



PORADNIK MAGAZYNY ENERGII · 18 MIN

Bariera termiczna w magazynie energii: materiały ogniotrwałe przeciw niekontrolowanemu wzrostowi temperatury (thermal runaway)

Jak projektanci i operatorzy magazynów energii (BESS) ograniczają rozprzestrzenianie się ciepła między ogniwem, modułem, szafą rack i kontenerem — przepisy, dobór materiałów, montaż, badania i utrzymanie z perspektywy budownictwa ogniotrwałego.

Co dzieje się podczas thermal runaway — i dlaczego czas jest czynnikiem decydującym

Niekontrolowany wzrost temperatury (thermal runaway) rozpoczyna się w pojedynczym ogniwie: wskutek zwarcia wewnętrznego, uszkodzenia mechanicznego, przeładowania lub wady produkcyjnej temperatura ogniw rośnie tak bardzo, że rozkład elektrolitu zaczyna sam się przyspieszać. W ciągu sekund powstaje kilkaset stopni Celsjusza, palne gazy (wodór, tlenek węgla, węglowodory) oraz strumień gorących cząstek. Samego ogniw nie da się już w tym stanie ugasić — reakcja przebiega, dopóki zgromadzona energia nie zostanie wyczerpana.

Niebezpieczne dla instalacji nie jest jedno ogniwo, lecz propagacja: ciepło pierwszego ogniw nagrzewa ogniwa sąsiednie, aż i tam zostanie przekroczony próg. Bez bariery termicznej łańcuch przechodzi przez moduł, szafę rack i wreszcie kontener. Każdy stopień, który opóźnia przeniesienie o minuty, daje systemowi zarządzania baterią czas na wyłączenie, odprowadzeniu gazów czas na wentylację, a straży pożarnej czas na dojazd.

Wskazówka: Podstawowe zadanie materiałów ogniotrwałych — Nie gasić, lecz oddzielać: bariera termiczna między poziomami utrzymuje temperaturę po stronie odwróconej poniżej progu zapłonu sąsiednich ogniw na tyle długo, że rozprzestrzenianie zatrzymuje się lub staje się kontrolowalnie powolne. Miarą jest czas do przejścia temperatury — a nie sama temperatura klasyfikacyjna materiału.

- Poziom ogniwo: temperatury na powierzchni ogniw powyżej 600 °C, strumień cząstek do ponad 1000 °C
- Poziom moduł: uwolnienie kilkuset litrów gazu na kWh, wzrost ciśnienia w obudowie
- Poziom szafa rack i kontenera: dochodzi obciążenie ogniowe z tworzyw sztucznych, kabli i elektroniki
- Okno czasowe: propagacja między sąsiednimi ogniwami bez bariery typowo w ciągu minut, ze skuteczną barierą wyraźnie opóźniona lub przerwana

Przepisy: czego się wymaga i co trzeba wykazać

Dla stacjonarnych magazynów energii nie ma w Niemczech jednej, wyczerpującej ustawy — wymagania składają się z norm produktowych, metod badawczych, wytycznych ubezpieczycieli i prawa budowlanego. Dla doboru materiałów w kontenerze decydujące są przede wszystkim metody badawcze, którymi wykazuje się odporność na propagację.

UL 9540A to rozpowszechniona międzynarodowo metoda badawcza, która bada rozprzestrzenianie się thermal runaway stopniowo na poziomie ogniwa, modułu, jednostki i instalacji. Wiele przetargów i ubezpieczycieli wymaga dziś raportu UL 9540A; udokumentowane w nim temperatury i czasy są wielkościami wejściowymi do projektowania bariery termicznej. NFPA 855 jako standard instalacyjny reguluje odległości, strefy pożarowe oraz koncepcje gaszenia i wentylacji. W Europie IEC 62933-5-2 opisuje wymagania bezpieczeństwa dla elektrochemicznych systemów magazynowania energii w sieci. Wytyczna VdS 3103 podsumowuje oczekiwania niemieckich ubezpieczycieli majątkowych wobec magazynów litowo-jonowych.

Dla samych materiałów ogniotrwałych obowiązują klasyfikacje według DIN EN 13501-1 (reakcja na ogień, klasa A1 dla wyrobów niepalnych) oraz badania odporności ogniowej według DIN EN 1363 i DIN EN 1364. W przypadku materiałów włóknistych dochodzi ochrona pracy: wełna glinokrzemianowa (ASW) podlega niemieckiemu przepisowi technicznemu TRGS 558, biorozpuszczalna wełna AES nie — punkt, który w magazynach energii niemal zawsze przesądza o wyborze.

Wskazówka: Wskazówka praktyczna — Zanim zaczniecie rozmawiać o materiałach, poproście dostawcę systemu o raport UL 9540A na poziomie modułu i jednostki. Zmierzone tam temperatury powierzchni i czas trwania zdarzenia określają, jakiej skuteczności bariery potrzebujecie — wszystko inne jest projektowaniem na ślepo.

Koncepcja przegród: cztery poziomy, cztery zadania

Skuteczna bariera termiczna odwzorowuje budowę magazynu od wewnątrz na zewnątrz. Każdy poziom ma własne zadanie, własne obciążenie temperaturowe, a tym samym własny odpowiedni materiał. Kto na wszystkich poziomach montuje ten sam materiał, albo płaci za dużo, albo chroni za słabo w miejscu krytycznym.

- Ogniwo—ogniwo: cienkie przekładki o grubości od 1 do 3 mm, które opóźniają przenikanie ciepła do sąsiedniego ogniwa — papier z włókien ceramicznych w jakości biorozpuszczalnej lub mikroporowate laminaty foliowe; decydujące są mała grubość i niska przewodność cieplna w wysokiej temperaturze
- Moduł—moduł: płyty o grubości od 5 do 25 mm między modułami w szafie rack — płyty mikroporowate o najwyższej skuteczności izolacyjnej na milimetr tam, gdzie brakuje przestrzeni; płyty z krzemianu wapnia tam, gdzie dodatkowo potrzebna jest wytrzymałość na ściskanie
- Rack—rack i rack—ściana: ściany działowe i okładziny o odporności ogniowej — płyty z krzemianu wapnia lub płyty włókniste w warstwach, ze spoinami przesuniętymi, połączenia uszczelnione sznurem włóknistym
- Wykładzina wewnętrzna kontenera: okładzina ścian i sufitu z biorozpuszczalnej maty lub płyty włóknistej, która utrzymuje płaszczyznę stalową poniżej temperatury krytycznej i zapobiega przeniesieniu pożaru na sąsiednie kontenery

Do tego dochodzą przepusty: kable, przewody chłodzenia, szyny prądowe i otwory wentylacyjne przechodzą przez każdy poziom. Ściana działowa jest tylko tak dobra, jak jej najsłabszy przepust — tu sznury włókniste, uszczelki papierowe i opaski ogniochronne stają się częścią koncepcji, a nie akcesoriami.

Dobór materiałów: biorozpuszczalne, mikroporowate, bezwłóknowe — i dlaczego ASW w magazynie energii rzadko jest właściwą odpowiedzią

W piecu przemysłowym o materiale decyduje temperatura. W magazynie energii dochodzą trzy wymagania,

które silniej kształtują wybór: przestrzeń zabudowy, ochrona pracy i lista materiałowa klienta.

Biorozpuszczalna wełna AES (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper) jest zgodnie z uwagą Q rozporządzenia CLP zwolniona z klasyfikacji jako rakotwórcza i nie podlega niemieckiemu przepisowi technicznemu TRGS 558. Dla producentów magazynów oznacza to: brak kategorii narażenia przy montażu, brak obowiązku oznakowania w produkcie, brak zgłoszenia SVHC zgodnie z REACH art. 33. Przy temperaturze klasyfikacyjnej 1200 °C pokrywa temperatury występujące podczas thermal runaway na ścianie i suficie. Jej praktyczna granica pracy ciągłej poniżej około 900 °C nie ma tu znaczenia — przypadkiem obciążenia jest zdarzenie trwające minuty, a nie praca ciągła.

Płyty mikroporowate (SOLUT MP Board) oferują najniższą przewodność cieplną ze wszystkich materiałów izolacyjnych — około 0,02 do 0,03 W/mK przy 200 do 400 °C — a tym samym największą skuteczność bariery na milimetr. To materiał z wyboru między modułami, gdzie każdy milimetr przestrzeni zabudowy kosztuje gęstość energii. Są bezwłóknowe, niepalne (A1) i dostępne z okładziną z folii aluminiowej, tkaniny szklanej lub folii PE, aby nie pyliły podczas manipulacji.

Płyty z krzemianu wapnia (SOLUT CAL Board) trafiają tam, gdzie bariera musi przenosić obciążenia: pod szafy rack, jako ściana działowa z mocowaniami, jako podkład pod komponenty. Wytrzymałość na ściskanie od 13 do 27 N/mm² przy temperaturze klasyfikacyjnej 1000 °C, bezwłóknowe i obrabialne narzędziami do drewna.

Wskazówka: Dlaczego nie ASW? — Wełna glinokrzemianowa wytrzymuje wprawdzie 1260 do 1430 °C, jest jednak sklasyfikowana jako substancja rakotwórcza kategorii 1B. W produkcie, który producenci dostarczają do wielu krajów i który otwierają technicy serwisowi, pociąga to za sobą obowiązki oznakowania, informowania i ochrony pracy, których prawie żaden producent magazynów nie chce ponosić. Rezerwa temperaturowa ASW nie jest w magazynie energii potrzebna — alternatywa biorozpuszczalna wystarcza dla tego przypadku obciążenia.

- Przekładki między ogniwami: SOLUT BW Paper 1–3 mm lub laminat mikroporowaty
- Oddzielenie modułów: SOLUT MP Board 5–25 mm, z okładziną
- Nośne ściany działowe i podkłady: SOLUT CAL Board 12,7–50 mm
- Okładzina ścian i sufitu kontenera: SOLUT BW Blanket 25–50 mm lub BW Board
- Przepusty i spoiny: sznur włóknisty i BW Paper, w strefach pożarowych w połączeniu z dopuszczonymi systemami przegród

Porównanie materiałów: cztery materiały barierowe w przeglądzie

Poniższe zestawienie porównuje cztery najważniejsze materiały barierowe — z parametrami, które w magazynie energii naprawdę decydują: przewodnością cieplną w razie zdarzenia, zapotrzebowaniem na przestrzeń zabudowy, wytrzymałością mechaniczną i statusem regulacyjnym.

Wskazówka: Praktyczna reguła — Tam, gdzie przestrzeń zabudowy jest wielkością najbardziej deficytową: płyta mikroporowata. Tam, gdzie bariera przenosi obciążenia lub jest skręcana: krzemian wapnia. Tam, gdzie okładane są powierzchnie: włókno biorozpuszczalne. Tam, gdzie musi być cienko: papier włóknisty. ASW tylko wtedy, gdy izoluje się trwale powyżej 900 °C — w magazynie energii praktycznie nigdy.

Montaż i badania: gdzie bariera zawodzi w praktyce

Najlepszy dobór materiałów nic nie da, jeśli bariera ma luki. Z naszych montaży znamy cztery powtarzające się słabe punkty: otwarte spoiny stykowe między płytami, nieuszczelnione przepusty, mocowania stalowe prowadzące przez izolację jako mostki cieplne oraz warstwy izolacyjne zgniatanie podczas montażu, które przez to tracą grubość i skuteczność izolacyjną.

- Styki płyt przesuwac w dwóch warstwach lub wykonywac na pióro i wpust; jednowarstwowe spoiny stykowe podkladać sznurem włóknistym
- Każdy przepust rysować jako osobny detal: sznur, papier lub opaska, długość uszczelnienia co najmniej

równa grubości płyty

- Mocowania oddzielać termicznie — kotwy ceramiczne lub ze stali nierdzewnej z podkładką zamiast przelotowych śrub stalowych
- Grubość izolacji sprawdzać w stanie zamontowanym, nie w stanie dostawy; dokumentować zacisk i kompresję
- Okładziny i folie oceniać po stronie zwróconej do zdarzenia: chronią podczas manipulacji, ale w razie pożaru nie przenoszą obciążeń

Wykazanie odbywa się dwustopniowo: parametry materiałowe pochodzą z kart danych technicznych i klasyfikacji ogniowych, skuteczność bariery systemu — z badania propagacji na poziomie modułu lub jednostki, najlepiej według UL 9540A, ponieważ wyniki są wtedy użyteczne również dla ubezpieczycieli i organów wydających pozwolenia. Dostarczamy dane materiałowe i towarzyszymy przy wykonaniu próbek badawczych, aby badany system odpowiadał temu, co zostanie później zamontowane.

Lista kontrolna planowania: co musi być wyjaśnione przed przetargiem i ofertą

Większość opóźnień w projektach magazynów energii nie powstaje przy montażu, lecz wcześniej — ponieważ brakuje podstaw, gdy trzeba porównać oferty. Te dwanaście punktów należy wyjaśnić, zanim wyjdzie pierwsze zapytanie:

- Czy dostępne są raporty UL 9540A dostawcy ogniwo/modułów na poziomie modułu i jednostki? Jakiej temperatury i czasy zmierzono?
- Czy zdefiniowano cel ochrony: zapobiec propagacji ogniwo–ogniwo, opóźnić moduł–moduł czy tylko oddzielić kontener–kontener?
- Czy ustalono budżet przestrzeni zabudowy dla każdego poziomu (mm między ogniwami, modułami, szafami rack)?
- Czy pozyskano wymagania ubezpieczyciela (VdS 3103, ewentualnie własne warunki)?
- Czy dla materiałów wymagana jest reakcja na ogień klasy A1 według DIN EN 13501-1?
- Czy wymagana jest bezwłóknowa lista materiałowa — czy też dopuszczalne jest włókno biorozpuszczalne (uwaga Q)?
- Czy policzono przepusty i dla każdego typu zdefiniowano detal uszczelnienia (kabel, przewód chłodzenia, szyna prądowa, wentylacja)?
- Czy zaplanowano koncepcję mocowań bez przelotowych mostków cieplnych?
- Czy obliczono kompresję warstw izolacyjnych podczas montażu — grubość w stanie zamontowanym?
- Czy zaplanowano próbki badawcze do testu propagacji (materiał, termin, instytut badawczy)?
- Produkcja seryjna: docinanie jako zestaw montażowy czy pojedyncze elementy? Czy zdefiniowano tolerancje?
- Koncepcja demontażu i części zamiennych: jak bariera zostanie odtworzona po ingerencji serwisowej?

Wskazówka: Nasza oferta dla projektantów — Prześlijcie nam dane UL 9540A i budżet przestrzeni zabudowy — zaproponujemy układ warstw dla każdego poziomu, dostarczymy parametry materiałowe do wykazania bezpieczeństwa, a na życzenie wykonamy próbki badawcze i seryjne zestawy montażowe.

Eksploatacja, utrzymanie i demontaż

Bariera termiczna w normalnej eksploatacji nie pracuje — czeka. Właśnie dlatego łatwo ulega uszkodzeniu podczas konserwacji i przebudowy: płyty są demontowane dla uzyskania dostępu i niekompletnie montowane ponownie, uszczelnienia przepustów giną przy wymianie kabli, warstwy izolacyjne są zginięte przez doposażone komponenty. Do dokumentacji utrzymania należy dlatego plan przegród, który nazywa każdą

barierę, każdy przepust i każde uszczelnienie.

- Po każdej ingerencji: kontrola wizualna dotkniętej bariery względem planu przegród, zdjęcie do akt
- Corocznie: wrywkowa kontrola uszczelnień przepustów i kompresji warstw izolacyjnych
- Po zdarzeniu termicznym: dotknięte bariery całkowicie wymienić — również wełna biorozpuszczalna i płyty mikroporowate tracą swoje właściwości po przejściu temperatury
- Przy demontażu: materiały segregować według oznakowania — materiały biorozpuszczalne i bezwłóknowe nie są odpadem niebezpiecznym, zużyty materiał ASW podlega pod kod odpadu 170603*

Wskazówka: Z jednej ręki — Dostarczamy materiały z kartami danych technicznych w siedmiu językach, docinamy płyty i maty według rysunku, montujemy z udziałem naszych monterów, a przy przebudowie lub wyłączeniu z eksploatacji przejmujemy demontaż wraz z dokumentacją utylizacji. Dla producentów wytwarzających magazyny seryjnie przygotowujemy prefabrykowane zestawy przegród.

Normy i przepisy

UL 9540A

Metoda badawcza do oceny rozprzestrzeniania się thermal runaway na poziomie ogniwa, modułu, jednostki i instalacji (Dostarcza temperatury i czasy do projektowania barier; coraz częściej wymagana przez ubezpieczycieli i w przetargach)

NFPA 855

Standard instalacyjny dla stacjonarnych magazynów energii — odległości, strefy pożarowe, koncepcje gaszenia i wentylacji (Ramy dla rozmieszczenia ścian działowych i odległości między jednostkami)

IEC 62933-5-2

Wymagania bezpieczeństwa dla elektrochemicznych systemów magazynowania energii przyłączonych do sieci (Europejska podstawa wykazania bezpieczeństwa całego systemu)

VdS 3103

Wytyczna niemieckich ubezpieczycieli majątkowych dla baterii i magazynów litowo-jonowych (Oczekiwania ubezpieczycieli wobec ustawienia, przegród i ochrony przeciwpożarowej)

DIN EN 13501-1

Klasyfikacja reakcji na ogień wyrobów budowlanych (klasa A1: niepalne) (Wykazanie niepalności zastosowanych materiałów izolacyjnych i działowych)

DIN EN 1363-1 / EN 1364

Badania odporności ogniowej — wymagania ogólne oraz elementy nienośne (Wykazanie odporności ogniowej ścian działowych i okładzin)

TRGS 558

Niemiecki przepis techniczny TRGS 558: prace z wełną wysokotemperaturową — kategorie narażenia i środki ochrony (Dotyczy ASW, nie dotyczy biorozpuszczalnej wełny AES; decydujący dla doboru materiałów)

CLP-Verordnung, Anmerkung Q

Zwolnienie biorozpuszczalnych wełn mineralnych z klasyfikacji jako rakotwórcze (Podstawa dla materiałów włóknistych bez obowiązku oznakowania w magazynie energii)

Często zadawane pytania

Czy wełna biorozpuszczalna o temperaturze 1200 °C wystarczy, jeśli podczas thermal runaway występuje ponad 1000 °C?

Dla tego przypadku obciążenia tak: temperatura klasyfikacyjna opisuje skurcz po 24 godzinach ciągłego obciążenia. Thermal runaway to zdarzenie trwające minuty, podczas którego bariera ma opóźniać ciepło, a nie znosić je trwale. Decydujące są grubość i przewodność cieplna — oraz wykazanie na badanym systemie.

Dlaczego płyta mikroporowata zamiast po prostu grubszej maty włóknistej?

Ponieważ przestrzeń zabudowy w magazynie energii to gęstość energii. Płyta mikroporowata osiąga przy 10 mm to, do czego mata włóknista potrzebuje dwu- do trzykrotnie więcej. Między modułami to różnica jednej szafy rack więcej lub mniej w kontenerze.

Czy same materiały muszą mieć dopuszczenie?

Materiały potrzebują klasyfikacji (reakcja na ogień A1, wartości z karty danych technicznych). Dopuszczenie dotyczy systemu: odporność na propagację bada się na module lub jednostce, nie na samym materiale. Dostarczamy dane materiałowe do tego wykazania.

Co dzieje się z barierą termiczną po zdarzeniu?

Dotknięte bariery są całkowicie wymieniane. Materiały izolacyjne, przez które przeszła temperatura, są skruszałe lub zagęszczone i nie osiągają już swoich parametrów — nawet jeśli z zewnątrz wyglądają na nienaruszone.

Porozmawiajmy o Państwa projekcie

Odpowiedź w ciągu 24 godzin w dni robocze.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200
Czytaj online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/thermische-abschottung-batteriespeicher