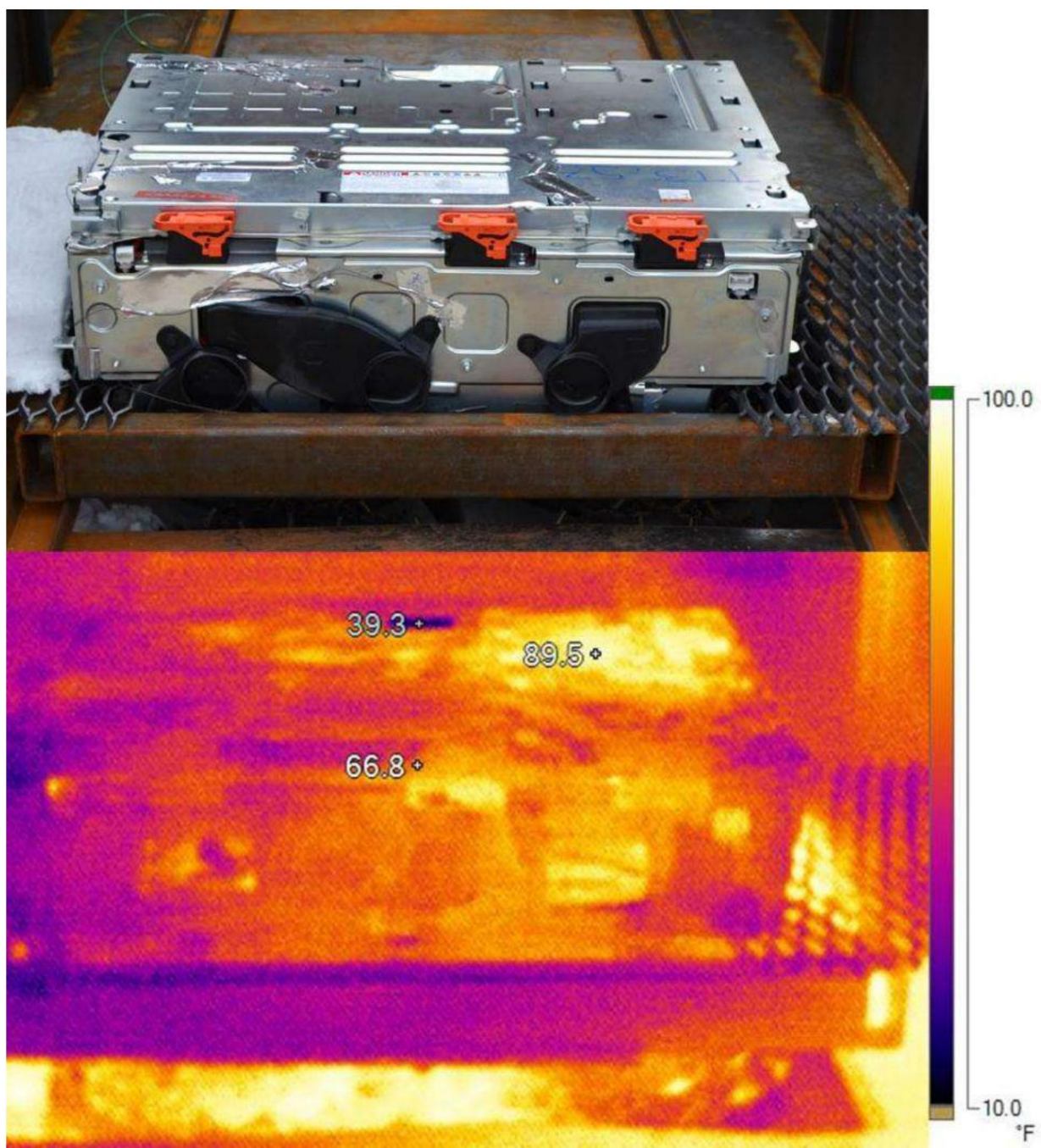


Figura 61 Bateria A1 din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vizualizare) a bateriei A1 la 25 de minute (jos)

Tabelul 15 Rezumatul măsurătorilor de temperatură a testului A1 după 60 de minute

TC	Temperatura după 60 de minute (°F)	TC	Temperatura după 60 de minute (°F)
1	62	7	65
4	79	10	68
5	63	11	66

#### 6.2.1.7 Rezultatele prelevării de apă

Prelevarea detaliată a apei nu a fost efectuată pentru Testul A1. Probe de apă pentru fiecare tip de baterie au fost analizate pentru testul de stingere a incendiilor în cel mai rău caz așteptat, care a inclus finisaje interioare (Testele A3 și B3). Consultați Secțiunea 6.2.3.7 pentru rezultatele prelevării de apă pentru bateria A.

## 6.2.2 Testul bateriei A2

Bateria A este un pachet de baterii HV de 4,4 kWh închis într-o carcasă metalică și a fost montat rigid în partea inferioară a zonei de încărcare din spate a VFT, așa cum este descris anterior în secțiunile 4.1.1 și 5.2. Testul A2 a fost efectuat pe 28 martie 2013, aproximativ la ora 10:30. La începutul testului, vremea a fost înnorat, cu temperaturi de aproximativ 47 °F și o umiditate relativă de aproximativ 56%. Vântul a fost dinspre vest-nord-vest, cu o viteză medie a vântului de 13 mile pe oră (mph) și rafale de până la 17 mph. Următoarele secțiuni rezumă datele colectate de Exponent în timpul testului de suprimare A2.

#### 6.2.2.1 Observații de testare

Tabelul 16 rezumă evenimentele cheie observate de personalul Exponent în timpul testului A2. Imagini la timpii de testare semnificativi sunt furnizați în Figura 62 și Figura 63. În general, testul efectuat similar testului A1, unde bateria a fost indusă în fugă termică de către arzătoare și a făcut-o nu scădea semnificativ dimensiunea focului odată ce arzătoarele au fost oprite. Eliberare vizibilă și s-a observat aprinderea materialului electrolit și s-a observat un zgomot puternic din interiorul bateriei s-a auzit coincizând cu observarea arcurilor/scânteilor vizibile de multe ori. The fumul alb și degajarea de gaze albe observate de mai multe ori au fost în concordanță cu eliberarea de material electrolitic. De interes în timpul testului A2, a fost capacitatea de a prezice lansarea

de electrolit. După cum sa menționat în Tabelul 16, au existat multe situații în care ați putut auzi a „whoosh”, observați arcul electric și apoi fumul alb greu din interiorul bateriei.

Acest lucru s-a întâmplat în mai multe rânduri și a fost observat și observat și de către pompieri, așa cum discutat în Secțiunea 6.2.2.3. Cu toate acestea, nu au existat proiectile violente, explozii sau explozii observat în timpul testului în timp ce bateria a fost expusă la arzătoare, în timp ce era într-o ardere liberă starea, în timp ce era suprimată sau după ce eforturile de suprimare au încetat.

Odată ce a început suprimarea, incendiul inițial al bateriei a fost rapid doborât (în termen de aproximativ 20 de secunde), cu toate acestea, bateria a continuat să fumeze și să scadă gaz timp de ceva timp după aceea. În mai multe rânduri, gazele reziduale au fost reaprinse și au avut nevoie de apă suplimentară suprima flăcările reaprinse. Eforturile de suprimare activă au încetat aproximativ treizeci și șase minute după prima aplicare a apei și în decurs de o ora, exteriorul bateriei avea revenit la temperaturi apropiate ale mediului ambiant. Consultați Secțiunile 6.2.2.2 și 6.2.2.3 pentru mai multe detalii despre eforturile de stingere a incendiilor și secțiunea 6.2.2.6 pentru mai multe detalii despre operațiunile de revizie.

Tabelul 16 Observații cheie ale testului A2

Time	Eveniment
0:00:00	Porniți DAQ și camere video
0:01:11	Aprindeți arzătoarele
0:02:00	Fum alb produs
0:02:15	Sunet pop auzit din interiorul bateriei (pops)
0:02:29	Pops
0:02:37	Flăcări observate pe baterie
0:03:09 – 0:05:00	Pops sporadice, măriră dimensiunea flăcării
0:05:08	Fum negru produs
0:05:22 – 0:05:31	S-au auzit popi mai tari
0:05:38 – 0:07:01	Pops cresc, fumul negru crește
0:07:15	Flăcările se extind în spate și în partea de sus a vehiculului
0:08:14	Arzătoarele s-au oprit, nicio modificare vizibilă a mărimii focului
0:08:28 –	Popuri constante și fum negru

Timp	Eveniment
0:08:52	
0:09:11	Suprimarea începe din spatele vehiculului
0:09:48	S-a reaprins focul bateriei
0:10:21 – 0:12:57	Pops sporadice cu fum alb greu de la gaze
0:13:29 0 0:15:07	Ar auzi un „whoosh”, apoi ar observa arcul și fumul alb greu de la gaze
0:15:21	S-a reaprins focul bateriei
0:15:33	Pompierii atacă focul de la geamul lateral al pasagerului
0:16:02 – 0:21:48	Pops sporadice cu fum alb greu de la gaze
0:23:06	S-a reaprins focul bateriei
0:24:26	S-a reaprins focul bateriei
0:26:31	Pop mic
0:26:48	Pompierii atacă focul din spatele vehiculului
0:27:36 – 0:37:20	Pops mici ocazional
0:44:00	S-a reaprins focul bateriei
0:44:49	Pompierii introduc duza direct în orificiul de aerisire din dreapta de pe carcasa metalică a bateriei
0:47:55	Pop
1:00:00	Sistemul DAQ oprit





Figura 62 Testul A2: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzatoare oprite (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3



Figura 63 Testul A2: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); post-suprimare (dreapta jos)

## 6.2.2.2 Măsurătorile debitului de apă

După cum se raportează în Tabelul 17, incendiul inițial al bateriei a fost doborât rapid de MFRI după aproximativ 18 secunde de aplicare a apei la un debit de 125 gpm. Cu toate acestea, bateria a continuat să fumeze, fum de gaz alb, și reaprinde pentru ceva timp după aceea, ceea ce a cerut zece aplicații suplimentare de apă pentru timpi cuprinși între unsprezece și treizeci și patru de secunde. Toate eforturile de suprimare activă au încetat la aproximativ treizeci și șase de minute după prima aplicare a apă. Exponent estimează că a fost folosit un total de aproximativ 442 de galoane de apă pentru a controla incendiul în testul A2.

Tabelul 17 Testul A2 Timpi de curgere a apei

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:09:11	0:09:29	0:00:18	37	
0:09:57	0:10:10	0:00:13	27	
0:17:06	0:17:28	0:00:22	46	
0:19:08	0:19:23	0:00:15	31	
0:20:57	0:21:09	0:00:12	25	
0:23:15	0:23:34	0:00:19	40	
0:23:38	0:24:03	0:00:25	52	
0:24:37	0:25:01	0:00:24	50	
0:25:15	0:25:26	0:00:11	23	
0:44:49	0:45:08	0:00:19	40	
0:45:13	0:45:47	0:00:34	71	
	Total	0:03:32	442	

## 6.2.2.3 Tactici și observații ale pompierilor

După test, discuțiile cu pompierii au făcut ecou declarațiile lor de la Testul A1. The pompierii au indicat că cea mai mare provocare a fost aplicarea apei acolo unde a fost incendiul de fapt, care se afla în interiorul carcasei metalice a bateriei. Din moment ce nu au putut să ajungă acces direct în interiorul bateriei, tactica lor a fost să aplice apă doar flăcărilor care s-au reaprins după suprimarea inițială.

În mod interesant, pompierul a indicat că au putut auzi o eliberare de „presiune” urmată de fum alb și apoi flăcări, în esență au putut prezice când avea să se producă incendiul reaprinde. Aceste observații au fost, de asemenea, în concordanță cu cele ale exponentului, vezi Secțiunea 6.2.2.1. În plus, un punct fierbinte localizat pe baterie, situat pe partea pasagerului vehiculului, a fost observat de pompieri și au avut ca rezultat schimbarea poziționării acestora. Pompierii mutat din spatele vehiculului pe partea pasagerului pentru a obține un acces mai bun la acea porțiune a bateriei pentru a o răci.

#### 6.2.2.4 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de către Exponent în timpul Testului A2 o dată fiecare secundă. Temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului și a acestora timpii corespunzători au fost rezumați în Tabelul 18 și Tabelul 19 și reprezentați grafic în Figura 64 și Figura 65. <sup>60</sup> Majoritatea temperaturilor maxime măsurate în timpul testului au avut loc înainte ca arzătoarele să fie oprite. TC5 a experimentat o temperatură maximă după arzătoarele au fost oprite înainte de începerea suprimării.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC 1, 4, 5, 7, 10 și 11) au fost între 510 și 1196 °F. Odată ce au început eforturile de suprimare, temperaturile au fost rapid scăzute aproape de mediu cu câteva vârfuri între 10 și 25 de minute pe măsură ce bateria s-a reaprins.

Măsurătorile fluxului de căldură au fost diferite de datele TC, ca majoritatea valorilor maxime au fost găsite după oprirea arzătoarelor și după eforturile inițiale de suprimare. Fluxul maxim de căldură la o distanță de 5 picioare de VFT a fost de 3,7 kW/m<sup>2</sup> și la mai departe, 15, 20 și 25 de picioare, fluxurile maxime de căldură au fost între 1,6 și 2,2 kW/m<sup>2</sup>.

---

<sup>60</sup> Pentru coerență, aceleași TC raportate și reprezentate grafic pentru Testul A1 (TC 1, 4, 5, 7, 10, 11) au fost rezumate și reprezentate grafic pentru Testul A2 pentru comparație directă.



Tabelul 18 Rezumatul Măsurătorilor Temperaturii Maxime Test A2

TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp
1	1107	0:05:25	7	1001	0:05:44
4	987	0:07:58	10	1196	0:07:48
5	510	0:08:26	11	1138	0:06:39

Tabelul 19 Rezumatul Măsurătorilor fluxului de căldură maxim test A2

Măsurare	Fluxul de căldură (kW/m <sup>2</sup> )	Timp
HFG1 (5 picioare)	3.7	0:04:55
HFG2 (15 picioare)	2.2	0:43:00
HFG3 (20 de picioare)	1.6	0:13:51
HFG4 (25 picioare)	1.8	0:09:15

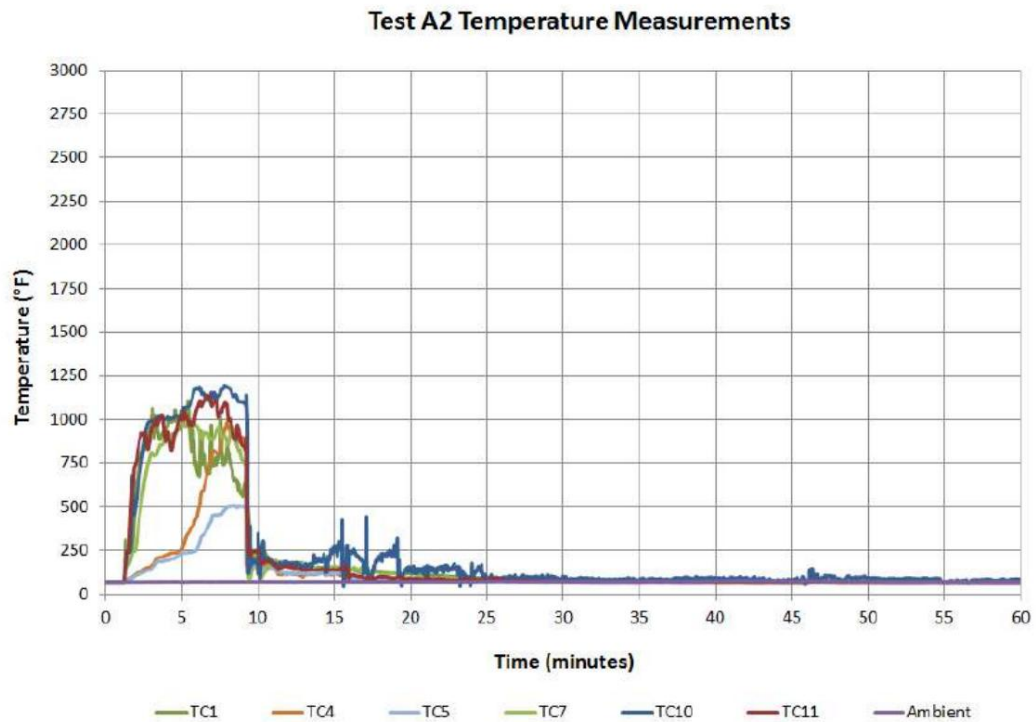


Figura 64 Testul A2 TC plot

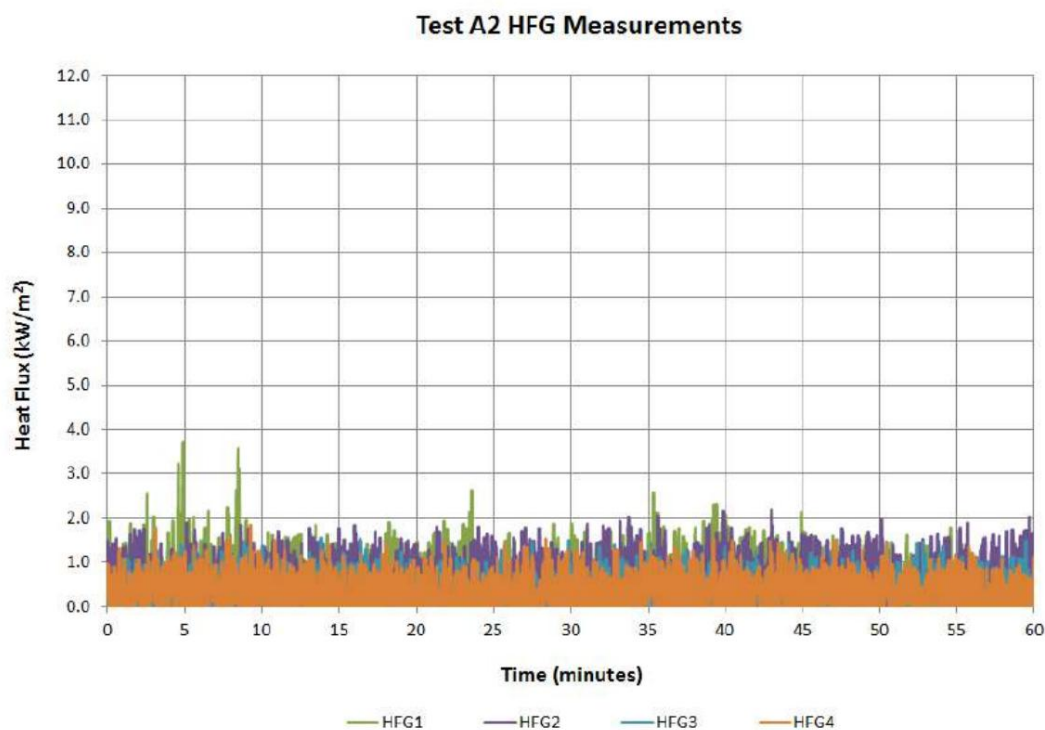


Figura 65 Testul A2 HFG plot

#### 6.2.2.5 Măsurători electrice

Măsurătorile de curent și tensiune pentru Testul A2 au fost efectuate utilizând configurația și metodologia descrisă anterior. Măsurătorile au fost înregistrate în timpul unei porniri inițiale perioada anterioară aprinderii sau stingerii incendiului pentru a determina o măsurare de bază a surse de zgomot de fond. Măsurătorile au continuat pe parcursul întregului test și un rezumat a rezultatelor în timpul activităților de stingere a incendiilor sunt prezentate în Tabelul 20 de mai jos, care arată valorile maxime, minime și trei quartile pentru toate cele patru măsurători înregistrate. Deplin măsurătorile sunt furnizate în Anexa E.

Tabelul 20 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) de test A2

	Maxim	Q3	Median	Î1	Minim
Curentul duzei	1.3	0,2	0,0	-0,2	-1,9
Tensiunea duzei	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,28
Curentul șasiului	5	--	--	--	-5
Tensiune șasiu	1.23	0,86	0,28	-0,33	-0,67

O analiză detaliată a semnalului înregistrat la rezoluție completă de 2 kHz pentru curentul și tensiunea duzei au fost efectuate măsurători. Măsurători de curent în timpul activităților de stingere a incendiilor a rămas în aceleași niveluri de zgomot ca cele observate în timpul înregistrării inițiale de fundal și rezultatele de mai sus sunt rezumate pentru filtrarea mediană a datelor de 50 ms pentru a reduce efectul aparent al zgomotului asupra rezultatelor. La fel, măsurătorile tensiunii în timpul stingerii incendiilor activitățile au rămas în general în aceleași niveluri de zgomot observate în timpul de fond inițial înregistrare. Scurte abateri de la nivelul de fundal au fost observate ocazional când pompierii au introdus duza în interiorul șasiului, posibil contactând o porțiune expusă a baterie, cu toate acestea, aceste modificări ale tensiunii au fost scurte și nu au fost înregistrate niveluri de tensiune în exces de  $\pm 0,3$  V.

Rezoluția curentului de șasiu a fost setată la  $\pm 5$  mA în acest test. Nu au fost depășite măsurători această valoare în orice moment în timpul activităților de stingere a incendiilor. În cele din urmă, măsurătorile tensiunii pe șasiu a indicat o tensiune continuă mică de aproximativ 0,3 V a fost prezentă intermitent pe corpul lui șasiul (consecvent cu testele post-măsurare) cu abateri scurte de până la  $\pm 1,23$  V.

#### 6.2.2.6 Rezultatele reviziei

Imaginile termice ale bateriei au început la aproximativ 40 de minute, aproximativ 5 minute înainte de ultimele activități de suprimare și ultima dată când au fost observate flăcări în jurul baterie. Imaginile termice împreună cu TC-urile bateriei, au fost înregistrate pentru a monitoriza bateria după incendiu pentru a stabili când ar putea fi reparat în siguranță. După cum se arată în Figura 66, termică Imaginile au demonstrat că exteriorul bateriei era încă semnificativ fierbinte în pasagerul din față partea laterală a bateriei cu o temperatură maximă de 543 °F. Este de remarcat faptul că acest „punct fierbinte” a fost neidentificat de TC-urile externe discrete, localizate ale bateriei. După aproximativ patru minute această imagine termică incendiul a reaprins în această locație și a fost înăbușit de pompieri.

După ultimele activități de suprimare în jur de 45 de minute, bateria a fost lăsată în VFT pentru încă 15 minute și monitorizat cu imagini termice și TC-uri pentru orice activitate suplimentară. După 60 de minute, TC-urile exterioare instalate pe baterie scăzuseră până la niveluri apropiate de mediu, așa cum este raportat în Tabelul 21, iar testul a fost oprit. În acest moment, toate celelalte semne de ardere, inclusiv degajarea de gaze și fumul încetaseră, de asemenea.



Bateria a rămas în VFT aproximativ încă o oră și apoi a fost scoasă. Aceasta a fost mutat într-o zonă de stocare a bateriei fără probleme.

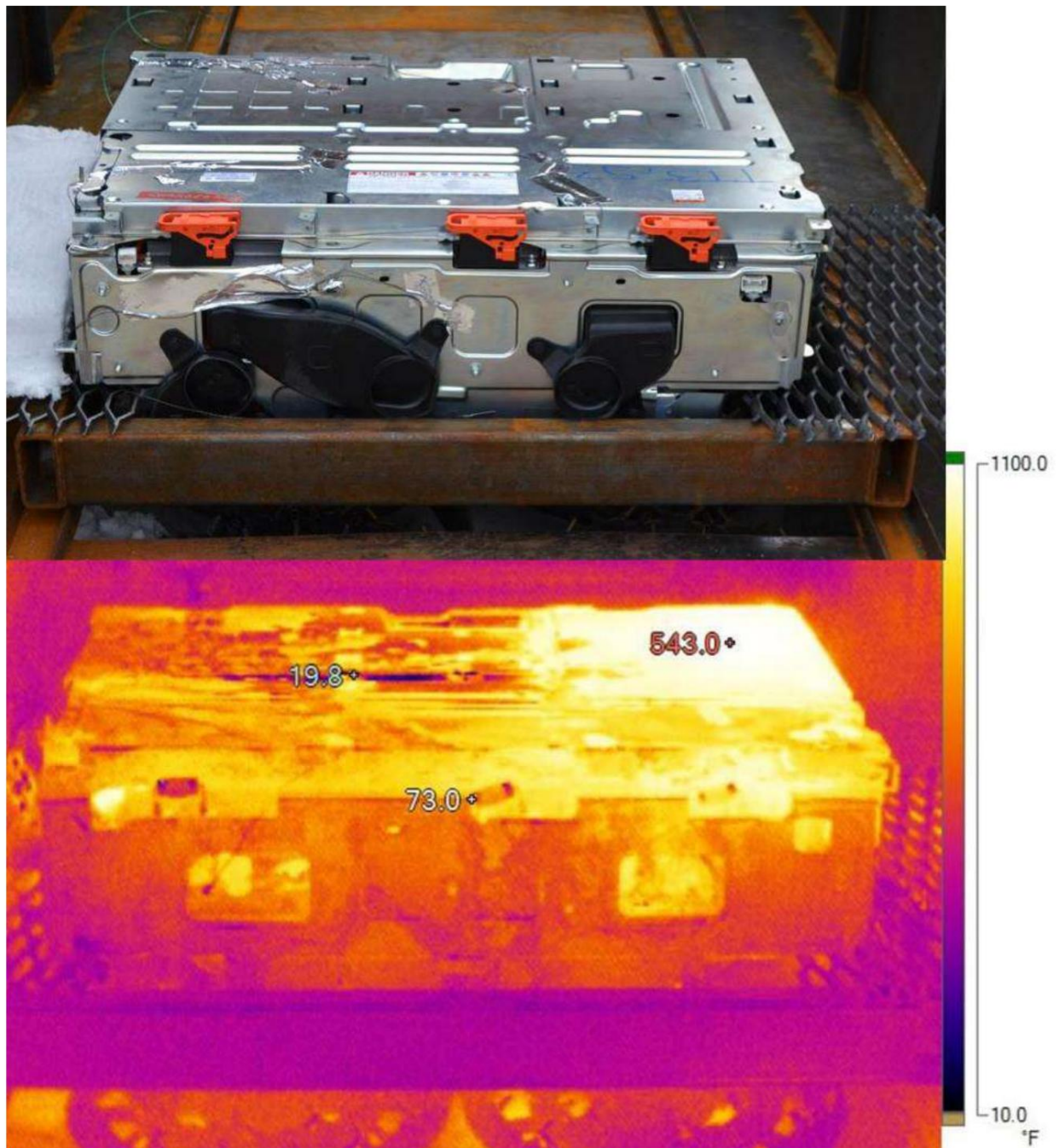


Figura 66 Bateria A2 din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vizualizare) a bateriei A2 la 40 de minute, ilustrând „punctul fierbinte” (de jos)

Tabelul 21 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului A2 după 60 de minute

TC	Temperatura după 60 de minute (°F)	TC	Temperatura după 60 de minute (°F)
1	68	7	67
4	N/A <sup>61</sup>	10	83
5	63	11	65

#### 6.2.2.7 Rezultatele prelevării de apă

Prelevarea detaliată a apei nu a fost efectuată pentru Testul A2. Probe de apă pentru fiecare tip de baterie au fost analizate pentru testul de stingere a incendiilor în cel mai rău caz așteptat, care a inclus finisaje interioare (Testele A3 și B3). Consultați Secțiunea 6.2.3.7 pentru rezultatele prelevării de apă pentru bateria A.

### 6.2.3 Testul bateriei A3

Bateria A este un pachet de baterii HV de 4,4 kWh închis într-o carcasă metalică și a fost montat rigid în partea inferioară a zonei de încărcare din spate a VFT-ului împreună cu alte finisaje interioare, așa cum este descris anterior în Secțiunile 4.1.1 și 5.2. Testul A3 a fost efectuat pe 28 martie 2013, la oră aproximativ 14.00. La începutul testului, vremea era înnoțată, cu temperaturi de aproximativ 50 °F și o umiditate relativă de aproximativ 42%. Vântul era în afara nord-vest, cu o viteză medie a vântului de 13 mph și rafale de până la 24 mph. Următoarele secțiuni rezumă datele colectate de Exponent în timpul testului de suprimare A3.

#### 6.2.3.1 Observații de testare

Tabelul 22 rezumă evenimentele cheie observate de personalul Exponent în timpul testului A3. Imagini la timpuri de testare semnificative sunt furnizate în Figura 67 și Figura 68. În general, testul efectuat mai aproape de Testul A2 decât de A1, unde un timp suplimentar semnificativ pentru operațiunile de suprimare trebuia să controleze incendiul. Arzătoarele au indus bateria în evaporare termică și dimensiunea focului nu a scăzut semnificativ odată ce arzătoarele au fost OPRITE, de fapt vizual observațiile asupra mărimii focului au indicat că ar fi putut crește în intensitate după ce arzătoarele au fost OFF. Similar testelor A1 și A2, eliberarea și aprinderea vizibilă a electrolitului inflamabil

<sup>61</sup> TC4 a fost consumat în timpul testului A2 în jurul valorii de 20 de minute, ca atare nu au fost înregistrate date după acest punct

s-a observat material și s-au auzit zgomote puternice din interiorul bateriei care coincid cu observarea arcului/scânteilor vizibile și a gazării în multe ocazii. Albul fumului și degajarea de gaze observate de mai multe ori au fost în concordanță cu eliberarea de material electrolit inflamabil. De multe ori, se auzea un „whoosh” distinct, urmat de alb eliminarea fumului și o reaprindere, așa cum este descris în secțiunea 6.2.2.1 pentru testul A2. Cu toate acestea, nu Proiectile violente, explozii sau explozii au fost observate în timpul testului în timp ce bateria era expus la arzători, în timp ce era în stare de ardere liberă, în timp ce era suprimat sau după eforturile de suprimare au încetat. De interes în timpul testului A3, a fost includerea unui interior suplimentar finisaje, care au crescut foarte mult aspectul vizual al intensității focului și al înălțimii flăcării înainte de operațiunile de suprimare de către pompieri în comparație cu un pachet de baterii de sine stătător care a fost folosit în testul A1 și A2.

Odată ce a început suprimarea, incendiul inițial al bateriei a necesitat mult mai mult timp pentru a doborî (peste 1 minut) decât testele A1 și A2. După aceea, bateria a continuat să fumeze, scăpa de gaz și reaprinde. Eforturile de suprimare activă au încetat la aproximativ patruzeci și nouă de minute după prima aplicarea apei și în decurs de o oră, exteriorul bateriei a revenit la mediul apropiat temperaturi, așa cum au fost verificate prin TC și imagini termice. Vezi secțiunile 6.2.3.2 și 6.2.3.3 pentru mai multe detalii despre eforturile de stingere a incendiilor și secțiunea 6.2.3.6 pentru mai multe detalii despre revizie operațiuni.

Tabelul 22 Testul A3 Observații cheie

Timp	Eveniment
0:00:00	Porniți DAQ și camere video
0:00:58	Aprindeți arzătoarele
0:01:27	Scaunele din spate se aprind
0:02:30	Sunet pop auzit din interiorul bateriei (pops), covorul din spate complet implicat
0:03:10	Jumătatea din spate a vehiculului complet implicată
0:03:33 – 0:03:41	Pops
0:04:10	Scaunul din față implicat

Timp	Eveniment
0:05:00 – 0:05:46	Pops constant
0:06:16	Creșterea fumului
0:06:35	Boom mare
0:06:48	Serii de pop-uri rapide
0:06:59 – 0:07:43	Pops constant
0:08:00	Arzătoarele s-au oprit, nicio modificare vizibilă a mărimii focului
0:08:03 – 0:08:49	Pops și arcuri mari, urmate de o creștere a dimensiunii flăcării
0:09:00	Suprimarea începe din spatele vehiculului
0:09:29 – 0:10:20	Pops constant
0:13:12 – 0:14:51	Arcuri și gaze de fum alb
0:15:33 – 0:16:41	Pops sporadic și fum alb de la gaze
0:17:39	Fum alb de la gazare, focul bateriei s-a aprins
0:18:05 – 0:19:25	Pops sporadice și fum alb greu de la gaze
0:19:57	Pompierii introduc duza direct în orificiul de aerisire din spate din dreapta de pe carcasa metalică a bateriei, rezultând arcuri și popiuri continue
0:21:00 – 0:21:58	Pops sporadic și fum alb de la gaze
0:22:10	S-a reaprins focul bateriei
0:22:51 – 0:24:12	Popsuri sporadice, arcuri și fum alb de la gaze
0:24:25	„Whoosh” s-a auzit, s-a observat fum alb de la gaze, focul bateriei s-a reaprins
0:25:26 – 0:27:08	Pops sporadic și fum alb de la gaze
0:27:15	S-a reaprins focul bateriei
0:27:52 – 0:28:31	Pops sporadic și fum alb de la gaze
0:29:30	Fum alb puternic, focul bateriei reaprins, auto-stins

Timp	Eveniment
0:30:30	Scăderea fumului
0:30:48 – 0:39:05	Pops sporadic și fum alb de la gaze
0:39:14	„Whoosh” s-a auzit, s-a observat fum alb de la gaze, focul bateriei s-a reaprins
0:42:51	Pop puternic
0:44:30	Pops, fum alb de la gaze, focul bateriei s-a reaprins
0:47:43	Fum alb de la gazare, focul bateriei s-a aprins
0:50:27	Pops sporadic și fum alb de la gaze
0:50:33	S-a reaprins focul bateriei
0:51:21	Pops
0:51:28	S-a reaprins focul bateriei
0:51:40	Pop, focul bateriei s-a reaprins
0:52:33	Arc, focul bateriei s-a reaprins
0:53:07	S-a reaprins focul bateriei
0:53:25	S-a reaprins focul bateriei
0:54:32 – 0:55:37	Pompierii aruncă apă peste baterie
0:57:04	Pops
1:00:00	Sistemul DAQ oprit



Figura 67 Test A3: aprindere (stânga sus); spate implicat (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzatoare oprite (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3





Figura 68 Testul A3: Începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3



## 6.2.3.2 Măsurătorile debitului de apă

După cum se raportează în Tabelul 23, incendiul inițial al bateriei a fost doborât de MFRI după aproximativ 1 minut și 12 secunde de aplicare a apei la un debit de 125 gpm. Cu toate acestea, chiar și după această durată de aplicare a apei, bateria a continuat să fumeze, să scadă gaz și să se reaprindă pentru unii timp după aceea, ceea ce a necesitat paisprezece aplicații suplimentare de apă pentru timpi variați între cinci și nouăzeci de secunde. În plus, aproape de sfârșitul testului, duza a fost plasată peste baterie la un debit redus (estimat la jumătate din debitul normal) pentru a îneca exteriorul bateriei în trei ocazii separate cu un flux continuu de apă într-o încercare pentru a răci bateria. Toate eforturile active de suprimare au încetat aproximativ patruzeci și nouă de minute după prima aplicare de apă. Exponent estimează un total de aproximativ 1060 de galoane de apă a fost folosit pentru controlul incendiului în testul A3.

Tabelul 23 Test A3 Timp de curgere a apei

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:09:00	0:10:12	0:01:12	150	
0:10:17	0:10:41	0:00:24	50	
0:17:40	0:17:55	0:00:15	31	
0:19:59	0:20:24	0:00:25	52	
0:22:07	0:22:42	0:00:35	73	
0:24:33	0:24:48	0:00:15	31	
0:24:58	0:25:16	0:00:18	38	
0:25:26	0:25:34	0:00:08	17	
0:27:23	0:28:00	0:00:37	77	
0:32:26	0:32:32	0:00:06	13	
0:33:00	0:33:05	0:00:05	10	
0:52:02	0:53:32	0:01:30	188	
0:53:35	0:53:48	0:00:13	27	
0:53:56	0:54:28	0:00:32	67	
0:54:28	0:54:53	0:00:25	26	Debit redus; estimat la 62,5 gpm
0:54:53	0:55:30	0:00:37	77	

Flow Start Flow	Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:55:30	0:56:06	0:00:36	38	Debit redus; estimat la 62,5 gpm
0:56:37	0:58:10	0:01:33	97	Debit redus; estimat la 62,5 gpm
	Total	0:09:46	1060	

### 6.2.3.3 Tactici și observații ale pompierilor

După discuții de testare cu pompierii au făcut ecou declarațiile lor de la Testul A1 și A2, cu a câteva perspective suplimentare. Pompierii au indicat că cea mai mare provocare a fost aplicarea apă până la locul unde avea loc incendiul, care se afla în interiorul carcasei metalice a bateriei. De când nu au putut să aibă acces direct în interiorul bateriei, tactica lor a fost să aplice doar apă flăcări care s-au reaprins după suprimarea inițială. Această tactică a fost schimbată ușor la sfârșitul testați totuși când au decis să încerce să răcească bateria pur și simplu curgând apă din duză, la aproximativ jumătate din debitul, peste partea de sus a bateriei pentru a îneca practic baterie cu aplicare continuă de apă. Pompierii au putut prezice când a fost incendiul se va reaprinde pe baza auzirii unei eliberări de „presiune” urmată de o eliberare de alb fum. Pompierii au extins această observație anterioară și mai mult după Testul A3. The pompierii au simțit că atunci când fumul alb a ieșit încet din baterie nu se aprindea cu ușurință, totuși, când fumul alb ieșea repede, era mai predispus să se aprindă. The pompierii au raportat că au găsit puncte fierbinți localizate pe baterie care necesitau poziții în mișcare (din spate spre partea pasagerului a VFT) de mai multe ori pentru a obține un acces mai bun la acea porțiune a bateria pentru a o răci.

### 6.2.3.4 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de către Exponent în timpul Testului A3 o dată fiecare secunda. Temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului și a acestora timpilor corespunzători au fost rezumați în Tabelul 24 și Tabelul 25 reprezentați grafic în Figura 69 și Figura 70. <sup>62</sup> Majoritatea temperaturilor maxime măsurate în timpul testului au avut loc înainte ca arzătoarele să fie oprite. TC4 a experimentat o temperatură maximă după arzătoarele au fost oprite înainte de începerea suprimării.

<sup>62</sup> Pentru coerență, aceleași TC raportate și reprezentate grafic pentru testele A1 și A2 (TC 1, 4, 5, 7, 10, 11) au fost rezumate și reprezentate grafic pentru testul A3 pentru comparație directă.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC 1, 4, 5, 7, 10 și 11) au fost între 1247 și 1539 °F. Odată ce au început eforturile de suprimare, temperaturile au fost rapid a scăzut la aproape ambient cu foarte puține vârfuri după aceea, chiar dacă bateria s-a reaprins.

Măsurătorile fluxului de căldură au urmat aceeași tendință ca și datele TC, ca toate cele maxime valorile au fost găsite înainte ca arzătoarele să fie oprite. Fluxul maxim de căldură de la VFT a fost de 11,9 kW/m<sup>2</sup> la o distanță de distanță de 5 picioare și la distanțe suplimentare, 15, 20 și 25 de picioare, fluxurile maxime de căldură au fost între 1,6 și 2,2 kW/m<sup>2</sup>.

Tabelul 24 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului A3

TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp
1	1494	0:04:41	7	1482	0:06:02
4	1247	0:08:12	10	1311	0:05:58
5	1409	0:06:44	11	1539	0:04:53

Tabelul 25 Rezumatul Măsurătorilor pentru fluxul termic maxim al testului A3

Măsurare	Fluxul de căldură (kW/m <sup>2</sup> )	Timp
HFG1 (5 picioare)	11.9	0:06:02
HFG2 (15 picioare)	2.4	0:06:13
HFG3 (20 de picioare)	2.0	0:06:53
HFG4 (25 picioare)	2.2	0:05:04

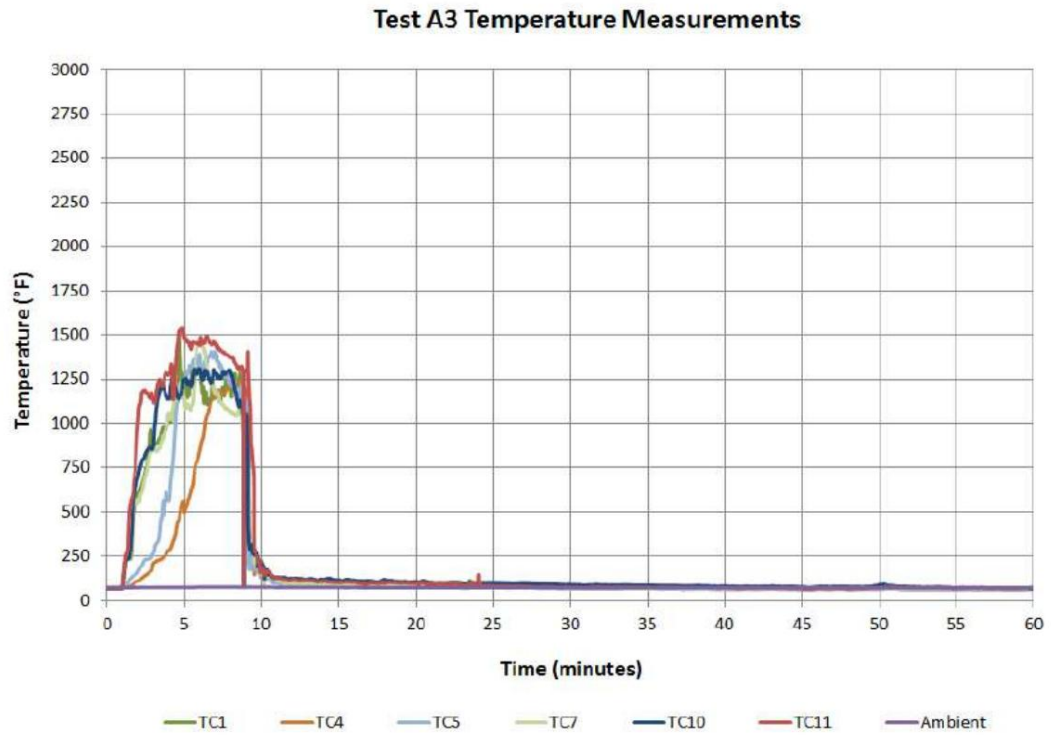


Figura 69 Testul A3 TC plot

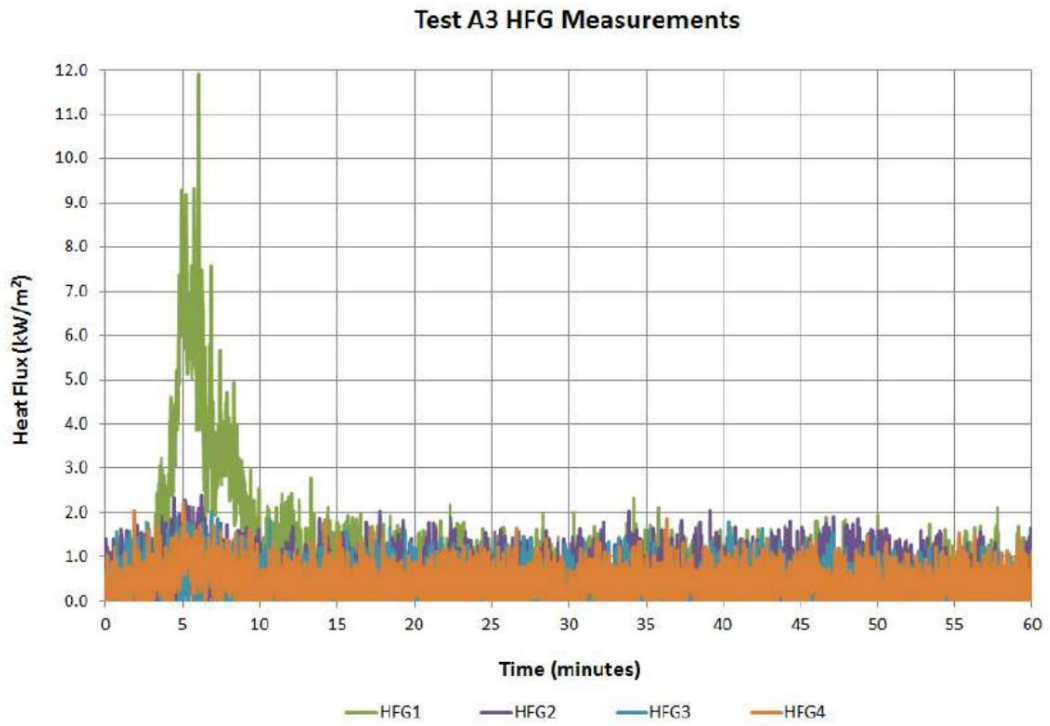


Figura 70 Testul A3 graficul HFG

### 6.2.3.5 Măsurători electrice

Măsurătorile de curent și tensiune pentru Testul A3 au fost efectuate folosind configurația și metodologia descrisă anterior. Măsurătorile au fost înregistrate în timpul unei porniri inițiale perioada anterioară aprinderii sau stingerii incendiului pentru a determina o măsurare de bază a surse de zgomot de fond. Măsurătorile au continuat pe parcursul întregului test și un rezumat a rezultatelor în timpul activităților de stingere a incendiilor sunt prezentate în Tabelul 26 de mai jos, arătând valorile maxime, minime și trei quartile pentru toate cele patru măsurători înregistrate. Deplin măsurătorile sunt furnizate în Anexa E.

Tabelul 26 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test A3

	Maxim	Q3	Median	Î1	Minim
Curentul duzei	1.4	0,2	0,0	-0,2	-2,0
Tensiunea duzei	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,35
Curentul șasiului	5	--	--	--	-5
Tensiune șasiu	1.17	0,73	0,16	-0,28	-0,62

O analiză detaliată a semnalului înregistrat la rezoluție completă de 2 kHz pentru curentul și tensiunea duzei au fost efectuate măsurători. Măsurători de curent în timpul activităților de stingere a incendiilor a rămas în aceleași niveluri de zgomot ca cele observate în timpul înregistrării inițiale de fundal și rezultatele de mai sus sunt rezumate pentru filtrarea mediană a datelor de 50 ms pentru a reduce efectul aparent al zgomotului asupra rezultatelor. La fel, măsurătorile tensiunii în timpul stingerii incendiilor activitățile au rămas în general în aceleași niveluri de zgomot observate în timpul de fond inițial înregistrare. Scurte abateri de la nivelul de fundal au fost observate ocazional când pompierii au introdus duza în interiorul șasiului, posibil contactând o porțiune expusă a baterie, cu toate acestea, aceste modificări ale tensiunii au fost scurte și nu au fost înregistrate niveluri de tensiune în exces de  $\pm 0,4$  V.

Rezoluția curentului de șasiu a fost setată la  $\pm 5$  mA în acest test. Nu au fost depășite măsurători această valoare în orice moment în timpul activităților de stingere a incendiilor. În cele din urmă, măsurătorile tensiunii pe șasiu indică faptul că o tensiune continuă mică de aproximativ 0,2 V a fost prezentă intermitent pe corp a șasiului (consecvent cu testele post-măsurare) cu abateri scurte de până la  $\pm 1,2$  V.

### 6.2.3.6 Rezultate revizuire

Imaginile termice ale bateriei au început la aproximativ 37 de minute, între un număr a reaprinderilor bateriilor și în timp ce activitățile de suprimare erau încă în desfășurare. Așa cum se arată în figura 71, imaginile termice au demonstrat că exteriorul bateriei era încă semnificativ fierbinte în partea pasagerului din față a bateriei cu o temperatură maximă de 408 °F. Aproximativ la trei minute după această imagine termică focul s-a reaprins în această locație și a fost stins de pompierii.

După ultimele activități de suprimare în jur de 58 de minute, bateria a fost lăsată în VFT și monitorizat cu imagini termice și TC-uri pentru orice activitate suplimentară. După cum s-a descris anterior în Secțiunea 6.2.3.3, pompierii au folosit o tactică diferită la acest test în care au curs apă peste partea de sus a bateriei timp de câteva minute pentru a răci complet bateria. La fel de astfel, la 60 de minute, TC-urile exterioare instalate pe baterie au scăzut aproape de mediu nivelurile, așa cum sunt raportate în Tabelul 21, și imaginile termice au demonstrat, de asemenea, aproape de mediu temperaturile. În acest moment, toate celelalte semne de ardere, inclusiv degajarea de gaze și fumul au avut a încetat și testul a fost oprit.

Bateria a rămas în VFT pentru restul zilei și a fost scoasă dimineața următoare, la aproximativ 18 ore după încheierea testului. La vremea termică Imaginile au indicat că exteriorul bateriei era la niveluri de temperatură ambientală. În timpul îndepărtării bateria de la VFT s-au auzit câteva pops, cu toate acestea, nicio activitate în concordanță cu s-au observat arderea, cum ar fi degajarea de gaze, fumul sau temperaturile ridicate. Bateria era apoi mutat în zona de depozitare a bateriei.

La aproximativ 13:02, 22 de ore de la încheierea testului și 4 ore de la acesta scoaterea din VFT, bateria A3 a început să scadă ușor gazul, așa cum se arată în Figura 72. La scurt timp apoi, la ora 13:07 (la 5 minute după ce a fost observată pentru prima dată gazarea oprită), flăcările au fost vizibile pe interiorul bateriei, așa cum se arată în Figura 73 și s-au auzit popi. Personalul MFRI rapid a conectat o conductă de furtun și a stins flăcările și a răcit exteriorul bateriei. Era a estimat că bateriei au fost aplicate încă 2 minute de apă la un debit de 125 gpm. Până la ora 13:40 (la 38 de minute după ce a fost observată pentru prima dată gazarea oprită), bateria se opri

fuma și nu dădea semne de ardere. Bateria a fost monitorizată pentru restul zilei și nu a prezentat nicio reaprindere suplimentară.

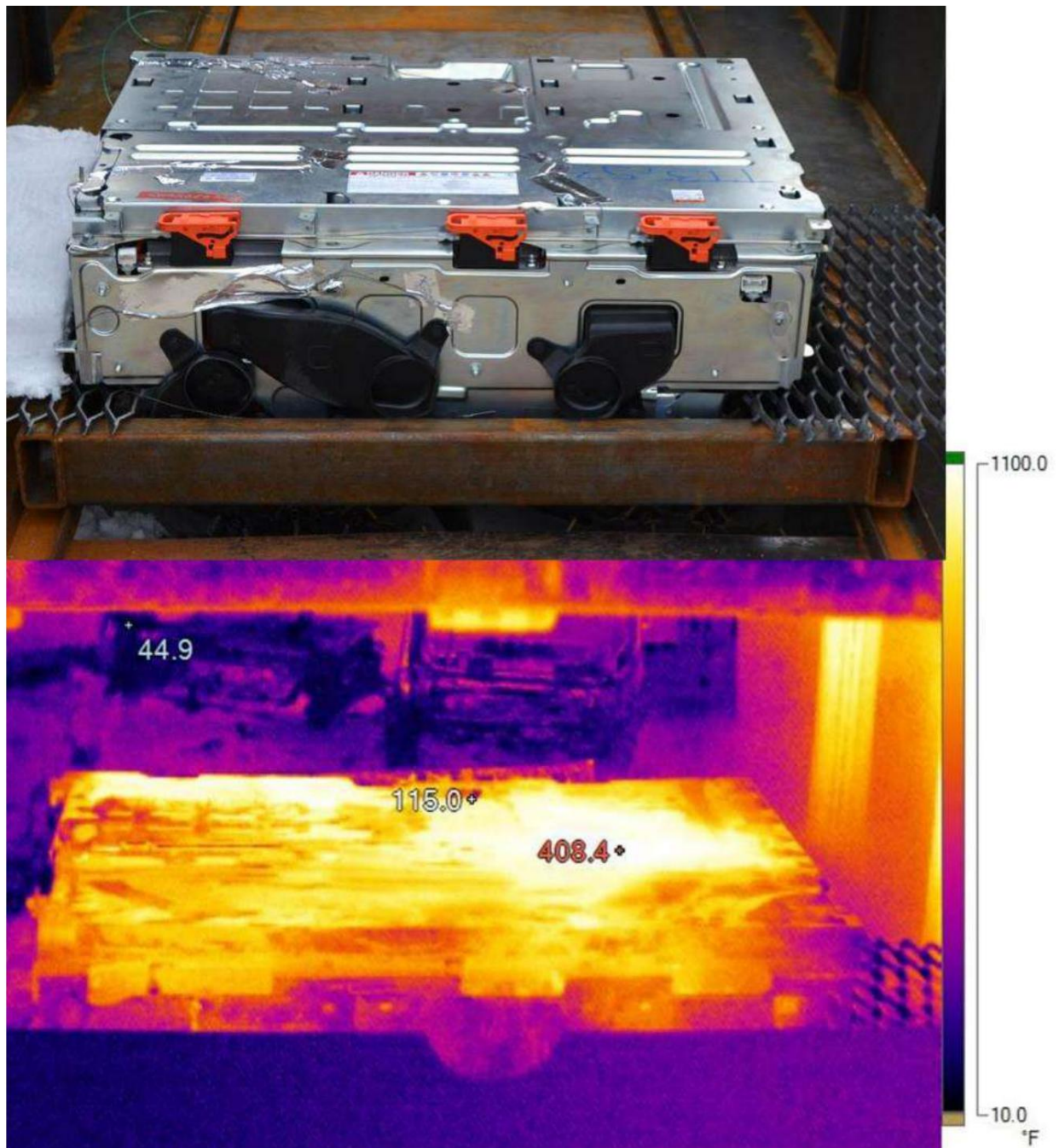


Figura 71 Bateria A3 din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vizualizare) a bateriei A3 la 41 de minute, ilustrând „punctul fierbinte” (de jos)



Tabelul 27 Rezumatul măsurătorilor de temperatură a testului A3 după 60 de minute

TC	Temperatura după 60 de minute (°F)	TC	Temperatura după 60 de minute (°F)
1	74	7	67
4	66	10	65
5	63	11	69



Figura 72 Gazificarea bateriei A3 la aproximativ 22 de ore după încheierea testului



Figura 73 Reapriinderea bateriei A3 la aproximativ 22 de ore după încheierea testului  
(flacara incercuita rosu)

## 6.2.3.7 Rezultatele prelevării de apă

Proba de apă din testul A3 a fost colectată și trimisă la un laborator terț independent, Analyze, Inc., pentru analiza chimică, așa cum este descris în Secțiunea 5.2.4, împreună cu o probă de control colectate din sursa de apă de suprimare. Un rezumat al rezultatelor prelevării de apă este prezentat în Tabelul 28. Proba de apă din testul A3 a prezentat un pH ușor acid (6,18) valoare. În plus, au fost niveluri scăzute de anioni de clorură (143 ppm) și fluor (27 ppm) detectat. Când HF și/sau acid clorhidric (HCl) este prezent într-o soluție apoasă, acesta se disociază într-un cation și un anion. În plus, prezența cationilor de hidrogen crește aciditatea soluției, determinând scăderea pH-ului. Pe baza prezenței clorurii și anioni de fluor și pH-ul mai scăzut al probei Test A3 în comparație cu proba martor, HF și HCl au fost probabil prezente (în cantitate mică) în timpul suprimării.

Tabelul 28 Rezumatul analizei probei de apă pentru testul A3

Element / Test	Concentrație (ppm)	
	Control	Testul A3
pH	7,82	6.18
C organic total	1.3	150
C anorganic total	7.3	7.7
Clorură	34	143
fluor	0,7	27
Acea	< 0,005	0,25
P	< 1,0	7.5
Ca	23	72
Deja	13	19
Mg	4.8	6.9
K	2.4	6.0
Sr	0,08	4.5
Al	0,01	3.0
Fe	0,09	0,72
Nu	0,02	0,61
B	0,01	0,05
Zn	< 0,005	29,0

Element / Test	Concentrație (ppm)	
	Control	Testul A3
Mn	< 0,005	0,27
Sb	< 0,002	0,70
În	< 0,010	0,05
Co	< 0,005	0,02
Cu	< 0,005	0,15
La fel de	< 0,010	< 0,010
ÎN	< 0,002	0,002

## 6.2.4 Testul bateriei B1

Bateria B este un acumulator EDV de 16,0 kWh, închis într-o carcasă din fibră de sticlă în formă de T și a fost montat rigid în porțiunea centrală a VFT, așa cum este descris anterior în secțiunile 4.1.2 și

5.2. Testul B1 a fost efectuat la 1 aprilie 2013, la aproximativ 13:30. La începutul

test, vremea a fost în mare parte noroasă, cu o temperatură de aproximativ 66 °F și o rudă umiditate de aproximativ 36%. Vântul a fost din vest, cu o viteză medie a vântului de

13 mph și rafale de până la 24 mph. Următoarele secțiuni rezumă datele colectate de

Exponent în timpul suprimării Testul B1.

### 6.2.4.1 Observații de testare

Tabelul 29 rezumă evenimentele cheie observate de personalul Exponent în timpul testului B1. Imagini la

timpii semnificativi de testare sunt furnizați în Figura 74 și Figura 75. În general, testul a demonstrat

că o sursă de căldură externă ar putea induce bateria B în evaporare termică în timp ce era

poziționat în interiorul unui VFT și are ca rezultat eliberarea și aprinderea vizibilă a materialului electrolit.

S-au auzit zgomote puternice din interiorul bateriei și au apărut scânteii vizibile

observat de multe ori. Fum alb și degajarea de gaze au fost observate în mod constant pe tot parcursul

testului și au fost în concordanță cu eliberarea de material electrolitic inflamabil. Cu toate acestea, nu

proiectile, explozii sau explozii au fost observate în timpul testului în timp ce bateria a fost expusă

arzătoare, în timp ce era în stare de ardere liberă, în timp ce era suprimată sau după suprimare

eforturile au încetat.

Odată începută suprimarea, pompierii aplicau în mod constant apă pe focul bateriei încercând să controleze flăcările. Incendiul inițial al bateriei nu a fost doborât imediat, așa cum pompierii aplicau mai mult sau mai puțin constant apă pe baterie doar cu scurtcircuit pauze (10 până la 20 de secunde) între fiecare aplicare de apă pentru a se re poziționa sau în timp ce a teptând ca bateria să se reaprindă. Eforturile de suprimare activă au încetat aproximativ 26 de minute după prima aplicare a apei. Odată ce focul bateriei a fost sub control, a continuat fum și gaze degajate timp de câteva ore după aceea, deși nu a fost observată nicio reaprindere. Extern temperaturile de pe carcasa bateriei nu au scăzut până la niveluri apropiate de mediu până la aproape patru ore după începerea testului, iar temperatura internă a bateriei nu a atins temperatura ambiantă până la aproape 12 ore după începerea testului. Consultați Secțiunile 6.2.4.2 și 6.2.4.3 pentru mai multe detalii despre eforturile de stingere a incendiilor și secțiunea 6.2.4.7 pentru mai multe detalii despre operațiunile de revizie.

Tabelul 29 Testul B1 Observații cheie

Timp	Eveniment
0:00:00	Porniți DAQ și camere video
0:01:02	Aprindeți arzătoarele
0:01:29	Fum produs
0:01:51	Creșterea producției de fum, culoare gri
0:02:30	Creșterea producției de fum gri
0:03:05 – 0:03:44	Fum alb produs
0:03:51	S-au observat flăcări pe baterie, s-a auzit un sunet „whoosh”.
0:04:13	Arc în spatele bateriei, s-au observat picături topite
0:04:56	Sunet pop auzit din interiorul bateriei (pops)
0:05:18 – 0:06:02	Flăcările cresc în spatele bateriei
0:07:10	Fum alb produs
0:07:52	Flăcări în fața bateriei
0:08:24	S-a auzit un sunet „bum”, urmat de fum negru
0:12:18	Fumul devine alb
0:12:35 – 0:17:05	Pop-uri sporadice
0:17:15	„Whoosh” s-a auzit

Timp	Eveniment
0:17:27 – 0:19:07	Pops cresc și devin mai tare
0:21:00	Arzătoarele s-au oprit, nicio modificare vizibilă a mărimii focului
0:21:38	Arcul observat
0:22:00	Suprimarea începe din spatele VFT
0:23:07 – 0:25:50	Focul a reaprins în spatele bateriei, pompierii lucrând în față
0:25:02	Fum alb produs
0:25:18 – 0:25:40	Focul a reaprins în fața bateriei, pompierii lucrând în spate
0:26:17	Fum alb mare, focul bateriei s-a reaprins
0:26:43	Fum alb produs
0:27:08	Focul a reaprins în fața bateriei
0:28:12	Focul a reaprins în fața bateriei
0:29:09	Focul a reaprins în fața bateriei
0:30:07	Producerea constantă de fum alb
0:30:14	Focul a reaprins în fața bateriei
0:30:50	Focul a reaprins în fața bateriei
0:31:39	Focul a reaprins în spatele bateriei
0:34:23	Începeți operațiunile de suprimare cu capota sus
0:34:56	Focul a reaprins în spatele bateriei
0:35:36	Flăcări crescute în spatele bateriei
0:36:35	Focul a reaprins în fața bateriei
0:36:48	Focul a reaprins în spatele bateriei
0:38:25	Focul s-a aprins în spatele bateriei, pompierii în fața bateriei
0:48:34	Suprimarea activă se încheie
19:00:00	Sistemul DAQ oprit





Figura 74 Testul B1: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzatoare oprite (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3





Figura 75 Testul B1: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3

## 6.2.4.2 Măsurătorile debitului de apă

După cum se raportează în Tabelul 30, incendiul bateriei nu a fost doborât rapid și a necesitat un proces echitabil aplicarea constantă a apei a avut loc 22 și 48 de minute pentru a controla focul. Aproximativ 14 minute de apă la un debit de 125 gpm a fost aplicat bateriei în acele 26 de minute de stingerea activă a incendiilor. În total, 29 de aplicații de apă au fost aplicate la gama de baterii între 4 și 87 de secunde pentru fiecare aplicație. Exponent estimează un total de aproximativ 5-au folosit 1754 de galoane de apă în timpul testului B1.

Tabelul 30 Test B1 Timp de curgere a apei

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:22:03	0:22:19	0:00:16	33	
0:22:22	0:22:43	0:00:21	44	
0:22:49	0:23:40	0:00:51	106	
0:24:00	0:24:24	0:00:24	50	
0:24:35	0:24:47	0:00:12	25	
0:25:22	0:25:33	0:00:11	23	
0:25:49	0:25:54	0:00:05	10	
0:25:59	0:26:05	0:00:06	12	
0:26:24	0:26:36	0:00:12	25	
0:26:45	0:26:59	0:00:14	29	
0:27:11	0:27:38	0:00:27	56	
0:27:47	0:28:11	0:00:24	50	
0:28:22	0:29:44	0:01:22	171	
0:30:13	0:30:48	0:00:35	73	
0:30:59	0:32:13	0:01:14	154	
0:32:40	0:32:53	0:00:13	27	
0:33:08	0:33:18	0:00:10	21	
0:33:20	0:33:32	0:00:12	25	
0:34:20	0:34:24	0:00:04	8	
0:34:30	0:34:43	0:00:13	27	
0:34:46	0:35:43	0:00:57	119	

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:35:59	0:36:24	0:00:25	52	
0:36:45	0:38:10	0:01:25	177	
0:38:24	0:39:15	0:00:51	106	
0:39:40	0:41:07	0:01:27	181	
0:42:52	0:43:09	0:00:17	35	
0:43:26	0:43:53	0:00:27	56	
0:47:09	0:47:13	0:00:04	8	
0:48:11	0:48:34	0:00:23	48	
	Total	0:14:02	1754	

### 6.2.4.3 Tactici și observații ale pompierilor

După discuțiile de testare cu cei doi pompieri, echipa de suprimare a dezvoltat următoarele declarații cu privire la observațiile lor asupra incendiului și tacticile lor de a-l suprima în timpul testului B1:

- Acest test a fost mai dificil decât testele anterioare (teste Baterie A).
- Era o „scădulă de pardoseală” la locul său (pana de oțel a podelei plasată deasupra pachetului de baterii).  
Acest lucru a făcut „toată diferența”, deoarece a fost mai greu să lupți cu focul și să obțineți acces la baterie.
- Acest test a avut semnificativ mai puține arcuri și explozii în comparație cu testele anterioare (testele bateriei A).
- Cu toate acestea, a existat „căldură extraordinară” de pe ansamblul bateriei și tavă de podea.
- Dimensiunea focului a fost aceeași ca și în testele anterioare (teste baterie A); Însă „floorboard” (floor pan) a făcut-o mai greu de stins.
- Acest incendiu a fost mai grav decât un incendiu obișnuit de vehicul, deoarece a fost mai greu de stins.
- Într-un scenariu real de incendiu de vehicule, pompierii ar avea două furtunuri prezente, unul în față și unul în spate. Acest lucru ar fi ușurat, așa cum nu ar fi făcut-o pompierii a trebuit să se re poziționeze în continuare pe măsură ce flăcările se mișcau înainte și înapoi.
- În imposibilitatea de a stinge incendiul, pompierii și-au concentrat eforturile pe răcire tava metalică de podea.

- Duza are atât modele de ceață, cât și modele drepte. Pompierii au folosit pârâul drept pentru atacul inițial și setarea de ceață pentru răcirea tăvii metalice de podea.

Similar cu testele anterioare (testele din seria A bateriei), pompierii au indicat că cel mai mare singur provocarea cu care s-au confruntat a fost încercarea de a aplica apă acolo unde avea loc incendiul, în interior bateria. Acest lucru a fost complicat și mai mult în timpul testului B1 de tava de podea din oțel poziționată deasupra bateria. În plus, datorită dimensiunii și geometriei Bateriei B, pompierii urmăreau focul înainte și înapoi din față în spate, deoarece doar o singură linie de furtun era utilizată pentru test. Deoarece pompierii nu au putut accesa direct interiorul bateriei, ei și-au schimbat tactici de a răci tava de podea cu duza pusă pe ceață.

#### 6.2.4.4 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de către Exponent în timpul Testului B1 o dată fiecare secunda. Temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului și a acestora timpii corespunzători au fost rezumați în Tabelul 31 și Tabelul 32 și reprezentați grafic în Figura 76 și Figura 77. <sup>63</sup> Majoritatea temperaturilor maxime și fluxurilor de căldură măsurate în timpul testul a avut loc după ce arzătoarele au fost oprite, ceea ce înseamnă că focul bateriei a rămas fierbinte chiar și după scoaterea arzătoarelor.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC de la 1 la 10) au fost între 541 și 1993 °F. Temperaturile maxime măsurate pe interiorul bateriei (TC de la 13 la 15) au fost între 1061 și 2049 °F. Odată ce au început eforturile de suprimare, temperaturile au scăzut; cu toate acestea, vârfuri semnificative au continuat să apară între 22 și 39 minute, deoarece bateria s-a reaprins de mai multe ori.

Măsurătorile fluxului de căldură au urmat o tendință similară cu datele TC, unde jumătate din maxim valorile au fost observate după ce arzătoarele au fost oprite. Fluxul maxim de căldură la o distanță distanța de cinci picioare de la VFT a fost de 2,2 kW/m<sup>2</sup> și la distanțe suplimentare, 15, 20 și 25 de picioare, fluxurile maxime de căldură au fost între 1,5 și 2,1 kW/m<sup>2</sup>.

---

<sup>63</sup> TC 11 și 12 au eșuat în timpul testării și nu au fost incluse în tabele sau grafice.

Tabelul 31 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului B1

TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp
1	1275	0:22:03	8	1993	0:30:14
2	1204	0:22:18	9	1389	0:19:00
3	1405	0:22:18	10	1273	0:22:19
4	1650	0:20:46	13	1506	0:22:03
5	1780	0:28:05	14	1061	0:17:13
6	541	0:21:08	15	2049	0:28:50
7	1403	0:22:18			

Tabelul 32 Rezumatul Măsurătorilor pentru fluxul de căldură maxim al testului B1

Măsurare	Fluxul de căldură (kW/m <sup>2</sup> )	Timp
HFG1 (5 picioare)	2.2	0:24:36
HFG2 (15 picioare)	2.1	0:26:49
HFG3 (20 de picioare)	1.5	0:21:30
HFG4 (25 picioare)	1.7	0:15:48

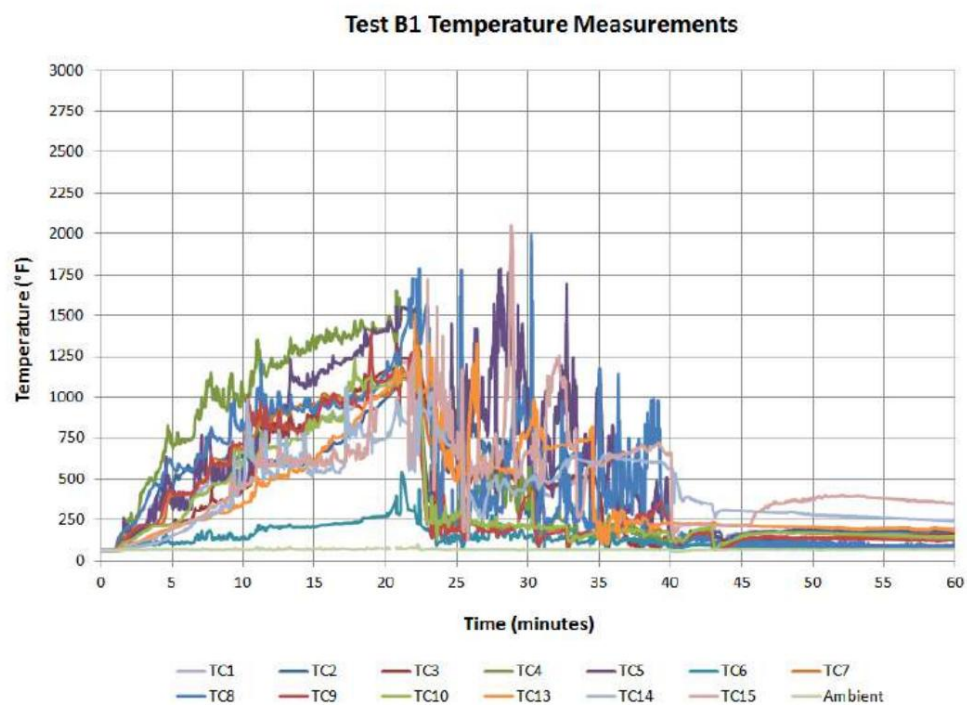
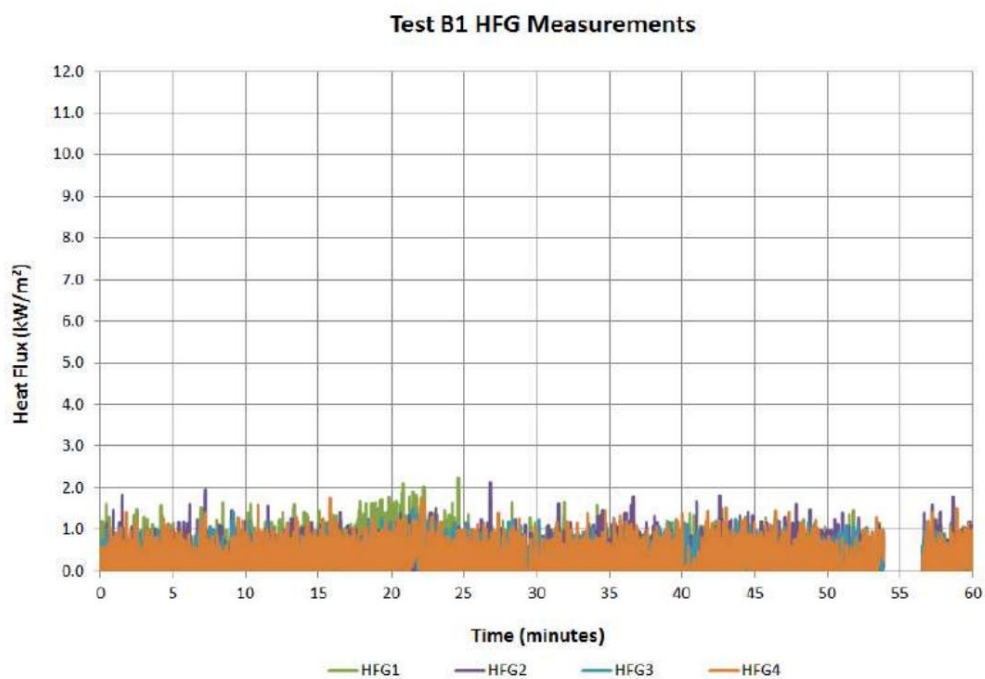


Figura 76 Testul B1 TC plot

Figura 77 Testul B1 HFG plot<sup>64</sup>

<sup>64</sup> Conexiunea dintre HFG-uri și sistemul DAQ a fost pierdută între 53 și 56 de minute, ceea ce a rezultat în decalajul de date ilustrat.

#### 6.2.4.5 Măsurătorile senzorului bateriei interne

Nu au fost înregistrate măsurători interne ale senzorului bateriei în timpul testului B1 din cauza unei comunicări eroare între baterie și sistemul DAQ. Consultați secțiunile 6.2.5.5 și 6.2.6.5 pentru intern măsurători ale senzorului bateriei pentru testele B2 și B3.

#### 6.2.4.6 Măsurători electrice

Măsurătorile de curent și tensiune pentru Testul B1 au fost efectuate utilizând configurația și metodologia descrisă anterior. Măsurătorile au fost înregistrate în timpul unei porniri inițiale perioada anterioară aprinderii sau stingerii incendiului pentru a determina o măsurare de bază a surse de zgomot de fond. Măsurătorile au continuat pe parcursul întregului test și un rezumat a rezultatelor în timpul activităților de stingere a incendiilor sunt prezentate în Tabelul 33 de mai jos, arătând valorile maxime, minime și trei quartile pentru toate cele patru măsurători înregistrate. În orice caz, firul care leagă șasiul de tija de împământare a fost deconectat după test. La fel de astfel, măsurătorile tensiunii și curentului pe șasiu pentru acest test sunt excluse din analiză și Tabelul 33. Măsurătorile complete sunt furnizate în Anexa E.

Tabelul 33 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test B1

	Mediana maximă	Q3		Î1	Minim
Curentul duzei	1.7	0,2	0,0	-0,2	-1,3
Tensiunea duzei	0,44	0,05	-0,01	-0,08	-0,93
Curentul șasiului	--	--	--	--	--
Tensiune șasiu	--	--	--	--	--

O analiză detaliată a semnalului înregistrat la rezoluție completă de 2 kHz pentru curentul și tensiunea duzei au fost efectuate măsurători. Măsurători de curent în timpul activităților de stingere a incendiilor a rămas în aceleași niveluri de zgomot ca cele observate în timpul înregistrării inițiale de fundal și rezultatele de mai sus sunt rezumate pentru filtrarea mediană a datelor de 50 ms pentru a reduce efectul aparent al zgomotului asupra rezultatelor. La fel, măsurătorile tensiunii în timpul stingerii incendiilor activitățile au rămas în general în aceleași niveluri de zgomot observate în timpul de fond inițial înregistrare. Scurte abateri de la nivelul de fundal au fost observate ocazional când pompierii au introdus duza în interiorul șasiului, posibil contactând o porțiune expusă a



baterie, cu toate acestea, aceste modificări ale tensiunii au fost scurte și nu au fost înregistrate niveluri de tensiune în exces de  $\pm 1$  V.

#### 6.2.4.7 Rezultatele revizuirii

Imaginile termice ale bateriei au început la 48 de minute, imediat după activitățile de suprimare activă încetase să monitorizeze, împreună cu TC-urile bateriei, bateria după incendiu. Așa cum se arată în Figura 78, imagistica termică a demonstrat că exteriorul bateriei era încă peste 100 °F în anumite locații, în special la siguranță (prezentată în Figura 78) și la conexiunea magistralei CAN zonă. Bateria a fost lăsată în VFT pentru restul zilei și a fost monitorizată cu imagini termice și TC-uri pentru orice activitate suplimentară. După 60 de minute, exteriorul și interiorul TC-urile instalate pe și în baterie încă mai măsurau temperaturi ridicate, până la 197 °F exterior și 348 °F pe interior. Ca atare, Exponent a continuat să colecteze temperatura măsurători pentru încă 18 ore pentru a înregistra profilul de temperatură al bateriei ca acesta răcit. După cum este raportat în Tabelul 34 și reprezentat în Figura 79, toate TC-urile din exteriorul bateriei nu a atins temperatura ambiantă decât după aproximativ 4 ore de la testare. Toate TC interne a bateriei nu a atins temperatura ambiantă decât după aproximativ 12 ore de la testare.

Bateria a rămas în VFT pentru restul zilei și a fost scoasă dimineața următoare, la aproximativ 19 ore după încheierea testării. A fost mutat la a zonă de depozitare a bateriei fără probleme.

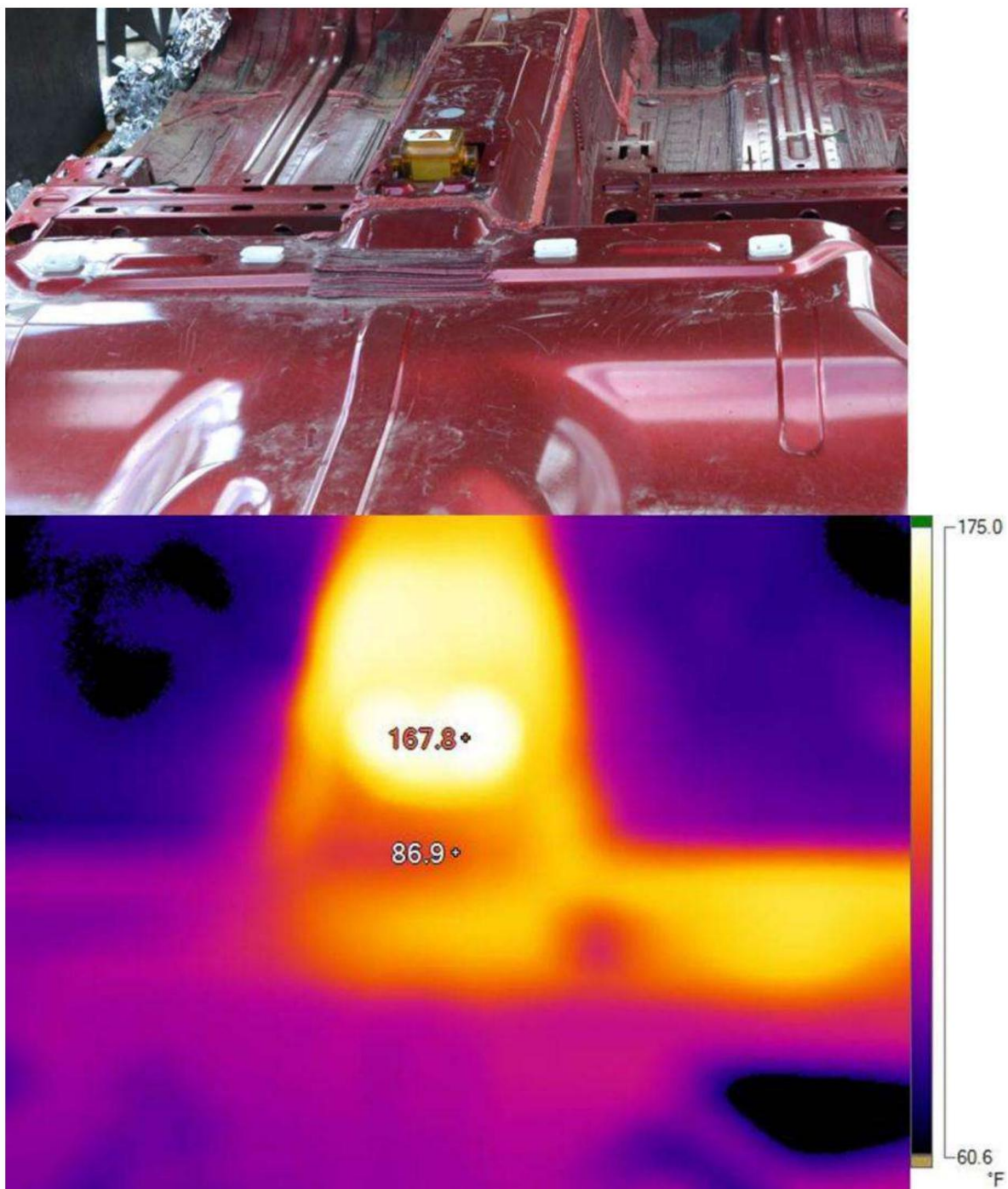


Figura 78 Ansamblu panou de podea din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a bateriei B1 la 60 de minute (de jos)

Tabelul 34 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului B1 după 1, 2, 3, 6, 12 și 18 ore

TC	Temperatura (°F) După:					
	1 oră	2 ore	3 ore	6 ore	12 ore	18 ore
1	197	140	98	60	43	30
2	183	121	70	46	37	30
3	163	146	130	46	37	30
4	84	59	62	54	43	34
5	93	62	56	47	34	33
6	85	67	65	52	42	37
7	139	91	78	60	47	39
8	88	61	56	44	36	32
9	123	89	70	51	42	34
10	142	100	79	56	45	35
13	186	109	64	50	39	34
14	242	164	117	57	36	30
15	348	256	213	143	69	38

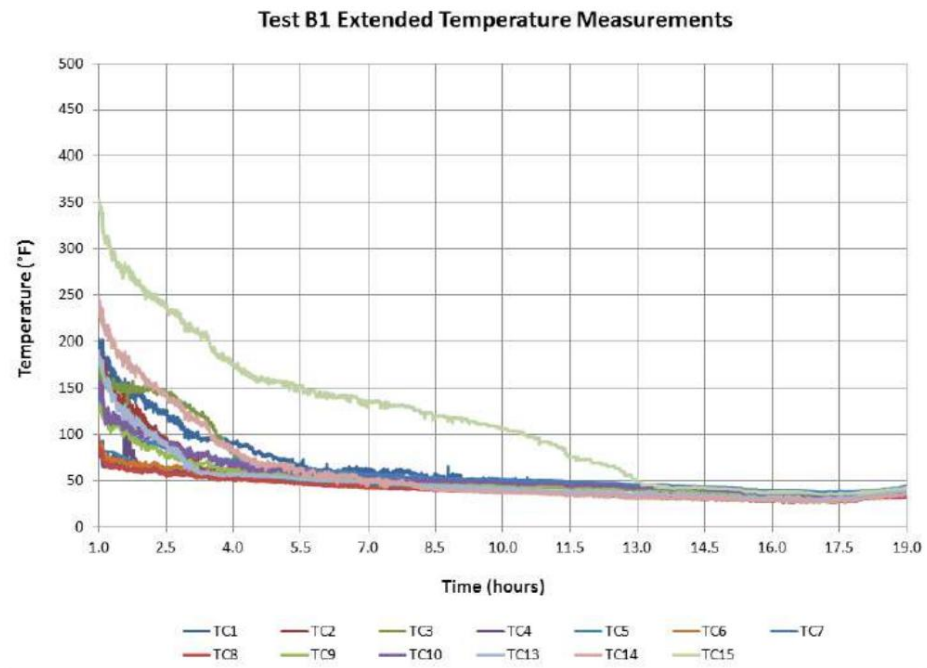


Figura 79 Măsurători extinse de temperatură pentru Testul B1

#### 6.2.4.8 Rezultatele prelevării de apă

Prelevarea detaliată a apei nu a fost efectuată pentru Testul B1. Probe de apă pentru fiecare tip de baterie au fost analizate pentru testul de stingere a incendiilor în cel mai rău caz așteptat, care a inclus finisaje interioare (Testele A3 și B3). Consultați Secțiunea 6.2.6.8 pentru rezultatele prelevării de apă pentru bateria B.

### 6.2.5 Testul bateriei B2

Bateria B este un acumulator EDV de 16,0 kWh, închis într-o carcasă din fibră de sticlă în formă de T și a fost montat rigid în porțiunea centrală a VFT, așa cum este descris anterior în secțiunile 4.1.2 și 5.2. Testul B2 a fost efectuat pe 2 aprilie 2013, la aproximativ 13:30. La începutul test, vremea a fost senină, cu o temperatură de aproximativ 49 °F și o umiditate relativă de aproximativ 25%. Vântul a fost dinspre vest-nord-vest cu o viteză medie a vântului de 16,1 mph și rafale de până la 23 mph. Următoarele secțiuni rezumă datele colectate de Exponent în timpul suprimării Testul B2.

#### 6.2.5.1 Observații de testare

Tabelul 35 rezumă evenimentele cheie observate de personalul Exponent în timpul testului B2. Imagini la timpii semnificativi de testare sunt furnizați în Figura 80 și Figura 81. În general, testul a demonstrat un scenariu de incendiu similar observat în testul B1. Zgomote puternice din interiorul bateriei s-au auzit și s-au observat scântei vizibile de mai multe ori. Fum alb și stins gaze au fost observate în mod constant pe tot parcursul testului în concordanță cu eliberarea de electrolit material. Cu toate acestea, nu au fost observate proiectile, explozii sau explozii în timpul testului bateria a fost expusă arzătoarelor, în timp ce era în stare de ardere liberă, în timp ce era suprimat sau după ce eforturile de suprimare au încetat.

Odată începută suprimarea, pompierii aplicau în mod constant apă pe focul bateriei încercând să controleze flăcările. Incendiul inițial al bateriei nu a fost doborât imediat, așa cum pompierii au aplicat constant apă pe baterie cu pauze scurte (10 până la 20 de secunde) între fiecare aplicare de apă pentru a se re poziționa sau în așteptarea bateriei reaprinde. Eforturile de suprimare activă au încetat la aproximativ 37 de minute după prima aplicare de apă. Odată ce bateria a fost sub control, a continuat să fumeze și să scadă gaz pentru mai multe ore după aceea, deși nu s-a observat nicio reaprinde în această perioadă. Temperaturile exterioare pe carcasa bateriei și temperaturile interne ale bateriei nu au scăzut aproape de nivelurile ambiante

până la aproape 13 ore după începerea testului. Consultați Secțiunile 6.2.4.2 și 6.2.4.3 pentru mai multe detalii despre eforturile de stingere a incendiilor și secțiunea 6.2.4.7 pentru mai multe detalii despre operațiunile de revizie.

Tabelul 35 Testul B2 Observații cheie

Timp	Eveniment
0:00:00	Porniți DAQ și camere video
0:01:00	Aprindeți arzătoarele
0:01:42 – 0:02:21	Fum alb produs
0:02:52	Sunet pop auzit din interiorul bateriei (pops)
0:04:35	Rafală de vânt afectează focul
0:06:10 – 0:07:24	Creșterea producției de fum alb
0:07:39	Flăcări în spatele bateriei
0:08:29	Creșterea producției de fum alb
0:12:23	Flăcări din siguranță deasupra bateriei
0:13:21	Creșterea producției de fum alb
0:14:09	Flăcările cresc în spatele bateriei
0:14:41	Flăcări în fața bateriei
0:18:51	A observat arcul, s-a auzit un sunet „whoosh”.
0:19:33	Pops, flăcările cresc în jurul bateriei
0:21:00	Arzătoarele s-au oprit, nicio modificare vizibilă a mărimii focului
0:22:00	Suprimarea începe din spatele VFT
0:22:50	Flăcări în partea de jos a bateriei
0:23:14	Pompierii atacă focul din spatele VFT
0:23:52	Pompierii atacă focul din partea pasagerului a VFT
0:25:23	Pompierii deschid capota la VFT și atacă focul din capota deschisă a VFT
0:25:55	Focul s-a aprins
0:26:11	Focul s-a aprins
0:26:35	Focul a reaprins în spatele bateriei
0:28:38	Pompierii atacă focul din spatele VFT
0:29:51	Focul a reaprins în spatele bateriei
0:30:21	Focul a reaprins în fața bateriei

Timp	Eveniment
0:38:10	Focul s-a aprins sub baterie
0:38:13	Focul s-a aprins
0:39:52	Pompierii schimbă rezervorul SCBA
0:40:41	Pompierii atacă focul din spatele VFT
0:42:35	Pompierii atacă focul din partea pasagerului a VFT
0:43:35	Focul s-a aprins sub baterie
0:46:33	Pompierii atacă focul din fața VFT
0:55:06	Pompierii folosesc cârligul pentru a scoate cutia de protecție din jurul zonei de conectare a magistralei CAN
0:56:40	Pompierii atacă focul din partea pasagerului a VFT
0:58:11	Suprimarea activă se încheie
19:00:00	Sistemul DAQ oprit



Figura 80 Test B2: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); flăcări de la siguranță (stânga jos); arzătoare oprite (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3





Figura 81 Testul B2: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)

## 6.2.5.2 Măsurătorile debitului de apă

După cum se raportează în Tabelul 36, incendiul bateriei nu a fost doborât rapid și a necesitat un proces corect aplicarea constantă a apei între 22 și 48 de minute pentru a controla focul. Apă aplicațiile au continuat sporadic până la timpul de 59 de minute. Aproximativ 21 de minute de apă la un debit de 125 gpm a fost aplicat bateriei în acele 37 de minute de foc activ suprimare. În total, bateriei au fost aplicate 32 de aplicații cu apă variind între 5 și 105 secunde pentru fiecare aplicație. Exponent estimează un total de aproximativ 2639 de galoane de apă a fost folosită în timpul testului B2.

Tabelul 36 Test B2 Timp de curgere a apei

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:22:05	0:23:03	0:00:58	121	
0:23:13	0:23:25	0:00:12	25	
0:23:51	0:24:08	0:00:17	35	
0:24:16	0:24:48	0:00:32	67	
0:25:27	0:25:55	0:00:28	58	
0:25:58	0:26:29	0:00:31	65	
0:26:41	0:28:26	0:01:45	219	
0:28:38	0:29:39	0:01:01	127	
0:29:54	0:31:03	0:01:09	144	
0:31:10	0:31:53	0:00:43	90	
0:32:00	0:32:05	0:00:05	10	
0:32:11	0:33:45	0:01:34	196	
0:34:02	0:34:41	0:00:39	81	
0:34:48	0:35:33	0:00:45	94	
0:35:59	0:37:10	0:01:11	148	
0:37:16	0:38:12	0:00:56	117	
0:38:38	0:39:10	0:00:32	67	
0:39:20	0:39:45	0:00:25	52	
0:39:57	0:40:28	0:00:31	65	
0:40:43	0:41:34	0:00:51	106	

Flow Start Flow	Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:41:52	0:42:09	0:00:17	35	
0:42:35	0:42:56	0:00:21	44	
0:43:24	0:43:34	0:00:10	21	
0:44:05	0:44:15	0:00:10	21	
0:44:40	0:46:07	0:01:27	181	
0:46:32	0:46:50	0:00:18	37	
0:46:59	0:47:14	0:00:15	31	
0:47:19	0:47:40	0:00:21	44	
0:47:55	0:48:20	0:00:25	52	
0:56:40	0:58:11	0:01:31	190	
0:58:11	0:58:42	0:00:31	32	Debit redus; estimat la 62,5 gpm
0:59:10	0:59:41	0:00:31	65	
	Total	0:21:22	2639	

### 6.2.5.3 Tactici și observații ale pompierilor

După discuțiile de testare cu cei doi pompieri, echipa de suprimare a dezvoltat următoarele declarații cu privire la observațiile lor asupra incendiului și tacticile lor de a-l suprima în timpul testului B2:

- Testul B2 a fost similar cu Testul B1; focul nu părea totuși să ardă la fel de puternic și flăcările nu păreau să aibă aceeași intensitate ca Testul B1.
- Accesul la partea frontală a bateriei a fost limitat deoarece porturile de conexiune CAN bus au fost protejate cu o structură de placă de silicat de calciu modificată, care nu era la locul lor în timpul testului B1.
- Structura modificată a plăcii de silicat de calciu a îngreunat accesul la baterie în zona respectivă; cu toate acestea, scenariul a fost mai realist prin faptul că în timpul unui vehicul real foc, pompierii nu ar avea acces direct la acea parte a bateriei.
- În cele din urmă, pompierii au folosit un cârlig în partea din față a bateriei pentru a trage dispozitivul de protecție structură în afara drumului pentru a obține accesul necesar.
- Unic pentru acest test, un incendiu s-a dezvoltat în zona roții din spate a VFT și a pompierii nu au putut să ajungă la el cu furtunul.

- Pompierii au folosit aceeași tactică ca și în Testul B1 în ceea ce privește modelele de curgere a duzelor; drept pentru atacul inițial și ceață pentru răcirea tavii.
- Pompierii au recomandat să fie cel puțin două linii de furtun și o linie de furtun de rezervă utilizat pentru un incendiu de baterie EDV, cum ar fi acesta (de obicei numai un incendiu de vehicul ICE necesită o linie de furtun în plus față de o linie de furtun de rezervă), una pentru partea din față a vehiculului și unul pentru spatele vehiculului, altfel focul este urmărit înainte și înapoi ca bateria se reaprinde.

Similar testului B1, pompierii au indicat că cea mai mare provocare cu care s-au confruntat a fost încercarea de a aplica apă acolo unde se producea efectiv incendiul, în interiorul bateriei. Acesta a fost complicată și mai mult în timpul Testului B2 de structura de protecție peste zona portului de conexiune magistrală CAN limitând accesul la partea din față a bateriei.<sup>65</sup> Pompierii au urmărit focul înapoi și din partea din față a vehiculului spre spatele vehiculului, deoarece a fost utilizată o singură linie de furtun. În plus, deoarece nu au putut obține acces direct la interiorul bateriei, dispozitivul pompierii au folosit aceleași tactici ca în testul B1 și au răcit tava de podea cu duzele setate pe ceață pentru a ajuta la stăpânirea focului.

#### 6.2.5.4 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de către Exponent în timpul testului B2 o dată fiecare secundă. Temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului și a acestora timpii corespunzători au fost rezumați în Tabelul 37 și Tabelul 38 și reprezentați grafic în Figura 82 și Figura 83. <sup>66</sup> Majoritatea temperaturilor maxime și fluxurilor de căldură măsurate în timpul testului a avut loc după ce arzătoarele au fost oprite, ceea ce înseamnă că focul bateriei a rămas fierbinte chiar și după scoaterea arzătoarelor.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC de la 1 la 10) au fost între 1439 și 1628 °F. Temperaturile maxime măsurate pe interiorul bateriei (TC 13 până la 15) au fost între 1022 și 1459 °F. Odată ce au început eforturile de suprimare, temperaturile au scăzut; cu toate acestea, vârfuri semnificative au continuat să apară între 22 și 47 minute, deoarece bateria s-a reaprins de mai multe ori.

---

<sup>65</sup> Conexiunea magistralei CAN a fost consolidată pentru acest test pentru a încerca să creeze o perioadă mai lungă de colectare a datelor.

<sup>66</sup> TC 11 și 12 au eșuat în timpul testării și nu au fost incluse în tabele sau grafice.

Măsurătorile fluxului de căldură au urmat o tendință similară cu datele TC, unde majoritatea valorilor maxime au fost găsite după oprirea arzătoarelor. Fluxul maxim de căldură la a

Distanța de distanță de cinci picioare față de VFT a fost de 2,1 kW/m<sup>2</sup> și la distanțe suplimentare, 15, 20 și 25 de picioare, fluxurile maxime de căldură au fost între 1,8 și 2,7 kW/m<sup>2</sup>.

Tabelul 37 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului B2

TC	Maxim Temperatura (°F)	Țimp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Țimp
1	1481	0:22:03	8	1436	0:22:02
2	1453	0:21:52	9	1457	0:22:02
3	1439	0:21:37	10	1466	0:22:02
4	1482	0:21:51	13	1450	0:21:53
5	1437	0:22:02	14	1459	0:22:02
6	1628	0:19:07	15	1022	0:22:48
7	1440	0:22:00			

Tabelul 38 Rezumatul Testului B2 Măsurătorile fluxului de căldură maxim

Măsurare	Fluxul de căldură (kW/m <sup>2</sup> )	Țimp
HFG1 (5 picioare)	2.1	0:34:16
HFG2 (15 picioare)	1.8	0:19:58
HFG3 (20 de picioare)	2.7	0:22:08
HFG4 (25 picioare)	2.0	0:52:48

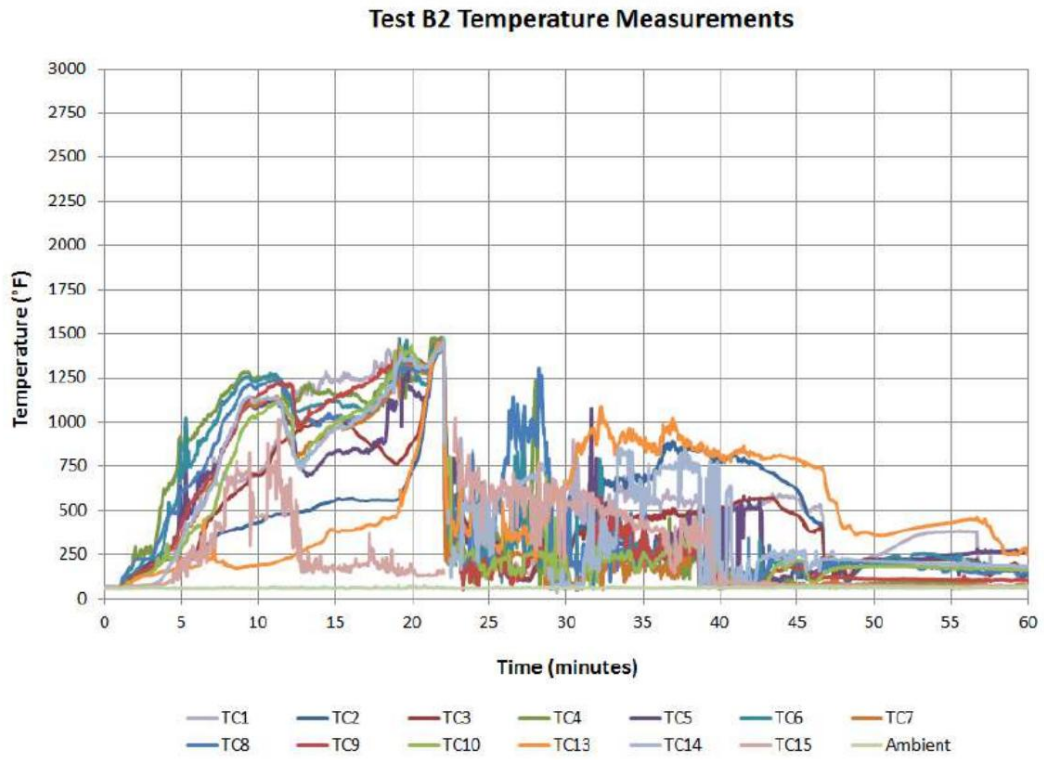


Figura 82 Testul B2 TC plot

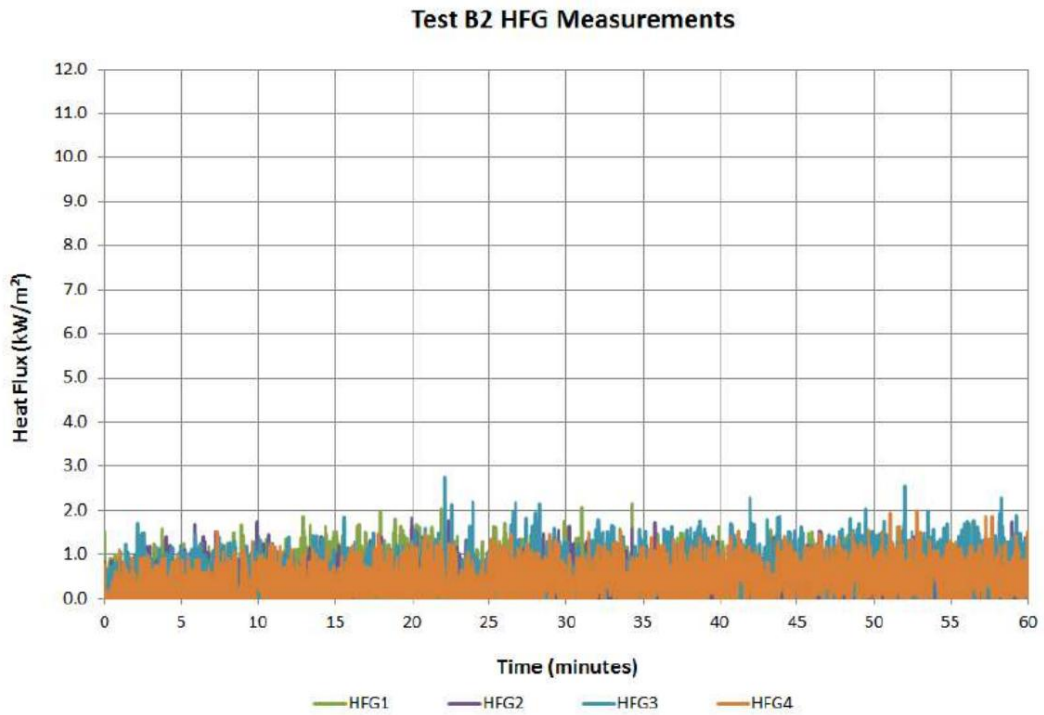


Figura 83 Testul B2 HFG plot

### 6.2.5.5 Măsurătorile senzorului intern al bateriei

Tensiunile interne ale celulei și măsurătorile senzorului de temperatură a bateriei interne au fost colectate de Exponent în timpul testării la o rată efectivă de o dată pe secundă, așa cum se arată în Figura 84. As demonstrat în complot, sistemul DAQ a pierdut contactul cu bateria după 7 minute și 43 secunde (0:07:43 în timpul testului). La momentul respectiv, un singur senzor de temperatură intern (Senzorul #6) s-a schimbat semnificativ de la începutul testului. Ca atare, aceasta a fost singura temperatură senzorul reprezentat în figura 84, care a înregistrat o temperatură maximă de 46 °C. La care în același timp, niciuna dintre tensiunile individuale ale celulei nu a înregistrat o scădere a tensiunii.

Senzorul de temperatură #6 a fost găsit în partea centrală a bateriei de către siguranța, așa cum se arată în Figura 85. Niciunul dintre TC-urile interne instalate de Exponent (TC-urile 13-15) nu a fost în aceeași zonă ca acest senzor pentru a oferi informații suplimentare asupra asaltului termic al bateriei era sub la acea vreme. Cele trei TC interne sunt la distanță de la Senzorul #6 la momentul magistralei CAN eșec măsurat temperaturi între 208 și 757 °F. O investigație criminalistică post-test a dezvăluit că modul de defecțiune a fost același cu cel descris pentru testul HRR (a se vedea secțiunea 6.1.1.4), unde defecțiunea a fost probabil un scurtcircuit intern în sursa de alimentare a magistralei CAN.

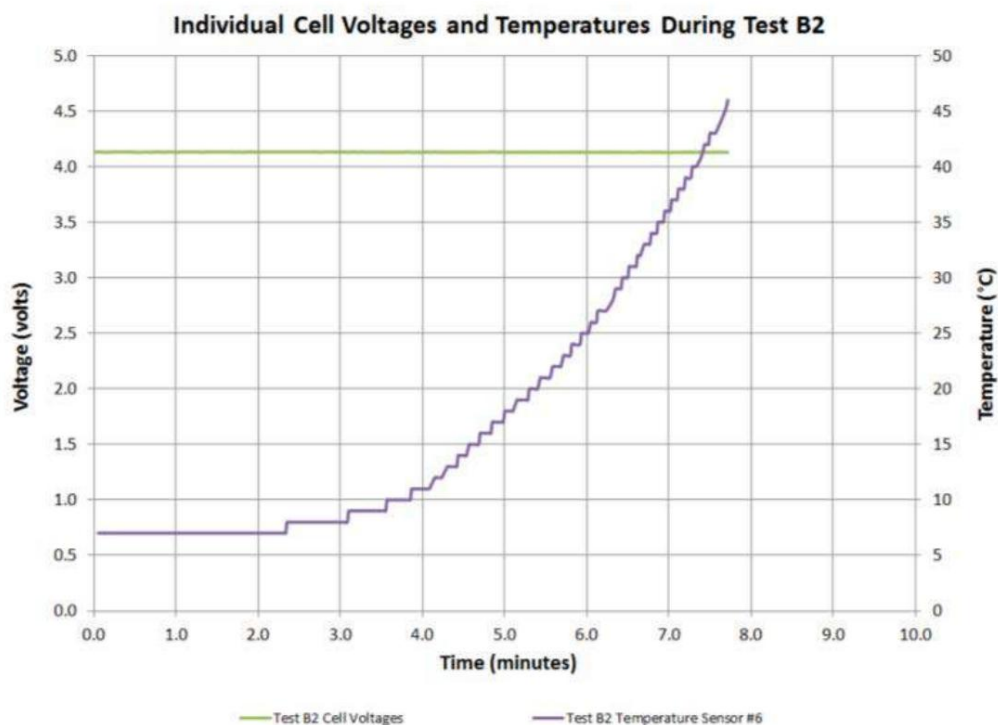


Figura 84 Tensiunile și temperaturile interne ale celulei în timpul testului B2





Figura 85 Locația senzorului de temperatură nr. 6 în baterie B2

#### 6.2.5.6 Măsurători electrice

Măsurătorile de curent și tensiune pentru Testul B2 au fost efectuate folosind configurația și metodologia descrisă anterior. Măsurătorile au fost înregistrate în timpul unei porniri inițiale perioada anterioară aprinderii sau stingerii incendiului pentru a determina o măsurare de bază a surse de zgomot de fond. Măsurătorile au continuat pe parcursul întregului test și un rezumat a rezultatelor în timpul activităților de stingere a incendiilor sunt prezentate în Tabelul 39 de mai jos, arătând valorile maxime, minime și trei quartile pentru toate cele patru măsurători înregistrate. Deplin măsurătorile sunt furnizate în Anexa E.

Tabelul 39 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test B2

	Mediana maximă	Q3		Î1	Minim
Curentul duzei	2.6	0,4	0,0	-0,4	-2,6
Tensiunea duzei	0,45	0,04	0,02	-0,09	-0,10
Curentul șasiului	4.1	1.4	0,5	-0,6	-3,6
Tensiune șasiu	0,75	0,52	0,43	0,35	0,20

O analiză detaliată a semnalului înregistrat la rezoluție completă de 2 kHz pentru curentul și tensiunea duzei au fost efectuate măsurători. Măsurători de curent în timpul activităților de stingere a incendiilor

a rămas în aceleași niveluri de zgomot ca cele observate în timpul înregistrării inițiale de fundal și rezultatele de mai sus sunt rezumate pentru filtrarea mediană a datelor de 50 ms pentru a reduce efectul aparent al zgomotului asupra rezultatelor. La fel, măsurătorile tensiunii în timpul stingerii incendiilor activitățile au rămas în general în aceleași niveluri de zgomot observate în timpul de fond inițial înregistrare. Scurte abateri de la nivelul de fundal au fost observate ocazional când pompierii au introdus duza în interiorul șasiului, posibil contactând o porțiune expusă a baterie, cu toate acestea, aceste modificări ale tensiunii au fost scurte și nu au fost înregistrate niveluri de tensiune în exces de  $\pm 0,5$  V.

Nicio măsurare a curentului pe șasiu nu a depășit 4,1 mA în orice moment în timpul activităților de stingere a incendiilor. Măsurătorile tensiunii pe șasiu indică faptul că o tensiune continuă mică de aproximativ 0,4 V a fost prezent intermitent pe caroseria șasiului (consecvent cu testele post-măsurare) cu abateri scurte de până la  $\pm 0,75$  V.

#### 6.2.5.7 Rezultatele reviziei

Imaginile termice ale bateriei au început la un timp scurs de 60 de minute, imediat după activare activitățile de suprimare au încetat, să monitorizeze, împreună cu TC-urile bateriei, bateria după foc. După cum se arată în Figura 86, imagistica termică a demonstrat că exteriorul bateriei a fost încă peste 100 °F în anumite locații, în special la siguranță (prezentată în Figura 86) și la Zona de conexiune CAN bus. Bateria a fost lăsată în VFT pentru restul zilei și a fost monitorizat cu imagini termice și TC-uri pentru orice activitate suplimentară. După 60 de minute, TC-urile exterioare și interioare instalate pe și în baterie au măsurat în continuare temperaturi ridicate, așa cum până la 260 °F pe exterior și 247 °F pe interior. Ca atare, Exponent a continuat colectați măsurătorile de temperatură pentru încă 18 ore pentru a înregistra profilul temperaturii bateria pe măsură ce se răcea. După cum este raportat în Tabelul 40 și reprezentat grafic în Figura 87, toate exterioare și TC-urile bateriei interioare nu au atins temperaturile ambiante decât după aproape 13 ore de la testare.

Bateria a rămas în VFT pentru restul zilei și a fost scoasă următoarea dimineață, la aproximativ 19 ore după încheierea testării. A fost mutat la a zonă de depozitare a bateriei fără probleme.

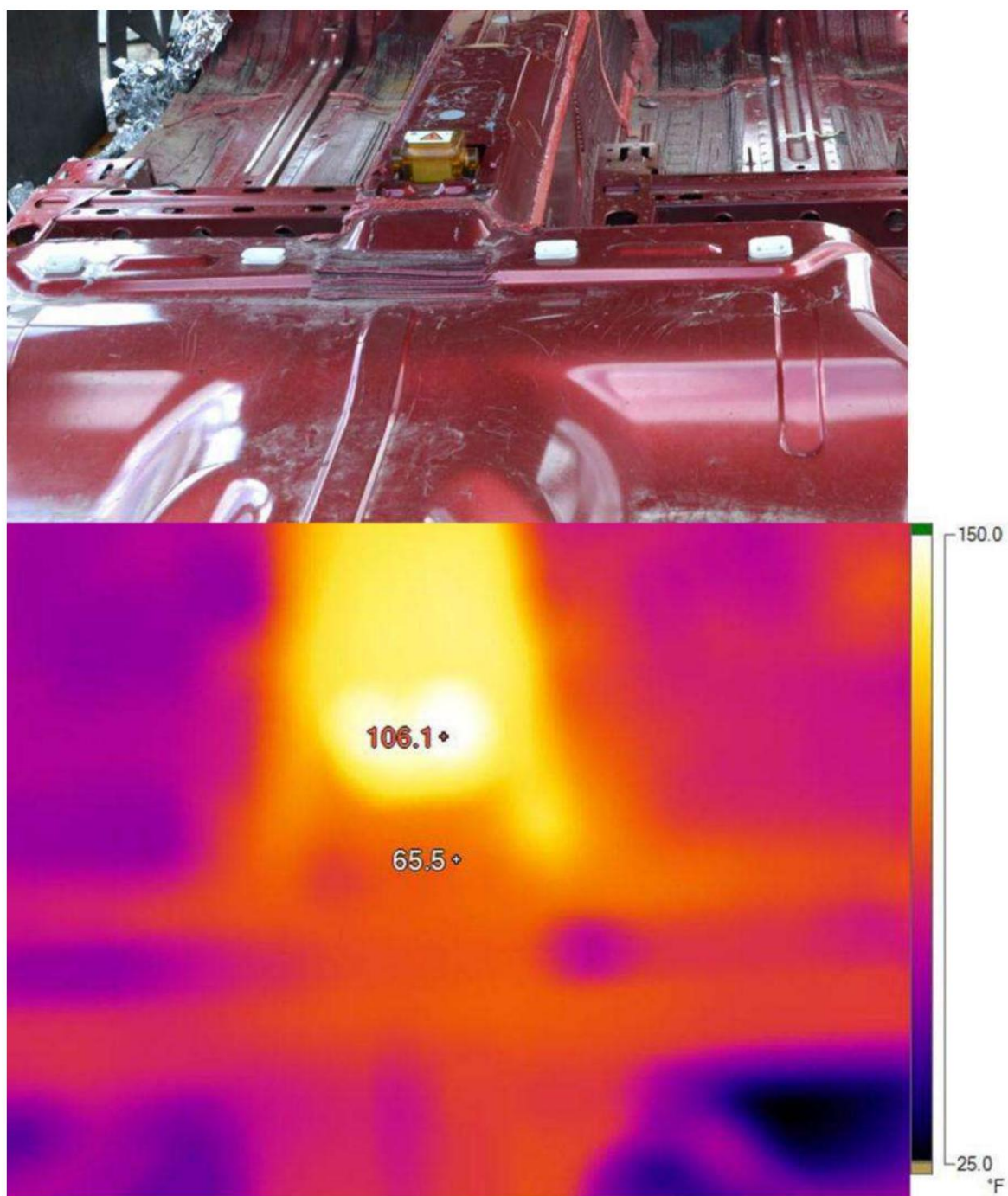


Figura 86 Ansamblu panou de podea din spatele VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a bateriei B2 la 75 de minute (de jos)

Tabelul 40 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului B2 după 1, 2, 3, 6, 12 și 18 ore

TC	Temperatura (°F) După:					
	1 oră	2 ore	3 ore	6 ore	12 ore	18 ore
1	149	274	229	140	68	42
2	143	272	231	147	68	40
3	168	200	187	131	63	39
4	75	79	96	65	48	36
5	260	287	196	132	63	38
6	170	197	197	102	53	35
7	74	71	82	56	43	37
8	147	116	79	47	40	34
9	103	87	84	53	45	40
10	165	118	99	62	45	36
13	247	297	232	133	60	38
14	182	150	133	86	53	40
15	72	70	65	58	54	46

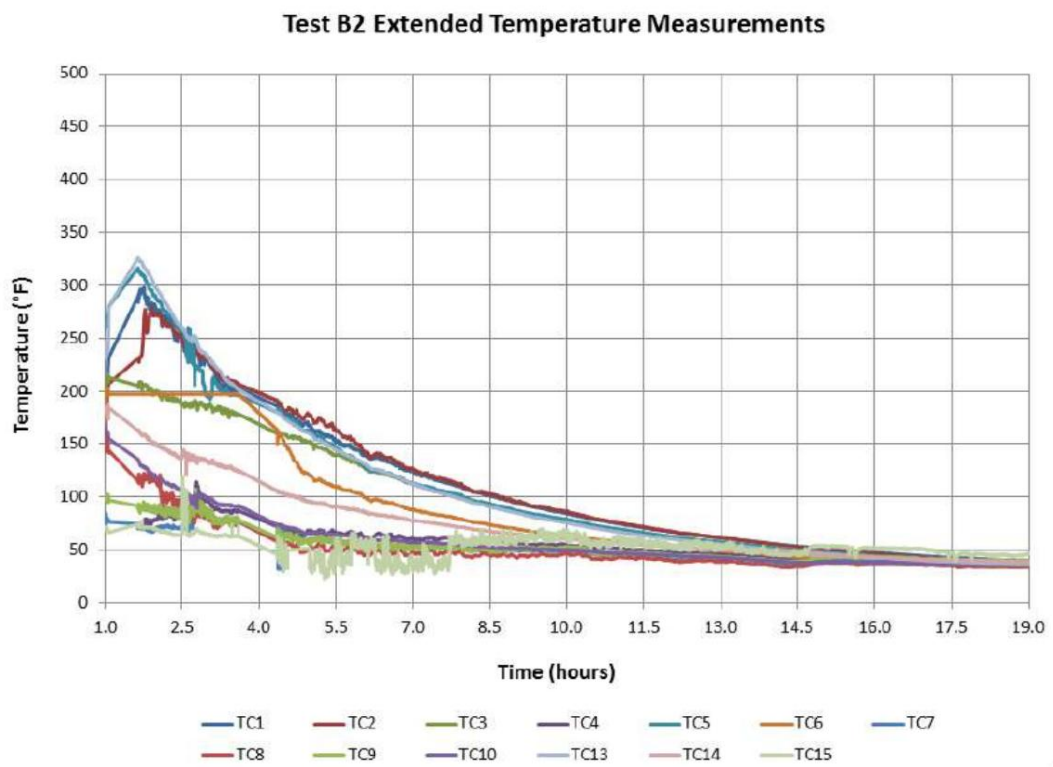


Figura 87 Măsurători extinse de temperatură pentru Testul B2

#### 6.2.5.8 Rezultatele prelevării de apă

Prelevarea detaliată a apei nu a fost efectuată pentru Testul B2. Probe de apă pentru fiecare tip de baterie au fost analizate pentru testul de stingere a incendiilor în cel mai rău caz așteptat, care a inclus finisaje interioare (Testele A3 și B3). Consultați Secțiunea 6.2.6.8 pentru rezultatele prelevării de apă pentru bateria B.

### 6.2.6 Testul bateriei B3

Bateria B este un acumulator EDV de 16,0 kWh, închis într-o carcasă din fibră de sticlă în formă de T și a fost montat rigid în porțiunea centrală a VFT, așa cum este descris anterior în secțiunile 4.1.2 și

5.2. Testul B3 a fost efectuat pe 3 aprilie 2013, la aproximativ 13:30. La începutul

test, au fost nori împrăștiați, cu o temperatură de aproximativ 51 °F și o rudă

umiditate de aproximativ 29%. Vântul a fost dinspre vest-nord-vest cu un vânt mediu

viteza de 12 mph și rafale de până la 18 mph. Următoarele secțiuni rezumă datele colectate

de Exponent în timpul suprimării Testul B3.

## 6.2.6.1 Observații de testare

Tabelul 41 rezumă evenimentele cheie observate de personalul Exponent în timpul testului B3. Imagini la timpii semnificativi de testare sunt furnizați în Figura 88 și Figura 89. În general, testul a demonstrat un scenariu de incendiu mai sever decât cel văzut la Testele B1 și B2 datorită finisajelor interioare suplimentare.

Observațiile referitoare la implicarea bateriei au inclus sunete puternice din interiorul bateria și arcul vizibil. Fum alb și degajarea de gaze au fost observate în mod constant pe tot parcursul testul și au fost în concordanță cu eliberarea de material electrolit. Cu toate acestea, fără proiectile, explozii sau explozii au fost observate în timpul testului în timp ce bateria a fost expusă arzătoarelor, în timp ce era în stare de ardere liberă, în timp ce era suprimat sau după eforturi de suprimare încetat.

Odată începută suprimarea, pompierii au aplicat un flux constant de apă la focul bateriei încercând să controleze flăcările. Spre deosebire de Testele B1 și B2, pompierii au fost mai concentrați la aplicarea unei cantități semnificative de apă pe baterie în mai multe unghiuri diferite (spate, față, lateral, prin roți) devreme pentru a introduce apă pe baterie oricum este posibil. Această tactică a fost succes, deoarece eforturile de suprimare activă au încetat la aproximativ paisprezece minute după prima aplicarea apei. Odată ce incendiul a fost stăpânit, a continuat să fumeze și să scadă gaz pt câteva ore după aceea, deși nu s-a observat nicio reaprindere. Temperaturile exterioare pe Carcasa bateriei și temperaturile interne ale bateriei nu au scăzut până la niveluri apropiate de ambianță până când la aproape trei ore de la începutul testului. Consultați Secțiunile 6.2.6.2 și 6.2.6.3 pentru mai multe detalii despre eforturile de stingere a incendiilor și secțiunea 6.2.6.7 pentru mai multe detalii despre operațiunile de revizie.

Tabelul 41 Testul B3 Observații cheie

Timp	Eveniment
0:00:00	Porniți DAQ și camere video
0:01:06	Aprindeți arzătoarele
0:01:37	Fum alb produs
0:01:49	S-a produs fum gri închis
0:02:51	Sunet pop auzit din interiorul bateriei (pops)
0:04:18	Creșterea producției de fum alb
0:04:33	Flăcări în spatele bateriei

Timp	Eveniment
0:04:53	Producție constantă de fum alb
0:05:30	Flăcări pe scaunul din față
0:06:18	S-a auzit un zgomot
0:06:29	Fum negru produs
0:07:01	Compartimentul pentru pasageri complet implicat
0:07:22	Înălțimea maximă a flăcării
0:08:01	Platanizarea dimensiunii focului
0:08:26	Pop puternic
0:09:31	Înălțimea flăcării scade
0:09:49 – 0:10:51	Pops
0:12:00	Arderea bateriei frontale crește
0:12:33	Fum alb produs în fața bateriei
0:14:43	Flacără susținută la siguranță
0:17:14 - 0:17:28	Pops
0:18:19	Creștere semnificativă a dimensiunii focului, sunet „whoosh” auzit
0:18:35	Se aude zgomot, flăcările cresc, producția de fum alb crește
0:18:53	Trage în fața bateriei
0:19:10 - 0:20:53	Pops
0:21:00	Arzătoarele s-au oprit, nicio modificare vizibilă a mărimii focului
0:21:05 - 0:21:07	Pops
0:22:05	Suprimarea începe din spatele VFT
0:22:43	Pompierii atacă focul din partea pasagerului a VFT
0:24:25	Pompierii atacă focul de pe roata din spate
0:24:45	Pops, arc
0:25:16 – 0:25:33	Focul a reaprins în fața bateriei
0:25:55	Pompierii deschid capota la VFT și atacă focul din capota deschisă a VFT
0:27:45	Pompierii deschid trapa din spate către VFT și atacă focul din spatele VFT
0:28:53	Pompierii atacă focul de pe roata din spate



Timp	Eveniment
0:29:36	Pompierii atacă focul din partea pasagerului a VFT
0:30:42	Pompierii atacă focul din fața VFT
0:33:04	Pompierii atacă focul din spatele VFT
0:34:28	Pompierii atacă focul de pe roata din spate
0:35:24	Pompierii atacă focul din partea pasagerului a VFT
0:35:58	Suprimarea activă se încheie
0:38:20	Pompierii schimbă rezervorul SCBA
19:00:00	Sistemul DAQ oprit



Figura 88 Test B3: aprindere (stânga sus); degajare de gaze (dreapta sus); implicat pe deplin (stânga jos); arzatoare oprite (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3



Figura 89 Testul B3: începe suprimarea (stânga sus); reaprindere și suprimare (dreapta sus, stânga jos); suprimare post (dreapta jos)

1205174.000 F0F0 0613 RTL3

## 6.2.6.2 Măsurătorile debitului de apă

După cum se raportează în Tabelul 42, incendiul nu a fost doborât rapid și a necesitat un proces destul de consistent aplicarea apei între 22 și 36 de minute pentru controlul focului. Aproximativ 9,5 minute de debitul de apă la 125 gpm a fost aplicat bateriei în acele 14 minute de foc activ suprimare. În total, bateriei au fost aplicate 11 aplicații cu apă variind între 3 și 174 de secunde pentru fiecare aplicație. Exponent estimează un total de aproximativ 1165 de galoane de apă a fost folosită în timpul testului B3.

Tabelul 42 Test B3 Timpi de curgere a apei

Flow Start	Flow Stop	$\Delta t$	Debit (galoane)	Comentarii
0:22:05	0:24:59	0:02:54	363	
0:25:05	0:25:08	0:00:03	6	
0:25:17	0:25:26	0:00:09	19	
0:25:36	0:27:32	0:01:56	242	
0:27:53	0:28:23	0:00:30	62	
0:28:52	0:29:15	0:00:23	48	
0:29:37	0:30:19	0:00:42	88	
0:30:38	0:31:52	0:01:14	154	
0:33:05	0:33:31	0:00:26	54	
0:34:28	0:34:55	0:00:27	56	
0:35:23	0:35:58	0:00:35	73	
	Total	0:09:32	1165	

## 6.2.6.3 Tactici și observații ale pompierilor

După discuțiile de testare cu cei doi pompieri, echipa de suprimare a dezvoltat următoarele declarații cu privire la observațiile lor asupra incendiului și tacticile lor de a-l suprima în timpul testului B3:

- Testul B3 a fost mai ușor de stins, deoarece pompierul de la duză luptase cu focul în timpul Testului B2 și a știut cum să atace cel mai bine focul bateriei.
- Datorită timpului acordat pentru implicarea bateriei (20 minute), tapiteria a fost consumat de foc până când a început suprimarea; au rămas doar cadrele scaunelor.
- Testul B3 a produs mai multă căldură și flăcări decât testele B1 și B2.

- Nu au existat atât de multe probleme în ceea ce privește accesul la foc în timpul testului B3, precum pompierul de la duză avea experiență anterioară.
- Testul B3 a avut mai mult popping decât testul B2.
- Pompierii au simțit că tapițeria face ca bateria să ardă mai repede.
- Potrivit pompierilor, incendiile EDV necesită muncă suplimentară și apă pentru a pătrunde Control.
- Pompierii au folosit aceeași tactică ca la Testele B1 și B2 în ceea ce privește debitul duzei modele; drept pentru atacul inițial și ceață pentru răcirea tavii.

Spre deosebire de testul B1 și B2, pompierul care lucrează cu duza în timpul testului B3 a avut anterior cunoștințe (Test B2) despre cel mai bun mod de a ataca focul. Tacticile de suprimare utilizate au fost diferite pentru Testul B3, deoarece s-au concentrat mai mult pe aplicarea timpurie a unei cantități semnificative de apă pe baterie (aplicarea lor inițială cu apă a fost timp de 2 minute și 54 de secunde) la câteva unghiuri diferite (spate, față, lateral, prin roți) în loc să urmărească focul pe măsură ce acesta reaprindea. Această tactică a avut succes, deoarece eforturile active de suprimare au încetat aproximativ paisprezece minute după prima aplicare a apei.

#### 6.2.6.4 Măsurători de temperatură și flux de căldură

Măsurătorile de temperatură și flux de căldură au fost colectate de către Exponent în timpul testului B3 o dată fiecare secunda. Temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului și a acestora timpii corespunzători au fost rezumați în Tabelul 43 și Tabelul 44 și reprezentați grafic în Figura 90 și Figura 91. <sup>67</sup> Aproximativ jumătate din temperaturile și fluxurile de căldură maxime măsurate în timpul testului a avut loc după ce arzătoarele au fost OPRIT, ceea ce înseamnă adăugarea interiorului finisajele din interiorul VFT au crescut temperaturile și fluxurile de căldură măsurate înaintea arzătorilor fiind oprit.

Temperaturile maxime măsurate pe exteriorul bateriei (TC de la 1 la 10) au fost între 1465 și 2754 °F. Temperaturile maxime măsurate pe interiorul bateriei (TC 13 până la 15) au fost între 1568 și 2782 °F. Odată ce au început eforturile de suprimare,

---

<sup>67</sup> TC 11 și 12 au eșuat în timpul testării și nu au fost incluse în tabele sau grafice.

temperaturile au scăzut; cu toate acestea, vârfuri semnificative au continuat să apară între 22 și 30 minute, deoarece bateria s-a reaprins de mai multe ori.

Măsurătorile fluxului de căldură au urmat o tendință similară cu datele TC, unde jumătate din maxim valorile au fost găsite după ce arzătoarele au fost oprite. Fluxul maxim de căldură la o distanță distanța de cinci picioare de la VFT a fost de 8,1 kW/m<sup>2</sup> și la distanțe suplimentare, 15, 20 și 25 de picioare, fluxurile maxime de căldură au fost între 2,1 și 2,4 kW/m<sup>2</sup>.

Tabelul 43 Rezumatul Măsurătorilor de temperatură maximă a testului B3

TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp	TC	Maxim Temperatura (°F)	Timp
1	1585	0:22:06	8	2166	0:26:00
2	1535	0:22:06	9	1639	0:22:05
3	1589	0:22:06	10	1571	0:22:05
4	1663	0:18:23	13	1568	0:22:06
5	1543	0:21:43	14	2133	0:25:23
6	2754	0:20:48	15	2782	0:19:39
7	1465	0:18:27			

Tabelul 44 Rezumatul testului B3 Măsurătorile fluxului de căldură maxim

Măsurare	Fluxul de căldură (kW/m <sup>2</sup> )	Timp
HFG1 (5 picioare)	8.1	0:08:07
HFG2 (15 picioare)	2.1	0:07:59
HFG3 (20 de picioare)	2.4	0:50:45
HFG4 (25 picioare)	2.4	0:40:23



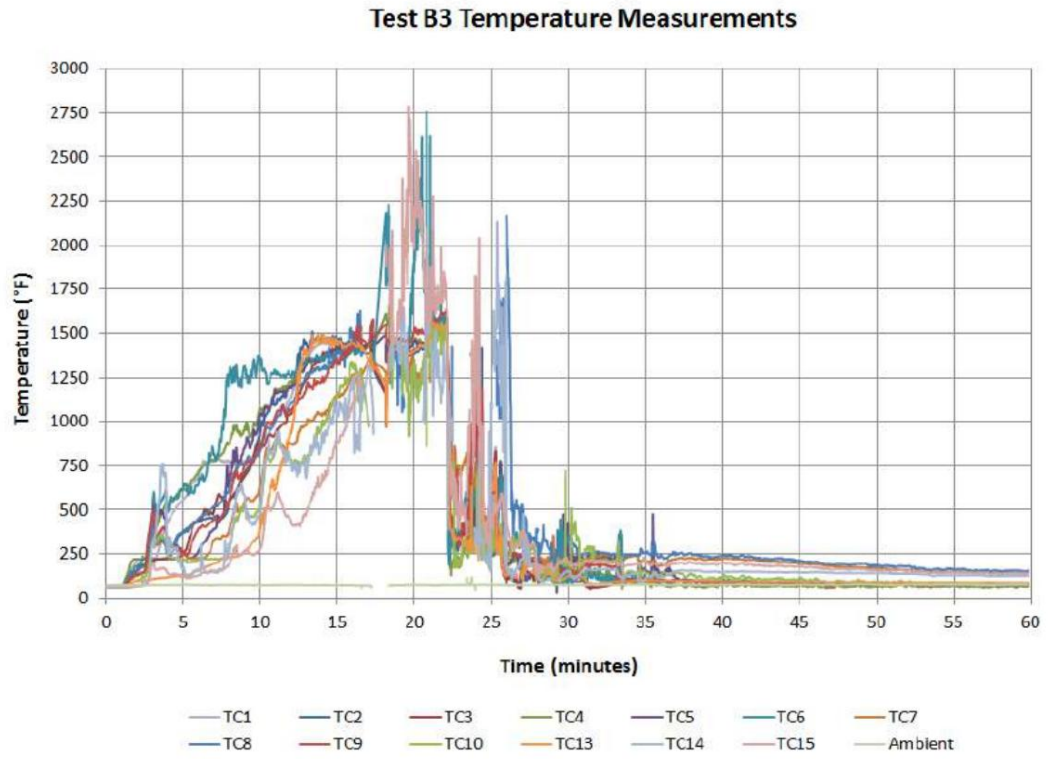


Figura 90 Testul B3 TC plot

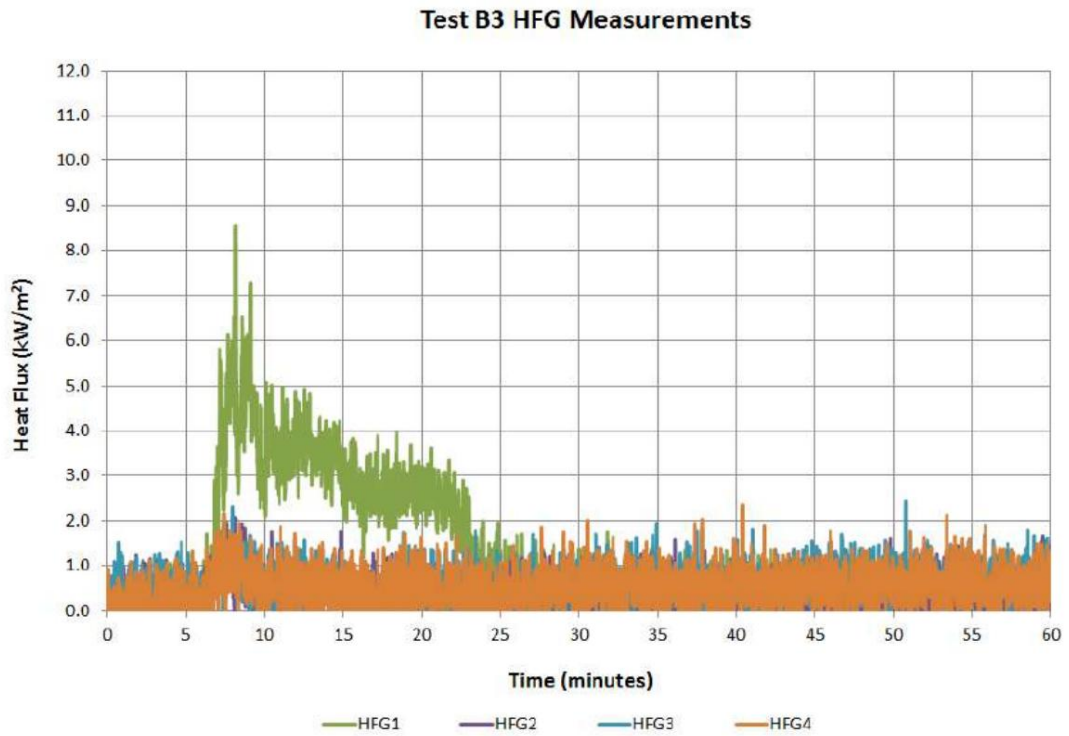


Figura 91 Testul B3 Graficul HFG



### 6.2.6.5 Măsurătorile senzorului intern al bateriei

Tensiunile interne ale celulei și măsurătorile senzorului de temperatură a bateriei interne au fost colectate de Exponent în timpul testării la o rată efectivă de o dată pe secundă, așa cum se arată în Figura 92. As demonstrat în complot, sistemul DAQ a pierdut contactul cu bateria după 8 minute și 38 secunde (0:08:38 în timpul testului). La acel moment, un singur senzor de temperatură intern (Senzorul #6) s-a schimbat semnificativ de la începutul testului. Ca atare, aceasta a fost singura temperatură senzorul reprezentat în figura 92, care a înregistrat o temperatură maximă de 44 °C. La care în același timp, niciuna dintre tensiunile individuale ale celulei nu a înregistrat o scădere a tensiunii.

Senzorul de temperatură #6 a fost găsit în partea centrală a bateriei de către siguranța, așa cum se arată anterior în Figura 85. Niciunul dintre TC-urile interne instalate de Exponent (TC-urile 13-15) au fost în aceeași zonă cu acest senzor pentru a oferi informații suplimentare asupra termică asalt sub care se afla bateria în acel moment. Cele trei TC interne la distanță de la Senzorul #6 la timpul de defecțiune al magistralei CAN a măsurat temperaturi între 232 și 405 °F. O criminalistică post-test investigația a arătat că modul de defecțiune a fost același cu cel descris pentru testul HRR (vezi Secțiunea 6.1.1.4), unde defecțiunea a fost probabil un scurtcircuit intern în alimentarea magistralei CAN.

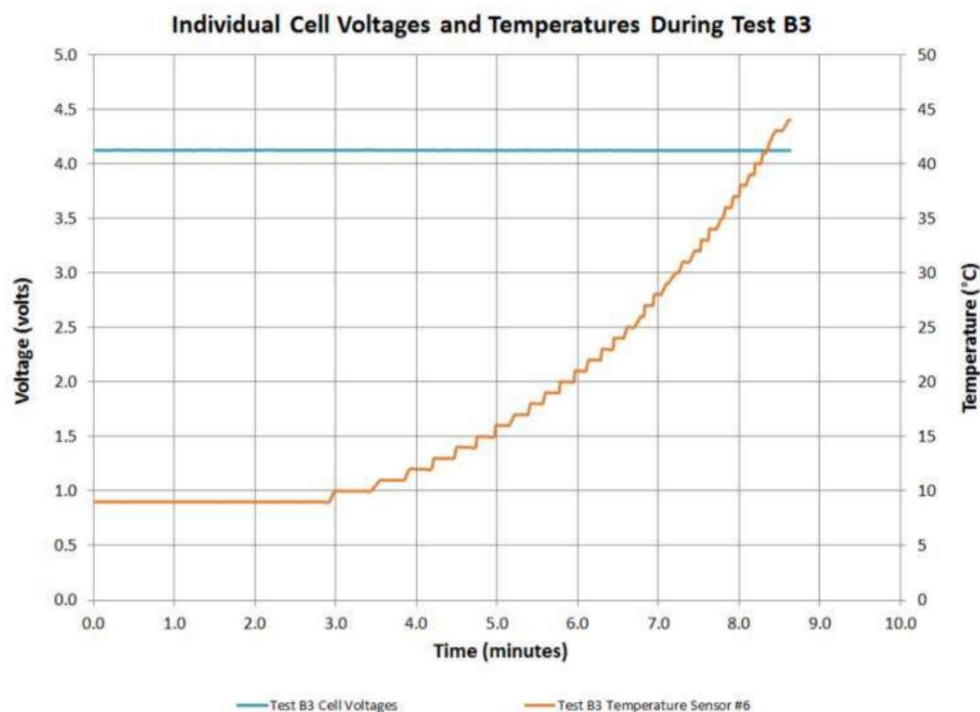


Figura 92 Tensiunile și temperaturile interne ale celulei în timpul testului B3

### 6.2.6.6 Măsurători electrice

Măsurătorile de curent și tensiune pentru Testul B3 au fost efectuate utilizând configurația și metodologia descrisă anterior. Măsurătorile au fost înregistrate în timpul unei porniri inițiale perioada anterioară aprinderii sau stingerii incendiului pentru a determina o măsurare de bază a surse de zgomot de fond. Măsurătorile au continuat pe parcursul întregului test și un rezumat a rezultatelor în timpul activităților de stingere a incendiilor sunt prezentate în Tabelul 45 de mai jos, care arată valorile maxime, minime și trei quartile pentru toate cele patru măsurători înregistrate. Deplin măsurătorile sunt furnizate în Anexa E.

Tabelul 45 Rezumatul măsurătorilor de curent (mA) și tensiune (V) test B3

	Maximum Q3	Mediana Q1	Minim		
Curentul duzei	1.5	0,2	0,0	-0,2	-1,5
Tensiunea duzei	0,31	0,00	0,00	-0,01	-0,02
Curentul șasiului	3.2	1.0	0,4	-0,1	-2,6
Tensiune șasiu	0,58	0,46	0,40	0,35	0,23

O analiză detaliată a semnalului înregistrat la rezoluție completă de 2 kHz pentru curentul și tensiunea duzei au fost efectuate măsurători. Măsurători de curent în timpul activităților de stingere a incendiilor a rămas în aceleași niveluri de zgomot ca cele observate în timpul înregistrării inițiale de fundal și rezultatele de mai sus sunt rezumate pentru filtrarea mediană a datelor de 50 ms pentru a reduce efectul aparent al zgomotului asupra rezultatelor. La fel, măsurătorile tensiunii în timpul stingerii incendiilor activitățile au rămas în general în aceleași niveluri de zgomot observate în timpul de fond inițial înregistrare. Scurte abateri de la nivelul de fundal au fost observate ocazional când pompierii au introdus duza în interiorul șasiului, posibil contactând o porțiune expusă a baterie, cu toate acestea, aceste modificări ale tensiunii au fost scurte și nu au fost înregistrate niveluri de tensiune în exces de  $\pm 0,3$  V.

Nicio măsurare a curentului pe șasiu nu a depășit 3,2 mA în orice moment în timpul activităților de stingere a incendiilor. În cele din urmă, măsurătorile tensiunii pe șasiu indică faptul că o tensiune continuă mică de aproximativ 0,4 V a fost prezent intermitent pe corpul șasiului (conform testelor post-măsurare), cu abateri scurte de până la  $\pm 0,6$  V.

#### 6.2.6.7 Rezultatele reviziei

Imaginile termice ale bateriei au început la 60 de minute, după ce au avut activități de suprimare activă a încetat să monitorizeze, împreună cu TC-urile bateriei, bateria după incendiu. După cum se arată în Figura 93, Imaginile termice au demonstrat că temperatura exterioară a bateriei era încă peste 100 °F în anumite locații, în special la siguranță (prezentată în Figura 93) și la conexiunea magistralei CAN zonă. Bateria a fost lăsată în VFT pentru restul zilei și a fost monitorizată cu imagini termice și TC-uri pentru orice activitate suplimentară. După 60 de minute, exteriorul și interiorul TC instalate pe și în baterie încă măsurau temperaturi ridicate, până la 150 °F pe exteriorul și 136 °F pe interiorul bateriei. Ca atare, Exponent a continuat să colecteze măsurători de temperatură pentru încă 18 ore pentru a înregistra profilul temperaturii baterie pe măsură ce se răcea. După cum este raportat în Tabelul 46 și reprezentat în Figura 94, toate exteriorul și interiorul TC-urile bateriei nu au atins temperatura ambiantă decât după 3 ore de la testare.

Bateria a rămas în VFT pentru restul zilei și a fost scoasă următoarea dimineață, la aproximativ 19 ore după încheierea testării. A fost mutat la a zonă de depozitare a bateriei fără probleme.

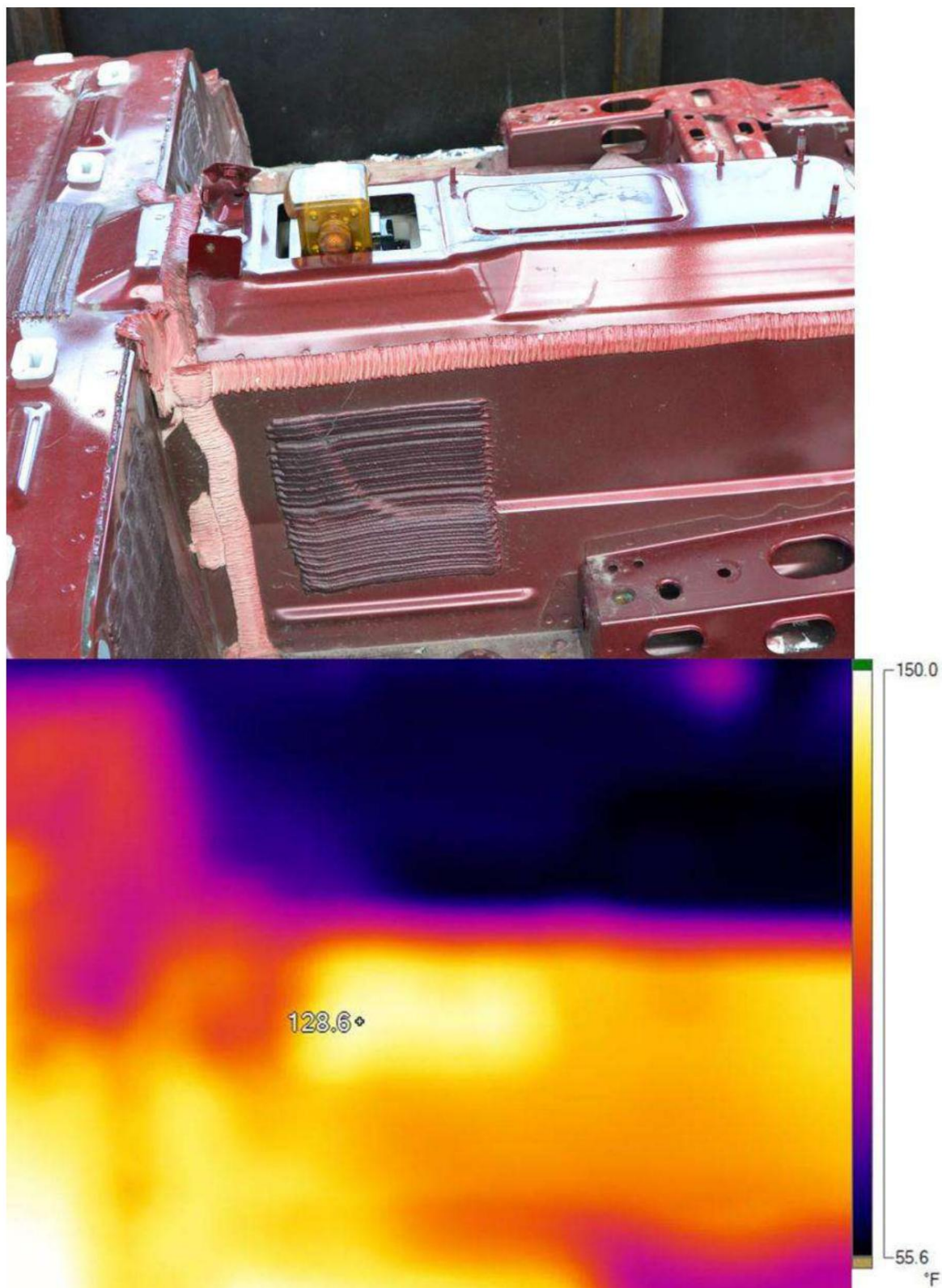


Figura 93 Ansamblu panou de podea din partea laterală a VFT (sus); imagine termică (aceeași vedere) a bateriei B3 la 60 de minute (de jos)

Tabelul 46 Rezumatul măsurătorilor temperaturii testului B3 după 1, 2, 3, 6, 12 și 18 ore

TC	Temperatura (°F) După:					
	1 oră	2 ore	3 ore	6 ore	12 ore	18 ore
1	86	67	65	52	42	37
2	78	61	56	44	36	32
3	73	55	53	43	34	32
4	67	50	57	46	37	30
5	74	55	60	46	37	30
6	72	52	56	45	36	30
7	139	91	78	60	47	39
8	150	100	79	56	45	35
9	76	57	58	50	39	34
10	85	59	62	54	43	34
13	86	67	60	45	36	32
14	125	89	70	51	42	34
15	136	98	75	57	45	38

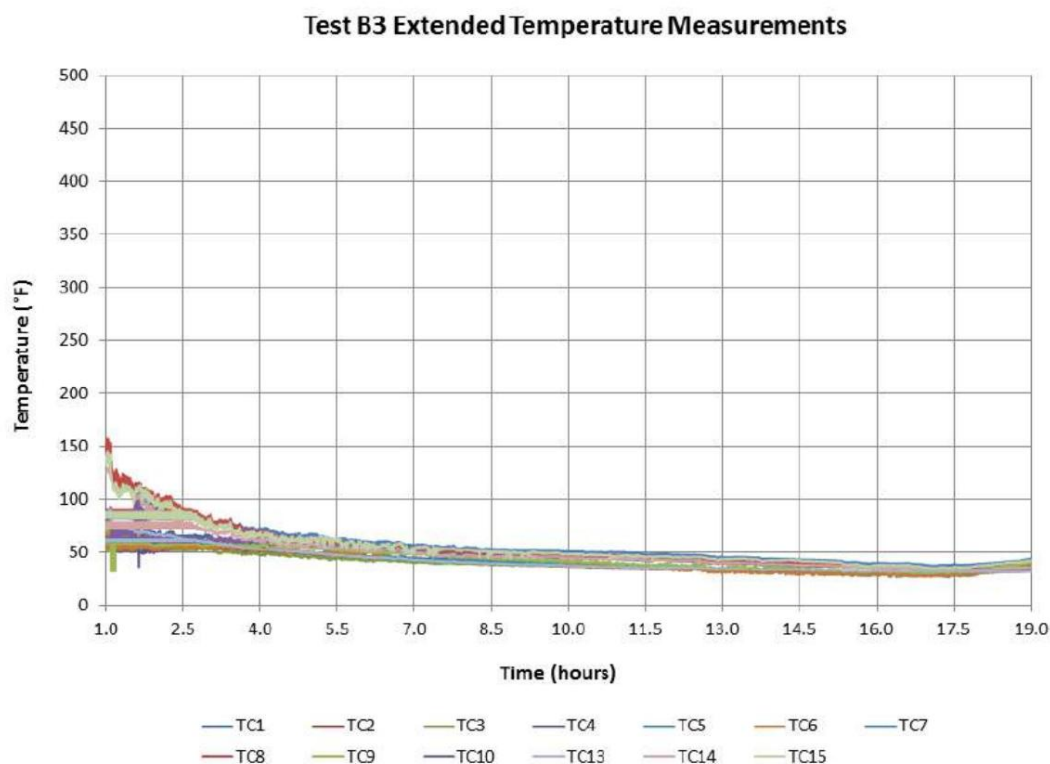


Figura 94 Măsurători extinse de temperatură pentru Testul B3

#### 6.2.6.8 Rezultate prelevare de apă

Proba de apă din testul B3 a fost colectată și trimisă la un laborator terț independent, Analyze, Inc., pentru analiza chimică, așa cum este descris în Secțiunea 5.2.4, împreună cu o probă de control colectate din sursa de apă de suprimare. Un rezumat al rezultatelor prelevării de apă este prezentate în Tabelul 47. Proba de apă din testul B3 a prezentat un pH puțin mai acid (7,3) valoare. În plus, au fost detectate niveluri scăzute de anioni de clorură (60 ppm) și fluor (33 ppm). Când HF și/sau HCl sunt prezente într-o soluție apoasă, se disociază într-un cation și un anion. În plus, prezența cationilor de hidrogen crește aciditatea soluției, determinând scăderea pH-ului. Pe baza prezenței anionilor de clorură și fluor și a pH-ului mai scăzut din proba de test B3 în comparație cu proba de control, HF și HCl au fost probabil prezente (în a cantitate mică) în timpul suprimării.

Tabelul 47 Rezumatul analizei probei de apă pentru testul B3

Element / Test	Concentrație (ppm)	
	Control	Testul A3
pH	7,82	7.31
C organic total	1.3	360
C anorganic total	7.3	21
Clorură	34	60
fluor	0,7	33
Acea	< 0,005	3,60
P	< 1,0	11
Ca	23	42
Deja	13	17
Mg	4.8	7.0
K	2.4	4.8
Sr	0,08	0,44
Al	0,01	1.0
Fe	0,09	0,17
Nu	0,02	0,27
B	0,01	1.8
Zn	< 0,005	2.7
Mn	< 0,005	4.6
Sb	< 0,002	0,70
În	< 0,010	0,69
Co	< 0,005	0,76
Cu	< 0,005	0,14
La fel de	< 0,010	< 0,010
ÎN	< 0,002	0,003



## 7 Discuție

---

Următoarea secțiune este o discuție a datelor și observațiilor colectate la scară completă HRR și teste de stingere a incendiilor și servește la completarea prezentării datelor în secțiune 6.

### 7.1 Observații generale ale testului

Următorul este un rezumat al observațiilor generale ale testului.

- Testele de incendiu care au implicat finisaje interioare ale vehiculelor au produs incendii mult mai intense cu înălțimi generale mai mari ale flăcării decât arderile numai pe baterie.
- La o distanță de 5 picioare de VFT, măsurătorile maxime ale fluxului de căldură pentru testele fără finisaje interioare (A1, A2, B1, B2) au fost între 2,1 și 3,7 kW/m<sup>2</sup>. În Comparativ, măsurătorile fluxului termic maxim pentru testele cu finisaje interioare (A3 și B3) au fost între 8,1 și 11,9 kW/m<sup>2</sup>.
- În niciunul dintre teste nu au fost observate proiectile din acumulator. Niciunul dintre bateriile testate „au explodat” sau „au explodat” oricum, cu toate acestea, scânteii violente au fost observate în timpul testului HRR.
- În toate testele, sunete „popping” și „arc” și degajarea de gaze a fumului alb consistent cu celulele interne ale bateriei din pachetul de baterii supuse evadare termică au fost înregistrate. O descriere suplimentară a evenimentelor de evadare termică este furnizată în secțiunea 7.2.
- A fost folosită apă pentru stingerea cu succes a tuturor incendiilor în timpul testelor de suprimare; totuși, timpul necesar aplicării apei și volumul total de apă necesar pentru stingere a fost semnificativ mai mare decât ceea ce este necesar de obicei pentru stingerea unui incendiu tradițional de vehicul ICE. O descriere suplimentară a timpului și cantitatea de apă este prevăzută în secțiunea 7.8.
- Într-un test, bateria s-a reaprins la 22 de ore după ce bateria a fost stinsă (adică, nr semne de flăcări vizibile, fără semne de emisii semnificative de gaze sau fumat și suprafață citirile de temperatură de pe baterie au fost aproximativ ambientale).

## 7.2 Tactici de stingere a incendiilor

Următorul este un rezumat al observațiilor și feedback-ului pompierilor cu privire la stingerea incendiilor tactici.

- După mărirea dimensiunii inițiale și doborârea flăcărilor vizibile, au fost activități de suprimare oprite. La toate testele au avut loc reaprinderi. Aceste evenimente au coincis probabil cu cele termice fugă la nivelul celulei individuale în interiorul pachetelor de baterii. În timp ce flăcări vizibile din baterii s-au stins în mod clar, era evident că temperaturile din interiorul bateriile erau încă suficient de mari încât să se producă fuga termică a celulelor interne.
- Pompierii au raportat și datele testelor susțin următoarele observații cu privire la aceste evenimente de reaprindere întârziată. După doborârea flăcărilor vizibile și ca celulele probabil a suferit evadare termică, reaprinderile ulterioare au fost caracterizate de sunete de „șuituri” sau „popping”, urmate de gaze de fum alb și/sau arcuri electrice/scântei care s-au reaprins cu flăcări/foc vizibile. De obicei, aceasta ar rezulta în flăcări vizibile care puteau fi doborâte rapid de pompieri cu un singur linie de furtun. Acest proces de reaprindere s-ar repeta până când va curge suficientă apă reduceți suficient temperaturile interne ale bateriei până la punctul în care evadarea termică nu ar continua.
- Aplicarea continuă a apei pe o zonă localizată a bateriei pentru o perioadă prelungită perioada de timp înainte de a trece pe o altă zonă a bateriei poate oferi un total mai rapid stingere, așa cum sa văzut în testul B3. În plus, odată ce incendiul bateriei principale a fost aplicare controlată, continuă a apei la baterie cu duza pusă pe ceață, ca a fost efectuat în timpul mai multor teste, ar putea răci și mai mult exteriorul bateriei, contribuind astfel la reducerea temperaturii celulelor interne. Acest lucru ar putea reduce probabilitatea de gazare suplimentară a electrolitului și reaprinderea celulelor interne ale bateriei.
- În două teste (B2 și B3) timpul total de stingere a depășit aerul disponibil aprovizionare pentru unul dintre pompieri. Având în vedere duratele lungi așteptate pentru a răci arderea bateriile până la punctul în care evadarea termică încetează, protocoalele pompierilor ar trebui să țină cont pentru potențialul necesar pentru mai multe rezervoare SCBA. Va fi necesară o echipă de suport pentru a întări și, eventual, elibera echipa de suprimare a doi pompieri, după cum este necesar.

- Timpul de aplicare a apei au fost mai mari pentru seria de teste pentru baterie B. Poate că asta a fost influențată de dimensiunea generală mai mare și ratingul bateriei B, totuși, prezența panoul de podea al vehiculului de deasupra bateriei a reprezentat, de asemenea, o barieră semnificativă pentru aplicarea apei la bateria care arde. Consultați Secțiunea 7.8 pentru o discuție suplimentară despre volumele totale de apă necesare pentru stingere.
- Pompierii au raportat în unanimitate că accesul la „punctele fierbinți” sau „căldură” a fost a barieră semnificativă în calea eforturilor de stingere. În cazul bateriei A, situată în spate compartimentul de marfă, toate, cu excepția părții inferioare a bateriei, au fost ușor expuse în timpul activității de stingere a incendiilor. În cazul bateriei B, panoul podelei vehiculului este poziționat deasupra bateriei a împiedicat în mod semnificativ capacitatea pompierilor de a aplica direct apă la bateria care arde. Cu toate acestea, în ambele teste, accesul la baterii a fost mult mai mult decât ceea ce vor experimenta pompierii în scenariile de incendiu de vehicule din lumea reală.
- Se poate presupune că problemele de acces întâmpinate de pompierii în timpul acestui program de testare va fi amplificată în timpul scenariilor de incendiu de vehicule din lumea reală.

### 7.3 EIP pentru primul răspuns

În toate testele de stingere a incendiilor la scară largă, pompierii au folosit EIP conform NFPA care consta de cizme, echipament de turnare, mănuși standard de stingere a incendiilor, căști, glugă și SCBA complet.

Nu s-au observat condiții adverse care să susțină schimbarea oricărui EIP utilizat.

Cu toate acestea, în timp ce pompierii au fost instruiți să utilizeze operațiuni ofensive, pompierii îndeplinirea sarcinilor de suprimare au fost instruiți în mod specific să nu interacționeze cu VFT sau bateria pachete dincolo de deschiderea sau închiderea ușilor de acces la compartimentele din față sau din spate a VFT. Nu au fost permise instrumente de intrare forțată sau alte echipamente portabile. Evaluarea tacticilor forțate este dincolo de scopul acestui studiu.

### 7.4 Pericole electrice

Datele de testare arată că curentul de șasiu și duză a fost neglijabil, iar nivelurile de tensiune la șasiul a ajuns la intervalul de aproximativ 0,3 sau 0,4 V, ceea ce a fost în concordanță cu post-teste de măsurare. În plus, nivelurile de tensiune la duză au fost neglijabile. Nici un advers au fost notate condițiile electrice.

## 7.5 Riscuri respiratorii

În timpul tuturor testelor s-au generat penuri semnificative de fum. Pene albe de fum consistente cu gaze reziduale din celulele de aerisire interne bateriilor au fost observate în toate testele și adesea când flăcările vizibile nu erau prezente. În general, a fost urmată de gazarea fumului alb evenimente de reaprindere întârziată cu flăcări vizibile/incendiu care provin de la acumulator. Având în vedere acestea observații, există riscuri respiratorii. Lucrări recente care au implicat arderea completă (adică, pline) vehiculele ICE și EDV-urile au identificat niveluri similare de compuși toxici în fum, inclusiv CO<sub>2</sub>, oxizi de azot (NO<sub>x</sub>), cianuri de hidrogen (HCN), HCl, CO și HF.<sup>68</sup> Gaz eșantionarea efectuată în timpul testului HRR a arătat doar prezente CO și CO<sub>2</sub>. Fără HF sau HCN a fost detectat. Datele testelor indică faptul că, în concordanță cu alte lucrări recente, riscurile respiratorii asociate cu incendiile EDV sunt similare cu incendiile tradiționale ICE. Oricare și toți pompierii implicați la stingerea, manipularea și revizuirea incendiilor EDV ar trebui să poarte în conformitate cu NFPA EIP, inclusiv SCBA, ori de câte ori executați tactici de suprimare, manipulare sau revizuire.

## 7.6 Pericole de apă

Proba de apă din testul A3 a fost puțin mai acidă și conținea mai mult (deși încă scăzute în comparație cu proba martor) niveluri de clorură și fluor decât proba de apă din testul B3. Prin urmare, este probabil ca HF și HCl să fi fost prezente în timpul activităților de suprimare pentru ambele baterii, dar într-o cantitate mai mare pentru testele Bateriei A. În plus, concentrația de clorură probabil din HCl în soluție a fost doar de 2 până la 3 ori mai mare decât cea normală detectată niveluri, în timp ce concentrația de fluor probabil din HF în soluție a fost mai mare de 100 ori mai mare decât nivelurile normale detectate. Degradarea termică a polimerilor conținuți în ambele se știe că bateriile generează HF. În plus, deși proprietar, este probabil ca electrolitul pentru ambele baterii ar produce HF și HCl într-o anumită cantitate în timpul termic descompunere.

---

<sup>68</sup> Lecocq, A, et al., „Compararea consecințelor incendiului ale unui vehicul electric și al unui vehicul cu motor cu ardere internă”. INERIS, Conferința Internațională FIVE – Fires in Vehicles, Chicago, IL, 27-28 septembrie 2012.

## 7.7 Agent de stingere (apă)

Apa fără aditivi a fost aleasă ca agent supresor pentru toate testele efectuate. Apa era furnizată de la un hidrant din apropiere conectat la un sistem public de apă care furnizează apă proaspătă (de exemplu, nu apă sărată). În toate testele, apa a fost folosită cu succes pentru a stinge bateriile care ardeau.

Cu toate acestea, într-unul dintre cele șase teste de suprimare la scară maximă, bateria s-a reaprins după 22 de ore.

Având în vedere cantitățile mari de apă necesare pentru a răci suficient bateriile și durata durată pentru a atinge temperaturi reduse, alimentarea cu apă poate fi o problemă. Termen lung operațiunile de suprimare vor necesita probabil o alimentare cu apă suficient de mare. În zonele îndepărtate sau acolo unde nu este disponibil niciun hidrant, strategiile de suprimare ofensivă vor necesita probabil apă navetă, aranjament de proiectare, rotație a apei sau companii suplimentare echipate cu departamentele de pompieri cu surse suplimentare de apă.

## 7.8 Calcule debit de apă

Un rezumat al timpului de suprimare scurs, al timpului de curgere a apei și al volumelor totale de apă aplicate fiecare test la scară completă de stingere a incendiilor este prezentat în Tabelul 48 de mai jos. Mai multe observații și tendințele sunt evidente:

- În general, incendiile bateriei EDV necesită operațiuni de suprimare activă semnificativ mai lungi reaprinderi de luptă și volume totale de apă semnificativ mai mari decât ICE tradiționale incendii de vehicule. Această creștere este atribuită nevoii de apă nu numai pentru a stinge flăcări vizibile, dar pentru a răci componenta bateriei până la punctul în care evadarea termică nu va continua.
- Bateria A necesită, în general, mai puțină apă pentru a se stinge decât bateria mai mare B. Acest lucru este probabil influențat de dimensiunea totală a bateriei, dar a fost mai probabil influențată de poziția bateriilor în VFT. Bateria A era amplasată în compartimentul de marfă din spate și era ușor accesibil pe cinci laturi (toate cu excepția celei de jos), în timp ce bateria B era situată sub panoul podelei vehiculului și era semnificativ ecranat.

- În seria de teste A, este necesar testul la scară completă care implică componente de finisaj interior aproximativ de trei ori volumul mediu de apă necesar pentru stingerea bateriei se declanșează doar.
- În seria de teste B, este necesar testul la scară completă care implică componente de finisaj interior aproximativ jumătate din volumul mediu de apă necesar pentru stingerea bateriei se declanșează doar. Acest număr a fost influențat de experiența anterioară a unuia dintre pompierii, care au stins bateria Test B2 în ziua precedentă. Acest pompier a recunoscut că a dobândit cunoștințe despre cel mai bun și mai potrivit mod de a accesa bateria de sub tava de podea în timpul testului anterior.

Tabelul 48 Rezumatul calculelor debitului de apă pentru toate testele

Test	Timp de operare de suprimare scurs (min)	Flux de apă oră (min.)	Apa totala Debit (gal)	Comentarii
A1	5,88	2.20	275	Doar baterie
A2	36,60	3,53	442	Doar baterie
A3	49,67	9,77	1060	Baterie + Interior Componente
B1	26.52	14.03	1754	Doar baterie
B2	37,60	21.37	2639	Doar baterie
B3	13.88	9.32	1165	Baterie + Interior Componente

## 7.9 Revizuire și curățare

În urma stingerii bateriilor, temperaturile au fost monitorizate în urma testelor. Într-un test (A3), bateria s-a reaprins 22 de ore mai târziu. În timpul activităților active și post-suprimare, poziția bateriei în vehicul va dicta dacă tehnicile de imagistică termică pot sau nu să vă bazați pentru a determina când bateria este „rece”. În unele cazuri, poziția (de exemplu, ecranarea și amplasarea în vehicul) a bateriei va fi astfel încât termoviziune să fie de nr utilizare. După cum s-a demonstrat în teste, măsurătorile TC sursei punctuale pe exteriorul bateriei nici carcasa nu trebuie să se bazeze.

## 8 constatări cheie

---

### 8.1 Întrebări și răspunsuri pentru răspunsul la urgență

Este prezentat un rezumat al întrebărilor puse anterior de comunitatea de intervenție în caz de urgență mai jos în text negru. Pe baza rezultatelor testelor și a datelor colectate, Exponent oferă următoarele comentarii, observații, clarificări și constatări în **text roșu** de mai jos.

Toate informațiile prezentate mai jos se bazează pe testele efectuate și pe datele colectate ca prezentate în acest raport. Având în vedere că pot exista variații considerabile în scenariile de incendiu EDV, utilizatorii acestor informații sunt avertizați să evalueze toate riscurile și să exercite cel mai bine posibilă judecată, precum și toate resursele disponibile pentru a răspunde în siguranță și după caz, suprima fiecare incendiu EDV întâlnit.

#### 1. EIP adecvat pentru a fi utilizat pentru a răspunde la incendiile care implică baterii EDV:

A. Este EIP actual adecvat în ceea ce privește expunerea respiratorie și dermică la ventilație gaze și produse de ardere?

Toate testele au fost efectuate folosind echipament de protecție, cască, cizme, conform NFPA, hote, mănuși structurale de stingere a incendiilor și SCBA complet. Fără condiții adverse legate de unelte au fost observate de oricare dintre pompierii care au suprimat incendiile. În plus, probele de apă și gaze colectate în timpul testării nu au făcut-o include orice compuși sau gaze care diferă semnificativ de ceea ce este se găsește de obicei într-un incendiu convențional al unui vehicul ICE. Fără proiectile sau altele au fost observate anomalii de explozie. În două cazuri, din cauza creșterii volumul total de apă pentru controlul incendiului, timpul asociat a fost mai mare decât ceea ce era disponibil dintr-un singur cilindru SCBA. Primii răspunsuri ar trebui să fie pregătit fie să schimbe personalul de suprimare, fie să aibă provizii pentru schimba rapid cilindrii.

b. Este EIP actual adecvat în ceea ce privește potențialele pericole de șoc electric?

O analiză a măsurătorilor de curent și tensiune înregistrate la descărcare a duzei nu a indicat nicio citire semnificativă de curent sau tensiune în niciunul dintre



testele. Pe baza datelor de testare, EIP complet conform NFPA este adecvat în timpul operațiilor de suprimare neinvazivă. Cu toate acestea, au fost efectuate teste cu bateriile plasate într-un prop VFT. Teste la scară completă care implică complete sistemele de distribuție electrică a vehiculelor nu au fost efectuate și evaluate, nici tacticile ofensive ale pompierilor care implicau tăierea, străpungerea, manipularea vehiculului în scop de extracție sau pentru a obține un acces mai bun pt scopuri de suprimare.

c. Care este dimensiunea zonei de pericol unde EIP complet, inclusiv respirator protecție, trebuie purtat?

Pe baza datelor colectate, zona de pericol a fost EIP complet, inclusiv protecția respiratorie trebuie purtată a fost comparabilă cu cea tradițională Incendii de vehicule ICE. Incendiul observat pentru teste care au inclus bateria EDV precum și finisajele interioare/tapițeria a fost mai intensă decât focul observat numai în baterie. Măsurarea fluxului de căldură și a temperaturii înregistrate în jurul VFT nu indică date care să sprijine schimbarea 50 de picioare standardul perimetrului furnizat în Ghidul interimar NHTSA pentru electricitate și vehicule hibrid-electrice echipate cu baterii de înaltă tensiune. <sup>69</sup>

2. Tactici pentru stingerea incendiilor care implică bateriile EDV:

A. Cât de eficientă este apa ca supresor pentru incendiile mari de baterii?

Toate testele de suprimare au fost efectuate cu apă fără niciun fel suplimentar aditivi. Această apă a fost capabilă să suprime incendiile bateriei de fiecare dată. Nu alți agenți supresori au fost examinați ca parte a acestui studiu. Apa totală volumele necesare pentru stingere au variat mult pe parcursul testelor. A tendința clară a datelor privind volumul de apă a indicat că dimensiunea totală a bateriei crescut și/sau când bateria era mai puțin accesibilă din cauza vehiculului configurații, s-a înregistrat o creștere semnificativă a volumului total de apă necesare pentru stingerea incendiului.

---

<sup>69</sup> Ghid interimar NHTSA pentru vehiculele electrice și hibride-electrice echipate cu baterii de înaltă tensiune, DOT HS 811 574, ianuarie 2012.

b. Există pericole cu proiectile?

Nu au fost observate proiectile de la bateriile EDV în timpul niciunui dintre teste condus. Toate testele au fost efectuate pe baterii care implicau Li-ion configurații de baterii în stil polimer/prismatic. Nu au fost testate baterii care implica celule de stil cilindric.

c. Cât timp trebuie efectuate eforturile de stingere pentru a ține focul sub control și apoi să-l stingi complet?

Timp total pentru stingere (timp scurs petrecut pentru suprimarea activă a incendiilor de baterie) a variat de la 6 la 49 de minute; cu toate acestea, aceasta nu include reaprindere, care a avut loc într-un caz, 22 de ore mai târziu. Primii răspunsuri ar trebui să fie pregătiți să efectueze eforturi de suprimare timp de o oră sau mai mult.

d. Ce nivel de resurse va fi necesar pentru a sprijini aceste eforturi de stingere a incendiilor?

Toate testele au fost efectuate cu un comandant de incident și un asistent de facto și doi pompieri activi; unul pe duză și unul pe furtun. Aceasta este echivalent cu o companie, așa cum este definit de NFPA 1710, Standard pentru Organizarea și desfășurarea operațiunilor de stingere a incendiilor, urgență Operații medicale și operațiuni speciale către public prin incendiu de carieră Departamente, ediția 2010. Având în vedere că incendiile bateriei EDV pot necesita eforturile de suprimare care durează o oră sau mai mult, ar trebui să fie personal adecvat furnizat dacă este necesară rotirea duzei sau a personalului pentru furtun și/sau dacă timpii de suprimare necesită schimbarea buteliilor SCBA.

e. Este nevoie de eforturi extinse de suprimare? (În comparație cu vehiculele ICE.)

Da. Factori, inclusiv dimensiunea, poziția în interiorul vehiculului și accesul la bateria va influența semnificativ timpul total necesar pentru suprimare eforturi. Primii care răspund ar trebui să fie pregătiți pentru perioade lungi de operațiuni de suprimare și monitorizare în timpul operațiunilor de revizie din cauza reaprinderea bateriei.

f. Care sunt indicatorii pentru cazurile în care serviciul de pompieri ar trebui să permită un mare acumulator să ardă mai degrabă decât să încerce suprimarea?

Volumele totale de apă au fost semnificativ mai mari în unele teste decât cele tradiționale. Incendiile de vehicule ICE. În zonele în care nu este prezentă o sursă adecvată de apă și nu există amenințări la adresa siguranței vieții sau la structurile, vehiculele sau altele din apropiere combustibili, permițând acumulatorului să ardă până la auto-stingere poate fi o alternativă viabilă la suprimare. Cu toate acestea, acest lucru poate necesita prelungire perioade de monitorizare și observare pentru eventualele reaprinderi. În arderea liberă test, bateria a continuat să ardă vizibil timp de aproximativ 90 de minute. Odată ce s-a autostins, nu s-a reaprins niciodată, deși a continuat să se oprească gaz și a fost la temperaturi ridicate ore în șir după aceea.

3. Cele mai bune practici pentru tactici și EIP care urmează să fie utilizate în timpul reviziei și curățării după incendiu operațiuni.

A se vedea secțiunea 8.2 de mai jos.

## 8.2 Cele mai bune practici sugerate pentru tactici și EIP

Îndrumările intermediare NFPA sunt prezentate mai jos în text negru. Pe baza rezultatelor testelor și a datelor colectate, Exponent oferă următoarele comentarii, observații, clarificări suplimentare și constatările în **text roșu** pentru a completa și a consolida, acolo unde este posibil, orientările intermediare furnizate de Ghidul de urgență pentru vehicule electrice NFPA, ediția 2012.

Toate informațiile prezentate mai jos se bazează pe testele efectuate și pe datele colectate ca prezentate în acest raport. Având în vedere că pot exista variații considerabile în scenariile de incendiu EDV, utilizatorii acestor informații sunt avertizați să evalueze toate riscurile și să exercite cel mai bine posibilă judecată, precum și toate resursele disponibile pentru a suprima în siguranță fiecare incendiu EDV întâlnite.

### 8.2.1 Proceduri generale pentru stingerea incendiilor hibride și EDV70

- Folosiți echipament și tactici standard de stingere a incendiilor pentru vehicule în conformitate cu departamentul SOP-uri/SOG-uri.

---

<sup>70</sup> Tot textul cu negru extras din Ghidul de urgență pentru vehicule electrice din cadrul Asociației Naționale pentru Protecția împotriva incendiilor (NFPA) Ediția 2012 Capitolul Proceduri generale Sub-capitolul Incendiu.

Nu au fost colectate date pentru a modifica această recomandare. Toate datele și observațiile a indicat că, în general, echipamentul standard de stingere a incendiilor și tacticile vehiculelor utilizate au fost aplicabile pentru suprimarea incendiilor EDV.

- Incendiile hibride și EV nu necesită echipamente speciale pentru stingerea incendiilor / stingere.

Nu au fost colectate date pentru a modifica această recomandare. Fără echipament special pentru incendiu suprimarea/stingerea a fost evaluată ca parte a acestei serii de teste. Tradițional conductele de furtun și duzele care utilizează apă ca agent de suprimare au fost utilizate pentru stinge toate incendiile bateriei EDV. În toate testele de suprimare, stingerea a fost realizat și bateriile au fost extrase în siguranță din vehicule și depozitate. În o serie de testare, o baterie reaprinsă după ce a fost extrasă și depozitată la 22 de ore după "stingere". Vedeți mai multe detalii mai jos în Secțiunea 8.2.6. În unele teste total aplicațiile cu apă au fost cu un ordin de mărime mai mari decât ICE tradiționale vehicule. Vedeți mai multe detalii mai jos în Secțiunea 8.2.3.

## 8.2.2 Echipament individual de protecție

- Tot personalul trebuie să poarte și să folosească EIP complet și SCBA după cum este necesar la toate incendiile vehiculului.

Nu au fost colectate date pentru a modifica această recomandare. Pe lângă purtarea și utilizând EIP și SCBA complet conform NFPA, tot personalul trebuie să poarte EIP complet și SCBA înainte de a avansa pentru a suprima sau a repara un incendiu EDV sau când operează la 50 de picioare de un EDV care arde. Ori de câte ori este posibil, conform NFPA EIP și SCBA ar trebui să fie îmbrăcate și puse în funcțiune în fața vântului de incendiu. Foc echipamentul ar trebui să fie, de asemenea, amplasat în fața vântului de incendiu. EIP complet și SCBA ar trebui să fie menținute pe toată durata operațiunilor de stingere a incendiilor și de revizie.

## 8.2.3 Agenți de stingere

- Utilizați apă sau alți agenți standard pentru incendiile vehiculelor.

Nu au fost colectate date pentru a modifica această recomandare. Toate testele de suprimare au fost suprimat suficient cu apă aplicată cu furtunuri și duze standard. Nu

alți agenți de supresie au fost evaluați ca parte a acestui program de testare. Doar proaspăt apa a fost evaluată.

- Utilizarea apei nu prezintă un pericol electric pentru personalul de stingere a incendiilor.

Nu au fost colectate date pentru a modifica această recomandare. O analiză a curentului și măsurători de tensiune înregistrate la descărcarea duzei și la VFT șasiul nu a indicat nicio citire semnificativă de curent sau tensiune în niciunul dintre teste.

- Dacă o baterie HV ia foc, va necesita un volum mare și susținut de apă.

Nu au fost colectate date pentru a modifica această recomandare. Aproximații pentru total debitele de apă necesare pentru stingerea bateriei A au variat de la 275 de galoane până la 1060 galoane; Bateria B a variat între 1165 și 2639 de galoane. Per total, debitul de apă ratele au fost substanțial mai mari decât debitele așteptate necesare pentru stingere incendii tradiționale de vehicule ICE. În majoritatea testelor, aplicarea intermitentă a apei a fost folosit. Fluxurile continue de apă direct pe baterie pot oferi suplimentar răcire și scurtarea timpilor până la stingerea completă, totuși, fluxurile totale de apă ar putea crește.

### 8.2.3.1 Avertismente și note

- Dacă folosiți apă pentru a stinge/suprima o baterie de înaltă tensiune, utilizați un volum mare de apă.

Utilizarea doar a unei cantități mici ar putea permite eliberarea de gaze toxice periculoase.

Vedeți discuțiile despre debitele totale de apă de mai sus. Indiferent dacă este sau nu o cantitate mică de apă aplicată pe baterie ar putea permite eliberarea de gaze toxice periculoase a fost neevaluate în acest program de testare.

- Dacă o baterie litiu-ion (Li-Ion) HV este implicată într-un incendiu, există posibilitatea ca aceasta s-ar putea reaprinde după stingere. Dacă este disponibil, utilizați imagistica termică pentru a monitoriza baterie. Nu depozitați un vehicul care conține o baterie Li-Ion HV deteriorată sau arsă în sau la 50 de picioare de o structură sau alt vehicul până când bateria poate fi descărcată.

În testul A3, bateria a fost stinsă și scoasă în siguranță din VFT și depozitate într-o zonă de deținere îndepărtată. La aproximativ 22 de ore de la stingere, bateria s-a reaprins. Acolo unde a fost posibil, s-au folosit tehnici de imagistică termică monitorizați temperatura bateriei, cu toate acestea, componentele și structurile vehiculului sunt limitate

măsurători directe ale liniei de vedere în unele configurații de testare. În plus, exteriorul carcasei bateriei poate împiedica măsurători fiabile sau poate oferi securitate falsă că nu există niciun risc suplimentar odată ce incendiul inițial al bateriei este stins. NFPA ar trebui să ia în considerare extinderea cerințelor de stocare pentru a nu stoca a baterie Li-ion HV deteriorată sau arsă în sau pe o rază de 50 de picioare de o structură, alta vehicul sau materiale combustibile până când bateria poate fi descărcată în siguranță, dacă posibil, în conformitate cu procedurile producătorului de vehicule de către instruiți și personal calificat. În plus, luați în considerare adoptarea SAE J2990, Secțiunea 7.2.2, Recomandări de izolare a stocării xEV71 deteriorate<sup>72</sup>, după cum urmează:

xEV-uri care au suferit (sau au suspectat) daune la sistemul de înaltă tensiune nu trebuie depozitat în interiorul unei structuri până când nu este inspectat conform punctului 7.4. În timpul izolării, ferestrele și/sau ușile vehiculului trebuie deschise suficient pentru a permite ventilația în vehicul și pentru a preveni acumularea de gaze potențial inflamabile de la a sistem de baterii deteriorat. Pentru xEV-urile în care sistemul de baterii este rupt, ar trebui evitată expunerea vehiculului la elemente precum ploaia. Următoarele sunt permise metode pentru izolarea unui xEV deteriorat:

1. Izolarea perimetrului deschis: o zonă în care vehiculul este separat de toate combustibili și structuri la o distanță de cel puțin 50 de picioare (15.2 metri) din toate părțile vehiculului/sistemului de baterii. Conform recomandare furnizată de NHTSA (referință DOT HS 811 574, „Interim Ghid pentru vehiculele electrice și hibride electrice echipate cu High Baterii de tensiune”).
2. Izolarea barierei: o zonă în care vehiculul este separat de toate combustibili și structuri printr-o barieră construită din pământ, oțel, beton sau zidărie solidă concepută pentru a reține un incendiu de la un vehicul depozitat de la extinderea la vehiculele adiacente. Barierele trebuie să aibă o înălțime suficientă pentru a îndrepta orice flacără sau căldură departe de vehiculele adiacente. Dacă bariera este prevăzută doar pe 3 din cele 4 laturi ale vehiculului, atunci partea deschisă trebuie

---

<sup>71</sup> Definit de SAE J2990 Secțiunea 3.34 ca „Orice vehicul de propulsie electrificat cu un sistem de înaltă tensiune, inclusiv, dar fără a se limita la HEV, PHEV, PEV, BEV, FCEV și EV”.

<sup>72</sup> SAE International, Practică recomandată pentru vehicule de suprafață J2990 NOV2012, 11-2012, Practică recomandată pentru primul și al doilea răspuns hibrid și EV.

mențineți distanța de separare așa cum sa menționat mai sus pentru perimetrul deschis izolare. Nu se recomandă închiderea completă a vehiculului într-o structură din cauza riscului de extindere a unui incendiu post-incident la structura și la posibilitatea de prindere a gazelor explozive sau nocive, prin urmare un acoperiș nu este recomandat pentru construcția barierei.

- Deoarece bateriile de înaltă tensiune sunt în carcase de protecție, este foarte dificil să obțineți agent de stingere direct pe celulele care arde. Aplicarea unor volume mari de apă poate răci bateria de înaltă tensiune suficient pentru a preveni propagarea incendiului la celulele adiacente.

Atât carcasele de protecție din jurul bateriei, cât și/sau structura vehiculului și/sau componentele pot împiedica aplicarea directă a agentului de stingere la celule interne care ard sau în fugă termică. În timp ce aplicarea lui cantități mari de apă pot ajuta la răcirea bateriei, utilizând orice mijloace nedistructive de a aplica apă direct pe sau în baterie va oferi cele mai eficiente mijloace de prevenire a propagării focului prin celulele adiacente.

## 8.2.4 Tactici

- NU străpungeți orbește prin capotă cu unelte precum o bară Halligan pentru a câștiga acces. Această tactică ar putea pătrunde în componentele de înaltă tensiune din compartimentul motor, creând un pericol sever de șoc.

Deși acest lucru nu a fost evaluat în acest program de testare, NFPA ar trebui să ia în considerare extinzând acest ghid pentru a nu străpunge orbește NICIO porțiune a vehiculului care ar putea pătrunde componentele de înaltă tensiune în orice zonă (nu doar capota) a vehicul care ar putea conține componente de înaltă tensiune sau pericole severe de șoc.

73

- Atac ofensiv: Recomandat acolo unde sunt prezente expuneri sau tensiune înaltă bateria nu este implicată.

Toate testele au fost efectuate cu atacuri ofensive când era bateria de înaltă tensiune implicat. În toate testele, s-a realizat stingerea bateriilor aprinse și

---

<sup>73</sup> Nu au fost evaluate duze de specialitate, cum ar fi o duză de perforare, în timpul acestui studiu.



bateriile au fost scoase în siguranță din VFT. Într-un singur test, însă, bateria reaprins la 22 de ore după „stingere”.

- Atac defensiv: Recomandat dacă este implicată bateria de înaltă tensiune și nu expunerile sunt prezente. Datorită dificultății de a ajunge la celulele care arde din interiorul baterie cu agentul de stingere, comandantul incidentului poate alege să îi permită se arde singur. Orice persoană fără SCBA ar trebui să rămână în fața vântului evitați inhalarea, din cauza compușilor toxici din fum.

Ratele totale de aplicare a apei au fost mai mari decât s-ar fi așteptat stingerea incendiilor tradiționale de vehicule ICE. La toate testele, dificultăți în aplicare s-a notat apă la celulele care arde din interiorul bateriei. Atacurile ofensive au fost folosit cu succes în toate testele de suprimare unde era bateria de înaltă tensiune implicat. Orice persoană fără EIP complet conform NFPA și SCBA complet ar trebui să rămână în afara unei raze de 50 de picioare de incendiu, așa cum se precizează în NHTSA Interim Îndrumare. Aproximarea de structuri, vehicule sau alte combustibili din apropiere, cum ar fi precum și siguranța vieții, ar trebui să fie luate în considerare în deciziile legate de atacurile defensive.

## 8.2.5 Incendii care implică stații de încărcare

- Localizați sursa de alimentare pentru stația de încărcare și opriți-o.

Nu este evaluat în acest program de testare.

- Până când se întrerupe alimentarea la stația de încărcare, tratați focul ca și cum ați face-o cu energie electrică foc electric.

Nu este evaluat în acest program de testare.

- Dacă un vehicul este conectat la stația de încărcare, acesta ar trebui să fie deconectat imediat ce este sigur să faci asta. Dacă este posibil, închideți mai întâi stația de încărcare.

Nu este evaluat în acest program de testare.

## 8.2.6 Revizuire și recuperare

- Imobilizați și dezactivați vehiculul dacă nu a fost deja făcut.

Nu este evaluat în acest program de testare.

- Nu deconectați și nu contactați niciodată componentele sau cablurile expuse de înaltă tensiune.

Nu este evaluat în acest program de testare.

- Încercați să contactați un dealer sau un reprezentant al producătorului cât mai curând posibil pentru ajutor cu dispozitia vehiculului post incident și scoaterea sub tensiune a bateriei de înaltă tensiune dacă este necesar.

Nu este evaluat în acest program de testare.

- Nu încălcați și nu îndepărtați niciodată bateria de înaltă tensiune. Procedând astfel, poate avea ca rezultat grav arsuri electrice, șoc și/sau electrocutare.

Nu este evaluat în acest program de testare.

- Nu depozitați un vehicul cu o baterie Li-Ion deteriorată sau arsă în sau în mai puțin de 50 de picioare (15 metri) a unei structuri sau a altui vehicul până când bateria poate fi descărcată.

NFPA ar trebui să ia în considerare extinderea cerințelor de stocare pentru a nu stoca a baterie EDV Li-ion deteriorată sau arsă în sau pe o rază de 50 de picioare de o structură, altă vehicul sau materiale combustibile până când bateria poate fi descărcată în siguranță în conformitate cu procedurile producătorului vehiculului și de către instruiți și calificați personal.

## 9 Recomandări și lucrări viitoare

---

Se sugerează următoarele posibile lucrări viitoare (Faza II) pentru identificarea și înțelegerea în continuare tactici de pompieri și strategii de suprimare pentru EDV:

- Testare la scară completă de stingere a incendiilor pentru EDV-urile consumatorilor reale pentru a evalua problemele de acces în strategii de aplicare a apei în scenarii specifice de incendiu de vehicule.
- Testare la scară completă de stingere a incendiilor pentru EDV-urile consumatorilor reale pentru a evalua problemele de acces în strategii de aplicare a apei în scenarii de coliziune.
- Testare de suprimare a incendiilor la scară completă a EDV-urilor de consum real pentru a evalua pericolele de șoc atunci când întregul sistem de distribuție electrică a vehiculului este prezent și eventual alimentat.
- Testarea la scară largă de stingere a incendiilor a EDV-urilor folosind formate de celule diferite de cele testate în această serie de teste, cum ar fi anii 18650.
- Arderea gratuită a focurilor EDV la scară largă pentru a compara și contrasta avantajele și dezavantajele de a lăsa incendiile vehiculelor electrice să se stingă mai degrabă decât de a se suprima.
- Evaluarea modelelor de duze noi sau alternative care pot permite aplicarea directă a apă la bateriile EDV situate sub ansamblul sub caroserie al vehiculului.
- Determinați eficacitatea diverșilor aditivi de apă care pot accelera proces de răcire/stingere.
- Efectuați teste suplimentare la scară completă pentru a evalua debitele totale de apă necesare pentru realizați stingerea utilizând noi tactici de pompieri, cum ar fi aplicarea constantă a apei sau o echipă de suprimare a liniilor cu două furtunuri.

## 10 Mulțumiri

---

Autorii ar dori să mulțumească echipajelor SwRI și MFRI pentru eforturile lor semnificative în setare sus, instrumentarea și efectuarea testelor HRR și de stingere a incendiilor la scară largă și furnizarea acces la datele și analiza colectate în timpul testării.

Autorii mulțumesc în continuare:

- Casey Grant, director de cercetare al FPRF
- Kathleen Almand, Director Executiv al FPRF
- Producător A
- Producător B
- DO / INL
- DOT / NHTSA
- Alianța Producătorilor de Automobile
- Panelul consultativ pentru tehnologia bateriilor
- Grupul consultativ pentru intervenții în situații de urgență
- Panelul tehnic al proiectului pentru proiectul privind pericolele bateriilor EV
- Keith Wilson, SAE

De asemenea, dorim să mulțumim unui număr dintre colegii noștri de la Exponent care au oferit asistență, contribuții și sfaturi.

## Anexa A Raport de testare SwRI

---

## Anexa B Desene de proiectare VFT

---

## Anexa C Raportul laboratoarelor Microbac



## Anexa D Raportul Analyze, Inc

---

## Anexa E Măsurători electrice

---