



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

ΧΟΥΛΙΑΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΜ: 6277

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας ενός ΦΒ πάρκου σε συγκεκριμένο οικόπεδο. Στο πρώτο κεφάλαιο που είναι η εισαγωγή της πτυχιακής αναλύονται οι βασικές αρχές της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακολουθεί το δεύτερο, όπου παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των ηλιακών κυττάρων και οι παράγοντες μείωσης της αποδοτικότητας τους. Κατόπιν, στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδίασης ηλιακών συστημάτων, όπως μετατροπείς, συσσωρευτές, κ.τ.λ. Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο, όπου παρουσιάζονται νέα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πιο αποδοτικών πάνελ. Κατόπιν, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και οι τεχνικές της ηλιακής παρακολούθησης και στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη χωροθέτησης και διασύνδεσης του ΦΒ πάρκου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	VI
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Βασικά στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας	1
1.2 Βασικές Αρχές	1
1.3 Διάχυτη και άμεση ηλιακή ακτινοβολία.....	2
1.4 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας	3
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΗΛΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ^[1]	4
2.1 Πώς λειτουργεί ένα ηλιακό κύτταρο.....	4
2.2 Παράγοντες μείωσης της απόδοσης των ηλιακών κυττάρων	6
2.2.1 Υψηλές θερμοκρασίες	6
2.2.2 Βρωμιά και σκόνες.....	6
2.2.3 Σκιάσεις.....	6
2.3 Πυρίτιο, το κυρίαρχο υλικό	7
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ^[2]	9
3.1 Κατασκευές συναρμολόγησης.....	9
3.2 Ενσωμάτωση των ΦΒ σε κτήριο.....	10
3.3 Μετατροπείς	11
3.3.1 Μετατροπέας – Αρχή λειτουργίας ^[3]	12
3.3.2 Προς ένα δίκτυο βασισμένο σε μετατροπείς	13
3.3.3 Υπηρεσίες δικτύου και μετατροπείς.....	14

3.3.4	Τύποι Μετατροπέων.....	17
3.4	Αποθήκευση.....	18
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ. ^[4]	19
4.1	Στρώμα με ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων	19
4.2	Thin-Film Ηλεκτρικά κύτταρα.....	20
4.2.1	Τελλουρίδιο του καδμίου.....	21
4.2.2	Χαλκός ινδίου γάλλιο δισελενίδιο	23
4.3	Νέα και αναδυόμενα ηλιακά υλικά.....	26
4.3.1	Περοβσκήτης.....	26
4.3.2	Quantum Dots (κβαντικές κουκίδες)	26
4.4	Οργανικά φωτοβολταϊκά	27
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 -ΗΛΙΑΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ (TRACKING) ^[5]	29
5.1	Γιατί παρακολουθήση	29
5.2	Τύποι συστημάτων που πρέπει να περιλαμβάνουν συσκευές παρακολούθησης (trackers)	29
5.3	Ιχνηλάτες.....	30
5.3.1	Ιχνηλάτες μονού άξονα.....	30
5.3.2	Ιχνηλάτες διπλού άξονα.....	30
5.4	Συνημιτονικό φαινόμενο	32
5.5	Τύποι συστημάτων παρακολούθησης.....	34
5.6	Σχεδιασμένες συσκευές για ηλιακή παρακολούθηση	36
5.6.1	Τρεις κατηγορίες τύπων μονάδας παρακολούθησης για τη λειτουργία του κινούμενου δέκτη:	37
5.6.2	Ενεργοποιητές	38
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	39
6.1	Παρουσίαση του χώρου εγκατάστασης του πάρκου.....	39
6.2	Τοποθέτηση των πλαισίων.....	40

6.2.1	Κομμάτι 1	40
6.3	Κομμάτι 2	40
6.3.1	Κομμάτι 3	41
6.3.2	Συνολικά πλαίσια και συνολική ισχύς του ΦΒ πάρκου	41
6.4	Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν ^[6]	42
6.5	Αντιστροφείς ^{[7][8]}	44
6.6	Ηλεκτρολογικός έλεγχος διασύνδεσης ^[9]	47
6.6.1	Αντιστροφέας 225kW	47
6.7	Αντιστροφέας 150kW	47
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1	Από την ηλιακή κυψέλη στο ηλιακό σύστημα (https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell).....	4
Εικόνα 3-1	Παραδείγματα ενσωμάτωσης ΦΒ σε κτήρια και σε άλλες βοηθητικές κατασκευές (https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-system-design-basics).....	10
Εικόνα 3-2	Ένας «περιστροφικός μετατροπέας» 500 κιλοβάτ Westinghouse του 1909, ένας πρώιμος τύπος μετατροπέα. (https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics)	13
Εικόνα 3-3	Ένας εργαζόμενος ελέγχει έναν μετατροπέα στον ηλιακό σταθμό CoServ ισχύος 2 MW στο Krugerville του Τέξας. (https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics)	17
Εικόνα 4-1	Υλικά ηλιακών κυττάρων (https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics)	21
Εικόνα 4-2	Δομή ηλιακού κυττάρου CdTe (https://www.energy.gov/eere/solar/earth-abundant-materials)	22
Εικόνα 4-3	Δομή ηλιακού κυττάρου CuInSe ₂ (https://www.energy.gov/eere/solar/copper-indium-gallium-diselenide)	23
Εικόνα 4-4	Ηλιακό κύτταρο με κβαντικές κουκίδες (https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics)	27
Εικόνα 4-5	Ηλιακό κύτταρο με OPV (https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics)	28
Εικόνα 5-1	Συστήματα ιχνηλάτησης (https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519)	36
Εικόνα 6-1	Κάτοψη του οικοπέδου (άποψη από δορυφόρο)	39
Εικόνα 6-2	Το ΦΒ πλαίσιο που θα χρησιμοποιηθεί (https://www.mipesun.gr/φωτοβολταικα-πανελ/πολυκρυσταλλικα/amerisolar-as-6p30-285wp.htm).....	42
Εικόνα 6-3	Ο αντιστροφέας Sunny Highpower Peak3	44

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 5-1 Προσανατολισμός του επιπέδου του δέκτη κάθετος στις προσπίπτουσες ακτίνες (αριστερά) και υπό γωνία (δεξιά), που εισάγει το συνημιτονικό φαινόμενο.	32
Σχήμα 5-2 Εκτίμηση του φαινομένου του συνημιτόνου σε μια οριζόντια επιφάνεια με βάση τη γωνία ζενίθ. (https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519)	33
Σχήμα 5-3 Κλίση του επιπέδου δέκτη για αποφυγή απωλειών από το συνημιτονικό φαινόμενο. (https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519)	34
Σχήμα 5-4 Τρεις άξονες περιστροφής μιας υποθετικής κινούμενης επιφάνειας. (https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519)	35
Σχήμα 6-1 Κάτοψη του προς εκμετάλλευση χώρου του οικοπέδου	39
Σχήμα 6-2 Διασύνδεση αντιστροφέα 225kW	45
Σχήμα 6-3 Διασύνδεση αντιστροφέα 150 kW	45
Σχήμα 6-4 Διασύνδεσης των αντιστροφέων με το μετασχηματιστή	46

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5-1 Ποσοστό φωτοβολταϊκών συστημάτων κλίμακας χρησιμότητας των ΗΠΑ που χρησιμοποιούν συστήματα παρακολούθησης, 2007–2017 (https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519)	31
--	----

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 6-1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ.....	43
Πίνακας 6-2 Τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφέων	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βασικά στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία, που συχνά ονομάζεται ηλιακός πόρος ή απλώς ηλιακό φως, είναι ένας γενικός όρος για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί και να μετατραπεί σε χρήσιμες μορφές ενέργειας, όπως θερμότητα και ηλεκτρισμός, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνολογιών. Ωστόσο, η τεχνική σκοπιμότητα και η οικονομική λειτουργία αυτών των τεχνολογιών σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία εξαρτάται από τον διαθέσιμο ηλιακό πόρο.

1.2 Βασικές Αρχές

Κάθε τοποθεσία στη Γη δέχεται ηλιακό φως τουλάχιστον ένα μέρος του χρόνου. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε οποιοδήποτε σημείο στην επιφάνεια της Γης ποικίλλει ανάλογα με:

- Γεωγραφική θέση
- Ώρα της ημέρας
- Εποχή
- Τοπικό τοπίο
- Τοπικός καιρός

Επειδή η Γη είναι στρογγυλή, ο ήλιος προσκρούει στην επιφάνεια σε διαφορετικές γωνίες, που κυμαίνονται από 0 (ακριβώς πάνω από τον ορίζοντα) έως 90° (απευθείας από πάνω). Όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι κάθετες, η επιφάνεια της Γης παίρνει όλη την ενέργεια που είναι δυνατή. Όσο πιο λοξές είναι οι ακτίνες του ήλιου, τόσο περισσότερο ταξιδεύουν στην ατμόσφαιρα, γίνονται πιο διασκορπισμένες και διάχυτες. Επειδή η Γη είναι στρογγυλή, οι παγωμένες πολικές περιοχές δεν έχουν ποτέ υψηλό ήλιο και λόγω του κεκλιμένου άξονα περιστροφής, αυτές οι περιοχές δεν λαμβάνουν καθόλου ήλιο κατά τη διάρκεια ενός μέρους του έτους.

Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο σε ελλειπτική τροχιά και είναι πιο κοντά στον ήλιο κατά τη διάρκεια ενός μέρους του έτους. Όταν ο ήλιος είναι πιο κοντά στη Γη, η επιφάνεια της Γης λαμβάνει λίγη περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Η Γη είναι πιο κοντά στον ήλιο όταν είναι καλοκαίρι στο νότιο ημισφαίριο και χειμώνας στο βόρειο ημισφαίριο. Ωστόσο, η παρουσία αχανών ωκεανών μετριάξει τα θερμότερα καλοκαίρια και τους ψυχρότερους χειμώνες που θα περίμενε κανείς να δει στο νότιο ημισφαίριο ως αποτέλεσμα αυτής της διαφοράς.

Η κλίση $23,5^\circ$ στον άξονα περιστροφής της Γης είναι πιο σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της ποσότητας του ηλιακού φωτός που χτυπά τη Γη σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η κλίση έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες ημέρες στο βόρειο ημισφαίριο από την εαρινή (εαρινή) ισημερία έως την φθινοπωρινή (φθινοπωρινή) ισημερία και μεγαλύτερες ημέρες στο νότιο ημισφαίριο κατά τους άλλους 6 μήνες. Οι μέρες και οι νύχτες είναι και οι δύο ακριβώς 12 ώρες στις ισημερίες, οι οποίες συμβαίνουν κάθε χρόνο στις 23 Μαρτίου και στις 22 Σεπτεμβρίου περίπου.

Η περιστροφή της Γης είναι επίσης υπεύθυνη για ωριαίες διακυμάνσεις στο ηλιακό φως. Νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό. Οι ακτίνες του ταξιδεύουν περισσότερο στην ατμόσφαιρα από ό,τι το μεσημέρι, όταν ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του. Σε μια καθαρή μέρα, η μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας φτάνει σε έναν ηλιακό συλλέκτη γύρω στο ηλιακό μεσημέρι.

1.3 Διάχυτη και άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Καθώς το ηλιακό φως διέρχεται από την ατμόσφαιρα, μέρος του απορροφάται, διασκορπίζεται και αντανακλάται από:

- Μόρια αέρα
- Υδρατμούς
- Σύννεφα
- Σκόνη

- Ρύπους
- Πυρκαγιές στο δάσος
- Ηφαίστεια

Αυτό ονομάζεται διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς να διαχέεται ονομάζεται ηλιακή ακτινοβολία άμεσης δέσμης. Το άθροισμα της διάχυτης και της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να μειώσουν την άμεση ακτινοβολία δέσμης κατά 10% σε καθαρές, ξηρές ημέρες και κατά 100% κατά τις πυκνές, συννεφιασμένες ημέρες.

1.4 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

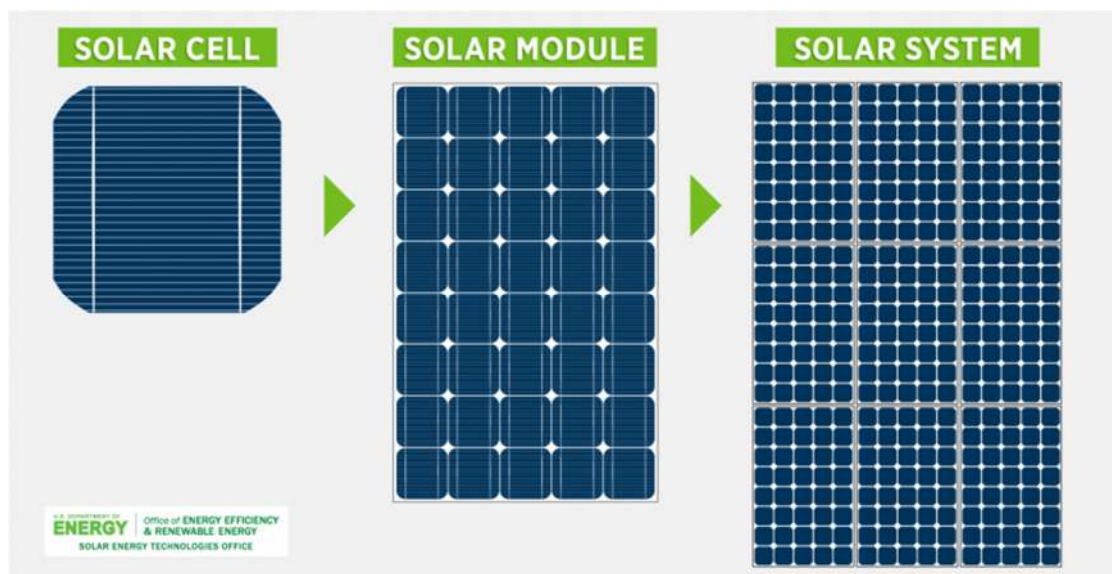
Οι επιστήμονες μετρούν την ποσότητα του ηλιακού φωτός που πέφτει σε συγκεκριμένες τοποθεσίες σε διαφορετικές εποχές του χρόνου. Στη συνέχεια υπολογίζουν την ποσότητα του ηλιακού φωτός που πέφτει σε περιοχές στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος με παρόμοια κλίματα. Οι μετρήσεις της ηλιακής ενέργειας τυπικά εκφράζονται ως συνολική ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια ή ως συνολική ακτινοβολία σε μια επιφάνεια που παρακολουθεί τον ήλιο.

Τα δεδομένα ακτινοβολίας για ηλιακά ηλεκτρικά (φωτοβολταϊκά) συστήματα αντιπροσωπεύονται συχνά ως κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m^2). Οι άμεσες εκτιμήσεις της ηλιακής ενέργειας μπορούν επίσης να εκφραστούν σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2). Τα δεδομένα ακτινοβολίας για τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού και θέρμανσης χώρου αντιπροσωπεύονται συνήθως σε βρετανικές θερμικές μονάδες ανά τετραγωνικό πόδι (Btu/ft^2).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΗΛΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ^[1]

Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των ηλιακών κυττάρων είναι το θεμέλιο για την κατανόηση των τεχνολογιών ΦΒ. Τα ΦΒ έχει σημειώσει ταχεία πρόοδο τα τελευταία 20 χρόνια, αποδίδοντας καλύτερη απόδοση, βελτιωμένη αντοχή και χαμηλότερο κόστος.

Οι ηλιακές κυψέλες που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους δημιουργούν μια μονάδα ή πάνελ και όταν οι μονάδες συνδέονται, δημιουργούν ένα ηλιακό σύστημα ή εγκατάσταση. Ένα τυπικό ηλιακό σύστημα στέγης κατοικιών έχει περίπου 30 μονάδες.



Εικόνα 2-1 Από την ηλιακή κυψέλη στο ηλιακό σύστημα
(<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell>)

2.1 Πώς λειτουργεί ένα ηλιακό κύτταρο

Οι ηλιακές κυψέλες περιέχουν ένα υλικό που μεταφέρει ηλεκτρισμό μόνο όταν παρέχεται ενέργεια από το ηλιακό φως. Αυτό το υλικό ονομάζεται ημιαγωγός. το «ημι» σημαίνει ότι η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είναι μικρότερη από αυτή ενός μετάλλου αλλά μεγαλύτερη από αυτή ενός μονωτή. Όταν ο ημιαγωγός εκτίθεται στο ηλιακό φως, απορροφά το φως, μεταφέροντας την ενέργεια σε αρνητικά φορτισμένα σωματίδια που ονομάζονται ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσω του ημιαγωγού ως ηλεκτρικό ρεύμα, επειδή άλλα στρώματα

του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι σχεδιασμένα να εξάγουν το ρεύμα από τον ημιαγωγό. Στη συνέχεια, το ρεύμα ρέει μέσα από μεταλλικές επαφές - τις γραμμές που μοιάζουν με πλέγμα σε ένα ηλιακό στοιχείο - προτού ταξιδέψει σε έναν μετατροπέα. Ο μετατροπέας μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο ρέει στο ηλεκτρικό δίκτυο και, τελικά, συνδέεται με το κύκλωμα που είναι το ηλεκτρικό σύστημα του σπιτιού σας. Όσο το ηλιακό φως συνεχίζει να φθάνει στη μονάδα και το κύκλωμα είναι συνδεδεμένο, θα συνεχίσει να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Η ικανότητα μιας μονάδας να μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από τον ημιαγωγό. Στο εργαστήριο, αυτή η ικανότητα ονομάζεται απόδοση μετατροπής φωτοβολταϊκών. Εξωτερικά, οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η ζέστη, η βρομιά και η σκιά μπορούν να μειώσουν την απόδοση μετατροπής, μαζί με άλλους παράγοντες. Ωστόσο, οι ερευνητές βρίσκουν λύσεις, όπως φύλλα πλάτης που τοποθετούνται στα πάνελ για να μειώσουν τη θερμοκρασία λειτουργίας τους και νέα σχέδια κυψελών που αιχμαλωτίζουν περισσότερο φως.

Η σύλληψη περισσότερου φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας αυξάνει την ενεργειακή απόδοση ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Για να ενισχύσουν την ενεργειακή απόδοση, ερευνητές και κατασκευαστές εξετάζουν ηλιακά κύτταρα διπλής όψης, τα οποία είναι διπλής όψης για να συλλαμβάνουν φως και στις δύο πλευρές μιας ηλιακής μονάδας πυριτίου - συλλαμβάνουν το φως που αντανακλάται από το έδαφος ή την οροφή όπου είναι εγκατεστημένα τα πάνελ. Δεν είναι ακόμα σαφές πώς θα επηρεάσουν οι διπλές όψεις την ενεργειακή απόδοση ενός συστήματος, αλλά καθιερώνονται βασικές μετρήσεις για την ποσοτικοποίηση και τη μοντελοποίηση των κερδών απόδοσης της διπλής όψης.

2.2 Παράγοντες μείωσης της απόδοσης των ηλιακών κυττάρων

2.2.1 Υψηλές θερμοκρασίες

Οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την τάση ενός ηλιακού κυττάρου. Οι συμβατικές ηλιακές μονάδες στέγης μπορούν να χάσουν έως και το 30 τοις εκατό της ηλεκτρικής τους παραγωγής τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού. Ερευνητές στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Αριζόνα προσπαθούν να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα βελτιώνοντας το πίσω φύλλο ή το κάτω στρώμα μιας ηλιακής φωτοβολταϊκής μονάδας, η οποία χρησιμεύει ως ηλεκτρικός μονωτήρας και προστατεύει τη μονάδα από την υγρασία και άλλες περιβαλλοντικές ζημιές. Μελετώντας φύλλα βάσης με διαφορετικές ιδιότητες αγωγιμότητας της θερμότητας, η ομάδα ελπίζει να διατηρήσει τα ηλιακά πάνελ πιο δροσερά και να βελτιώσει την απόδοση σε ζεστό καιρό.

2.2.2 Βρωμιά και σκόνες

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο τα πάνελ χάνουν την ισχύ τους είναι απλώς ότι λερώνονται. Οι επιπτώσεις της βρωμιάς ποικίλλουν ευρέως ανάλογα με την τοποθεσία, αλλά οι απώλειες ενεργειακής απόδοσης 10 τοις εκατό δεν είναι ασυνήθιστες. Η έρευνα για τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις διαδικασίες συντήρησης πάνελ θα μπορούσε να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα πώς και γιατί τα πάνελ χάνουν την ισχύ τους από τη βρωμιά, κάτι που με τη σειρά του θα μπορούσε να οδηγήσει σε καλύτερη πρόβλεψη ρύπανσης από το ένα ηλιακό σύστημα ενέργειας στο άλλο και πιο αποτελεσματικές επεξεργασίες ανθεκτικότητας στη βρωμιά για γυαλί φωτοβολταϊκών μονάδων .

2.2.3 Σκιάσεις

Ενώ η θερμότητα και η βρωμιά μειώνουν την ενεργειακή απόδοση των ηλιακών συλλεκτών με πολύ απλό τρόπο, οι σκιές είναι λίγο πιο περίπλοκες. Σε περιπτώσεις που ένα αχνό σύννεφο περνά πάνω από την ηλιακή μονάδα, τα επίπεδα ισχύος απλώς μειώνονται. Ωστόσο, μερικές φορές το φως μπλοκάρεται εντελώς ή τακτικά από μια μόνιμη δομή , όπως μια καμινάδα που σκιάζει μόνο ένα μέρος της μονάδας , που

μπορεί στην πραγματικότητα να προκαλέσει "hot spots" που μπορεί να καταστρέψουν τη μονάδα με την πάροδο του χρόνου. Το Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν, Ann Arbor έχει μια έξυπνη λύση στα σκαριά: ο σχεδιασμός «υπερκυψελών» του μπορεί πραγματικά να εξισορροπήσει την ισχύ σε όλη τη μονάδα σε επίπεδο κυψέλης. Αυτό επιτρέπει στις μη σκιασμένες κυψέλες να συνεχίσουν να λειτουργούν κανονικά, αυξάνοντας την ενεργειακή απόδοση της μονάδας και ακόμη και βελτιώνοντας την αντοχή της.

2.3 Πυρίτιο, το κυρίαρχο υλικό

Ο κύριος ημιαγωγός που χρησιμοποιείται στα ηλιακά κύτταρα, για να μην αναφέρουμε τα περισσότερα ηλεκτρονικά, είναι το πυρίτιο, ένα άφθονο στοιχείο. Στην πραγματικότητα, βρίσκεται στην άμμο, επομένως είναι φθηνό, αλλά πρέπει να εξευγενιστεί σε μια χημική διαδικασία πριν μετατραπεί σε κρυσταλλικό πυρίτιο και μεταφέρει ηλεκτρισμό.

Για να κατασκευαστεί ένα ηλιακό στοιχείο πυριτίου, κομμάτια κρυσταλλικού πυριτίου κόβονται σε πολύ λεπτά στρώματα. Το στρώμα επεξεργάζεται και στις δύο πλευρές για να διαχωρίσει τα ηλεκτρικά φορτία και να σχηματίσει μια δίοδο, μια συσκευή που επιτρέπει στο ρεύμα να ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση. Η δίοδος τοποθετείται μεταξύ των μεταλλικών επαφών για να αφήσει το ηλεκτρικό ρεύμα να ρέει εύκολα έξω από το στοιχείο.

Περίπου το 95% των ηλιακών συλλεκτών στην αγορά σήμερα χρησιμοποιούν είτε μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είτε πολυκρυσταλλικό πυρίτιο ως ημιαγωγό. Τα στρώματα μονοκρυσταλλικού πυριτίου αποτελούνται από μία κρυσταλλική δομή και το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από πολλούς διαφορετικούς κρυστάλλους. Τα μονοκρυσταλλικά πάνελ είναι πιο αποτελεσματικά επειδή τα ηλεκτρόνια κινούνται πιο ελεύθερα για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία είναι λιγότερο δαπανηρά στην κατασκευή τους.

Το μέγιστο θεωρητικό επίπεδο απόδοσης για ένα ηλιακό στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 32% λόγω του τμήματος του ηλιακού φωτός που μπορεί να απορροφήσει ο ημιαγωγός πυριτίου πάνω από το διάκενο ζώνης. Τα καλύτερα πάνελ για εμπορική χρήση έχουν απόδοση περίπου 18% έως 22%, αλλά οι ερευνητές μελετούν πώς να βελτιώσουν την απόδοση και την ενεργειακή απόδοση διατηρώντας παράλληλα το κόστος παραγωγής σε χαμηλά επίπεδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ^[2]

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι εκεί όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια, αλλά είναι μόνο ένα από τα πολλά μέρη ενός πλήρους φωτοβολταϊκού συστήματος (ΦΒ). Προκειμένου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι χρήσιμη σε ένα σπίτι ή μια επιχείρηση, πρέπει να υπάρχει μια σειρά από άλλες τεχνολογίες.

3.1 Κατασκευές συναρμολόγησης

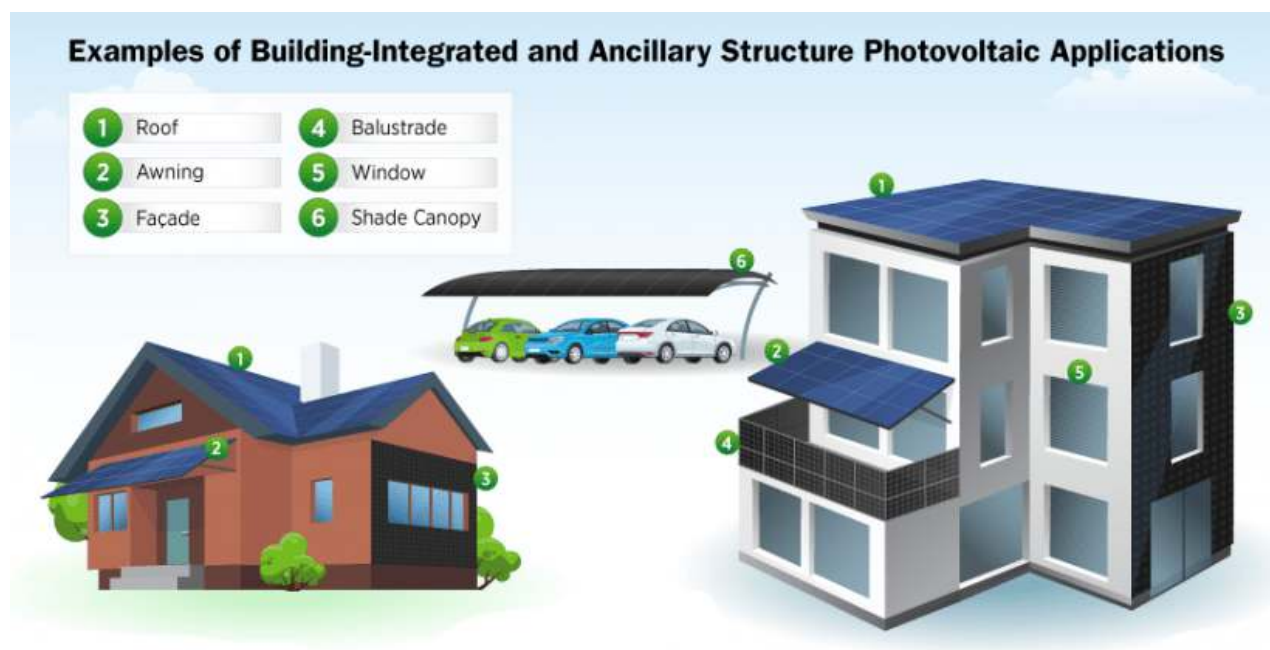
Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες πρέπει να τοποθετούνται σε μια σταθερή, ανθεκτική δομή που να μπορεί να υποστηρίξει τη συστοιχία και να αντέχει τον άνεμο, τη βροχή, το χαλάζι και τη διάβρωση για δεκαετίες. Αυτές οι δομές κρατούν τη Φ/Β γεννήτρια σε μια σταθερή γωνία που καθορίζεται από το τοπικό γεωγραφικό πλάτος, τον προσανατολισμό της κατασκευής και τις απαιτήσεις ηλεκτρικού φορτίου. Για να επιτευχθεί η υψηλότερη ετήσια παραγωγή ενέργειας, οι μονάδες στο βόρειο ημισφαίριο είναι στραμμένες προς το νότο και έχουν κλίση σε γωνία ίση με το τοπικό γεωγραφικό πλάτος. Η τοποθέτηση σε ράφι είναι αυτή τη στιγμή η πιο κοινή μέθοδος επειδή είναι στιβαρή, ευέλικτη και εύκολη στην κατασκευή και εγκατάσταση. Συνεχίζουν να αναπτύσσονται πιο εξελιγμένες και λιγότερο δαπανηρές μέθοδοι.

Για τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών που είναι τοποθετημένες στο έδαφος, οι μηχανισμοί παρακολούθησης μετακινούν αυτόματα τα πάνελ για να ακολουθήσουν τον ήλιο στον ουρανό, γεγονός που παρέχει περισσότερη ενέργεια και υψηλότερες αποδόσεις επένδυσης. Οι ιχνηλάτες ενός άξονα σχεδιάζονται συνήθως για να παρακολουθούν τον ήλιο από την ανατολή προς τη δύση. Οι ιχνηλάτες δύο αξόνων επιτρέπουν στις μονάδες να παραμένουν στραμμένες απευθείας στον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Φυσικά, η παρακολούθηση συνεπάγεται μεγαλύτερο αρχικό κόστος και τα εξελιγμένα συστήματα είναι πιο ακριβά και απαιτούν περισσότερη συντήρηση. Καθώς τα συστήματα έχουν βελτιωθεί, η ανάλυση κόστους-οφέλους ευνοεί όλο

και περισσότερο την παρακολούθηση για συστήματα που είναι τοποθετημένα στο έδαφος.

3.2 Ενσωμάτωση των ΦΒ σε κτήριο

Ενώ οι περισσότερες ηλιακές μονάδες τοποθετούνται σε ειδικές κατασκευές τοποθέτησης, μπορούν επίσης να ενσωματωθούν απευθείας σε δομικά υλικά όπως στέγες, παράθυρα ή προσόψεις. Αυτά τα συστήματα είναι γνωστά ως κτιριακά ολοκληρωμένα Φ/Β (BIPV). Η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια θα μπορούσε να βελτιώσει την απόδοση των υλικών και της εφοδιαστικής αλυσίδας συνδυάζοντας περιττά εξαρτήματα και να μειώσει το κόστος του συστήματος χρησιμοποιώντας υπάρχοντα κτιριακά συστήματα και δομές υποστήριξης.



Εικόνα 3-1 Παραδείγματα ενσωμάτωσης ΦΒ σε κτήρια και σε άλλες βοηθητικές κατασκευές (<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-system-design-basics>)

Τα συστήματα BIPV θα μπορούσαν να παρέχουν ισχύ για εφαρμογές συνεχούς ρεύματος (DC) σε κτίρια, όπως φωτισμό LED, υπολογιστές, αισθητήρες και κινητήρες, και να υποστηρίξουν αποτελεσματικές εφαρμογές κτιρίου ενσωματωμένες στο δίκτυο, όπως η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Τα συστήματα BIPV εξακολουθούν να

αντιμετωπίζουν τεχνικά και εμπορικά εμπόδια στην ευρεία χρήση, αλλά η μοναδική τους αξία τα καθιστά μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση σε σχέση με τις παραδοσιακές κατασκευές τοποθέτησης και τα δομικά υλικά.

3.3 Μετατροπείς

Οι μετατροπείς χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τις ηλιακές φωτοβολταϊκές μονάδες σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), η οποία χρησιμοποιείται για τοπική μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τις περισσότερες συσκευές στα σπίτια μας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν είτε έναν μετατροπέα που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από όλες τις μονάδες είτε μικρομετατροπείς που είναι συνδεδεμένοι σε κάθε μεμονωμένη μονάδα. Ένας μεμονωμένος μετατροπέας είναι γενικά λιγότερο ακριβός και μπορεί να ψύχεται και να συντηρείται ευκολότερα όταν χρειάζεται. Ο μικρομετατροπέας επιτρέπει την ανεξάρτητη λειτουργία κάθε πίνακα, κάτι που είναι χρήσιμο εάν, για παράδειγμα, ορισμένες μονάδες ενδέχεται να είναι σκιασμένες. Αναμένεται ότι οι μετατροπείς θα πρέπει να αντικατασταθούν τουλάχιστον μία φορά στα 25 χρόνια ζωής μιας Φ/Β γεννήτριας.

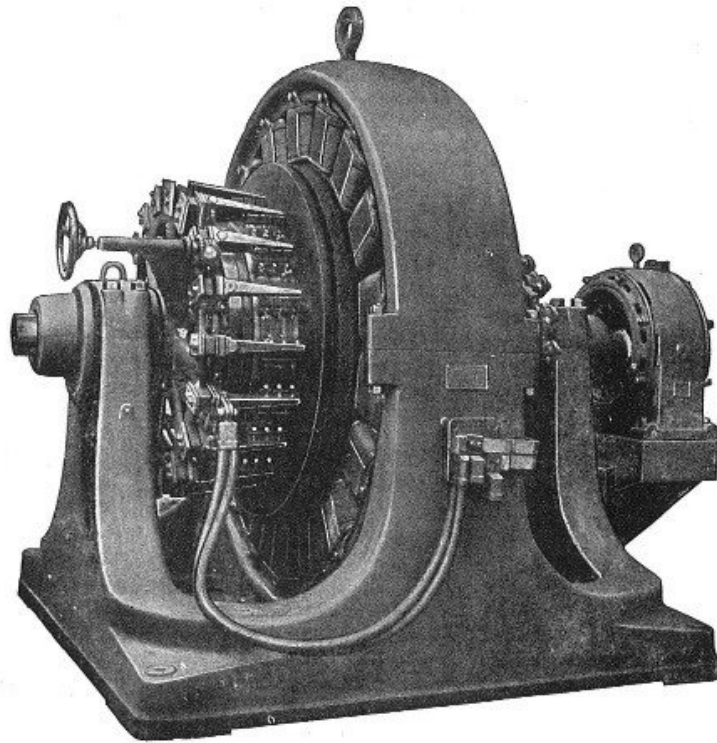
Οι προηγμένοι μετατροπείς, ή οι "έξυπνοι μετατροπείς", επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετατροπέα και του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης είτε αυτόματα είτε μέσω απομακρυσμένης επικοινωνίας με φορείς παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Επιτρέποντας στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να έχουν αυτή τη γνώση (και τον πιθανό έλεγχο) της προσφοράς και της ζήτησης, τους επιτρέπει να μειώσουν το κόστος, να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα του δικτύου και να μειώσουν την πιθανότητα διακοπών ρεύματος.

3.3.1 Μετατροπέας - Αρχή λειτουργίας^[3]

Ένας μετατροπέας είναι ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια εξοπλισμού σε ένα ηλιακό σύστημα ενέργειας. Είναι μια συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος (DC), την οποία παράγει ένα ηλιακό πάνελ, σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), την οποία χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δίκτυο. Στο συνεχές ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια διατηρείται σε σταθερή τάση προς μία κατεύθυνση. Στο AC, η ηλεκτρική ενέργεια ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις στο κύκλωμα καθώς η τάση αλλάζει από θετική σε αρνητική. Οι μετατροπείς είναι μόνο ένα παράδειγμα μιας κατηγορίας συσκευών που ονομάζονται ηλεκτρονικά ισχύος που ρυθμίζουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ουσιαστικά, ένας μετατροπέας πραγματοποιεί τη μετατροπή DC σε AC αλλάζοντας την κατεύθυνση μιας εισόδου DC μπρος-πίσω πολύ γρήγορα. Ως αποτέλεσμα, μια είσοδος DC γίνεται έξοδος AC. Επιπλέον, φίλτρα και άλλα ηλεκτρονικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τάσης που ποικίλλει ως καθαρό, επαναλαμβανόμενο ημιτονοειδές κύμα που μπορεί να εγχυθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το ημιτονοειδές κύμα είναι ένα σχήμα ή σχέδιο που δημιουργεί η τάση με την πάροδο του χρόνου και είναι το μοτίβο ισχύος που μπορεί να χρησιμοποιήσει το δίκτυο χωρίς να καταστρέψει τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, ο οποίος είναι κατασκευασμένος για να λειτουργεί σε συγκεκριμένες συχνότητες και τάσεις.

Οι πρώτοι μετατροπείς δημιουργήθηκαν τον 19ο αιώνα και ήταν μηχανικοί. Ένας περιστρεφόμενος κινητήρας, για παράδειγμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αλλάζει συνεχώς εάν η πηγή DC ήταν συνδεδεμένη προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Σήμερα κατασκευάζουμε ηλεκτρικούς διακόπτες από τρανζίστορ, συσκευές στερεάς κατάστασης χωρίς κινούμενα μέρη. Τα τρανζίστορ είναι κατασκευασμένα από ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο ή το αρσενίδιο του γαλλίου. Ελέγχουν τη ροή του ηλεκτρισμού ως απόκριση σε εξωτερικά ηλεκτρικά σήματα.



Εικόνα 3-2 Ένας «περιστροφικός μετατροπέας» 500 κιλοβάτ Westinghouse του 1909, ένας πρώιμος τύπος μετατροπέα. (<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>)

Εκτός από τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ένας μετατροπέας μπορεί να παρακολουθεί το σύστημα και να παρέχει μια πύλη για επικοινωνία με δίκτυα υπολογιστών. Ορισμένα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών στηρίζονται σε προηγμένους μετατροπείς για να λειτουργούν χωρίς υποστήριξη από το δίκτυο σε περίπτωση διακοπών.

3.3.2 Προς ένα δίκτυο βασισμένο σε μετατροπείς

Ιστορικά, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από την καύση ενός καυσίμου και τη δημιουργία ατμού, ο οποίος στη συνέχεια περιστρέφει μια γεννήτρια στροβίλου, η οποία δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια. Η κίνηση αυτών των γεννητριών παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα καθώς η συσκευή περιστρέφεται, η οποία επίσης ρυθμίζει τη συχνότητα ή τον αριθμό των επαναλήψεων του ημιτονοειδούς κύματος. Η συχνότητα

ισχύος είναι ένας σημαντικός δείκτης για την παρακολούθηση της υγείας του ηλεκτρικού δικτύου. Για παράδειγμα, εάν υπάρχει υπερβολικό φορτίο - πάρα πολλές συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια - τότε η ενέργεια αφαιρείται από το δίκτυο γρηγορότερα από ό,τι μπορεί να τροφοδοτηθεί. Ως αποτέλεσμα, οι τουρμπίνες θα επιβραδυνθούν και η συχνότητα AC θα μειωθεί. Επειδή οι στρόβιλοι είναι μαζικά περιστρεφόμενα αντικείμενα, αντιστέκονται στις αλλαγές της συχνότητας, όπως όλα τα αντικείμενα αντιστέκονται στις αλλαγές στην κίνησή τους, μια ιδιότητα γνωστή ως αδράνεια.

Καθώς προστίθενται περισσότερα ηλιακά συστήματα στο δίκτυο, περισσότεροι μετατροπείς συνδέονται στο δίκτυο. Η παραγωγή που βασίζεται σε αναστροφείς μπορεί να παράγει ενέργεια σε οποιαδήποτε συχνότητα και δεν έχει τις ίδιες αδρανειακές ιδιότητες με την παραγωγή με ατμό, επειδή δεν εμπλέκεται στρόβιλος. Ως αποτέλεσμα, η μετάβαση σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο με περισσότερους μετατροπείς απαιτεί την κατασκευή εξυπνότερων μετατροπέων που μπορούν να ανταποκριθούν σε αλλαγές στη συχνότητα και άλλες διακοπές που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία του δικτύου και να βοηθήσουν στη σταθεροποίηση του δικτύου έναντι αυτών των διακοπών.

3.3.3 Υπηρεσίες δικτύου και μετατροπείς

Οι διαχειριστές δικτύου διαχειρίζονται την προσφορά και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα παρέχοντας μια σειρά από υπηρεσίες δικτύου. Οι υπηρεσίες δικτύου είναι δραστηριότητες που εκτελούν οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου για να διατηρήσουν την ισορροπία σε όλο το σύστημα και να διαχειριστούν καλύτερα τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν το δίκτυο σταματήσει να συμπεριφέρεται όπως αναμένεται, όπως όταν υπάρχουν αποκλίσεις στην τάση ή τη συχνότητα, οι έξυπνοι μετατροπείς μπορούν να ανταποκριθούν με διάφορους τρόπους. Γενικά, το πρότυπο για μικρούς μετατροπείς, όπως εκείνους που είναι συνδεδεμένοι σε ένα οικιακό ηλιακό σύστημα, είναι να παραμένουν αναμμένοι κατά τη διάρκεια ή να «περνούν» μικρές διακοπές στην τάση

ή τη συχνότητα και εάν η διακοπή διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα ή είναι μεγαλύτερη από το κανονικό, θα αποσυνδεθούν από το δίκτυο και θα κλείσουν. Η απόκριση συχνότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική επειδή η πτώση της συχνότητας σχετίζεται με την απροσδόκητη διακοπή λειτουργίας της παραγωγής. Σε απόκριση σε μια αλλαγή στη συχνότητα, οι μετατροπείς έχουν ρυθμιστεί να αλλάζουν την ισχύ εξόδου τους για να επαναφέρουν την τυπική συχνότητα. Οι πόροι που βασίζονται σε μετατροπείς ενδέχεται επίσης να ανταποκρίνονται σε σήματα από έναν χειριστή για αλλαγή της ισχύος εξόδου του καθώς η άλλη προσφορά και ζήτηση στο ηλεκτρικό σύστημα ποικίλλει, μια υπηρεσία δικτύου γνωστή ως αυτόματος έλεγχος παραγωγής. Για την παροχή υπηρεσιών δικτύου, οι μετατροπείς πρέπει να διαθέτουν πηγές ενέργειας που μπορούν να ελέγξουν. Αυτό θα μπορούσε να είναι είτε παραγωγή, όπως ένα ηλιακό πάνελ που παράγει αυτήν τη στιγμή ηλεκτρική ενέργεια, είτε αποθήκευση, όπως ένα σύστημα μπαταρίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ενέργειας που ήταν προηγουμένως αποθηκευμένη.

Μια άλλη υπηρεσία δικτύου που μπορούν να παρέχουν ορισμένοι προηγμένοι μετατροπείς είναι η διαμόρφωση δικτύου. Οι μετατροπείς που σχηματίζουν πλέγμα μπορούν να ξεκινήσουν ένα πλέγμα εάν πέσει - μια διαδικασία γνωστή ως εκκίνηση από την αρχή. Οι παραδοσιακοί μετατροπείς «ακολουθώντας το δίκτυο» απαιτούν ένα εξωτερικό σήμα από το ηλεκτρικό δίκτυο για να προσδιοριστεί πότε θα γίνει η μεταγωγή προκειμένου να παραχθεί ένα ημιτονοειδές κύμα που μπορεί να εγχυθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αυτά τα συστήματα, η ισχύς από το δίκτυο παρέχει ένα σήμα που προσπαθεί να ταιριάξει ο μετατροπέας. Πιο προηγμένοι μετατροπείς σχηματισμού δικτύου μπορούν να παράγουν οι ίδιοι το σήμα. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο μικρών ηλιακών συλλεκτών μπορεί να ορίσει έναν από τους μετατροπείς του για να λειτουργεί σε λειτουργία σχηματισμού πλέγματος ενώ οι υπόλοιποι ακολουθούν το παράδειγμά του, σχηματίζοντας ένα σταθερό πλέγμα χωρίς καμία παραγωγή να βασίζεται σε στρόβιλο.

Η άεργη ισχύς είναι μία από τις σημαντικότερες υπηρεσίες δικτύου που μπορούν να παρέχουν οι μετατροπείς. Στο δίκτυο, η τάση - η δύναμη που ωθεί το ηλεκτρικό φορτίο - αλλάζει πάντα μπρος-πίσω, όπως και το ρεύμα - η κίνηση του ηλεκτρικού φορτίου. Η ηλεκτρική ισχύς μεγιστοποιείται όταν η τάση και το ρεύμα συγχρονίζονται. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν φορές που η τάση και το ρεύμα έχουν καθυστερήσεις μεταξύ των δύο εναλλασσόμενων μοτίβων τους, όπως όταν ένας κινητήρας λειτουργεί. Εάν είναι εκτός συγχρονισμού, μέρος της ισχύος που ρέει μέσω του κυκλώματος δεν μπορεί να απορροφηθεί από τις συνδεδεμένες συσκευές, με αποτέλεσμα την απώλεια της απόδοσης. Θα χρειαστεί περισσότερη συνολική ισχύς για να δημιουργηθεί η ίδια ποσότητα «πραγματικής» ισχύος — η ισχύς που μπορούν να απορροφήσουν τα φορτία. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας παρέχουν άεργο ισχύ, η οποία επαναφέρει την τάση και το ρεύμα σε συγχρονισμό και καθιστά την ηλεκτρική ενέργεια πιο εύκολη στην κατανάλωση. Αυτή η άεργος ισχύς δεν χρησιμοποιείται μόνη της, αλλά μάλλον κάνει χρήσιμη την άλλη ισχύ. Οι σύγχρονοι μετατροπείς μπορούν να παρέχουν και να απορροφούν άεργο ισχύ για να βοηθήσουν τα δίκτυα να εξισορροπήσουν αυτόν τον σημαντικό πόρο. Επιπλέον, επειδή η άεργος ισχύς είναι δύσκολο να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι όπως η ηλιακή τaráτσα είναι ιδιαίτερα χρήσιμες πηγές άεργου ισχύος.



Εικόνα 3-3 Ένας εργαζόμενος ελέγχει έναν μετατροπέα στον ηλιακό σταθμό CoServ ισχύος 2 MW στο Krugerville του Τέξας. (<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>)

3.3.4 Τύποι Μετατροπέων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μετατροπέων που μπορούν να εγκατασταθούν ως μέρος ενός ηλιακού συστήματος. Σε μια μεγάλης κλίμακας μονάδα κοινής ωφέλειας ή ένα κοινοτικό ηλιακό έργο μεσαίας κλίμακας, κάθε ηλιακό πάνελ μπορεί να συνδεθεί σε έναν μόνο κεντρικό μετατροπέα.

Οι μετατροπείς στοιχειοσειρών συνδέουν ένα σύνολο πάνελ—μια συμβολοσειρά—σε έναν μετατροπέα. Αυτός ο μετατροπέας μετατρέπει την ισχύ που παράγεται από ολόκληρη τη συμβολοσειρά σε AC. Αν και οικονομικά αποδοτική, αυτή η ρύθμιση έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη παραγωγή ισχύος στο δίκτυο, εάν κάποιο μεμονωμένο πάνελ αντιμετωπίζει προβλήματα, όπως η σκίαση.

Microinverters είναι μικρότεροι μετατροπείς τοποθετημένοι σε κάθε πίνακα. Με έναν μικρομετατροπέα, η σκίαση ή η ζημιά σε ένα πάνελ δεν θα επηρεάσει την ισχύ που μπορεί να αντληθεί από τους άλλους, αλλά οι μικρομετατροπείς μπορεί να είναι πιο ακριβοί.

Και οι δύο τύποι μετατροπέων μπορεί να υποβοηθούνται από ένα σύστημα που ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο το ηλιακό σύστημα αλληλεπιδρά με την συνδεδεμένη αποθήκευση μπαταρίας.

3.4 Αποθήκευση

Οι μπαταρίες επιτρέπουν την αποθήκευση ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας, ώστε να μπορούμε να τη χρησιμοποιούμε για να τροφοδοτούμε τα σπίτια μας τη νύχτα ή όταν τα καιρικά στοιχεία εμποδίζουν το ηλιακό φως να φτάσει στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Όχι μόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σπίτια, αλλά οι μπαταρίες παίζουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Καθώς οι πελάτες τροφοδοτούν την ηλιακή ενέργεια πίσω στο δίκτυο, οι μπαταρίες μπορούν να την αποθηκεύσουν ώστε να μπορεί να επιστραφεί στους πελάτες αργότερα. Η αυξημένη χρήση μπαταριών θα βοηθήσει στον εκσυγχρονισμό και τη σταθεροποίηση του ηλεκτρικού δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ.^[4]

4.1 Στρώμα με ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων

Μερικοί ερευνητές εργάζονται για να βελτιώσουν την απόδοση των κυττάρων τοποθετώντας πολλούς διαφορετικούς ημιαγωγούς για να δημιουργήσουν ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων . Αυτές οι κυψέλες είναι ουσιαστικά στοίβες ημιαγωγών, σε αντίθεση με τις κυψέλες μονής σύνδεσης, οι οποίες έχουν μόνο έναν ημιαγωγό. Κάθε στρώμα απορροφά ένα διαφορετικό μέρος του ηλιακού φάσματος, κάνοντας μεγαλύτερη χρήση του ηλιακού φωτός από τα κύτταρα μονής διαστρωμάτωσης.

Η ποσότητα και ο τύπος του φωτός που απορροφά ένας ημιαγωγός καθορίζεται από το διάκενο ζώνης του , μια ιδιότητα που υποδηλώνει την ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την απελευθέρωση ηλεκτρονίων ώστε το υλικό να μπορεί να μεταφέρει ηλεκτρισμό. Χωρίς αυτή την ενέργεια, το πυρίτιο λειτουργεί σαν μονωτήρας. Τα ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων μπορούν να φτάσουν σε επίπεδα ρεκόρ απόδοσης, επειδή το φως που δεν απορροφάται από το πρώτο στρώμα ημιαγωγών συλλαμβάνεται από ένα στρώμα κάτω από αυτό. Διαφορετικά στρώματα απορροφούν διαφορετικά μέρη του ηλιακού φάσματος. Μόλις απορροφηθεί το φως, η ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα και χάνεται λιγότερη ενέργεια αφού το διάκενο είναι πιο κοντά στην ενέργεια του απορροφούμενου φωτός.

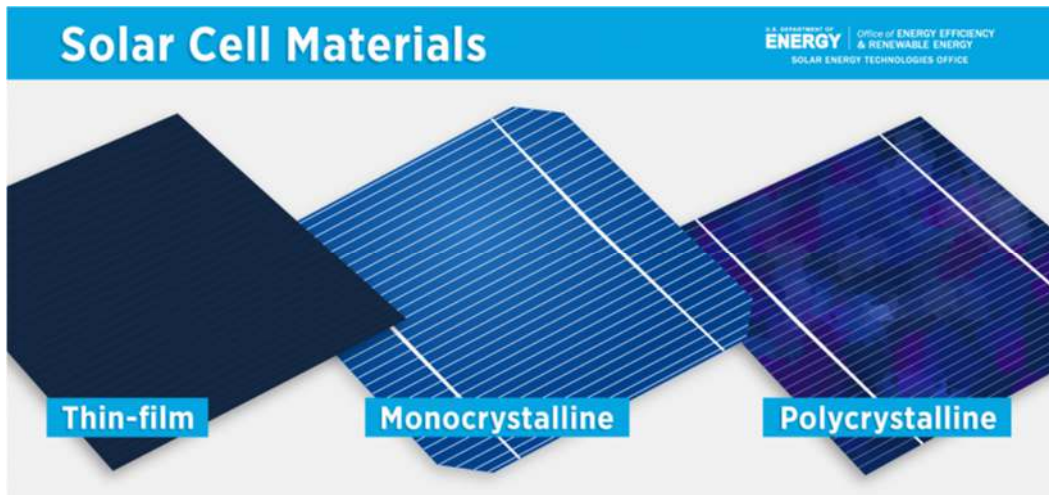
Ενώ όλα τα ηλιακά κύτταρα με περισσότερα από ένα διάκενα ζώνης είναι ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων, ένα ηλιακό στοιχείο με ακριβώς δύο κενά ζώνης ονομάζεται ηλιακό κύτταρο σε σειρά. Τα ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων που συνδυάζουν ημιαγωγούς από τις στήλες III και V στον περιοδικό πίνακα ονομάζονται ηλιακά κύτταρα πολλαπλών συνδέσεων III-V.

Οι ηλιακές κυψέλες πολλαπλών συνδέσεων έχουν επιδείξει απόδοση μεγαλύτερη από 45%, αλλά είναι δαπανηρή και δύσκολη η κατασκευή τους, επομένως προορίζονται για εξερεύνηση του διαστήματος. Ο στρατός χρησιμοποιεί ηλιακές κυψέλες III-V σε drones και οι ερευνητές διερευνούν άλλες χρήσεις τους όπου η απόδοση μετατροπής ισχύος είναι το κλειδί.

4.2 Thin-Film Ηλεκτρικά κύτταρα

Το πυρίτιο μπορεί να είναι ο πιο κοινός τύπος ηλιακών κυψελών, αλλά οι ηλιακές κυψέλες λεπτής μεμβράνης κοστίζουν γενικά λιγότερο και μπορεί να είναι ευκολότερο να κατασκευαστούν. Οι λεπτές μεμβράνες αποτελούν το 3% έως 5% της παγκόσμιας αγοράς, αλλά είναι συνήθως λιγότερο αποτελεσματικές από το πυρίτιο.

Τα ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης κατασκευάζονται με την επίστρωση ενός λεπτού στρώματος ενός εξαιρετικά απορροφητικού υλικού ημιαγωγού σε ένα φύλλο από γυαλί, πλαστικό ή μεταλλικό φύλλο που ονομάζεται υπόστρωμα αντί να δημιουργείται ένα κρυστάλλινο στρώμα. Αυτό το υλικό μπορεί να αποτεθεί σε εύκαμπτες επιφάνειες, γεγονός που διατηρεί το κόστος χαμηλό και τα ηλιακά κύτταρα ευέλικτα. Οι λεπτές μεμβράνες είναι συνήθως σκούρες ή μερικώς διαφανείς, επομένως οι μονάδες φαίνονται πιο ομοιόμορφες από τις στικτές, μπλε ή μαύρες μονάδες κρυσταλλικού πυριτίου. Η απόδοση ρεκόρ υψηλής απόδοσης κυψελών λεπτής μεμβράνης είναι 22,1%, ενώ τα κύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν φτάσει το 25%, και τα πολυκρυσταλλικά, πάνω από 20%.



Εικόνα 4-1 Υλικά ηλιακών κυττάρων (<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>)

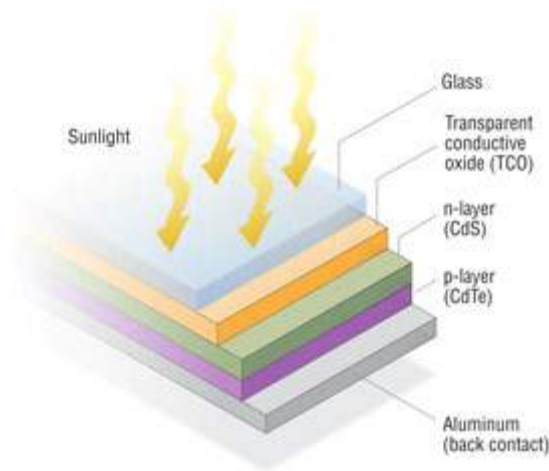
Τρεις τύποι ηλιακών κυψελών λεπτής μεμβράνης κυκλοφορούν στην αγορά:

- τελλουρίδιο του καδμίου (CdTe)
- δισελενίδιο του γαλλίου χαλκού ινδίου (CIGS)
- άμορφο πυρίτιο λεπτής μεμβράνης (a-Si)

Το CdTe και το CIGS έχουν φτάσει σε παραγωγή σε κλίμακα GW. Το CdTe είναι εμπορικά πιο επιτυχημένο και έχει φτάσει σε επίπεδα απόδοσης συγκρίσιμα με τις μονάδες κρυσταλλικού πυριτίου στο εργαστήριο.

4.2.1 Τελλουρίδιο του καδμίου

Τα ηλιακά κύτταρα CdTe είναι η δεύτερη πιο κοινή τεχνολογία φωτοβολταϊκών (PV) στην παγκόσμια αγορά μετά το κρυσταλλικό πυρίτιο, που σήμερα αντιπροσωπεύει το 5% της παγκόσμιας αγοράς. Τα ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης CdTe μπορούν να κατασκευαστούν γρήγορα και φθηνά, παρέχοντας μια εναλλακτική λύση στις συμβατικές τεχνολογίες που βασίζονται στο πυρίτιο. Η απόδοση ρεκόρ για ένα εργαστηριακό ηλιακό στοιχείο CdTe είναι 22,1% από την First Solar. Η First Solar ανέφερε επίσης ότι η μέση εμπορική απόδοση της μονάδας ήταν περίπου 18% στο τέλος του 2020.



Εικόνα 4-2 Δομή ηλιακού κυττάρου CdTe
 (<https://www.energy.gov/eere/solar/earth-abundant-materials>)

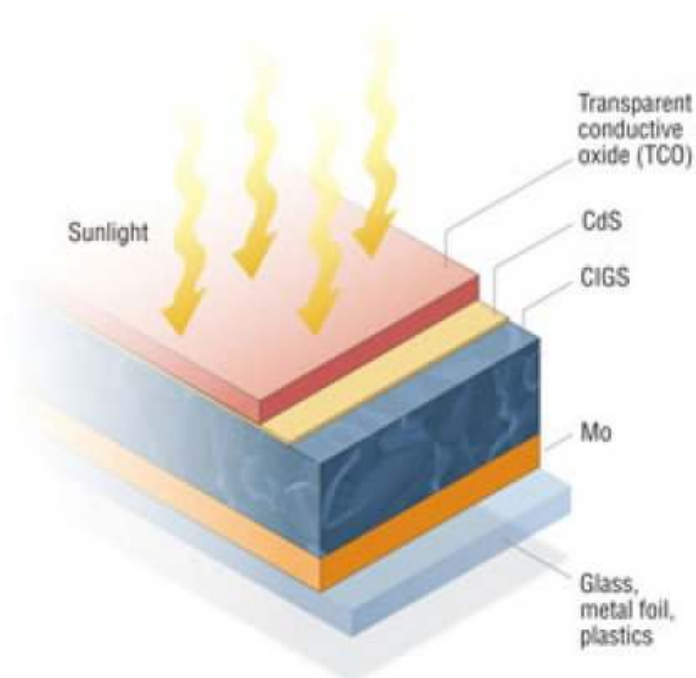
Τα οφέλη των ηλιακών κυψελών λεπτής μεμβράνης CdTe περιλαμβάνουν:

- Υψηλή απορρόφηση: Το τελλουρίδιο του καδμίου είναι ένα υλικό άμεσης ζώνης με ενέργεια διάκενου ζώνης που μπορεί να ρυθμιστεί από 1,4 έως 1,5 (eV), το οποίο είναι σχεδόν βέλτιστο για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μία μόνο διασταύρωση.
- Κατασκευή χαμηλού κόστους: Οι ηλιακές κυψέλες τελλουρίου καδμίου χρησιμοποιούν μεθόδους κατασκευής υψηλής απόδοσης για την παραγωγή ολοκληρωμένων μονάδων από υλικά εισόδου σε λίγες ώρες.

Οι πιο κοινές ηλιακές κυψέλες CdTe αποτελούνται από μια δομή ετεροσύνδεσης pn που περιέχει μια στρώση CdTe με p-doped που ταιριάζει με ένα στρώμα παραθύρου θειούχου καδμίου (CdS) ή οξειδίου ψευδαργύρου μαγνησίου (MZO). Οι τυπικές τεχνικές εναπόθεσης λεπτής μεμβράνης CdTe περιλαμβάνουν την εναπόθεση με μεταφορά ατμού και την εξάχνωση σε κοντινή απόσταση. Τα στρώματα απορρόφησης CdTe αναπτύσσονται γενικά πάνω από ένα στρώμα

διαφανούς αγώγιμου οξειδίου (TCO) υψηλής ποιότητας—συνήθως οξείδιο κασσιτέρου με πρόσμειξη με φθόριο ($\text{SnO}_2:\text{F}$). Τα κύτταρα ολοκληρώνονται χρησιμοποιώντας μια πίσω ηλεκτρική επαφή—συνήθως ένα στρώμα τελλουριδίου ψευδαργύρου (ZnTe) ακολουθούμενο από ένα μεταλλικό στρώμα ή μια πάστα άνθρακα που εισάγει επίσης χαλκό (Cu) στο πίσω μέρος της κυψέλης.

4.2.2 Χαλκός ινδίου γάλλιο δισελενίδιο



Εικόνα 4-3 Δομή ηλιακού κυττάρου CuInSe_2
(<https://www.energy.gov/eere/solar/copper-indium-gallium-diselenide>)

Από την αρχική της ανάπτυξη, η τεχνολογία λεπτής μεμβράνης δισελενιούχου ινδίου χαλκού (CuInSe_2) θεωρείται πολλά υποσχόμενη για τα ηλιακά κύτταρα λόγω των ευνοϊκών ηλεκτρονικών και οπτικών ιδιοτήτων του. Αργότερα διαπιστώθηκε ότι με την αντικατάσταση του ινδίου (In) με το γάλλιο (Ga), το διάκενο ζώνης μπορεί να αυξηθεί από περίπου 1,04 eV για μεμβράνες δισελενιούχου ινδίου χαλκού (CIS) σε περίπου 1,68 eV για μεμβράνες δισελενιούχο γάλλιο χαλκού (CGS). Οι βέλτιστες συσκευές έχουν κατασκευαστεί μόνο με μια μερική αντικατάσταση του Ga από το In , οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της

συνολικής απόδοσης και πιο βέλτιστο διάκενο ζώνης. Αυτές οι ηλιακές κυψέλες είναι κοινώς γνωστές ως κυψέλες γαλλίου δισελενιούχου ινδίου χαλκού $[Cu(In_xGa_{1-x})Se_2]$ ή CIGS.

Αν και οι αποδόσεις κυψελών εργαστηριακής κλίμακας έχουν ξεπεράσει το 20%, οι εμπορικές μονάδες CIGS έχουν συνήθως αποδόσεις μεταξύ 12% και 14%.

Τα οφέλη των ηλιακών κυψελών CIGS περιλαμβάνουν:

- Υψηλή απορρόφηση: Αυτό το υλικό άμεσης ζώνης μπορεί να απορροφήσει σημαντικό μέρος του ηλιακού φάσματος, επιτρέποντάς του να επιτύχει την υψηλότερη απόδοση από οποιαδήποτε τεχνολογία λεπτής μεμβράνης.
- Σχεδιασμός σε σειρά: Ένα ρυθμιζόμενο bandgap επιτρέπει τη δυνατότητα διαδοχικών συσκευών CIGS.
- Προστατευτικό ρυθμιστικό στρώμα: Τα όρια των κόκκων σχηματίζουν ένα εγγενές ρυθμιστικό στρώμα, αποτρέποντας τον ανασυνδυασμό της επιφάνειας και επιτρέποντας τη χρήση μεμβρανών με μεγέθη κόκκων μικρότερο από 1 μικρόμετρο στην κατασκευή συσκευών.

Δύο από τις χαμηλού κόστους μεθόδους εναπόθεσης που παράγουν την υψηλότερη απόδοση συσκευών και μονάδων αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1980. Αυτές οι μέθοδοι είναι:

1. Συνεξάτμιση, κατά την οποία τα πρόδρομα στοιχεία αφήνονται να εξαχνωθούν σε περιβάλλον υψηλού κενού και στη συνέχεια να αποτεθούν ξανά σε θερμαινόμενο υπόστρωμα.
- Πρόδρομες διεργασίες αντίδρασης, στις οποίες ένας πρόδρομος που περιέχει Cu και In/Ga εναποτίθεται σε χαμηλή θερμοκρασία με οποιαδήποτε από πολλές διεργασίες, όπως η επιμετάλλωση ή η ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση. Αυτό ακολουθείται από ένα στάδιο αντιδραστικής ανόπτησης σε μια ένωση Se, όπως το υδροσελήνιο (H_2Se) ή το αέριο σελήνιο (Se), για να σχηματιστούν φιλμ CIGS. Αυτό είναι επίσης κοινώς γνωστό ως

εναπόθεση δύο σταδίων. Μια παραλλαγή αυτής της τεχνικής, η εναπόθεση τριών σταδίων, χρησιμοποιείται επίσης συνήθως.

Μετά την εναπόθεση CIGS, η ένωση σχηματίζεται με εναπόθεση χημικού λουτρού του στρώματος CdS τύπου n. Για να τελειώσει το ηλιακό στοιχείο, ένα στρώμα οξειδίου ψευδαργύρου (ZnO) υψηλής αντίστασης και ένα στρώμα ZnO τύπου n⁺ υψηλής αγωγιμότητας εναποτίθενται είτε με ψεκασμό είτε με εναπόθεση χημικών ατμών. Οι διαδικασίες γραφής λείζερ σε διαφορετικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας δημιουργούν τα μεμονωμένα ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά.

Εναλλακτικές τεχνικές κατασκευής έχουν διερευνηθεί, όπως ο αντιδραστικός διασκορπισμός, ο διασκορπισμός μαγνητρονίων (τα Cu, In και Ga διασκορπίζονται ενώ το Se εξατμίζεται) και η ηλεκτροαπόθεση. Ωστόσο, οι διαδικασίες συνεξάτμισης και αντίδρασης πρόδρομων ουσιών εξακολουθούν να είναι οι πιο δημοφιλείς.

Μια σημαντική αύξηση στην απόδοση της συσκευής επιτεύχθηκε όταν το υπόστρωμα από κεραμικό ή βοριοπυριτικό γυαλί αντικαταστάθηκε από γυαλί με ανθρακικό ασβέστη. Αν και επιλέχθηκε το γυαλί νατράσβεστου επειδή έχει ιδιότητες θερμικής διαστολής πιο κοντά στο CIGS, τελικά καθορίστηκε ότι το πρωταρχικό πλεονέκτημα της χρήσης γυαλιού νατράσβεστου προκύπτει από τη διάχυση ιόντων νατρίου (Na) από το γυαλί στο στρώμα απορρόφησης CIGS. Επί του παρόντος γίνονται εργασίες για τον προσδιορισμό του ρόλου του Na στη βελτίωση της απόδοσης του CIGS και τις ανοχές του CIGS στη συμπίεση του Na. Οι τρέχουσες τεχνικές κατασκευής ενσωματώνουν Na είτε από γυαλί νατράσβεστου είτε από ξεχωριστή πηγή Na. Το γυαλί νατράσβεστου έχει ένα πρόσθετο πλεονέκτημα ότι είναι λιγότερο ακριβό από τα προηγούμενα γυάλινα υποστρώματα.

Όλες οι συσκευές CIS και CIGS υψηλής απόδοσης χρησιμοποιούν μολυβδαίνιο (Mo) ως πίσω επαφή κυρίως λόγω της λειτουργίας

εργασίας του και της υψηλής ανακλαστικότητας του φιλμ Mo. Αυτά τα φιλμ συνήθως εναποτίθενται μέσω διασκορπισμού συνεχούς ρεύματος (DC). Η διαδικασία εναπόθεσης με ψεκασμό απαιτεί ακριβή πίεση για τον έλεγχο της τάσης στο φιλμ. Λόγω ορισμένων εγγενών προβλημάτων με την αντίστροφη επαφή του Mo, όπως η πιθανότητα ενός φαινομένου διόδου Schottky που μπλοκάρει τις οπές στη διεπαφή, άλλα μέταλλα έχουν ερευνηθεί για να αντικαταστήσουν το Mo, αλλά είχαν περιορισμένη επιτυχία.

4.3 Νέα και αναδυόμενα ηλιακά υλικά

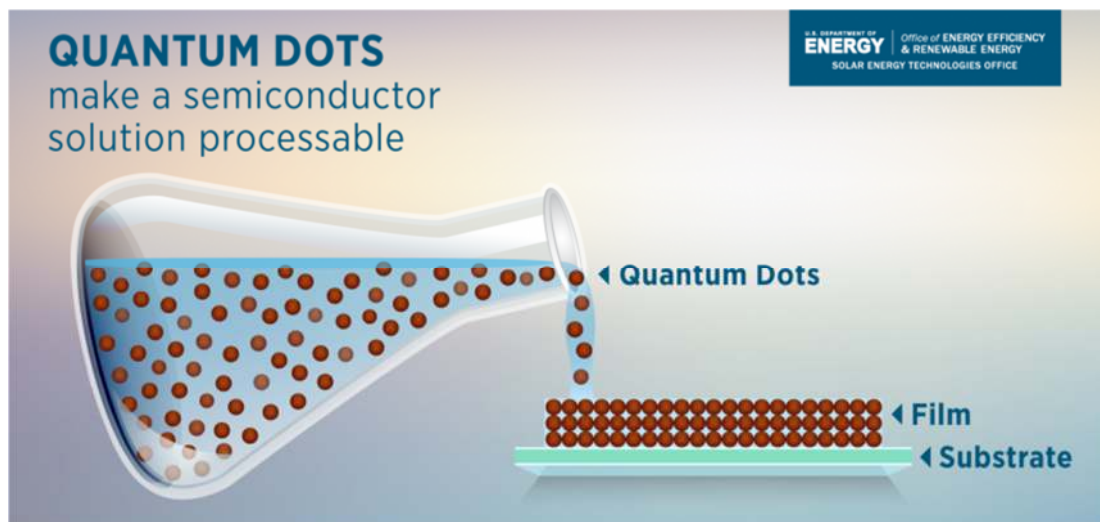
4.3.1 Περοβσκίτης

Τα ηλιακά κύτταρα περοβσκίτη είναι ένας τύπος κυψελών λεπτής μεμβράνης και ονομάζονται από την ομώνυμη κρυσταλλική δομή ABX_3 , με το πιο μελετημένο υλικό ΦΒ είναι το ιωδιούχο μόλυβδο μεθυλαμμώνιο (MA^+) (Pb^{+2}) (I^-), ή το $MAPbI_3$. Οι κυψέλες περοβσκίτη κατασκευάζονται με στρώματα υλικών που εκτυπώνονται, επικαλύπτονται ή εναποτίθενται υπό κενό σε ένα υπόστρωμα. Είναι συνήθως εύκολο να κατασκευαστούν και μπορούν να φτάσουν απόδοση ηλιακής μετατροπής υψηλότερη από 20%. Στο εργαστήριο, η απόδοση των ηλιακών κυψελών περοβσκίτης έχει βελτιωθεί ταχύτερα από οποιοδήποτε άλλο υλικό απορροφητή φωτοβολταϊκών, από 3% το 2009 σε πάνω από 24% το 2019. Αλλά για να είναι εμπορικά βιώσιμα, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα περοβσκίτη πρέπει να γίνουν πιο σταθερά και αρκετά ανθεκτικά για να επιβιώσουν 20 χρόνια σε εξωτερικούς χώρους, επομένως οι ερευνητές εργάζονται πάνω σε αυτό και αναπτύσσουν τεχνικές κατασκευής μεγάλης κλίμακας, χαμηλού κόστους.

4.3.2 Quantum Dots (κβαντικές κουκίδες)

Τα ηλιακά κύτταρα κβαντικής κουκκίδας μεταφέρουν ηλεκτρισμό μέσω μικροσκοπικών σωματιδίων ημιαγωγών πλάτους μερικών νανόμετρων, που ονομάζονται κβαντικές κουκκίδες. Οι κβαντικές κουκκίδες παρέχουν έναν νέο τρόπο επεξεργασίας ημιαγωγών, αλλά είναι δύσκολο να δημιουργηθεί μια ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους, επομένως δεν είναι πολύ αποτελεσματικοί.

Αλλά είναι εύκολο να επεξεργαστούν σε ηλιακά κύτταρα. Μπορούν να εναποτεθούν σε ένα υπόστρωμα χρησιμοποιώντας μια μέθοδο spin-coat, ένα σπρέι ή εκτυπωτές από ρολό σε ρολό όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση εφημερίδων. Και οι κβαντικές κουκκίδες διατίθενται σε διάφορα μεγέθη, επομένως το διάκενο ζώνης τους μπορεί να προσαρμόζεται, επιτρέποντάς τους να συλλέγουν φως που είναι δύσκολο να συλλάβει και να συνδυαστεί με άλλους ημιαγωγούς, όπως ηλιακά κύτταρα περοβσκίτη λεπτής μεμβράνης, για βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός ηλιακού στοιχείου πολλαπλών συνδέσεων.

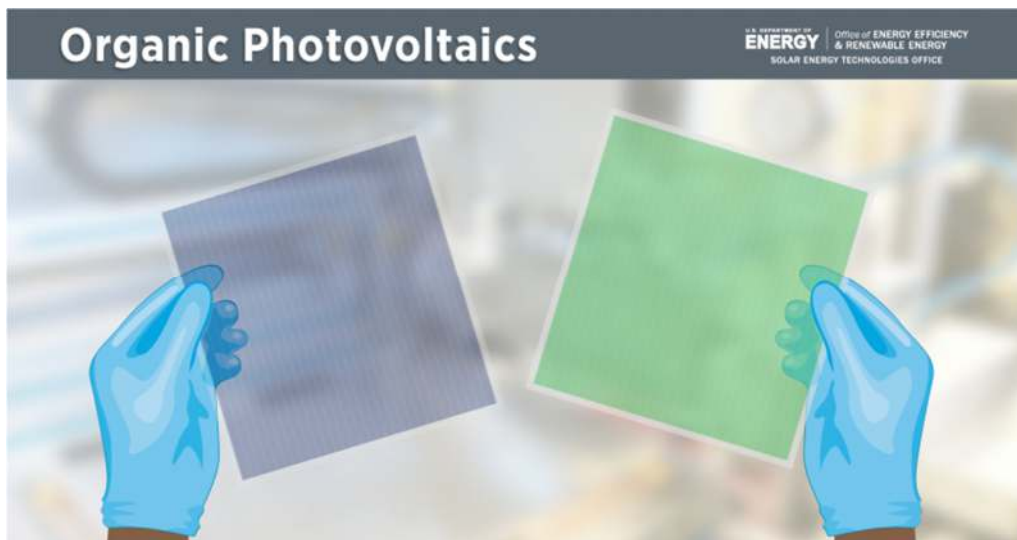


Εικόνα 4-4 Ηλιακό κύτταρο με κβαντικές κουκκίδες
(<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>)

4.4 Οργανικά φωτοβολταϊκά

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά (OPV) είναι ελαφριά ηλιακά κύτταρα κατασκευασμένα με ενώσεις άνθρακα που μπορούν να διαλυθούν και να υποβληθούν σε επεξεργασία με διάλυμα, γεγονός που μπορεί να μειώσει το κόστος κατασκευής κυψελών. Τα OPV χρησιμοποιούν οργανικά πολυμερή και μόρια που άγουν και παράγουν ηλεκτρισμό όπως αυτά στις τεχνολογίες απεικόνισης οργανικών διόδων

εκπομπής φωτός. Και επειδή τα οργανικά μόρια μπορούν να συντεθούν με προσαρμοσμένες ιδιότητες, οι συσκευές OPV μπορεί να είναι διαφορετικά χρώματα ή διαφανείς. Αυτό σχετίζεται με την ενσωματωμένη σε κτίρια αγορά φωτοβολταϊκών, η οποία επιδιώκει να αντικαταστήσει τα οικοδομικά υλικά με φωτοβολταϊκά υλικά για την κατασκευή παραθύρων και προσόψεων. Οι ερευνητές εργάζονται για να βελτιώσουν τη διάρκεια ζωής και την αποτελεσματικότητα της συσκευής και να μετριάσουν τις οπτικές επιπτώσεις της γήρανσης.



Εικόνα 4-5 Ηλιακό κύτταρο με OPV
(<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>)

Τελικά, οι ερευνητές εξερευνούν δεκάδες τύπους ηλιακών κυψελών, στοχεύοντας σε υψηλότερες αποδόσεις, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και επιτυχία στην αγορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 -ΗΛΙΑΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ (TRACKING)[⁵¹]

5.1 Γιατί παρακολουθήση

Η ηλιακή παρακολούθηση είναι μια τεχνολογία για τον προσανατολισμό ενός ηλιακού συλλέκτη, ενός ανακλαστήρα ή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ προς τον ήλιο. Καθώς ο ήλιος κινείται στον ουρανό, μια συσκευή παρακολούθησης διασφαλίζει ότι ο ηλιακός συλλέκτης ακολουθεί αυτόματα και διατηρεί τη βέλτιστη γωνία για να λαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας..

Η απαιτούμενη ακρίβεια παρακολούθησης ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή. Για παράδειγμα, οι συγκεντρωτές, ειδικά σε εφαρμογές ηλιακών κυψελών, απαιτούν υψηλό βαθμό ακρίβειας για να διασφαλιστεί ότι το συγκεντρωμένο ηλιακό φως κατευθύνεται ακριβώς στο στοιχείο ηλιακής μετατροπής. Η παρακολούθηση του ήλιου από την ανατολή το πρωί έως τη δύση το βράδυ μπορεί να αυξήσει την απόδοση ενός ηλιακού πάνελ έως και 45%, σύμφωνα με ορισμένους κατασκευαστές. Η ακριβής παρακολούθηση του ήλιου επιτυγχάνεται μέσω συστημάτων μονού ή διπλού άξονα παρακολούθησης.

5.2 Τύποι συστημάτων που πρέπει να περιλαμβάνουν συσκευές παρακολούθησης (trackers)

Πρώτα απ' όλα, τα συστήματα που χρησιμοποιούν ειδικά την άμεση ακτινοβολία δέσμης επωφελούνται από την παρακολούθηση. Στην πλειονότητα των συστημάτων συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (CSP – Concentrating Solar Power), τα οπτικά συστήματα δέχονται μόνο την ακτινοβολία δέσμης και επομένως πρέπει να είναι κατάλληλα προσανατολισμένα για τη συλλογή ενέργειας. Τέτοια συστήματα δεν θα παράγουν ισχύ εάν δεν είναι στραμμένα προς τον ήλιο. Απαιτείται παρακολούθηση για ηλιοστάτες σε συστήματα κεντρικού δέκτη (ηλιακός πύργος). Οι συλλέκτες CSP απαιτούν σημαντικό βαθμό ακρίβειας στην παρακολούθηση του ήλιου.

Σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών (PV), συσκευές παρακολούθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση της γωνίας πρόσπτωσης των εισερχόμενων ηλιακών ακτίνων σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ. Αυτό αυξάνει την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας ανά μονάδα εγκατεστημένης

ισχύος παραγωγής ενέργειας, οπότε αυξάνει την απόδοση του συστήματος και την αποδοτικότητά του ως προς το κόστος. Βέβαια η παρακολούθηση δεν απαιτείται αυστηρά για τα κανονικά Φ/Β με επίπεδο πάνελ, καθώς δέχονται τόσο δέσμη όσο και διάχυτη ακτινοβολία.

Στα συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά (CPV), τα οπτικά απαιτούν ακτινοβολία δέσμης και επομένως πρέπει να είναι κατάλληλα προσανατολισμένα ώστε να εστιάζουν το φως στον συλλέκτη ΦΒ μεγιστοποιώντας την ενέργεια που μετατρέπεται. Οι μονάδες CPV που συγκεντρώνονται σε μία διάσταση πρέπει να παρακολουθούνται κάθετα προς τον ήλιο σε έναν άξονα. Οι μονάδες CPV που συγκεντρώνονται σε δύο διαστάσεις πρέπει να παρακολουθούνται κάθετα προς τον ήλιο σε δύο άξονες. Οι μονάδες CPV απαιτούν υψηλό βαθμό ακρίβειας στην παρακολούθηση του ήλιου.

5.3 Ιχνηλάτες

Υπάρχουν πολλοί τύποι ηλιακών ιχνηλατών, οι οποίοι διαφέρουν ως προς το κόστος, την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και την απόδοση. Μπορούμε όμως να διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων:

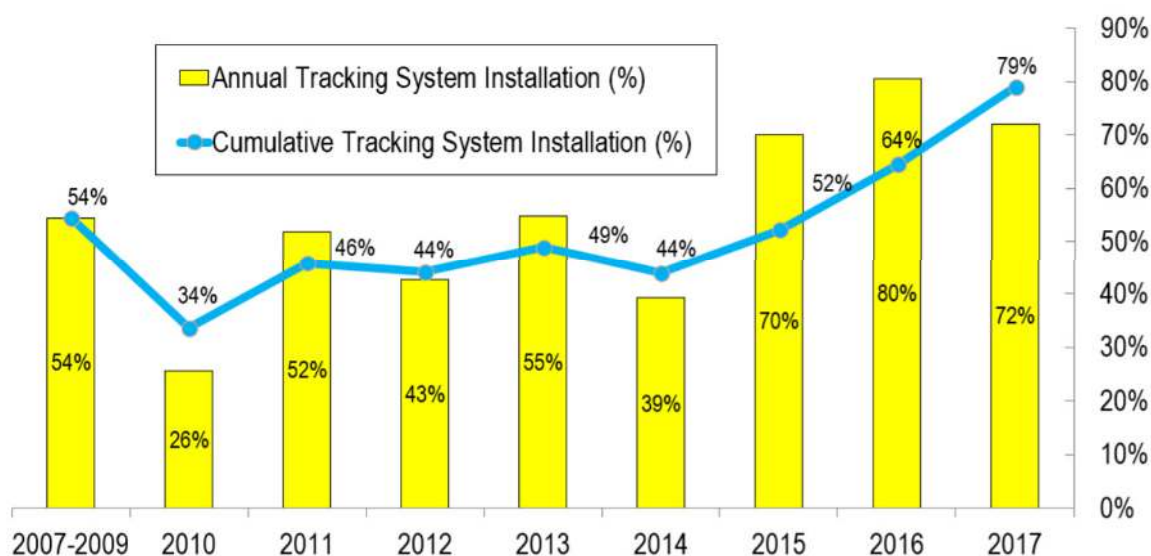
5.3.1 Ιχνηλάτες μονού άξονα

Οι ηλιακοί ιχνηλάτες μονού άξονα μπορούν να έχουν είτε οριζόντιο είτε κάθετο άξονα. Ο οριζόντιος άξονας χρησιμοποιείται σε τροπικές περιοχές όπου ο ήλιος πέφτει πολύ ψηλά το μεσημέρι, αλλά οι μέρες είναι σύντομες. Ο κατακόρυφος τύπος χρησιμοποιείται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπου ο ήλιος δεν ανεβαίνει πολύ ψηλά, αλλά οι καλοκαιρινές μέρες μπορεί να είναι πολύ μεγάλες. Σε εφαρμογές συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας, χρησιμοποιούνται ιχνηλάτες μονού άξονα με παραβολικά και γραμμικά σχέδια κατόπτρων Fresnel.

5.3.2 Ιχνηλάτες διπλού άξονα

Οι ηλιακοί ιχνηλάτες διπλού άξονα έχουν τόσο οριζόντιο όσο και κάθετο άξονα και έτσι μπορούν να παρακολουθούν τη φαινομενική κίνηση του ήλιου σε οποιαδήποτε θέση. Η παρακολούθηση διπλού άξονα χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές CSP, όπως πύργοι ηλιακής ενέργειας και συστήματα πιάτων (μηχανής Stirling). Η παρακολούθηση διπλού άξονα είναι εξαιρετικά σημαντική σε εφαρμογές ηλιακών πύργων λόγω των σφαλμάτων γωνίας που προκύπτουν από μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ του καθρέφτη και του κεντρικού δέκτη που βρίσκεται στη δομή του πύργου.

Με την παρακολούθηση που ενσωματώνεται στη σχεδίαση του συστήματος, το κόστος του συστήματος είναι κατανοητά υψηλότερο σε σύγκριση με τα συστήματα σταθερής κλίσης. Σύμφωνα με την έκθεση DOE των ΗΠΑ [Barbose et al., 2013], «μεταξύ των έργων που ολοκληρώθηκαν το 2012, η σταθμισμένη μέση τιμή εγκατάστασης σε δολάρια ΗΠΑ ήταν 3,3/W για συστήματα με κρυσταλλικές μονάδες και σταθερή κλίση, σε σύγκριση με 3,6/W για κρυσταλλικά συστήματα με παρακολούθηση και 3,2/W για συστήματα λεπτής μεμβράνης σταθερής κλίσης. Οι κατασκευαστές καταβάλλουν συνεχώς προσπάθειες για να μειώσουν το κόστος των συστημάτων παρακολούθησης, καθιστώντας τα λιγότερο περίπλοκα, πιο συμπαγή, αξιόπιστα και ευκολότερα στη συντήρηση. Παρά το πρόσθετο κόστος, η χρήση ανιχνευτών είναι συχνά μια προτιμώμενη επιλογή για εγκαταστάσεις σε κλίμακα χρησιμότητας λόγω σημαντικής ενίσχυσης στην απόδοση του συστήματος. Το Διάγραμμα 5-1 δείχνει την τάση αυξανόμενης χρήσης συστημάτων παρακολούθησης στις ΗΠΑ σε Φ/Β εγκαταστάσεις σε κλίμακα χρησιμότητας κατά τη δεκαετία 2007–2017. Η σωρευτική εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης έφτασε το 79% το 2017 (που σημαίνει ότι μόνο το 21% των μεγάλων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων επιλέγει να μην χρησιμοποιεί ιχνηλάτες). Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν αθροιστικά συστήματα παρακολούθησης ενός άξονα και δύο αξόνων, ωστόσο υπάρχουν πολύ περισσότεροι ιχνηλάτες ενός άξονα που έχουν αναπτυχθεί από τους ιχνηλάτες διπλού άξονα.



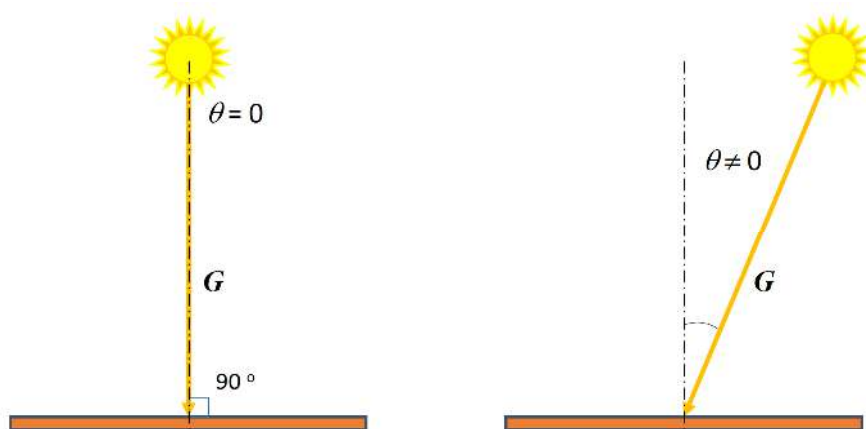
Διάγραμμα 5-1 Ποσοστό φωτοβολταϊκών συστημάτων κλίμακας χρησιμότητας των ΗΠΑ που χρησιμοποιούν συστήματα παρακολούθησης, 2007–2017 (<https://www.education.psu.edu/eme812/node/519>)

5.4 Συνημιτονικό φαινόμενο

Από τεχνική άποψη, η παρακολούθηση του ήλιου είναι μια μέθοδος για τη διατήρηση της επιφάνειας του ηλιακού πάνελ ή ενός συλλέκτη *κάθετα* στις προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες. Αυτή είναι η ιδανική συνθήκη, όταν η μέγιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας μεταδίδεται στην επιφάνεια υποδοχής.

Όταν η προσπίπτουσα ακτίνα δεν είναι κάθετη στην επιφάνεια (κάτι που συμβαίνει συχνά με συστήματα σταθερής κλίσης), η γωνία πρόσπτωσης δεν είναι μηδέν ($\theta \neq 0$), και μέρος της προσπίπτουσας ενέργειας θα χαθεί λόγω των λεγόμενου *συνημιτονικού φαινομένου*. Για να μεγιστοποιήσουμε την αποτελεσματικότητα του συστήματος, θα πρέπει πάντα να αναζητούμε τρόπους για να ελαχιστοποιήσουμε το *συνημιτονικό φαινόμενο* σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

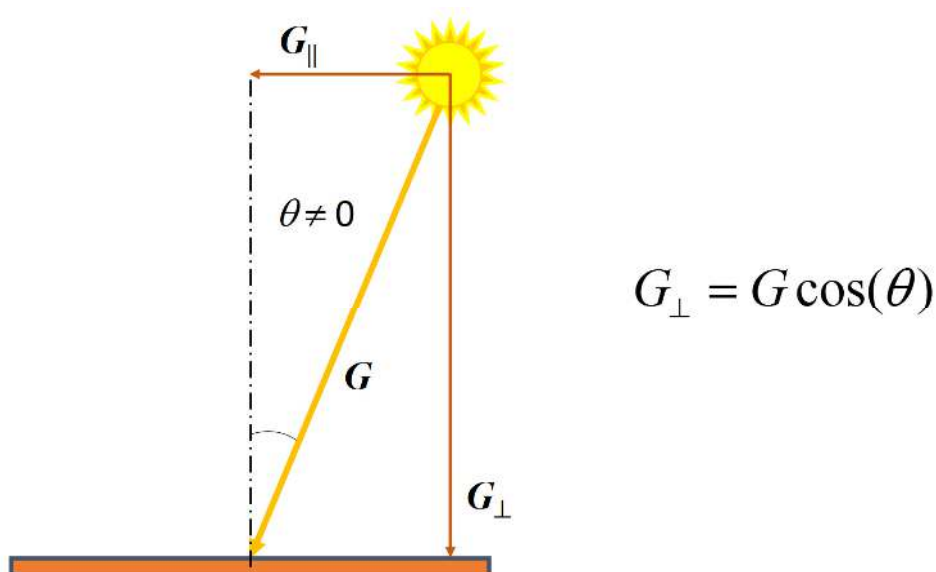
Το παρακάτω Σχήμα 5-1 δείχνει δύο σενάρια: το ένα στο αριστερό απεικονίζει μια ιδανική κατάσταση, όταν οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη (PV panel) υπό γωνία 90° · η δεξιά πλευρά δείχνει τι συμβαίνει όταν ο Ήλιος κινείται στον ουρανό ενώ το πλαίσιο παραμένει σταθερό.



Σχήμα 5-1 Προσανατολισμός του επιπέδου του δέκτη κάθετος στις προσπίπτουσες ακτίνες (αριστερά) και υπό γωνία (δεξιά), που εισάγει το *συνημιτονικό φαινόμενο*.

Στη δεύτερη περίπτωση, οι ακτίνες του ήλιου κατεβαίνουν στην επιφάνεια υπό γωνία θ , η οποία θα μειώσει την ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια, και έτσι θα μειώσει την απόδοση του συστήματος.

Μπορούμε να προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε αυτή τη μείωση λόγω του συνημιτονοειδούς φαινομένου εάν αναλύσουμε το διάνυσμα G σε δύο συνιστώσες: ένα κάθετο στην επιφάνεια (G_{\perp}) – χρήσιμη ενέργεια που θα απορροφηθεί και ένα - παράλληλο στην επιφάνεια (G_{\parallel}) – μη χρήσιμη ενέργεια που θα αντανακλασθεί ή θα χαθεί με κάποιο τρόπο.



Σχήμα 5-2 Εκτίμηση του φαινομένου του συνημιτόνου σε μια οριζόντια επιφάνεια με βάση τη γωνία ζενίθ. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519>)

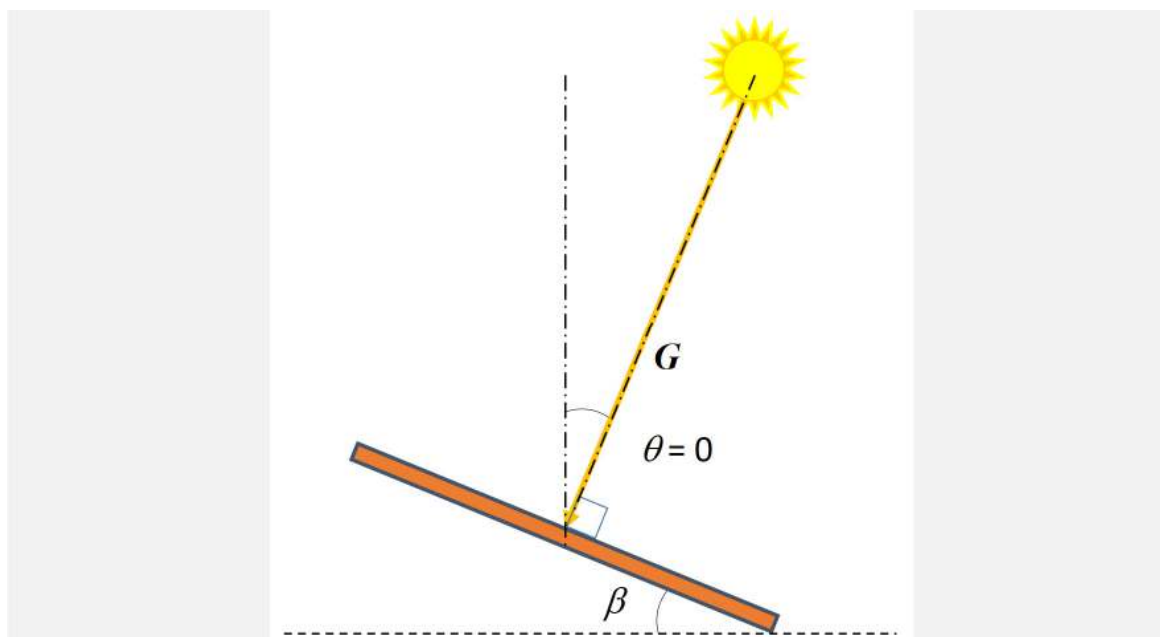
Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι 1000 W/m^2 και η γωνία πρόσπτωσης 30° , τότε

$$G_{\perp} = 1000 \times \cos(30^\circ) = 866 \text{ W/m}^2$$

Έτσι, χωρίς να ληφθούν υπόψη άλλοι παράγοντες, οι απώλειες λόγω συνημιτονοειδούς φαινομένου αναμένεται να είναι γύρω στο 13,4% σε αυτή τη γωνία, το οποίο είναι αρκετά σημαντικό.

Η παρακολούθηση μπορεί να είναι μια αποτελεσματική λύση για την ελαχιστοποίηση αυτών των απωλειών απόδοσης. Η κλίση του πάνελ

κατά τη γωνία (β) ίση με τη γωνία του ζενίθ θα θέσει το πλαίσιο κάθετο στις ακτίνες του ήλιου για άλλη μια φορά.



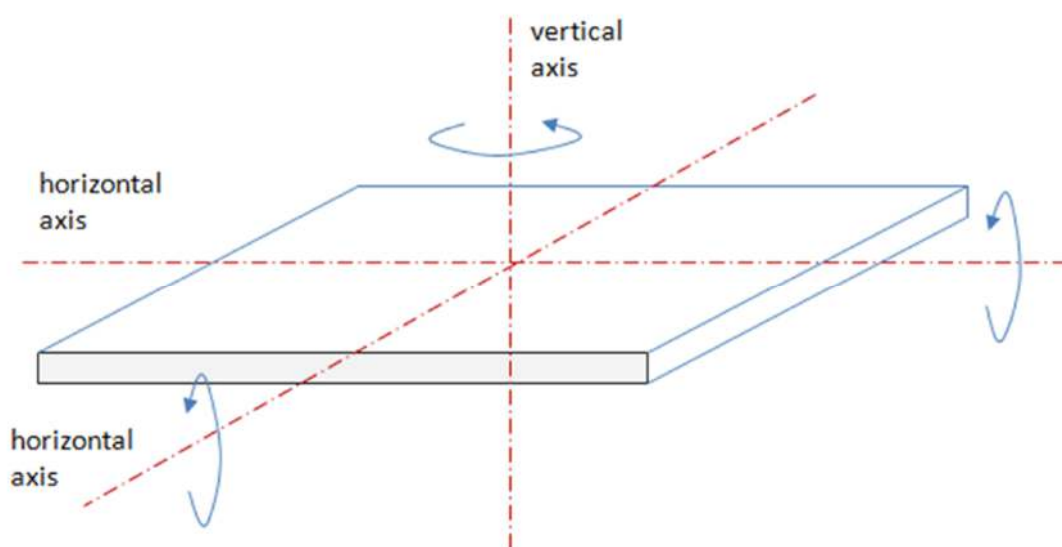
Σχήμα 5-3 Κλίση του επιπέδου δέκτη για αποφυγή απωλειών από το συνημιτονικό φαινόμενο. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519>)

Οι πρώτες προσπάθειες εξάλειψης του συνημιτονοειδούς φαινομένου θα περιλάμβαναν ετήσια προσαρμογή της γωνίας του πίνακα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αλλά αυτό θα ήταν κουραστικό, ανακριβές και πολύ διακριτικό, ενώ ο Ήλιος παραμένει σε συνεχή κίνηση στο καθημερινό του μονοπάτι. Οι σημερινοί αυτόματοι ανιχνευτές χρησιμοποιούν αλγόριθμους που είναι σε θέση να παρακολουθούν συνεχώς τον Ήλιο με ακρίβεια $\pm 0,0003^\circ$.

5.5 Τύποι συστημάτων παρακολούθησης

Τα συστήματα παρακολούθησης ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο κίνησής τους. Μπορούμε να ορίσουμε τρεις άξονες για μια κινούμενη επιφάνεια (που αντιπροσωπεύει έναν δέκτη): δύο οριζόντιους άξονες και έναν κάθετο άξονα (Σχήμα 5-1). Η επιφάνεια μπορεί να περιστραφεί γύρω από κάθε άξονα (γείρει) για να επιτευχθεί η κατάλληλη γωνία σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή δέσμη. Όταν η κίνηση ή η προσαρμογή της επιφάνειας γίνεται με περιστροφή γύρω

από έναν άξονα (κλίση), πρόκειται για παρακολούθηση μονού άξονα. Όταν η περιστροφή της επιφάνειας γίνεται γύρω από δύο άξονες ταυτόχρονα, είναι παρακολούθηση δύο αξόνων. Η παρακολούθηση δύο αξόνων επιτρέπει τον ακριβέστερο προσανατολισμό της ηλιακής συσκευής, αναφέρεται ότι παρέχει 40% κέρδος στην απορρόφηση ενέργειας, αλλά είναι πιο περίπλοκη και δαπανηρή. Τέτοια συστήματα δύο αξόνων χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο αστρονομικών τηλεσκοπίων.



Σχήμα 5-4 Τρεις άξονες περιστροφής μιας υποθετικής κινούμενης επιφάνειας. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519>)

Σε περίπτωση παρακολούθησης μονού άξονα, ο άξονας περιστροφής είναι συνήθως προσανατολισμένος προς την κατεύθυνση NS ή διεύθυνση EW. Η κλίση εκτελείται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης. Σε περίπτωση παρακολούθησης δύο αξόνων, ιδανικά, η γωνία πρόσπτωσης είναι πάντα μηδέν, δηλαδή η επιφάνεια διατηρείται κάθετη προς την ηλιακή δέσμη.

5.6 Σχεδιασμένες συσκευές για ηλιακή παρακολούθηση



Εικόνα 5-1 Συστήματα ιχνηλάτησης (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519>)

Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος παρακολούθησης περιλαμβάνουν [Rockwell Automation, 2011]:

- **Αλγόριθμος παρακολούθησης ηλίου:** Αυτός ο αλγόριθμος υπολογίζει τις γωνίες *αζιμουθίου* και *ζενίθ* του ήλιου. Αυτές οι γωνίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να τοποθετηθεί το ηλιακό πάνελ ή ο ανακλαστήρας ώστε να δείχνει προς τον ήλιο. Ορισμένοι αλγόριθμοι είναι καθαρά μαθηματικοί βασισμένοι σε αστρονομικές αναφορές, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν μετρήσεις έντασης φωτός σε πραγματικό χρόνο.
- **Μονάδα ελέγχου:** Η μονάδα ελέγχου εκτελεί τον αλγόριθμο παρακολούθησης του ήλιου και συντονίζει την κίνηση του συστήματος εντοπισμού θέσης.
- **Σύστημα εντοπισμού θέσης:** Το σύστημα εντοπισμού θέσης μετακινεί το πάνελ ή τον ανακλαστήρα για να κοιτάξει τον ήλιο στις βέλτιστες γωνίες. Ορισμένα συστήματα εντοπισμού θέσης είναι ηλεκτρικά και άλλα υδραυλικά. Τα ηλεκτρικά συστήματα χρησιμοποιούν

κωδικοποιητές και μονάδες μεταβλητής συχνότητας ή γραμμικούς ενεργοποιητές για να παρακολουθούν την τρέχουσα θέση του πίνακα και να μετακινούνται στις επιθυμητές θέσεις.

- **Μηχανισμός μετάδοσης κίνησης:** Οι μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνουν γραμμικούς ενεργοποιητές, γραμμικούς μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης, υδραυλικούς κυλίνδρους, περιστρεφόμενους μηχανισμούς κίνησης, ατέρμονα γρανάζια, πλανητικά γρανάζια και άξονες με σπείρωμα.
- **Συσκευές ανίχνευσης:** Για ιχνηλάτες που χρησιμοποιούν ένταση φωτός στον αλγόριθμο παρακολούθησης, χρειάζονται πυρανόμετρα για την ανάγνωση της έντασης φωτός. Μπορεί επίσης να απαιτείται παρακολούθηση συνθηκών περιβάλλοντος για την πίεση, τη θερμοκρασία και την υγρασία για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της ισχύος εξόδου.
- **Οι διακόπτες ορίου** χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ταχύτητας και την αποφυγή υπερβολικών διαδρομών. Τα μηχανικά όρια διαδρομής χρησιμοποιούνται για την αποφυγή ζημιών του tracker.
- **Η ανάδραση ανύψωσης** επιτυγχάνεται είτε με 1) συνδυασμό οριακών διακοπών και αριθμών κωδικοποιητών κινητήρα, είτε 2) με κλισιόμετρο (αισθητήρα που παρέχει τη γωνία κλίσης).
- Ένα **ανεμόμετρο** χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Εάν οι συνθήκες ανέμου είναι πολύ ισχυροί, τα πάνελ οδηγούνται συνήθως σε μια ασφαλή οριζόντια θέση και παραμένουν στη θέση ασφαλείας έως ότου η ταχύτητα του ανέμου πέσει κάτω από το σημείο ρύθμισης.

5.6.1 Τρεις κατηγορίες τύπων μονάδας παρακολούθησης για τη λειτουργία του κινούμενου δέκτη:

Οι παθητικοί ιχνηλάτες χρησιμοποιούν τη θερμότητα του ήλιου για να διαστέλλουν το συμπιεσμένο αέριο, το οποίο χρησιμοποιείται για την κίνηση του πίνακα. Η επιλεκτική θέρμανση ορισμένων κυλίνδρων έναντι άλλων δημιουργεί μεγαλύτερη διαστολή στη μία πλευρά του πίνακα και τον κάνει να γέρνει. Αυτά τα συστήματα είναι σχετικά απλά και χαμηλού κόστους, αν και ενδέχεται να στερούνται την απαιτούμενη ακρίβεια για τα συστήματα ηλιακής μετατροπής που χρησιμοποιούν συγκεντρωμένο ηλιακό φως.

Οι ενεργοί ιχνηλάτες χρησιμοποιούν υδραυλικό ή ηλεκτρικό και ενεργοποιητή για να μετακινήσουν τον πίνακα με βάση την απόκριση του αισθητήρα. Οι αισθητήρες φωτός είναι τοποθετημένοι στον ιχνηλάτη σε διαφορετικές θέσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν καλύτερα με το άμεσο ηλιακό φως και είναι λιγότερο αποτελεσματικά με συννεφιασμένο ουρανό.

Οι ανιχνευτές ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιούν προκαταγεγραμμένα δεδομένα για τη θέση του ήλιου για μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι απλοί χρονομετρημένοι ιχνηλάτες μετακινούν τον πίνακα σε διακριτά διαστήματα για να ακολουθήσουν τη θέση του ήλιου, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη τις εποχιακές διακυμάνσεις του υψομέτρου του ήλιου. Οι ανιχνευτές υψομέτρου/αζιμουθίου χρησιμοποιούν αστρονομικά δεδομένα για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου για οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή και τοποθεσία.

5.6.2 Ενεργοποιητές

Οι γραμμικοί ενεργοποιητές είναι κοινά τεχνικά εργαλεία που αποδείχθηκαν αποτελεσματική λύση για τη μετακίνηση των ηλιακών δεκτών. Ένας ηλεκτρικός γραμμικός ενεργοποιητής είναι μια συσκευή που μετατρέπει την περιστροφική κίνηση ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε γραμμική κίνηση. Με τους γραμμικούς ενεργοποιητές μπορείτε να σηκώνετε, να σύρετε, να ρυθμίζετε, να γέρνετε, να σπρώχνετε ή να τραβάτε αντικείμενα διαφορετικής μάζας και είναι εύκολο να εφαρμοστούν σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Μηχανικά, οι γραμμικοί ενεργοποιητές είναι πολύ απλές συσκευές που έχουν αναπτυχθεί εκτενώς σε ιχνηλάτες 2 αξόνων και 1 αξόνων λόγω της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των υπηρεσιών τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

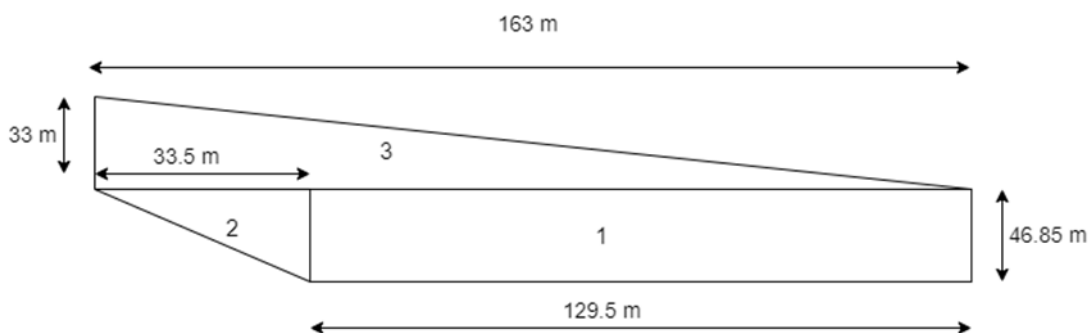
6.1 Παρουσίαση του χώρου εγκατάστασης του πάρκου

Ο χώρος που θα εγκατασταθεί το πάρκο είναι ένα οικόπεδο όπως φαίνεται παρακάτω, πάνω στην εθνική οδό Ιτέας – Αντιρρίου. Έχει νότιο προσανατολισμό. Στην Εικόνα 6-1 που ακολουθεί, το οικόπεδο έχει χωριστεί σε τμήματα προκειμένου να χωροθετηθούν τα πάνελ



Εικόνα 6-1 Κάτοψη του οικοπέδου (άποψη από δορυφόρο)

Η κίτρινη περιοχή είναι περίπου 400m^2 και θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του υποσταθμού και των inverters. Στο Σχήμα 6-1 που ακολουθεί φαίνονται οι διαστάσεις κάθε περιοχής



Σχήμα 6-1 Κάτοψη του προς εκμετάλλευση χώρου του οικοπέδου

6.2 Τοποθέτηση των πλαισίων

6.2.1 Κομμάτι 1

Το αγροτεμάχιο έχει ακανόνιστο σχήμα και για αυτό το λόγο θα χωριστεί σε κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι (1) είναι παραλληλόγραμμο με πλάτος 46.85 μέτρα και μήκος 129.5 μέτρα.

Κάθε πάνελ έχει πλάτος 0.992 μέτρα, οπότε κάθε σειρά θα αποτελείται από $129.5/0.992=130$ πάνελ

Κάθε πάνελ θα τοποθετηθεί με κλίση 30° , οπότε η επιφάνεια που θα καταλαμβάνει κάθε σειρά από πάνελ θα είναι

$$1.64 \times \cos 30^\circ = 1.42028 \text{m}$$

Μεταξύ των σειρών θα υπάρχει περιθώριο 2.5 μέτρων, άρα τελικά το μήκος κάθε σειράς μαζί με το περιθώριο θα είναι

$$1.42028 + 2.5 = 3.9228 \text{m}$$

Οπότε στην περιοχή 1 θα υπάρχουν

$46.85/3.9228=12$ σειρές από 130 πάνελ έκαστη, δηλαδή $12 \times 130 = 1560$ πάνελ

Τα κομμάτια (2) και (3) είναι τρίγωνα. Θα ακολουθήσουμε για τον υπολογισμό την ίδια λογική όπως και παραπάνω και στο τέλος τα σύνολο των πάνελ θα διαιρεθεί διά δύο.

6.3 Κομμάτι 2

Το κομμάτι 2 έχει κάθετες πλευρές 46.85m και 33.5m

Οπότε στην περιοχή 2 θα υπάρχουν

$$46.85/3.9228=12 \text{ σειρές από } 33.5/0.992=33 \text{ πάνελ έκαστη}$$

Δηλαδή θα εγκατασταθούν $(12 \times 33)/2 = 198$ πάνελ, μιας και η περιοχή είναι τριγωνική και άρα διχοτομείται

6.3.1 Κομμάτι 3

Το κομμάτι 3 έχει κάθετες πλευρές 33m και 163m

Οπότε στην περιοχή 3 θα υπάρχουν

$33/3.9228=8$ σειρές από $163/0.992=164$ πάνελ έκαστη

Δηλαδή θα εγκατασταθούν $(8 \times 164)/2=656$ πάνελ , μιας και η περιοχή είναι τριγωνική και άρα διχοτομείται

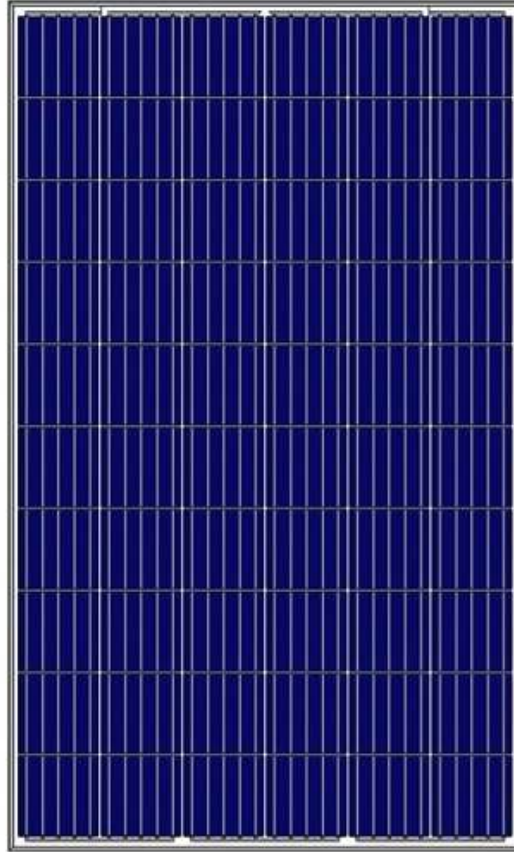
6.3.2 Συνολικά πλαίσια και συνολική ισχύς του ΦΒ πάρκου

Συνολικά θα υπάρχουν $1560 + 198 + 656=2414$ πάνελ

Επομένως η συνολική ισχύς του πάρκου θα είναι $2414 \times 285=687900W$ ή $688Kw$

6.4 Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν^[6]

Τα ΦΒ πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν είναι της εταιρείας Amerisolar και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται παρακάτω



Εικόνα 6-2 Το ΦΒ πλαίσιο που θα χρησιμοποιηθεί
(<https://www.mipesun.gr/φωτοβολταικα-πανελ/πολυκρυσταλλικα/amerisolar-as-6p30-285wp.htm>)

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Μέγιστη ισχύς (MPPT) : 285W

Βαθμός απόδοσης : $\geq 17,52\%$

Ρεύμα (MPPT) : 9A

Τάση (MPPT) : 31,7V

Ρεύμα βραχυκύκλωσης : 9,42A

Τάση ανοικτοκύκλωσης : 38,7V

Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος : $-0,41\%/^{\circ}\text{C}$

Διαστάσεις : 1640mm×992mm×40mm

Βάρος : 18,5kg

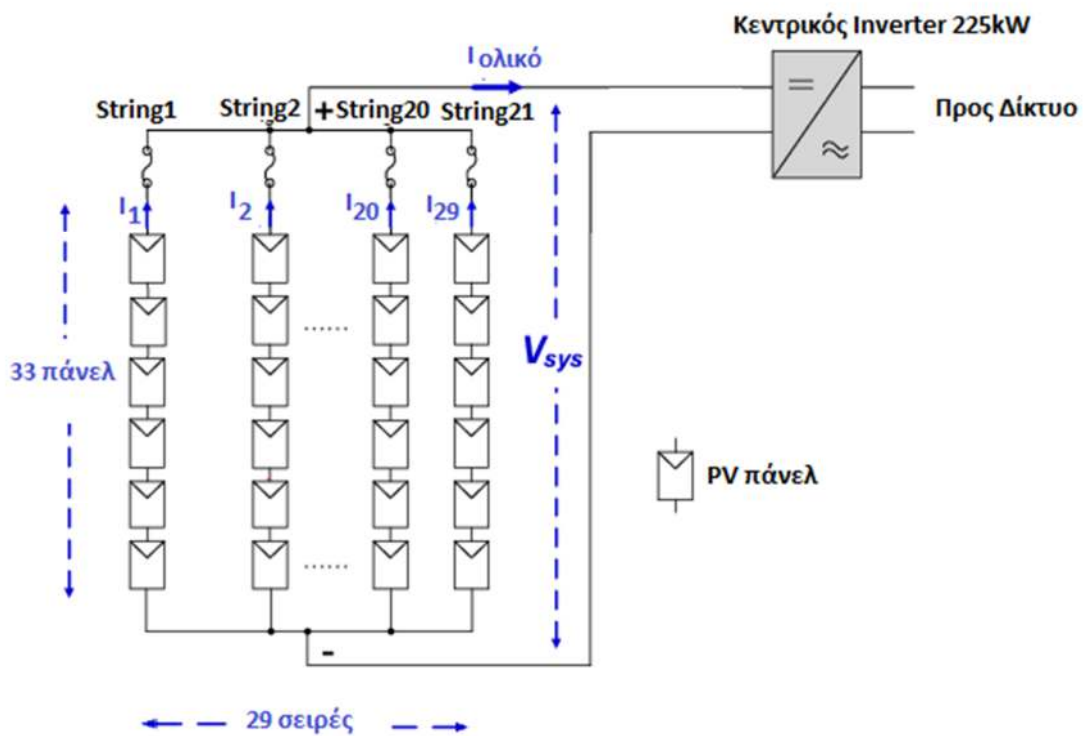
6.5 Αντιστροφείς [7][8]

Με βάση την ισχύ αυτή επιλέγονται δύο αντιστροφείς ισχύος 225kW και δύο αντιστροφείς ισχύος 150kW, δηλαδή η συνολική ισχύς των μετατροπέων θα είναι $2 \times 225 + 2 \times 150 = 750 \text{ kW}$

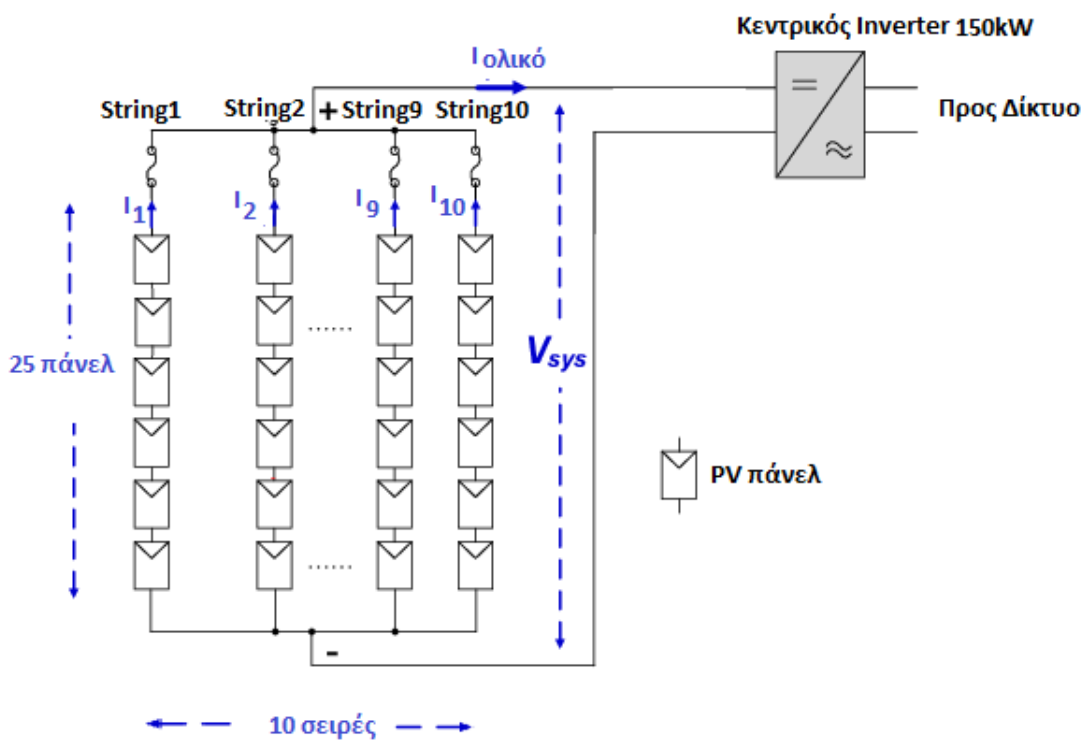


Εικόνα 6-3 Ο αντιστροφέας Sunny Highpower Peak3

Η διάταξη περιλαμβάνει 42 (21+21) σειρές (strings) των 33 πάνελ έκαστη και 20 (10+ 10) σειρές των 25 πάνελ έκαστη. Θα χρησιμοποιηθούν combiner boxes στα οποία θα συγκεντρώνονται οι ομάδες των πάνελ και μετά θα οδηγούνται στους αντιστροφείς, όπως φαίνεται

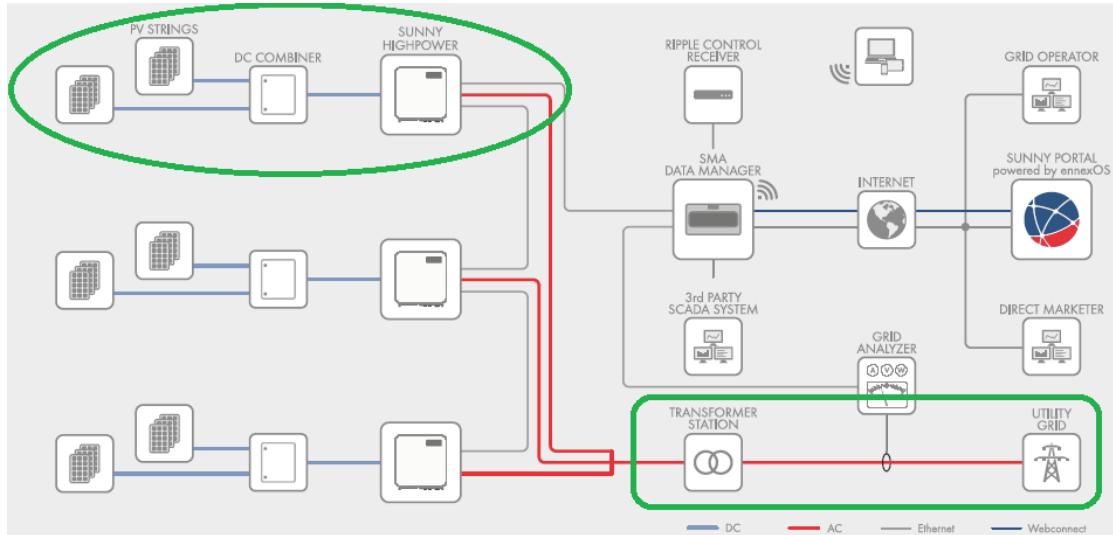


Σχήμα 6-2 Διασύνδεση αντιστροφέα 225kW



Σχήμα 6-3 Διασύνδεση αντιστροφέα 150 kW

Στο Σχήμα 6-4 φαίνεται η λογική διασύνδεσης των αντιστροφών με το μετασχηματιστή



Σχήμα 6-4 Διασύνδεσης των αντιστροφών με το μετασχηματιστή

Πίνακας 6-2 Τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφών

Technical Data	Sunny Highpower 100-20	Sunny Highpower 150-20
Input (DC)		
Max. PV array power	150000 Wp	225000 Wp
Max. input voltage	1000 V	1500 V
MPP voltage range / rated input voltage	590 V to 1000 V / 590 V	880 V to 1450 V / 880 V
Max. input current / max. short-circuit current	180 A / 325 A	180 A / 325 A
Number of independent MPP trackers	1	1
Number of inputs	1 or 2 (optional) for external PV array junction boxes	
Output (AC)		
Rated power at nominal voltage	100000 W	150000 W
Max. apparent power	100000 VA	150000 VA
Nominal AC voltage / AC voltage range	400 V / 304 V to 477 V	600 V / 480 V to 690 V
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 66 Hz	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 66 Hz
Rated grid frequency	50 Hz	50 Hz
Max. output current	151 A	151 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
Harmonic (THD)	< 3%	
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE	
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98.8% / 98.6%	99.1% / 98.8%

6.6 Ηλεκτρολογικός έλεγχος διασύνδεσης [9]

Ακολουθεί ηλεκτρικός έλεγχος που θα δείξει και την εφικτή ηλεκτρολογική διασύνδεση.

6.6.1 Αντιστροφέας 225kW

Πρέπει $V_{DC,m} = V_{mp} \times N_{\text{πάνελ}} = 38.7V \times 33 \text{πάνελ} = 1277.1V$ olt,

Τα όρια του inverter είναι $880V < V_{mpp} < 1450V$, άρα η τάση του string είναι εντός ορίων

$V_{DC,oc} = V_{oc} \times N_{\text{πάνελ}} = 31.7V \times 33 \text{πάνελ} = 1046.1 < V_{DC,max} = 1500V$ άρα το string δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τάση του inverter

$I_{DC} = 9.47 \times 33 = 312.51A < 325A$ άρα το string δεν υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα του inverter

6.7 Αντιστροφέας 150kW

Πρέπει $V_{DC,m} = V_{mp} \times N_{\text{πάνελ}} = 38.7V \times 25 \text{πάνελ} = 967.5V$ olt,

Τα όρια του inverter είναι $590V < V_{mpp} < 1000V$, άρα η τάση του string είναι εντός ορίων

$V_{DC,oc} = V_{oc} \times N_{\text{πάνελ}} = 31.7V \times 25 \text{πάνελ} = 792.5 < V_{DC,max} = 1000V$ άρα το string δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τάση του inverter

$I_{DC} = 9.47 \times 25 = 236.75A < 325A$ άρα το string δεν υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα του inverter

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παραπάνω μελέτη η πρόκληση ήταν ο τρόπος εύρεσης του πλήθους των πάνελ στα τριγωνικά κομμάτια του οικοπέδου. Η λύση ήταν να τοποθετηθούν τα πάνελ σε παραλληλόγραμο που σχημάτιζαν οι δύο κάθετες πλευρές του τριγώνου και στη συνέχεια να υποδιπλασιαστεί το πλήθος τους μιας και το παραλληλόγραμμο όταν διχοτομείται δίνει ξανά το τρίγωνο. Το επόμενο βήμα ήταν η διασύνδεση των πάνελ στους κεντρικούς αντιστροφείς, όπου έπρεπε να γίνει κατανοητό πόσες σειρές πάνελ και πόσα πάνελ σε κάθε σειρά έπρεπε να διασυνδεθούν με βάση και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους. Εκτός αυτού έπρεπε να γίνει κατανοητός και ο τρόπος λειτουργίας του κεντρικού inverter και ο τρόπος διασύνδεσης του με το combiner box.

Γενικά η μελέτη είχε ενδιαφέροντα κομμάτια και πράγματα που έπρεπε να διερευνηθούν και αποτελεί μια χρήσιμη εμπειρία για το επαγγελματικό μου μέλλον

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell>

- [2] <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-system-design-basics>

- [3] <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>

- [4] <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

- [5] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/519>

- [6] <https://www.mipesun.gr/φωτοβολταικα-πανελ/πολυκρυσταλλικα/amerisolar-as-6p30-285wp.htm>

- [7] <https://files.sma.de/downloads/SHP-20-DS-en-22.pdf>

- [8] https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-PV-system-under-a-line-line-fault_fig2_254027370

[9] ΣΧΟΙΝΑΣ ΜΙΚΟΛΑΟΣ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
«ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ