

Proiect co-finantat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operational Competitivitate 2014-2020



MANAGEMENTUL RISCURILOR PROFESIONALE CHIMICE PRIVIND ALIMENTAREA ȘI UTILIZAREA VEHICULELOR ELECTRICE ȘI HIBRIDE

Dr.ing.Raluca Aurora ȘTEPA

Dr.ch.Maria HAIDUCU

**MANAGEMENTUL RISCURILOR PROFESIONALE CHIMICE
PRIVIND ALIMENTAREA ȘI UTILIZAREA VEHICULELOR ELECTRICE ȘI
HIBRIDE**

Coordonare:

dr.ing.Anca Elena ANTONOV

Manager proiect

Dr.ing.Doru Costrin DARABONT

**Proiect co-finantat din Fondul European de Dezvoltare Regionala prin Programul Operational
Competitivitate 2014-2020**

**Parteneriat pentru transferul de cunoștințe și dezvoltarea de cercetări referitoare la evaluarea și
prevenirea riscurilor ocupaționale care pot conduce la dezastre (PROC)**

ID: P_40_182/cod MySMIS 2014+ 111954



Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Muncii “Alexandru Darabont” București

**Broșură informativă - MANAGEMENTUL RISCURILOR PROFESIONALE CHIMICE PRIVIND ALIMENTAREA
ȘI UTILIZAREA VEHICULELOR ELECTRICE ȘI HIBRIDE**

Editura: INCDPM, Iunie 2021

ISBN 978-606-8477-35-0

**Proiect co-finantat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operational
Competitivitate 2014-2020**

**Parteneriat pentru transferul de cunoștințe și dezvoltarea de cercetări referitoare la evaluarea și
prevenirea riscurilor ocupaționale care pot conduce la dezastre (PROC)**

ID: P_40_182/cod MySMIS 2014+ 111954



CUPRINS

INTRODUCERE.	5
1. CAUZE. IDENTIFICAREA FACTORILOR DE RISC.	5
CONSECINȚE.	9
MĂSURI DE SIGURANȚA	11
BIBLIOGRAFIE.	15

INTRODUCERE

Există în prezent diferite mașini total sau parțial electrice și sisteme de încărcare a bateriilor lor dar și a rezervoarelor lor, pentru că unele mașini sunt hibride. Există riscuri pentru stațiile de încărcare pur electrică, dar și pentru stațiile mixte, unde se alimentează și combustibili. Diversitatea lor și faptul că este o situație în continuă - și destul de rapidă schimbare - face managementul riscurilor mai dificil, dar și mai necesar.

Materialele conținute în bateriile vehiculelor electrice VE sau cele ce sunt generate în timpul funcționării normale/forțate/de avarie a acestora, pot să declanșeze evenimente care constituie riscuri pentru cei ce deservește stațiile, pentru clienți și vecinătăți, inclusiv pentru mediu.

Măsurile de prevenire a accidentelor trebuie să țină cont de riscurile intrinseci ale diferitelor tipuri de baterii, de riscurile infrastructurii de încărcare, de configurarea amplasamentului stațiilor de încărcare, de mijloacele de stingere a incendiilor. Riscurile chimice trebuie corelate cu celelalte tipuri de riscuri, în special cu cele electrice, dar și cu cele mecanice, psihologice și biologice.

Problema securității datelor este și ea importantă, mai ales pe măsură ce se dezvoltă stațiile inteligente de încărcare.



Fig.1. Incarcarea vehiculelor se poate face in statii de interior sau in aer liber
Sursa foto : <https://www.studiorotor.nl/en/portfolio-item/terra-sc-charger-design/>

1. CAUZE. IDENTIFICAREA FACTORILOR DE RISC

1.1. Factori de risc ce țin de stațiile de încărcare

Stațiile de încărcare electrice au riscuri care pot influența securitatea proprie dar și a stațiilor integrate/mixte. Pentru toate componentele stațiilor trebuie efectuate teste frecvente și ținută o evidență a fiecărei inspecții și revizii.

C

Proiect co-finanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operațional
Competitivitate 2014-2020

Parteneriat pentru transferul de cunoștințe și dezvoltarea de cercetări referitoare la evaluarea și
prevenirea riscurilor ocupaționale care pot conduce la dezastre (PROC)

ID: P_40_182/cod MySMIS 2014+ 111954



Mediul în care funcționează stațiile trebuie avut în vedere la proiectarea și mentenanța acestora.

Mediile corozive sau oxidante ca și atmosferele explozive pot duce la accidente.

Condițiile meteorologice și de climă trebuie și ele avute în vedere. Un studiu realizat de Asociația Națională a Producătorilor de Electrice (NEMA) și Comisia SUA pentru Siguranța Produselor de Consum [1] a constatat că:

- în zonele cu fulgere frecvente, 8,7% din întrerupătoarele de circuit din rețea nu erau operaționale, comparativ cu 8,0% în zonele cu frecvențe scăzute la fulgere;
- în zonele calde, 8,5% din întrerupătoarele de circuit nu erau operaționale, comparativ cu 8,2% în zonele mai reci;
- în zonele cu umiditate ridicată, 10,5% din întrerupătoarele de circuit nu erau operaționale, comparativ cu 7,3% în zonele uscate.

Din datele NEMA rezultă că principala problemă în funcționarea întrerupătoarelor de circuit pare a fi umiditatea.

Stațiile integrate, pentru combustibili și electricitate, prezintă diverse riscuri.

Exemple de pericole în caz de incendiu sunt:

- sisteme electrice care sunt supraîncărcate, rezultând cabluri supraîncalzite, conexiuni sau componente defecte;
- protecție insuficientă în zonele de depozitare combustibili;
- combustibili aflați lângă echipamente care generează căldură, flacără sau scântei;
- surse personale de aprindere, fumatul (țigări, chibrituri, brichete etc.);
- echipamente de încălzire ce utilizează materiale combustibile;
- lichide inflamabile;
- cablare electrică în stare proastă;
- bateriile însele.

1.2. Factori de risc ce țin de bateriile litiu –ion (LIB)

Pericole termice ale componentelor tipice ale bateriei

Bateria litiu –ion (LIB) este compusă în principal din electrozi, electroliti și un separator. Electrozii pot în continuare să fie împărțiți în catod și anod. Pericolul termic al LIB rezultă de obicei din reacțiile distructive ale componentelor bateriei, cum ar fi descompunerea electrozilor / electrolitului, reacția dintre electrozi, reacția dintre electrozi și electrolit etc. Pentru a avea o înțelegere cuprinzătoare asupra pericolelor termice ale LIB, vor fi discutate în continuare pericolele componentelor tipice ale acumulatorului.

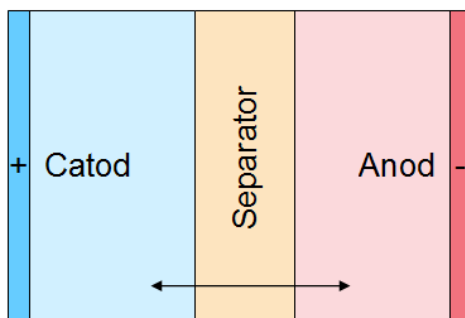


Fig. 2 Schema baterie electrica cu electrozi (catod/anod), electrolit si separator

Pericole termice ale electrolitelor

Electrolitul are un comportament complex în caz de incendiu din cauza instabilității termice, a reactivității sale, a volumului destul de mare și nu în ultimul rând, a faptului că este încă, în general, lichid.

Electrolitul unui LIB comercial este un amestec de carbonați organici precum solvenți și săruri de litiu, în care pot fi incluși carbonați liniari, cum ar fi dietil carboatl (DMC), EMC sau carbonat de dietil (DEC) și carbonați ciclici (ex. carbonat de propilenă-PC). Acești carbonați organici sunt foarte inflamabili ceea ce provoacă mari îngrijorări cu privire la siguranța lor în LIB [2,3].

Conform cercetărilor descompunerea electrolitului este inițiată la o temperatură destul de mică, aproximativ 80°C [4,5] și odată inițiată se eliberează cantități mari de căldură și de gaze.

Aceasta poate duce cu ușurință la scurgeri din baterie.

Odată cu creșterea temperaturii electrolitul va reacționa cu electrozii. În același timp, electrolitii scurși vor crește riscul de incendiu în zonă, pentru că scurgerile se pot, la rândul lor, aprinde. Dacă temperatura internă a bateriei este mai ridicată, se va ajunge la un incendiu cu jet ceea ce va crește intensitatea focului și va accelera considerabil răspândirea acestuia.

Pericole termice ale electrozilor

În zilele noastre, unul dintre cele mai utilizate materiale catodice pentru electrodul pozitiv (catodul) este cel cu oxizi de litiu, nichel, mangan, cobalt (NMC). Acesta are capacitate mare, cost redus și siguranță relativ bună, dar toate acestea pot fi influențate de concentrațiile componentelor NMC și de prezența electrolitelor aferenți.

Cercetătorii au constatat că la un conținut mai ridicat de Ni, costul ar fi redus semnificativ, iar capacitatea specifică a LIB ar fi mai mare. Cu toate acestea, durata de viață a bateriei și stabilitatea electrodului și a electrolitului ar fi mai mici. S-a constatat că odată cu creșterea conținutului de Ni, temperatura inițială corespunzătoare reacțiilor dintre electrod și electrolit a fost redusă, adică riscul de incendiu al bateriei a crescut.

Cantitatea de litiu încorporată în catod va afecta și ea stabilitatea termică: cu cât este mai mult litiu, cu atât va genera mai puțină căldură întregul sistem LIB.

Mecanismul de producere a căldurii electrodului pozitiv cu electrolit se pare că ar consta în faptul că stabilitatea materialului electrodului va scădea și temperatura va crește, rezultând descompunerea catodului.

și eliberarea oxigenului în timpul procesului de încărcare. Oxigenul va reacționa cu electrolitul și cu anodul conducând la o eliberare substanțială de căldură și la generarea de gaz, crescând astfel riscul de accident termic.

Pentru materialele electrodului negativ (anod), cea mai mare parte a materialului anozilor comercializați în prezent este o formă a carbonului, cum ar fi grafitul. Pe suprafața anodului, s-ar forma un strat de interfață electrolit-solid (SEI) în timpul primului ciclu de încărcare și descărcare. În timp, existența SEI va influența într-o oarecare măsură capacitatea bateriei, iar stabilitatea sa termică la temperaturi ridicate va fi slabă. Barnett și colab. au investigat anodul de grafit cu electrolit organic care conține LiPF_6 , iar rezultatele au indicat că temperatura exotermă inițială a sistemului a fost de aproximativ 80°C , dar temperatura de fugă termică a LIB a fost de aproximativ 150°C . Alți cercetători au studiat piroliza SEI. Odată cu creșterea temperaturii, structura inițială a SEI ar fi distrusă, pierzându-și astfel funcția de protecție, ducând la reacția dintre electrod și electrolit și eliberarea de căldură [6-8].

Pericole termice ale separatorului

În prezent, separatorul LIB este realizat în mod obișnuit din polietilenă (PE), polipropilenă (PP) sau din materialele compozite ale acestora. Din cauza temperaturii lor de deformare termică scăzută (PE: în jurul a 85°C , PP: în jurul a 100°C), separatoarele acestea vor avea o contracție termică severă atunci când temperatura ambiantă este relativ ridicată, deci nu sunt potrivite pentru utilizarea în mediu cu temperaturi ridicate. Pentru a îndeplini cerința mediului de lucru complex al LIB, cercetătorii au dezvoltat o varietate de noi materiale separatoare compozite cu performanța îmbunătățită. Dintre acestea, un nou tip de material separator obținut prin compozitul de eter poli-acrilic și rășină termoplastică a atras atenția datorită conductivității sale ionice superioare și siguranței ridicate.

Deși separatorul rezistent la temperaturi ridicate poate îmbunătăți în mod semnificativ starea de siguranță a LIB-ului, acesta nu poate inhiba complet apariția pericolului termic. Conform cercetărilor, deși raportul de masă al separatorului este de aproximativ 3% din baterie, acesta poate elibera până la 33% din căldură în procesul de ardere.

Pericole termice ale unei singure baterii

Odată cu apariția reacțiilor în lanț din interiorul bateriei în timpul fugii termice, cum ar fi la descompunerea stratului SEI, descompunerea electrodului și electrolitului, reacțiile dintre electrod și electrolit și arderea electrolitului, se va genera o cantitate de căldură substanțială ce va duce la creșterea bruscă a temperaturii bateriei.

Stratul SEI se descompune la aproximativ 69°C [6], ceea ce permite ca interacțiunea dintre electrolit și anod să aibă loc. Pe măsură ce temperatura crește, litiul intercalat din anod poate reacționa, cu electrolitul și elibera căldură [9]. În jurul valorii de 130°C , separatorul de polimer se va topi, rezultând scurtcircuitul intern între catod și anod, ca urmare au loc o serie de reacții care contribuie la acumularea de căldură și presiune. Supapa bateriei se deschide pentru a reduce presiunea, ceea ce duce la emisia de gaze. Pe măsură ce continuă creșterea temperaturii bateriei, gazele combustibile eliberate se vor aprinde, iar apoi se va produce fuga termică. Temperatura are o creștere bruscă, valoarea maximă după fuga termică variind între $400-700^\circ\text{C}$ în funcție de chimia bateriei, starea de încărcare și capacitatea ei etc. [10-12].

Pericolele termice ale unui pachet de baterii

Pachetele de baterii constau din mai multe baterii simple, numărul de baterii depinzând de aplicație și variind foarte mult, de la câteva baterii la câteva mii. De exemplu, un încărcător conține de obicei 2-4 baterii, în timp ce există mai mult de 7000 de baterii pentru pachetul dintr-un model Tesla S. În consecință, pachetul de baterii prezintă pericolele termice ale unei singure baterii, așa cum este descris mai sus. În plus, un acumulator prezintă pericolul propagării defecțiunilor termice, adică defectarea termică a uneia sau mai multor baterii se va propaga către cele vecine, rezultând consecințe mult mai grave. Pericolul termic va crește în timpul propagării prin urmare, este esențial să se acorde atenție problemei propagării defecțiunilor într-un acumulator.

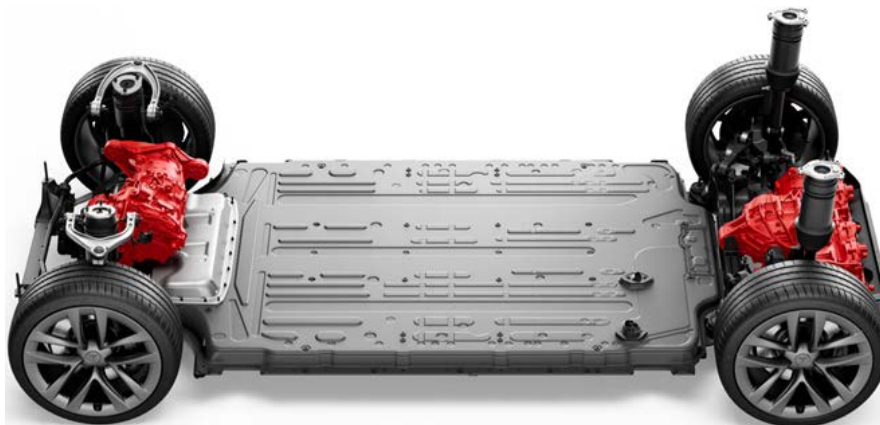


Fig. 3. Pachet de baterii de tracțiune (gri)

Sursa foto : https://www.tesla.com/en_eu/models

CONSECINȚE

Pericolele descrise mai sus pot genera emisii de gaze foarte periculoase, cum sunt oxigenul, hidrogenul, oxidul de azot, monoxidul de carbon. În plus, în procesul de ardere a bateriei, în funcție de compoziția elementelor acesteia (electrozi, electrolit, separator, carcasă) și de intensitatea de ardere, pot rezulta compuși complecși (inclusiv metalici) a căror identitate nu e cunoscută, variind în funcție de aspectele menționate-compoziția bateriei și condițiile de ardere.

Odată cu deschiderea supapei/aerisirii de siguranță a bateriei, vor fi evacuate gaze, care sunt de obicei la temperaturi ridicate, toxice și combustibile și care vor fi aprinse în curând, ceea ce constituie prima combustie. Mai mult, după ce apare fuga termică, va fi generată a doua combustie. Este mult mai violentă decât prima și este de obicei însoțită de jet de flăcări. Conform rezultatului lui Fu și colab., temperatura flăcării în jet ar putea ajunge până la 800°C [13]. În special în condiții de supraîncărcare, capacitate mare și spațiu închis/semiînchis, cantități uriașe de energie care nu pot fi suficient de rapid eliberate, pot conduce la explozia bateriei.

În mod obișnuit în timpul procesului de fugă termică, pot fi generate gaze toxice, cum ar fi acidul fluorhidric (HF), monoxidul de carbon (CO), oxidul de azot (NO), dioxidul de sulf (SO₂), acidul clorhidric (HCl) și

hidrogenul (H₂)

Din cauza stabilității termice limitate a LiPF₆, aceasta se poate descompune la temperaturi ridicate, după cum urmează [14-15]:



Ribiére și colab. [16] au efectuat experimente de ardere pe baterii și rezultatele au arătat că o cantitate tot mai mare de acid fluorhidric (HF) ar fi generată cu scăderea stării de încărcare a bateriei.

Ca rezultat al arderii incomplete a electrolitului bateriei, vor exista emisii de monoxid de carbon (CO) generate în timpul fugii termice ca în reacția (6)



Monoxidul de carbon este foarte toxic și se poate lega de hemoglobină și mioglobină, provocând efecte rapide și severe ce pot merge până la deces.

Prin variația stării de încărcare a bateriei și a presiunii ambiante, Chen și colab. [17] a arătat că odată cu creșterea stării de încărcare a bateriei, cantitatea de CO₂ a scăzut, în timp ce cantitatea de CO a crescut. Raportul descrescător de CO₂ / CO a relevat că eficiența de combustie a bateriei ar fi mai mică pentru bateria cu încărcare ridicată. În plus, o combustie scăzută ar putea fi obținută și în condiții de presiune scăzută, iar bateria cu capacitate mai mare ar genera mult mai mult CO în timpul fugii termice [18].

Pe baza cercetărilor lui Ribière și colab. [16], a reieșit că NO poate rezulta ca produs de reacție al azotului (originar din aer sau azot din combustibil) și oxigen din aerul din flacără (calea termică a producției de NO):



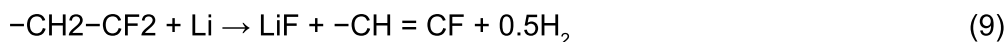
În reacțiile reversibile (7) și (8), asteriscul indică speciile prezente sub formă de radicali.

Oxidul de azot (NO) poate afecta sănătatea umană și contribuie la distrugerea stratului de ozon (ozonosfera). Mai mult, poate fi oxidat ca dioxid de azot (NO₂). Odată cu creșterea stării de încărcare a bateriei, cantitatea de NO generată crește mai întâi și apoi scade.

Compușii pe bază de sulf utilizați ca aditivi în electroliti pentru proprietatea lor de a facilita formarea SEI vor suferi degradări la temperaturi ridicate pentru a forma SO₂. Acesta este dăunător pentru sănătatea umană și poate duce la acide. Cantitatea de SO₂ va crește odată cu creșterea încărcării bateriei.

Generarea de acid clorhidric (HCl) provine din arderea polimerilor din interiorul bateriei. S-a constatat că starea de încărcare a bateriei nu este corelată cu cantitatea de HCl generată.

O posibilă sursă de hidrogen (H₂) este reacția dintre litiu (Li) metalic și separator. Materialele componente sunt fluorura de poliviniliden (PVDF) și carboximetil celuloza (CMC). După cum se poate observa din reacția detaliată mai jos, PVDF poate reacționa cu Li metalic și poate elibera H₂ în condiții de temperatură ridicată [18]:



O reacție similară a CMC și metalul Li poate avea loc pentru a elibera H_2 , după cum urmează:



Hidrogenul este foarte reactiv, are un interval mare de formare a atmosferei explozive și energie mică de activare. El poate duce la o ardere violentă sau explozie fără a putea fi sesizat cu simțurile (e inodor, incolor, insipid). Fiind mai ușor decât aerul, deci în locuri (semi)închise, necorespunzător ventilate se ridică în zona plafonului, acolo unde, în general se află instalațiile electrice de iluminat, ventilație etc.

MĂSURI DE SIGURANȚĂ

Siguranța intrinsecă la incendiu a bateriilor Li-ion

În ceea ce privește pericolele termice ale bateriilor Li-ion (LIB), multe cercetări au fost direcționate spre îmbunătățirea siguranței inerente a bateriei și îmbunătățirea comportării termice pentru a preveni defectarea cauzată de creșteri ale temperaturii [19].

Este necesar ca managementul riscurilor să includă măsuri cu privire la [19]:

- utilizarea dispozitivelor/mijloacelor de siguranță în cadrul bateriei cum ar fi supapa/aerisirea de siguranță, dispozitivul de întrerupere a curentului (CID) și coeficientul de temperatură pozitivă (PTC) - termistoare, pentru a preveni apariția curentului excesiv, a temperaturii sau a presiunii [19];
- aplicarea aditivilor ignifugi-retardanți :
 - - retardanți pentru electrolit cu fosfor (ex. dimetil metilfosfonat-DMMP), aditivi cu fluor (ex. 2,2,2 trifluoroetil fosfat- TFP), sau ionici lichizi (ex. săruri de litiu) sau
 - aditivi compoziți care trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:
 - » stabilitate chimică bună: fără reacții chimice cu componentele bateriei;
 - » inerție electrochimică: fără reacții electrochimice adverse în intervalul normal de
 - » tensiune de funcționare a LIB;
 - » proprietăți fizice adecvate incluzând conductivitatea, vâscozitatea, punctul de fierbere, densitatea, solubilitatea etc .;
 - » toxicitate scăzută, bună prelucrabilitate și cost adecvat.
- retardanți pentru separator: fiind din polietilenă sau polipropilenă, separatorul are punct de topire scăzut; se au în vedere separatoare compozite ce conțin compusi ai aluminiului, magneziului, bromului etc.
- alternativa la utilizarea retardanților: înlocuirea solvenților inflamabili cum sunt cei fluorurați [20],
- avertizarea timpurie la apariția pericolului include monitorizarea modificărilor de tensiune,
- curent, rezistență și alți parametri de performanță electrică, schimbarea temperaturii și gazele

emise.

- stingerea incendiilor la apariția pericolului termic.

Siguranța la încărcarea bateriilor VE

La exploatarea stațiilor de încărcare trebuie evitate situațiile ce pot duce la defectarea bateriei sau la o încărcare defectuoasă a acestora. Unele dintre riscuri nu pot fi controlate direct de către operatorul stației de încărcare. În aceste cazuri este totuși necesară informarea personalului propriu și a clienților prin mijloace corespunzătoare.

Scurtcircuitul extern, supraîncărcarea și supra-descărcarea sunt condiții obișnuite de avarie electrică. Aceste situații trebuie evitate prin verificarea periodică a stării tuturor componentelor infrastructurii de încărcare, informarea clienților despre modul corect de utilizare a stației, prin măsuri împotriva acțiunilor de furt sau vandalizare.

În timpul unui scurtcircuit extern, bateria este într-o stare de descărcare rapidă și curentul de descărcare poate fi mult mai mare decât cel al stării normale. Ca urmare, bateria suferă o creștere violentă a temperaturii, care poate duce la consecințe grave.

Supraîncărcarea apare cel mai des în caz de defectare, când încărcarea bateriei va continua neîntrerupt. Ca urmare, crește presiunea internă a bateriei, are loc deformarea acesteia și apar scurgeri de electroliți. În timpul procesului de supraîncărcare poate avea loc generarea severă de căldură și gaz de ex. oxigen.

Din cauza deteriorării asociate cu îmbătrânirea bateriei, pericolele sale termice vor crește. Bateria învechită va pierde cantități de litiu și materiale active. Parțial, Li^+ inactivat se va transfera în Li metalic și se va depune pe suprafața electrozilor și chiar a separatorilor, practic o placare cu Li. După îmbătrânirea avansată a bateriei, gradul de placare cu Li metalic va crește treptat și ulterior, va genera dendrite.

Deformarea distructivă a bateriei cauzată de o forță aplicată este un factor fizic foarte comun, coliziunea / accidentul vehiculului, cu deformarea/strătrungerea bateriei, sunt condițiile tipice. Multe incidente legate de siguranță care au implicat bateriile vehiculelor electrice au avut loc după deformare, cu consecințe periculoase: electrozii pot intra în contact provocând un scurtcircuit intern și /sau scurgerile de electrolit inflamabil pot duce la incendiu.

Strătrungerea poate apărea mai ales dacă bateria este lovită de obiecte/ părți ascuțite. În stațiile de încărcare trebuie planificate traseul vehiculelor, dimensiunea spațiilor de acces /auxiliare, evitarea posibilității de coliziune a VE între ele dar mai ales cu corpuri ascuțite și limitarea vitezei astfel încât să se evite accidentele în cadrul stației.

Utilizatorii pot fi informați verbal de operatori sau prin afișe asupra pericolelor unei baterii deformate.

Amenajarea stațiilor de încărcare a VE și PHEV

Este necesară o amenajare adecvată a stațiilor de încărcare fie că sunt doar electrice fie că sunt *mixte*.

Amenajarea trebuie să țină cont în primul rand de evitarea sau diminuarea riscurilor legate de incendiu și explozie, inclusiv cele referitoare la amplasarea elementelor de încărcare cu energie electrică față de cele de încărcare cu combustibili.

Conform figurii 4[21], distanța de siguranță între echipamentul de alimentare cu combustibil și instalațiile de transformare a puterii este de exemplu cel puțin 18 metri. Distanța de siguranță între echipamentul de alimentare și depozitul de baterii se recomandă a fi de cel puțin 15 metri. Raportându-se la standardele aplicabile și la propria experiență, aceste distanțe de siguranță pot să difere, fiind stabilite de către proprietar astfel încât amplasarea facilităților de încărcare să reducă riscul stației integrate.

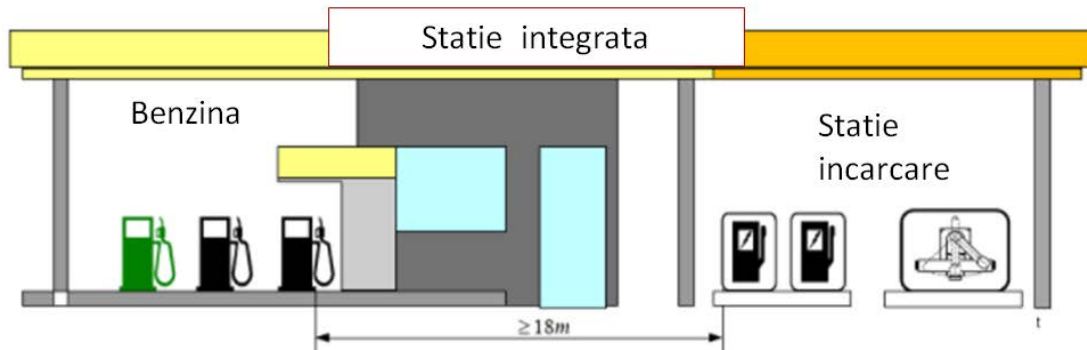


Fig. 4. Exemplu de distanță de siguranță pentru stații mixte

Sursa : Tariq [21]

Amenajarea stațiilor de încărcare trebuie să permită o circulație și o parcare a mașinilor care să evite coliziunile (inclusiv pe timp de iarnă), să permită accesul salvărilor și a altor vehicule mai mari și să asigure siguranța pietonilor.

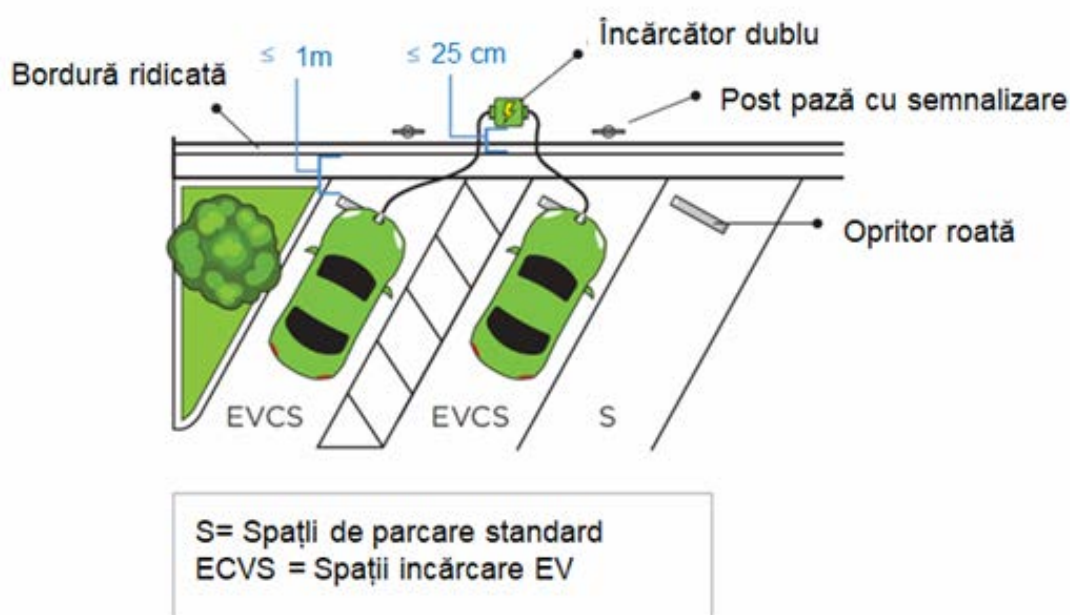


Fig. 5. Exemplu configurare stații încărcare

Sursa : Adaptare după Santa Clara Driving to Net Zero- Local Government EC Charging Station Siting Toolkit&Reference Guide

Coliziunile, vandalismul și furtul pot deteriora aceste stațiile de încărcare.

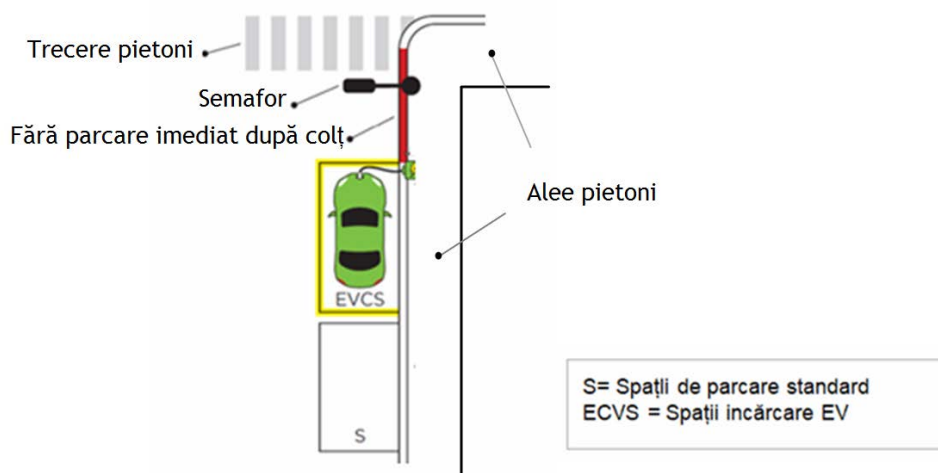


Fig. 6. Exemplu configurare stații încărcare

Sursa : Adaptare după Santa Clara Driving to Net Zero- Local Government EC Charging Station Siting Toolkit&Reference Guide

Trebuie luate măsuri de siguranță, cum ar fi inspecții periodice, semnalizare, instruire în materie de siguranță pentru a proteja proprietarii de vehicule care le utilizează. Apa, cablurile tăiate (ex.de hoții de cupru) sau care au fost trase în pe sol, cu semne de frecare și extrudare a firelor și unitățile furate creează o situație periculoasă pentru oricine vine în contact cu unitatea de încărcare și poate duce la electrocutare.

Măsuri în caz de incendiu

Din cauza complexității componentelor bateriei și a diversității condițiilor de utilizare, clasificarea focului la baterii litiu ion este controversată și poate varia. Având în vedere incertitudinea, în prezent tehnologia eficientă de combatere a focului LIB este încă o provocare.

Suprimarea focului LIB implică stingerea flăcării deschise și scăderea temperaturii bateriei. Dacă temperatura bateriei este suficient de ridicată după stingerea flăcării deschise, există încă posibilitatea ca bateria să ia iar foc.

A fost evaluată eficacitatea stingerii focului LIB cu diferite produse cu haloni [22]. Rezultatele au arătat că aceștia ar putea suprima focul deschis, dar temperatura bateriei ar crește în continuare, după stingerea flăcării.

Alte cercetări au studiat efectul de stingere al apei, combinată cu un agent tensioactiv și un agent de gelifiere [23-25]. S-a arătat că apa poate stinge focul bateriei și aditivii au contribuit la reducerea cantității de apă necesară. Alte studii au spus că, deși jetul de apă ar putea stinge rapid focul, fumul și gazele toxice sau inflamabile ar fi în continuare eliberate după suprimarea focului.

Experimentele pentru stingerea incendiilor bateriilor [24] au indicat că agenții pe bază de apă cu diferiți aditivi (ex citrat de potasiu 25-30%- AF-31, sau nonafluoro-4- (trifluorometil)-3-pentanona - Novec 1230 etc.) au fost cei mai eficienți, în special prin răcirea evidentă a bateriei, în timp ce agenții

de stingere neapoși (gaz, pulbere uscată etc.) au fost cei mai puțin eficienți.

Det Norske Veritas și Germanischer Lloyd (DNVGL) au efectuat experimente pentru a evalua efectul de stingere a agenților F500, Fireice, PyroCool, aerosoli și apă asupra focului bateriei [26].

Rezultatele au arătat că toate acestea ar putea stinge focul bateriei dacă ar fi pulverizate imediat după detectarea vârfului termic. Printre acestea, apa a prezentat cel mai bun efect de răcire pentru o baterie cu fugă termică.

Un grup de cercetători a folosit dioxid de carbon, pulbere superfină și heptafluoropropan pentru a efectua teste de suprimare a incendiilor la baterie [27] în care heptafluoropropanul a fost cel mai eficient în controlul incendiilor și suprimarea reacțiilor de fugă termică.

Alte cercetări au investigat eficiența stingerii focului cu heptafluoropropan- agent de stingere HFC-227ea- și au descoperit că heptafluoropropanul ar putea suprima focul dar bateria ar putea fi reaprinsă, din cauza reacțiilor puternic exoterme din interiorul ei, după stingerea incendiului.

Liu și colab. au testat dodecafluorooxepan ($C_6F_{12}O$) în incendii de mare intensitate la baterii [28]. Ei au propus că $C_6F_{12}O$ prezintă mai întâi un efect negativ, care apoi se transformă într-un efect inhibitor pe măsură ce doza a crescut.

BIBLIOGRAFIE

1. NEMA <http://www.cpsc.gov/PageFiles/109854/AnalysisGFCI.pdf>
2. Dunn, B.; Kamath, H.; Tarascon, J.M. Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science* 2011, 334, 928–93
3. Riley, L.A.; Cavanagh, A.S.; George, S.M.; Jung, Y.S.; Yan, Y.; Lee, S.H.; Dillon, A.C. Conformal Surface Coatings to Enable High Volume Expansion Li-Ion Anode Materials. *ChemPhysChem* 2010, 11, 2124–2130.
4. Kawamura, T.; Kimura, A.; Egashira, M.; Okada, S.; Yamaki, J.I. Thermal stability of alkyl carbonate mixed-solvent electrolytes for lithium ion cells. *J. Power Sources* 2002, 104, 260–264
5. Sloop, S.E.; Kerr, J.B.; Kinoshita, K. The role of Li-ion battery electrolyte reactivity in performance decline and self-discharge. *J. Power Sources* 2003, 119, 330–337
6. Wang, Q.; Sun, J.; Yao, X.; Chen, C. Thermal Behavior of Lithiated Graphite with Electrolyte in Lithium-Ion Batteries. *J. Electrochem. Soc.* 2006, 153, A329–A333.
7. Yamaki, J.I.; Takatsuji, H.; Kawamura, T.; Egashira, M. Thermal stability of graphite anode with electrolyte in lithium-ion cells. *Solid State Ion.* 2002, 148, 241–245
8. Zinigrad, E.; Larush-Asraf, L.; Gnanaraj, J.S.; Gottlieb, H.E.; Sprecher, M.; Aurbach, D. Calorimetric studies of the thermal stability of electrolyte solutions based on alkyl carbonates and the effect of the contact with lithium. *J. Power Sources* 2005, 146, 176–179
9. Spotnitz, R.; Franklin, J. Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells. *J. Power Sources* 2003, 113, 81–100
10. Ouyang, D.; Liu, J.; Chen, M.; Weng, J.; Wang, J. An experimental study on the thermal failure propagation in lithium-ion battery pack. *J. Electrochem. Soc.* 2018, 165, A2184–A2193
11. Huang, P.; Wang, Q.; Li, K.; Ping, P.; Sun, J. The combustion behavior of large scale lithium titanate battery. *Sci. Rep.* 2015, 5, 7788
12. Ouyang, D.; Liu, J.; Chen, M.; Wang, J. Investigation into the Fire Hazards of Lithium-Ion Batteries under Overcharging. *Appl. Sci.* 2017, 7, 1314
13. Fu, Y.; Lu, S.; Shi, L.; Cheng, X.; Zhang, H. Ignition and combustion characteristics of lithium ion batteries under low atmospheric pressure. *Energy* 2018, 161, 38–45
14. Maleki, H.; Deng, G.; Anani, A. Thermal Stability Studies of Li-Ion Cells and Components. *J. Electrochem. Soc.* 1999, 146, 3224–3229
15. Gray, F.M. *Solid Polymer Electrolytes*; VCH: New York, NY, USA
16. Ribière, P.; Grugeon, S.; Morcrette, M.; Boyanov, S.; Laruelle, S.; Marlair, G. Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry. *Energy Environ. Sci.* 2012, 5, 5271–5280.

17. Chen, M.; Liu, J.; He, Y.; Yuen, R.; Wang, J. Study of the fire hazards of lithium-ion batteries at different pressures. *Appl. Therm. Eng.* 2017, 125, 1061–1074
18. QingsongWang, BinbinMao, Stanislav I.Stoliarov, JinhuaSun, “A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies”, 2019
19. Meyer, J. Glass transition temperature as a guide to selection of polymers suitable for PTC materials. *Polym. Eng. Sci.* 1973, 13, 462–468
20. Riley, L.A.; Cavanagh, A.S.; George, S.M.; Jung, Y.S.; Yan, Y.; Lee, S.H.; Dillon, A.C. Conformal Surface Coatings to Enable High Volume Expansion Li-Ion Anode Materials. *ChemPhysChem* **2010**, 11, 2124–2130.
21. Tariq, R. M., Ali A.,Analyzing Risk Factors for Installation of Electric Charging Stations for the city of Montreal, https://www.academia.edu/2497956/Analyzing_Risk_Factors_for_Installation_of_Electric_Charging_Stations_for_the_city_of_Montreal?auto=download
22. Summer, S.M. Flammability Assessment of Lithium-Ion and Lithium-Ion Polymer Battery Cells Designed for Aircraft Power Usage, US Department of Transportation; Federal Aviation Administration: Washington, DC, USA, 2010
23. Ditch, B.; de Vries, J. Flammability Characterization of Lithium-Ion Batteries in Bulk Storage; FM Global: Johnston, RI, USA, 2013
24. Egelhaaf, M.; Kress, D.; Wolpert, D.; Lange, T.; Justen, R.; Wilstermann, H. Fire Fighting of Li-Ion Traction Batteries. *Sae Int. J. Altern. Powertrains* 2013, 2, 37–48
25. Maloney, T. Extinguishment of Lithium-Ion and Lithium-Metal Battery Fires, US Department of Transportation; Federal Aviation Administration: Washington, DC, USA, 2014; pp. 46–51.
26. Edison, C. Considerations for ESS Fire Safety; DNV GL: Oslo, Norway, 2017.
27. Wang, Q.; Shao, G.; Duan, Q.; Chen, M.; Li, Y.; Wu, K.; Liu, B.; Peng, P.; Sun, J. The efficiency of heptafluoropropane fire extinguishing agent on suppressing the lithium titanate battery fire. *Fire Technol.* 2016, 52, 387–396
28. Liu, Y.; Duan, Q.; Xu, J. Experimental study on the efficiency of dodecafluoro-2-methylpentan-3-one on suppressing lithium-ion battery fires. *RSC Adv.* 2018, 8, 42223–42232

