

Διασφάλιση ποιότητας στα φωτοβολταϊκά: Συντήρηση και εντοπισμός σφαλμάτων

Ανδρέας Λιβέρα
Πανεπιστήμιο Κύπρου
PHAETHON Centre of Excellence



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων
- Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων
- Πιθανές δυσλειτουργίες στα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα
- Βασική συντήρηση
- Διορθωτική και προληπτική συντήρηση

Εισαγωγή

- Τα ΦΒ συστήματα χάνουν 8% της ετήσιας τους παραγωγής (που μεταφράζεται σε απώλειες 2.5 δισ. €/έτος)¹ λόγω μη αποδοτικής λειτουργίας
- Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για έγκαιρη διάγνωση και αντιμετώπιση ΦΒ σφαλμάτων ούτως ώστε να μειωθούν οι απώλειες και να αυξηθεί η παραγωγή και συνεπώς η κερδοφορία



¹ kWh analytics, "Solar Generation Index 2022

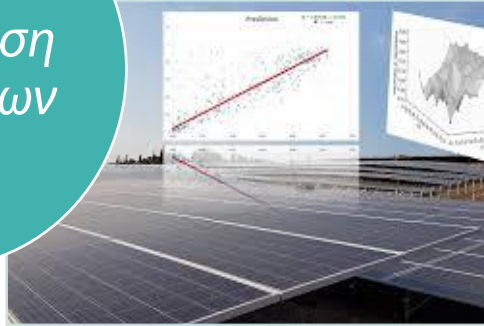
Μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων

1. Οπτική επιθεώρηση



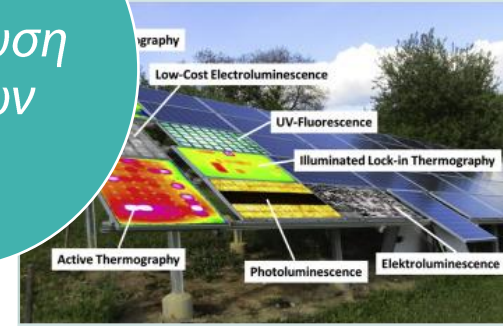
- + Απλούστερη μέθοδος
- Μπορεί να ανιχνεύσει μόνο ορατές αστοχίες/σφάλματα
- Συχνός οπτικός έλεγχος
- Επιπρόσθετο κόστος εργασίας

2. Ανάλυση δεδομένων



- + Χρησιμοποιεί διαθέσιμο εξοπλισμό
- + Απομακρυσμένη παρακολούθηση
- Χαμηλή ακρίβεια κατηγοριοποίησης σφαλμάτων

3. Ανάλυση εικόνων



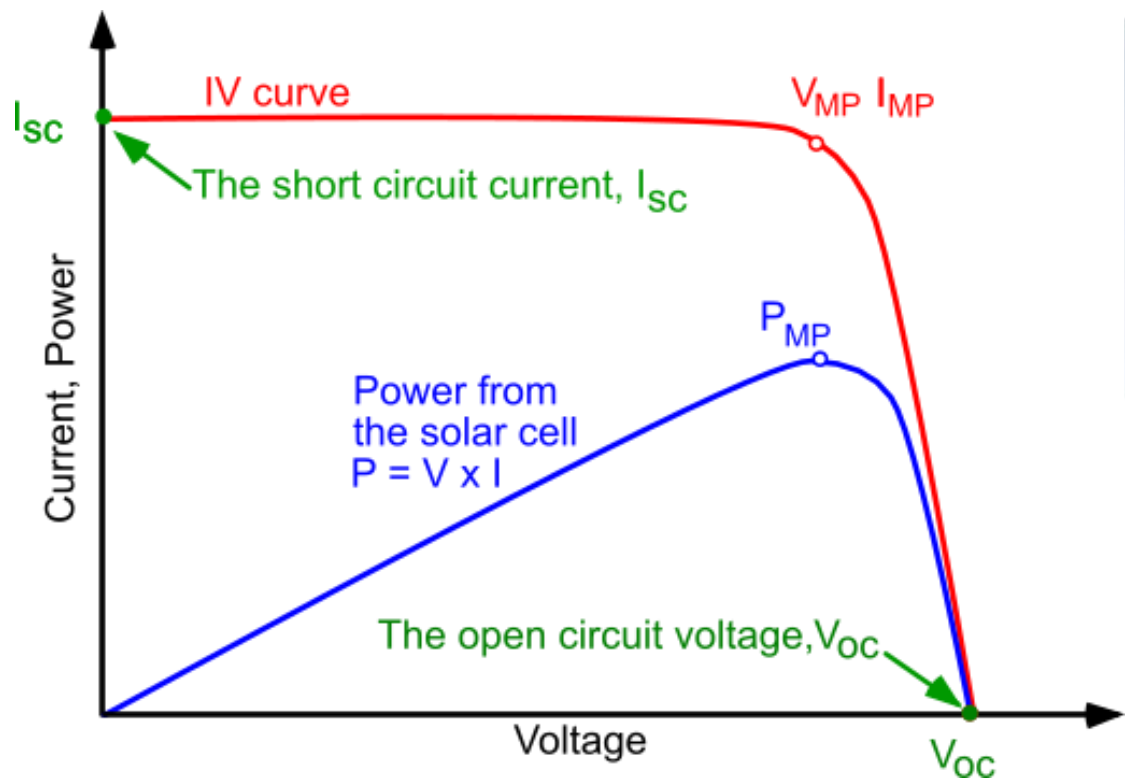
- + Μπορεί να εντοπίσει όλες τις γνωστές αστοχίες/σφάλματα
- + Υψηλή ακρίβεια κατηγοριοποίησης σφαλμάτων
- Ακριβός εξοπλισμός

Πηγή:
[Pre-Shipment Inspections - PV and ESS Quality Control — Clean Energy Associates \(cea3.com\)](https://www.scencedirect.com/science/article/pii/S0960148118313545)
[The Use of Advanced algorithms in PV failure monitoring \(iea-pvps.org\)](https://www.scencedirect.com/science/article/pii/S0960148118313545)
<https://www.scencedirect.com/science/article/pii/S0960148118313545>

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων:

- Φορητός καταγραφέας ρεύματος-τάσης (I-V curve tracer)



Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων:

- Σύστημα τηλεμετρίας - αισθητήρες για καταγραφή και συλλογή ηλεκτρικών και μετεωρολογικών δεδομένων

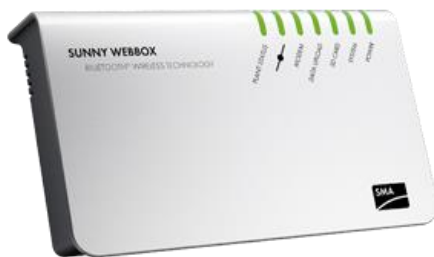
Αντιστροφέας



Αισθητήρες



Συλλογή δεδομένων



Διεπαφή
επικοινωνίας

Απεικόνιση και
παρακολούθηση δεδομένων

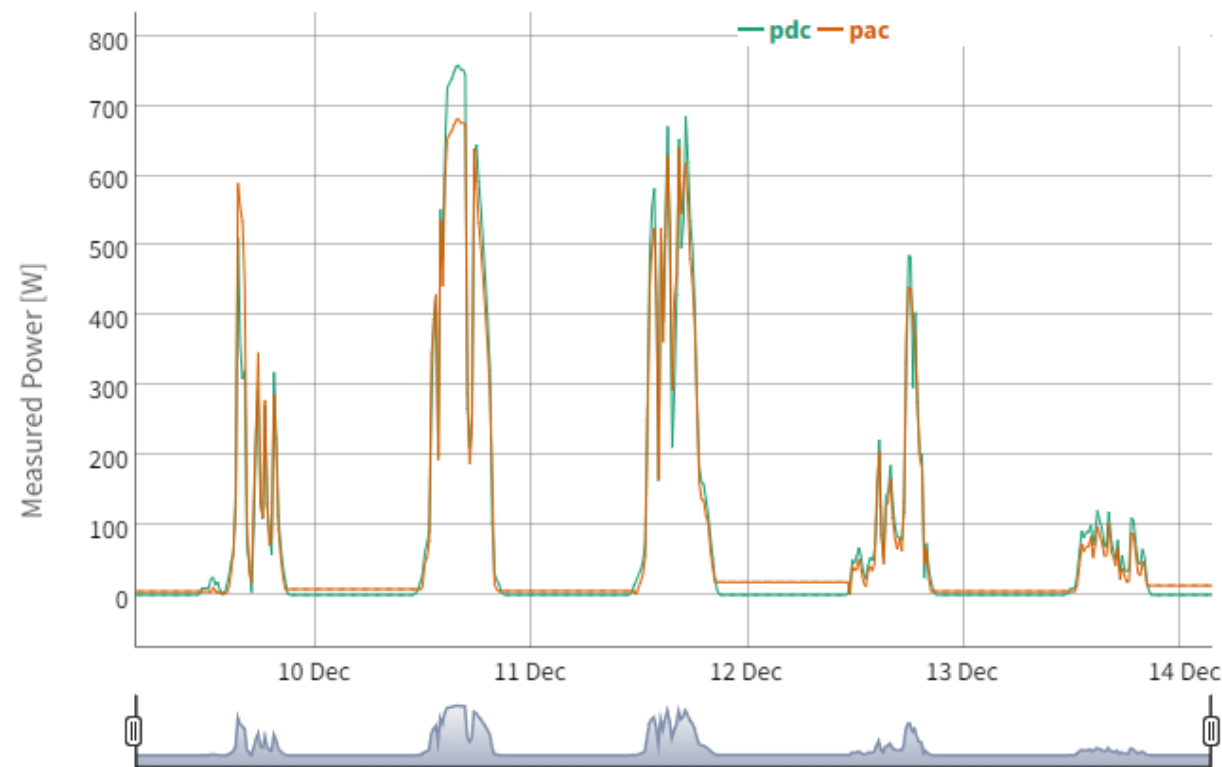


Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

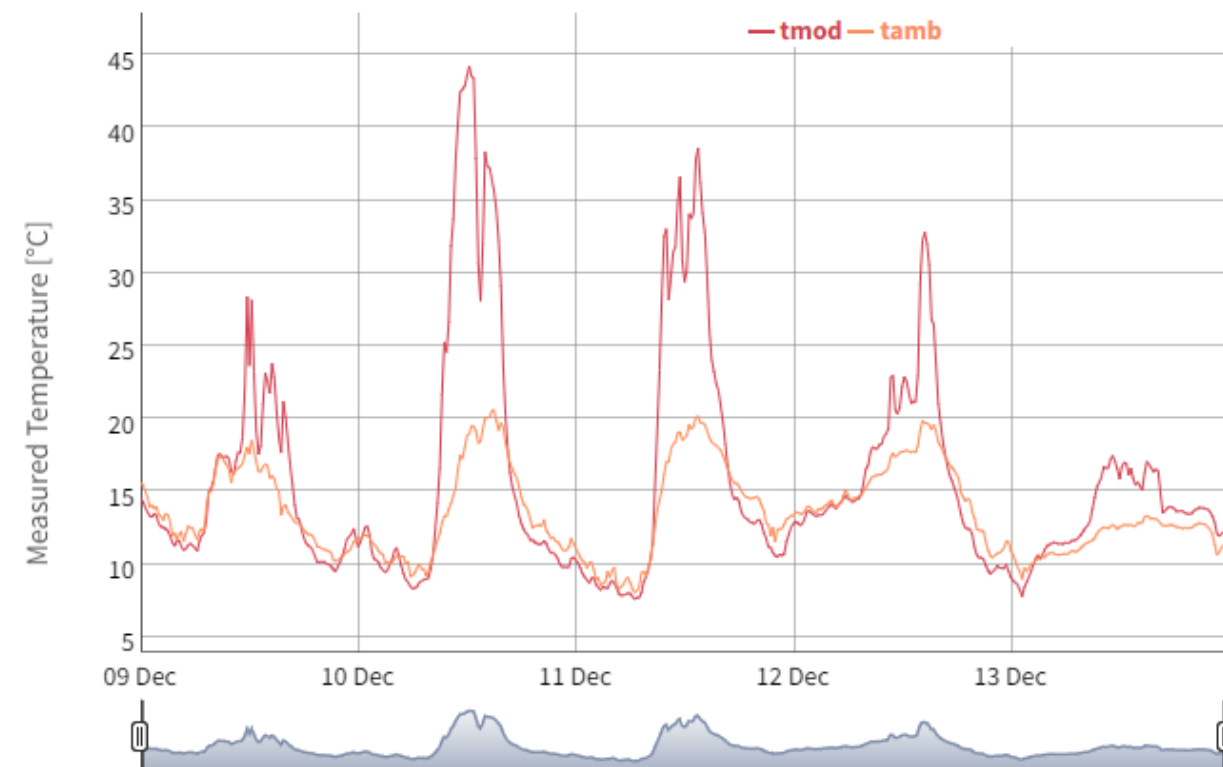
Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων:

- Σύστημα τηλεμετρίας
 - Απεικόνιση και παρακολούθηση μετρήσεων

Power Production



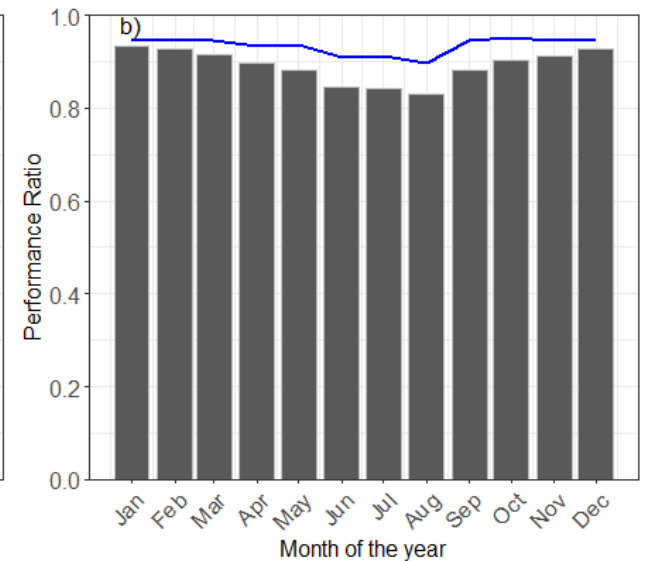
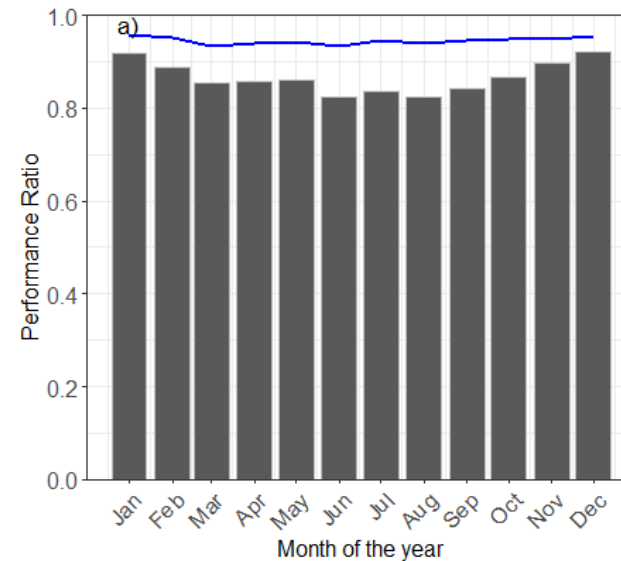
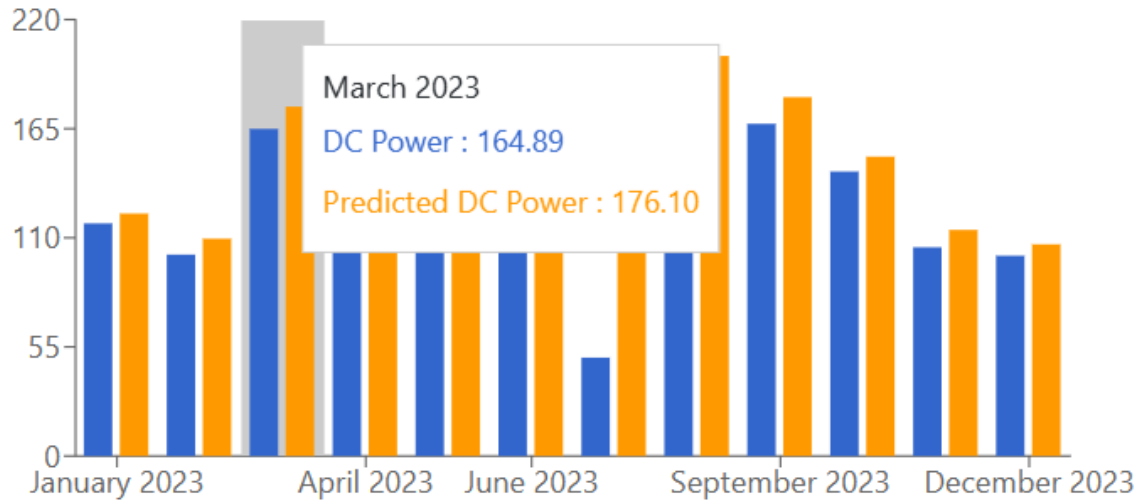
Temperature



Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων:

- Σύστημα τηλεμετρίας
 - Απεικόνιση και παρακολούθηση αποδοτικότητας, παραγωγής ενέργειας (σε καθημερινό, μηνιαίο και ετήσιο επίπεδο), Λόγος Αποδοτικότητας (Performance Rate), εισόδημα, σύγκριση με αναμενόμενη απόδοση, κτλ.



Month	PR (%)	Energy (kWh)	Predicted Energy (kWh)	Energy Loss (kwh)
2014-10-01	84.65949	132.62915	138.40054	5.7713896
2014-11-01	88.68781	110.11020	113.32738	3.2171838
2014-12-01	89.37841	33.01751	33.34307	0.3255515

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση εικόνων:

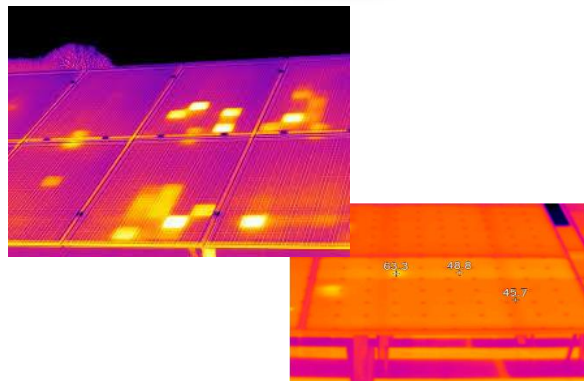
- Κάμερα ηλεκτροφωταύγειας (EL camera), θερμική/υπέρυθρη κάμερα (thermal/IR camera) και κάμερα υπεριώδη φθορισμού (UV camera)



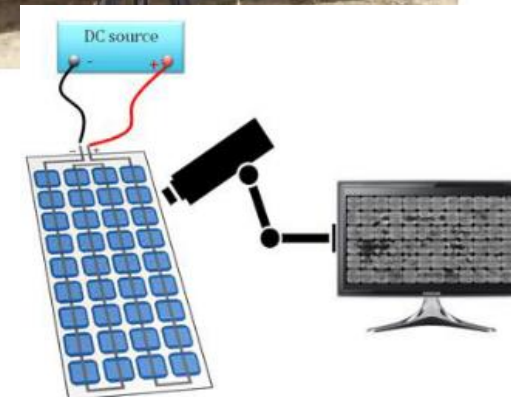
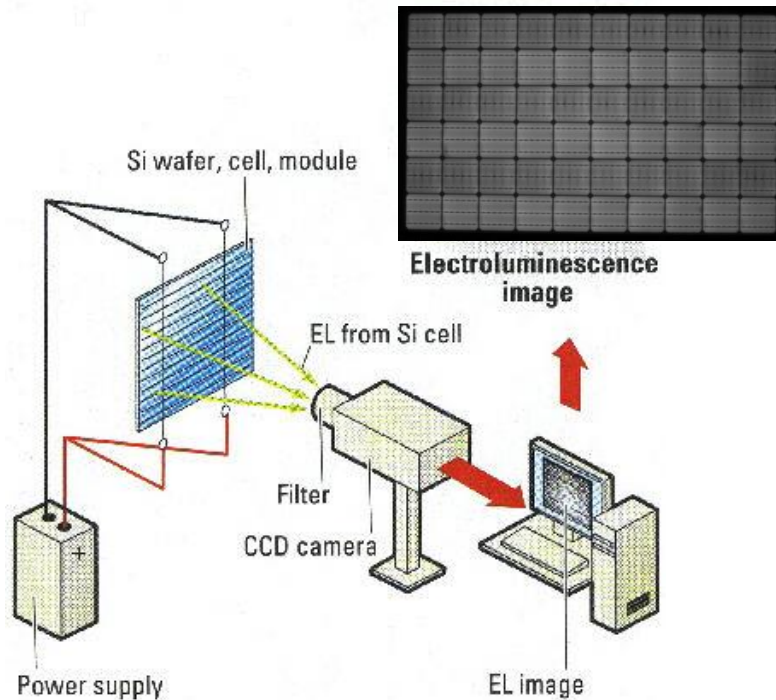
Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση εικόνων:

Θερμική κάμερα και υπέρυθρη απεικόνιση



Κάμερα ηλεκτροφωταύγειας και διάταξη της μεθόδου

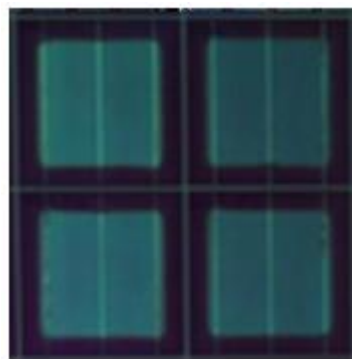
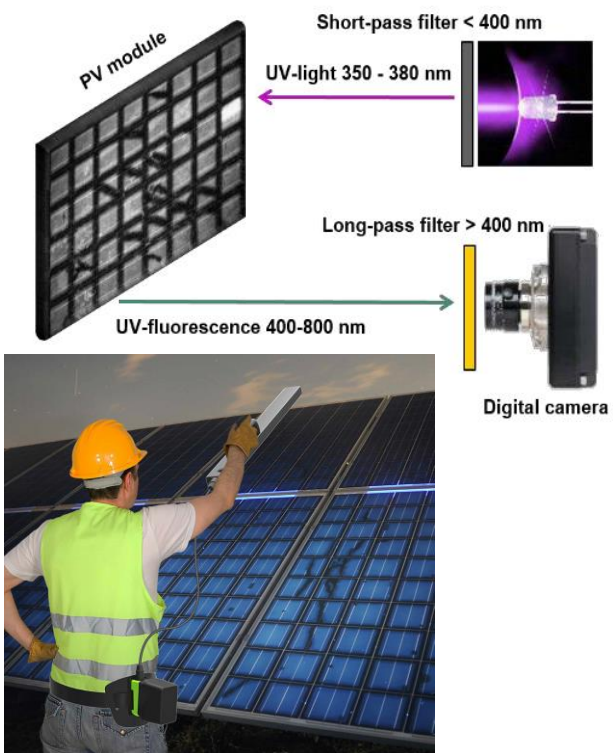


Πηγή: Qualification of PV power plants using mobile test equipment 2021, Report IEA-PVPS T13-24:2021

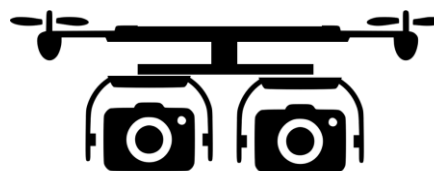
Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση εικόνων:

Κάμερα υπεριώδη φθορισμού



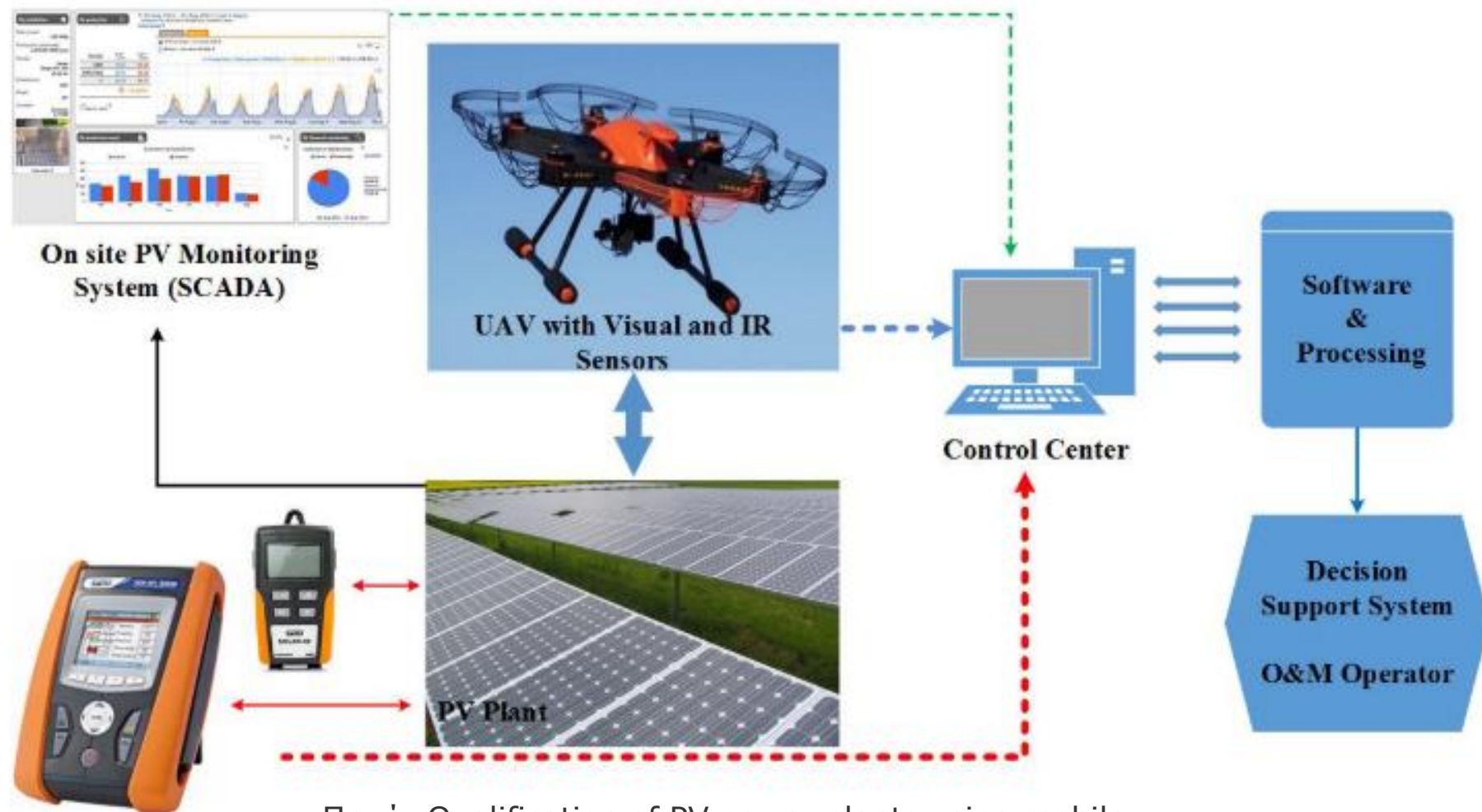
Αέριες φωτογραφίες και μη επανδρωμένα οχήματα (UAV - drones)



Πηγή: Qualification of PV power plants using mobile test equipment 2021, Report IEA-PVPS T13-24:2021

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων

Εξοπλισμός ανίχνευσης σφαλμάτων χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων και εικόνων:



Πηγή: Qualification of PV power plants using mobile test equipment 2021, Report IEA-PVPS T13-24:2021

Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παρόλο που τα ΦΒ αποτελούν μια αξιόπιστη τεχνολογία, είναι πιθανόν να προκύψουν σφάλματα (προβλήματα και αστοχίες) κατά την διάρκεια ζωής τους
- Οι κύριες δυσλειτουργίες στα ΦΒ συστήματα μπορεί να οφείλονται σε:
 - Σκίαση (shading) από γειτονικά κτήρια, δέντρα, λόγω βλάστησης (vegetation) κλπ.
 - Σκόνη (soiling)
 - Προβλήματα στον αντιστροφέα (inverter shutdowns, manual stop, overheating, inverter underperformance/degradation, clipping)
 - Ελαττωματικός αντιστροφέας
 - Ελαττωματικά ΦΒ πλαίσια και δίοδοι παράκαμψης
 - Προβλήματα/αστοχίες πλαισίων (cracks, broken cells, defective cells)
 - Προβλήματα στον εξοπλισμό (malfunction of equipment)
 - Γήρανση/Υποβάθμιση πλαισίων (panel degradation, PID, LID)
 - Προβλήματα με το δίκτυο (grid outage, grid problems, grid maintenance)
 - Ακραίες καιρικές συνθήκες (π.χ. χιόνι, δυνατή αμμοθύελλα)
 - Προβλήματα στοιχειοσειράς (string problems/underperformance, string disconnections)

Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Προβλήματα μπορούν να προκύψουν στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου/συστήματος και στον αντιστροφέα
- Αστοχία ενός ΦΒ πλαισίου είναι μια επίδραση που: (α) υποβαθμίζει την ισχύ του πλαισίου η οποία δεν αναστρέφεται από την κανονική λειτουργία ή (β) δημιουργεί θέμα ασφάλειας
- Αστοχίες μπορεί να προκληθούν κατά την εγκατάσταση, την μεταφορά και από καιρικές συνθήκες
- Οι αστοχίες εγκατάστασης (ή clamping) συνήθως επηρεάζουν το γυαλί και τα κύτταρα
Θραύση γυαλιού (glass breakage)

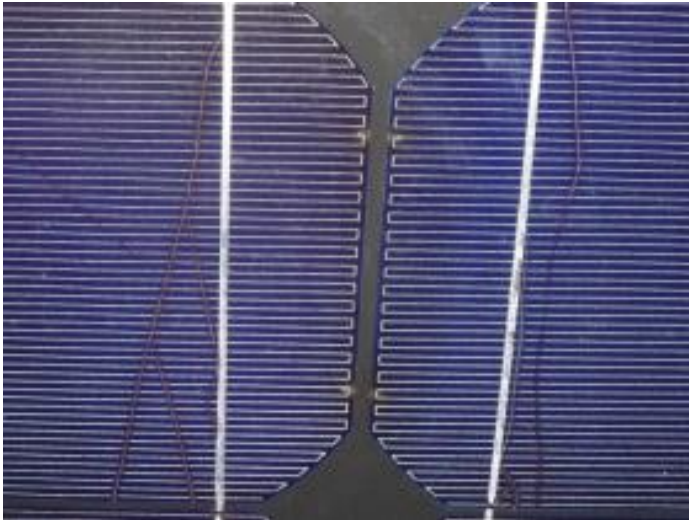


Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

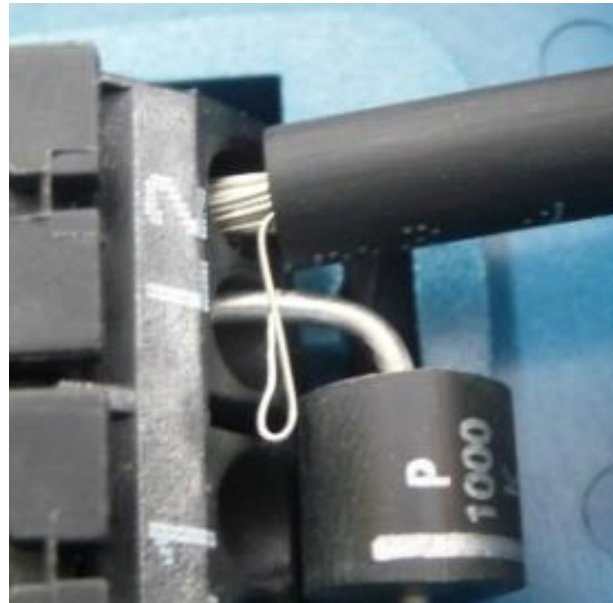
Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών αστοχιών (οπτική επιθεώρηση)

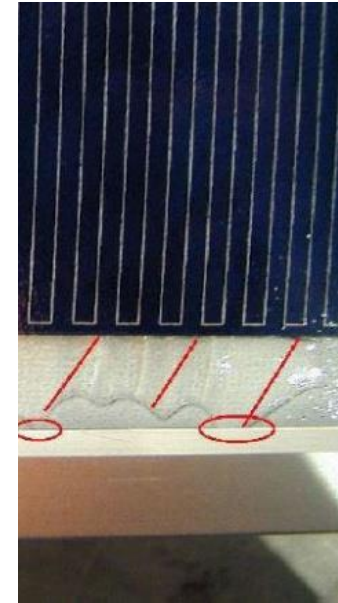
Ρωγμές στα κύτταρα



Καλώδιο που ακουμπάει τη δίοδο



Φυσαλίδες και αποκόλληση



Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών αστοχιών (οπτική επιθεώρηση)

Σημάδια καψίματος οπίσθιου φύλλου



Σημάδια καψίματος κυψέλης



Σημάδια καψίματος από σπασμένες διασυνδέσεις

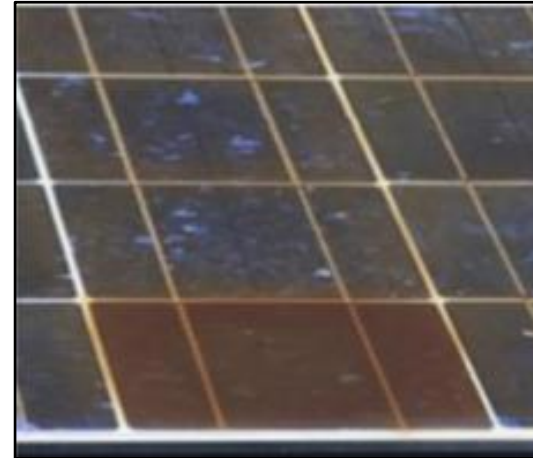
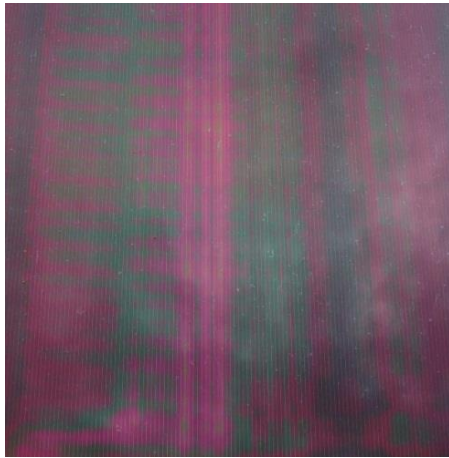


Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών αστοχιών (οπτική επιθεώρηση)

Αποχρωματισμός (discoloration)



Αποκόλληση



Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών σφαλμάτων (οπτική επιθεώρηση)

Σκίαση (shading)



Σκόνη (soiling)



Χιόνι (snow)



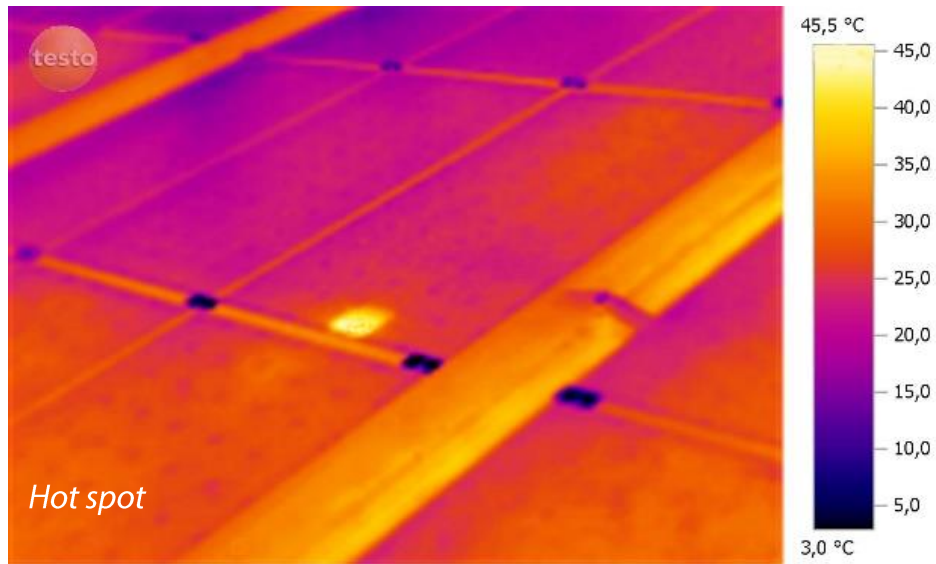
Η σκόνη στην Κύπρο μπορεί να μειώσει την παραγωγή μέχρι και **15%**

Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

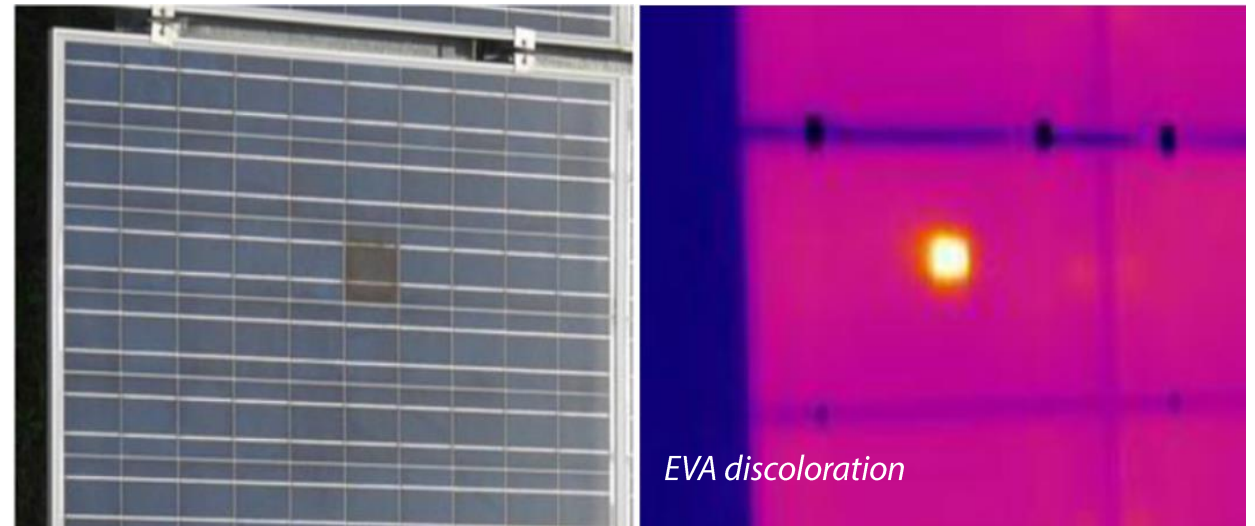
Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών αστοχιών (ανάλυση θερμικών εικόνων)

Θερμό σημείο – υπερθέρμανση σημείου
(hot spot)



Αποχρωματισμός
(discoloration)

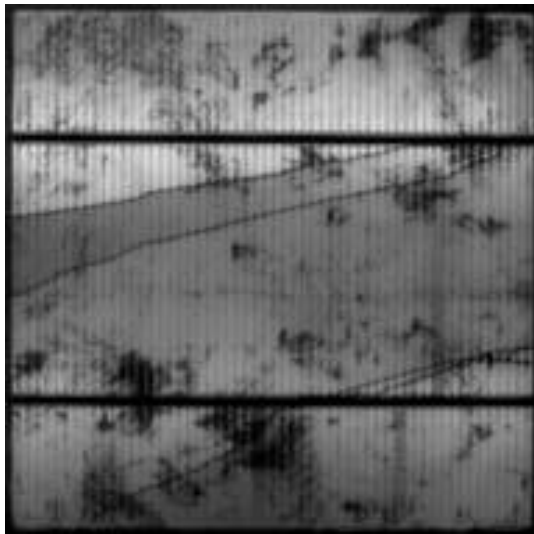


Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

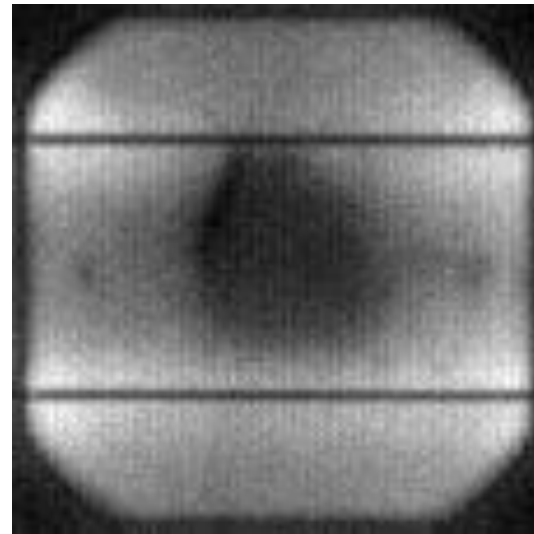
Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών αστοχιών (ανάλυση εικόνων ηλεκτροφωταύγειας)

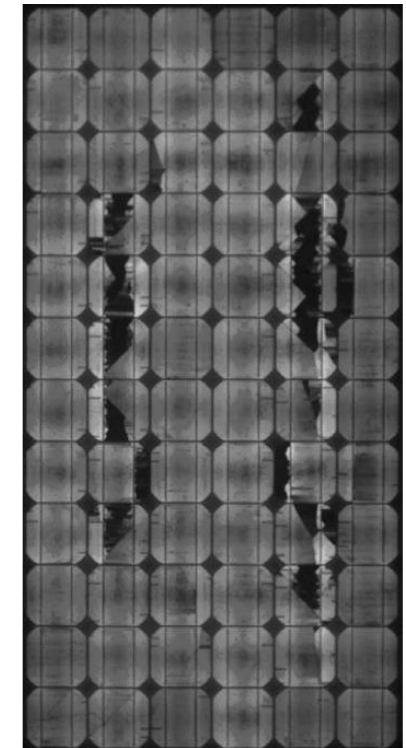
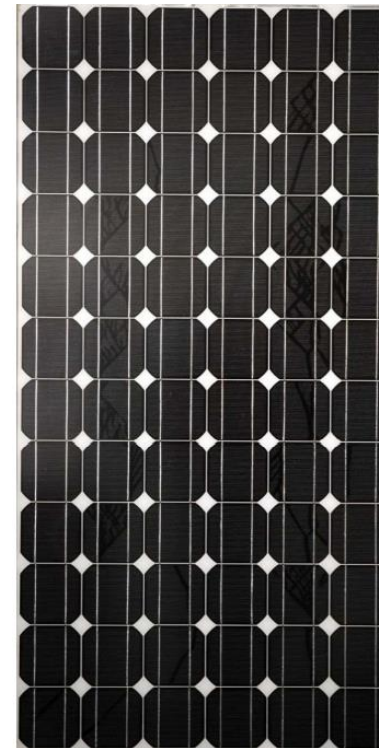
Ρωγμές



Ρωγμή από χαλάζι



Snail trail

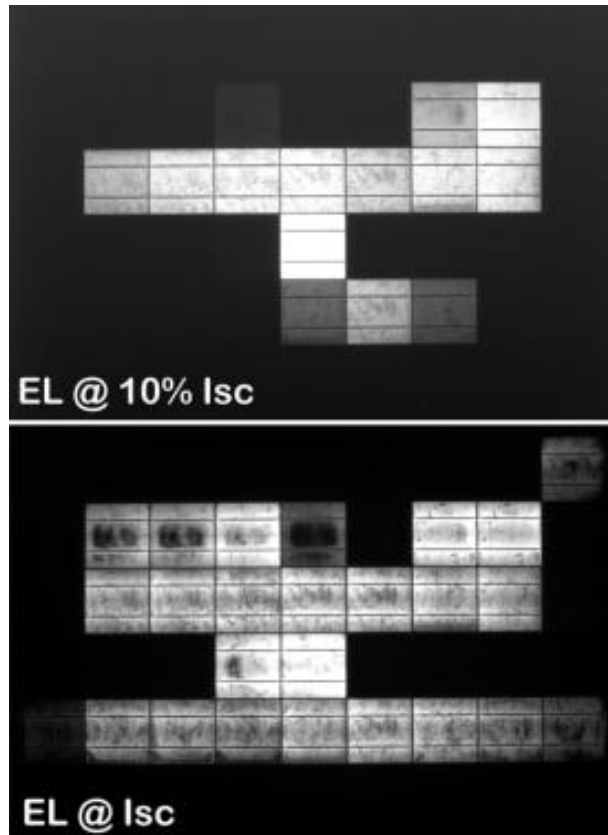


Πηγή: IEA, Review of Failures of Photovoltaic modules

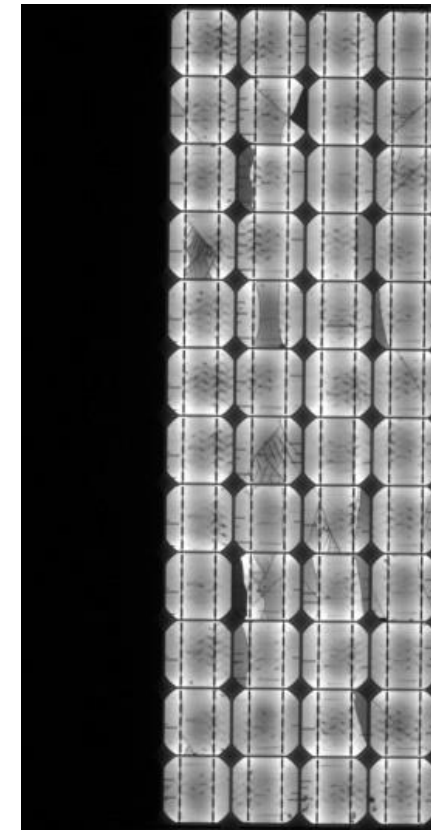
Πιθανές δυσλειτουργίες ΦΒ συστημάτων

- Παραδείγματα οπτικών αστοχιών (ανάλυση εικόνων ηλεκτροφωταύγειας)

Δυνητική υποβάθμιση ΦΒ πλαισίου
(potential induced degradation)



Επιβεβαρημένη δίοδος
παράκαμψης (bypass diode failure)



Βασική συντήρηση

Η βασική συντήρηση περιλαμβάνει:

- Οπτικό έλεγχο: Έλεγχος της σκίασης ΦΒ συστήματος, συσσώρευσης της σκόνης στο ΦΒ πλαίσιο, ζημιές που προκαλούνται από ακραίες καιρικές συνθήκες, φθαρμένα καλώδια εξαιτίας τρωκτικών και τριβής
- Καθαρισμό ΦΒ συστήματος από σκόνη (συνήθως νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα): Σε εποχιακή βάση ανάλογα με την τοποθεσία. Συνίσταται μετά από αμμοθύελλες. Οι ιδιοκτήτες του συστήματος μπορούν να κάνουν καθαρισμό ΦΒ συστήματος έχοντας όμως επίγνωση των κινδύνων που περιέχει η εργασία σε ύψος και σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η ποσότητα του νερού σχετίζεται με την τοποθεσία και κλίμα (περίπου 1.6 litres/m² ΦΒ πλαισίου)



Βασική συντήρηση

- Καθαρισμό ΦΒ συστήματος από χιόνι: Όταν συμβαίνει είναι καλύτερα να απομακρύνεται το χιόνι από τη διάταξη όχι μόνο για λόγους ενεργειακής απόδοσης, αλλά και γιατί το χιόνι μπορεί να καταστρέψει μηχανικά την διάταξη (λόγω πίεσης στο πλαίσιο)

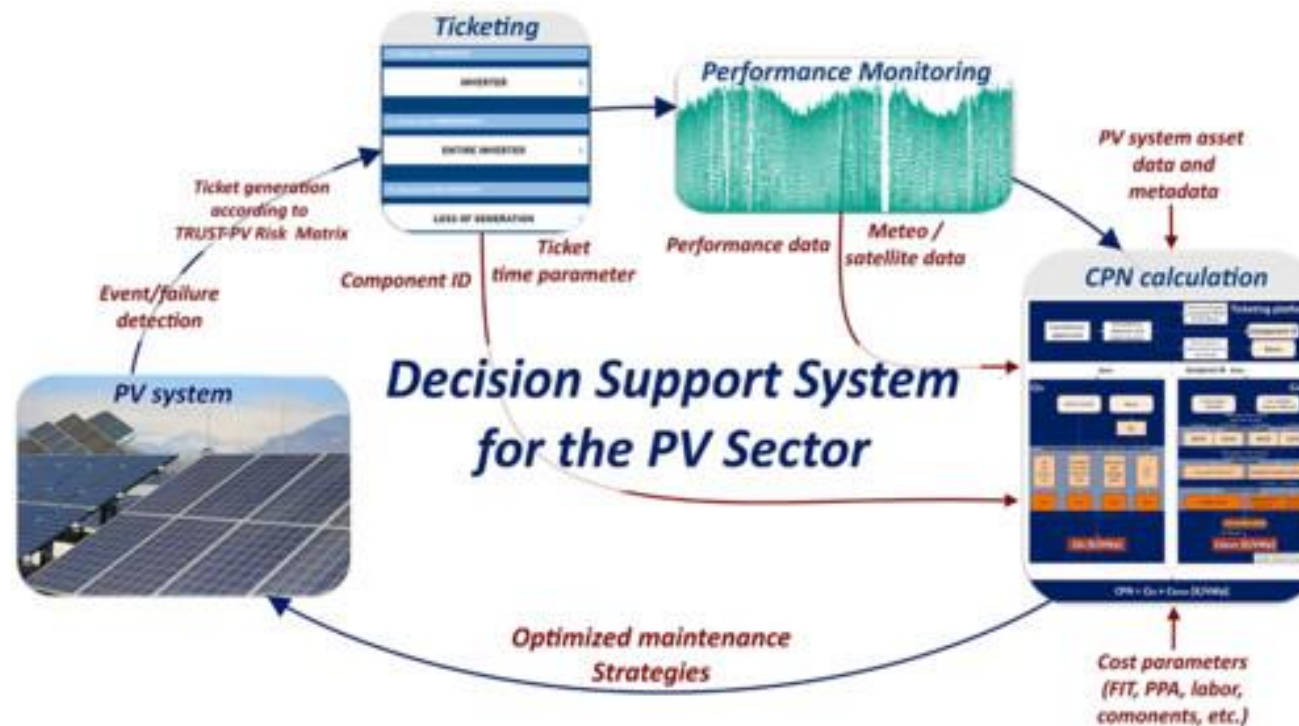


Συντήρηση από εγκαταστάτες ΦΒ συστημάτων

- Συμβόλαια συντήρησης (maintenance contracts) γίνονται μεταξύ του ιδιοκτήτη και του εγκαταστάτη του ΦΒ συστήματος ώστε να διασφαλίζεται η βέλτιστη λειτουργία του
- Η συντήρηση των ΦΒ συστημάτων περιλαμβάνει:
 - Οπτικό έλεγχο
 - Έλεγχο της απόδοσης της κάθε ΦΒ διάταξης
 - Έλεγχο της λειτουργίας του αντιστροφέα
 - Θερμογραφικό έλεγχο για την πιθανή παρουσία υπερθέρμανσης σημείων
 - Καθαρισμό του εξαερισμού του αντιστροφέα
 - Λειτουργικό έλεγχο της ασφάλειας του αντιστροφέα
 - Αναφορά των ελλείψεων
 - Καθαρισμό

Διορθωτική και προληπτική συντήρηση

- Η διαδικασία πραγματοποιείται όταν σφάλματα εντοπίζονται είτε στην εβδομαδιαία/μηνιαία οπτική μελέτη είτε στο σύστημα παρακολούθησης
- Σε αυτή την περίπτωση προγραμματίζεται διορθωτική ή και προληπτική συντήρηση χρησιμοποιώντας ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support System – Smart Ticketing System)



Πηγή: S. Lindig, S et al., “Towards the development of an optimized Decision Support System for the PV industry: A comprehensive statistical and economical assessment of over 35,000 O&M tickets”, Progress in Photovoltaics Research and Applications, 2022; doi:10.1002/pip.3637

Διορθωτική και προληπτική συντήρηση

- Το ΦΒ σύστημα απενεργοποιείται για επιδιόρθωση του σφάλματος
- Η ώρα εντοπισμού του σφάλματος καθώς και το άτομο που πραγματοποιείσαι την εργασία καταγράφονται σε αρχείο (Outage logbook record). Η ώρα απενεργοποίησης και επαναφοράς του συστήματος, η περιγραφή της εργασίας καθώς και το άτομο που ανάλαβε την εργασία καταγράφονται επίσης σε αρχείο (O&M record)
- Πραγματοποιείται ελεγχόμενη διαδικασία επαναφοράς του συστήματος

Διορθωτική και προληπτική συντήρηση

Καθαρισμός πλαισίων

Χειροκίνητος καθαρισμός



- Low capital cost
- High labour cost

Αυτόματος καθαρισμός



- High capital cost
- Low or no labour cost

Ευχαριστώ για την προσοχή σας

 **Ανδρέας Λιβέρα**

 Πανεπιστήμιο Κύπρου
PHAETHON Centre of Excellence

 livera.andreas@ucy.ac.cy

www.phaethon-coe.eu

 phaethoncoe

 PHAETHONCoE

 PHAETHONCoE

