

ΟΔΗΓΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ · 8 ΛΕΠΤ. · 24 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2026

Συμβάντα πυρκαγιάς σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες: τι δείχνουν τα στατιστικά ζημιών

Ο ρυθμός αστοχιών των συστημάτων αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας έχει μειωθεί δραστικά από το 2018, όμως η ανάλυση των αιτίων απομακρύνει το βλέμμα από την κυψέλη. Η ανάλυση αξιολογεί δημόσια τεκμηριωμένες βάσεις δεδομένων και συμβάντα και συνάγει τις συνέπειες για τον θερμικό διαχωρισμό.

Τα δεδομένα: λίγες πηγές, σαφείς τάσεις

Όποιος μιλά για συμβάντα πυρκαγιάς σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες (BESS) εργάζεται με περιορισμένη βάση δεδομένων. Στην Ευρώπη δεν υπάρχει ούτε υποχρέωση αναφοράς ούτε δημόσια βάση δεδομένων ζημιών για τα σταθερά συστήματα αποθήκευσης. Η σημαντικότερη δημόσια προσβάσιμη συλλογή είναι η BESS Failure Incident Database του αμερικανικού Electric Power Research Institute (EPRI), η οποία ξεκίνησε το 2021 έπειτα από μια σειρά συμβάντων στη Νότια Κορέα και ένα περιστατικό στην Αριζόνα. Καταγράφει παγκοσμίως αστοχίες σε συστήματα αποθήκευσης κλίμακας δικτύου (utility-scale) και εμπορικής κλίμακας.

Τα δεδομένα αυτά έχουν όρια, τα οποία πρέπει να λαμβάνετε υπόψη σε κάθε διαπίστωση. Καταγράφεται ό,τι γίνεται δημόσια γνωστό. Μικρότερα συμβάντα χωρίς επέμβαση της πυροσβεστικής, παρ' ολίγον ατυχήματα και ζημιές χωρίς πυρκαγιά δεν εμφανίζονται σε καμία στατιστική. Για τη Γερμανία υπάρχουν έως τώρα αξιόπιστα στοιχεία μόνο για τα οικιακά συστήματα αποθήκευσης.

Σημείωση: Τι δεν αποτυπώνουν τα στατιστικά — Οι διαθέσιμες βάσεις δεδομένων μετρούν συμβάντα, όχι κινδύνους. Δεν λένε τίποτα για το πόσες εγκαταστάσεις λειτούργησαν χωρίς προβλήματα στο ίδιο διάστημα. Συμπεράσματα για την πιθανότητα εμφάνισης μπορούν να συναχθούν από αυτές μόνο σε περιορισμένο βαθμό.

Ο ρυθμός αστοχιών στην πορεία του χρόνου: σαφής μείωση

Το σημαντικότερο εύρημα από τη βάση δεδομένων του EPRI είναι μια μείωση. Μεταξύ 2018 και 2023 ο ρυθμός αστοχιών στα συστήματα αποθήκευσης κλίμακας δικτύου μειώθηκε κατά 97%, ενώ η επικαιροποιημένη ανάλυση αναφέρει για το διάστημα 2018 έως 2025 μείωση κατά 99%. Ως αιτία θεωρείται ότι τα διδάγματα από τις πρώτες ζημιές ενσωματώθηκαν στους νέους σχεδιασμούς και στην πράξη.

Για τα οικιακά συστήματα αποθήκευσης στη Γερμανία υπάρχει μια μελέτη του Πανεπιστημίου RWTH Aachen που δημοσιεύθηκε στα τέλη του 2024. Υπολογίζει την πιθανότητα πυρκαγιάς των οικιακών συστημάτων

αποθήκευσης για φωτοβολταϊκά σε 0,0049% ετησίως. Για σύγκριση, η ίδια μελέτη αναφέρει για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις 0,0014%, για τα στεγνωτήρια ρούχων 0,0037%, για τα ηλεκτρικά οχήματα 0,024% και για τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης 0,089%. Τα δεδομένα για τις πυρκαγιές οικιακών συστημάτων αποθήκευσης συγκεντρώθηκαν για το έτος 2023 μέσω ανάλυσης δημόσια προσβάσιμων αναφορών, επειδή δεν υπήρχαν άλλα διαθέσιμα δεδομένα.

- Μείωση του ρυθμού αστοχιών στα συστήματα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας 2018 έως 2023: 97% (EPRI)
- Μείωση 2018 έως 2025 στην επικαιροποιημένη ανάλυση: 99% (EPRI)
- Πιθανότητα πυρκαγιάς οικιακών συστημάτων αποθήκευσης για φωτοβολταϊκά στη Γερμανία: 0,0049% ετησίως, έτος αναφοράς 2023 (RWTH Aachen, 2024)
- Για σύγκριση στην ίδια μελέτη: στεγνωτήρια ρούχων 0,0037%, ηλεκτρικά οχήματα 0,024% ετησίως

Οι αριθμοί αυτοί δεν είναι επιχείρημα κατά της πυροπροστασίας, αλλά υπέρ της σωστής στάθμισης. Η πιθανότητα εμφάνισης μειώνεται, το ύψος της ζημιάς ανά συμβάν αυξάνεται όμως με την εγκατεστημένη ποσότητα ενέργειας ανά θέση. Ακριβώς αυτός ο συνδυασμός, σπάνιο συμβάν με υψηλό δυναμικό ζημιάς, είναι η κλασική περίπτωση εφαρμογής των παθητικών μέτρων προστασίας.

Η ανάλυση των αιτίων: σπάνια φταίει η κυψέλη

Πιο διαφωτιστική από τον αριθμό των συμβάντων είναι η αιτία τους. Μια λευκή βίβλος που δημοσιεύθηκε το 2024, την οποία εκπόνησε το EPRI από κοινού με το Pacific Northwest National Laboratory και έναν πάροχο υπηρεσιών ανάλυσης δεδομένων, αξιολόγησε συστηματικά τη βάση δεδομένων. Από τα 81 καταγεγραμμένα συμβάντα, για τα 26 υπήρχαν επαρκείς πληροφορίες για τον προσδιορισμό της βασικής αιτίας.

Το αποτέλεσμα αντικρούει τη διαδεδομένη προσδοκία. Στο 89% των αστοχιών που αξιολογήθηκαν, η αιτία βρισκόταν στο σύστημα ελέγχου, δηλαδή στο σύστημα διαχείρισης μπαταρίας ή ενέργειας, ή στον περιφερειακό εξοπλισμό, δηλαδή σε ό,τι βρίσκεται εκτός κυψελών και συστήματος ελέγχου. Στο 86% των περιπτώσεων η βασική αιτία δεν ήταν κατασκευαστικό ελάττωμα της μπαταρίας, αλλά πλημμελής τοποθέτηση, εσφαλμένος σχεδιασμός ή σφάλμα χειρισμού. Μόνο περίπου το 11% μπορούσε να αποδοθεί σε ελαττώματα της κυψέλης ή του δομοστοιχείου (module).

Σημείωση: Η πρακτική συνέπεια από την κατανομή των αιτίων — Όταν η συντριπτική πλειονότητα των συμβάντων προέρχεται από τον σχεδιασμό, την τοποθέτηση και τη λειτουργία, τότε αυτά δεν μπορούν να αποτραπούν μόνο με την ποιότητα των κυψελών. Οι μελέτες προστασίας που βασίζονται εξ ολοκλήρου στην παραδοχή της άψογης εκτέλεσης δεν επαρκούν. Μια μελέτη προστασίας πρέπει να ανταποκρίνεται ακόμη και όταν ένα σφάλμα εκτέλεσης έχει μείνει απαρατήρητο.

Η εξέλιξη του συμβάντος: μεγάλες διάρκειες επέμβασης, μεγάλες ποσότητες νερού

Το τι σημαίνει ένα συμβάν για τον φορέα εκμετάλλευσης και την πυροσβεστική φαίνεται λιγότερο στη συχνότητα και περισσότερο στην εξέλιξή του. Χαρακτηριστικά μιας θερμικής διαφυγής (thermal runaway) είναι η παρατεταμένη έκλυση θερμότητας, ο κίνδυνος αναζωπύρωσης και η ταχεία έκλυση μεγάλων ποσοτήτων τοξικών και αναφλέξιμων αερίων. Κατάσβεση με την κλασική έννοια δεν είναι δυνατή· η τακτική της επέμβασης καταλήγει σε διαρκή ψύξη και μακρά παρακολούθηση μετά το συμβάν.

Για μια τεκμηριωμένη πυρκαγιά συστήματος αποθήκευσης, η ευρωπαϊκή ένωση πυροπροστασίας CFPA Europe αναφέρει διάρκεια επέμβασης δώδεκα ωρών, κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν 1.400.000 λίτρα νερού και 400 κιλά κατασβεστικής σκόνης. Στη Γερμανία τεκμηριώθηκε δημόσια τον Ιούλιο του 2026 μια πυρκαγιά σε εγκατάσταση αποθήκευσης στη Σαξονία, αποτελούμενη από τέσσερα κοντέινερ μπαταριών με ισχύ περίπου 1,5 MW, σχεδιασμένη για τη στήριξη της ευστάθειας του τοπικού δικτύου. Ο φορέας εκμετάλλευσης και ο κατασκευαστής σκόπιμα δεν κατονομάζονται εδώ· για τα συμπεράσματα μετρά η εξέλιξη, όχι η ταυτότητα των εμπλεκομένων.

Από αυτές τις εμπειρίες άλλαξε η πρακτική του σχεδιασμού. Το EPRI περιγράφει μια μετατόπιση στον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων από το 2018 προς μικρότερα, αρθρωτά ερμάρια με λίγα racks μπαταριών, τα οποία είναι προσβάσιμα από έξω. Οι δυνάμεις επέμβασης δεν χρειάζεται τότε να εισέλθουν σε κοντέινερ, ενώ η μορφή κατασκευής περιορίζει ταυτόχρονα τη ζημιά. Το τίμημα: δημιουργούνται περισσότερες διαχωριστικές επιφάνειες που πρέπει να λειτουργούν ως φράγμα.

Τι προκύπτει από αυτά για τον θερμικό διαχωρισμό

Πρώτον, από την κατανομή των αιτίων προκύπτει ότι το παθητικό φράγμα είναι το μόνο στοιχείο προστασίας που λειτουργεί ανεξάρτητα από την αιτία του σφάλματος. Το αν ένα συμβάν προκαλείται από σφάλμα λογισμικού στη διαχείριση ενέργειας, από μια κακώς εκτελεσμένη κοχλιωτή σύνδεση ή από σφάλμα χειρισμού δεν αλλάζει σε τίποτα την αποστολή της διαχωριστικής επιφάνειας ανάμεσα σε δύο μπλοκ κυψελών. Με το 89% των αιτίων να βρίσκεται εκτός της κυψέλης, αυτή είναι η στατιστικά πιθανότερη κατάσταση σχεδιασμού.

Δεύτερον, από την εξέλιξη του συμβάντος προκύπτει μια απαίτηση για τη διάρκεια αντοχής. Μια επέμβαση διάρκειας δώδεκα ωρών, η οποία συνίσταται κυρίως σε ψύξη, σημαίνει: το φράγμα πρέπει να λειτουργεί επί ώρες, όχι επί λεπτά, και μάλιστα ενώ παραμένει διαποτισμένο με νερό και υφίσταται θερμικές εναλλαγές. Οι τιμές από δοκιμές μικρής διάρκειας δεν το αποτυπώνουν αυτό. Προσέξτε σε ποια διάρκεια έκθεσης βασίζεται η τεκμηρίωση του φράγματός σας.

Τρίτον, από τη μετατόπιση προς αρθρωτές μορφές κατασκευής προκύπτει αύξηση των διεπαφών. Περισσότερα ερμάρια σημαίνουν περισσότερους αρμούς, περισσότερες διελεύσεις για καλώδια και ψυκτικά μέσα και περισσότερες μεταβάσεις ανάμεσα σε δομικά στοιχεία. Η εμπειρία δείχνει ότι οι θερμικοί διαχωρισμοί σπάνια αστοχούν στην επιφάνεια, αλλά ακριβώς σε αυτά τα σημεία.

Τέταρτον, από το υψηλό μερίδιο της τοποθέτησης και της λειτουργίας στα αίτια προκύπτει μια απαίτηση ιχνηλασιμότητας. Ένας θερμικός διαχωρισμός του οποίου η εκτέλεση δεν έχει τεκμηριωθεί και η κατάσταση δεν μπορεί να επιθεωρηθεί ενέχει ακριβώς τον κίνδυνο που αναδεικνύουν τα στατιστικά. Καταγράψτε την εκτέλεση σε πρωτόκολλο παραλαβής και ορίστε ήδη στον σχεδιασμό την προσβασιμότητα για τους περιοδικούς ελέγχους.

Σημείωση: Το βασικό συμπέρασμα από τον απολογισμό των ζημιών — Η πιθανότητα ενός συμβάντος έχει μειωθεί σημαντικά, τα αίτια βρίσκονται κατά συντριπτική πλειονότητα εκτός της κυψέλης και η εξέλιξη ενός συμβάντος είναι μακρόχρονη. Ο παθητικός θερμικός διαχωρισμός είναι προσαρμοσμένος ακριβώς σε αυτό το προφίλ: λειτουργεί ανεξάρτητα από την αιτία του σφάλματος, δεν χρειάζεται τροφοδοσία ενέργειας και λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια της επέμβασης.

Συχνές ερωτήσεις

Πόσο έχει μειωθεί ο ρυθμός αστοχιών των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες μεγάλης κλίμακας;

Σύμφωνα με την ανάλυση της BESS Failure Incident Database του EPRI, ο ρυθμός αστοχιών στα συστήματα αποθήκευσης κλίμακας δικτύου μειώθηκε κατά 97% μεταξύ 2018 και 2023· η επικαιροποιημένη ανάλυση αναφέρει για το διάστημα 2018 έως 2025 μείωση κατά 99%. Ως αιτία θεωρείται ότι τα διδάγματα από τις πρώτες ζημιές ενσωματώθηκαν στους νέους σχεδιασμούς.

Είναι τα ελαττώματα των κυψελών η κύρια αιτία των πυρκαγιών σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες;

Όχι. Στη λευκή βίβλο που δημοσίευσαν το 2024 το EPRI, το Pacific Northwest National Laboratory και ένας πάροχος υπηρεσιών ανάλυσης δεδομένων, η αιτία βρισκόταν στο σύστημα ελέγχου ή στον περιφερειακό εξοπλισμό στο 89% των αστοχιών που μπορούσαν να αξιολογηθούν. Στο 86% των περιπτώσεων η βασική αιτία ήταν πλημμελής τοποθέτηση, εσφαλμένος σχεδιασμός ή σφάλμα χειρισμού. Μόνο περίπου το 11% οφειλόταν σε ελαττώματα της κυψέλης ή του δομοστοιχείου.

Πόσο διαρκεί μια επέμβαση της πυροσβεστικής σε πυρκαγιά συστήματος αποθήκευσης;

Για μια τεκμηριωμένη πυρκαγιά συστήματος αποθήκευσης, η ευρωπαϊκή ένωση πυροπροστασίας CFPA Europe

αναφέρει διάρκεια επέμβασης δώδεκα ωρών με σχεδόν 1.400.000 λίτρα νερού και 400 κιλά κατασβεστικής σκόνης. Χαρακτηριστικά είναι η παρατεταμένη έκλυση θερμότητας, ο κίνδυνος αναζωπύρωσης και η έκλυση τοξικών και αναφλέξιμων αερίων, γι' αυτό η τακτική καταλήγει σε διαρκή ψύξη και μακρά παρακολούθηση μετά το συμβάν.

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/schadensbilanz-bess-brandereignisse