



RÁDCE BATERIOVÁ ÚLOŽIŠTĚ · 18 MIN.

Tepelná bariéra v bateriovém úložišti: žáruvzdorné materiály proti tepelnému úniku (thermal runaway)

Jak projektanti a provozovatelé bateriových úložišť (BESS) omezují tepelné šíření mezi článkem, modulem, rackem a kontejnerem — předpisy, volba materiálu, montáž, zkoušení a údržba z pohledu žáruvzdorných konstrukcí.

Co se děje při tepelném úniku (thermal runaway) — a proč je rozhodujícím faktorem čas

Tepelný únik (thermal runaway) začíná v jediném článku: vnitřním zkratem, mechanickým poškozením, přebitím nebo výrobní vadou stoupne teplota článku natolik, že se rozklad elektrolytu začne sám urychlovat. Během sekund vzniká několik set stupňů Celsia, hořlavé plyny (vodík, oxid uhelnatý, uhlovodíky) a proud horkých částic. Samotný článek se v tomto stavu již nedá uhasit — reakce probíhá, dokud se nespotřebuje uložená energie.

Pro zařízení není nebezpečný jeden článek, ale propagace: teplo prvního článku ohřívá sousední články, dokud není i tam překročena prahová hodnota. Bez tepelné bariéry řetězová reakce projde modulem, rackem a nakonec kontejnerem. Každý stupeň, který předání zpozdí o minuty, dává systému řízení baterie čas na odpojení, odvodu plynů čas na odvětrání a hasičům čas na příjezd.

Poznámka: Hlavní úkol žáruvzdorných materiálů — Nehasit, ale oddělovat: tepelná bariéra mezi jednotlivými úrovněmi udrží teplotu na odvrácené straně pod zápalnou prahovou hodnotou sousedních článků tak dlouho, že se šíření zastaví nebo zpomalí na zvládnutelnou míru. Měřítkem je doba do průniku teploty — nikoli samotná klasifikační teplota materiálu.

- Úroveň článku: teploty na povrchu článku přes 600 °C, proud částic přes 1000 °C
- Úroveň modulu: uvolnění několika set litrů plynu na kWh, nárůst tlaku v krytu
- Úroveň racku a kontejneru: přidává se požární zatížení z plastů, kabelů a elektroniky
- Časové okno: propagace mezi sousedními články bez bariéry typicky v řádu minut, s účinnou bariérou výrazně zpozžděná nebo přerušená

Předpisy: co se požaduje a co je nutné prokázat

Pro stacionární bateriová úložiště neexistuje v Německu jediný, vyčerpávající zákon — požadavky se skládají z výrobních norem, zkušebních postupů, směrnic pojistitelů a stavebního práva. Pro volbu materiálů v kontejneru jsou rozhodující především zkušební postupy, kterými se prokazuje odolnost proti propagaci.

UL 9540A je mezinárodně rozšířený zkušební postup, který zkoumá šíření tepelného úniku postupně na úrovni článku, modulu, jednotky a instalace. Mnoho výběrových řízení a pojistitelů dnes vyžaduje zprávu podle UL 9540A; teploty a časy v ní zdokumentované jsou vstupními veličinami pro návrh tepelné bariéry. NFPA 855 jako instalační standard upravuje odstupy, požární úseky a koncepce hašení a odvětrání. V Evropě popisuje IEC 62933-5-2 bezpečnostní požadavky na elektrochemické akumulací systémy v síti. Směrnice VdS 3103 shrnuje očekávání německých pojistitelů majetku vůči lithium-iontovým úložištím.

Pro samotné žáruvzdorné materiály platí klasifikace podle DIN EN 13501-1 (reakce na oheň, třída A1 pro nehořlavé výrobky) a zkoušky požární odolnosti podle DIN EN 1363 a DIN EN 1364. U vláknitých materiálů přistupuje ochrana zdraví při práci: hlinitokřemičitá vlna (ASW) podléhá německému technickému předpisu TRGS 558, biologicky rozpustná vlna AES nikoli — bod, který u bateriových úložišť téměř vždy rozhoduje.

Poznámka: Praktické doporučení — Vyžádejte si od dodavatele systému zprávu podle UL 9540A na úrovni modulu a jednotky, než začnete mluvit o materiálech. Tam naměřené povrchové teploty a doba trvání události určují, jaký bariérový účinek potřebujete — vše ostatní je návrh naslepo.

Koncepce tepelných bariér: čtyři úrovně, čtyři úkoly

Účinné oddělení sleduje stavbu úložiště zevnitř ven. Každá úroveň má vlastní úkol, vlastní teplotní zatížení, a tím i vlastní vhodný materiál. Kdo na všech úrovních zabuduje stejný materiál, buď platí příliš mnoho, nebo na kritickém místě chrání příliš málo.

- Článek–článek: tenké mezivrstvy 1 až 3 mm, které zpomalují přestup tepla do sousedního článku — keramický vláknitý papír v biologicky rozpustné kvalitě nebo mikroporézní fóliové lamináty; rozhodující je malá tloušťka a nízká tepelná vodivost při vysoké teplotě
- Modul–modul: desky 5 až 25 mm mezi moduly v racku — mikroporézní desky s nejvyšším izolačním účinkem na milimetr tam, kde je málo zástavbového prostoru; desky z křemičitanu vápenatého tam, kde je navíc potřeba pevnost v tlaku
- Rack–rack a rack–stěna: dělicí stěny a obklady s požární odolností — desky z křemičitanu vápenatého nebo vláknité desky ve vrstvách, spáry přesazené, napojení utěsněná vláknitou šňůrou
- Vnitřní výstelka kontejneru: obklad stěn a stropu z biologicky rozpustné vláknité rohože nebo desky, který udrží ocelový plášť pod kritickou teplotou a zabrání přenosu požáru na sousední kontejnery

K tomu přistupují prostupy: kabely, chladicí potrubí, přípojnice a větrací otvory pronikají každou úrovní. Dělicí stěna je jen tak dobrá jako její nejslabší prostup — zde se vláknité šňůry, papírová těsnění a protipožární manžety stávají součástí koncepce, nikoli příslušenstvím.

Volba materiálu: biologicky rozpustný, mikroporézní, bez vláken — a proč je ASW v úložišti zřídka správnou odpovědí

V průmyslové peci rozhoduje o materiálu teplota. V bateriovém úložišti přistupují tři požadavky, které výběr ovlivňují silněji: zástavbový prostor, ochrana zdraví při práci a kusovník zákazníka.

Biologicky rozpustná vlna AES (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper) je podle poznámky Q nařízení CLP vyňata z klasifikace jako karcinogenní a nespadá pod německý technický předpis TRGS 558. Pro výrobce úložišť to znamená: žádné expoziční kategorie při montáži, žádná povinnost označování ve výrobku, žádné hlášení SVHC podle REACH čl. 33. S klasifikační teplotou 1200 °C pokrývá teploty vznikající při tepelném úniku na stěně a stropu. Její praktická trvalá mez pod zhruba 900 °C zde nehraje roli — zatěžovacím případem je

událost trvající minuty, nikoli trvalý provoz.

Mikroporézní desky (SOLUT MP Board) nabízejí nejnižší tepelnou vodivost ze všech izolačních materiálů — kolem 0,02 až 0,03 W/mK při 200 až 400 °C — a tím největší bariérový účinek na milimetr. To je materiál první volby mezi moduly, kde každý milimetr zástavbového prostoru stojí hustotu energie. Jsou bez vláken, nehořlavé (A1) a dodávají se kaširované hliníkovou fólií, skleněnou tkaninou nebo PE fólií, aby při manipulaci neprášily.

Desky z křemičitanu vápenatého (SOLUT CAL Board) patří tam, kde bariéra musí nést: pod racky, jako dělicí stěna s upevněním, jako podložka pro komponenty. Pevnost v tlaku 13 až 27 N/mm² při klasifikační teplotě 1000 °C, bez vláken a opracovatelné nástroji na dřevo.

Poznámka: Proč ne ASW? — Hlinitokřemičitá vlna sice snese 1260 až 1430 °C, je však klasifikována jako karcinogen kategorie 1B. Ve výrobku, který výrobci dodávají do mnoha zemí a který otevírají servisní technici, to s sebou nese povinnosti označování, informování a ochrany zdraví při práci, jež téměř žádný výrobce úložišť nechce nést. Teplotní rezerva ASW není v úložišti potřeba — biologicky rozpustná alternativa pro daný zatěžovací případ postačuje.

- Mezivrstvy mezi články: SOLUT BW Paper 1–3 mm nebo mikroporézní laminát
- Oddělení modulů: SOLUT MP Board 5–25 mm, kaširovaný
- Nosné dělicí stěny a podložky: SOLUT CAL Board 12,7–50 mm
- Obklad stěn a stropu kontejneru: SOLUT BW Blanket 25–50 mm nebo BW Board
- Prostupy a spáry: vláknitá šňůra a BW Paper, u požárních úseků v kombinaci se schválenými systémy požárních ucpávek

Porovnání materiálů: čtyři bariérové materiály v přehledu

Následující přehled staví vedle sebe čtyři nejdůležitější bariérové materiály — s charakteristikami, které v úložišti skutečně rozhodují: tepelná vodivost v případě události, nároky na zástavbový prostor, mechanická zatížitelnost a regulatorní status.

Poznámka: Základní pravidlo — Kde je zástavbový prostor nejvýznamnější veličinou: mikroporézní deska. Kde se nese nebo šroubuje: křemičitan vápenatý. Kde se obkládají plochy: biologicky rozpustné vlákno. Kde to musí být tenké: vláknitý papír. ASW jen tam, kde se trvale izoluje nad 900 °C — v úložišti prakticky nikdy.

Montáž a zkoušení: kde bariéra v praxi selhává

Nejlepší volba materiálu je k ničemu, má-li bariéra mezery. Z našich montáží známe čtyři opakující se slabá místa: otevřené styčné spáry mezi deskami, neutěsněné prostupy, ocelové upevňovací prvky, které procházejí izolací jako tepelný most, a izolační vrstvy, které se při sestavování stlačí a tím ztratí tloušťku i izolační účinek.

- Styky desek provádět ve dvou vrstvách s přesazením nebo s perem a drážkou; jednovrstvé styčné spáry podložit vláknitou šňůrou
- Každý prostup nakreslit jako samostatný detail: šňůra, papír nebo manžeta, těsnící délka nejméně rovna tloušťce desky
- Upevnění tepelně oddělit — keramické nebo nerezové kotvy s podložkou místo průchozích ocelových šroubů
- Tloušťku izolace kontrolovat v zabudovaném stavu, nikoli ve stavu při dodání; sevření a stlačení dokumentovat
- Kaširování a fólie hodnotit na straně přivrácené k události: chrání při manipulaci, v případě požáru však neunesou

Prokazování probíhá ve dvou stupních: materiálové charakteristiky pocházejí z technických listů a požárních klasifikací, bariérový účinek systému ze zkoušky propagace na úrovni modulu nebo jednotky — rozumně podle UL 9540A, protože výsledky jsou pak využitelné i pro pojistitele a schvalovací úřady. Dodáváme materiálová data a doprovázíme výrobu zkušebních těles, aby zkoušený systém odpovídal tomu, co se později zabuduje.

Plánovací kontrolní seznam: co musí být vyjasněno před výběrovým řízením a nabídkou

Většina zpoždění v projektech úložišť nevzniká při montáži, ale před ní — protože chybějí podklady ve chvíli, kdy se mají porovnávat nabídky. Těchto dvanáct bodů je třeba vyjasnit, než odejde první poptávka:

- Jsou k dispozici zprávy podle UL 9540A od dodavatele článků/modulů na úrovni modulu a jednotky? Jaké teploty a časy byly naměřeny?
- Je definován cíl ochrany: zabránit propagaci článek–článek, zpomalit modul–modul, nebo jen oddělit kontejner–kontejner?
- Je stanoven rozpočet zástavbového prostoru pro každou úroveň (mm mezi články, moduly, racky)?
- Byly vyžádány požadavky pojistitele (VdS 3103, případně vlastní podmínky)?
- Je reakce materiálů na oheň požadována jako třída A1 podle DIN EN 13501-1?
- Je požadován kusovník bez vláken — nebo je biologicky rozpustné vlákno (poznámka Q) přípustné?
- Jsou spočítány prostupy a je pro každý typ definován detail utěsnění (kabel, chladicí potrubí, přípojnice, větrání)?
- Je koncepce upevnění navržena bez průchozích tepelných mostů?
- Je vypočteno stlačení izolačních vrstev při sestavení — tloušťka v zabudovaném stavu?
- Jsou naplánována zkušební tělesa pro zkoušku propagace (materiál, termín, zkušební ústav)?
- Sériová výroba: přířezy jako stavebnice, nebo jednotlivé díly? Jsou definovány tolerance?
- Koncepce demontáže a náhradních dílů: jak se bariéra obnoví po údržbovém zásahu?

Poznámka: Naše nabídka projektantům — Pošlete nám data podle UL 9540A a rozpočet zástavbového prostoru — navrhne skladbu vrstev pro každou úroveň, dodáme materiálové charakteristiky pro bezpečnostní průkaz a na přání vyrobíme zkušební tělesa i sériové stavebnice.

Provoz, údržba a demontáž

Tepelná bariéra v běžném provozu nepracuje — čeká. Právě proto se při údržbě a přestavbě snadno poškodí: desky se kvůli přístupu vymontují a neúplně vrátí zpět, těsnění prostupů se při výměně kabelů ztratí, izolační vrstvy se stlačí dodatečně doplněnými komponentami. Do dokumentace údržby proto patří plán bariér, který pojmenovává každou bariéru, každý prostup a každé těsnění.

- Po každém zásahu: vizuální kontrola dotčené bariéry podle plánu bariér, fotografie do dokumentace
- Ročně: namátková kontrola těsnění prostupů a stlačení izolačních vrstev
- Po tepelné události: dotčené bariéry kompletně vyměnit — i biologicky rozpustná vlna a mikroporézní desky po průniku teploty ztrácejí své vlastnosti
- Při demontáži: materiály třídit podle označení — biologicky rozpustné a bezvláknové materiály nejsou nebezpečným odpadem, starý materiál ASW spadá pod kód odpadu 170603*

Poznámka: Vše z jedné ruky — Dodáváme materiály s technickými listy v sedmi jazycích, řežeme desky a rohože podle výkresu, montujeme s našimi montéry a při přestavbě nebo odstavení přebíráme demontáž včetně dokladu o likvidaci. Pro výrobce, kteří vyrábějí úložiště sériově, předpřipravujeme sady tepelných bariér.

Normy a předpisy

UL 9540A

Zkušební postup pro hodnocení šíření tepelného úniku na úrovni článku, modulu, jednotky a instalace (Poskytuje teploty a časy pro návrh bariér; stále častěji vyžadován pojistiteli a ve výběrových řízeních)

NFPA 855

Instalační standard pro stacionární akumulární systémy — odstupy, požární úseky, koncepce hašení a odvětrání (Rámec pro uspořádání dělicích stěn a odstupů mezi jednotkami)

IEC 62933-5-2

Bezpečnostní požadavky na elektrochemické akumulární systémy připojené k síti (Evropský základ pro bezpečnostní průkazy celého systému)

VdS 3103

Směrnice německých pojistitelů majetku pro lithium-iontové baterie a úložiště (Očekávání pojistitelů ohledně umístění, tepelných bariér a požární ochrany)

DIN EN 13501-1

Klasifikace reakce stavebních výrobků na oheň (třída A1: nehořlavé) (Průkaz nehořlavosti použitých izolačních a dělicích materiálů)

DIN EN 1363-1 / EN 1364

Zkoušky požární odolnosti obecně a pro nenosné prvky (Průkaz požární odolnosti dělicích stěn a obkladů)

TRGS 558

Německý technický předpis TRGS 558: činnosti s vysokoteplotní vlnou — expoziční kategorie a ochranná opatření (Platí pro ASW, nikoli pro biologicky rozpustnou vlnu AES; rozhodující pro volbu materiálu)

CLP-Verordnung, Anmerkung Q

Vynětí biologicky rozpustných minerálních vln z klasifikace jako karcinogenní (nařízení CLP, poznámka Q) (Základ pro vláknité materiály bez povinnosti označování v úložišti)

Časté dotazy

Postačuje biologicky rozpustná vlna s 1200 °C, když při tepelném úniku vzniká přes 1000 °C?

Pro daný zatěžovací případ ano: klasifikační teplota popisuje smrštění po 24 hodinách trvalého zatížení. Tepelný únik je událost trvajíc minuty, při níž bariéra musí teplo zpomalit, nikoli trvale snášet. Rozhodující je tloušťka a tepelná vodivost — a průkaz na zkoušeném systému.

Proč mikroporézní deska místo jednoduše tlustší vláknité rohože?

Protože zástavbový prostor v úložišti znamená hustotu energie. Mikroporézní deska dosáhne s 10 mm toho, na co vláknitá rohož potřebuje dvojnásobek až trojnásobek. Mezi moduly je to rozdíl jednoho racku více či méně v kontejneru.

Musí mít samotné materiály schválení?

Materiály potřebují klasifikace (reakce na oheň A1, hodnoty z technického listu). Schválení se týká systému: odolnost proti propagaci se zkouší na modulu nebo na jednotce, nikoli na samotném materiálu. Materiálová data pro tento průkaz dodáváme.

Co se stane s tepelnou bariérou po události?

Dotčené bariéry se kompletně vymění. Izolační materiály, kterými prošla teplota, zkréhly nebo se zhuťnily a svých charakteristik již nedosahují — i když navenek vypadají neporušeně.

Promluvme si o vašem projektu

Odpověď do 24 hodin v pracovních dnech.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

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