

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ – ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΑΙ
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ**



**ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΑΧΑΒΙΩΛΟΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ – ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΣΠΕΓΚΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1	Εισαγωγή	7
1.2	Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1	Γενικά	14
2.2	Μύθοι και αλήθειες φωτοβολταϊκών	15
2.3	Κατηγορίες και περιοχές εφαρμογών φωτοβολταϊκών συστημάτων	24
2.4	Σύγκριση φωτοβολταϊκών συστημάτων με άλλες πηγές ενέργειας	28
2.4.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος	29
2.5	Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον	30
2.5.1	Περιβαλλοντικά οφέλη	31
2.6	Βασική λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος	33
2.7	Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	33
2.8	Τεχνολογία φωτοβολταϊκού κυττάρου – Πυρίτιο βασικό υλικό κατασκευής κυττάρου	34
2.8.1	Είδη ηλιακών κυψελών	35
2.9.	Υπολογισμός απόδοσης ηλιακής κυψέλης	39
2.9.1	Οι απώλειες στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων	40
2.10	Συνδεσμολογία συστοιχιών φωτοβολταϊκών πάνελ	41
2.10.1	Βοηθητικοί δίοδοι φωτοβολταϊκού συστήματος	42
2.10.2	Διατάξεις φωτοβολταϊκών κυττάρων πλαισίων	43
2.11	Βαθμός αυτονομίας φωτοβολταϊκών συστημάτων	44
2.12	Αντιστροφείας τάσης	45
2.12.1	Αντιστροφείας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (AC – DC converter)	46
2.12.2	Αντιστροφείς τάσης για συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα	46
2.12.3	Αντιστροφείς τάσης για αυτόνομα συστήματα	47
2.13	Συσσωρευτής (Μπαταρία)	48
2.13.1	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή	49
2.13.2	Διάρκεια ζωής συσσωρευτών	50
2.13.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας	52
2.13.4	Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας δεν είναι σταθερή	53
2.13.5	Τύποι μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων	54
2.13.6	Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτή	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

3.1	Αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας με σωστό προσανατολισμό πλαισίων	57
3.2	Προσανατολισμός των συλλεκτών	58
3.3	Τρόποι στήριξης συλλεκτών – Συστήματα παρακολούθησης ηλιοτροπίου (trackers)	59
3.3.1	Ηλιοτρόπιο με περιστροφή γύρω από ένα άξονα	62
3.3.2	Ηλιοτρόπιο με περιστροφή γύρω από δύο άξονες	65
3.4	Γενικά στοιχεία εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων με σύστημα παρακολούθησης ηλιοτροπίου	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

4.1	Γενικά στοιχεία	67
4.2	Λειτουργία συστήματος	69
4.3	Διάρκεια ζωής	73
4.4	Εγκαταστάσεις στην Ελλάδα	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΑΝΕΛ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

5.1	Σύγκριση της διαδικασίας συλλογής ηλιακής ενέργειας	76
5.2	Σύγκριση προσανατολισμού κυλινδρικών πάνελ – επίπεδα πάνελ πυριτίου	77
5.3	Σύγκριση συλλογής ενέργειας τις πρωινές και απογευματινές ώρες	78
5.4	Σύγκριση Νοτίου προσανατολισμού κυλινδρικού φωτοβολταϊκού πάνελ με επίπεδο πάνελ	79
5.5	Σύγκριση θερμοκρασίας κυλινδρικού πάνελ – επίπεδο πάνελ πυριτίου	79
5.6	Σύγκριση «σκονισμού» κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος – συμβατικό πάνελ πυριτίου	80
5.7	Συμπεριφορά σε ανέμους	81
5.8	Πλεονεκτήματα σε σύγκριση με επίπεδα πάνελ	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1	Οικονομοτεχνική μελέτη για εγκατάσταση και προμήθεια εξοπλισμού κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 8.6 Kw σε οικιακή στέγη 90 τ.μ.	83
6.1.2	Περιγραφή βημάτων εγκατάστασης κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος	83
6.1.3	Οικονομικά στοιχεία που προκύπτουν από την εγκατάσταση	88
6.1.4	Έκθεση Ενεργειακής Απόδοσης	89
6.2	Οικονομοτεχνική μελέτη για εγκατάσταση και προμήθεια εξοπλισμού φωτοβολταϊκού συστήματος επίπεδων πάνελ ισχύος 8.6 Kw σε οικιακή στέγη 90 τ.μ.	91

6.2.1	Περιγραφή βημάτων εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος επίπεδων πάνελ	92
6.2.2	Συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής απόδοσης φωτοβολταϊκών	95
6.2.3	Οικονομικά στοιχεία που προκύπτουν από την εγκατάσταση	95
6.2.4	Έκθεση Ενεργειακής Απόδοσης	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		98

Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια λόγω της παγκόσμιας πολιτικής, κοινωνικής και επιστημονικής ευαισθητοποίησης προς το περιβάλλον και τον πλανήτη η τεχνολογική πρόοδος έχει στραφεί στην ανάπτυξη αλλά και στην επέκταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Έχοντας ως στόχο λοιπόν, την χρησιμοποίηση ήπιων μορφών ενέργειας και την πράσινη ανάπτυξη έχουν δημιουργηθεί πανελλήνιες, πανευρωπαϊκές αλλά και παγκόσμιες συνεργασίες. Σκοπός τους είναι η εφαρμογή αλλά και η ανάπτυξη καινούργιων τεχνολογιών με θετικές συνέπειες στην εξέλιξη αλλά και στον ανταγωνισμό.

Οι καινούργιες αυτές τεχνολογίες αρχίζουν με τον καιρό να μπαίνουν σε εφαρμογή παραγκωνίζοντας τις μέχρι πρότινος, παρέχοντας καλύτερη απόδοση σε όλους τους τομείς.

Στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες έχει δοθεί μεγάλη βαρύτητα στον τομέα της έρευνας, ανάπτυξης και βελτίωσης της τεχνολογίας του βασικού κυττάρου μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, όπως βαρύτητα έχει δοθεί και στην τεχνολογία των βοηθητικών συστημάτων που συμπληρώνουν μια ολοκληρωμένη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Στην χώρα μας παρ' όλο που υπάρχει υψηλό ηλιακό δυναμικό, το δύσκολο θεσμικό περιβάλλον σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος τους περιορίζει το ενδιαφέρον των πολιτών για αυτή την τεχνολογία

Το παρών σύγγραμμα έχει ως στόχο να παρουσιάσει τον σχεδιασμό, την εξέλιξη αλλά και την εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στην σημερινή εποχή. Παράλληλα γίνεται μια μικρή αναφορά στις σημερινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρουσιάζονται ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με την ηλιακή ενέργεια και περιγράφονται (εκτός από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες) και τα συστήματα που συνεργάζονται για την δημιουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου (συσσωρευτές, αντιστροφείς τάσης κ.λ.π.).

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή κ. Καμπουρίδη Γεώργιο για την πολύτιμη συνδρομή του στην εκπόνηση της πτυχιακής, τους καθηγητές μας για την καθοδήγηση τους, τους συμφοιτητές και φίλους μας για τις στιγμές που περάσαμε μαζί καθ' όλη τη διάρκεια της σπουδαστικής μας πορείας και φυσικά τους γονείς μας για την συμπαράσταση που μας δείξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Η παρούσα πτυχιακή πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας.

Περίληψη

Η ηλιακή ενέργεια είναι πραγματικά μια τεράστια πηγή ενέργειας. Σε λιγότερο από μια ώρα η ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στη γη θα μπορούσε να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις για ένα χρόνο αν μπορούσε να αξιοποιηθεί.

Οι περισσότερες από τις άλλες μορφές Α.Π.Ε. εξαρτώνται από τον ήλιο. Η υδροηλεκτρική, η αιολική και ένα μέρος της ενέργειας των κυμάτων, οφείλονται στην ηλιακή ενέργεια, όπως η καλλιέργεια οργανικής ύλης για την παραγωγή ενέργειας (βιομάζα), η θερμική ενέργεια που δημιουργείται από τη διαφορά θερμοκρασίας στους ωκεανούς κ.α. Η εξάντληση των συμβατικών καυσίμων στις μέρες μας λόγω της απερίσκεπτης χρήσης τους, έχει κάνει επιτακτική την εύρεση νέων μορφών ενέργειας. Οι επιστήμονες έχουν στραφεί προς την αξιοποίηση όλο και περισσότερων Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας.

Στην εργασία αυτή, αναφερόμαστε σε μία από τις πολύ σημαντικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, στην ηλιακή ενέργεια, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Σε γενικές γραμμές παρουσιάζουμε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, την ερμηνεία του και τους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνισή του. Στη συνέχεια αναλύονται περαιτέρω τα βοηθητικά συστήματα τα οποία καθιστούν δυνατή την αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας. Επίσης περιγράφεται διεξοδικά η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών κυψελών και η διαδικασία συλλογής της ηλιακής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 3 και 4 παρουσιάζονται δύο τεχνολογίες αρχιτεκτονικής κατασκευής και εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Οι δύο τεχνολογίες που θα αναλύσουμε είναι η πλέον διαδεδομένη των επίπεδων πάνελ και στη συνέχεια εκείνη των κυλινδρικών συλλεκτών, όπου αποτελεί μία από τις πολλές προσπάθειες που γίνονται ως προς την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αλλά και την βελτίωση των ήδη υπάρχουσών τεχνολογιών. Στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των δύο τεχνολογιών.

Τέλος παρατίθεται μια οικονομοτεχνική μελέτη, όσο αναφορά και τις δύο τεχνολογίες, σχετικά με μια εγκατάσταση 8,6kW στην οροφή μιας οικιακής τάρτας, όπου περιλαμβάνει οικονομικά στοιχεία για την κατασκευή και την απόδοση μιας τέτοιας επένδυσης και ασφαλή συμπεράσματα από την σύγκρισή τους.

Κεφάλαιο 1

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα, που στις μέρες μας ονομάζουμε <<Ενεργειακή κρίση>>, έχει πολλές πτυχές. Πρώτα από όλα είναι πρόβλημα ενεργειακό, έχει να κάνει με την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας και με τον κίνδυνο να εξαντληθούν στις επόμενες δεκαετίες τα ενεργειακά διαθέσιμα της γης, με άμεση συνέπεια να διαταραχθεί επικίνδυνα η ισορροπία στο οικοσύστημα. Επίσης είναι πρόβλημα πολιτιστικό, αφού συνδέεται με την ικανοποίηση ενός διψασμένου για ενέργεια πολιτισμού, όπως είναι ο σημερινός. Είναι όμως και πρόβλημα κοινωνικό, γιατί οι ανάγκες σε ενέργεια είναι άνισα κατανομημένες στον πλανήτη.

Η εξάντληση των συμβατικών καυσίμων στις μέρες μας λόγω της απερισκεπτης χρήσης τους, έχει κάνει επιτακτική την εύρεση νέων μορφών ενέργειας. Καύσιμα όπως ο λιγνίτης που χρησιμοποιείται από την ΔΕΗ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαίου κίνησης (diesel) αλλά και θέρμανσης (μαζούτ) το φυσικό αέριο η πυρηνική ενέργεια κ.λ.π. είναι δεδομένο πως στα επόμενα χρόνια θα εξαλειφθούν είτε λόγω έλλειψης είτε λόγω οικονομικής βιωσιμότητας.

Βεβαίως οι επιστήμονες έχουν επισημάνει το πρόβλημα προ πολλού και έχουν στραφεί προς την αξιοποίηση όλο και περισσότερων Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας. Μέσω επιστημονικής έρευνας αλλά και με τη βοήθεια της τεχνολογικής προόδου πολλές από αυτές τις Α.Π.Ε. έχουμε καταφέρει να τις αξιοποιήσουμε.

Πριν προχωρήσουμε ας δούμε μερικά στοιχεία για τον ήλιο, τη σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και την ηλιακή ενέργεια που μας προσφέρει, αλλά και μια ιστορική αναδρομή για την φωτοβολταϊκή τεχνολογία που καθιστά δυνατή την αξιοποίησή της.

Ήλιος – Ηλιακή ενέργεια

Ο ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Είναι σχεδόν μια τέλεια σφαίρα με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές περισσότερο από τη γη), και η μάζα του (2×10^{30} κιλά) αποτελεί το 99.86% της μάζας του ηλιακού συστήματος. Ο ήλιος αποτελείται από διάφορα αέρια κυρίαρχα των οποίων είναι το υδρογόνο και το ήλιο και η θερμοκρασία που επικρατεί εκεί είναι τόσο μεγάλη ώστε να εξαερώνονται ακόμη και τα μέταλλα.

Η πλήρης σφαιρικότητα του ήλιου εξηγείται από τη βραδεία περιστροφή του. Ο χρόνος όμως αυτός δεν είναι σταθερός σε όλα τα σημεία της επιφάνειάς του. Καθώς ο ήλιος αποτελείται από πλάσμα και δεν είναι στερεός, περιστρέφεται γρηγορότερα στον ισημερινό του από ό,τι στους πόλους του. Από την οπτική και την φασματοσκοπική εξέταση του προκύπτει ότι η ηλιακή σφαίρα περιστρέφεται στον άξονα της από δυτικά προς ανατολικά και η περίοδος αυτής της πραγματικής περιστροφής είναι περίπου 25,6 ημέρες στον ισημερινό και 33,5 ημέρες στους πόλους.

Ο πυρήνας βρίσκεται στο κέντρο της ηλιακής σφαίρας και έχει διάμετρο περίπου 175.000 χλμ. Υπολογίζεται ότι στην περιοχή του κέντρου του η πυκνότητα της ηλιακής

ύλης είναι 70 με 150 φορές μεγαλύτερη του ύδατος ενώ η πίεση φθάνει τις 2×10^{11} ατμόσφαιρες (atm) με την θερμοκρασία περίπου σε ιονισμένη κατάσταση.

Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται είναι απίστευτη. Έχει προσδιοριστεί πως σε κάθε δευτερόλεπτο ο ήλιος εκπέμπει τόση ενέργεια όση θα έδινε μια έκρηξη 4 δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου των 100 μεγατόνων η κάθε μία. Ο ήλιος εκπέμπει εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια και θα συνεχίσει τουλάχιστον για άλλα τόσα.

Κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της ζωής του ήλιου, η ενέργεια παράγεται από τη πυρηνική σύντηξη μέσω μιας σειράς βημάτων που ονομάζεται p-p αλυσίδα (πρωτονίων – πρωτονίων). Αυτή η διαδικασία μετατρέπει το υδρογόνο σε ήλιο που παράγει σημαντική ποσότητα της θερμικής ενέργειας μέσω της σύντηξης. Πιο συγκεκριμένα μέσα στο 24% της ακτίνας του ήλιου, παράγεται το 99% της ισχύος και στο 30% της ακτίνας, η σύντηξη έχει σταματήσει σχεδόν πλήρως. Το υπόλοιπο του άστρου θερμαίνεται από την ενέργεια που μεταφέρεται προς τα έξω από τον πυρήνα και τα στρώματα λίγο έξω.

Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκών – Πρώτα φωτοβολταϊκά

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με την βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία έχουν ουσιαστικά την δυνατότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Alexandre Edmund Becquerel (Εντμόντ Μπεκερέλ) ο οποίος παρατήρησε ότι παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από συγκεκριμένες χημικές αντιδράσεις και το ηλιακό φως. Ένα παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και σε ένα στερεό στοιχείο το σελήνιο (Se) το 1876 όταν ο Adams και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1883 ο εφευρέτης Charles Fritts χρησιμοποίησε το σελήνιο για να κατασκευάσει το πρώτο λειτουργικό φωτοβολταϊκό κύτταρο. Ο Fritts επικάλυψε το ημιαγωγικό υλικό σελήνιο με μια πολύ λεπτή στρώση χρυσού σχεδόν διάφανη. Το αποτέλεσμα που παρατηρήθηκε ήταν η μετατροπή περίπου του 1% του απορροφημένου φωτός σε ηλεκτρισμό.

Όσο πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των φαινομένων αυτών έγινε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα με την ανάπτυξη της επιστήμης και της κβαντικής θεωρίας. Η ανάπτυξη της πρώτης στερεής συσκευής τη δεκαετία του 1940 άνοιξε το δρόμο για την ανακοίνωση της πρώτης ηλιακής κυψέλης πυριτίου με απόδοση 4% (1954).

Τα ηλιακά κύτταρα στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν σε διαστημικές εφαρμογές για να δίνουν ισχύ στους δορυφόρους των διαστημικών προγραμμάτων κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 50'. Τώρα χρησιμοποιούνται στη γη και κατασκευάζονται από διάφορες εταιρίες σε όλο τον κόσμο.

Τα πρώτα εργοστάσια που παρήγαγαν φωτοβολταϊκά πλαίσια προορισμένα για εμπορική χρήση άρχισαν να λειτουργούν στην δεκαετία του 1970. Σε αυτή την δεκαετία, έγιναν και οι πρώτες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων για εφαρμογές όπως η ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων χωριών και άντληση νερού. Χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Γαλλία και η Ιαπωνία ήταν από τις πρώτες που άρχισαν να εγκαθιστούν φωτοβολταϊκά συστήματα. Το πρώτο φωτοβολταϊκό σύστημα που εγκαταστάθηκε στην Ελλάδα ήταν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 100 kW στην Κύθνο, προϊόν κοινοπραξίας στην οποία συμμετείχε εκτός των άλλων και η ΔΕΗ Α.Ε.

Από τότε έχουν γίνει διάφορες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, είτε οικιακές είτε μεγαλύτερης κλίμακας στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως κυρίως γιατί οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας. Ονομαστικά μπορούμε να πούμε ότι η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι αξιόπιστη, δεν περιλαμβάνει κινούμενα μέρη και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι πολύ χαμηλό. Ακόμα η λειτουργία τους είναι αθόρυβη, δεν μολύνουν το περιβάλλον και η ενέργεια παράγεται εκεί που χρειάζεται χωρίς να είναι αναγκαίες γραμμές για τη μεταφορά της. Τέλος το κόστος των φωτοβολταϊκών ήδη ανταγωνίζεται με αυτό των μικρών μονάδων παραγωγής ενέργειας, όπως των γεννητριών πετρελαίου. Το μεγάλο μειονέκτημα τους είναι το υψηλό αρχικό κόστος τους.

Η ανθρωπότητα έχει εναποθέσει τις ελπίδες της στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε τις πιο διαδεδομένες από αυτές.

1.2 Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Όπως προαναφέραμε τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το κάρβουνο εξαντλούνται έτσι η ανάγκη για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Η υποστήριξη αυτής της ανάγκης γίνεται όλο και μεγαλύτερη καθώς η τεχνολογία των Α.Π.Ε., εκτός του ότι είναι ευεργετική, είναι και οικονομικά εφικτή. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ανεξάντλητες και χαμηλής ή μηδενικής οικονομικής αξίας πριν μετατραπούν σε χρήσιμες μορφές (ενέργειας). Ενώ το κόστος τους περιορίζεται μόνο από τη συσκευή που είναι απαραίτητη για τη συλλογή ενέργειας, όπως για παράδειγμα η κατασκευή δικτύου για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας.

Η προέλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η σημαντικότητά τους για την κάλυψη των υψηλών ανθρωπίνων αναγκών σε ενέργεια περιγράφεται παρακάτω.

Αιολική ενέργεια

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο, προκαλεί την κίνηση του ανέμου. Περίπου το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη, μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, η οποία υπολογίζεται σε 3,6 δις. MW, ενέργεια τεράστια συγκρινόμενη με τις ανάγκες της ανθρωπότητας. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες ανεμογεννήτριες με προηγμένη τεχνολογία, που παράγουν ηλεκτρισμό λειτουργώντας είτε αυτόνομα είτε συνδεδεμένες με ένα ευρύτερο δίκτυο. Η αιολική ενέργεια που είναι μια από τις πιο ελκυστικές μορφές ενέργειας, αναμένεται να αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο με την κατασκευή νέων ανεμογεννητριών, που θα μειώσουν το κόστος και θα κάνουν την αιολική ενέργεια ανταγωνιστική σε ακόμα περισσότερα μέρη.

Υδροηλεκτρική ενέργεια

Το νερό που τρέχει στα ποτάμια και τα ρυάκια προς τη θάλασσα, έχει κινητική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει έργο. Για χιλιάδες χρόνια, το χρησιμοποιούσαν για να γυρίζουν νερόμυλους που άλεθαν σιτάρι. Σήμερα το χρησιμοποιούμε για να παράγουμε ηλεκτρισμό. Για την καλύτερη εκμετάλλευση της

ενέργειας του νερού χτίζονται φράγματα, που δημιουργούν τεχνητές λίμνες και στις οποίες το νερό ανέρχεται σε μεγάλο ύψος, αποκτώντας με τον τρόπο αυτό δυναμική ενέργεια. Στη συνέχεια το νερό οδηγείται μέσα από αγωγούς και, αφού αποκτήσει μεγάλη κινητική ενέργεια με την πτώση από το μεγάλο ύψος, προσπίπτει στα πτερύγια υδροστροβίλων, που αναγκάζονται να περιστραφούν. Με την περιστροφή αυτή, στρέφονται οι γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες στον ίδιο άξονα και παράγεται έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90%, και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των μικροϋδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες ενεργειακής αποτελεσματικότητας και τεχνολογικής ωριμότητας των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά υδροηλεκτρικά εργοστάσια, που παράγουν το 10% περίπου της ενέργειας που καταναλίσκεται στη χώρα.

Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια, είναι η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η θερμότητα αυτή της γης προέρχεται από δύο πηγές, από την θερμότητα του αρχικού σχηματισμού της γης και από τη ραδιενεργό διάσπαση ασταθών στοιχείων που υπάρχουν στον φλοιό, όπως το ουράνιο, θόριο και πλουτόνιο. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το νερό για ιαματικούς σκοπούς ή για τη θέρμανση διάφορων εφαρμογών, όπως σπίτια, θερμοκήπια, πισίνες κλπ. Η πιο σημαντική ίσως εφαρμογή της γεωθερμίας είναι όμως για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στην Ελλάδα, η γεωθερμία χρησιμοποιείται για ιαματικούς σκοπούς και για τη θέρμανση θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Λέσβος, Θράκη κ.α). Το ζεστό νερό της γεωθερμίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ψύξη κτιρίων.

Βιομάζα

Η θέρμανση με ξύλα στο τζάκι, είναι ένα παράδειγμα χρησιμοποίησης της βιομάζας ως ενεργειακή πηγή. Σήμερα περίπου το 50% της γης μαγειρεύει με βιομάζα. Ως βιομάζα, θεωρείται γενικά η οργανική ύλη που μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια. Εκτός από τα ξύλα, στη βιομάζα συγκαταλέγονται τα αγροτικά υπολείμματα (κλαδιά δέντρων, υπολείμματα ξυλείας, υπολείμματα σιτηρών, το πυρηνόξυλο της ελιάς, κλπ) και τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης, είναι δυνατόν να παράγουμε χρήσιμα καύσιμα (βιοαέριο), από την μετατροπή των στερεών αποβλήτων, των αποβλήτων των ζώων και από τα υγρά απόβλητα. Η βιομάζα αποτελείται κυρίως από ενώσεις, που βασικά στοιχεία έχουν τον άνθρακα και το υδρογόνο. Στη χώρα μας, 10εκατ. στρέμματα γης, έχουν ήδη ή προβλέπεται να περιθωριοποιηθούν και να εγκαταλειφθούν. Εάν η έκταση αυτή αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, η καθαρή ωφέλεια σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται, είναι περίπου στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου.

Κυματική ενέργεια

Οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, και μπορεί να αποτελέσουν μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή κινητικής

ενέργειας που λαμβάνεται από τα κύματα, τις παλίρροιες, τα θαλάσσια ρεύματα, καθώς και τη μορφή θερμικής ενέργειας, που λαμβάνεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών.

- **Ενέργεια από κύματα:**

Η ενέργεια που περικλείουν τα κύματα, η οποία ακόμα αποτελεί αντικείμενο έρευνας και πειραματισμού για τον ικανοποιητικό τρόπο αξιοποίησης της, αποτελεί μια άλλη μορφή ενέργειας, που έμμεσα οφείλεται στον ήλιο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος και το μήκος ενός κύματος, τόσο μεγαλύτερα ποσά ενέργειας μεταφέρει.

- **Ενέργεια από την παλίρροια:**

Η παλίρροια, δηλαδή το να αποσύρεται η θάλασσα (άμπωτη) και μετά από ορισμένες ώρες, να επιστρέφει (πλημμυρίδα), αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας. Οι παλίρροιες, οφείλονται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από το πεδίο βαρύτητας, καθώς και από την περιστροφή της γης. Διαρκούν για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σήμερα, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας και περιβαλλοντικούς, το ενδιαφέρον γι' αυτή τη μορφή ενέργειας είναι έντονο. Το κόστος των εγκαταστάσεων παλιρροϊκής ενέργειας είναι πολύ μεγάλο. Εντούτοις, μακροπρόθεσμα θεωρείται μια ενδιαφέρουσα επένδυση επειδή οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, όπως επίσης και το γεγονός ότι δεν υπάρχει κόστος καυσίμου και δεν δημιουργούνται καυσαέρια.

- **Θερμική ενέργεια από τους ωκεανούς:**

Εκεί όπου υπάρχουν θαλάσσια ρεύματα από τους πόλους προς τον ισημερινό, και όπου ο ήλιος, μεταφέροντας μεγάλα ποσά θερμότητας, θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και 25οC. Στις τροπικές περιοχές, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και βάθους 600 μέτρων, μπορεί να φθάνει τους 20οC. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μια εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας σε ορισμένες περιοχές του κόσμου.

- **Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα:**

Αυτά αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο όμως για να αξιοποιηθεί, απαιτεί εξελιγμένη τεχνολογία, έρευνα και μελέτη. Προς το παρόν έχουν εκπονηθεί πειραματικά σχέδια για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας, με την αγκυροβόληση γιγαντιαίων, χαμηλής ταχύτητας τουρμπίνων, σε διάφορες περιοχές των Η.Π.Α. αξιοποιώντας το θαλάσσιο ρεύμα του Γκολφ-Στρημ.

Ηλιακή ενέργεια

Η μέση απόσταση του ήλιου από τη γη, είναι $149,6 \times 10^6$ km (το μήκος αυτό αντιστοιχεί σε μία αστρονομική μονάδα 1AU). Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των 300.000 km/s, απαιτούνται περίπου 8,5 min. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Αυτές μετατρέπουν κάθε δευτερόλεπτο 564 εκατομμύρια τόνους υδρογόνου. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια.

Υπολογίζεται ότι από την μετατροπή 1g υδρογόνου, σε ήλιο, παράγεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5$ kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά και με σωματιδιακή μορφή, η οποία δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευράς ενεργειακής εκμετάλλευσης. Πιο συγκεκριμένα η ηλιακή ενέργεια που εκπέμπεται σε 20min, είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνει, ο πληθυσμός της γης, σε έναν ολόκληρο χρόνο.

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στην μέση απόσταση πλανήτη - ήλιου σε ένα ηλιακό σύστημα, η ηλιακή σταθερά της γης είναι 1367 W/m^2 . Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταδίδεται με την μορφή διακεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα φωτός. Το φωτόνιο έχει ενέργεια ίση με:

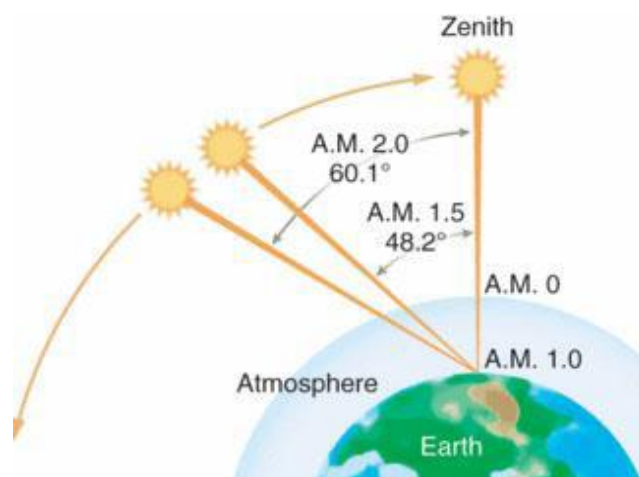
$$E = h \cdot f = p \cdot c$$

όπου με h συμβολίζεται η σταθερά του Πλανκ,
 με f η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος,
 με p η ορμή του φωτονίου και
 με c η ταχύτητα του φωτός.

Η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, που φθάνει στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται από το υψόμετρο, τη γεωγραφική θέση, την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και τη θέση του ήλιου στον ουρανό. Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας, χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται μάζα αέρα, έχει τον συμβολισμό AM (air mass). Το μήκος της αέριας μάζας, αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γης, ισούται με το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας δια του συνημίτονου της ζενιθιακής γωνίας, θ_z , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει η ευθεία γη - ήλιος με την κατακόρυφο (ζενίθ) στο συγκεκριμένο σημείο.

Air Mass

$$AM = \frac{1}{\cos Z}$$



Εξάρτηση της μάζας αέρα (AM) από την θέση του ήλιου

Η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει, πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, συγκρίσει με την κατακόρυφη διαδρομή της. Συγκεκριμένα, ως AM1 συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας από τα ζενίθ, ως AM2 με τον ήλιο σε γωνία 60° κ.ο.κ. Το μηδέν της κλίμακας (AM0), συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο. Πιο συγκεκριμένα:

Τιμή μάζας - αέρα	Συμβατικές Συνθήκες	Ισχύς	Μέση ενέργεια των φωτονίων
AM0	Στο διάστημα έξω από την ατμόσφαιρα	$1350 \text{ W} / \text{m}^2$	1,48eV
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	$1060 \text{ W} / \text{m}^2$	1,32eV
AM2	Απόσταση του ήλιου 60° , από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση στην επιφάνεια της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	$880 \text{ W} / \text{m}^2$	1,38eV
AM3	Απόσταση του ήλιου $70,5^{\circ}$ από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση στην επιφάνεια της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	$750 \text{ W} / \text{m}^2$	1,21eV

Κεφάλαιο 2

Φωτοβολταϊκά συστήματα

2.1 Γενικά

Γενικά, ο όρος ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνει όλη την ενέργεια που φτάνει στη γη από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια χωρίζεται σε δύο τύπους χρήσης, την ηλιακή θέρμανση και το ηλιακό ρεύμα. Η σημαντικότερη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ο ηλιακός ηλεκτρισμός. Αυτός ο ηλεκτρισμός παράγεται απευθείας από το ηλιακό φως με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Τα περισσότερα ηλιακά κύτταρα φτιάχνονται από ένα είδος πυριτίου.

Η λέξη ‘φωτοβολταϊκά’ αναφέρεται σε μια ηλεκτρική τάση που προκαλείται από το φως. Καθώς το ηλιακό φως εκπέμπεται στην επιφάνεια του πυριτίου, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από μια διαδικασία που είναι γνωστή ως *φωτοβολταϊκό φαινόμενο*. Μεμονωμένα τα ηλιακά κύτταρα μπορούν να συγκριθούν με μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ράδιο και σε άλλες μικροσυσκευές σε αυτές μόνο που παράγουν χαμηλή τάση συνεχούς ρεύματος. Κάθε ηλιακό κύτταρο πυριτίου παράγει περίπου 0.5-0.6V. Έτσι όπως χρειάζονται αρκετές μπαταρίες τα ράδιο και τα κασετόφωνα για να αυξήσουν την τάση τους, έτσι και τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους (σε συστοιχίες) για να παράγουν υψηλότερη τάση που είναι περισσότερο χρήσιμη.

Συνδεδεμένα κατά αυτόν τον τρόπο, πολύ συχνά ονομάζονται *ηλιακά πλαίσια* αλλά τα ονόματα που χρησιμοποιούνται από τους προμηθευτές είναι συνήθως *υπομονάδες ηλιακού κυττάρου*, ή *φωτοβολταϊκές υπομονάδες*. Μόνα τους τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ή αλλιώς “ηλιακά κύτταρα” ενώνονται ηλεκτρικά για να σχηματίσουν φωτοβολταϊκές υπομονάδες, που είναι οι οικοδομικοί λίθοι των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η υπομονάδα είναι η μικρότερη φωτοβολταϊκή υπομονάδα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει σημαντικό ποσό φωτοβολταϊκής ενέργειας και κατασκευάσθηκε με διαφορετικές ηλεκτρικές αποδόσεις που κυμαίνονται από μερικά watts ως και περισσότερα από 100 watts συνεχούς ρεύματος (DC).

Οι υπομονάδες μπορούν να συνδέονται σε φωτοβολταϊκές διατάξεις για να τροφοδοτούν μία ευρεία ποικιλία ηλεκτρικού εξοπλισμού. Δύο βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών τεχνολογιών που είναι διαθέσιμοι εμπορικά είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο και η λεπτή μεμβράνη. Όσον αφορά την τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου, κάθε ένα κύτταρο είναι κομμένο σε μεγάλα μονά κρύσταλλα ή σε ράβδους από κρυσταλλικό πυρίτιο. Στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών του άμορφου πυριτίου, το υλικό των φωτοβολταϊκών είναι τοποθετημένο σε γυαλί ή σε λεπτό μέταλλο που μηχανικά υποστηρίζει το κύτταρο ή την υπομονάδα.

Επιπροσθέτως, χρησιμοποιούνται επίσης οι συνώνυμοι όροι: *ηλιακό στοιχείο*, *κυψελίδα* ή *κυψέλη*. Στις φωτοβολταϊκές υπομονάδες, η σύνθεση που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να συμπεριλαμβάνει έναν ελεγκτή της φορτιζόμενης μπαταρίας, μπαταρίες, έναν μετατροπέα συνεχούς-εναλλασσόμενης τάσης ή μονάδα προσαρμογής ηλεκτροπαραγωγής PCU-power conditioning unit (για εναλλακτική-συνεχή φόρτιση), διακόπτες ασφαλείας και ηλεκτρικές ασφάλειες, ηλεκτρικό κύκλωμα εδάφους και ηλεκτρικές συνδέσεις.

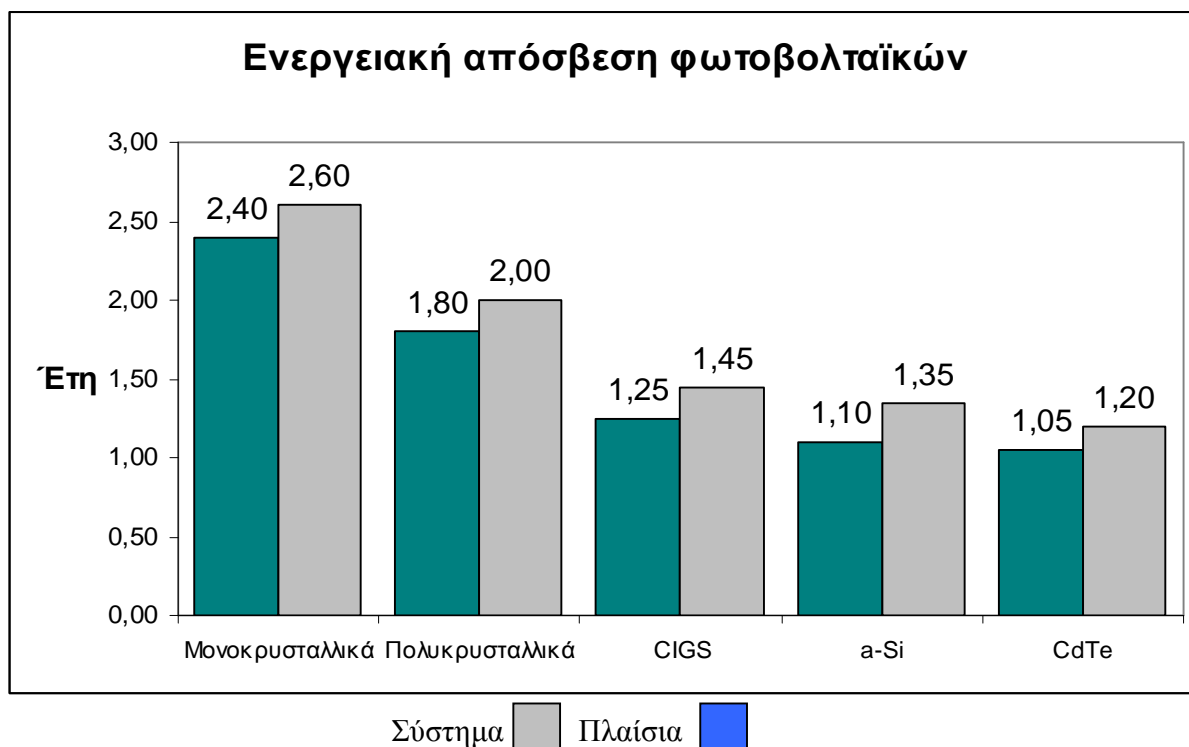
2.2 Μύθοι και αλήθειες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Καθώς διαδίδεται και εφαρμόζεται όλο και περισσότερο η φωτοβολταϊκή τεχνολογία δημιουργούνται διάφοροι μύθοι και αλήθειες σχετικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Προτού προχωρήσουμε καλό θα ήταν να ρίξουμε μια ματιά σε κάποιους μύθους οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί γύρω από αυτά.

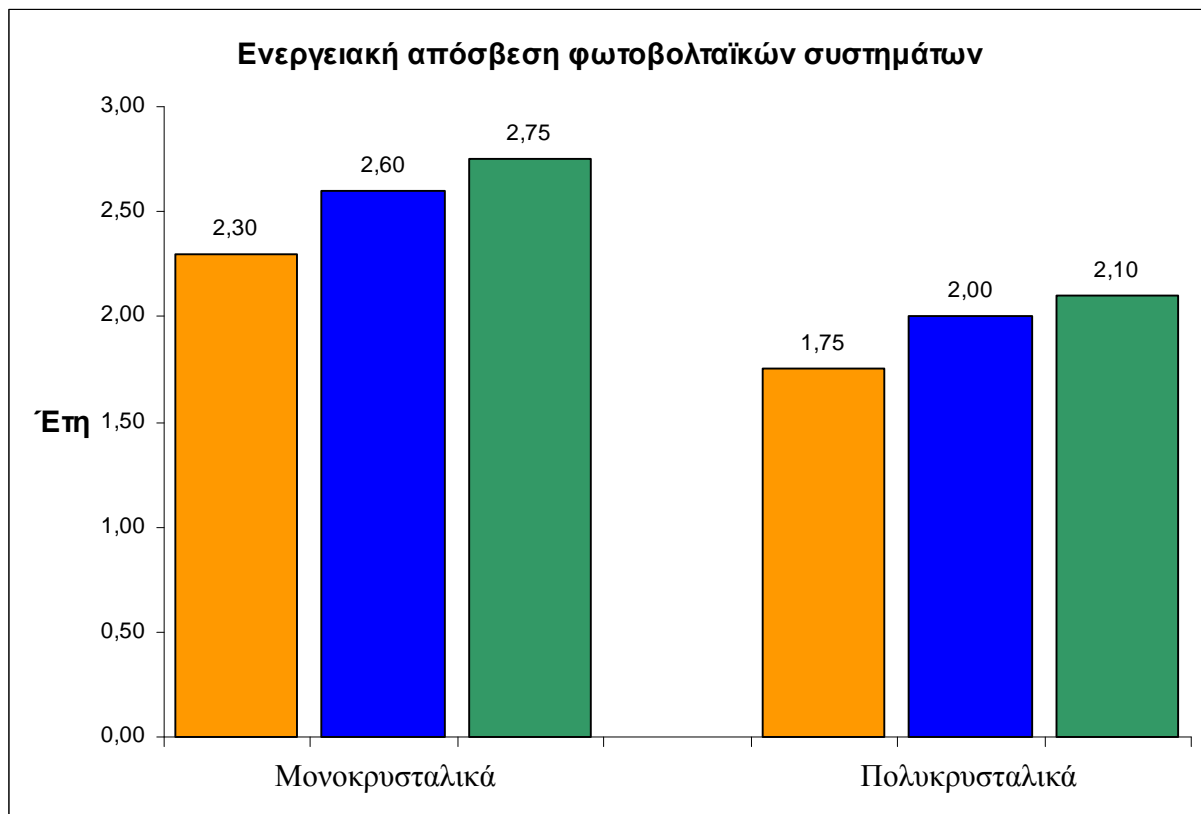
ΜΥΘΟΣ 1

“Καλά τα φωτοβολταϊκά, αλλά η ενέργεια που παράγουν στην ωφέλιμη ζωή τους είναι λιγότερη από την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή τους”

Όσο και να ψάξει κανείς σε διεθνή βιβλιογραφία, δεν θα μπορέσει να εντοπίσει ένα σοβαρό επιστημονικό κείμενο που να επαληθεύει αυτόν τον μύθο. Ακόμη και πριν από δεκαετίες, όταν η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών δεν ήταν τόσο αναπτυγμένη, δεν ίσχυε κάτι τέτοιο. Φυσικά αληθεύει πως κάποτε η ενεργειακή απόσβεση των φωτοβολταϊκών απαιτούσε αρκετά χρόνια αλλά αυτό δεν ισχύει σήμερα. Τα παρακάτω διαγράμματα δίνουν τους χρόνους ενεργειακής απόσβεσης διάφορων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών με βάση τις σημερινές παραγωγικές διαδικασίες και τις ελληνικές συνθήκες ηλιοφάνειας. Να επισημάνουμε ότι, πρώτον, οι χρόνοι αυτοί βαίνουν διαρκώς μειούμενοι και, δεύτερον, ο χρόνος ωφέλιμης ζωής ενός φωτοβολταϊκού είναι πάνω από 20 χρόνια.



Προφανώς, οι χρόνοι ενεργειακής απόσβεσης μεταβάλλονται από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με την επικρατούσα ηλιοφάνεια. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι διαφορές αυτές για την περίπτωση των κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών σε περιοχές της Ελλάδας με υψηλή (1.450 kWh/kWp - έτος), μέση (1.275 kWh/kWp-έτος) και χαμηλή ηλιοφάνεια (1.200 kWh/kWp-έτος). Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση της International Energy Agency, η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (πλαίσια συν παρελκόμενος εξοπλισμός) είναι κατά μέσο όρο 2.525 kWh/kWp για πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά και 3.308 kWh/kWp για μονοκρυσταλλικά.



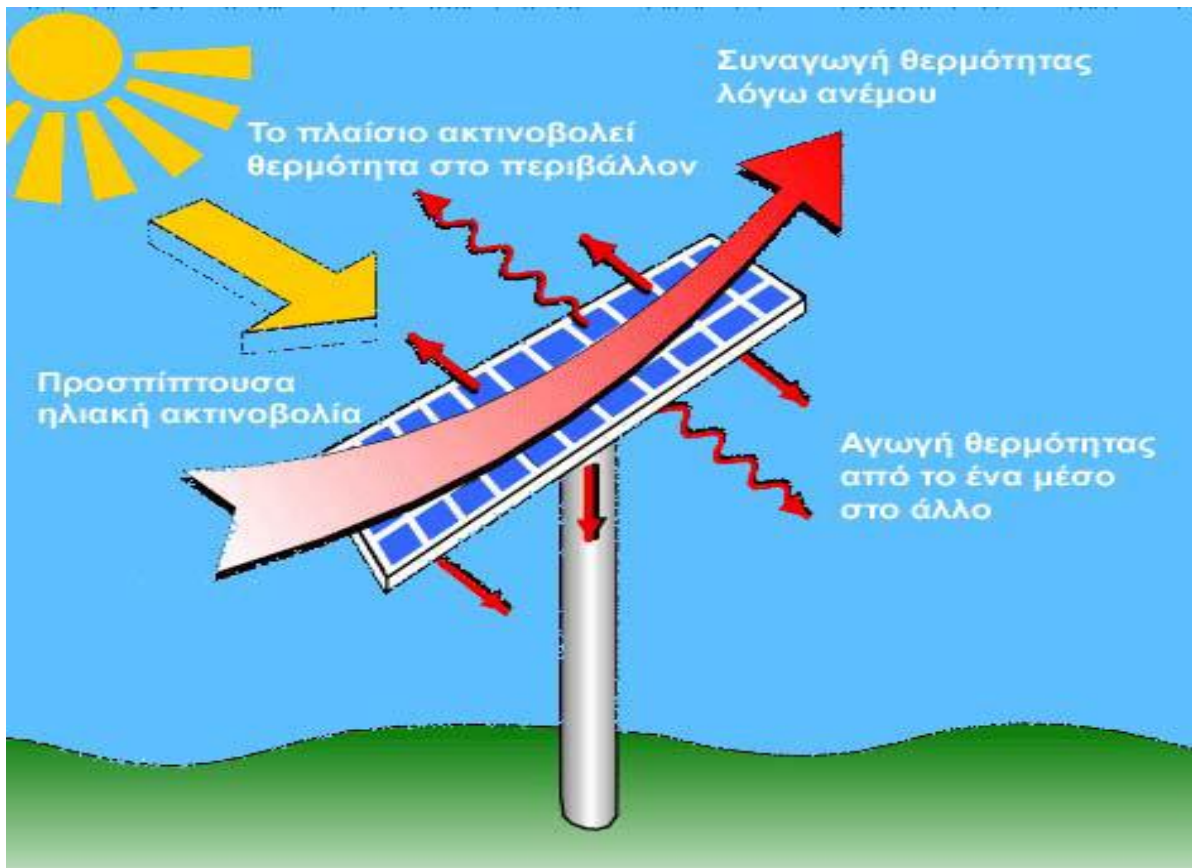
Ηλιοφάνεια
Χαμηλή - Μέση - Υψηλή

ΜΥΘΟΣ 2

“Καλά τα φωτοβολταϊκά, αλλά έχουμε μεγάλη αύξηση θερμοκρασίας στις περιοχές γύρω από φωτοβολταϊκά πάρκα”

Σύμφωνα με τους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής, τα φωτοβολταϊκά απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία την οποία μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Προκειμένου να απορροφήσουν τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν σκουρόχρωμη επιφάνεια η οποία μάλιστα καλύπτεται από μία

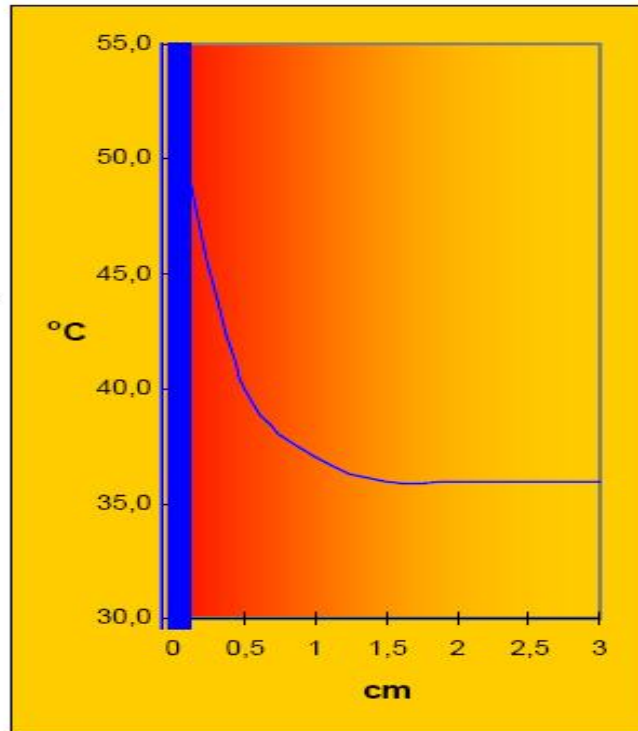
αντιανακλαστική επιφάνεια για να παγιδεύεται η ηλιακή ακτινοβολία. Αποτέλεσμα είναι βέβαιο ότι αυξάνεται η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με τον περιβάλλοντα αέρα. Τις μεσημεριανές ώρες του καλοκαιριού που έχουμε έντονη ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του πλαισίου μπορεί να είναι περί τους 50-60 °C. Τι γίνεται αυτή λοιπόν αυτή η θερμότητα; Προφανώς διαχέεται στο περιβάλλον και μάλιστα με τρεις διαφορετικούς τρόπους: με ακτινοβολία, με συναγωγή λόγω ανέμων και με αγωγή από μέσο σε μέσο (π.χ. μέσω των βάσεων στήριξης). Έτσι, η μέση θερμοκρασία του πλαισίου στη διάρκεια του 24ώρου παραμένει ελάχιστα υψηλότερη απ' αυτή του περιβάλλοντα αέρα ακόμη και τις ζεστότερες μέρες του χρόνου.





Θερμοκρασία περιβάλλοντος 36°C

Θερμοκρασία πλαισίου 53°C



Το αμέσως επόμενο ερώτημα είναι αν αυτή η θερμότητα που φεύγει από τα πλαίσια μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, για τον απλό λόγο ότι η μάζα του αέρα είναι πρακτικά άπειρη σε σχέση με τη μάζα των φωτοβολταϊκών και είναι αδύνατο να αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα σε κάποια απόσταση από τα πλαίσια. Για την ακρίβεια, μόλις 1-2 εκατοστά από την επιφάνεια των πλαισίων, η θερμοκρασία είναι αυτή του περιβάλλοντος.

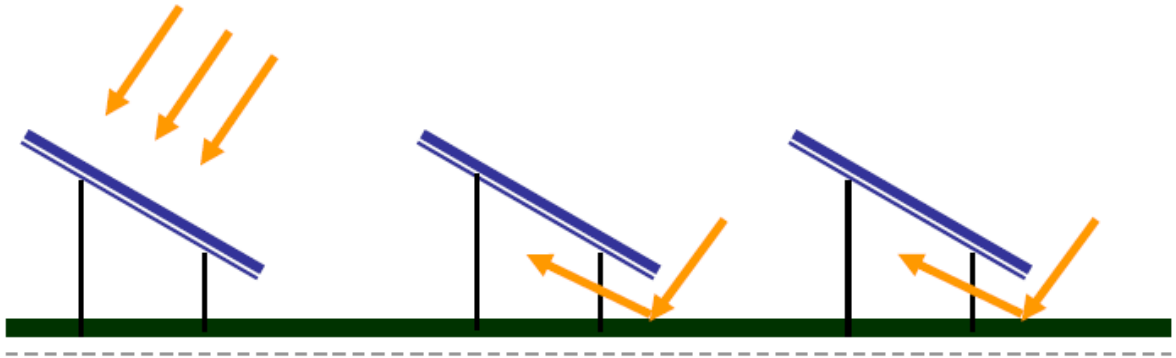
ΜΥΘΟΣ 3

“Καλά τα φωτοβολταϊκά, αλλά, όταν τα τοποθετούμε σε χωράφια, σκιάζουν τη φυσική βλάστηση με αποτέλεσμα να ευνοούνται φωτόφοβα είδη που απορροφούν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα. Με αυτό τον τρόπο, τα φωτοβολταϊκά συμβάλλουν τελικά σημαντικά στις κλιματικές αλλαγές”

Ένα κιλοβάτ (kWp) φωτοβολταϊκών σκιάζει περίπου 6 m² εδάφους (προβολή φωτοβολταϊκών στο οριζόντιο επίπεδο). Υποθέτουμε ότι η επιφάνεια αυτή δεν απορροφά πλέον καθόλου CO² (πράγμα απίθανο, αλλά ας συνεχίσουμε με αυτή την ακραία υπόθεση). Σύμφωνα με μελέτες, τα εδάφη με χαμηλή βλάστηση (τυπική περίπτωση φωτοβολταϊκών πάρκων) απορροφούν περί τα 0,045-1,23 Kg CO²/m²-έτος. Δεδομένου ότι ένα φωτοβολταϊκό στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο 1.300 kWh/kWp-έτος, τα παραπάνω νούμερα αντιστοιχούν σε 0,2-5,7 g CO²/kWh.

Με άλλα λόγια, ακόμη κι αν κάνουμε την παράλογη υπόθεση ότι το έδαφος κάτω από τα φωτοβολταϊκά παύει να απορροφά CO², το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των

φωτοβολταϊκών επιβαρύνεται με μόλις 0,2-5,7 g CO^2 /kWh, ποσότητα αμελητέα συγκρινόμενη με τα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα. Φυσικά, η αρχική υπόθεση που κάναμε δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και τα πράγματα είναι σημαντικά καλύτερα, αφού σε καμία περίπτωση δεν εμποδίζεται η ηλιακή ακτινοβολία από το να φτάσει στο έδαφος (ακόμη και κάτω από τα φωτοβολταϊκά τα οποία απέχουν από το έδαφος κατ' ελάχιστον 60-80 cm).



Επειδή μία εικόνα ισοδυναμεί με χίλιες λέξεις, οι παρακάτω φωτογραφίες αποτελούν αδιάψευστο μάρτυρα ότι ούτε η δυνατότητα βλάστησης, ούτε το έδαφος, ούτε φυσικά η απορρόφηση CO^2 επηρεάζονται ουσιαστικά από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών, ανεξαρτήτως μεγέθους και ισχύος του σταθμού.



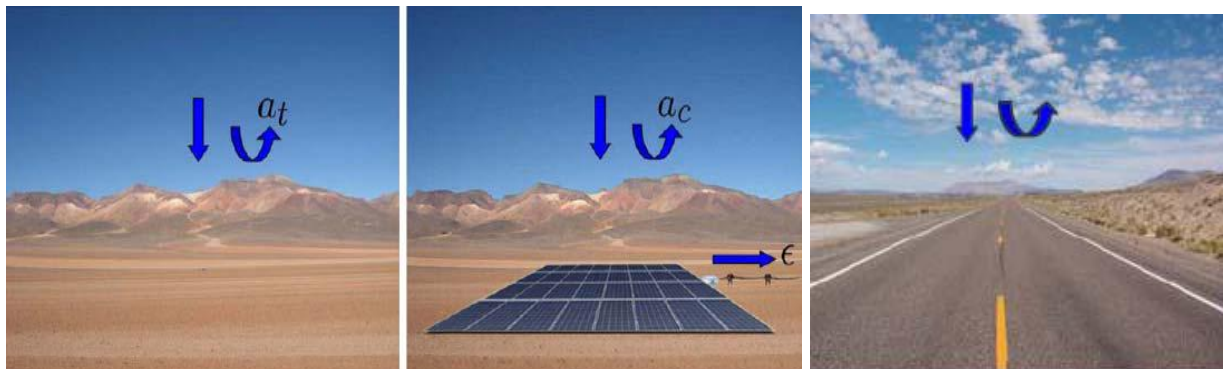


Για λόγους σύγκρισης, να σημειώσουμε επίσης πως, σήμερα, 230.000 στρέμματα στην Περιφέρεια Δ. Μακεδονίας καταλαμβάνονται από λιγνιτικούς σταθμούς και λιγνιτωρυχεία, τα οποία έχουν υποκαταστήσει αγροτικές, χορτολιβαδικές και δασικές εκτάσεις, μειώνοντας έτσι τη δυνατότητα απορρόφησης CO_2 από τις εκτάσεις αυτές.

ΜΥΘΟΣ 4

“Καλά τα φωτοβολταϊκά, αλλά προκαλούν αλλαγές στο ποσοστό ανάκλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο σημαντικά στις κλιματικές αλλαγές”

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συνεπάγεται αλλαγές στο ποσοστό ανάκλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, με άλλα λόγια αλλάζει η λευκαύγεια (albedo) το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος του γηπέδου εγκατάστασης. Όσο μειώνεται η λευκαύγεια (όσο πιο σκούρα είναι δηλαδή μια επιφάνεια), τόσο περισσότερη ακτινοβολία παραμένει στην επιφάνεια και συνεπώς ενδυναμώνεται ο μηχανισμός που προκαλεί την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης (temperature forcing). Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών, ο μηχανισμός αυτός είναι κυρίως έμμεσος, αφού ένα μέρος της απορροφούμενης ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και στη συνέχεια μεταφέρεται στην κατανάλωση όπου μετασχηματίζεται και πάλι εμμέσως σε θερμότητα μέσω των τελικών χρήσεων.



Τα πάντα βέβαια είναι θέμα μεγέθους και κλίμακας. Κατ' αρχήν να σημειώσουμε ότι η διαφορά στη λευκαύγεια μεταξύ του εδάφους και των φωτοβολταϊκών δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη (η μέση λευκαύγεια του εδάφους είναι 0,20, ενώ η λευκαύγεια των

φωτοβολταϊκών είναι 0,037-0,14). Οι διαφοροποιήσεις είναι συνεπώς οριακές. Δεύτερον, μιλάμε για αλλαγές σε σχετικά μικρές επιφάνειες, γεγονός που δεν μπορεί να επηρεάσει το κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα. Δεδομένου ότι η λευκαύγεια των φωτοβολταϊκών είναι παραπλήσια της λευκαύγειας της ασφάλτου (0,05-0,10), το αποτέλεσμα στην αύξηση της θερμοκρασίας από την εγκατάσταση ενός μεγαβάτ (MWp) φωτοβολταϊκών (σε ότι αφορά τις αλλαγές που σχετίζονται με τη λευκαύγεια και το temperature forcing) ισοδυναμεί με ένα αυτοκινητόδρομο μήκους 300 μέτρων. Ενώ όμως στον αυτοκινητόδρομο κινούνται οχήματα που εκλύουν αέρια του θερμοκηπίου και θερμότητα, κάθε μεγαβάτ φωτοβολταϊκών αποτρέπει ετησίως την έκλυση περίπου 1.300 τόνων CO₂ (το ισοδύναμο 650 μέσων αυτοκινήτων), συμβάλλοντας σημαντικά στην αποτροπή των κλιματικών αλλαγών.

ΜΥΘΟΣ 5

“Καλά τα φωτοβολταϊκά, αλλά στοιχεία από τα οποία αποτελούνται τα φωτοβολταϊκά πάνελς όπως το πυρίτιο, ο μόλυβδος των συγκολλήσεων, τα ίχνη βαρέων μετάλλων που υπάρχουν στους αντιστροφείς κ.α., είναι τοξικά και σε περίπτωση ατυχήματος, πυρκαγιάς, έντονων καιρικών φαινομένων, θραύσης, εγκατάλειψης για οποιοδήποτε λόγο, κ.λπ, θα υπάρξει μετά βεβαιότητας διασπορά βλαβερών στοιχείων στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα”

Το πυρίτιο, όχι μόνο δεν είναι τοξικό στο νερό, αλλά χρησιμοποιείται και για τον καθαρισμό του. Πέρα από τα αμμοδιυλιστήρια που είναι ευρέως γνωστά, οι πιο σύγχρονες τεχνικές απολύμανσης του νερού κάνουν χρήση μικροσωματιδίων διοξειδίου του πυριτίου πάνω στα οποία επικάθονται μικροοργανισμοί και τοξικές ουσίες που απομακρύνονται έτσι από το νερό. Κατ’ αυτό τον τρόπο μειώνεται η χρήση χημικών απολυμαντικών όπως το χλώριο. Το πυρίτιο αποτελεί επίσης βασικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής και βρίσκεται σε αφθονία στην μπύρα. Μεταξύ άλλων, ενισχύει τα οστά και δρα αποτρεπτικά στην εμφάνιση της νόσου Alzheimer, μειώνοντας τη δράση του αργιλίου που θεωρείται ότι συνεισφέρει στην πιθανότητα εμφάνισης της νόσου αυτής.

Τα εν δυνάμει βλαβερά ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα φωτοβολταϊκά (π.χ. μόλυβδος) βρίσκονται σε μικρές ποσότητες (0,5-5 γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο πλαισίου), ενθυλακωμένα σε πολλαπλές στρώσεις προστατευτικών υλικών και δεν απελευθερώνονται υπό ομαλές συνθήκες στο περιβάλλον καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής και λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Όταν παύσει η λειτουργία του φωτοβολταϊκού πάρκου, ο εξοπλισμός θα πάει για ανακύκλωση. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια υφίστανται δοκιμές σε εξειδικευμένα εργαστήρια και πιστοποιούνται για αντοχή σε ακραίες συνθήκες, υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία, χαλαζόπτωση, πιέσεις, ελκυσμούς και ταλαντώσεις. Δεν υπάρχει συνεπώς θέμα διαρροής οποιασδήποτε ουσίας λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων. Δεν έχουν καταγραφεί πυρκαγιές σε φωτοβολταϊκά πάρκα και αρμόδιες πυροσβεστικές υπηρεσίες σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα φωτοβολταϊκών πάρκων θεωρούν το ενδεχόμενο αυτό εξαιρετικά απίθανο. Η πτώση κεραυνού μπορεί μεν να καταστρέψει κάποια πλαίσια και να τα καταστήσει μη λειτουργικά, δεν οδηγεί όμως σε εκδήλωση πυρκαγιάς. Αν για οποιοδήποτε λόγο επέλθει θραύση του προστατευτικού γυαλιού (π.χ. από πυροβολισμό

ή πτώση κεραυνού), λόγω των πολλαπλών προστατευτικών στρώσεων, δεν έχουμε αποκόλληση κομματιών γυαλιού ή ηλιακών στοιχείων.

ΜΥΘΟΣ 6

“Καλά τα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου, αλλά τα νέας τεχνολογίας φωτοβολταϊκά είναι καρκινογόνα”

Καθώς αναπτύσσεται η αγορά των φωτοβολταϊκών, ολοένα και περισσότερα νέα προϊόντα μπαίνουν στην κυκλοφορία. Κάποια από τα προϊόντα αυτά βασίζονται σε νέες τεχνολογίες, διαφορετικές από την κλασική τεχνολογία των φωτοβολταϊκών κρυσταλλικού πυριτίου. Μία από τις τεχνολογίες αυτές είναι η τεχνολογία φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου (thin film) τελλουριούχου καδμίου (CdTe).

Η ονομασία και μόνο βέβαια παραπέμπει στο κάδμιο, μία ουσία που είναι αναγνωρισμένη ως καρκινογόνος. Μήπως λοιπόν υπάρχει πρόβλημα για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία από τη χρήση αυτών των προϊόντων; Τα φωτοβολταϊκά είναι κατά γενική ομολογία μία καθαρή τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον. Μήπως η εισαγωγή νέων τεχνολογιών απειλεί να αμαυρώσει αυτή την έξωθεν καλή μαρτυρία; Το ερώτημα αφορά εμμέσως και άλλες τεχνολογίες thin film, τα CIS και CIGS, τα οποία επίσης περιέχουν μία λεπτή στρώση με ενώσεις καδμίου.

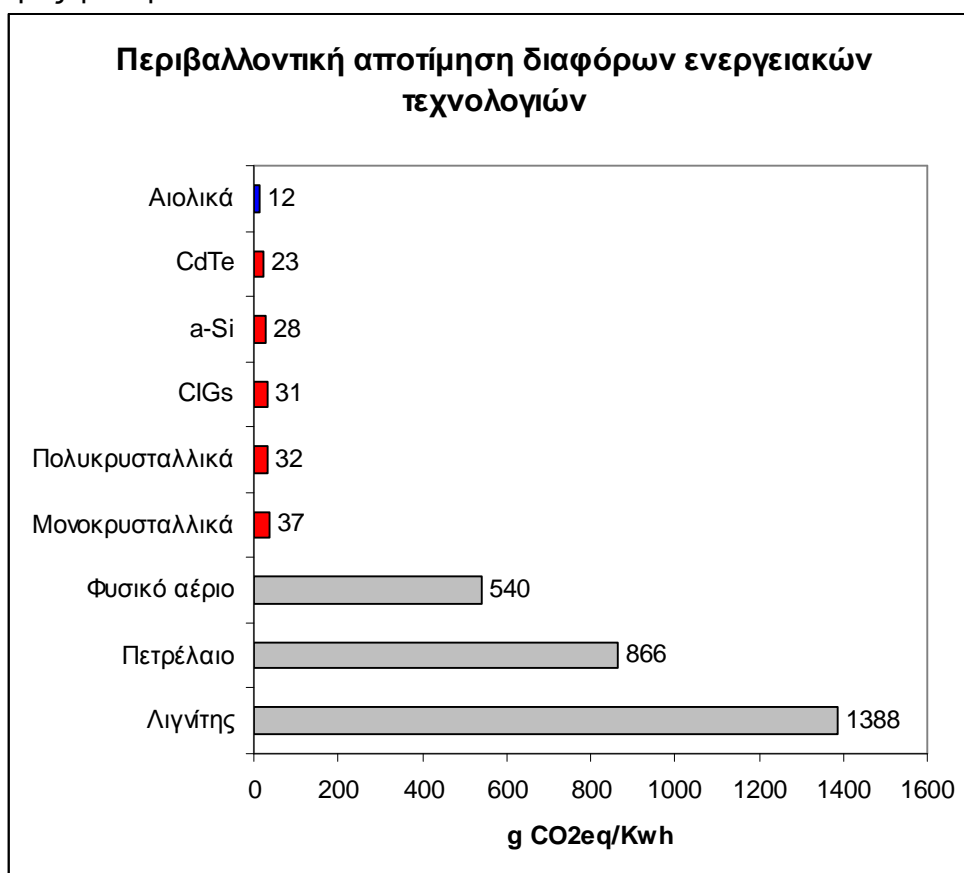
Τα ερωτήματα αυτά ακούγονται κατ' αρχήν λογικά και θεμιτά. Και προφανώς ετέθησαν και υπόψη των αρμοδίων αρχών όταν πριν από λίγα χρόνια έπρεπε να αποφασίσουν αν θα επιτρέψουν ή όχι την κυκλοφορία τέτοιων προϊόντων. Εκλήθησαν λοιπόν πολλοί αξιόπιστοι επιστημονικοί φορείς να γνωμοδοτήσουν για την επικινδυνότητα ή μη των φωτοβολταϊκών CdTe. Μεταξύ των φορέων αυτών συγκαταλέγονται το Brookhaven National Laboratory (BNL) και το National Renewable Energy Laboratory των ΗΠΑ, το Κέντρο Ερευνών της ΕΕ στην Ispra της Ιταλίας, τα γερμανικά Ινστιτούτα Fraunhofer και GSF Χημικής Οικολογίας, το Γερμανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος, αλλά και πολλά πανεπιστήμια.

Η ομόφωνη γνώμη των παραπάνω φορέων είναι πως, όχι μόνο δεν τίθεται θέμα επικινδυνότητας από τη χρήση φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe, αλλά η ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων αυτών έδειξε πως υπερτερούν περιβαλλοντικά ως προς άλλες ενεργειακές τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, η επισκόπηση των διαθέσιμων ερευνών έδειξε ότι:

- Η χρήση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe είναι απολύτως ασφαλής και, υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, δεν υπάρχει πιθανότητα διαφυγής ενώσεων καδμίου.
- Ακόμη και στην περίπτωση θραύσης των φωτοβολταϊκών, δεν παρατηρείται έκπλυση και διαφυγή του περιεχόμενου CdTe.
- Στην περίπτωση εμπλοκής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε πυρκαγιά (κάτι που πάντως θεωρείται πρακτικά αδύνατο για φωτοβολταϊκά πάρκα), η εκλυόμενη ποσότητα καδμίου είναι εξαιρετικά μικρή και, σε κάθε περίπτωση, εκατομμύρια φορές μικρότερη από την ποσότητα καδμίου που εκλύεται κάθε χρόνο αναπόφευκτα από την καύση ορυκτών καυσίμων. Κάθε δευτερόλεπτο που περνά, από την καύση ορυκτών καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα εκλύονται στην ατμόσφαιρα σχεδόν πενταπλάσιες ποσότητες καδμίου απ' αυτές που θα εκλυθούν αν τυχόν καεί ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο CdTe.

- Ήδη από σήμερα υπάρχει διεθνώς η υποδομή ώστε, όσα φωτοβολταϊκά πλαίσια CdTe ολοκληρώσουν τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους, να συλλέγονται και να ανακυκλώνονται, ούτως ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει καμία διαρροή καδμίου στο περιβάλλον.
- Η ανάλυση του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών CdTe έδειξε ότι η τεχνολογία αυτή είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον από άλλες ενεργειακές τεχνολογίες.

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τις ισοδύναμες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂eq) από την παραγωγή μίας κιλοβατώρας, όπως προκύπτει από την ανάλυση κύκλου ζωής για διάφορες ενεργειακές τεχνολογίες. Να σημειώσουμε πως καθώς βελτιώνεται η παραγωγική διαδικασία και η απόδοση των φωτοβολταϊκών, μειώνεται και το περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους και αυτό ισχύει για όλες τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών.



ΜΥΘΟΣ 7

“Καλά τα φωτοβολταϊκά, αλλά γυαλίζουν αφού αντανακλούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και, έτσι, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στα αεροπλάνα”

Κάθε αντικείμενο ανακλά την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνειά του. Αυτό γίνεται είτε “κατοπτρικά”, δηλαδή συνολικά προς μια διεύθυνση όπως από ένα τέλειο κάτοπτρο, είτε ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις του ημισφαιρίου. Αυτές είναι

δύο ακραίες περιπτώσεις. Στην πραγματικότητα η ανάκλαση γίνεται και με τους δύο τρόπους σε κάποιο ποσοστό, ανάλογα με τη φύση του υλικού της επιφάνειας του αντικειμένου.

Έχει σημασία να δούμε λοιπόν αν τα φωτοβολταϊκά ανακλούν το φως περισσότερο ή λιγότερο από άλλα υλικά. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να υπάρξει εν δυνάμει πρόβλημα, στη δεύτερη προφανώς δεν έχει νόημα ο περιορισμός της χρήσης των φωτοβολταϊκών σε κάποιες περιοχές, αφού τότε θα έπρεπε να απαγορεύσουμε και αντικείμενα, υλικά ή χρήσεις με μεγαλύτερη ανακλαστικότητα.

Το ερώτημα αυτό ετέθη για πρώτη φορά επί της ουσίας στην περίπτωση των αεροδρομίων. Στα αεροδρόμια ή κοντά σ' αυτά, ενδιαφέρει η ελαχιστοποίηση της κατοπτρικής ανάκλασης προς οποιαδήποτε γωνία ανύψωσης και ειδικότερα προς τον πύργο ελέγχου και τους διαδρόμους προσέγγισης των αεροπλάνων, ώστε να μη δημιουργούνται παρεμβολές στο οπτικό πεδίο των χειριστών και ελεγκτών.

Παρά το γεγονός ότι φωτοβολταϊκά συστήματα (και μάλιστα ισχύος αρκετών μεγαβάτ) έχουν ήδη εγκατασταθεί σε πολλά αεροδρόμια του κόσμου, (όπως το αεροδρόμιο Ναρίτα του Τόκιο, της Βαρκελώνης, του Μονάχου, του Πίτσμπουργκ, του Φρέσνο, αλλά και το Ελευθέριος Βενιζέλος στην Αθήνα), για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε χώρο ενός αεροδρομίου ή σε άλλο χώρο εγγύς αυτού, θα πρέπει κανείς να βεβαιώσει ότι οι ανακλάσεις που προκαλούνται από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι μικρότερες σε ένταση από τις ήδη υπάρχουσες ανακλάσεις που προκαλούνται από κτίρια, οχήματα, εξοπλισμό κ.λπ.

Για να διαπιστωθεί αν θα μπορούσαν να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά στο χώρο του αεροδρομίου Ελευθέριος Βενιζέλος, το 2001, σχεδιάστηκε από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) μια πειραματική διάταξη που συνέκρινε την ανάκλαση που προκαλεί η επιφάνεια ενός κλασικού φωτοβολταϊκού πλαισίου, με αυτές που προκαλούνται από τη βαφή και το παρμπρίζ ενός αυτοκινήτου. Η σύγκριση με τις επιφάνειες ενός αυτοκινήτου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς οχήματα βρίσκονται πρακτικά παντού.

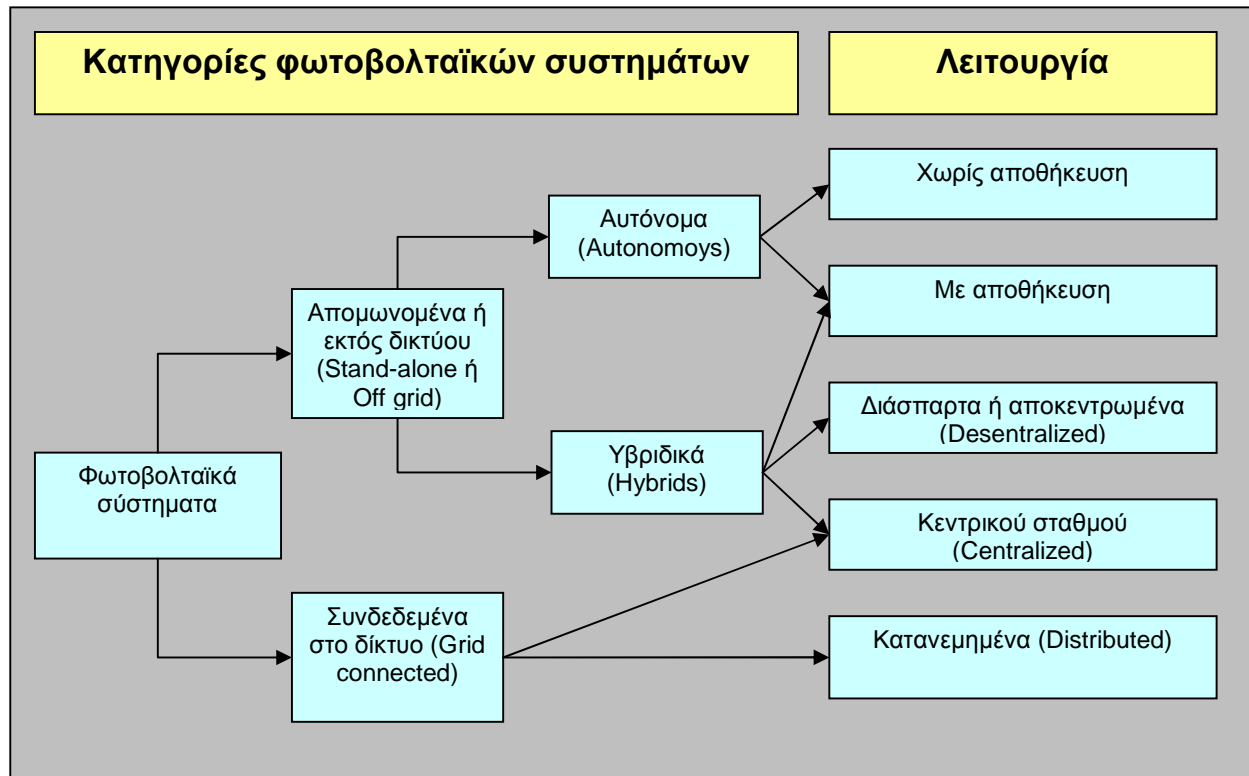
Από τα πειραματικά αποτελέσματα έγινε ξεκάθαρο ότι η ανάκλαση της ορατής ακτινοβολίας από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων δεν είναι σε επίπεδα που θα μπορούσε να προκαλέσει οπτική όχληση, τουλάχιστον όχι μεγαλύτερη απ' αυτή που προκαλούν τα αυτοκίνητα!

2.3 Κατηγορίες και περιοχές εφαρμογών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών. Καλύπτουν ευρεία περιοχή ισχύος, από το μέγεθος της πολύ χαμηλής ισχύος ευρείας χρήσεως καταναλωτικών προϊόντων, όπως είναι οι αριθμητικοί υπολογιστές, τα μικρά φωτιστικά σώματα κήπου κ.α., έως συστήματα μεγάλης ισχύος, για την τροφοδοσία νησιών ή πρότυπων μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων, συνδεδεμένων ή όχι στο δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- τα απομονωμένα (Stand-alone) ή εκτός δικτύου (Off grid) συστήματα, τα οποία επίσης διακρίνονται σε αυτόνομα και υβριδικά
- και τα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid connected).

Το κριτήριο για το προσδιορισμό της σύνθεσης του καταλληλότερου φωτοβολταϊκού συστήματος στις κατηγορίες αυτές, προκύπτει με βάση την απαίτηση για πλήρη ή μερική κάλυψη (αυτονομία) των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής, από το φωτοβολταϊκό σύστημα, μηνιαίως ή ετησίως.



Κατηγορίες και λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων

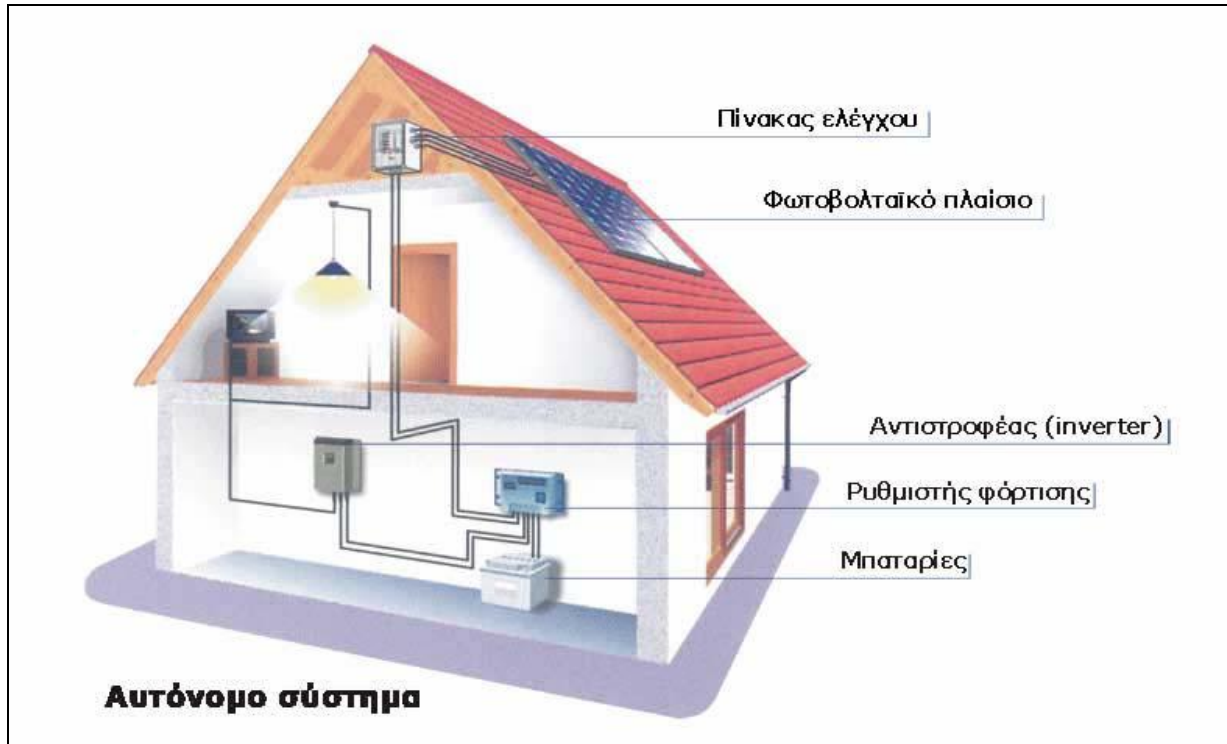
A) Εκτός δικτύου ή απομονωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα (Off grid ή Stand alone systems).

Χαρακτηρίζονται έτσι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε αυτόνομα, στα οποία η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας και σε υβριδικά, στα οποία περιλαμβάνεται και άλλη πηγή Α.Π.Ε. ή συμβατική ηλεκτρική πηγή.

i). Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η απαιτούμενη, από την εφαρμογή, ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, χωρίς τη συμμετοχή άλλων Α.Π.Ε. ή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές μη συνδεδεμένες στο εθνικό δίκτυο. Η παρεχόμενη

ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσόμενης (AC) τάσεως.



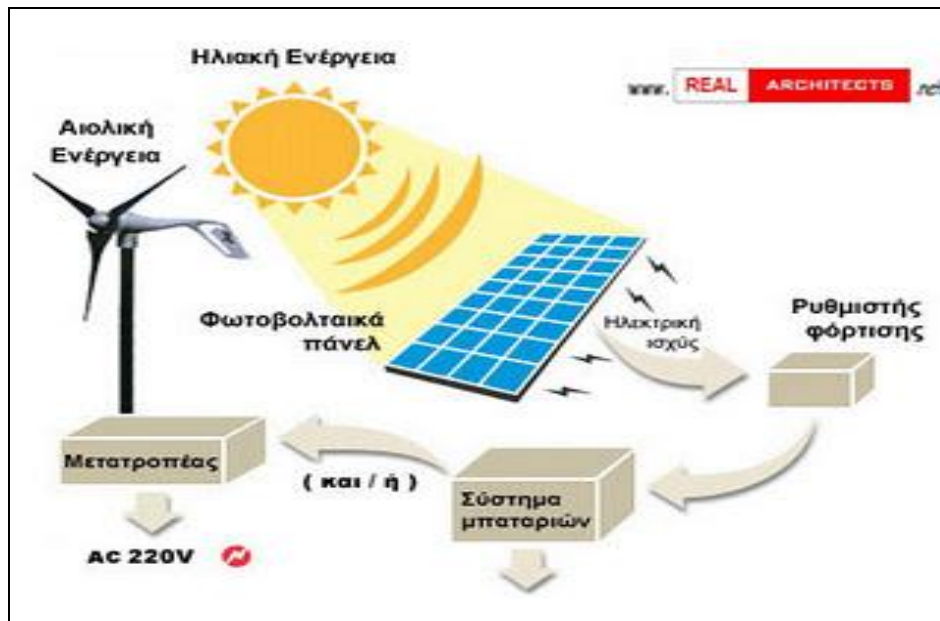
Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε:

- ∅ *Αυτόνομα φωτοβολταϊκά άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής (Direct-coupled PV systems), στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση, όσο φωτίζεται η φωτοβολταϊκή συστοιχία, χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές. Τα συστήματα αυτά για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άντληση για πότισμα καλλιεργειών που δεν απαιτούν αυστηρά τακτική λειτουργία του συστήματος.*
- ∅ *Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού οδών, αρχαιολογικών χώρων, αλυσιλλίων, υποστήριξη συστημάτων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων, τηλεπικοινωνιών αναμεταδοτών, διατάξεων καταγραφής δεδομένων (Loggers) κ.α. Σχεδιάζονται με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας του συστήματος, με βάση το κατάλληλο μέγεθος των συσσωρευτών.*

ii). Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα (Hybrid pv systems)

Στα υβριδικά φωτοβολταϊκά, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από το συνδυασμό φωτοβολταϊκής συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας, δηλαδή Α.Π.Ε. (π.χ. ανεμογεννήτρια) ή πηγές συμβατικών καυσίμων (ηλεκτροπαραγωγή ζεύγος). Ο προσδιορισμός των συνιστωσών Α.Π.Ε. προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος, με κριτήριο το βαθμό συμμετοχής του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους στη διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής. Στις

περισσότερες των περιπτώσεων στο σύστημα προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές (αυτονομία αποθηκευμένης ενέργειας).



Τύπος υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος με ηλεκτρογεννήτρια

B) Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid-connected systems).

Τα συστήματα αυτά συνδέονται απευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, μια τεράστια 'δεξαμενή' ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Συνεπώς στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.

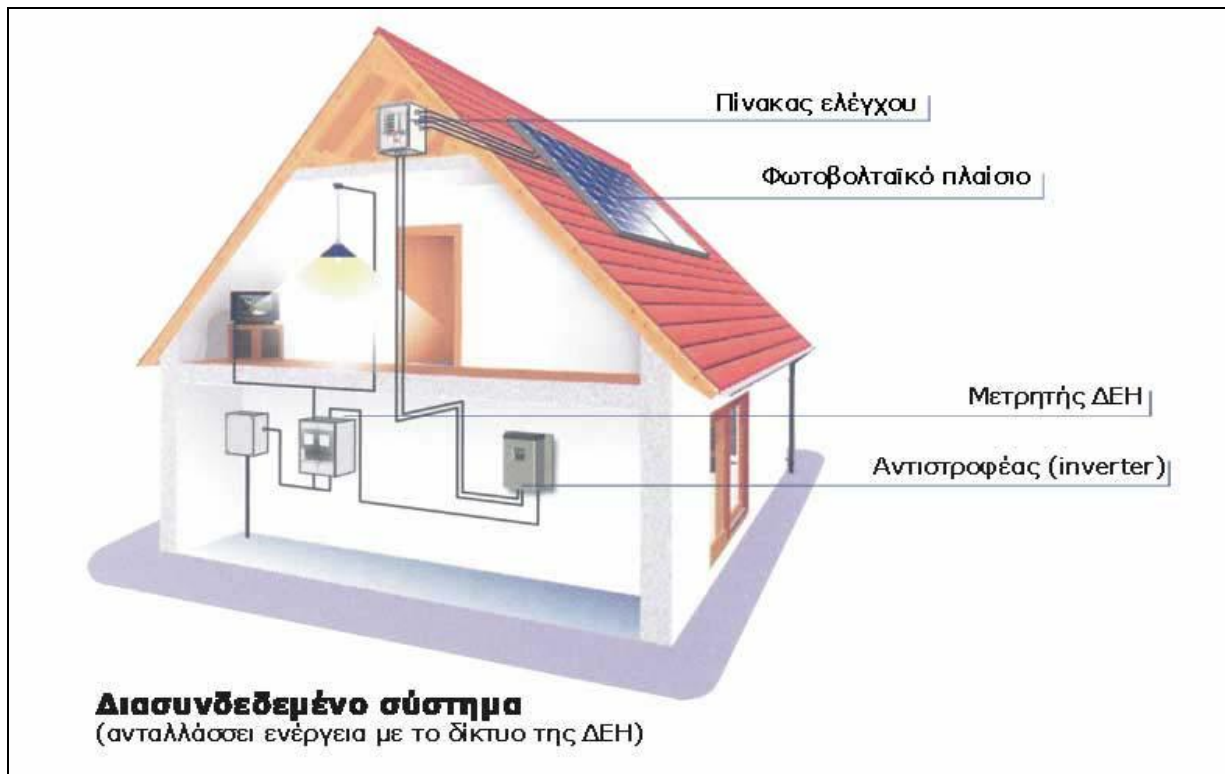
Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, ως κατανεμημένα (Distributed) συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο (Centralized systems). Τα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι των συνδεδεμένων στο δίκτυο συστημάτων παγκοσμίως.

Τα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα, διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας (Grid back-up) και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σε αυτό (Grid interactive).

Στην πρώτη περίπτωση (Grid back-up) το φωτοβολταϊκό σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Το δίκτυο καλύπτει έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή καταστάσεις αστοχίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στην δεύτερη περίπτωση (Grid interactive), το βασικότερο κίνητρο αφορά στην επιλογή εκείνης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας η οποία καλύπτει, κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις χρονικές περιόδους που το

φωτοβολταϊκό σύστημα υστερεί στην κάλυψη των καταναλώσεων της εφαρμογής η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, μέσα σε ένα έτος, η συνολική ενέργεια από το δίκτυο στην εφαρμογή, προβλέπεται να είναι ίση με τη συνολική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα στο δίκτυο. Αν η επιδίωξη μας είναι το ετήσιο οικονομικό ισοζύγιο μεταξύ παραγωγού και Δ.Ε.Η., κατά τη σχεδίαση του συστήματος λαμβάνεται υπ' όψη η διαφοροποίηση των τιμολογίων παραγωγής και κατανάλωσης.



2.4 Σύγκριση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός από το γεγονός ότι τροφοδοτούνται από μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας όπως είναι ο ήλιος, πλεονεκτούν σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας και οι λόγοι που τα κάνουν να ξεχωρίζουν είναι οι παρακάτω:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρή ή σε μεγάλη κλίμακα,
- Εύκολη εγκατάσταση ακόμα και μέσα σε πόλεις χωρίς να προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον,
- Δυνατότητα εγκατάστασης των συστημάτων και από τους ίδιους τους χρήστες,
- Συνδυάζονται και με άλλες πηγές ενέργειας(τα γνωστά υβριδικά συστήματα),
- Έχουν την δυνατότητα να επεκταθούν σε περίπτωση που αντιμετωπίζουν αυξημένες ανάγκες ενέργειας,
- Είναι αθόρυβα και το σημαντικότερο είναι ότι έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων,

- Δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις συντήρησης,
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής,
- Είναι αξιόπιστα,
- Ο χρήστης έχει ενεργειακή ανεξαρτησία, όπου και να βρίσκεται,
- Αποφεύγονται οι δυσμενείς συνέπειες από απότομες αυξήσεις των τιμών των καυσίμων

2.4.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν διάφορες αξίες και μοναδικά πλεονεκτήματα πέρα από τις συμβατικές τεχνολογίες ισχύος. Ας δούμε κάποια από αυτά.

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για ποικίλες εφαρμογές και λειτουργικές απαιτήσεις, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για τη συγκέντρωση ή τη διανομή της παραγόμενης ισχύος.
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν κανένα κινούμενο μέρος, είναι μορφωτικά, εύκολα εκτάσιμα και ακόμα ικανά να μεταφέρονται σε μερικές περιπτώσεις.
- Η ενεργειακή ανεξαρτησία τους και η περιβαλλοντική συμβατότητα τους είναι δύο ελκυστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το καύσιμο (φως του ήλιου) είναι δωρεάν, και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος κανένας θόρυβος ή ρύπανση δεν δημιουργείται.
- Γενικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα που σχεδιάζονται σωστά και εγκαθίστανται κατάλληλα απαιτούν την ελάχιστη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Φυσικά όπως γίνεται και με τις περισσότερες τεχνολογίες που βρίσκονται σε συνεχή εξελικτική μορφή όπως της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Αυτή τη στιγμή τρία είναι τα σημαντικότερα μειονεκτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

- Το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων και ο εξοπλισμός (σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας) είναι ο αρχικός περιοριστικός παράγοντας για αυτή τη τεχνολογία. Συνεπώς, η οικονομική αξία των φωτοβολταϊκών συστημάτων γίνεται αντιληπτή μετά από πολλά χρόνια.
- Σε μερικές περιπτώσεις, οι απαιτήσεις επιφάνειας για τις διατάξεις των φωτοβολταϊκών μπορούν να είναι ένας περιοριστικός παράγοντας. Λόγο της διάχυτης φύσης του φωτός του ήλιου και του υπάρχοντος φωτός του ήλιου στην απόδοση μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών συσκευών, οι επιφάνειας που απαιτούνται για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών διατάξεων είναι στην κατάταξη των 8 έως 12 m² (86 έως 129 ft²) ανά kW της μέγιστης εγκατάστασης δυναμικού διάταξης..
- Ακόμα και κατά τις περιόδους συννεφιάς, ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο εξακολουθεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, έχοντας όμως κατά πολύ μειωμένη απόδοση. Από την άλλη μεριά, σε περιόδους καύσωνα η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ελαττώνεται επίσης αισθητά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι, σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που

μετατρέπεται από το φωτοβολταϊκό κύτταρο σε ηλεκτρικό ρεύμα μειώνεται σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης ενός ηλιακού κυττάρου είναι ίσος με τη μονάδα στους 20°C , σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας, έχουμε μείωση της απόδοσης κατά 0.004-0.005 ανά βαθμό $^{\circ}\text{C}$.

2.5 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον σε τρεις φάσεις:

1. κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής τους,
2. κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους και
3. ως αποτέλεσμα της ανάρμοστης διάθεσης των σπασμένων ή ξεπερασμένων υπομονάδων.

Ας δούμε αναλυτικά πως συμβαίνει αυτό.

1. Διαδικασία κατασκευής

Η επεξεργασία κατασκευής των περισσότερων φωτοβολταϊκών υπομονάδων απαιτεί τη χρήση μερικών τοξικών υλικών. Έχοντα αυτό υπόψη κατά τη διαδικασία κατασκευής θα πρέπει να καθιερώνονται τα κατάλληλα συστήματα και οι διαδικασίες για να ελαχιστοποιήσουν τυχόν κινδύνους. Για παράδειγμα στην επεξεργασία υπομονάδων α-Si και a-SiGe, χρησιμοποιούνται τοξικά αέρια. Το αέριο υλικό πρόσμιξης για τα θετικά-στρώματα είναι λιγότερο τοξικό. Σε περίπτωση που υπάρξει διαρροή στις γραμμές αερίου, τότε θα αναφλεχθεί, και το αέριο υλικό πρόσμιξης θα οξειδωθεί. Όλα τα αέρια εξάτμισης περνούν μέσω ενός κιβωτίου και η σκόνη συλλέγεται σε ένα χώρο διάθεσης. Αυτή η σκόνη αποτελείται κυρίως από διοξείδιο πυριτίου που λιώνεται με τα μικρά ποσά οξειδίων του γερμανίου, του βορίου και του φωσφόρου.

Δεδομένου ότι όλες υπομονάδες διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας laser (laser scribing), δεν υπάρχουν επιβλαβές προϊόντα αποβλήτων ή εκροές που παράγονται στην διαδικασία διαμόρφωσης. Επιπλέον, δεδομένου ότι για τις φωτοβολταϊκές υπομονάδες έχουν γίνει δοκιμές αντοχής, δεν υπάρχει κανένας περιβαλλοντικός κίνδυνος που συνδέεται με τη θραύση υπομονάδων, φωτιές ή τη μακροπρόθεσμη διάθεση σε επιχωματώσεις σκουπιδιών. Ακόμα και σε περίπτωση θραύσης ενός πλαισίου κάδμιου (που συγκαταλέγεται στα τοξικά στοιχεία) η διαρροή στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

2. Διάρκεια λειτουργίας

Όπως αντιλαμβανόμαστε στην παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκό σύστημα η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται είναι ο ήλιος και γι' αυτό η εκπομπή ρύπων είναι μηδενική. Οπότε η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον αντιθέτως έχει ευνοϊκές επιδράσεις λόγω της μείωσης της εκπομπής ρύπων αλλά και με τη συμβολή στην απεξάρτηση από την εισαγωγή καυσίμων της χώρας και στον ασφαλή ενεργειακό εφοδιασμό της.

3. Ανάρμοστη διάθεση και ανακύκλωση φωτοβολταϊκών

Καθώς η πρώτη γενιά των φωτοβολταϊκών πλησιάζει το τέλος της διάρκειας ζωής της, αναδύεται στο προσκήνιο το ζήτημα της ανακύκλωσης των υλικών αυτών, αφού η επιλογή της χωματερής δεν προσφέρεται διότι περιέχουν τοξικά χημικά στοιχεία, επικίνδυνα για το περιβάλλον. Οπότε αντιλαμβανόμαστε πως η ανάρμωση διάθεση των ξεπερασμένων φωτοβολταϊκών δεν αποτελεί επιλογή για κανένα, πόσο μάλλον για την ευρωπαϊκή κοινότητα.

Έχοντας ως στόχο την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση αυτών των υπομονάδων η ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει δεσμευτεί να συλλέγει το 65% κατ' ελάχιστον των φωτοβολταϊκών που έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη από το 1990 και να ανακυκλώνει το 85% των υλικών με την Πρωτοβουλία PVCYCLE στην οποία συμμετέχει και ο ελληνικός Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ).



Διαδικασία ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών

Τέλος να τονίσουμε πως η ανάγκη αυτή έχει προσελκύσει ήδη το ενδιαφέρον των παραγωγών φωτοβολταϊκών, όπου πολλοί από αυτούς έχουν δημιουργήσει και προσφέρουν στους καταναλωτές διάφορα προγράμματα ανακύκλωσης. Με αυτό τον τρόπο, οι εταιρίες αναλαμβάνουν μεγαλύτερη ευθύνη καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος και κάνουν ό,τι είναι δυνατό για να αποτρέψουν την ανάμιξη των φωτοβολταϊκών συστοιχιών με άλλα οικιακά απορρίμματα, έτσι ώστε να εγγυάται η επαναχρησιμοποίησή τους.

2.5.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων παρουσιάζουν αισθητή αύξηση τα τελευταία χρόνια. Το 2000, μετρήθηκαν συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) 107.6Mtons, εκ των οποίων το 89% προέρχεται από ενεργειακές χρήσεις. Με βάση το 1990, ως έτος αρχικών μετρήσεων παρατηρείται σταδιακή αύξηση των αερίων ρύπων και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα κατά 23.4%. Βασική αιτία αυτής της μεταβολής είναι η αύξηση των εκπομπών από τις δραστηριότητες του ενεργειακού τομέα (ΚΑΠΕ).

Με τη χρήση ηλιακών ενεργητικών συλλεκτών με στόχο την αντικατάσταση του ηλεκτρικού ρεύματος θα έχουμε τα εξής περιβαλλοντικά οφέλη:

- Εξοικονόμηση καυσίμων που ισοδυναμεί με 50-70kg πετρελαίου ανά m^2 ηλιακού συλλέκτη ανά έτος,
- Μείωση εκπομπών CO₂ άνω των 750kg/ m^2 ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (όταν υποκαθιστούμε ηλεκτρικό ρεύμα),
- Μείωση εκπομπών CO₂ άνω των 250kg/ m^2 ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (όταν υποκαθιστούμε πετρέλαιο).

Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα κιλοβάτ φωτοβολταϊκών αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα. Χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή περίπου 100 δέντρα για να απορροφήσουν αυτή την ποσότητα CO₂. Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1.300 κιλά CO₂ ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο.

Επιπλέον, η υποκατάσταση ρυπογόνων καυσίμων από φωτοβολταϊκά συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.



Τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύψουν με την χρήση των ηλιακών συλλεκτών είναι πολύ σημαντικά, γι' αυτό μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων θα πρέπει πριν απορριφθεί λόγω υψηλού κόστους να μελετηθεί, διότι μπορεί να δώσει λύσεις στα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας, την εξάντληση των συμβατών καυσίμων και την ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα.

2.6 Βασική λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως οποιοδήποτε άλλο σύστημα που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια, μόνο που ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιείται για τα συμβατικά ηλεκτρομηχανικά παραγωγικά συστήματα. Εντούτοις, οι αρχές της λειτουργίας και της διασύνδεσης με άλλα ηλεκτρικά συστήματα παραμένουν το ίδιο πράγμα, και καθοδηγούνται από ένα καθιερωμένο σώμα των ηλεκτρικών κωδικών και προτύπων. Αν και μια φωτοβολταϊκή διάταξη παράγει ισχύ όταν εκτίθεται στο φως του ήλιου, διάφορα άλλα στοιχεία απαιτούνται για να διευθύνουν κατάλληλα, να ελέγξουν, να μετατρέψουν, να διανείμουν, και να καταχωρήσουν την ενέργεια που παράγεται από τη διάταξη. Ανάλογα με τη λειτουργικότητα και τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα συγκεκριμένα στοιχεία που απαιτούνται, και μπορούν να περιλάβουν τα σημαντικά συστατικά όπως έναν μετατροπέα ισχύος συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος, μια τράπεζα μπαταρίας, έναν ελεγκτή του συστήματος και της μπαταρίας, βοηθητικές πηγές ενέργειας και μερικές φορές το προσδιορισμένο ηλεκτρικό. Επιπλέον, μια ταξινόμηση της ισορροπίας του υλικού του συστήματος (Balance Of System BOS), συμπεριλαμβανομένης της καλωδίωσης, πιθανής υπερφόρτωσης, προστασία κύματος και αποσύνδεση συσκευών, και άλλο εξοπλισμό επεξεργασίας ισχύος.

2.7 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλές φωτοβολταϊκές κυψέλες που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η φωτοβολταϊκή κυψέλη είναι η στοιχειώδης μονάδα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος γιατί εκεί μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Υπάρχουν πολλά είδη φωτοβολταϊκών κυψελών διαθέσιμα στην αγορά και πολλά άλλα υπό ανάπτυξη. Χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά και διατάξεις με στόχο τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας από τη συσκευή με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Έχουν κατασκευασθεί κυψέλες σε εργαστηριακό περιβάλλον με απόδοση που ξεπερνά το 30%. Ωστόσο η απόδοση αυτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι περίπου η μισή.



Φωτοβολταϊκά πλαίσια διαφόρων διαστάσεων



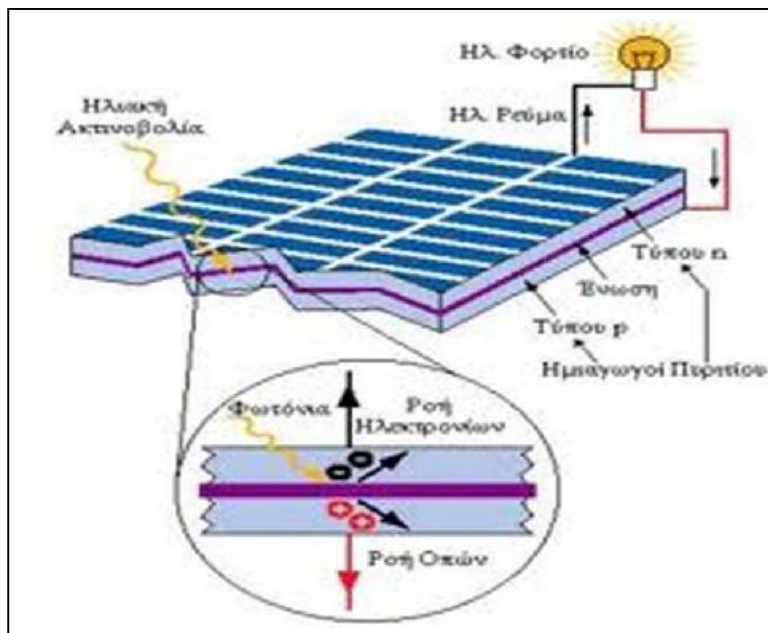
Εύκαμπτες φωτοβολταϊκές κυψέλες

2.8 Τεχνολογία φωτοβολταϊκού κυττάρου – Πυρίτιο βασικό υλικό κατασκευής κυττάρου

Η τεχνολογία των ηλιακών κυττάρων όπως αναφέραμε, είναι μία διάταξη ηλεκτρικής μετατροπής που είναι ικανή να μετατρέψει την ηλιακή ενέργεια (βομβαρδισμό φωτονίων) σε ηλεκτρική ενέργεια, παράγοντας μια ροή ηλεκτρονίων όταν είναι συνδεδεμένη με συσκευή φόρτισης.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι πολύ εντονότερο στα μέταλλα που είναι αγωγοί, ενώ πραγματοποιείται δυσκολότερα σε υλικά που χαρακτηρίζονται ως μονωτές. Κάτι τέτοιο συμβαίνει γιατί το φράγμα δυναμικού που χωρίζει την ζώνη σθένους από τη ζώνη αγωγιμότητας, είναι πολύ μικρότερο στους αγωγούς από ότι στους μονωτές. Έτσι, τα ηλεκτρόνια των αγωγών απελευθερώνονται με την ελάχιστη ενέργεια, ενώ αυτά των μονωτών απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενδιάμεση κατάσταση περιγράφεται από υλικά γνωστά ως ημιαγωγοί, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή φωτοβολταϊκών κυττάρων.

Πριν από τη χρήση των ημιαγωγών για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυττάρων, απαραίτητος είναι ο εμπροτισμός του, από ξένα σώματα. Ανάλογα με το είδος της πρόσμιξης που θα χρησιμοποιηθεί, ο ημιαγωγός χαρακτηρίζεται είτε ως τύπου n (negative-αρνητικού), είτε ως τύπου p (positive-θετικού). Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του n -τύπου χρησιμοποιείται ο φώσφορος, ενώ ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του p -τύπου χρησιμοποιείται το βόριο. Οι ημιαγωγοί τύπου p διαθέτουν περίσσεια θετικών φορτίων ή οπών, ενώ στους ημιαγωγούς τύπου n πλειοψηφούν τα αρνητικά φορτία, δηλαδή τα ηλεκτρόνια. Όταν τα δύο αυτά διαφορετικά στρώματα των ημιαγωγών έρθουν σε επαφή, στο σημείο επαφής δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο, καθώς από τη μια πλευρά υπάρχουν ελεύθερα θετικά φορτία (τύπου p) και από την άλλη ελεύθερα αρνητικά (τύπου n). Συνήθως ο ημιαγωγός που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ο p , και έτσι τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται από τον ημιαγωγό τύπου p οδηγούνται στον ημιαγωγό τύπου n , μέσω της επαφής p - n . Αν αυτές οι δύο επιφάνειες των ημιαγωγών συνδεθούν μεταξύ τους μέσω κάποιων ακροδεκτών και παρεμβληθεί ανάμεσά τους μία αντίσταση φορτίου, είναι προφανές ότι τα ηλεκτρόνια που έχουν μαζευτεί στον ημιαγωγό τύπου n



θα κινηθούν μέσω των καλωδίων προς τον ημιαγωγό τύπου p, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.

Το φωτοβολταϊκό ηλιακό κύτταρο, λοιπόν, είναι φτιαγμένο κυρίως από ένα ημιαγωγίμο υλικό που ονομάζεται πυριτίο (Silicon-Si). Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το *διοξείδιο του πυριτίου* (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης.

- Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.

- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους $125^{\circ}C$ κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

Ανεξάρτητα από το μέγεθος, ένα χαρακτηριστικό φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου παράγει περίπου συνεχές ρεύμα της τάξεως των 0,5 - 0,6 Volt σε ανοικτό- κύκλωμα, χωρίς κάποιο αρχικό φορτίο. Η έξοδος ρεύματος (ισχύος) ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου εξαρτάται από την αποδοτικότητα και το μέγεθος (της περιοχής της επιφάνειας), και είναι ανάλογη της έντασης του ηλιακού φωτός που χτυπά την επιφάνεια του κυττάρου.

2.8.1 Είδη ηλιακών κυψελών

Τα είδη κυψελών, που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην αγορά είναι τα εξής:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Ταινία πυριτίου
- Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film
 - Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός ($CuInSe_2$ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
 - Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)
 - Τελουριούχο Κάδμιο ($CdTe$)
 - Αρσενικούχο Γάλλιο ($GaAs$)
- Υβριδικά

Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά κάθε διαφορετικής ηλιακής κυψέλης.

Κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)



Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Κατασκευάζονται από καθαρό μονοκρυσταλλικό πυρίτιο το οποίο προέρχεται από ένα μικρό «γόνιο» κρύσταλλο, που αποσπάται με αργό ρυθμό από την τηγμένη μάζα του λιγότερου καθαρού πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου του οποίου το πάχος είναι 200 – 400 μm. Επίσης γίνεται τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική

επαφή και έτσι επιτυγχάνεται η λειτουργία του ως ηλιακή κυψέλη.

Οι μονοκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες παρουσιάζουν την υψηλότερη απόδοση αλλά και το υψηλότερο κόστος από όλες τις κυψέλες πυριτίου. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας".

Κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

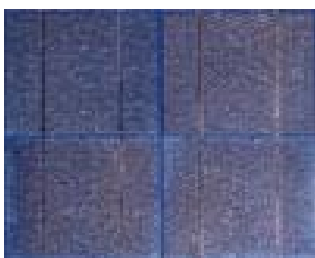


Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν

επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13% έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).

Οι κυψέλες αυτές κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Επειδή προκύπτουν απευθείας από ορθογώνιες ράβδους οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες είναι συνήθως τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από αυτές από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς και έχουν και λίγο χαμηλότερη απόδοση από αυτές.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)



Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film

Η τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών χρησιμοποιεί πολύ λεπτά στρώματα (πάχους λίγων μικρών) του ημιαγωγού και με τον τρόπο αυτό μειώνεται το κόστος. Τα πιο γνωστά υλικά που χρησιμοποιούνται στις κυψέλες αυτές είναι :

i) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)



Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι

ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

ii) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)



Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες.

Λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού, το οποίο έχει καλυφθεί από διάφανο οξειδίο του κασσιτέρου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στη συνέχεια η όλη διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων άλλα ξεχωριστών στοιχείων και στο τέλος γίνεται η ενσωμάτωση τους σε μια φωτοβολταϊκή μονάδα. Με πιο απλά λόγια πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις κυψέλες μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

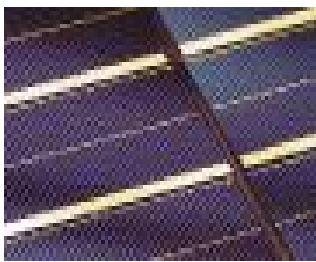
iii) Τελουριούχο Κάδμιο Cadmium Telluride (CdTe)



Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Το κόστος του είναι υψηλό λόγω της έλλειψής του. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά.

Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του.

iv) Αρσενικούχο Γάλλιο Gallium Arsenide (GaAs)



Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Υβριδικές κυψέλες

Για να επιτευχθεί ουσιαστική βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυψελών έπρεπε να γίνει κάποια σημαντική αλλαγή. Σε μια προσπάθεια να γίνει αυτό έγινε μελέτη στη χρήση υβριδικών δομών, στις οποίες κυψέλες με διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης φωτός συνδέονται μαζί. Οπότε αντιλαμβανόμαστε πως ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Αυτό επιτρέπει να πετύχουμε καλύτερα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα υλικά και διαδικασίες.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μιας τέτοιας δομής με πολλά στρώματα είναι τα εξής:

- Είναι δυνατόν να απορροφηθεί το φως σε μια πιο πλατιά φασματική περιοχή, δηλαδή αποτελεσματικότερα. Έτσι έχουμε υψηλό βαθμό απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17% με 19% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ.
- Είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότερες τάσεις ανοιχτού κυκλώματος.
- Είναι δυνατόν να πέσει σε κάποιο βαθμό ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης των κυψελών, ο οποίος οφείλεται σε φαινόμενα οπτικής υποβάθμισης που παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται υλικά άμορφου πυριτίου.

Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου (HIT \Rightarrow Heterojunction with Intrinsic Thin-layer).

2.9 Υπολογισμός απόδοσης ηλιακής κυψέλης

Όλες οι ηλιακές κυψέλες έχουν ένα βαθμό απόδοσης ο οποίος ονομάζεται ονομαστικός και αναφέρεται στην απόδοση της κυψέλης κάτω από μια ορισμένη θερμοκρασία που ονομάζεται θερμοκρασία αναφοράς. Σχεδόν ποτέ όμως μια κυψέλη δεν λειτουργεί στην θερμοκρασία αναφοράς και ποτέ δε λειτουργεί σε σταθερή θερμοκρασία. Άλλη είναι η θερμοκρασία το καλοκαίρι και άλλη το χειμώνα. Ακόμα και την ίδια ημέρα άλλη θερμοκρασία έχουμε αν συννεφιάσει και άλλη αν έχει ηλιοφάνεια. Για το λόγο αυτό πρέπει να υπολογίσουμε την απόδοση της κυψέλης στην θερμοκρασία που έχουμε κάθε φορά.

Οι σχέσεις που ακολουθούνται για τον υπολογισμό αυτό είναι οι ακόλουθες.

∅ Η μέση απόδοση μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης δίνεται από τη σχέση :

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (1.1)$$

όπου:

β_p είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας για την απόδοση της φωτοβολταϊκής κυψέλης και δίνεται από τον κατασκευαστή

η_r είναι ο βαθμός απόδοσης της φωτοβολταϊκής κυψέλης στη θερμοκρασία αναφοράς T_r (25ο C)

T_c είναι η θερμοκρασία που συνδέεται με την μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ø Για την **θερμοκρασία** T_c ισχύει ο τύπος του Evans :

$$T_c - T_a = C_f (219 + 832 \overline{k_T}) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (1.2)$$

όπου:

NOCT (Normal Operation Cell Temperature) δίνεται από τον κατασκευαστή

K_T είναι ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας

Αν η κλίση των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι διαφορετική από τη βέλτιστη ($\beta = \varphi - \delta$) τότε γίνεται χρήση της σχέσης:

$$T_c - T_a = C_f (219 + 832 \overline{k_T}) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (1.3)$$

όπου:

C_f διορθωτικός συντελεστής που είναι ίσος με :

$$C_f = 1 - 1,17 \cdot 10^{-4} (b_m - b)^2 \quad (1.4)$$

όπου b_m είναι η βέλτιστη κλίση συλλέκτη ($b_m = |f - d|$)

2.9.1 Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στον υπολογισμό της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών συλλεκτών παίρνουμε συνήθως υπ' όψιν τη θερμοκρασία και τη ρυπαρότητα, πρέπει όμως να λάβουμε υπ' όψιν και τις μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του φωτοβολταϊκού συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κ.τ.λ.). Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Όσον αφορά την τιμή του συντελεστή απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αναφέρεται στις συνθήκες τάσης έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν

έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση της αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φωτοβολταϊκών συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση, και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξεως του 20-30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο. Τέλος, λόγω της φθοράς στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1-2% για κάθε χρόνο.

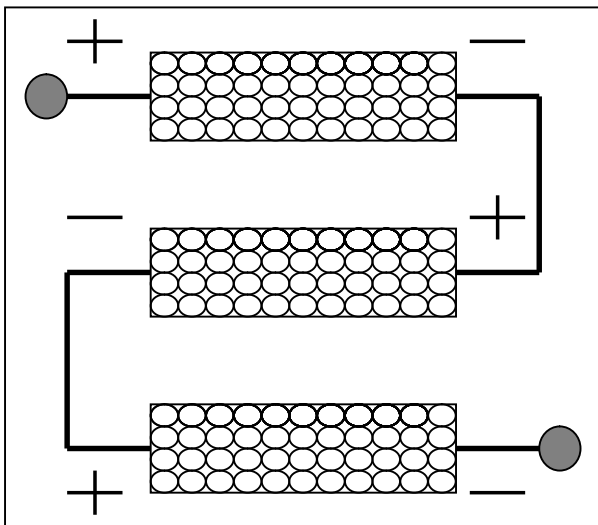
2.10 Συνδεσμολογία συστοιχιών φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό, κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών.

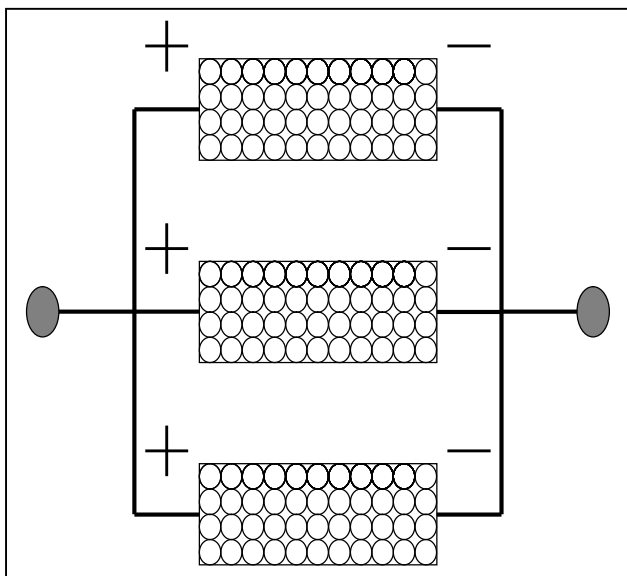
Η σύνδεση σε σειρά (σύνδεση του θετικού ηλεκτροδίου του ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με το αρνητικό του επομένου), καθ' όλα ομοίων φωτοβολταϊκών στοιχείων, οδηγεί σε σύστημα με ανάλογη πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{toc} = NV_{oc}$). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ($I_{tsc} = I_{sc}$). Επίσης να τονίσουμε πως το στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλει στο κύκλωμα πρακτικά το δικό του ρεύμα.

Η παράλληλη σύνδεση N όμοιων φωτοβολταϊκών στοιχείων (σύνδεση όλων των θετικών ηλεκτροδίων των φωτοβολταϊκών στοιχείων μαζί, αντίστοιχα και για τα αρνητικά), δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{toc} = V_{oc}$), ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης έκαστου ($I_{tsc} = NI_{sc}$).

Αν τα συνδεόμενα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (I_{sc} και V_{oc}), τότε η συνολική διάταξη των N στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από την εικόνα που δώσαμε προηγουμένως. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δύο είδη συνδέσεων σχηματικά.



Σύνδεση φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σειρά

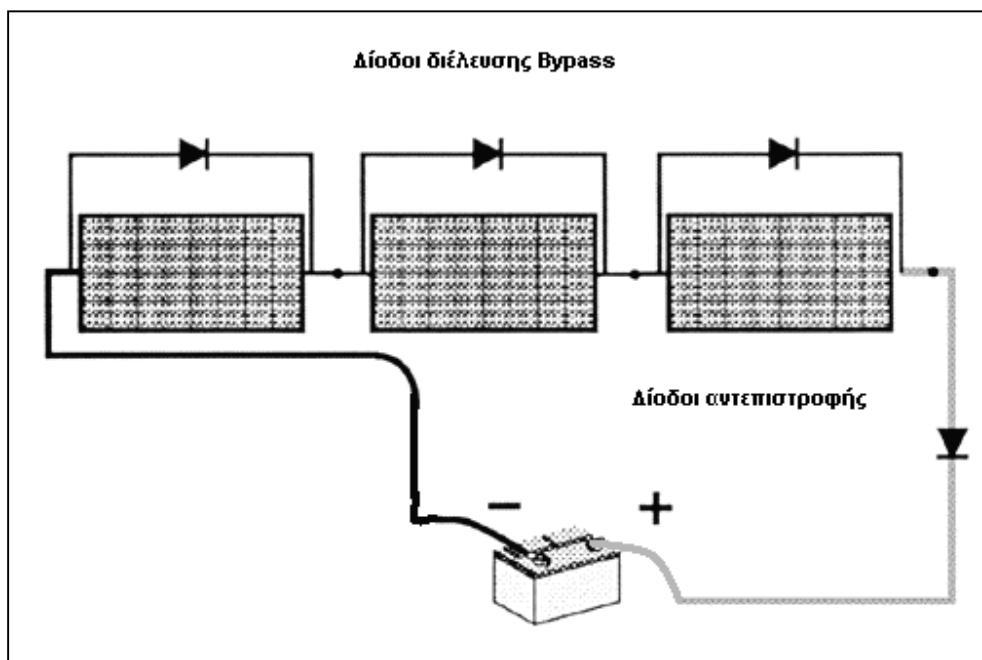


Παράλληλη σύνδεση
φωτοβολταϊκών στοιχείων

2.10.1 Βοηθητικοί δίοδοι φωτοβολταϊκού συστήματος

Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει συνήθως και τα παρακάτω μέρη:

- Δίοδοι αντεπιστροφής (blocking diodes) ώστε να μην επιτρέπεται η αντιστροφή του ρεύματος στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, κάτι που μπορεί να τα καταστρέψει και να προκαλέσει ενεργειακές απώλειες.
- Δίοδοι διέλευσης (bypass diodes) για τη λειτουργία της συστοιχίας ακόμη και όταν κάποια πλαίσια σκιαστούν.



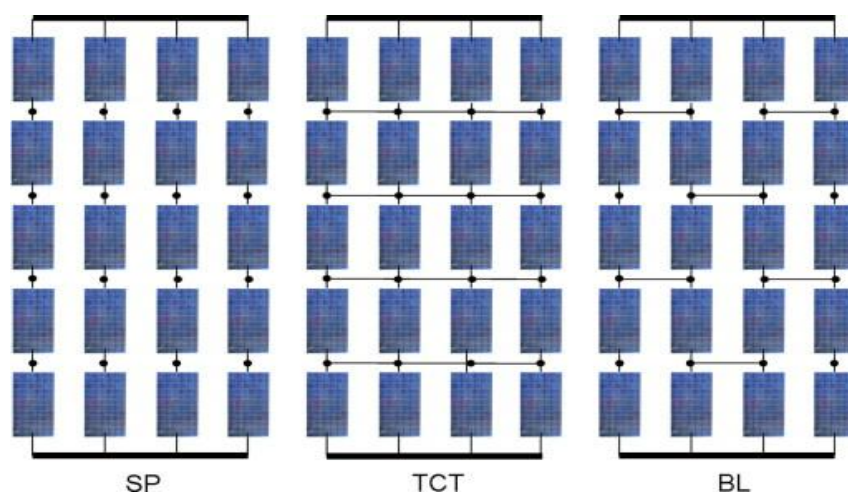
2.10.2 Διατάξεις φωτοβολταϊκών κυττάρων πλαισίων

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και τη λειτουργία, μπορούμε να κατατάξουμε τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες σε τρεις κυρίως κατηγορίες:

- Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά κύτταρα είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με την φυσική πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.
- Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά κύτταρα να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό κύτταρο μέχρι 50% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία, ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειάς του.
- Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά κύτταρα. Για την αποφυγή θέρμανσης, στις συγκεντρωτικές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών κυττάρων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών.

Οι αλληλοσυνδέσεις των ηλιακών κυττάρων, επάνω στα πλαίσια έχουν τρεις διατάξεις και είναι οι εξής:

- Σε απλές παράλληλες σειρές (series-parallel, SP),
- Σε διατάξεις αθροιστικές σταυρωτού δεσμού (total-crossed-tied, TCT), που προκύπτει από την SP διάταξη συνδέοντας τα ηλεκτρικά συστήματα σταυρωτά σε κάθε σειρά του σημείου συνάντησης και
- Σε διάταξη γεφυρωτής διασύνδεσης (bridge-linked) στην οποία όλα τα κύτταρα αλληλοσυνδέονται με γεφυρωτή διαμόρφωση ανορθωτή (ρεύματος)



Απεικόνιση συνδέσεων ηλιακών κυττάρων

2.11 Βαθμός αυτονομίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

Και στους τρεις βασικούς τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων όταν μια διάταξη είναι εγκατεστημένη, με όλα τα συστήματα ηλεκτρικών καλωδίων, ηλεκτρικών συνδέσμων, και τα μέσα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), τότε έχουμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που έχει μορφοποιηθεί για πρακτική χρήση.

Η ισχύς που παραδίδεται από μία φωτοβολταϊκή διάταξη έχει τάση συνεχούς ρεύματος DC. Ένας ρυθμιστής φόρτισης χρησιμοποιείται για να ελέγχει το ποσό του φορτίου που αποταμιεύεται στους συσσωρευτές (μπαταρίες).

Η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες γίνεται προκειμένου να υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας ή, ακόμα, τις ημέρες κατά τις οποίες η ηλιοφάνεια είναι περιορισμένη και δεν επαρκεί για την κάλυψη των προβλεπόμενων αναγκών. Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το συνεχές ρεύμα DC των μπαταριών στο κατάλληλο εναλλασσόμενο ρεύμα AC και στη συχνότητα που απαιτείται για τις ηλεκτρικές συσκευές, τα φώτα, κτλ. Ένα τέτοιο σύστημα συνήθως αναφέρεται ως αυτόνομο σύστημα (stand-alone, SA), λόγω της χρήσης της συχνότητας, του εναλλάκτη ρύθμισης φορτίου και των συσσωρευτών ενέργειας.

Σε μερικά φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μπαταρίες δεν χρειάζονται ή δεν επιθυμούνται. Ένα ιδιόκτητο σπίτι, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιήσει την τοπική επιχείρηση ηλεκτρισμού για τις φωτοβολταϊκές του ανάγκες αποθήκευσης ενέργειας, αντί να χρησιμοποιεί μπαταρίες, χρησιμοποιώντας έναν σύγχρονο μετατροπέα. Ο σύγχρονος μετατροπέας τοποθετείται μεταξύ της φωτοβολταϊκής διάταξης και της επιχείρησης ηλεκτρισμού που δίνει την ενέργεια. Ο μετατροπέας μετατρέπει τη συνεχή τάση DC από την φωτοβολταϊκή διάταξη σε εναλλασσόμενη AC, στην κατάλληλη τάση και συχνότητα, και τροφοδοτεί αυτή την τάση μέσω του μετρητή ενέργειας στις γραμμές της επιχείρησης ηλεκτρισμού. Καθώς, ο μετατροπέας τάσης συγχρονίζεται με τη συχνότητα του δικτύου του εναλλασσόμενου AC ρεύματος, η ποσότητα της μετρούμενης ποσότητας ενέργειας ελαττώνεται ή σταματά, ή στις περιπτώσεις που η απαιτούμενη ενέργεια στο σπίτι είναι πολύ χαμηλή, η μετρούμενη ποσότητα στην πραγματικότητα αντιστρέφεται. Όταν η ακτινοβολία του ήλιου είναι ισχυρή, η ενέργεια επιστρέφει στην επιχείρηση ηλεκτρισμού. Το βράδυ ή τις μέρες με συννεφιά, η ενέργεια ανακτάται από την εταιρία ηλεκτροδότησης. Γι' αυτό το λόγο, η επιχείρηση ηλεκτρισμού παρέχει την αποθηκευμένη ενέργεια και περιορίζει την ανάγκη συσσώρευσης ενέργειας (αποθήκευσης σε μπαταρία). Τα συστήματα που κάνουν χρήση της ενέργειας του ηλεκτρικού δικτύου ισχύος για αποθήκευση ενέργειας, πολύ συχνά αναφέρονται ως utilityinteractive UI. Σήμερα, πολλές εταιρίες παροχής ενέργειας πληρώνουν ένα μικρό ποσό στους καταναλωτές για την παραπάνω χρήση της ενέργειάς τους.

Στο υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα - που είναι ένα αυτόνομο σύστημα - το οποίο όπως προαναφέραμε αποτελείται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας, όπως μια γεννήτρια πετρελαίου ή κάποιας μορφής ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια) σε κανονικές συνθήκες η φωτοβολταϊκή διάταξη δίνει το απαιτούμενο φορτίο. Στην περίπτωση που παράγεται επιπλέον ενέργεια από τη διάταξη, αποθηκεύεται στην μπαταρία μέχρι αυτή να φτάσει τη μέγιστη ικανότητα αποθήκευσης, μέχρι δηλαδή να πάρει η μπαταρία τη μέγιστη φόρτιση. Ο βασικός λόγος αποθήκευσης

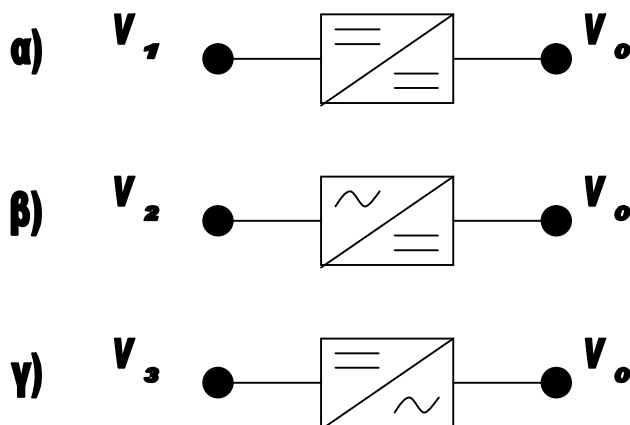
ενέργειας είναι για την εισαγωγή ή την εξαγωγή ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος κάθε φορά. Στην περίπτωση, που η έξοδος του φωτοβολταϊκού υπερβαίνει το απαιτούμενο φορτίο και η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας είναι στο μέγιστο, τότε αυτή η παραπάνω ενέργεια τροφοδοτείται σε μερικές άλλες αποθήκες φορτίου ή μένει ανεκμετάλλευτη. Όσον αφορά, τη γεννήτρια πετρελαίου μπαίνει σε λειτουργία όταν η φωτοβολταϊκή διάταξη δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του απαιτούμενου φορτίου και όταν η ενέργεια της μπαταρίας έχει εξαντληθεί.

Η σύνθεση ενός υβριδικού συστήματος που αποτελείται από τη φωτοβολταϊκή διάταξη, τη μπαταρία και τη γεννήτρια πετρελαίου, έχει διάφορα πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι, το φορτίο του συστήματος μπορεί να ικανοποιηθεί με τον ευνοϊκότερο τρόπο, επίσης, η απόδοση της γεννήτριας πετρελαίου μπορεί να μεγιστοποιηθεί, ενώ η συντήρησή της να ελαχιστοποιηθεί.

2.12 Αντιστροφείας τάσης

Ο αντιστροφείας τάσης ή αλλιώς μετατροπέας είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιείται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα αλλά και σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για να μετατρέψει:

- α) το συνεχές ρεύμα σε συνεχές οποιασδήποτε τάσης (DC – DC converter)
- β) το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (DC - AC converter), οποιουδήποτε πλάτους και
- γ) την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή (AC - DC converter)



Συμβολικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων

- (α) συνεχούς τάσεως,
- (β) εναλλασσόμενης σε συνεχή,
- (γ) συνεχούς σε εναλλασσόμενη

Ένας DC – DC μετατροπέας, μόνος του ή σε συνδυασμό με τους άλλους τύπους (DC – AC ή AC – DC), μπορεί να αποτελέσει χωριστή μονάδα ή να αποτελέσει τμήμα του ελεγκτή φόρτισης. Στην τελευταία περίπτωση, η λειτουργία του έγκειται στο να προσαρμόζει την τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην τάση του συστήματος αποθήκευσης, ώστε να εκμεταλλευόμαστε πλήρως την παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια.

Η όλη διαδικασία έχει ομοιότητα με την μετατροπή του εναλλασσόμενου σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους, μέσω μετασχηματιστή, η οποία, ως γνωστόν, βασίζεται αποκλειστικά και μόνο, στο φαινόμενο της επαγωγής. Στην περίπτωση των μετατροπέων DC – DC, δεν είναι υποχρεωτική η χρησιμοποίηση μετασχηματιστή.

2.12.1 Αντιστροφέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (AC – DC converter)

Ο αντιστροφέας που θα μας απασχολήσει είναι αυτός που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο μιας και τα φωτοβολταϊκά παράγουν συνεχές ρεύμα.

Ο αντιστροφέας τάσης συνεχούς ρεύματος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο ρεύμα κατάλληλο για έγχυση στο δίκτυο της ΔΕΗ. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει π.χ. στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων.

Γενικά η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή (93-96%) εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Απαιτείται υψηλή απόδοση, όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο (100%), αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Συγκεκριμένα βασικό απαιτούμενο χαρακτηριστικό ενός inverter είναι η υψηλή απόδοση (>90%) ακόμα κι όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους.

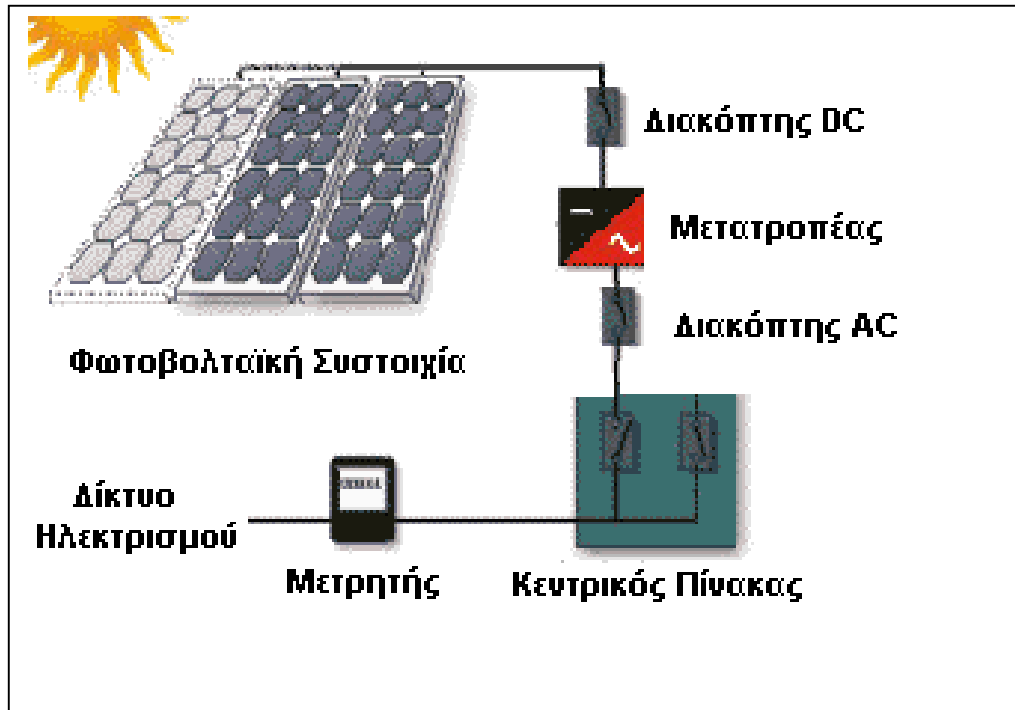
2.12.2 Αντιστροφείς τάσης για συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα

Ο σχεδιασμός ενός συνδεδεμένου με το δίκτυο φωτοβολταϊκού συστήματος αρχίζει με την επιλογή ενός κατάλληλου αντιστροφέα τάσης. Αυτό καθορίζει την τάση του συνεχούς ρεύματος που θα έχει το σύστημα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα επιλέγονται και οι κατάλληλοι συλλέκτες. Ο αντιστροφέας είναι η δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του συστήματος μετά τους συλλέκτες. Δουλειά του είναι να μετατρέπει την συνεχή τάση που παράγεται στους συλλέκτες σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz η οποία προωθείται στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς των αυτόνομων συστημάτων, αυτοί των συνδεδεμένων πρέπει να αντιδρούν το ίδιο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών του δικτύου ηλεκτροδότησης και στις μεταβολές της απόδοσης των συλλεκτών. Αφού όλο το παραγόμενο ρεύμα περνά από αυτόν τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Εκτός από την απόδοση στη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, τα ηλεκτρονικά του αντιστροφέα περιλαμβάνουν συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος. Φροντίζουν η λειτουργία να ξεκινά την κατάλληλη στιγμή το πρωί, όταν οι συλλέκτες παράγουν αρκετή ενέργεια. Ανεπιτυχής έναρξη της λειτουργίας απαιτεί ενέργεια από το δίκτυο και πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας μεταβάλλεται ανάλογα με τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των συλλεκτών. Ο «έξυπνος» έλεγχος του μετατροπέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ενέργειας και συνεχή ρύθμιση στο βέλτιστο κάθε φορά σημείο λειτουργίας. Επίσης υπάρχουν συστήματα που αυτόματα αποσυνδέουν το σύστημα αν εμφανισθούν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στους συλλέκτες.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ τα συστήματα ισχύος μέχρι 5kWp (κιλοβάτ) συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης μέσω μονοφασικής παροχής. Σε αυτή

την περίπτωση χρησιμοποιείται μονοφασικός αντιστροφέας αντίστοιχος με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Για συστήματα άνω των 5kWp και έως 10kWp η ΔΕΗ προδιαγράφει σύνδεση μέσω τριφασικής παροχής. Σε τέτοια εγκατάσταση απαιτείται η χρήση ενός τριφασικού αντιστροφέα αντίστοιχου με την συνολική ισχύ του συστήματος, ή τρεις μονοφασικούς αντιστροφέες για κάθε μία από τις τρεις φάσεις.

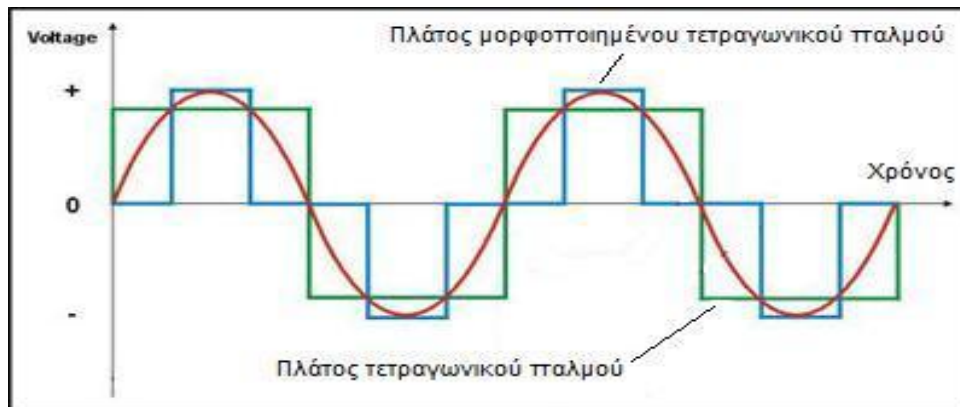


Διάταξη Inverter σε ένα εγκατεστημένο σύστημα φωτοβολταϊκού κυκλώματος συνδεδεμένο σε δίκτυο ηλεκτροδότησης

Σήμερα τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφέν τάσης είναι εξοπλισμένα με συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

2.12.3 Αντιστροφέες τάσης για αυτόνομα συστήματα

Εξαιτίας των ειδικών συνθηκών λειτουργίας των αντιστροφέν των αυτόνομων συστημάτων, χρησιμοποιείται διαφορετικός σχεδιασμός. Σ' ένα τυπικό οικιακό σύστημα, ο λόγος της ονομαστικής ισχύος προς τη μέση ισχύ είναι περίπου 25:1. Για το λόγο αυτό ο αντιστροφέας πρέπει να έχει υψηλή απόδοση γύρω στο 90%, στα μερικά φορτία και συγκεκριμένα στην περιοχή του 5-10% της ονομαστικής ισχύος. Λίγοι αντιστροφέες ικανοποιούν τις συνθήκες αυτές, μαζί με έξοδο τάσης με καμπυλοειδή κυματομορφή, και την ικανότητα να αντέχει μικρής διάρκειας υπερφορτώσεις. Αναλόγως τις απαιτήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν τετραγωνικής και καμπυλοειδούς κυματομορφής.



Η μορφή του τροποποιημένου ημιτόνου τετραγωνικής κυματομορφής (Quasi – Sine Wave)

Το πλεονέκτημα αυτής της διαμορφωμένης τετραγωνικής κυματομορφής, είναι ότι περιορίζεται το μέγεθος των ανωτέρων αρμονικών και άρα περιορίζεται δραστικά η παραμόρφωση σήματος.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας αντιστροφείας τάσης αυτόνομου συστήματος είναι τα ακόλουθα :

- Μεγάλο εύρος τάσης εισόδου (-10% με +30% της ονομαστικής τάσης).
- Τάση εξόδου όσο το δυνατόν πιο κοντά στην καμπυλοειδή κυματομορφή.
- Μικρή διακύμανση στην συχνότητα και τάση εξόδου.
- $\pm 8\%$ σταθερότητα τάσης, $\pm 2\%$ σταθερότητα συχνότητας.
- Υψηλό βαθμό απόδοσης στα μερικά φορτία. Βαθμό απόδοσης τουλάχιστον 90% στο 10% του φορτίου.
- Ικανότητα να υπομένει μικρής διάρκειας υπερφορτώσεις για τις συνθήκες εκκίνησης συσκευών. Για παράδειγμα 2 με 3 φορές την ονομαστική ένταση του ρεύματος για 5s για το ψυγείο και το πλυντήριο.
- Ελάχιστες δυνατές υπέρ-τάσεις για επαγωγικά και χωρητικά φορτία.
- Ικανότητα να αντέχει βραχυκύκλωμα.

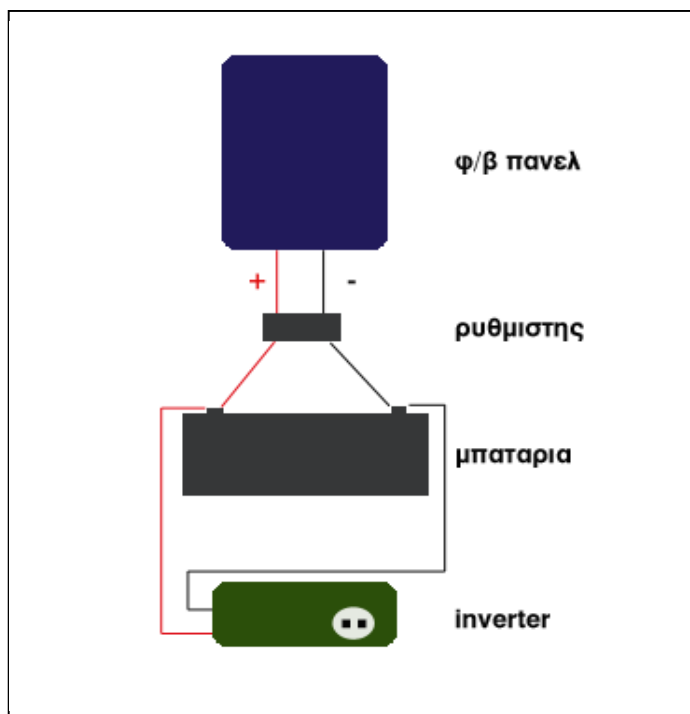
2.13 Συσσωρευτής (Μπαταρία)

Η παραγόμενη από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας είτε σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της, π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας. Άρα παρουσιάζεται η ανάγκη μιας διάταξης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι στιγμής, η καλύτερη λύση, από πλευράς κόστους πυκνότητας αποταμίευσης ενέργειας ανά μονάδα βάρους και όγκου της διάταξης, είναι η χρησιμοποίηση των διαφόρων τύπων ηλεκτρικών συσσωρευτών, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από αντιστρεπτότητα των χημικών δράσεων στα ηλεκτρόδια τους. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι συσσωρευτές θείου-μολύβδου, οι συσσωρευτές NiCd κ.α. Η έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών έχει οδηγήσει σε βελτιωμένους τύπους, με εξαιρετικά βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

2.13.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός συσσωρευτή είναι, η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης (ΗΕΔ) και η ονομαστική χωρητικότητα του, C. Η ΗΕΔ μετριέται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή, όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή. Η χωρητικότητα, C, ενός συσσωρευτή αφορά στο ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευθεί στο εσωτερικό του, με τη μορφή χημικής ενέργειας, κάτω από ορισμένες συνθήκες, καθοριζόμενες, κυρίως, από τη θερμοκρασία και εκφράζεται σε Ah (Αμπερώριο –α).

Στη βασική του μορφή, ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια, συνήθως με τη μορφή επίπεδων πλακών, εμβαπτισμένα σε ορισμένο διάλυμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος αντιδρά επιφανειακά με τις πλάκες. Κατά το στάδιο της φόρτισης του, μια ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσεως, συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο κινεί ευκίνητα ιόντα του ηλεκτρολύτη, προς τις αντίθετα πολωμένες πλάκες του συσσωρευτή, όπου αποδίδουν το φορτίο τους. Αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια, είναι η αλλοίωση της δομής τους, σε βάθος μερικών μικρών, μετατρέπόμενα σε νέα, διαφορετικά ηλεκτροχημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα, η δε διαφορά μεταξύ τους ισούται με την ΗΕΔ του συσσωρευτή.



**Σκαρίφημα
συνδεσμολογίας
φωτοβολταϊκού
συστήματος**

Οι τιμές ΗΕΔ των διαφόρων τύπων συσσωρευτών βρίσκονται μεταξύ 1V και 4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μια διάταξη συσώρευσης σε υψηλότερη ΗΕΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδυάζονται μεταξύ τους σε σειρά. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25V. Έτσι, οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις

οποίες κυκλοφορούν, με την γνωστή εμπορική τους μορφή, οι συσσωρευτές μολύβδου, είναι 6V (τρία στοιχεία) και συνηθέστερα, 12V (έξι στοιχεία) και 24V (δώδεκα στοιχεία).

2.13.2 Διάρκεια ζωής συσσωρευτών

Ένα από τα μεγαλύτερα έξοδα που εμπλέκονται σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, (πέρα από τη διάταξη) είναι οι συσσωρευτές (μπαταρίες). Το ετήσιο κόστος τους είναι υψηλό, με τη συνηθισμένη συντήρηση και με αναπόφευκτη την αντικατάστασή τους. Μερικοί κατασκευαστές σε βιομηχανικό βαθμό υποστηρίζουν ότι ο κύκλος ζωής των μπαταριών κυμαίνεται περίπου στα 10 χρόνια.

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολλή υψηλή τάση γι' αυτούς (Overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (Overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και συνακόλουθα, την παραγωγή υδρογόνου, με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας απ' τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδοχικές διαδικασίες εκφόρτισης και φόρτισης του.



Η χωρητικότητα, C, του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή. Μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Π.χ. σε περιοδική εκφόρτιση-φόρτιση ενός, καλής ποιότητας, συσσωρευτή Pb/H₂SO₄, σε ποσοστό 20% κάτω από την ονομαστική χωρητικότητα του, αντιστοιχεί σε 4500 κύκλους λειτουργίας. Αν το βάθος εκφόρτισης αυξηθεί σε 40%, οι κύκλοι λειτουργίας ελαττώνονται κάτω από τους μισούς.

Ένας πρακτικός κανόνας που προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά των συσσωρευτών και ουσιαστικά, περιγράφει το χρόνο ζωής τους, είναι ο ακόλουθος:

Το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι, με καλή προσέγγιση σταθερό: $b_{ekf} \cdot N_k = \text{σταθερό}$

όπου N_k , το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή.

Εμπειρικός κανόνας:

Για τους συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης (Opzs κατά DIN ή φωτοβολταϊκούς συσσωρευτές), το γινόμενο βάθους εκφόρτισης έχει την τιμή 1200, ενώ για κοινούς συσσωρευτές περιορίζεται στο 120.

Τα αυτόνομα (μη διασυνδεδεμένα) φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν την αποθήκευση της ενέργειας ώστε να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και σε περιόδους με καθόλου ή λίγη ηλιακή ακτινοβολία, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τη διάρκεια συννεφιάς. Η πιο βολική λύση για αποθήκευση ενέργειας σε ένα

φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ο κλασικός ηλεκτροχημικός συσσωρευτής (μπαταρία), ειδικά αφού παράγεται συνεχές ρεύμα και έτσι επιτρέπεται η απευθείας σύνδεση μεταξύ ηλιακών κυψελών και μπαταρίας χωρίς να χρειάζεται μετατροπή.

Ωστόσο η εμπειρία έχει δείξει ότι σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα η μπαταρία είναι το πιο αδύνατο σημείο, καθώς η διάρκεια ζωής της είναι γενικά πολύ μικρότερη από όλες τις άλλες μονάδες του συστήματος. Έτσι το 30% περίπου ή και περισσότερο από τα έξοδα κατά τη διάρκεια ζωής ενός τέτοιου συστήματος δαπανείται στις μονάδες αποθήκευσης. Τυπικά η μπαταρία σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι διαστασιολογημένη ώστε να διασφαλίζει ότι εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί, τα φορτία που πρέπει, μπορούν να καλυφθούν για τουλάχιστον 3-4 ημέρες. Το αποτέλεσμα της διαστασιολόγησης αυτής είναι ότι το ποσοστό της ημερήσιας εκφόρτισης μιας μπαταρίας φωτοβολταϊκού συστήματος είναι περίπου 25% με 30% της θεωρητικής χωρητικότητας της. Επιπλέον η διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών κυψελών συνήθως γίνεται για την κάλυψη όλων των φορτίων που έχουμε υπό συνθήκες μέσης ακτινοβολίας της περιοχής. Αυτές οι δυο βασικές υποθέσεις μας επιτρέπουν να συμπεράνουμε τις τυπικές συνθήκες λειτουργίας για μια μπαταρία σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

- Λειτουργία με περίσσεια ενέργειας:

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί υπό συνθήκες περίσσειας ενέργειας, καθώς είναι σχεδιασμένο για συνθήκες χαμηλότερης μέσης ηλιακής ακτινοβολίας. Ως αποτέλεσμα η μπαταρία φτάνει τη μέγιστη τάση φόρτισης της σχεδόν κάθε μέρα το μεσημέρι και μέχρι το απόγευμα είναι πλήρως φορτισμένη. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η μπαταρία εκφορτίζεται και το πρωί με την ανατολή του ηλίου έχει φτάσει στην ελάχιστη κατάσταση εκφόρτισης, περίπου στο 70% της θεωρητικής χωρητικότητας της. Κατά τη διάρκεια της επόμενης ημέρας πραγματοποιείται πάλι ο ίδιος κύκλος φόρτισης και έχουμε και πάλι πλήρη φόρτιση μέχρι το απόγευμα. Αυτές είναι οι ευνοϊκότερες συνθήκες λειτουργίας για την μπαταρία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

- Λειτουργία με έλλειψη ενέργειας:

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα αν δεν έχει γίνει σημαντική υπερδιαστασιολόγηση, το ίδιο φωτοβολταϊκό σύστημα λιγότερο ή περισσότερο συχνά αντιμετωπίζει συνθήκες λειτουργίας έλλειψης ενέργειας. Κάθε φορά που ο ουρανός θα είναι συννεφιασμένος (έλλειψη άμεσης ακτινοβολίας) και η συννεφιά θα παραμένει για μερικές ημέρες, η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας σταδιακά θα μειώνεται και αργά η γρήγορα η τάση της θα πέσει κάτω από την ελάχιστη τάση εκφόρτισης. Αν ο χρήστης δεν μειώσει εκουσίως την κατανάλωση το αποτέλεσμα θα είναι η προστασία βαθιάς εκφόρτισης της μπαταρίας να διακόψει την παροχή ρεύματος. Η διακοπή θα συνεχιστεί μέχρι η μπαταρία να φορτιστεί και πάλι κατά την διάρκεια της επόμενης ηλιόλουστης ημέρας και να φτάσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο τάσης.

- Λειτουργία με κύκλους διακύμανσης ενέργειας:

Κατά τη διάρκεια των ημερών που η μπαταρία δεν φορτίζεται στο 100% και ούτε πέφτει στην ελάχιστη τάση εκφόρτισης, λειτουργεί σε μια κατάσταση διακύμανσης που είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Ωστόσο σε σχέση με τις δυο προηγούμενες καταστάσεις

λειτουργίας αυτή η ενδιάμεση κατάσταση έχει πολύ μικρή σημασία για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας γιατί δεν εμφανίζεται τόσο συχνά όσο οι άλλες δυο.

Οι συνθήκες λειτουργίας και η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας φωτοβολταϊκού συστήματος καθορίζονται βασικά από τον αριθμό των ημερών που η μπαταρία φορτίζεται στο 100% (που είναι το ιδανικό) και των αριθμό των ημερών που φτάνει την ελάχιστη τάση εκφόρτισης. Αν οι κυψέλες έχουν διαστασιολογηθεί να είναι μικρές για τα φορτία που θα τροφοδοτούν, η μπαταρία θα φτάνει πιο συχνά την ελάχιστη αυτή τάση και η διάρκεια ζωής της θα είναι μικρότερη. Αν αντιθέτως οι συλλέκτες είναι υπερδιαστασιολογημένοι η μπαταρία θα φτάνει στο 100% σχεδόν κάθε μέρα του χρόνου και η διάρκεια ζωής της θα είναι μεγαλύτερη.

Από τη στιγμή που η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι ένας από τους παράγοντες «κλειδιά» για το κόστος κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος, κάποιος πρέπει να ακολουθήσει μια σειρά από κανόνες όταν στοχεύει στη μεγιστοποίηση της. Πρέπει να επιλέξει την κατάλληλη τεχνολογία που ταιριάζει στην εφαρμογή του, να επιλέξει κατάλληλα το ανώτατο όριο φόρτισης και το κατώτατο όριο εκφόρτισης, να αποφύγει τις πλήρεις εκφορτίσεις (κάτω του κατώτατου ορίου εκφόρτισης), να αποφύγει τη δημιουργία στρωμάτων οξέως στον ηλεκτρολύτη, να αποφύγει τις υψηλές θερμοκρασίες μπαταρίας, να εξασφαλίσει συχνές πλήρεις φορτίσεις.

2.13.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας

- Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία μετριέται σε Wh ή kWh. Η ενεργειακή απόδοση μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας είναι :

$$\frac{\text{Ενέργεια από πλήρη εκφόρτιση σε Wh}}{\text{Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση σε Wh}}$$

και είναι συνήθως 70-80%.

- Η χωρητικότητα της μπαταρίας μετριέται σε Ah. Η απόδοση φόρτισης είναι :

$$\frac{\text{Ah για πλήρη εκφόρτιση}}{\text{Ah για πλήρη φόρτιση}}$$

και είναι περίπου 95% για μια μπαταρία οξέως – μολύβδου, και λίγο μικρότερη για μια νικελίου – καδμίου.

- Οι ρυθμοί φόρτισης και εκφόρτισης είναι βολικές κλίμακες για την σύγκριση των ρευμάτων φόρτισης των μπαταριών, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητά τους. Εκφράζονται σαν ένας αριθμός ωρών π.χ. 10ωρος ρυθμός, 24ωρος ρυθμός κ.τ.λ. Το ρεύμα στο οποίο αντιστοιχούν είναι το πηλίκο της συνολικής ικανότητας εκφόρτισης της μπαταρίας προς τον αριθμό των ωρών που χρειάζονται για την εκφόρτιση.

$$P_{\text{ρυθμ}} \cdot V \cdot (A) = \frac{I_{\text{κανόνη}} \cdot (Ah)}{X_{\text{ρόνο}} \cdot (h)}$$

2.13.4 Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας δεν είναι σταθερή

Η ονομαστική ικανότητα μιας μπαταρίας (σε Ah) είναι οι μέγιστες Ah που μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία μπορεί να αποδώσει κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν :

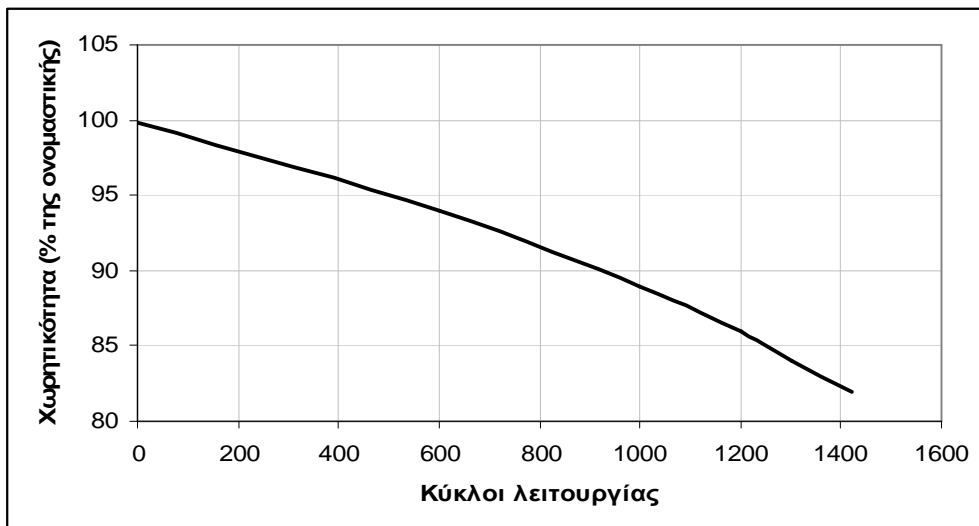
- Το ρεύμα (ή ο ρυθμός) που γίνεται η εκφόρτιση.
- Τη θερμοκρασία λειτουργίας της μπαταρίας.
- Την τάση μέχρι την οποία εκφορτίζεται η μπαταρία (η τελική τάση στο τέλος της εκφόρτισης).

Συγκεκριμένα το ρεύμα εκφόρτισης πρέπει να δηλώνεται μαζί με την χωρητικότητα, αφού για παράδειγμα, μια μπαταρία 100 Ah θα δώσει 10 ώρες εκφόρτισης στα 10 A, λιγότερο από μια ώρα εκφόρτισης στα 100 A και περισσότερες από 100 ώρες στο 1 A. Η χωρητικότητα μεγαλώνει για μικρότερα ρεύματα εκφόρτισης και μικραίνει για μεγαλύτερα ρεύματα.

Στις χαμηλές θερμοκρασίες η χωρητικότητα όλων των μπαταριών μειώνεται. Εάν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα απαιτεί μια συγκεκριμένη αυτονομία σε κάποιο μήνα που η μπαταρία αναμένεται να υποστεί χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη όταν επιλεγεί η μπαταρία.

Η τάση στην οποία εκφορτίζεται η μπαταρία προφανώς επηρεάζει την χωρητικότητα της. Αν μια μπαταρία εκφορτιστεί μέχρι χαμηλότερη τάση φυσικά και θα δώσει περισσότερες Ah.

Το παρακάτω σχήμα, δείχνει την τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή όσο αυξάνει ο χρόνος ζωής του, μετρούμενος σε κύκλους λειτουργίας, με δεδομένο βάθος εκφόρτισης. Όπως παρατηρούμε, η χωρητικότητα του ελαττώνεται και μάλιστα, όσο αυξάνονται οι κύκλοι λειτουργίας ο ρυθμός ελάττωσης αυξάνει.



Η ελάττωση της χωρητικότητας κατά τη διάρκεια των κύκλων λειτουργίας του, οφείλεται στη σταδιακή μείωση των ενεργών υλικών των ηλεκτροδίων. Η ελάττωση της αρχικής χωρητικότητας προσδιορίζεται μ' ένα συντελεστή γήρανσης η τιμή του οποίου (βάση εμπειρίας) μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει περίπου στο 80% της αρχικής ονομαστικής τιμής της χωρητικότητας του.

2.13.5 Τύποι μπαταριών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Οι κυριότεροι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι :

- Μπαταρίες μολύβδου – θειικού οξέος (Pb/H₂SO₄).
- Μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni – Cd)

1) Μπαταρίες μολύβδου – θειικού οξέος (Pb/H₂SO₄)

Ο συσσωρευτής μολύβδου – θειικού οξέος είναι ίσως ο δημοφιλέστερος τύπος ηλεκτρικού συσσωρευτή, γνωστός από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Οι βιομηχανικής παραγωγής συσσωρευτές μολύβδου έχουν υψηλή μηχανική αντοχή και συνακόλουθα, αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις, με δυνατότητα μεγάλων ρευμάτων, σε αντίθεση με τους κοινούς συσσωρευτές μολύβδου. Οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται στα οχήματα και δύνανται, βεβαίως, να εκφορτίζονται με μεγάλα ρεύματα αλλά για πολύ μικρά διαστήματα (τυπικά, ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα για την είνηση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι, συνήθως, μικρότερος των 5s). Η παρατεταμένη χρήση τους με μεγάλα ρεύματα, μειώνει ταχύτητα το χρόνο ζωής τους.

Οι μπαταρίες μολύβδου – θειικού οξέος αποτελούνται από δυο ηλεκτρόδια και τον ηλεκτρολύτη. Το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από διοξείδιο του μολύβδου (PbO₂), ενώ το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι μεταλλικός μολύβδος Pb. Κατά την εκφόρτιση το διοξείδιο του μολύβδου στην άνοδο μεταπίπτει σε θειικό μολύβδο, και ο μολύβδος στην κάθοδο μεταπίπτει επίσης σε θειικό μολύβδο. Ο ηλεκτρολύτης είναι θειικό οξύ διαλυμένο σε νερό ή σε μορφή ζελέ. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι εξής :

Διαδικασία φόρτισης - εκφόρτισης	Αντιδράσεις
A) Γενικά στην κυψέλη	$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons 2PbSO_4 + 2H_2O$
B) Θετικό ηλεκτρόδιο (Αναγωγή)	$PbO_2 + 3H^+ + HSO_4^- + 2e^- \rightleftharpoons PbSO_4 + 2H_2O$
Γ) Αρνητικό ηλεκτρόδιο (Οξείδωση)	$Pb + HSO_4^- \rightleftharpoons PbSO_4 + H^+ + 2e^-$

A) Αρχική αντίδραση – B) Διαδικασία φόρτισης – Γ) Διαδικασία εκφόρτισης

2) Μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni – Cd)

Το στοιχείο NiCd έχει ονομαστική τάση 1,3V και η συνήθης μορφή με την οποία διατίθεται στο εμπόριο χαρακτηρίζεται από τάση 1,45V. Οι συσσωρευτές NiCd έχουν την δυνατότητα να δέχονται βαθιές εκφορτίσεις, χωρίς ουσιαστικό πρόβλημα, σε αντίθεση με τους συσσωρευτές Pb/H₂SO₄. Παρουσιάζουν όμως το μειονέκτημα της «μνήμης» κατά την φόρτιση, αν αυτή διακοπεί, πριν ολοκληρωθεί η διεργασία. Το πρόβλημα συνίσταται στην αδυναμία του συσσωρευτή NiCd, σε επόμενες προσπάθειες συνέχισης της φόρτισης, να αποκτήσει την αρχική του χωρητικότητα και πολική τάση. Αίρεται, αν υποβάλουμε το συσσωρευτή σε πλήρη εκφόρτιση, μέσω κατάλληλης αντίστασης και στη συνέχεια τον φορτίσουμε πλήρως, χωρίς ενδιάμεση διακοπή.

Οι μπαταρίες νικελίου–καδμίου (NiCd) στην φορτισμένη κατάσταση έχουν θετικά

ηλεκτρόδια με NiOOH σαν ενεργό υλικό, αρνητικά ηλεκτρόδια με κάδμιο σαν ενεργό υλικό και για ηλεκτρολύτη υδροξειδίο του καλίου σε νερό. Οι βασικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι εξής :

	Φόρτιση	-	Εκφόρτιση
Γενικά στην κυψέλη :	$2NiOOH + H_2O + e^- \Leftrightarrow Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$		
Θετικό ηλεκτρόδιο :	$NiOOH + H_2O + e^- \Leftrightarrow Ni(OH)_2 + OH^-$		
Αρνητικό ηλεκτρόδιο :	$Cd + 2OH^- \Leftrightarrow Cd(OH)_2 + 2e^-$		

Σημειώνεται ότι στις μπαταρίες νικελίου – καδμίου δεν υπάρχει συμμετοχή του ηλεκτρολύτη (KOH) ούτε στην αντίδραση φόρτισης ούτε στην αντίδραση εκφόρτισης. Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη δεν μεταβάλλεται ούτε κατά τη φόρτιση ούτε κατά την εκφόρτιση και κατά την αντίδραση εκφόρτισης δεν χρειάζεται να έχουμε επαρκή απόθεμα ιόντων από τον ηλεκτρολύτη για να εξασφαλιστεί ότι έχουμε μέγιστη χωρητικότητα. Και τα δυο αυτά είναι αντίθετα με τη συμπεριφορά των μπαταριών μολύβδου – ασβεστίου.

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου συνήθως επιλέγονται μόνο όταν η λειτουργία του συστήματος θα γίνεται σε πολύ χαμηλές (υπό το μηδέν) ή σε πολύ υψηλές (πάνω από 40oC) θερμοκρασίες, όπου οι μπαταρίες μολύβδου – ασβεστίου έχουν πρόβλημα και η διάρκεια ζωής τους μειώνεται σημαντικά. Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου είναι περίπου 3-4 φορές ακριβότερες ανά kWh από τις αντίστοιχες μολύβδου – ασβεστίου.

Παρότι μια κυψέλη μπαταρίας νικελίου – καδμίου μπορεί να εκφορτιστεί πλήρως (0 V) χωρίς πρόβλημα, δεν είναι καλό να επιτρέπεται εκφόρτιση μιας μπαταρίας μέχρι πολύ χαμηλές τάσεις. Και αυτό γιατί κάποια κελιά αναπόφευκτα θα έχουν μικρότερη χωρητικότητα από άλλα και αν η εκφόρτιση υπερβεί το όριο, τα μικρότερης χωρητικότητας κελιά θα εμφανίσουν αντίστροφη πολικότητα η οποία θα μειώσει αρκετά τη διάρκεια ζωής τους. Έτσι συνήθως μια μπαταρία νικελίου – καδμίου σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχει μέγιστο όριο εκφόρτισης το 90%.

2.13.6 Ρυθμιστής φόρτισης

Παρόλο που ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει χωρίς ρυθμιστή φόρτισης και αυτό συμβαίνει συχνά σε μικρά συστήματα, αν θέλουμε να σκεφτούμε την μακροχρόνια λειτουργία των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων πρέπει να αποφύγουμε την υπερφόρτιση και την βαθιά εκφόρτιση της μπαταρίας. Όπως είδαμε και στην προηγούμενη παράγραφο, το κόστος της μπαταρίας κατά τη διάρκεια ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους λειτουργίας του συστήματος. Και η ζωή της μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό από τον τρόπο που την λειτουργούμε.

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι ο σύνδεσμος μεταξύ του συλλέκτη, της μπαταρίας και του φορτίου. Αποτρέπει την υπερφόρτιση και την βαθιά εκφόρτιση της μπαταρίας. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός ρυθμιστή φόρτισης είναι τα εξής:

- Μικρή εσωτερική κατανάλωση ρεύματος (<5 mA).
- Υψηλό βαθμό απόδοσης (96% - 98%).
- Διακοπή του φορτίου αν εμφανιστεί βαθιά εκφόρτιση.
- Τακτική φόρτιση σε υψηλότερη τάση.
- Προστασία από αντίστροφη πολικότητα.
- Προστασία από υπερφόρτιση.
- Λειτουργία σε θερμοκρασίες 0 οC – 50 οC.

Στην περίπτωση, λοιπόν, ενός φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο χαρακτηρίζεται ως πηγή σταθερού ρεύματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις, των οποίων τα τυπικά διαγράμματα δείχνονται στο παρακάτω σχήμα. Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι το ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα, με δυνατότητα να λειτουργεί είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά, ανάλογα με τη μέγιστη φόρτιση είτε ως διακόπτης ON/OFF. Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το φωτοβολταϊκό σύστημα, χωρίς να προκαλείται καμία απολύτως βλάβη σε αυτό. Έτσι απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσης της.

Όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα ενός αυτόνομου συστήματος, τότε πρέπει να λαμβάνονται περισσότερα υπόψη στο σχεδιασμό του. Με κατάλληλη διαχείριση της ενέργειας η χρήση των συλλεκτών και η διάρκεια ζωής ευαίσθητων μονάδων του συστήματος μπορούν να βελτιωθούν. Για το λόγο αυτό συνιστάται το σύστημα να έχει πίνακα ελέγχου που να πληροφορεί το χρήστη για την τρέχουσα κατάσταση του και να του δίνει συμβουλές για το πώς να αντιδράσει σε περίπτωση ανάγκης.

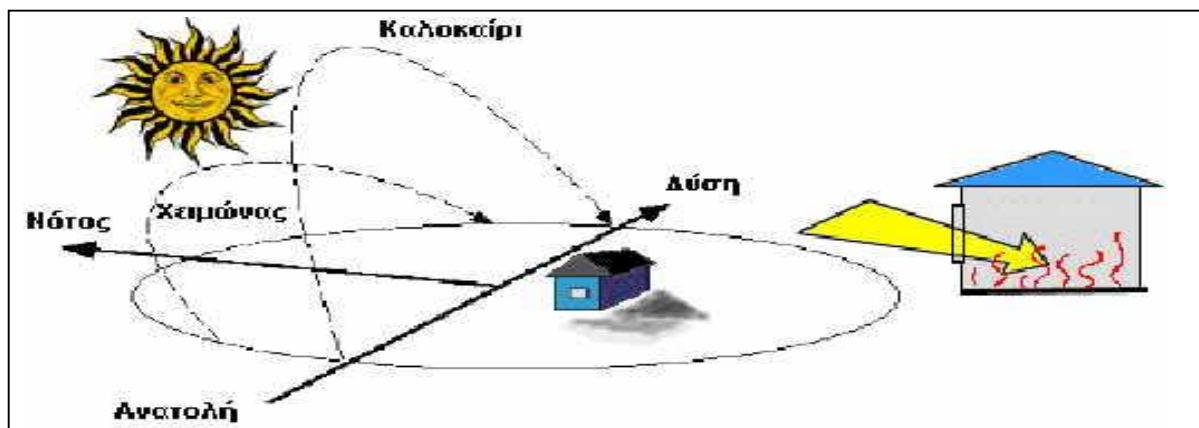
Ο πίνακας ελέγχου είναι η μονάδα στην οποία φαίνεται η κατάσταση του συστήματος κάθε στιγμή. Έχει επικοινωνία με όλες τις μονάδες και μπορεί σε περίπτωση που εμφανισθεί κάποιο πρόβλημα να διακόψει τη λειτουργία, ώστε να προστατευθεί το σύστημα.

Κεφάλαιο 3

Προσανατολισμός και τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών συλλεκτών

3.1 Αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας με σωστό προσανατολισμό πλαισίων

Σημαντικό ρόλο, στην αποδοτικότερη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας από ένα συλλέκτη, παίζει ο προσανατολισμός του. Είναι γνωστό πως ο καλύτερο προσανατολισμός για ένα φωτοβολταϊκό συλλέκτη για το βόρειο ημισφαίριο είναι ο Νότιος (στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε Βόρειο) μιας και έτσι αποκτά την μεγαλύτερη δυνατή έκθεση στην φωτοβολταϊκή ακτινοβολία.



Τυπική ακολουθία του ηλίου σε σχέση με μια κατοικία

Σε αντίθετη περίπτωση, που τοποθετηθούν οι συλλέκτες με διαφορετικό προσανατολισμό θα έχουμε σημαντικές απώλειες στην παραγωγή ενέργειας, τέτοιου μεγέθους που τελικά η εγκατάστασή τους δεν θα είναι κερδοφόρα.

Έτσι μπορούμε να καταλάβουμε την σπουδαιότητα μιας εγκατάστασης σε σχέση με τον "ηλιακό νότο", ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου όπου είναι τοποθετημένος ο συλλέκτης.

Με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης δυνατής απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας, θα αναλύσουμε στη συνέχεια πως μπορούμε να υπολογίσουμε τις σφαιρικές συντεταγμένες ενός



ενδεικτικού σημείου όπου θέλουμε να τοποθετήσουμε φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, τον προσανατολισμό τους και τους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να στηρίξουμε τα πλαίσια για την καλύτερη παρακολούθηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Γενικά μπορούμε να πούμε πως μια ιδανική κατάσταση λειτουργίας ενός συλλέκτη περιλαμβάνει τη μεγιστοποίηση της ημερησίως συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας, από το συλλέκτη, σε συνδυασμό με μια αξιόπιστη και οικονομική κατασκευή.

3.2 Προσανατολισμός των συλλεκτών

Για να καταφέρουμε να προσανατολίσουμε σωστά ένα φωτοβολταϊκό συλλέκτη για τη μέγιστη απολαβή ηλιακής ενέργειας, θα πρέπει να γνωρίζουμε τις σφαιρικές συντεταγμένες του συγκεκριμένου τόπου και το αζιμούθιο του. Στην συνέχεια εξηγούμε πως υπολογίζονται αυτά τα στοιχεία ξεχωριστά.

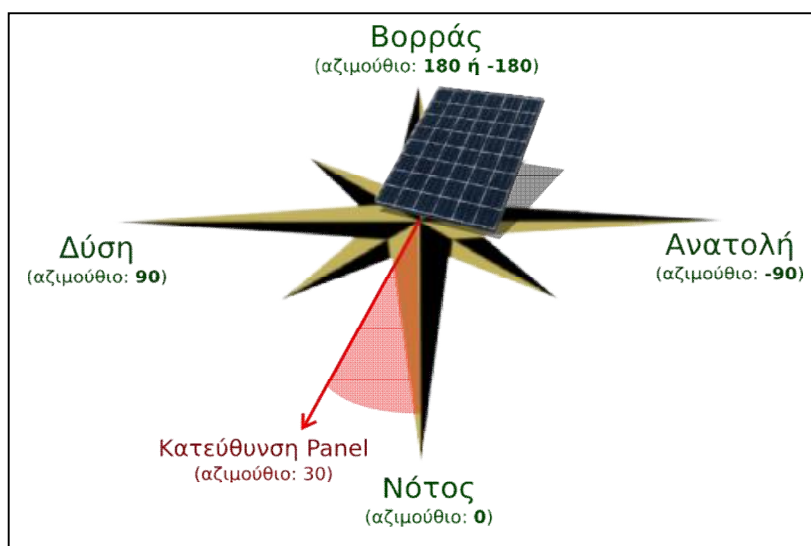
[Σφαιρικές συντεταγμένες ενός τόπου

Οι σφαιρικές συντεταγμένες μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας, όπου θέλουμε να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκούς συλλέκτες υπολογίζονται ως εξής:

- i) Το γεωγραφικό μήκος (L), από $0 - 180^{\circ}$ ανατολικά, με αρνητικό πρόσημο και από $0 - 180^{\circ}$ δυτικά, με θετικό πρόσημο φυσικά με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich.
- ii) Το γεωγραφικό πλάτος (λ), από $0 - 90^{\circ}$ Βόρεια και $0 - 90^{\circ}$ Νότια, με αναφορά τον Ισημερινό.

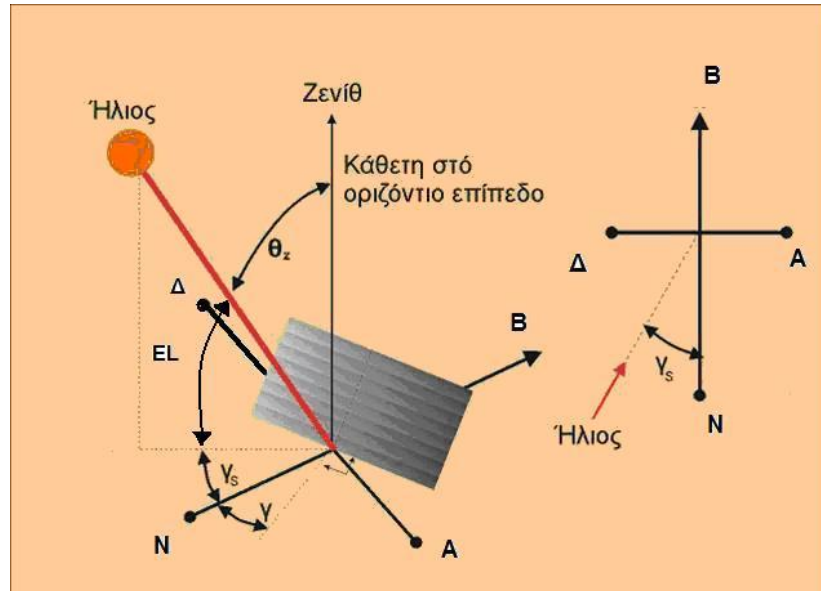
[Αζιμούθιο

Για να προσανατολίσουμε σωστά ένα συλλέκτη, θα πρέπει να καθοριστούν η γωνία κλίσης του και το αζιμούθιο του, ως προς την κατεύθυνση του Νότου. Πιο συγκεκριμένα η ανατολική κατεύθυνση έχει αζιμούθιο -90° και η δυτική 90° . Για να κατανοήσουμε καλύτερα την γωνία αζιμούθιου τοποθετήσαμε το παρακάτω σχήμα ενός τυχαίου φωτοβολταϊκού συλλέκτη.



Παράδειγμα υπολογισμού αζιμούθιου τυχαίου φωτοβολταϊκού συλλέκτη

Ακόμα στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται ξανά η γωνία κλίσης αζιμούθιου (γ) αλλά και μερικές σχετικές συμπληρωματικές γωνίες κλίσης.



Γωνία κλίσης αζιμούθιου επιφάνειας (γ) – Γωνία ζενίθ (θ_z) – Γωνία ηλιακού αζιμούθιου (γ_s) – Ύψος ηλίου (EL)

Η γωνία κλίσης του αζιμούθιου της επιφάνειας (γ) είναι η απόκλιση της προβολής σε ένα οριζόντιο επίπεδο της καθέτου στην επιφάνεια από τον τοπικό μεσημβρινό, με το μηδέν να συμπίπτει με την κατεύθυνση του νότου ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$). Η γωνία αυτή είναι αρνητική προς τα ανατολικά και θετική προς τα δυτικά.

Η γωνία (EL) μας δίνει το ύψος του ηλίου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Η γωνία του ζενίθ (θ_z), είναι η γωνία μεταξύ της κατακόρυφου και της ευθείας του ηλίου, ή με άλλα λόγια, η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης της ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια.

Η γωνία του ηλιακού αζιμούθιου (γ_s), είναι η γωνιακή μετατόπιση ως προς το νότο της προβολής της διαδρομής της άμεσης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, όπου η μετατόπιση ανατολικά ως προς το νότο λαμβάνεται ως αρνητική και δυτικά ως προς το νότο θετική.

3.3 Τρόποι στήριξης συλλεκτών – Συστήματα παρακολούθησης ηλιοτροπίου (trackers)

Οι απαιτήσεις κάθε συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από φωτοβολταϊκά στοιχεία, καθορίζει τον τρόπο τοποθέτησης και στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στοιχεία που προσδιορίζουν τον τρόπο τοποθέτησης των πλαισίων είναι αρκετά, όπως:

- Η ενεργεία που θέλουμε να παράγουμε καθορίζει το πλήθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων, τον μηχανολογικό και ηλεκτρικό- ηλεκτρονικό εξοπλισμό που θα τοποθετηθεί στο σύστημα μας.
- Το περιβάλλον και οι τοπικές καιρικές συνθήκες καθορίζουν το που και το πώς θα στηριχθούν τα πλαίσια.
- Η οικονομική δυνατότητα που έχουμε είναι η αυτή που μας περιορίζει ή μας επιτρέπει να εγκαταστήσουμε ένα ακριβό σύστημα, το οποίο όμως θα μας αποδώσει πολύ περισσότερο από ένα φθηνότερο.

Τρεις είναι οι κύριοι τρόποι στήριξης των πλαισίων και διακρίνονται ανάλογα με την ενεργειακή απολαβή:

- Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη
- Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη
- Στήριξη με δυνατότητα συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης ηλιοτρόπιων –trackers

Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη

Οι σταθερές κατασκευές είναι οι πιο απλές. Έχουν το χαμηλότερο κόστος αλλά λόγω της σταθερής τους θέσης έχουμε και τη μικρότερη παραγωγή ενέργειας. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια π.χ. προσόψεις, στέγες.

Τα πλαίσια τοποθετούνται σε συγκεκριμένο προσανατολισμό και κλίση και παραμένουν έτσι για όλη τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Μπορεί βέβαια ο σχεδιασμός του συστήματος να είναι αρκετά απλός αλλά πρέπει να δοθεί προσοχή στη γωνία κλίσης και τον προσανατολισμό των συλλεκτών. Όταν ο χώρος τοποθέτησης δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ'ολη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, είναι η πιο απλή περίπτωση. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθούμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό. Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το λ (γεωγραφικό πλάτος) του τόπου, οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{\lambda} = (90^{\circ} - \lambda) - 23,5^{\circ}$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη $ELM_{\mu\epsilon\gamma} = (90^{\circ} - \lambda) + 23,5^{\circ}$ (21 Ιουνίου) και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτίνων κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,5^{\circ}$ (νότια του ισημερινού) έως $+23,5^{\circ}$. (βόρεια του ισημερινού) λόγω της γωνίας της γης που σχηματίζεται από τον οριζόντιο άξονα της σε σχέση με τον κάθετο (ισημερινός) της.

Για να προκύψει, βεβαία η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και το albedo (ανακλαστικότητα του εδάφους). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να

καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων, αρκούμαστε σε μετρήσεις με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρόμετρο) σε οριζόντια θέση για όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα γίνεται.

Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας πάντα υπόψη το albedo του εδάφους.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (>200) η κλίση βρίσκεται στην περιοχή $\lambda - (10^\circ + 15^\circ)$.
- Για τόπους με μικρά λ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι 0° . Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία $5^\circ + 10^\circ$ ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).
- Για τόπους όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα, αρκούμαστε στο να τοποθετήσουμε τον συλλέκτη σε μια γωνία $\beta = \lambda - 10^\circ$.
- Αν οι ενεργειακές ανάγκες που θέλουμε να καλύψουμε είναι κατά την διάρκεια του χειμώνα η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda + 15^\circ$. Ενώ εάν θέλουμε ενέργεια κατά την διάρκεια του καλοκαιριού τότε τους τοποθετούμε με κλίση $\beta = \lambda - 15^\circ$.
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.

Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη

Μπορούμε να αντιληφθούμε πως οι κινήσεις του εδάφους και η σύνθεση της ατμόσφαιρας οδηγούν στη διαρκή αλλαγή της απόδοσης και της κατεύθυνσης των ανακλώντων ακτίνων του ηλίου. Έτσι όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο οι κυψέλες των φωτοβολταϊκών στοιχείων σταθερής συναρμολόγησης μπορούν να μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια μόνο ένα κλάσμα της ενέργειας του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος με αποτέλεσμα να μην αγγίζουν την πραγματική τους απόδοση. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, όπου τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρηστές να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου- 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90° .

Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη όπως και στην προηγούμενη περίπτωση πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, ανέμου, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και η διάχυτη ανακλαστικότητα (albedo) του εδάφους.

Συμπέρασμα:

- Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι $\beta = \lambda + (10^\circ + 15^\circ)$.
- Κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda - (10^\circ + 15^\circ)$

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση:

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους.
- Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.

Συνεχούς ημερησίας παρακολούθησης ηλιοτρόπιο (Trackers)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι συλλέκτες τοποθετούνταν είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μικρή απολαβή ενεργείας από τον ήλιο ιδιαίτερα στην πρώτη μέθοδο, με σταθερή γωνία κλίσης. Μια βελτιωμένη εκδοχή είναι η δεύτερη μέθοδος με αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη.

Για να τα πετύχουμε υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζουμε συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές μοιάζουν αρκετά με το φυτό ηλιοτρόπιο ή ηλίανθος, από όπου πήραν και το όνομα τους.

Τα ηλιοτροπία (trackers) είναι ένα προγραμματιζόμενο σύστημα ανίχνευσης το οποίο στρέφει τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες πάντοτε κάθετα προς τις ακτίνες του ηλίου και έτσι η γωνία πρόσπτωσης και η ένταση του φωτός παραμένει σταθερή και διατηρείται μαζί της και η παραγόμενη ενέργεια. Έτσι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά όχι μόνο οι ώρες της ηλιοφάνειας, αλλά και το διάχυτο φως – όλο το έτος -, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν δυο κατηγορίες ηλιοτροπιών ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν:

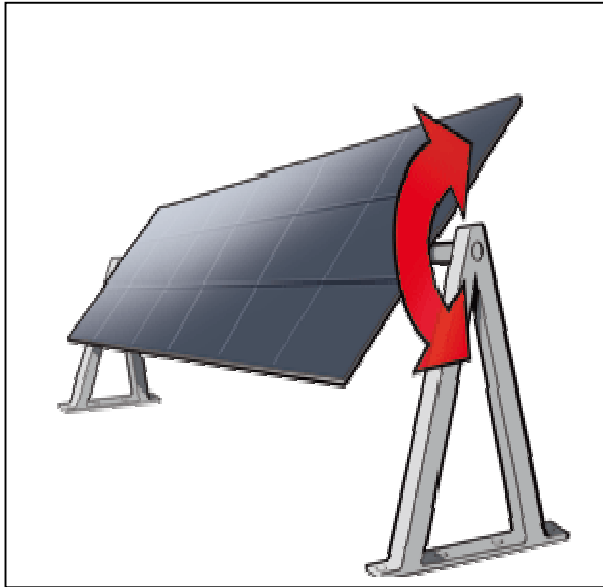
- Κατασκευές με δυνατότητα περιστροφής σ' έναν άξονα.
- Κατασκευές με δυνατότητα περιστροφής σε δύο άξονες.

Με τα ηλιοτρόπια έχουμε μια αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος της τάξης του 20 - 25% με μονοαξονικά και 35 - 45% με διαξονικά συστήματα το οποίο φυσικά μεταφράζεται σε μεγαλύτερη οικονομική αποδοτικότητα, γρηγορότερη απόσβεση του κόστους κτήσης και κατά συνέπεια μεγαλύτερο κέρδος. Στη συνέχεια αναλύουμε τους τρόπους με τους οποίους λειτουργούν αυτά τα συστήματα.

3.3.1 Ηλιοτρόπιο με περιστροφή γύρω από ένα άξονα

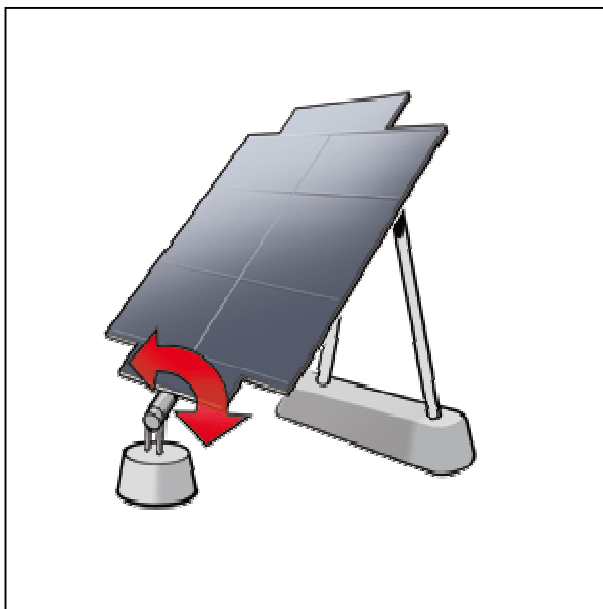
Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ'όλη την ημέρα καταλήγοντας στην δύση. Διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

- Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη (αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο)



Κίνηση σε κάθετο άξονα

- Το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνιά ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά την διάρκεια του έτους η γωνιά μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται από $-23,50$ έως $+23,50$. (πολικό ηλιοτρόπιο-polar tracker)



Κίνηση σε οριζόντιο άξονα

Φυσικά θα πρέπει να υπάρχει κάποιο είδος ελέγχου των δύο αυτών συστημάτων. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

- 1). Με ηλεκτρονικό αυτόματο έλεγχο
- 2). Με πνευματικό αυτόματο έλεγχο

1). Ο ηλεκτρονικός έλεγχος γίνεται με δύο τρόπους:

- Με χρήση οπτικών αισθητήρων
- Με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλου λογισμικού

Η χρήση οπτικών αισθητήρων βασίζεται στην ανίχνευση της κίνησης του ήλιου. Οι αισθητήρες (φωτοδιοδοί, φωτοαντιστάσεις, φωτοβολταικά πλαίσια) τοποθετούνται με κατάλληλο τρόπο ώστε να αντιλαμβάνονται την κίνηση του ήλιου από την μεταβολή της σκίασης στους αισθητήρες. Συνήθως τοποθετείται κάθετα στους συλλέκτες ένα έλασμα και οι αισθητήρες τοποθετούνται δεξιά και αριστερά του ελάσματος. Επίσης υπάρχει δυνατότητα χρήσης φωτοβολταϊκών στοιχείων τοποθετημένα πλάτη με πλάτη κάθετα στους συλλέκτες. Τα σήματα από τους αισθητήρες οδηγούνται σε διαφορικό ενισχυτή ο οποίος με την σειρά του οδηγεί τον κινητήρα του συστήματος. Ο κινητήρας συνήθως είναι βηματικός ή σερβοκινητήρας και η κίνηση μεταδίδεται μέσω μειωτήρων.

Το σύστημα είναι αρκετά απλό και οικονομικό με σοβαρά όμως μειονεκτήματα. Σε ημέρες με αραιή ή αρκετή συννεφιά το σύστημα είναι αναξιόπιστο. Οι αισθητήρες αδυνατούν να αναγνωρίσουν την πραγματική θέση του ηλίου καθώς δέχονται ακτινοβολία από διάφορες θέσεις. Επίσης αντανάκλασεις από διερχόμενα οχήματα ή τζάμια κτιρίων μπορούν να επηρεάσουν το σύστημα. Με κατάλληλα ηλεκτρονικά υπάρχει η δυνατότητα να αντιμετωπισθούν όλα αυτά τα προβλήματα αυξάνοντας βέβαια την πολυπλοκότητα και το αρχικό κόστος του συστήματος.

Για να αποφύγουμε τα προβλήματα αυτά εκμεταλλευόμαστε τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με την χρήση αλγορίθμων ορίζουμε την ακριβή θέση που πρέπει να βρίσκεται το ηλιοτρόπιο. Δυο είναι οι βασικοί τρόποι ελέγχου των συστημάτων αυτών, με την επίλυση των εξισώσεων της θέσεως του ηλίου ή με προσδιορισμό των θέσεων του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους.

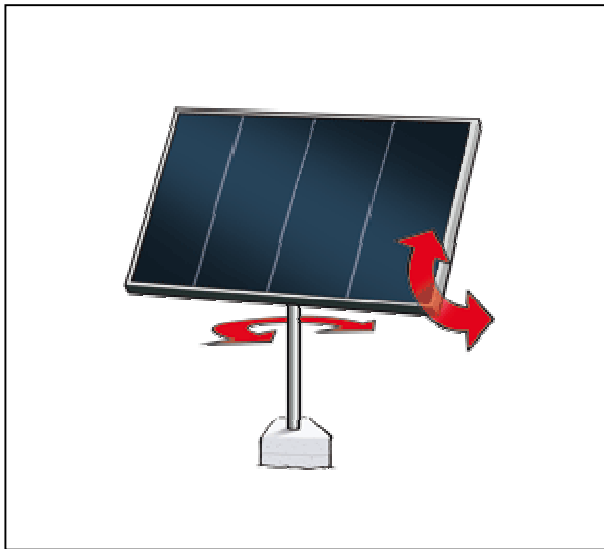
Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή ή μικροϋπολογιστή (microcontroller) για να οδηγήσουμε τον κινητήρα.

Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι η καλύτερη και πιο αξιόπιστη λύση καθώς η κίνηση του ηλιοτροπίου βασίζεται σε μαθηματικές εξισώσεις και όχι στην ακτινοβολία η οποία μπορεί να προέρχεται από πολλά σημεία του ουράνιου θόλου.

2). Ο πνευματικός έλεγχος βασίζεται στην τροποποίηση της ισορροπίας ενός πνευματικού συστήματος, εξαιτίας διαφορεικής θέρμανσης από τον ήλιο. Το σύστημα αποτελείται από δυο δοχεία με υγρό και έναν υδραυλικό σερβοκινητήρα. Τα δοχεία συνδέονται με αγωγό και ο κινητήρας σε σειρά με τον αγωγό. Το ένα δοχείο θερμαίνεται περισσότερο από το άλλο, το ένα σκιάζεται το άλλο όχι, αυξάνοντας την θερμοκρασία του. Αυτό αυξάνει την πίεση στο δοχείο με αποτέλεσμα την ροή του υγρού από το ένα δοχείο στο άλλο και την περιστροφή του κινητήρα. Είναι ένα αρκετά αξιόπιστο σύστημα με μεγάλο κόστος.

3.3.2 Ηλιοτρόπιο με περιστροφή γύρω από δύο άξονες

Τα ηλιοτρόπια με στροφή γύρω από δυο άξονες παρακολουθούν και τις δυο κινήσεις του ήλιου, αζιμούθιο και ύψος (elevation). Η συστοιχία στρέφεται γύρω από δυο άξονες, ξεκινώντας από την ανατολή το πρωί και καταλήγοντας στην δύση το απόγευμα. Η κατασκευαστική διαφορά του ηλιοτροπίου δυο αξόνων είναι η χρήση δυο συστημάτων κίνησης, ένα για κάθε κίνηση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση είτε ηλεκτρικών κινητήρων, είτε βηματικών, είτε κινητήρων συνεχούς περιστροφής, με μειωτήρες και έλεγχο στροφών, για τον προσανατολισμό του επιπέδου, κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία.



Κίνηση σε δύο άξονες

Λόγω της παρακολούθησης του ηλίου και στους δυο άξονες, οι ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, κάτι που κάνει το σύστημα αυτό πιο αποδοτικό σε σχέση με τα άλλα. Η απόδοση του φτάνει το 99,9%. Βεβαίως το κόστος του είναι αρκετά υψηλότερο λόγω της χρήσης διπλών ηλεκτρονικών συστημάτων και της περίπλοκης μηχανολογικής κατασκευής. Ο έλεγχος κίνησης του ηλιοτροπίου γίνεται ηλεκτρονικά, όπως και στα ηλιοτρόπια ενός άξονα, με την χρήση αισθητήρων ή με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η χρήση της μεθόδου των αισθητήρων βασίζεται στην σκίαση των αισθητήρων σε δυο άξονες. Τοποθετούνται δυο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της αζιμουθιακής κίνησης του ηλιοτροπίου και δυο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της γωνιάς του ύψους.

3.4 Γενικά στοιχεία εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων με σύστημα παρακολούθησης ηλιοτροπίου

Η θέση αναφοράς και για τα ηλιοτρόπια είναι ο αληθής νότος (για τα ηλιοτρόπια δυο αξόνων εκτός από τον αληθή νότο, ορίζουμε και μια γωνία αναφοράς π.χ. 20ο). Έτσι κατά την τοποθέτηση πρέπει να προσδιοριστεί σωστά ο νότος για να την αποφυγή σφαλμάτων κατά την λειτουργία της συσκευής. Ιδιαίτερα στα ηλιοτρόπια που ελέγχονται

μέσω υπολογιστή πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτό το θέμα. Σε περίπτωση λανθασμένου προσανατολισμού θα υπάρχει μειωμένη απόδοση κατά την λειτουργία, καθώς είναι το σημείο αναφοράς για τον υπολογισμό της κατάλληλης γωνίας.

Ο άνεμος είναι ίσως ο μοναδικός εχθρός των ηλιοτροπίων. Λόγω των κινουμένων μερών παρουσιάζεται ο κίνδυνος της καταστροφής τους από δυνατό άνεμο. Για αυτόν τον λόγο πρέπει κατά την τοποθέτηση τους να προβλέπεται κατάλληλη στερέωση. Σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται χρήση ανεμομέτρου ώστε σε περίπτωση ισχυρού ανέμου το ηλιοτρόπιο να έρχεται σε οριζόντια θέση (για ηλιοτρόπια δυο αξόνων) ή σε θέση όπου παρουσιάζεται η μικρότερη μετώπη με τον αέρα. Η θέση αυτή, κατά κανόνα, είναι η νότια θέση αναφοράς. Σε αυτή την θέση βρίσκεται και κατά την διάρκεια την νύχτας, από την δύση έως τη ανατολή.

Από τη θέση αναφοράς γίνεται ο υπολογισμός της θέσης που πρέπει να πάρει το ηλιοτρόπιο κατά την ανατολή για να ξεκινήσει η παρακολούθηση του ήλιου. Για να αντιληφθεί το σύστημα την θέση αναφοράς χρησιμοποιείται διακόπτης ο οποίος ενεργοποιείται με την κίνηση του ηλιοτροπίου. Διακόπτες τοποθετούνται επίσης, στις οριακές θέσεις που παίρνει το σύστημα, για προστασία του, καθώς κατά την λειτουργία του μπορεί να παρουσιαστεί βλάβη και να κινηθεί πέρα από τα όρια του. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται συχνά στον έλεγχο με αισθητήρες φωτός, λόγω στις ανακλώμενες ακτίνες.

Ο προσδιορισμός της σωστής γωνίας του συλλέκτη γίνεται με αισθητήρες θέσης ή περιστροφής (encoders). Υπάρχουν αρκετά είδη αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες μας. Κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους: οπτικοί, μαγνητικοί και ηλεκτρικής τάσης (ποτενσιόμετρα). Τελευταία έχουν εμφανιστεί αισθητήρες οι οποίοι αντιλαμβάνονται την αλλαγή του μαγνητικού πεδίου της γης όταν αλλάζουν θέση. Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια ενώ μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος αγοράς και η επίδραση τους με χαλύβδινα αντικείμενα. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται στην κατασκευή υλικά από ανοξείδωτο χάλυβα και αλουμίνιο.

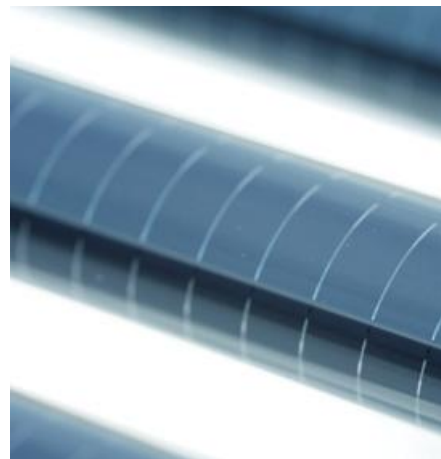
Τελικά οι διατάξεις πλήρους παρακολούθησης του ήλιου (δύο αξόνων), με επίπεδα φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχουν μάλλον περιορισμένη χρήση, μερικές δε φορές, μόνο για ερευνητικούς σκοπούς. Σε πρακτικές εφαρμογές προτιμούμε τη “μερική” παρακολούθηση, με στροφή ως προς ένα άξονα. Πολύ πιο αξιόπιστη, αποδεικνύεται η στατική συστοιχία. Το ενεργειακό κέρδος της παρακολούθησης του ήλιου, από ένα ηλιοτροπικό σύστημα, μπορεί να αντισταθμιστεί από ένα στατικό σύστημα, με ισχύ αιχμής ~35% μεγαλύτερη του ηλιοτροπικού. Λαμβάνοντας υπ’ όψη ότι, σε κάθε περίπτωση, προέχει η αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας, το στατικό σύστημα επιπέδων φωτοβολταϊκών πλαισίων αποτελεί την πιο ενδεδειγμένη λύση, ιδιαίτερα σε εφαρμογές μικρής ισχύος.

Κεφάλαιο 4

Κυλινδρικοί φωτοβολταϊκοί συλλέκτες

4.1 Γενικά στοιχεία

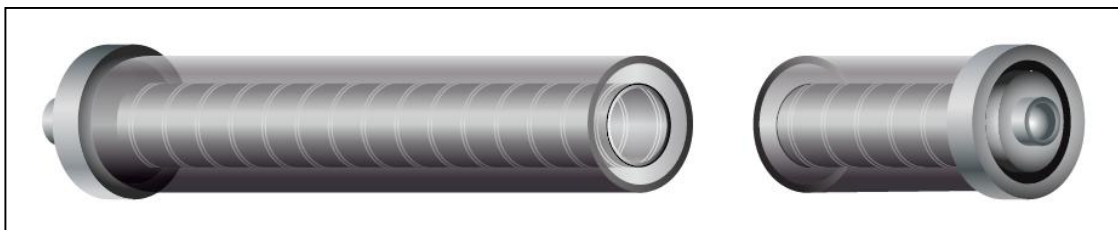
Η εταιρεία SOLYNDRA ιδρύθηκε το Μάιο του 2005 από τον Dr. Chris Gronet, που είναι σήμερα ο πρόεδρος του διοικητικού συμβουλίου. Προέρχεται από την εταιρεία Applied Materials, Inc., εταιρεία κατασκευής ημιαγωγών στην οποία εργάστηκε για 11 χρόνια. Ο Dr. Gronet ίδρυσε τη G-Squared Semiconductor Corporation (που εξαγοράστηκε από την Applied Materials), ενώ εργάστηκε και για την SERA Solar Corporation, στην οποία δημιούργησε καινοτόμες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών. Κατέχει σήμερα περισσότερες από 20 πατέντες στις ΗΠΑ. Είναι κάτοχος πτυχίου στην τεχνολογία υλικών και Ph.D. στην επεξεργασία ημιαγωγών από το Stanford University.



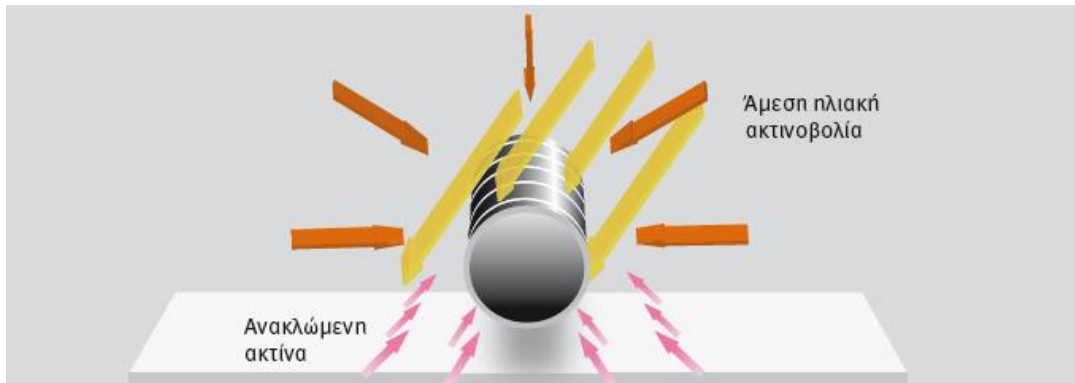
Η εταιρεία SOLYNDRA κατασκευάζει τα φωτοβολταϊκά συστήματα SOLYNDRA Solar συστήματα που είναι ιδανικά για επίπεδες οροφές όπως και για οροφές με πολύ μικρή κλίση, καθώς είναι ειδικά σχεδιασμένα για τη βελτιστοποίηση της φωτοβολταϊκής ισχύος σε στέγες με ελαφρά κλίση και επαρκώς αντανακλαστικές επιφάνειες, επιτυγχάνοντας τη μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την ελάχιστη επιφάνεια της οροφής.

Τα φωτοβολταϊκά Solyndra νέας τεχνολογίας αμερικανικής κατασκευής προσφέρουν γρήγορη, εύκολη και οικονομική εγκατάσταση, καλύτερη αξιοποίηση της οροφής που σημαίνει περισσότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τον χρόνο.

Η καινοτομία των συστημάτων της SOLYNDRA βρίσκεται στον ειδικό σχεδιασμό τους, καθώς τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από σωλήνες που συλλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ολόκληρη την επιφάνεια τους.



Η SOLYNDRA έχει δημιουργήσει ένα σωληνοειδές ηλιακό στοιχείο λεπτής μεμβράνης (thin film), ώστε να μεγιστοποιείται η φωτοβολταϊκή ισχύς αξιοποιώντας και την ακτινοβολία που προέρχεται από τις ανακλαστικές επιφάνειες της στέγης. παράγοντας περισσότερο ηλεκτρισμό σε ετήσια βάση από τα τυπικά πάνελ και παράλληλα απαιτούν πολύ χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης από τις συμβατικές τεχνολογίες επίπεδων φωτοβολταϊκών πάνελ.



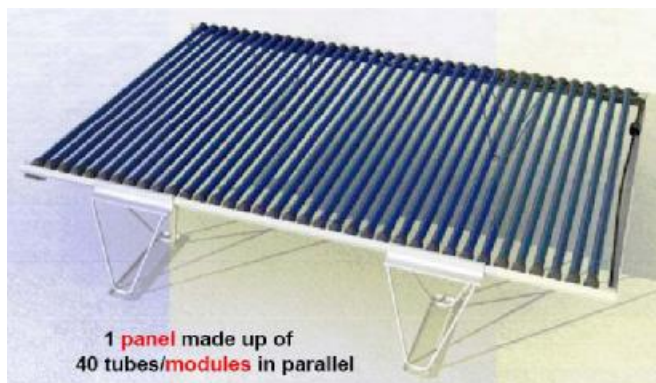
Το υλικό thin film είναι η χημική ένωση των στοιχείων σεληνίου, ίνδιου, χαλκού και γαλλίου ή αλλιώς «δισεληνοϊνδιούχος χαλκός με προσθήκη γαλλίου» (συντομογραφικά, CIGS).

Η φύση του ημιαγωγού CIGS παράγει υψηλή τάση (Volts) με χαμηλό ρεύμα (Amper) με αποτέλεσμα υψηλότερη παραγωγή κιλοβαττωρών ανά κιλοβάτ.

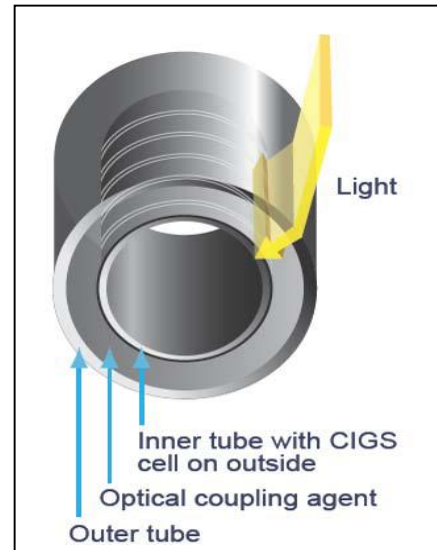
Το λεπτό φωτοβολταϊκό φιλμ βρίσκεται ερμητικά και αεροστεγώς (σε κενό αέρα) κλεισμένο μέσα στους σωλήνες. Ως αποτέλεσμα, η υγρασία δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με το φωτοβολταϊκό υλικό και έτσι ο χρόνος ζωής του πλαισίου είναι πολύ μεγάλος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έως και 5 φορές μικρότερες ετήσιες απώλειες στην απόδοση τους (0,2%) σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πάνελ που παρουσιάζουν μέχρι 1% ετήσια μείωση απόδοσης λόγω του σχεδιασμού τους



Το κάθε πλαίσιο απαρτίζεται από 40 κυλινδρικούς συλλέκτες παράλληλα συνδεδεμένους μεταξύ τους με συνολική ισχύ από 165W έως 200W. Ο κάθε κύλινδρος έχει μήκος 1,10 μέτρα, διάμετρο 1,5 εκ. και αποτελείται από εσωτερικό σωλήνα, επίστρωση του υλικού CIGS (thin film) που απαρτίζεται από περίπου 150 κυψέλες (cells) οι οποίες συνδέονται σειριακά μέσω λεπτού στρώματος του ημιαγωγού CIGS και εξωτερικό κύλινδρο πάχους 2,5 χιλ. για στεγανοποίηση του thin film.



Στον κάθε κύλινδρο, ενδιάμεσα του thin film και του εξωτερικού κυλίνδρου, υπάρχει ένα λεπτό στρώμα απορροφητικού υλικού OCR (Optical Coupling Agent) όγκου 150ml το οποίο βοηθάει στην διόχτευση του ήλιου κάθετα πάνω στο υλικό CIGS και αύξηση της εισροής φωτονίων κατά 1,5 φορές.



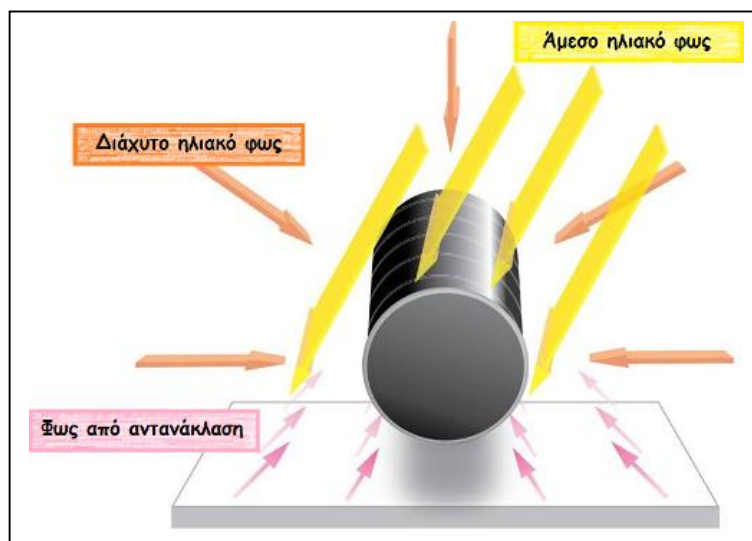
4.2 Λειτουργία συστήματος

Η πρωτοποριακή τεχνολογία της Solyndra, πετυχαίνει να μπορεί να συλλέγει το φως του ήλιου και στις 360 μοίρες του κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συλλέκτη και έτσι να μετατρέπει την άμεση, την διάχυτη αλλά και την ανακλώμενη ακτινοβολία από το ηλιακό φως, σε ηλεκτρική ενέργεια.

Αυτό σημαίνει πως έχουμε:

1. Αυτο-παρακολούθηση ήλιου

Η συλλογή του άμεσου φωτός είναι ίδια σε όλες τις γωνίες.



2.Οριζόντια τοποθέτηση συλλεκτών.

Η οριζόντια τοποθέτηση των συλλεκτών, είναι η καλύτερη για την συλλογή του άμεσου, του διαχεόμενου και του αντανακλώμενου φωτός

Η συλλογή του διαχεόμενου φωτός βελτιώνεται πολύ, από όλες τις γωνίες, καθώς χάρις στην κυλινδρική κατασκευή του συλλέκτη, το αντανακλώμενο φως που θα χανόταν, συλλέγεται και αυτό.

Όταν εγκαθίστανται μαζί με ανακλαστική μεμβράνη οροφής, η οποία τοποθετείται επάνω στην οροφή πριν γίνει η τοποθέτηση των συγκεκριμένων φωτοβολταϊκών πάνελ, βελτιστοποιείται ο ηλεκτρισμός που παράγεται και μειώνεται το συνολικό κόστος εγκατάστασης.

Η ενέργεια που συλλέγει ο συλλέκτης Solyndra είναι 80% από την ενέργεια πάνω από τον συλλέκτη και 20% από κάτω. Υπολογίζεται από το λογισμικό της εταιρίας ότι για κάθε 4% μείωση ανακλαστικότητας για κάτω από το 90% δημιουργείται 1% μείωση ετήσιας παραγωγής ρεύματος (energy yield).

Είναι ενδεικτικό ότι σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά πάνελ σταθερού πλαισίου τα κυλινδρικά παράγουν συνολικά 20-25% περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα.



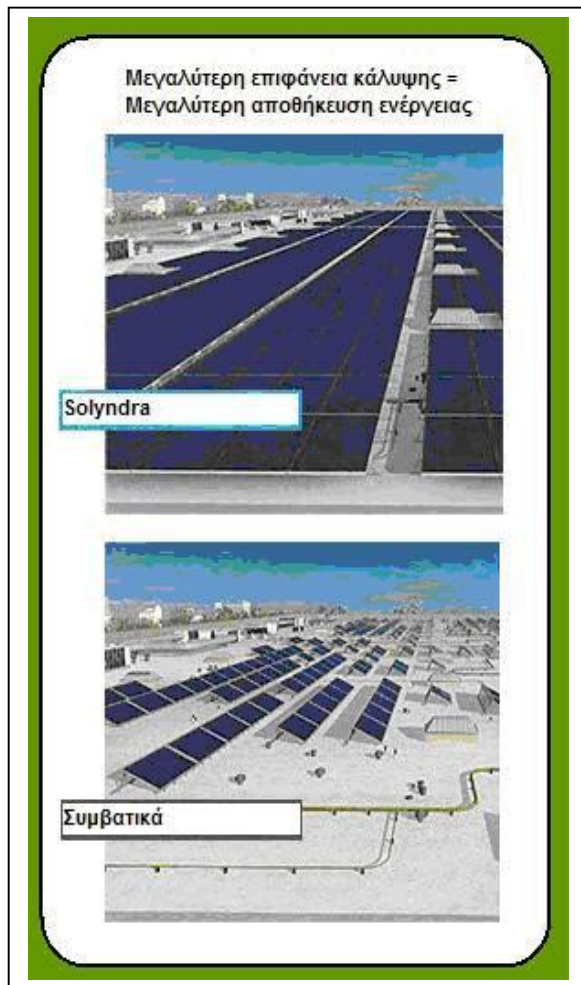
3. Μεγαλύτερη επιφάνεια κάλυψης

Το χαρακτηριστικό κυλινδρικό σχήμα των πλαισίων τα καθιστά ικανά να τοποθετούνται πολύ κοντά μεταξύ τους και σε επίπεδη διάταξη.

Τοποθετούμενα απλά σε οριζόντια θέση, το ένα δίπλα στο άλλο, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχουν απόσταση το ένα από το άλλο για να μη σκιάζονται μεταξύ τους, χρησιμοποιούν και αξιοποιούν το ελάχιστο δυνατόν εμβαδόν της οροφής για να αποδοθεί η απαιτούμενη ισχύ σε κάθε εγκατάσταση.

Ως εκ τούτου το σύστημα Solyndra απαιτεί μέχρι και 30% μικρότερη επιφάνεια εγκατάστασης σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά συστήματα δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μέχρι και 30% υψηλότερη παραγωγή στη διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης.

Αυτή η ιδιότητα τα καθιστά ιδανική λύση για περιορισμένους χώρους όπως ταράτσες οικοδομών όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, όπως επίσης και για εκτάσεις γης όπου η τοποθέτησή τους εκμεταλλεύεται στο έπακρο ολόκληρη τη διαθέσιμη έκταση.



Παρατηρούμε πως στο ίδιο
εμβαδό χώρου δίνεται η
δυνατότητα τοποθέτησης
περισσότερων κυλινδρικών
φωτοβολταϊκών
συλλεκτών, όπου αυτό
μεταφράζεται σε υψηλότερη
παραγωγή ενέργειας

Επιπλέον το κυλινδρικό φωτοβολταϊκό σύστημα διαθέτει:

A. Χαμηλό ίδιον βάρος

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με βάσεις στήριξης και συνδετικά στοιχεία έχουν βάρος ανά τετραγωνικό μέτρο της τάξης των 16 – 18 kg/m² περίπου και μπορούν έτσι να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια με στατικά χαμηλά επιφορτιζόμενες στέγες, όπως π.χ. συνηθίζεται σε βιομηχανικά κτίρια.

Το σχετικά μικρό βάρος των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών πάνελ σε συνδυασμό με τη μεγάλη αντοχή στους ισχυρούς ανέμους (π.χ. αντέχουν σε ανέμους άνω των 180 Χλμ/ώρα) και αυτό διότι ο αέρας περνά ανάμεσα από τις κυλινδρικές επιφάνειες, τα καθιστούν ιδανικά για μια μεγάλη ποικιλία οροφών, απλοποιώντας τις διαδικασίες εγκατάστασης και κατά συνέπεια το κόστος εγκατάστασης

B. Γρηγορότερη εγκατάσταση

Λόγω της απλής διάταξης, η τοποθέτηση των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών πλαισίων δεν απαιτεί χρονοβόρα διαδικασία ούτε κατασκευαστική προεργασία του δαπέδου.

Επίσης δεν απαιτείται ειδική στήριξη, καθώς είναι έτσι σχεδιασμένα να τοποθετούνται ελεύθερα και με απόλυτη ασφάλεια στην επιφάνεια της ταράτσας, χωρίς να χρειάζεται να τρυπηθεί η ταράτσα για να γίνει η στήριξη όπως συνήθως απαιτούν τα κλασικά φωτοβολταϊκά πάνελ σταθερού πλαισίου, απλώς τοποθετούνται στις βάσεις τους και το συνεργείο τα ακουμπά κυριολεκτικά στην επιφάνεια γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για μια εγκατάσταση με χαμηλό κόστος



Εύκολη γρήγορη και αποδοτική τοποθέτηση

4.3 Διάρκεια ζωής

Τα Solyndra κατασκευάζονται στις ΗΠΑ και συγκεκριμένα στην Καλιφόρνια. Ο χρόνος ζωής τους βρίσκεται γύρω στα 25 έτη με εγγύηση παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή:

Τα κυλινδρικά φωτοβολταϊκά πλαίσια διαθέτουν πιστοποίηση κατά CE και IEC 61646 και IEC 61730, εγγύηση προϊόντος 5 ετών και εγγύηση απόδοσης 25 ετών.

Πιο συγκεκριμένα η απόδοση παραγωγής κυμαίνεται:

- 10 χρόνια (90% της βέλτιστης απόδοσης του πάνελ)
- 25 χρόνια (80% της βέλτιστης απόδοσης του πάνελ)

4.4 Εγκαταστάσεις στην Ελλάδα

Η Solyndra έχει εγκαταστήσει πάνελ δυναμικότητας σχεδόν 100 MW σε όλο τον κόσμο.

Ο μεγαλύτερος φωτοβολταϊκός σταθμός που έχει εγκατασταθεί στην Ελλάδα με το καινοτόμο φωτοβολταϊκό σύστημα Solyndra είναι δυναμικότητας 190 kWp στον Ασπρόπυργο επί οροφών συνολικού εμβαδού 4400 τ.μ.



Εγκατάσταση κυλινδρικού συστήματος φωτοβολταϊκών στον Ασπρόπυργο

Τα καινοτόμα κυλινδρικά φωτοβολταϊκά της Solyndra, διακινούνται στην Ελλάδα από την Pacific Renew Energy, η οποία στο πρώτο τρίμηνο λειτουργίας της είχε 1,5 MW σε παραγγελίες. Έτσι σε συνδιασμό με το πρωτοποριακό σύστημα των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών και χάρη στην φιλοπεριβαλλοντική πολιτική των τελευταίων ετών, οι επενδύσεις φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα απολαμβάνουν ικανοποιητικές τιμές πώλησης της παραγόμενης κιλοβατώρας σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρώπης, γεγονός που αναμένεται να δημιουργήσει ισχυρή αύξηση της ζήτησης. Εάν σημειωθεί αντίστοιχη βελτίωση στους χρόνους εκπόνησης αδειών και διευκολυνθεί η χρηματοδότηση των

έργων, η Ελληνική αγορά ενέργειας θα αποκτήσει σημαντική δυναμική, βοηθώντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη της Ελλάδας συνολικά.

Παράλληλα, η διοίκηση της εταιρείας έχει ήδη προχωρήσει στη διενέργεια ενημερωτικών ημερίδων σε μεγάλες πόλεις της χώρας αναφορικά με τη παρουσίαση των καινοτόμων προϊόντων της Solyndra και ταυτόχρονα δημιούργησε την ιστοσελίδα www.pacific-renew.com για την καλύτερη ενημέρωση των επαγγελματιών εγκαταστατών φωτοβολταϊκών.

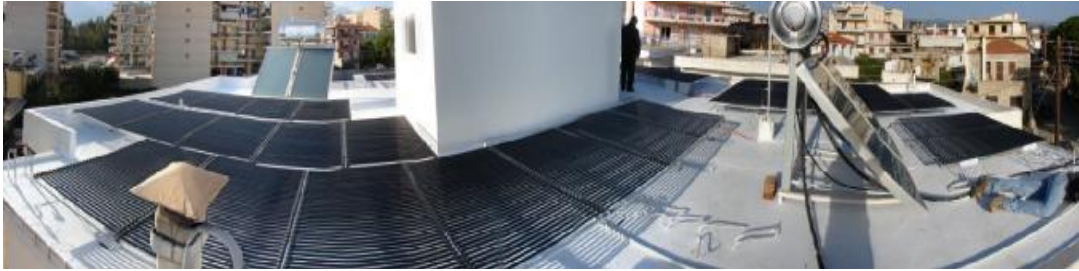
Παρακάτω παραθέτουμε φωτογραφικό υλικό που απεικονίζει εγκατεστημένο στη Αμερική αλλά και στην Ελλάδα το κυλινδρικό φωτοβολταϊκό σύστημα.



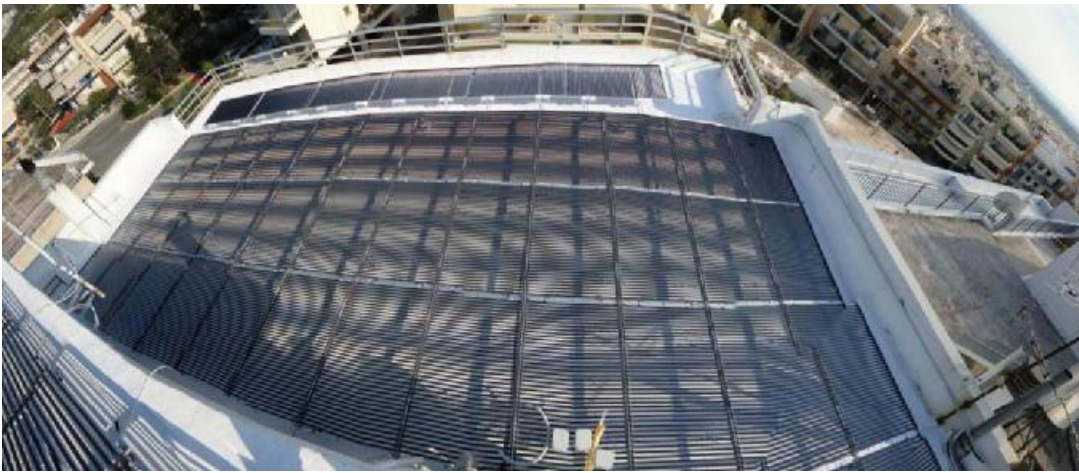
135 kW εγκατάσταση σε εμπορικό κέντρο στην Καλιφόρνια



10 kW εγκατάσταση σε οικία στις Σέρρες



10 kW εγκατάσταση σε οικία στην Σπάρτη



10 kW εγκατάσταση σε οικία στην Αργυρούπολη



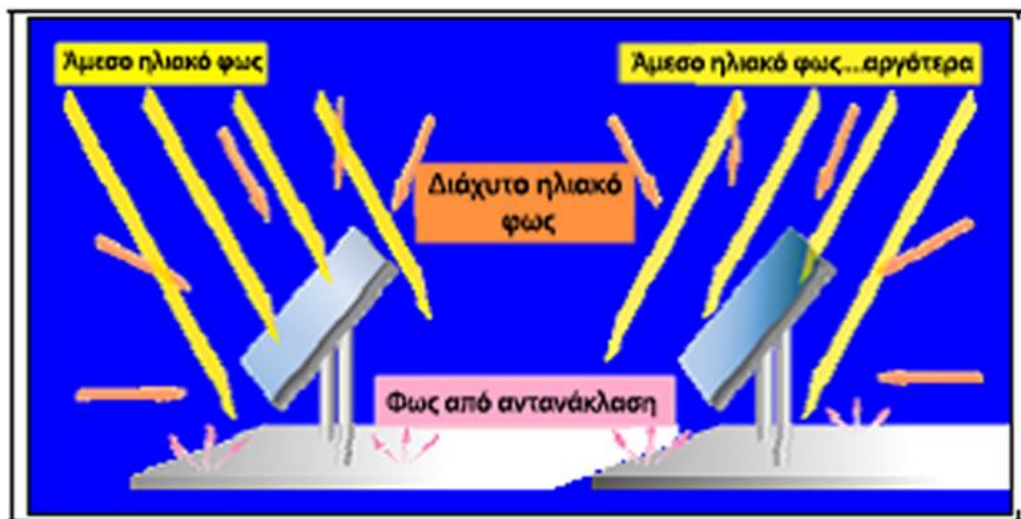
10 kW εγκατάσταση σε οικία στο Λαγονήσι

Κεφάλαιο 5

Τεχνική παρουσίαση – Σύγκριση επίπεδων πάνελ με κυλινδρικούς συλλέκτες

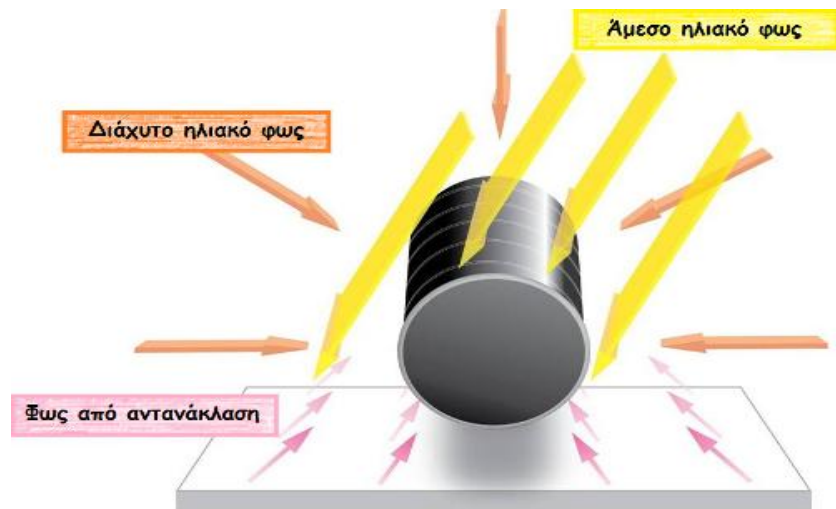
5.1 Σύγκριση της διαδικασίας συλλογής ηλιακής ενέργειας

Για τη διασφάλιση της βέλτιστης παραγωγής ενέργειας, τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να τοποθετούνται σε συγκεκριμένη γωνία και συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους. Έτσι, χάνεται πολύτιμη επιφάνεια παραγωγής ρεύματος. Σε σύγκριση με τις συμβατικές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, χάρη στη χωρίς σκιάσεις, παράλληλη προς τη στέγη διάταξη των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών πλαισίων υπάρχει η δυνατότητα διπλασιασμού της προς κάλυψη επιφάνειας στέγης.



Διαδικασία συλλογής ηλιακής ενέργειας από συμβατικά επίπεδα πάνελς

- Οι ακτίνες του ήλιου (κίτρινα) απαιτούν σύστημα παρακολούθησης του ήλιου για μέγιστη απόδοση
- Οι διαχεόμενες ακτίνες (πορτοκαλί) συλλέγονται μερικώς
- Οι ανακλώμενες ακτίνες (ροζ) δεν συλλέγονται καθόλου



Διαδικασία συλλογής ηλιακής ενέργειας από κυλινδρικά πάνελς

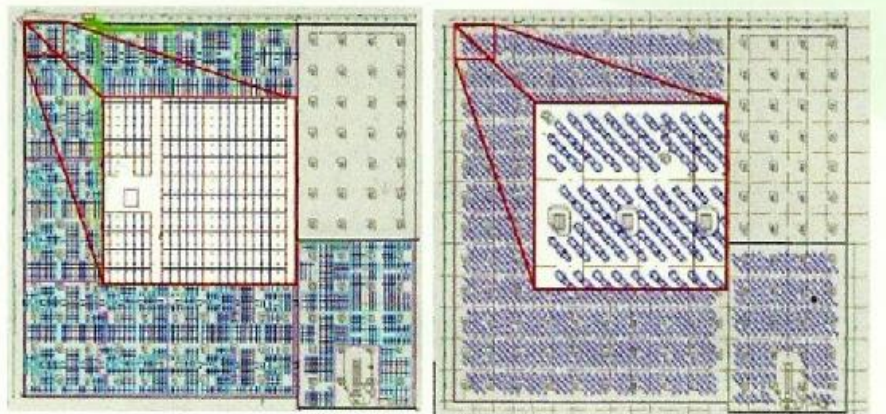
- Οι ακτίνες του ήλιου (κίτρινα) απορροφώνται σε μέγιστο βαθμό χωρίς μηχανισμό παρακολούθησης του ήλιου για μέγιστη απόδοση
- Οι διαχεόμενες ακτίνες (πορτοκαλί) συλλέγονται ολικώς
- Οι ανακλώμενες ακτίνες (ροζ) συλλέγονται ολικώς από την κάτω επιφάνεια της τάρτσας

Μπορούμε να καταλήξουμε με ασφάλεια στο συμπέρασμα πως η απόδοση των κυλινδρικών πάνελς της Solyndra σε σχέση με τα παραδοσιακά επίπεδα πάνελς πυριτίου είναι περίπου 25% παραπάνω

5.2. Σύγκριση προσανατολισμού κυλινδρικών πάνελ – επίπεδα πάνελ πυριτίου

Όπως έχουμε αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα κυλινδρικά πλαίσια τοποθετούνται σε οριζόντια θέση και ενωμένα μεταξύ τους, αφού δεν χρειάζονται συγκεκριμένο προσανατολισμό για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση, ούτε απόσταση μεταξύ των συστοιχιών για να μην σκιάζονται μεταξύ τους, όπως τα επίπεδα πλαίσια.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κάτοψη μιας τάρτσας όπου, στη μία περίπτωση έχουν εγκατασταθεί κυλινδρικά πλαίσια και στην άλλη συμβατικά επίπεδα πλαίσια.



Solyndra

Panels πυριτίου

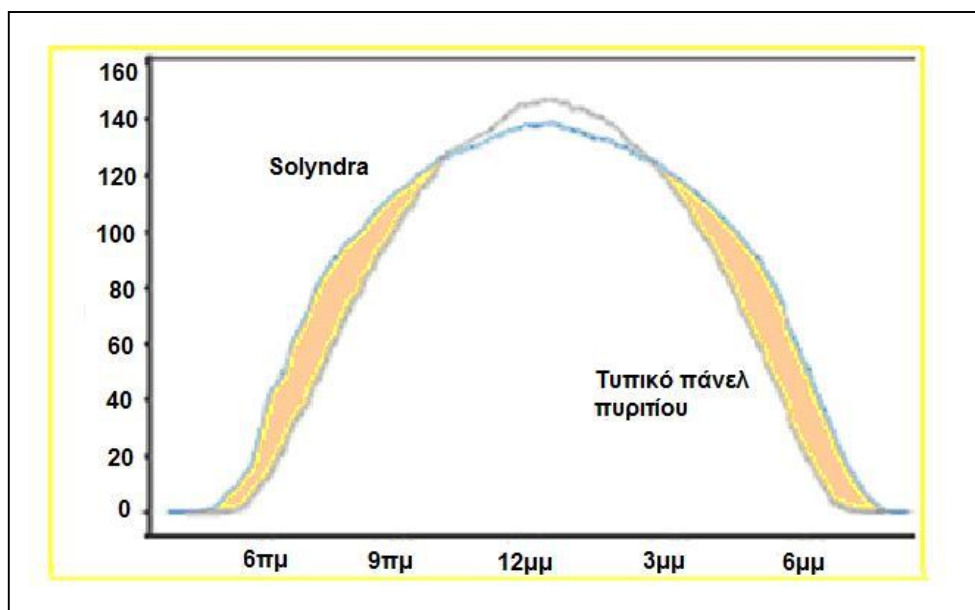
Κυλινδρικά πάνελ

Επίπεδα πάνελ πυριτίου

Παρατηρώντας το σχέδιο, συμπεραίνουμε ότι αφού ο προσανατολισμός των κυλινδρικών στοιχείων προς το νότο δεν είναι απαραίτητος, όπως στην περίπτωση των επίπεδων, συνεπάγεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση του χώρου κατά 20-25%.

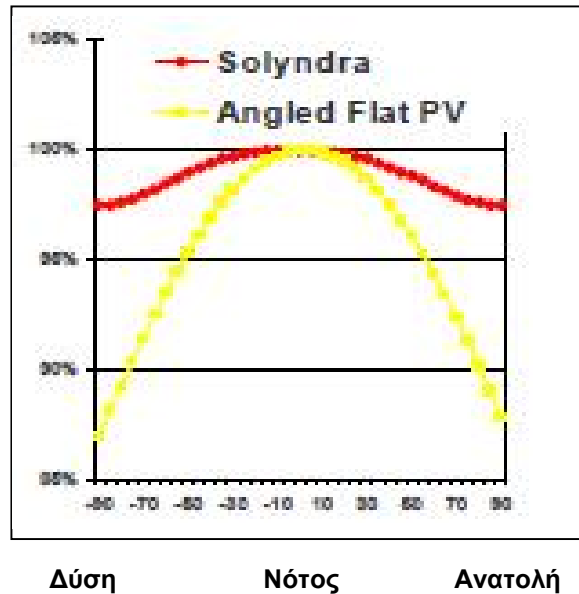
5.3. Σύγκριση συλλογής ενέργειας τις πρωινές και απογευματινές ώρες

Το σύστημα των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών λόγω του κυλινδρικού τους σχήματος συλλέγει περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τα συνηθισμένα επίπεδα πάνελ τις πρωινές και απογευματινές ώρες όταν το ύψος του ηλίου πέφτει και "κοιτάζει" τους συλλέκτες από το πλάι. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται παραδείγματος χάρι ότι στις 7 το πρωί ένα κλασικό επίπεδο πάνελ συλλέγει ισχύ περίπου 30kW ενώ ένα αντίστοιχο κυλινδρικό φωτοβολταϊκό σύστημα συλλέγει ισχύ ίση με περίπου 70kW.



5.4. Σύγκριση Νοτίου προσανατολισμού κυλινδρικού φωτοβολταϊκού πάνελ με επίπεδο πάνελ

Ο κυλινδρικός συλλέκτης της Solyndra έχει ελάχιστες απώλειες ενέργειας όταν δεν έχει νότιο προσανατολισμό. Για παράδειγμα σε γωνία 90 μοιρών από τον νότο (δηλαδή προς ανατολή ή δύση) η μείωση της Solyndra είναι περίπου 2,5% ενώ αντίστοιχα το panel πυριτίου μειώνεται κατά 17%.

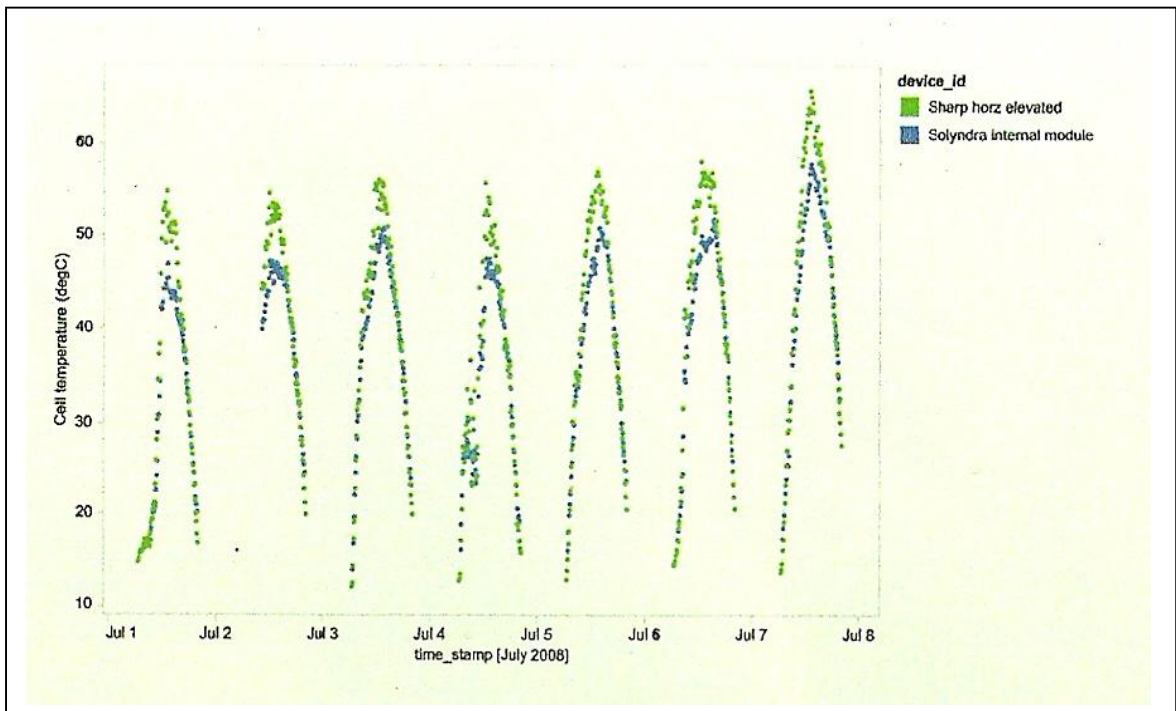


5.5. Σύγκριση θερμοκρασίας κυλινδρικού πάνελ – επίπεδο πάνελ πυριτίου

Σε σύγκριση με τα συμβατικά, επιφανειακά φωτοβολταϊκά πλαίσια, η φυσική ροή του αέρα μεταξύ των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει ως αποτέλεσμα να μη ζεσταίνονται τόσο όσο τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια και ταυτόχρονα αφού ψύχονται καλύτερα και λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες έχουν χαμηλότερες απώλειες με αποτέλεσμα να παράγουν περισσότερη ενέργεια και ακόμα διαθέτουν καλύτερη ασφάλεια λειτουργίας.



Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την διαφορά θερμοκρασίας συναρτήσει της διάρκειας της ημέρας από 1^η έως 8^η Ιουλίου 2008 που αναπτύσσει ένα επίπεδο πλαίσιο πυριτίου σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο κυλινδρικό. Το κυλινδρικό πλαίσιο έχει τοποθετηθεί σε λευκή επιφάνεια με αντανάκλαστικότητα >90%, ενώ το επίπεδο πλαίσιο πυριτίου σε οριζόντια θέση.



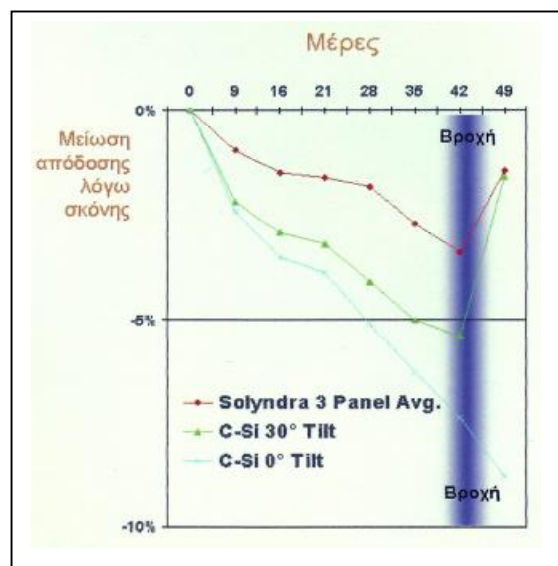
Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας όπου η ακτινοβολία του ήλιου φτάνει στο μέγιστο, το κυλινδρικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο (μπλε σημεία) αναπτύσσει πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από το επίπεδο πλαίσιο (πράσινα σημεία).

5.6. Σύγκριση «σκονισμού» κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος – συμβατικό πάνελ πυριτίου

Σε αυτό το σημείο θα δούμε πως αντιδρούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στο πρόβλημα που παρουσιάζεται με την επικάλυψη σκόνης στην επιφάνειά τους, με άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσής τους.

Όπως είναι λογικό, στα επίπεδα πλαίσια η επικάλυψη της σκόνης είναι πολύ μεγαλύτερη απ’ ότι στα κυλινδρικά πλαίσια, λόγω του φυσικού τους σχεδιασμού. Το φαινόμενο αυτό είναι ακόμα μεγαλύτερο σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν μεγάλο μεγέθους επιφάνεια επίπεδου πλαισίου ή σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση είναι κοντά σε μέρος με πολύ σκόνη.

Το διπλανό διάγραμμα δείχνει την διαφορά επίδρασης της σκόνης πάνω στα κυλινδρικά πλαίσια της Solyndra και σε



σύγκριση με επίπεδα πλαίσια πυριτίου, μιας εγκατάστασης με κλίση 30° και μιας με 0° κλίση.

Όπως συμπεραίνουμε από το διάγραμμα η μείωση απόδοσης των κυλινδρικών πάνελ είναι μικρότερη από 3% μετά από 40 μέρες σε σκονισμένο δρόμο όταν τα αντίστοιχα πάνελ πυριτίου κατεβάζουν την απόδοση από 6 μέχρι 9%. Επίσης παρατηρούμε ότι η βροχή καθαρίζει την επιφάνεια των κυλινδρικών πλαισίων και αυτόματα μηδενίζει την επίδραση της σκόνης στην λειτουργία τους.

5.7. Συμπεριφορά σε ανέμους

Για την αντοχή στα φορτία ανέμου, τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει είτε να επιβαρύνονται με πρόσθετα βάρη ή να στερεώνονται στη στέγη με στοιχεία στερέωσης.

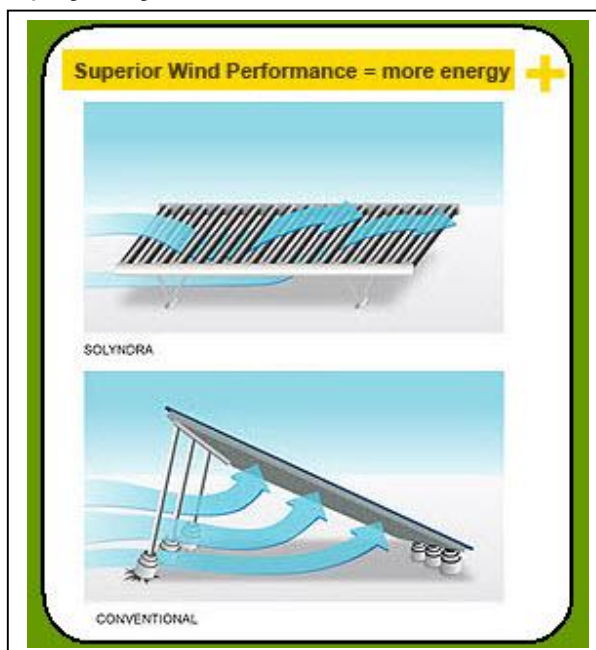
Ο αέρας μπορεί να διαπερνά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια SOLYNDRA σχεδόν απρόσκοπτα, μεταξύ των κενών των σωλήνων σε κάθε πλαίσιο. Έτσι, ελαχιστοποιούνται οι ασκούμενες στο πλαίσιο δυνάμεις ανέμου, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται πρόσθετη στερέωση των πλαισίων στο έδαφος.

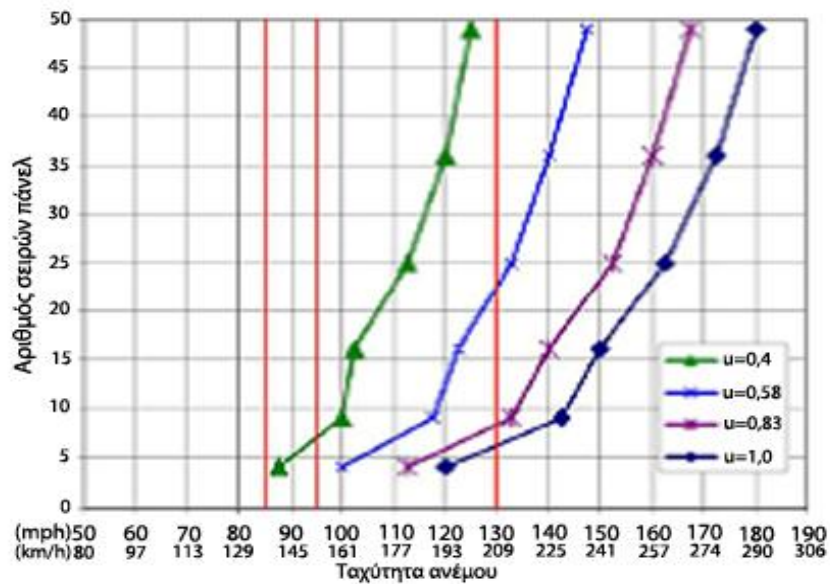
Η ευστάθεια και σταθερότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων SOLYNDRA διασφαλίζεται με αξιοπιστία χάρη στο ίδιο βάρος τους.

Τα πλαίσια της Solyndra έχουν σχεδιαστεί και δοκιμαστεί να αντέχουν σε ανέμους μέχρι και 208Km/h (130mph, 12 Bft). Εκτός αυτού, η διάταξη των πλαισίων ασκεί σταθερή πίεση στο έδαφος 16Kg/m² η οποία είναι αρκετή για να μη χρειάζονται επιπλέον στήριξη. Έτσι, τοποθετούνται άνετα σε ταράτσες κτιρίων χωρίς να συμβάλλουν σε φορτίο στην ταράτσα λόγω πίεσης από ανέμους, όπως τα κοινά φωτοβολταϊκά.

Ακόμη και σε περιοχές με ανέμους υψηλής ταχύτητας δεν υπάρχει ανάγκη για διάτρηση της ταράτσας για την τοποθέτηση των πλαισίων ούτε ανάγκη για τοποθέτηση έρματος ή πρόσθετων στηριγμάτων

Ο συνδυασμός συντελεστή τριβής (u) της επιφάνειας στήριξης των panels και το μήκος των σειρών (strings) σε αριθμό panels επιτρέπει την δημιουργία πλεγμάτων με ανθεκτικότητα σε πολύ ισχυρούς ανέμους. Για παράδειγμα, σε εγκατάσταση ταράτσας με συντελεστή 1 και σειρές των 9 πάνελ δημιουργείται υποδομή με αντοχή σε ανέμους μέχρι και 230 χλμ/ώρα (145 μίλια/ώρα).





5.8 Πλεονεκτήματα σε σύγκριση με επίπεδα πάνελ

Τελικά μπορούμε να ονομάσουμε ορισμένα πλεονεκτήματα όπου τα κυλινδρικά φωτοβολταϊκά συστήματα διαθέτουν σε σχέση με ένα συμβατικό επίπεδο πάνελ πυριτίου.

Γ Πλεονεκτήματα

- Αδιάφορο προσανατολισμού
- Γρηγορότερη τοποθέτηση, λόγω ανυπαρξίας σκελετού έδρασης. Αντ' αυτών υπάρχουν κάποιες μικρές μεταλλικές βάσεις, που απλά "πατάνε" στη στέγη
- Μεγαλύτερη απόδοση από τα κλασσικά επίπεδα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά 10-20%
- Οριζόντια τοποθέτηση
- Εξοικονόμηση χώρου ταράτσας, για την ίδια ισχύ
- Απόδοση 10-30% παραπάνω ισχύος στην ίδια επιφάνεια σε σχέση με πλαίσια πυριτίου
- Σταθερή απόδοση ρεύματος όλο τον χρόνο λόγω σταθερής θερμοκρασίας λειτουργίας
- 5 φορές μικρότερες ετήσιες απώλειες (0,2%) σε σχέση με τα πλαίσια πυριτίου (1%)
- Αντοχή σε ανέμους μέχρι 208χλμ/ώρα, άρα δεν απαιτείται στήριξη ή τρύπημα ταράτσας
- Καλό αισθητικό αποτέλεσμα
- Καμία αντανάκλαση ηλίου που μπορεί να ενοχλεί γείτονες
- Εύκολη αποξήλωση - επανατοποθέτηση, σε περίπτωση προσθήκης καθ' ύψος της οικοδομής
- Δεν χρειάζεται τρύπημα της μόνωσης της στέγης
- Εγγύηση 25 ετών για παραγωγή ρεύματος όχι κάτω από 80% της αρχικής
- Ίδια τιμή με τα κλασσικά επίπεδα φωτοβολταϊκά πλαίσια

Κεφάλαιο 6.

Οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος

6.1 Οικονομοτεχνική μελέτη για εγκατάσταση και προμήθεια εξοπλισμού κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 8.6 Kw σε οικιακή στέγη 90 τ.μ.

Η οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

1. Την βαφή και τη μόνωση της στέγης με ειδικό υλικό ώστε η αντανάκλαστικότητα φωτός της οροφής να είναι σε υψηλά επίπεδα. Ταυτόχρονα δε, μονώνεται η στέγη από την υπερβολική ζέστη τους καλοκαιρινούς μήνες, έτσι βελτιώνεται και η ενεργειακή απόδοση της οικίας.
2. Την χωροθέτηση και τις τεχνικές προδιαγραφές, των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών πάνελ που πρόκειται να εγκατασταθούν στην οροφή.
3. Την τεχνική περιγραφή των προτεινόμενων αντιστροφών και των συστημάτων ασύρματης καταγραφής δεδομένων του φωτοβολταϊκού συστήματος.
4. Ετήσια εγγραφή σας στο σύστημα AVADOM SOLAR-VIEW για την βέλτιστη παρακολούθηση και εποπτεία του συστήματος σε καθημερινή βάση.
5. Την έκθεση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος στην 25ετία που θα διαρκεί η σύμβαση με την ΔΕΣΜΗΕ.

6.1.2 Περιγραφή βημάτων εγκατάστασης κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται για την περαίωση της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού κυλινδρικού συστήματος.

Βήμα 1 Βαφή Στέγης - για την βελτίωση της αντανάκλαστικότητας του φωτός

Η βαφή και μόνωση της στέγης γίνεται με ειδικά επιχρίσματα ώστε η αντανάκλαστικότητα των ακτινών ηλίου στην στέγη να είναι στα υψηλότερα δυνατά επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο τα κυλινδρικά πάνελ μπορούν να απορροφούν την ακτινοβολία του φωτός και από τις αντανάκλασεις του ηλίου στη στέγη βελτιώνοντας την ενεργειακή τους απόδοση. Ταυτόχρονα δε, μονώνεται η οροφή από την υπερβολική ζέστη τους καλοκαιρινούς μήνες, έτσι ώστε να βελτιώνεται και η ενεργειακή αποδοτικότητα του οικήματος. (Μείωση της θερμοκρασίας κατά 2⁰C – 5⁰C τούς θερινούς μήνες).

A. Προετοιμασία Επιφάνειας Στέγης

Η προετοιμασία της στέγης περιλαμβάνει όλες τις εργασίες που καθορίζονται από τον κατασκευαστή του υλικού για να διασφαλιστεί η ορθή πρόσφυση του μονωτικού προϊόντος στην στέγη.

B. Επίστρωση Υλικού στην Στέγη

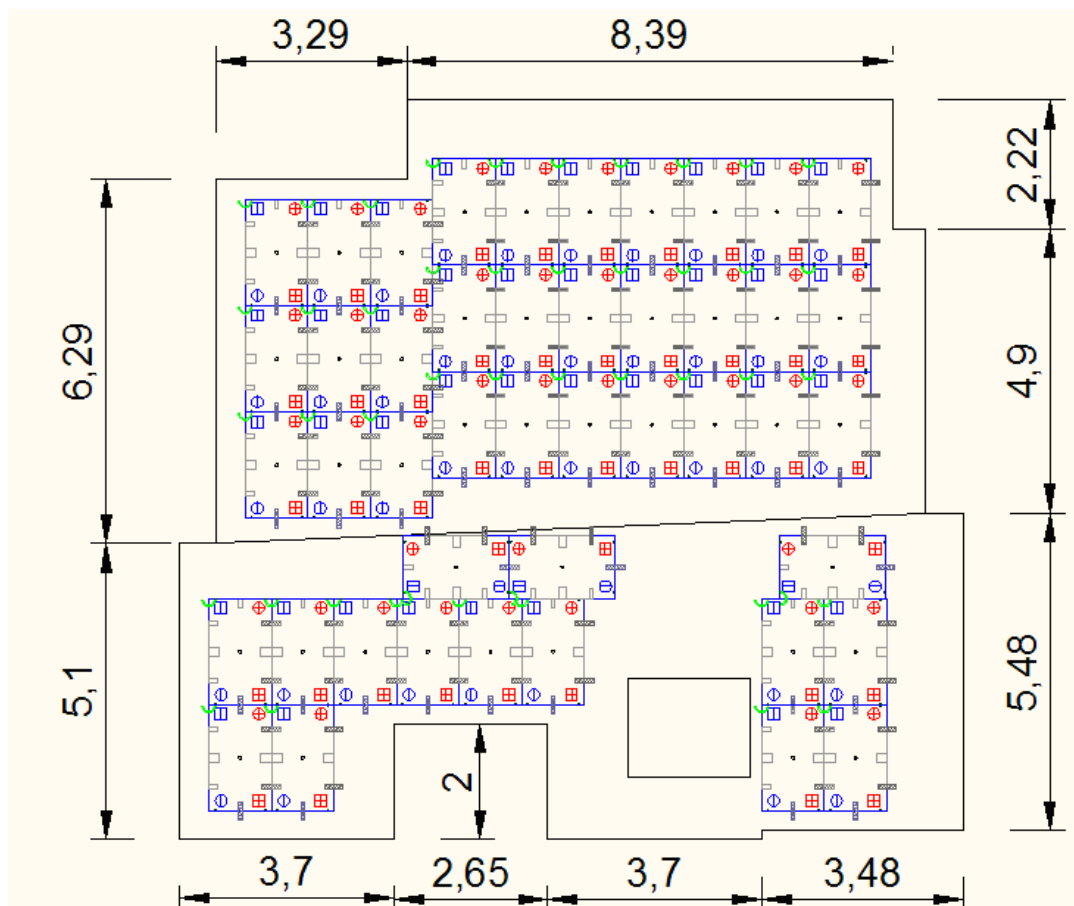
Εφαρμόζεται το υλικό χρησιμοποιώντας μια τεχνική ψεκασμού multi-pass για να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη εφαρμογή του υλικού στο τσιμέντο της στέγης. Επίσης χρησιμοποιείται ένας υγρός μετρητής φιλμ συχνά για την μέτρηση του πάχους του υλικού. Το επιθυμητό πάχος της στρώσης του υλικού θα πρέπει να είναι διπλάσιο του πάχους της υγρής ταινίας. Ακρυλικό επίχρισμα εφαρμόζεται (Gloss) για την στίλβωση της στέγης.



Βήμα 2 Χωροθέτηση και τεχνικές προδιαγραφές των φωτοβολταϊκών πάνελ SOLYNDRA 191 Wp και του αντιστροφέα τάσης 10 Kw που θα εγκατασταθούν στην στέγη του σπιτιού

A).Κάτοψη στέγης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ

Στη στέγη θα γίνει χωροθέτηση και τοποθέτηση panels, εμβαδού 2 τετ. μέτρων έκαστο με ονομαστική τιμή παραγωγής ισχύος 191 Wp. Μέρος της επιφάνειας θα χρησιμοποιηθεί για δημιουργία διαδρόμων πρόσβασης και περιμετρική ασφάλεια. Η συνολική παραγόμενη ισχύς εξόδου είναι 8,6 KW και απαιτούνται 45 panels, τα οποία θα τοποθετηθούν σε επιφάνεια εγκατάστασης 90 τμ. περίπου.



Κάτοψη οικιακής στέγης και σημεία τοποθέτησης των πάνελ

B). Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα κύρια χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ SL-001-191 της εταιρίας SOLYNDRA παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Να σημειωθεί πως οι φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι τύπου CIGS.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	SL – 001 -191
Ισχύς σε STC (P_{max} MPP)	191 Wp
Ανοχή ισχύος	+/-4%
Τάση εν κενώ - U_{oc}	98,2 V
Ρεύμα βραχυκυκλώματος - I_{sc}	2,77 A
Τάση σε MPP	7,61 V
Ένταση ρεύματος σε MPP	2,51 A
Συντελεστής θερμοκρασίας – ΔP	-0,38%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας – ΔU_{oc}	-0,29%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας – ΔI_{sc}	-0,02%/°C
Απαιτούμενος χώρος στέγης	10,4 m^2 /kWP

Σημείωση: Οι παραπάνω μετρήσεις έχουν γίνει σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής με ακτινοβολούμενη ισχύ $1000\text{W}/\text{m}^2$, φάσμα ηλιακού φωτός AM=1,5 και θερμοκρασία κυψελών 25°C

Διαστάσεις (Μήκος x Πλάτος x Ύψος)	Σκελετός πλαισίου: 1,82m x 1,08m x 0,05m, ύψος: 0,3m (πλαίσια στα στηρίγματα)
Στηρίγματα	Βάση στήριξης – αλουμίνιο με επίχρισμα σκόνης, αριθμός σύμφωνα με τον σχεδιασμό της alwitra
Ανθεκτικότητα στο ρεύμα	μεγ. 23 A
Φορτίο στέγης	$16\text{ kg}/\text{m}^2$ πλαίσιο και στηρίγματα
Βάρος πλαισίου	31 kg χωρίς στηρίγματα
Μέγιστο φορτίο χιονιού	$285\text{kg}/\text{m}^2$
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-40°C έως $+85^{\circ}\text{C}$
Ονομαστική θερμοκρασία για ηλιακές κυψέλες (NOCT)	$41,7^{\circ}\text{C}$ στα $800\text{W}/\text{m}^2$, θερμοκρασία = 20°C , άνεμος = 1 m/s

Γ.Αντιστροφέας τάσης

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εγκατάστασης θα χρησιμοποιηθεί ένας αντιστροφέας τάσης 10kW.



**Αντιστροφέας τάσης
Danfoss ισχύος 10Kw**

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται κάποια κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά ενός αντιστροφέα τάσης 10kW της Danfoss.

Προδιαγραφή αντιστροφέα	TLX 10k
Μέγιστη ισχύς DC	10300 W
Ονομαστική ισχύς AC	10000 W
Μέγιστη ισχύς AC	10000 W
Μέγιστη απόδοση	98%

Συντελεστής ισχύος	>0.97 σε φορτίο 20%
Ισχύς ενεργοποίησης	20 W
Νυχτερινή κατανάλωση	< 5 W
Μέγιστη τάση DC	1000 V
Ονομαστική τάση DC	700 V
Τάση ενεργοποίησης DC	250 V
Τάση απενεργοποίησης DC	250 V
Συχνότητα δικτύου	50 +/- 5 Hz
Μέγιστη τάση DC	2x12 (24) A
Ονομαστική ένταση AC	3 x 15 A
Μέγιστη ένταση AC	3 x 15 A
Διαστάσεις	700 x 525 x 250 mm
Βάρος	35kg
Απόδοση (στατική) MPPT	99,9%
Απόδοση (δυναμική) MPPT	99,6%

Βήμα 3 Ειδικές εγκαταστάσεις

Φυσικά η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος περιλαμβάνει και κάποιες ειδικές κατασκευές. Στη συνέχεια μπορούμε να δούμε τις πιο σημαντικές.

1) Γειώσεις

Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα γειωθεί με δικό του ξεχωριστό σύστημα γείωσης το οποίο θα αποτελείται από αγωγό προστασίας, ζυγό γείωσης, αγωγό γείωσης και ηλεκτρόδιο γείωσης κατάλληλα τοποθετημένο στο έδαφος. Οι αντιστροφείς συνδέονται με τη γείωση για προστασία από υπερτάσεις.

2) Καλωδιώσεις – Σύνδεσμοι

Οι εν σειρά συνδέσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνονται με καλώδιο εξωτερικής χρήσης τύπου YV κατά VDE 0812, διατομής 6mm².

3) Ασφαλειοδιακόπτες - Διατάξεις Ελέγχου

Σε κάθε μεταλλικό κιβώτιο των αντιστροφέων, τοποθετούνται ασφαλειοδιακόπτες DC για την ασφάλιση ή την απομόνωση του κάθε string στην DC τάση, καθώς και ένας διπλός ασφαλειοδιακόπτης ισχύος για την ασφάλιση ή την απομόνωση της AC τάσης εξόδου. Οι αντιστροφείς συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο επικοινωνίας RS 485 για τη συλλογή, καταγραφή και επεξεργασία των μετρουμένων μεγεθών, όπως ρεύματα και τάσεις εισόδου / εξόδου, κλπ.

4.) Γενικός πίνακας

Θα τοποθετηθεί γενικός πίνακας μέσης τάσης των φωτοβολταϊκών, στον οποίο θα καταλήγουν οι αγωγοί από τη μετρητική μονάδα της ΔΕΗ. Ο ηλεκτρικός πίνακας μέσης τάσης των φωτοβολταϊκών θα περιέχει όλα τα απαραίτητα ασφαλιστικά μέσα και για την προστασία των καλωδίων από υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα, καθώς και για την προστασία από κρουστικές υπερτάσεις.

Βήμα 4 Συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής απόδοσης φωτοβολταϊκών (προαιρετικό)

Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιεί αισθητήρες τοποθετημένους σε κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ ξεχωριστά. Οι αισθητήρες παρακολουθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ και σε καθημερινή βάση καταγράφουν τις ενεργειακές αποδόσεις του συστήματος. Αυτές οι πληροφορίες συγκεντρώνονται σε μια βάση δεδομένων όπου εκεί σε συνδυασμό με στοιχεία που συλλέγονται από δορυφόρο για την κατάσταση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή κάθε στιγμή, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού συνδυάζονται και επεξεργάζονται με αποτέλεσμα να ελέγχεται με μεγάλη ακρίβεια αν υπάρχει δυσλειτουργία σε κάποιο πάνελ. Ταυτόχρονα μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς, την ομαλή λειτουργία του εγκατεστημένου φωτοβολταϊκού συστήματος. Σημειώνεται ότι οι αντιστροφείς επικοινωνούν μεταξύ τους και με τους αισθητήρες του συστήματος.

Ακόμα δίνεται και η δυνατότητα ενσύρματης (ADSL) αλλά και ασύρματης (GPRS, 3G) επικοινωνίας με το κατάλληλο λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων. Για παράδειγμα εάν οι πληροφορίες του συστήματος δείχνουν ηλιοφάνεια, ενώ παράλληλα η απόδοση κάποιου πάνελ είναι χαμηλή, δεδομένης της ηλιοφάνειας τότε εντοπίζεται πρόβλημα δυσλειτουργίας. Σε αυτή τη περίπτωση θα σταλεί αυτόματα ένα ενημερωτικό μήνυμα στον ιδιοκτήτη, είτε μέσω ηλεκτρονικής αλληλογραφίας, είτε στο κινητό του τηλέφωνο ώστε να φροντίσει να λυθεί το πρόβλημα. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει την άμεση πρόσβαση στα δεδομένα της εγκατάστασης από οπουδήποτε και παρέχει μεγάλη ποικιλία στους τρόπους καταγραφής, ανάλυσης και παράστασης των δεδομένων. Ακόμα με αυτόν τον τρόπο παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης όλων των περιβαλλοντικών δεικτών που επηρεάζουν τη λειτουργία της εγκατάστασης, ενώ είναι δυνατή και η σύνδεση περισσότερων εξειδικευμένων αισθητήρων μεγαλύτερης ακρίβειας.

Περαιτέρω, με ειδικούς αισθητήρες το όλο σύστημα μπορεί να παρακολουθείται για τυχόν κλοπή ή δολιοφθορά.

Τέλος να σημειωθεί πως η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάρκα κάθε μεγέθους (οικιακές στέγες, βιομηχανικές στέγες, απομακρυσμένα πάρκα) και δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί πολλαπλά σημεία.

6.1.3 Οικονομικά στοιχεία που προκύπτουν από την εγκατάσταση

Η οικονομική προσφορά του φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 8,6 KW αναλύεται ως εξής:

Φ/Β σύστημα SOLYNDRA 8,6 KW – υλικά		Τιμή (χωρίς Φ.Π.Α)
1	Λευκό ανακλαστικό χρώμα	29.450 €

45	Πάνελ SOLYNDRA τύπου SL-001-191 SOLYNDRA	
1	Αντιστροφέας Danfoss συνολικής ισχύος 10 KW	
Φ/Β σύστημα SOLYNDRA 8,6 KW – υλικά και εργασίες		Τιμή (χωρίς Φ.Π.Α)
1	Αδειοδοτήσεις, βάψιμο ταράτσας, σχεδιασμός και εγκατάσταση συστήματος, γειώσεις, σύνδεση με ΔΕΗ	2.000,00 €
Τιμή χωρίς Φ.Π.Α		31.450 €
Φ.Π.Α		7.233 €
Συνολική Τιμή με ΦΠΑ		38.683 €

Παρατηρήσεις

- Η μελέτη περιλαμβάνει τον αντιστροφέα Danfoss και τους συλλέκτες Solyndra
- Δεν περιλαμβάνεται το κόστος των όρων σύνδεσης της ΔΕΗ
- Δεν περιλαμβάνεται το κόστος ενός συστήματος ασύρματης παρακολούθησης του συστήματος. (υπολογίζεται ενδεικτικά σε 10€/μήνα)

6.1.4 Έκθεση Ενεργειακής Απόδοσης

Η έκθεση αυτή περιέχει την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης για ένα σύστημα 8,6 KW Solyndra που βασίζεται σε φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Σπάρτης. Σε αυτό το σημείο η ετήσια παγκόσμια οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία είναι 1.650 KW/m²/year όπως φαίνεται στην έκθεση ακτινοβολίας της Ελλάδας κάτωθι.

Ακόμα για τους παρακάτω υπολογισμούς λήφθηκε υπόψιν η εγγύηση απόδοσης από τον κατασκευαστή όπου εγγυάται απόδοση 90% επί της ονομαστικής ισχύος για τα 10 πρώτα χρόνια και 80% επί της ονομαστικής ισχύος από τον 11^ο χρόνο μέχρι τον 25^ο χρόνο.

Τυπικά έσοδα ανά έτος)

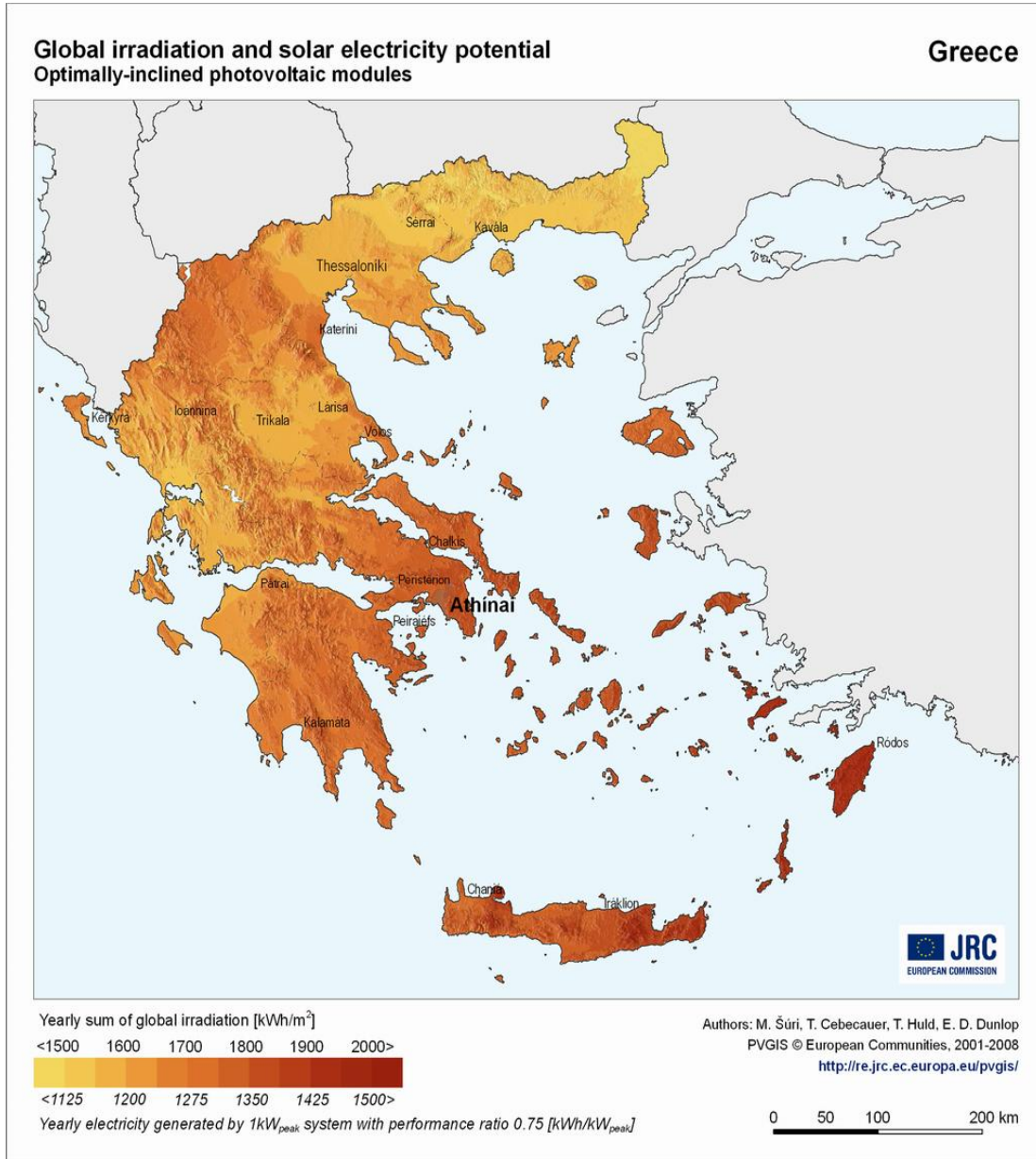
Έτος	kWh/kW	kWp	Έσοδα/έτος
1	1.580	13.588	7.473,40 €
2	1.577	13.561	7.458,45 €
3	1.574	13.534	7.443,54 €
4	1.571	13.507	7.428,65 €
5	1.567	13.480	7.413,79 €
6	1.564	13.453	7.398,96 €
7	1.561	13.426	7.384,17 €

8	1.558	13.399	7.369,40 €
9	1.555	13.372	7.354,66 €
10	1.552	13.345	7.339,95 €
11	1.549	13.319	7.325,27 €
12	1.546	13.292	7.310,62 €
13	1.542	13.265	7.296,00 €
14	1.539	13.239	7.281,41 €
15	1.536	13.212	7.266,84 €
16	1.533	13.186	7.252,31 €
17	1.530	13.160	7.237,81 €
18	1.527	13.133	7.223,33 €
19	1.524	13.107	7.208,88 €
20	1.521	13.081	7.194,47 €
21	1.518	13.055	7.180,08 €
22	1.515	13.029	7.165,72 €
23	1.512	13.003	7.151,38 €
24	1.509	12.977	7.137,08 €
25	1.506	12.951	7.122,81 €
Σύνολο 25ετίας			182.418,97

Παρατηρήσεις

- Τα έσοδα από την ΔΕΗ υπολογίστηκαν με τιμή 0,55 €/ KWh
- Τα έσοδα είναι αφορολόγητα και κατατίθενται από την ΔΕΗ σε λογαριασμό του ιδιοκτήτη του σταθμού
- Τα έσοδα συμψηφίζονται με την κατανάλωση ρεύματος από τον ιδιώτη

Έκθεση ακτινοβολίας Ελλάδας



6.2 Οικονομοτεχνική μελέτη για εγκατάσταση και προμήθεια εξοπλισμού φωτοβολταϊκού συστήματος επίπεδων πάνελ ισχύος 8.6 Kw σε οικιακή στέγη 90 τ.μ.

Η οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος επίπεδων πάνελ περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

1. Την χωροθέτηση και τις τεχνικές προδιαγραφές, των φωτοβολταϊκών πάνελ LUXOR ECO LINE 60 που πρόκειται να εγκατασταθούν στην χώρο της ταράτσας.
2. Η τεχνική περιγραφή των προτεινόμενων αντιστροφών και των συστημάτων ασύρματης καταγραφής δεδομένων του φωτοβολταϊκού συστήματος.
3. Η έκθεση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος για το διάστημα 20ετών που θα διαρκέσει η σύμβαση με την ΔΕΗ.

6.2.1 Περιγραφή βημάτων εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος επίπεδων πάνελ

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται για την περαίωση της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού κυλινδρικού συστήματος.

Βήμα 1: Προετοιμασία υποδομών

Οι εργασίες στερέωσης των μεταλλικών πλαισίων στην ταράτσα δημιουργούν την απαραίτητη μεταλλική υποδομή στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Οι βάσεις που χρειάζονται είναι ελάχιστες για το φωτοβολταϊκό σύστημα της LUXOR ECO LINE 60 και δημιουργούν τις ελάχιστες δυνατόν οπές στην τσιμεντένια πλάκα του κτηρίου.

Μετά την ολοκλήρωση των οπών και την στήριξη των πλαισίων, γίνεται η απαραίτητη στεγανοποίηση με ρητίνες για την προστασία της ταράτσας από υγρασία.

Βήμα 2: Χωροθέτηση και τεχνικές προδιαγραφές των φωτοβολταϊκών πάνελ LUXOR ECO LINE 60 220 Wp.

Η χωροθέτηση στην επιφάνεια της ταράτσας θα γίνει με την τοποθέτηση panels εμβαδού 2 τετ. μέτρων έκαστο με ονομαστική τιμή παραγωγής ισχύος 220Wp. Η συνολική επιφάνεια που θα χρησιμοποιηθεί στην ταράτσα είναι περίπου 80 τ.μ. χωρίς να υπολογίζονται οι χώροι για τους απαραίτητους διάδρομους πρόσβασης και αποφυγή σκιάσεων μεταξύ των σειρών. Θα εγκατασταθούν 39 panels ισχύος 220Wp με συνολική παραγόμενη ισχύ του σταθμού 8,6 KW.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	LUXOR ECO LINE 60 LX-220P
Ισχύς σε STC (P_{max} MPP)	220 Wp
Ανοχή ισχύος	+/-3%
Τάση εν κενώ -U_{oc}	36,8 V
Ρεύμα βραχυκυκλώματος -I_{sc}	8,20 A
Μέγιστη τάση	1000 V
Ένταση ρεύματος σε MPP	7,63 A
Συντελεστής θερμοκρασίας – ΔP	-0,47%/ ⁰ C
Συντελεστής θερμοκρασίας – ΔU_{oc}	-0,39%/ ⁰ C
Συντελεστής θερμοκρασίας – ΔI_{sc}	0,04%/ ⁰ C
Απαιτούμενος χώρος στέγης	10,4 m^2 /kWp

Σημείωση: Οι παραπάνω μετρήσεις έχουν γίνει σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής με ακτινοβολούμενη ισχύ $1000W/m^2$, φάσμα ηλιακού φωτός AM=1,5 και θερμοκρασία κυψελών $25^{\circ}C$

Διαστάσεις (Μήκος x Πλάτος x Ύψος)	Σκελετός πλαισίου: 1,64m x 0,99m x 0,45 m, (πλαίσια στα στηρίγματα)
Στηρίγματα	Βάση στήριξης αδιωμένου αλουμινίου
Βάρος πλαισίου	21 kg χωρίς στηρίγματα
Μέγιστο φορτίο χιονιού	$285kg/m^2$
Ονομαστική θερμοκρασία για ηλιακές κυψέλες (NOCT)	$-47^{\circ}C (+/- 2^{\circ}C)$

Βήμα 3: Εγκατάσταση Αντιστροφέα PowerOne και λοιπών ειδικών εγκαταστάσεων

Αντιστροφέας τάσης

Διαλέξαμε να εγκατασταθεί 1 τριφασικός μετατροπέας (inverter) της εταιρίας PowerOne Aurora 10kW.



Τριφασικός αντιστροφέας τάσης Aurora 10kW της εταιρίας PowerOne

Ο αντιστροφέας (inverter) τοποθετείται στην ταράτσα σε κοντική απόσταση από τα πλαίσια για αποφυγή απωλειών λόγω μεγάλου μήκους καλωδίων DC.

Στη συνέχεια παραθέτουμε μερικά από τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα που επιλέξαμε.

Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα Aurora 10kW

Ρεύμα εισόδου	
Ονομαστική ισχύς:	10400 [W]
Μέγιστη ισχύς:	11400 [W]

Μέγιστη ισχύς παράθρου παρακολούθησης:	200 [V] - 850 [V]
Μέγιστη τάση:	850 [V]
Μαχ. ρεύμα εισόδου:	18 [A]
Διαστάσεις	
Ύψος:	650 [mm]
Πλάτος:	620 [mm]
Βάθος:	200 [mm]
Βάρος:	38 [kg]
Παραγωγή	
Τάση:	12000 [V]
Ονομαστική χωρητικότητα:	10000 [W]
Μαχ. χωρητικότητα:	11000 [W]
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης:	97.3 [%]
Μαχ. αποδοτικότητα:	97.8 [%]
Αριθμός feeds χορδών:	3

Ειδικές εγκαταστάσεις

1. Γενικός πίνακας

Δίπλα στον αντιστροφέα τοποθετείται ο ηλεκτρολογικός πίνακας με τους απαραίτητους διακόπτες συνεχούς (DC) και εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος καθώς και τις αντίστοιχες ασφάλειες τους.

Όπως και στην εγκατάσταση του κυλινδρικού φωτοβολταϊκού συστήματος θα εγκαταστήσουμε γενικό πίνακα χαμηλής τάσης φωτοβολταϊκών, στον οποίο καταλήγουν οι αγωγοί από τη μετρητική μονάδα της ΔΕΗ. Ο ηλεκτρικός πίνακας μέσης τάσης των φωτοβολταϊκών θα περιέχει όλα τα απαραίτητα ασφαλιστικά μέσα και για την προστασία των καλωδίων από υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα, καθώς και για την προστασία από κρουστικές υπερτάσεις.

2. Γειώσεις

Όπως γίνεται στα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα, έτσι και εδώ η εγκατάσταση θα γειωθεί με δικό της ξεχωριστό σύστημα γείωσης το οποίο θα αποτελείται από αγωγό προστασίας, ζυγό γείωσης, αγωγό γείωσης και ηλεκτρόδιο γείωσης κατάλληλα τοποθετημένο στο έδαφος. Επίσης και ο αντιστροφέας συνδέεται με τη γείωση για προστασία από υπερτάσεις.

Τέλος, εγκαθίσταται γείωση μικρής αντίστασης για προστασία του συνόλου της εγκατάστασης και γίνεται πέρασμα του καλωδίου AC προς τον μετρητή της ΔΕΗ μέσα σε λευκά κανάλια

3. Καλωδιώσεις – Σύνδεσμοι

Οι εν σειρά συνδέσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνονται με καλώδιο εξωτερικής χρήσης τύπου YV κατά VDE 0812, διατομής 6mm².

4. Ασφαλειοδιακόπτες - Διατάξεις Ελέγχου

Στο μεταλλικό κιβώτιο του αντιστροφέα, τοποθετούνται ασφαλειοδιακόπτες DC για την ασφάλιση ή την απομόνωση του κάθε string στην DC τάση, καθώς και ένας διπλός ασφαλειοδιακόπτης ισχύος για την ασφάλιση ή την απομόνωση της AC τάσης εξόδου. Οι αντιστροφείς συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο επικοινωνίας RS 485 για τη συλλογή, καταγραφή και επεξεργασία των μετρούμενων μεγεθών, όπως ρεύματα και τάσεις εισόδου / εξόδου, κλπ.

6.2.2 Συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής απόδοσης φωτοβολταϊκών

Όπως περιγράψαμε αναλυτικά και στο σύστημα των κυλινδρικών φωτοβολταϊκών (βλέπε παρ. 6.1.2 Βήμα 4) έτσι και στα επίπεδα πάνελ δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης του συστήματος ασύρματα. Φυσικά ένα τέτοιο σύστημα παρακολούθησης είναι μια προαιρετική επιλογή.

6.2.3 Οικονομικά στοιχεία που προκύπτουν από την εγκατάσταση

Η οικονομική προσφορά του φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 8,6 KW αναλύεται ως εξής:

Φωτοβολταϊκό σύστημα 8,6 KW				
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ €
1	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ			
	Φωτοβολταϊκά πλαίσια LUXOR ECO LINE 60 220 Wp	Τεμάχια	39	15.500 €
	Μεταλλικές βάσεις στήριξης	Σετ	6	
	Μετατροπείς PowerOne Aurora 10K	Τεμάχια	1	2.700 €
	Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (πίνακας, γειώσεις, καλώδια DC, καλώδια AC, αντικεραυνικά)	Τεμάχια	1	1.500 €
	ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ			19.700 €
2	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			
	Μεταφορά και εκφόρτωση πανελς, εγκατάσταση και σύνδεση Φ/Β πλαισίων, βάσεων στήριξης, λοιπού ηλεκτρολογικού υλικού και μετατροπέων	Αποκοπή	1	2.000 €
	Γειώσεις - Αντικεραυνική προστασία και εγκατάσταση -	Αποκοπή	1	

Καλωδιώσεις - Σύνδεσμοι - Διατάξεις ελέγχου			
Λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων SOLAR-VIEW MONITORING (προαιρετικό)	Μήνας		
ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ			21.700 €
ΦΠΑ			4.991 €
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ			26.691 €

Παρατηρήσεις

- Η προσφορά περιλαμβάνει εγγύηση του αντιστροφέα Power One και των συλλεκτών για 5 έτη
- Δεν περιλαμβάνεται το κόστος των όρων σύνδεσης της ΔΕΗ
- Δεν περιλαμβάνεται τα κόστος κατασκευής στεγάστρου προστασίας του inverter

6.2.4 Έκθεση Ενεργειακής Απόδοσης

Η έκθεση αυτή όπως και στην περίπτωση του συστήματος κυλινδρικών φωτοβολταϊκών περιέχει την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης για ένα σύστημα 8,6 KW που βασίζεται σε φωτοβολταϊκά στην περιοχή της Σπάρτης. Μιας και αναφερόμαστε σε συγκεκριμένη περιοχή στη Σπάρτη θεωρούμε πως η ηλιακή ακτινοβολία είναι ίδια με προηγουμένως, ήτοι 1.650 KW/m²/year.

Ακόμα για τους παρακάτω υπολογισμούς λήφθηκε υπόψιν η εγγύηση απόδοσης από τον κατασκευαστή όπου εγγυάται απόδοση 90% επί της ονομαστικής ισχύς για τα 10 πρώτα χρόνια και 80% επί της ονομαστικής ισχύς από τον 11^ο χρόνο μέχρι τον 25^ο χρόνο.

Τυπικά έσοδα ανά έτος

Year	AC kWh/kWp	AC kWh	Income
1	1.470	12.642	6.953,10 €
2	1.467	12.617	6.939,19 €
3	1.464	12.591	6.925,32 €
4	1.461	12.566	6.911,46 €
5	1.458	12.541	6.897,64 €
6	1.455	12.516	6.883,85 €
7	1.452	12.491	6.870,08 €
8	1.450	12.466	6.856,34 €
9	1.447	12.441	6.842,63 €
10	1.444	12.416	6.828,94 €
11	1.441	12.391	6.815,28 €

12	1.438	12.367	6.801,65 €
13	1.435	12.342	6.788,05 €
14	1.432	12.317	6.774,47 €
15	1.429	12.293	6.760,92 €
6	1.427	12.268	6.747,40 €
17	1.424	12.243	6.733,91 €
18	1.421	12.219	6.720,44 €
19	1.418	12.195	6.707,00 €
20	1.415	12.170	6.693,58 €
21	1.412	12.146	6.680,20 €
22	1.409	12.122	6.666,84 €
23	1.407	12.097	6.653,50 €
24	1.404	12.073	6.640,20 €
25	1.401	12.049	6.626,92 €
Σύνολο 25ετίας			169.718,91

Παρατηρήσεις:

- Τα έσοδα από την ΔΕΗ υπολογίστηκαν με τιμή 0,55 €/ KWh
- Τα έσοδα είναι αφορολόγητα και κατατίθενται από την ΔΕΗ σε λογαριασμό του ιδιοκτήτη του σταθμού
- Τα έσοδα συμψηφίζονται με την κατανάλωση ρεύματος από τον ιδιώτη

Συμπέρασμα

- Ø Ο μέσος χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης και για τις δύο εγκαταστάσεις υπολογίζεται στα 5 έτη.
- Ø Με τη χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος έχουμε μείωση ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) λόγω παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος των 8,6 KW από την ηλιακή ανανεώσιμη ενέργεια του ήλιου μειώνει τη ετήσια παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά 12 τόνους, γεγονός που βοηθά στην σύγκλιση της χώρας μας στο Σύμφωνο του Κίото και συμπράττει στην καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Ø Από τα οικονομικά στοιχεία βλέπουμε πως η εγκατάσταση ενός κυλινδρικού φωτοβολταϊκού στοιχίζει περισσότερο από αυτή ενός συστήματος με επίπεδα πάνελ. Ταυτόχρονα όμως βλέπουμε, πως σε μια 25ετία το σύνολο κερδών του επενδυτή μιας κυλινδρικής εγκατάστασης είναι υψηλότερο περίπου κατά 8% από αυτό των επίπεδων πάνελ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Το βιβλίο το οποίο χρησιμοποιήθηκε περισσότερο για την συγγραφή της πτυχιακής είναι «Φωτοβολταϊκά συστήματα» Ι.Ε.Φραγκιαδάκης Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

Κυρίως αντλήθηκαν πολλές πληροφορίες από το διαδίκτυο. Παρακάτω δίδονται οι διευθύνσεις των site που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή αυτής της πτυχιακής.

- 1).<http://www.iqsolarpower.com/>
- 2).<http://www.selasenergy.gr/history.php>
- 3).<http://solar-systems.gr/index-1.html>
- 4).http://www.microsun.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=63&lang=el
- 5).<http://www.fotovoltaika.gr/solar-panel-pv-1.html>
- 6).http://www.solar-systems.gr/photovoltaic_panels/index.htm
- 7).http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1
- 8).<http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/PV%20for%20households.pdf>
- 9).<http://translate.google.gr/translate?hl=el&langpair=en%7Cel&u=http://sites.google.com/site/earthforsolar/different-types-of-solar-cell>
- 10).<http://www.faethonsolar.com/GR-faq.html>
- 11).<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/per/2005/Papadakis/attached-document/2005Papadakis.pdf>
- 12).http://eprints.teikoz.gr/209/1/M43_2010.pdf
- 13).<http://www.antoniou24.gr/c.Systimata-parakoloythisis-tis-trochias-tou-iliou.50150.html>
- 14).<http://www.aenaon.net/gr/content/view/18/28/>
- 15).<http://eprints.teikoz.gr/128/>
- 16).http://eprints.teikoz.gr/209/1/M43_2010.pdf
- 17).http://www.energy.fts.gr/files/FTS_Solyndra.pdf
- 18).<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=9355>
- 19).http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1
- 20).<http://www.cocoon.gr/solar-panel-solyndra.html>
- 21).http://free-energia.blogspot.com/2009/12/blog-post_9296.html
- 22).<http://www.solar-systems.gr/Solyndra-Solar-photovoltaic-system-solar-roof-grid-tied-home-greece.html>
- 23).http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/co/maho/enefcosa/enefcosa_003.cfm
- 24).http://www.revosolar.com/systems_text.html
- 25).http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm
- 26).<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>
- 27).http://www.helapco.gr/ims/file/solar_energy/PV_Environment.pdf
- 28).http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/88687.asp

- 29). http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%80%CE%B9%CE%B5%CF%82_%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82
- 30). <http://www.suncon.gr/93B01B6A.el.aspx>
- 31). <http://www.econews.gr/2011/04/07/imerida-fotovoltaika-kylindrika/>
- 32). <http://www.energypress.gr/portal/resource/contentObject/id/23669fec-567c-4a28-b8b9-8edae7b1e396>
- 33). <http://www.activus.gr/%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CF%83%CE%B9%CE%B1/82-solydra.html>
- 34). <http://www.xn--mxabqldwab6bep0d.gr/solar-panel-solyndra.html>
- 35). http://www.energy.fts.gr/files/FTS_Solyndra.pdf
- 36). http://www.irishellas.com/ready_roof_solar_kits_high_efficiency.html
- 37). <http://medgreece.gr/2008/%CE%BD%CE%AD%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CE%BC%CE%B5-%CE%B4%CE%B9%CF%80%CE%BB%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7>
- 38). http://www.ecofinder.gr/news/%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91/1/%CE%97_Solyndra_%CF%86%CE%AD%CF%81%CE%BD%CE%B5%CE%B9_%CE%BD%CE%AD%CE%B5%CF%82_%CE%B7%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%82_%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B5%CF%82_%CF%83%CF%84%CE%BF_Solar_Summit
- 39). <http://www.pandomi.4ty.gr/>
- 40). http://www.oikoenergeia.gr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=7&Itemid=59&limitstart=10
- 41). <http://www.ecosolarcon.gr/panels/17-2011-02-23-08-29-16.html>
- 42). <http://energypress.gr/portal/resource/contentObject/id/23669fec-567c-4a28-b8b9-8edae7b1e396>
- 43). http://irealty.gr/generic_news/solyndra-solar/
- 44). <http://www.greenspot.gr/%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%B1%CF%83%CF%80%CF%81%CF%8C%CF%80%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%BF-%CE%BF-%CE%BC%CE%B5%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CF%8D%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%BC%CF%8C/>
- 45). <http://www.michanikos.gr/topic/18192-%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85-solyndra/>
- 46). http://grapsas.blogspot.com/2008_01_01_archive.html
- 47). www.iea.org/
- 48). <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82>
- 49). <http://endergy.gr/?c=faq&l=gr>

- 50). <http://www.news-medical.net/health/Selenium-What-is-Selenium-%28Greek%29.aspx>
- 51). <http://www.selasenergy.gr/history.php>
- 52). http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
- 53). <http://www.gres.gr/fotovoltaika-kai-perivalon.html>
- 54). http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php
- 55). <http://www.novartenergy.gr/>
- 56). <http://www.solyndra.com/>
- 57). <http://www.power-one.com/>
- 58). <http://ebookbrowse.com/luxor-eco-line-60-220w-230w-pdf-d253260192>