

ΟΔΗΓΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ · 8 ΛΕΠΤ. · 24 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2026

Απαγωγή αερίων και προστασία από ταχεία ανάφλεξη: τα NFPA 68/69 και οι συνέπειες για την επένδυση

Στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες η έκρηξη είναι συχνά πιο επικίνδυνη από την πυρκαγιά. Τι απαιτούν τα NFPA 68 και NFPA 69 για την εκτόνωση πίεσης και τον αερισμό – και ποιες συνέπειες έχει αυτό για την επένδυση και τον θερμικό διαχωρισμό του περιβλήματος.

Ο υποτιμημένος κίνδυνος: ταχεία ανάφλεξη αντί για πυρκαγιά

Κατά τη θερμική διαφυγή (thermal runaway) οι κυψέλες των μπαταριών εκλύουν ένα εύφλεκτο μείγμα αερίων – κυρίως υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογονάνθρακες όπως μεθάνιο και αιθυλένιο. Σε κλειστά κοντέινερ και χώρους μπαταριών το μείγμα αυτό μπορεί να εμπλουτιστεί, έως ότου μια πηγή ανάφλεξης προκαλέσει ταχεία ανάφλεξη (deflagration). Αρκετά σοβαρά συμβάντα των τελευταίων ετών, ορισμένα και με τραυματισμούς μελών των δυνάμεων επέμβασης, δεν οφείλονταν στην ίδια την πυρκαγιά, αλλά στην έκρηξη των συσσωρευμένων αερίων εκτόνωσης (vent gas).

Οι ειδικοί διακρίνουν δύο σενάρια: την άμεση ταχεία ανάφλεξη, κατά την οποία τα αέρια αναφλέγονται λίγο μετά την εκτόνωσή τους (venting), και την καθυστερημένη ταχεία ανάφλεξη, κατά την οποία τα αέρια συσσωρεύονται επί λεπτά ή ώρες προτού αναφλεγούν. Η δεύτερη παράγει τις κατά πολύ υψηλότερες πιέσεις – και δύσκολα ελέγχεται με αμιγώς παθητικά μέτρα. Γι’ αυτό το NFPA 855 απαιτεί για τα συστήματα αποθήκευσης ιόντων λιθίου λύση αντιεκρηκτικής προστασίας: εκτόνωση πίεσης κατά NFPA 68 και/ή πρόληψη έκρηξης κατά NFPA 69.

NFPA 68: σωστή διαστασιολόγηση της εκτόνωσης πίεσης

Το NFPA 68 ρυθμίζει την εκτόνωση της πίεσης ταχείας ανάφλεξης: επιφάνειες θραύσης, θυρίδες ή ελαφρά πετάσματα ανοίγουν σε καθορισμένη πίεση ενεργοποίησης και οδηγούν το κύμα πίεσης και τις φλόγες ελεγχόμενα προς τα έξω. Οι επιφάνειες εκτόνωσης διαστασιολογούνται με βάση τις ιδιότητες των αερίων – μέγιστη πίεση έκρηξης, ταχύτητα καύσης και όρια εκρηκτικότητας των αερίων εκτόνωσης, όπως τα παρέχει η έκθεση UL 9540A σε επίπεδο κυψέλης – καθώς και την αντοχή του περιβλήματος σε πίεση (μειωμένη μέγιστη πίεση, την οποία πρέπει να αντέχει η περιβάλλουσα κατασκευή).

- Βάση σχεδιασμού είναι οι πραγματικές χαρακτηριστικές τιμές των αερίων από την έκθεση UL 9540A, όχι γενικές παραδοχές
- Η περιβάλλουσα κατασκευή πρέπει να αντέχει την εναπομένουσα μειωμένη πίεση έκρηξης
- Μπροστά από τα ανοίγματα εκτόνωσης πρέπει να τηρούνται ελεύθερες ζώνες – εκεί εξέρχονται πίεση,

φλόγες και θραύσματα

- Η παθητική εκτόνωση πίεσης λειτουργεί αξιόπιστα κυρίως έναντι της άμεσης ταχείας ανάφλεξης

Σημείωση: Το όριο της παθητικής εκτόνωσης — Έναντι μιας καθυστερημένης ταχείας ανάφλεξης με υψηλή συγκέντρωση αερίων σε ολόκληρο τον όγκο, οι παθητικές επιφάνειες εκτόνωσης μπορεί να είναι υπερβολικά μικρές – οι αιχμές πίεσης υπερβαίνουν τότε ό,τι μπορεί να εκτονωθεί με οικονομικά εύλογο τρόπο. Σε τέτοια σενάρια ο ενεργός περιορισμός της συγκέντρωσης κατά NFPA 69 είναι μονόδρομος.

NFPA 69: διατήρηση της συγκέντρωσης αερίων κάτω από το κατώφλι ανάφλεξης

Το NFPA 69 παρεμβαίνει πριν από την ανάφλεξη: η ανίχνευση αερίων και ο μηχανικός αερισμός διατηρούν τη συγκέντρωση των εύφλεκτων αερίων μόνιμα κάτω από το 25% του κατώτερου ορίου εκρηκτικότητας (LFL). Ως ενδεικτική τιμή σχεδιασμού για χώρους μπαταριών έχει καθιερωθεί παροχή αερισμού τουλάχιστον 1 cfm ανά τετραγωνικό πόδι επιφάνειας δαπέδου (περίπου 5,1 l/s ανά m²), υπολογισμένη για το δυσμενέστερο συμβάν (worst case) της έκθεσης δοκιμών. Δεδομένου ότι το υδρογόνο, με LFL περίπου 4% κατ’ όγκο, είναι το πιο κρίσιμο συστατικό, η ανίχνευση είναι σκόπιμο να σχεδιάζεται με το υδρογόνο ως μέγεθος αναφοράς.

Στην πράξη τα δύο πρότυπα συνδυάζονται: ο αερισμός και η ανίχνευση κατά NFPA 69 αποτρέπουν τη συσσώρευση αερίων, ενώ οι επιφάνειες εκτόνωσης πίεσης κατά NFPA 68 καλύπτουν τον υπολειπόμενο κίνδυνο της άμεσης ανάφλεξης. Αυτή η άμυνα σε βάθος προστατεύει όχι μόνο την εγκατάσταση, αλλά πρωτίστως τις δυνάμεις επέμβασης, που σε περίπτωση συμβάντος πρέπει να πλησιάσουν το περίβλημα.

Τι σημαίνει αυτό για την επένδυση και τον θερμικό διαχωρισμό

Για την εσωτερική επένδυση των κοντέινερ και των χώρων μπαταριών προκύπτουν από την αντιεκρηκτική προστασία συγκεκριμένοι κατασκευαστικοί κανόνες, που υπερβαίνουν την κλασική πυροπροστασία. Μια μόνωση που σε περίπτωση πυρκαγιάς διαχωρίζει άψογα μπορεί σε περίπτωση ταχείας ανάφλεξης να γίνει πρόβλημα – αν φράζει τις επιφάνειες εκτόνωσης, αν αποκολλάται υπό πίεση ή αν δημιουργεί κοιλότητες στις οποίες συγκεντρώνονται αέρια.

- Οι επιφάνειες εκτόνωσης πίεσης και οι οδοί απαγωγής αερίων παραμένουν εντελώς ελεύθερες από στρώσεις μόνωσης και επικάλυψης
- Μηχανική στερέωση των επενδύσεων, έτσι ώστε να αντέχουν το ωστικό κύμα και να μην προκαλούν εκτόξευση θραυσμάτων
- Επιλογή κλειστών, μη καύσιμων επιφανειών· όχι ανοιχτές κοιλότητες και «νεκρές» ζώνες χωρίς αερισμό
- Επένδυση των οδών απαγωγής των θερμών αερίων εκτόνωσης με υλικά ανθεκτικά στη θερμοκρασία – οι θερμοκρασίες των αερίων μπορούν, ανάλογα με τη χημεία των κυψελών, να φτάσουν αρκετές εκατοντάδες βαθμούς
- Πυροφραγμός των διελεύσεων για αερισμό, ανίχνευση και καλώδια, στεγανός σε αέρια και καπνό, χωρίς να παρεμποδίζεται η λειτουργία εκτόνωσης

Η πυροπροστασία και η αντιεκρηκτική προστασία πρέπει επομένως να σχεδιάζονται από κοινού: η επένδυση αποτελεί μέρος και των δύο συστημάτων. Όποιος σχεδιάζει τον θερμικό διαχωρισμό χωρίς να γνωρίζει τις οδούς εκτόνωσης, τις πιέσεις ενεργοποίησης και τη μελέτη αερισμού, διακινδυνεύει να αλληλοεξουδετερωθούν τα συστήματα προστασίας – στη χειρότερη περίπτωση με ένα φράγμα που συγκρατεί την πυρκαγιά αλλά ενισχύει την έκρηξη.

Συχνές ερωτήσεις

Αρκεί μια θυρίδα εκτόνωσης πίεσης κατά NFPA 68 ως αντιεκρηκτική προστασία;

Έναντι μιας άμεσης ταχείας ανάφλεξης λίγο μετά την εκτόνωση των αερίων, η παθητική εκτόνωση πίεσης μπορεί να αρκεί. Έναντι της πιο επικίνδυνης καθυστερημένης ταχείας ανάφλεξης με υψηλή συγκέντρωση αερίων σε ολόκληρο τον όγκο, μόνη της είναι συχνά ανεπαρκής – τότε απαιτούνται επιπλέον ανίχνευση αερίων και αερισμός κατά NFPA 69, που διατηρούν τη συγκέντρωση κάτω από το 25% του LFL.

Από πού προέρχονται οι χαρακτηριστικές τιμές για τον σχεδιασμό της εκτόνωσης και του αερισμού;

Από την έκθεση δοκιμών UL 9540A του συστήματος που χρησιμοποιείται: τεκμηριώνει τον όγκο των αερίων, τη σύστασή τους, το κατώτερο και το ανώτερο όριο εκρηκτικότητας, τη μέγιστη πίεση έκρηξης και την ταχύτητα καύσης των αερίων εκτόνωσης. Οι γενικές τιμές της βιβλιογραφίας αποτελούν μόνο λύση ανάγκης, καθώς το μείγμα αερίων διαφέρει αισθητά ανάλογα με τη χημεία και τον τύπο των κυψελών.

Μπορεί η εσωτερική μόνωση ενός κοντέινερ μπαταριών να υπονομεύσει την αντιεκρηκτική προστασία;

Ναι, με περισσότερους τρόπους: αν φράζει τις επιφάνειες εκτόνωσης πίεσης, αν αποκολλάται από το ωστικό κύμα και προκαλεί εκτόξευση θραυσμάτων ή αν δημιουργεί κοιλότητες στις οποίες τα αέρια εκτόνωσης συσσωρεύονται απαρατήρητα. Η επένδυση, οι επιφάνειες εκτόνωσης και η μελέτη αερισμού πρέπει επομένως να σχεδιάζονται ενιαία και να εναρμονίζονται μεταξύ τους.

Συζητήστε μαζί μας το έργο σας

Απάντηση εντός 24 ωρών, τις εργάσιμες ημέρες.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Διαβάστε online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/gasableitung-deflagrationsschutz