



GHID STOCARE PE BATERII · 18 MIN.

Bariera termică în sistemele de stocare a energiei în baterii: materiale refractare împotriva ambalării termice (thermal runaway)

Cum limitează planificatorii și operatorii sistemelor de stocare a energiei în baterii (BESS) propagarea termică între celulă, modul, rack și container — reglementări, alegerea materialelor, montaj, verificare și întreținere din perspectiva construcțiilor refractare.

Ce se întâmplă la ambalarea termică (thermal runaway) — și de ce timpul este factorul decisiv

O ambalare termică (thermal runaway) începe într-o singură celulă: printr-un scurtcircuit intern, o deteriorare mecanică, o supraîncărcare sau un defect de fabricație, temperatura celulei crește atât de mult încât descompunerea electrolitului se autoacelerează. În câteva secunde apar mai multe sute de grade Celsius, gaze inflamabile (hidrogen, monoxid de carbon, hidrocarburi) și un jet de particule fierbinți. Celula însăși nu mai poate fi stinsă în această stare — reacția continuă până când energia stocată este consumată.

Periculoasă pentru instalație nu este celula respectivă, ci propagarea: căldura primei celule încălzește celulele vecine până când și acolo este depășit pragul. Fără barieră termică, lanțul străbate modulul, rack-ul și, în final, containerul. Fiecare treaptă care întârzie transmiterea cu câteva minute oferă sistemului de management al bateriei timp pentru deconectare, sistemului de evacuare a gazelor timp pentru aerisire și pompierilor timp pentru a ajunge la fața locului.

Observație: Sarcina esențială a materialelor refractare — Nu stingerea, ci separarea: o barieră termică între niveluri menține temperatura pe partea opusă sub pragul de aprindere al celulelor vecine suficient de mult timp încât propagarea să se oprească sau să devină controlabil de lentă. Criteriul este timpul până la trecerea temperaturii — nu doar temperatura de clasificare a materialului.

- Nivel celulă: temperaturi la suprafața celulei de peste 600 °C, jet de particule de peste 1000 °C
- Nivel modul: degajare de gaze de mai multe sute de litri pe kWh, creștere a presiunii în carcasă
- Nivel rack și container: se adaugă sarcina termică din materiale plastice, cabluri și electronică
- Fereastră de timp: propagarea între celule învecinate fără barieră are loc de regulă în câteva minute; cu o barieră eficientă este întârziată semnificativ sau întreruptă

Reglementări: ce se cere și ce trebuie demonstrat

Pentru sistemele staționare de stocare a energiei în baterii nu există în Germania o lege unică și exhaustivă — cerințele rezultă din norme de produs, proceduri de încercare, directive ale asigurătorilor și legislația în construcții. Pentru alegerea materialelor din container sunt decisive mai ales procedurile de încercare prin care se demonstrează siguranța față de propagare.

UL 9540A este procedura de încercare răspândită la nivel internațional, care analizează în trepte propagarea unei ambalări termice la nivel de celulă, modul, unitate și instalație. Multe licitații și mulți asigurători solicită astăzi un raport UL 9540A; temperaturile și timpii documentați în acesta sunt mărimile de intrare pentru dimensionarea barierei termice. NFPA 855 reglementează, ca standard de instalare, distanțele, compartimentele de incendiu și conceptele de stingere și ventilare. În Europa, IEC 62933-5-2 descrie cerințele de siguranță pentru sistemele electrochimice de stocare conectate la rețea. Directiva VdS 3103 sintetizează așteptările asigurătorilor germani de bunuri față de sistemele de stocare cu litiu-ion.

Pentru materialele refractare în sine se aplică clasificările conform DIN EN 13501-1 (comportare la foc, clasa A1 pentru produse incombustibile) și încercările de rezistență la foc conform DIN EN 1363 și DIN EN 1364. Pentru materialele fibroase se adaugă protecția muncii: vata de aluminosilicat (ASW) intră sub incidența reglementării tehnice germane TRGS 558, vata AES biosolubilă nu — un aspect care, la sistemele de stocare în baterii, este aproape întotdeauna decisiv.

Observație: Recomandare practică — Solicitați furnizorului de sistem raportul UL 9540A la nivel de modul și de unitate înainte de a discuta despre materiale. Temperaturile de suprafață măsurate acolo și durata evenimentului determină ce efect de barieră aveți nevoie — orice altceva este o dimensionare la întâmplare.

Conceptul de compartimentare: patru niveluri, patru sarcini

O barieră termică eficientă urmează structura sistemului de stocare din interior spre exterior. Fiecare nivel are propria sarcină, propria solicitare termică și, prin urmare, propriul material potrivit. Cine montează același material la toate nivelurile fie plătește prea mult, fie protejează prea puțin în punctul critic.

- Celulă–celulă: straturi intermediare subțiri de 1 până la 3 mm, care întârzie transferul de căldură către celula vecină — hârtie din fibră ceramică în calitate biosolubilă sau laminate microporoase în folie; decisive sunt grosimea redusă și conductivitatea termică scăzută la temperatură înaltă
- Modul–modul: plăci de 5 până la 25 mm între modulele din rack — plăci microporoase cu cel mai mare efect izolant pe milimetru, acolo unde spațiul este limitat; plăci de silicat de calciu, acolo unde este necesară suplimentar rezistență la compresiune
- Rack–rack și rack–perete: pereți despărțitori și placări cu rezistență la foc — plăci de silicat de calciu sau plăci din fibră în straturi, rosturi decalate, racorduri etanșate cu șnur de fibră
- Căptușeală interioară a containerului: placare a pereților și a tavanului din pătură sau placă din fibră biosolubilă, care menține mantaua de oțel sub temperatura critică și împiedică transmiterea incendiului la containerele învecinate

La acestea se adaugă trecerile/străpungerile: cabluri, conducte de răcire, bare colectoare și deschideri de ventilare străpung fiecare nivel. Un perete despărțitor este doar atât de bun cât este cea mai slabă trecere a sa — aici șnururile de fibră, garniturile din hârtie și manșetele de protecție la foc devin parte a conceptului, nu accesorii.

Alegerea materialelor: biosolubil, microporos, fără fibre — și de ce ASW este rareori răspunsul potrivit în sistemele de stocare

În cuptorul industrial, temperatura decide materialul. În sistemul de stocare în baterii se adaugă trei cerințe care influențează mai puternic alegerea: spațiul disponibil, protecția muncii și lista de materiale a clientului.

Vata AES biosolubilă (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper) este exceptată, conform notei Q din regulamentul CLP, de la clasificarea ca substanță cancerigenă și nu intră sub incidența reglementării tehnice germane TRGS 558. Pentru producătorii de sisteme de stocare aceasta înseamnă: fără categorii de expunere la montaj, fără obligație de etichetare în produs, fără notificare SVHC conform REACH art. 33. Cu o temperatură de clasificare de 1200 °C, aceasta acoperă temperaturile care apar la perete și tavan în timpul ambalării termice. Limita sa practică de utilizare continuă, sub aproximativ 900 °C, nu joacă aici niciun rol — cazul de solicitare este un eveniment de câteva minute, nu o funcționare continuă.

Plăcile microporoase (SOLUT MP Board) oferă cea mai scăzută conductivitate termică dintre toate materialele izolante — în jur de 0,02 până la 0,03 W/mK la 200 până la 400 °C — și, astfel, cel mai mare efect de barieră pe milimetru. Este materialul preferat între module, unde fiecare milimetru de spațiu costă densitate energetică. Sunt fără fibre, incombustibile (A1) și pot fi livrate cașerate cu folie de aluminiu, țesătură din fibră de sticlă sau folie PE, pentru a nu produce praf la manipulare.

Plăcile de silicat de calciu (SOLUT CAL Board) se montează acolo unde bariera trebuie să preia sarcini: sub rack-uri, ca perete despărțitor cu elemente de fixare, ca suport pentru componente. Rezistențe la compresiune de 13 până la 27 N/mm² la o temperatură de clasificare de 1000 °C, fără fibre și prelucrabile cu scule pentru lemn.

Observație: De ce nu ASW? — Vata de aluminosilicat rezistă, ce-i drept, la 1260 până la 1430 °C, dar este clasificată drept cancerigen de categoria 1B. Într-un produs pe care producătorii îl livrează în multe țări și pe care tehnicienii de service îl deschid, acest lucru atrage obligații de etichetare, informare și protecție a muncii pe care aproape niciun producător de sisteme de stocare nu vrea să și le asume. Rezerva de temperatură a ASW nu este necesară în sistemul de stocare — alternativa biosolubilă este suficientă pentru cazul de solicitare.

- Straturi intermediare între celule: SOLUT BW Paper 1–3 mm sau laminat microporos
- Separare între module: SOLUT MP Board 5–25 mm, cașerat
- Pereți despărțitori portanți și suporturi: SOLUT CAL Board 12,7–50 mm
- Placare pereți și tavan container: SOLUT BW Blanket 25–50 mm sau BW Board
- Treceți și rosturi: șnur de fibră și BW Paper, la compartimentele de incendiu combinate cu sisteme de etanșare omologate

Comparația materialelor: cele patru materiale de barieră dintr-o privire

Prezentarea de mai jos pune față în față cele patru materiale de barieră cele mai importante — cu valorile caracteristice care contează cu adevărat în sistemul de stocare: conductivitatea termică în caz de eveniment, necesarul de spațiu, rezistența mecanică și statutul de reglementare.

Observație: Regulă practică — Acolo unde spațiul este resursa cea mai limitată: microporos. Acolo unde se preiau sarcini sau se înșurubează: silicat de calciu. Acolo unde se plachează suprafețe: fibră biosolubilă. Acolo unde trebuie să fie subțire: hârtie din fibră. ASW doar dacă se izolează permanent la peste 900 °C — în sistemul de stocare, practic niciodată.

Montaj și verificare: unde cedează bariera în practică

Cea mai bună alegere a materialelor nu folosește la nimic dacă bariera are goluri. Din montajele noastre cunoaștem patru puncte slabe recurente: rosturi de îmbinare deschise între plăci, treceri neetanșate, elemente de fixare din oțel care trec prin izolație ca punți termice și straturi izolante strivite la asamblare, care își pierd astfel grosimea și efectul izolant.

- Îmbinările plăcilor se decalază în două straturi sau se execută cu nut și feder; rosturile de îmbinare într-un singur strat se căptușesc pe spate cu șnur de fibră
- Fiecare trecere se desenează ca detaliu separat: șnur, hârtie sau manșetă, lungimea de etanșare cel puțin egală cu grosimea plăcii
- Elementele de fixare se separă termic — ancore ceramice sau din oțel inoxidabil cu suport, în locul șuruburilor de oțel continue
- Grosimea izolației se verifică în stare montată, nu în stare de livrare; strângerea și compresiunea se documentează
- Cașerările și foliile de pe partea orientată spre eveniment se evaluează: protejează la manipulare, dar nu contribuie în caz de incendiu

Demonstrarea se face în două trepte: valorile caracteristice ale materialelor provin din fișele tehnice și din clasificările la foc, efectul de barieră al sistemului dintr-o încercare de propagare la nivel de modul sau de unitate — de preferat conform UL 9540A, pentru că rezultatele pot fi astfel valorificate și față de asigurători și autoritățile de autorizare. Noi livrăm datele materialelor și însoțim realizarea corpurilor de probă, astfel încât sistemul încercat să corespundă cu ceea ce va fi montat ulterior.

Listă de verificare pentru planificare: ce trebuie clarificat înainte de licitație și ofertă

Cele mai multe întârzieri din proiectele de stocare nu apar la montaj, ci înainte — pentru că lipsesc bazele atunci când trebuie comparate ofertele. Aceste douăsprezece puncte trebuie clarificate înainte ca prima cerere de ofertă să plece:

- Există rapoarte UL 9540A ale furnizorului de celule/module la nivel de modul și de unitate? Ce temperaturi și ce timpi au fost măsurați?
- Obiectivul de protecție este definit: împiedicarea propagării celulă–celulă, întârzierea propagării modul–modul sau doar separarea container–container?
- Bugetul de spațiu este stabilit pentru fiecare nivel (mm între celule, module, rack-uri)?
- Cerințele asigurătorului au fost obținute (VdS 3103, eventual condiții proprii)?
- Comportarea la foc a materialelor este cerută ca clasa A1 conform DIN EN 13501-1?
- Se cere o listă de materiale fără fibre — sau este admisă fibra biosolubilă (nota Q)?
- Trecerile au fost numărate și pentru fiecare tip a fost definit un detaliu de etanșare (cablu, conductă de răcire, bară colectoare, ventilare)?
- Conceptul de fixare este planificat fără punți termice continue?
- Compresiunea straturilor izolante la asamblare a fost calculată — grosimea în stare montată?
- Corpurile de probă pentru încercarea de propagare sunt planificate (material, termen, institut de încercare)?
- Producție de serie: debitare ca set de montaj sau piese individuale? Toleranțele sunt definite?
- Concept de dezafectare și de piese de schimb: cum se reface o barieră după o intervenție de întreținere?

Observație: Oferta noastră pentru planificatori — Trimiteți-ne datele UL 9540A și bugetul de spațiu — vă propunem structura straturilor pentru fiecare nivel, livrăm valorile caracteristice ale materialelor pentru dovada de siguranță și, la cerere, fabricăm corpuri de probă și seturi de montaj pentru producția de serie.

Exploatare, întreținere și dezafectare

O barieră termică nu lucrează în funcționarea normală — ea așteaptă. Tocmai de aceea este ușor deteriorată la întreținere și la modificări: plăcile sunt demontate pentru acces și remontate incomplet, garniturile de la treceri se pierd la înlocuirea cablurilor, straturile izolante sunt strivite de componente montate ulterior. De aceea, în documentația de întreținere trebuie să existe un plan de compartimentare care să denumească fiecare barieră, fiecare trecere și fiecare garnitură.

- După fiecare intervenție: verificare vizuală a barierei afectate față de planul de compartimentare, fotografie la dosar
- Anual: verificare prin sondaj a garniturilor de la treceri și a compresiei straturilor izolante
- După un eveniment termic: barierele afectate se înlocuiesc complet — și vata biosolubilă și plăcile microporoase își pierd proprietățile după trecerea temperaturii
- La demontare: materialele se separă conform marcajului — materialele biosolubile și fără fibre nu sunt deșeuri periculoase, materialul ASW vechi intră sub codul de deșeu 170603*

Observație: Totul dintr-o singură sursă — Livrăm materialele cu fișe tehnice în șapte limbi, debităm plăcile și păturile după desen, montăm cu montatorii noștri și preluăm, la modificări sau la scoaterea din funcțiune, dezafectarea împreună cu dovada eliminării deșeurilor. Pentru producătorii care fabrică sisteme de stocare în serie, prefabricăm seturi de compartimentare.

Norme și reglementări

UL 9540A

Procedură de încercare pentru evaluarea propagării ambalării termice la nivel de celulă, modul, unitate și instalație (Furnizează temperaturile și timpii pentru dimensionarea barierei; solicitată tot mai des de asigurători și în licitații)

NFPA 855

Standard de instalare pentru sisteme staționare de stocare a energiei — distanțe, compartimente de incendiu, concepte de stingere și ventilare (Cadru pentru amplasarea pereților despărțitori și a distanțelor între unități)

IEC 62933-5-2

Cerințe de siguranță pentru sistemele electrochimice de stocare a energiei conectate la rețea (Baza europeană pentru dovezile de siguranță ale sistemului în ansamblu)

VdS 3103

Directivă a asigurătorilor germani de bunuri pentru baterii și sisteme de stocare cu litiu-ion (Așteptările asigurătorilor privind amplasarea, compartimentarea și protecția împotriva incendiilor)

DIN EN 13501-1

Clasificarea comportării la foc a produselor pentru construcții (clasa A1: incombustibil) (Dovada incombustibilității materialelor izolante și de separare utilizate)

DIN EN 1363-1 / EN 1364

Încercări de rezistență la foc, generale și pentru elemente neportante (Dovada rezistenței la foc a pereților despărțitori și a plăcilor)

TRGS 558

Reglementarea tehnică germană TRGS 558: activități cu vată pentru temperaturi înalte — categorii de expunere și măsuri de protecție (Se aplică pentru ASW, nu pentru vata AES biosolubilă; decisivă pentru alegerea materialelor)

CLP-Verordnung, Anmerkung Q

Excepția vatei minerale biosolubile de la clasificarea ca substanță cancerigenă (regulamentul CLP, nota Q) (Baza pentru materiale fibroase fără obligație de etichetare în sistemul de stocare)

Întrebări frecvente

Este suficientă vata biosolubilă de 1200 °C, dacă la ambalarea termică apar peste 1000 °C?

Pentru cazul de solicitare, da: temperatura de clasificare descrie contracția după 24 de ore de solicitare continuă. O ambalare termică este un eveniment de câteva minute, în care bariera trebuie să întârzie căldura, nu să o suporte permanent. Decisive sunt grosimea și conductivitatea termică — și dovada pe sistemul încercat.

De ce microporos în loc de o pătură din fibră pur și simplu mai groasă?

Pentru că spațiul din sistemul de stocare înseamnă densitate energetică. O placă microporoasă obține cu 10 mm ceea ce pătura din fibră obține cu dublul până la triplul grosimii. Între module, aceasta este diferența dintre un rack în plus sau în minus în container.

Materialele în sine trebuie să aibă o omologare?

Materialele au nevoie de clasificări (comportare la foc A1, valori din fișa tehnică). Omologarea privește sistemul: siguranța față de propagare se încearcă pe modul sau pe unitate, nu doar pe material. Noi livrăm datele materialelor pentru această dovadă.

Ce se întâmplă cu bariera termică după un eveniment?

Barierile afectate se înlocuiesc complet. Materialele izolante care au suferit o trecere a temperaturii sunt fragilizate sau compactate și nu își mai ating valorile caracteristice — chiar dacă par intacte la exterior.

Să discutăm despre proiectul dumneavoastră

Răspuns în 24 de ore în zilele lucrătoare.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Citiți online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/thermische-abschottung-batteriespeicher