

ΟΔΗΓΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ · 8 ΛΕΠΤ. · 24 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2026

Σωστή ανάγνωση της έκθεσης UL 9540A: ποιες τιμές μετρούν για τον σχεδιασμό του θερμικού διαχωρισμού

Οι εκθέσεις UL 9540A παρέχουν τη βάση δεδομένων για τον θερμικό διαχωρισμό και τον σχεδιασμό πυροπροστασίας των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (BESS). Αυτός ο πρακτικός οδηγός δείχνει ποιες χαρακτηριστικές τιμές από τη δοκιμή κυψέλης, δομοστοιχείου (module) και μονάδας (unit) ανήκουν πραγματικά στον σχεδιασμό.

Τι ελέγχει το UL 9540A — και τι όχι

Το UL 9540A δεν είναι πιστοποιητικό προϊόντος αλλά μέθοδος δοκιμής: χαρακτηρίζει πώς συμπεριφέρεται ένα σύστημα μπαταριών κατά τη θερμική διαφυγή (thermal runaway). Το αποτέλεσμα είναι μια έκθεση δεδομένων — όχι μια δήλωση επιτυχίας. Ακριβώς εκεί βρίσκεται η αξία για τον σχεδιασμό του θερμικού διαχωρισμού: η έκθεση παρέχει τα δεδομένα εισόδου με τα οποία διαστασιολογούνται φράγματα πυρκαγιάς, δομές τοιχωμάτων και μονωτικές στρώσεις, αντί να γίνεται γενική προσφυγή σε τυπικές παραδοχές.

Η δοκιμή διαρθρώνεται σε τέσσερα στάδια: επίπεδο κυψέλης, επίπεδο δομοστοιχείου, επίπεδο μονάδας (ικρίωμα (rack) ή ερμάριο) και επίπεδο εγκατάστασης. Κάθε στάδιο απαντά σε διαφορετικά ερωτήματα. Όποιος αξιολογεί μια έκθεση θα πρέπει πρώτα να ελέγξει έως ποιο στάδιο έγινε η δοκιμή — και αν η διαμόρφωση που δοκιμάστηκε αντιστοιχεί στην εγκατάσταση που πράγματι σχεδιάζεται. Μια έκθεση δομοστοιχείου με διαφορετική παρτίδα κυψελών, διαφορετικό περίβλημα ή διαφορετική διάταξη έχει περιορισμένη μόνο αξιοπιστία για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Σημείωση: Προσοχή στην έκδοση 2025 — Η ισχύουσα έκδοση του UL 9540A (6η έκδοση, 2025) αυστηροποιεί ιδίως τη δοκιμή εγκατάστασης: προϋποθέτει ένα απαιτητικό σενάριο πυρκαγιάς μετά από ταχεία ανάφλεξη (deflagration) και αξιολογεί την κατασκευή του περιβλήματος, τις αποστάσεις διαχωρισμού και, σε εγκατάσταση εσωτερικού χώρου, την αποτελεσματικότητα των συστημάτων κατάσβεσης του κτιρίου. Οι παλαιότερες εκθέσεις κατά την έκδοση 2019 δεν είναι αυτομάτως άκυρες, αλλά δεν αποτυπώνουν αυτά τα σενάρια.

Επίπεδο κυψέλης: τα δεδομένα αερίων ως θεμέλιο

Η δοκιμή κυψέλης προσδιορίζει αν και σε ποια θερμοκρασία η κυψέλη περνά σε θερμική διαφυγή, πότε ανοίγει η βαλβίδα ασφαλείας (θερμοκρασία εκτόνωσης, venting) και ποιο μείγμα αερίων εκλύεται. Με ανάλυση FTIR ποσοτικοποιούνται, μεταξύ άλλων, το υδρογόνο, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρογονάνθρακες. Από το ανασυντεθειμένο μείγμα αερίων προσδιορίζονται στη συνέχεια τα χαρακτηριστικά

μεγέθη ασφάλειας.

- Κατώτερο και ανώτερο όριο εκρηκτικότητας (LFL/UFL) — σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε θερμοκρασία εκτόνωσης
- Μέγιστη πίεση έκρηξης Pmax των αερίων εκτόνωσης (vent gas)
- Στρωτή ταχύτητα καύσης του μείγματος αερίων
- Όγκος αερίων ανά κυψέλη ή ανηγμένος στη χωρητικότητα
- Θερμοκρασία εκτόνωσης και θερμοκρασία θερμικής διαφυγής της κυψέλης

Για τον θερμικό διαχωρισμό οι τιμές αυτές έχουν διπλή σημασία: καθορίζουν τη διαστασιολόγηση της εκτόνωσης πίεσης και του αερισμού κατά NFPA 68/69 — και επομένως σε ποιες καταπονήσεις πίεσης και θερμοκρασίας πρέπει να αντέχουν τοιχώματα, επενδύσεις και στοιχεία θερμικού διαχωρισμού σε περίπτωση συμβάντος.

Επίπεδο δομοστοιχείου και μονάδας: θερμικά δεδομένα για το φράγμα

Σε επίπεδο δομοστοιχείου και μονάδας, η θερμική διαφυγή προκαλείται σκόπιμα και μετράται η αντίδραση της συνολικής διάταξης. Εδώ βρίσκονται οι τιμές που διαστασιολογούν άμεσα ένα φράγμα πυρκαγιάς: ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (Heat Release Rate) με τη μέγιστη τιμή και τη χρονική του εξέλιξη, η συνολικά εκλυόμενη ενέργεια, ο ρυθμός έκλυσης αερίων, καθώς και το ερώτημα αν η θερμική διαφυγή διαδίδεται σε γειτονικές κυψέλες και γειτονικά δομοστοιχεία.

Ιδιαίτερα πολύτιμες για τους μελετητές θερμικού διαχωρισμού είναι οι μετρήσεις στις επιφάνειες-στόχους: η πυκνότητα θερμικής ροής (Heat Flux) σε τμήματα τοιχώματος με όργανα μέτρησης και σε γειτονικές μονάδες, καθώς και οι επιφανειακές θερμοκρασίες σε καθορισμένα σημεία μέτρησης. Οι τιμές αυτές δείχνουν ποιο θερμικό φορτίο δέχεται πράγματι ένα διαχωριστικό τοίχωμα ή μια προστατευτική επένδυση και σε ποια απόσταση — και για πόση διάρκεια. Από αυτές προκύπτουν η επιλογή του μονωτικού υλικού, το πάχος της στρώσης και η επιτρεπόμενη θερμοκρασία στην απέναντι πλευρά.

Σημείωση: Προσοχή στη χρονική εξέλιξη, όχι μόνο στις μέγιστες τιμές — Μια σύντομη αιχμή της έκλυσης θερμότητας καταπονεί ένα φράγμα διαφορετικά από μια αντίδραση πολλών κυψελών που διαρκεί ώρες. Για τη διαστασιολόγηση μετρά ο συνδυασμός μέγιστης τιμής, συνολικής ενέργειας και διάρκειας — η έκθεση περιέχει τις πλήρεις χρονικές καμπύλες στο παράρτημα.

Από την έκθεση στον σχεδιασμό του θερμικού διαχωρισμού

Η έκθεση δεν αντικαθιστά τον σχεδιασμό πυροπροστασίας· τον τροφοδοτεί. Στην πράξη έχει αποδειχθεί χρήσιμη μια δομημένη αξιολόγηση: πρώτα ελέγχεται το συμπέρασμα για τη διάδοση (παραμένει το συμβάν περιορισμένο στην κυψέλη, στο δομοστοιχείο ή στη μονάδα;), έπειτα εξάγονται τα θερμικά φορτία στις γειτονικές επιφάνειες και, τέλος, οι χαρακτηριστικές τιμές των αερίων παραδίδονται στον σχεδιασμό αντιεκρηκτικής προστασίας.

- Συμπεριφορά διάδοσης: βάση για τις αποστάσεις διαχωρισμού και για το ερώτημα αν τεκμηριώνονται μειωμένες αποστάσεις κατά NFPA 855
- Heat Flux και θερμοκρασίες τοιχώματος: δεδομένα εισόδου για την πυραντίσταση, τη διαστρωμάτωση της μόνωσης και την επιλογή υλικού του φράγματος
- Όγκος αερίων, LFL, Pmax και ταχύτητα καύσης: βάση για τις επιφάνειες εκτόνωσης πίεσης και τη διαστασιολόγηση του αερισμού
- Συνοδά φαινόμενα της πυρκαγιάς: τα μήκη φλόγας, η εκτόξευση σπινθήρων και τα φλεγόμενα σωματίδια καθορίζουν τις ζώνες προστασίας μπροστά από το φράγμα

Αν λείπουν επιμέρους τιμές ή αν η δοκιμή έγινε μόνο έως το επίπεδο κυψέλης, ο σχεδιασμός πρέπει να γίνει συντηρητικά — με μεγαλύτερες αποστάσεις, υψηλότερη πυραντίσταση και ανθεκτικότερη επένδυση. Μια πλήρης

έκθεση έως το επίπεδο μονάδας αποδίδει επομένως και οικονομικά: επιτρέπει μια τεκμηριωμένη, συχνά πιο λιτή διαστασιολόγηση αντί για γενικές προσαυξήσεις ασφαλείας.

Συχνές ερωτήσεις

Αποτελεί η έκθεση UL 9540A απόδειξη ασφάλειας για το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες;

Όχι. Το UL 9540A είναι μέθοδος δοκιμής που παρέχει δεδομένα για τη συμπεριφορά κατά τη θερμική διαφυγή — χωρίς κρίση επιτυχίας ή αποτυχίας. Η αξιολόγηση του αν η εγκατάσταση είναι ασφαλής γίνεται μόλις στον σχεδιασμό, π.χ. κατά NFPA 855 ή στη γερμανική μελέτη πυροπροστασίας. Η ίδια η πιστοποίηση του προϊόντος γίνεται μέσω του UL 9540.

Ποιες τιμές της έκθεσης είναι οι σημαντικότερες για τον θερμικό διαχωρισμό;

Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας με τη χρονική του εξέλιξη, η πυκνότητα θερμικής ροής στις γειτονικές επιφάνειες, οι μετρημένες θερμοκρασίες τοιχώματος και το συμπέρασμα για τη διάδοση. Για την αντιεκρηκτική προστασία προστίθενται ο όγκος αερίων, η σύσταση των αερίων, το LFL, η Pmax και η ταχύτητα καύσης.

Τι κάνουμε όταν ο κατασκευαστής προσκομίζει μόνο έκθεση κυψέλης ή δομοστοιχείου;

Τότε λείπουν τα θερμικά φορτία σε επίπεδο χώρου και ο θερμικός διαχωρισμός πρέπει να διαστασιολογηθεί συντηρητικά. Σκόπιμο είναι να ζητηθεί συμπληρωματικά η έκθεση σε επίπεδο μονάδας (unit level) — πολλοί κατασκευαστές σταθερών συστημάτων τη διαθέτουν, αλλά τη δίνουν μόνο κατόπιν αιτήματος και ενίοτε υπό όρους εμπιστευτικότητας.

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/ul-9540a-bericht-lesen