

ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ – ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΟΥ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ

ΚΑΡΑΖΕΠΟΥΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΜ:3643

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΟΥΡΙΔΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Περιεχόμενα	
Περίληψη	4
1 Εισαγωγή	5
1.1 Ο ρόλος των συμβατικών καυσίμων	5
1.1.1 Η κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο	5
1.1.2 Τα προβλήματα εξαιτίας της χρήσης των συμβατικών καυσίμων	7
1.2 Ο ρόλος των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	8
1.3 Οι κατηγορίες ΑΠΕ	9
1.3.1 Ηλιακή ενέργεια	9
1.3.2 Αιολική ενέργεια	14
1.3.3 Γεωθερμία	15
1.3.4 Βιομάζα	17
1.3.5 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	19
1.3.6 Λιγότερο διαδεδομένες μορφές ενέργειας	20
2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	21
2.1 Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων	21
2.2 Η παγκόσμια αγορά	24
2.3 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα	26
2.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων	27
2.4.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους»	27
2.4.2 Φωτοβολταϊκα υλικά λεπτών επιστρώσεων (thin film)	28
2.4.3 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία	30
2.4.4 Άλλες Τεχνολογίες	31
2.5 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια	31
2.5.1 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε προσόψεις κτιρίων	32
2.5.2 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σκίαστρα	32
2.6 Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Στέγες	33
3 Το φωτοβολταϊκό σύστημα	34
3.1 Η ηλιακή κυψέλη	35
3.2 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο	41
3.3 Η φωτοβολταϊκή συστοιχία	43
3.4 Παράλληλη Σύνδεση ηλιακών κυψελών	44
3.5 Σύνδεση κυψελών σε σειρά	46
3.6 Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης (DC/DC Converters)	48
3.7 Μετατροπέας Υποβιβασμού Τάσης	49
3.8 Μετατροπέας Ανύψωσης Τάσης	50
3.9 Αναστροφέας (DC/AC Inverter)	52

3.9.1	Κατηγορίες Αναστροφών.....	52
3.9.2	Μονοφασικός Αναστροφέας.....	53
3.9.3	Μονοφασικός Αναστροφέας με Μισή Γέφυρα.....	54
3.9.4	Μονοφασικός Αναστροφέας με Πλήρη Γέφυρα	55
3.9.5	Τριφασικός Αναστροφέας.....	55
3.10	Βάσεις Στήριξης και Ηλιοστάτες.....	56
4	Οι κτιριακές υποδομές του ΑΤΕΙ Χανίων	58
5	Εφαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος στο κτίριο του ΤΕΙ.....	61
5.1	Το φωτοβολταϊκό πάνελ.....	61
5.1.1	Το σύστημα.....	61
5.1.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	62
5.1.3	Ποιότητα και ασφάλεια.....	63
5.2	Αντιστροφέας.....	63
5.3	Βάσεις Στήριξης.....	65
5.4	Τοποθέτηση και λειτουργία	67
6	Συμπεράσματα	67
6.1	67
7	Προτάσεις	68
	Παράρτημα Νομοθεσία.....	69
	Βιβλιογραφία	74

Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία εξετάζει το ενδεχόμενο εφαρμογής ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 10kw στο κτίριο του ΑΤΕΙ Χανίων. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται μια εισαγωγή στο ζήτημα της ενεργειακής κατανάλωσης και στο καθεστώς της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας από χρήση συμβατικών καυσίμων. Περιγράφονται οι κύριες κατηγορίες των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ως εναλλακτικές πηγές παραγωγής και πώς αυτές συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης. Γίνεται εκτενής περιγραφή της κατάστασης στη χώρα και πώς αυτή προσφέρει γόνιμο έδαφος για χρήση συστημάτων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μέσω της περιγραφής του Ηλιακού δυναμικού στον ελληνικό χώρο. Αναλύεται η αγορά των ηλιακών συστημάτων παγκοσμίως, αλλά και στην χώρας μας ειδικά. Περιγράφονται οι διάφορες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών συστημάτων και οι δυνατότητες ενσωμάτωσης αυτών σε κτίρια. Αναλύεται το φωτοβολταϊκό σύστημα και τα επι μέρους τμήματα του. Γίνεται η περιγραφή του χώρου του ΑΤΕΙ Χανίων και του συστήματος φωτοβολταϊκών πάνελ και αντιστροφέα που θα εφαρμοσθούν.

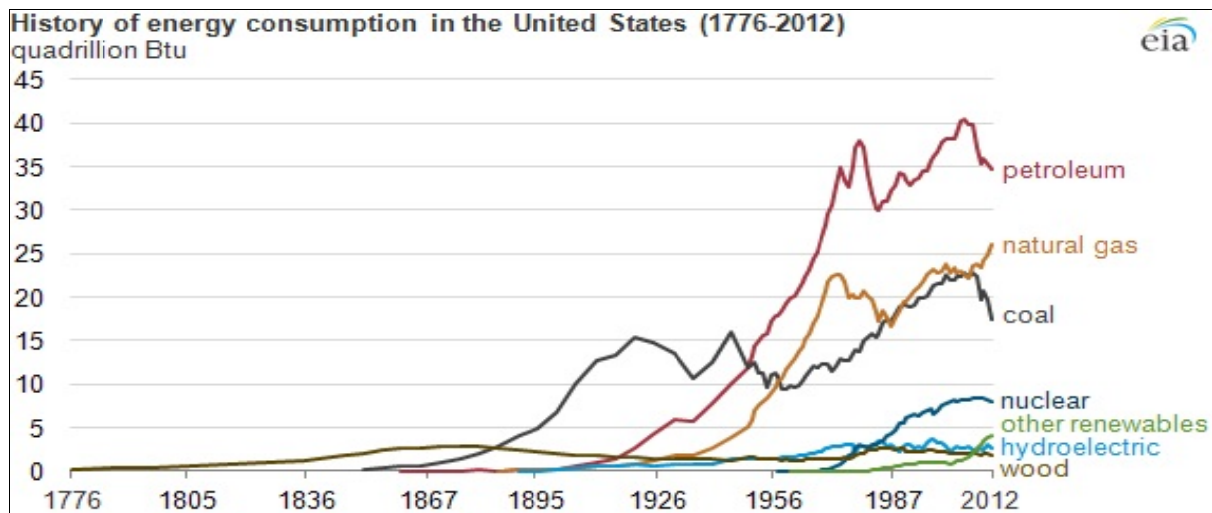
1 Εισαγωγή

1.1 Ο ρόλος των συμβατικών καυσίμων

1.1.1 Η κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο

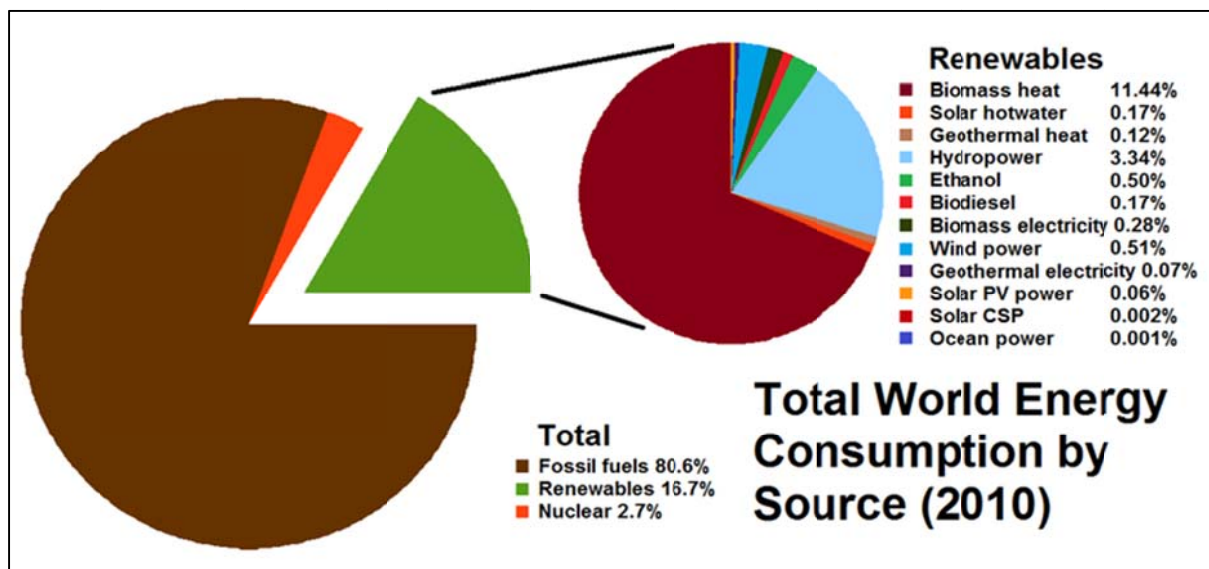
Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και η παγκόσμια οικονομία εξαρτάται από την χρήση ενέργειας. Εδώ και δύο αιώνες η παραγωγή χρήσιμων μορφών ενέργειας όπως η θερμότητα ή ο ηλεκτρισμός, κλπ. για τις ανάγκες των σύγχρονων κοινωνιών γίνεται με την εξόρυξη και καύση συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Τα σημαντικότερα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε στερεά και περιλαμβάνουν τους στερεούς άνθρακες (πχ. Λιγνίτης) σε αέρια καύσιμα όπως το φυσικό αέριο, με κύριο συστατικό το μεθάνιο (CH_4) και άλλους υδρογονάνθρακες που παράγονται κατά την κλασματική απόσταξη του πετρελαίου ή αέρια από την εξαερίωση διαφόρων τύπων ανθράκων. Στα υγρά καύσιμα περιλαμβάνονται τα διάφορα κλάσματα απόσταξης του αργού πετρελαίου (ελαφρά και βαρέα κλάσματα, ντίζελ, κιροζίνη, κα.). Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η υψηλή θερμογόνος δύναμη που αντιπροσωπεύει την ενέργεια που εκλείεται ανά μονάδα μάζας του ορυκτού καυσίμου.

Επίσης, σημαντικές ποσότητες αστικών στερεών απορριμμάτων, που δεν ανήκουν στα ορυκτά καύσιμα, αποτελούν επίσης μια συμβατική πηγή ενέργειας που εφαρμόζεται σε πολλές χώρες τις τελευταίες δεκαετίες. Τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις οικονομίες των χωρών παγκοσμίως. Ο άνθρακας και το πετρέλαιο είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας καθώς καλύπτουν το 77% περίπου της παγκόσμιας πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι πιο ανεπτυγμένες οικονομικά περιοχές στον κόσμο, όπως οι χώρες της Β.Αμερικής και οι χώρες της Δ.Ευρώπης χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας σε ποσοστά 85 και 79% αντίστοιχα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται, διαχρονικά, η κατανάλωση ενέργειας στις Η.Π.Α., όπου φαίνεται χαρακτηριστικά η εκρηκτική εκμετάλλευση των συμβατικών καυσίμων από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης έως σήμερα.



Εικόνα 1. Ιστορική αναδρομή των πηγών παραγωγής ενέργειας στις Η.Π.Α.(πηγή ΕΙΑ)

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η δυνατότητα εξεύρεσης των συμβατικών καυσίμων σε μεγάλες ποσότητες προς εκμετάλλευση, βοηθάει στην ενεργειακή αυτονομία μιας χώρας ή την εξάρτηση της από άλλες χώρες που είναι παραγωγοί ορυκτών καυσίμων. Αυτό συμβαίνει γιατί ακόμα και σήμερα η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται στη χρήση τους. Στο γράφημα της εικόνας 2, προκύπτει η εξάρτηση από τη χρήση ορυκτών καυσίμων (2010).



Εικόνα 2. Παγκόσμια κατανομή πηγών ενέργειας

1.1.2 Τα προβλήματα εξαιτίας της χρήσης των συμβατικών καυσίμων

Οι ποσότητες, όμως, των ορυκτών καυσίμων έχουν μειωθεί δραματικά εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης, λόγω της εκρηκτικής ανάπτυξης της βιομηχανικής δραστηριότητας, της μεγάλης ανάπτυξης του παγκόσμιου πληθυσμού και της βελτίωσης του βιωτικού επιπέδου σε μεγάλο μέρος του πλανήτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών τους στην παγκόσμια αγορά, γεγονός που επηρεάζει την παγκόσμια οικονομία και δημιουργεί λεπτές ισορροπίες στην παγκόσμια γεωπολιτική σταθερότητα. Επιπλέον είναι γεγονός ότι οι μονάδες παραγωγής συμβατικών καυσίμων, είναι πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξαιτίας των καυσαερίων που εκλύονται από την καύση τους.

Η καύση συμβατικών ορυκτών καυσίμων συνδυάζεται με εκπομπή τεράστιων ποσοτήτων αέριων ρύπων, που είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου και ευθύνονται σε σημαντικό βαθμό στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου και επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή στον πλανήτη. Οι εκπομπές σε CO₂, που είναι το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από τη φύση του ορυκτού καυσίμου (φυσικό αέριο, λιγνίτης, πετρέλαιο, κλπ.) και από την απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτιμάται ότι για την παραγωγή μια MWh ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται περίπου 1,5tn CO₂. Αέριοι ρύποι όπως τα οξείδια του θείου (πχ. SO₂) και το CO συμβάλλουν σε γεγονότα μεγάλης έκτασης ρύπανσης όπως η όξινη βροχή και η αιθαλομίχλη.

Αν κάποιος συνοψίσει την περιβαλλοντική επιβάρυνση από τη χρήση συμβατικών καυσίμων μπορεί να τα ταξινομήσει στις παρακάτω κατηγορίες κατά την παραγωγή και την χρήση τους, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Περιβαλλοντικά προβλήματα και λοιπές οχλήσεις κατά την παραγωγή και μεταφορά ενέργειας από συμβατικά καύσιμα

Διαδικασία	Είδος προβλήματος
Μεταφορά καυσίμων και πρώτων υλών	-Ατυχήματα -Ακουστική ρύπανση -Ατμοσφαιρική ρύπανση -Ρύπανση υδάτων -Ρύπανση εδάφους
Μετατροπή	-Θερμική ρύπανση -Ατμοσφαιρική ρύπανση -Ακτινοβολία -Προβλήματα ασφάλειας -Ρύπανση υδάτων
Μεταφορά ενέργειας-μετάδοση	-Προβλήματα ασφαλείας -Οπτική ενόχληση -Αποψίλωση δασών
Χρήση	-Θερμική ρύπανση -Προβλήματα ασφαλείας

1.2 Ο ρόλος των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες ξεκίνησε μια προσπάθεια για απεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας για τρεις κυρίως λόγους. Πρώτον για παραγωγή ενέργειας με μικρότερο κόστος, δεύτερον για εξεύρεση ενεργειακών πόρων που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ανεξάντλητοι σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα και τέλος ελαχιστοποίηση των παραγόμενων ρύπων και κατά συνέπεια των κινδύνων προς το περιβάλλον και την προστασία της υγείας του πληθυσμού, κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Οι νέες πηγές παραγωγής ενέργειας, χαρακτηρίστηκαν «Ανανεώσιμες», γιατί χρησιμοποιούν πηγές που είναι πρακτικά ανεξάντλητες. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) συχνά ορίζεται να περιλαμβάνουν την αιολική, ηλιακή, τη γεωθερμική, την θερμική των ωκεανών, την κινητική των θαλάσσιων κυμάτων, την υδροκινητική, τη χρήση βιομάζας και την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Οι ΑΠΕ έχουν αποτελέσει αντικείμενο ανάλυσης και αξιολόγησης τους. Έχουν αναγνωρισθεί ως «κρίσιμο στοιχείο της χαμηλής ενεργειακής οικονομίας αερίων του

θερμοκηπίου». Είναι γνωστές για την κάλυψη της μεγάλης γεω-χωρικής βάσης πόρων που χρησιμοποιούν, το ιστορικά μεγάλο κόστος σε σχέση με τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης συμβατικών καυσίμων, την ταχεία επέκταση στην αγορά ενέργειας και την μεταβλητότητα των πόρων που χρησιμοποιούν. Κάθε αξιολόγηση τους όμως ξεκινά από ένα βασικό σημείο: τη χρήση των φυσικών πόρων.

Αποτελούν «καθαρές» πηγές ενέργειας και έχουν ελάχιστα περιβαλλοντικά φορτία. Τα ορυκτά καύσιμα έχουν αρχίσει και εξαντλούνται σε μεγάλο βαθμό έως το 2060. Επίσης μπορούν να αποτελέσουν, μέσω επενδύσεων, σημαντικό μοχλό οικονομικής ανάπτυξης και ενεργειακής ανεξάρτησης μιας χώρας, ενισχύοντας την ενεργειακή της ασφάλεια.

1.3 Οι κατηγορίες ΑΠΕ

1.3.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται από τον Ήλιο. Φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στον ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρα, διαμέσου του διαστήματος και στη συνέχεια υπόκειται σε μεταβολές λόγω της σύστασης της ατμόσφαιρας της Γης. Χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη μια δεδομένη χρονική στιγμή είναι η ένταση της και η διεύθυνση της πρόσπτωσης. Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης δεν είναι στο σύνολο της εκπεμπόμενη ακτινοβολία, καθώς ένα μέρος της απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας.

Η ηλιακή ενέργεια εκμεταλλεύεται τις διάφορες μορφές ενέργειας που φτάνουν από τον Ήλιο στη Γη, όπως το φως, η θερμότητα και η ακτινοβολία η εκμετάλλευση της γίνεται με εφαρμογή ειδικών συστημάτων που διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, τα φωτοβολταϊκά συστήματα (flat-plate concentrating collectors), με παραβολικά συγκεντρωτικά συστήματα (parabolic-trough, dish/engine, power tower) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα παθητικά συστήματα, τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση και φωτισμό (θερμοκήπια, ηλιακές καμινάδες) και τα ενεργητικά συστήματα όπως τους ηλιακούς συλλέκτες παραγωγής ζεστού νερού. Αν η παραγόμενη θερμότητα είναι υψηλής θερμοκρασίας, τότε η ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού και μέσω αμοστροβίλων σε μηχανική ενέργεια.

Η ηλιακή ενέργεια διακρίνεται σε θερμικές και θερμικές ηλεκτρικές εφαρμογές και ηλεκτρικές ή φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Στις θερμικές εφαρμογές γίνεται η αξιοποίηση της

θερμικής ενέργειας, όταν στις ηλεκτρικές εφαρμογές αξιοποιείται η κβαντική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι θερμικές εφαρμογές κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε εφαρμογές χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας και σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας. Η πρώτη υποκατηγορία περιλαμβάνει τα ενεργητικά και παθητικά συστήματα παραγωγής θερμότητας από τον Ήλιο. Στα ενεργητικά συστήματα η μεταφορά της συλλεγόμενης ηλιακής θερμότητας μεταφέρεται με την κυκλοφορία του θερμικού υγρού με τη βοήθεια της αντλίας ή ενός ανεμιστήρα. Αυτά τα συστήματα απαιτούν πρόσθετες πηγές ενέργειας, κυρίως ηλεκτρισμό, για τη λειτουργία τους. Αντίθετα τα παθητικά συστήματα είναι αυτόνομα και η κυκλοφορία γίνεται με φυσική ροή.

1.3.1.1 Το ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα

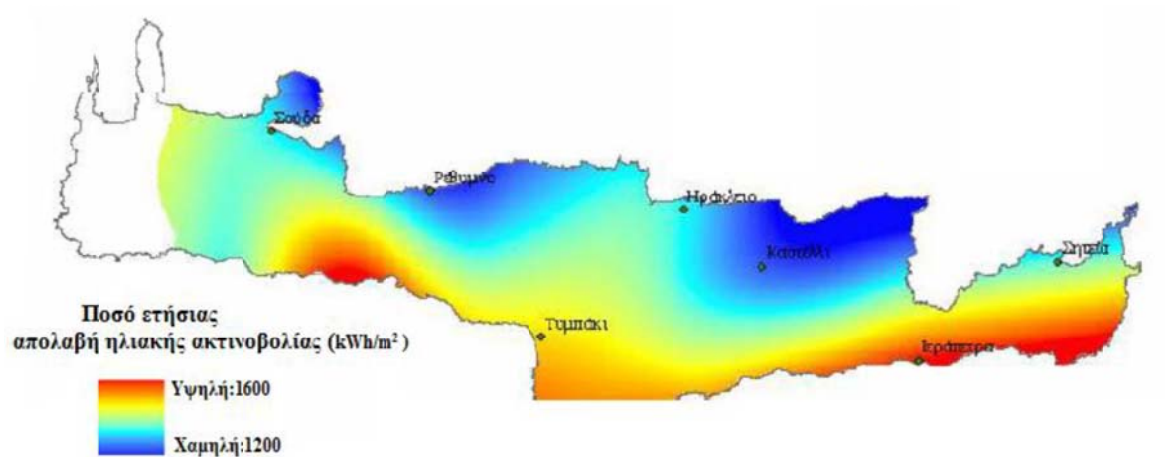
Η Ελλάδα λόγω της ευνοϊκής γεωγραφικής της θέσης, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου $1.400 \div 1.800 \text{ kWh/m}^2$ ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Στην εικόνα 3, παρουσιάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας (σε kWh/m^2) ημερησίως.



Εικόνα 3. Ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα

1.3.1.2 Το ηλιακό δυναμικό στην Κρήτη

Το ηλιακό δυναμικό της Κρήτης παρουσιάζεται εξαιρετικά πλούσιο, λόγω της δεδομένης γεωγραφικής θέσης του νησιού. Στην εικόνα 4 φαίνεται μια σχηματική άποψη της Κρήτης με τις περιοχές που συγκεντρώνονται περισσότερο το μεγαλύτερο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας (σε kWh/m²).



Εικόνα 4. Ηλιακό δυναμικό της Κρήτης

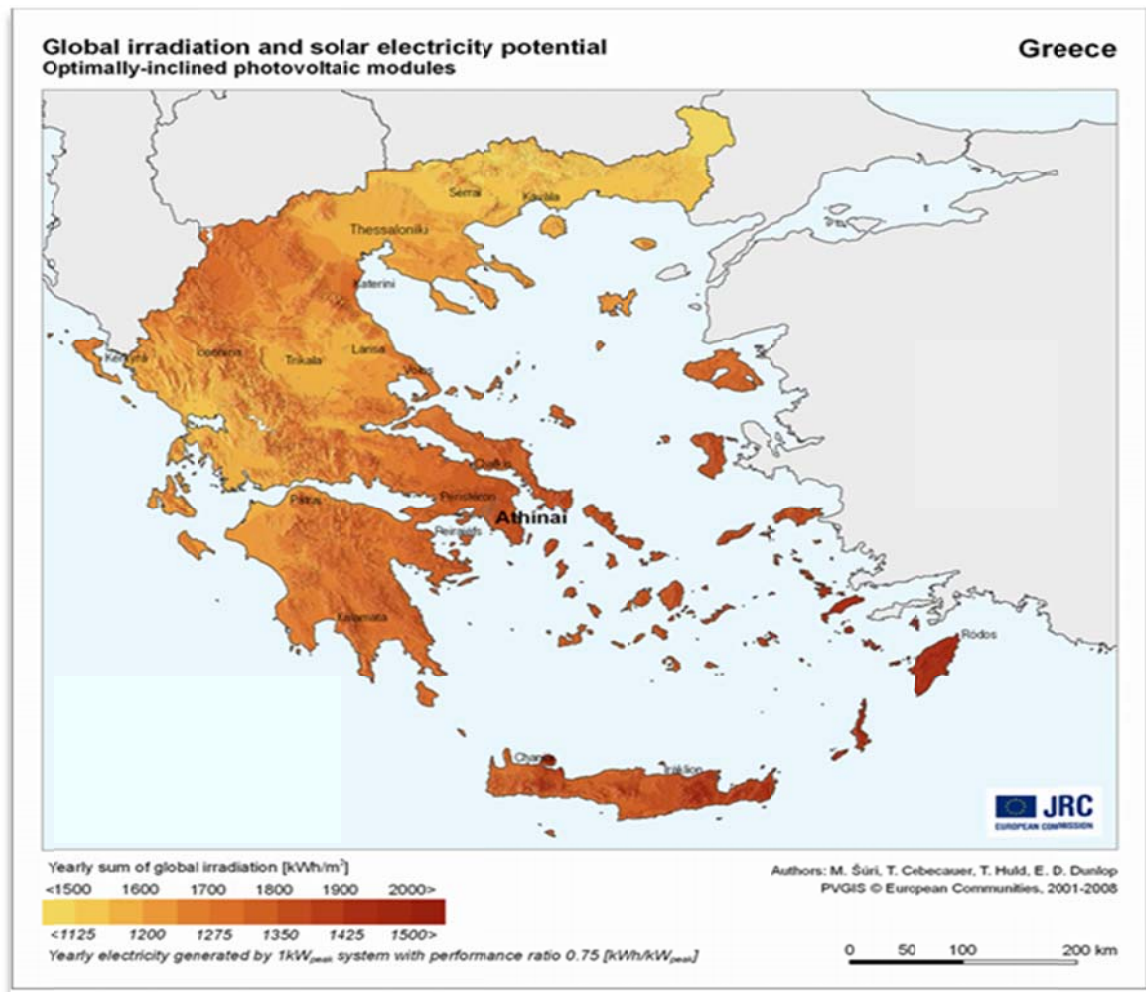
Στον επόμενο Πίνακα δίνονται οι μέσες τιμές μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο για επτά πόλεις της Κρήτης. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας συγκεντρώνεται στις περιοχές της Ιεράπετρας και του Τυμπακίου που βρίσκονται στο νοτιότερο σημείο του νησιού.

Πίνακας 2. Μέση Ηλιακή Ακτινοβολία στην Κρήτη

Μήνες		Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)					
Πόλεις Κρήτης							
Σούδα	Χανιά	Ρέθυμνο	Ηράκλειο	Σητεία		Τυμπάκι	Ιεράπετρα
Ιανουάριος	65,0	62,0	62,0	65,6	66,5	73,4	73,0
Φεβρουάριος	81,7	80,0	81,0	81,6	83,0	90,5	89,0
Μάρτιος	130,7	124,0	119,0	125,0	128,0	137,5	137,0
Απρίλιος	166,5	167,0	164,0	166,5	165,2	169,0	174,0
Μάιος	208,5	212,0	211,0	207,3	207,4	207,8	210,0
Ιούνιος	221,9	220,0	218,0	222,4	223,2	222,9	220,0
Ιούλιος	228,5	225,0	223,0	227,1	227,1	228,7	224,0
Αύγουστος	209,3	205,0	204,0	207,0	207,5	209,8	205,0
Σεπτέμβριος	163,6	161,0	160,0	163,0	163,7	166,3	165,0
Οκτώβριος	116,3	111,0	106,0	117,3	119,3	127,2	125,0
Νοέμβριος	76,8	78,0	81,0	78,6	80,4	85,9	89,0
Δεκέμβριος	60,3	59,0	58,0	61,2	61,9	67,7	69,0
Μ.Ο.	144,1	142,0	140,5	143,5	144,4	148,9	148,3

1.3.1.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μέση ετήσια προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας, υπολογίζεται με χρήση μετεωρολογικών δεδομένων δορυφόρου, της υπηρεσίας GIS-PV της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ακριβή γεωγραφική θέση της εγκατάστασης 35°32'6" Βόρεια, 24°4'52" Ανατολικά.



Εικόνα 5. Χάρτης Ηλιακής ακτινοβολίας και Δυναμικού παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ηλιακή Ακτινοβολία

Εκτός από την μέση ημερήσια ενέργεια από τον ήλιο σε μηνιαία ή ετήσια βάση, σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η **ηλιοφάνεια** της. Αυτή εξαρτάται βεβαίως από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τη θέση και διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά πιθανόν ευνοούν την ανάπτυξη των νεφώσεων, με αποτέλεσμα τη μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος. Κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Στην Ελλάδα η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3.101,5 ώρες ετησίως).

Στην Ελλάδα η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) καταγράφει εδώ και πολλά χρόνια τις ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα, αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις την ολική ηλιακή ακτινοβολία (σε kWh/m²) για διάφορες περιοχές της χώρας.

Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών επιλέγονται ώστε οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες και να μην επηρεάζονται από φυσικά εμπόδια ή τοπικά φαινόμενα που να αλλοιώνουν το αποτέλεσμα.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως, για όποιες περιοχές δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από την πλησιέστερη περιοχή στην οποία παρατηρείται παρόμοια μορφολογία εδάφους (ορεινοί όγκοι, κ.α.) και παρόμοιος προσανατολισμός.

1.3.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας τους ανέμους. Είναι ήπια μορφή ενέργειας, χωρίς παραγωγή ρύπων, είναι πρακτικά ανεξάντλητη. Αν υπήρχε η δυνατότητα, με την σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της Γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες τις ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/sec, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής θεωρείται εκμεταλλεύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί, η συστηματική εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού συμβάλει:

- Στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, που συνεπάγεται συναλλαγματικά οφέλη.
- Σε σημαντικό περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, αφού έχει υπολογισθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550kw σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 735 περίπου τόνων CO₂ ετησίως, καθώς και 2tn άλλων ρύπων στη δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας, αφού εκτιμάται ότι για κάθε νέο MW αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας.

1.3.3 Γεωθερμία

Γεωθερμία ή **Γεωθερμική ενέργεια** ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$

β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

Η Υψηλής Ενθαλπίας ($>150 \text{ }^\circ\text{C}$) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια $12 \times 10^6 \text{ kWh/yr}$.

Η Μέσης Ενθαλπίας ($80 \text{ έως } 150 \text{ }^\circ\text{C}$) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).

Η Χαμηλής Ενθαλπίας ($25 \text{ έως } 80 \text{ }^\circ\text{C}$) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη ($100-1500 \text{ }\mu$). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η ΔΕΗ, σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές

περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν του $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμειυτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100°C . Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθώς αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Στην Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (5 και 2 αντίστοιχα). Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325°C σε βάθος 1000 m. και στην Νίσυρο 350°C σε βάθος 1500 m. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι την τάξης των 200 και 50 MW αντίστοιχα.

Στην Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λ.π. Στην λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότροπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηρόκαστρου και Αγγίστρου. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75°C , συνήθως αρτεσιανά και πολύ καλής ποιότητας και παροχής. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στην Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο.

Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70°C και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στην Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82°C .

Στην λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56°C . Στην Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100 μ. συνάντησαν νερά της τάξης των 100°C .

Η πρώτη βιομηχανική εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε στο Λαρνταρέλλο (Lardarello) της Ιταλίας, όπου από τα μέσα του 18ου αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός ατμός για να εξατμίσει τα νερά που περιείχαν βορικό οξύ αλλά και να θερμάνει διάφορα κτήρια. Το 1904 έγινε στο ίδιο μέρος η πρώτη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τη γεωθερμία (σήμερα παράγονται εκεί 2,5 δισ. kWh/έτος). Σπουδαία είναι η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας από την Ισλανδία, όπου καλύπτεται πολύ μεγάλο μέρος των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση.

Κατά το 2005, 72 χώρες έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το 1995, όταν είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το 2007 στα 28268 MWt, παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το 2000, με μέση ετήσια αύξηση 12%. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας αυξήθηκε κατά 43% σε σχέση με το 2000 και ανήλθε στα 273.372 TJ (75.940 GWh/έτος).

Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια το 2008 γινόταν σε 24 χώρες. Το 2007 η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανήλθε στα 9735 MWe, σημειώνοντας αύξηση περισσότερων από 800 MWe σε σχέση με το 2005

1.3.4 Βιομάζα

Με τον όρο **βιομάζα** αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Το καύσιμο βιομάζας είναι γνωστό στην Ελλάδα κι ως πέλετ.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας.

Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.).

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή *πράσινη ενέργεια*) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι άφθονα στη φύση.

Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό.

Εντούτοις, η έρευνα και η τεχνολογική πρόοδος που έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία 10 χρόνια έχουν καταστήσει τις τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας εξαιρετικά ελκυστικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι προοπτικές, μάλιστα, της βιοενέργειας καθίστανται διαρκώς μεγαλύτερες και πιο ελπιδοφόρες. Στις πιο προηγμένες οικονομικά χώρες, αναμένεται να καλύπτει σημαντικό τμήμα της ενεργειακής παραγωγής μελλοντικά.

Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

1.3.5 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση κατάλληλων μονάδων παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι μονάδες παραγωγής αποτελούνται συνήθως από μια τεχνητή λίμνη που σχηματίζεται από την κατασκευή φράγματος, μέσα στην οποία αποθηκεύονται μεγάλες ποσότητες νερού. Το νερό, με την πτώση του από ύψος και με σημαντική παροχή, μπορεί να περιστρέψει τις διατάξεις των Υδροστροβίλων. Με τη σειρά της, η περιστροφή αυτή μέσω γεννήτριας παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι ειδικές εγκαταστάσεις παραγωγής είναι γνωστές ως Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ή ΥΗ.Σ.).

Περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να υποδεχθούν υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Συνήθως η ενέργεια που παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής, λόγω και της γρήγορης απόκρισης τέτοιου τύπου μονάδων.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια διακρίνεται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς μεγάλης και μικρής κλίμακας. Οι μεγάλης κλίμακας ΥΗ.Σ απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών ή τεχνητών λιμνών. Η μικρή κλίμακας υδροηλεκτρική ενέργεια διαφέρει σημαντικά από τη μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις αναφερθέντες απαιτήσεις. Τα μικρής κλίμακας συστήματα (ή Μ.ΥΗ.Σ.), που είναι κυρίως «συνεχούς ροής», τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια. Συνεπώς, για τη λειτουργία τους δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων, που σε πολλές περιπτώσεις επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υδροηλεκτρικές μονάδες μεγέθους το πολύ 30 MW (ανάλογα τη χώρα) χαρακτηρίζονται μικρής κλίμακας και θεωρούνται μονάδες Α.Π.Ε. Στην Ελλάδα, με βάση το Ν.3468/2006 μικρά υδροηλεκτρικά τα έργα θεωρούνται αυτά που η εγκατεστημένη τους ισχύς δεν υπερβαίνει τα 10 MW.

Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο του Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. για το έτος 2011, η εγκατεστημένη ισχύς των Μ.ΥΗ.Σ. στο Ε.Δ.Σ. ανέρχεται στα 205,33 MW και η ετήσια παραγωγή για το έτος 2011 έφτασε τις 580.628 MWh καλύπτοντας έτσι το 1,12% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η πραγματική μέση παραγωγή όλων των υδροηλεκτρικών, κυμαίνεται μεταξύ 3.500 έως 4.500 GWh ενέργεια που αντιστοιχεί περίπου στο 10% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής της Χώρας.

1.3.6 Λιγότερο διαδεδομένες μορφές ενέργειας

Όπως στη κατηγορία των υδατοπτώσεων, που η άντληση ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων, υπάρχουν μερικές κατηγορίες Α.Π.Ε. που είναι λιγότερο διαδεδομένες αλλά εξίσου αποτελεσματικές και οι οποίες αναφέρονται παρακάτω.

1.3.6.1 Ενέργεια από παλίρροιες

Το σύστημα αυτό λειτουργεί εκμεταλλεζόμενο τις άμπωτες και τις παλίρροιες στη θάλασσα, αλλά και στο χαμηλότερο τμήμα των ποταμών. Το εν λόγω σύστημα για την παραγωγή ενέργειας δεν είναι πολύ συνηθισμένο, ενώ οι γεννήτριες που χρειάζονται μπορεί να αποδειχθούν δαπανηρές ως προς την εγκατάσταση. Μακροπρόθεσμα, όμως, μπορούν να παράγουν φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια.

Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Μεγάλης κλίμακας έργα παραγωγής ενέργειας από παλιρροϊκά κύματα, τα οποία συμβάλλουν στην παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν στη Γαλλία, στη Ρωσία, στη Γερμανία και στη Σκωτία. Φυσικά και για τις κατασκευές για την παραγωγή ενέργειας από τις παλίρροιες υπάρχει λόγος ανησυχίας για τυχόν περιβαλλοντικές συνέπειες όπως στρέβλωση της θαλάσσιας περιοχή όπου γίνεται η εγκατάσταση ή κίνδυνο για ρύπανσης των ποταμών.

1.3.6.2 Ενέργεια από θαλάσσια κύματα

Η παραγωγή ενέργειας από κύματα, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου το ύψος των κυμάτων και διάρκεια κυματισμού καθώς και η ταχύτητα θαλάσσιων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Ένα εντυπωσιακό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να εκμεταλλευτεί το συγκεκριμένο γεγονός είναι η διάταξη με την ονομασία Pelamis (είδος θαλάσσιου φιδιού). Η λειτουργία του βασίζεται σε μηχανές από μια σειρά κόκκινων μεταλλικών σωλήνων που επιπλέον, συνδεδεμένες μεταξύ τους με

κατεύθυνση ίδια με αυτή των κυμάτων. Τα κύματα ταξιδεύουν μέσα από τους σωλήνες, προκαλώντας τους ταλάντωση, και ένα υδραυλικό σύστημα εκμεταλλεύεται αυτήν την κίνηση για να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια ως και 0,75 MW.

Ένας επιπλέον τρόπος άντλησης ενέργειας από τους υδάτινους πόρους γίνεται με τη χρήση της ενέργειας που παράγουν τα θαλάσσια κύματα. Αυτή η μάζα κινητικής ενέργειας μπορεί να αποθηκευτεί πολύ αποτελεσματικά. Ένας τρόπος για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσια κύματα, γίνεται με τη χρήση κατάλληλων θαλάμων που εκμεταλλεύονται την ανυψωτική κίνηση του κυμάτων της θάλασσας για να πιέζουν τον αέρα προς ορισμένη κατεύθυνση μέσω αγωγών, με αποτέλεσμα να τίθενται σε περιστροφική κίνηση κατάλληλα πτερύγια, οδηγώντας σε λειτουργία μια γεννήτρια.

1.3.6.3 Ενέργεια από ωκεανούς:

Η ενέργεια των ωκεανών, εκμεταλλεύσιμη ως θερμική ενέργεια, μπορεί να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 °C.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (0,4-0,7 MW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Σαν μειονεκτήματα μπορεί να αναφερθεί το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.

2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

2.1 Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν στις μέρες μας τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για περιβαλλοντικά ήπια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την απεξάρτηση από την κατανάλωση πετρελαίου. Καλύπτουν τεράστιο εύρος εφαρμογών, από την ηλεκτροδότηση υπολογιστικών μηχανών τσέπης έως και τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, ενώ το κόστος τους είναι ήδη ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά, θεωρούνται ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής, καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη και πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας στον πλανήτη, παράγουν ηλεκτρισμό, που είναι άμεσα χρήσιμη μορφή ενέργειας.

Επιπλέον, ευέλικτα συστήματα φωτοβολταϊκών μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνδέονται στο δίκτυο διανομής ενέργειας γίνεται ανταγωνιστική, μέσω των κινήτρων που δίνονται σε χώρες όπως η Γερμανία, η Ισπανία, η Ιταλία, η Ελλάδα, κα.. Τα κίνητρα αυτά αφορούν κυρίως μια ειδική τιμή «ηλιακής ενέργειας» ανά kWh.

Από περιβαλλοντική σκοπιά, κάθε εγκατεστημένος kW που παράγεται εκτιμάται ότι συμβάλλει στην μείωση εκπομών CO₂, αλλά και ρύπων όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξειδία του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λ.π., παρουσιάζουν δηλαδή ένα ισχυρό περιβαλλοντικό ισοδύναμο. Για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό το περιβαλλοντικό όψελος από τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, μπορεί να γίνει η εξής σύγκριση. Η παραγωγή 1 kWh από χρήση ηλιακής ενέργειας ισοδυναμεί με εκπομπή 1kg CO₂, συμβάλλει δε, σε ετήσια βάση, σε αποφυγή εκπομών 1,3tn CO₂. Στον παρακάτω πίνακα αναπαρίσται το περιβαλλοντικό όφελος από χρήση ηλιακής ενέργειας, μέσω της σύγκρισης από μείωση γνωστών ρύπων.

Πίνακας 3. Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται για κάθε ηλιακή kwh

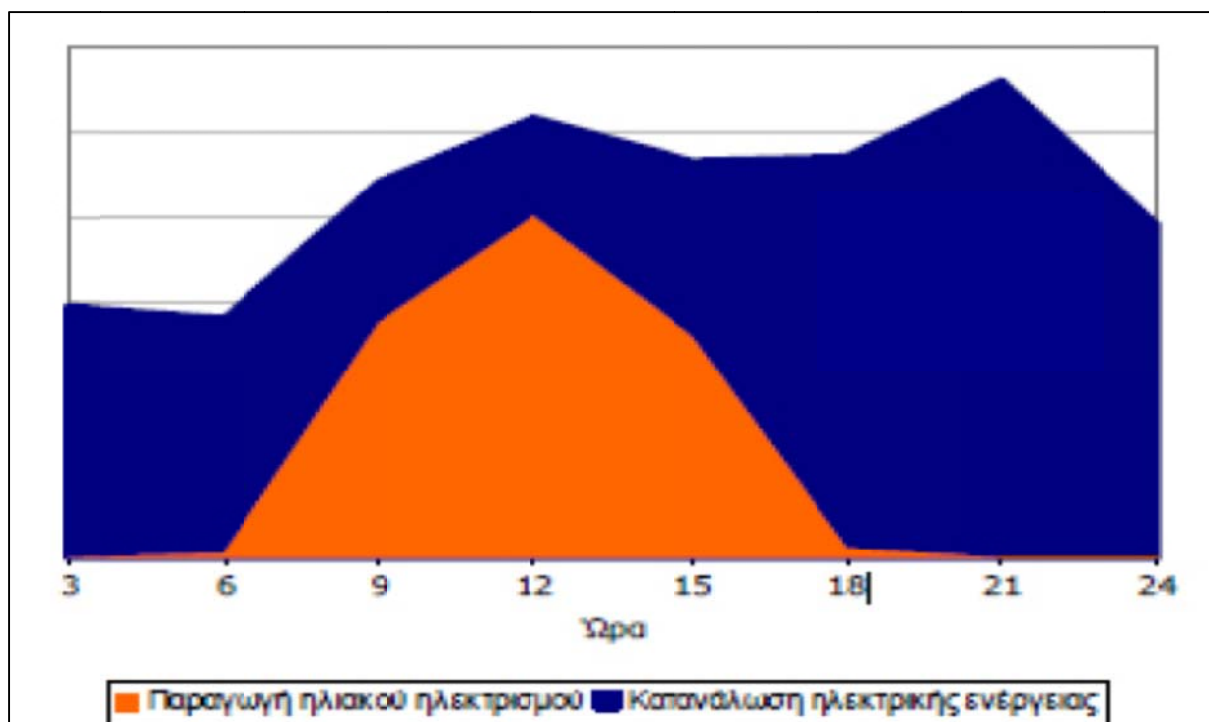
Αντικατάσταση σε σχέση με συμβατικά καύσιμα	Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων που αποφεύγονται από τη χρήση ηλιακής ενέργειας (gr)			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Λιγνίτης	1.482	1-1,8	1,17-1,23	1,1
Πετρέλαιο	830	3,5	1,5	0,34
Φυσικό αέριο	475	0,017	0,6	-
Μέσο ενεργειακό μείγμα	1062			

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας πρέπει να γίνει αξιολόγηση και της οικονομικής τους πλευράς. Η βαθμιαία αύξηση μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση απαιτεί επενδύσεις σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, η συγκεκριμένη επιλογή μπορεί να ελαχιστοποιήσει την ανάγκη κατασκευής νέων δικτύων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν ληφθούν υπόψη, πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό, ζητήματα που

προκύπτουν από την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές των χρήσεων γης. Οι μικροί παραγωγοί «πράσινης» ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντική εναλλακτική λύση για την μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής.

Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν χαρακτηρίζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10,6% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα μικρά αυτόνομα δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων συμβάλλουν στην ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου διανομής ενέργειας με την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων αιχμής, την αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την ελαχιστοποίηση των απωλειών μεταφοράς. Στην παρακάτω εικόνα αναπαρίσταται η παραγωγή ηλιακής ενέργειας σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτούμενες ανάγκες σε ηλεκτρισμό. Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων φαίνεται να καλύπτει τις ανάγκες σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ικανοποιητικό βαθμό, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες.

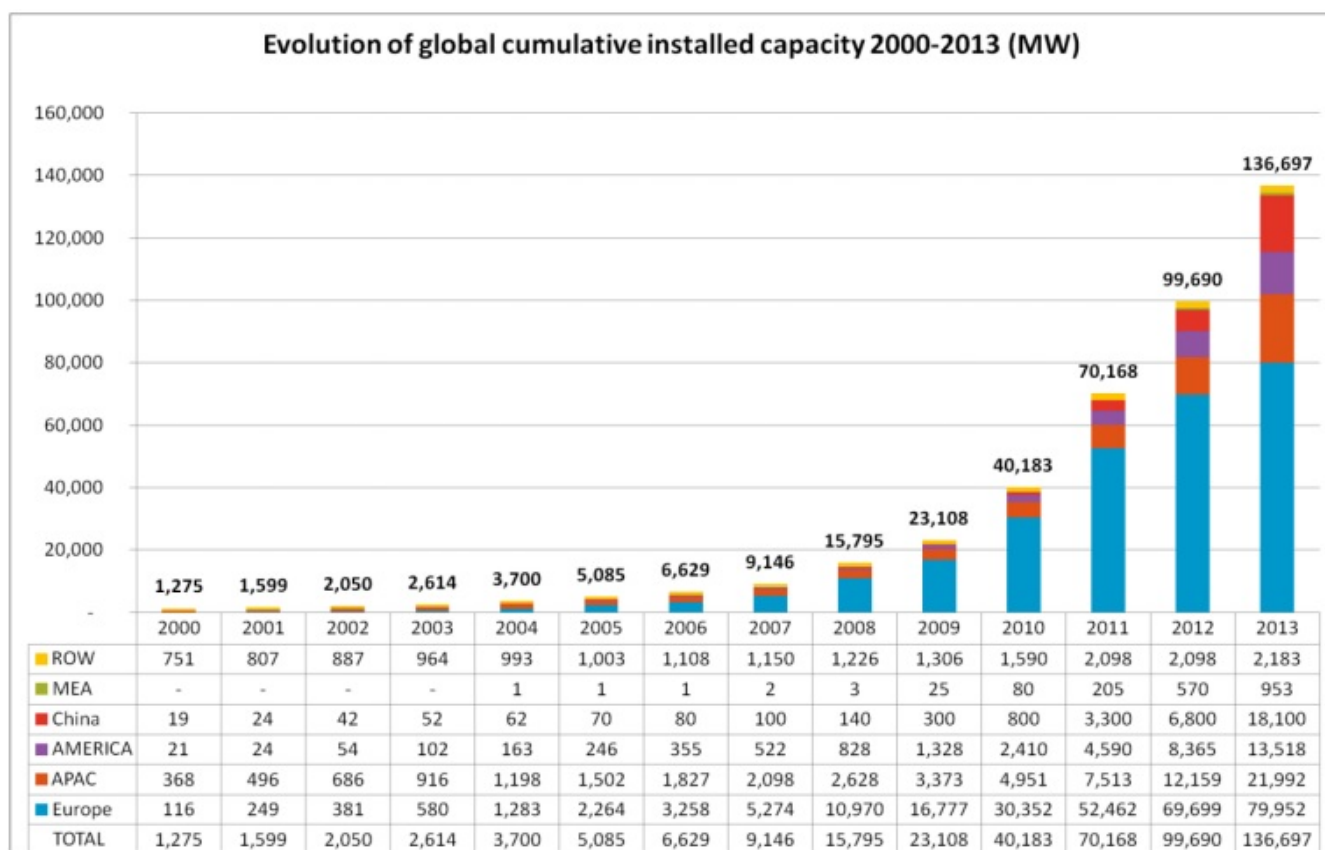


Εικόνα 6. Σύγκριση παραγωγής ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η αγορά φωτοβολταϊκών παρουσίασε μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης εξαιτίας των πλεονεκτημάτων αυτών των συστημάτων

2.2 Η παγκόσμια αγορά

Η αγορά των φωτοβολταϊκών(Φ/Β) στον κόσμο σημειώνει χαρακτηριστική αύξηση τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της σταδιακής μείωσης του αρχικά υψηλού κόστους, καθώς και λόγω των κινήτρων που προσφέρονται σε εθνικό επίπεδο στις διάφορες χώρες. Ενδεικτικά, το 1988 είχαν εγκατασταθεί Φ/Β συνολικής ισχύος 33 MWp και στο τέλος του 2013 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς έφτασε περίπου τα 136.697 MWp. Η τιμή αυτή έχει επιτευχθεί κυρίως λόγω της υψηλής ανάπτυξης των Φ/Β σε πέντε χώρες, Γερμανία, Κίνα, Ιταλία, Η.Π.Α. και Ιαπωνία, στις οποίες αντιστοιχούν περίπου τα 2/3 της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η Γερμανία, στην οποία αντιστοιχεί το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος, δεν έχει καλύτερο ηλιακό δυναμικό (ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο) από την Ελλάδα.



Διάγραμμα 1: Διεθνής Αγορά Φωτοβολταϊκών 2000-2013 (MW) Πηγή : EPIA, Market Report 2013

Εφόσον το κόστος των Φ/Β συνεχίζει να μειώνεται και δεδομένων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρισμού, η αγορά των Φ/Β αναμένεται να αναπτυχθεί με τον ίδιο ή και μεγαλύτερο βαθμό στο μέλλον. Αυτό εντάσσεται και στην πολιτική των διεθνών φορέων και οργανισμών, με αποτέλεσμα η υποστήριξη, τα κίνητρα και οι επενδύσεις σε αυτή την τεχνολογία να είναι σημαντικές. Η δυνατότητα των Φ/Β να εγκαθίστανται σε διάφορα σημεία (στέγες, πολυκατοικίες, οικόπεδα κλπ), χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς και χωρίς σημαντική οπτική όχληση, δημιουργεί, εν δυνάμει, ανεξάντλητα περιθώρια ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας.

Τα κίνητρα που δίνονται από τις χώρες και εφαρμόζονται μέσω της νομοθεσίας είναι αντίστοιχα με αυτά της αιολικής ενέργειας. Δηλαδή, χωρίζονται πάλι σε συστήματα σταθερής τιμής (Fixed Price) και συστήματα σταθερής ποσότητας (Fixed Quantity). Η διαφορά με την αιολική ενέργεια είναι ότι συνήθως για τον ηλεκτρισμό που παράγεται από Φ/Β, οι τιμές πώλησης και οι επιδοτήσεις, είναι υψηλότερες, κυρίως λόγω του υψηλού αρχικού κόστους μίας επένδυσης.

2.3 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα

Εξετάζοντας την Ελληνική αγορά και την ανάπτυξη των Φ/Β, μπορεί να διαπιστωθεί το καθεστώς που διέπει εν γένει τον κλάδο των ΑΠΕ στη χώρα μας. Επιγραμματικά, η ανάπτυξή τους υπήρξε μηδαμινή (2.2 MWp το 2003) τουλάχιστον μέχρι το 2006, όπου οι εγκαταστάσεις Φ/Β περιορίζονταν σε αυτές της ΔΕΗ σε νησιά (Κύθνος, Αντικύθηρα κλπ) και σε εγκαταστάσεις ιδιωτών σε απομακρυσμένες κατοικίες. Μια τέτοια ανάπτυξη ήταν σαφώς απογοητευτική, δεδομένου του εξαιρετικού ηλιακού δυναμικού της χώρας μας. Οι κύριοι λόγοι για την μικρή αυτή ανάπτυξη ήταν τα συνήθη γραφειοκρατικά προβλήματα, η ελλιπής ενημέρωση των μικροεπενδυτών, τα μηδαμινά κίνητρα τα οποία καθιστούσαν ασύμφορη μια επένδυση σε Φ/Β και ο μονοπωλιακός χαρακτήρας του ενεργειακού τομέα μέχρι το 2001.

Το 2006, με το νόμο 3468/2006, δημιουργήθηκε ένα σαφέστερο νομοθετικό πλαίσιο σε σχέση με τις ΑΠΕ και κατά συνέπεια και με τα Φ/Β. Ταυτόχρονα με τις ευνοϊκές τιμολογιακές ρυθμίσεις και επιχορηγήσεις για τους ενδιαφερόμενους επενδυτές σε μικρομεσαία κλίμακα, θεσμοθετήθηκε ένα πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών (ΑΦΣ) με σκοπό την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών, αμιγώς για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ο νόμος αυτός σε συνδυασμό με επιδοτήσεις που είχαν αναγγελθεί για το κόστος της επένδυσης, κίνησαν το ενδιαφέρον πολλών μικροεπενδυτών με αποτέλεσμα ο αριθμός των αιτήσεων για άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπερνάει κατά πολύ το στόχο του προγράμματος ΑΦΣ. Αυτό το γεγονός είχε ως αποτέλεσμα το Υπουργείο Ανάπτυξης να αναστείλει την αδειοδοτική διαδικασία στα τέλη του 2007. Συγκεκριμένα, μέχρι το τέλος του 2007 η εγκατεστημένη ισχύς είχε φτάσει μόλις τα 8.2 MW με ετήσιες αυξήσεις της τάξης των 1-1.5 MW. Από το 2008 αρχικά και ακόμα περισσότερο μετά τα μέσα του 2009 με την ψήφιση του νόμου 3851/2010, ο οποίος εισήγαγε σημαντική αύξηση του ορίου ισχύος των Φ/Β πάρκων που απαλλάσσονται από την ανάγκη λήψης άδειας παραγωγής και από την ανάγκη λήψης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, η αύξηση στο ενδιαφέρον για τα φωτοβολταϊκά και αντίστοιχα η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ήταν κατακόρυφη. Ισχύει ένα ειδικό πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Με το πρόγραμμα αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής ή μία μικρή επιχείρηση να κάνουν απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησαν και να έχουν ένα λογικό κέρδος για τις υπηρεσίες (ενεργειακές και περιβαλλοντικές) που παρέχουν στο δίκτυο. Η

πρόσφατη νομοθεσία για την εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, «Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων» ΦΕΚ Αρ. φύλλου 1079/Β/4.6.2009 υπογράφηκε στις 4 Ιουνίου 2009 και απλοποιήθηκε περαιτέρω τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο του 2010. Το πρόγραμμα εφαρμόζεται σε όλη την επικράτεια, με εξαίρεση τα μη διασυνδεδεμένα νησιά με το ηπειρωτικό σύστημα της χώρας.

Μέχρι το τέλος του 2010 οι αιτήσεις για άδεια παραγωγής ή εξαίρεση από άδεια για Φ/Β αντιστοιχούσαν σε ισχύ ίση με 9437MW. Συνολικά όμως, στο τέλος του 2013 η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β ήταν 2579 MW ενώ η ετήσια αύξηση άγγιξε το 168%.

2.4 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, ανάλογα με το υλικό παρασκευής, τη δομή του βασικού υλικού καθώς και τον τρόπο παρασκευής. Έτσι, έχουμε την παρακάτω κατηγοριοποίηση.

2.4.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

2.4.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si)

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%, το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ(Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, έχει απόδοση πλαισίου 18,5%.

2.4.1.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si)

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12%. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification) , η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

2.4.1.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon-Si)

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθινό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.

2.4.2 Φωτοβολταϊκα υλικά λεπτών επιστρώσεων (thin film)

2.4.2.1 Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παράλα 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 γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο. Φωτοβολταϊκό στοιχείο τύπου CIS.

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

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. 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. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με 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 ΦΒ, 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

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό χάσμα 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.

α μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

2.4.2.3 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό χάσμα 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 εργαστήριοη απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. 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. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελούριου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό, κατάλληλο για ενσωμάτωση στα κτίρια (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

2.4.2.4 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

2.4.3 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Μια άλλη κατηγορία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. - HIT (Heterojunction with Intrinsic Thinlayer). Τα ποιο γνωστά εμπορικά πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού τα φωτοβολταϊκά αυτά έχουν τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

2.4.4 Άλλες Τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

2.5 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε κτίρια αποτελούν δομικό υλικό για το κέλυφος του κτιρίου, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν ως παραγωγοί καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, με σημαντικό πλεονέκτημα την εξοικονόμηση κόστους τόσο των υλικών όσο και της ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν ιδανικά οικοδομικά στοιχεία με πολλές εφαρμογές καθώς επιτρέπουν μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό. Μπορούν να αντικαταστήσουν διαφορετικά στοιχεία από γυάλινες προσόψεις μέχρι οροφές ή να υποκαταστήσουν παραδοσιακά οικοδομικά υλικά σε εφαρμογές όπως η σκίαση και η στεγανοποίηση. Διαθέτουν ποικιλία σχημάτων και χρώματος και ικανότητα να συνδυάζονται αρμονικά ή να ξεχωρίζουν. Επιτρέπουν στο σχεδιαστή να κρύψει ή να προβάλλει τη χρήση τους σύμφωνα με τις εκάστοτε οικοδομικές απαιτήσεις. Τα φωτοβολταϊκά έχουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης σε οποιοδήποτε οικοδομικό έργο, από κτίρια υψηλής τεχνολογικής αισθητικής έως οικοδομήματα πολιτιστικής κληρονομιάς.

Παρόλο που η χρήση των φωτοβολταϊκών, ως δομικό υλικό αυξάνεται συνεχώς, ο αριθμός των κτιρίων που έχουν ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ακόμα μικρός. Το υψηλό κόστος της ενσωμάτωσής τους είναι συνήθως ως η αιτία για τη μη επιλογή τους. Ωστόσο το κόστος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως καθοριστική αιτία, καθώς συχνά στις προσόψεις των κτιρίων χρησιμοποιούνται υλικά υψηλότερου κόστους όπως ο γρανίτης.

Η ενσωμάτωση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό επιτρέπει στον σχεδιαστή να δημιουργήσει περιβαλλοντικά ήπια και ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, χωρίς να θυσιάσει την άνεση, την αισθητική ή την οικονομία. Η σύγχρονη φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει πολλαπλές δυνατότητες αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης και ικανοποιεί

απαιτητικές λειτουργίες ή αισθητικές παραμέτρους. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές αφορούν την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε:

- Στέγες - Ταράτσα
- Πρόσοψη
- Σκίαστρα –Στέγαστρα

2.5.1 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε προσόψεις κτιρίων

Οι φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις σπάνια συνδυάζουν και το καλό αισθητικό αποτελέσματα, όπως συμβαίνει με την περίπτωση της ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στα κτίρια: το σχήμα και το χρώμα των στοιχείων που θα ενσωματωθούν στη πρόσοψη μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να προσαρμόζονται τέλεια στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου. Λόγω του σχεδιασμού, όπου οι ηλιακές κυψέλες είναι μέσα σε χητή ρητίνη μεταξύ των δυο υαλοπινάκων, τα ηλιακά στοιχεία μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα συμβατικά συστήματα. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών. Το ευρύ φάσμα των διαφορετικών αισθητικά δυνατοτήτων σε φωτοβολταϊκά πλαίσια παρέχει μεγάλη ευελιξία στην αρχιτεκτονική σχεδίαση.

Στα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά σε προσόψεις υπάρχει περιορισμός στη βέλτιστη γωνία κλίσης της ακτινοβολίας του ηλίου και στον προσανατολισμό. Όμως μια σύγχρονη πρόσοψη με φωτοβολταϊκά μπορεί να παρέχει διαφορετικές λειτουργίες σε ένα κτίριο όπως η θερμική προστασία, η μόνωση, η προστασία από τον ήλιο και η προστασία από τον θόρυβο.

Οι δυνατότητες για ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην πρόσοψη ενός κτιρίου γίνονται είτε με τοποθέτηση μπροστά από την πρόσοψη, είτε με τοποθέτηση πάνω στην πρόσοψη, είτε με πλήρη ενδωμάτωση των φωτοβολταϊκών πάνω στην πρόσοψη ως δομικό υλικό. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν με ευκολία σε υφιστάμενες προσόψεις κτιρίων και να αποτελέσουν αισθητική λύση για επιφάνειες χωρίς παράθυρα.

2.5.2 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σκίαστρα

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σκίαστρα έχει ορισμένα πλεονεκτήματα όπως: η εξοικονόμηση κόστους από συμβατικά σκίαστρα, καθώς τα φωτοβολταϊκά παρέχουν σκίαση στους εσωτερικούς χώρους, η βέλτιστη κλίση σκίασης, ταυτίζεται με τη μέγιστη σκίαση και συντελεί στην βέλτιστη παραγωγή ενέργειας και φυσικά με την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία δύναται να δώσει εν μέρει ενεργειακή αυτονομία στο κτίριο.

2.6 Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Στέγες

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικοί τρόποι ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων πάνω σε μια στέγη κτιρίου.



Εικόνα 7 τρόποι ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε στέγη

Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή δεν είναι η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο κτίριο, αλλά η τοποθέτησή τους πάνω στην επιφάνεια τις στέγης χρησιμοποιώντας μεταλλικές κατασκευές. Αυτός ο τρόπος αποτελεί μια εύκολη και με χαμηλό κόστος λύση για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Όταν τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται πάνω στη στέγη, η στέγη εξακολουθεί να διατηρεί τη στεγανοποίησή της ενώ το μειονέκτημα είναι ότι εκτός από την αισθητική πτυχή, όλες οι συναρμολογήσεις, οι ηλεκτρικές συνδέσεις και τα καλώδια είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες. Επιπλέον πρέπει η τοποθέτηση να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή σκίαση από τα πάνελ.

Μια άλλη δυνατότητα είναι η απευθείας ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στη στέγη. Στην τοποθέτηση αυτή συνήθως υπάρχουν πολύ επίπεδες γωνίες κλίσης και υψηλότερες θερμοκρασίες των πλαισίων. Έτσι, έχοντας υπόψη τις προϋποθέσεις για τη βέλτιστη κλίση και τον προσανατολισμό συμπεραίνουμε ότι αυτό σημαίνει λιγότερες ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των πάνελ και άρα χαμηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό πρέπει να γίνεται η σωστή επιλογή του τύπου των φωτοβολταϊκών που θα χρησιμοποιηθούν. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film μπορούν να έχουν τη καλύτερη χρήση των πλεονεκτημάτων τους.

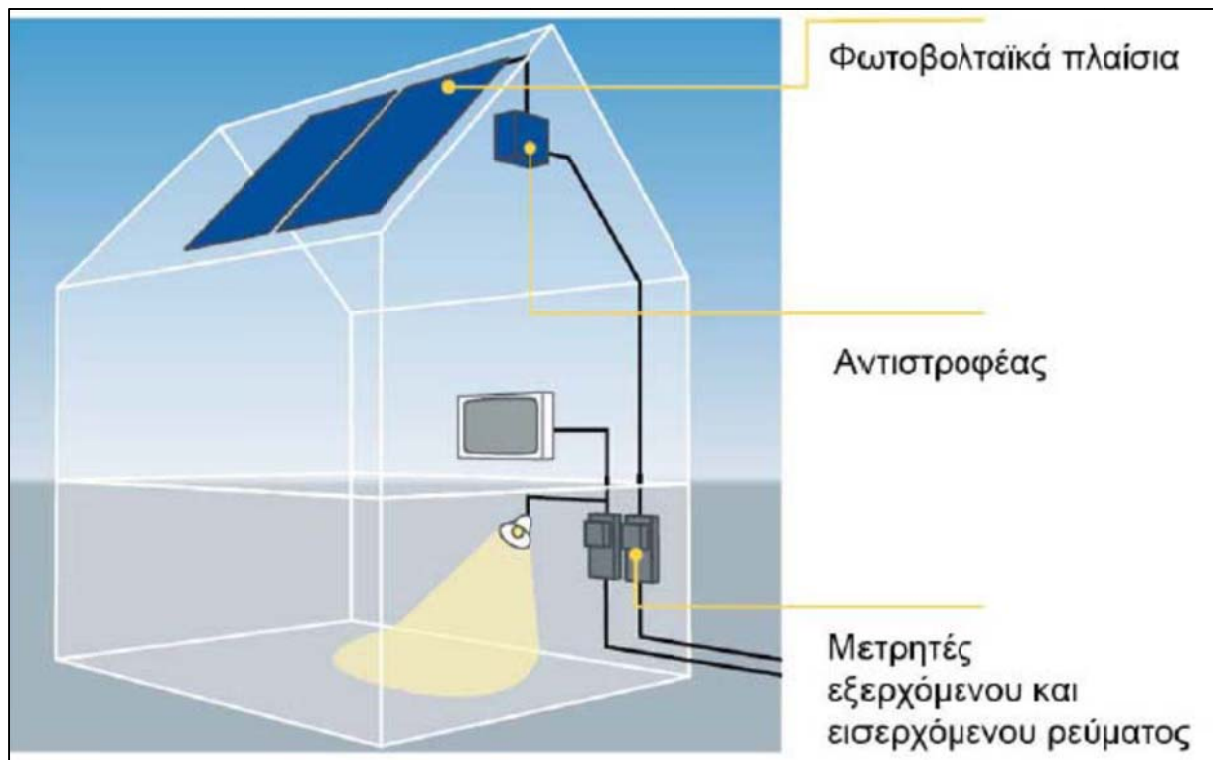
Επιπλέον, η έλλειψη αυτοκαθαρισμού της επιφάνειας των πάνελ, μειώνει την απόδοσή τους και για αυτό πρέπει να καθαρίζονται τακτικά. Πλεονέκτημα αυτού του τρόπου τοποθέτησης φωτοβολταϊκών είναι η καλύτερη εκμετάλλευση της επιφάνειας της στέγης αφού τα πάνελ

μπορούν να τοποθετηθούν παράλληλα στις άκρες της στέγης ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του κτιρίου. Επειδή δεν είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων στήριξης των πάνελ, υπάρχει μείωση του κόστους εγκατάστασης.

Η τρίτη δυνατότητα είναι η πλήρης ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στη στέγη, όπου τα φωτοβολταϊκά παίζουν το ρόλο της σκεπής υποκαθιστώντας το αντίστοιχο οικοδομικό υλικό (π.χ τα κεραμίδια).

3 Το φωτοβολταϊκό σύστημα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (φωτοβολταϊκή γεννήτρια που ακουμπά σε κάποια μεταλλική βάση στήριξης), και τον αντιστροφέα (inverter) που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο της ίδιας ποιότητας με το ρεύμα της ΔΕΗ συμβατό δηλαδή με το δίκτυο. Το ρεύμα αυτό περνά από ένα μετρητή και διοχετεύεται στο δίκτυο.

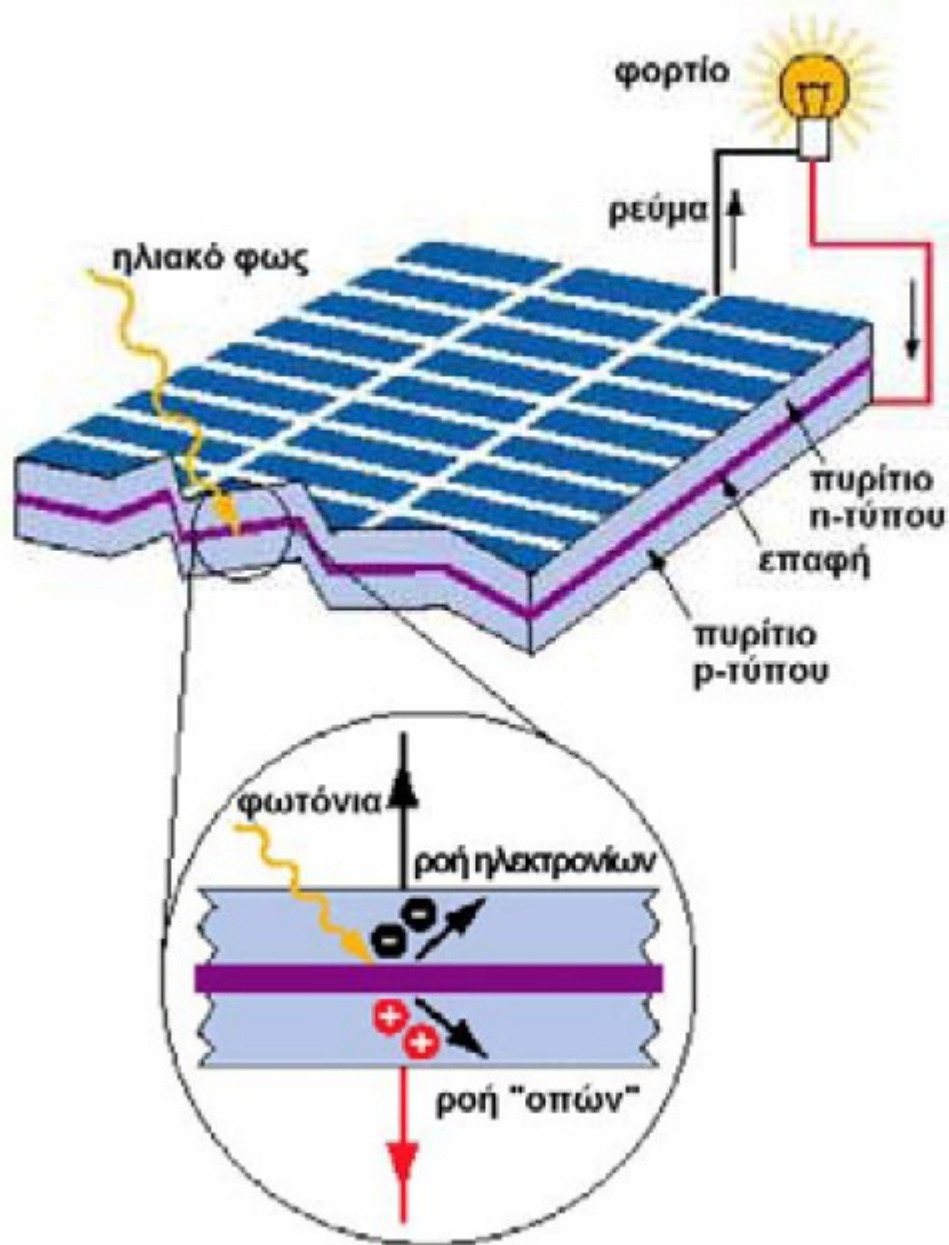


Εικόνα 8. Φωτοβολταϊκό σύστημα

3.1 Η ηλιακή κυψέλη

Οι ηλιακές κυψέλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, είτε έμμεσα με αρχική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Οι πιο κοινές μορφές των ηλιακών κυψελών βασίζονται στο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο.

Η ηλιακή κυψέλη ή φωτοστοιχείο αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Αποτελείται από δύο στρώσεις, η μια είναι φορτισμένη θετικά, ενώ η δεύτερη στρώση είναι φορτισμένη αρνητικά. Με λειτουργία αντίστοιχη των μπαταριών, η παραγωγή ρεύματος γίνεται με ροή των ηλεκτρονίων από τον θετικό προς τον αρνητικό πόλο της κυψέλης. Σύμφωνα με το μηχανισμό του φωτοβολταϊκού φαινομένου, με την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στις στρώσεις των κυψελών, δημιουργείται φωτο-τάση, η οποία προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων. Το φωτοβολταϊκό πάνελ (φωτοβολταϊκό πλαίσιο) αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό ηλιακών κυψελών, οι οποίες προστατεύονται από τις εξωτερικές επιδράσεις μέσω γυάλινης προστατευτικής επιφάνειας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελς συνδεδεμένα μεταξύ τους είτε σε σειρά είτε εν παραλλήλω δομούν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια.



Εικόνα 9. Αναπαράσταση φωτοβολταϊκού φαινομένου στην ηλιακή κυψέλη

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία μιας Φ/Β κυψέλης, πρέπει να κατανοηθεί η φύση τόσο του υλικού όσο και του ηλιακού φωτός. Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, συνήθως πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία από τα αρνητικά φορτία μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή.

Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα.

Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα, όπως αυτό της εικόνας 6, είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια Φ/Β συσκευή καθορίζεται από:

- τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού,
- την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία), και
- το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης. Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή, και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10% περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

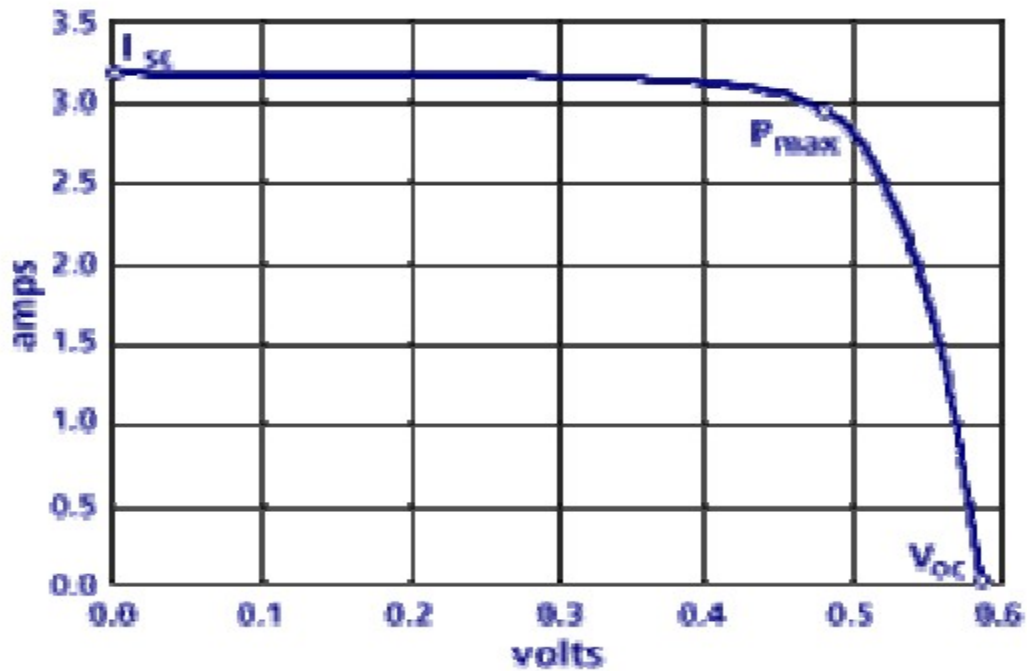
Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα:

- Θερμοκρασία 25°C,
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m²,
- Αέρια μάζα =AM 1,5.

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι

ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με 1. Η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την τάση, και η σχέση αυτή απεικονίζεται στην καμπύλη I-V της κυψέλης. Αυτή χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόδοση της κυψέλης και για τη σύγκριση μεταξύ τους κυψελών υπό ορισμένες συνθήκες. Στην εικόνα 7 παρουσιάζεται η καμπύλη I-V μίας κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου στις ΠΣΔ. Παρατηρείται ότι, αριστερά του γόνατος της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ στα δεξιά μεταβάλλεται σημαντικά με μικρές μεταβολές αυτής. Γι' αυτόν τον τύπο κυψέλης εν γένει ισχύουν:

- I_{sc} (ρεύμα βραχυκυκλώματος) = 3,36 A,
- V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος) = 0,6 V,
- P_{max} (σημείο μέγιστης ισχύος) = 1,5 W,
- I_{max} (ρεύμα στο P_{max}) = 3 A,
- V_{max} (τάση στο P_{max}) = 0,5 V.



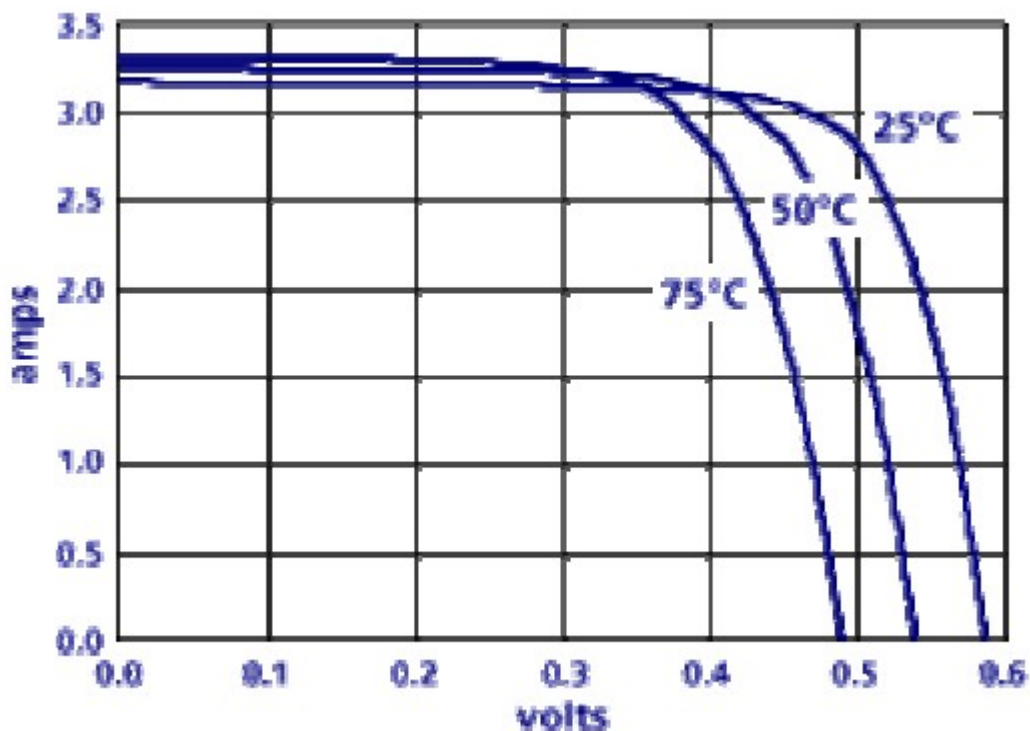
Εικόνα 10. Καμπύλη I-V μια τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.

Η παραγόμενη ισχύς από την κυψέλη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του ηλιακού φωτός (για παράδειγμα, εάν υποδιπλασιαστεί η ένταση του ηλιακού φωτός θα υποδιπλασιαστεί και η παραγόμενη ισχύς). Ένα σημαντικό γνώρισμα των Φ/Β κυψελών είναι ότι η τάση της κυψέλης δεν εξαρτάται από το μέγεθός της, και παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της έντασης του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογο προς την ένταση του φωτός και το μέγεθός της. Αυτό αναπαριστάται χαρακτηριστικά στην εικόνα 8.



Εικόνα 11. Παραγωγή ρεύματος και τάσης μιας ηλιακής κυψέλης από διάφορες ηλιακές εντάσεις φωτός.

Η παραγόμενη από μια ηλιακή κυψέλη ισχύς μπορεί να αυξηθεί αρκετά με τη χρήση ενός μηχανισμού παρακολούθησης της τροχιάς που να διατηρεί τη Φ/Β διάταξη απ'ευθείας κάθετη προς τις ακτίνες του ήλιου, ή συγκεντρώνοντας το φως του ήλιου με τη βοήθεια φακών ή κατόπτρων. Εντούτοις, υπάρχουν όρια στη διαδικασία αυτή, λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών και της αναγκαίας ψύξης των κυψελών. Η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή σε υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά η τάση μειώνεται (κατά 0,0023 Volts περίπου για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου), προκαλώντας έτσι τη μείωση της ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στην εικόνα 9 απεικονίζει τα χαρακτηριστικά μιας κυψέλης σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (οι άλλες συνθήκες παραμένουν ίδιες).



Εικόνα 12. Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.

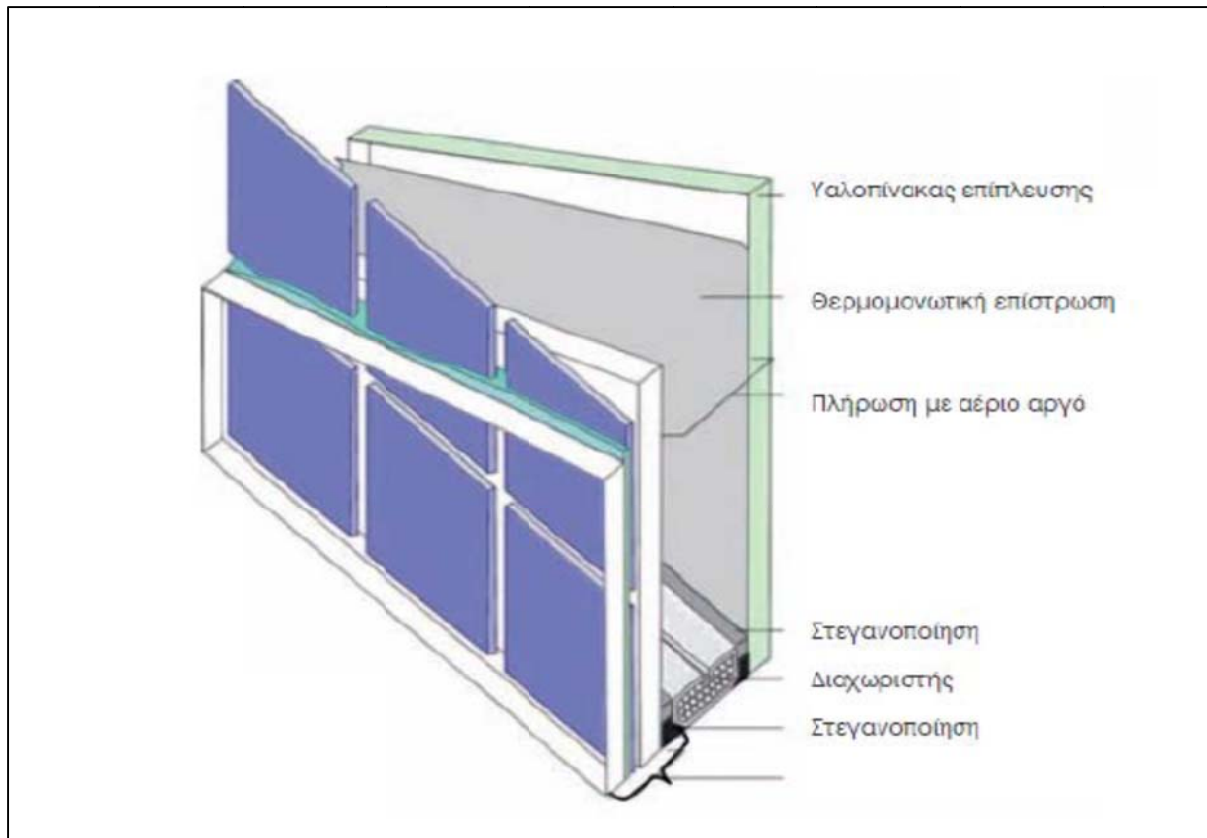
3.2 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Η τάση και η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, της κυψέλης, είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Για αυτό το λόγο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετούνται σε ένα ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο αυτό, τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση επιθυμητής τάσης. Τα πλαίσια είναι προκατασκευασμένα. Τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού.

Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module), που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση φωτοβολταϊκών γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος προκύπτει σημαντικά

μεγαλύτερο από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που περιέχουν. Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το φωτοβολταϊκό πάνελ (panel). Όπως και το πλαίσιο, έχει συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση σε εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πάνελ μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο) που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν όλες οι εταιρίες που κατασκευάζουν φωτοβολταϊκά στοιχεία, δεν διαχωρίζουν τα πλαίσια από τα πάνελ. Το προϊόν που παράγεται ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module) και διατίθεται σε ποικιλία, όσον αφορά την ισχύ που παράγει, την τάση και τελικά τις διαστάσεις του.

Υπάρχουν δυο τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια με πλαίσιο γυαλιού-ελασμάτων και τα ημιπερατα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι κρυσταλλικά πλαίσια γυαλιού –γυαλιού. Τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια με πλαίσιο γυαλιού-ελασμάτων κατασκευάζονται με τη μέθοδο της πολυστρωμάτωσης. Ο τύπος αυτός αποτελεί την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές φ/β συστημάτων πάνω σε στέγες κτιρίων ή σε πολύ μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο. Τα ημιπερατα φωτοβολταϊκά πλαίσια επιλέγονται σε περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης, έχουν ιδιαίτερο σχεδιασμό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες. Η δομή ενός τέτοιου πλαισίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 13. Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Σε ένα πλαίσιο υάλου-υάλου, στην μπροστινή όψη βρίσκεται το τμήμα «οrtilsol», το οποίο αποτελείται από ένα εξαιρετικό λευκό υαλοπίνακα και ένα υαλοπίνακα επίπλευσης. Μεταξύ αυτών των δυο υαλοπινάκων τοποθετείται μια ειδική ρητίνη με ενσωματωμένες τις φωτοβολταϊκές κυψέλες. Το υπόλοιπο τμήμα περιλαμβάνει ένα στρώμα στεγανοποίησης από κάθε πλευρά καθώς και ένα επιπλέον τζάμι με θερμομονωτική επίστρωση, προκειμένου να διασφαλίζεται ικανοποιητική μόνωση. Το διάστημα μεταξύ του βασικού τμήματος και του υαλοπίνακα περιέχει Ar.

3.3 Η φωτοβολταϊκή συστοιχία

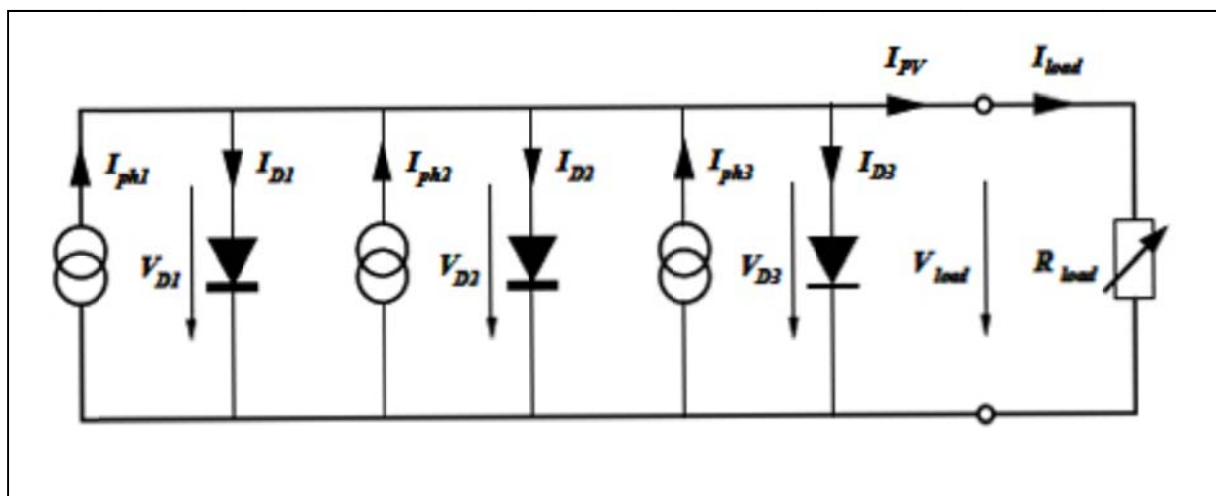
Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως είναι αναμενόμενο τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτόν τον τρόπο, αν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς

που παράγει το σύστημα. Έτσι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ομαδοποιούνται σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινή βάση στήριξης, η οποία είναι συνήθως μεταλλική. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται έτσι ώστε να η τάση εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή.

- Σταθερές συστοιχίες
- Στρεφόμενες συστοιχίες ανάλογα με το αν κινούνται σε έναν άξονα ή δύο άξονες.
- Συστοιχίες με ανακλαστήρες / κάτοπτρα
- Στρεφόμενες συστοιχίες με κάτοπτρα

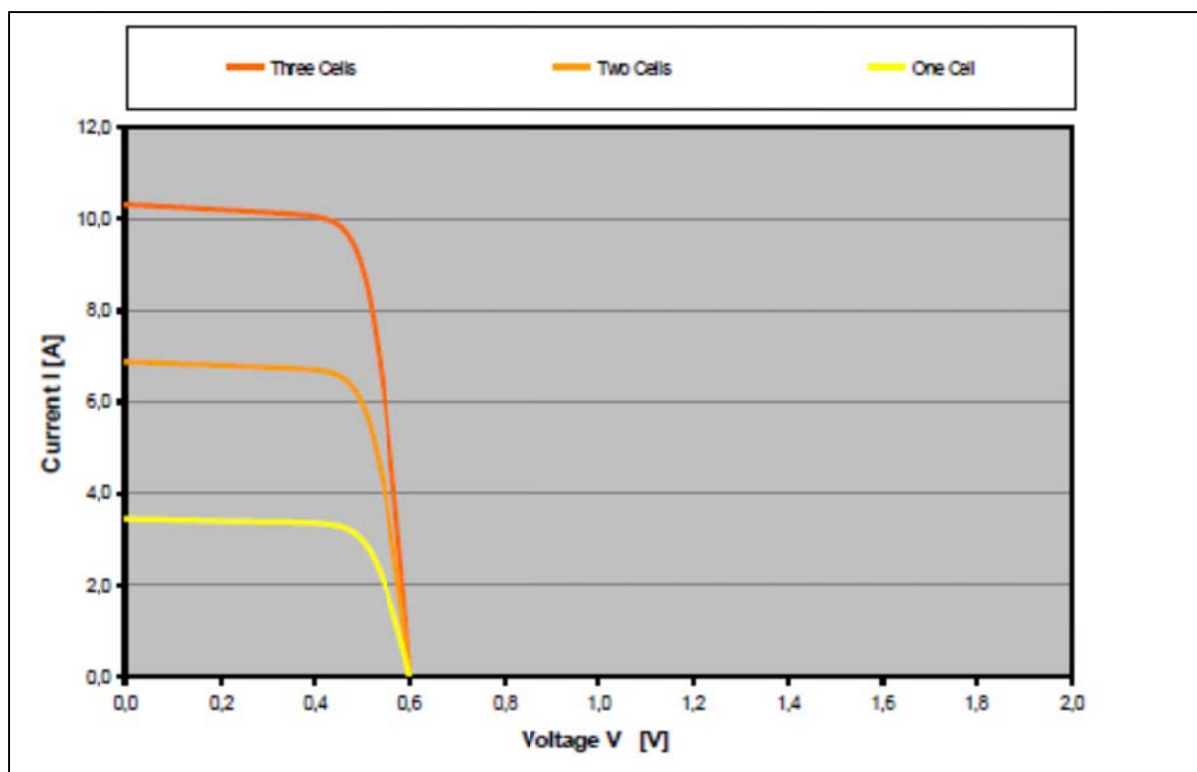
3.4 Παράλληλη Σύνδεση ηλιακών κυψελών

Οι ηλιακές κυψέλες με παρόμοια χαρακτηριστικά συνδέονται και τοποθετούνται σε πλαίσια προκειμένου να πετύχουν μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ. Αυτά τα πλαίσια με τη σειρά τους συνδυάζονται δομούν τις γεννήτριες. Αν σε ένα κύκλωμα απαιτείται να έχουμε υψηλό ρεύμα, τότε οι κυψέλες συνδέονται παράλληλα. Η παράλληλη συνδεσμολογία απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 14. Παράλληλη συνδεσμολογία κυψελών

Από την θεωρία της παράλληλης σύνδεσης, η τάση σε κάθε κυψέλη που είναι συνδεμένη παράλληλα με τις υπόλοιπες, είναι ίση και είναι ίση με τη τάση που έχει ολόκληρο το πλαίσιο. Σε αντίθεση, το ρεύμα που έχει το πλαίσιο είναι το άθροισμα όλων των ρευμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε κυψέλη. Το γράφημα της I-V χαρακτηριστική για κάθε μια κυψέλη αλλά και συνδεσμολογία παράλληλων κυψελών φαίνεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 15. Χαρακτηριστική I-V για τρεις ηλιακές κυψέλες σε παράλληλη σύνδεση

Τα ερωτηματικά στη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος προκύπτουν όταν τμήμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου σκιάζεται. Για παράδειγμα αν υπάρχουν τρεις ξεχωριστές κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα και η μία από αυτές βρίσκεται σε σκιά (Εικ.14). Όταν μια κυψέλη βρεθεί σε σκιά σταματάει να παράγει φωτορεύμα. Το χειρότερο σενάριο είναι όταν έχουμε παράλληλη σύνδεση κυψελών με ανοιχτό κύκλωμα, δηλαδή αν δεν υπάρχει φορτίο. Όταν μια κυψέλη βρίσκεται σε σκιά είναι πιο κρύα από τις άλλες δυο και η τάση διακοπής της διόδου είναι υψηλότερη σύμφωνα με τις I-V χαρακτηριστικές. Ενώ η τάση που υπάρχει στις τρεις κυψέλες είναι η ίδια, το ρεύμα διόδου της σκιασμένης κυψέλης είναι εξαιρετικά μικρό.

Η παράλληλη σύνδεση για την κατασκευή ενός πλαισίου δεν είναι πάντοτε κατάλληλη σε συνηθισμένες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών εξαιτίας των μεγάλων ρευμάτων και τις απαιτήσεις για αντίστοιχους αγωγούς. Επιπλέον, η χαμηλή τάση που έχουν προκαλεί μεγάλες απώλειες. Για αυτό μια σύνδεση σε σειρά είναι ελκυστικότερη και χρησιμοποιείται πιο συχνά.

3.5 Σύνδεση κυψελών σε σειρά

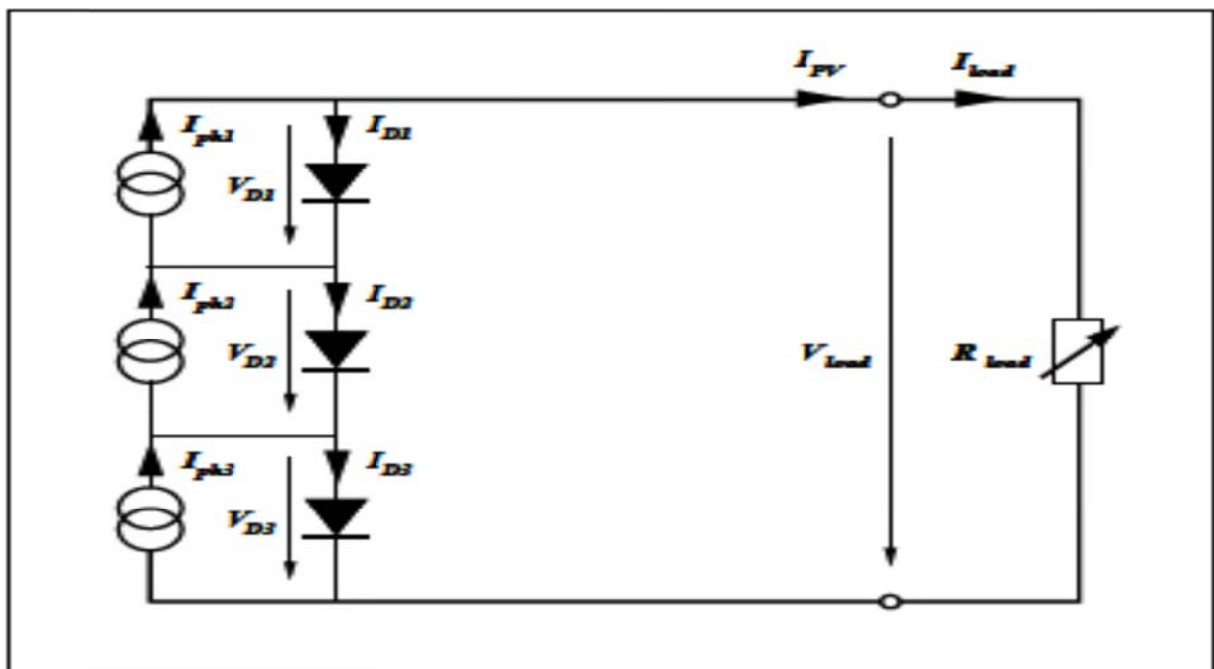
Σε μια σύνδεση σε σειρά, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 16, το ρεύμα που διέρχεται από την κάθε κυψέλη είναι το ίδιο για όλες τις κυψέλες, ενώ το συνολικό ρεύμα του πλαισίου είναι το άθροισμα των ρευμάτων των κυψελών.

$$I_{pv} = I_{ph1} + I_{ph2} + I_{ph3} \quad (1)$$

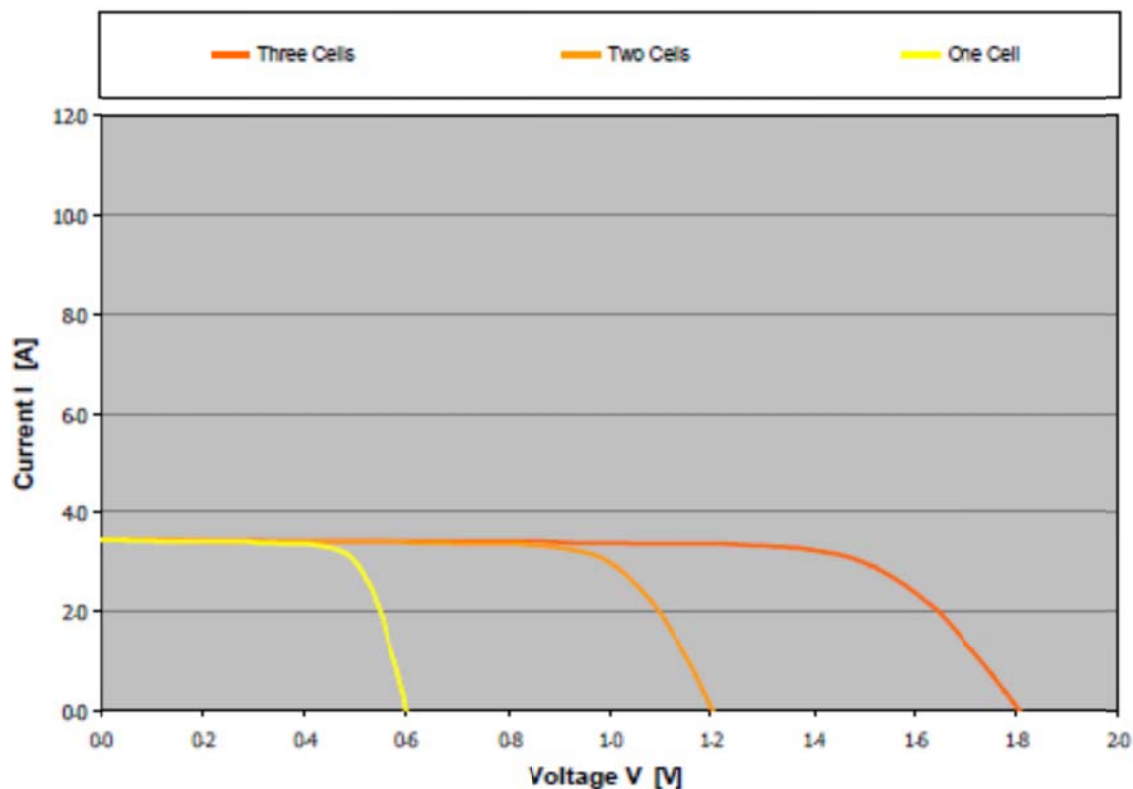
Αντίθετα η τάση που έχει κάθε κυψέλη μεμονωμένα είναι ίση με την τάση που έχει το πάνελ, δηλαδή ολόκληρό το κύκλωμα.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2)$$

Η I-V χαρακτηριστική της γραφικής παράστασης αναπαριστάται στην εικόνα 17, έχει κατασκευαστεί σημείο –σημείο και δείχνει τη συμπεριφορά που έχει μία κυψέλη σε σύγκριση με δυο κυψέλες και τρεις κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά.

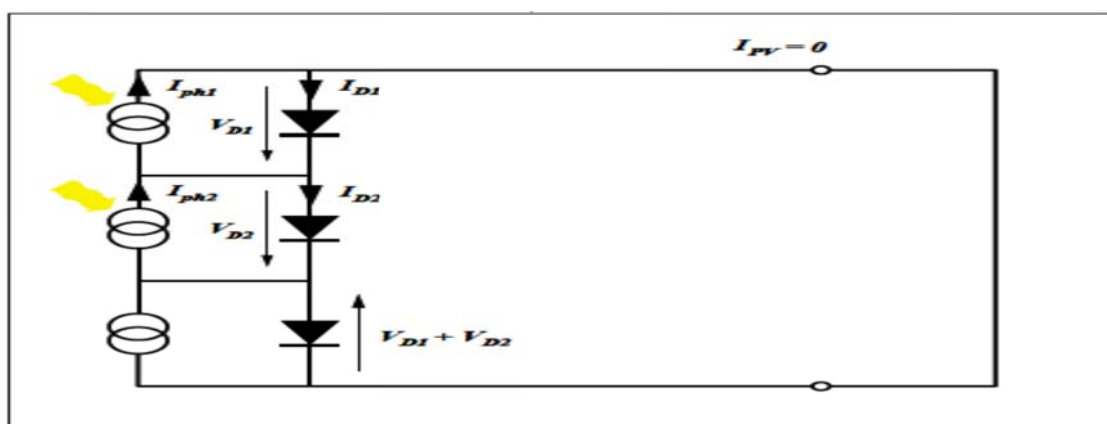


Εικόνα 16. Ηλεκτρικό κύκλωμα συνδεσμολογίας εν σειρά



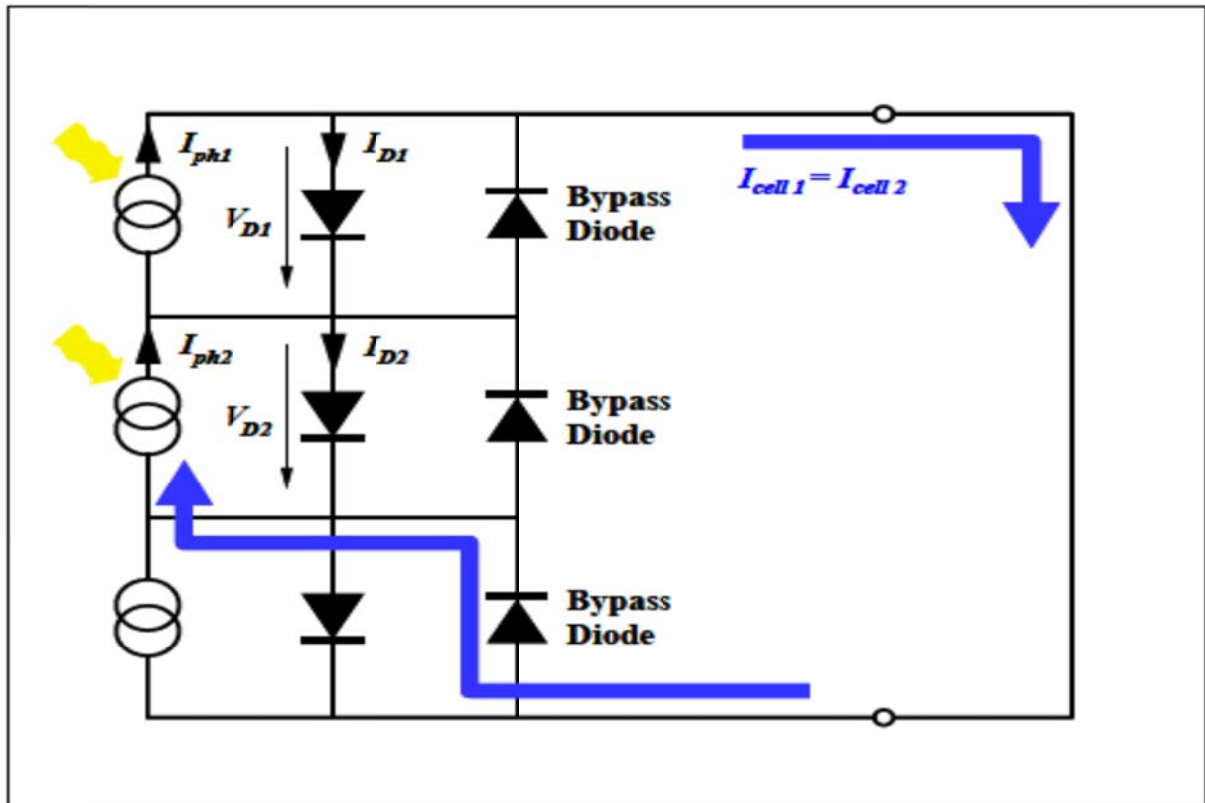
Εικόνα 17. χαρακτηριστική I-V κυψελών συνδεδεμένων εν σειρά

Η σύνδεση σε σειρά των ηλιακών κυψελών έχει ανεπιθύμητα αποτελέσματα όταν ένα τμήμα τους βρίσκεται σε σκιά. Η χειρότερη περίπτωση, σε αντίθεση με την παράλληλη σύνδεση, είναι όταν έχουμε βραχυκύκλωμα. Σε περίπτωση πλήρους σκίασης της κυψέλης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, το σκιασμένο κύτταρο δεν παράγει ρεύμα και ενεργεί ως ανοιχτό κύκλωμα, δηλαδή δεν υπάρχει ροή έντασης στο κύκλωμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ισχύς εξόδου να είναι επίσης μηδέν.



Εικόνα 18. Κύκλωμα εν σειρά συνδεδεμένων κυψελών, με σκίαση μιας κυψέλης.

Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα που προκύπτει λόγω της σκίασης, εφαρμόζεται η σύνδεση μίας παρακαμπτηρίου- bypass διόδου παράλληλα στις κυψέλες, έτσι ώστε να υπάρχει ροή του ρεύματος όταν μια κυψέλη βρίσκεται σε σκιά.



Εικόνα 19. Σύνδεσμολογία παρακαμπτήριων διόδων

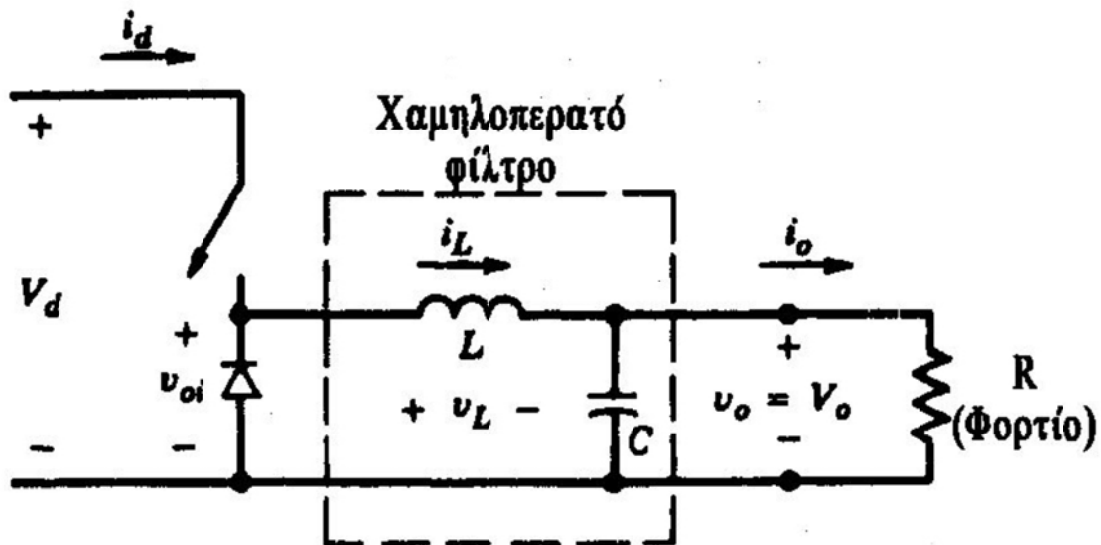
Σε κανονικές συνθήκες, χωρίς σκίαση, κάθε bypass διόδος είναι ανάστροφα πολωμένη και κάθε κυψέλη παράγει ρεύμα που ρέει κανονικά. Όταν η τρίτη κυψέλη είναι σε σκιά, η παρακαμπτήριος διόδος της είναι ορθά πολωμένη και άγει το ρεύμα στο κύκλωμα.

3.6 Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης (DC/DC Converters)

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα η παραγόμενη τάση από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή. Για να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και να καταστεί κατάλληλη για την είσοδό της στον αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μετατροπείς συνεχούς ρεύματος. Οι μετατροπείς μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η τάση εξόδου που βγάζουν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τάση εισόδου και ακόμα ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας.

3.7 Μετατροπέας Υποβιβασμού Τάσης

Όπως υποδηλώνει το όνομά του, ένας dc-dc μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (step down buck dc-dc converter) παράγει μια μέση τάση εξόδου χαμηλότερη από τη dc τάση εισόδου V_d . Η τάση εξόδου κυμαίνεται μεταξύ 0 και V_d , για τις διακυμάνσεις της τάσης χρησιμοποιείται ένα χαμηλοπερατό φίλτρο το οποίο αποτελείται από ένα πηνίο και έναν πυκνωτή.



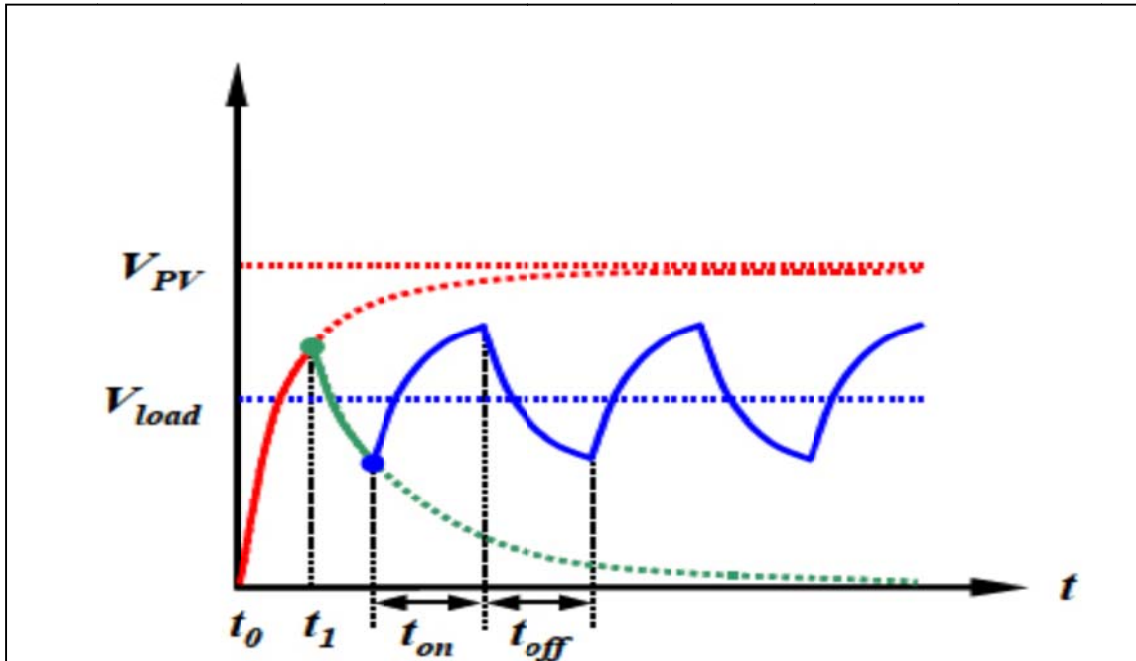
Εικόνα 20. Συνδεσμολογία μετατροπέα υποβιβασμού τάσης

Το σήμα ελέγχου του διακόπτη έχει μια περίοδο T από την οποία υπολογίζουμε την διάρκεια αγωγής, D , με βάση την παρακάτω σχέση.

$$D = \frac{t_{on}}{T}, T = t_{on} + t_{off} \quad (3)$$

Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός (ON), το ρεύμα ρέει μέσω του πηνίου και η διόδος είναι ανάστροφα πολωμένη. Τότε το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια. Όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός (OFF) το ρεύμα του πηνίου πολώνει ορθά την διόδο, κατά το χρονικό διάστημα t_{off} . Η τάση στην έξοδο, V_{load} , με βάση τις παραδοχές, ότι ο διακόπτης είναι ιδανικός, ότι η τάση στη είσοδο είναι συνεχής και ότι στην έξοδο έχω ένα καθαρά ωμικό φορτίο, προκύπτει:

$$V_{load} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{load}(t) dt = DV_{pv} \quad (4)$$

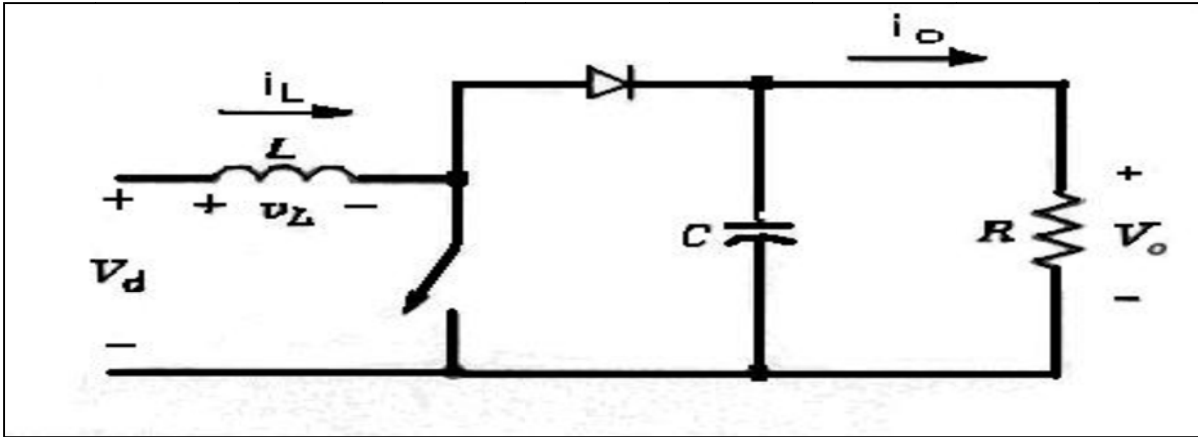


Εικόνα 21. Γράφημα συμπεριφοράς τάσης σε μετατροπέα υποβιβασμού τάσης.

Αυτής της κατηγορίας οι μετατροπείς dc-dc χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σαν τροφοδοσία ισχύος υπό συνεχή τάση τροφοδότησης. Ενώ η τάση εισόδου μεταβάλλεται με τις συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας η τάση εξόδου παραμένει σταθερή εξυπηρετώντας κάποιο φορτίο.

3.8 Μετατροπέας Ανύψωσης Τάσης

Σε ένα μετατροπέα ανύψωσης τάσης, η τάση εξόδου είναι πάντα μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη, απομονώνοντας έτσι τη βαθμίδα εξόδου. Η είσοδος παρέχει ενέργεια στο πηνίο. Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός η βαθμίδα εξόδου απορροφά ενέργεια από το πηνίο και από την είσοδο. Στη μόνιμη κατάσταση ισορροπίας ο πυκνωτής εξομάλυνσης θεωρείται πολύ μεγάλος ώστε να εξασφαλίζεται μια σταθερή τάση εξόδου.

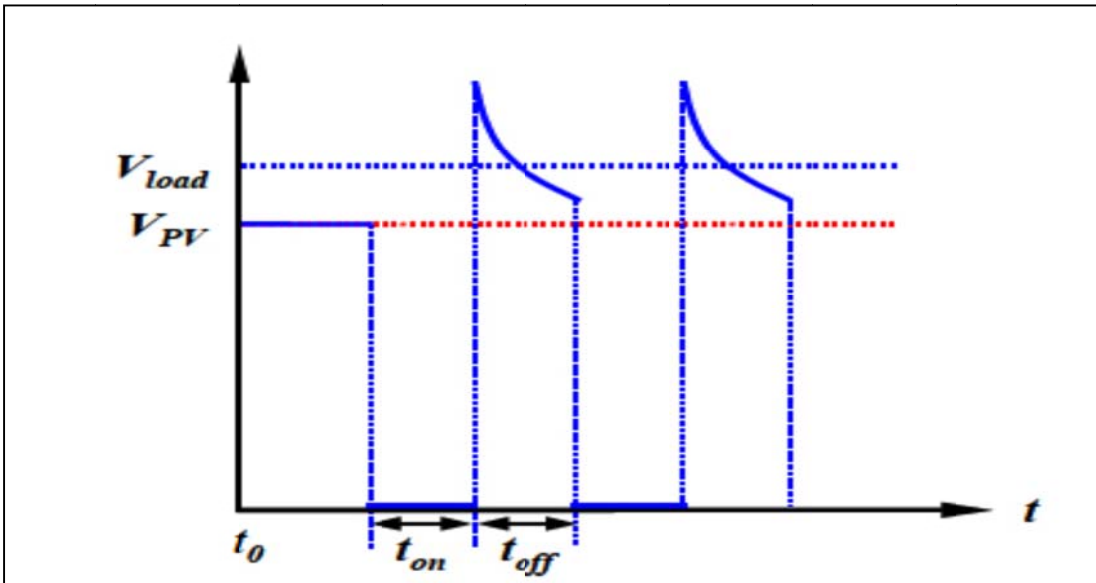


Εικόνα 22. Συνδεσμολογία ανύψωσης τάσης

Η τάση εξόδου του μετατροπέα δίνεται από τον τύπο:

$$V_{load} = \frac{T}{t_{off}} V_{pv} \quad (5)$$

Η συμπεριφορά της τάσης στον μετατροπέα ανύψωσης τάσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 23. Γράφημα συμπεριφοράς τάσης σε μετατροπέα ανύψωσης τάσης

3.9 Αναστροφέας (DC/AC Inverter)

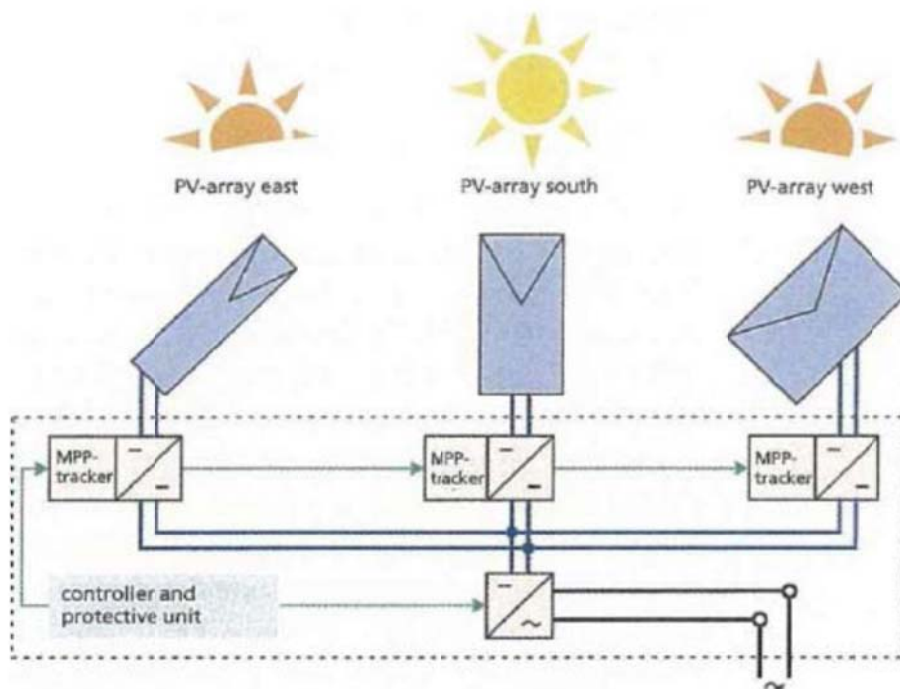
3.9.1 Κατηγορίες Αναστροφών

Η τάση που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι ακατάλληλη για την άμεση σύνδεση του φωτοβολταϊκού σταθμού στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρόλος του αναστροφέα είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας για διασύνδεση στο δίκτυο. Οι αναστροφείς DC/AC μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί. Επιπλέον, οι αναστροφείς μπορεί να είναι μικροί (string inverters) ή κεντρικοί, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Οι κεντρικοί μετατροπείς ενδείκνυνται ιδιαίτερα για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με ομοιογενή δομή (πλαίσια του ίδιου τύπου με ταυτόσημο προσανατολισμό και κλίση). Χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις άνω των 100 kWp και έχουν σχεδιαστεί για εξωτερική χρήση.



Εικόνα 24. String και κεντρικοί inverters

Η χρήση ενός πολλαπλού αναστροφέα για συστήματα με διαφορετικούς προσανατολισμούς βοηθάει στη μείωση των ενεργειακών απωλειών. Η λογική αυτή ονομάζεται 'multi-string concept'. Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε τα πλαίσια με ίδια ηλιακή ακτινοβολία να είναι συνδεδεμένα σε μια γεννήτρια. Κάθε γεννήτρια έχει τον δικό της DC-DC αναστροφέα με ένα ξεχωριστό MPP tracker-ανιχνευτή για ενεργοποίηση της αντίστοιχης γεννήτριας στην μέγιστη ισχύ της. Χάρη σε αυτή την τεχνολογία μειώνονται τα έξοδα του συστήματος, η εγκατάσταση απλοποιείται σημαντικά και αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση καθώς και η διαθεσιμότητα της εγκατάστασης.



Εικόνα 25. Διάταξη πολλαπλού αναστροφέα με διαφορετικούς προσανατολισμούς.

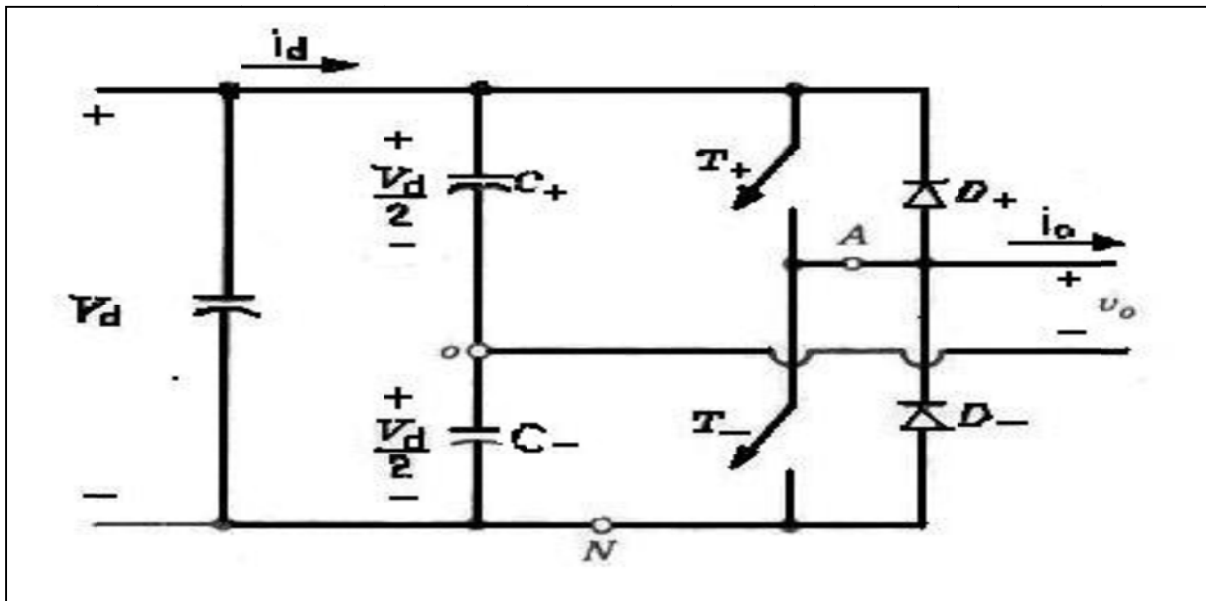
Επίσης, όταν η είσοδος είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αναστροφείς πηγής τάσης (VSI) ενώ αν για είσοδο λαμβάνεται μια πηγή έντασης, ονομάζονται αναστροφείς πηγής έντασης (CSI). Ο χαρακτηρισμός του αναστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αναστροφείς πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αναστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

3.9.2 Μονοφασικός Αναστροφέας

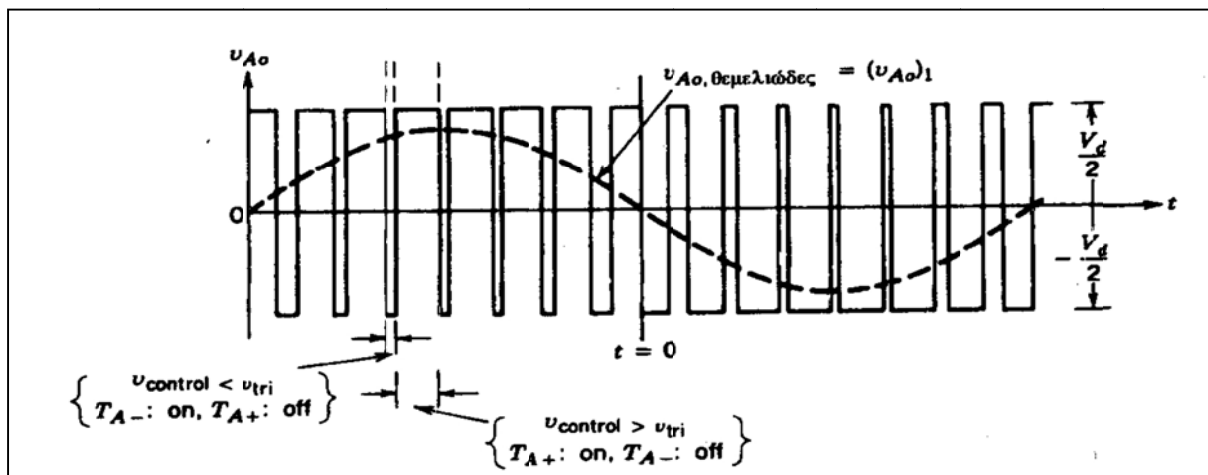
Το βασικό εξάρτημα ενός αναστροφέα που συνδέει το φωτοβολταϊκό με το δίκτυο της ΔΕΗ είναι ένα κύκλωμα γέφυρας με thyristors. Οι μονοφασικοί αναστροφείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους: σε αναστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές ΑΠΕ χρησιμοποιούνται οι αναστροφείς πλήρους γέφυρας. Διάφορες τεχνικές ελέγχου, υλοποιούν διαφορετικές κυματομορφές εξόδου της εναλλασσόμενης τάσης.

3.9.3 Μονοφασικός Αναστροφέας με Μισή Γέφυρα

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ένας αναστροφέας με μισή γέφυρα. Στα άκρα της dc εισόδου συνδέονται σε σειρά δυο πυκνωτές. Το σημείο σύνδεσης των πυκνωτών βρίσκεται στο μισό δυναμικό όπου στα άκρα κάθε πυκνωτή αναπτύσσεται τάση ίση με $V_d/2$. Οι χωρητικότητες που χρησιμοποιούνται είναι μεγάλες, ώστε το δυναμικό στο σημείο "ο" να παραμένει ουσιαστικά σταθερό σε σχέση με το δυναμικό του αγωγού N. Στην διαμόρφωση εύρους πλάτους (PWM), η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι αυτή που απεικονίζεται παρακάτω.



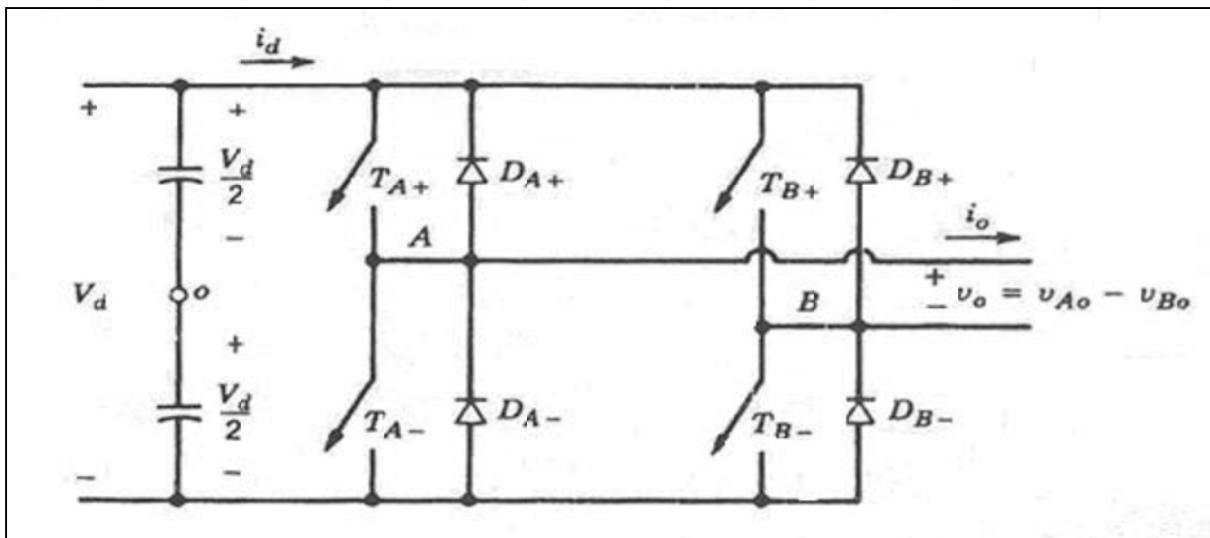
Εικόνα 26. Συνδεσμολογία αναστροφέα μισής γέφυρας



Εικόνα 27. Διαμόρφωση εύρους πλάτους (PWM)

3.9.4 Μονοφασικός Αναστροφέας με Πλήρη Γέφυρα

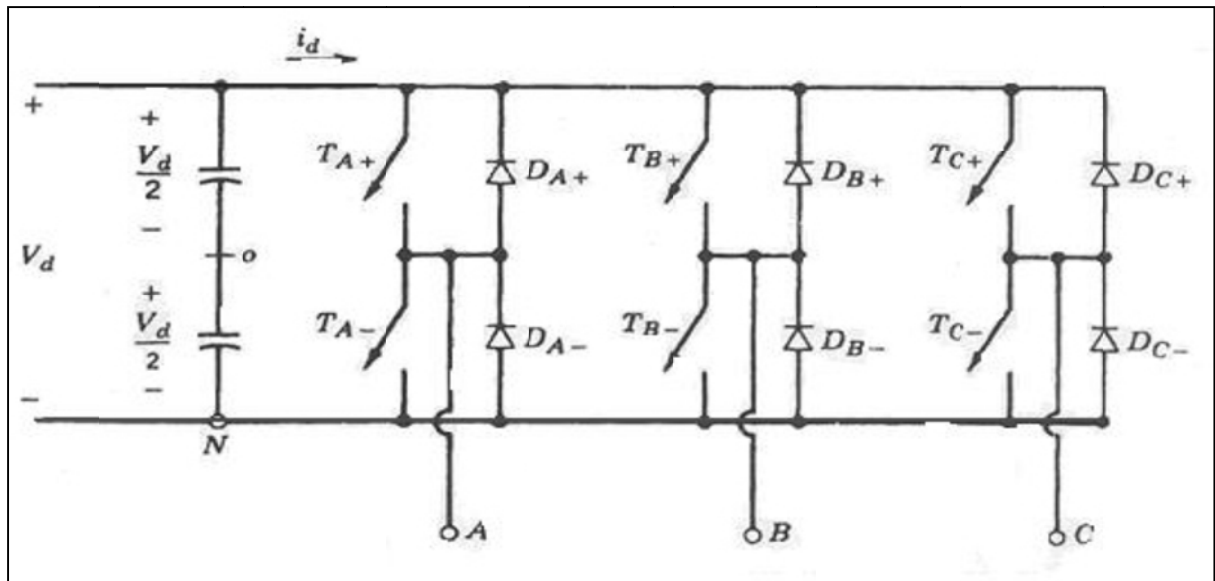
Ένας αναστροφέας με πλήρη γέφυρα φαίνεται στο σχήμα 28. Ο αναστροφέας αυτός αποτελείται από δυο αναστροφείς με μισή γέφυρα και προτιμάται σε σχέση με άλλες διατάξεις όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ. Με την ίδια dc τάση εισόδου, η μέγιστη τάση εξόδου του αναστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι διπλάσια εκείνης του αναστροφέα με μισή γέφυρα. Αυτό σημαίνει πως για την ίδια ισχύ, το ρεύμα εξόδου και τα ρεύματα των διακοπών είναι το μισό εκείνων του αναστροφέα με μισή γέφυρα. Σε υψηλά επίπεδα ισχύος αυτό είναι πλεονέκτημα, εφόσον απαιτεί λιγότερους παραλληλισμούς ημιαγωγικών στοιχείων.



Εικόνα 28. Συνδεσμολογία μονοφασικού μετατροπέα με πλήρη γέφυρα

3.9.5 Τριφασικός Αναστροφέας

Οι τριφασικοί αναστροφείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Επιπλέον, σε τριφασικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως οι τριφασικοί αναστροφείς, αφού η τροφοδοσία ενός τριφασικού φορτίου μέσω τριών ξεχωριστών μονοφασικών αναστροφέων είναι περίπλοκη. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο κύκλωμα τριφασικού αναστροφέα αποτελείται από τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.



Εικόνα 29. Συν δεσμολογία τριφασικού αναστροφέα.

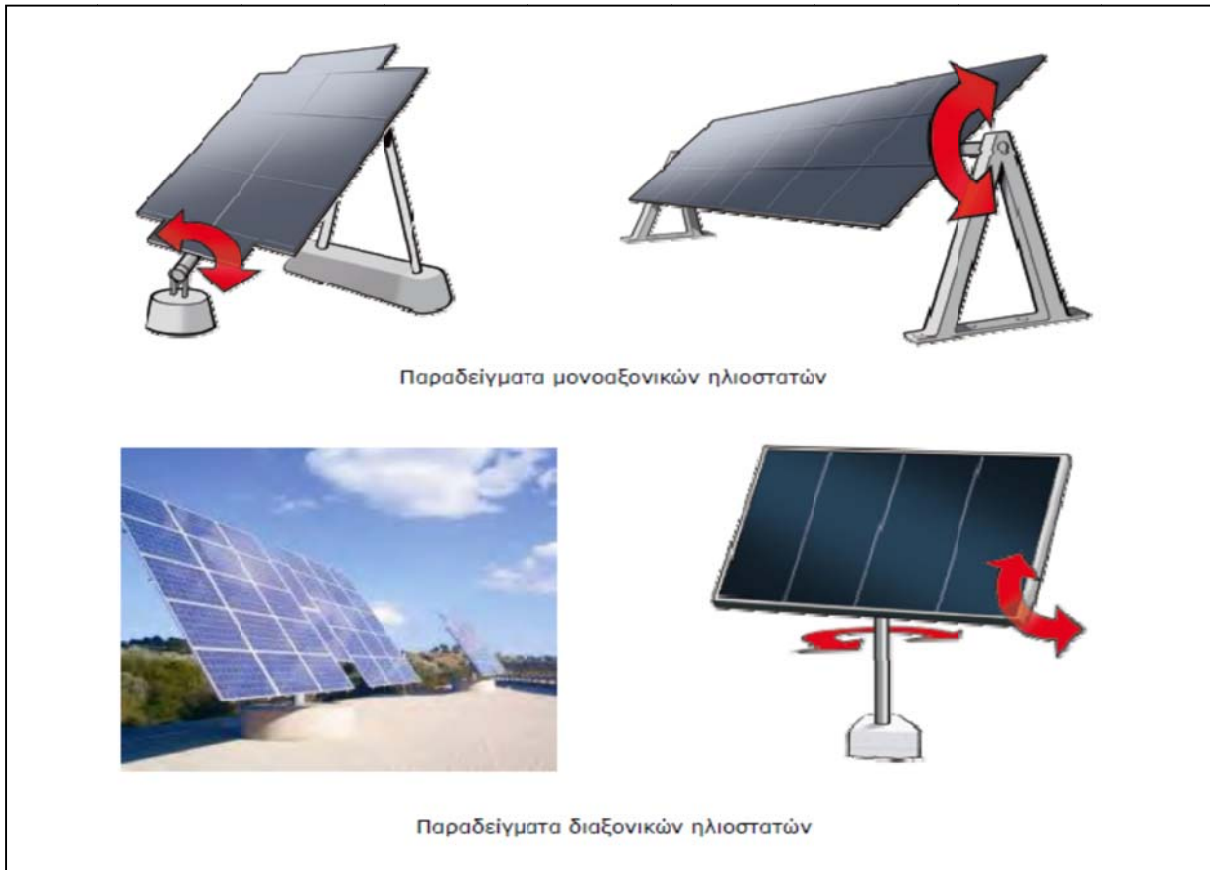
3.10 Βάσεις Στήριξης και Ηλιοστάτες

Η στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται συνήθως με βάσεις αλουμινίου ή γαλβανισμένες (ή με συνδυασμό υλικών). Στο εμπόριο διατίθενται τυποποιημένες βάσεις για διάφορους τύπους πλαισίων. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα στήριξης πληρούν τις προδιαγραφές DIN 1055, DIN 4113, DIN 18800 και έχουν μεγάλη αντοχή στην καταπόνηση. Η τοποθέτηση σε οικόπεδα γίνεται είτε με τσιμεντένιες βάσεις ή με πασσαλόπηξη ή με ειδικές βιδωτές βάσεις. Για τα κτίρια (δώματα και στέγες) παρέχεται μια μεγάλη ποικιλία τυποποιημένων βάσεων στήριξης για όλες τις εφαρμογές.



Εικόνα 30. Τύποι βάσεων στήριξης.

Οι ηλιοστάτες (trackers) είναι συστήματα στήριξης επί εδάφους που ακολουθούν την πορεία του ήλιου εκμεταλλευόμενοι περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος (συνήθως κατά 25%-40%), αυξάνοντας παράλληλα το κόστος και τα λειτουργικά της επένδυσης. Διακρίνονται σε μονοαξονικούς και διαξονικούς και παρέχονται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών. Για να αποφεύγονται οι σκιάσεις μεταξύ τους, απαιτείται μεγαλύτερη έκταση απ' ό τι για τις σταθερές βάσεις (συνήθως 1,5-3 φορές μεγαλύτερη έκταση).



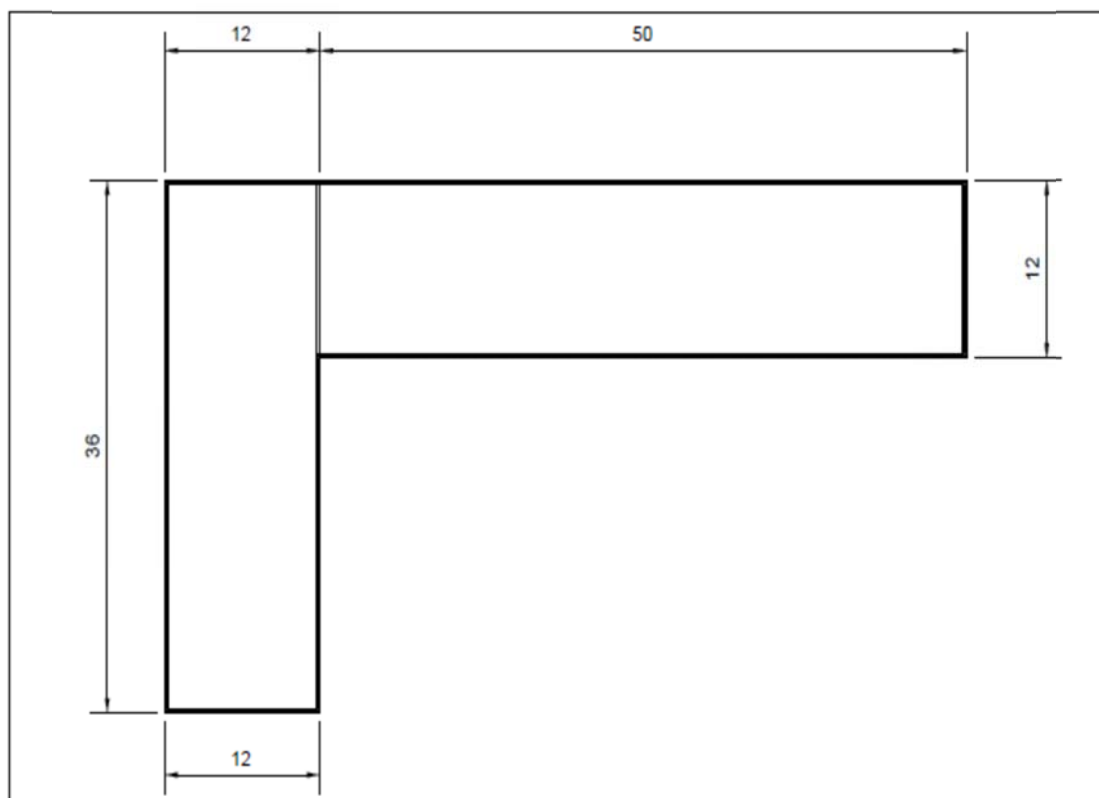
Εικόνα 31. Ηλιοστάτες

4 Οι κτιριακές υποδομές του ΑΤΕΙ Χανίων

Το κτίριο του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Χανίων που σχεδιάζουμε να εγκαταστήσουμε το Φωτοβολταϊκό σύστημα, είναι το κτήριο της πρώτης φάσης το οποίο κατασκευάστηκε το 1996, και διαθέτει 3800 m² χώρους διοίκησης, γραφεία, αίθουσες διδασκαλίας, εργαστηριακούς χώρους, βιβλιοθήκη και λοιπούς χώρους. Η δομή του κτηρίου είναι σε σχήμα «Γ» και υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να αξιοποιηθεί με την τοποθέτηση των Φωτοβολταϊκών πάνελ.



Εικόνα 32. Το ΑΤΕΙ Χανίων



Εικόνα 33. Κάτοψη ΑΤΕΙ Χανίων

Στο εκπαιδευτικό ίδρυμα παρουσιάζονται μεγάλες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος, λόγω της φύσης των υποδομών που στεγάζονται και της συνεχής κατά τη διάρκεια της ημέρας λειτουργίας των εγκαταστάσεων που στεγάζονται σε αυτό. Υπάρχει συνεχή χρήση μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού των εργαστηρίων, καθώς και των ηλεκτρονικών υπολογιστών που αποτελούν βασικών εξοπλισμό των εργαστηρίων του ιδρύματος. Ο φωτισμός λειτουργεί τις περισσότερες ώρες της ημέρας, καθώς και ανάλογα την περίοδο, υπάρχει σε λειτουργία σύστημα θέρμανσης ή ψύξης, για να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες συνθήκες εκπαίδευσης των σπουδαστών του ιδρύματος. Το περιβαλλοντικό αλλά και οικονομικό κόστος αυτών των καταναλώσεων είναι αρκετά μεγάλο, και κρίνεται απαραίτητο η λήψη μέτρων που θα μειώσουν την ενεργειακή εξάρτηση από το σύστημα ηλεκτροδότησης της ΔΕΗ, και θα καταστήσουν τις εγκαταστάσεις του ΑΤΕΙ, ενεργειακά αυτόνομες, στο βαθμό που μπορεί αυτό να επιτευχθεί. Αυτή η λειτουργική ανάγκη του ιδρύματος μας ώθησε να εξερευνήσουμε την δυνατότητα εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών πάνελ για την μείωση της ενεργειακής του εξάρτησης.

Οι μηνιαίες καταναλώσεις του ιδρύματος, τις οποίες προμηθευτήκαμε από την τεχνική υπηρεσία, παρουσιάζουν ένα μηνιαίο εύρος από 30.600 kWh έως 55.800 kWh. Αυτή η διαφορά στο εύρος μπορεί να δικαιολογηθεί διότι σε διαφορετικές περιόδους υπάρχει και διαφορετική χρήση και κατανάλωση της ενέργειας.

Πίνακας 4. Κατανάλωση Ηλεκτρικού ρεύματος στο ΑΤΕΙ Χανίων

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (kWh)
18/03/2011	35.400
06/04/2011	44.400
02/06/2011	41.400
04/07/2011	48.000
05/09/2011	30.600
05/01/2012	39.000
02/02/2012	49.200
09/03/2012	45.000
04/04/2012	48.000
05/06/2012	45.600
05/07/2012	55.800
06/09/2012	36.600
Μέση κατανάλωση	43.250

5 Εφαρμογή του φωτοβολταϊκού συστήματος στο κτίριο του ΤΕΙ

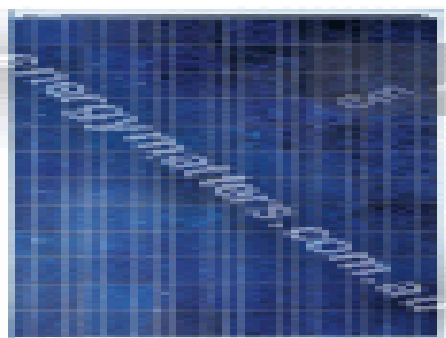
Ως διάταξη εφαρμογής φωτοβολταϊκού επιλέχθηκε να εγκατασταθεί σύστημα ισχύος 10 kw. Το σύστημα επελέγη ώστε να είναι συμβατό με την κείμενη νομοθεσία σχετικά με τα οικιακά φωτοβολταϊκά που συνδέονται με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. αν και το κτίριο του ΑΤΕΙ, ως δημόσιο κτίριο θα μπορούσε να δεχτεί αυτόνομο σύστημα μεγαλύτερης ισχύος για ίδια χρήση και κατανάλωση.

Η εταιρεία επιλογής του φωτοβολταϊκού πάνελ είναι η Βρετανική BP solar, η οποία είναι μία από τις παλαιότερες παραγωγούς Φ/Β με πάνω από 30 χρόνια εμπειρίας στο χώρο.

5.1 Το φωτοβολταϊκό πάνελ

5.1.1 Το σύστημα

Επιλέχθηκε το σύστημα BP 175Watt 24Volt πολυκρυσταλλικό πάνελ με σύνδεση πολυεπαφής (Multi-contact, MC connector).



Εικόνα 34. BP 175 watt Multi crystalline Solar panel with MC connectors

Το σύστημα BP 3175 είναι μια εξελιγμένη μονάδα ισχύος 175kw που χρησιμοποιεί αντι-ανακλαστική κάλυψη τόσο στα πολυκρυσταλλικά κελιά όσο και στο γυαλί. Η μονάδα, επίσης, χαρακτηρίζεται από την τεχνολογία Integra Bus™, η οποία είναι ένα τυπωμένο κύκλωμα με ολοκληρωμένο σύστημα διόδων, σχεδιασμένο ώστε να ενισχύει την αξιοπιστία ενώ συνδέεται με υψηλό ρεύμα. Το σύστημα BP 3175 έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές δικτύου φωτοβολταϊκών πάνελ, όπως ταράτσες εμπορικών καταστημάτων, οικιακά συστήματα και μονάδες παραγωγής ρεύματος με χρήση ηλιακής ενέργειας, καθώς και εφαρμογές εκτός δικτύου όπως τηλεπικοινωνίες, άντληση νερού και περιφερειακά συστήματα. Αυτό το πάνελ από 72 κελιά προσφέρει υψηλή αξία και παραγωγικότητα εξαιτίας των φύλλων από λευκό

πολυεσταιρά και τα υψηλής απόδοσης κελιά. Η ελάχιστη απόδοση του συστήματος, σύμφωνα με την εγγύηση της εταιρείας, είναι 93% for για τα πρώτα 12 έτη και 85% για τα επόμενα 25.

5.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Συστήματος

Electrical Characteristics	
Rated Power - Pmax ¹	175 W
Warranted minimum power	170 W
Nominal voltage	24 V
Voltage at Pmax - Vmp	36.1 V
Current at Pmax - Imp	4.9 A
Short circuit current - Isc	5.3 A
Open circuit voltage - Voc	44.2 V
Maximum series fuse rating	15A (BP 3175N) / 20A (BP3175J)
Maximum system voltage	1000V (IEC 61215 rating)
Mechanical Characteristics	
Dimensions	1593 x 790 x 50 mm
Weight	15.4 kg
Frame	Clear anodized aluminium alloy type 6063T6
Solar cells	72 cells
Output cables	RHW AWG# 12 (3.3mm ²) cable with polarised weatherproof DC rated MC III connectors
Junction box	IP65 junction box with four terminal screw connection block
Construction	Front: high transmission 3.2 mm tempered anti-reflective coated glass Rear:white polyester; encapsulany EVA

Temperature Coefficient	
Temperature coefficient of Isc	0.065 ± 0.015 % / °C
Temperature coefficient of Voc	-(160 ± 20) mV / °C
Temperature coefficient of Pmax	-(0.5 ± 0.05) % / °C
NOCT ²	47±2°C

1. Standard test condition STC, irradiance of 1000W/m² at an AM 1.5G solar spectrum and a cell temperature of 25°C

2. Normal operating cell temperature (NOCT) air temperature of 20°C; irradiance 800W/m²; wind speed 1m/s.

5.1.3 Ποιότητα και ασφάλεια

Κατασκευάζεται κατά ISO 9001 και ISO 14001. Συμμορφώνονται με την οδηγία 89/33/EEC της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, 73/23/EOK, 93/68/EOK. Πιστοποιημένο με το πρότυπο IEC 61215.

Πίνακας 6. Τεστ ποιότητας

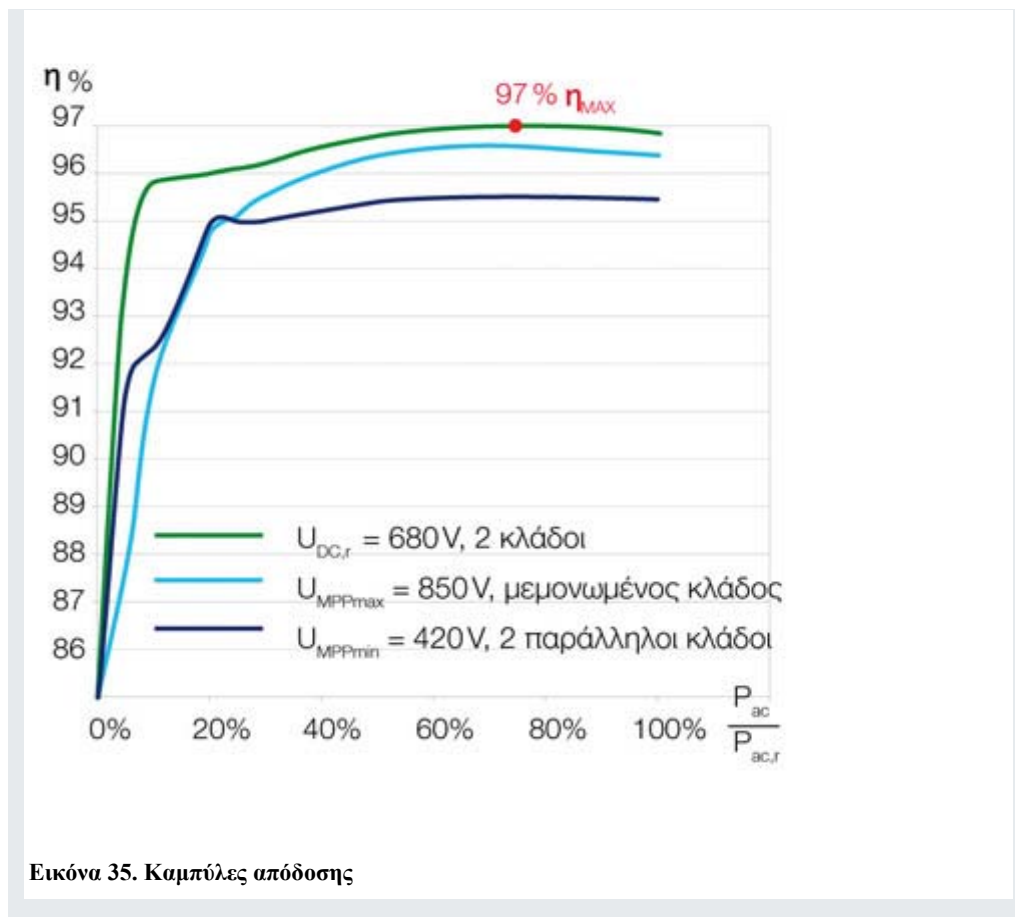
Temperature cycling range	-40°C to +85°C
Damp heat test	85°C and 85°C relative humidity
Front and rear static load test	2400Pa
Front load test	5400Pa
Hailstone impact test	25 mm hail at 23m/s

5.2 Αντιστροφέας

Για τον αντιστροφέα (inverter), επιλέχτηκε αντιστροφέας - PIKO 10.1 με τριφασική τροφοδοσία, Μετατροπή χωρίς μετασχηματιστή και δυνατότητα διεύρυνσης του ρεύματος εισόδου με ή χωρίς αναγνώριση βολταϊκού τόξου. Τρεις ανεξάρτητοι MPP-Tracker (PIKO 10.1), ενσωματωμένη επαφή ελέγχου της ιδιοκατανάλωσης, ενσωματωμένος ηλεκτρονικός αποζεύκτης DC, ενσωματωμένος data logger και web server για την εποπτεία του συστήματος. Πολλαπλές ενσωματωμένες θύρες επικοινωνίας, Ethernet, RS485, S0, 4x αναλογικές εισοδοί, οθόνη γραφικών με 3 πλήκτρα ελέγχου.

Πίνακας 7. Τεχνικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου αντιστροφέα

Πλευρά εισόδου (τμήμα DC)		
Αριθμός εισόδων DC / Αριθμός MPP-Tracker		3 / 3
Μεγ. τάση εισόδου DC (τάση ανοιχτού κυκλώματος)	U_{DCmax}	950 V
Ελαχ. τάση εισόδου DC	U_{DCmin}	180 V
Τάση εισόδου εκκίνησης DC	$U_{DCstart}$	180 V
Ονομαστική τάση εισόδου DC	$U_{DC,r}$	680 V
Μεγ. τάση MPP	U_{MPPmax}	850 V
Ελαχ. τάση MPP με τη λειτουργία ενός tracker	U_{MPPmin}	δεν προτείνεται
Ελαχ. τάση MPP με την παράλληλη λειτουργία 2 tracker	U_{MPPmin}	420 V
Μεγ. ρεύμα εισόδου	I_{DCmax}	12,5 A
Μεγ. ρεύμα εισόδου DC κατά την παράλληλη σύνδεση	$I_{DCmax,p}$	25 A
Πλευρά εξόδου (τμήμα AC)		
Αριθμός φάσεων τροφοδοσίας		3
Τάση δικτύου AC	$U_{AC,r}$	3/N/PE, AC, 230 V / 400 V
Μεγ. ρεύμα εξόδου AC	I_{ACmax}	14,5 A
Ρεύμα βραχυκυκλώματος	I_{sc}	21 A
Ονομαστική ισχύς AC (συνφ = 1)	$P_{AC,r}$	10.000 W
Μέγ. φαινομένη ισχύς AC (cosφ, adj)	S_{AC}	10.000 VA
Συντελεστής ισχύος συνφACr		0,9 χωρητική συμπεριφορά ... 1 ... 0,9 επαγωγική συμπεριφορά
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	η_{max}	97,0 %
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	η_{EU}	96,4 %
Ονομαστική συχνότητα	f_r	50 Hz



Εικόνα 35. Καμπύλες απόδοσης

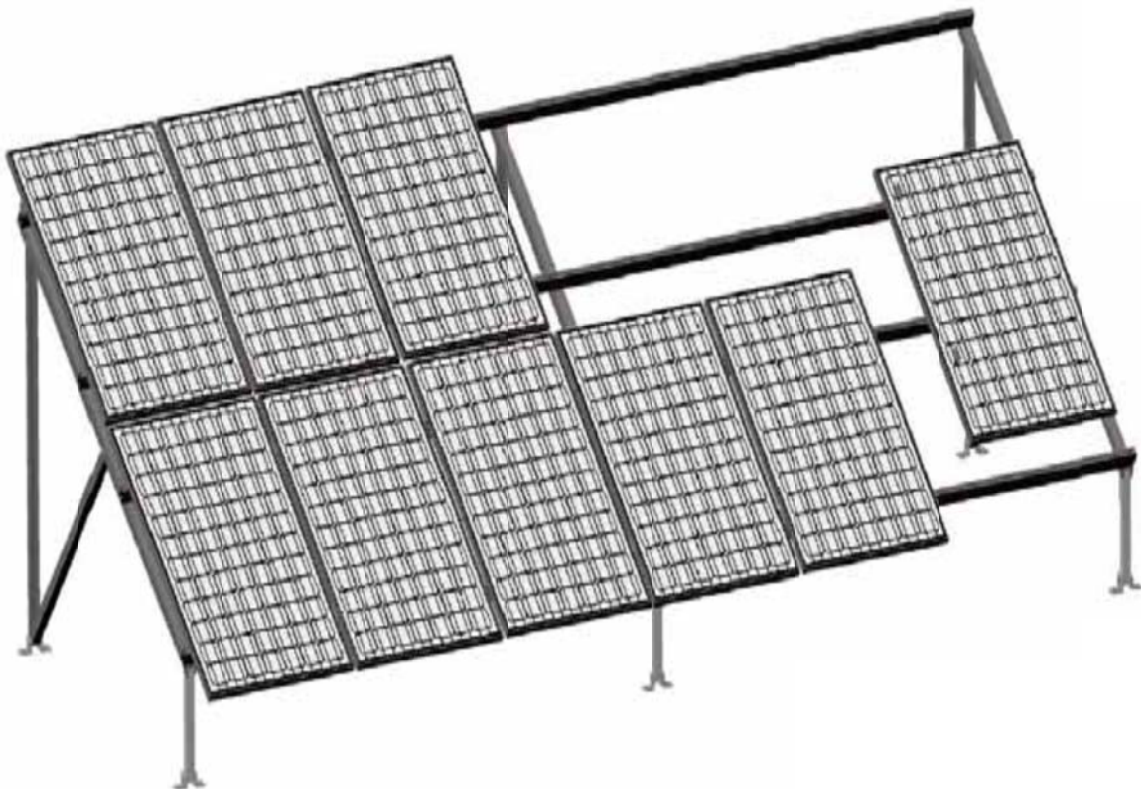
5.3 Βάσεις Στήριξης

Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος στη ταράτσα του κτιρίου μας θα έχει Νότιο προσανατολισμό. Για την τοποθέτησή του θα χρησιμοποιηθεί σύστημα βάσης από αλουμίνιο, που προσφέρει καλύτερη αντοχή στο χρόνο και στις φυσικές συνθήκες.

Οι σταθερές βάσεις στήριξης των συλλεκτών αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης της συστοιχίας. Η αρχή σχεδιασμού τους, βασίζεται στο ότι, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, θα πρέπει να είναι κάθετα στην επιφάνεια της συλλεκτικής επιφάνειας, κατά τις μεσημβρινές ώρες. Έτσι οι βάσεις αυτές κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των συστοιχιών σε σταθερή γωνία κλίσης.

Η απουσία κινητών μερών κατά τη στήριξη της Φ/Β συστοιχίας, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Για τη συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας σε περιοχές του Βόρειου ημισφαιρίου (όπως η Ελλάδα) σε σταθερές συλλεκτικές επιφάνειας, πρέπει να ισχύει, ότι:

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης σε όλη τη διάρκεια του έτους θα πρέπει, σύμφωνα με τη θεωρία, να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Επειδή όμως η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην Ελλάδα το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από αυτή του χειμώνα, με συνέπεια η βέλτιστη γωνία κλίσης να είναι περίπου $7^{\circ} \div 10^{\circ}$ μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου $10^{\circ} \div 15^{\circ}$ μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου, η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου $10^{\circ} \div 15^{\circ}$ μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο) είναι νότιος, ενώ απόκλιση κατά $20^{\circ} \div 30^{\circ}$ από Νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.
- Βάρος Φ/Β συστοιχιών με βάση στήριξης: 20-25 kgf/m² (για έλεγχο της στατικότητας).



Εικόνα 36. Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκού πάνελ

5.4 Τοποθέτηση και λειτουργία

Θα τοποθετηθούν 57 φωτοβολταϊκά πάνελ BP 175Watt, σε δύο σειρές των 14 πάνελ και δύο των 13, ώστε να έχουμε συνολική ισχύς 10kw, πάνω σε βάσεις στήριξης αλουμινίου, και με αντιστροφή τύπου piko 10.1. Αυτό το σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες λειτουργίας που έχουμε στα Χανιά υπολογίζουμε να έχουμε προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας 1^{ου} έτους 14.504 kWh, δεδομένου ότι η ειδική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι 1.480kWh/kWp.

6 Συμπεράσματα

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία, εξετάσαμε το ενδεχόμενο εγκατάστασης διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος στην οροφή του κτιρίου του ΑΤΕΙ. Επιλέχθηκε σύστημα της BP solar από πολυκρυσταλλικά κελιά, ισχύος 175kw και αντιστροφείας kostal piko 10.1. Οι καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος του κτιρίου, σύμφωνα με τους λογαριασμούς της ΔΕΗ εμφανίζουν μέση κατανάλωση ρεύματος 43.250 kW. Με την εγκατάσταση του συστήματος του φωτοβολταϊκού πάνελ, παράγεται ετήσια ενέργεια 14.504 kwh, η οποία με πώληση στη ΔΕΗ, με τη σημερινή χαμηλή τιμή διαπραγμάτευσης, στα 0,12 ευρώ/kw/h, το ίδρυμα μπορεί να εξασφαλίσει μείωση εξόδων για ηλεκτρικό ρεύμα της τάξης των 14.504 kw/h x 0.12ευρώ/kw/h =1.700€ ετησίως. Αν και το ποσό που εξοικονομείται δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό σε σχέση με την κατανάλωση, συμβάλλει εν μέρει στη μείωση των λειτουργικών εξόδων του ιδρύματος άμεσα, και στη μείωση του αποτυπώματος CO₂ έμμεσα.

6.1

7 Προτάσεις

Το ίδρυμα θα μπορούσε να εξετάσει τη περίπτωση να μην εγκαταστήσει διασυνδεδεμένο σύστημα 10kw, το οποίο δε θα του προσφέρει σημαντική οικονομική εξοικονόμηση, αλλά ένα αυτόνομο σύστημα, για ίδια χρήση, μεγαλύτερης κλίμακας παραγωγής, το οποίο μπορεί πολύ εύκολα να πραγματοποιηθεί, καθώς στην οροφή 1000 και πλέον τετραγωνικών μέτρων του ΑΤΕΙ, υπάρχει αρκετός αναξιοποίητος χώρος, όπως θα μπορούσε επίσης να εξετάσει το ενδεχόμενο να αξιοποιήσει και τις πλαϊνές γυάλινες επιφάνειες του κτιρίου για τοποθέτηση Φωτοβολταϊκών πάνελ.

Επίσης θα μπορούσε άμεσα να προβεί σε σημαντικές παρεμβάσεις στην κτιριακή υποδομή και στα Η/Μ συστήματα για εξοικονόμησης ενέργειας.

1. Βελτίωση ή αντικατάσταση όπου χρειάζεται στη μόνωση του κτιρίου
2. Αντικατάσταση όλων των λαμπτήρων με σύγχρονους λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας, και υπεύθυνη χρήση αυτών.
3. Τακτική συντήρηση και ορθή χρήση του συστήματος θέρμανσης-ψύξης,
4. Αποτροπή χρήσης μικρών φορητών μέσων θέρμανσης, καθώς έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης και μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
5. Ευρεία ενημέρωση των μελών της ακαδημαϊκής κοινότητας του ΤΕΙ στην προσπάθεια διαμόρφωσης ενεργειακής συνείδησης και αντίστοιχης συμπεριφοράς.

Παράρτημα

ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΕ

Ημερομηνία	Τίτλος	Αριθμός	Πράξη	Διεύθυνση
07.04.2014	Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις	Ν. 4254/2014 (ΦΕΚ Α' 85/07.04.2014)	ΝΟΜΟΣ	ΥΠΕΚΑ
01.11.2013	Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλες διατάξεις	Ν. 4203/2013 (ΦΕΚ Α' 235/01.11.2013)	ΝΟΜΟΣ	ΥΠΕΚΑ
30.5.2013	Συμπλήρωση της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1289/9012/30.04.2013 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 1103/02.05.2013) με την οποία τροποποιήθηκε το Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1506/οικ.10662 (ΦΕΚ Β' 1310)	Κοινή Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
9.5.2013	Επείγοντα μέτρα εφαρμογής των νόμων 4046/2012, 4093/2012 και 4027/2013 (Παράγραφος Γ' - Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας).	Ν. 4152/2013 (Α'107/9.5.2013)	Νόμος	ΥΠΕΚΑ
2.5.2013	Τροποποίηση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1289/9012 (ΦΕΚ Β'/1103)	Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
2.5.2013	Τροποποίηση της υπ' αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.2262/31.01.2012 (Β' 97/31.01.2012) απόφασης του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με θέμα «Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς», όπως ισχύει.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011 (ΦΕΚ Β'/1103)	Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
12.11.2012	Έγκριση μεσοπρόθεσμου Πλαισίου Δημοσιονομικής Στρατηγικής 2013 – 2016 – Επείγοντα Μέτρα Εφαρμογής του ν.4046/2012 και του Μεσοπρόθεσμου Πλαισίου Δημοσιονομικής Στρατηγικής 2013 – 2016 (Παράγραφος Ι.2 – Ρυθμίσεις ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ)	Ν.4093/2012(Α'222/12.11.2012)	Νόμος	ΥΠΕΚΑ
10.8.2012	Αναστολή διαδικασίας αδειοδότησης και χορήγησης προσφορών σύνδεσης για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, λόγω κάλυψης των στόχων που έχουν τεθεί με την απόφαση Α.Υ./Φ1/οικ.19598/01.10.2010 του Υπουργού Π.Ε.Κ.Α.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2300/οικ.16932 (ΦΕΚ Β' 2317)	Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.

10.8.2012	Τροποποίηση της απόφασης με αριθμό Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2262/31.1.2012 (Β'97) σχετικά με την τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2301/οικ.16933 (ΦΕΚ Β' 2317)	Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
10.8.2012	Τροποποίηση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2302/οικ16934 (ΦΕΚ Β' 2317)	Κοινή Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
10.8.2012	Προσδιορισμός ποσοστού της εισφοράς υπέρ της Ε.Ρ.Τ. Α.Ε. του άρθρου 14 του ν.1730/1987, το οποίο αποτελεί πόρο του Ειδικού Λογαριασμού του άρθρου 40 του ν.2773/1999.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2303/οικ.16935 (ΦΕΚ Β' 2317)	Κοινή Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
30.3.2012	Αξιοποίηση του πρώην Αεροδρομίου Ελληνικού – Πρόγραμμα ΗΛΙΟΣ – Προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Ενσωμάτωση Οδηγίας 2009/28/ΕΚ) – Κριτήρια Αειφορίας Βιοκαυσίμων και Βιορευστών (Ενσωμάτωση Οδηγίας 2009/30/ΕΚ)	Ν. 4062/2012 (ΦΕΚ Α'70/30.3.2012)	ΝΟΜΟΣ	ΥΠΕΚΑ
31.1.2012	Τροποποίηση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων.	Υ.Α.Π.Ε. /Φ1/οικ.2266 (ΦΕΚ Β'97)	Κοινή Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
31.1.2012	Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς.	Υ.Α.Π.Ε. /Φ1/οικ.2262 (ΦΕΚ Β' 97)	Κοινή Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
28.12.2011	Ειδικό τέλος και παροχή κινήτρων στους οικιακούς καταναλωτές στις περιοχές όπου εγκαθίστανται Α.Π.Ε.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.28287/12.12.2011 (ΦΕΚ Β' 3005)	Κοινή Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
25/10/2011	Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.).	ΥΑΠΕ/Φ1/14810/04.10.2011(ΦΕΚ Β'/2373/25.10.2011)	Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.
23.09.2011	Τροποποίηση της υπ' αρ. πρωτ. Δ6/Φ1/οικ.19500/4.11.2004 (Β'1671) κοινής υπουργικής απόφασης με την οποία τροποποιήθηκε η υπ' αρ. πρωτ. 13727/724/24.7.2003 (Β'1087) κοινή υπουργική απόφαση ως προς την αντιστοίχιση δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία.	Υ.Α.Π.Ε. /Φ1/οικ.18018 (ΦΕΚ Β' 2132)	Υπουργική απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε.

02.05.2011	Προσδιορισμός του αγροτικού εισοδήματος	Αριθμ.134430 ΦΕΚ 392 Β 14.03.2011	Κοινή Υπουργική Απόφαση	Υπουργείο Οικονομικών Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων
28.04.2011	Διαδικασία και προθεσμίες εγγραφής και ενημέρωσης του ΜΑΑΕ, όργανα και διαδικασία προσωρινής ή οριστικής διαγραφής από το Μητρώο, αναγκαία επαγγελματική κατάρτιση των φυσικών προσώπων-επαγγελματιών αγροτών που εγγράφονται στο Μητρώο, διαδικασία και αρμόδιες υπηρεσίες έκδοσης των σχετικών με το ΜΑΑΕ πιστοποιητικών. Η απόφαση «Ορισμός διαδικασίας για την έκδοση πιστοποιητικών σχετικών με το Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων, ΥΑ 249565/ΦΕΚ Β 1722/03-11-2010», καταργείται.	Αριθμ.134416 ΦΕΚ 273 Β 21.02.2011	Υπουργική Απόφαση	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων
14.04.2011	Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια.	Υ.Α. 9154 ΦΕΚ 583 Β 14.04.2011	Υπουργική Απόφαση	Διεύθυνση Οικοδομικών και Κτιριοδομικών Κανονισμών Υπηρεσία για την Εξυπηρέτηση Επενδυτών για Έργα ΑΠΕ
01.02.2011	Τροποποίηση της με αριθμ. 168040/03-09-2010 κοινής απόφασης των Υπουργών Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων «Καθορισμός κριτηρίων με τα οποία διαβαθμίζεται η αγροτική γη σε ποιότητες και κατατάσσεται σε κατηγορίες παραγωγικότητας»	Αρ. 072528 ΦΕΚ 102 Β 01.02.2011	Κοινή Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για Έργα Α.Π.Ε.
31.12.2010	Τροποποίηση της Δ6/Φ1/οικ. 8684/24.4.2007 (ΦΕΚ Β' 694) απόφασης του Υπουργού Ανάπτυξης, όπως τροποποιήθηκε με την Δ6/Φ1/οικ.15450/18.7.2007 (ΦΕΚ Β' 1276) απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης, για την Έγκριση Α' Φάσης του κατ' άρθρο 14 παρ. 1 του ν. 3468/2006 Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.27904 ΦΕΚ 2143 Β 31.12.2010	Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για Έργα Α.Π.Ε.
16.12.2010	Ερμηνευτική εγκύκλιος διατάξεων	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.26928	Εγκύκλιος	Υπηρεσία

	ν.3851/2010 σχετικών με την εξέταση αιτημάτων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών.			Εξυπηρέτησης Επενδυτών για Έργα Α.Π.Ε.
03.12.2010	Τήρηση Μητρώου Αδειών και υποβολή στοιχείων και πληροφοριών στην Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα Α.Π.Ε. από κατόχους μονάδων Α.Π.Ε.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.24840 ΦΕΚ 1900 Β 03.12.2010	Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για Έργα Α.Π.Ε.
25.11.2010	Εγγυοδοσία για την υπογραφή Συμβάσεων Σύνδεσης στα δίκτυα διανομής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής.	Υ.Α.Π.Ε./Φ1/οικ.24839 ΦΕΚ 1901 Β 03.12.2010	Υπουργική Απόφαση	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για Έργα Α.Π.Ε.
21.10.2010	Κατάργηση της απόφασης του Υπουργού Ανάπτυξης με αριθμ. Δ6/Φ1/οικ.7037/24.03.2008.	ΑΥ/Φ1/οικ.19384 ΦΕΚ 1674 Β 21.10.2010 Αποφ. Δ6/Φ1/οικ.7037/24.03.2008	Υπουργική Απόφαση	Αυτοτελής Υπηρεσία ΑΠΕ
01.10.2010	Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.	Αποφ. Φ1 οικ.19598 ΦΕΚ 1630 Β 11.10.2010	Υπουργική Απόφαση	
20.09.2010	Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτηρίων.	Α.Υ./Φ1/οικ.18513 ΦΕΚ 1557 Β 22.09.2010 ΦΕΚ Β 1079/04.06.2010.	Κοινή Υπουργική Απόφαση	
03.09.2010	Καθορισμός κριτηρίων με τα οποία διαβαθμίζεται η αγροτική γη σε ποιότητες και κατατάσσεται σε κατηγορίες παραγωγικότητας.	Απ. Αρ. 168040 ΦΕΚ 1528 Β 07.09.2010	Κοινή Υπουργική Απόφαση	
30.08.2010	Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων,	Α.Υ/Φ1/οικ.17149 ΦΕΚ 1497 Β 06.09.2010	Υπουργική Απόφαση	

	σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών.			
25.08.2010	Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς.	Απ. Αρ. 36720 ΦΕΚ 376 ΑΑΠ 06.09.2010	Υπουργική απόφαση	Οικοδομικών & κτιριοδομικών κανονισμών
25.08.2010	Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα και κτίρια σε εκτός σχεδίου περιοχές.	Απ. Αρ. 40158 ΦΕΚ 1556 Β 22.09.2010	Υπουργική απόφαση	Πολεοδομικού σχεδιασμού Οικοδομικών & κτιριοδομικών κανονισμών
19.07.2010	Οδηγίες εφαρμογής διατάξεων του Ν. 3851/2010 σχετικά με το άρθρο 2 παρ. 1 – κριτήριο ι) και το άρθρο 15 παρ. 3, προς την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.	ΑΥ/Φ1/οικ.14586		Αυτοτελής Υπηρεσία ΑΠΕ-ΥΠΕΚΑ
12.07.2010	Διαδικασίες ορισμού των επαγγελματιών αγροτών για την υποβολή αιτήσεων για επενδύσεις στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).	ΦΕΚ 1049 Β 12.07.2010	Υπουργική Απόφαση	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων
22.12.2010	Ενοποίηση των διατάξεων του Ν. 3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν. 3734/2009, Ν.3851/2010, Ν. 3889/2010 και λοιπών διατάξεων νόμων	Ενοπ. Ν.3468/2006	Ενοποίηση διατάξεων Ν3468/2006 μετά τις πρόσφατες τροποποιήσεις	Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για Έργα Α.Π.Ε.»
14.10.2010	Χρηματοδότηση Περιβαλλοντικών Παρεμβάσεων, Πράσινο Ταμείο, Κύρωση Δασικών Χαρτών και άλλες διατάξεις.(Άρθρο 30 "Λοιπές διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής", Άρθρο 29 "Θέματα Υπηρεσίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας")	Νόμος 3889 ΦΕΚ 182 Α 14.10.2010	Νόμος	ΥΠΕΚΑ
04.06.2010	Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Accelerating the development of Renewable Energy Sources to deal with climate change and other regulations addressing issues under the authority of the Ministry of Environment, Energy and Climate Change.	Νόμος 3851 ΦΕΚ 85 Α 04.06.2010 Law 3851/2010	Νόμος	ΥΠΕΚΑ

Βιβλιογραφία

1. Ε. Καραπιδάκης, «Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι», Διδακτικές Σημειώσεις, ΑΤΕΙ Κρήτης.
2. Ηλιακές Στέγες, Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό –κτιριακό τομέα. Ένας Πρακτικός Οδηγός, Green Peace.
3. Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, Ένας Πρακτικός Τεχνικός Οδηγός, Ιανουάριος 2011 www.helapco.gr
4. Φωτοβολταϊκά Συστήματα Ενσωματωμένα σε Κτίρια, Τεχνικός Οδηγός και Παραδείγματα Βέλτιστων Πρακτικών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων
5. Τεχνικά Χρονικά, Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2010
6. N. Mohan, T.M. Undeland, W. P. Robbins, Ηλεκτρονικά Ισχύος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1996
7. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης: Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2007
8. Antonio Luque and Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons, ISBN: 9780470721698, 2011
9. Planning and Installing Photovoltaic Systems, a Guide for Installers, Architects and Engineers, London, Sterling VA
10. Photovoltaic Systems Technology, University Kassel, Germany, 2003

1. http://www.hnms.gr/hnms/greek/index_html
2. <http://www.selasenergy.gr>
3. www.thinfilm.gr
4. <http://www.sma-hellas.com>
5. www.aluset.gr
6. www.rae.gr
7. www.dei.gr
8. <http://www.desmie.gr/>
9. www.ypeka.gr
10. http://europa.eu/pol/ener/index_el.htm
11. <http://www.ppcr.gr/Home.aspx?C=2>
12. www.cres.gr
13. www.tee.gr
14. <http://www.bp.com/en/global/alternative-energy/our-businesses/solar-power.html>
15. www.kostal-solar-electric.com/content/el/index.php?lang=el&lvl1=.kontakt.php&lvl2=0&lvl3=0