

RES-SKILL

Επανεκπαίδευση των εργαζομένων  
στη βιομηχανία του άνθρακα για τον  
τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών  
Ενέργειας (ΑΠΕ)

## Ο3-T2: RES-SKILL Μαθησιακή Ενότητα 2

Τεχνικός προηγμένων  
υπηρεσιών για φωτοβολταϊκά  
συστήματα

Ιανουάριος 2022



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



 **renac**  
renewables academy



Ακρωνύμιο έργου: RES-SKILL

Όνομα έργου: Επανεκπαίδευση των εργαζομένων στη βιομηχανία του άνθρακα για τον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Κωδικός έργου: 2020-1-EL01-KA202-079114

#### Ιστορικό εγγράφου

Έκδοση	Ημερομηνία	Αλλαγές	Τύπος αλλαγών	Παραδόθηκε από
1.0	05.01.2022	Αρχικό έγγραφο		RENAC

Πληροφορίες εγγράφου	O3: RES-SKILL Μαθησιακές Ενότητες
Όνομα αναγνωριστικού εγγράφου:	Έκθεση που απευθύνεται σε παρόχους ΕΕΚ και εργοδότες του τομέα των ΑΠΕ και θέτει τις βάσεις για ένα ενημερωμένο μάθημα σχετικά με τις δεξιότητες που σχετίζονται με τις ΑΠΕ για τους εργαζόμενους στον τομέα του άνθρακα.
Τίτλος εγγράφου:	RES-SKILL Μαθησιακές Ενότητες
Τύπος αποτελέσματος:	Πνευματικό Αποτέλεσμα 3
Ημερομηνία παράδοσης:	05.01.2022
Τύπος δραστηριότητας:	
Επικεφαλής δραστηριότητας:	RENAC
Επίπεδο διάχυσης:	Εμπιστευτικό

#### Αποποίηση ευθύνης

Η υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την παραγωγή της παρούσας δημοσίευσης δεν συνιστά έγκριση του περιεχομένου, το οποίο αντικατοπτρίζει τις απόψεις μόνο των συντακτών, και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύνηνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν.

Το παρόν έγγραφο αποτελεί ιδιοκτησία της κοινοπραξίας RES-SKILL. Το υλικό του έργου που αναπτύσσεται στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων Διαχείρισης και Υλοποίησης Έργου δεν επιτρέπεται να αντιγραφεί ή να διανεμηθεί σε οποιαδήποτε μορφή ή με οποιοδήποτε μέσο, χωρίς την προηγούμενη γραπτή συμφωνία της κοινοπραξίας RES-SKILL.



## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Συντομογραφίες	5
Κατάλογος πινάκων	6
Κατάλογος σχημάτων	6
Εισαγωγή	8
Σχετικά με το έγγραφο – Μαθησιακή Ενότητα 1	8
Στόχος	8
Υγεία και ασφάλεια	8
Μάθημα 2.1 Εγκατάσταση ηλεκτρικών φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων	9
Επισκόπηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων	9
Μετατροπείς συνδεδεμένοι στο δίκτυο	11
Επισκόπηση της διαδικασίας ηλεκτρολογικού σχεδιασμού και εγκατάστασης	20
Τελική σύνδεση με το δίκτυο	28
Μάθημα 2.2 Ολοκλήρωση της εγκατάστασης, των δοκιμών και της ενεργοποίησης του συστήματος	29
Εγκατάσταση και καλωδίωση συστημάτων παρακολούθησης	29
Έναρξη λειτουργίας: δοκιμές, μετρήσεις και εντοπισμός βλαβών	29
Ποιος κάνει ή θα έπρεπε να κάνει την έναρξη λειτουργίας;	30
Απαιτήσεις πριν από την έναρξη λειτουργίας	30
Προφυλάξεις ασφαλείας κατά την έναρξη λειτουργίας	30
Απαιτούμενα όργανα	31
Η διαδικασία έναρξης λειτουργίας	31
Παράδοση του συστήματος, τεκμηρίωση και υποβολή εκθέσεων	34
Μάθημα 2.3 Λειτουργία, συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων σε φωτοβολταϊκά συστήματα	37
Εισαγωγή	37
Λειτουργία και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων (προληπτική, διορθωτική και προληπτική)	37
Αντιμετώπιση προβλημάτων για φωτοβολταϊκά συστήματα	41
Μάθημα 2.4 Σέρβις και επισκευές	42
Εισαγωγή	42
Διαχείριση στοιχείων ενεργητικού	42



Αξιολόγηση, ανάλυση απόδοσης και βελτιστοποίηση φωτοβολταϊκού συστήματος	43
Υποβολή εκθέσεων αναφοράς	44
Επιδιορθώσεις	44
Βιβλιογραφικές αναφορές	45
Περαιτέρω ανάγνωση και πληροφορίες	46
Περαιτέρω ανάγνωση και πηγές πληροφοριών	46



## Συντομογραφίες

<b>HVAC</b>	<b>Θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός</b>
<b>ΑΠΕ</b>	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
<b>ΕΕΚ</b>	Επαγγελματική εκπαίδευση και κατάρτιση
<b>MW</b>	Μεγαβατώρες
<b>GW</b>	Γιγαβατώρες
<b>ΟΟΣΑ</b>	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
<b>ΕΕ</b>	Ευρωπαϊκή Ένωση
<b>Φ/Β</b>	Φωτοβολταϊκό
<b>ΕΠΕΠ</b>	Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Προσόντων
<b>SCC</b>	Sicherheits Certifikat Contraktoren (Ασφάλεια, υγεία και περιβάλλον), επίσης γνωστό ως VCA στις Κάτω Χώρες
<b>ECVET</b>	Ευρωπαϊκό σύστημα πιστωτικών μονάδων για την επαγγελματική εκπαίδευση και κατάρτιση
<b>OHS</b>	Υγεία και ασφάλεια στην εργασία (ΥΑΕ)

## RES-SKILL Εταίροι

<b>PROMEΑ</b>	Ελληνική Εταιρεία Προώθησης Μεθοδολογιών Έρευνας και Ανάπτυξης Αστική Εταιρεία
<b>BFI</b>	Berufsförderungsinstitut Burgenland
<b>LTT</b>	Liceul Tehnologic Ticleni
<b>RENAC</b>	Renewables Academy (RENAC) Ag
<b>MEERI</b>	Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia Pan
<b>SZREDA</b>	Agentsiya Za Regionalno Ikonomichesko Razvitie



## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση των μετατροπένων συστοιχίας και των κεντρικών μετατροπένων	20
Πίνακας 2: Ορισμένα εργαλεία για την εγκατάσταση και τη συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. (Πηγή: Installation, Operation & Maintenance of Solar PV Microgrid Systems , GSES India Sustainable Energy Pvt. Ltd. for Clean Energy Access Network (CLEAN),2015)	21

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Επισκόπηση φωτοβολταϊκών συστημάτων εκτός δικτύου (αριστερά) και συνδεδεμένων στο δίκτυο (δεξιά).	9
Σχήμα 2: Ένα μικρό ηλιακό οικιακό σύστημα (αριστερά), ένα μεγάλο φωτοβολταϊκό σύστημα εκτός δικτύου σε ένα σχολείο στο Εκουαδόρ (κέντρο) και ένας ηλιακός μετρητής στάθμευσης εκτός δικτύου στην Ιταλία (δεξιά).	10
Σχήμα 3: Ο ευρωπαϊκός ορισμός απόδοσης του μετατροπέα (αριστερά). Ο ορισμός απόδοσης μετατροπέα στην Καλιφόρνια (δεξιά).	12
Σχήμα 4: Μετατροπέας πλήρους γέφυρας (ή γέφυρας H).	12
Σχήμα 5: Αρχή λειτουργίας των μετατροπένων με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM) συνδεδεμένων στο δίκτυο.	13
Σχήμα 6 : Μετατροπέας βασισμένος σε μετασχηματιστή (αριστερά) και μετατροπέας χωρίς μετασχηματιστή-δεξιά (τοπολογία H4).	14
Σχήμα 7: Συστοιχία φωτοβολταϊκών μονάδων 240 Wp συνδεδεμένων σε έναν μετατροπέα σε σειρά.	22
Σχήμα 8: Μονάδα λεπτής μεμβράνης με ήδη προσαρτημένους συνδέσμους (δεξιά) και πολωμένος σύνδεσμος καλωδίου προς καλώδιο (δεξιά).	22
Σχήμα 9: Μετατροπέας SMA Sunny Mini-Central. Ο μετατροπέας εγκαθίσταται σε μια επίπεδη δομή τοποθέτησης στην οροφή κάτω από τη συστοιχία φωτοβολταϊκών μονάδων. Τελική οπτική επιθεώρηση (πάνω αριστερά), εσωτερική άποψη (πάνω δεξιά), ολοκληρωμένη εγκατάσταση (κάτω αριστερά).	24
Σχήμα 10: Καλώδια DC σειράς μονάδων, καλά στερεωμένα (αριστερά), καλώδια DC που δεν είναι σωστά στερεωμένα, καλώδια υπό πίεση μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στα κουτιά διακλάδωσης μονάδων/μονάδων κ.λπ.(δεξιά).	25
Σχήμα 11: (αριστερά) Καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία στέγης που τροφοδοτείται σε ένα σημείο σύνδεσης με το τριφασικό δίκτυο. Οι μετατροπείς βρίσκονται σε ένα περίβλημα στην οροφή. (δεξιά) Καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος και καλώδια συνεχούς ρεύματος που προέρχονται από τους μετατροπείς.	26
Σχήμα 12: Μερικά τυπικά προειδοποιητικά σημάδια.	26





Σχήμα 13: Αριστερά: Δέντρο απόφασης για τις ρυθμίσεις γείωσης/γείωτρησης για τη δομή τοποθέτησης μονάδων (αριστερά). Το θέμα μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκο. Οι εγκαταστάτες θα πρέπει να έχουν πολύ σαφείς και ακριβείς οδηγίες σχετικά με το τι απαιτείται. Πηγή: UK MSC Guide to the Installation of Photovoltaic Systems (2012). Δεξιά: Σύνδεση συγκόλλησης σε δομή στήριξης συστοιχίας φωτοβολταϊκών μονάδων. 28

Σχήμα 14: Using a clamp meter to measure current in a PV array string. Taking measurements of a string  $I_{sc}$  is inherently hazardous. Measurements of current can however safely be carried out using a clamp meter. 31

Σχήμα 15: Πρόγραμμα δοκιμών για μια φωτοβολταϊκή συστοιχία, όπως συνιστάται από τον οδηγό MSC του Ηνωμένου Βασιλείου για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. 35

Σχήμα 16: Το στήριγμα παρακολούθησης έχει κολλήσει σε λάθος θέση. Τα ανταλλακτικά θα πρέπει να φυλάσσονται ή να είναι άμεσα διαθέσιμα. 38

Σχήμα 17: Πυρανόμετρα σε μεγάλη εγκατάσταση σε στέγη, ως μέρος πειραματικής διάταξης (αριστερά). Ανεμόμετρο για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου (δεξιά). 39

Σχήμα 18: Αισθητήρας ακτινοβολίας σε ηλιακό πάρκο στην Ισπανία (αριστερά). Πηγή: SMA Solar Technology AG. Ανιχνευτής θερμομέτρου στερεωμένος στο πίσω μέρος μιας μονάδας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της μονάδας (δεξιά). 40

Σχήμα 19: Εάν δεν αντιμετωπιστούν τα μικρά προβλήματα, μπορεί γρήγορα να οδηγήσουν σε μεγάλα. Πηγή: Frank Jackson. 40

Σχήμα 20: Απόσπασμα από έναν οδηγό αντιμετώπισης προβλημάτων. 41



## Εισαγωγή

### Σχετικά με το έγγραφο – Μαθησιακή Ενότητα 1

Το παρόν έγγραφο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων. Χωρίζεται σε 4 μαθήματα τα οποία είναι τα εξής:

- Εγκατάσταση ηλεκτρικών φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων
- Ολοκλήρωση της εγκατάστασης, δοκιμή και έναρξη λειτουργίας του συστήματος
- Λειτουργία, συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων στα φωτοβολταϊκά συστήματα
- Συντήρηση και επισκευές

Η μαθησιακή ενότητα αποτελεί μέρος της δέσμης μέτρων για την αναβάθμιση της κατάρτισης των εργαζομένων στον τομέα του άνθρακα στη βιομηχανία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Λαμβάνοντας υπόψη το χάσμα δεξιοτήτων που εντοπίζεται μεταξύ των ανθρακωρύχων και των εργατών στη βιομηχανία των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ορισμένα από τα βασικά θέματα για τη γεφύρωση του χάσματος αυτού καλύπτονται στο πλαίσιο αυτής της ενότητας, αλλά όχι εξαντλητικά, δεδομένου ότι αυτό δεν είναι δυνατό σε ένα κείμενο αυτού του μεγέθους. Έχουν παρασχεθεί πηγές για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με όλα τα θέματα - με τη μορφή ορισμένων βιβλίων επί του θέματος, εθνικών ηλεκτρικών κωδίκων, εθνικών οδηγιών εγκατάστασης και ορθής πρακτικής. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι πληροφορίες που δίνονται εδώ πρέπει να ερμηνεύονται κριτικά. Ενώ οι περισσότερες από τις πληροφορίες θα είναι σχετικές με την τοποθεσία/κατάστασή σας, ορισμένες μπορεί να μην ισχύουν ή να ισχύουν μόνο εν μέρει.

### Στόχος

Η μαθησιακή ενότητα 2, η οποία έχει σχεδιαστεί για τους τεχνικούς προηγμένων υπηρεσιών για φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι συμπληρωματική της μαθησιακής ενότητας 1 και στοχεύει στην ανάπτυξη των γνώσεων της μαθησιακής ενότητας 1 και στην εμβάθυνση στο θέμα. Μετά την εκπαίδευση, θα πρέπει να είναι σε θέση να:

- Να συναρμολογούν και να τοποθετούν τα ηλεκτρικά εξαρτήματα του συστήματος σε διάφορους χώρους.
- Να διεξάγουν μια εγκατάσταση συστήματος, να αναγνωρίζουν τα βήματα για τη δοκιμή και τη θέση σε λειτουργία του συστήματος.
- Να εντοπίζουν σφάλματα σε φωτοβολταϊκά συστήματα.
- Να περιγράφουν τις υπηρεσίες συντήρησης και επισκευής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

### Υγεία και ασφάλεια

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** Εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά, υποθέστε ότι ο τύπος του συστήματος που εξετάζεται σε αυτό το κεφάλαιο είναι συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο διανομής "χαμηλής τάσης" (τυπική ηλεκτρική τροφοδοσία κτιρίων) και όχι στο δίκτυο "μέσης τάσης" (στο οποίο συνδέονται τα μεγάλα ηλιακά πάρκα). Η διαδικασία έναρξης λειτουργίας και για τους δύο



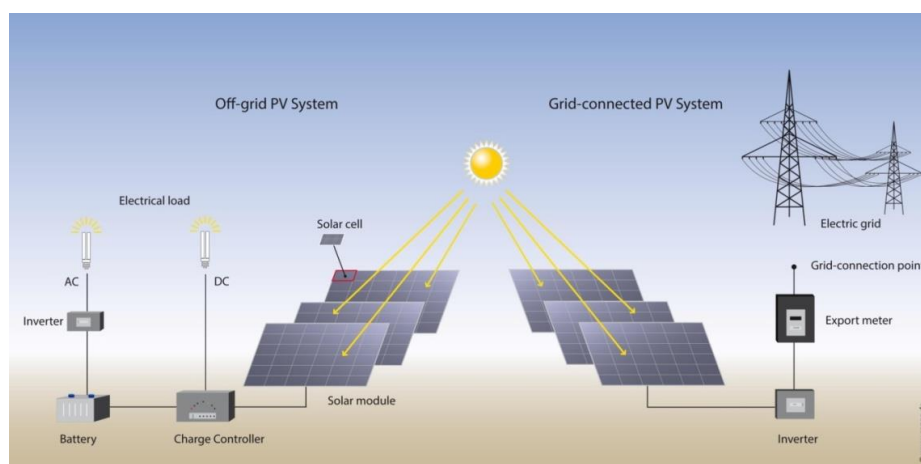
αυτούς τύπους συστημάτων είναι παρόμοια, αλλά υπάρχουν επίσης ειδικές απαιτήσεις για τα ηλιακά πάρκα.

## Μάθημα 2.1 Εγκατάσταση ηλεκτρικών φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων

Το συνολικό μαθησιακό αποτέλεσμα είναι να είστε σε θέση να εγκαθιστάτε τα ηλεκτρικά εξαρτήματα των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων.

### Επισκόπηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων: Φ/Β συστήματα εκτός δικτύου και Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο.



Σχήμα 1: Επισκόπηση φωτοβολταϊκών συστημάτων εκτός δικτύου (αριστερά) και συνδεδεμένων στο δίκτυο (δεξιά).

Σχήμα 1 παρουσιάζει ορισμένα από τα βασικά στοιχεία τόσο των συστημάτων εκτός δικτύου όσο και των συστημάτων που συνδέονται με το δίκτυο.

### Φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός δικτύου

**Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός δικτύου**, γνωστά και ως **αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα**, δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται επιτόπου ή πολύ κοντά στο σημείο όπου παράγεται. Τα συστήματα εκτός δικτύου ενσωματώνουν συνήθως αποθήκευση μπαταριών, ώστε να παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και όταν ο ήλιος δεν λάμπει - τα ηλιακά συστήματα άντλησης νερού αποτελούν σημαντική εξαίρεση σε αυτό. Τα συστήματα εκτός δικτύου συναντώνται συνήθως σε τοποθεσίες όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Σχήμα 1 – αριστερά οι φωτοβολταϊκές μονάδες συνδέονται με έναν ελεγκτή φόρτισης ο οποίος ρυθμίζει τη φόρτιση και την εκφόρτιση των μπαταριών. Τροφοδοτείται μόνο με συνεχές (DC) ρεύμα. Πολλά από αυτά τα συστήματα διαθέτουν επίσης μετατροπείς (συνδεδεμένους απευθείας στις μπαταρίες) που παρέχουν εναλλασσόμενη (AC) ισχύ.



Σχήμα 2: Ένα μικρό ηλιακό οικιακό σύστημα (αριστερά), ένα μεγάλο φωτοβολταϊκό σύστημα εκτός δικτύου σε ένα σχολείο στο Εκουαδόρ (κέντρο) και ένας ηλιακός μετρητής στάθμευσης εκτός δικτύου στην Ιταλία (δεξιά).

Τα εξαρτήματα του συστήματος διαφέρουν από τα συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο και το μέγεθος της συστοιχίας είναι συνήθως πολύ μικρότερο, ιδίως για μικρές εφαρμογές εκτός δικτύου, όπως τα **ηλιακά οικιακά συστήματα (SHS)**.

Τα **μικρο- και μίνι-δίκτυα** είναι βασικά μικρά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια, για παράδειγμα, σε ένα μικρό νησί ή σε ένα απομακρυσμένο κτιριακό συγκρότημα ή χωριό. Ο παρών οδηγός τα κατατάσσει στα συστήματα εκτός δικτύου. Συνήθως διαθέτουν εφεδρικές πηγές ενέργειας, συνήθως μια γεννήτρια ντίζελ. Ορισμένα μεγαλύτερα συστήματα μικρο- και μίνι-δικτύου δεν διαθέτουν αποθήκευση μπαταριών (βλ. μαθησιακή ενότητα 1 για περισσότερες πληροφορίες).

### Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα διοχετεύουν ηλεκτρική ενέργεια στα εθνικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, από όπου ρέει σε διάφορα σημεία κατανάλωσης. Πολλά συστήματα διαφόρων μεγεθών παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορα σημεία σε ένα κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες - τα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα κεντρικά φωτοβολταϊκά συστήματα.

#### 1. Κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα κατανεμημένα συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε σε οικιακά συστήματα είτε σε συστήματα σε εμπορικά κτίρια ή αγροκτήματα που συνδέονται με το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης. Τα οικιακά συστήματα είναι μικρά συστήματα σε στέγες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για ιδιωτική κατανάλωση και/ή για πώληση στην εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (βλέπε μαθησιακή ενότητα 1).

#### 2. Κεντρικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Γνωστά και ως ηλιακά πάρκα ή ηλιακά πάρκα ή φωτοβολταϊκά συστήματα κοινής ωφέλειας. Τέτοιες εγκαταστάσεις από συστοιχίες μεγάλης κλίμακας που τοποθετούνται στο έδαφος μπορούν να καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις γης και να τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαμόρφωση αυτών των εγκαταστάσεων είναι περισσότερο συγκρίσιμη με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνδέονται σε δίκτυα μεταφοράς μέσης ή υψηλής τάσης.



## Μετατροπείς συνδεδεμένοι στο δίκτυο

Σε όλα τα συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο, η φωτοβολταϊκή συστοιχία συνδέεται με έναν μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η έξοδος του μετατροπέα συνδέεται σε έναν μετρητή που καταγράφει την ποσότητα ενέργειας που τροφοδοτείται στο δίκτυο.

### Αποδοτικότητα μετατροπέα

Η στιγμιαία απόδοση ενός μετατροπέα συνδεδεμένου στο δίκτυο ορίζεται ως εξής:

$$\eta = \frac{P_{AC \text{ out}}}{P_{DC \text{ in}}}$$

#### όπου

$\eta$  είναι η αποδοτικότητα [%]

$P_{AC \text{ out}}$  είναι η ισχύς εξόδου από τον μετατροπέα [W]

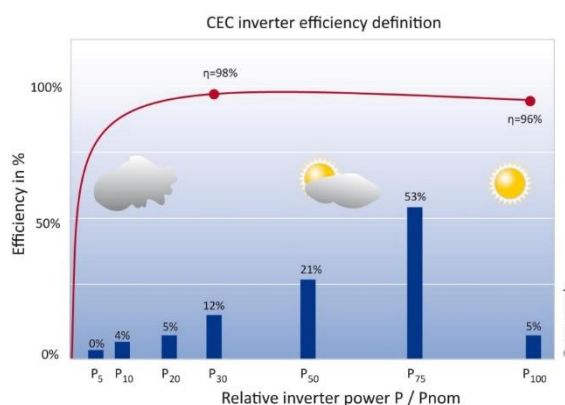
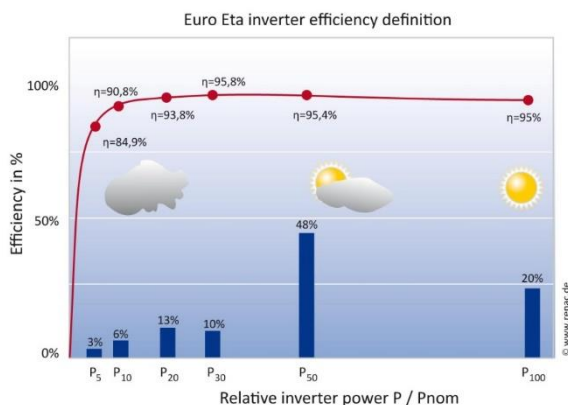
$P_{DC \text{ in}}$  είναι η ισχύς εισόδου από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία [W].

Η απόδοση οποιουδήποτε μετατροπέα θα μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς αλλάζουν τα επίπεδα ακτινοβολίας και η θερμοκρασία και λόγω της συμπεριφοράς του σε μερικό φορτίο. Ως εκ τούτου, για να είναι δυνατή η ακριβέστερη αξιολόγηση της απόδοσης, έχουν δημιουργηθεί πρότυπα/ορισμοί απόδοσης που λαμβάνουν υπόψη τη συμπεριφορά των μετατροπέων σε μερικό φορτίο καθώς και τις κλιματικές συνθήκες.

Το **ευρωπαϊκό πρότυπο απόδοσης ( $\eta_{\text{EURO}}$ )** του Κοινού Κέντρου Ερευνών βασίζεται στο κλίμα της Ispra στην Ιταλία (Σχήμα 3 - αριστερά). Εκφράζεται από τον ακόλουθο τύπο::

$$\eta_{\text{EURO}} = 0.03 * \eta_{5\%} + 0.06 * \eta_{10\%} + 0.13 * \eta_{20\%} + 0.1 * \eta_{30\%} + 0.48 * \eta_{50\%} + 0.2 * \eta_{100\%}$$

Ο ορισμός λαμβάνει υπόψη τις αποδόσεις του μετατροπέα στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος. Αυτές οι αποδόσεις σταθμίζονται ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης των αντίστοιχων συνθηκών ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, για το 48% του χρόνου λειτουργίας τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν το ήμισυ της ονομαστικής τους ισχύος (50%)- η λειτουργία στην ονομαστική ισχύ (100%) θεωρείται ότι συμβαίνει μόνο στο 20% του χρόνου.



Σχήμα 3: Ο ευρωπαϊκός ορισμός απόδοσης του μετατροπέα (αριστερά). Ο ορισμός απόδοσης μετατροπέα στην Καλιφόρνια (δεξιά).

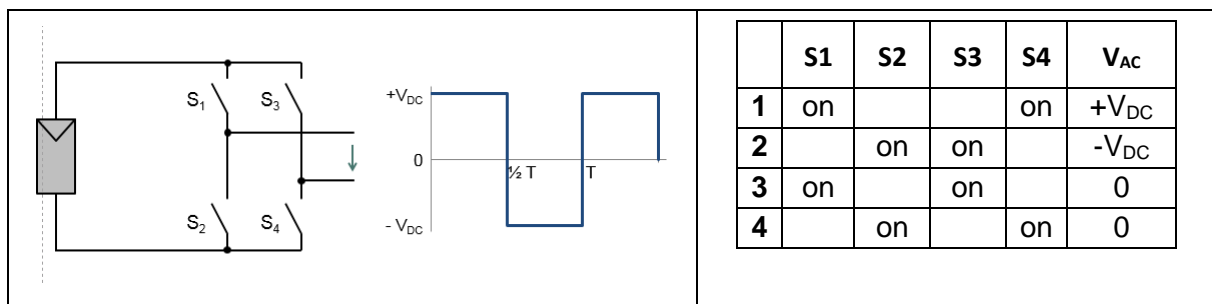
Ο ορισμός της απόδοσης της Καλιφόρνιας (ηCEC) λαμβάνει υπόψη διαφορετικά σημεία λειτουργίας μερικού φορτίου και είναι προσαρμοσμένος στο κλίμα της Καλιφόρνιας (Σχήμα 3 - δεξιά), το οποίο είναι πιο ηλιόλουστο από ό,τι στην Ιταλία:

$$\eta_{CEC} = 0.04 * \eta_{10\%} + 0.05 * \eta_{20\%} + 0.12 * \eta_{30\%} + 0.21 * \eta_{50\%} + 0.53 * \eta_{75\%} + 0.05 * \eta_{100\%}$$

Εκτός από την είσοδο ισχύος DC, η απόδοση του μετατροπέα επηρεάζεται επίσης από την τάση DC.

### Λειτουργία μετατροπέα

Ένας μετατροπέας μετατρέπει την ισχύ συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβάλλοντας την τάση εισόδου συνεχούς ρεύματος με μια προκαθορισμένη ακολουθία.



Σχήμα 4: Μετατροπέας πλήρους γέφυρας (ή γέφυρας H).

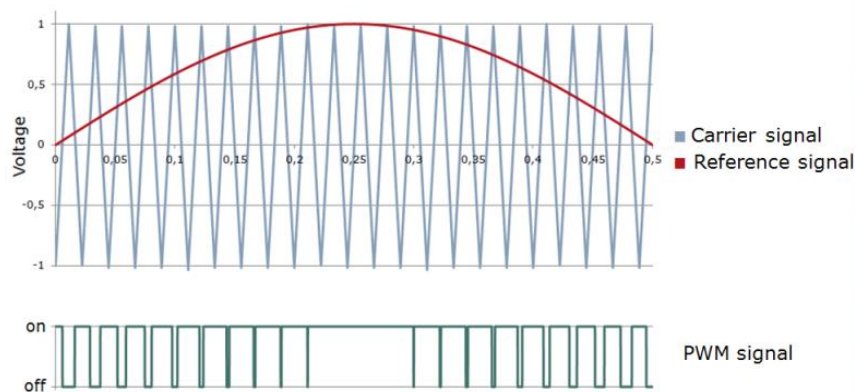
Το τμήμα του μετατροπέα που ενσωματώνει τους διακόπτες αναφέρεται ως γέφυρα ή γέφυρα ισχύος. Το διάγραμμα δείχνει έναν μετατροπέα πλήρους γέφυρας (ή γέφυρας H) με τέσσερις διακόπτες (Σχήμα 4). Οι μετατροπείς πλήρους γέφυρας χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Υπάρχουν επίσης μετατροπείς μισής γέφυρας που ενσωματώνουν μόνο δύο διακόπτες. Όταν οι διακόπτες S1 και S4 είναι συγχρονισμένα κλειστοί (ενεργοποιημένοι), η τάση στην έξοδο είναι +V<sub>DC</sub>. Όταν οι διακόπτες S2 και S3 είναι συγχρονισμένα κλειστοί, η τάση εξόδου είναι αντίστροφη (-V<sub>DC</sub>). Αυτή είναι η βασική αρχή ενός μετατροπέα: οι διακόπτες ελέγχονται για να παράγουν μια τετραγωνική κυματομορφή εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος από μια είσοδο συνεχούς (DC) ρεύματος. Και οι δύο διακόπτες S1 και S2 (ή S3 και S4) δεν μπορούν να είναι ταυτόχρονα ενεργοποιημένοι, καθώς αυτό συνεπάγεται βραχυκύκλωμα της πηγής συνεχούς ρεύματος. Υπάρχουν τέσσερις καθορισμένες και μία απροσδιόριστη κατάσταση. Στην απροσδιόριστη κατάσταση, όλοι οι διακόπτες είναι ανοικτοί.

### Διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM)

Η καταλληλότητα των μετατροπέων που παρέχουν τετραγωνικό κύμα εναλλασσόμενης τάσης περιορίζεται σε φορτία αντίστασης με χαμηλές απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα ισχύος, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως. Για τους μετατροπείς που τροφοδοτούν το δίκτυο ή τροφοδοτούν εφαρμογές εναλλασσόμενου ρεύματος εκτός δικτύου, είναι απαραίτητο ένα ημιτονοειδές κύμα τάσης και ρεύματος. Η διαμόρφωση εύρους (πλάτους) παλμών (PWM) είναι μια τεχνική που παράγει ορθογώνια παλμικά κύματα πολύ μικρής διάρκειας, των οποίων η μέση τάση συμπεριφέρεται παρόμοια με ένα ημιτονοειδές κύμα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της PWM είναι ότι οι απώλειες ισχύος στις διατάξεις μεταγωγής είναι χαμηλές.

Στη διαμόρφωση πλάτους ημιτονοειδούς παλμού, ένας συγκριτής συγκρίνει τις τάσεις ενός σήματος υψηλής συχνότητας (φέρων σήμα) με ένα σήμα αναφοράς (για φωτοβολταϊκά που συνδέονται με το δίκτυο, αυτή θα ήταν η τάση του δικτύου).

Οι διακόπτες ελέγχονται από συγκριτές: εάν το σήμα αναφοράς είναι υψηλότερο από το τριγωνικό σήμα, ο συγκριτής κλείνει συγχρονισμένα τους διακόπτες S1 και S4, παράγοντας θετική τάση στην έξοδο. Ένας δεύτερος συγκριτής χρησιμοποιεί ένα ανεστραμμένο τριγωνικό σήμα, διακόπτει τους διακόπτες S2 και S3 και παράγει αρνητική τάση στην έξοδο. Οι παλμοί που παράγονται από τους S1 και S4 σχηματίζουν το θετικό μισό του ημιτονοειδούς σήματος, ενώ οι S2 και S3 σχηματίζουν το αρνητικό μισό.



Σχήμα 5: Αρχή λειτουργίας των μετατροπέων με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM) συνδεδεμένων στο δίκτυο.

Σχήμα 5 απεικονίζει μισή περίοδο της σύγκρισης των δύο σημάτων καθώς και το προκύπτον σήμα εξόδου, του οποίου ο μέσος όρος συμπεριφέρεται παρόμοια με ένα ημιτονοειδές κύμα. Για λόγους απεικόνισης, το φέρων σήμα έχει σημαντικά χαμηλότερη συχνότητα από ό,τι στην πραγματικότητα.

Το φέρων σήμα είναι συνήθως σήμα τριγωνικής μορφής με συχνότητα μεταξύ 10 και 100 kHz, ελαχιστοποιώντας μη επιθυμητές επιδράσεις όπως θόρυβοι, ρεύματα κυματισμού και αρμονικές παραμορφώσεις. Δύο παράμετροι περιγράφουν την τεχνική PWM: ο δείκτης διαμόρφωσης  $m_a$  και ο δείκτης διαμόρφωσης συχνότητας  $m_f$ .

Ο δείκτης διαμόρφωσης  $m_a$  είναι ο λόγος των πλατών των δύο σημάτων:

$$m_a = \frac{V_{\text{reference signal}}}{V_{\text{carrier signal}}}$$

Ο δείκτης διαμόρφωσης καθορίζει το πλάτος του σήματος εξόδου.

Ο δείκτης διαμόρφωσης συχνότητας  $m_f$  είναι ο λόγος των συχνοτήτων των δύο σημάτων:

$$m_f = \frac{f_{\text{carrier signal}}}{f_{\text{reference signal}}}$$

Όσο υψηλότερη είναι η φέρουσα συχνότητα, τόσο περισσότερο η κυματομορφή εξόδου μοιάζει με το καθαρό ημιτονοειδές κύμα που παράγεται από το δίκτυο.

Για να λειτουργήσει με συντελεστή ισχύος διαφορετικό από 1 (δηλαδή ο μετατροπέας παρέχει άεργο ισχύ), το σήμα PWM πρέπει να υστερεί ή να προηγείται σε σχέση με την τάση του δικτύου. Η μετατόπιση φάσης ρυθμίζεται με την καθυστέρηση του σήματος από τους



συγκριτές. Θεωρητικά, είναι δυνατή μια μετατόπιση φάσης μεταξύ  $-180^\circ$  και  $+180^\circ$ . Στην πράξη, η γωνία περιορίζεται, καθώς εμφανίζεται παραμόρφωση σε υψηλές γωνίες φάσης.

Επιπλέον, για να είναι δυνατή η διαχείριση της άεργου ισχύος, απαιτείται αντίστροφη ροή ισχύος από AC σε DC. Η ενέργεια από την άεργο ισχύ πρέπει να μπορεί να ρέει μέσω της γέφυρας ισχύος και αποθηκεύεται στον πυκνωτή συνεχούς ρεύματος προτού διοχετευθεί εκ νέου στο δίκτυο.

Με την παροχή άεργου ισχύος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σε θέση να ρυθμίζουν και να σταθεροποιούν την τάση του δικτύου. Καθώς η ροή άεργου ισχύος μειώνει τη μετάδοση ενεργού ισχύος, θα πρέπει να παρέχεται τοπικά. Κατά συνέπεια, σταθεροποιώντας την τάση του δικτύου τοπικά, οι φωτοβολταϊκοί μετατροπείς μπορούν να μειώσουν τις απαιτήσεις για πρόσθετες γραμμές ισχύος.

### Μετατροπείς με και χωρίς μετασχηματιστές

Οι μετατροπείς μπορούν να ενσωματώνουν μετασχηματιστές ή να είναι χωρίς μετασχηματιστή. Η κύρια διαφορά είναι ότι οι μετασχηματιστές παρέχουν γαλβανική απομόνωση μεταξύ του δικτύου κοινής ωφέλειας και της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Ωστόσο, οι μετασχηματιστές προκαλούν απώλειες έως και 2% και διαθέτουν μεταλλικό πυρήνα και πρόσθετες περιελίξεις. Οι μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή έχουν υψηλότερη απόδοση, είναι κατά 50-70% μικρότεροι και φθηνότεροι στην παραγωγή.



Σχήμα 6 : Μετατροπείς βασισμένοι σε μετασχηματιστή (αριστερά) και μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή-δεξιά (τοπολογία H4).

Στο Σχήμα 6 - αριστερά, υπάρχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του δικτύου. Διαφορετικές διαμορφώσεις κυκλωμάτων γέφυρας για χαμηλή και υψηλή συχνότητα. Δεξιά στον μετατροπέα χωρίς μετασχηματιστή, δεν υπάρχει μετασχηματιστής, δεν υπάρχουν απώλειες στην πλευρά του μετασχηματιστή (κατά μέσο όρο 2%), μικρότερο βάρος, φθηνότερο. Δεν υπάρχει γαλβανική απομόνωση, δεν είναι κατάλληλος για την τεχνολογία φωτοβολταϊκών μονάδων με βάση το λεπτό υμένιο και την τεχνολογία φωτοβολταϊκών μονάδων με οπίσθια επαφή c-Si.

Εάν δεν υπάρχει μετασχηματιστής, η φωτοβολταϊκή συστοιχία πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει τάση σημαντικά υψηλότερη από την τάση αιχμής του δικτύου κοινής ωφέλειας, είτε απευθείας από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία είτε μέσω μετατροπέων DC/DC (που συνεπάγεται απώλειες). Οι κεντρικοί μετατροπείς μπορεί να διαθέτουν, αλλά συνήθως δεν διαθέτουν μετασχηματιστές.

Δεν υπάρχει διαδρομή αγωγής συνεχούς ρεύματος από το ένα πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή στο δευτερεύον τύλιγμα - αυτό αναφέρεται ως γαλβανική απομόνωση.

Ορισμένες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών μονάδων, όπως οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών μονάδων με βάση το λεπτό υμένιο και οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών μονάδων με οπίσθια





επαφή (back-contact) με βάση το c-Si, απαιτούν γαλβανική απομόνωση, επομένως δεν είναι κατάλληλες για μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή (ανατρέξτε στα φύλλα δεδομένων και τους κωδικούς).

Χωρίς γαλβανική απομόνωση, απαιτείται μια συσκευή προστασίας από ρεύμα σφάλματος (RCD) - που στις ΗΠΑ ονομάζεται διακόπτης ρεύματος σφάλματος γείωσης (GFI) - στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος. Πάντα να συμβουλευέστε την εθνική. Κώδικες συχνά έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σχετικά με τη χρήση μετατροπών χωρίς μετασχηματιστή.

Τα φωτοβολταϊκά εξαρτήματα λεπτού υμενίου έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τάσης από τα φωτοβολταϊκά εξαρτήματα πυριτίου. Οι μετατροπείς για μονάδες λεπτού υμενίου πρέπει να έχουν μεγαλύτερο εύρος τάσης εισόδου - η διαφορά μεταξύ Voc και Vmprr είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, σε σύγκριση με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία c-Si, τα στοιχεία λεπτού υμενίου παράγουν μικρότερα ρεύματα και υψηλότερες τάσεις.

Κατά τους πρώτους μήνες λειτουργίας, η απόδοση των στοιχείων λεπτού υμενίου μειώνεται σταδιακά κατά 10% έως 30% λόγω του φαινομένου Stabler-Wronski. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή ενός μετατροπέα.

Πολλές μονάδες λεπτού υμενίου απαιτούν μετατροπείς με μετασχηματιστές ή μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή με αρνητική γείωση/γείωση. Ο λόγος είναι ότι το στρώμα διαφανούς αγωγίμου οξειδίου (TCO) μπορεί να διαβρωθεί όταν χρησιμοποιείται ακατάλληλη διαμόρφωση του μετατροπέα. Το στρώμα TCO είναι ένα διαφανές στρώμα μεταξύ του γυαλιού και του στρώματος φωτοηλεκτρικής μετατροπής των μονάδων λεπτού υμενίου (η ακτινοβολία περνάει μέσα από το TCO) και είναι αγωγίμο. Δεν ενσωματώνουν όλες οι μονάδες λεπτών υμενίων στρώματα TCO. Ένας λόγος για τη διάβρωση του TCO είναι η υγρασία στη μονάδα- ένας άλλος λόγος είναι η ακατάλληλη γείωση. Με τον αρνητικό πόλο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας γειωμένο, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο που απωθεί τα θετικά φορτισμένα ιόντα (Na<sup>+</sup>) που περιέχονται στο γυαλί, αποτρέποντας έτσι τη διάβρωση. Η διάβρωση TCO είναι μη αναστρέψιμη και προκαλεί στο TCO μια "γαλακτώδη" εμφάνιση και μειώνει την αγωγιμότητά του. Κατά συνέπεια, η διάβρωση TCO αποτελεί κίνδυνο μόνιμης μείωσης της ισχύος της μονάδας.

Ένα πρόσθετο ζήτημα είναι ότι μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του γειωμένου πλαισίου μπορεί να εμφανιστεί μια χωρητικότητα: οι ίδιες οι μονάδες είναι ηλεκτρικά φορτισμένες και η χωρητικότητα αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας των μονάδων και τη μείωση της απόστασης μεταξύ των μονάδων και του πλαισίου. Καθώς οι μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή δεν απομονώνουν την πλευρά συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, το χωρητικό ρεύμα μπορεί να εκφορτιστεί μέσω του μετατροπέα και των συνδέσεων γείωσης. Στην πλευρά DC, ο αρνητικός πόλος του κυκλώματος μπορεί να χρειαστεί να γειωθεί.

Λόγω αυτών των θεμάτων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να συμβουλευέστε τα φύλλα δεδομένων και τις οδηγίες εγκατάστασης, καθώς και τους σχετικούς κώδικες. Οι κατασκευαστές μετατροπών παρέχουν συχνά περαιτέρω πληροφορίες και μπορούν να κάνουν συστάσεις.

### Συμμόρφωση με το δίκτυο του μετατροπέα

Οι περισσότερες χώρες με ανεπτυγμένη φωτοβολταϊκή βιομηχανία διαθέτουν κατάλογο επίσημα εγκεκριμένων μετατροπών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο. Οι επιχειρήσεις



κοινής ωφέλειας έχουν επίσης τις δικές τους απαιτήσεις. Έτσι, για μικρότερα συστήματα, η επιλογή ενός συμβατού μετατροπέα θα είναι συνήθως αρκετά απλή. Ωστόσο, για μεγαλύτερα συστήματα και ηλιακά πάρκα, θα πρέπει να ζητηθεί η γνώμη του διαχειριστή του δικτύου και να ληφθεί έγκριση.

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά το όλο θέμα της αλληλεπίδρασης/αντιστοίχισης δικτύου/Φ/Β συστήματος και προκειμένου να διασφαλιστεί η τεχνικά ασφαλής, χωρίς διαταραχές και υποστηρικτική προς το δίκτυο λειτουργία των Φ/Β συστημάτων, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- Η ικανότητα φόρτωσης του εξοπλισμού του δικτύου κοινής ωφέλειας:
  - Είναι το τμήμα του δικτύου σε θέση να απορροφήσει την ηλεκτρική ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος ανά πάσα στιγμή;
- Μεταβολές της τάσης στο δίκτυο:
  - Είναι η μεταβολή της τάσης που προκαλείται από το φωτοβολταϊκό σύστημα εντός καθορισμένων ορίων;
  - Πώς μπορεί να περιοριστεί;
- Πιθανές διαταραχές του δικτύου που προκαλούνται από το φωτοβολταϊκό σύστημα:
  - Τι είδους διαταραχές θα μπορούσε να προκαλέσει ένα ΦΒ σύστημα;
  - Ποια είναι τα αποδεκτά όρια;
- Η συμπεριφορά του ΦΒ συστήματος σε περίπτωση διαταραχών του δικτύου:
  - Εάν υπάρξει διαταραχή του δικτύου, ποια χαρακτηριστικά αυτόματου και ενεργού ελέγχου διαθέτει το ΦΒ σύστημα που μπορούν να υποστηρίξουν το δίκτυο ή να αποτρέψουν περαιτέρω δυσμενείς επιπτώσεις; (Η ικανότητα ενός μετατροπέα να παρέχει άεργο ισχύ είναι επίσης σημαντικό κριτήριο).

Η αξιολόγηση της συνδεσιμότητας και της συμβατότητας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (ιδίως των μεγαλύτερων) με ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάταξη, την κατάσταση και τα χαρακτηριστικά του αντίστοιχου τμήματος του δικτύου στο οποίο εγκαθίσταται το σύστημα. Εξαρτάται επίσης από τη διάταξη και τη χωρητικότητα καθώς και από τις ηλεκτρικές παραμέτρους του ίδιου του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατή μια γενική δήλωση σχετικά με τη συνδεσιμότητα και τη συμβατότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η συνδεσιμότητα και η συμβατότητα πρέπει να αξιολογούνται ξεχωριστά από τους τοπικούς διαχειριστές δικτύου.

Μια καλή αναφορά σχετικά με αυτά τα θέματα, για μεγάλα κεντρικά συστήματα, είναι η *Γερμανική τεχνική οδηγία: Σταθμοί παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο μέσης τάσης*.

Στην περίπτωση μικρότερων οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο φορέας εκμετάλλευσης πρέπει συνήθως να προσκομίσει το λεγόμενο "πιστοποιητικό μονάδας" για τον μετατροπέα. Αυτό πιστοποιεί ότι ο μετατροπέας συμμορφώνεται με τον κώδικα δικτύου. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απίθανο να αρνηθεί ο διαχειριστής δικτύου τη σύνδεση στο δίκτυο τέτοιων μετατροπέων.

### Πρότυπα για μετατροπείς συνδεδεμένους στο δίκτυο

Σημαντικά πρότυπα:

- Ασφάλεια: IEC 62093, IEC 61730, DIN EN 50178, 2006/95/EG



- Συμμόρφωση με το πλέγμα: DIN EN 60146 1-1, DIN EN 60146 1-3
- EMC (ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα) 2004/108/EG
- Αποδοτικότητα: IEC 61683
- Φύλλο δεδομένων: DIN EN 50524.

### Διαστασιολόγηση ισχύος μετατροπέα σε συστοιχία

Ο μετατροπέας θα πρέπει να διαστασιολογείται κατά τρόπο που να επιτρέπει στον μετατροπέα να λειτουργεί με βέλτιστη συνολική απόδοση.

Ο "συντελεστής διαστασιολόγησης" και ο "λόγος ισχύος", αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ της φωτοβολταϊκής ισχύος αιχμής ( $W_p$ ) και της ονομαστικής ισχύος (η μέγιστη ισχύς εξόδου AC) ενός μετατροπέα. Η διαστασιολόγηση της ισχύος του μετατροπέα σειράς περιλαμβάνει τη λήψη απόφασης σχετικά με τον λόγο ισχύος μεταξύ της ονομαστικής ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του μετατροπέα. Συνήθως, η ονομαστική ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι υψηλότερη από την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα. Ένας από τους κύριους λόγους για την "υπερδιαστασιολόγηση" της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε σχέση με τον μετατροπέα είναι η αντιστάθμιση των απωλειών θερμότητας. Ή, για να το θέσουμε με άλλα λόγια: δεδομένου ότι η φωτοβολταϊκή συστοιχία, ιδίως σε θερμότερα κλίματα, μόνο σπάνια θα φτάσει στην πλήρη ονομαστική της ισχύ, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας μικρότερος, άρα φθηνότερος, μετατροπέας.

Ένας άλλος λόγος για την υπερδιαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι το γεγονός ότι οι μονάδες υποβαθμίζονται με την πάροδο του χρόνου. Μια νεοεγκατεστημένη φωτοβολταϊκή συστοιχία μπορεί να παράγει, κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της, μια παραγωγή που αξιοποιεί τέλεια την καμπύλη απόδοσης του μετατροπέα- αλλά, όσο περισσότερο λειτουργεί το φωτοβολταϊκό σύστημα, τόσο θα μειώνεται η παραγωγή της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Στη συνέχεια, ο μετατροπέας μπορεί όλο και συχνότερα να λειτουργεί σε λιγότερο βέλτιστη κατάσταση (οι χαμηλές εισροές DC μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλότερη απόδοση του μετατροπέα, ιδίως σε συνθήκες χαμηλής ακτινοβολίας). Εάν κάποιος υπερμετρήσει προσεκτικά τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, είναι δυνατόν να αντισταθμίσει τουλάχιστον εν μέρει την επίδραση της μειωμένης εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην απόδοση του μετατροπέα.

Επιπλέον, η υπερδιαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας οδηγεί στην κατάσταση κατά την οποία ο μετατροπέας λειτουργεί συχνότερα στη μέγιστη ισχύ του. Αυτό σημαίνει επίσης ότι η έξοδος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να είναι πιο σταθερή όσο περισσότερο υπερδιαστασιολογείται η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η ακτινοβολία είναι γενικά υψηλή και δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις.

Οι κατασκευαστές μετατροπέων παρέχουν συνήθως μια μέγιστη ονομαστική ισχύ DC (@  $\cos \phi = 1$ ). Για παράδειγμα, για τον SMA Sunny Boy 1200 (ονομαστική έξοδος AC 1.200 W) είναι 1.320 W. Στη Βόρεια Ευρώπη, για παράδειγμα, οι μετατροπείς τυπικά διαστασιολογούνται στην περιοχή 100 - 80% της ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Η απόφαση για την επιλογή του μετατροπέα θα πρέπει να βασίζεται σε τρεις παράγοντες:

1. **Καμπύλη απόδοσης του μετατροπέα:** πόσο μειώνεται η απόδοση μετατροπής κατά τη μετατόπιση της λειτουργίας προς το μερικό φορτίο;



2. **Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας:** ποιο είναι το εύρος της φωτοβολταϊκής παραγωγής και πόσο συχνά θα εμφανίζονται ορισμένες συνθήκες ακτινοβολίας; Το δεύτερο μέρος αυτής της ερώτησης καθορίζει πόσο μπορεί να υπερδιαστασιολογηθεί η φωτοβολταϊκή συστοιχία και πόσο συχνά θα απενεργοποιείται ο μετατροπέας.
3. **Συντελεστές θερμοκρασίας των μονάδων:** η θερμοκρασία των μονάδων επηρεάζει την τάση και την ισχύ εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

#### *Τι συμβαίνει όταν ένας μετατροπέας υπερφορτώνεται;*

Ένας μετατροπέας υπερφορτώνεται όταν, π.χ., ένας μετατροπέας που έχει σχεδιαστεί για να επεξεργάζεται 2 kW από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία τροφοδοτείται με 2,1 kW.

Οι μετατροπείς είναι γενικά σε θέση να λειτουργούν σε κατάσταση υπερφόρτωσης εάν διαθέτουν δυνατότητα περιορισμού της ισχύος, κάτι που ισχύει για τα περισσότερα προϊόντα της αγοράς. Ο περιορισμός ισχύος σημαίνει ότι ένας μετατροπέας απλά "κόβει" την επιπλέον ισχύ που παρέχεται από τη συστοιχία ελέγχοντας το ρεύμα. Αυτό αναφέρεται συχνά ως "ψαλίδισμα". Η περικοπή πρέπει να συμβαίνει για να προστατεύεται ο μετατροπέας από την υπερθέρμανση. Η περικοπή δεν είναι κάτι που μπορεί να βλάψει τον μετατροπέα ή να μειώσει την απόδοσή του.

Οι σχεδιαστές πρέπει επίσης να γνωρίζουν τα ζητήματα που μπορεί να προκύψουν σε περίπτωση ηλεκτρικών βλαβών. Για παράδειγμα, εάν εμφανιστεί σφάλμα χαμηλής σύνθετης αντίστασης (βραχυκύκλωμα) στην πλευρά DC του μετατροπέα μεταξύ μη γειωμένων και γειωμένων κυκλωμάτων, ο μετατροπέας πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει το μέγιστο δυνατό βραχυκύκλωμα που παρέχει η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Εάν η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι υπερμεγέθης, είναι πιθανό η ικανότητα βραχυκυκλώματος του μετατροπέα να μην είναι σε θέση να διαχειριστεί με ασφάλεια το μέγιστο δυνατό ρεύμα βραχυκυκλώματος που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Εφόσον όμως οι παράμετροι αυτές είναι γνωστές (το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης των ΦΒ συστοιχιών και η ονομαστική ισχύς βραχυκύκλωσης του μετατροπέα), είναι δυνατόν να ληφθεί υπόψη αυτό το σενάριο κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

#### *Τι συμβαίνει όταν ένας μετατροπέας έχει πολύ μεγάλο μέγεθος;*

Ένας μετατροπέας που έχει διαστασιολογηθεί υπερβολικά μεγάλος θα εκκινεί αργά στην αρχή της ημέρας, επειδή η πρωινή ηλιοφάνεια μπορεί να μην παρέχει αρκετή φωτοβολταϊκή έξοδο για να καλύψει το εύρος τάσης εισόδου (ισχύς κατωφλίου) του μετατροπέα. Επιπλέον, ο μετατροπέας θα σταματήσει τη λειτουργία του σχετικά νωρίς το βράδυ, όταν το ρεύμα του Φ/Β πέσει και πάλι κάτω από το εύρος ρεύματος λειτουργίας του μετατροπέα.

Κατά τη χειμερινή περίοδο (μήνες με χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία), ο μετατροπέας μπορεί να μετατρέπει μόνο ένα ελάχιστο της εισερχόμενης ισχύος κατά τη διάρκεια υπερβολικά ομιχλώδους και συννεφιασμένης ημέρας, επειδή η ακτινοβολία δεν επαρκεί για να παράγει αρκετό ρεύμα. Επιπλέον, ο μετατροπέας θα λειτουργεί συχνότερα μόνο υπό μερικό φορτίο, γεγονός που μειώνει την απόδοσή του μετατροπέα.

#### *Παράδειγμα: επιλογή του αριθμού των μετατροπέων για ένα ηλιακό πάρκο*

Σχεδιάζεται ένα ηλιακό πάρκο 20 MWp. Η αρχική παραδοχή είναι ότι θα εγκατασταθούν 40 κεντρικοί μετατροπείς ισχύος 500 kW. Για έναν μετατροπέα 500 kW αυτό θα σήμαινε μια φωτοβολταϊκή συστοιχία με το ακόλουθο εύρος ισχύος:  $80\% (400 \text{ kWp}) < \text{PDC max} / \text{Pmp} \text{ stc}$



< 120% (600 kWp). Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε μετατροπέα 500 kW μπορούν να συνδεθούν διαφορετικές διαμορφώσεις μονάδων μεταξύ 400 kWp και 600 kWp ή να τροποποιηθεί ο αριθμός των μετατροπέων. Για να καταλήξουμε στην τελική διαμόρφωση του συστήματος πρέπει να δοκιμάσουμε διάφορες διαμορφώσεις των μονάδων και των μετατροπέων μέχρι να καταλήξουμε στη βέλτιστη συνολική διαμόρφωση, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αυτή, 34 μετατροπείς με συνολική ονομαστική ισχύ 17 MW θα μπορούσαν να είναι επαρκείς για την υλοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος των 20 MWp (118% φόρτιση των επιμέρους μετατροπέων).

### Επιλογή μετατροπέων για ηλιακά πάρκα και μεγάλες φωτοβολταϊκές συστοιχίες πεδίου

Μία από τις πιο σημαντικές αποφάσεις είναι η επιλογή της φιλοσοφίας σχεδιασμού του μετατροπέα: μετατροπείς συστοιχίας ή κεντρικός(-οί) μετατροπέας(-είς). Δεν είναι δυνατόν να δοθεί ένας σαφής κανόνας για το ποιος τύπος μετατροπέα πρέπει να επιλεγεί. Η επιλογή θα εξαρτηθεί από μια σειρά τεχνικών αλλά και οικονομικών εκτιμήσεων.

Ο ακόλουθος πίνακας παρέχει μια επισκόπηση των κύριων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τόσο της έννοιας του μετατροπέα χορδής όσο και του κεντρικού μετατροπέα.

	Αποκεντρωμένο (μετατροπέας συστοιχίας)	Κεντρικό (κεντρικός μετατροπέας)
Συνιστώμενο μέγεθος συστήματος	1 - 1,000 kWp	>≈ 500 kWp
Πλεονεκτήματα	Ευέλικτος σχεδιασμός/επέκταση του συστήματος Λιγότερη καλωδίωση DC / λιγότεροι απαιτούμενοι διακόπτες Απλούστερη εφοδιαστική Χαμηλότερες απώλειες αναντιστοιχίας (κάθε μετατροπέας έχει τα δικά του MPPT) Ευκολότερη λειτουργία και διαχείριση (αντικατάσταση μετατροπέα) Χαμηλότερη ευπάθεια / λιγότερος χρόνος διακοπής λειτουργίας	Χαμηλότερη ειδική τιμή Υψηλότερη απόδοση (χαμηλότερη αυτοκατανάλωση, υψηλότερη αποδοτικότητα) Ταχύτερος δυναμικός έλεγχος Ευκολότερη ενημέρωση Σαφέστερη ρύθμιση Απλούστερη επικοινωνία Ταχύτερη θέση σε λειτουργία
Μειονεκτήματα	Υψηλότερη τιμή Χαμηλότερη απόδοση Πολύπλοκη εγκατάσταση του συστήματος	Χρειάζεται μεγαλύτερη υλικοτεχνική προσπάθεια



		Υψηλότερη ευπάθεια / αυξημένος χρόνος διακοπής λειτουργίας Υψηλότερο κόστος O&M
--	--	--

Πίνακας 1: Σύγκριση των μετατροπών συστοιχίας και των κεντρικών μετατροπών

Αν και πολλά από τα παραπάνω του παραπάνω πίνακα είναι αυτονόητα, παρακαλούμε να σημειώσετε τις ακόλουθες πρόσθετες παρατηρήσεις:

- Τρωτότητα λόγω διακοπής λειτουργίας: Εάν ένας κεντρικός μετατροπέας τεθεί εκτός λειτουργίας, ένα πολύ μεγάλο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος (ή ακόμη και ολόκληρο το φωτοβολταϊκό σύστημα εάν χρησιμοποιείται ένας μόνο κεντρικός μετατροπέας) θα σταματήσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν διαδικασίες που επιτρέπουν την πολύ γρήγορη επισκευή. Εάν ένας από τους πολλούς μετατροπείς συστοιχίας παρουσιάσει βλάβη, μόνο ένα συγκριτικά μικρό μέρος της δυνητικής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν θα είναι διαθέσιμο. Αν και, φυσικά, οι ελαττωματικοί μετατροπείς χορδής πρέπει να επισκευάζονται ή να αντικαθίστανται γρήγορα- οι χρηματικές απώλειες θα είναι συγκριτικά χαμηλές εάν οι χρόνοι επισκευής/αντικατάστασης είναι σύντομοι.
- Χαμηλότερες απώλειες αναντιστοιχίας: Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου μεμονωμένες σειρές ή τμήματα μιας Φ/Β εγκατάστασης έχουν διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας, συνιστάται η χρήση της έννοιας του μετατροπέα σειράς. Αυτό μπορεί να συμβάλει, για παράδειγμα, εάν τμήματα του φωτοβολταϊκού σταθμού έχουν διαφορετικό προσανατολισμό ή επηρεάζονται άνισα από τη σκίαση. Υπό διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας, οι τρέχουσες έξοδοι των διαφορετικών σειρών θα είναι διαφορετικές. Δεδομένου ότι το χαμηλότερο ρεύμα επηρεάζει το συνολικό ρεύμα των σειριακών συνδέσεων στοιχειοσειρών, είναι προτιμότερο να ομαδοποιούνται στοιχειοσειρές με παρόμοιες συνθήκες ακτινοβολίας και να συνδέονται αυτές οι στοιχειοσειρές στους δικούς τους μετατροπείς στοιχειοσειρών.

## Επισκόπηση της διαδικασίας ηλεκτρολογικού σχεδιασμού και εγκατάστασης

Μετά από όλη τη μηχανική εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος, τα διάφορα μέρη πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους ώστε να εξασφαλιστεί η ροή της ηλεκτρικής ενέργειας.





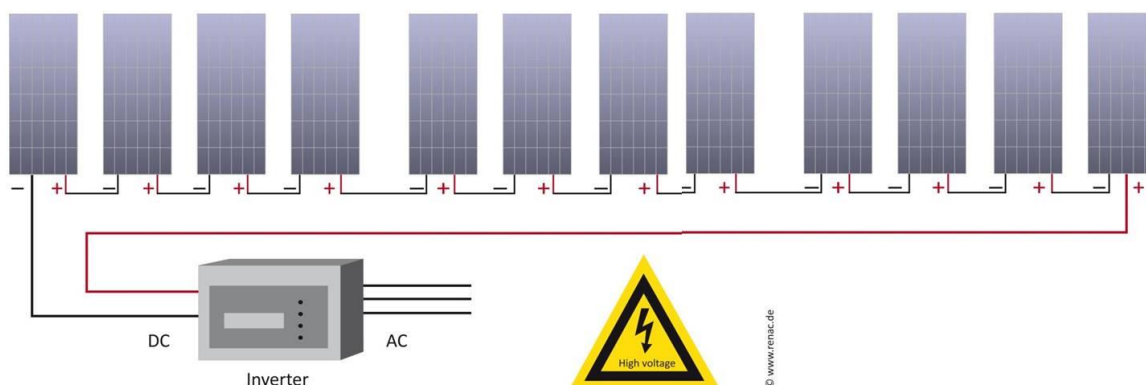
## Εργαλεία για την εγκατάσταση

Πίνακας 2: Ορισμένα εργαλεία για την εγκατάσταση και τη συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. (Πηγή: Installation, Operation & Maintenance of Solar PV Microgrid Systems, GSES India Sustainable Energy Pvt. Ltd. for Clean Energy Access Network (CLEAN), 2015)

1	Κουτί πρώτων βοηθειών
2	Ημερολόγιο σέρβις συστήματος
3	Φύλλο δεδομένων & εγχειρίδιο O&M
4	Αυτό το εγχειρίδιο
5	Χαρτί/Μολύβι
6	Πολύμετρο, ψηφιακό βολτόμετρο, με δυνατότητα ρεύματος τουλάχιστον 10Α, εφεδρικές μπαταρίες
7	Αμπερόμετρο συνεχούς ρεύματος
8	Κλειδιά: Ειδικά μεγέθη, για όλες τις βίδες στερέωσης- Ρυθμιζόμενα, για απροσδόκητα προβλήματα επί τόπου- Λαβίδες Vise-Grips για μεταβλητή και βαριά χρήση
9	Πυξίδα και ηλιακός ανιχνευτής
10	Κατσαβίδια: με επίπεδη λεπίδα, σε μεγέθη για όλα τα εξαρτήματα τοποθέτησης- Phillips, σε μεγέθη για όλα τα εξαρτήματα τοποθέτησης- Μικρό μέγεθος κοσμήματος, για τη ρύθμιση των χειριστηρίων
11	Πένσα για τον τεχνικό γραμμής, μύτη πένσας
12	Κατσαβίδια 1/4in και 5/16in
13	Μετροταινία (25m)
14	Δείκτης γωνίας κλίσης ή βαρίδι και γωνιόμετρο
15	Υδρόμετρο
16	Γυαλιά ασφαλείας
17	Γάντια από καουτσούκ
18	Ηλεκτρική ταινία
19	Εργαλείο (-α) πρεσαρίσματος, απογύμνωσης και κοπής καλωδίων
20	Διάφορα για συνδέσεις: βίδες, παξιμάδια καλωδίων, ακροδέκτες, σύνδεσμοι χωρίς κόλληση
21	Τρυπάνι χειρός ή ηλεκτρικό τρυπάνι συνεχούς ρεύματος
22	Συγκολλητήρι συνεχούς ρεύματος
23	Πριόνι
24	Μαχαίρι γενικής χρήσης
25	Σφυρί
26	Σκάλα

## Σύνδεση συστοιχιών μονάδων σε συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες στα συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο συνδέονται σε μεγάλες σειρές για να παρέχουν τις τάσεις που απαιτούνται από τους μετατροπείς που συνδέονται στο δίκτυο.



Σχήμα 7: Συστοιχία φωτοβολταϊκών μονάδων 240 Wp συνδεδεμένων σε έναν μετατροπέα σε σειρά.

Η συνολική μέγιστη ισχύς εξόδου της συστοιχίας (Σχήμα 7) είναι  $12 \times 240 \text{ Wp} = 2.880 \text{ Wp}$ . Αυτό είναι αρκετά τυπικό για ένα οικιακό σύστημα. Εάν η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  κάθε μεμονωμένης μονάδας είναι 29,4 V, τότε η συνολική  $V_{oc}$  της φωτοβολταϊκής συστοιχίας θα είναι  $12 \times 29,4 \text{ V} = 352,8 \text{ V}_{oc}$  (DC).

Σχεδιάστε ή ακολουθήστε, εάν υπάρχουν, τα διαγράμματα διασύνδεσης των μονάδων πριν τις συνδέσετε σε συστοιχία σε σειρά ή παράλληλα.

### Καλωδίωση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Πολλές φωτοβολταϊκές μονάδες διατίθενται με ήδη συνδεδεμένα καλώδια και συνδέσμους (Σχήμα 8). Κατά την τοποθέτηση των συνδέσμων, πρέπει να γνωρίζετε ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι στην αγορά, οι οποίοι δεν είναι συμβατοί μεταξύ τους και απαιτούν διαφορετικά εργαλεία πρεσαρίσματος/τερματισμού.



Σχήμα 8: Μονάδα λεπτής μεμβράνης με ήδη προσαρτημένους συνδέσμους (δεξιά) και πολωμένος σύνδεσμος καλωδίου προς καλώδιο (δεξιά).

Η μονάδα λεπτής μεμβράνης με ήδη προσαρτημένους συνδετήρες (Σχήμα 8) επιτρέπει την πολύ γρήγορη σύνδεση σειρών μονάδων μεταξύ τους. Οι σύνδεσμοι είναι Multicontact MC3, ενώ ο πολωμένος σύνδεσμος βύσμα-υποδοχή καλωδίου-καλώδιο, διπλά πολωμένος, ανθεκτικός στην υπεριώδη ακτινοβολία και κατάλληλος για εξωτερική χρήση, που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση καλωδίων DC-sting, από την Multicontact, τύπου: MC4.



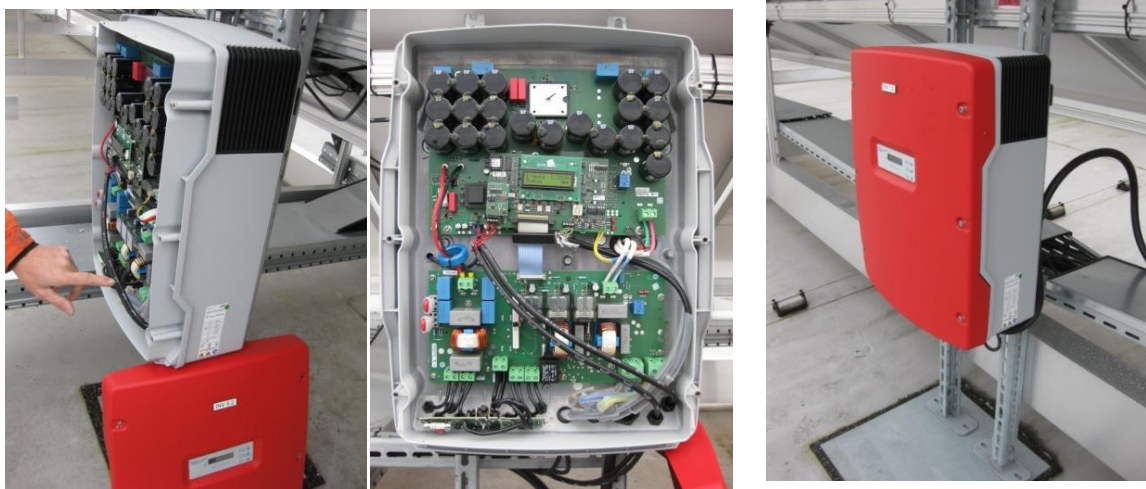
Για περισσότερες πληροφορίες από την Rennsteig σχετικά με τον τρόπο χρήσης των εργαλείων πρεσαρίσματος/τερματισμού της, επισκεφθείτε την ιστοσελίδα [www.rennsteig.com](http://www.rennsteig.com).

## Εγκατάσταση μετατροπέα

Διαβάζετε πάντα τα εγχειρίδια του μετατροπέα, καθώς οι απαιτήσεις εγκατάστασης μπορεί να διαφέρουν από μετατροπέα σε μετατροπέα. Τηρείτε τους σχετικούς ηλεκτρικούς κώδικες.

Οι γενικοί κανόνες που πρέπει να τηρούνται είναι οι εξής:

- Εγκαταστήστε όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις μονάδες, ώστε να ελαχιστοποιήσετε τις διαδρομές καλωδίων συνεχούς ρεύματος.
- Σε περίπτωση εγκατάστασης σε εξωτερικό χώρο, ο μετατροπέας θα πρέπει να είναι διαβαθμισμένος για το κατάλληλο εύρος θερμοκρασιών και να έχει την κατάλληλη προστασία IP. Η κλάση IP ταξινομεί και βαθμολογεί το βαθμό προστασίας που παρέχεται από την εισροή νερού, σκόνης κ.λπ.
- Ο μετατροπέας δεν πρέπει να εγκαθίσταται σε σημείο όπου εκτίθεται σε άμεσο ηλιακό φως.
- Αποφεύγετε τοποθεσίες με πιθανές πηγές υγρασίας (υγρά κελάρια, πάνω από πλυντήριο ρούχων), σκονισμένες τοποθεσίες (ορισμένες αποθήκες).
- Φροντίζετε πάντα να μην εγκαθίσταται ο μετατροπέας σε μέρη με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς (π.χ. μέρη όπου αποθηκεύονται εύφλεκτα υλικά, όπως άχυρα/ άχυρα). Σε περίπτωση αμφιβολίας, ζητήστε τη γνώμη ενός ειδικού ή ανατρέξτε σε κώδικες.
- Αποφύγετε θερμές τοποθεσίες που θα προκαλέσουν μεγαλύτερη θέρμανση του μετατροπέα απ' ό,τι σε κανονική λειτουργία, π.χ. χώροι κάτω από στέγες. Οι υπερθερμασμένοι μετατροπείς που κατά συνέπεια απορυθμίζονται, αποτελούν συχνή αιτία μειωμένης απόδοσης του συστήματος. Η ψύξη με ανεμιστήρα μπορεί να είναι μια επιλογή.
- Λάβετε υπόψη ότι ορισμένοι μετατροπείς μπορεί να δονηθούν και να κάνουν θόρυβο κατά τη λειτουργία τους.
- Οι μετατροπείς πρέπει να είναι προσβάσιμοι για συντήρηση και επισκευές.
- Η καλωδίωση του μετατροπέα πρέπει να πραγματοποιείται με τον μετατροπέα αποσυνδεδεμένο τόσο από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία όσο και από το δίκτυο.
- Οι εγκαταστάτες πρέπει να γνωρίζουν τους ιδιαίτερους κινδύνους που σχετίζονται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, ιδίως κατά τη διενέργεια ηλεκτρικών δοκιμών.



Σχήμα 9: Μετατροπέας SMA Sunny Mini-Central. Ο μετατροπέας εγκαθίσταται σε μια επίπεδη δομή τοποθέτησης στην οροφή κάτω από τη συστοιχία φωτοβολταϊκών μονάδων. Τελική οπτική επιθεώρηση (πάνω αριστερά), εσωτερική άποψη (πάνω δεξιά), ολοκληρωμένη εγκατάσταση (κάτω αριστερά).

### Καλωδίωση συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος (συμπεριλαμβανομένων των προστατευτικών διατάξεων), κουτί συνδυασμού

Τα κύρια στοιχεία των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια που μπορεί να μεταφέρουν είτε συνεχές ρεύμα είτε εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτά πρέπει να εγκατασταθούν αναλόγως.

#### 1. Εγκατάσταση καλωδίου DC

Η εγκατάσταση καλωδίων DC θα περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ των μονάδων, τα καλώδια από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία προς τα κουτιά σύνδεσης/συνδυασμού φωτοβολταϊκών και τα καλώδια από το κουτί σύνδεσης/συνδυασμού φωτοβολταϊκών προς τον μετατροπέα. Θα πρέπει να συμβουλευτείτε και να τηρείτε τους εθνικούς κώδικες. Σε γενικές γραμμές:

- Τα καλώδια θα πρέπει να είναι διπλά μονωμένα, ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία εάν είναι εξωτερικά ή εγκατεστημένα σε σωλήνες ή κανάλια και θα πρέπει να πληρούν όλες τις άλλες απαιτήσεις, όπως οι θερμοκρασιακές ονομαστικές τιμές.
- Τα καλώδια πρέπει να διαστασιολογούνται έτσι ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις πτώσης τάσης και να ακολουθούν τις συντομότερες δυνατές διαδρομές για την αποφυγή απωλειών.
- Οι συνδετήρες πρέπει να είναι πολωμένοι (με προστασία από την αντίστροφη πολικότητα), να διαθέτουν προστασία συνεχούς ρεύματος, να είναι ανθεκτικοί στην υπεριώδη ακτινοβολία εάν βρίσκονται σε εξωτερικό χώρο και να πληρούν όλες τις άλλες απαιτήσεις, όπως οι ονομαστικές θερμοκρασίες.
- Τα καλώδια δεν πρέπει να αφήνονται ελεύθερα ή να τοποθετούνται σε σκυρόδεμα ή άλλες επιφάνειες, να είναι δεμένα/συνδεδεμένα με δεσμούς καλωδίων ανθεκτικούς στην υπεριώδη ακτινοβολία, ή να περικλείονται σε αγωγούς (συμπαγείς ή εύκαμπτους).
- Τα καλώδια πρέπει να εγκαθίστανται όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον εξοπλισμό αντικεραυνικής προστασίας, να μην διασχίζουν αλεξικέραυνα και συναφή καλώδια.

- Τα καλώδια σε στέγες δεν πρέπει να παρεμποδίζουν τη ροή των όμβριων υδάτων από τη στέγη.
- Τα καλώδια δεν πρέπει να τοποθετούνται σε μεγάλους βρόχους, αλλά παράλληλα μεταξύ τους και κοντά μεταξύ τους
- Τα καλώδια δεν πρέπει να διέρχονται από χώρους στους οποίους ενδέχεται να υπάρχει ιδιαίτερος κίνδυνος πυρκαγιάς από εύφλεκτα υλικά ή εύφλεκτη ατμόσφαιρα (π.χ. εργαστήρια).
- Ετικέτες/σήμανση - τα καλώδια συνεχούς ρεύματος πρέπει να αναγνωρίζονται σαφώς ως τέτοια, ιδίως όταν εγκαθίστανται κοντά ή μαζί με καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος, όλα τα καλώδια πρέπει να φέρουν αριθμούς (για να βοηθηθεί η μετέπειτα εύρεση βλαβών).
- Όλες οι δοκιμές συνέχειας, μόνωσης και άλλες δοκιμές που ορίζονται στους εθνικούς ηλεκτρολογικούς κώδικες πρέπει να εκτελούνται πριν από την ενεργοποίηση των καλωδίων.
- Αποσυνδέσεις οποιουδήποτε είδους (συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης των ασφαλειών των σειρών) δεν πρέπει να γίνονται όταν η συστοιχία είναι "υπό φορτίο" λόγω του κινδύνου δημιουργίας τόξου.



Σχήμα 10: Καλώδια DC σειράς μονάδων, καλά στερεωμένα (αριστερά), καλώδια DC που δεν είναι σωστά στερεωμένα, καλώδια υπό πίεση μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στα κουτιά διακλάδωσης μονάδων/μονάδων κ.λπ.(δεξιά).

**Το(τα) κύριο(α) καλώδιο(α) συνεχούς ρεύματος** αναφέρεται(νται) στο(α) καλώδιο(α) συνεχούς ρεύματος από το(τα) κουτί(α) σύνδεσης/συνδυασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων στον(τους) μετατροπέα(ες). Οι κωδικοί προσδιορίζουν τον τύπο του επιτρεπόμενου/απαιτούμενου καλωδίου, π.χ. καλώδιο(α) με θωράκιση χαλύβδινου σύρματος (SWA).

## 2. Εγκατάσταση καλωδίου AC

Το κύριο καλώδιο εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το καλώδιο που συνδέει τον μετατροπέα με το σημείο τροφοδοσίας του δικτύου. Οι κώδικες και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν συνήθως απαιτήσεις που πρέπει να τηρούνται, αλλά σε γενικές γραμμές:

- πρέπει να είναι ονομαστικό για το ρεύμα εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος του μετατροπέα,
- η πτώση τάσης πρέπει να είναι  $\leq 1\%$  (εάν δεν ορίζεται διαφορετικά) στο μέγιστο ρεύμα,



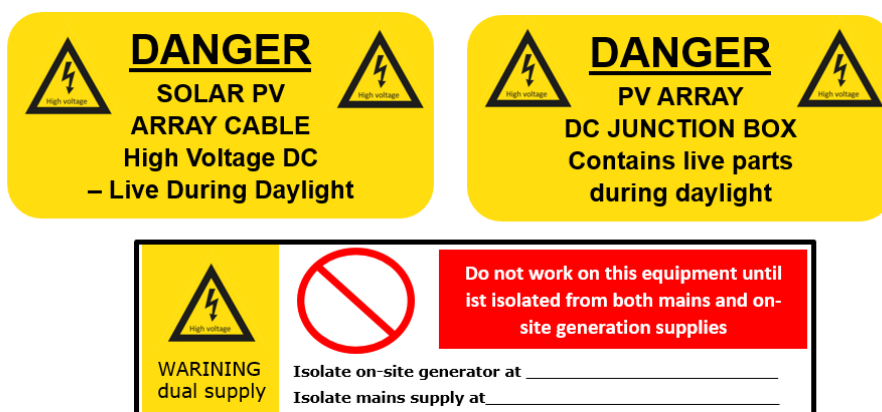
- πρέπει να προστατεύεται από ασφάλεια/διακόπτη κυκλώματος με κατάλληλη ονομαστική τιμή,
- πρέπει να εγκατασταθεί ένας αποζεύκτης/απομονωτής εναλλασσόμενου ρεύματος (συνήθως με δυνατότητα κλειδώματος), ώστε ο μετατροπέας να μπορεί να αποσυνδεθεί από το δίκτυο για συντήρηση και επισκευές.



Σχήμα 11: (αριστερά) Καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία στέγης που τροφοδοτείται σε ένα σημείο σύνδεσης με το τριφασικό δίκτυο. Οι μετατροπείς βρίσκονται σε ένα περίβλημα στην οροφή. (δεξιά) Καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος και καλώδια συνεχούς ρεύματος που προέρχονται από τους μετατροπείς

Στο Σχήμα 11 (δεξιά), τα καλώδια δεν είναι επαρκώς στερεωμένα και υποστηρίζουν το ίδιο τους το βάρος- λόγω της έλλειψης ετικετών, δεν είναι επίσης σαφές ποια είναι AC και ποια DC.

### Σήματα ασφαλείας



Σχήμα 12: Μερικά τυπικά προειδοποιητικά σημάδια.

Οι προειδοποιητικές πινακίδες (Σχήμα 12) είναι ιδιαίτερα σημαντικές επειδή οι ηλεκτρολόγοι, άλλοι εργαζόμενοι στα κτίρια ή οι πυροσβέστες ενδέχεται να μην γνωρίζουν ότι στα κτίρια έχει εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα και τους ιδιαίτερους κινδύνους που συνδέονται με αυτό.





## Διατάξεις γείωσης/γείωσης σε φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα συστήματα γείωσης/εξοπλισμού/απαιτήσεις για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καθορίζονται από τους εθνικούς ηλεκτρολογικούς κώδικες, οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα. Κατά τη λήψη οποιασδήποτε απόφασης σχετικά με τις απαιτήσεις γείωσης/γείωσης για φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο, πρέπει να συμβουλευέστε τα εξής: εθνικούς ηλεκτρολογικούς κώδικες, εγχειρίδια μετατροπών, εγχειρίδια φωτοβολταϊκών μονάδων, εγχειρίδια εξοπλισμού προστασίας από κεραυνούς/υπερτάσεις, οδηγίες εγκατάστασης φωτοβολταϊκών μονάδων και κάθε άλλο εξοπλισμό που εγκαθίσταται.

Οι λόγοι για τη γείωση μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- να διατηρούνται όλες οι μεταλλικές κατασκευές που συνδέονται με το ηλεκτρικό σύστημα και οι οποίες θα μπορούσαν να τεθούν υπό τάση/θερμότητα υπό συνθήκες σφάλματος στο ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό με τη γενική μάζα της γης,
- να εξασφαλίζεται ότι όλες οι ασφάλειες και οι διακόπτες λειτουργούν όπως απαιτείται σε περίπτωση που ένας "ηλεκτροφόρος/καυτός" αγωγός έρθει σε επαφή με μεταλλικές κατασκευές,
- να παρέχουν αντικεραυνική προστασία, η οποία μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε εξοπλισμό όπως οι μετατροπείς,
- να παρέχει λειτουργική γείωση για τη σωστή λειτουργία ορισμένου ηλεκτρονικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων φωτοβολταϊκών μονάδων.

Εάν απαιτείται γείωση/γείωση, είναι απαραίτητο να είναι σαφές σε ποιο μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος αναφέρεται, καθώς οι απαιτήσεις είναι διαφορετικές. Η γείωση/γείωση μπορεί να απαιτείται στα ακόλουθα μέρη του συστήματος:

- Οι δομές στήριξης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών (μεταλλικές), συμπεριλαμβανομένων των πλαισίων των μονάδων, μπορεί να απαιτούνται για λόγους αντικεραυνικής προστασίας (που διαφέρουν από χώρα σε χώρα) ή ως μεταλλική κατασκευή που απαιτεί γείωση/γείωση σύμφωνα με τον εθνικό ηλεκτρικό κώδικα.
- Η πλευρά DC της εγκατάστασης, δηλαδή η γείωση/γείωση είτε των θετικών είτε των αρνητικών γραμμών, μπορεί να απαιτείται λόγω του τύπου της χρησιμοποιούμενης φωτοβολταϊκής μονάδας ή επειδή ορίζεται από τον εθνικό ηλεκτρολογικό κώδικα (βλέπε παράρτημα για περαιτέρω εξηγήσεις).
- Πλευρά AC της εγκατάστασης
- Μεταλλικά περιβλήματα του εξοπλισμού, όπως ορίζεται στους εθνικούς κώδικες.
- Άλλες μεταλλικές κατασκευές που σχετίζονται με την εγκατάσταση, όπως ορίζεται στους εθνικούς κώδικες.

Ορισμένοι εθνικοί κώδικες ενδέχεται να απαιτούν διακόπτες ρεύματος υπολειπόμενου ρεύματος (RCCB ή RCD), που στις ΗΠΑ ονομάζονται διακόπτες σφάλματος γης (GFI), και να καθορίζουν τον τύπο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

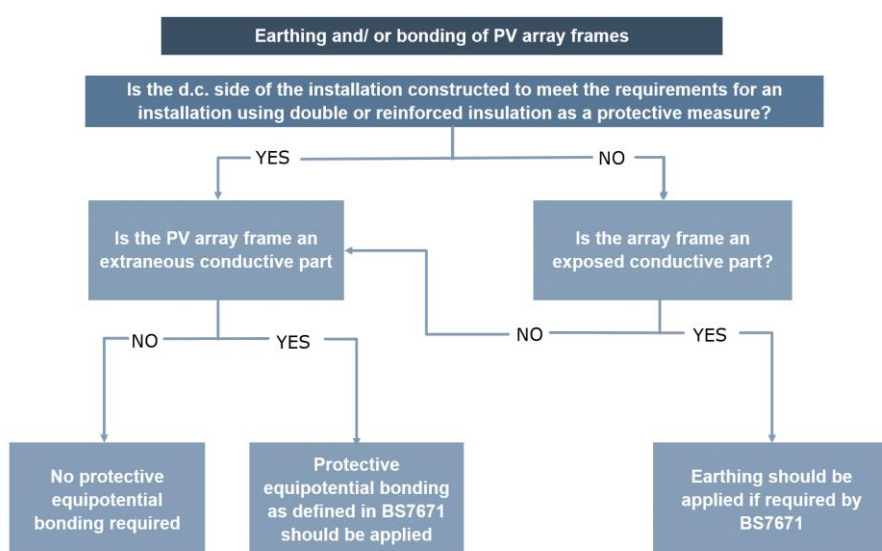
Είναι σημαντικό να μην ξεχνάμε ότι δεν υπάρχουν μόνο ηλεκτρικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με την ίδια τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, αλλά ότι, υπό συνθήκες σφάλματος, η δομή στήριξης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μπορεί να τεθεί υπό τάση/θερμότητα από το ίδιο το δίκτυο.

Η ακεραιότητα των ηλεκτροδίων γείωσης / γείωσης θα πρέπει επίσης να ελεγχθεί.

Το πρότυπο IEC62109-2 ("Ασφάλεια μετατροπών ισχύος για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος - Μέρος 2: Ειδικές απαιτήσεις για μετατροπείς") καλύπτει τις διατάξεις γείωσης/γείωσης (σε σχέση με την τοπολογία του μετατροπέα), συμπεριλαμβανομένων των εξής

- ελάχιστες απαιτήσεις απομόνωσης μετατροπέα
- απαιτήσεις μέτρησης αντίστασης μόνωσης γείωσης συστοιχίας
- απαιτήσεις για τη συσκευή υπολειπόμενου ρεύματος συστοιχίας (RCD), διακόπτη ρεύματος σφάλματος γείωσης (GFI) και συναγερμού για σφάλμα γείωσης.

Τα ακόλουθα σχήματα δίνουν μια ιδέα για το τι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη γείωση/γείωση των κατασκευών τοποθέτησης.



Σχήμα 13: Αριστερά: Δέντρο απόφασης για τις ρυθμίσεις γείωσης/γείωσης για τη δομή τοποθέτησης μονάδων (αριστερά). Το θέμα μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκο. Οι εγκαταστάτες θα πρέπει να έχουν πολύ σαφείς και ακριβείς οδηγίες σχετικά με το τι απαιτείται. Πηγή: UK MSC Guide to the Installation of Photovoltaic Systems (2012). Δεξιά: Σύνδεση συγκόλλησης σε δομή στήριξης συστοιχίας φωτοβολταϊκών μονάδων.

### Προστασία φωτισμού, θέματα προστασίας από υπερτάσεις

Οι εγκαταστάτες πρέπει να γνωρίζουν όλες τις απαιτήσεις. Εάν υπάρχει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας σε ένα κτίριο, ενδέχεται να απαιτείται συμβουλή εμπειρογνώμονα. Οι υπερτάσεις τάσης σε βρόχους καλωδίων μπορεί να προκληθούν από κοντινά πλήγματα κεραυνών και να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό, οπότε τα καλώδια πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται αυτοί οι βρόχοι.

### Τελική σύνδεση με το δίκτυο

Η τελική σύνδεση με το δίκτυο θα πρέπει να γίνεται μόνο αφού το σύστημα επιθεωρηθεί, δοκιμαστεί και τεθεί σε λειτουργία και αφού ληφθούν όλες οι απαραίτητες άδειες από την εταιρεία κοινής ωφέλειας.



## Ηλιακά πάρκα - θέματα εγκατάστασης

Η επικοινωνία με την εταιρεία κοινής ωφέλειας, στο δίκτυο της οποίας πρόκειται να συνδεθεί το σύστημα, είναι απαραίτητη. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, απαιτείται γραπτή έγκριση από την εταιρεία που διαχειρίζεται το δίκτυο πριν από την έναρξη οποιωνδήποτε εργασιών (αυτό ισχύει και για τα μεγαλύτερα συστήματα που συνδέονται επίσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης). Βλέπε τη γερμανική τεχνική οδηγία: Generating Plants Connected to the Medium-voltage Network (στα αγγλικά), η οποία ασχολείται με μεγάλα κεντρικά συστήματα (φωτοβολταϊκά, αλλά και αιολικά και υδροηλεκτρικά).

## Μάθημα 2.2 Ολοκλήρωση της εγκατάστασης, των δοκιμών και της ενεργοποίησης του συστήματος

Το συνολικό μαθησιακό αποτέλεσμα είναι να είστε σε θέση να δοκιμάζετε και να θέτετε σε λειτουργία τα ηλεκτρικά εξαρτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

### Εγκατάσταση και καλωδίωση συστημάτων παρακολούθησης

Ο εξοπλισμός απομακρυσμένης παρακολούθησης και τα συστήματα συλλογής δεδομένων μπορεί να είναι ανεκτίμητα για τη λειτουργία και τη συντήρηση. Ορισμένα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς καμία καλωδίωση, τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω ραδιοκυμάτων. Άλλα χρησιμοποιούν την επικοινωνία μέσω γραμμής μεταφοράς ισχύος, η οποία μεταδίδει τα δεδομένα σε μια οθόνη μέσω της κανονικής καλωδίωσης του κτιρίου. Ωστόσο, αυτό μπορεί να επηρεαστεί από παρεμβολές από άλλο ηλεκτρικό εξοπλισμό, οπότε απαιτείται δοκιμή για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν παρεμβολές- ίσως χρειαστεί να εγκατασταθεί ξεχωριστό καλώδιο δεδομένων.

### Έναρξη λειτουργίας: δοκιμές, μετρήσεις και εντοπισμός βλαβών

Η ενεργοποίηση είναι η διαδικασία με την οποία επαληθεύονται τα ακόλουθα:

- Όλα τα εξαρτήματα έχουν εγκατασταθεί με ασφάλεια
- Όλα τα εξαρτήματα λειτουργούν όπως αναμενόταν
- Το σύστημα συμμορφώνεται με τους εθνικούς κώδικες και κανονισμούς.

Ένα σύστημα τίθεται σε λειτουργία μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, αλλά πριν παραδοθεί στον ιδιοκτήτη του συστήματος.

Όπου υπάρχει εθνικός κώδικας/οδηγός κώδικα που καλύπτει τη θέση σε λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδεδεμένων στο δίκτυο, θα πρέπει να ακολουθείται. Διαφορετικά, οι ελάχιστες απαιτήσεις για τη θέση σε λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδεδεμένων στο δίκτυο καθορίζονται στο διεθνές πρότυπο IEC 62446 Grid-connected Photovoltaic Systems - Minimum Requirements for System Documentation, Commissioning Tests and Inspection. Το IEC 62446 παραπέμπει επίσης σε διάφορα άλλα πρότυπα. Αν και οι εθνικοί κώδικες άλλων χωρών μπορεί επίσης να είναι πολύ χρήσιμοι.



## Ποιος κάνει ή θα έπρεπε να κάνει την έναρξη λειτουργίας;

Αυτό θα διαφέρει από χώρα σε χώρα και συνήθως όπου υπάρχει εγκατεστημένη βιομηχανία φωτοβολταϊκών θα υπάρχουν νομικές απαιτήσεις σχετικά με το ποιος έχει τα προσόντα να επιθεωρεί, να δοκιμάζει και να θέτει σε λειτουργία συστήματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδίως σε μικρότερα συστήματα, μπορεί να είναι ο εγκαταστάτης (ο οποίος μπορεί επίσης να έχει σχεδιάσει το σύστημα)- σε μεγαλύτερα συστήματα μπορεί να είναι ένα τρίτο μέρος (το οποίο εκπροσωπεί τον ιδιοκτήτη του συστήματος)- και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορεί επίσης να επιθυμούν να επιθεωρούν και να δοκιμάζουν τα συστήματα πριν επιτρέψουν τη σύνδεσή τους στο δίκτυό τους.

## Απαιτήσεις πριν από την έναρξη λειτουργίας

Πριν ξεκινήσει η σωστή διαδικασία θέσης σε λειτουργία, πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, όπως:

- Οι εργασίες εγκατάστασης έχουν ολοκληρωθεί
- Η τεκμηρίωση του συστήματος είναι πλήρης και διαθέσιμη
- Όλες οι άδειες έχουν υπογραφεί (ο φορέας παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας έχει δώσει άδεια κ.λπ.)
- Έχει δημιουργηθεί μόνιμο δίκτυο/ενέργεια δικτύου
- Σύνδεση στο διαδίκτυο (εάν χρησιμοποιείται παρακολούθηση μέσω διαδικτύου)
- Το σύστημα παρακολούθησης είναι λειτουργικό
- Ο χρόνος και οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές (π.χ. καθαρή ημέρα,  $> 400 \text{ W/m}^2$  το μεσημέρι, ώστε να μπορούν να ληφθούν σωστές και συγκρίσιμες μετρήσεις.

Ενδέχεται επίσης να υπάρχουν και άλλες απαιτήσεις, όπως η επιθεώρηση του συστήματος από έναν "επίσημο" ηλεκτρολόγο επιθεωρητή ή η παρουσία μηχανικού από την εταιρεία κοινής ωφέλειας. Εξαρτάται από τη χώρα και τον τύπο του συστήματος.

## Προφυλάξεις ασφαλείας κατά την έναρξη λειτουργίας

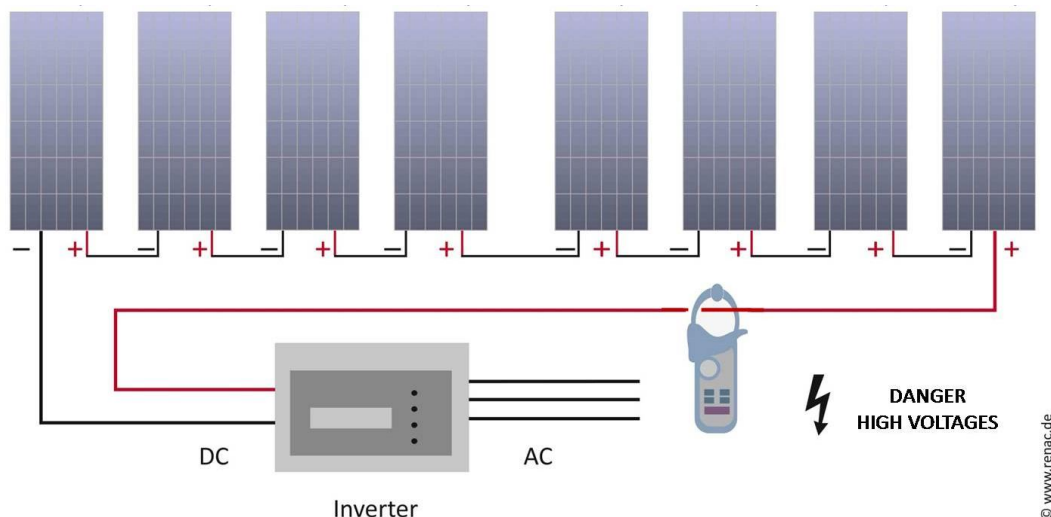
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις προφυλάξεις ασφαλείας κατά τη θέση σε λειτουργία, ιδίως στους κινδύνους που συνδέονται με τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες (τόξα, υψηλές τάσεις συνεχούς ρεύματος κ.λπ.). Απαιτείται προστασία από πτώση, ασφάλεια σκάλας, ηλεκτρική ασφάλεια, ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός και κοινή λογική.

- Κατά γενικό κανόνα, τα κυκλώματα δεν δοκιμάζονται (ή επεξεργάζονται) ενώ βρίσκονται υπό τάση/ζωντανά/ζεστά - ωστόσο, για να επαληθευτεί και να μετρηθεί η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστοιχιών είναι απαραίτητο να γίνει αυτό.
- Οι δοκιμές πρέπει να διεξάγονται μόνο από κατάλληλα εκπαιδευμένα άτομα.
- Θα πρέπει να συμβουλευόμαστε και να ακολουθούμε τα εγχειρίδια των οργάνων.
- Άλλα μέτρα περιλαμβάνουν τη χρήση προστατευτικών μονωτικών γαντιών, καλυμμένων και κατάλληλα βαθμολογημένων και ασφαλιζόμενων αισθητήρων οργάνων κ.λπ. όταν απαιτείται



## Απαιτούμενα όργανα

Τα απαιτούμενα όργανα εξαρτώνται από την εγκατάσταση. Οι κώδικες καθορίζουν επίσης τα απαιτούμενα όργανα. Αυτά περιλαμβάνουν τα τυποποιημένα όργανα δοκιμής για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Τα σφινγκτηρόμετρα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, ενώ διατίθεται επίσης μια ποικιλία εξειδικευμένων οργάνων.



Σχήμα 14: Χρήση ενός μετρητή σφινγκτήρα για τη μέτρηση του ρεύματος σε μια σειρά φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Η λήψη μετρήσεων του  $I_{sc}$  μιας συστοιχίας είναι εγγενώς επικίνδυνη. Οι μετρήσεις του ρεύματος μπορούν ωστόσο να πραγματοποιηθούν με ασφάλεια με τη χρήση σφινγκτήρα.

## Η διαδικασία έναρξης λειτουργίας

Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας θέσης σε λειτουργία ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του εγκατεστημένου φωτοβολταϊκού συστήματος. Ωστόσο, ο στόχος κάθε διαδικασίας θέσης σε λειτουργία είναι παρόμοιος για όλα τα συστήματα και μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Πρώτον, ενδελεχής επιθεώρηση όλων των εργασιών εγκατάστασης,
- στη συνέχεια δοκιμή όλων των κυκλωμάτων/εξοπλισμού, και
- τέλος, επίσημη παράδοση στον πελάτη ή στον διαχειριστή του συστήματος.

### Επιθεώρηση του συστήματος

Η επιθεώρηση του συστήματος πρέπει να γίνει πριν από τη δοκιμή. Εάν εντοπιστούν προβλήματα, θα πρέπει να επιλυθούν πριν από την έναρξη της δοκιμής. Οι εργασίες επιθεώρησης περιλαμβάνουν:

- Βεβαιωθείτε ότι όλος ο εξοπλισμός και τα εξαρτήματα δεν έχουν υποστεί ζημιές.
- Βεβαιωθείτε ότι όλος ο εξοπλισμός και τα εξαρτήματα συμμορφώνονται με τα τοπικά πρότυπα ασφαλείας καθώς και με τις απαιτήσεις της κοινής ωφέλειας και ότι είναι κατάλληλα για χρήση σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που αλληλεπιδρά με την κοινή ωφέλεια.
- Επιθεώρηση όλων των εξαρτημάτων της πλευράς DC - αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο της βαθμολογίας απόδοσης και της προστασίας των εξαρτημάτων και των καλωδίων DC, βλ. ενότητα 5.3.2 του IEC 62446.



- Προστασία από υπέρταση/ηλεκτροπληξία - τι είδους προστασία υπάρχει στο σύστημα σε περίπτωση υπέρτασης; - για παράδειγμα, υπέρταση που προκαλείται από κεραυνικό πλήγμα, ανατρέξτε στην ενότητα 5.3.3 του IEC 62446.
- Επιθεώρηση όλων των εξαρτημάτων από την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος - αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο της αξιολόγησης επιδόσεων και της προστασίας των εξαρτημάτων και της καλωδίωσης εναλλασσόμενου ρεύματος, βλ. ενότητα 5.3.4 του προτύπου IEC 62446.
- Επισημάνση και αναγνώριση - όλα τα εξαρτήματα εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος πρέπει να επισημαίνονται με σαφήνεια και ακρίβεια, βλ. ενότητα 5.3.5 του προτύπου IEC 62446.
- Ασφάλεια του χώρου - βεβαιωθείτε ότι ο χώρος έχει παραμείνει καθαρός και τακτοποιημένος και ότι δεν αποτελεί κίνδυνο για το κοινό.

### Ηλεκτρικές δοκιμές του συστήματος

Μετά την επαλήθευση της ηλεκτρικής και μηχανικής ακεραιότητας του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω των βημάτων επιθεώρησης που αναφέρονται παραπάνω, δοκιμάζεται η ηλεκτρική απόδοση και η ασφάλεια. Οι δοκιμές πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον εθνικό ηλεκτρικό κώδικα. Οι πληροφορίες που δίνονται εδώ μπορούν να θεωρηθούν μόνο ως γενική περιγραφή.

#### *α) Προφυλάξεις ασφαλείας πριν από τη δοκιμή*

Πριν από τη διεξαγωγή των δοκιμών, ενδέχεται να απαιτούνται οι ακόλουθες προφυλάξεις ασφαλείας:

- Καμία τάση εξόδου σε καμία από τις σειρές φωτοβολταϊκών συστοιχιών (επιτυγχάνεται με την αποσύνδεση ενός ή περισσότερων συνδέσμων μονάδων
- Οι ασφάλειες έχουν αφαιρεθεί ή οι διακόπτες MCB βρίσκονται στη θέση OFF.
- Οι κύριοι αποζεύκτες/αποζεύκτες AC και DC είναι στη θέση OFF (οι κώδικες μπορεί επίσης να απαιτούν να είναι κλειδωμένοι).
- Ο μετατροπέας και όλα τα άλλα εξαρτήματα έχουν απενεργοποιηθεί.

Αφού επαληθευτεί ότι πληρούνται όλες οι απαραίτητες συνθήκες που απαιτούνται για να δοκιμαστεί το σύστημα χωρίς κίνδυνο για άτομα ή εξοπλισμό, μπορεί να αρχίσει η διαδικασία δοκιμής.

#### *β) Κίνδυνος δοκιμής - ρεύματα βραχυκυκλώματος χορδών (Isc)*

Εκτός από όλους τους συνήθεις κινδύνους που σχετίζονται με τη δοκιμή ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, την εργασία σε ύψος και τους ιδιαίτερους κινδύνους που σχετίζονται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, υπάρχει επίσης ο κίνδυνος που συνδέεται με τη μέτρηση των ρευμάτων βραχυκυκλώματος (Isc). Οι τάσεις της συστοιχίας μπορεί να είναι πολύ υψηλές και αν δεν ακολουθηθούν οι σωστές διαδικασίες, μπορεί να προκληθεί ανάφλεξη τόξου και βλάβη στα εξαρτήματα. Ωστόσο, η μέτρηση του Isc δεν είναι απαραίτητα απαραίτητη, και αντ' αυτού μπορεί να μετρηθεί το ρεύμα λειτουργίας της συστοιχίας - αυτό μπορεί να γίνει με ένα σφιγκτήρα ή μέσω της οθόνης του μετατροπέα ή της οθόνης.





### γ) Απαιτούμενες δοκιμές

Η σειρά με την οποία διεξάγονται οι δοκιμές καθορίζεται από τους κώδικες - για λόγους ασφαλείας και για να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων των δοκιμών. Μια τυπική σειρά έχει ως εξής:

<b>Γείωση / σύνδεση:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνέχεια των αγωγών προστατευτικής γείωσης ή/και ισοδυναμικής σύνδεσης - επίσης συνδεσιμότητα με τον κύριο ακροδέκτη γείωσης / γείωσης, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει δοκιμές βρόχου σύνθετης αντίστασης ή/και δοκιμή ηλεκτροδίου γείωσης.</li> </ul>
<b>DC- πλευρά της εγκατάστασης</b> (όχι απαραίτητα με αυτή τη σειρά, εξαρτάται από τον κώδικα και την εγκατάσταση):	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λειτουργικές δοκιμές σε διακοπτικούς μηχανισμούς κ.λπ.</li> <li>• Δοκιμές συνέχειας μεταξύ των σειρών και του κιβωτίου συνδυασμού φωτοβολταϊκών</li> <li>• Δοκιμές πολικότητας μεταξύ των σειρών και του κιβωτίου συνδυασμού φωτοβολταϊκών.</li> <li>• Τάσεις ανοικτού κυκλώματος των χορδών</li> <li>• Δοκιμές συνέχειας μεταξύ του κιβωτίου συνδυασμού φωτοβολταϊκών και του κύριου αποζεύκτη/απομονωτή DC</li> <li>• Ρεύματα βραχυκυκλώματος (εάν απαιτείται) - ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ</li> <li>• Δοκιμές συνέχειας μεταξύ κύριου αποσυνδέτη/αποζεύκτη DC και μετατροπέα</li> <li>• Τάση ανοικτού κυκλώματος στην είσοδο του κύριου αποζεύκτη/αποζεύκτη DC</li> <li>• Δοκιμές πολικότητας μεταξύ του αποζεύκτη DC της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του μετατροπέα</li> <li>• Δοκιμές αντίστασης μόνωσης (μπορεί να είναι επικίνδυνες και να προκαλέσουν βλάβη στον εξοπλισμό εάν δεν εκτελεστούν σωστά)</li> <li>• Μετρήσεις πτώσης τάσης στις ασφάλειες/τους διακόπτες συνασπισμού</li> <li>• Επαλήθευση της πολικότητας των εγκατεστημένων εξαρτημάτων.</li> </ul>
<b>Πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος AC της εγκατάστασης</b> (όχι απαραίτητα με αυτή τη σειρά, εξαρτάται από τον κώδικα και την εγκατάσταση):	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λειτουργικές δοκιμές σε διακοπτικούς μηχανισμούς, μετατροπείς κ.λπ.</li> <li>• Δοκιμές συνέχειας μεταξύ μετατροπέα και μετρητή τροφοδοσίας</li> <li>• Δοκιμές συνέχειας μεταξύ μετρητή τροφοδοσίας και κύριου αποζεύκτη/απομονωτή εναλλασσόμενου ρεύματος</li> <li>• Δοκιμές πολικότητας μεταξύ μετρητή τροφοδοσίας και κύριου αποσυνδετήρα/αποζεύκτη εναλλασσόμενου ρεύματος</li> <li>• Σωστή πολικότητα στην έξοδο του κύριου αποζεύκτη/αποζεύκτη εναλλασσόμενου ρεύματος</li> <li>• Δοκιμές αντίστασης μόνωσης (μπορεί να είναι επικίνδυνες και να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό εάν δεν εκτελεστούν σωστά)</li> <li>• Τάση στην έξοδο του κύριου αποζεύκτη/αποζεύκτη εναλλασσόμενου ρεύματος</li> <li>• Αρχική ένδειξη του μετρητή τροφοδοσίας</li> <li>• Απώλεια σύνδεσης με το κύκλωμα δικτύου.</li> </ul>



## Επαλήθευση αισθητικής

Επιθεωρήστε το φωτοβολταϊκό σύστημα για να επιβεβαιώσετε ότι πληροί τις απαιτήσεις αισθητικού σχεδιασμού, όπως:

- Οι γραμμές των μονάδων είναι ευθείες και παράλληλες
- Τα συστήματα σωληνώσεων και καναλιών είναι βαμμένα ώστε να ταιριάζουν με τους τοίχους
- Η θωράκιση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, εάν απαιτείται, είναι εγκατεστημένη και ικανοποιητική
- Οι φράκτες ή τα περιβλήματα των μετατροπών είναι κατασκευασμένα όπως έχουν σχεδιαστεί.

## Παράδοση του συστήματος, τεκμηρίωση και υποβολή εκθέσεων

Μετά την ολοκλήρωση όλων των επιθεωρήσεων και δοκιμών, θα πρέπει να υποβληθεί έκθεση/πιστοποιητικό επιθεώρησης στον ιδιοκτήτη του συστήματος και σε κάθε άλλο μέρος που το απαιτεί. Το ακόλουθο απόσπασμα από τον οδηγό MSC του Ηνωμένου Βασιλείου για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων (2012), δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα του τι συνήθως απαιτείται<sup>1</sup>:

- Βασικές πληροφορίες για το σύστημα (χρησιμοποιούμενα εξαρτήματα, ονομαστική ισχύς, ημερομηνίες εγκατάστασης κ.λπ.)
- Πληροφορίες για τον σχεδιαστή του συστήματος
- Πληροφορίες εγκαταστάτη του συστήματος
- Διάγραμμα συνδεσμολογίας, που θα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:
  - Τύπος και ποσότητες μονάδας
  - Διαμορφώσεις σειρών
  - Προδιαγραφές καλωδίων - μέγεθος και τύπος.
  - Προδιαγραφές συσκευής προστασίας από υπερένταση (όπου υπάρχει) - τύπος και ονομαστικές τιμές.
  - Θέσεις κουτιών διακλάδωσης συστοιχίας (όπου απαιτείται).
  - Τύπος, θέση και ονομαστική τιμή απομονωτή συνεχούς ρεύματος
  - Συσκευές προστασίας έναντι υπερέντασης συστοιχίας (όπου υπάρχουν) - τύπος, θέση και ονομαστική τιμή.
  - Λεπτομέρειες όλων των αγωγών γείωσης / σύνδεσης - μέγεθος και σημεία σύνδεσης.
  - Λεπτομέρειες για τυχόν συνδέσεις με υφιστάμενο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (LPS).
  - Λεπτομέρειες οποιασδήποτε εγκατεστημένης συσκευής προστασίας από υπερτάσεις (τόσο σε γραμμές εναλλασσόμενου όσο και σε γραμμές συνεχούς ρεύματος), συμπεριλαμβανομένης της θέσης, του τύπου και της διαβάθμισης.
  - Θέση, τύπος και ονομαστική τιμή του απομονωτή εναλλασσόμενου ρεύματος.
  - Θέση, τύπος και ονομαστική τιμή της συσκευής προστασίας από υπερένταση εναλλασσόμενου ρεύματος.
  - Θέση, τύπος και ονομαστική τιμή της συσκευής προστασίας από ρεύμα υπολειπόμενου ρεύματος (όπου υπάρχει).
- Φύλλα δεδομένων μονάδας
- Φύλλα δεδομένων μετατροπείας

<sup>1</sup> The system user should be provided as a minimum with the information described in BS EN 62446 Grid-connected Photovoltaic Systems — Minimum Requirements for System Documentation, Commissioning Tests and Inspection.



- Φύλλο δεδομένων συστήματος τοποθέτησης
- Πληροφορίες λειτουργίας και συντήρησης, που περιλαμβάνουν:
  - ο Διαδικασίες επαλήθευσης της ορθής λειτουργίας του συστήματος.
  - ο Λίστα ελέγχου για το τι πρέπει να γίνει σε περίπτωση βλάβης του συστήματος.
  - ο Διαδικασίες διακοπής/απομόνωσης έκτακτης ανάγκης.
  - ο Συστάσεις συντήρησης και καθαρισμού (εάν υπάρχουν).
  - ο Εκτιμήσεις για τυχόν μελλοντικές κτιριακές εργασίες που σχετίζονται με τη φωτοβολταϊκή συστοιχία (π.χ. εργασίες στην οροφή).
- Τεκμηρίωση εγγύησης για φωτοβολταϊκές μονάδες και μετατροπείς - να περιλαμβάνει την ημερομηνία έναρξης της εγγύησης και την περίοδο εγγύησης.
- Τεκμηρίωση σχετικά με τυχόν ισχύουσες εγγυήσεις κατασκευής ή στεγανότητας.
- Αποτελέσματα δοκιμών και δεδομένα θέσης σε λειτουργία.'

PV Array Test Report		<input type="checkbox"/> Initial verification <input type="checkbox"/> Periodic verification				
Installation address		Reference				
		Date				
Description of work under test		Inspector				
		Test instruments				
String		1	2	3	4	n
Array	Module					
	Description					
Array parameters (as specified)	V <sub>oc</sub>					
	I <sub>sc</sub>					
String over-current protective device	Type					
	Rating (A)					
	DC rating (V)					
	Capacity (kA)					
Wiring	Type					
	Phase (mm <sup>2</sup> )					
	Earth (mm <sup>3</sup> )					
String test	V <sub>oc</sub> (V)					
	I <sub>sc</sub> (A)					
	Irradiance					
Polarity check						
Array installation resistance	Test voltage (V)					
	Pos - Earth (MΩ)					
	Neg - Earth (MΩ)					
Earth continuity (where fitted)						
Switchgear functioning correctly						
Inverter make model						
Inverter serial number						
Inverter function correctly						
Loss of mains test						
Comments						

Σχήμα 15: Πρόγραμμα δοκιμών για μια φωτοβολταϊκή συστοιχία, όπως συνιστάται από τον οδηγό MSC του Ηνωμένου Βασιλείου για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων.



## Επαλήθευση της απόδοσης του συστήματος

Η αξιολόγηση του κατά πόσον ένα φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί είναι ίσως η πιο δύσκολη αλλά και μία από τις πιο σημαντικές πτυχές της θέσης σε λειτουργία. Για να γίνει κατανοητή η απόδοση του συστήματος, η αναμενόμενη ισχύς πρέπει να συγκριθεί με την πραγματική ισχύ του συστήματος. Τουλάχιστον, η έξοδος ισχύος από τον μετατροπέα μπορεί να διαβαστεί από την οθόνη του μετατροπέα και να συγκριθεί με το επίπεδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Εξειδικευμένα όργανα, όπως ορισμένα από τη σειρά HT Italia, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή της αναμενόμενης απόδοσης από στιγμιαίες μετρήσεις.

## Εκπαίδευση του ιδιοκτήτη του συστήματος στη βασική λειτουργία του συστήματος

Στο πλαίσιο της διαδικασίας θέσης σε λειτουργία, ο εγκαταστάτης του συστήματος θα πρέπει να παρέχει βασική εκπαίδευση στον ιδιοκτήτη/χειριστή του συστήματος. Αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Περιήγηση στον χώρο και επεξήγηση όλων των συσκευών, ιδίως των διακοπών ασφαλείας
- Επεξήγηση της λειτουργίας του μετατροπέα, συμπεριλαμβανομένων τυχόν οθονών και φωτεινών ενδείξεων κατάστασης
- Επεξήγηση του συστήματος παρακολούθησης, εάν έχει εγκατασταθεί.
- Επισκόπηση της τεκμηρίωσης του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των οδηγιών λειτουργίας, των εγγυήσεων και των συμβάσεων συντήρησης.

## Έναρξη λειτουργίας μεγάλων ηλιακών πάρκων

Όσον αφορά τις μεμονωμένες φωτοβολταϊκές συστοιχίες, τις καλωδιώσεις και τους μετατροπείς, τα συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο μέσης τάσης θα είναι παρόμοια με εκείνα που συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης και απαιτούν παρόμοιες δοκιμές και θέση σε λειτουργία (όπως αναφέρεται παραπάνω). Ωστόσο, θα υπάρχουν πολύ περισσότερες απαιτήσεις και η εταιρεία κοινής ωφέλειας, στο δίκτυο της οποίας συνδέεται ένα ηλιακό πάρκο, θα έχει πολύ ακριβείς προδιαγραφές ως προς τα απαιτούμενα και θα θέλει επίσης να συμμετέχει στις τελικές διαδικασίες σύνδεσης.

Το 2014, η γερμανική εταιρεία TÜV SÜD πιστοποίησε ένα ηλιακό πάρκο 55 MWp (226.000 πολυκρυσταλλικές μονάδες Hareon Solar) στα Καρπάθια Όρη που διαχειρίζεται η Green Vision Seven SRL στη Ρουμανία. Αξίζει να παραθέσουμε το δελτίο τύπου της TÜV SÜD σχετικά με την έκταση των σχετικών δοκιμών/πιστοποιήσεων:

"Η ευρεία πιστοποίηση που εξέδωσε η TÜV SÜD πραγματοποιήθηκε με βάση το πρότυπο EN 62446:2010-7 για φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο και τα πρότυπα EN 1990 έως 1999 και EN 1090 για κατασκευές από χάλυβα και αλουμίνιο. Οι εμπειρογνώμονες της TÜV SÜD εξέτασαν επίσης την απόδοση των εγκαταστάσεων με βάση το πρότυπο EN 61724".

Βλέπε επίσης τη γερμανική τεχνική οδηγία: Generating Plants Connected to the Medium-voltage Network (στα αγγλικά) ασχολείται με μεγάλα κεντρικά συστήματα (φωτοβολταϊκά, αλλά και αιολικά και υδροηλεκτρικά) (βλ. βιβλιογραφία για λεπτομέρειες).



## Μάθημα 2.3 Λειτουργία, συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Το συνολικό μαθησιακό αποτέλεσμα είναι να είστε σε θέση να αναλύετε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, να το συντηρείτε και να επιλύετε προβλήματα.

### Εισαγωγή

Μια συνδεδεμένη στο δίκτυο φωτοβολταϊκή εγκατάσταση έχει πιθανή διάρκεια ζωής σχεδιασμού μεγαλύτερη των 20 ετών, αλλά πρέπει να λειτουργεί και να συντηρείται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η αποτελεσματική διαχείριση της λειτουργίας και της συντήρησης υποστηρίζει την υψηλή ενεργειακή απόδοση, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη απόδοση των συστημάτων και αποφεύγοντας/μειώνοντας το χρόνο που ένα σύστημα μπορεί να αποσυνδεθεί από το δίκτυο.

Είναι δύσκολο να διαχωριστούν η λειτουργία και η συντήρηση. Η λειτουργία του συστήματος συνεπάγεται τη συντήρησή του. Για μικρότερα συστήματα (π.χ. σε κατοικίες ή μικρές επιχειρήσεις), ο ιδιοκτήτης του συστήματος θα λειτουργήσει στην πραγματικότητα το σύστημα, θα εκτελέσει ορισμένες εργασίες συντήρησης (π.χ. καθαρισμός των μονάδων σε μια επίγεια συστοιχία, εξασφάλιση ότι η τοποθεσία δεν θα σκιάζεται κ.λπ. Σε περίπτωση σοβαρού προβλήματος θα κληθεί μηχανικός συντήρησης. Σε ένα ηλιακό πάρκο, η κατάσταση μοιάζει πραγματικά περισσότερο με τη λειτουργία ενός μικρού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και όλα όσα αυτό συνεπάγεται. Τα συμβόλαια συντήρησης με εξωτερικές εταιρείες μπορεί να είναι μια χρήσιμη επιλογή σε όλες τις περιπτώσεις- οι υπηρεσίες μπορούν να περιλαμβάνουν την ετήσια επιθεώρηση και, ειδικά σε ξηρές και σκονισμένες περιοχές, τον καθαρισμό των συστοιχιών.

### Λειτουργία και συντήρηση φωτοβολταϊκών συστημάτων (προληπτική, διορθωτική και προληπτική)

#### Εργασίες λειτουργίας και συντήρησης

Γενικά, ένα συνδεδεμένο στο δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί πλήρως αυτόματα, αλλά σε περίπτωση δυσλειτουργίας είναι απαραίτητο να αντιδράσετε γρήγορα για να ελαχιστοποιήσετε τις απώλειες απόδοσης - ειδικά σε μεγάλα συστήματα. Θα πρέπει να υπάρχει σχέδιο λειτουργίας και συντήρησης.

Ο καθαρισμός των φωτοβολταϊκών μονάδων μπορεί να αποτελεί πρόβλημα σε ορισμένες τοποθεσίες και ίσως χρειαστεί να γίνουν ειδικές ρυθμίσεις.







*Σχήμα 16: Το στήριγμα παρακολούθησης έχει κολλήσει σε λάθος θέση. Τα ανταλλακτικά θα πρέπει να φυλάσσονται ή να είναι άμεσα διαθέσιμα.*

Θα απαιτείται τακτική και ακανόνιστη επισκευή/αντικατάσταση των εξαρτημάτων του συστήματος (κυρίως ηλεκτρονικών συσκευών, π.χ. μετατροπέα, που συνήθως δεν διαρκούν όσο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία). Ορισμένα εξαρτήματα του συστήματος - κυρίως ασφάλειες και δίοδοι - θα πρέπει να αντικαθίστανται κάθε λίγα χρόνια, καθώς η απώλεια ισχύος στις συσκευές αυτές μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση και να προκαλέσει δυσλειτουργία τους. Άλλα εξαρτήματα είναι πιο ανθεκτικά, αλλά θα πρέπει να αντικατασταθούν τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος, για παράδειγμα ο μετατροπέας. Σημειώστε ότι οι περισσότεροι κατασκευαστές μετατροπέων προσφέρονται να επεκτείνουν την εγγύησή τους στα 20 έτη στην ίδια τιμή με τον ίδιο τον μετατροπέα.

Ενδέχεται να τεθούν σε ισχύ νέες κανονιστικές απαιτήσεις που απαιτούν την τροποποίηση ακόμη και των υφιστάμενων συστημάτων. Οι τροποποιήσεις αυτές μπορεί να συνεπάγονται πρόσθετο κόστος που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

## Παρακολούθηση

Για να εξασφαλιστεί υψηλή απόδοση της επένδυσης, είναι σημαντικό το φωτοβολταϊκό σύστημα να λειτουργεί χωρίς διακοπή. Η παρακολούθηση του συστήματος βοηθά στην έγκαιρη ανίχνευση δυσλειτουργιών. Αυτό με τη σειρά του συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των απωλειών παραγωγής ενέργειας. Η παρακολούθηση σε κάποιο επίπεδο είναι απαραίτητη. Αυτό μπορεί να κυμαίνεται από ετήσιες οπτικές επιθεωρήσεις έως την απομακρυσμένη παρακολούθηση που πραγματοποιείται από εξωτερική εταιρεία συντήρησης για την επαλήθευση της λειτουργικότητας και της ασφάλειας. Όρος κάθε σύμβασης συντήρησης θα πρέπει να είναι η εγγύηση ταχείας ανταπόκρισης σε περίπτωση δυσλειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η ταχεία αντιμετώπιση βλαβών κατά την περίοδο εγγύησης των 20 ετών και κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης.

## Παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος

Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο διατίθεται μια σειρά από εξοπλισμό παρακολούθησης και συστήματα συλλογής δεδομένων. Μπορούν να είναι ανεκτίμητα για τη λειτουργία και τη συντήρηση. Σε συστήματα μεγάλης κλίμακας, η παρακολούθηση είναι οπωσδήποτε απαραίτητη, δεδομένου ότι οι μη εντοπισμένες βλάβες του συστήματος ή η υποαπόδοση λόγω ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές απώλειες εσόδων.

Η ενεργειακή απόδοση μπορεί να ελέγχεται τακτικά και απλά από τον μετρητή τροφοδοσίας. Ωστόσο, απαιτούνται λεπτομερέστερες πληροφορίες για την εύρεση βλαβών.

Κατ' αρχήν, τα συστήματα παρακολούθησης συγκρίνουν συνεχώς την πραγματική απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με μια τιμή αναφοράς (δηλαδή την εκτιμώμενη αναμενόμενη απόδοση στις τρέχουσες καιρικές συνθήκες). Σε περίπτωση αποκλίσεων πέραν των καθορισμένων ορίων, η παρακολούθηση στέλνει συναγερμό στον ιδιοκτήτη/διαχειριστή του συστήματος. Ο ιδιοκτήτης/διαχειριστής θα μπορεί στη συνέχεια να αντιδράσει και να διορθώσει το πρόβλημα. Ορισμένες φορές, ένας απλός οπτικός έλεγχος μπορεί να εντοπίσει το



πρόβλημα (π.χ. βρωμιά στις μονάδες). Μερικές φορές όμως πρέπει να γίνουν εκτεταμένες μετρήσεις για να εντοπιστεί η αιτία μιας βλάβης, καθώς τα συστήματα παρακολούθησης - ιδίως σε μικρά συστήματα - δεν παρακολουθούν την κατάσταση των εξαρτημάτων, όπως καλώδια, ασφάλειες ή παρόμοια.

Η διαρκής παρακολούθηση μπορεί να συμβάλει στη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης. Αυτό αποτελεί σημαντική πτυχή της ποιότητας. Για παράδειγμα, η απόδοση διαφορετικών μετατροπέων μπορεί να συγκριθεί και μια πτώση της απόδοσης μπορεί να εντοπιστεί γρήγορα. Με την επισκευή ή την αντικατάσταση του μετατροπέα με χαμηλή απόδοση, μπορεί να αυξηθεί η απόδοση ολόκληρου του συστήματος.

Οι παράμετροι του φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως το ρεύμα, η τάση και η ισχύς στις πλευρές DC και AC, μπορούν να παρακολουθούνται απευθείας από τον μετατροπέα. Πρόσθετες συσκευές, όπως αισθητήρες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας ή ακόμη και ανέμου, επιτρέπουν την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αυτές οι συσκευές παρακολούθησης τοποθετούνται κοντά στη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Σημειώστε ότι η σωστή εγκατάσταση αυτών των συσκευών είναι ζωτικής σημασίας. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες ακτινοβολίας πρέπει να εγκαθίστανται παράλληλα με τη συστοιχία των μονάδων και δεν πρέπει να υπόκεινται σε συχνή σκίαση.



Σχήμα 17: Πυρανόμετρα σε μεγάλη εγκατάσταση σε στέγη, ως μέρος πειραματικής διάταξης (αριστερά). Ανεμόμετρο για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου (δεξιά).

Μια ανάλυση κόστους-οφέλους θα βοηθήσει να αποφασιστεί ποιες παράμετροι θα παρακολουθούνται και ποια μέθοδος παρακολούθησης θα χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, είναι ασύμφορη και περιττή η εκτεταμένη παρακολούθηση ενός μικρού φωτοβολταϊκού συστήματος σε στέγη- οι βλάβες του συστήματος μπορούν συχνά να ανιχνευθούν απλώς παρατηρώντας την κατάσταση της οθόνης του μετατροπέα. Από την άλλη πλευρά, η εκτεταμένη παρακολούθηση ενός μεγάλου φωτοβολταϊκού συστήματος έχει μεγάλο πλεονέκτημα κόστους, δεδομένου ότι τα σφάλματα ή η υπολειτουργία μπορούν να εντοπιστούν και να αποκατασταθούν γρήγορα.



Σχήμα 18: Αισθητήρας ακτινοβολίας σε ηλιακό πάρκο στην Ισπανία (αριστερά). Πηγή: SMA Solar Technology AG. Ανιχνευτής θερμομέτρου στερεωμένος στο πίσω μέρος μιας μονάδας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της μονάδας (δεξιά).



Σχήμα 19: Εάν δεν αντιμετωπιστούν τα μικρά προβλήματα, μπορεί γρήγορα να οδηγήσουν σε μεγάλα. Πηγή: Frank Jackson

### Ασφάλειες/διακόπτες κυκλώματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Η λειτουργία των ασφαλειών και των μικροδιακοπών (MCB) συνεχούς ρεύματος στα καλώδια των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, γνωστά ως "ασφάλειες χορδών" ή "MCB χορδών", είναι να προστατεύουν κυρίως από τα λεγόμενα "ανάστροφα ρεύματα", αλλά προσφέρουν επίσης προστασία από βραχυκυκλώματα, υπερθέρμανση καλωδίων και ηλεκτροπληξία.

Οι εθνικοί κώδικες θα καθορίζουν εάν/πότε πρέπει να χρησιμοποιούνται ασφάλειες και MCBs σε αυτά τα κυκλώματα και θα καθορίζουν τον τύπο που πρέπει να χρησιμοποιείται ή δεν επιτρέπεται (π.χ. οι πολωμένοι MCBs συνεχούς ρεύματος δεν επιτρέπονται πλέον σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε ορισμένες χώρες λόγω των κινδύνων που συνδέονται με αυτούς). Γενικά, εάν περισσότερες από τρεις σειρές συνδέονται παράλληλα, απαιτούνται ασφάλειες σειρών.

Ο έλεγχος των ασφαλειών πρέπει να αποτελεί μέρος της τακτικής ρουτίνας συντήρησης. Οι ασφάλειες φθείρονται προοδευτικά και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις. Η αντικατάσταση των ασφαλειών είναι μία από τις πιο συνηθισμένες εργασίες που πραγματοποιούνται κατά τη συντήρηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Εάν οι ασφάλειες καίγονται πολύ συχνά, ίσως έχει νόημα να επανεξετάσετε εάν έχουν διαστασιολογηθεί πολύ



μικρά για τη συστοιχία. Σε ορισμένα, ιδίως μεγαλύτερα, συστήματα η κατάσταση των ασφαλειών παρακολουθείται εξ αποστάσεως ή/και οι ασφάλειες αντικαθίστανται κάθε χρόνο.

### Αντιμετώπιση προβλημάτων για φωτοβολταϊκά συστήματα

Οι μηχανικοί συντήρησης και επισκευής θα πρέπει να έχουν πρόσβαση σε οδηγούς αντιμετώπισης προβλημάτων κατάλληλους για τον τύπο της εγκατάστασης στην οποία εργάζονται. Αυτό θα διασφαλίσει ότι οι βλάβες εντοπίζονται και αποκαθίστανται σε όσο το δυνατόν συντομότερο χρονικό διάστημα.

Fault indication	Fault indication	Fault/ possible cause/ solution
Meters show no output. Inverter shows no input voltage from PV array and no power being fed into the grid.	No DC voltage at the inverter input.	Too dark, not enough light. Come back at a better time when there is enough sunlight. If not →
		Main DC isolator in open position? Defective isolator? Check voltage at isolator input. IF not→
		String fuses blown (lightning strike/ surge)? If not→
		Surge arrestor has short-circuited the array to earth. Check surge arrestor
		Open or short circuit in the array? Damaged cables or modules? Visual inspection required.
	There is a DC Voltage at the inverter input but the inverter indicators are not showing anything.	Too dark, not enough light. Come back at a better time when there is enough sunlight. If not→
		Defective inverter, contact manufacturer.

Σχήμα 20: Απόσπασμα από έναν οδηγό αντιμετώπισης προβλημάτων.



## Μάθημα 2.4 Σέρβις και επισκευές

Γενικό μαθησιακό αποτέλεσμα: Να είναι σε θέση να αναλύει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και να εκτελεί εργασίες σέρβις και επισκευής.

### Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ηλιακής ενέργειας συνεπάγονται μεγάλη οικονομική επένδυση και ως εκ τούτου το σωστό σέρβις και οι επισκευές είναι επιτακτικές για να βοηθήσουν το σύστημά σας να παρέχει αξιόπιστη, καθαρή ενέργεια για περισσότερο από τη διάρκεια ζωής του, η οποία είναι συνήθως 25 χρόνια, και επίσης για να εντοπίζονται τα προβλήματα πριν γίνουν πιο σοβαρό πρόβλημα. Το σέρβις και οι επισκευές πραγματοποιούνται συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα που λειτουργούν καλά, δεν λειτουργούν καλά ή δεν λειτουργούν καθόλου. Μαζί με έναν μηχανικό, οι τεχνικοί μπορούν να υποστηρίξουν στον γρήγορο έλεγχο του συστήματος και να εντοπίσουν το πρόβλημα, εάν υπάρχει, καθώς και να παράσχουν στον ιδιοκτήτη του συστήματος την προσφορά για να λειτουργήσει το σύστημα στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Οι επισκευές μπορεί να κυμαίνονται από την αλλαγή μιας ασφάλειας ή την επαναρύθμιση ενός μετατροπέα έως την εγκατάσταση εντελώς νέων πάνελ ή μετατροπέων.

Σε αυτή την ενότητα, θα εξετάσουμε το σέρβις και τη φροντίδα που μπορεί να χρειάζονται τα συστήματα ηλιακής ενέργειας, το κόστος του εν λόγω σέρβις, το πώς θα διαπιστώσετε αν χρειάζεστε επισκευές, τις συνήθεις αιτίες βλάβης του συστήματος ηλιακής ενέργειας και γιατί θα πρέπει να εξετάσετε το ενδεχόμενο να προστατευτείτε με ένα πρόγραμμα συντήρησης ηλιακής ενέργειας.

### Διαχείριση στοιχείων ενεργητικού

<https://palmetto.com/learning-center/blog/solar-maintenance-and-solar-service-your-solar-power-needs>

Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μια επένδυση όπως ένα σπίτι ή ένα αυτοκίνητο που πρέπει να διαχειρίζεται σωστά, δεν έχει κινούμενα μέρη, είναι πολύ αξιόπιστο και με την κατάλληλη συντήρηση και εξυπηρέτηση μπορεί να παρέχει απρόσκοπτη απόδοση για 25+ χρόνια. Παρ' όλα αυτά, είναι καλό το σύστημα να ελέγχεται ετησίως, ώστε να διασφαλίζεται ότι όλα λειτουργούν σωστά και ο ιδιοκτήτης να έχει το κεφάλι του ήσυχο απέναντι σε τυχόν προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν.

Ένα πακέτο σέρβις και επισκευών υπερβαίνει την κάλυψη που παρέχει η εγγύηση του συστήματος (π.χ. ένας χαλασμένος μετατροπέας). Αυτό το πακέτο υπηρεσιών παρέχει πρόσθετα οφέλη και εγγυήσεις, όπως παρακολούθηση της απόδοσης, ενεργειακές συστάσεις, ακόμη και εκπώσεις σε αναβαθμίσεις του συστήματος. Και αν εντοπιστεί κάποιο πρόβλημα, το πρόγραμμα μπορεί επίσης να συμβάλει στην κάλυψη μέρους του κόστους των επισκευών που απαιτούνται για να επανέλθει το σύστημα σε πλήρη ισχύ.





## Αξιολόγηση, ανάλυση απόδοσης και βελτιστοποίηση φωτοβολταϊκού συστήματος

### Παρακολούθηση επιδόσεων σε πραγματικό χρόνο

Η ενεργειακή απόδοση, η οποία αποτελεί την κύρια ένδειξη της ανθεκτικότητας, μπορεί να ελέγχεται τακτικά και απλά από τον μετρητή τροφοδοσίας. Ωστόσο, απαιτούνται λεπτομερέστερες πληροφορίες για τη συντήρηση και τις επισκευές. Ενώ μπορεί επίσης να είναι δυνατός ο έλεγχος της ενεργειακής απόδοσης μέσω του μετατροπέα, ένα εγκατεστημένο σύστημα παρακολούθησης συγκρίνει συνεχώς την πραγματική απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με μια τιμή αναφοράς (δηλαδή την εκτιμώμενη αναμενόμενη απόδοση στις τρέχουσες καιρικές συνθήκες). Σε περίπτωση αποκλίσεων πέραν των καθορισμένων ορίων, η παρακολούθηση αποστέλλει συναγερμό στον ιδιοκτήτη του συστήματος/τον διαχειριστή της υπηρεσίας. Ο ιδιοκτήτης/διαχειριστής υπηρεσιών θα μπορεί στη συνέχεια να αντιδράσει και να διορθώσει το πρόβλημα εξ αποστάσεως. Μερικές φορές, μπορεί να απαιτείται ένας απλός οπτικός έλεγχος για να εντοπιστεί το πρόβλημα (π.χ. ρύποι στις μονάδες). Μερικές φορές όμως πρέπει να γίνουν εκτεταμένες μετρήσεις για να εντοπιστεί η αιτία μιας βλάβης, καθώς τα συστήματα παρακολούθησης - ιδίως σε μικρά συστήματα - δεν παρακολουθούν την κατάσταση των εξαρτημάτων, όπως καλώδια, ασφάλειες ή παρόμοια.

### Επιτόπιες επισκέψεις

Ο πάροχος θα πραγματοποιήσει μια φυσική επίσκεψη στο εργοστάσιο για να εξετάσει ολόκληρο το σύστημα και να εντοπίσει τυχόν προβλήματα που μπορεί να είναι η αιτία του προβλήματος. Αυτά μπορεί να είναι: - η λειτουργία του συστήματος.

#### 1. Βρώμικα πάνελ ή μικρορωγμές

Οι βροχοπτώσεις διατηρούν συνήθως τα πάνελ σχετικά καθαρά, αλλά μπορούν επίσης να προκαλέσουν ζημιές σε περίπτωση χαλαζόπτωσης. Ελλείψει βροχής επίσης, άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η σκόνη, η γύρη, οι σταγόνες των πουλιών μπορούν να καλύψουν τα πάνελ σας και να εμποδίσουν τις ακτίνες του ήλιου επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση της μπορεί να σας ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το σύστημα. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνετε κατά την επίσκεψη στην τοποθεσία ως να ελέγχετε τα πάνελ για βρωμιά και ρύπους και να καθαρίσετε τα πάνελ για να τα απομακρύνετε.

#### 2. Έλεγχοι ηλεκτρικού συστήματος

Μετά τους πίνακες, ο τεχνικός είναι ο οπτικός έλεγχος όλων των ηλεκτρικών εξαρτημάτων που συνδέουν το σπίτι σας με τους ηλιακούς συλλέκτες σας για τυχόν φθορά, φθορά ή αποσύνδεση. Αυτό περιλαμβάνει τα κουτιά συνδυασμού/διακλάδωσης, τα καλώδια και τους συνδέσμους για να διασφαλιστεί ότι όλη η ισχύς που αξιοποιείται μεταδίδεται σωστά.

#### 3. Έλεγχος και αντιμετώπιση παρασίτων

Τα τρωκτικά, τα πουλιά και άλλα παράσιτα αρέσκονται να φωλιάζουν όπου αισθάνονται ασφαλείς, και οι ηλιακοί συλλέκτες τείνουν να συγκαταλέγονται στα ασφαλή καταφύγια που αναζητούν. Ωστόσο, η δραστηριότητα αυτών των ζώων μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα εξαρτήματα του ηλιακού συστήματος ή να μειώσει την παραγωγικότητά τους. Αυτά θα πρέπει να απομακρύνονται εάν υπάρχουν και να λαμβάνονται μέτρα, όπως η εγκατάσταση



προστατευτικών για τα ζώδια, ώστε να αποφευχθούν στο μέλλον ζητήματα που σχετίζονται με παράσιτα.

#### 4. Συντήρηση ηλιακού μετατροπέα

Οι ηλιακοί μετατροπείς είναι ένα από τα κύρια και πιο περίπλοκα εξαρτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο και μπορεί επίσης να είναι η πηγή του προβλήματος στο σύστημα. Συνήθως η διάρκεια ζωής τους δεν είναι τόσο μεγάλη όσο των ηλιακών συλλεκτών, οπότε πρέπει να ελέγχονται και να επισκευάζονται για να βεβαιωθείτε ότι δεν είναι η αιτία ενός συστήματος που υπολειτουργεί. Ένας μετατροπέας που λειτουργεί καλά θα διασφαλίσει ότι η μετατροπή της ενέργειας συνεχούς ρεύματος (DC) σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια είναι βελτιστοποιημένη και αδιάλειπτη.

### Υποβολή εκθέσεων αναφοράς

Η υποβολή αναφορών σχετικά με το είδος των βλαβών που εντοπίστηκαν είναι ζωτικής σημασίας για την πρόταση επισκευών, η οποία θα μπορούσε να έχει τη μορφή ενός εντύπου που θα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τον ιδιοκτήτη του συστήματος και τα δεδομένα της εγκατάστασης. Τα στοιχεία για τα δεδομένα της εγκατάστασης θα πρέπει να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα εξής:

- Μέγεθος του έργου
- Τύπος του προϊόντος που μπορεί να είναι είτε μονάδα, είτε μετατροπέας κ.λπ. και όλες τις σχετικές πληροφορίες που το αφορούν, όπως ο κατασκευαστής, ο τύπος, η ισχύς, η τεχνολογία και η ποσότητα. Για τον μετατροπέα είναι καλό να γνωρίζετε αν είναι μονή σειρά ή κεντρική.
- Πού είναι εγκατεστημένο το σύστημα, δηλαδή αν πρόκειται για μονοκατοικία, βιομηχανικό κτίριο, επίγειο ή οροφή.
- Πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο τοποθέτησης των πάνελ, με κλίση ή όχι
- Ο τύπος του προβλήματος που εντοπίστηκε πρέπει να αναφέρεται σαφώς και μπορεί να είναι
  - ο Ανταλλαγή/επισκευή μονάδων,
  - ο ανταλλαγή/επισκευή μετατροπέων
  - ο Ανταλλαγή ή επισκευή καλωδίων και συνδέσμων
  - ο Επισκευές εξαρτημάτων συναρμολόγησης
  - ο Επισκευές επικοινωνίας ή
  - ο Άλλες
- Τραβήξτε πολλές φωτογραφίες του εντοπισμένου προβλήματος

### Επιδιορθώσεις

Μετά την αξιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον εντοπισμό του προβλήματος, ένας εμπειρογνώμονας θα σχεδιάσει τις επισκευές, θα αγοράσει ανταλλακτικά και θα αποκαταστήσει όλες τις βλάβες. Στη συνέχεια, οι εμπειρογνώμονες θα ελέγξουν αν το ηλιακό σύστημα είναι και πάλι πλήρως λειτουργικό. Αυτό σημαίνει ότι μια απώλεια παραγωγής ενέργειας διορθώνεται εγκαίρως.



## Βιβλιογραφικές αναφορές

- Biggs, J. B. (2003). *Teaching for quality learning at university* (2 ed.). Buckingham: Open University Press/Society for Research into Higher Education.
- BP. (2020). *BP Statistical Review of World Energy – All data 1965-2019*. Retrieved 02 21, 2021, from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-all-data.xlsx>
- Cedefop. (2010). *Learning outcomes approaches in VET curricula*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Cedefop. (2017). *Defining, writing and applying learning outcomes: a European handbook*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2801/566770>
- Education 2030. (2016). *Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4: Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all*. Paris: UNESCO.
- EurObserv'ER. (2020). *The state of renewable energies in Europe*. Retrieved 02 12, 2021, from <https://www.eurobserv-er.org/19th-annual-overview-barometer>
- European Commission. (2011). *Using Learning Outcomes - European Qualifications Framework Series: Note 4*. (P. O. Union, Ed.) doi:10.2766/17497
- Reitz, F. (2021, 01 25). *Europe Beyond Coal: European Coal Plant Database*. Retrieved 02 21, 2021, from [https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2021/01/2021-01-25\\_Europe\\_Beyond\\_Coal-European\\_Coal\\_Database\\_hc.xlsx](https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2021/01/2021-01-25_Europe_Beyond_Coal-European_Coal_Database_hc.xlsx)
- UNESCO. (2017). *Making textbook content inclusive: A focus on religion, gender, and culture*. Paris: UNESCO.
- UNESCO. (2021, 01 11). *Learning and teaching materials*. Retrieved 02 15, 2021, from Learning Portal-Planning education for improved learning outcomes: <https://learningportal.iiep.unesco.org/en/issue-briefs/improve-learning/curriculum-and-materials/learning-and-teaching-materials>



## Περαιτέρω ανάγνωση και πληροφορίες

*Grid-connected Solar Electric Systems* by Geoff Stapleton & Susan Neil, Chapter 10: *System Installation*, Earthscan Expert Series.

*Photovoltaic Systems* by James P Dunlop, Chapter 11: *Electrical Integration*, American Technical Publishers.

*Planning and Installing Photovoltaic Systems* by DGS, Chapter 7: *Installing, Commissioning and Operating Grid-Connected Photovoltaic Systems*, Routledge.

## Περαιτέρω ανάγνωση και πηγές πληροφοριών

*Grid-connected Solar Electric Systems* by Geoff Stapleton & Susan Neil, Chapter 11: *Commissioning*, Earthscan Expert Series.

*Photovoltaic Systems* by James P Dunlop, Chapter 12: *Utility Interconnection*, Chapter 13: *Permitting and Inspection*, Chapter 14: *Commissioning, Maintenance and Troubleshooting*, American Technical Publishers.

*Planning and Installing Photovoltaic Systems* by DGS, Chapter 7: *Installing, Commissioning and Operating Grid-Connected Photovoltaic Systems*, Routledge.

‘PV System Commissioning’, *Solar-Pro* magazine: <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/pv-system-commissioning>.

‘PV System Commissioning: Tests and Tools’, *Home Power* magazine : <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/pv-system-commissioning>.

See also guides to installation and good practice in general bibliography.