



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ**

**ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΜ: 7113**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΪΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2022**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 1MW. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην ηλιακή ενέργεια, στους τρόπους μέτρησης της και μετατροπής της. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, όπου αναλύονται ηλιακές τεχνολογίες μεγάλης κλίμακας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα εξαρτήματα των μεγάλων φωτοβολταϊκών συστημάτων και στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη και η μελέτη χωροθέτησης του φωτοβολταϊκού πάρκου.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	VI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Μετατροπή ηλιακής ενέργειας <sup>[1]</sup> .....	1
1.2 Αποτελεσματικότητα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας <sup>[1]</sup> .....	4
1.3 Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και τρόποι μέτρησης της <sup>[2]</sup> .....	5
1.3.1 Το πυρηλόμετρο.....	8
1.3.2 Το πυρανόμετρο .....	9
1.3.3 Φωτοηλεκτρικό καταγραφικό ηλιοφάνειας.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 -ΗΛΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ .....	13
2.1 Φωτοβολταϊκά (PV) <sup>[3]</sup> .....	13
2.1.1 Ηλιακά κύτταρα.....	14
2.1.2 Ηλιακές Συστοιχίες .....	14
2.1.3 Συστήματα Συγκεντρωμένων Φ/Β (CPV).....	15
2.2 Συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια (CSP) .....	16
2.2.1 Trough Systems <sup>[4]</sup> .....	17
2.2.2 Συστήματα Power Tower <sup>[4]</sup> .....	18
2.2.2.1 Συστήματα μηχανών πιάτων <sup>[4]</sup> .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ .....	21
3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο <sup>[5]</sup> .....	21
3.2 Τύποι Φ/Β τεχνολογίας και πρόσφατες καινοτομίες <sup>[5]</sup> .....	26
3.2.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο <sup>[5]</sup> .....	26
3.2.2 Πολυκρυσταλλικό (ή πολυκρυσταλλικό) πυρίτιο <sup>[5]</sup> .....	26
3.2.3 Άμορφο πυρίτιο (λεπτή μεμβράνη) <sup>[5]</sup> .....	27
3.2.4 Τελλουρίδιο του καδμίου, CdTe (λεπτή μεμβράνη) <sup>[5]</sup> .....	28
3.2.5 Σελενίδιο γαλλίου χαλκού ινδίου (CIGS) <sup>[5]</sup> .....	28
3.2.6 Πολυμερή και οργανικά Φ/Β <sup>[5]</sup> .....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΚΥΡΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	30
4.1 Εξοπλισμός ΦΒ εγκαταστάσεων <sup>[6]</sup> .....	30
4.1.1 Ελεγκτές φόρτισης <sup>[6]</sup> .....	31
4.1.2 Μετατροπείς(Inverters) <sup>[6]</sup> .....	32
4.1.3 Μπαταρίες <sup>[6]</sup> .....	34
4.2 Αρχιτεκτονική των μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκών συστημάτων <sup>[6]</sup> .....	35
4.3 Μετατροπείς: αρχή λειτουργίας και παράμετροι.....	37
4.3.1.1 Απόδοση μετατροπέων .....	41
4.4 Συσκευές μεταγωγής.....	44

4.4.1 Έλεγχος μεταγωγής .....	44
4.5 Μετατροπή DC/DC.....	45
4.6 Παρακολούθηση MPP .....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 -ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....	48
5.1 Φωτοβολταικα πλαίσια .....	48
5.2 Συστήματα στήριξης .....	50
5.3 Αντιστροφείς (INVERTER) .....	50
5.4 Ηλεκτρολογικός έλεγχος <sup>[9]</sup> .....	52
5.5 Διαστασιολόγηση του πάρκου <sup>[9]</sup> .....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1	Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη είναι εξαιρετικά μεταβλητή .....	7
Εικόνα 1-2	Πυρηλόμετρο ( <a href="https://www.researchgate.net/figure/Pyrheliometer-scheme-Figure-3b-Pyrheliometer-The-pyranometer-Figure-4a-is-typically_fig2_292678920">https://www.researchgate.net/figure/Pyrheliometer-scheme-Figure-3b-Pyrheliometer-The-pyranometer-Figure-4a-is-typically_fig2_292678920</a> ) .....	9
Εικόνα 1-3	Πυρανόμετρο ( <a href="https://www.elprocus.com/what-is-pyranometer-construction-types-applications/">https://www.elprocus.com/what-is-pyranometer-construction-types-applications/</a> ) .....	10
Εικόνα 1-4	Φωτοηλεκτρικό καταγραφικό ηλιοφάνειας <a href="https://www.slideshare.net/dhanaprabhu5/principlesofsolarradiation">https://www.slideshare.net/dhanaprabhu5/principlesofsolarradiation</a> ...	12
Εικόνα 2-1	Ηλιακό στοιχείο, μονάδα και συστοιχία.( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm">https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm</a> ) .....	14
Εικόνα 2-2	Ηλιακές συστοιχίες.( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm">https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm</a> ) .....	15
Εικόνα 2-3	Συλλέκτης CPV ( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm">https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm</a> ) .....	16
Εικόνα 2-4	Παραβολικό σύστημα σκάφους.( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....	18
Εικόνα 2-5	Σχηματικό διάγραμμα Power Tower( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....	19
Εικόνα 2-6	Σύστημα πύργων ισχύος( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ).....	19
Εικόνα 2-7	Σχηματικό διάγραμμα συστήματος πιάτων/κινητήρων ( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....	20
Εικόνα 2-8	Ηλιακό σύστημα πιάτων-κινητήρων ( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....	20
Εικόνα 4-1	Διαστημική εικόνα του ηλιακού αγροκτήματος Torraz (αριστερά) [πηγή εικόνας NASA, δημόσιος τομέας] και προβολή εγκατάστασης (δεξιά).( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681</a> ) .....	36
Εικόνα 4-2	Μετατροπείς: κουτί inverter μικρής κλίμακας για οικιακή χρήση (αριστερά) και μετατροπείς κλίμακας Satcon utility (δεξιά)( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681</a> ) .....	38
Εικόνα 5-1	Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli, 235 Wp( <a href="https://www.indiamart.com/proddetail/sma-sunny-central-630cp-us-6357721430.html">https://www.indiamart.com/proddetail/sma-sunny-central-630cp-us-6357721430.html</a> ) .....	48

Εικόνα 5-2	Οι βάσεις στήριξης ( <a href="http://m.wanhossolars.com/ground-mounting-system/solar-bracket-suppliers-steel-pole-pump.html">http://m.wanhossolars.com/ground-mounting-system/solar-bracket-suppliers-steel-pole-pump.html</a> ) .....50
Εικόνα 5-3	Ο αντιστροφέας Sunny Central 630CP ( <a href="https://www.indiamart.com/proddetail/sma-sunny-central-630cp-us-6357721430.html">https://www.indiamart.com/proddetail/sma-sunny-central-630cp-us-6357721430.html</a> ) .....51

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1	Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που δείχνει διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας σε σχέση με κλίμακες μήκους κύματος και συχνότητας. ( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/608">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/608</a> )..... 3
Σχήμα 1-2	Διαφορετικοί τύποι ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης: πορτοκαλί - βραχύ κύμα. μπλε - μακρύ κύμα.( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/644">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/644</a> ) ..... 8
Σχήμα 1-3	Αρχή λειτουργίας πυρηλόμετρου και πυρανόμετρου ( <a href="https://www.sevensensor.com/what-is-pyranometer">https://www.sevensensor.com/what-is-pyranometer</a> ).....10
Σχήμα 2-1	Σχηματικό διάγραμμα συστήματος παραβολικής κοιλότητας ( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....17
Σχήμα 3-1	Σχηματική απεικόνιση των κενών ζωνών σε διάφορα υλικά. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η ενέργεια των ηλεκτρονίων και $E_F$ είναι η θέση του επιπέδου Fermi.( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....22
Σχήμα 3-2	Η πρόβλεψη της μέγιστης απόδοσης της ηλιακής κυψέλης ως κενό ζώνης υλικού συνάρτησης με το όριο Shockley–Queisser. ( <a href="https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/">https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/</a> ) .....25
Σχήμα 4-1	Τυπική διαδρομή μετασχηματισμού ενέργειας σε Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο.( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681</a> ) .....31
Σχήμα 4-2	Διαφορετικοί τύποι σήματος AC που παράγονται από μετατροπείς.( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681</a> ) .....38
Σχήμα 4-3	Σχηματική απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής ( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681</a> ) .....39
Σχήμα 4-4	Κύκλοι inverter. Κατά τη διάρκεια του 1ου μισού κύκλου (πάνω), το ρεύμα συνεχούς ρεύματος από μια πηγή συνεχούς ρεύματος - ηλιακή μονάδα ή μπαταρία - ενεργοποιείται μέσω του επάνω μέρους του πρωτεύοντος πηνίου. Κατά τη διάρκεια του 2ου μισού κύκλου (κάτω), το ρεύμα συνεχούς ρεύματος ενεργοποιείται μέσω του κάτω μέρους του πηνίου. ( <a href="https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681">https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681</a> ) .....40

Σχήμα 4-5 Διαμόρφωση πλάτους παλμού για προσέγγιση του πραγματικού ημιτονοειδούς κύματος με μετατροπέα υψηλής συχνότητας. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>) .....41

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1-1 Επισκόπηση διαφορετικών τύπων δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας. 12

Διάγραμμα 3-1 Μερίδιο αγοράς διαφορετικών τεχνολογιών φωτοβολταϊκών με βάση το πυρίτιο από το 1990 έως το 2013. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>) .....28

Διάγραμμα 4-1 Τυπική γενική καμπύλη απόδοσης μετατροπέα. Κάτω από το 10-15% της ισχύος εξόδου, η απόδοση είναι αρκετά χαμηλή. Σε υψηλή ισχύ εξόδου, η απόδοση είναι σταθερά υψηλή με ορισμένες μικρές παραλλαγές. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>) .....42

Διάγραμμα 4-2 Καμπύλη ηλιακής κυψέλης IV σε μεταβαλλόμενο φως του ήλιου IV καμπύλες απόδοσης ηλιακής κυψέλης σε μεταβαλλόμενο ηλιακό φως. Οι ανώτερες καμπύλες δείχνουν την απόδοση της κυψέλης σε συνθήκες υψηλότερης ακτινοβολίας. Η κατακόρυφη διαδρομή που διασχίζει τις καμπύλες απόδοσης υποδεικνύει τη μετατόπιση του σημείου μέγιστης ισχύος. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)  
47

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1 Διάκενα ζωνών διαφορετικού υλικού (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>) .....23

Πίνακας 5-1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ (1<sup>η</sup> στήλη)<sup>[7]</sup>....49

Πίνακας 5-2 Θερμικά χαρακτηριστικά του πάνελ<sup>[7]</sup> .....49

Πίνακας 5-3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ<sup>[7]</sup> .....49

Πίνακας 5-4 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα<sup>[8]</sup> .....51

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Μετατροπή ηλιακής ενέργειας<sup>[1]</sup>

Η ενέργεια που είναι φυσικά διαθέσιμη από την ηλιακή πηγή είναι τεράστια. Ο ήλιος αποδίδει  $1,2 \times 10^5 \text{TW}$  ακτινοβολίας στη Γη, ποσότητα που ξεπερνά κάθε άλλη πηγή ενέργειας ως προς τη χωρητικότητα και τη διαθεσιμότητα. Αυτό θα μετατρεπόταν σε  $3,78 \times 10^{12} \text{TJ}$  ενέργειας ανά έτος. Για σύγκριση, όλα τα ανακτήσιμα αποθέματα πετρελαίου της Γης (~3 τρισεκατομμύρια βαρέλια) αντιστοιχούν σε  $1,7 \times 10^{10} \text{TJ}$  ενέργειας. Έτσι, ο ήλιος παρέχει αυτή την ποσότητα ενέργειας στη Γη σε μόλις ~1,6 ημέρες!

Σύμφωνα με κριτικές του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, η τρέχουσα παγκόσμια ενεργειακή χρήση είναι κοντά στο  $1,6 \times 10^5 \text{TWh}$  ετησίως (δηλαδή  $5,76 \times 10^8 \text{TJ/έτος}$ ). Αν πάλι συγκρίνουμε αυτό το ποσό με την παγκόσμια ροή ηλιακής ενέργειας, ο Ήλιος μπορεί να καλύψει αυτή τη ζήτηση σε μόλις 1 ώρα και 20 λεπτά! Ωστόσο, για να αξιοποιηθεί, η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως ηλεκτρική ενέργεια ή χρησιμοποιήσιμη θερμότητα. Το ερώτημα είναι αν μπορούμε να το κάνουμε αποτελεσματικά στην κλίμακα των απαιτήσεών μας.

Προφανώς, ο ηλιακός πόρος περιέχει αρκετή ενέργεια για να καλύψει αυτές τις απαιτήσεις. Ωστόσο, οι κρίσιμοι περιορισμοί στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας είναι η αποδοτικότητα των υπάρχουσών τεχνολογιών και η συνολική τους ικανότητα να παράγουν ενέργεια με βιώσιμο τρόπο.



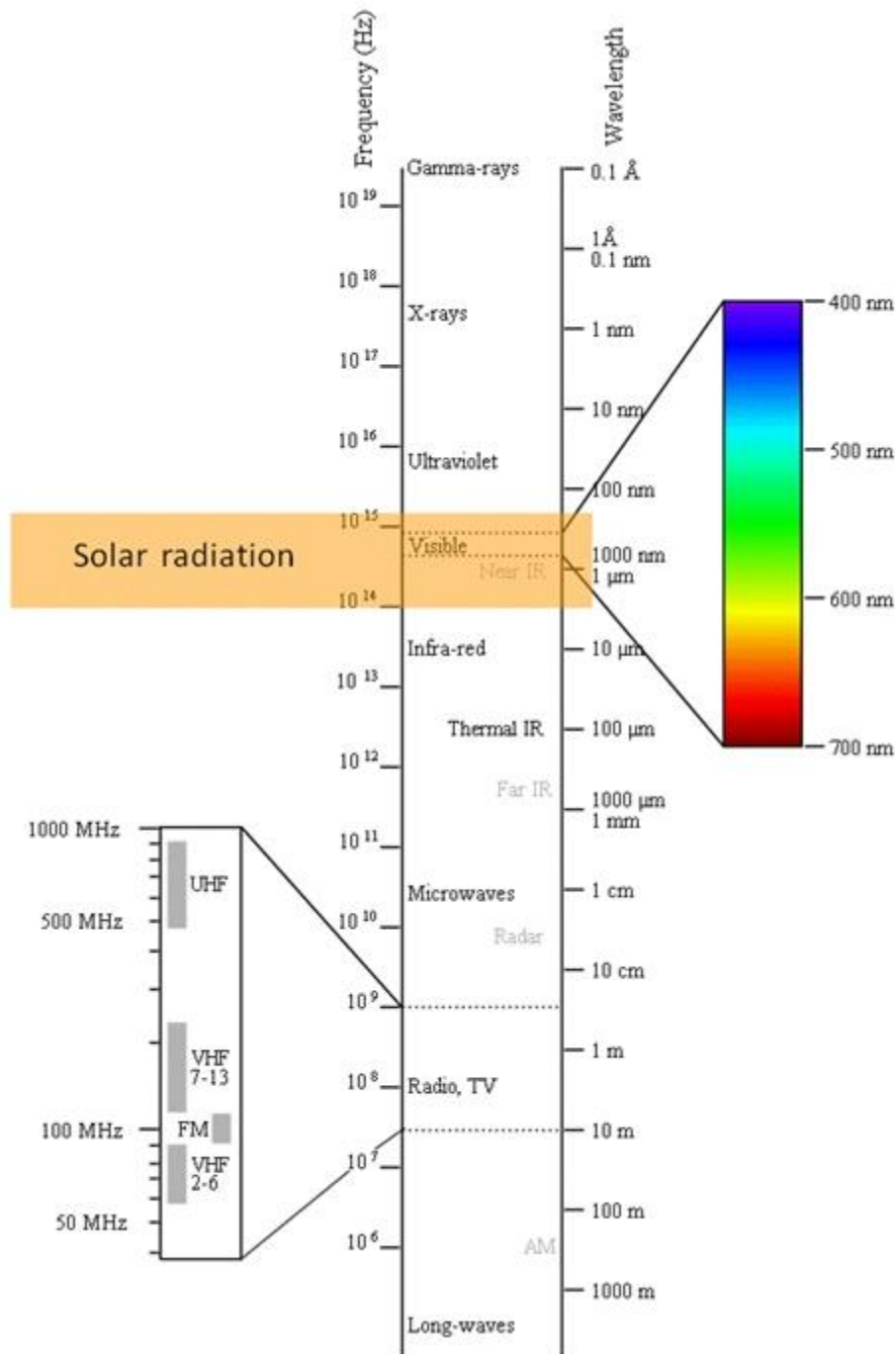
Στην πραγματικότητα η ηλιακή ακτινοβολία έχει τις παρακάτω ιδιότητες

- Η ηλιακή ενέργεια είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Τα κύρια συστατικά της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη Γη (μήκος κύματος,  $\lambda$ , εύρος δίνονται σε παρένθεση):
  - Υπέρυθρες (52 – 55%  $\lambda > 700$  nm)
  - Ορατό (42-43%  $400 < \lambda < 700$  nm)
  - Υπεριώδες (3-5%  $100 < \lambda < 400$  nm) - βλέπε [Σχήμα 1-1](#)
- Η ηλιακή ακτινοβολία κοντά στην επιφάνεια της γης είναι ουσιαστικά στην περιοχή  $\lambda$  290 – 2500 nm.
- Το φωτόνιο ( $E = h\nu$ ) - είναι ένας συχνά πιο βολικός όρος στον μηχανισμό της ηλιακής μετατροπής.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης αποτελείται κυρίως από υπέρυθρη (52-55%), ορατή (42-43%) και υπεριώδη (3-5%) ακτινοβολία, καλύπτοντας το μήκος κύματος από ~ 290 nm έως 2,5  $\mu$ m, όπως φαίνεται με την πορτοκαλί σκιασμένη περιοχή στο διάγραμμα.

Αυτό το μείγμα διαφόρων τύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιτρέπει στο ηλιακό φως να μετατραπεί μέσω διαφόρων φυσικών μηχανισμών, οι οποίοι είναι:

- άμεση μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια (μέσω φωτοβολταϊκού φαινομένου).
- μετατροπή σε χρησιμοποιήσιμη θερμότητα (για παράδειγμα, μέσω θερμικών συλλεκτών).
- μετατροπή σε ύλη / καύσιμο (για παράδειγμα, παραγωγή βιομάζας μέσω φωτοσύνθεσης).



Σχήμα 1-1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που δείχνει διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας σε σχέση με κλίμακες μήκους κύματος και συχνότητας. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/608>)

## 1.2 Αποτελεσματικότητα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας<sup>[1]</sup>

Η απόδοση είναι μια πολύ σημαντική μέτρηση στη μετατροπή ενέργειας. Χρησιμοποιείται πιο συχνά για την αξιολόγηση και τη σύγκριση διαφόρων μεθόδων και συσκευών όσον αφορά την τεχνική απόδοση, η οποία, με τη σειρά της, σχετίζεται με το κόστος της τεχνολογίας.

Η **αποτελεσματικότητα της μετατροπής** είναι μια σημαντική μέτρηση της απόδοσης του συστήματος. Όταν εφαρμόζεται σε συστήματα μετατροπής ηλιακής ενέργειας, η απόδοση της μετατροπής ηλιακής ενέργειας ( $\eta$ ) ορίζεται ως ο λόγος της χρήσιμης ισχύος εξόδου (που παρέχεται από τη συσκευή μετατροπής) προς την προσπίπτουσα ισχύ (της ηλιακής ακτινοβολίας):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

Από την ανάλυση αποδοτικότητας αποκομίζουμε τις παρακάτω πληροφορίες

- Ποιο κλάσμα της διαθέσιμης ενέργειας χάνεται κατά τη μετατροπή
- Πώς συγκρίνεται μια συσκευή με μια άλλη
- Ποιο είναι το όριο απόδοσης

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συγκρίνονται με την ονομαστική απόδοση που μετράται σε τυπικές συνθήκες:

- Θερμοκρασία αέρα 25°C
- Ακτινοβολία 1000 W/m<sup>2</sup>(καθαρός ουρανός)
- Μάζα αέρα (AM) 1,5G
- Πίνακας προσανατολισμένος κάθετα στη δέσμη φωτός

Όταν οι εξωτερικές συνθήκες διατηρούνται σταθερές, η μετρούμενη απόδοση είναι αποκλειστικά χαρακτηριστικό της συσκευής. Εάν έχουμε μετρήσει την ηλιακή ακτινοβολία και συλλέξουμε δεδομένα απόδοσης της συσκευής, μπορούμε να πούμε σε ποια απόδοση λειτουργεί το σύστημα.

### 1.3 Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και τρόποι μέτρησης της<sup>[2]</sup>

Το κλάσμα της ροής ενέργειας που εκπέμπεται από τον ήλιο και αναχαιτίζεται από τη γη χαρακτηρίζεται από την ηλιακή σταθερά. Η ηλιακή σταθερά ορίζεται ως ουσιαστικά το μέτρο της πυκνότητας ροής ηλιακής ενέργειας κάθετα προς την κατεύθυνση της ακτίνας ανά μονάδα είναι ανά μονάδα χρόνου. Μετράται με μεγαλύτερη ακρίβεια από δορυφόρους έξω από την ατμόσφαιρα της γης. Η ηλιακή σταθερά υπολογίζεται επί του παρόντος στα  $1367 \text{ W/m}^2$ . Αυτός ο αριθμός στην πραγματικότητα ποικίλλει κατά 3% επειδή η τροχιά της γης είναι ελλειπτική και η απόσταση από τον ήλιο ποικίλλει κατά τη διάρκεια του έτους. Κάποια μικρή διακύμανση της ηλιακής σταθεράς είναι επίσης δυνατή λόγω αλλαγών στη φωτεινότητα του Ήλιου. Αυτή η μετρούμενη τιμή περιλαμβάνει όλους τους τύπους ακτινοβολίας, ένα σημαντικό μέρος της οποίας χάνεται καθώς το φως διέρχεται από την ατμόσφαιρα.

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από την ατμόσφαιρα, απορροφάται, διασκορπίζεται, αντανακλάται ή μεταδίδεται. Όλες αυτές οι διεργασίες έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας της ροής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, η πυκνότητα της ηλιακής ροής μειώνεται κατά περίπου 30% σε σύγκριση με τη ροή της εξωγήινης ακτινοβολίας σε μια ηλιόλουστη μέρα και μειώνεται έως και 90% σε μια συννεφιασμένη μέρα. Πρέπει να σημειωθούν οι ακόλουθες κύριες απώλειες:

- απορροφάται από σωματίδια και μόρια στην ατμόσφαιρα - 10-30%
- αντανακλάται και διασκορπίζεται πίσω στο διάστημα - 2-11%
- διασκορπισμένο στη γη (η άμεση ακτινοβολία γίνεται διάχυτη) - 5-26%

Ως αποτέλεσμα, η άμεση ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης (ή μια συσκευή εγκατεστημένη στην επιφάνεια της γης) δεν υπερβαίνει ποτέ το 83% της αρχικής εξωγήινης ενεργειακής ροής. Αυτή

η ακτινοβολία που προέρχεται απευθείας από τον ηλιακό δίσκο ορίζεται ως ακτινοβολία δέσμης. Η διάσπαρτη και ανακλώμενη ακτινοβολία που αποστέλλεται στην επιφάνεια της γης από όλες τις κατευθύνσεις (που αντανακλάται από άλλα σώματα, μόρια, σωματίδια, σταγονίδια κ.λπ.) ορίζεται ως διάχυτη ακτινοβολία. Το άθροισμα της δέσμης και των διάχυτων συνιστωσών ορίζεται ως συνολική (ή συνολική) ακτινοβολία. Η ακτινοβολία δέσμης μπορεί να συγκεντρωθεί, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία, σε πολλές περιπτώσεις, δεν μπορεί. Μόνο το συστατικό της δέσμης της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να συγκεντρωθεί αποτελεσματικά.

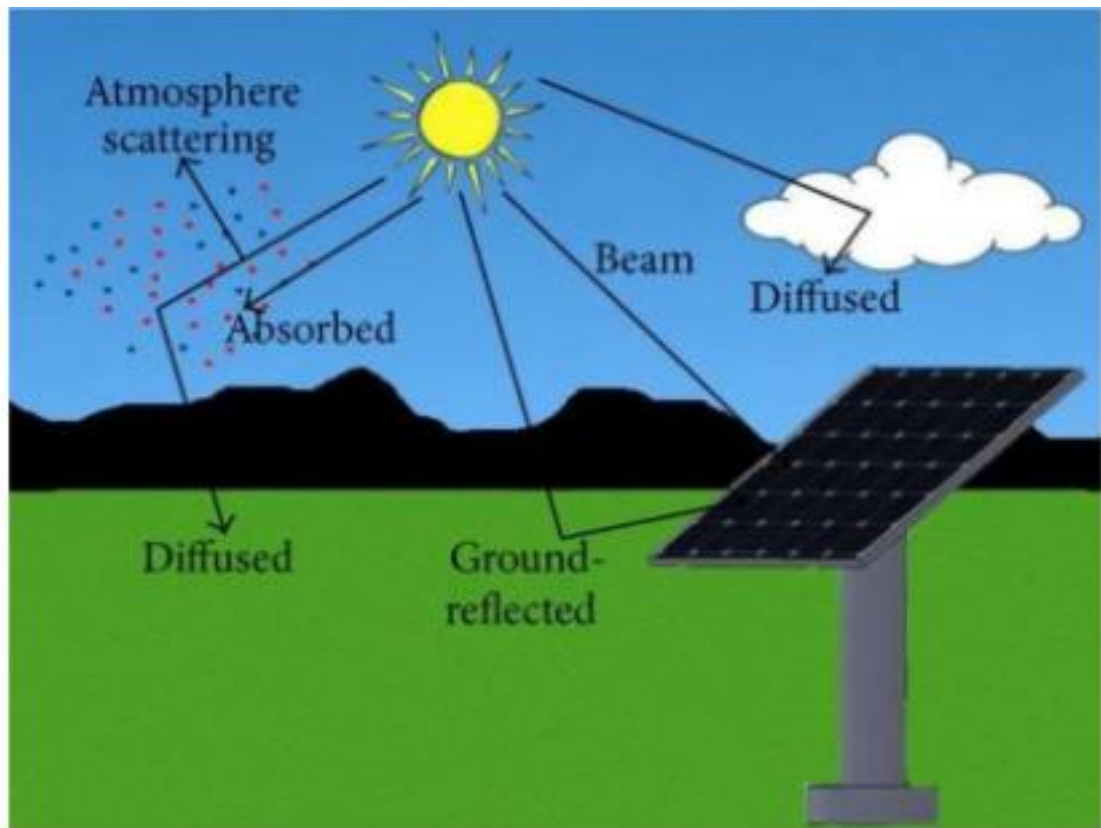
Η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων, στην περιοχή μήκους κύματος από 0,3 έως 3  $\mu\text{m}$ , προέρχεται απευθείας από τον ήλιο. Περιλαμβάνει στοιχεία δέσμης και διάχυσης.

Η ακτινοβολία μακρών κυμάτων, με μήκος κύματος 3  $\mu\text{m}$  ή μεγαλύτερο, προέρχεται από τις πηγές σε θερμοκρασίες σχεδόν του περιβάλλοντος - ατμόσφαιρα, επιφάνεια της γης, συλλέκτες φωτός, άλλα σώματα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη είναι εξαιρετικά μεταβλητή και εξαρτάται από την κατάσταση της ατμόσφαιρας σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Δύο ατμοσφαιρικές διεργασίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την προσπίπτουσα ακτινοβολία: η σκέδαση και η απορρόφηση.

Η σκέδαση προκαλείται από την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με μόρια, νερό και σωματίδια σκόνης στον αέρα. Το πόσο φως σκεδάζεται εξαρτάται από τον αριθμό των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, το μέγεθος των σωματιδίων και τη συνολική μάζα αέρα από την οποία περνά η ακτινοβολία.

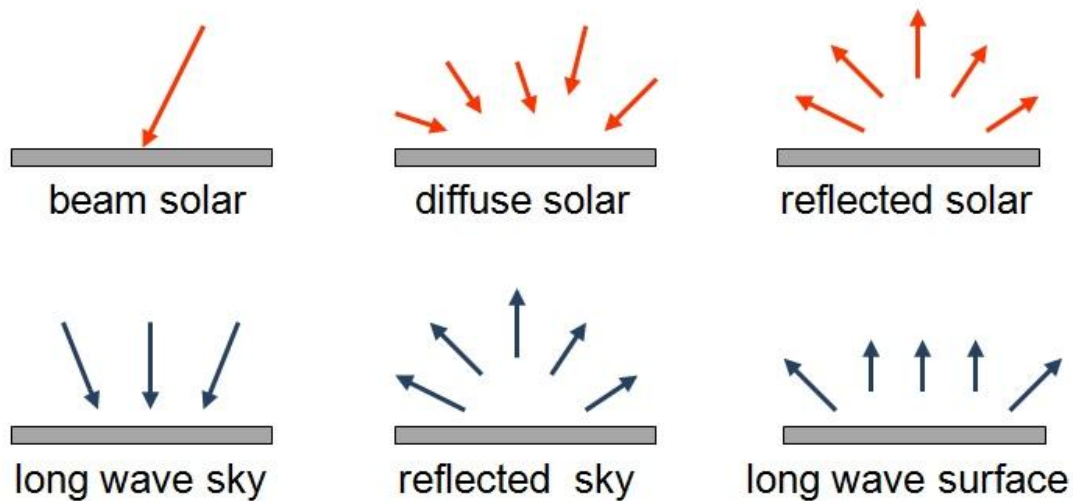
Η απορρόφηση συμβαίνει κατά την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με ορισμένα μόρια, όπως το όζον (απορρόφηση ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων - υπεριώδες), οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα (απορρόφηση ακτινοβολίας μακρών κυμάτων - υπέρυθρο).



Εικόνα 1-1 Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη είναι εξαιρετικά μεταβλητή

<https://www.slideshare.net/dhanaprabhu5/principlesofsolarradiation>

Λόγω αυτών των διεργασιών, από όλο το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, μόνο ένα μικρό μέρος φτάνει στην επιφάνεια της γης. Έτσι, το μεγαλύτερο μέρος των ακτινών X και άλλων βραχέων κυμάτων ακτινοβολίας απορροφάται από τα ατμοσφαιρικά συστατικά της ιονόσφαιρας, το υπεριώδες απορροφάται από το όζον και η όχι και τόσο άφθονη ακτινοβολία μακρών κυμάτων απορροφάται από το CO<sub>2</sub>. Ως αποτέλεσμα, το κύριο εύρος μήκους κύματος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για ηλιακές εφαρμογές είναι από 0,29 έως 2,5 μm.



Σχήμα 1-2 Διαφορετικοί τύποι ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης: πορτοκαλί - βραχύ κύμα. μπλε - μακρύ κύμα. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/644>)

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης μπορεί να μετρηθεί με όργανα και οι ακριβείς μετρήσεις είναι σημαντικές για την παροχή ηλιακών δεδομένων για εφαρμογές μετατροπής ηλιακής ενέργειας.

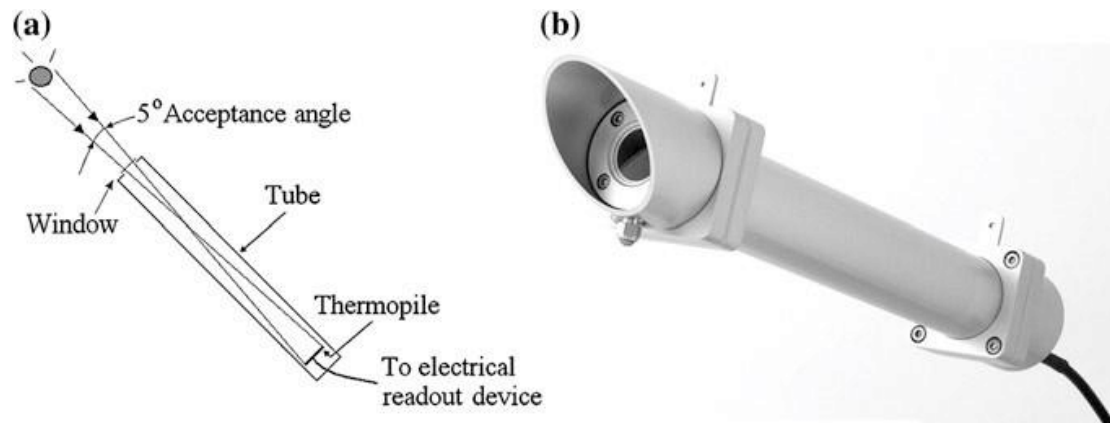
Υπάρχουν δύο σημαντικοί τύποι οργάνων για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

### 1.3.1 Το πυρηλόμετρο

Το πυρηλόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της άμεσης ακτινοβολίας δέσμης σε κανονική συχνότητα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πυρηλιόμετρων. Σύμφωνα με τους Duffie και Beckman (2013), το πυρηλιόμετρο ασημί δίσκου *Abbot* και το πυρηλιόμετρο αντιστάθμισης *Angstrom* είναι σημαντικά βασικά τυπικά όργανα. Το πυρηλιόμετρο κανονικής συχνότητας *Erppley (NIP)* είναι ένα κοινό όργανο που χρησιμοποιείται για πρακτικές μετρήσεις στις ΗΠΑ και το ακτινόμετρο *Kirp και Zonen* χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη. Και τα δύο αυτά όργανα είναι βαθμονομημένα σύμφωνα με τις κύριες τυπικές μεθόδους.

Με βάση το σχεδιασμό τους, τα παραπάνω αναφερόμενα όργανα μετρούν την ακτινοβολία δέσμης που προέρχεται από τον ήλιο και ένα

μικρό τμήμα του ουρανού γύρω από τον ήλιο. Με βάση τις πειραματικές μελέτες που περιλαμβάνουν διάφορους σχεδιασμούς πυρηλιόμετρων, η συμβολή του περιηλιακού ουρανού στη δέσμη είναι σχετικά αμελητέα σε μια ηλιόλουστη μέρα με καθαρό ουρανό. Ωστόσο, ένας μουντός ουρανός ή ένα ομοιόμορφο λεπτό κάλυμμα σύννεφων ανακατανέμει την ακτινοβολία, έτσι ώστε η συμβολή του κυκλικού ηλιακού ουρανού στη μέτρηση να γίνει πιο σημαντική.



Εικόνα 1-2 Πυρηλόμετρο ([https://www.researchgate.net/figure/Pyrheliometer-scheme-Figure-3b-Pyrheliometer-The-pyranometer-Figure-4a-is-typically\\_fig2\\_292678920](https://www.researchgate.net/figure/Pyrheliometer-scheme-Figure-3b-Pyrheliometer-The-pyranometer-Figure-4a-is-typically_fig2_292678920))

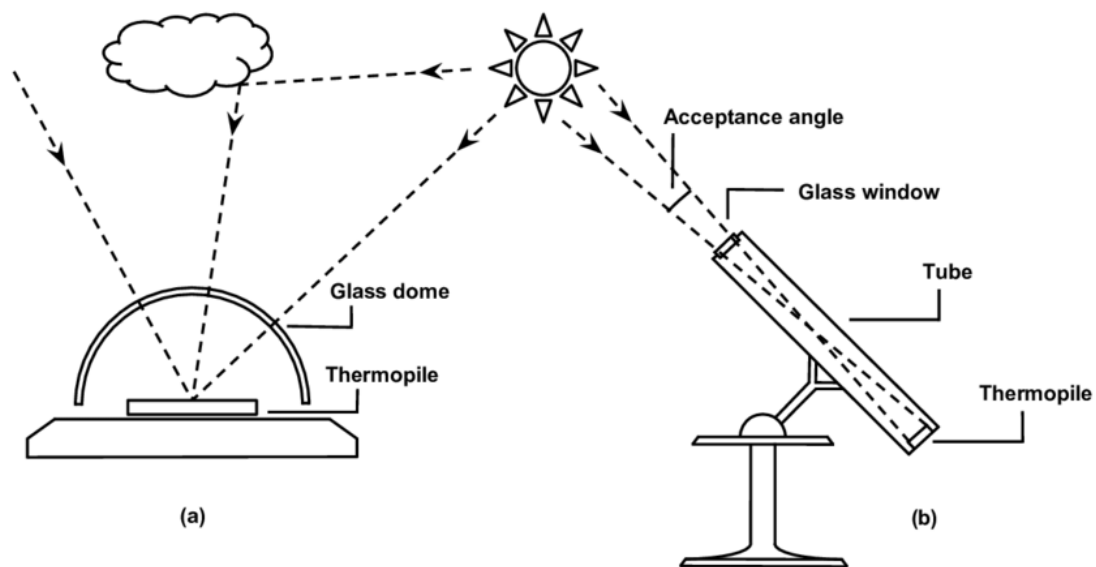
### 1.3.2 Το πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συνολικής ημισφαιρικής ακτινοβολίας - δέσμη συν διάχυτη - σε οριζόντια επιφάνεια. Εάν είναι σκιασμένο, ένα πυρανόμετρο μετρά τη διάχυτη ακτινοβολία. Τα περισσότερα δεδομένα ηλιακών πόρων προέρχονται από πυρανόμετρα. Η συνολική ακτινοβολία ( $W/m^2$ ) που μετράται σε μια οριζόντια επιφάνεια με ένα πυρανόμετρο εκφράζεται ως εξής:

$$I_{tot} = I_{BEAM} \cdot \cos \theta + I_{diff}$$

Όπου  $\theta$  είναι η γωνία του ζενίθ (δηλαδή, η γωνία μεταξύ της προσπίπτουσας ακτίνας και της κανονικής προς το οριζόντιο επίπεδο οργάνου).





Σχήμα 1-3 Αρχή λειτουργίας πυρηλόμετρου και πυρανόμετρου (<https://www.sevensensor.com/what-is-pyranometer>)



Εικόνα 1-3 Πυρανόμετρο (<https://www.elprocus.com/what-is-pyranometer-construction-types-applications/>)

Παραδείγματα πυρανόμετρων είναι τα *Erppley 108<sup>ο</sup>* ή τα *ασπρόμαυρα* πυρανόμετρα Erppley στις ΗΠΑ και το πυρανόμετρο *Moll-Gorczymsky* στην Ευρώπη. Αυτά τα όργανα συνήθως βαθμονομούνται με τυπικά πυρηλιόμετρα. Υπάρχουν πυρανόμετρα με ανιχνευτές θερμοστοιχείων και με φωτοβολταϊκούς ανιχνευτές. Οι ανιχνευτές ιδανικά θα πρέπει να

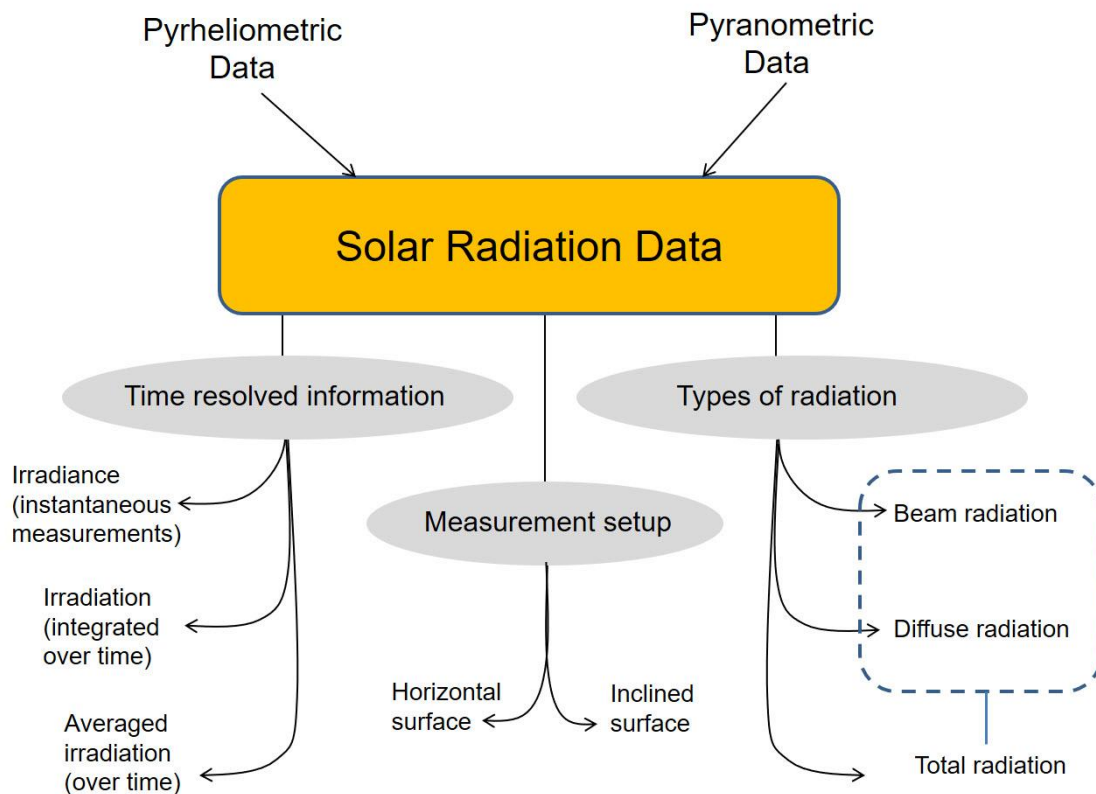
είναι ανεξάρτητοι από το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος και τη γωνία πρόσπτωσης. Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται επίσης για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες, κάτι που είναι σημαντικό για την εκτίμηση της εισροής στους συλλέκτες. Η βαθμονόμηση των πυρανομέτρων εξαρτάται από τη γωνία κλίσης, επομένως απαιτούνται πειραματικά δεδομένα για την ερμηνεία των μετρήσεων.

### 1.3.3 Φωτοηλεκτρικό καταγραφικό ηλιοφάνειας

Η φυσική ηλιακή ακτινοβολία είναι διαβόητα διακοπτόμενη και ποικίλλει σε ένταση. Η πιο ισχυρή ακτινοβολία που δημιουργεί το υψηλότερο δυναμικό συγκέντρωσης και μετατροπής είναι η φωτεινή ηλιοφάνεια, η οποία έχει μεγάλη συνιστώσα δέσμης. Η διάρκεια της φωτεινής ηλιοφάνειας σε μια τοποθεσία μετράται, για παράδειγμα, από μια φωτοηλεκτρική συσκευή εγγραφής ηλιοφάνειας. Η συσκευή διαθέτει δύο φωτοβολταϊκά στοιχεία σεληνίου, το ένα εκ των οποίων είναι σκιασμένο και το άλλο εκτίθεται στη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία. Όταν δεν υπάρχει ακτινοβολία δέσμης, η έξοδος σήματος και από τις δύο κυψέλες είναι παρόμοια, ενώ σε έντονη ηλιοφάνεια, η διαφορά σήματος μεταξύ των δύο κυψελών μεγιστοποιείται. Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των ωρών με έντονη ηλιοφάνεια.



Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας που συλλέγονται μέσω των προαναφερόμενων μεθόδων οργάνων παρέχουν τη βάση για την ανάπτυξη οποιωνδήποτε ηλιακών έργων. Οι τύποι δεδομένων ηλιακών πόρων συνοψίζονται ως εξής:



Διάγραμμα 1-1 Επισκόπηση διαφορετικών τύπων δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 -ΗΛΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ**

Υπάρχουν δύο κύριες ηλιακές τεχνολογίες που εξετάζονται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας:

(1) Φωτοβολταϊκά (PV) και

(2) Συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (CSP-Concentrating Solar Power).

Ένας άλλος τύπος φωτοβολταϊκών συγκεντρώσεων (CPV -concentrating photovoltaic) δεν είναι επί του παρόντος σημαντικός παράγοντας, αλλά υπάρχουν μερικές μεγάλες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τεχνολογία CPV. Τα PV και CSP διαφέρουν κυρίως ως προς τον τύπο της μετατροπής ενέργειας και τον τύπο του ηλιακού πόρου στον οποίο βασίζονται.

### **2.1 Φωτοβολταϊκά (PV) <sup>[3]</sup>**

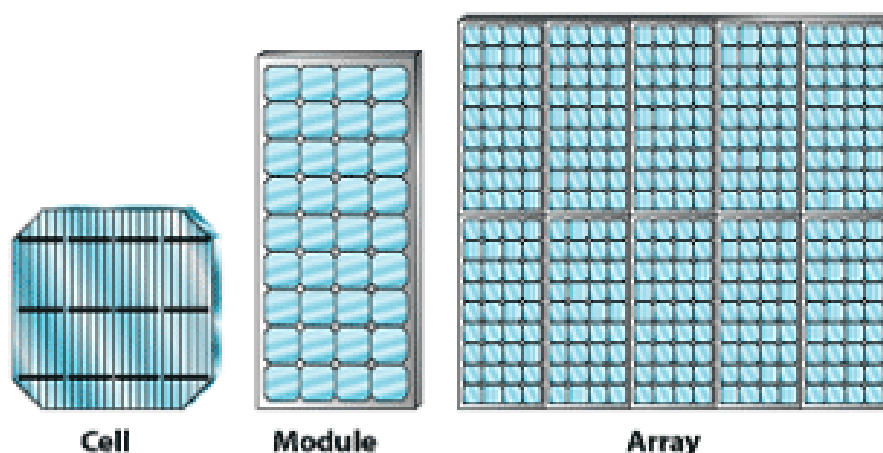
Κατανοώντας τους περιορισμούς στην απόδοση της μετατροπής ηλιακής ενέργειας και λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της κεντρικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η εξάπλωση της τεχνολογίας είναι ένα από τα σημαντικά ζητήματα που αναπτύσσονται από τις κυβερνητικές υπηρεσίες προκειμένου να οικοδομηθεί ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

Προφανώς, υπάρχει μια ισχυρή ώθηση για συστήματα μεγάλης κλίμακας από τις κυβερνήσεις και τη βιομηχανία. Όμως, μαζί με την ώθηση αυτή, η διαδικασία κλιμάκωσης φέρνει νέες προκλήσεις στο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής ενέργειας. Μερικές από αυτές τις προκλήσεις είναι:

- χαμηλότερη από την επιθυμητή απόδοση (τα θεωρητικά όρια υποδηλώνουν ότι μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη).
- υψηλό αρχικό κόστος υλικών και εξοπλισμού.
- αποθήκευση ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα).
- διανομής και μεταφοράς ισχύος.

### 2.1.1 Ηλιακά κύτταρα

Τα ηλιακά κύτταρα είναι συσκευές που μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα ηλιακά κύτταρα είναι κατασκευασμένα από στρώματα ημιαγωγών υλικών παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στα τσιπ υπολογιστών. Όταν το ηλιακό φως απορροφάται από αυτά τα υλικά, η ηλιακή ενέργεια χτυπά τα ηλεκτρόνια από τα άτομά τους, επιτρέποντας στα ηλεκτρόνια να ρέουν μέσα από το υλικό για να παράγουν ηλεκτρισμό.



Εικόνα 2-1 Ηλιακό στοιχείο, μονάδα και συστοιχία. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm>)

### 2.1.2 Ηλιακές Συστοιχίες

Τα ηλιακά κύτταρα είναι γενικά πολύ μικρά και το καθένα μπορεί να παράγει μόνο μερικά watt ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως συνδυάζονται σε μονάδες των περίπου 40 κυψελών. Οι μονάδες συναρμολογούνται με τη σειρά τους σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες έως και αρκετά μέτρα σε μια πλευρά. Αυτές οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες επίπεδης πλάκας μπορούν να τοποθετηθούν σε σταθερή γωνία στραμμένη προς το νότο ή μπορούν να τοποθετηθούν σε συσκευή παρακολούθησης που ακολουθεί τον ήλιο, επιτρέποντάς τους να συλλαμβάνουν περισσότερο ηλιακό φως. Για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε κλίμακα χρησιμότητας, εκατοντάδες

συστοιχίες διασυνδέονται για να σχηματίσουν ένα ενιαίο, μεγάλο σύστημα.



*Εικόνα 2-2 Ηλιακές συστοιχίες. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm>)*

### **2.1.3 Συστήματα Συγκεντρωμένων Φ/Β (CPV).**

Τα συστήματα συμπυκνωμένων φωτοβολταϊκών (CPV) συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε ηλιακές κυψέλες, αυξάνοντας σημαντικά την απόδοση των κυψελών. Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες σε ένα σύστημα CPV είναι ενσωματωμένες σε συγκεντρωτικούς συλλέκτες που χρησιμοποιούν φακούς ή καθρέφτες για να εστιάζουν το ηλιακό φως στις κυψέλες. Τα συστήματα CPV πρέπει να παρακολουθούν τον ήλιο για να διατηρούν το φως εστιασμένο στις φωτοβολταϊκές κυψέλες. Τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων CPV είναι η υψηλή απόδοση, το χαμηλό κόστος συστήματος και η χαμηλή επένδυση κεφαλαίου για τη διευκόλυνση της ταχείας κλιμάκωσης. Τα συστήματα χρησιμοποιούν λιγότερο ακριβό ημιαγώγιμο φωτοβολταϊκό υλικό για να επιτύχουν μια συγκεκριμένη ηλεκτρική ισχύ. Η αξιοπιστία, ωστόσο, είναι μια σημαντική τεχνική πρόκληση για αυτήν την αναδυόμενη τεχνολογική

προσέγγιση. τα συστήματα απαιτούν γενικά πολύ εξελιγμένες συσκευές παρακολούθησης.



Εικόνα 2-3 Συλλέκτης CPV (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm>)

## 2.2 Συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια (CSP)

Η άλλη σημαντική τεχνολογία που αναπτύχθηκε σε παγκοσμίως είναι η Συγκεντρωτική Ηλιακή Ενέργεια (CSP). Ενώ το CSP ξεπερνά αυτή τη στιγμή τα φωτοβολταϊκά στην παγκόσμια και εγχώρια αγορά, αυτή η τεχνολογία μπορεί να είναι συμφέρουσα σε περιοχές με υψηλή ετήσια ηλιακή ακτινοβολία.

Οι τεχνολογίες συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (CSP) χρησιμοποιούν καθρέφτες για τη συγκέντρωση (εστίαση) της φωτεινής ενέργειας του ήλιου και τη μετατροπή της σε θερμότητα για τη δημιουργία ατμού για την κίνηση μιας τουρμπίνας που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

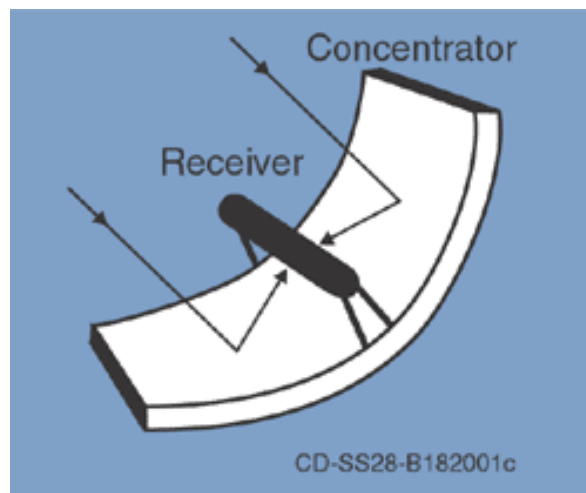
Η τεχνολογία CSP χρησιμοποιεί εστιασμένο ηλιακό φως . Οι μονάδες CSP παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας καθρέφτες για τη συγκέντρωση (εστίαση) της ενέργειας του ήλιου και τη μετατροπή της σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας. Αυτή η θερμότητα στη συνέχεια διοχετεύεται μέσω μιας συμβατικής γεννήτριας. Οι εγκαταστάσεις αποτελούνται από δύο μέρη: ένα που συλλέγει την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπει σε θερμότητα και ένα άλλο που μετατρέπει τη θερμική

ενέργεια σε ηλεκτρική. Ένα σύντομο βίντεο που δείχνει πώς λειτουργεί η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας (χρησιμοποιώντας ένα παραβολικό σύστημα σκάφους ως παράδειγμα) είναι διαθέσιμο από τον ιστότοπο του Υπουργείου Ενέργειας Solar Energy Technologies.

Η τεχνολογία CSP χρησιμοποιεί τρεις εναλλακτικές τεχνολογικές προσεγγίσεις: συστήματα γούρνας, συστήματα πύργων ισχύος και συστήματα πιάτων/κινητήρων.

### 2.2.1 Trough Systems<sup>[4]</sup>

Τα συστήματα σκάφους χρησιμοποιούν μεγάλους, (παραβολικούς) ανακλαστήρες (παραβολικούς) ανακλαστήρες (κάτοπτρα εστίασης) που έχουν σωλήνες γεμάτους λάδι που τρέχουν κατά μήκος του κέντρου τους ή στο εστιακό τους σημείο, όπως φαίνεται στην [Εικόνα 2-1](#). Οι κατοπτρικοί ανακλαστήρες έχουν κλίση προς τον ήλιο και εστιάζουν το φως του ήλιου οι σωλήνες για να θερμάνουν το λάδι στο εσωτερικό έως και 750°F. Το καυτό λάδι χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να βράσει το νερό, το οποίο παράγει ατμό για τη λειτουργία συμβατικών αμοστροβίλων και γεννητριών.



Σχήμα 2-1 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος παραβολικής κοιλότητας (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

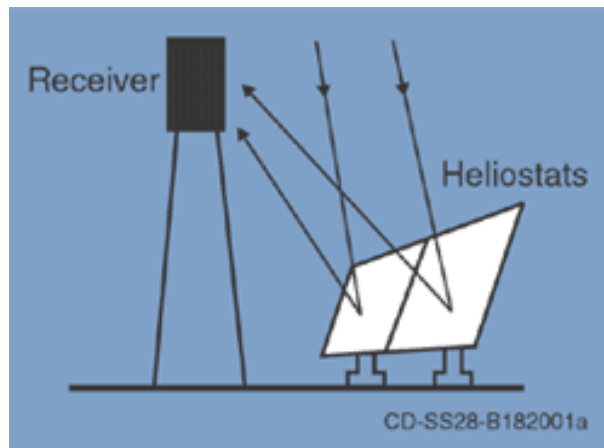




Εικόνα 2-4 Παραβολικό σύστημα σκάφους. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

### 2.2.2 Συστήματα Power Tower<sup>[4]</sup>

Τα συστήματα πύργων ισχύος που ονομάζονται επίσης κεντρικοί δέκτες, χρησιμοποιούν πολλούς μεγάλους, επίπεδους ηλιοστάτες (καθρέφτες) για να παρακολουθούν τον ήλιο και να εστιάζουν τις ακτίνες του σε έναν δέκτη. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2-5**, ο δέκτης βρίσκεται στην κορυφή ενός ψηλού πύργου στον οποίο το συγκεντρωμένο ηλιακό φως θερμαίνει ένα ρευστό, όπως λιωμένο αλάτι, τόσο ζεστό όσο 1.050°F. Το ζεστό υγρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως για την παραγωγή ατμού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. Το λιωμένο αλάτι συγκρατεί αποτελεσματικά τη θερμότητα, επομένως μπορεί να αποθηκευτεί για μέρες πριν μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί κατά τις περιόδους αιχμής των αναγκών σε συννεφιασμένες μέρες ή ακόμα και αρκετές ώρες μετά τη δύση του ηλίου.



Εικόνα 2-5 Σχηματικό διάγραμμα Power Tower(<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

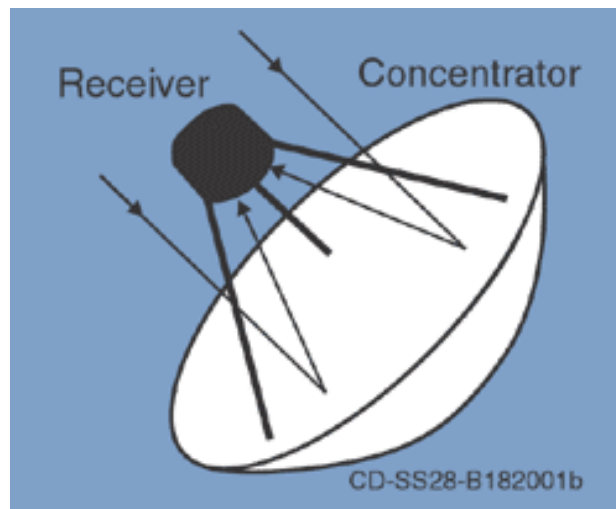


Εικόνα 2-6 Σύστημα πύργων ισχύος(<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

#### 2.2.2.1 Συστήματα μηχανών πιάτων<sup>[4]</sup>

Συστήματα πιάτων/κινητήρων χρησιμοποιήστε αντικατοπτρισμένα πιάτα (περίπου 10 φορές μεγαλύτερα από ένα δορυφορικό πιάτο πίσω αυλής) για να εστιάσετε και να συγκεντρώσετε το ηλιακό φως σε έναν δέκτη. Όπως φαίνεται στην [Εικόνα 2-7](#), ο δέκτης είναι τοποθετημένος στο εστιακό σημείο του πιάτου. Για να συλλάβει τη μέγιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας, το συγκρότημα πιάτων παρακολουθεί τον ήλιο στον ουρανό. Ο δέκτης είναι ενσωματωμένος σε κινητήρα «εξωτερικής» καύσης υψηλής απόδοσης. Ο κινητήρας έχει λεπτούς σωλήνες που περιέχουν υδρογόνο ή αέριο ήλιο που τρέχουν κατά μήκος του εξωτερικού των κυλίνδρων τεσσάρων εμβόλων του κινητήρα και

ανοίγουν στους κυλίνδρους. Καθώς το συγκεντρωμένο ηλιακό φως πέφτει στον δέκτη, θερμαίνει το αέριο στους σωλήνες σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που προκαλεί το θερμό αέριο να διαστελλεται μέσα στους κυλίνδρους. Το διαστελλόμενο αέριο κινεί τα έμβολα. Τα έμβολα περιστρέφουν έναν στροφαλοφόρο άξονα, ο οποίος κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια. Ο δέκτης, ο κινητήρας,



Εικόνα 2-7 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος πιάτων/κινητήρων (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)



Εικόνα 2-8 Ηλιακό σύστημα πιάτων-κινητήρων (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

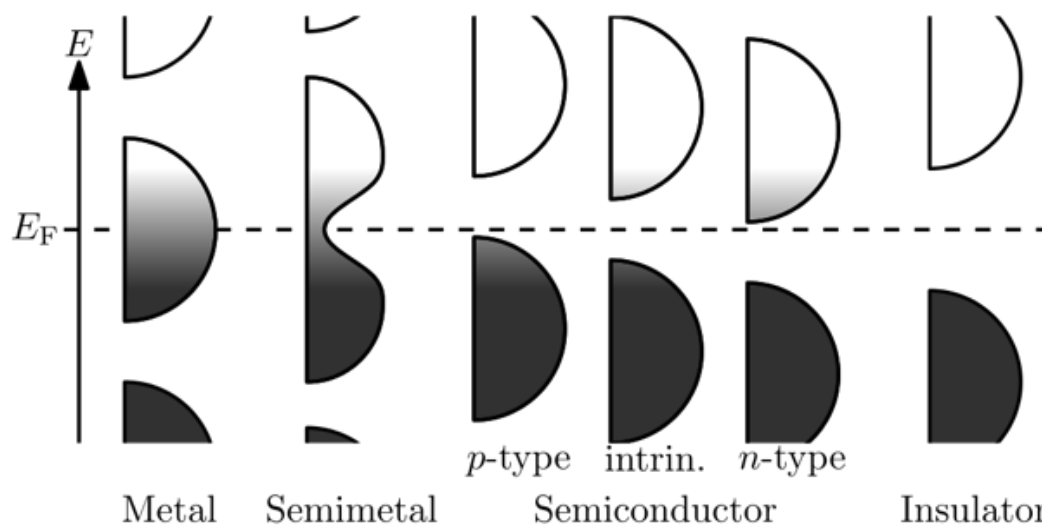
### 3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο<sup>[5]</sup>

Η λέξη «φωτοβολταϊκό» υποδηλώνει αμέσως τη σύνδεση φωτός (*φως*) και ηλεκτρικής ενέργειας (*βολτ*, μονάδα ηλεκτρικού δυναμικού). Η βασική ιδιότητα ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι να μετατρέπει την φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η μετατροπή λαμβάνει χώρα λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου - ένα φυσικό φαινόμενο σε έναν ημιαγωγό, το οποίο θα συζητήσουμε στη συνέχεια.

Οι ημιαγωγοί είναι μια ειδική κατηγορία υλικών, των οποίων η αγωγιμότητα δεν είναι μόνιμη, αλλά εξαρτάται από τη διαθέσιμη ενέργεια για την ενεργοποίηση ηλεκτρονίων στο κρυσταλλικό πλέγμα. Το κρυσταλλικό πυρίτιο είναι ένα υλικό ημιαγωγών που χρησιμοποιείται ευρέως στα φωτοβολταϊκά. Γίνεται αγωγίμο όταν η ενέργεια των φωτονίων που απορροφάται από την κρυσταλλική επιφάνεια είναι επαρκής για να ανυψώσει την κατάσταση των ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτή η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου ορίζεται ως διάκενο ζώνης. Το διάκενο ζώνης είναι μια εγγενής ιδιότητα των ημιαγωγών και τελικά έχει άμεση επίδραση στην τάση των φωτοβολταϊκών κυψελών. Το ακόλουθο σχηματικό (Σχήμα 3-1) παρέχει μια επίδειξη της έννοιας του κενού ζώνης.

Σε αυτή την εικόνα, μπορούμε να απεικονίσουμε τη διαφορά μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών υλικών: αγωγών (μέταλλα), ημιαγωγών και μονωτών. Οι ζώνες σθένους και αγωγιμότητας σε ένα μέταλλο επικαλύπτονται, επομένως δεν απαιτείται σημαντική ενέργεια για να ελευθερωθούν τα ηλεκτρόνια. Είναι διαθέσιμα για αγωγιμότητα μόλις παρέχεται η πιθανή κλίση. Στους μονωτές, το χάσμα μεταξύ των ζωνών σθένους και αγωγιμότητας είναι πολύ μεγάλο, επομένως απαιτείται τόση ενέργεια για να απελευθερωθούν τα ηλεκτρόνια που μπορεί να βλάψει το ίδιο το υλικό. Για τους ημιαγωγούς, η κατάσταση είναι κάπου στο ενδιάμεσο. Το διάκενο ζώνης είναι αρκετά μεγάλο ώστε να

αποτρέπει την αυθόρμητη αγωγιμότητα και να παρέχει διαχωρισμό των φορτίων, και αρκετά μικρό ώστε να ταιριάζει με ενέργεια φωτονίων.



Σχήμα 3-1 Σχηματική απεικόνιση των κενών ζωνών σε διάφορα υλικά. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η ενέργεια των ηλεκτρονίων και  $E_F$  είναι η θέση του επιπέδου Fermi. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

Οι ενέργειες διάκενου ζώνης πολλών διαφορετικών υλικών παρατίθενται στον Πίνακα 4.1 παρακάτω. Μερικά από αυτά τα υλικά είναι πιο κατάλληλα για φωτοβολταϊκές εφαρμογές από άλλα. Το πόσο κατάλληλα είναι τα υλικά για φωτοβολταϊκές εφαρμογές θα καθοριζόταν από το πόσο κοντά είναι η ενέργεια των φωτονίων στο διάκενο ζώνης του υλικού και εάν η ενέργεια του φωτονίου είναι αρκετή για να καλύψει το διάκενο ζώνης.

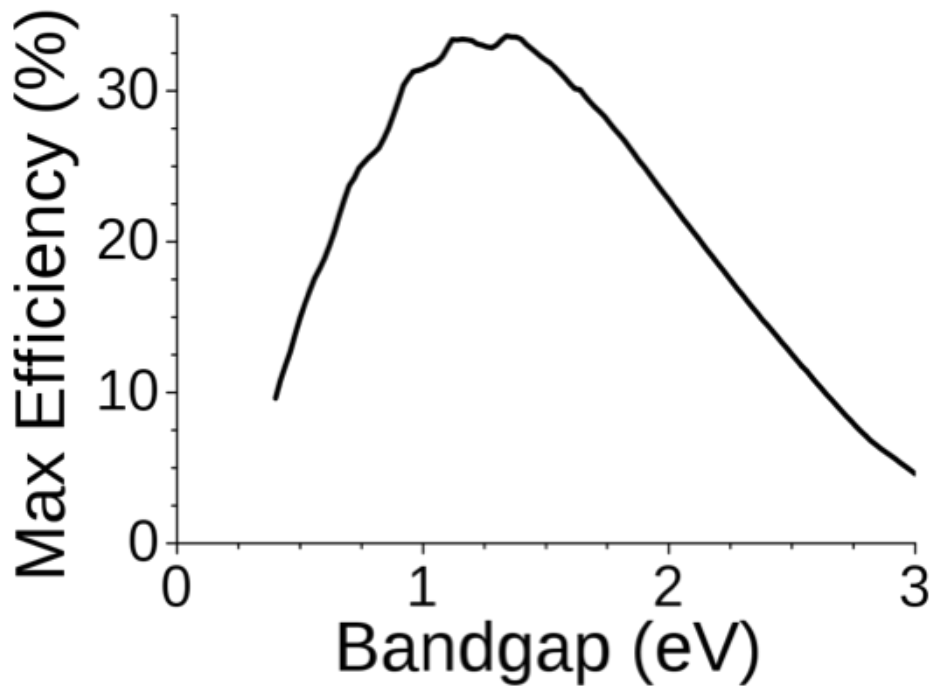
Για παράδειγμα, εάν έχουμε ένα φωτόνιο με ενέργεια 2 eV να χτυπά την επιφάνεια του πυριτίου, 1,1 eV αυτής της ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί για να μετακινήσει ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας. η υπόλοιπη ενέργεια (0,9 eV) θα διαχέεται ως θερμότητα. Ωστόσο, εάν χρησιμοποιείται ένα υλικό με μεγαλύτερο διάκενο ζώνης, για παράδειγμα οξειδίο του χαλκού, τα 2 eV δεν είναι αρκετά για να ελευθερωθεί το ηλεκτρόνιο. Θα χρειαζόμασταν ένα φωτόνιο υψηλότερης ενέργειας εκεί.

Πίνακας 3-1 Διάκενα ζωνών διαφορετικού υλικού  
 (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

Υλικό		Gap ζώνης (eV)
Si	Πυρίτιο	1.11
Ge	Γερμάνιο	0,67
CdTe	Τελλουρίδιο του καδμίου	1.5
Cu <sub>2</sub> O	Οξείδιο του χαλκού	2.1
Cu <sub>3</sub> N	Νιτρίδιο του χαλκού	1,75
Χάσμα	Φωσφίδιο του γαλλίου	2.26
GaAs	Αρσενίδιο του γαλλίου	1.43
PbS	Θειούχος μολύβδου	0,37
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Νιτρίδιο πυριτίου	5
ντο	Διαμάντι	5.5
SiO <sub>2</sub>	Πυρίτιο	9

Με βάση αυτές τις αντανακλάσεις, βλέπουμε ότι υλικά χαμηλού κενού ζώνης (όπως το γερμάνιο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύλληψη φωτονίων χαμηλής ενέργειας (όπως εκείνα στο κόκκινο και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος) και υλικά με υψηλό διάκενο ζώνης (π.χ. νιτρίδιο χαλκού ή γάλλιο φωσφίδιο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χρήση φωτονίων υψηλής ενέργειας. Ο συνδυασμός διαφορετικών υλικών σε ένα σύστημα επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση της διαθέσιμης ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα, εάν το διάκενο ζώνης του φωτοβολταϊκού υλικού είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με την ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου, σημαντική ποσότητα ενέργειας θα μετατραπεί σε θερμότητα, κάτι που δεν είναι καλό για το ίδιο το Φ/Β στοιχείο. Ανεξάρτητα από το πόσο υψηλότερη είναι η ενέργεια του φωτονίου σε σύγκριση με το διάκενο ζώνης, μόνο ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να ελευθερωθεί από ένα φωτόνιο. Αυτός είναι ο λόγος της περιορισμένης απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Τα δεδομένα στο [Σχήμα 3-2](#) δείχνουν πώς η μέγιστη απόδοση μιας ηλιακής κυψέλης εξαρτάται από το διάκενο ζώνης. Εάν το χάσμα ζώνης είναι πολύ υψηλό, τα περισσότερα φωτόνια δεν θα προκαλέσουν φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Εάν είναι πολύ χαμηλό, τα περισσότερα φωτόνια θα έχουν περισσότερη ενέργεια από αυτή που χρειάζεται για να διεγείρουν τα ηλεκτρόνια στο διάκενο ζώνης και η υπόλοιπη ενέργεια θα σπαταληθεί. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται συνήθως σε εμπορικά ηλιακά κύτταρα έχουν κενά ζώνης κοντά στην κορυφή αυτής της καμπύλης, για παράδειγμα πυρίτιο (1,1eV) ή CdTe (1,5eV). Το όριο Shockley–Queisser (33,7%) που ορίζεται στην κορυφή της καμπύλης έχει ξεπεραστεί πειραματικά με το συνδυασμό υλικών με διαφορετικές ενέργειες χάσματος ζώνης σε διαδοχικά ηλιακά κύτταρα.



Σχήμα 3-2 Η πρόβλεψη της μέγιστης απόδοσης της ηλιακής κυψέλης ως κενό ζώνης υλικού συνάρτησης με το όριο Shockley–Queisser. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

Μπορούμε να συνοψίσουμε ότι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιλαμβάνει ουσιαστικά τρία κύρια βήματα:

- Απορρόφηση φωτός (φωτόνια)
- Δημιουργία φορέων φόρτισης
- Διαχωρισμός φορέων φορτίου μεταξύ ηλεκτρικών επαφών

Όταν συμβούν όλα αυτά τα βήματα, το σύστημα είναι σε θέση να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα (ροή φορέων φορτίου), το οποίο μπορεί να λειτουργήσει.



## **3.2 Τύποι Φ/Β τεχνολογίας και πρόσφατες καινοτομίες<sup>[5]</sup>**

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών, άλλα αναπτύχθηκαν εδώ και πολύ καιρό και άλλα είναι σχετικά νέα. Οι παρακάτω περιγραφές παρέχουν μια σύντομη επισκόπηση μερικών καλά ανεπτυγμένων φωτοβολταϊκών υλικών.

### **3.2.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο<sup>[5]</sup>**

Τα ηλιακά κύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι πιθανώς ο παλαιότερος τύπος ηλιακών κυψελών. Είναι κατασκευασμένα από καθαρό κρύσταλλο πυριτίου, το οποίο έχει συνεχές πλέγμα και σχεδόν καθόλου ελαττώματα. Οι ιδιότητες του παρέχουν υψηλή απόδοση μετατροπής φωτός (συνήθως ~15%, οι πρόσφατες εξελίξεις της SunPower διαθέτουν βελτιωμένη απόδοση έως και 22-24%). Η κατασκευή των κρυστάλλων Si είναι αρκετά περίπλοκη, γεγονός που ευθύνεται για το υψηλό κόστος αυτού του τύπου φωτοβολταϊκών. Οι πρόσφατες εξελίξεις έχουν μειώσει το συνολικό πάχος του υλικού Si που χρησιμοποιείται σε μονοκρυσταλλικές κυψέλες για μείωση του κόστους. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου έχουν τυπικό μαύρο ή ιριδίζον μπλε χρώμα. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου πιστεύεται ότι είναι πολύ ανθεκτικά και διαρκούν πάνω από 25 χρόνια. Ωστόσο, η απόδοσή τους θα μειωθεί σταδιακά (περίπου 0,5% ετησίως), οπότε μπορεί να χρειαστεί νωρίτερα η αντικατάσταση των λειτουργικών μονάδων. Τα κύρια μειονεκτήματα των πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι το υψηλό αρχικό κόστος και η μηχανική ευπάθεια (εύθραυστα)

### **3.2.2 Πολυκρυσταλλικό (ή πολυκρυσταλλικό) πυρίτιο<sup>[5]</sup>**

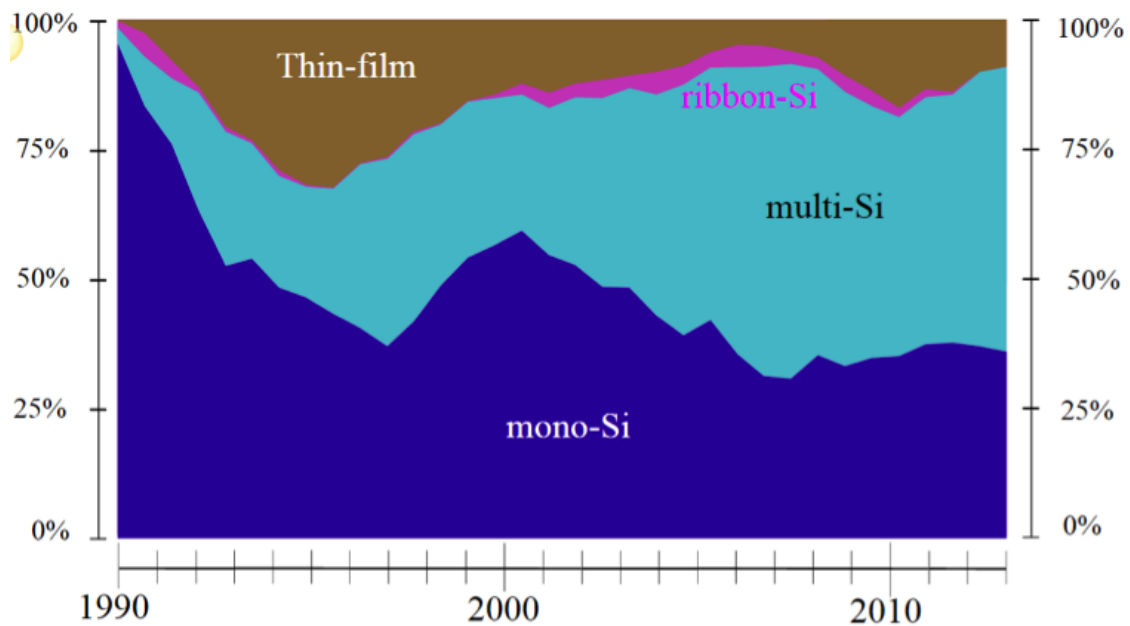
Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα κατασκευάζονται με τη συναρμολόγηση πολλαπλών κόκκων και πλακών κρυστάλλων πυριτίου σε λεπτές γκοφρέτες. Τα μικρότερα κομμάτια πυριτίου παράγονται ευκολότερα και φθηνότερα, επομένως το κόστος κατασκευής αυτού του τύπου ΦΒ είναι μικρότερο από αυτό των κυψελών μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα είναι ελαφρώς λιγότερο αποδοτικά (~12%). Αυτά τα κύτταρα μπορούν να αναγνωριστούν από την

εμφάνισή τους που μοιάζει με μωσαϊκό. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα είναι επίσης πολύ ανθεκτικά και μπορεί να έχουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 25 χρόνια. Τα μειονεκτήματα αυτού του τύπου τεχνολογίας φωτοβολταϊκών είναι η μηχανική ευθραυστότητα και η όχι πολύ υψηλή απόδοση μετατροπής.

### **3.2.3 Άμορφο πυρίτιο (λεπτή μεμβράνη) <sup>[5]</sup>**

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα λεπτής μεμβράνης παράγονται με την εναπόθεση μεμβράνης πυριτίου σε γυαλί υποστρώματος. Σε αυτή τη διαδικασία, χρησιμοποιείται λιγότερο πυρίτιο για την κατασκευή σε σύγκριση με μονοκρυσταλλικές ή πολυκρυσταλλικές κυψέλες, αλλά αυτή η οικονομία έρχεται σε βάρος της απόδοσης μετατροπής. Τα φωτοβολταϊκά λεπτής μεμβράνης έχουν απόδοση ~6% έναντι ~15% για μονοκρυσταλλικά κύτταρα Si. Ένας τρόπος για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των κυττάρων είναι να δημιουργηθεί μια πολυεπίπεδη δομή πολλών κυττάρων. Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών λεπτής μεμβράνης είναι ότι το άμορφο πυρίτιο μπορεί να αποτεθεί σε μια ποικιλία υποστρωμάτων, τα οποία μπορούν να γίνουν εύκαμπτα και να έχουν διαφορετικά σχήματα και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές. Το άμορφο πυρίτιο είναι επίσης λιγότερο επιρρεπές σε υπερθέρμανση, η οποία συνήθως μειώνει την απόδοση των ηλιακών κυψελών. Το άμορφο πυρίτιο είναι περισσότερο ανεπτυγμένο μεταξύ των φωτοβολταϊκών λεπτής μεμβράνης.

Το [Διάγραμμα 3-1](#), παρακάτω, δείχνει την τάση ανάπτυξης και εμπορικής εφαρμογής διαφορετικών τύπων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών πυριτίου. Δεν υπάρχει σαφής κυριαρχία ενός συγκεκριμένου τύπου υποστρώματος πυριτίου, καθώς όλα παρουσιάζουν μια αντιστάθμιση μεταξύ κόστους και απόδοσης.



Διάγραμμα 3-1 Μερίδιο αγοράς διαφορετικών τεχνολογιών φωτοβολταϊκών με βάση το πυρίτιο από το 1990 έως το 2013. (<https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>)

### 3.2.4 Τελλουρίδιο του καδμίου, CdTe (λεπτή μεμβράνη) <sup>[5]</sup>

Τα CdTe PV είναι ένα άλλο είδος ηλιακής τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης. Έχει γίνει αρκετά δημοφιλές λόγω του χαμηλότερου κόστους ανά kW-ώρα. Η καλύτερη απόδοση που επιτυγχάνεται με τα κύτταρα CdTe είναι περίπου 16%. Ένα από τα πλεονεκτήματα των κυττάρων CdTe είναι ότι συλλαμβάνουν μικρότερα μήκη κύματος φωτός από ό,τι μπορούν να κάνουν τα κύτταρα πυριτίου. Υπάρχουν ορισμένες περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με την περιορισμένη παροχή τελλουρίου και την πιθανή τοξική επίδραση του καδμίου στο στάδιο της διάθεσης του πάνελ CdTe. Η ανάπτυξη αποτελεσματικών τεχνολογιών ανακύκλωσης κλειστού βρόχου μπορεί να είναι ένας παράγοντας που αλλάζει το παιχνίδι υπέρ αυτής της τεχνολογίας.

### 3.2.5 Σελενίδιο γαλλίου χαλκού ινδίου (CIGS) <sup>[5]</sup>

Το CIGS PV έχει γίνει ένα δημοφιλές νέο υλικό για ηλιακά κύτταρα, καθώς δεν περιέχει τοξικό Cd και έχει υψηλότερη απόδοση (λίγο κάτω από 20%). Αυτή τη στιγμή, τα CIGS είναι τα πιο αποτελεσματικά μεταξύ των τεχνολογιών φωτοβολταϊκών λεπτής μεμβράνης. Ενώ τα

εργαστηριακά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την υψηλή υπόσχεση αυτού του είδους φωτοβολταϊκών, η μαζική παραγωγή CIGS αποδείχθηκε πρόβλημα. Τα κύτταρα CIGS κατασκευάζονται με εναπόθεση λεπτής μεμβράνης σε ένα υπόστρωμα, το οποίο μπορεί επίσης να είναι εύκαμπτο (σε αντίθεση με τα κύτταρα πυριτίου). Παρόμοια με τα κύτταρα CdTe, τα κύτταρα CIGS παρουσιάζουν καλή αντοχή στη θέρμανση.

### **3.2.6 Πολυμερή και οργανικά Φ/Β<sup>[5]</sup>**

Τα οργανικά υλικά είναι αρκετά ελκυστικά καθώς μπορούν να εμπλακούν σε παραγωγή υψηλής απόδοσης και επίσης επειδή μπορούν να κατασκευαστούν σε διάφορα πάχη και σχήματα. Αυτοί οι τύποι κυττάρων είναι σχετικά ελαφροί (σε σύγκριση με τα κύτταρα πυριτίου). Επίσης, προσφέρουν ευελιξία και σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής. Ωστόσο, είναι πολύ λιγότερο αποδοτικά (περίπου το 1/3 της τυπικής απόδοσης κυψελών Si) και μερικές φορές επιρρεπείς σε ταχύτερη υποβάθμιση (μικρότερη διάρκεια ζωής).

Αυτές είναι μερικές από τις πιο γνωστές ποικιλίες τεχνολογίας φωτοβολταϊκών, αλλά υπάρχουν πολλές περισσότερες καινοτομίες που βρίσκονται σε στάδιο έρευνας και ανάπτυξης. Η σημαντική ανακάλυψη σε νέα υλικά και σχεδιασμός κυψελών μπορεί να είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών τις επόμενες δεκαετίες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΚΥΡΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### 4.1 Εξοπλισμός ΦΒ εγκαταστάσεων<sup>[6]</sup>

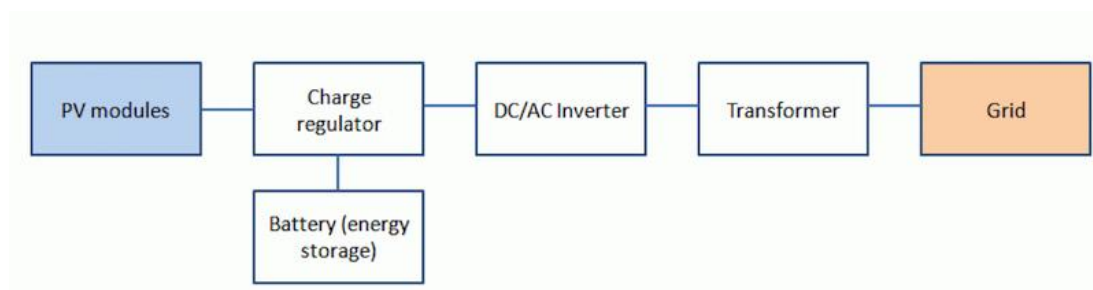
Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες περνάει από μια σειρά μετασχηματισμών πριν φτάσει στο δίκτυο. Αυτοί οι μετασχηματισμοί περιλαμβάνουν συγκεκριμένα προσαρμογές ρεύματος και τάσης, μετατροπή DC-AC, καθώς και κατανομή ισχύος μεταξύ των διαδρομών αποθήκευσης και μετάδοσης. Σωρευτικά, μπορούμε να ονομάσουμε αυτές τις λειτουργίες *power conditioning*.

Η ρύθμιση ισχύος είναι μια σημαντική λειτουργία οποιασδήποτε ηλιακής εγκατάστασης σε κλίμακα κοινής ωφέλειας, η οποία διασφαλίζει ότι η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να παραδοθεί αποτελεσματικά και με ασφάλεια στους καταναλωτές. Για να επιτύχουμε τη σωστή ρύθμιση ισχύος, χρειαζόμαστε έναν αριθμό εξειδικευμένων εξαρτημάτων (επιπλέον των φωτοβολταϊκών μονάδων), που περιγράφονται στη συνέχεια

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις περιέχουν μεγάλη ποσότητα υποστηρικτικού εξοπλισμού, ο οποίος χρησιμεύει στην εξισορρόπηση του συστήματος και στη βιώσιμη λειτουργία του. Τα επιπλέον εξαρτήματα περιλαμβάνουν μετατροπείς, ελεγκτές, μετασχηματιστές, καλωδιώσεις, κουτιά σύνδεσης, διακόπτες, συσκευές παρακολούθησης, ρυθμιστές φόρτισης, συσκευές αποθήκευσης ενέργειας - όλα αυτά βοηθούν στην προετοιμασία της ηλεκτρικής ενέργειας για χρήση. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συνήθως αρθρωτά σε σχεδιασμό, έτσι ώστε να μπορούν να προστεθούν πρόσθετα τμήματα στην εγκατάσταση ή να αφαιρεθούν για επισκευές χωρίς σημαντική διακοπή της υποδομής της. Η ροή ενέργειας στο ηλιακό εργοστάσιο διέρχεται από μια ποικιλία συσκευών, οι οποίες συνδέονται με ενσύρματο δίκτυο και σχετικό υλικό. Αυτή η υποστηρικτική υποδομή αναφέρεται συχνά ως *ισορροπία συστήματος* (BOS - *balance of system*). Η ποιότητα του BOS είναι πολύ σημαντική για την παροχή διαρκούς και αποτελεσματικής λειτουργίας. Ο στόχος της βιομηχανίας είναι να

παρέχει φωτοβολταϊκά συστήματα με λειτουργική διάρκεια ζωής τουλάχιστον 25 ετών.

Η γενική σειρά των βασικών στοιχείων του BOS απεικονίζεται στο γενικό σχήμα συστήματος παρακάτω.



Σχήμα 4-1 Τυπική διαδρομή μετασχηματισμού ενέργειας σε Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Τα κύρια στοιχεία σε αυτό το σχήμα περιγράφονται παρακάτω.

#### 4.1.1 Ελεγκτές φόρτισης<sup>[6]</sup>

Οι ελεγκτές φόρτισης ή οι ρυθμιστές (*Charge controllers*) διαχειρίζονται τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των ηλιακών μονάδων (συστοιχιών), της αποθήκευσης ενέργειας και των φορτίων. Ο κατάλληλος αλγόριθμος ελέγχου φόρτισης και τα ρεύματα φόρτισης πρέπει να ταιριάζουν με τις μπαταρίες (ή άλλες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας) που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. Ο κύριος σκοπός ενός ελεγκτή φόρτισης είναι να προστατεύει τις μπαταρίες από ζημιές και να αποτρέπει την υπερφόρτιση ή την υπερβολική αποφόρτιση. Συνήθως, αυτές οι συσκευές λειτουργούν στη λειτουργία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης. Για παράδειγμα, όταν οι τάσεις ακροδεκτών που τροφοδοτούνται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στη μπαταρία αυξάνονται πάνω από μια ορισμένη τιμή κατωφλίου ( $V_{\max}^{\text{off}}$ ), ο διακόπτης αποσυνδέει τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η συστοιχία συνδέεται ξανά όταν η τάση ακροδεκτών πέσει κάτω από μια ορισμένη τιμή ( $V_{\max}^{\text{on}}$ ). Αυτός ο κύκλος υστέρησης προστατεύει την μπαταρία από υπερφόρτιση. Ομοίως, οι ελεγκτές φόρτισης βοηθούν στην αποφυγή υπερβολικής αποφόρτισης της μπαταρίας. Όταν το ρεύμα του φορτίου που συνδέεται με την μπαταρία είναι υψηλότερο από το ρεύμα που παρέχεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, το φορτίο

αποσυνδέεται καθώς η τάση ακροδεκτών πέφτει κάτω από  $V_{\min}^{\text{off}}$  και συνδέεται ξανά όταν η τάση ακροδεκτών αυξηθεί πάνω από ένα ορισμένο όριο  $V_{\min}^{\text{on}}$ . Οι ελεγκτές φόρτισης συμμετέχουν επίσης στη μετατροπή τάσης και στην παρακολούθηση της μέγιστης ισχύος

#### 4.1.2 Μετατροπείς (*Inverters*)<sup>[6]</sup>

*Μετατροπείς (Inverters)*- συσκευές που μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος που προέρχεται από τις ηλιακές μονάδες σε εναλλασσόμενο ρεύμα (απαραίτητα για το δίκτυο) είναι κρίσιμα στοιχεία οποιωνδήποτε φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι μετατροπείς μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος από τις μπαταρίες ή τις ηλιακές μονάδες σε εναλλασσόμενο ρεύμα 60 ή 50 Hz. Όπως συμβαίνει με όλα τα εξαρτήματα του συστήματος ισχύος, η χρήση μετατροπέων έχει ως αποτέλεσμα απώλειες ενέργειας λόγω παρεμβολών. Η τυπική απόδοση ενός μετατροπέα που ταιριάζει καλά στη συστοιχία είναι περίπου 90%. Οι μετατροπείς είναι βασικά στοιχεία τόσο σε εφαρμογές συνδεδεμένης στο δίκτυο όσο και σε εφαρμογές κατανεμημένης ισχύος και συνήθως αποτελούν σημαντικό μέρος του κόστους του συστήματος. Το ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από τους μετατροπείς μπορεί να έχει έξοδο τετράγωνου, τροποποιημένου ημιτονοειδούς και καθαρού ημιτονοειδούς κύματος. Το καθαρό ημίτονο είναι υψηλό κόστος και έχει την καλύτερη ποιότητα ισχύος. Το τροποποιημένο ημίτονο είναι μεσαίου κόστους, αλλά έχει μικρότερη απόδοση. Το τετραγωνικό κύμα είναι χαμηλού κόστους και χαμηλότερης απόδοσης, που χρησιμοποιείται μόνο από ορισμένες εφαρμογές. Τα σήματα τετραγωνικών κυμάτων μπορεί να είναι επιβλαβή για ορισμένα ηλεκτρονικά είδη λόγω της αρμονικής παραμόρφωσης υψηλής τάσης. Οι μετατροπείς είναι κοινές πηγές ηλεκτρομαγνητικού θορύβου, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στον εξοπλισμό ήχου και εικόνας. Έτσι, τα κιβώτια των μετατροπέων πρέπει να είναι γειωμένα σύμφωνα με την απαίτηση κωδικού και τους λόγους ασφαλείας

Οι μετατροπείς που συνδέονται με το δίκτυο χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος στο δίκτυο κοινής ωφέλειας. Μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα σε

συγχρονισμό με το δίκτυο. Για παράδειγμα, εάν το δίκτυο αποτύχει για οποιονδήποτε λόγο, ο μετατροπέας θα κλείσει επίσης. Τα κύρια ζητήματα που σχετίζονται με τη διασύνδεση φωτοβολταϊκού δικτύου περιλαμβάνουν την ασφάλεια, την ποιότητα ισχύος και την προστασία μη νησιδοποίησης. Νησιδοποίηση είναι η κατάσταση κατά την οποία σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας του δικτύου, ο μετατροπέας επιχειρεί να τροφοδοτήσει το δίκτυο και μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον εξοπλισμό και κινδύνους για την ασφάλεια του τεχνικού προσωπικού. Η γραμμή ηλεκτρικού ρεύματος δικτύου με φωτοβολταϊκές μονάδες συνδεδεμένες σε αυτό είναι μια τυπική κατάσταση νησιδοποίησης. Μετά τη διακοπή λειτουργίας του δικτύου, τα φωτοβολταϊκά πάνελ εξακολουθούν να τροφοδοτούν τη γραμμή όσο υπάρχει η ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι έχουμε ένα "νησί" ηλεκτρικού ρεύματος εντός του μη ηλεκτρικού δικτύου. Οι περισσότεροι μετατροπείς συνδεδεμένου δικτύου εναλλασσόμενου ρεύματος διαθέτουν δυνατότητα προστασίας από τη λειτουργία νησιδοποίησης, επομένως ο μετατροπέας θα μειώσει την ισχύ στο μηδέν εντός 2 δευτερολέπτων από τη διακοπή λειτουργίας του δικτύου.

Οι μετατροπείς βαθμολογούνται με βάση τη συνολική χωρητικότητα ισχύος (από εκατοντάδες έως εκατομμύρια watt). Ορισμένοι μετατροπείς έχουν καλή ικανότητα υπερτάσεων για την εκκίνηση κινητήρων, αλλά άλλοι μπορεί να έχουν περιορισμένη ικανότητα υπερτάσεων. Άρα, οι σχεδιαστές θα πρέπει να καθορίσουν τόσο τον τύπο όσο και το μέγεθος του φορτίου που θα συνδεθεί στον μετατροπέα

*Οι μετατροπείς DC-DC ή μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για την αύξηση (ενίσχυση) ή μείωση (buck) τάσης του ρεύματος συνεχούς ρεύματος. Επομένως, η τάση της ηλιακής συστοιχίας μπορεί να επιλεγεί ανεξάρτητα από την τάση του φορτίου. Αυτό το είδος ευκολίας συνοδεύεται από ένα κόστος - ο μετατροπέας DC-DC έχει πάντα απώλειες, αν και τα καλά μοντέλα έχουν απόδοση έως και 95%, με κάποια σπατάλη θερμότητας που παράγεται. Ιδανικά (αν δεν υπήρχαν απώλειες):*



$$P_1 = V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 = P_2$$

όπου τα  $V_1$  και  $I_1$  είναι τάση και ρεύμα στην είσοδο (από ηλιακή μονάδα) και  $V_2$  και  $I_2$  είναι τάση και ρεύμα στην έξοδο, αντίστοιχα.

#### 4.1.3 Μπαταρίες<sup>[6]</sup>

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται σε πολλούς τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παροχή ρεύματος σε συνθήκες χαμηλού ήλιου (νύχτα ή χαμηλή ακτινοβολία). Επιπλέον, οι μπαταρίες απαιτούνται στα ηλιακά συστήματα λόγω της κυμαινόμενης φύσης της εξόδου ΦΒ. Το μέγεθος/χωρητικότητα της μπαταρίας επιλέγεται ανάλογα με το φορτίο. Συνήθως συνδέονται παράλληλα για να ταιριάζουν με μεγαλύτερη χωρητικότητα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών που διατίθενται στο εμπόριο για ηλιακές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων μολύβδου-οξέος, νικελίου-καδμίου, υδριδίου νικελίου και ιόντων λιθίου. Η κύρια απαίτηση για τις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται ως αποθήκευση ενέργειας για τα ηλιακά συστήματα είναι ότι πρέπει να μπορούν να περάσουν από βαθείς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς υπερβολική υποβάθμιση. Οι μπαταρίες ταξινομούνται με βάση την ονομαστική χωρητικότητα ( $q_{max}$ ), που είναι ο μέγιστος αριθμός αμπερών που μπορεί να εξαχθεί από την μπαταρία υπό ορισμένες τυπικές συνθήκες.

Η απόδοση μιας μπαταρίας μπορεί να οριστεί ως η αναλογία του φορτίου που εξάγεται κατά την εκφόρτιση προς την ποσότητα φόρτισης που απαιτείται για την αποκατάσταση αυτής της κατάστασης φόρτισης. Η απόδοση εξαρτάται από την κατάσταση φόρτισης (SOC - **State of Charge**), η οποία είναι η αναλογία μεταξύ της τρέχουσας χωρητικότητας της μπαταρίας και της ονομαστικής χωρητικότητας ( $SOC = q/q_{max}$ ). Για παράδειγμα,  $SOC=1$  όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη και  $SOC=0$  όταν η μπαταρία είναι πλήρως αποφορτισμένη. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας συχνά παρουσιάζεται ως ο αριθμός των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης που μπορεί να αντέξει η μπαταρία πριν χάσει το 20% της ονομαστικής χωρητικότητάς της .

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι στην πραγματικότητα διαφορετικές από τις μπαταρίες αυτοκινήτων. Οι μπαταρίες του αυτοκινήτου δεν έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν τους κύκλους βαθιάς φόρτισης-εκφόρτισης και επομένως δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται με την παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Οι μπαταρίες εγκαθίστανται συνήθως σε καλά αεριζόμενους χώρους - (π.χ. βοηθητικούς χώρους) για να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι από διαρροές και να είναι διαθέσιμες για εύκολη συντήρηση ή αντικατάσταση.

#### **4.2 Αρχιτεκτονική των μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκών συστημάτων<sup>[6]</sup>**

Η ισχύς εξόδου από τις ηλιακές συστοιχίες εξαρτάται από τη διάταξη και τη σύνδεση των μονάδων εντός της εγκατάστασης και μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις τοπικές προτιμήσεις. Για να γνωρίζουμε πώς μπορούμε να χειριστούμε την έξοδο ισχύος, πρέπει να κατανοήσουμε τις αρχές των διασυνδέσεων των φωτοβολταϊκών κυψελών στις μονάδες και τις συνδέσεις αυτών των μονάδων με τον εξοπλισμό συνεχούς ρεύματος.

Η ανάπτυξη μεγάλων ηλιακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων έχει δρομολογηθεί σε πολλές χώρες, ειδικά όπου υπήρχαν κίνητρα και νομοθεσία με την υποστήριξη της κυβέρνησης για την υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από το 2000, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κλίμακας MW ξεκίνησε στη Γερμανία, την Ισπανία, την Ιταλία, την Ελλάδα και περαιτέρω έλαβε χώρα σε ακόμη μεγαλύτερη κλίμακα στις ΗΠΑ, την Κίνα, την Ινδία και τη Βραζιλία. Η τάση επιταχύνθηκε πραγματικά μετά το 2007, όταν ο αριθμός των συστημάτων άνω του 1 MW αυξήθηκε από 20 σε πάνω από 100 μέσα σε λίγα χρόνια. Οι ειδικοί του κλάδου προβλέπουν ότι η τάση θα διατηρηθεί και ίσως ακόμη και θα επιταχυνθεί στο μέλλον καθώς η ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κλιμακώνεται. Το μέσο και μέγιστο μέγεθος των ηλιακών εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας (συνήθως 5 MW έως 500 MW) αυξάνεται επίσης. Η *Ηλιακή Φάρμα Τοπάτσι*, που βρίσκεται στην κομητεία San Luis Obispo της Καλιφόρνια,

είναι ένας από τους μεγαλύτερους σταθμούς ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας στις ΗΠΑ (*Εικόνα 4-1*). Αυτή η εγκατάσταση έχει την ικανότητα να παράγει 550 μεγαβάτ (MW) ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας 5 εκατομμύρια πάνελ.



*Εικόνα 4-1 Διαστημική εικόνα του ηλιακού αγροκτήματος Torraz (αριστερά) [πηγή εικόνας NASA, δημόσιος τομέας] και προβολή εγκατάστασης (δεξιά). (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)*

Η λίστα με τις μεγαλύτερες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στον κόσμο ενημερώνεται από χρόνο σε χρόνο και μπορείτε να δείτε ότι το σημείο αναφοράς Torraz έχει ήδη νικηθεί επανειλημμένα τώρα και οι κορυφαίες εγκαταστάσεις υπερβαίνουν επί του παρόντος το όριο GW. Ένας από τους ελκυστικούς παράγοντες των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας είναι ότι αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να κατασκευαστούν σχετικά γρήγορα (μέσα σε 6-12 μήνες) λόγω της δομοστοιχειωτής δομής, σε αντίθεση με τις μεγάλες υδροηλεκτρικές, γεωθερμικές εγκαταστάσεις ή εγκαταστάσεις ορυκτών καυσίμων, οι οποίες θα αναπτύσσονταν συνήθως σε 3-5 ετών. Αυτό αποτελεί μια μεγάλη ευκαιρία για τις αναδυόμενες οικονομίες να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στις αυξανόμενες ενεργειακές τους απαιτήσεις, ειδικά επειδή πολλές από αυτές τις χώρες διαθέτουν εξαιρετικό ηλιακό πόρο.

Αρχικά, ο σχεδιασμός της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης αναπτύσσεται στο στάδιο της αξιολόγησης σκοπιμότητας που περιλαμβάνει εκτίμηση του ηλιακού πόρου και της αναμενόμενης απόδοσης. Στη συνέχεια, ο σχεδιασμός της εγκατάστασης βελτιώνεται περαιτέρω λαμβάνοντας

υπόψη άλλους τοπικούς περιορισμούς και περιορισμούς. Το στάδιο σκοπιμότητας περιλαμβάνει επίσης μετρήσεις τοποθεσίας, τοπογραφική χαρτογράφηση, εκτίμηση περιβαλλοντικών ρυθμίσεων και κοινωνικές επιπτώσεις. Τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού περιλαμβάνουν τεχνικές πληροφορίες όπως τύπος φωτοβολταϊκών μονάδων, γωνία κλίσης, συστήματα τοποθέτησης και παρακολούθησης, διάταξη δομοστοιχείων και ισορροπία στοιχείων συστήματος (BOS) - μετατροπείς, συνδέσεις, διακόπτες και λύσεις αποθήκευσης. Περαιτέρω βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των εγκαταστάσεων θα αντιμετωπίσει ζητήματα όπως η σκίαση, η υποβάθμιση της απόδοσης και οι οικονομικές αντισταθμίσεις μεταξύ της αυξημένης πολυπλοκότητας και της ενεργειακής απόδοσης.

Ο σχεδιασμός μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης κλίμακας κοινής ωφέλειας είναι μια πολύπλοκη προσπάθεια. Με πολλές διαθέσιμες επιλογές εξαρτημάτων και επιλογών για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, είναι σημαντικό να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ εξοικονόμησης κόστους και ποιότητας. Οι αποφάσεις μηχανικής απαιτούν σημαντική τεχνική τεχνογνωσία και θα πρέπει να είναι αποφάσεις "ενημερωμένες" βασισμένες τόσο σε μοντέλα βελτιστοποίησης όσο και σε πρακτική εμπειρία.

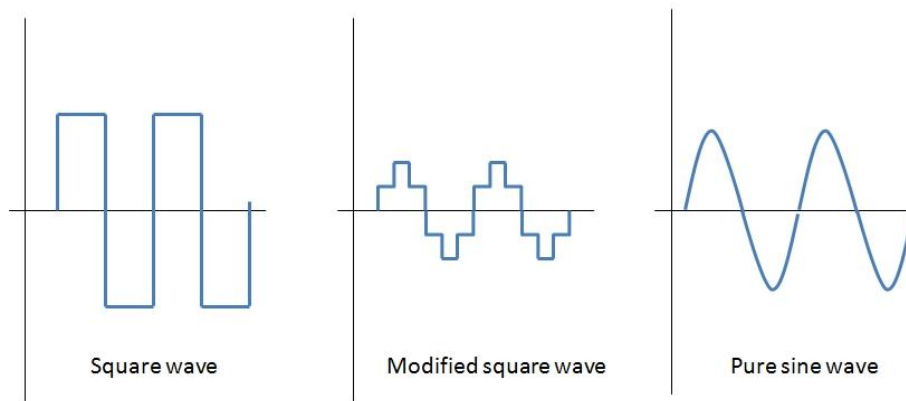
### **4.3 Μετατροπείς: αρχή λειτουργίας και παράμετροι**

Σχεδόν κάθε ηλιακό σύστημα οποιασδήποτε κλίμακας περιλαμβάνει μετατροπέα κάποιου τύπου που επιτρέπει την επιτόπια χρήση της ισχύος για συσκευές που τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα ή στο δίκτυο. Διαφορετικοί τύποι μετατροπέων φαίνονται στην [Εικόνα 4-2](#) ως παραδείγματα. Τα διαθέσιμα μοντέλα μετατροπέων είναι πλέον πολύ αποδοτικά (απόδοση μετατροπής ισχύος άνω του 95%), αξιόπιστα και οικονομικά. Στην κλίμακα χρησιμότητας, οι κύριες προκλήσεις σχετίζονται με τη διαμόρφωση του συστήματος προκειμένου να επιτευχθεί ασφαλής λειτουργία και να μειωθούν στο ελάχιστο οι απώλειες μετατροπής.



**Εικόνα 4-2 Μετατροπείς:** κουτί inverter μικρής κλίμακας για οικιακή χρήση (αριστερά) και μετατροπείς κλίμακας Satcon utility (δεξιά)( <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

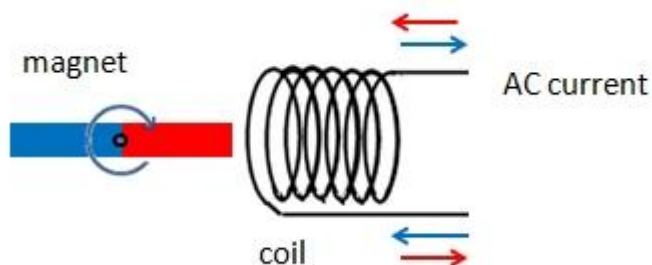
Οι τρεις πιο συνηθισμένοι τύποι μετατροπέων που κατασκευάζονται για την τροφοδοσία φορτίων εναλλασσόμενου ρεύματος περιλαμβάνουν: (1) μετατροπέα καθαρού ημιτονοειδούς κύματος (για γενικές εφαρμογές), (2) μετατροπέα τροποποιημένου τετραγωνικού κύματος (για ωμικά, χωρητικά και επαγωγικά φορτία) και (3) τετράγωνο μετατροπέας κυμάτων (για ορισμένα φορτία αντίστασης) (MPP Solar, 2015).(Σχήμα 4-2).



**Σχήμα 4-2 Διαφορετικοί τύποι σήματος AC που παράγονται από μετατροπείς.**( <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Η διαδικασία μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή είναι η δημιουργία διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού σε έναν αγωγό όταν αυτός εκτίθεται σε μεταβαλλόμενο

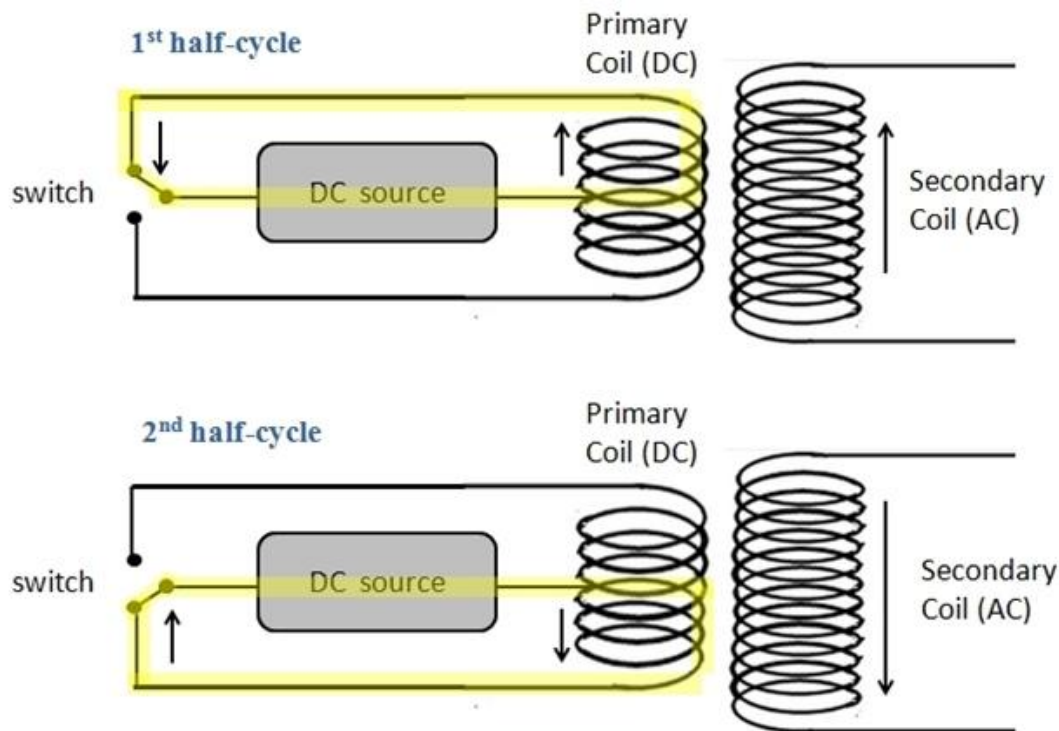
μαγνητικό πεδίο. Για παράδειγμα, εάν τοποθετήσετε ένα πηνίο (πηνίο σύρματος) κοντά σε έναν περιστρεφόμενο μαγνήτη, θα προκληθεί ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο (Σχήμα 4-3



Σχήμα 4-3 Σχηματική απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Στη συνέχεια, αν θεωρήσουμε ένα σύστημα με δύο πηνία (Σχήμα 4-4) και περάσουμε ρεύμα συνεχούς ρεύματος μέσω ενός από αυτά (πρωτεύον πηνίο), αυτό το πηνίο με ρεύμα συνεχούς ρεύματος μπορεί να δράσει ανάλογα με τον μαγνήτη (καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο). Εάν η κατεύθυνση του ρεύματος αντιστρέφεται συχνά (π.χ. μέσω μιας συσκευής διακόπτη), το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο θα προκαλέσει ρεύμα AC στο δευτερεύον πηνίο.

Το απλό σχήμα δύο κύκλων που φαίνεται στο Σχήμα 4-4 παράγει ένα σήμα AC τετραγωνικού κύματος. Αυτή είναι η απλούστερη περίπτωση και εάν ο μετατροπέας εκτελεί μόνο αυτό το βήμα, είναι ένας μετατροπέας τετραγωνικών κυμάτων. Αυτός ο τύπος απόδοσης δεν είναι πολύ αποδοτικός και μπορεί να είναι ακόμη και επιζήμιος για ορισμένα φορτία. Έτσι, το τετραγωνικό κύμα μπορεί να τροποποιηθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας πιο εξελιγμένους μετατροπείς για την παραγωγή ενός τροποποιημένου τετραγωνικού ή ημιτονοειδούς κύματος.

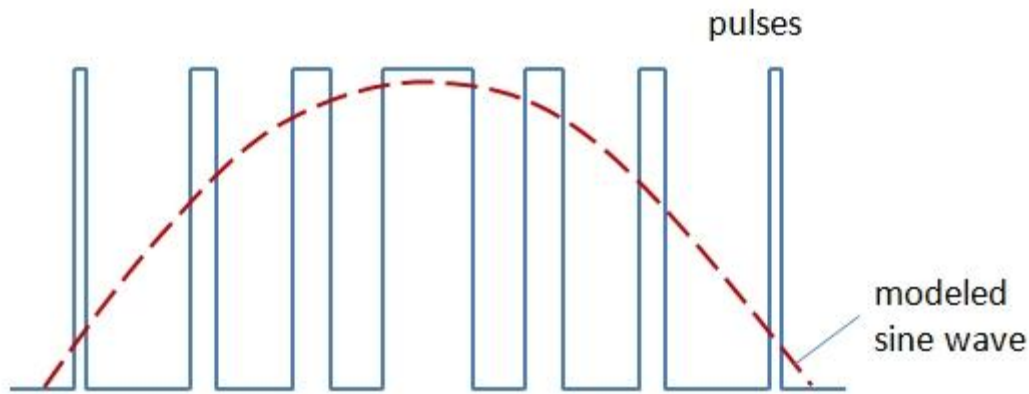


Σχήμα 4-4 Κύκλοι inverter. Κατά τη διάρκεια του 1ου μισού κύκλου (πάνω), το ρεύμα συνεχούς ρεύματος από μια πηγή συνεχούς ρεύματος - ηλιακή μονάδα ή μπαταρία - ενεργοποιείται μέσω του επάνω μέρους του πρωτεύοντος πηνίου. Κατά τη διάρκεια του 2ου μισού κύκλου (κάτω), το ρεύμα συνεχούς ρεύματος ενεργοποιείται μέσω του κάτω μέρους του πηνίου. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Για να παραχθεί μια τροποποιημένη έξοδος τετραγώνου κύματος, όπως αυτή που φαίνεται στο κέντρο του Σχήμα 4-2, μπορεί να χρησιμοποιηθεί έλεγχος κυματομορφής χαμηλής συχνότητας στον μετατροπέα. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει τη ρύθμιση της διάρκειας των εναλλασσόμενων τετραγωνικών παλμών. Επίσης, εδώ χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές για τη μεταβολή της τάσης εξόδου. Ο συνδυασμός παλμών διαφορετικού μήκους και τάσης έχει ως αποτέλεσμα το τροποποιημένο τετραγωνικό κύμα πολλαπλών βημάτων, το οποίο ταιριάζει πολύ με το σχήμα ημιτονοειδούς κύματος. Οι μετατροπείς χαμηλής συχνότητας λειτουργούν συνήθως σε συχνότητα ~60 Hz.

Για την παραγωγή εξόδου ημιτονοειδούς κύματος, χρησιμοποιούνται μετατροπείς υψηλής συχνότητας. Αυτοί οι μετατροπείς χρησιμοποιούν τη μέθοδο τροποποίησης πλάτους παλμού: ρεύματα μεταγωγής σε υψηλή συχνότητα και για μεταβλητές χρονικές περιόδους. Για

παράδειγμα, οι πολύ στενοί (μικροί) παλμοί προσομοιώνουν μια κατάσταση χαμηλής τάσης και οι μεγάλοι (μακροί παλμοί) προσομοιώνουν υψηλή τάση. Επίσης, αυτή η μέθοδος επιτρέπει τη διαφοροποίηση της απόστασης των παλμών: η απόσταση στενών παλμών σε μεγαλύτερη απόσταση μοντέλων χαμηλής τάσης (Σχήμα 4-5).



Σχήμα 4-5 Διαμόρφωση πλάτους παλμού για προσέγγιση του πραγματικού ημιτονοειδούς κύματος με μετατροπέα υψηλής συχνότητας. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Στην παραπάνω εικόνα, η μπλε γραμμή δείχνει το τετράγωνο κύμα που ποικίλλει ανάλογα με το μήκος του παλμού και το χρονισμό μεταξύ των παλμών. η κόκκινη καμπύλη δείχνει πώς αυτά τα εναλλασσόμενα σήματα μοντελοποιούνται από ένα ημιτονοειδές κύμα. Η χρήση πολύ υψηλής συχνότητας βοηθά στη δημιουργία πολύ σταδιακών αλλαγών στο πλάτος του παλμού και έτσι διαμορφώνει ένα πραγματικό ημιτονικό σήμα. Η μέθοδος διαμόρφωσης πλάτους παλμού και οι νέοι ψηφιακοί ελεγκτές έχουν οδηγήσει σε πολύ αποδοτικούς μετατροπείς.

#### 4.3.1.1 Απόδοση μετατροπέων

Η απόδοση ενός μετατροπέα υποδεικνύει πόση ισχύς συνεχούς ρεύματος μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Μέρος της ισχύος μπορεί να χαθεί ως θερμότητα, και επίσης λίγη ισχύς αναμονής καταναλώνεται για τη διατήρηση του μετατροπέα σε λειτουργία τροφοδοσίας. Ο γενικός τύπος απόδοσης είναι

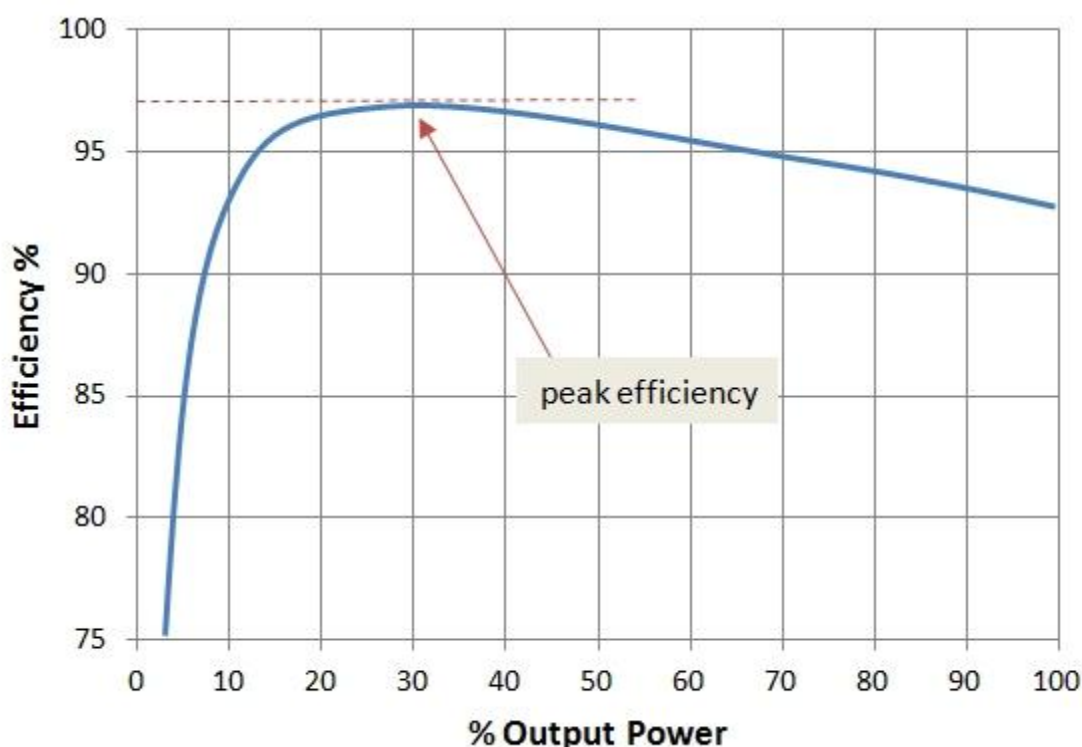
$$n_{inv} = \frac{P_{ac}}{P_{dc}}$$



όπου το  $P_{AC}$  είναι η έξοδος ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος σε watt και το  $P_{DC}$  είναι η είσοδος ισχύος DC σε watt.

Οι υψηλής ποιότητας μετατροπείς ημιτονοειδών κυμάτων βαθμολογούνται με απόδοση 90-95%. Οι μετατροπείς τροποποιημένου ημιτονοειδούς κύματος χαμηλότερης ποιότητας είναι λιγότερο αποδοτικοί - 75-85%. Οι μετατροπείς υψηλής συχνότητας είναι συνήθως πιο αποδοτικοί από τους χαμηλών συχνοτήτων.

Η απόδοση του μετατροπέα εξαρτάται από το φορτίο του μετατροπέα.



*Διάγραμμα 4-1* **Τυπική γενική καμπύλη απόδοσης μετατροπέα. Κάτω από το 10-15% της ισχύος εξόδου, η απόδοση είναι αρκετά χαμηλή. Σε υψηλή ισχύ εξόδου, η απόδοση είναι σταθερά υψηλή με ορισμένες μικρές παραλλαγές.** (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Η συμπεριφορά στο *Διάγραμμα 4-1* προκύπτει εν μέρει από το γεγονός ότι οι απώλειες αναμονής για έναν μετατροπέα είναι ίδιες για όλα τα επίπεδα ισχύος εξόδου, επομένως η απόδοση σε χαμηλότερες εξόδους επηρεάζεται περισσότερο.

Υπάρχουν τρεις τύποι κατάταξης απόδοσης που χρησιμοποιούνται για τους μετατροπείς.

1. *Η μέγιστη απόδοση* (που φαίνεται με το βέλος στην [Διάγραμμα 4-1](#)) υποδεικνύει την απόδοση του μετατροπέα στη βέλτιστη ισχύ εξόδου. Δείχνει το μέγιστο σημείο για έναν συγκεκριμένο μετατροπέα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο της ποιότητάς του.
2. *Η ευρωπαϊκή απόδοση* είναι ο σταθμισμένος αριθμός που λαμβάνει υπόψη πόσο συχνά ο μετατροπέας θα λειτουργεί σε διαφορετικές εξόδους ισχύος. Μερικές φορές είναι πιο χρήσιμο από τη μέγιστη απόδοση, καθώς δείχνει πώς λειτουργεί ο μετατροπέας σε διαφορετικά επίπεδα εξόδου κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής ημέρας.
3. *Η απόδοση της Επιτροπής Ενέργειας της Καλιφόρνια (CEC)* είναι επίσης μια σταθμισμένη απόδοση, παρόμοια με την ευρωπαϊκή απόδοση, αλλά χρησιμοποιεί διαφορετικές υποθέσεις σχετικά με τους συντελεστές ζύγισης.

Η κύρια διαφορά μεταξύ της απόδοσης της Ευρώπης και της CEC είναι ότι οι υποθέσεις σχετικά με τη σημασία κάθε επιπέδου ισχύος για έναν συγκεκριμένο μετατροπέα βασίζονται στα δεδομένα για την Κεντρική Ευρώπη στην πρώτη περίπτωση και την Καλιφόρνια στη δεύτερη. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι για τον υπολογισμό αυτών των τιμών:

$$\eta_{Eu} = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.10\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.20\eta_{100\%}$$

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

#### 4.4 Συσκευές μεταγωγής

Απαιτείται λειτουργία μεταγωγής σε μετατροπείς για την εναλλαγή της κατεύθυνσης του ρεύματος συνεχούς ρεύματος προκειμένου να παραχθεί ισχύς AC. Συνήθως, για την εκτέλεση μεταγωγής χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικές συσκευές ημιαγωγών, όπως τρανζίστορ και θυρίστορ.

*Τα θυρίστορ* χρησιμοποιούνται σε βασικά μοντέλα μετατροπέων. Έχουν τρεις απαγωγές και συνήθως «ανοίγονται» ως απόκριση στο ρεύμα που εφαρμόζεται σε μία από τις απαγωγές. Το Thyristor έχει μόνο δύο λειτουργίες: ON και OFF, το ίδιο με τους μηχανικούς διακόπτες.

*Τα τρανζίστορ* είναι παρόμοια στην ικανότητα μεταγωγής με τα θυρίστορ, αλλά αντίθετα ανταποκρίνονται στην τάση που εφαρμόζεται και όχι στο ρεύμα. Αυτό επιτρέπει την ομαλή μεταβολή της εσωτερικής αντίστασης του τρανζίστορ. Έτσι, εκτός από τις λειτουργίες ON και OFF, τα τρανζίστορ επιτρέπουν επίσης τη δυνατότητα dimmer.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται σε ηλιακούς μετατροπείς:

- Τρανζίστορ φαινομένου πεδίου ημιαγωγού οξειδίου μετάλλου (MOSFET)
- Διπολικά τρανζίστορ με μόνωση πύλης (IGBT)

Ο τύπος MOSFET είναι κατάλληλος για πολύ υψηλές ταχύτητες μεταγωγής (έως 800 kHz), αλλά λειτουργεί σε σχετικά χαμηλή τάση. Ο διακόπτης τύπου IGBT σε χαμηλότερες ταχύτητες (κάτω από 20 kHz), αλλά αντέχει σε υψηλότερη τάση και υψηλό ρεύμα (Dunlop, 2010).

##### 4.4.1 Έλεγχος μεταγωγής

Οι συσκευές μεταγωγής, όπως τα θυρίστορ και τα τρανζίστορ, πρέπει να ελέγχονται από εξωτερικό σήμα. Στους βασικούς σχεδιασμούς μετατροπέων, η μεταγωγή ελέγχεται από τη γραμμή ηλεκτρικού ρεύματος. Τέτοιες συσκευές μεταγωγής αναφέρονται ως μεταγωγής γραμμής. Ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται με εναλλασσόμενους μισούς κύκλους της τάσης του δικτύου, συγχρονίζοντας έτσι την έξοδο

του μετατροπέα με το ρεύμα της γραμμής δικτύου. Αν και αποτελεσματικοί, οι μετατροπείς με μεταγωγή γραμμής έχουν ένα μειονέκτημα: δεν μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα από το δίκτυο.

Ορισμένοι μετατροπείς ενδέχεται να περιέχουν μια εσωτερική συσκευή που ελέγχει τη μεταγωγή. Μια τέτοια συσκευή είναι συνήθως ένας μικροεπεξεργαστής που παρέχει ακριβή χρονισμό. Τέτοιοι μετατροπείς ονομάζονται αυτο-μετατροπείς. Οι μετατροπείς αυτομετατροπής έχουν πρόσθετες δυνατότητες διαμόρφωσης της εξόδου AC και καταστολής αρμονικών. Και μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από την ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν δύο ποικιλίες αυτο-μετατροποποιούμενων μετατροπέων: πηγή τάσης και πηγή ρεύματος. Λαμβάνουν την είσοδο DC ως πηγή τάσης ή πηγή ρεύματος, αντίστοιχα, για τη μετατροπή της ισχύος στην έξοδο AC. Οι περισσότεροι από τους σημερινούς μετατροπείς που εμπλέκονται σε ηλιακές εγκαταστάσεις είναι αυτο-μετατροπείς .

#### **4.5 Μετατροπή DC/DC**

Μια τυπική τάση εξόδου των φωτοβολταϊκών πάνελ μπορεί να είναι της τάξης των 30 V και είναι πολύ χαμηλή για να μετατραπεί σε AC και να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο. Επομένως, η μετατροπή DC/DC είναι συχνά ένα απαραίτητο βήμα πριν τροφοδοτηθεί το ρεύμα συνεχούς ρεύματος από το φωτοβολταϊκό σύστημα στον μετατροπέα. Οι περισσότερες μονάδες κλιματισμού ισχύος περιλαμβάνουν κάποιο τύπο μετατροπέα DC/DC. Ο μετατροπέας συνεχούς ρεύματος μετατρέπει την τάση DC  $V_1$  σε DC τάση  $V_2$  μέσω της ρύθμισης του ρεύματος ( $I$ ):

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

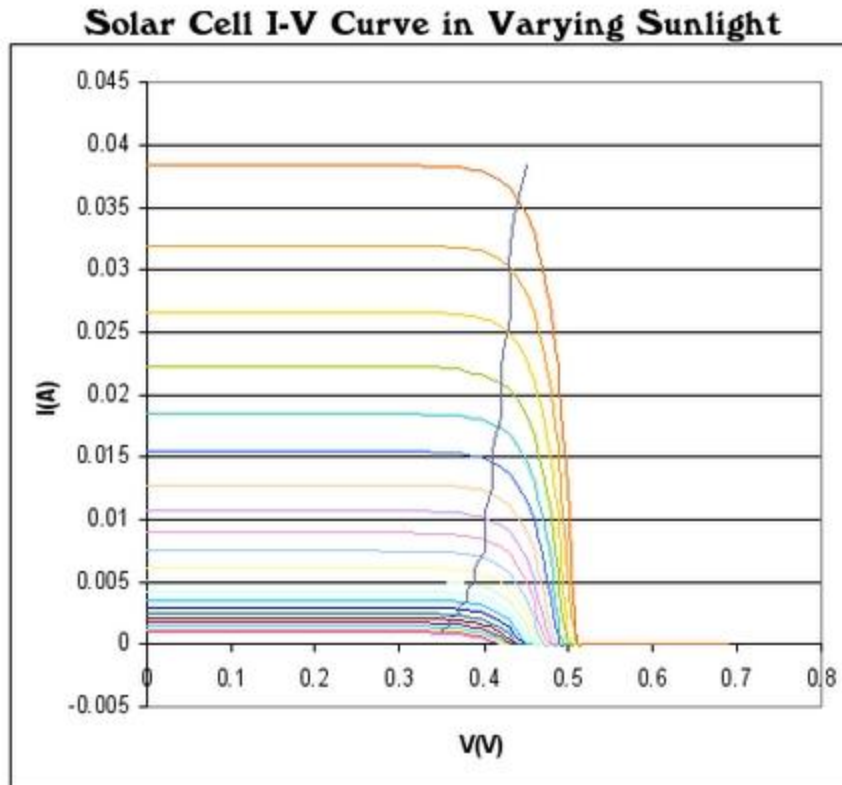
Αυτή είναι μια ιδανική περίπτωση, όταν η ισχύς εισόδου είναι ίση με την ισχύ εξόδου. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πάντα απώλειες μετατροπής, οι οποίες οδηγούν σε τυπικές αποδόσεις της τάξης του 90-95%.

Η μετατροπή DC/DC επιτρέπει τη διατήρηση της τάσης στο  $\Phi/B$  και της τάσης στο φορτίο ξεχωριστά ελεγχόμενη. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μετατροπέων DC/DC ανάλογα με την κατεύθυνση αλλαγής τάσης: (1) οι μετατροπείς ενίσχυσης μετατρέπουν τη μικρότερη τάση σε υψηλότερη τάση και (2) τους μετατροπείς buck μετατρέπουν την υψηλότερη τάση σε χαμηλότερη τάση.

#### **4.6 Παρακολούθηση MPP**

Μία από τις σημαντικές λειτουργίες που μπορούν να εκτελέσουν οι συσκευές μετατροπής DC/DC είναι η παρακολούθηση σημείου μέγιστης ισχύος (MPP). Η ιδέα πίσω από αυτό είναι να διατηρείται το ηλιακό σύστημα να λειτουργεί συνεχώς στη μέγιστη ισχύ, δηλαδή στην τάση  $V_{mp}$  και το ρεύμα  $I_{mp}$ . Αυτές οι παράμετροι απεικονίζονται στο [Διάγραμμα 4-2](#).

Ας υποθέσουμε ότι σε μια συγκεκριμένη ακτινοβολία περιβάλλοντος, ένα ηλιακό στοιχείο ή μια συστοιχία λειτουργεί με τη μέγιστη ισχύ. Στη συνέχεια, εάν αλλάξουν οι συνθήκες ακτινοβολίας, αλλάζει το χαρακτηριστικό απόδοσης (καμπύλη IV) της κυψέλης ([Διάγραμμα 4-2](#)). Έτσι, εάν η τάση εξόδου διατηρείται σταθερή, το ρεύμα εξόδου μειώνεται σημαντικά. Ο ανιχνευτής MMP χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της τάσης στη νέα τιμή  $V_{mp}$ , διατηρώντας έτσι τη μέγιστη ισχύ εξόδου.



Διάγραμμα 4-2 Καμπύλη ηλιακής κυψέλης IV σε μεταβαλλόμενο φως του ήλιου  
 IV καμπύλες απόδοσης ηλιακής κυψέλης σε μεταβαλλόμενο ηλιακό φως. Οι ανώτερες καμπύλες δείχνουν την απόδοση της κυψέλης σε συνθήκες υψηλότερης ακτινοβολίας. Η κατακόρυφη διαδρομή που διασχίζει τις καμπύλες απόδοσης υποδεικνύει τη μετατόπιση του σημείου μέγιστης ισχύος. (<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>)

Σε μεγάλες ηλιακές εγκαταστάσεις, είναι ωφέλιμο να υπάρχει μια μεμονωμένη μονάδα παρακολούθησης MPP που θα συνδέεται σε κάθε έξοδο συστοιχίας, καθώς διαφορετικές συστοιχίες μπορεί να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά IV (λόγω διαφορετικής ακτινοβολίας, προσανατολισμού κ.λπ.). Αυτό βελτιώνει τη συνολική απόδοση του φυτού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 -ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### 5.1 Φωτοβολταικα πλαίσια

Ο Σταθμός θα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli. Θα γίνει χρήση 4268 τεμαχίων του τύπου YL 235P-29b, ονοματικής ισχύος 235Wp έκαστο.



*Εικόνα 5-1 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli, 235 Wp(<https://www.indiamart.com/proddetail/sma-sunny-central-630cp-us-6357721430.html>)*

)

*Πίνακας 5-1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ (1<sup>η</sup> στήλη)<sup>[7]</sup>*

Module type		YL235-29b	YL230P-29b	YL225P-29b	YL220P-29b	YL215P-29b	YL210P-29b
Power output	[W]	235.0	230.0	225.0	220.0	215.0	210.0
Power output tolerances	[%]	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/-3
Module Efficiency	[%]	14.4	14.1	13.8	13.5	13.2	12.9
Voltage at Pmax, $V_{mpp}$	[V]	29.5	29.5	29.5	29.0	29.0	28.5
Current at Pmax, $I_{mpp}$	[A]	7.97	7.80	7,63	7.59	7.41	7.37
Open circuit voltage $V_{oc}$	[V]	37.0	37.0	36.5	36.5	36.0	36.0
Short circuit current $I_{sc}$	[A]	8.54	8.40	8.28	8.15	8.10	7.95
Max. system Voltage	[V]	IEC: 1,000 V DC ; UL: 600 V DC					

*Πίνακας 5-2 Θερμικά χαρακτηριστικά του πάνελ<sup>[7]</sup>*

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	[°C]	46 +/- 2
Temperature coefficient of the short circuit current $I_{sc}$	[%/K]	+ 0.06
Temperature coefficient of the open circuit voltage $V_{oc}$	[%/K]	- 0.37
Temperature coefficient of the MPP power $P_{mpp}$	[%/K]	- 0.45

*Πίνακας 5-3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ<sup>[7]</sup>*

Dimensions (length [mm]/width [mm]/thickness [mm])	1650 / 990 / 50
Thickness with junction box [mm]	50
Weight [kg]	19.8
Junction box (manufacturer/protection degree/number of diodes)	CiXi / IP65 / 6
Junction box dimensions (length/width/thickness [mm])	151 / 122 / 25
Positive cable (manufacturer/length [mm]/cable cross-section [mm <sup>2</sup> ])	TAIYO / 1200 / 4
Negative cable (manufacturer/length [mm]/cable cross-section [mm <sup>2</sup> ])	TAIYO / 1200 / 4
Plug connector (manufacturer/type/protection degree)	MC4 / UV resistance and self-locking / IP65
Front cover (material/thickness [mm])	Tempered Glass, 3.2mm
Cell type (quantity/technology)	60 / polycrystalline / 156 x 156
Encapsulation materials	Ethylene Vinyl Acetate (EVA)
Rear cover (material/thickness [mm])	Le/PET/PVDF,0.287
Frame (material)	robust anodized aluminum alloy



## 5.2 Συστήματα στήριξης

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα εγκατασταθούν σε ομάδες (Συστοιχίες/Τραπέζια), με τη βοήθεια Συστημάτων Στήριξης του οίκου Schletter. Θα χρησιμοποιηθούν 194 τεμάχια, καθένα ικανό να φέρει 22 φωτοβολταϊκά πλαίσια Yingli YL 235P-29b (2 σειρές των 11 panel σε διάταξη portrait) έκαστο. Η κλίση των συστημάτων στήριξης θα είναι 20°.



Εικόνα 5-2 Οι βάσεις στήριξης (<http://m.wanhossolars.com/ground-mounting-system/solar-bracket-suppliers-steel-pole-pump.html>)

## 5.3 Αντιστροφείς (INVERTER)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο (AC), θα πραγματοποιείται με τη χρήση Αντιστροφέων (inverter) του οίκου SMA τύπου SC630CP. Θα γίνει χρήση 3 τεμαχίων του τύπου Sunny Central 630CP υψηλής απόδοσης, οι οποίοι θα τοποθετηθούν και προκαλωδιωθούν έκαστος εντός προκατασκευασμένου οικίσκου εκ σκυροδέματος στο οποίο θα

περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός μετασχηματισμού, διακοπής και προστασίας τους.



Εικόνα 5-3 Ο αντιστροφέας Sunny Central 630CP  
(<https://www.indiamart.com/proddetail/sma-sunny-central-630cp-us-6357721430.html>)

Πίνακας 5-4 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα<sup>[8]</sup>

Technical data	Sunny Central 630CP-JP
<b>Input (DC)</b>	
Max. DC power (at $\cos \varphi = 1$ )	713 kW
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range (50 Hz) / MPP voltage range (60 Hz)	500 V to 850 V <sup>1)</sup> / 505 V to 850 V <sup>1)</sup>
DC voltage range (50 Hz) / DC voltage range (60 Hz)	500 V to 850 V / 500 V to 850 V
Rated input voltage	529 V
Max. input current	1350 A
Max. short-circuit current	2500 A
$V_{MPPmin} \text{ at } I_{MPP} < I_{DCmax}$	500 V (50 Hz) / 500 V (60 Hz)
Number of independent MPP inputs	1
Number of DC inputs	9

#### 5.4 Ηλεκτρολογικός έλεγχος<sup>[9]</sup>

Ολική ισχύς του ΦΒ πάρκου:

$$P_{\text{πάρκου}} = 4268 \text{ πάνελ} \times 235 \text{ W} = 1002980 \text{ W} \text{ ή } 1 \text{ MW}$$

Η διάταξη περιλαμβάνει 194 σειρές (strings) των 22 πάνελ έκαστη

Θα χρησιμοποιηθούν 22 αντιστροφείς. Οι 21 αντιστροφείς θα παίρνουν ο καθένας 9 σειρές (strings) και 1 αντιστροφέας θα δεχεται 5 σειρές.

Κάθε αντιστροφέας έχει 9 DC εισόδους, άρα η παραπάνω συνδεσμολογία είναι εφικτή από άποψη συνδεσμολογίας.

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

$$\text{Πρέπει } V_{\text{DC,m}} = V_{\text{mp}} \times N_{\text{πάνελ}} = 29,85 \text{ V} \times 22 \text{ πάνελ} = 656,7 \text{ Volt},$$

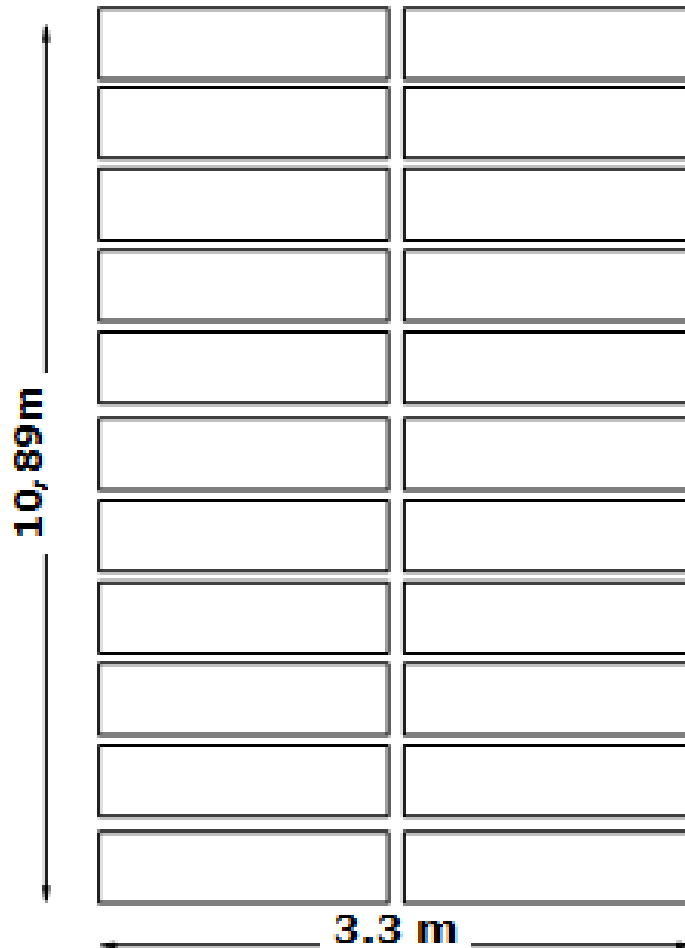
Τα όρια του inverter είναι  $500 \text{ V} < V_{\text{mpp}} < 850 \text{ V}$ , άρα η τάση του string είναι εντός ορίων

$$V_{\text{DC,oc}} = V_{\text{oc}} \times N_{\text{πάνελ}} = 37 \text{ V} \times 22 \text{ πάνελ} = 814 < V_{\text{DC,max}} = 1000 \text{ V} \text{ άρα το string δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τάση του inverter}$$

$$I_{\text{DC}} = 8.54 \text{ A} < 2500 \text{ A} \text{ άρα το string δεν υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα του inverter}$$

## 5.5 Διαστασιολόγηση του πάρκου<sup>[9]</sup>

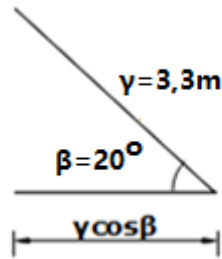
Κάθε string αποτελείται από 2 σειρές των 11 panel σε διάταξη portrait. Οπότε η διάσταση κάθε συστοιχίας/τραπεζιού είναι  $0,99\text{m} \times 11 = 10,89\text{m}$  μήκος και  $1,65\text{m} \times 2 = 3,3\text{m}$  πλάτος όπως φαίνεται και στο σχήμα



*Εικόνα*

*Προτεινόμενη διάταξη των ΦΒ στοιχείων*

Επειδή τα πάνελ τοποθετούνται με κλίση  $30^\circ$  από το έδαφος, δεν καταλαμβάνουν  $3,3\text{ m}$  αλλά όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα  $\gamma \cdot \cos\beta = 3,3 \cdot \cos 30 = 2,856\text{m}$



*Εικόνα Η γωνία τοποθέτησης των πάνελ*

Οπότε κάθε string θα καταλαμβάνει εμβαδό  $E=10,89m \times 2,856m=31.1m^2$

Όπως έχει ειπωθεί και παραπάνω, θα χρησιμοποιηθούν 194 συστοιχίες/τραπέζια τα οποία θα τοποθετηθούν σε 7 σειρές των 26 τραπεζιών έκαστη και 1 σειρά των 12 τραπεζιών. Η απόσταση μεταξύ των σειρών θα είναι 2,5m.

Κάθε σειρά θα έχει μήκος  $10.89m \times 26 = 283.15m$  και η τελευταία θα έχει μήκος

$$10.89m \times 12 \text{ τραπέζια} = 130.68m$$

Αρα η συνολική συστοιχία έχει εμβαδό:

$$283.15m \times (2.856m \times 7 + 2.5 \times 7) + 130.68m \times 2.856 = 10746.54m^2$$

Όπου 2,5m είναι η απόσταση μεταξύ των σειρών

Λαμβάνοντας υπόψη τους 22 αντιστροφείς καθώς και τον υποσταθμό που θα εγκατασταθεί μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι τελικά θα χρειαστεί μία έκταση  $12000 m^2$

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/608>
- [2] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/644>
- [3] <https://solareis.anl.gov/guide/solar/pv/index.cfm>
- [4] <https://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/>
- [5] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/534>
- [6] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/681>
- [7] <http://www.asteniksolar.com/products/modules/yingli/YL235P29b1650x990.pdf>
- [8] <https://files.sma.de/downloads/SC500CP-760CP-DEN1751-V23web.pdf>
- [9] ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ- ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ