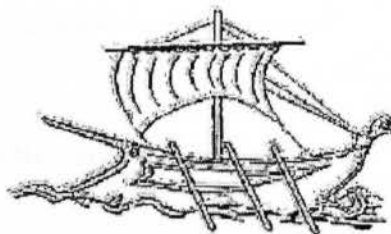


745  
H/Γ

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΤΙΤΛΟΣ: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ  
ΑΥΤΟΝΟΜΗ Ή ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Ζαχαρόπουλος Σπύρος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Καθηγητής εφαρμογών Δρ. Ηλ. Μηχ.  
Καραϊσάς Πέτρος

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>5</b>
Γενικά.....	5
Ηλιακή Ενέργεια και Μεταφορά της από τον Ήλιο στη Γη.....	5
Φωτοβολταϊκά και Περιβάλλον.....	6
Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα.....	9
<b>1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....</b>	<b>10</b>
Περίληψη	
1.1 Περιβάλλον.....	10
1.2 Ενέργεια.....	13
1.2.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	14
1.2.2 Ορυκτά καύσιμα.....	15
1.2.3 Πυρηνική ενέργεια.....	17
1.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	18
1.2.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	19
1.3 Φωτοβολταϊκά.....	23
1.3.1 Ιστορική Αναδρομή.....	24
1.3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	25
1.3.3 Αρχές Λειτουργίας.....	25
1.3.4 Φωτοβολταϊκές Μονάδες και Συστοιχίες.....	29
1.4 Τεχνολογίες Φ/Β.....	30
1.4.1 Τύποι Φωτοβολταϊκών Υλικών.....	30
1.4.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	33
1.4.3 Νέα υλικά για Φ/Β στοιχεία.....	34
1.4.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Κινητής Βάσης.....	36
1.4.5 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Σταθερής Βάσης.....	38
<b>2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....</b>	<b>40</b>
Περίληψη	
Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	
2.1 Εισαγωγή.....	40
2.1.1 Η Πορεία Εξέλιξης των Συνδεδεμένων στο Δίκτυο Φ/Β Συστημάτων.....	42
2.1.2 Φωτοβολταϊκός σταθμός <=100 kWp.....	47
2.1.3 Προϋποθέσεις του χώρου εγκατάστασης.....	47
2.1.4 Κόστος φωτοβολταϊκού σταθμού.....	48
2.1.5 Συντήρηση φωτοβολταϊκού σταθμού – Κόστος.....	48
2.1.6 Χρηματοδότηση εξοπλισμού - Αναπτυξιακός νόμος 3299/04.....	48
2.1.7 Μέγεθος επιχείρησης & υποβληθείσας πρότασης.....	49
2.1.8 Αδειοδοτικά στάδια.....	50
2.1.9 Απόδοση.....	51
2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα.....	51
2.2.1 Εισαγωγή.....	51
2.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα – αντιστροφέα.....	52
2.2.3 Πλευρά εισόδου του μετατροπέα. ( Input side).....	54
2.2.4 Πλευρά εξόδου του μετατροπέα.....	55

2.2.5 Απόδοση .....	56
2.2.6 Υπολογισμός της συνολικής ονομαστικής ισχύος των μετατροπέων...	57
2.2.7 Αριθμός και «τοποθέτηση μετατροπέων».....	58
2.3 ΦΒ συστοιχίες.....	59
2.3.1 Εκτίμηση του συνολικού αριθμού πλαισίων.....	59
2.3.2 Συμβατότητα συστοιχίας-μετατροπέα.....	60
2.3.3 Η τάση της συστοιχίας- Συμβατότητα τάσης συστοιχίας και τάσης εισόδου μετατροπέα.....	60
2.3.4 Υπολογισμός του μέγιστου αριθμού πλαισίων εν σειρά.....	61
2.3.5 Έλεγχος τάσης στο MPP.....	62
2.3.6 Αριθμός παράλληλων αλυσίδων.....	62
2.3.7 Συμβατότητα ρεύματος συστοιχίας και μετατροπέα.....	62
2.3.8 Μονογραμμικό σχέδιο.....	64
2.3.9 Τοποθέτηση πλαισίων για αποφυγή σκίασης.....	67
<b>3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....</b>	<b>69</b>
Περίληψη	
3.1 Απομονωμένα ΦΒ συστήματα.....	69
3.1.1 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα.....	69
3.1.2 Μεμονωμένα - αυτόνομα συστήματα.....	71
3.1.3 Υβριδικά ΦΒ συστήματα.....	73
3.2 Τρόποι ελαχιστοποίησης κατανάλωσης κατοικίας.....	75
3.2.1 Φυσικός δροσισμός - Άνεση χωρίς κόστος.....	75
3.2.2 Ανακλώντας την προσπίπτουσα ακτινοβολία.....	75
3.2.3 Εμποδίζοντας την είσοδο θερμικής ακτινοβολίας.....	76
3.2.4 Απομακρύνοντας την ήδη συσσωρευμένη θερμότητα.....	77
3.2.5 Περιορίζοντας τις εσωτερικές πηγές θερμότητας μέσα στο σπίτι.....	78
3.2.6 Εξοικονόμηση στη θέρμανση.....	79
3.2.7 Διαρροή ηλεκτρικής ενέργειας από συσκευές "σε αναμονή".....	80
3.3 Συστήματα εγκατάστασης ΦΒ πλαισίων σε κτίρια.....	81
3.3.1 Πλεονεκτήματα ενσωμάτωσης ΦΒ συστημάτων σε κτίρια.....	82
3.3.2 Καθορισμός επιμέρους επιφανειών του κτιρίου.....	82
3.3.3 Σκίαση των επιφανειών.....	83
3.3.4 Εγκατάσταση στο δώμα.....	84
3.3.5 Πολυλειτουργικότητα των ΦΒ πλαισίων.....	85
3.3.6 Τύποι ΦΒ πλαισίων κατάλληλα για ενσωμάτωση σε κτίρια.....	85
3.4 Υπολογισμός συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για αυτόνομο Φ/Β σύστημα.....	87

3.4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία .....	87
3.4.2 Τρόπος Εντοπισμού ηλιακής Πυκνότητας.....	91
3.4.3 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής Ακτινοβολίας .....	91
3.4.4 Βέλτιστες κλίσεις συλλέκτη.....	93
3.4.5 Γενικές πληροφορίες <<A>> για την εγκατάσταση αυτόνομου Φ/Β συστήματος - <<B>> Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα.....	94
3.4.6 Ισχύς Φ/Β πλαισίων <<Γ>> - Επιλογή Φ/Β πλαισίων και σύνδεση.....	95
3.4.7 Ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή <<Ε>>.....	96
3.4.8 Επιλογή συσσωρευτών <<ΣΤ>>.....	99
3.4.9 Υπολογισμός καλωδιώσεων <<Η>>.....	101
3.5 Οδηγίες Λειτουργίας και Συντήρησης.....	102
<b>4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....</b>	<b>103</b>
Περίληψη	
4.1 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΤΟΥΣ.....	103
4.1.1 Κτίρια χωρίς αντικεραυνική προστασία.....	103
4.1.2 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ και διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.....	104
4.1.3 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ χωρίς διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.....	106
4.1.4 Αντικεραυνική Προστασία από Έμμεσα Πλήγματα .....	107
4.2 Γείωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	108
4.2.1 Γείωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας που είναι τοποθετημένη στη στέγη μιας κατασκευής.....	108
4.2.2 Σύστημα Θεμελιακής Γείωσης .....	109
4.2.3 Γείωση Προστασίας.....	110
4.2.4 Μέσα Προστασίας Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών .....	111
4.3 Φαινόμενο Νησιδοποίησης .....	112
4.4 Επιτήρηση της Απόδοσης της Εγκατάστασης .....	114
4.4.1 Ασύρματα ή Ενσύρματα - Ασφαλής Σύνδεση Με ή Χωρίς Καλώδια.....	115
4.4.2 Ασύρματης Σύνδεσης .....	115
4.4.3 Ενσύρματη Σύνδεση.....	116
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>117</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Γενικά

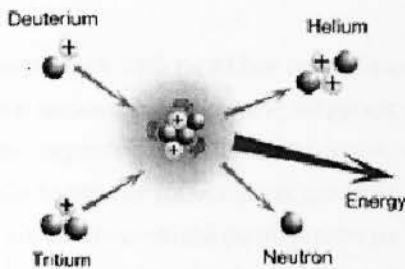
Ο όρος φωτοβολταϊκά προέρχεται από το συνδυασμό δύο λέξεων: της λέξης «φως» και της λέξης «volt» (ηλεκτρική τάση), επί λέξει λοιπόν σημαίνει «ηλεκτρική ενέργεια του φωτός».

Με το γενικό όρο «φωτοβολταϊκά» χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη και οι οποίες έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός και τη δημιουργία ρεύματος.

### Ηλιακή Ενέργεια και Μεταφορά της από τον Ήλιο στη Γη

Ο ήλιος, ένα αστέρι ηλικίας πέντε δισεκατομμυρίων ετών, αποτελεί πηγή ζωής για τη γη. Χωρίς τον ήλιο, η ζωή δεν θα μπορούσε να υπάρξει, καθώς η απουσία αυτού συνεπάγεται και την απουσία θερμότητας με μια σειρά καταστροφικών αποτελεσμάτων.

Η ύπαρξη ζωής στην γη οφείλεται στον ήλιο καθώς αυτός βρίσκεται στην αρχή της τροφικής αλυσίδας που συμπεριλαμβάνει και τον άνθρωπο ως τον τελευταίο κρίκο της. Όλα εξαρτώνται από τον ήλιο. Δεν υπάρχει σχεδόν τίποτα σημαντικότερο στη γη από αυτόν. Ο ήλιος δημιουργεί την ηλιακή ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως πυρηνική σύντηξη, όπου δύο άτομα του υδρογόνου ενώνονται για να δημιουργηθεί ένα άτομο ηλίου.



Κάθε δευτερόλεπτο, ο ήλιος μετατρέπει 500 εκατομμύρια μετρικούς τόνους υδρογόνου σε ήλιο. Λόγω της διαδικασίας της σύντηξης, 5 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια κάθε δευτερόλεπτο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε έτος, 157.680.000.000.000 μετρικοί τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια. Στη γη, λαμβάνουμε περίπου  $2 \times 10^{18}$  Watt . Αυτό αντιστοιχεί σε αρκετή ενέργεια ώστε να τροφοδοτηθούν 100 κοινοί λαμπτήρες φωτός για περίπου 5 εκατομμύρια έτη (περισσότερο από την ύπαρξη των ανθρώπων). Ισοδύναμα, η ενέργεια που στέλνει στη γη ο ήλιος, αντιστοιχεί στην ενέργεια που θα παρήγαγαν περισσότεροι από 150 εκατομμύρια μεγάλοι σταθμοί παραγωγής.

Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται αυτή ακριβώς την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά κύτταρα, πλαίσια ηλιακών κυττάρων και κάτοπτρα ώστε να δύναται να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και να θερμαίνει νερό καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών του αναγκών. Αν και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε μόλις το 1839, το πρώτο ηλιακό κύτταρο κατασκευάστηκε πολύ αργότερα, το 1954 για διαστημικές εφαρμογές. Στις μέρες μας καθώς το κόστος των φωτοβολταϊκών στοιχείων μειώνεται συνεχώς και σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου απέναντι στο περιβάλλον καθώς και τις νομικές δεσμεύσεις των κρατών (συνθήκη του Kyoto) για χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαπλώνεται ραγδαία καθιστώντας τα ανταγωνιστικά έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Επίσης, δεδομένου ότι ο ήλιος θα «πεθάνει» σε περίπου πέντε δισεκατομμύρια χρόνια και ότι η ενέργεια που προσφέρει είναι φιλική προς το περιβάλλον, συμπεραίνουμε ότι αυτός αποτελεί πηγή ηλιακής ενέργειας καθιστώντας την εκμετάλλευση αυτής ιδιαίτερα επωφελή συνοδευόμενη με πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι των υπολοίπων ενεργειακών πηγών και τα φωτοβολταϊκά συστήματα μια πολλά υποσχόμενη ενεργειακή τεχνολογία απαλλαγμένη από τις δυσμενείς περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις των υπολοίπων συμβατικών πηγών ενέργειας.

## Φωτοβολταϊκά και Περιβάλλον

Τα φωτοβολταϊκά σήμερα είναι από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την περιβαλλοντικά ήπια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Καλύπτουν τεράστιο εύρος εφαρμογών, από την ηλεκτροδότηση υπολογιστικών μηχανών τσέπης μέχρι κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, ενώ το κόστος τους είναι ήδη ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη, δεν έχουν κινούμενα μέρη, και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Επιπλέον, ευέλικτα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων διασυνδεδεμένων στο δίκτυο γίνεται ανταγωνιστική, μέσω των κινήτρων που δίνονται σε διάφορες χώρες (Γερμανία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα, Κύπρο κ.α ) και αφορούν κυρίως στην ειδική τιμή της ηλιακής ενέργειας kWh. Οι ενισχύσεις αυτές δεν δίνονται χωρίς λόγο. Κάθε εγκατεστημένο κιλοβάτ φωτοβολταϊκών συμβάλλει στην αποφυγή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λ.π.) και αερίων που πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της γης. Επίσης προστατεύοντας το περιβάλλον προστατεύεται και η υγεία των πολιτών.

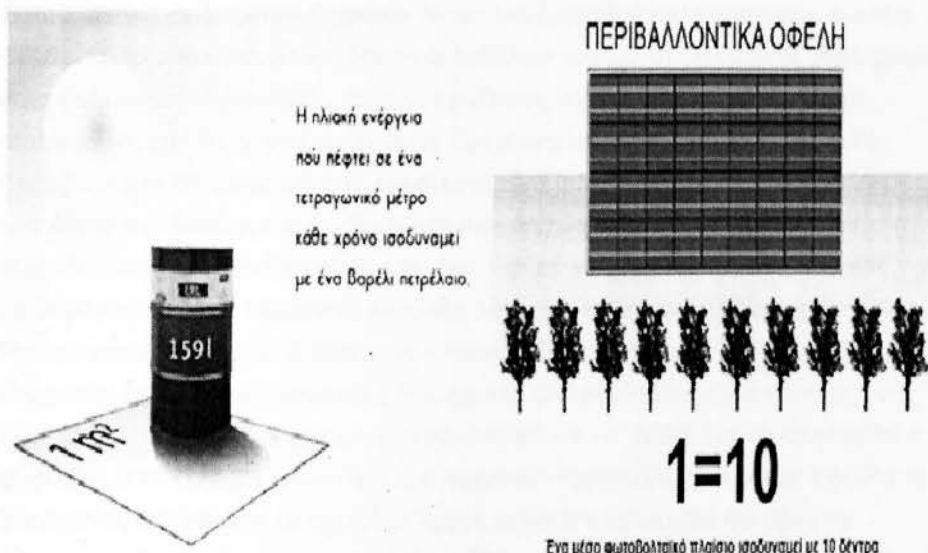
Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά ρυπογόνα καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ (kWp), αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους (ή αντίστοιχα 100 δέντρα). Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1,3 τόνους διοξειδίου του άνθρακα ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο. Μπορούμε απλά να πούμε ότι ένα τετραγωνικό μέτρο φωτοβολταϊκών πλαισίων ισοδυναμεί περίπου με 10 δέντρα.

Η ηλιακή ενέργεια που πέφτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο ισοδυναμεί με ένα βαρέλι πετρέλαιο.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

1 = 10

Ένα μέσο φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισοδυναμεί με 10 δέντρα



Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας όστις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται 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. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ. Συνοψίζοντας λοιπόν, τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα συμβάλλουν στην ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου (μετριάζοντας τις αιχμές κατανάλωσης), την αποκεντρωμένη παραγωγή και την ελαχιστοποίηση των απωλειών κατά τη μεταφορά της ενέργειας, καθώς η παραγωγή γίνεται κοντά στον τόπο κατανάλωσης.

Επιπλέον είναι απολύτως αθόρυβα κατά την λειτουργία, δεν ενοχλούν οπτικά, δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις συντήρησης, είναι επεκτάσιμα κι έχουν εγγυημένη λειτουργία για τουλάχιστον 20 χρόνια. Αν συνοψολογισθούν τα παραπάνω, εύκολα διεξάγεται το συμπέρασμα και δεν είναι καθόλου τυχαίο ότι η διεθνής βιομηχανία φωτοβολταϊκών παρουσιάζει ετήσιους ρυθμούς ανάπτυξης κοντά στο 50%, αποδεικνύοντας ότι η ανάπτυξη αυτή δεν αποτελεί συγκυριακό γεγονός. Τα φωτοβολταϊκά δεν είναι μόνο τα εγκατεστημένα μεγαβάτ που συμβάλλουν στην ευστάθεια των δικτύων και βοηθούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Είναι ταυτόχρονα και ένα όχημα για μια αποκεντρωμένη και αειφόρο ανάπτυξη με σημαντική συμβολή στην οικονομία και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Ο ΣΕΦ (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών) υποστηρίζει το στόχο που έχει θέσει η ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών για κάλυψη του 12% της ηλεκτροπαραγωγής με φωτοβολταϊκά ως το 2020. Για να επιτευχθεί ο φιλόδοξος αυτός στόχος απαιτείται μία γιγαντιαία προσπάθεια τόσο από την ίδια τη βιομηχανία, όσο και από τις αρμόδιες αρχές, οι οποίες καλούνται όχι μόνο να ενισχύσουν θεσμικά αυτή την πορεία, αλλά και να πάρουν τα αντικίνητρα που



υπάρχουν σήμερα.

## Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Από 1η Ιουλίου 2009 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.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Περίληψη

Στο περιγραφόμενο κεφάλαιο αναφέρεται το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα από τις διεργασίες παραγωγής ενέργειας μέσω των ορυκτών καυσίμων καθώς και οι ήπιες μορφές ενέργειας προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο από τις οποίες οι ανανεώσιμες όπως τα φωτοβολταϊκά, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη τον δωρεάν για όλους ήλιο. Δεν έχουν κινούμενα μέρη, παράγουν ηλεκτρισμό και αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Επίσης αναφέρετε η αρχή λειτουργίας των φ/β καθώς και οι τεχνολογίες που λαμβάνουν μέρος.

## Περιβάλλον & Ενέργεια

Η παραγωγή ενέργειας έχει άμεσες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι εξαντλούνται και ταυτόχρονα έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη φύση.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εμφανίζονται ως η μόνη λύση για να διατηρηθεί μελλοντικά η ζωή στον πλανήτη.



### 1.1 Περιβάλλον

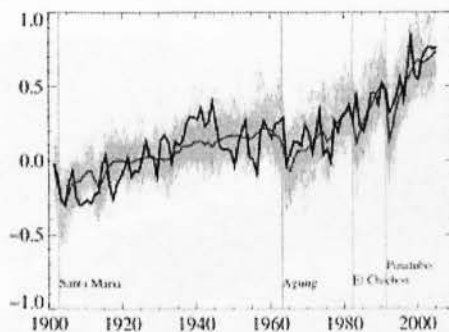
Το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα έχει γίνει εδώ και αρκετά χρόνια αντιληπτό από την ανθρωπότητα. Ιστορικά η απαρχή της ολοκληρωτικής παρέμβασης του ανθρώπου έγινε πριν από δύο περίπου αιώνες κατά την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Από εκείνο το σημείο και έπειτα ο άνθρωπος καταναλώνει ακατάπαυτα φυσικούς πόρους (ορυκτούς κυρίως) και μάλιστα με τρόπο τελείως ανεξέλεγκτο και μάλλον ανταγωνιστικό.

Το αποτέλεσμα αυτής της «εξέλιξης» συσσωρευτικά δημιούργησε στο περιβάλλον τα ακόλουθα προβλήματα:

- Παγκόσμια (υπερ)θέρμανση (global (over)warming)

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και των ωκεανών. Σύμφωνα με την αρμόδια επιτροπή του ΟΗΕ ή μέση θερμοκρασία του πλανήτη τον τελευταίο αιώνα έχει αυξηθεί κατά 0,6 βαθμούς C ( $\pm 0,2$ ).

Οι προβλέψεις της ίδιας επιτροπής για το τέλος του αιώνα που διανύουμε είναι πολύ χειρότερες μιας και πιθανολογείται επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας έως και 5,8 βαθμούς C.



Το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης έχει άμεσα πλέον συνδεθεί με την παραγωγή των αερίων θερμοκηπίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

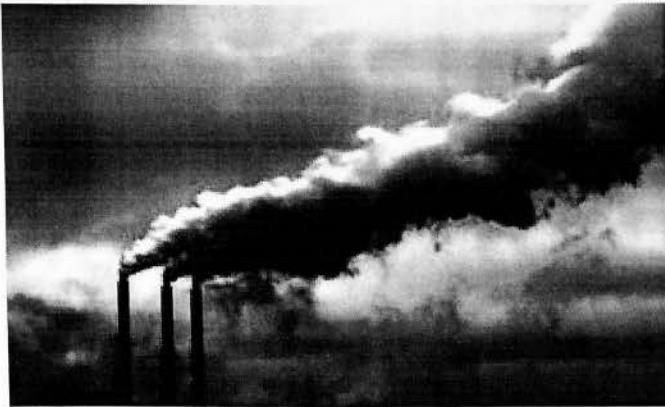
Τα αποτελέσματα αυτής της αύξησης έχουν γίνει πλέον αισθητά. (στην Δράμα έχουμε να δούμε αξιοπρεπή χιονάνθρωπο μια δεκαετία). Στους πόλους της γης ήδη παρατηρείται λιώσιμο τεράστιων παγόβουνων με γρήγορο ρυθμό. Το επίπεδο της θάλασσας συνεπακόλουθα αναμένεται να ανεβεί και να επιφέρει ανάλογες καταστροφές.



Ήδη με την χρήση δορυφόρων (1992) έχει διαπιστωθεί ότι η μέση αύξηση του επιπέδου της θάλασσας είναι 2,8 χιλιοστά/έτος άλλα διατηρούνται επιφυλάξεις για την αξιοπιστία (διακριτική ικανότητα) των μετρήσεων.

Άλλα αρνητικά φαινόμενα που οφείλονται στην παγκόσμια υπερθέρμανση είναι αλλαγές στους ρυθμούς βροχοπτώσεων, αυξημένη ένταση και συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων. Μελλοντικά αναμένονται σε κάποιες περιοχές, παρατεταμένη ξηρασία, και θέματα υγιεινής λόγω των κλιματικών αλλαγών.

- Αέρια θερμοκηπίου (greenhouse gases)



Όπως προαναφέρθηκε τα αέρια του θερμοκηπίου είναι κυρίως υπεύθυνα για την παγκόσμια υπερθέρμανση. Τα αέρια αυτά απορροφούν (εγκλωβίζουν) ουσιαστικά ακτινοβολία την οποία κατά ένα ποσοστό την εκπέμπουν προς την γη, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνειά τους.

Τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί ( $H_2O$ ), το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), το μεθάνιο ( $CH_4$ ), το οξείδιο του νατρίου ( $NO_2$ ) και το όζον ( $O_3$ ). Η ανθρώπινη δραστηριότητα ευθύνεται για την αύξηση των  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NO_2$  τα οποία αποβάλλονται με ραγδαίο ρυθμό στην ατμόσφαιρα λόγω της εξάρτησης της παγκόσμιας οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα.

## - Όξινη βροχή



Η καύση ορυκτών καυσίμων παράγει θειικά, ανθρακικά και νιτρικά οξέα. Τα αέρια που εκπέμπονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων συγκρατούνται από σταγονίδια στα σύννεφα τα οποία επανέρχονται στην επιφάνεια της γης με την μορφή κυρίως της όξινης βροχής (επίσης και με το χιόνι, τους υδρατμούς αλλά και στερεά σωματίδια).

Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται η οξύτητα του φλοιού της γης καθώς επίσης να επηρεάζετε η χημική ισορροπία των ποταμών και των λιμνών.

Έχει γίνει αντιληπτό ότι ο μόνος τρόπος για να αντιμετωπιστεί στο σημείο που έχουμε φτάσει είναι μέσω διαρθρωτικών κοινωνικοπολιτικών αλλαγών. Η χρησιμοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι σίγουρα ένα σημαντικό βήμα για την μείωση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων που μαστίζουν την ανθρωπότητα η τουλάχιστον για την επιβράδυνση του ρυθμού αύξησης αυτών.

### 1.2 Ενέργεια

#### Τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας

Ο πληθυσμός των ανθρώπων της γης έχει ξεπεράσει πια τα 6 δισεκατομμύρια. Οι άνθρωποι χρειάζονται ενέργεια για να βελτιώσουν το επίπεδο της διαβίωσης τους. Πολλοί επιστήμονες μάλιστα συσχετίζουν την ποιότητα διαβίωσης με την κατανάλωση ενέργειας. Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες αυξάνουν ραγδαία την εγκατεστημένη ισχύ τους κάτι που είναι και αποτέλεσμα του αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου τους. Στην Δημοκρατία της Κίνας το 1997 κατασκευάζαν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ρυθμό 300MW / εβδομάδα. (Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα είναι περίπου 12.500MW)

Θα επικεντρωθούμε στην ηλεκτρική ενέργεια μιας και αυτή είναι η πιο άμεσα συνδεδεμένη μορφή ενέργειας με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η μονάδα

ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κιλοβατώρα (kilowatt-hour). Μία κιλοβατώρα θεωρητικά αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώθηκε από μια συσκευή ισχύος 1kilowatt (κιλοβάτ) που λειτούργησε για την διάρκεια της μιας ώρας (1hour).

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kilowatt-hour} = 1 \text{ κιλοβατώρα}$$

Υποδιαιρέσεις μονάδας ενεργού ισχύος

$$1 \text{ kW (kilowatt)} = 1000 \text{ W (watt)}$$

$$1 \text{ MW (megawatt)} = 1000 \text{ kW (kilowatt)}$$

$$1 \text{ TW (terawatt)} = 1000 \text{ MW (megawatt)}$$

Στην πραγματικότητα η κιλοβατώρα είναι η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης ή παραγωγής ενεργού ισχύος. Στην πράξη οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην συνολική ενέργεια που «απορροφούν», «καταναλώνουν» ή «παράγουν» και ένα άλλο ποσοστό ενέργειας ανάλογα με τα ποιοτικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (χωρητικά, επαγωγικά φορτία). Αυτή είναι η άεργος ισχύς (reactive power) ή οποία είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες ( $I^2R$ ) ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ μάλιστα (σωστά) χρεώνει τους μεγάλους καταναλωτές όταν ξεπεράσουν κάποιο όριο «έγχυσης» ή «κατανάλωσης» (συντελεστής ισχύος,  $\text{synf} \leq 0.85$ ) άεργου ισχύος στο δίκτυο. Βελτίωση του «συνημίτονου» μιας εγκατάστασης που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με την προσθήκη φορτίων πυκνωτών ή με την προσθήκη καταναλώσεων επαγωγικών ρευμάτων (πηνίων) ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης (επαγωγική συμπεριφορά ή χωρητική αντιστοίχως).

Η μονάδα της άεργου ισχύος είναι το Volt Ampere Reactive (VAR)

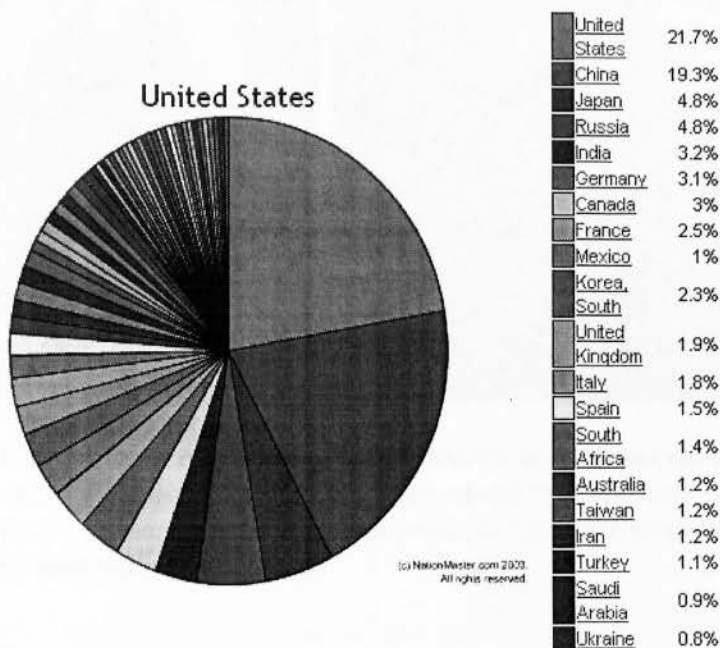
Η συνολική ισχύς λέγεται και «φαινόμενη» και έχει μονάδα το Volt-Ampere (VA)

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος είναι  $S=VI=(\text{τετραγωνική ρίζα του}(P^2+Q^2))$  Volt Ampere

### 1.2.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες που διανύουμε και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες πολιτικοοικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη.

Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιοι από τους φυσικούς πόρους έχουν μειωθεί πάρα πολύ (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος και η κατανάλωση ενέργειας γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη. Στον σύνδεσμο που ακολουθεί μπορείτε να δείτε τις χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

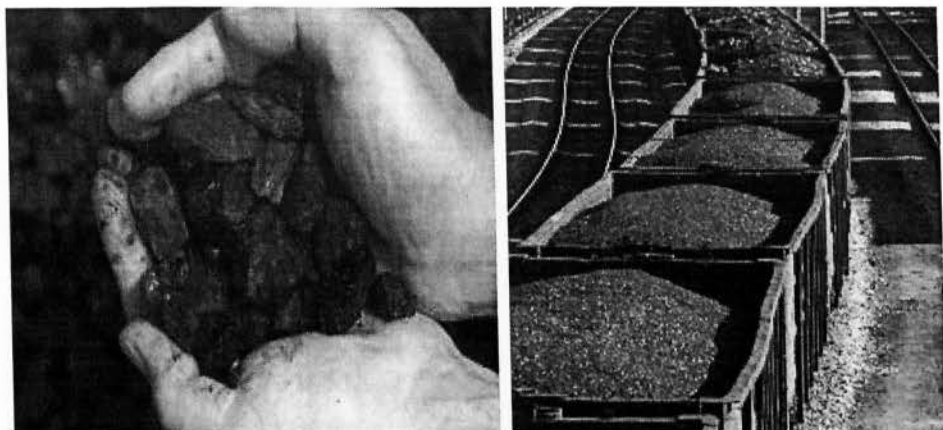


Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται κυρίως από γαιάνθρακες, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια και μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μόνο 2%.

### 1.2.2 Ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα (fossil fuels) είναι ένας γενικός ορισμός που αποδίδεται σε καύσιμα που σχηματίζονται στην γη από υπολείμματα φυτικών ή ζωικών οργανισμών. Τα κυριότερα ορυκτά καύσιμα είναι υδρογονάνθρακες και είναι τα παρακάτω:

- Οι γαιάνθρακες



Υπάρχουν πολλές μορφές γαιανθράκων και κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Η περισσότερο γνωστή μορφή είναι ο λιγνίτης. Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή χαρακτηρίζονται από την χαμηλή απόδοση μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια που φτάνει στην καλύτερη περίπτωση το 35%.

- Το πετρέλαιο

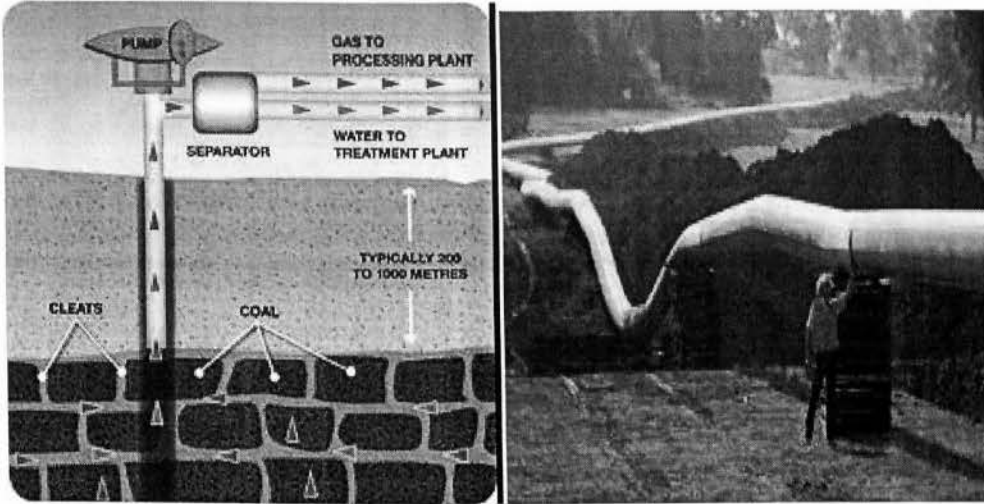


Το πετρέλαιο λόγω της μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας, της εύκολης σχετικά μεταφοράς και των δεκάδων χρήσεων του είναι ή πιο σημαντική ενεργειακή πηγή από την δεκαετία του 1950 και μετά.

Σημαντικότερες χρήσεις του σαν υγρό καύσιμο στις μεταφορές και την θέρμανση.

- Το φυσικό αέριο





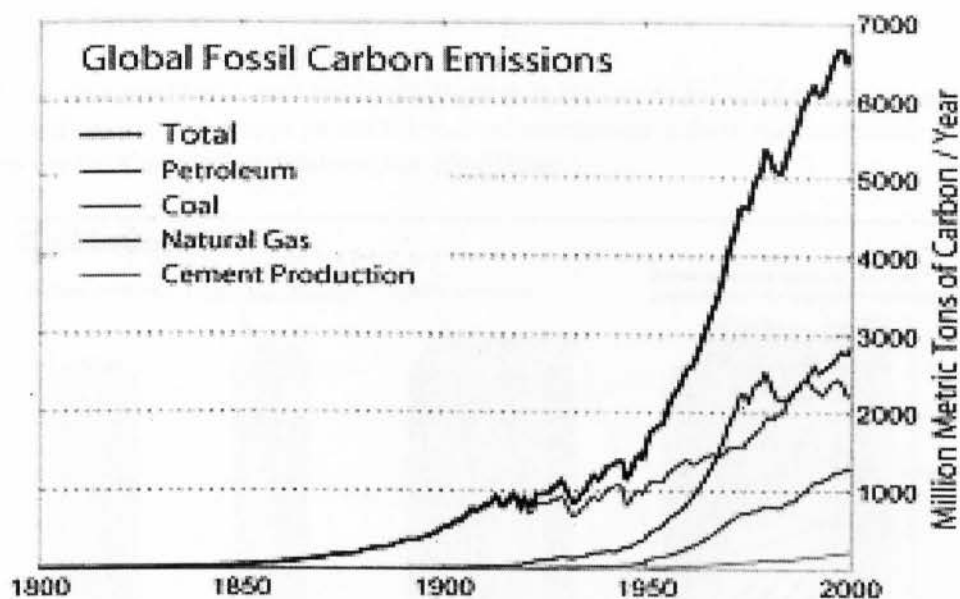
Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο. Είναι το καθαρότερο από τα ορυκτά καύσιμα όσον αφορά την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου.

Οι μεγαλύτερες υπόγειες δεξαμενές φυσικού αερίου βρίσκονται στο Ιράν και την Ρωσία. Επιστήμονες εκτιμούν ότι τα αποθέματα του φυσικού αερίου θα εξαντληθούν το 2085.

Όλες οι παγκόσμιες οικονομίες εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα ενεργειακά από τα ορυκτά καύσιμα.

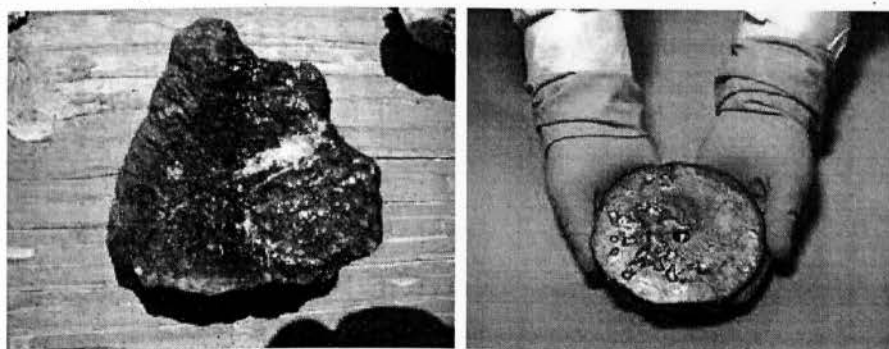
Εκτός από το μειονέκτημα της πεπερασμένης πρώτης ύλης τα ορυκτά καύσιμα ευθύνονται κατά πολύ για την ρύπανση του πλανήτη και για διάφορα περιβαλλοντολογικά προβλήματα.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος για τα τελευταία 200 χρόνια και οι αντίστοιχες εκπομπές των ορυκτών καυσίμων.



### 1.2.3 Πυρηνική ενέργεια

Άλλη πολύ σημαντική πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική. Παρόλα αυτά και η πυρηνική ενέργεια σχετίζεται με ορυκτό καύσιμο μιας και το ουράνιο που χρησιμοποιείται είναι ορυκτό και μάλιστα δυσεύρετο.

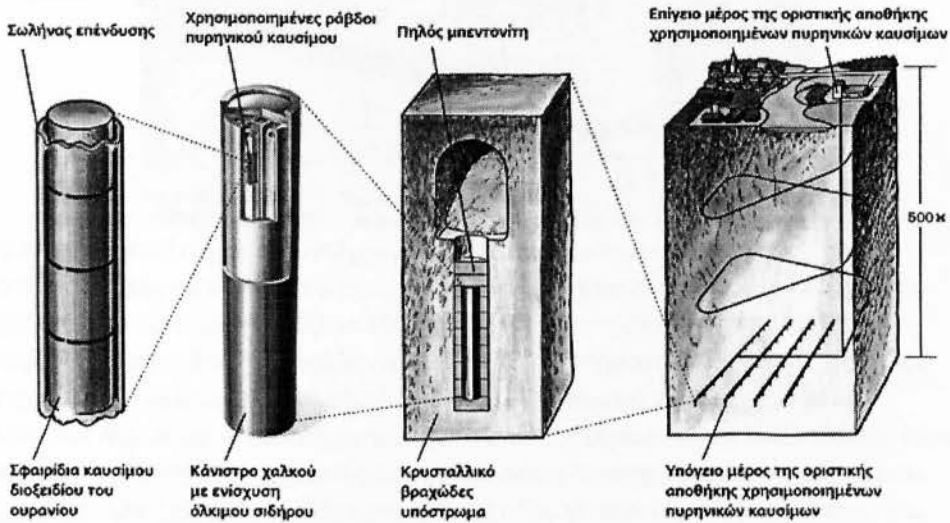


Η πυρηνική ενέργεια είναι μια ιδιαίτερα αμφιλεγόμενη μορφή ενέργειας γιατί παρά το αρκετά χαμηλό κόστος παραγωγής, σε περίπτωση ατυχήματος τα αποτελέσματα

θα είναι δραματικά.

Ένα ακόμα πρόβλημα είναι ότι τα απόβλητα μιας τέτοιας παραγωγικής διαδικασίας είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά με αποτέλεσμα να απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις για την επ' αόριστων αποθήκευση των αποβλήτων.

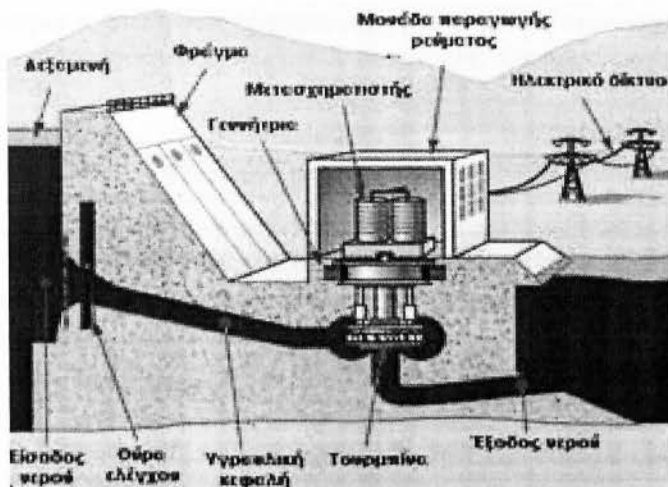
### Η μέθοδος KBS-3



Τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρισμού από πυρηνική ενέργεια έχει η Γαλλία με 59 αντιδραστήρες και ποσοστό ενεργειακής κάλυψης 78%.

#### 1.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Σε ποσοστό 16% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως παράγεται από μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η εκμετάλλευση υδάτινου δυναμικού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει μεγάλες ανάγκες ειδικά σε χώρες όπου υπάρχουν μεγάλα ποτάμια.



Έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν περισσότερα χρόνια από ότι ένας αντιδραστήρας καυσίμου ενώ υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις στον κόσμο που λειτουργούν τα τελευταία 50 με 100 χρόνια. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παρουσιάζουν πολλά περιβαλλοντολογικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας αφού δεν υπάρχει εκπομπή καυσαερίων αλλά συνήθως δημιουργούν ανακατατάξεις στα οικοσυστήματα που εγκαθίστανται λόγω της μεγάλης ανθρώπινης παρέμβασης στην φύση. Υπάρχουν αρκετές χώρες που έχουν μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από τις υδροηλεκτρικές τους εγκαταστάσεις όπως ο Καναδάς και η Βραζιλία.

### 1.2.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τέλος, υπάρχουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Διαθέτουν ένα ισχυρό πλεονέκτημα. Θα διαρκέσουν όσο θα υπάρχει και ο πλανήτης σε μορφή που να μπορούσε να ζει άνθρωπος.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επίσης εκπέμπουν περιορισμένα ή καθόλου αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα που δίνουν οι ανανεώσιμες πηγές για την δημιουργία κατανομημένων δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις περισσότερες ΑΠΕ δεν υπάρχει κόστος πρώτης ύλης ενώ και το κόστος συντήρησης είναι περιορισμένο.

Η ενεργειακές ανάγκες εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα ορυκτά καύσιμα και θα συνεχίσουν να εξαρτώνται από αυτά για αρκετές δεκαετίες ακόμα. Η ανάγκη όμως της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει γίνει αντιληπτή σε όλο τον κόσμο και οι περισσότερες χώρες έχουν υπογράψει αντίστοιχες δεσμεύσεις για χρήση των ΑΠΕ.

Σε κάποιες χώρες ήδη υπάρχουν ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα από την χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ. Αυτές οι χώρες λειτούργησαν λίγο διαφορετικά και σαφώς πιο καινοτόμα και οδηγήθηκαν σε ερευνητικά προγράμματα εκμετάλλευσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας αρχικά και στην συνέχεια σε εντατικοποιημένη βιομηχανική παραγωγή μηχανισμών παραγωγής ανανεώσιμης, ηλεκτρικής κυρίως, ενέργειας. Για παράδειγμα η Γερμανία και η Ιαπωνία πρωτοπορούν στην εκμετάλλευση φωτοβολταϊκών συστημάτων ενέργειας είτε με τις εγκατεστημένες

μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε με την υψηλή τεχνολογία τους στον κλάδο των εξαρτημάτων και μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

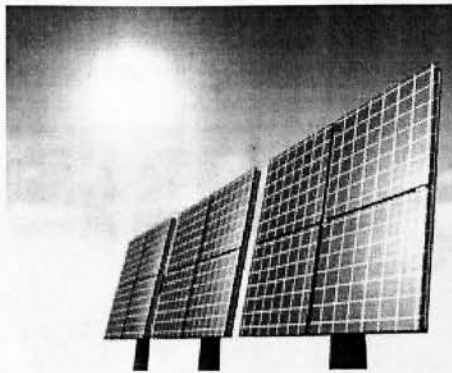
Οι περισσότεροι γνωστές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι:

- Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, της οποίας η εγκατεστημένη ισχύ ανεβαίνει με εκθετική πρόοδο. Οι χώρες με την μεγαλύτερη χρήση αιολικής ενέργειας είναι η Γερμανία, ή Ισπανία και οι ΗΠΑ.



- Η ηλιακή ενέργεια της οποίας η χρήση διακρίνεται σε πολλές υποκατηγορίες. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (photovoltaic) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι μια τεχνολογία ημιαγωγών με τεράστια πλεονεκτήματα αλλά μεγάλο κόστος.



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναπτύσσεται με ραγδαίο ρυθμό τα τελευταία χρόνια και η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε ΦΒ έχει ξεπεράσει και το πιο αισιόδοξο σενάριο.

- Συστήματα συλλεκτών ηλιακής θέρμανσης ζεστού νερού (solarwaterheating)



Στα συστήματα αυτά η Ελλάδα παρουσιάζει μια αρκετά μεγάλη αγορά. Για το έτος 2005 βρεθήκαμε στην 5η θέση μεταξύ των χωρών με τις περισσότερες εγκαταστάσεις συλλεκτών στον κόσμο με πρώτη την Κίνα.

- Στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα (solar concentrators) παραγωγής ενέργειας, τα οποία με την σειρά τους διακρίνονται σε αρκετές υποκατηγορίες και εκμεταλλεύονται την ανάκλαση του φωτός σε συνδυασμό με διάφορες τεχνικές.



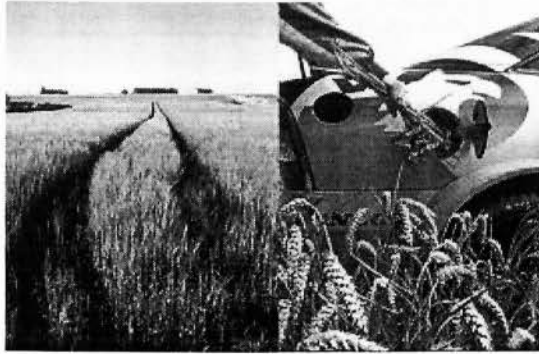
- Οι μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τις παλαιότερες μορφές ενέργειας (νερόμυλοι, υδραυλικοί τροχοί κλπ) και έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με το δίκτυο. Οι μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν περιλαμβάνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω της ογκώδους παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον.



- Τα βιοκαύσιμα .

Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2003/30/EK βιοκαύσιμα θεωρούνται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο παράγεται από βιομάζα όπου βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα

των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Τα βιοκαύσιμα χαρακτηρίζονται από μικρότερες εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub> σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.



Στα βιοκαύσιμα συγκαταλέγονται

- Η βιοαιθανόλη
- Το βιοντίζελ
- Το βιοαέριο
- Η βιομεθανόλη
- Ο βιοδιμεθυλαιθέρας
- Τα συνθετικά βιοκαύσιμα
- Το βιοϋδρογόνο
- Τα καθαρά φυτικά έλαια

- 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 W/m<sup>2</sup>

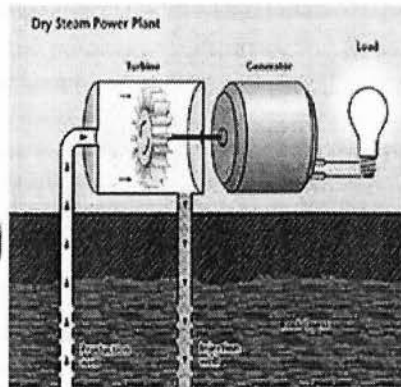
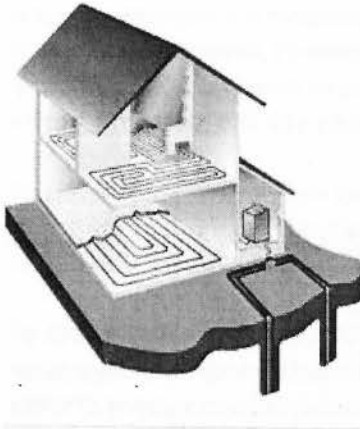
β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

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 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10<sup>6</sup> kWh/yr.

Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °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 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.



Στο σύνολο τους οι ΑΠΕ υπόσχονται να δώσουν σπουδαίες εναλλακτικές τεχνικές στο ενεργειακό πρόβλημα αλλά και να δώσουν λύσεις στα τεράστια περιβαλλοντολογικά προβλήματα του πλανήτη.

### 1.3 Φωτοβολταϊκά

Η κύρια και πρωταρχική πηγή ενέργειας για τη Γη είναι ο Ήλιος. Η ακτινοβολία του Ήλιου έχει τροφοδοτήσει και εξακολουθεί να τροφοδοτεί με ενέργεια όλες σχεδόν τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Είναι γνωστό ότι η ηλιακή ακτινοβολία, όχι μόνο δίνει φως αλλά επίσης, θερμαίνει τα σώματα στα οποία προσπίπτει. Λιγότερο γνωστό είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει και τις ιδιότητες κάποιων υλικών (των ημιαγωγών) που παράγουν έτσι ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς μέσω των: θερμικών ηλιακών, παθητικών ηλιακών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

#### 1.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Πώς φτάσαμε όμως ως εδώ;



Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι Adams (1836 - 1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα.

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδουλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει.

Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Charin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέσσερα χρόνια μετά το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I. Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια.

Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς. Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Ήδη βέβαια αυτές οι χώρες έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διείσδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Αυτό οφείλεται κυρίως στις τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθεια τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού είναι πολύ μεγάλος για αυτό μάλιστα και η τάση που φαίνεται ότι θα κυριαρχήσει μετά από κάποια χρόνια είναι αυτή των τεχνολογιών λεπτού υποστρώματος (thin film) με σκοπό την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου.

### 1.3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάροι, κ.α.). Μικροί υπολογιστές και ρολόγια χρησιμοποιούν τα Φ/Β για την λειτουργία τους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά στη χώρα μας υπάρχει ένας μικρός αριθμός εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 70 MW.

Έχει γίνει φανερό ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια τεχνολογία πολλά υποσχόμενη, ικανή να δώσει λύσεις στα δυο μεγάλα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Αυτά είναι η αναζήτηση ενεργειακών πηγών για τις ανάγκες του πλανήτη και το περιβαλλοντολογικό ζήτημα που έχει προκύψει από την κατάχρηση των φυσικών πόρων από τον άνθρωπο.

### 1.3.3 Αρχές Λειτουργίας

#### Κατηγορίες υλικών

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η εκμετάλλευση του στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάτε από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

#### Ημιαγωγοί

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια.

Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

#### Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

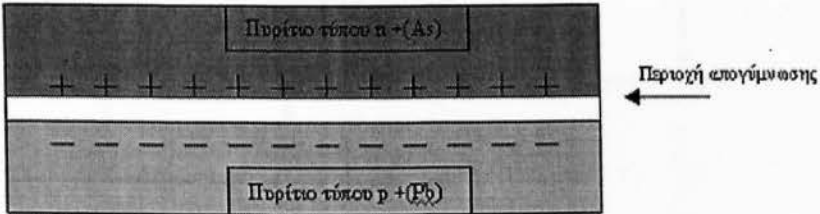
Τις ημιαγωγικές ιδιοτητές του, το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία, τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n)

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου, θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As). Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p ή αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου, χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

#### Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

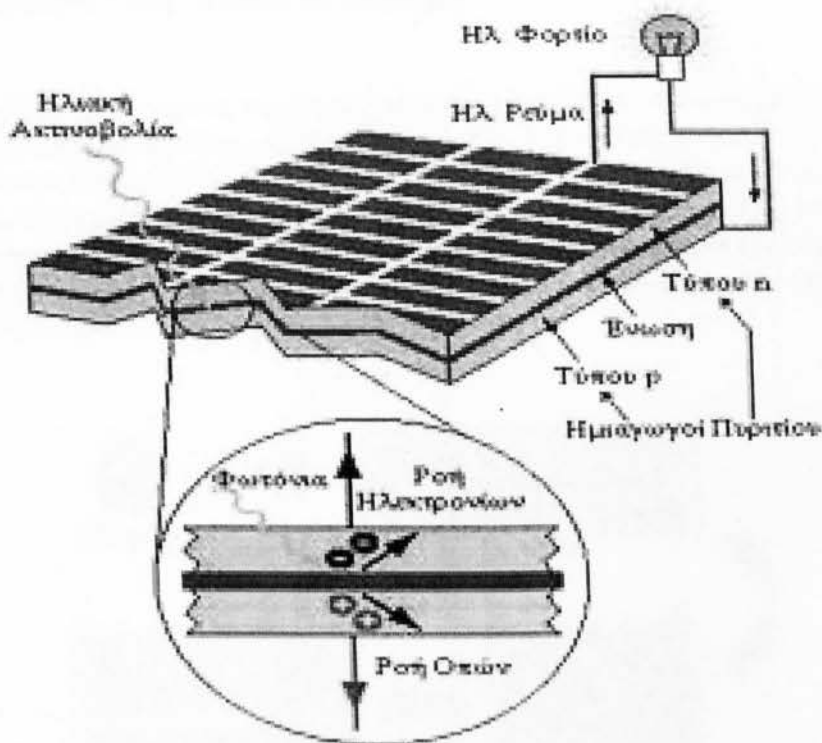
Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο, δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών, το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.



### Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φβ κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



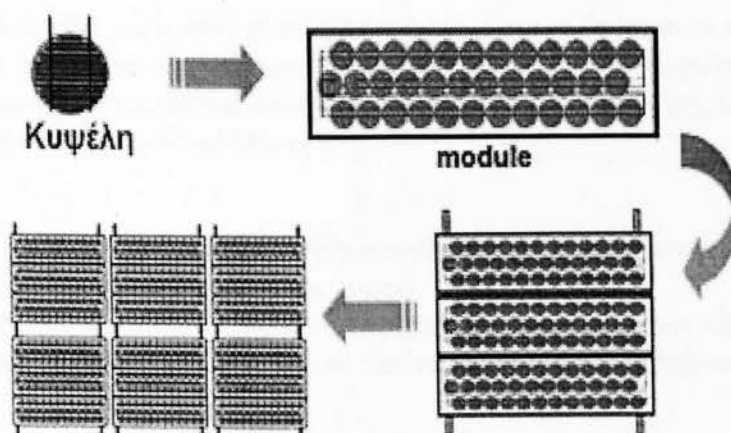
### Περιορισμοί στην Φ/Β απόδοση

Γιατί όμως δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια;

Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα. Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

### 1.3.4 Φωτοβολταϊκές Μονάδες και Συστοιχίες

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα σε κυκλώματα για την παραγωγή μεγαλύτερης τάσης και ισχύος. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες αποτελούνται από κυψέλες σφραγισμένες σε προστατευτικό έλασμα (module) και είναι η θεμελιώδης δομική μονάδα των συστημάτων PV. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ περιέχουν μία ή περισσότερες μονάδες καλωδιωμένες και έτοιμες για εγκατάσταση. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι μία πλήρης μονάδα παραγωγής ρεύματος που μπορεί να περιέχει οποιονδήποτε αριθμό από πάνελ.



Η ισχύς των φωτοβολταϊκών συστοιχιών εκτιμάται κάτω από κανονικές συνθήκες. Σάν κανονικές συνθήκες ορίζουμε τη λειτουργία μιάς κυψέλης σε θερμοκρασία 25 βαθμών Κελσίου και σε συγκεκριμένη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και πυκνότητας αέρα.

Επειδή αυτές οι συνθήκες δεν αντιπροσωπεύουν το σύνηθες περιβάλλον λειτουργίας μιάς κυψέλης, η πραγματική απόδοση είναι συνήθως 85 ως 90 % της ονομαστικής. Τα σημερινά φωτοβολταϊκά είναι εξαιρετικά ασφαλή και αξιόπιστα προϊόντα, με πολύ χαμηλά ποσοστά βλαβών και μέσο όρο ζωής τα 20 με 30 χρόνια. Οι περισσότεροι μεγάλοι κατασκευαστές προσφέρουν εγγύηση 20 ή περισσότερα χρόνια, στα οποία οι κυψέλες θα διατηρήσουν ένα υψηλό ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος.

## 1.4 Τεχνολογίες Φ/Β

### 1.4.1 Τύποι Φωτοβολταϊκών Υλικών

#### Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο στην φωτοβολταϊκή βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό που παράγεται με μαζικό τρόπο. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του είναι:

1. Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το οξείδιο του πυριτίου (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
2. Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες.
3. Μια κατηγοριοποίηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Τύποι στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

#### Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Monocrystalline Silicon, sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικό στοιχείο χαρακτηρίζεται από καλύτερη σχέση απόδοσης / επιφάνειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) καθώς και η μέθοδος FZ (float zone) και οι δύο πάντως βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

### Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Polycrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση των πολυκρυσταλλικών στοιχείων. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για το ΦΒ πλαίσιο. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η ανάπτυξη φύλλων πολυκρυσταλλικού υλικού και η μέθοδος εναπόθεσης.

### Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται ουσιαστικά για μια ταινία πολυκρυσταλλικού υλικού. Δεν υπάρχει προς το παρόν εμπορική εκμετάλλευση λόγω του εξαιρετικά υψηλού κόστους παραγωγής του. Η απόδοση του είναι γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.

### Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων

#### Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των 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.

#### Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα 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. Η λέξη άμορφο προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με την χρήση των thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η αρκετά μικρότερη διάρκεια ζωής. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



### Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων 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. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

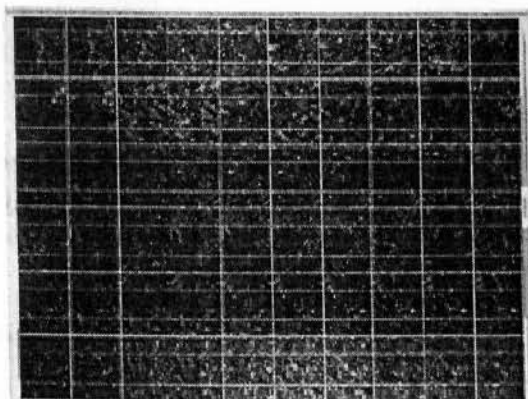
### Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση του σε εφαρμογές ηλιακών concentrators. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι αντέχει 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.

### 1.4.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

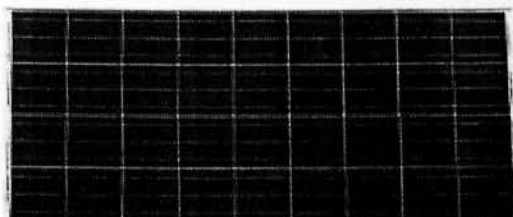
#### Μονοκρυσταλλικά πλαίσια

Τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια από πυρίτιο πετυχαίνουν υψηλή απόδοση, μέχρι και 20%. Για την παραγωγή τους όμως απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας με αποτέλεσμα η υψηλή τιμή τους να τα καθιστά απαγορευτικά για τη χρήση τους σε φωτοβολταϊκά πάρκα.



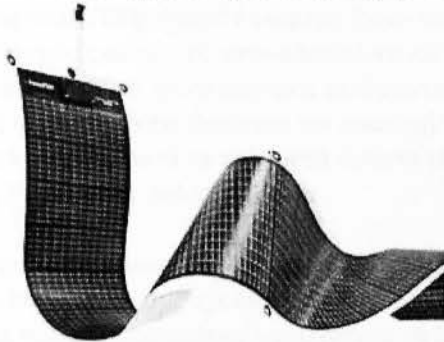
#### Πολυκρυσταλλικά πλαίσια

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια πετυχαίνουν απόδοση περίπου 16% , τιμή εξαιρετικά ικανοποιητική και το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ μικρότερο από εκείνο των μονοκρυσταλλικών πλαισίων και για αυτό χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.



### Λεπτού υμενίου (Thin film)

Η τεχνολογία των πλαισίων λεπτού υμενίου αναπτύχθηκε ως οικονομική λύση για φωτοβολταϊκά συστήματα λόγω του χαμηλού ενεργειακού κόστους και κόστους παρασκευής. Έχουν σχετικά χαμηλή απόδοση (6 έως 8 %) αλλά λόγω της εξαιρετικά καλής συμπεριφοράς τους στις υψηλές θερμοκρασίες (θερμά κλίματα) και στο διάχυτο φως χρησιμοποιούνται συχνά σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών.



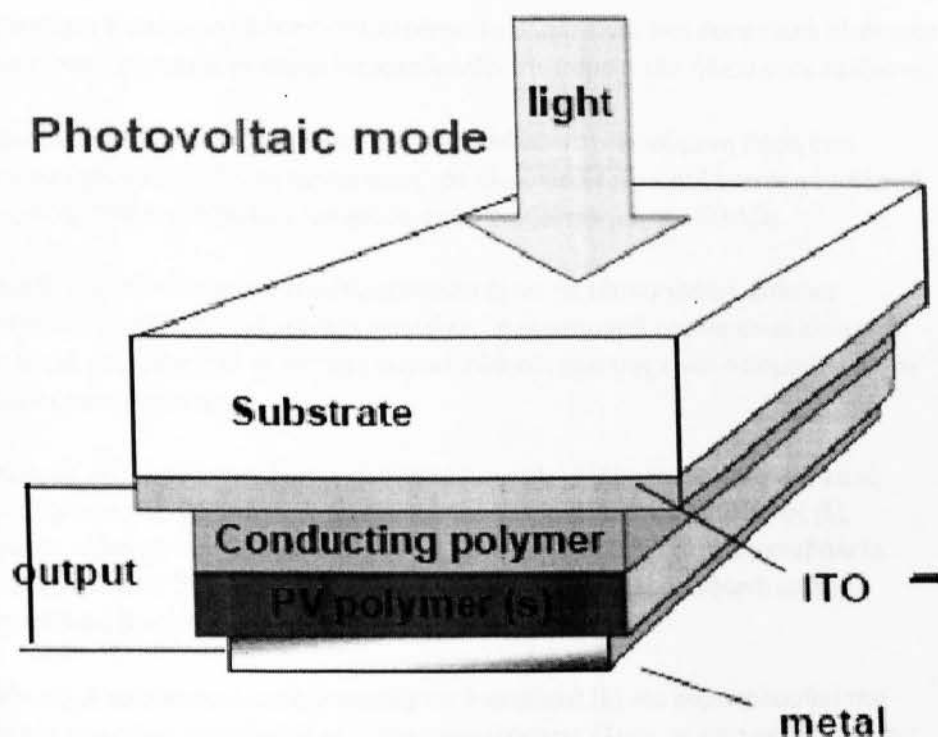
#### 1.4.3 Νέα υλικά για Φ/Β στοιχεία

Τα πολυμερή για ακόμα μια φορά με τις απίστευτες ιδιότητες που έχουν μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο ακόμα και στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα στη ζωή μας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμμετοχή τους στη κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πρώτη ύλη βέβαια πολυμερή και κάποιες άλλες ενώσεις. Παρόλο το μεγάλο κόστος που συνοδεύεται με αυτό το εγχείρημα μπορούμε κάποια στιγμή στο μέλλον να ελπίζουμε ότι όλοι μας θα έχουμε στα σπίτια μας ένα ηλιακό κάτοπτρο φτιαγμένο από πολυμερή το οποίο θα μας βοηθάει να συγκεντρώνουμε την ηλιακή ενέργεια προς όφελος φυσικά της καθημερινής άνεσής μας.

Τα φωτοβολταϊκά πολυμερή παρουσιάζουν την δυνατότητα να απορροφούν τα χρώματα του φωτός του ήλιου που χρησιμοποιούνται ως επιστρώματα στις στέγες ή ακόμα και ως αναπόσπαστο τμήμα ινών για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια από το φως του ήλιου. Οι επιστήμονες MacDiarmid, Shirakawa, και Heeger έφεραν στο προσκήνιο τις μοναδικές ιδιότητες των conjugated πολυμερών σωμάτων το 1977 όταν ανακάλυψαν ότι η χημική νάρκωση αυτών των υλικών οδήγησε στις αυξήσεις στην ηλεκτρονική αγωγιμότητα πέρα από διάφορα μεγέθη. Από τότε, η ηλεκτρονική κατεύθυνση των υλικών βασίζεται στα conjugated πολυμερή σώματα που έχουν εφαρμοστεί σε διαφορετικά στοιχεία όπως οι αισθητήρες, βιολικά, δίοδοι που εκπέμπουν φως, ενεργοποιητές πολυμερών, και παράγωγα προστασίας διάβρωσης. Παρακάτω θα γίνει μια εκτενής αναφορά στην επίδραση των φωτοβολταϊκών στα conjugated πολυμερή ενώ παράλληλα θα γίνει και μια προσπάθεια να εξετάσουμε το σημερινό καθεστώς το οποίο επικρατεί αυτή τη στιγμή αλλά βέβαια και τις εφαρμογές τους.

Τα conjugated πολυμερή σώματα έχουν ένα πλαίσιο εναλλασσόμενων απλών και διπλών δεσμών άνθρακα-άνθρακα και μερικές φορές άνθρακα-άζωτο. Οι απλοί δεσμοί αναφέρονται ως π-δεσμοί, και οι διπλοί δεσμοί περιέχουν ένα σ-δεσμό και ένα π-δεσμό. Όλα τα conjugated πολυμερή έχουν μια σπονδυλική στήλη σ-δεσμών που επικαλύπτεται με υβριδικά τροχιακά SP<sup>2</sup>. Η συμπεριφορά των conjugated πολυμερών αλλάζει εντυπωσιακά με τη χημική νάρκωση (chemical doping). Γενικά, πολυμερή σώματα όπως το poly(aryleneethynylene) (PAE) είναι μερικώς οξειδωμένα για να παράγουν τα p-doping υλικά. Τα p-doped πολυμερή έχουν πολλές εφαρμογές για παράδειγμα ηλεκτροχρωμικές συσκευές, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, πυκνωτές, μεμβράνες, και ηλεκτρομαγνητικά προστατευτικά καλύμματα. Σήμερα μόνο τρία conjugated πολυμερή έχουν τραβήξει ιδιαίτερα την προσοχή για χρησιμοποίησή τους σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά τα πολυμερή είναι τα εξής το Poly(p-phenylenevinylene), Polyanilines, Polythiophenes.

Οι μελλοντικές εφαρμογές του είναι αρκετά αισιόδοξες και ιδιαίτερα στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Μάλιστα τα φωτοβολταϊκά πολυμερή υπόσχονται πολλά στο μέλλον αφού γίνονται πολλές προσπάθειες προκειμένου να βρεθεί ένα υλικό για την μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πολύ μικρό κόστος παραγωγής και μεγάλης απόδοσης.



Έτσι θα γίνει εφικτή η φτηνή ηλιακή ενέργεια που είναι η βασικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και που ουσιαστικά μένει ανεκμετάλλευτη, αφού το κόστος παραγωγής της είναι τεράστιο σε σχέση πάντα με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Τα conjugated πολυμερή μπορούν να εκθέσουν διεξαγωγή ηλεκτρονίων παρόμοια με τους συμβατικούς ημιαγωγούς, μια επίδραση που ενισχύεται κοντά στο χημικό doping.

Τα ηλεκτρικά ρεύματα παράγονται με το χωρισμό των ζευγαριών ηλεκτρονίων. Αυτό γίνεται με τη διαμόρφωση των διεπαφών μεταξύ των υλικών που έχουν τις διαφορετικές δυνατότητες ιονισμού και τις συγγένειες ηλεκτρονίων.

Οι διεπαφές δημιουργούνται με την επαφή των στρωμάτων των μετάλλων, των ανόργανων οξειδίων, και των πολυμερών σωμάτων, ή με τη δημιουργία των πολυμερών δικτύων. Αν και τα καλύτερα φωτοβολταϊκά πολυμερή σώματα που έχουν παραχθεί μέχρι τώρα είναι λιγότερο αποδοτικά από τα αντίστοιχα πυριτίου παράγουν τις υψηλότερες ανοιχτές τάσεις. Τα πολυμερή σώματα αναπτύσσονται με χρήση χρωστικών ουσιών για να αυξήσουν την ελαφριά αποδοτικότητα συλλογής. Οι μέθοδοι πολυμερισμού αναπτύσσονται για να αυξήσουν τη δομή τους παράγοντας εκείνες τις μεταφορικές ιδιότητες που θα τα κάνουν να γίνουν καλύτερα για τις αντίστοιχες χρήσεις. Έτσι ίσως να σας ακούγεται παράλογο μια μέρα να μπορέσετε να μετατρέψετε το εξωτερικό του σπιτιού σας σε ένα μεγάλο ηλιακό συσσωρευτή με φωτοβολταϊκό πολυμερές χρώμα.

#### 1.4.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Κινητής Βάσης

Το Σύστημα Κινούμενης Βάσης - Ηλιοτρόπιο το οποίο είναι ένα εξαιρετικά αξιόπιστο μονοαξονικό σύστημα το οποίο παρακολουθεί την πορεία του ήλιου στον ορίζοντα.

Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες τοποθετούνται πάνω στην κινούμενη βάση έτσι ώστε να έχουν κατεύθυνση πάντα προς τον ήλιο, και έτσι να αυξάνεται η απόδοσή τους κατά 25% έως 50% όλο τον χρόνο όπως εκτιμάται για την Ελλάδα.

Η σχεδίαση και κατασκευή του Ηλιοτροπίου έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει στις χειρότερες κλιματικές συνθήκες, η συντήρησή του να είναι ελάχιστη μία φορά τον χρόνο και οι αντοχές των υλικών κατασκευής είναι δοκιμασμένες σε ακραίες καταστάσεις.

Η πορεία της κινούμενης βάσης είναι από Ανατολικά (E) προς Δυτικά (W) κατά την διάρκεια της ημέρας και ο προσανατολισμός της βάσης είναι Νότιος (S). Η γωνία κλίσης  $\epsilon$  των Φ/Β συλλεκτών ως προς τον οριζόντιο άξονα μεταβάλετε χειροκίνητα από 20° έως 65° έτσι ώστε να προσαρμόζεται σύμφωνα με την μετατόπιση του ήλιου τις τέσσερις εποχές του χρόνου.

Κάθε πρωί το σύστημα προσανατολίζεται Ανατολικά (E) και παρακολουθεί την πορεία του ήλιου ξεκινώντας την ώρα ανατολής του ήλιου. Η ώρα εκκίνησης της πορείας λαμβάνεται η ώρα Ανατολής του ήλιου κατά την Εαρινή Ισημερία του τόπου εγκατάστασης του συστήματος.

Η παρακολούθηση του ορίζοντα από το σύστημα γίνεται ανεξάρτητα εάν υπάρχει ηλιοφάνεια ή συννεφιά, έτσι ώστε να γίνεται εκμετάλλευση και της παραμικρής ηλιαχτίδας του ήλιου για την παραγωγή ενέργειας.

Η πορεία του ήλιου στον ορίζοντα παρακολουθείτε από την Ανατολή μέχρι την Δύση, μετατοπίζοντας τον άξονα του συστήματος. Τα βήματα μετατόπισης του

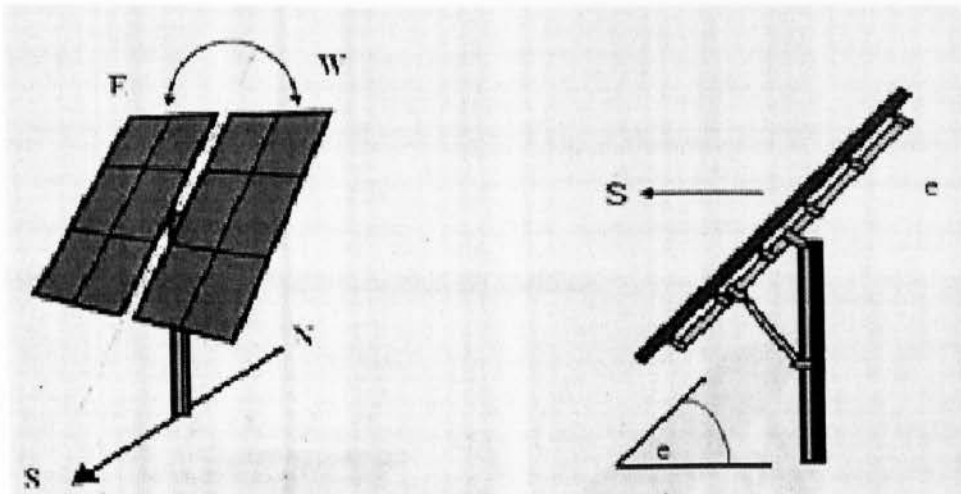
άξονα μπορούν να μεταβληθούν, έτσι ώστε η πορεία παρακολούθησης του ήλιου στον ορίζοντα να αλλάζει, σύμφωνα με τον τόπο εγκατάστασης του συστήματος.

Κατά την διάρκεια της νύκτας το σύστημα επανέρχεται στην θέση που βλέπει προς την Ανατολή και είναι έτοιμο για την εκκίνησή την ώρα της Ανατολής του ήλιου.

Τα κινητά μέρη είναι στεγανά και αντέχουν σε συνθήκες θερμοκρασίας από  $-30^{\circ}$  έως  $50^{\circ}$  C. Η διάρκεια κίνησης του κινητήρα σε ένα εικοσιτετράωρο είναι είκοσι λεπτά (20min) και έτσι οι φθορές είναι ελάχιστες. Η ετήσια κατανάλωση σε ηλεκτρισμό είναι 5KWH.

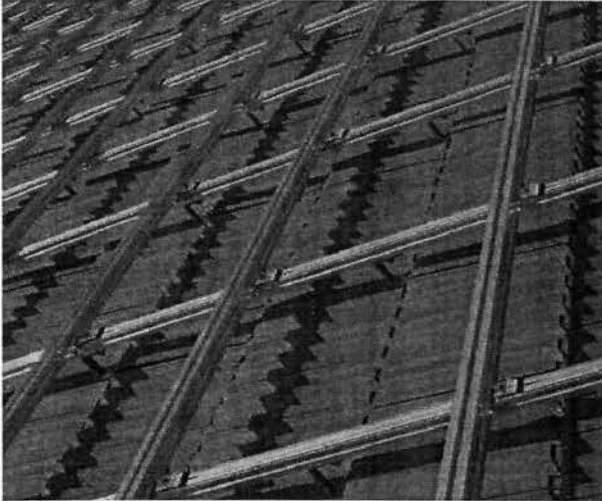
Η συντήρηση του ΣΚΒ είναι ελάχιστη γιατί όλα τα κινούμενα μέρη είναι στεγανά και τα υλικά κατασκευής του μεταλλικού μέρους του ΣΚΒ είναι ανοξείδωτα. Η λίπανση του κοχλίου γίνεται μία φορά το έτος και υπάρχει πρόβλεψη και για χειροκίνητη κίνηση σε περίπτωση βλάβης.

Η όλη κατασκευή είναι υπολογισμένη ώστε να αντέχει σε ανέμους με ταχύτητα άνω των 150 Km/h.

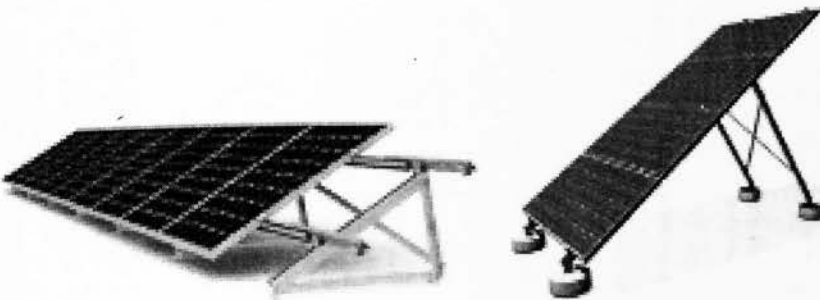


#### 1.4.5 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Σταθερής Βάσης

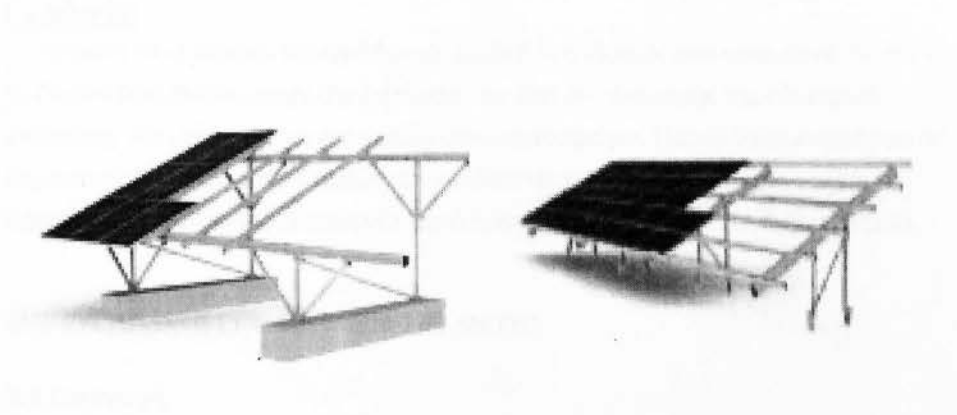
##### Σταθερές βάσεις για κεραμίδια



##### Σταθερές βάσεις για ανοιχτούς χώρους και ταράτσες



## Σταθερές βάσεις για ελεύθερες εκτάσεις με ή χωρίς πλαίσιο



Οι σταθερές βάσεις έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ευκολία εγκατάστασης (ελάχιστος χρόνος συναρμολόγησης)
- Δυνατότητα τοποθέτησης όλων των φωτοβολταϊκών πλαισίων της αγοράς ανεξαρτήτως διαστάσεων
- Σχεδιασμός τεγίδων και συστημάτων προσαρμογής για γρήγορη και ασφαλή τοποθέτηση
- Ανταγωνιστικό κόστος



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

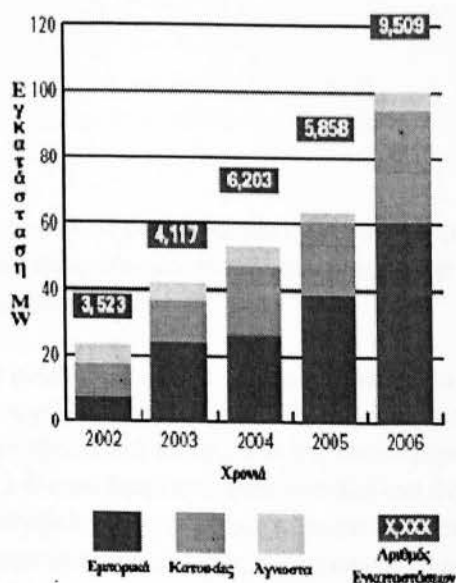
### Περίληψη

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα φ/β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο που αποσκοπούν την ενίσχυση του δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και μείωσης των εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Παράλληλα αναφέρονται σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς και προϋποθέσεις που απαιτούνται για την δημιουργία, την σωστή λειτουργία - απόδοση και συντήρηση ενός φ/β σταθμού.

### Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

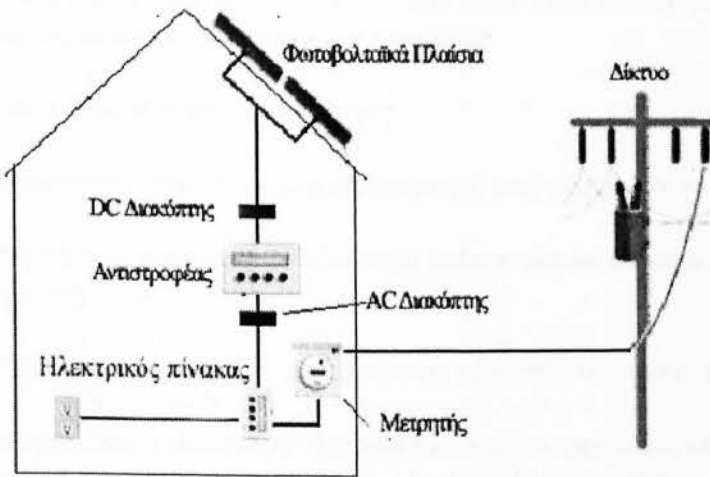
#### 2.1 Εισαγωγή

Μέχρι πριν από μερικά χρόνια τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα χρησιμοποιούσαν ευρέως για τη παροχή ηλεκτρισμού σε απομονωμένες περιοχές, όπου δεν ήταν εφικτή η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τις Επιχειρήσεις Ηλεκτρισμού, ή ως εφεδρική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακές αλλά και για άλλες καταναλώσεις. Η πρόοδος που επιτεύχθηκε τα τελευταία χρόνια στο τομέα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, σε συνδυασμό με το ολοένα και αυξανόμενο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον συνέβαλλαν στη δραματική επιτάχυνση της εξάπλωσης των φωτοβολταϊκών πλασιών (modules). Η εγκατεστημένη παραγωγή αυξάνεται κατά 40% κάθε έτος με πρώτη τη Γερμανία, αλλά και σε άλλες χώρες.



Αριθμός εγκατεστημένων MW στην Αμερική

Τα ηλιακά κύτταρα, επίσης γνωστά ως φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι αυτά που παράγουν ηλεκτρισμό. Αυτά, σε μικρό αριθμό, αποτελούν ένα πλαίσιο που μαζί με τον αντιστροφέα, τον μετασχηματιστή και φίλτρα συνιστούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής (θα περιγραφεί αναλυτικά στην παράγραφο 3.3). Πολλά από τα συστήματα διαθέτουν μπαταρίες, φορτιστές μπαταριών, μια γεννήτρια εφεδρείας και έναν ελεγκτή ώστε οι καταναλωτές να μπορούν να θέσουν σε λειτουργία τα φορτία. Το διάγραμμα ενός φ/β συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο

Μερικά αυτόνομα συστήματα όπως αυτά για την άντληση νερού, δεν απαιτούν εφεδρική πηγή.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φ/β συστήματα δεν απαιτούν την ύπαρξη μπαταριών ή γεννήτριας εφεδρείας καθώς χρησιμοποιούν το δίκτυο ως εφεδρεία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα της κατανεμημένης παραγωγής μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο διαμέσου ενός κατάλληλου αντιστροφέα. Τις ηλιόλουστες ημέρες η φωτοβολταϊκή γεννήτρια παράγει ισχύ που τροφοδοτεί μέρος των φορτίων, π.χ οικιακές καταναλώσεις, ενώ η επιπλέον ενέργεια παρέχεται στο δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας και των ημερών με χαμηλή ή και καθόλου ηλιοφάνεια, τα φορτία τροφοδοτούνται αποκλειστικά από το δίκτυο. Τα ηλιακά συστήματα μπορούν να ενσωματώσουν αντιστροφείς για τη μετατροπή του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ώστε να χρησιμοποιηθεί στις τοπικές καταναλώσεις ή στο δίκτυο. Τα ολοκληρωμένα συστήματα συνήθως διαθέτουν αυτόματους διακόπτες, ασφάλειες και κύκλωμα γείωσης.

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων που δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο είναι τα εξής:

- Τα αυτόνομα συστήματα μπορούν να περιορίσουν την ανάγκη δημιουργίας νέων γραμμών σε απομονωμένες περιοχές.
- Για αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές η ηλιακή ενέργεια κοστίζει λιγότερο από οποιοδήποτε άλλο τρόπο παραγωγής ηλεκτρισμού.
- Μπορούν να συνδεθούν στο υπάρχον δίκτυο για να διαθέσουν τη παραγωγή τους σε περιόδους υψηλής ζήτησης.
- Η εγκατάσταση των πλαισίων είναι πολύ απλή. Είναι δυνατό να τοποθετηθούν στο έδαφος, σε στέγες, σε τοίχους, σε παράθυρα.
- Χρειάζονται στοιχειώδη συντήρηση.
- Λειτουργούν αθόρυβα και αποτελεσματικά χωρίς να μολύνουν.
- Μπορούν να συνδυαστούν εύκολα με άλλους τύπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μπορούν να φορτίζουν μπαταρίες ώστε να διατίθεται συνεχώς ενέργεια.

Καθώς το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνεται συνεχώς, τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα γίνονται ολοένα και πιο ανταγωνιστικά. Επιπλέον, η ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης των καταναλωτών αντανακλάται σε μια προθυμία για επενδύσεις μεγάλων ποσών προκειμένου να διαθέτουν πράσινη ενέργεια. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αύξηση ζήτησης ενέργειας οδήγησε στην αλματώδη ανάπτυξη των φ/β συστημάτων που συνδέονται στο δίκτυο.

Επιπρόσθετα η μείωση των τιμών οδήγησε σε αυξημένη ζήτηση για φωτοβολταϊκά συστήματα με αποτέλεσμα να ενταθούν οι προσπάθειες για βελτίωση της αξιοπιστίας και της εγκατάστασης των μερών που αποτελούν ένα φ/β σύστημα. Συνεπώς, το κόστος υλοποίησης των φ/β συστημάτων μειώνεται διαρκώς, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η αξιοπιστία τους.

### **2.1.1 Η Πορεία Εξέλιξης των Συνδεδεμένων στο Δίκτυο Φ/Β Συστημάτων**

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70 υπήρξε πολύ λίγη συζήτηση σχετικά με την χρησιμοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός από το διαστημικό πρόγραμμα. Εντούτοις, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου κόστους των ορυκτών καυσίμων, καθώς και λόγω των αυξανόμενων περιβαλλοντικών ανησυχιών για τη χρήση τους, αναπτύχθηκε το ενδιαφέρον για επίγειες χρήσεις της φωτοβολταϊκής παραγωγής. Η πρώτη αναφορά συνδεδεμένης σε δίκτυο φωτοβολταϊκής παραγωγής ήρθε το 1974. Αυτή η συζήτηση περί γενικής χρήσης μιας πιθανής φωτοβολταϊκής εφαρμογής ανέφερε τις συνεχώς αυξανόμενες δαπάνες για ορυκτά καύσιμα, την ανησυχία για την ποιότητα του περιβάλλοντος, με

την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών να τους υποστηρίξει ως λόγους για χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Προέβλεπε εντούτοις ότι δεν θα υπήρχε κεντρικός ηλιακός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πριν από το έτος 2000. Ωστόσο τα γεγονότα που ακολούθησαν απέδειξαν το αντίθετο. Διάφορες τέτοιες γεννήτριες λειτουργούν στις ΗΠΑ και ανά τον κόσμο από το 1987.

Το σχέδιο για έναν κεντρικό σταθμό ηλιακής - θερμικής γεννήτριας δημοσιεύτηκε σε μια ερευνητική εργασία το 1975. Συγκεντρωμένο φως του ήλιου θερμαίνει δεξαμενές ώστε να παραχθεί ατμός, ο οποίος έπειτα περιστρέφει έναν ατμοστρόβιλο περιστρεφόμενης μονάδας γεννητριών. Αν και δεν υπήρξε καμιά αναφορά για φωτοβολταϊκά σε αυτό το σχέδιο, σε μια άλλη ερευνητική εργασία του Πανεπιστημίου της Oklahoma, επιβεβαιώνονται οι προοπτικές για τη χρήση σε μεγάλη κλίμακα της ηλιακής ενέργειας. Το ενδιαφέρον του Εθνικού Ιδρύματος Επιστήμης (National Science Foundation) ήταν έντονο με αποτέλεσμα συζητήσεις το 1975, ενώ στο πανεπιστήμιο Delaware μια πειραματική εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων για οικιακή χρήση λάμβανε χώρα.

Το πανεπιστήμιο του Delaware, δημιουργός του πειράματος, είχε μια μικρή σειρά από φωτοβολταϊκά κύτταρα που τα χρησιμοποιούσε για να μελετήσει τον συσχετισμό της ηλιακής ενέργειας με τυπικά ημερήσια οικιακά ηλεκτρικά φορτία. Η ενέργεια από τη σειρά φωτοβολταϊκών χρησιμοποιόταν για να φορτίσει μπαταρίες που τροφοδοτούσαν ρεύμα σε συνεχούς ρεύματος φορτία μέσα στο σπίτι. Όταν τα επίπεδα φόρτισης της μπαταρίας έπεφταν πολύ χαμηλά ή όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια δεν ήταν επαρκής, ένας ειδικός διακόπτης επέτρεπε την τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Καθώς αυτό δεν ήταν μια αληθινή συνδεδεμένη με το δίκτυο φωτοβολταϊκή μονάδα παραγωγής, ωστόσο φαίνεται να είναι η πρώτη σημαντική πειραματική μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ της φωτοβολταϊκής παραγωγής και ενός ηλεκτρικού δικτύου.

Η φόρτιση των μπαταριών ήταν πάλι το θέμα σε μια ερευνητική εργασία του 1976 συζητώντας τη δαπάνη για τους ελεγκτές μπαταριών. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία καλύφθηκε λεπτομερώς για ένα ηλεκτρικό δίκτυο σε ένα εκπαιδευτικό έγγραφο της IEEE τον ίδιο χρόνο. Κανένας από τους ερευνητές, εντούτοις, δεν ανέφερε την πιθανότητα της συνδεδεμένης στο δίκτυο φωτοβολταϊκής εφαρμογής.

Η συνδεδεμένη λειτουργία περιγράφηκε πάλι σε εργασίες IEEE το 1978. Οι συντάκτες συζήτησαν για την φωτοβολταϊκή και την ηλιακή θερμική παραγωγή, σε συνδεδεμένες και αυτόνομες εφαρμογές, αλλά ακόμα και τα συνδεδεμένα συστήματα περιελάμβαναν κάποια ενεργειακή αποθήκευση. Η ανάλυση ήταν κυρίως οικονομική, και δεν συζητούσαν τα πιθανά τεχνικά προβλήματα της σύνδεσης με το δίκτυο.

Μια άλλη οικονομική ανάλυση δημοσιεύτηκε επίσης το 1978. Συμπεριλήφθησαν απλά σχέδια και οικονομικές αναλύσεις διαφόρων συνδεδεμένων στο δίκτυο συστημάτων ηλιακής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου κατοικιών, ενδιάμεσων και κεντρικών σταθμών φωτοβολταϊκής παραγωγής. Τα προβλήματα σύνδεσης δεν συζητήθηκαν, αν και οι συντάκτες αναγνώρισαν ότι «στην περίπτωση της σύνδεσης

με το δίκτυο, ζητήματα σχετικά με διεπαφή πελάτη/δικτύου όπως το ποσοστό συμμετοχής, η ιδιοκτησία, η ενεργειακή ανατροφοδότηση στο δίκτυο, η ασφάλεια και ο έλεγχος απαιτούσαν περαιτέρω καθορισμό». Αυτός ο περαιτέρω καθορισμός άρχισε με μια αξιολόγηση της αξιοπιστίας που εξέτασε το φορτίο που είναι ικανό να καλύψει το φωτοβολταϊκό σύστημα και πώς το δίκτυο μπορεί να δει την φωτοβολταϊκή παραγωγή από την πλευρά των συμβατικών γεννητριών του. Η συζήτηση των ζητημάτων σύνδεσης στο δίκτυο συνεχίστηκε σε μια λεπτομερή αξιολόγηση του 1979 της χρησιμοποίησης της φωτοβολταϊκής παραγωγής ώστε να μειωθούν οι ανάγκες αιχμής του δικτύου. Το σύστημα που μελετήθηκε, εντούτοις, δεν ήταν ένα αληθινό συνδεδεμένο σύστημα. Οι συντάκτες πρόβλεψαν αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες και έναν διακόπτη αλλαγής μεταφοράς στο δίκτυο, έτσι ώστε ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα να μην ρέει στο δίκτυο. Ήταν, εντούτοις, μια χρήσιμη συζήτηση που συσχέτιζε τη χρησιμότητα των φωτοβολταϊκών με τις αιχμές φορτίου.

Οι λεπτομέρειες των ζητημάτων σύνδεσης στο δίκτυο άρχισαν να βγαίνουν σε επιστημονικά συνέδρια σχετικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα το 1980. Συζητήθηκαν οι γενικές ανησυχίες περί της ασφάλειας του προσωπικού, του εξοπλισμού, της προστασίας συστημάτων δικτύων κοινής ωφέλειας και της ποιότητας ισχύος. Ένα συγκεκριμένο πρόβλημα που αναφέρθηκε ήταν η δυνατότητα υπερφόρτισης μετασχηματιστών διανομής που προκαλείται από την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα οικιακής χρήσης.

Στις αρχές του '80 η σύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο άρχισε να λαμβάνει μεγάλη προσοχή. Η συζήτηση σχετικά με την αγορά/πώληση, τα ποσοστά και το κόστος αυξήθηκε.

Μια άλλη μελέτη αντιμετώπισε τα ζητήματα απόρριψης φορτίου, της αρμονικής παραμόρφωσης και της επιλογικής προστασίας που παρουσιάζονται με τη κατανεμημένη φωτοβολταϊκή παραγωγή. Σε άλλες οι συντάκτες εκπονούν μελέτες ροής ισχύος σε εικονικά συστήματα κατανεμημένης παραγωγής και συμπεραίνουν:

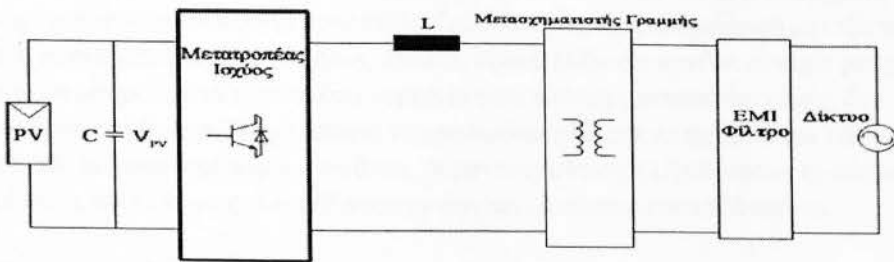
- Η ισχύς που παράγεται από τη κατανεμημένη φωτοβολταϊκή παραγωγή μπορεί να υπερφορτώσει τον εξοπλισμό και τις γραμμές διανομής υπό συνθήκες μεταβαλλόμενου φορτίου.
- Η ενέργεια του φωτοβολταϊκού μπορεί να παρεμποδίσει τους ρυθμιστές τάσης υπό συνθήκες μεταβαλλόμενου φορτίου.
- Η άεργος ισχύς που καταναλώνεται από τους αντιστροφείς με μεταγωγή από το δίκτυο (line-commutated inverters) του φωτοβολταϊκού συστήματος αυξάνεται καθώς η τάση μειώνεται. Αυτή η άεργος ισχύς μειώνει την ικανότητα μεταφοράς των γραμμών διανομής.
- Φωτοβολταϊκά συστήματα οικιακού τύπου μπορεί να προκαλέσουν ασύμμετρες συνθήκες σε τριφασικά συστήματα.
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να

παρεμποδίσει την εκκαθάριση σφαλμάτων .

- Προβλήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια του προσωπικού μπορεί να προκύψουν από τη κατανεμημένη παραγωγή μέσω φωτοβολταϊκών.

Στα χρόνια που ακολούθησαν οι επιστημονικές μελέτες συνεχίστηκαν με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό πάνω σε θέματα ασφάλειας προσωπικού, προστασίας εξοπλισμού και ποιότητας ισχύος. Ως αποτέλεσμα η δημιουργία πολλών μονάδων παραγωγής από μερικά kW ως χιλιάδες kW.

Περιγραφή Φ/Β Συστήματος Συνδεδεμένου στο Δίκτυο



Τυπικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο

Το συνδεδεμένο στο δίκτυο φ/β σύστημα αποτελείται βασικά από μια φ/β γεννήτρια (σύνολο πλασιών) και μια μονάδα μετατροπής ισχύος (αντιστροφέας). Σε αυτό το μοντέλο παρατηρούμε έναν πυκνωτή  $C$  , ένα πηνίο  $L$  , έναν μετασχηματιστή, ένα φίλτρο EMI και το δίκτυο. Ο ρόλος όλων αυτών των στοιχείων θα περιγραφεί παρακάτω.

Ίσως το πιο σημαντικό τμήμα ενός φ/β συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, που στο σχήμα συμβολίζεται ως "PV". Η φ/β γεννήτρια αποτελείται από ηλιακά κύτταρα που είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, ώστε να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Ανάλογα με το μέγεθος της φ/β γεννήτριας, μπορεί να αποτελείται από πλαίσια (πλαίσιο είναι ένα σύνολο ορισμένων ηλιακών κυττάρων), panels (σύνολο πλασιών) ή συστοιχίες (σύνολο panels). Η φ/β γεννήτρια παράγει μια συνεχή τάση  $V_{PV}$  , η οποία διατηρείται σταθερή με τη βοήθεια του πυκνωτή  $C$  .

Το επόμενο στάδιο είναι η μονάδα μετατροπής ισχύος και πιο συγκεκριμένα ο αντιστροφέας. Ο σχεδιασμός ενός συνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος ξεκινάει με την επιλογή ενός κατάλληλου αντιστροφέα. Αυτός καθορίζει τη τάση

του συστήματος από τη πλευρά του συνεχούς και τότε η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μπορεί να διαμορφωθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εισόδου του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας είναι το πιο σημαντικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ύστερα από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η αρμοδιότητά του είναι να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από την συστοιχία σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 50 ή 60 Hz (ανάλογα με το δίκτυο).

Μετά τον αντιστροφέα παρατηρούμε το πηνίο γραμμής L, που απαιτείται για να ελέγξει το ρεύμα που εγχέεται στο δίκτυο. Ο αντιστροφέας περιλαμβάνει επίσης το μετασχηματιστή και το φίλτρο EMI. Τα πρώτα φ/β συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για οικιακή χρήση περιελάμβαναν έναν μονοφασικό αντιστροφέα με έναν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (Low Frequency - LF) που τοποθετείται μεταξύ του αντιστροφέα και του δικτύου. Αυτός ο μετασχηματιστής απαιτείται από πολλούς σχεδόν εθνικούς κανονισμούς και εγγυάται τη γαλβανική απομόνωση μεταξύ του δικτύου και των φ/β συστημάτων, παρέχοντας κατά συνέπεια προστασία. Επιπλέον, παρέχει απομόνωση μεταξύ του φ/β συστήματος και του εδάφους. Επίσης, εξασφαλίζει ότι κανένα συνεχές ρεύμα, που θα μπορούσε να προκαλέσει κορεσμό στον μετασχηματιστή διανομής, δεν εγχέεται στο δίκτυο. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την τάση εξόδου των αντιστροφέων. Εντούτοις, οι μετασχηματιστές LF αυξάνουν το βάρος, το μέγεθος και το κόστος του φ/β συστήματος και μειώνουν την απόδοσή του.

Η εναλλακτική λύση είναι να αντικατασταθούν οι LF μετασχηματιστές με υψηλής συχνότητας (High Frequency - HF) μετασχηματιστές τοποθετημένους στο συνεχές τμήμα του αντιστροφέα. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται πάλι γαλβανική απομόνωση μεταξύ της φ/β γεννήτριας και του δικτύου. Οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας έχουν μικρότερο βάρος, μέγεθος και κόστος. Εντούτοις, είναι πιο πολύπλοκοι και καμιά ουσιαστική βελτίωση δεν παρατηρείται στη γενική απόδοση του συστήματος.

Η εξέλιξη τεχνολογίας έχει καταστήσει πιθανό να παραληφθεί ο μετασχηματιστής χωρίς αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά των συστημάτων όσον αφορά την ασφάλεια. Μερικές χώρες όπως η Γερμανία, επιτρέπουν τώρα τη χρήση αντιστροφέων χωρίς μετασχηματιστή (transformerless) και άλλες σκέφτονται σοβαρά να αλλάξουν τους κανονισμούς σε αυτή την κατεύθυνση. Επομένως, είναι αρκετά πιθανό ότι πολλά από τα μελλοντικά φ/β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο να είναι χωρίς μετασχηματιστή.

Τέλος, παρατηρούμε το EMI φίλτρο, το οποίο μειώνει την ανισορροπία μεταξύ των παρασιτικών χωρητικοτήτων του συστήματος, την ανισορροπία μεταξύ των τιμών των σύνθετων αντιστάσεων γραμμής, την έλλειψη συγχρονισμού στη διακοπτική λειτουργία των δύο σκελών της γέφυρας πλήρους κύματος, την ανισορροπία στη συμπεριφορά των διακοπών, καθυστερήσεις στους οδηγούς διακοπών. Αυτοί οι λόγοι κάνουν απαραίτητη τη χρήση φίλτρου EMI. Στην πραγματικότητα, οι τελευταίοι λόγοι θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στο φάσμα υψηλής συχνότητας.

### 2.1.2 Φωτοβολταϊκός σταθμός <=100 kWp

Ποία η τιμή πώλησης του παραγόμενου ηλιακού ρεύματος;

Σύμφωνα με το νόμο 3468/06, η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η εξής:

Μέγεθος σταθμού	Διασυνδεδεμένο σύστημα	Μη διασυνδεδεμένα Νησιά
<=100 kWp	0,45 €/kWh	0,50 €/kWh
>100 kWp	0,4 €/kWh	0,45 €/kWh

Γιατί 100 kWp και όχι 150kWp;

Σύμφωνα με το νόμο 3468/06, φωτοβολταϊκοί σταθμοί μέχρι 150 kWp απαλλάσσονται της ανάγκης έκδοσης άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια επιταχύνεται σημαντικά η υλοποίησή τους. Ωστόσο πάνω από 100 kWp η τιμή 'πέφτει' στα 0,40 από 0,45 €/kWh για το σύνολο του σταθμού. Επομένως η χρυσή τομή (γρήγορη αδειοδοτική διαδικασία & βέλτιστη τιμή) βρίσκεται στα 100 kWp.

### 2.1.3 Προϋποθέσεις του χώρου εγκατάστασης

Για μια εγκατάσταση 100 kWp απαιτούνται 1,5-2 στρέμματα γης περίπου ή 1000 τ.μ. κεκλιμένης οροφής (π.χ. βιομηχανικού κτιρίου) με νότιο προσανατολισμό. Ο χώρος εγκατάστασης πρέπει να είναι ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Σε κάθε περίπτωση συνίσταται να αποφεύγεται η χωροθέτηση σε:

Περιοχές Natura, Ramsar, αισθητικά δάση ή ακόμα και περιοχές χαρακτηρισμένες ως δάση -προς αποφυγή της ανάγκης έκδοσης έγκρισης δασικής επέμβασης-, χαρακτηρισμένους παραδοσιακούς οικισμούς κλπ.

Σε αρχαιολογικού ενδιαφέροντος περιοχές.

Κοντά σε στρατιωτικές περιοχές.

Μακριά από το δίκτυο (χαμηλή τάση για μέχρι 100 kWp) δεδομένου ότι η διασύνδεση μπορεί να καταστεί μια χρονοβόρα, δαπανηρή και με απρόβλεπτες δυσκολίες διαδικασία.

Αγροτική γη χαρακτηρισμένη ως «υψηλής παραγωγικότητας» (το γνωρίζει η κατά τόπους ΝΕΧ Π).

Περιοχές ιδιαίτερα τουριστικές.



Ως πρώτο βήμα, πριν την έναρξη των μελετών, προτείνεται μια άτυπη επίσκεψη στην τοπική Πολεοδομία ή σε άλλη σχετική διεύθυνση της τοπικής αυτοδιοίκησης (π.χ. Διεύθυνση Περιβάλλοντος Νομαρχίας) για να ελεγχθεί αν ο χώρος εγκατάστασης βρίσκεται σε κάποια από τις παραπάνω περιοχές.

#### 2.1.4 Κόστος φωτοβολταϊκού σταθμού

Ενδεικτικά, το κόστος ενός φωτοβολταϊκού σταθμού είναι 400.000€ + ΦΠΑ/ kWp και περιλαμβάνει ό,τι απαιτείται, δηλαδή:

Βασικό εξοπλισμό (Φ/Β γεννήτριες, αντιστροφείς, βάσεις, καλώδια κλπ.)

Μεταφορικά, Διαμόρφωση χώρου, περίφραξη κλπ.

Κόστος σύνδεσης (σε μια απόσταση από το δίκτυο της τάξεως των 50-100 m).

Απαιτούμενες μελέτες

Επομένως, για κάποιους πρώτους υπολογισμούς, ως ενδεικτικό κόστος κατασκευής σταθμού ισχύος 100kWp, θεωρούμε περίπου 400.000€ +ΦΠΑ

#### 2.1.5 Συντήρηση φωτοβολταϊκού σταθμού – Κόστος

Η μόνη πρακτικά συντήρηση που απαιτεί ένας σταθμός είναι ένας περιοδικός καθαρισμός των επιφανειών των Φ/Β γεννητριών και το κόστος της ασφάλισης του σταθμού το οποίο ωστόσο δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί επακριβώς στην Ελληνική αγορά (12-13€/kWp/έτος στην Γερμανία).

#### 2.1.6 Χρηματοδότηση εξοπλισμού - Αναπτυξιακός νόμος 3299/04

Στις επιχειρήσεις παρέχεται από τον Αναπτυξιακό Νόμο η δυνατότητα επιδότησης από 40-60% της αξίας του συστήματος.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ	
Ελάχιστη ίδια συμμετοχή (25%) (1)	100.000 €
Τραπεζική συμμετοχή (25%)	100.000 €
Ενδεικτική επιδότηση (50%) (2)	200.000 €
Συνολικός προϋπολογισμός σταθμού	400.000 €

(1) Αποτελεί βασική προϋπόθεση κατά την υποβολή της αίτησης υπαγωγής στον

Αναπτυξιακό Νόμο η τεκμηρίωση κάλυψης της ελάχιστης ίδιας συμμετοχής για ένα τουλάχιστον εξάμηνο πριν την υποβολή της αίτησης. Ενδεικτικοί τρόποι είναι: εξαμηνιαία κίνηση λογαριασμού, ομόλογα, μετοχές, φορολογηθέντα αποθεματικά κλπ. Όχι ακίνητη περιουσία.

(2) Το ύψος της επιδότησης στον Αναπτυξιακό Νόμο θα κυμαίνεται μεταξύ 40- 60%, ανάλογα με τη μορφή της εταιρείας και την περιοχή εγκατάστασης.

### 2.1.7 Μέγεθος επιχείρησης & υποβληθείσας πρότασης

Ανάλογα με το μέγεθος της επιχείρησης διαμορφώνεται και το ελάχιστο μέγεθος μιας επενδυτικής πρότασης. Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται τα σχετικά κριτήρια:

ΥΨΟΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ		
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ
ΜΕΓΑΛΗ	Απασχολεί περισσότερο από 250 άτομα προσωπικό. Ο ετήσιος κύκλος εργασιών της είναι μεγαλύτερος από 50.000.000 ΕΥΡ , καθώς και ο ετήσιος ισολογισμός της είναι μεγαλύτερος από 43.000.000 ΕΥΡ .	500.000
ΜΕΣΑΙΑ	Απασχολεί λιγότερα από 250 άτομα προσωπικό. Ο ετήσιος κύκλος είναι μικρότερος από 50.000.000 ΕΥΡ , καθώς και ο ετήσιος ισολογισμός της είναι μικρότερος από 43.000.000 ΕΥΡ . Τηρεί το κριτήριο της ανεξαρτησίας[1].	250.000
ΜΙΚΡΗ	Απασχολεί λιγότερα από 50 άτομα προσωπικό. Ο ετήσιος κύκλος εργασιών της καθώς και ο ετήσιος ισολογισμός της είναι	150.000

	μικρότερος από 10.000.000 ΕΥΡ .Τηρεί το κριτήριο της ανεξαρτησίας	
ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ	Απασχολεί από 0 έως 10 άτομα προσωπικό. Ο ετήσιος κύκλος εργασιών της καθώς και ο ετήσιος ισολογισμός της είναι μικρότερος από 2.000.000 ΕΥΡ . Τηρεί το κριτήριο της ανεξαρτησίας.	100.000

### 2.1.8 Αδειοδοτικά στάδια

Ένας σταθμός μέχρι 100 kWp απαιτεί τις παρακάτω άδειες/βεβαιώσεις:

1. Εξαίρεση από την άδεια παραγωγής (χρόνος κτήσης της εξαίρεσης 3 βδομάδες περίπου)
2. Όροι σύνδεσης από την οικεία δ/νση της ΔΕΗ. (χρόνος κτήσης 1-2 μήνες περίπου)
3. Έγκριση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων[2] (ΕΠΟ). (χρόνος κτήσης της ΕΠΟ 3-6 μήνες περίπου)
4. Σύμβαση κατασκευής δικτύου
5. Σύμβαση αγοραπωλησίας της ενέργειας με το ΔΕΣΜΗΕ (ή τη ΔΕΗ για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά).

Τα Διασυνδεδεμένα Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, δεν αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια σε συσσωρευτές, αλλά την αποδίδουν στο δίκτυο. Υπερέχουν συνεπώς έναντι των Αυτόνομων Συστημάτων διότι δεν υπάρχουν απώλειες σε ηλεκτρική ενέργεια συνδεδεμένες με μπαταρίες.

Η Τεχνολογία των Διασυνδεδεμένων Συστημάτων δίνει νέα ώθηση στη χρήση των Φωτοβολταϊκών πλαισίων και των Ανεμογεννητριών για επενδυτικούς σκοπούς. Δίνεται πλέον η δυνατότητα σε ιδιώτες να χρησιμοποιούν τέτοια συστήματα για παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, την οποία εν μέρει καταναλώνουν, τη δε υπόλοιπη πωλούν προς την αντίστοιχη Εταιρεία Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η εταιρεία PHOTOVOLTAIC διαθέτει Φ/Β πλαίσια ειδικά για εφαρμογές Διασύνδεσης με το Δίκτυο, κατασκευής της Shell Solar, καθώς και αντιστροφείς ισχύος ειδικούς γι' αυτές τις εφαρμογές, κατασκευής της εταιρείας Fronius.

### 2.1.9 Απόδοση

Η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι για την Ελλάδα 1300kWh/kWp, +/- 10% ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Επομένως η ετήσια παραγωγή ενέργειας θα είναι:  
 $100 \text{ kWp} * 1350 \text{ kWh/kWp} = 135.000 \text{ kWh}$

Με τιμή πώλησης 0,45€/kWh για το διασυνδεδεμένο δίκτυο (0,50€/kWh για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά), τα έσοδα που προκύπτουν ανά έτος είναι:

60.750€ (67.500€) + ΦΠΑ, προφόρων και αποσβέσεων.

Τι εταιρεία απαιτείται; Οποιαδήποτε εταιρική μορφή είναι κατάλληλη για μια επένδυση σε φωτοβολταϊκό σταθμό. Για φορολογικούς λόγους ωστόσο δε συνίσταται ατομική επιχείρηση για ένα σταθμό της τάξεως των 100 kWp.

Τα έσοδα του σταθμού, μετά τις αποσβέσεις και τις δαπάνες που εκπίπτουν, φορολογούνται κανονικά, σύμφωνα με τους συντελεστές που ισχύουν για τις εταιρείες.

## 2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα

### 2.2.1 Εισαγωγή

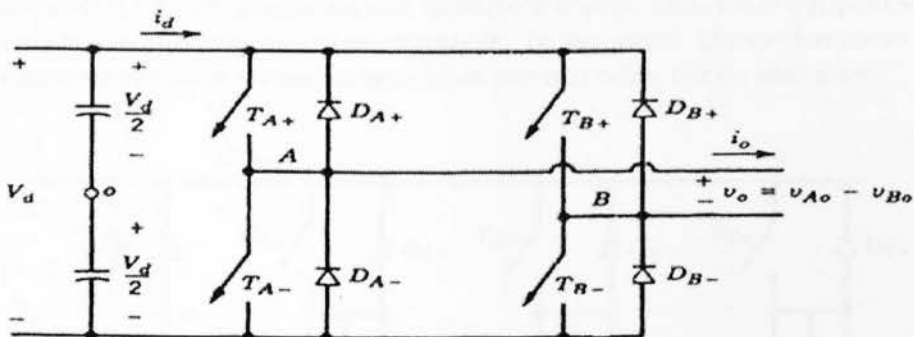
Ο μετατροπέας τάσης είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Είναι συνεπώς ένα βασικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο μετατροπέας στην βασική του μορφή αποτελείται από κατάλληλη διάταξη ηλεκτρονικών διακοπών η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων. Μια βελτιωμένη έκδοση των μετατροπέων είναι αυτή που στην εξοδο του παράγει τάση που έχει τη μορφή διαμορφωμένου ημιτόνου. Η λειτουργία των μετατροπέων συνοδεύεται από παραγωγή μεγάλου πλήθους αρμονικών υψηλών συχνοτήτων, κυρίως στους μετατροπείς απλού τετραγωνικού παλμού. Με κατάλληλη ρύθμιση των χρόνων ανοίγματος και κλεισίματος των διακοπών επιτυγχάνουμε μικρή τροποποίηση της κυματομορφής εξόδου του κατά την οποία ο αρνητικός τετραγωνικός παλμός είναι μετατοπισμένος σε σχέση με τον θετικό κατά T/6 της περιόδου της συνολικής κυματομορφής. Το χρονικό εύρος των τετραγωνικών τμημάτων είναι T/3. Έχουμε δηλαδή μετατροπείς διαμορφωμένου τετραγωνικού παλμού. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζεται το μέγεθος των ανώτερων αρμονικών και να έχουμε μικρότερη παραμόρφωση στο σήμα της θεμελιώδους συνιστώσας. Οι μετατροπείς μπορεί να διαθέτουν κατάλληλα φίλτρα που κόβουν τις ανώτερες αρμονικές και περιορίζουν σε ανεκτά επίπεδα την παραμόρφωση.

## 2.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα - αντιστροφέα

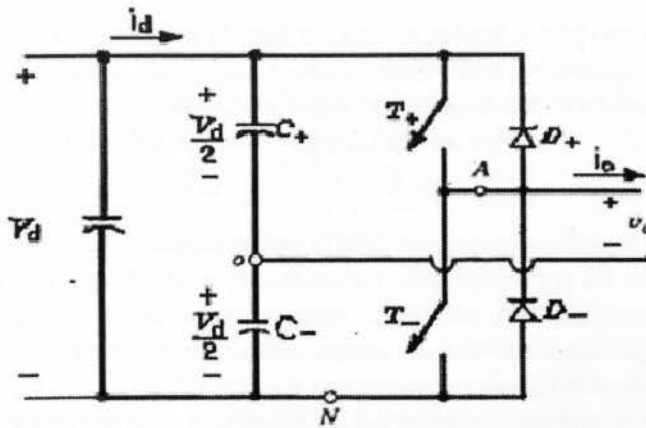
Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς που προορίζονται μόνο για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτοί που προορίζονται για παράλληλη λειτουργία πρέπει να ανταποκρίνονται τόσο στα χαρακτηριστικά του δικτύου όσο και στην απόδοση της  $\Phi/\beta$  γεννήτριας εξίσου καλά. Καθώς το ρεύμα από τις συστοιχίες ρέει μέσα από τον αντιστροφέα, τα χαρακτηριστικά του ουσιαστικά επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Εκτός από την αποτελεσματική μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα περιλαμβάνουν επίσης στοιχεία που είναι υπεύθυνα για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Εξασφαλίζουν ότι η λειτουργία ξεκινάει τη κατάλληλη χρονική στιγμή της ημέρας μόλις οι  $\Phi/\beta$  συστοιχίες δώσουν αρκετή ισχύ. Αποτυχημένη προσπάθεια εκκίνησης απαιτεί ισχύ από το δίκτυο και θα πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας πάνω στη I-V χαρακτηριστική καμπύλη μετακινείται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας της συστοιχίας. Μιας μορφής έξυπνου ελέγχου από τον αντιστροφέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος και συνεχή αναπροσαρμογή στο περισσότερο επιθυμητό σημείο λειτουργίας. Επίσης, στον αντιστροφέα είναι ενσωματωμένες συσκευές προστασίας, που τον αποσυνδέουν αυτομάτως από το σύστημα εάν προκύψουν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Ένας κοινός τύπος αντιστροφέα είναι με πλήρη γέφυρα (μονοφασικός).



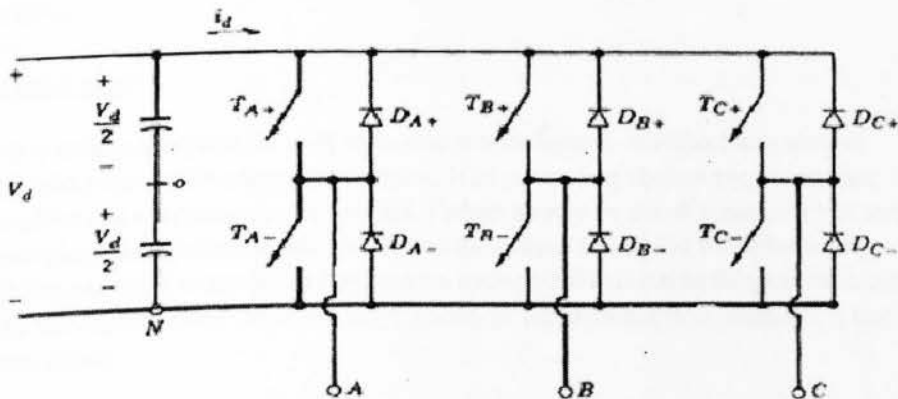
Προτιμάται σε σχέση με άλλες διατάξεις όταν έχουμε υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος. Αν τον συγκρίνουμε με τον αντιστροφέα με μισή γέφυρα, με την ίδια dc τάση εισόδου, η μέγιστη τάση εξόδου του αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι διπλάσια εκείνης του αντιστροφέα με μισή γέφυρα. Αυτό σημαίνει ότι για την ίδια ισχύ, το ρεύμα εξόδου και τα ρεύματα των διακοπών είναι το μισό εκείνων του αντιστροφέα με μισή γέφυρα. Σε υψηλά επίπεδα ισχύος, αυτό είναι ιδιαίτερο πλεονέκτημα, εφόσον απαιτεί λιγότερους παραλληλισμούς ημιαγωγικών στοιχείων.



Μονοφασικός αντιστροφέας με μισή γέφυρα.

### 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.



### Μέγιστο φωτοβολταϊκό ρεύμα ( $I_{pvmax}$ )

Είναι το απόλυτο μέγιστο αποδεκτό ρεύμα στην είσοδο του inverter. Για την διαστασιολόγηση του συστήματος συνήθως εξετάζεται η απαίτηση το  $I_{mpv}$  της συστοιχίας να είναι μικρότερο από την παραπάνω τιμή.

### Λοιπά στοιχεία

Άλλα στοιχεία τα οποία μπορεί κανείς να βρει στους καταλόγους με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστών, αλλά δε χρησιμοποιούνται από το συγκεκριμένο πρόγραμμα για το σχεδιασμό και την εξομοίωση, είναι τα εξής:

Η Ονομαστική Φωτοβολταϊκή Ισχύς που είναι μια συνήθης καθοριζόμενη παράμετρος για τους inverter. Εννοείται ως η συνιστώμενη ονομαστική ισχύς της  $\Phi\beta$  συστοιχίας σε STC συνθήκες.

Η Μέγιστη Φωτοβολταϊκή Ισχύς η τιμή της οποίας μπορεί να δίνεται μερικές φορές. Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη. Μπορεί να γίνει αντιληπτή ως η απόλυτη μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε STC συνθήκες αν και ο ακριβής της ορισμός διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

### **2.2.4 Πλευρά εξόδου του μετατροπέα.**

Εννοείται η πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται στο δίκτυο ή εν γένει στο φορτίο που τροφοδοτεί. Προφανώς στην πλευρά εξόδου έχουμε εναλλασσόμενη (AC) τάση και ρεύμα. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που εξετάζονται στις επόμενες υποπαραγράφους αναφέρονται στην ac πλευρά του μετατροπέα.

#### Ονομαστική ισχύς

Η ονομαστική ισχύς είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη για τους μετατροπείς. Εννοείται ως η ισχύς που μπορεί να παρέχει διαρκώς στο δίκτυο. Όταν έχουμε υπέρβαση των ορίων, δηλαδή σε ακραίες περιπτώσεις υπερπαραγωγής ισχύος στο MPP, εφαρμόζεται κάποια μέθοδος περιορισμού, πχ μετατόπιση του σημείου λειτουργίας της I-V χαρακτηριστικής. Η ονομαστική ισχύς είναι το μόνο από τα μεγέθη που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης.

#### Μέγιστη AC ισχύς

Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη αν και μερικές φορές παρέχεται από τους κατασκευαστές. Μπορεί να εννοηθεί ως η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει ο μετατροπέας στην έξοδο του για ένα χρονικό διάστημα μετά την υπέρβαση του οποίου επέρχεται η υπερθέρμανση της συσκευής οπότε και πρέπει να σταματήσει η λειτουργία της στο σημείο αυτό. Δεν χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα.

### Ονομαστική AC τάση

Είναι η τάση υπό την οποία παρέχει την ονομαστική ισχύ του ο μετατροπέας στην έξοδό του. Εξαρτάται από την τάση του δικτύου για την οποία είναι σχεδιασμένος να συνδέεται ο μετατροπέας. Για μετατροπείς που συνδέονται κατευθείαν στο δίκτυο ΧΤ η ονομαστική πολική τάση εξόδου της συσκευής είναι στα 0.4 kV. Υπάρχουν και μετατροπείς με τάση εξόδου στα 20kV.

### Ονομαστικό AC ρεύμα

Είναι το ρεύμα που δίνει στην έξοδο του ο μετατροπέας για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή ονομαστική τάση και ονομαστική ισχύ.

### Μονοφασική ή τριφασική σύνδεση

Προφανώς αναφέρεται στον τρόπο σύνδεσης του μετατροπέα στην έξοδο του. Συνήθως έχουμε μονοφασική σύνδεση για μετατροπείς μικρότερους των 3kW ενώ τριφασική σύνδεση για μεγαλύτερους μετατροπείς.

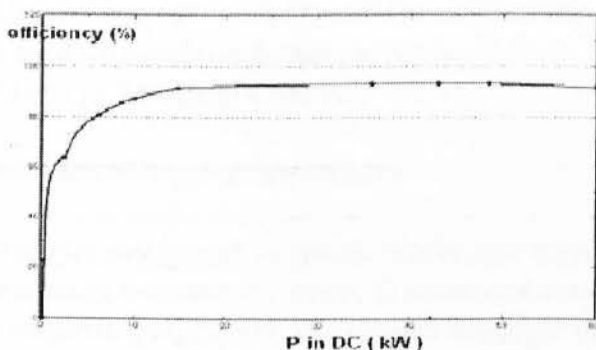
### Συχνότητα δικτύου

Οι περισσότεροι μετατροπείς μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυο με συχνότητα 50 Hz και 60Hz. Για την Ελλάδα λαμβάνουμε 50 Hz

## **2.2.5 Απόδοση**

Γενικά οι μετατροπείς χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (93%-97%) η οποία όμως εξαρτάται από την στιγμιαία ισχύ. Υπάρχει η απαίτηση ο μετατροπέας να έχει μεγάλη απόδοση και για μικρή ισχύ, συγκεκριμένα 90% για 10% της ονομαστικής ισχύος. Συναντώνται γραφικές παραστάσεις της απόδοσης συναρτήσει της ισχύος εισόδου ή εξόδου της συσκευής αν και σπάνια δίνονται από τους κατασκευαστές.





Απόδοση μετατροπέα συναρτήσσει της ισχύος εισόδου της συσκευής

Να σημειώσουμε ακόμα ότι οι κατασκευαστές δίνουν την «ευρωπαϊκή απόδοση» που επιχειρεί να περιγράψει την απόδοση της συσκευής για την μέση παράγωγη ισχύος στις συνθήκες λειτουργίας ενός έτους.

## 2.2.6 Υπολογισμός της συνολικής ονομαστικής ισχύος των μετατροπέων

Η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς της συστοιχίας προσδιορίζεται στις συνθήκες STC. Ωστόσο υπό τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας η ισχύς που παίρνουμε στους τερματικούς ακροδέκτες της συστοιχίας είναι αρκετά μικρότερη από την ονομαστική ισχύ της εξαιτίας των απωλειών.

Σε κανονικές λοιπόν συνθήκες λειτουργίας ένας πρόχειρος υπολογισμός της αξιοποιήσιμης ισχύος που αποδίδει η φβ συστοιχία μπορεί να προκύψει αν μειώσουμε την ονομαστική της ισχύ κατά ένα ποσοστό περίπου 15% ή και παραπάνω. Αυτή προσεγγιστικά θα είναι και η ισχύς εισόδου του inverter.

Για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση ονομαστικής ισχύος 500 kW έχουμε :

$$500\text{kW} \times 85\% = 425 \text{ kW}$$

Άρα η ισχύς που αποδίδει η φβ γεννήτρια στην είσοδο του inverter είναι περίπου 425 kW

Για να υπολογίσουμε τώρα την συνολική ονομαστική τιμή της ισχύος του μετατροπέα αρκεί να θυμηθούμε ότι αυτή ορίζεται ως η ισχύς στην έξοδό του. Πρέπει συνεπώς να λάβουμε επιπλέον υπόψη το βαθμό απόδοσης της συσκευής.

Ο τύπος για την απόδοση του μετατροπέα είναι :

Απόδοση =  $(P_{\text{εξόδου}} / P_{\text{εισόδου}}) \times 100\%$  ή  $P_{\text{εξόδου}} = P_{\text{nominal}} = P_{\text{εισόδου}} \times \text{βαθμό απόδοσης}$ .

Για τη μέγιστη όμως ισχύ λειτουργίας λαμβάνεται ότι η απόδοση της συσκευής

αυξάνεται κατά ένα ποσοστό περίπου 5%. Άρα μια προσεγγιστική τιμή της ονομαστικής του ισχύος προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε την ισχύ εισόδου επί ένα ποσοστό (94+5)%. Να σημειώσουμε ότι η μέγιστη απόδοση του μετατροπέα είναι 94%. Έτσι προκύπτει:

Ρεξόδου = P nominal = P εισόδου x βαθμό απόδοσης.

$P_{\text{nominal}} = 425\text{kW} \times (0,94 + 0,05) \approx 420 \text{ kW}$ .

### 2.2.7 Αριθμός και «τοποθέτηση μετατροπέων»

Στην παρούσα εργασία επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερους μετατροπείς μικρότερης ονομαστικής ισχύος. Ο μετατροπέας που επιλέγουμε, SMA 60 kW LV, έχει ονομαστική ισχύ 60kW, το άνω όριο τάσης για την Vmprr φτάνει τα 600V, ενώ η μέγιστη τάση ανέρχεται στα 650 V. Συνεπώς χρειαζόμαστε 7 τέτοιους μετατροπείς και η εγκατάσταση διαιρείται σε 7 φβ γεννήτριες,  $420\text{kW}/60\text{kW}=7$ . Γενικώς προσπαθούμε να έχουμε αρκετά υψηλή τάση στην είσοδο του μετατροπέα κάτι που σημαίνει ότι για δεδομένη μεταφερόμενη ισχύ το ρεύμα μειώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση των ωμικών απωλειών τουλάχιστον στο τμήμα των καλωδιώσεων από την έξοδο των φβ γεννητριών ως τον μετατροπέα. Από τα χαρακτηριστικά εισόδου του μετατροπέα βλέπουμε ότι η τάση μπορεί να είναι ικανοποιητικά υψηλή άρα το ρεύμα για δεδομένη ισχύ ικανοποιητικά μικρό. Για τα παραπάνω αρκεί να λάβουμε υπόψη τη σχέση  $P = VI$ .

Βασικό κριτήριο για να έχουμε μικρές ωμικές απώλειες είναι το μικρό ρεύμα, αφού η ισχύς απωλειών στις γραμμές μεταφοράς δίνεται από τη σχέση  $P_{\text{απ}} = I^2R$ , όπου το ρεύμα είναι υψωμένο στο τετράγωνο. Παράλληλα όταν το ρεύμα είναι μικρό πετυχαίνουμε να χρησιμοποιήσουμε καλώδια μικρότερης διατομής.

Η συνολική αντίσταση μιας γραμμής αυξάνει όμως και με την αύξηση του μήκους της κάτι που μεταφράζεται σε μεγαλύτερη πτώση τάσης και σε αύξηση των απωλειών. Για να αντισταθμιστεί κάτι τέτοιο χρειάζονται μεγαλύτερες διατομές καλωδίων άρα και μεγαλύτερη μάζα χαλκού. Αυτό έχει κυρίως να κάνει με το μήκος των καλωδιώσεων που αφορούν στις παράλληλες συνδέσεις μεταξύ των αλυσίδων αλλά και με το μήκος των καλωδιώσεων μεταξύ εξόδου γεννήτριας και μετατροπέα. Το ιδανικό σενάριο για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θα ήταν η ισχύς να μεταφερόταν υπό τη μέγιστη δυνατή τάση, το ελάχιστο δυνατό ρεύμα και το μήκος των καλωδίων να ελαχιστοποιούνταν

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και ότι αναγκαστικά η εγκατάσταση έχει μεγάλη σχετικά έκταση επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερους του ενός μετατροπείς. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να περιορίσουμε τις καλωδιώσεις για τη σύνδεση των παράλληλων αλυσίδων. Οι μετατροπείς τοποθετούνται κοντά στην έξοδο των φβ γεννητριών μειώνοντας το μήκος των καλωδίων μεταξύ εξόδου γεννητριών και μετατροπέα. Παράλληλα η ισχύς μεταφέρεται υπό ικανοποιητικά υψηλή τάση και το ρεύμα κινείται σε ανεκτά επίπεδα.

Με την επιλογή αυτή πετυχαίνουμε επίσης καλύτερο έλεγχο και μεγαλύτερη αξιοπιστία για το σύστημα συνολικά.

Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ακόμα περισσότερους μετατροπείς μικρότερης ισχύος. Για παράδειγμα ένας για κάθε αλυσίδα ή για κάποιο μικρό αριθμό αλυσίδων. Αυτή η σύνδεση έχει το πλεονέκτημα να ελαττώνεται το μήκος των καλωδίων για τις παράλληλες συνδέσεις των αλυσίδων και να ελαττώνονται έτσι οι απώλειες στην dc τάση. Χρειάζονται όμως περισσότεροι μετατροπείς κάτι που μπορεί να αυξήσει το κόστος της εγκατάστασης.

Θα μπορούσαμε τέλος να χρησιμοποιήσουμε έναν κεντρικό μετατροπέα μεγάλης ονομαστικής ισχύος περίπου 420kW όπου θα κατέληγαν όλες οι αλυσίδες αφού πρώτα συνδέονταν παράλληλα. Από σχετική έρευνα συμπεράναμε όμως ότι ή τάση εισόδου ενός τέτοιου μετατροπέα δεν είναι πολύ μεγαλύτερη από τα 600V και συνεπώς το ρεύμα σε κάθε αλυσίδα δε θα μειώνονταν δραματικά. Για παράδειγμα για τον κεντρικό μετατροπέα της Solar Konzept με ονομαστική ισχύ 420kW η τάση Vmprr κυμαίνεται από 400V έως 600V. Συνεχίζοντας θα χρειαζόταν μεγαλύτερο μήκος και διατομή καλωδίων για την παράλληλη σύνδεση όλων των αλυσίδων υπό περίπου το ίδιο ρεύμα.

Τέλος θα μειονεκτούσαμε από άποψη ελέγχου και αξιοπιστίας. Η χρήση όμως ενός μετατροπέα αντί περισσότερων πλεονεκτεί όταν κριτήριο είναι το κόστος.

Εμείς θα συνεχίσουμε τη μελέτη με βάση την αρχική μας επιλογή, η οποία να σημειώσουμε ότι κρίνεται ικανοποιητική αν και όχι απαραίτητα η βέλτιστη. Με μια πιο λεπτομερή συγκριτική μελέτη για τις περιπτώσεις που είδαμε πιο πάνω κανείς μπορεί να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος μέσα από την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Αν κριτήριο για την εγκατάσταση είναι το ελάχιστο κόστος προφανώς και πρέπει να ληφθούν υπόψη τα οικονομικά δεδομένα για να αποφασιστούν οι καταλληλότερες επιλογές. Με βάση αυτά μπορεί να κριθεί απαραίτητος ο συνολικός επανασχεδιασμός της εγκατάστασης.

## 2.3 ΦΒ συστοιχίες

### 2.3.1 Εκτίμηση του συνολικού αριθμού πλαισίων

Αρχικά θα προβούμε σε μια πρώτη εκτίμηση του συνολικού αριθμού των πλαισίων που απαιτούνται για την κάλυψη της εγκατεστημένης ισχύος που θέλουμε να έχει ο φωτοβολταϊκός σταθμός. Καθοριστικό ρόλο για αυτό το σκοπό έχει το μέγεθος της επιθυμούμενης συνολικής εγκατεστημένης ισχύος που ανέρχεται στα 500kW και η ονομαστική ισχύς του κάθε πλαισίου. Ο συνολικός αριθμός των πλαισίων προκύπτει από το πηλίκο της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της εγκατάστασης προς την ονομαστική ισχύ του κάθε πλαισίου. Μιας και πρόκειται για μια εγκατάσταση με σχετικά μεγάλη ισχύ επιλέγουμε πλαίσια μεγάλης ονομαστικής ισχύος. Χρησιμοποιούμε λοιπόν το μοντέλο ASE-300-DG-FT ονομαστικής ισχύος  $P_n=300W$ .

Πρόχειρος υπολογισμός συνολικού αριθμού πλαισίων:

συνολικός αριθμός πλαισίων = τιμή εγκατεστημένης ισχύος / ονομαστική τιμή ισχύος πλαισίου

συνολικός αριθμός πλαισίων =  $500 \cdot 10^3 \text{ W} / 300 \text{ W} = 1666.6667 = 1667$  πλαίσια

### 2.3.2 Συμβατότητα συστοιχίας-μετατροπέα

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του μετατροπέα που βρίσκεται συνδεδεμένος στην έξοδο της. Πρέπει δηλαδή να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ τάσης και του ρεύματος εξόδου της γεννήτριας και τάσης και ρεύματος εισόδου του μετατροπέα. Αυτό είναι και ένα από τα βασικά κριτήρια που καθορίζουν τον αριθμό των πλαισίων που συνδέονται εν σειρά συγκροτώντας μια αλυσίδα αλλά και τον αριθμό των αλυσίδων που συνδέονται παράλληλα. Με βάση το πιο πάνω σκεπτικό προχωράμε στη διαστασιολόγηση του συστήματος. Να σημειώσουμε ότι, για λόγους συμβατότητας της ορολογίας με το πρόγραμμα εξομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε, ο όρος συστοιχία (array) συμπίπτει με τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

### 2.3.3 Η τάση της συστοιχίας- Συμβατότητα τάσης συστοιχίας και τάσης εισόδου μετατροπέα

Η φ/β εγκατάσταση μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες μονάδες γεννήτριας. Γενικά ως μονάδα γεννήτριας θεωρείται το τμήμα της εγκατάστασης που παράγει ενέργεια συμπεριλαμβανομένου και του μετατροπέα. Συνεπώς κάθε μονάδα γεννήτριας αποτελείται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια και τον μετατροπέα. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια αποτελείται συνήθως από πολλές αλυσίδες πλαισίων (string) συνδεδεμένες παράλληλα. Στην περίπτωσή μας η εγκατάσταση αποτελείται από 7 πανομοιότυπες μονάδες γεννήτριας.

Ο αριθμός των πλαισίων εν σειρά, δηλαδή ο αριθμός των πλαισίων της κάθε αλυσίδας, καθορίζει την τάση της αλυσίδας και επομένως ολόκληρης της συστοιχίας

Κάθε συστοιχία μπορεί να συγκροτείται από  $n$  αλυσίδες συνδεδεμένες παράλληλα. Συνεπώς η τάση που θα εμφανιστεί στους ακροδέκτες εξόδου της συστοιχίας θα είναι ίση με την τάση της μιας αλυσίδας, με την προϋπόθεση προφανώς ότι η κάθε αλυσίδα απαρτίζεται από τον ίδιο αριθμό πλαισίων, τα οποία έχουν τα ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Ισχύει δηλαδή γενικά για την τάση:  $V_{array} = V_{string} = \lambda \times V_{πλαίσιου}$ , όπου  $\lambda$  ο αριθμός των εν σειρά συνδεδεμένων πλαισίων.

Βασικό κριτήριο για τον καθορισμό του αριθμού των πλαισίων εν σειρά αποτελεί η επιθυμούμενη τάση στα άκρα της συστοιχίας. Η τάση της συστοιχίας

πρέπει να καθοριστεί με βάση την τάση του μετατροπέα από την πλευρά της εισόδου του (inverter input voltage). Υπάρχουν 2 σημαντικές παράμετροι για την τάση :  $V_{max}$  και  $V_{MPP}$ . Με βάση αυτές καθορίζεται και ο αριθμός των εν σειρά πλαισίων. Η μέγιστη τάση ( $V_{max}$ ) που μπορεί να εμφανιστεί στα άκρα της συστοιχίας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τάση από την dc πλευρά του μετατροπέα. Επομένως η τάση ανοιχτοκύκλωσης της αλυσίδας ( $V_{oc-string}$ ), η οποία συμπίπτει με την τάση ανοιχτοκύκλωσης όλης της συστοιχίας ( $V_{oc-array}$ ), απαιτείται να είναι μικρότερη από την μέγιστη τάση εισόδου του μετατροπέα. Υπενθυμίζουμε ότι μέγιστη τάση του μετατροπέα είναι η απόλυτη μέγιστη dc τάση κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

Επίσης η  $V_{MPP}$  της συστοιχίας πρέπει να βρίσκεται εντός του παράθυρου τάσης μέσα στα όρια του οποίου ο μετατροπέας μπορεί να «ψάξει» το σημείο MPP. Απαιτείται δηλαδή να βρίσκεται εντός του εύρους τάσης που ορίζεται από την Ελάχιστη και Μέγιστη MPP τάση του μετατροπέα.

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμά ο αριθμός των εν σειρά πλαισίων υπολογίζεται αυτόματα αρκεί να καθορίσουμε τον inverter που θα χρησιμοποιήσουμε. Προφανώς καθοριστική σημασία έχουν η μέγιστη τάση και τα όρια της MPP τάσης της συσκευής.

Έτσι δεδομένου ότι η μέγιστη τάση εισόδου του μετατροπέα Sunny Central 60 KVA LV είναι  $V_{max} = 650$  V (maximum pv voltage = 650 V) και τα όρια τάσης για την τάση  $V_{MPP}$  κυμαίνονται από 300V έως 600V υπολογίζεται ο μέγιστος αριθμός των εν σειρά πλαισίων = 9.

### 2.3.4 Υπολογισμός του μέγιστου αριθμού πλαισίων εν σειρά

Για τον υπολογισμό αυτό διαιρούμε την μέγιστη τάση εισόδου του μετατροπέα με τη μέγιστη τάση που μπορεί να εμφανιστεί στην έξοδο του κάθε πλαισίου. Έχουμε δηλαδή:

μέγιστος αριθμός πλαισίων  $V_{max, inverter} / V_{\text{πλαίσιο}} = V_{\text{εν σειρά πλαισίων}}$

$V_{max inverter} = 650$  V,  $V_{max \text{ πλαισίου}} = 68,1$  V

Αρα ο αριθμός πλαισίων σε σειρά είναι:  $650/68,1 = 9,54$  πλαίσια

Μπορούμε λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε το πολύ 9 πλαίσια εν σειρά. Σε αυτή την περίπτωση η προκύπτουσα μέγιστη τάση της αλυσίδας (ή και του group παράλληλων αλυσίδων) είναι μικρότερη από την από τη μέγιστη τιμή της τάσης εισόδου του μετατροπέα και άρα αποδέκτη:

$V_{oc, array} = V_{oc, string} = 9 \times V_{oc, \text{πλαίσιο}} = 9 \times 68,1 \text{ V} = 612,9 \text{ V} < 650 \text{ V}$

Προφανώς αν τοποθετούσαμε 10 πλαίσια σε σειρά τότε θα είχαμε:

$V_{oc, array} = V_{oc, string} = 10 \times V_{oc, \text{πλαίσιο}} = 10 \times 68,1 \text{ V} = 681 > 650 \text{ V}$

Δηλαδή η μέγιστη τάση της συστοιχίας θα υπερέβαινε την μέγιστη dc τάση του inverter. Η επιλογή αυτή λοιπόν κρίνεται ακατάλληλη.

### 2.3.5 Έλεγχος τάσης στο MPP

Τώρα πρέπει να εξετάσουμε αν η τάση  $V_{mpp}$  κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας βρίσκεται εντός των ορίων τάσης για τα οποία ο μετατροπέας μπορεί να «ψάξει» το σημείο MPP. Να σημειώσουμε ότι η τάση κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας ισούται με την τάση στα άκρα κάθε αλυσίδας από  $n$  πλαίσια σε σειρά. Η  $\phi\beta$  γεννήτρια μπορεί να απαρτίζεται με τη σειρά της από περισσότερες παράλληλες αλυσίδες. Έτσι έχουμε:  $V_{mpp,array} = V_{mpp,string} = 9 \times 46,7V = 420V$ , η οποία είναι μια αποδεκτή τιμή αφού βρίσκεται εντός των ορίων τάσης μέσα στα οποία ο inverter Sunny Central 60 KVA LV μπορεί να «ψάξει» για το σημείο  $V_{mpp}$ . ( $300V < 420V < 600V$ ).

Συνοψίζοντας, ο μέγιστος αριθμός των εν σειρά πλαισίων = 9

Να σημειώσουμε ότι η τιμή της  $V_{mpp}$  του πλαισίου λαμβάνεται για θερμοκρασίες 25C.

### 2.3.6 Αριθμός παράλληλων αλυσίδων

Αφού λοιπόν έχουμε υπολογίσει τον αριθμό των πλαισίων εν σειρά που συγκροτούν την κάθε μια αλυσίδα ο υπολογισμός του αριθμού παράλληλων αλυσίδων είναι εύκολη υπόθεση. Ο συνολικός αριθμός παράλληλων αλυσίδων προκύπτει από το πηλίκο του συνολικού αριθμού πλαισίων προς τον μέγιστο αριθμό των πλαισίων της κάθε αλυσίδας: συνολικός αριθμός παράλληλων = συνολικός αριθμός πλαισίων / μέγιστο αριθμό εν σειρά πλαισίων  $1667/9=185,2$  παράλληλοι κλάδοι πλαισίων

Όλοι αυτοί οι παράλληλοι κλάδοι θα συνδεθούν σε 7 inverters όπου ο καθένας από αυτούς θα εξυπηρετήσει :  $185,2 / 7 = 26,4 = 26$  παράλληλους κλάδους.

Συνοψίζοντας, κάθε  $\phi\beta$  γεννήτρια αποτελείται από 26 παράλληλες αλυσίδες και κάθε αλυσίδα έχει 9 πλαίσια σε σειρά. Στην έξοδο κάθε γεννήτριας εγκαθιστούμε έναν μετατροπέα. Άρα τελικά ο  $\phi/\beta$  σταθμός στο σύνολο του θα αποτελείται από  $9 \times 26 \times 7 = 1638$  πλαίσια και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα είναι περίπου 492KW.

### 2.3.7 Συμβατότητα ρεύματος συστοιχίας και μετατροπέα

Έχουμε ήδη εξετάσει την απαίτηση της συμβατότητας μεταξύ τάσης εξόδου της γεννήτριας και τάσης εισόδου του μετατροπέα. Το ίδιο θα κάνουμε και για το ρεύμα.

Η απαίτηση της συμβατότητας για το ρεύμα ικανοποιείται αρκεί το ρεύμα  $I_{mp}$  στην έξοδο της  $\phi\beta$  γεννήτριας να μην υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα εισόδου του μετατροπέα  $I_{pn,max}$ .

Γενικώς ισχύει ότι το ρεύμα που διαρρέει ένα πλαίσιο μιας αλυσίδας είναι το ίδιο με το ρεύμα που διαρρέει συνολικά την αλυσίδα με την προϋπόθεση τα πλαίσια της αλυσίδας να παρουσιάζουν τα ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Στους 60 C για κάθε πλαίσιο το ρεύμα  $I_{mpP}$  είναι 5.9 A. Έτσι έχουμε  $I_{mpP,πλαισίου} = I_{mpP,αλυσίδας} = 5.9$  A. Για κάθε φβ γεννήτρια που αποτελείται από 26 παράλληλες Αλυσίδες το συνολικό ρεύμα στο σημείο λειτουργίας MPP είναι:  
 $I_{mpP,array} = 26 I_{mpP,αλυσίδας} = 5.9 \text{ A} \cdot 26 = 153$  A. Το μέγιστο ρεύμα εισόδου του μετατροπέα δίνεται  $I_{pv,max} = 215$  A. Άρα ισχύει ότι  $I_{mpP,array} (= 153 \text{ A}) < I_{pv,max} (= 215 \text{ A})$ . Συνεπώς και για το ρεύμα υπάρχει συμβατότητα μεταξύ γεννήτριας και μετατροπέα.

Συμπέρασμα : για το συγκεκριμένο πλαίσιο και μετατροπέα η επιλογή κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια να αποτελείται από 26 παράλληλες αλυσίδες των 9 πλαισίων εν σειρά ικανοποιεί τις προϋποθέσεις συμβατότητας, μεταξύ γεννήτριας και μετατροπέα, τόσο για την τάση όσο και για το ρεύμα.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα και πλαισίου

Sunny Central 60KVA LV	
Μεγέθη εισόδου	
PV πεδίο τάσης, MPPT ( $V_{pv}$ )	300V-600V
Μέγιστη τάση εισόδου $V_{pv,max}$	650V
Μέγιστη ένταση εισόδου $I_{pv,max}$	215A
Μέγιστος αριθμός string (παράλληλα)	3
Προτεινόμενη μέγιστη $p_v$ ισχύς $P_{pv}$	70kWp

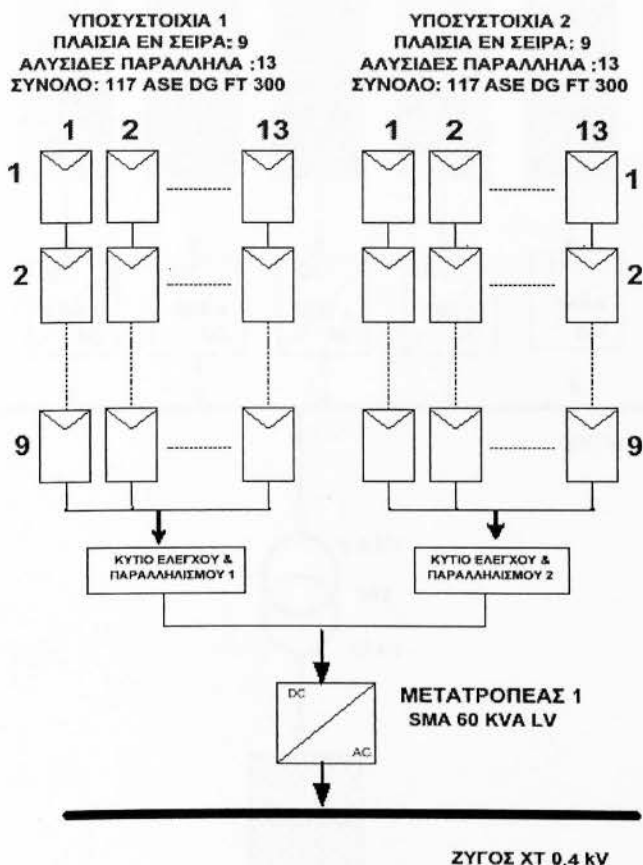
Μεγέθη εξόδου	
Ονομαστική AC ισχύς	60kW
Ονομαστική AC ένταση	87A
Αρμονικές	< 3%
Διαφορά φάσης ( $\cos \phi$ )	1
Προστασία υπέρτασης	ναι
Απόδοση	94%

ASE 300 DG FT – Si poly		
Όνομαστική ισχύς	P <sub>mpp</sub>	300Wp
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος	V <sub>mpp</sub>	51.2V
Ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος	I <sub>mpp</sub>	5.9A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	I <sub>sc</sub>	6.4A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	V <sub>oc</sub>	60V
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος 25 °C	V <sub>mpp</sub>	46,7 V
Τάση ανοιχτού κυκλώματος 25 °C	V <sub>oc</sub>	52,1 V
Διαστάσεις	1892x1283	
Πάχος γυάλινης επιφάνειας	8mm	
Πάχος συλλέκτη Βάρος	50.8mm 50kgr	
Αριθμός κυψελών αν συλλέκτη	216	
Απόκλιση ισχύος	-0.41 %/°C	
Απόκλιση τάσης ανοιχτού κυκλώματος	-233 mV/°C	
Απόκλιση ρεύματος sc	6.1mA mV/°C	



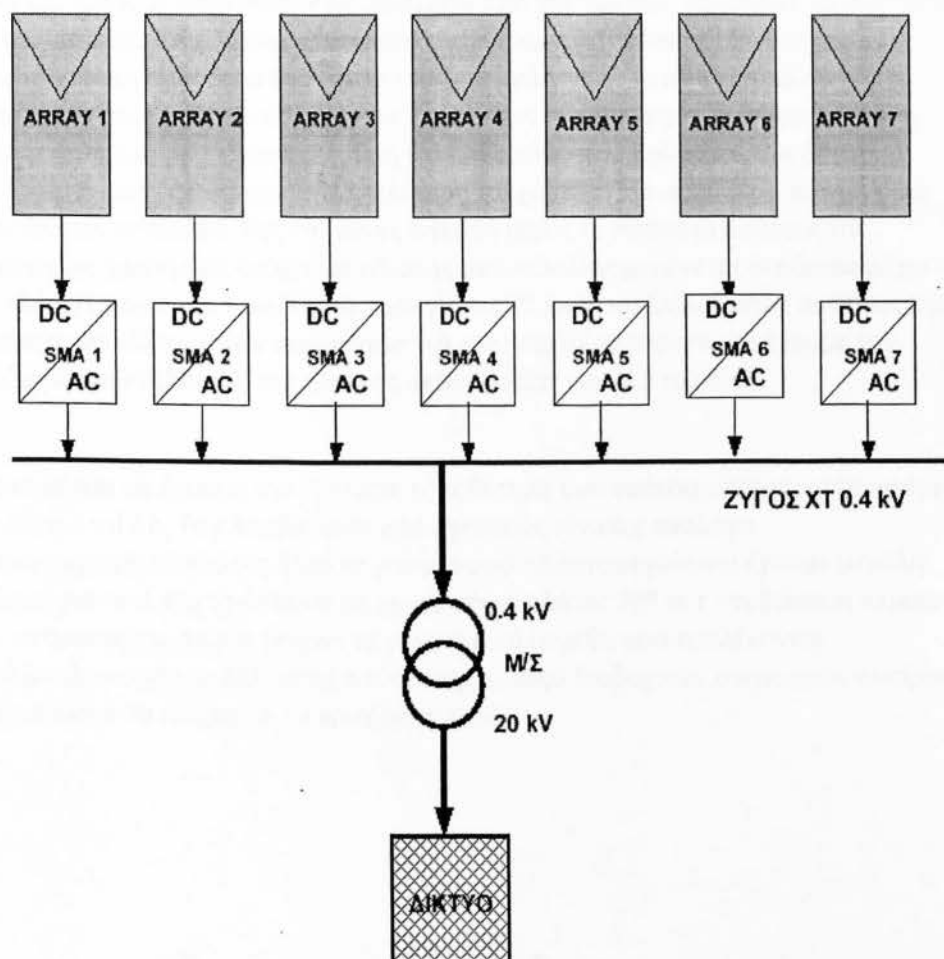
### 2.3.8 Μονογραμμικό σχέδιο

Ακολούθως παρουσιάζεται το μονογραμμικό σχέδιο που αντιστοιχεί σε μια φβ γεννήτρια καθώς και το σχέδιο ολόκληρης της εγκατάστασης.



Στο σχήμα φαίνεται η διάταξη της μιας εκ των 7 φβ γεννητριών/ συστοιχιών. Η συστοιχία χωρίζεται σε 2 υποσυστοιχίες. Οι αλυσίδες των υποσυστοιχιών συνδέονται μεταξύ τους στα κυττα παραλληλισμού και ελέγχου. Κατόπιν η γραμμές καταλήγουν στον μετατροπέα dc/ac. Η έξοδος του μετατροπέα καταλήγει στο ζυγό ΧΤ, όπου συνδέονται και οι υπόλοιποι μετατροπέες

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ 7 X ( 9 s X 26 p)

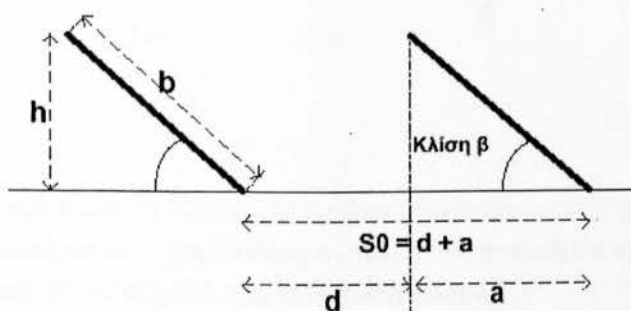


Στο σχήμα φαίνεται η συνολική εικόνα της εγκατάστασης. Οι 7 πανομοιότυπες συστοιχίες συνδέονται κάθε μία σε έναν μετατροπέα. Οι μετατροπείς συνδέονται στους ζυγούς ΧΤ. Διαμέσου του Μ/Σ ανύψωσης τροφοδοτείται το Δίκτυο της ΔΕΗ. Οι διατάξεις προστασίας παραλείπονται.

### 2.3.9 Τοποθέτηση πλαισίων για αποφυγή σκίασης

Παρότι για κάποιο χρονικό διάστημα μετά την ανατολή και αντίστοιχα πριν τη δύση του ηλίου η πίσω συστοιχία σκιάζεται από την αμέσως νοτιότερη, το ποσοστό της μείωσης της διαθέσιμης ημερησίας ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη συστοιχία δεν πρέπει να ξεπερνά το 5%. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί στη μέρα του έτους με τις χειρότερες συνθήκες για τη σκίαση. Αυτή η μέρα είναι η 22η μέρα του Δεκεμβρίου για κάθε τόπο που βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο και ο ήλιος έχει τη χαμηλότερη τροχιά του. Μετά τη μέρα αυτή η σκιά ελαττώνεται σταδιακά. Της επόμενες δηλαδή μέρες το ποσοστό μείωσης της διαθέσιμης ημερησίας ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται σταδιακά μέχρι την ελάχιστη τιμή του που λαμβάνεται για τις 21 Ιουνίου. Επιλέγοντας συνεπώς την βέλτιστη τοποθέτηση των συστοιχιών για την χειρότερη περίπτωση έχουμε την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για όλο το έτος.

Προκειμένου να έχουμε την βέλτιστη τοποθέτηση των συστοιχιών χρησιμοποιούμε τον λόγο  $r = d / h$ . Το  $r$  λαμβάνεται από σχετικούς πίνακες ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος. Όσο το γεωγραφικό πλάτος μεγαλώνει έχουμε μεγάλη αύξηση για το  $d$ . Για την Αθήνα με γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$  το  $r$  λαμβάνεται περίπου 2.6. το παρακάτω σχήμα δείχνει τα γεωμετρικά μεγέθη που εμπλέκονται στον υπολογισμό της βέλτιστης απόστασης μεταξύ διαδοχικών συστοιχιών απείρου μήκους ώστε να πληρείται το κριτήριο του 5%.



Με δεδομένο το  $r = 2.6$  από το σχέδιο 36 γίνεται αντιληπτό ότι καθοριστικό ρόλο για τον υπολογισμό του βέλτιστου  $S0$  έχουν η κλίση των πλαισίων και ο μήκος  $b$ . Τα πλαίσια που έχουμε έχουν μεγάλες διαστάσεις έτσι κάθε συστοιχία, αν τη θεωρήσουμε σε οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να έχει ως πλάτος τη μεγάλη πλευρά του πλαισίου δηλαδή 1.892 m. Η βέλτιστη σταθερή κλίση για την Ελλάδα προκειμένου να έχουμε την καλύτερη ετήσια απόδοση είναι  $30^\circ$ . Επομένως έχουμε:

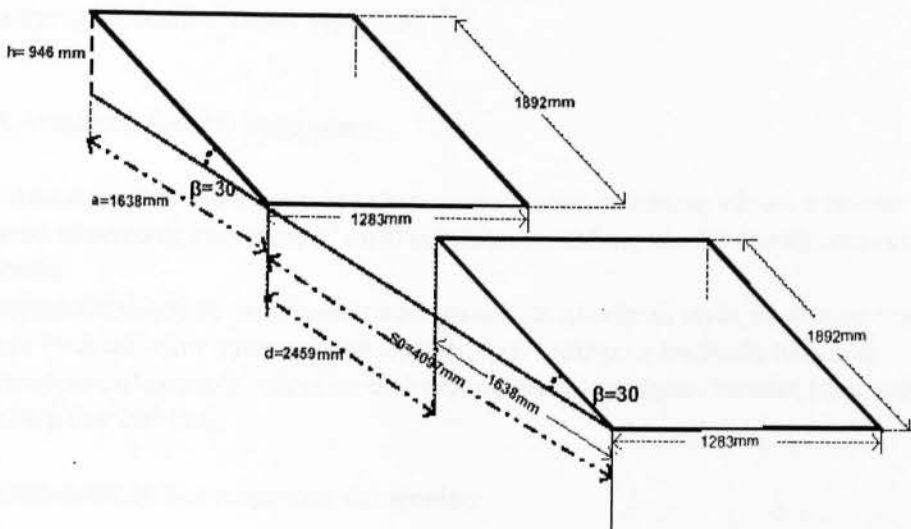
$$r = 2.6, b = 1892\text{mm και } \beta = 30^\circ$$

$$h = b \times \sin 30 = 1892 \sin 30 = 946\text{mm}$$

$$d = r \times h = 2.6 \times 946 \text{ mm} = 2459, 6 \text{ mm}$$

$$a = b \cos 30 = 1892 \cos 30 = 1638.5\text{mm}$$

$$S0 = a + d = 1638.5 + 2459.6 = 4098.1\text{mm} \approx 4\text{m}$$



Τοποθέτηση για αποφυγή σκίασης. Στο σχήμα φαίνονται οι τιμές των αποστάσεων ώστε το ποσοστό μείωσης της διαθέσιμης ημερήσιας ακτινοβολίας να είναι μικρότερο από 5% για τη χειρότερη περίπτωση σκίασης.

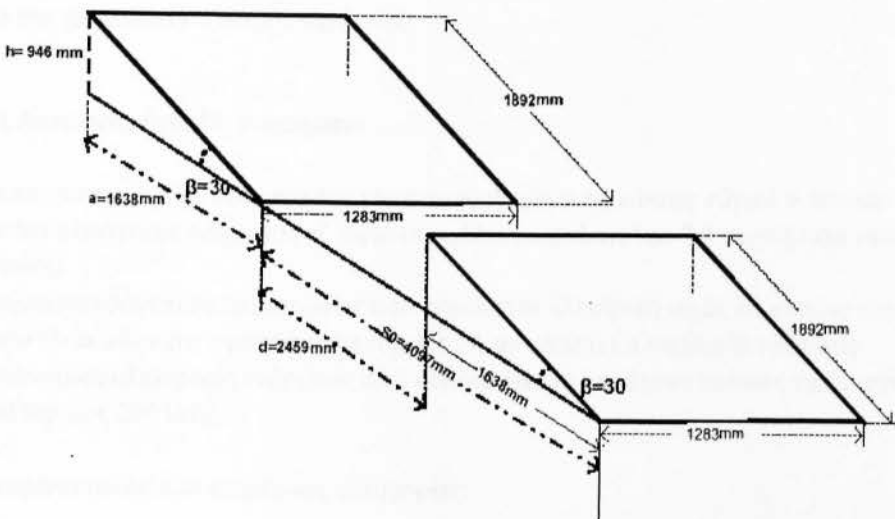
Με αυτήν την επιλογή τοποθέτησης μιας υποσυστοιχίας με 13 παράλληλες αλυσίδες και 9 πλαίσια εν σειρά είναι περίπου 51m και το πλάτος της 11.5m. Άρα η επιφάνεια για την εγκατάσταση της υποσυστοιχίας είναι 586.5m<sup>2</sup>. Έχουμε 14 πανομοιότυπες υποσυστοιχίες άρα η επιφάνεια που χρειάζεται μόνο για τις συστοιχίες ανέρχεται στα 8204m<sup>2</sup>.

Με δεδομένο το  $r = 2.6$  από το σχέδιο 36 γίνεται αντιληπτό ότι καθοριστικό ρόλο για τον υπολογισμό του βέλτιστου  $S_0$  έχουν η κλίση των πλαισίων και ο μήκος  $b$ . Τα πλαίσια που έχουμε έχουν μεγάλες διαστάσεις έτσι κάθε συστοιχία, αν τη θεωρήσουμε σε οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να έχει ως πλάτος τη μεγάλη πλευρά του πλαισίου δηλαδή 1.892 m. Η βέλτιστη σταθερή κλίση για την Ελλάδα προκειμένου να έχουμε την καλύτερη ετήσια απόδοση είναι  $30^\circ$ . Επομένως έχουμε:  
 $r = 2.6$ ,  $b = 1892\text{mm}$  και  $\beta = 30^\circ$   
 $h = b \times \sin 30 = 1892 \sin 30 = 946\text{mm}$

$$d = r \times h = 2.6 \times 946 \text{ mm} = 2459,6 \text{ mm}$$

$$a = b \cos 30 = 1892 \cos 30 = 1638.5\text{mm}$$

$$S_0 = a + d = 1638.5 + 2459.6 = 4098.1\text{mm} \approx 4\text{m}$$



Τοποθέτηση για αποφυγή σκίασης. Στο σχήμα φαίνονται οι τιμές των αποστάσεων ώστε το ποσοστό μείωσης της διαθέσιμης ημερήσιας ακτινοβολίας να είναι μικρότερο από 5% για τη χειρότερη περίπτωση σκίασης.

Με αυτήν την επιλογή τοποθέτησης μιας υποσυστοιχίας με 13 παράλληλες αλυσίδες και 9 πλαίσια εν σειρά είναι περίπου 51m και το πλάτος της 11.5m. Άρα η επιφάνεια για την εγκατάσταση της υποσυστοιχίας είναι 586.5m<sup>2</sup>. Έχουμε 14 πανομοιότυπες υποσυστοιχίες άρα η επιφάνεια που χρειάζεται μόνο για τις συστοιχίες ανέρχεται στα 8204m<sup>2</sup>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Περίληψη

Το κεφάλαιο αυτό μελετώνται τα αυτόνομα φ/β συστήματα και σκοπό έχουν να καλύψουν τις ανάγκες μιας κατανάλωσης η μιας οικίας. Αποτελούνται από τα φ/β πλαίσια τα οποία μέσω του φ/β φαινομένου αποδίδουν την ηλεκτρική ενέργεια από το ηλιακό φως τις μέρας, από τους συσσωρευτές που αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια την οποία εκμεταλλευόμαστε όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παράγωγή και τις ηλεκτρονικές διατάξεις δηλαδή τον μετατροπέα που μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη και τον ρυθμιστή φόρτισης ο οποίος ελέγχει και φορτίζει τις μπαταρίες. Επίσης αναφέρονται τρόποι ελαχιστοποίησης και εξοικονόμησης της κατανάλωσης, πρακτικοί κανόνες για την μεγίστη συλλογή της ηλιακής ενέργειας καθώς και εφαρμογή για την εγκατάσταση αυτόνομου συστήματος για την τροφοδότηση μικρής αγροικίας.

### 3.1 Απομονωμένα ΦΒ συστήματα

Τα απομονωμένα συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα σε κάποιο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό ονομάζονται επίσης και ΦΒ συστήματα εκτός δικτύου.

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που χρειάζεται ηλεκτρική ισχύς σε κάποιο σημείο όπου είναι αδύνατη η μεταφορά ενέργειας ή αν υπάρχει η επιθυμία πλήρους αυτονομίας ηλεκτρικής ενέργειας από κάποιο δίκτυο και έχουν τυπικές τιμές ισχύος 100 Wp έως 200 kWp.

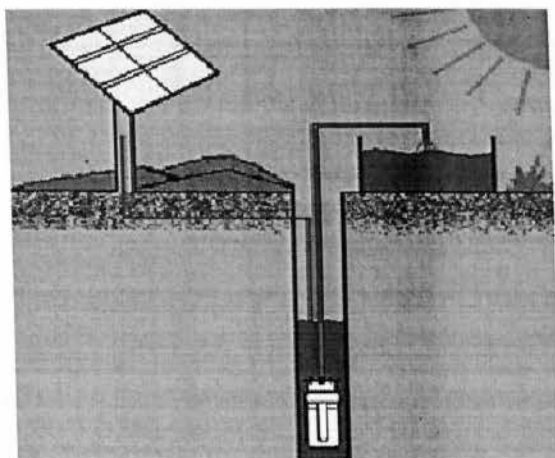
Διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

1. Αυτόνομα ΦΒ συστήματα
2. Υβριδικά ΦΒ συστήματα

#### 3.1.1 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα

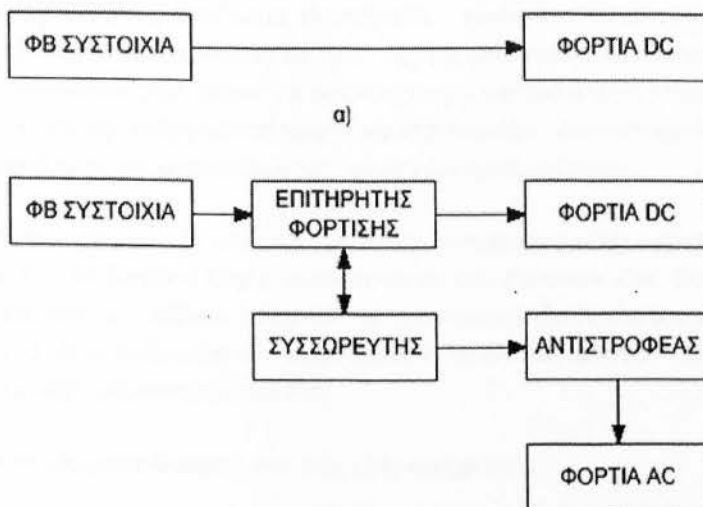
Στα αυτόνομα ΦΒ συστήματα η αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά από ΦΒ συστοιχίες. Η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι άμεση στους καταναλωτές ή μέσω συσσωρευτών. Επίσης, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης τάσης (AC). Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχει διάκριση των αυτόνομων συστημάτων ως εξής:

Άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου (Direct-coupled). Στα συγκεκριμένα συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στο φορτίο και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες δεν απαιτείται τακτική λειτουργία του συστήματος καθώς και σε φορτία συνεχούς ρεύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα συστήματα άντλησης νερού.



Με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδιάζονται σύμφωνα με τις επιθυμητές μέρες αυτονομίας πράγμα το οποίο καθορίζει το μέγεθος των συσσωρευτών. Χαρακτηριστικές εφαρμογές αποτελούν τα ΦΒ συστήματα τροφοδοσίας φωτισμού οδών, διατάξεων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων, τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού σε δύσβατες περιοχές, τροχόσπιτων και φάρων σε θαλάσσιες περιοχές.





Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι :

A. Φ/Β πεδίο

Φ/Β πλαίσια

Σύστημα στήριξης

Καλωδιώσεις

B. Μονάδα μετατροπής ισχύος

Ηλεκτρονικά ελέγχου

(μονάδα ρύθμισης συνεχούς τάσης, προστασία, έλεγχος) Μετατροπέας DC/AC

Γ. Συσσωρευτής

Δ. Φορτίο (Ζήτηση)



### 3.1.2 Μεμονωμένα - αυτόνομα συστήματα

Με τον όρο μεμονωμένα-αυτόνομα συστήματα εννοούμε τα συστήματα αυτά τα οποία λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση συγκεκριμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων χωρίς να συνδέονται με κάποιο άλλο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηριζόμενο έτσι μονάχα στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας και μετατρέποντας την σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εφαρμογή τους ως επί το πλείστον είναι σε απομακρυσμένες περιοχές όπου είτε οι γραμμές του δικτύου λόγω δυσβατοτητας δεν φτάνουν είτε διότι αυτό είναι απλά ασύμφορο. Βέβαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κοντά σε δίκτυο βοηθώντας έτσι στην ελάττωση των καυσαερίων τα οποία παράγουν οι συνήθεις τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Τα αυτόνομα συστήματα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

a) Ευθέως συνδεδεμένα συστήματα συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.)

Αυτός είναι ο απλούστερος τύπος μεμονωμένου - αυτόνομου Φ/Β συστήματος διότι η Φ/Β γεννήτρια συνδέεται ευθέως με τα φορτία Σ.Ρ. χωρίς τη μεσολάβηση συμπληρωματικού εξοπλισμού και βρίσκει εφαρμογή κυρίως στην άντληση νερού, σε συστήματα εξαερισμού κ.α. κάτι που σημαίνει ότι έχει το μικρότερο κόστος και την μεγαλύτερη αξιοπιστία (λόγω ελάχιστων εξαρτημάτων έχει μικρές απώλειες- βλάβες) ένα τέτοιο σύστημα μπορεί κυρίως να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση ενός συγκεκριμένου φορτίου θα πρέπει το εν λόγω φορτίο να μπορεί να τροφοδοτηθεί με Σ.Ρ. , να μην είναι ευαίσθητο σε μεταβολές της τάσης και της έντασης εισόδου του και να είναι ικανό να αντέξει ενδεχόμενη χαμηλή διαθεσιμότητα.

b) Συστήματα Σ.Ρ. με αποθήκευση ενέργειας

Πρόκειται για τον πιο συνηθισμένο τύπο μεμονωμένου - αυτόνομου Φ/Β συστήματος κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας και αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων που αποτελείται από:

- την Φ/Β γεννήτρια,
- τον ελεγκτή φόρτισης,
- την μπαταρία
- και το φορτίο Σ.Ρ.

Ο τύπος αυτός βρίσκει εκτεταμένη εφαρμογή σε μικρότερα ή ειδικού σκοπού Φ/Β συστήματα όπως π.χ σε μικρές οικιακές συσκευές, ειδικά εργοστασιακά συστήματα, τροχόσπιτα κ.α. Φυσικά όλες οι συσκευές που τροφοδοτούνται από ένα τέτοιο σύστημα είναι φορτία Σ.Ρ. που η απόδοσή τους είναι μεγαλύτερη από αυτή των συνηθισμένων συσκευών. Τέλος λόγω των συνδέσεων Σ.Ρ. υψηλής τάσης απαιτείται διαφορετικός τύπος καλωδίωσης και ασφαλειών από τα υπόλοιπα Φ/Β συστήματα καθώς και εντελώς ξεχωριστές τυποποιήσεις που θα πρέπει να ακολουθηθούν.

c) Συστήματα Σ.Ρ. και εναλλασσόμενου ρεύματος (Ε.Ρ.) με αποθήκευση ενέργειας

Αυτά είναι τα περισσότερο ευέλικτα μεμονωμένα - αυτόνομα Φ/Β συστήματα αφού μπορούν να τροφοδοτήσουν οποιαδήποτε συσκευή ( Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή( η Φ/Β γεννήτρια τροφοδοτεί τα φορτία και παράλληλα φορτίζει την μπαταρία κατά την διάρκεια της ημέρας και η μπαταρία με την σειρά της τροφοδοτεί τα φορτία κατά την διάρκεια της νύχτας και σε περιόδους υψηλής συννεφιάς). Αποτελούνται στην πιο συνηθισμένη τους μορφή από:

- την Φ/Β γεννήτρια,
- τον ρυθμιστή φόρτισης,
- την μπαταρία,
- τον αντιστροφέα (Inverter),
- καθώς και τα φορτία.

Σημαντικό σημείο το οποίο δεν θα πρέπει να αγνοηθεί είναι ότι η απόδοση ενός τέτοιου Φ/Β συστήματος εξαρτάται κυρίως από την απόδοση του συμπληρωματικού εξοπλισμού (ως επί το πλείστον του αντιστροφέα και των μπαταριών), αφού ως αναφορά τα φ/β συστήματα αυτά με την ενδεχόμενη χρήση του συστήματος παρακολούθησης της καμπύλης μέγιστη ισχύς του Φ/Β (MPPT Tracker) απορροφούν την μέγιστη ακτινοβολία.

Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.

### 3.1.3 Υβριδικά ΦΒ συστήματα

Όταν η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν καλύπτεται από την ΦΒ συστοιχία σε αυτόνομα ΦΒ συστήματα τότε χρησιμοποιείται ο συνδυασμός της με κάποια άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι πηγές μπορεί να είναι συμβατικών καυσίμων ή από Α.Π.Ε. Κυρίως χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Συχνά στα συστήματα αυτά προβλέπεται αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν εφαρμογές στις οποίες υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με αυτά που προαναφέρθηκαν παραπάνω όπως Ιερές Μονές και εξοχικές κατοικίες.

στη ντιζελογεννήτρια αφού αυτές μειώνουν την απαίτηση να λειτουργεί η ντιζελογεννήτρια υπό συνθήκες μερικής φόρτισης.

Έτσι οι μπαταρίες ικανοποιούν την διακύμανση των ημερήσιων φορτίων, και η ντιζελογεννήτρια φροντίζει για την ικανοποίηση των διακυμάνσεων μεγάλης χρονικής περιόδου.

Για παράδειγμα, η ντιζελογεννήτρια χρησιμοποιείται στην κατάσταση της χειρότερης περίπτωσης καιρικών φαινομένων όπως μια παρατεταμένη συνεφιά κάποιων ημερών ή εβδομάδων.

Η καλύτερη λειτουργία των υβριδικών - αυτόνομων συστημάτων ανεμογεννήτριας - Φ/Β καθώς και η πιο οικονομική λειτουργία τους με την προσθήκη Η/Ζ παρατηρείται στους μήνες της Άνοιξης. Εκείνες οι μέρες είναι αρκετά δροσερές (η απόδοση των Φ/Β ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας) και συνήθως πνέουν ισχυροί άνεμοι.

Ο δρόμος που ακολουθούν οι ακτίνες του ηλίου δεν είναι τόσο μακρύς όπως είναι το Καλοκαίρι, ούτε φυσικά αυτές πέφτουν τόσο πλάγια στη γη όπως πέφτουν το Χειμώνα.

### 3.2 Τρόποι ελαχιστοποίησης κατανάλωσης κατοικίας

#### 3.2.1 Φυσικός δροσισμός - Άνεση χωρίς κόστος

Για να αντιμετωπιστεί η ζέστη και να δροσιστεί η οικία το καλοκαίρι χωρίς να χρειαστεί να προσφύγουμε σε ακριβές και ενεργοβόρες λύσεις ο πιο απλός και αποδοτικός τρόπος να διατηρηθεί το σπίτι δροσερό, είναι να εμποδιστεί η θερμότητα να μπει και να αποθηκευτεί στους εσωτερικούς χώρους, η θερμότητα προέρχεται πρωτίστως από την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω στους τοίχους και τα ανοίγματα και δευτερευόντως από διάφορες άλλες εσωτερικές πηγές (π.χ. φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές, κ.λπ.).

Αυτή η συσσώρευση της θερμότητας στο χώρο της οικίας μπορεί να αποφευχθεί, με τέσσερις διακριτούς τρόπους:

- 1) Ανακλώντας την προσπίπτουσα ακτινοβολία
- 2) Εμποδίζοντας την είσοδο θερμικής ακτινοβολίας
- 3) Απομακρύνοντας την ήδη συσσωρευμένη θερμότητα
- 4) Περιορίζοντας τις εσωτερικές πηγές θερμότητας μέσα στο σπίτι

### 3.2.2 Ανακλώντας την προσπίπτουσα ακτινοβολία

Οι μουντοί σκουρόχρωμοι εξωτερικοί τοίχοι απορροφούν το 70-90% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, με συνέπεια την αποθήκευση θερμότητας η οποία τελικά μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου.

Αντίθετα, οι ανοιχτόχρωμοι τοίχοι ανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μειώνοντας την μετάδοση θερμότητας μέσω των επιφανειών στους εσωτερικούς χώρους. Η θερμοκρασία μιας Επιφάνειας με σκούρο χρώμα μπορεί να φτάσει μέχρι και 27οC υψηλότερα από μια ανοικτού χρώματος επιφάνεια.

Άλλη σημαντική οδός για την απορρόφηση και τη μετάδοση της θερμότητας είναι η οροφή. Και πάλι, μια ανοιχτόχρωμη οροφή (ή και μια οροφή μονωμένη με ανακλαστική μεμβράνη ή ακόμη καλύτερα μία πράσινη' φυτεμένη στέγη) βοηθά να κρατηθεί η οικία πιο δροσερή. Η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους μέσω των διαφανών επιφανειών συμβάλει κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην θερμική δυσaréσκεια το καλοκαίρι και την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη. Μέχρι και 40% της συσσωρευμένης θερμότητας μπορεί να φτάσει στο εσωτερικό του σπιτιού σας μέσω των υαλοπινάκων. Η χρήση ανακλαστικών μεμβρανών στα υαλοστάσια ή ακόμη καλύτερα η εγκατάσταση υαλοπινάκων χαμηλής εκπεμφιμότητας (low-e) αποτελεί μια αποτελεσματική λύση. Το επιπλέον κόστος για την τοποθέτηση ειδικών υαλοστασίων θα το αποσβεσθεί ούτως ή άλλως από την εξοικονόμηση που θα υπάρξει στον κλιματισμό.

### 3.2.3 Εμποδίζοντας την είσοδο θερμικής ακτινοβολίας

Υπάρχουν δύο άριστοι τρόποι να εμποδιστεί η θερμότητα να μπει στην οικία το καλοκαίρι. Οι τρόποι αυτοί είναι η θερμομόνωση και η σκίαση. Αν η οικία (η συγκεκριμένη που μελετάμε είναι παλαιότερη) χτίστηκε μετά το 1978, τότε, εκτός απρόοπτου διαθέτει επαρκή θερμομόνωση.

Όμως, τα περισσότερα σπίτια στην Ελλάδα χτίστηκαν πριν την εφαρμογή των σχετικών κανονισμών θερμομόνωσης. Επτά στα δέκα σπίτια είναι λοιπόν απροστάτευτα στο κρύο και τη ζέση. Μια επιλογή που αξίζει προσοχής, χωρίς να χρειαστεί το γκρέμισμα τοίχων, είναι η εξωτερική θερμομόνωση. Αρκετές εταιρίες παρέχουν σήμερα προϊόντα εξωτερικής μόνωσης που μπορούν να βοηθήσουν στην βελτίωση την ενεργειακής συμπεριφοράς της εν λόγω κατοικίας.

Το κόστος της επέμβασης αυτής είναι βεβαίως σημαντικό, αλλά μπορεί να συνδυαστεί με τις εργασίες ανακαίνισης ή συντήρησης των εξωτερικών όψεων του κτιρίου. Ο εξωτερικός σκιασμός είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος περιορισμού της εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση της θερμότητας, στους εσωτερικούς χώρους. Προτεραιότητα πρέπει δίνεται στον σκιασμό των διαφανών και μετά των αδιαφανών επιφανειών.

Η σκίαση μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της θερμοκρασίας μέσα στην κατοικία έως και κατά 11 βαθμούς. Η σκίαση μπορεί να γίνει είτε με την κατάλληλη φύτευση δέντρων και φυτών, είτε με κατάλληλα σκιάστρα τα οποία παρέχονται σε μεγάλη ποικιλία και εύρος τιμών. Τα σκιάστρα αυτά μπορεί να είναι από απλές τέντες έως ειδικά σχεδιασμένα μεταλλικά σκιάστρα που επιτυγχάνουν άριστα αποτελέσματα.

Με την κατάλληλη προσαρμογή ανάλογα με τον προσανατολισμό, δηλαδή οριζόντια σκιάστρα για τα νότια ανοίγματα και κατακόρυφα για τα ανατολικά και τα δυτικά.

Η σωστή χρήση των δέντρων για σκίαση μπορεί να μειώσει τα έξοδα για κλιματισμό κατά 15-50%. Ακόμη κι αν κάποιο δέντρο σκιάζει απλώς την εξωτερική μονάδα ενός κλιματιστικού, αυτό μπορεί να σημαίνει μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 10%, λόγω της βελτιωμένης απόδοσης λειτουργίας της μονάδας. Ακόμη είναι προτιμότερα, τα φυλλοβόλα δέντρα που εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο χώρο σας το καλοκαίρι, όχι όμως και το χειμώνα που η ηλιακή ακτινοβολία είναι χρήσιμη (λόγω της πτώσης των φύλλων). Τα δέντρα θα πρέπει να σκιάζουν την ανατολική, δυτική και νότια πλευρά του κτιρίου, ώστε να εμποδίζουν τις ακτίνες του ήλιου αργά το πρωί, το μεσημέρι και το απόγευμα αντιστοίχως. Τις ζεστές καλοκαιρινές μέρες, ένα δέντρο που σκιάζει την υπό μελέτη κατοικία αντιστοιχεί με 5 κλιματιστικά που λειτουργούν για 20 ώρες. Τρία δέντρα κατάλληλα φυτεμένα μπορούν να μειώσουν την ενέργεια για δροσισμό έως και κατά 50%.

### 3.2.4 Απομακρύνοντας την ήδη συσσωρευμένη θερμότητα

Γνωρίζοντας ότι τίποτε δεν είναι πιο ευχάριστο μια ζεστή μέρα από ένα δροσερό αεράκι είναι ουσιώδες να δημιουργηθούν κάποια ρεύματα αέρα στην υπό μελέτη κατοικία. Όπου είναι δυνατό, να αεριστούν τα δωμάτια τη νύχτα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλή, αποβάλλοντας έτσι τη θερμότητα που συσσωρεύεται στους εσωτερικούς χώρους κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο διαμπερής νυχτερινός δροσισμός μπορεί να μειώσει το ψυκτικό φορτίο ενός κτιρίου μέχρι 80%! Για την ενίσχυση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα και για την αποτελεσματικότερη επίτευξη του δροσισμού είναι προτιμότερη η εγκατάσταση κάποιου συστήματος μηχανισμού αερισμού. Επιπλέον, ένα τέτοιο σύστημα ανανεώνει και τον αέρα της οικίας, ο οποίος, σημειωτέον, είναι συνήθως ιδιαίτερα επιβαρυσμένος με τοξικούς ρύπους, αλλεργιογόνες ουσίες και ραδόνιο. Ο πιο απλός και φθηνός τρόπος μηχανικού αερισμού είναι με ανεμιστήρες, κατά προτίμηση οροφής, που δημιουργούν ένα ευχάριστο ρεύμα αέρα γύρω από το ανθρώπινο σώμα.

#### Ανεμιστήρες οροφής

Την περίοδο του Καλοκαιριού όλοι αναζητούν τη δροσιά λόγω της υπερβολικής ζεστής, έτσι πολλοί καταφεύγουν στη λύση του κλιματιστικού μη δίνοντας την απαιτούμενη προσοχή και αφήνοντας αναξιοποίητη μια συσκευή φιλική προς το περιβάλλον, ενώ συγχρόνως είναι κατά πολύ οικονομικότερη.

Οι ανεμιστήρες οροφής βελτιώνουν σημαντικά τις συνθήκες θερμικής άνεσης, επιτρέποντας έτσι σε αυτόν που την χρησιμοποιεί να αισθάνεται άνετα μέχρι και τους 29οC.

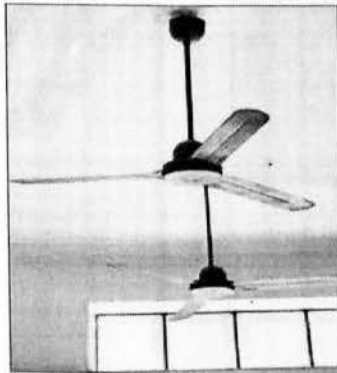
Ακόμα και στις περιπτώσεις που ο χώρος είναι κλιματιζόμενος, με την χρήση ανεμιστήρων οροφής η κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη του ψυκτικού φορτίου ενός χώρου μειώνεται κατά 28-40%, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες όπου βρίσκεται το κτίριο.

Ένας ανεμιστήρας οροφής έχει χαμηλό αρχικό κόστος (20-100 €), ενώ μόλις που καταναλώνει την ενέργεια που χρειάζεται ένας κοινός λαμπτήρας.

Αντιθέτως, τα ενεργοβόρα κλιματιστικά μπορούν να αυξήσουν το λογαριασμό ηλεκτρικού έως και κατά 50% τους θερινούς μήνες.

Το όφελος της χαμηλότερης κατανάλωσης των ανεμιστήρων δεν είναι μόνο οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό, καθώς όσο λιγότερο ηλεκτρισμό καταναλώνουμε, τόσο λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα οι σταθμοί που παράγουν ενέργεια από πετρέλαιο και λιγνίτη.

### 3.2.5 Περιορίζοντας τις εσωτερικές πηγές θερμότητας μέσα στο σπίτι



Ο φωτισμός, αλλά και η χρήση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών μπορούν να ανεβάσουν αισθητά τη θερμοκρασία μέσα στο χώρο και αυτό είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητο τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού. Το πρόβλημα μετριάζεται με την χρησιμοποίηση λαμπτήρων και συσκευών που εξοικονομούν ενέργεια. Ένας κλασικός λαμπτήρας πυρακτώσεως, για παράδειγμα, μετατρέπει το 80% περίπου της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα την οποία ακτινοβολεί στο χώρο ζεσταίνοντας τον άσκοπα. Χρησιμοποιώντας τους νέους ενεργειακούς λαμπτήρες (π.χ. συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού) οι οποίοι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση (περίπου 10 φορές μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καταναλώνουν μόνο το 20% της αντίστοιχης ηλεκτρικής ενέργειας των κοινών λαμπτήρων πυρακτώσεως), είναι προτιμότερη λοιπόν η αποφυγή αυτής της επιπλέον θερμότητας ένας βοηθητικός τρόπος αποφυγής της θερμότητας είναι με την αξιοποίηση στο έπακρο τις δυνατότητες φυσικού φωτισμού.



### 3.2.6 Εξοικονόμηση στη θέρμανση

Πάνω από τη μισή ενέργεια που χρειάζεται ένα σπίτι καταναλώνεται για τις ανάγκες της θέρμανσης τους κρύους μήνες του χειμώνα. Πέρα από τη ζεστασιά όμως, αυτό συνεπάγεται έξοδα, αλλά και μια σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος, αφού η θέρμανση αυτή συνήθως παρέχεται από καυστήρες πετρελαίου ή ηλεκτρικό ρεύμα που παράχθηκε με λιγνίτη.

Ευτυχώς όμως, τα πράγματα αλλάζουν.

Η τεχνολογία έχει κάνει άλματα και ο καταναλωτής έχει σήμερα μία πλειάδα επιλογών για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών.

#### Τρόποι θέρμανσης οικίας με καθαρές πηγές ενέργειας:

- Με σύγχρονους καυστήρες βιομάζας.
- Με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. - Με ηλιοθερμικά συστήματα.
- Με υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν τις παραπάνω τεχνολογίες -Τι με συμφέρει περισσότερο;

Με τις σημερινές τιμές καυσίμων, (στις οποίες αναμένεται μάλλον μεγαλύτερη αύξηση παρά ύφεση) οι καλύτερες επιλογές από οικονομική άποψη είναι:

1. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας
2. Βιομάζα
3. Κλιματιστικά
4. Φυσικό αέριο
5. Πετρέλαιο - υγραέριο

Βέβαια, πέραν του κόστους θα πρέπει να συνυπολογίσει κανείς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση της κάθε τεχνολογίας (τα κλιματιστικά π.χ. καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται κυρίως από λιγνίτη και άρα επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον).

Όποτε το ερώτημα που προκύπτει είναι:

- Πώς μπορώ να ζεσταθώ εξοικονομώντας ενέργεια;
- Προσαρμόζοντας τις ενδυματολογικές συνήθειες ανάλογα με την εποχή, ακόμα και μέσα στο σπίτι. Τα ρούχα είναι η θερμομόνωση του σώματος. - Αεροστεγανώνοντας τα κουφώματα.

Μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας και βελτιώνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης.

- Συντηρώντας την εγκατάσταση θέρμανσης στο τέλος του χειμώνα. Έτσι βελτιώνεται η απόδοση, μειώνεται η κατανάλωση καυσίμων και η ρύπανση της ατμόσφαιρας και ο εξοπλισμός έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Αντικαταστήνοντας το λέβητα πετρελαίου με λέβητα φυσικού αερίου ή βιομάζας.



- Εγκαταστώντας ένα σύστημα αντιστάθμισης σε πολυκατοικίες για την αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας του προσαγόμενου θερμού νερού στα καλοριφέρ, σε συνάρτηση με την εξωτερική θερμοκρασία και την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία.
- Εγκαταστώντας θερμοστάτες χώρου στην περίπτωση μονοκατοικίας.  
Σε πολυκατοικίες πρέπει να γίνει ταυτόχρονη εγκατάσταση σε συνδυασμό με θερμιδομετρητές. Η θερμοστατική ρύθμιση της θέρμανσης βελτιώνει τις συνθήκες άνεσης και μειώνει την κατανάλωση. Ρυθμίζοντας τον θερμοστάτη σε χαμηλότερη θερμοκρασία το βράδυ ή όταν σε περίπτωση απουσίας για αρκετές ώρες. Για κάθε βαθμό που χαμηλώνει ο θερμοστάτης γίνεται εξοικονόμηση 1-2%.
- Αποφεύγοντας τις συχνές ρυθμίσεις του θερμοστάτη διατηρώντας την θερμοκρασία σχετικά σταθερή.
- Απομονώνοντας τους χώρους που δεν χρησιμοποιούνται ρυθμίζοντας τον διακόπτη στα σώματα του καλοριφέρ.
- Ανοίγοντας τις κουρτίνες και τα σκίαστρα στα νότια παράθυρα ούτως ώστε να επιτρέπει στον ήλιο να περάσει στους εσωτερικούς χώρους.
- Κλείνοντας τα εξωτερικά παραθυρόφυλλα το βράδυ ή όταν φυσάει πολύ.
- Κλείνοντας την πεταλούδα της καμινάδας του τζακιού όταν δεν χρησιμοποιείται.
- Εξαερώνοντας περιοδικά τα καλοριφέρ. Χωρίς να τα σκεπάζετε.
- Με καλή θερμομόνωση επιτυγχάνετε σημαντική οικονομία σε ενέργεια και χρήματα. Μονώνοντας την σκεπή, την πυλωτή, το λέβητα και τις εξωτερικές σωληνώσεις της κεντρικής θέρμανσης.
- Βάζοντας έξυπνα παράθυρα και υαλοστάσια (ιδίως στα βόρεια ανοίγματα).
- Διαστασιολογώντας σωστά τις εγκαταστάσεις θέρμανσης αφότου εφαρμοστούν όλες οι επεμβάσεις εξοικονόμησης

### 3.2.7 Διαρροή ηλεκτρικής ενέργειας από συσκευές "σε αναμονή"

Ένα σύνηθες πρόβλημα που προκύπτει όσον αφορά την κατανάλωση αφορά τις συσκευές που είναι στην αναμονή που συνήθως αφήνονται έτσι όταν φύγουμε από το σπίτι σε αυτήν την περίπτωση το ρολόι της ΔΕΗ συνεχίζει να γράφει κιλοβατώρες με αποτέλεσμα ο επόμενος λογαριασμός να έρθει κατά τι φουσκωμένος και μάλιστα εν αγνοία της αιτίας.

Όχι δεν είναι η ΔΕΗ που κλέβει. Απλά υπάρχει "διαρροή" ηλεκτρικού ρεύματος από διάφορες συσκευές που βρίσκονται στην συγκεκριμένη οικία.

Για παράδειγμα, η τηλεόραση, το βίντεο, ο φορτιστής του κινητού, το στερεοφωνικό, ο υπολογιστής στην Αναμονή, αυτά εργάζονται αδιάκοπα, χωρίς μάλιστα να είναι χρήσιμα εκείνη τη στιγμή. Βρίσκονται "σε κατάσταση αναμονής" (stand-by), περιμένοντας το πάτημα ενός κουμπιού στο τηλεκοντρόλ ή στο πληκτρολόγιο για να παρέχουν τις υπηρεσίες που αναμένονται απ' αυτά.

Αντί της συνήθους σκέψης "δεν βαριέσαι", είναι προτιμότερο να προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε το μέγεθος των απωλειών:

Το 5-10% της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα μέσο ευρωπαϊκό νοικοκυριό καταναλώνεται από ηλεκτρικές συσκευές "σε κατάσταση αναμονής".

Με άλλα λόγια, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι συσκευές σε κατάσταση ύπνωσης καταναλώνουν όση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνει μια χώρα σαν την Ελλάδα για να καλύψει όλες τις ανάγκες! Αυτό σε απλά ελληνικά λέγεται σπατάλη. Και η σπατάλη αυτή δεν κοστίζει μόνο σε χρήμα. Έχει και σοβαρότατες επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ποιότητα της ζωής μας.

Ας πούμε τα πράγματα με το όνομά τους. Κλείνοντας την τηλεόραση από τον κεντρικό διακόπτη και όχι από το τηλεχειριστήριο, μπορεί να υπάρξει κερδος έως και 17 ευρώ από το λογαριασμό του ηλεκτρικού το χρόνο.

Ταυτόχρονα, με την ίδια κίνηση αποφεύγεται η έκλυση στην ατμόσφαιρα μέχρι και 207 κιλών διοξειδίου του άνθρακα ετησίως.

Πολλές ηλεκτρικές συσκευές καταναλώνουν ενέργεια διαρκώς, εν αγνοία μας. Το ηλεκτρικό ρεύμα που απορροφάται από συσκευές σε κατάσταση αναμονής είτε δε χρησιμεύει σε τίποτα, είτε εξασφαλίζει ασήμαντες λειτουργίες, όπως την άμεση ανταπόκριση στις εντολές του τηλεχειριστηρίου ή τη λειτουργία ενός ρολογιού.

Περίπου το 1,5% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα καταναλώνεται από ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής (stand by).

Η ενέργεια αυτή ευθύνεται για την εκπομπή 600.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Είναι λοιπόν προτιμότερο να κλείσουν όπου είναι δυνατό, οι συσκευές από τον κεντρικό διακόπτη ή να βγουν από την πρίζα όταν δεν λειτουργούν και να μην μένουν σε αναμονή.

Μία τέτοια απλή κίνηση προστατεύει το περιβάλλον και μειώνει το λογαριασμό του ηλεκτρικού, επειδή πολλές φορές δεν είναι δυνατή η παρέμβαση του καταναλωτή σε κάποιες συσκευές, η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπαθεί να περιορίσει τις διαρροές βάζοντας αυστηρότερες προδιαγραφές στους κατασκευαστές.

### **3.3 Συστήματα εγκατάστασης ΦΒ πλαισίων σε κτίρια.**

Η εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων σε ορισμένη επιφάνεια του κτιρίου, συγκεκριμένου υλικού κατασκευής και προσανατολισμού, προϋποθέτει την ύπαρξη του κατάλληλου συστήματος προσαρμογής. Υπάρχουν συστήματα τα οποία εγκαθίστανται είτε πάνω στην επιφάνεια των ήδη υπαρχόντων συμβατικών υλικών των επιφανειών του κτιρίου (υπάρχοντα κτίρια) είτε αποτελούν μέρη της κατασκευής του, κυρίως στην περίπτωση νέων ανεγερθέντων κτιρίων. Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να γίνει κάποια μετατροπή ήδη υπαρχόντων υλικών του κτιρίου για την εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν ορισμένα συστήματα κουφωμάτων-στήριξης υαλοπινάκων στα οποία είναι εφικτό να ενσωματωθούν με ελάχιστες τροποποιήσεις συγκεκριμένα ΦΒ πλαίσια. Ένα σύστημα εγκατάστασης θα πρέπει να εξασφαλίζει: Μηχανική αντοχή για το συνολικό βάρος που είναι εγκατεστημένο σε αυτό με γνώμονα τα τοπικά έντονα καιρικά φαινόμενα.

Επαρκή αερισμό του πίσω μέρους των ΦΒ πλαισίων στην περίπτωση των αδιαφανών πλαισίων με σκοπό την βελτίωση του βαθμού απόδοσης τους. Το παραπάνω εξασφαλίζεται διατηρώντας απόσταση από την επιφάνεια του κτιρίου.

Κατάληψη όσο το δυνατόν μικρότερου επιπλέον μέρους της επιφάνειας δεδομένου ότι είναι ιδιαίτερα περιορισμένη στα κτίρια.

Ομοιομορφία στην συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων. Μέσω του παραπάνω εξασφαλίζεται ομοιόμορφη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα ΦΒ πλαίσια που ανήκουν στην ίδια συστοιχία.

Εύκολη εξαγωγή και αντικατάσταση ΦΒ πλαισίου σε περίπτωση σφάλματος.

### **3.3.1 Πλεονεκτήματα ενσωμάτωσης ΦΒ συστημάτων σε κτίρια**

Η ενσωμάτωση ΦΒ συστημάτων σε κτίρια διακρίνεται για επιπρόσθετα πλεονεκτήματα εκτός των γενικών πλεονεκτημάτων των ΦΒ συστημάτων. Αυτά είναι:

Άμεση παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στον τόπο της ζήτησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών απωλειών μεταφοράς. Αντικατάσταση συμβατικών οικοδομικών υλικών. Τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να αντικαταστήσουν συμβατικά οικοδομικά υλικά με επιπρόσθετο όφελος την μείωση του κόστους ενσωμάτωσης τους

Ενσωμάτωση σε υπάρχουσες επιφάνειες του κτιρίου χωρίς την απαίτηση επιπλέον γης. Οπότε η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Είναι ικανή να καλύψει, αν όχι ολόκληρο, μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

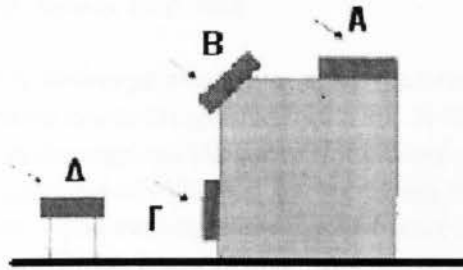
Ο έλεγχος και η συντήρηση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι εφικτό να ενσωματωθεί με τον έλεγχο και την συντήρηση του υπολοίπου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Σε συνδυασμό με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό κυρίως στην ανέγερση νέου κτιρίου μπορεί να συμβάλλει στην περαιτέρω μείωση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Μπορεί να συμβάλλει στην βελτίωση της αισθητικής του κτιρίου με καινοτόμο τρόπο.

### **3.3.2 Καθορισμός επιμέρους επιφανειών του κτιρίου.**

Ο τρόπος ενσωμάτωσης ΦΒ συστημάτων σε κτίρια αναφέρεται, κυρίως, στην ενσωμάτωση ΦΒ πλαισίων στις επιφάνειες ενός κτιρίου. Δηλαδή στις όψεις του και στο δώμα ή σκεπή (σχ.3.1 Α και Γ). Επίσης, συμπεριλαμβάνονται και ενδεχόμενες κεκλιμένες επιφάνειες, όπως σκιάστρα, καθώς και εξωτερικές ανεξάρτητες κατασκευές, όπως θέσεις στάθμευσης (σχ.3.1 Β και Δ), οι οποίες μπορούν να συνυπολογιστούν.



### Διαθέσιμες επιφάνειες κτιρίου

Κάθε επιφάνεια του κτιρίου είναι πιθανό να περιλαμβάνει επιμέρους επιφάνειες στις οποίες μπορούν να εγκατασταθούν ΦΒ στοιχεία. Για παράδειγμα, στο δώμα μπορεί να υπάρχουν φεγγίτες ή παράθυρα οροφής και στις όψεις γυάλινες επιφάνειες ή σκίαστρα. Ιδιαίτερα σε γυάλινα κτίρια, οι όψεις είναι πιθανό να αποτελούνται αποκλειστικά από αδιαφανείς, ημιδιαφανείς και διάφανες γυάλινες επιφάνειες. Τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά υλικά των παραπάνω επιφανειών ανάλογα με τον τύπο τους.

### 3.3.3 Σκίαση των επιφανειών

Σημαντικός περιοριστικός παράγοντας στον υπολογισμό της διαθέσιμης επιφάνειας για εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων για κάθε επιμέρους όψη του κτιρίου, και κατ' επέκταση τη συνολική, αποτελεί η σκίαση τους. Σκίαση μπορούν να προκαλέσουν «εμπόδια» όπως γειτονικά κτίρια, δέντρα, μέρη του ίδιου του κτιρίου ή ακόμη και γειτονικά ΦΒ πλαίσια. Η σκιά μειώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό την συνολική ηλιακή ακτινοβολία αλλά και προκαλεί προβλήματα στην λειτουργία των ΦΒ πλαισίων. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο κατά τους χειμερινούς μήνες κατά τους οποίους το ηλιακό ύψος είναι μικρό. Ο υπολογισμός των επιφανειών που σκιάζονται μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση του ηλιακού χάρτη ή με την χρήση λογισμικού προσομοίωσης.

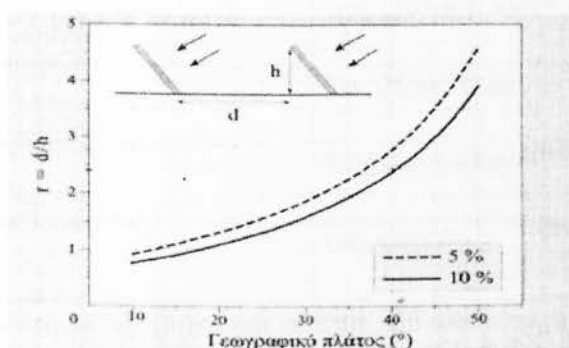
### 3.3.4 Εγκατάσταση στο δώμα.

Η εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων στην αδιαφανή επιφάνεια του δώματος διακρίνεται από το πλεονέκτημα της επιλογής του προσανατολισμού τους. Επομένως μπορούν να ενσωματωθούν οριζόντια ή με κλίση. Όπως είναι γνωστό, με την τοποθέτηση με συγκριμένο προσανατολισμό δίνεται η δυνατότητα της καλύτερης δυνατής απολαβής ηλεκτρικής ακτινοβολίας. Δηλαδή με νότιο προσανατολισμό και κλίση ανάλογη με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και την επιθυμία της περιόδου μέγιστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων με κλίση είναι πολύ σημαντική καθώς πρέπει να εξασφαλίζει την μη σκίαση των συστοιχιών μεταξύ τους. Το παραπάνω εξασφαλίζεται με τον υπολογισμό της ελάχιστης απόστασης μεταξύ των συστοιχιών. Η ελάχιστη απόσταση αποτελεί συνήθως και την απόσταση εγκατάστασης για καλύτερη εκμετάλλευση. Αφού υπολογιστούν οι επιφάνειες οι οποίες δεν σκιάζονται από άλλα εμπόδια μπορούν να υπολογιστούν οι αποστάσεις των συστοιχιών. Επίσης πρέπει να συνυπολογίζεται και μία απόσταση από τα όρια της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας (συνήθης τιμή 1.5m). Συνεπώς, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών καθορίζει τον αριθμό των πλαισίων και κατά συνέπεια της συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων.

Η ελάχιστη απόσταση ( $s$ ) υπολογίζεται βάσει του λόγου του διακένου ( $d$ ) μεταξύ δύο συστοιχιών προς το ύψος τους ( $h$ ). Ο λόγος προκύπτει βάσει της γραφικής παράστασης του σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και αναφέρεται στην κλίση για μέγιστη απόδοση το χειμώνα ( $\beta = \lambda + 15^\circ$ ).

Η γραφική παράσταση δίνει δύο τιμές ανάλογα με τον επιθυμητό μέγιστο ποσοστό των απωλειών 5% και 10% κατά την παραπάνω κλίση. Η απόσταση υπολογίζεται από την σχέση:  $s = r \cdot h + b \cdot \text{συν}\beta$



Γραφική παράσταση του λόγου  $r$  σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

### 3.3.5 Πολυλειτουργικότητα των ΦΒ πλαισίων

Τα ενσωματωμένα σε κτίρια ΦΒ πλαίσια μπορούν να αποτελούν ταυτόχρονα ενεργά στοιχεία με την ηλεκτροπαραγωγή αλλά και παθητικά στοιχεία που συντελούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. Το παραπάνω πραγματοποιείται κυρίως από ΦΒ πλαίσια τα οποία επιτρέπουν την διέλευση φωτός προκαλούν σκίαση ή ενισχύουν τον αερισμό των εσωτερικών χώρων.

Ακόμα, υπάρχουν υβριδικά ΦΒ - θερμικά συστήματα, τα οποία αξιοποιούν την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα ΦΒ πλαίσια για την θέρμανση αέρα ή νερού βελτιώνοντας ταυτόχρονα τον στιγμιαίο συντελεστή απόδοσης του πλαισίου. Η διττή λειτουργικότητα επιτυγχάνεται εν μέρει και με συμβατικά ΦΒ πλαίσια με την σωστή αξιοποίησή τους. Όμως, υπάρχουν ειδικά πολυχρηστικά ΦΒ πλαίσια τα οποία είναι κατασκευασμένα για ορισμένα τρόπο χρήσης, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις μηχανολογικές και πρακτικές απαιτήσεις ενός κτιρίου πληρώντας πάντα τις οδηγίες περί κατασκευής κτιρίων.

### 3.3.6 Τύποι ΦΒ πλαισίων κατάλληλα για ενσωμάτωση σε κτίρια

Τα ΦΒ πλαίσια, σε μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών, είναι κατασκευασμένα για εξωτερική χρήση. Δηλαδή χαρακτηρίζονται από αντοχή στην έκθεση σε καιρικά φαινόμενα όπως η ιδιαίτερα χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία, η βροχή, ο αέρας, η υγρασία, η χαλαζόπτωση και το χιόνι, στις εργαστηριακές συνθήκες των οποίων δοκιμάζονται. Επίσης, οι προδιαγραφές τους περιλαμβάνουν σε αρκετές περιπτώσεις, εκτός των ηλεκτρικών, την μηχανική αντοχή σε ορισμένα από τα παραπάνω (πίνακας 3.1).

Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-40οC έως +90 οC
Ταχύτητα αέρα	έως 130km/h =800Pa
Χαλαζόπτωση	Έως 25mm διάμετρο και 23m/s
Φορτίο χιονιού	5400Pa≈ 550kg/m <sup>2</sup>
Σχετική υγρασία	0 έως 100%

Παράδειγμα προδιαγραφών μηχανικής αντοχής ΦΒ πλαισίου μαζί με το περίβλημα του κατά IEC 61215

Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης ΦΒ πλαισίων σε κτίρια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τύπος πλαισίου για τις διάφορες επιφάνειες του. Η κατάλληλη επιλογή πλαισίου, σε συνδυασμό με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του, εξαρτάται κυρίως από την επιθυμητή διαφάνεια, την ποικιλία των διαστάσεων στις οποίες είναι εφικτό να κατασκευαστεί την μηχανική αντοχή, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος εγκατάστασης, και, ενδεχομένως, την όψη.

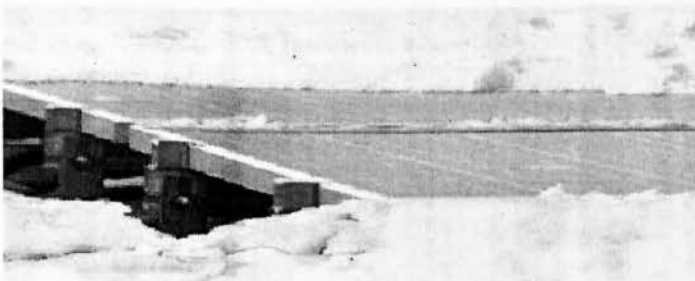
### Δώμα και αδιαφανείς επιφάνειες:

Στις συγκεκριμένες επιφάνειες, εκτός των υαλοπινάκων, ενδείκνυνται οι συνήθεις τύποι ΦΒ πλαισίων. Δηλαδή τα ευρέως γνωστά πλαίσια μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου. Τα τελευταία έχουν σαν σημαντικό πλεονέκτημα το μικρό πάχος και βάρος και μικρές απώλειες λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, η οποία παρατηρείται λόγω ελλιπούς αερισμού κυρίως στην εγκατάσταση πάνω ή σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια. Συχνά, όμως, οι κατασκευαστές δημιουργούν μια συγκεκριμένη κατηγορία ΦΒ πλαισίων των παραπάνω τύπων η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από μεγαλύτερο συντελεστή πλήρωσης καθώς και από τη δυνατότητα τοποθέτησης στο σύστημα εγκατάστασης χωρίς το περίβλημα τους κάνοντας καλύτερη χρήση της επιφάνειας. Το παραπάνω τα καθιστά ιδανικότερα λόγω της περιορισμένης επιφάνειας.

### Διαφανείς επιφάνειες:

Η διαφάνεια ενός ΦΒ πλαισίου εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του και από την απόσταση μεταξύ των ΦΒ κυψελών. Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνονται τα ΦΒ πλαίσια άμορφου πυριτίου ενώ στην δεύτερη μονοκρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού. Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να κατασκευαστεί ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών ΦΒ πλαισίων ποικίλων διαβαθμίσεων διαφάνειας και, κυρίως, βαθμών απόδοσης. Τα πλαίσια αυτά διαθέτουν ειδικό τύπου γυαλιού στις δύο όψεις τους, το οποίο τα καθιστά ιδανικά για μόνωση. Επιλέγονται για να αντικαταστήσουν κυρίως τους υαλοπίνακες των κτιρίων σύμφωνα με την ποσότητα φωτός, η οποία είναι επιθυμητή να διαπερνά στο εσωτερικό, σε συνδυασμό με τον βαθμό απόδοσης καθώς και της ικανότητας μόνωσης τους

Τέλος, υπάρχουν κατηγορίες ΦΒ πλαισίων για ειδικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν ειδικές επιφάνειες και απαιτούν ΦΒ πλαίσια συγκεκριμένου σχήματος όπως, για παράδειγμα, ορισμένες κεκλιμένες επιφάνειες ή καμπυλωτές επιφάνειες.



Εικόνα 3.3 ΦΒ πλαίσια εγκατεστημένα σε κεκλιμένη οροφή μερικώς καλυμμένα από χιόνι..

### 3.4 Υπολογισμός συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για αυτόνομο Φ/Β σύστημα

Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΦΒ συστήματα εξαρτάται αρχικά από την συνολική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει σε δεδομένη επιφάνεια. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των ενσωματωμένων σε ένα κτίριο ΦΒ συστημάτων η συνολική απολαβή ηλιακής ενέργειας, για συγκεκριμένα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, εξαρτάται με την σειρά της από τον προσανατολισμό του κτιρίου καθώς και από την συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων που υπάρχουν εγκατεστημένα στην επιφάνεια του.

#### 3.4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία

Το φάσμα συχνοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνει συχνότητες με μήκος κύματος από 0,3 έως 1,7 $\mu\text{m}$ , με μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή των 0,5 $\mu\text{m}$ .

Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος (Irradiance) ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετράται σε  $\text{W}/\text{m}^2$ , θα συμβολίζεται δε γενικά με το γράμμα  $G$ .

Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός των Φ/Β συστημάτων στην πράξη βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα μετρήσεων της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της θέσης εγκατάστασης.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, ένα μέρος της απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα κλπ., ένα άλλο διαχέεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απ' ευθείας στην επιφάνεια του συλλέκτη (απ' ευθείας ή ακτινική ακτινοβολία).

Η συνολική ακτινοβολία (global radiation) που φθάνει στην επιφάνεια του συλλέκτη είναι το άθροισμα της ακτινικής ή άμεσης ακτινοβολίας (beam ή direct radiation), που προσπίπτει επί αυτού απ' ευθείας και της διάχυτης ακτινοβολίας (diffuse radiation), που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Επί πλέον, όταν ο συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα (albedoradiation).

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, ιδίως σε όχι πολύ βόρειες περιοχές, προέρχεται από την ακτινική ακτινοβολία, σημαντική όμως είναι και η συμβολή της διάχυτης.



Συμβατικά, ως στοιχείο χαρακτηρισμού της επίδρασης που έχει η ύπαρξη της ατμόσφαιρας, όταν δεν υπάρχουν σύννεφα, λαμβάνεται το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην γήινη ατμόσφαιρα, μέχρι την στάθμη της θάλασσας και ονομάζεται αέριος μάζα (air mass)-AM.

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί μέση τιμή  $G_{sc}=1353W/m^2$ , ονομάζεται ηλιακή σταθερά και σημειώνεται ως AM0.

Το μήκος της αέριας μάζας, αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γης, ισούται με το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας δια του συνημίτονου της ζενιθιακής γωνίας  $\theta_z$ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει η ευθεία γη-ήλιος με την κατακόρυφο (ζενίθ) στο συγκεκριμένο σημείο.

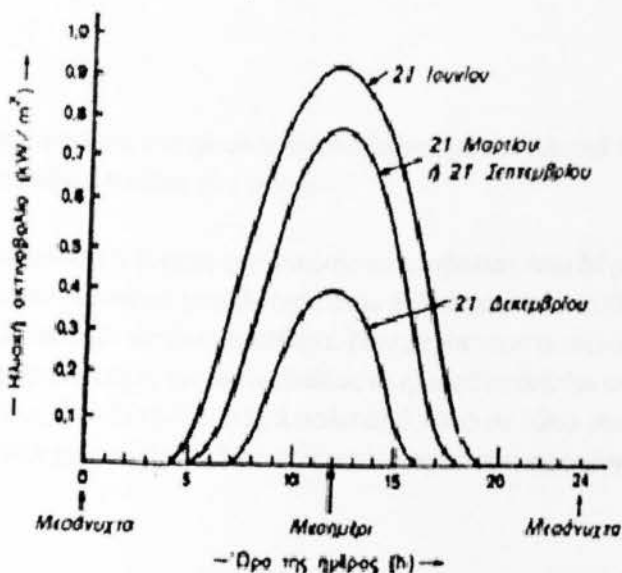
Ηλιακή ακτινοβολία που σημειώνεται AM1,5 με πυκνότητα περίπου  $1000W/m^2$ , η οποία αντιστοιχεί σε μία μέγιστη ακτινοβολία που δέχεται μία κάθετη προς αυτή επιφάνεια υπό τις πιο ευνοϊκές συνθήκες (μεσημέρι καλοκαιριού, καθαρή και ξερή ατμόσφαιρα), ονομάζεται ακτινοβολία ενός ήλιου και χρησιμοποιείται για την έκφραση της ισχύος αιχμής (peak)- $W_p$  των Φ/Β στοιχείων, η οποία και λαμβάνεται ως η ονομαστική ισχύς αναφοράς αυτών.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις.

Αντίθετα η μείωση που υφίσταται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάστασή της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

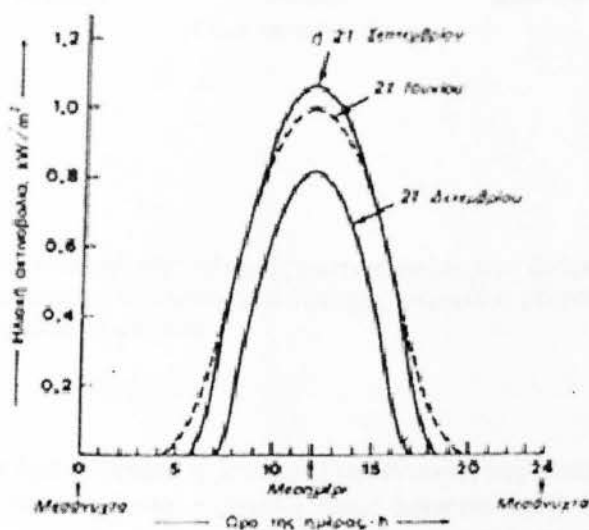
### Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στα Σχ. 6 και 7 φαίνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3



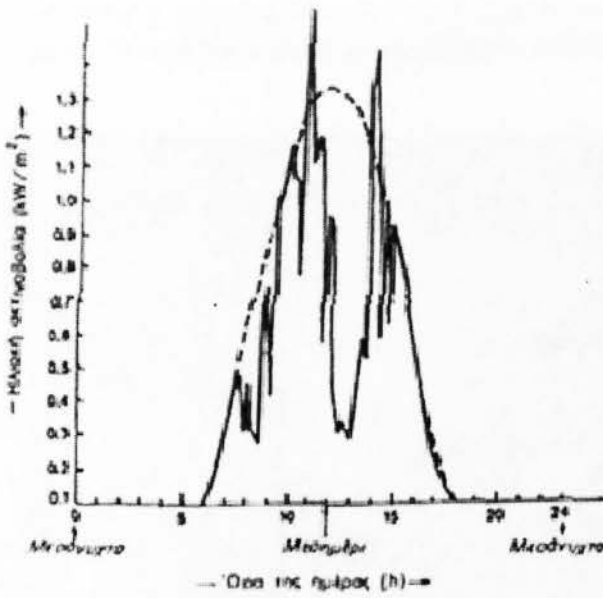
ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12:25 τον χειμώνα, και 13:25 το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα.

Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια τριών χαρακτηριστικών ημερών του έτους (οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές)



Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας με τον ηλιακό συλλέκτη σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτίνων να γίνεται κάθετα. Στην περίπτωση αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει παρά πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή  $1 \text{ kW/m}^2$  αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση.



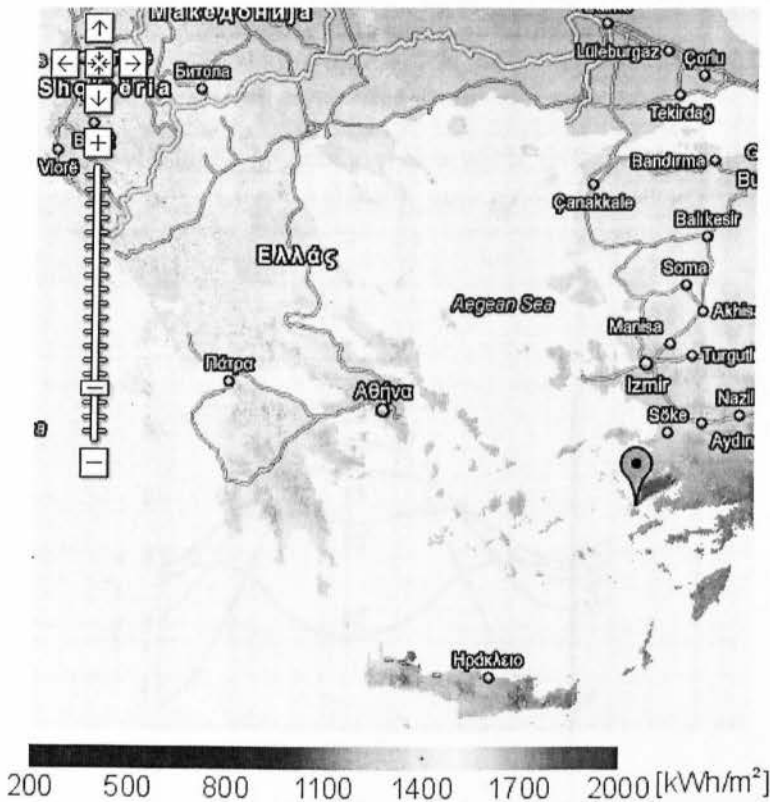
Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη διακύμανση για καθαρό ουρανό

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως φαίνεται στο 8. Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης, το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης καταγράφεται σε μία πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχές ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις επιφάνειες, όμως π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου), διότι τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.

### 3.4.2 Τρόπος Εντοπισμού ηλιακής Πυκνότητας

Όπως γνωρίζουμε η Ελλάδα και ακόμη περισσότερο η Κρήτη είναι μια ηλιόλουστη περιοχή του πλανήτη μας, πράγμα που την κάνει αρκετά κατάλληλη για την χρήση των φωτοβολταϊκών. **Photovoltaic Geographical Information System**



Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας της Ελλάδας

### 3.4.3 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι  $0^\circ$  (προς το νότο). Λόγυν όμως της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου  $10^\circ$  ως  $15^\circ$  μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου  $10^\circ$  ως  $15^\circ$  μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχ. δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους.

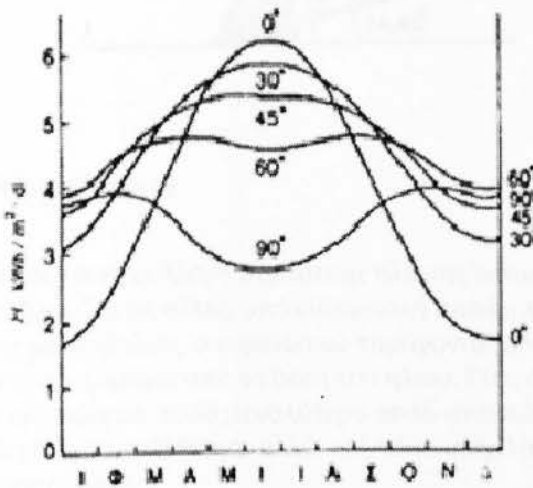
Συνοψίζοντας:

Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ).

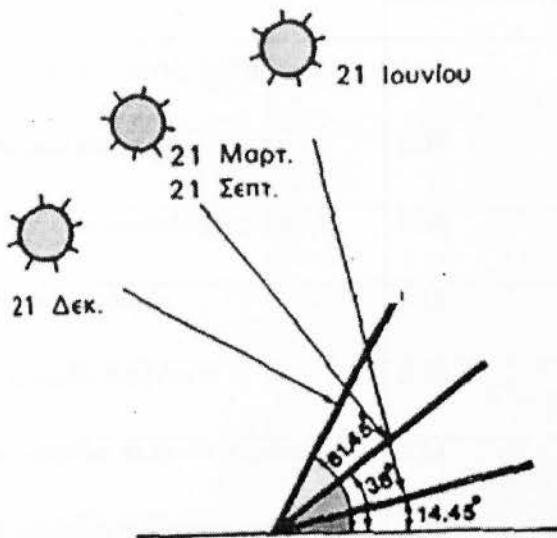
Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ$ - $15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ).

Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου  $10$ - $15$  μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο  $\gamma$ ) είναι νότιος ( $\gamma=0$ ), ενώ απόκλιση κατά  $20^\circ$ - $30^\circ$  από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλεκτικές επιφάνειες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους



### 3.4.4 Βέλτιστες κλίσεις συλλέκτη

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Στον Πίνακα 2 δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορα είδη επιφάνειας

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδη επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0.24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου	0.30
Χιόνι	0.60

3.4.5 Γενικές πληροφορίες <<A>> για την εγκατάσταση αυτόνομου Φ/Β συστήματος - <<B>> Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα

	A: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ		Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος
A1	Τοποθεσία εγκατάστασης:	Κάλυμνος	36.965	26.966
A2	Διάστημα λειτουργίας συστήματος:	12 μήνες το χρόνο		
A3	Βαθμός αυτονομίας σε ημέρες	4		
A4	Τοπολογία εγκατάστασης	Επίπεδη οροφή		

B: ΦΟΡΤΙΑ				
A/A	AC Φορτία - Καταναλώσεις	Ισχύς (w)	Αριθμός καταναλώσεων	Ωρες λειτουργίας ανά ημέρα (h)
1	Τηλεόραση	0.4	1	5
2	Φωτισμός	8	4	5
3	Ψυγείο	140	1	8
4	Ανεμιστήρας οροφής	8	2	3
5	Ραδιόφωνο	2	1	6
Σύνολο:			190.4 w	

Ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση - E <sub>sys</sub> (Wh)	Ημερ. Ενέργ. Κατανάλωση Ωρες ημέρας - E <sub>day</sub> (Wh)	%	Ημερ. Ενέργ. Κατανάλωση Ωρες νύχτας - E <sub>night</sub> (Wh)	%
2	0.6	30	1.4	70
160	32	20	128	80
1120	672	60	448	40
48	48	100	0	0
12	8.4	70	3.6	30
Σύνολο: 1342 Wh	761 Wh	57%	581 Wh	43%

### 3.4.6 Ισχύς Φ/Β πλαισίων <<Γ>> - Επιλογή Φ/Β πλαισίων και σύνδεση

#### Γ. ΙΣΧΥΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

$$P_{PV} = \frac{E_{day} + \frac{E_{night}}{\eta_{bat}}}{G_{mod} \cdot \eta_{sys}}$$



Ppv:	Ισχύς Φ/Β πλαισίων (Wp)	789.8
Eday:	Ημερ.ενεργ.κατανάλωση-Ωρες ημέρας (Wh)	761
Enight:	Ημερ.ενεργ.κατανάλωση-Ωρες νύχτας (Wh)	581
ηbat:	Βαθμός απόδοσης μπαταρίας (%)	90
ηsys:	Βαθμός απόδοσης συστήματος (%)	71
Gmod:	Εκτίμηση ημερήσιας παραγώμενης ενέργειας kWh/kWp	2.5

$$\eta_{sys} = \eta_{PV} * \eta_{PV-bat} * \eta_{CC} * \eta_{bat} * \eta_{DISTR} * \eta_{Inv} = 71(\%)$$

ηPV:	Απόδοση Φ/Β πλαισίων (λόγο ελλειψης MPP tracker) (%)	85
ηPV-bat:	Απόδοση σύνδεσης Φ/Β πλαισίων - συσσωρευτών (%)	97
ηCC:	Βαθμός απόδοσης ρυθμιστή φόρτισης (%)	96
ηDISTR:	Απόδοση σύνδεσης συσσωρευτών - αντιστροφέα (%)	100
ηInv:	Βαθμός απόδοσης αντιστοφέα (%)	100

Δ. ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ - ΣΥΝΔΕΣΗ		
Δ1.	Τύπος Φ/Β πλαισίου:	Stp 085s-12/bp
Δ2.	Ισχύς Φ/Β πλαισίου (Wp):	85
Δ3.	Τάση λειτουργίας Φ/Β πλαισίου (V):	21.9
Δ4.	Ρεύμα βραχυκύκλωσης Φ/Β πλαισίου (A):	5.14
Δ5.	Αριθμός Φ/Β πλαισίων:	10
Δ6.	Τελική ισχύς συστήματος (Wp):	850

### 3.4.7 Ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή <<E>>

Η χρησιμότητα του οποίου είναι να εποπτεύει την διαδικασία φόρτισης από το φβ σύστημα στον συσσωρευτή και την διαδικασία εκφορτίσης από τον συσσωρευτή στην κατανάλωση, ο ρόλος του είναι να διακόπτει το κύκλωμα σε περίπτωση υπερφόρτισης και υπερεκφορτίσης μέσω ηλεκτρονικών διακοπών ή άλλων διατάξεων που ενεργοποιούνται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω κάποια συγκεκριμένα όρια τάσης(setpoints).

Μια μονάδα ελεγχου φόρτισης εκφορτίσης περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (ρέλε) είτε ηλεκτρονικούς ισχύος(mosfet, thyristors, triacs κ.λ.π)όμως σε κάθε περίπτωση στο κύκλωμα αυτό παρεμβάλλεται μια διόδος για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφορτίση.

#### DC-DC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ υποβιβασμού τάσης

Η χρήση του οποίου στο κύκλωμα μας είναι ουσιώδης διότι μέσω αυτού επιτυγχάνουμε τον υποβιβασμό της τάσης στο επίπεδο που θέλουμε (για την σωστή φόρτιση της μπαταρίας μέσω του ρυθμιστή φόρτισης)αλλά και η μεταφορά της

ενέργειας να επιτυγχάνεται με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες όπως επίσης να επιτυγχάνεται η σταθερότητα της τάσης που μας παρέχεται από τα ΦΒ πάνελ. Στο διπλανό σχήμα βλέπουμε μια απλή μορφή του κυκλώματος του μετατροπέα dc-dc για υποβιβασμο τάσης. Όπως υποδηλώνει το όνομα του, η τάση εξόδου είναι πάντα μικροτερη από την τάση εισόδου. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και η είσοδος παρέχει ενέργεια στο πηνίο όσο και στο φορτίο. Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός το ρεύμα του πηνίου ρέει δια της δίοδου μεταφέροντας μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας του στο φορτίο, ο πυκνωτής εξωμάλυνσης θεωρείται πολύ μεγάλος, ώστε να εξασφαλίζει μια σταθερή τάση εξόδου  $u_o(t)=V_o$ .

#### DC-DC Μετατροπέας ανύψωσης τάσης

Όπως υποδηλώνει και το όνομα του, η τάση εξόδου είναι πάντα μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη, απομονώνοντας έτσι την 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, στην μόνιμη κατάσταση ισορροπίας που η ανάλυση του παρουσιάζεται εδώ, ο πυκνωτής εξωμάλυνσης θεωρείται πολύ μεγάλος, ώστε να εξασφαλίζει μια σταθερή τάση εξόδου  $u_o(t)=V_o$

#### Μικτός DC-DC Μετατροπέας

Ένας μικτός μετατροπέας (ανύψωσης ή υποβιβασμού τάσης) μπορεί να σχηματιστεί με την σύνδεση στη σειρά των δυο βασικών dc-dc μετατροπέων του μετατροπέα υποβιβασμού και του μετατροπέα ανύψωσης τάσης. Στην μόνιμη κατάσταση ισορροπίας, ο λόγος μετατροπής της τάσης εξόδου προς την τάση εισόδου, είναι το γινόμενο των λόγων μετατροπής των δυο μετατροπέων που είναι συνδεδεμένοι στην σειρά (θεωρώντας ότι οι διακόπτες και των δυο μετατροπέων έχουν τον ίδιο λόγο D):

Αυτό επιτρέπει στην τάση εξόδου να είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από την τάση εισόδου, ανάλογα με την τιμή του λόγου D. Η σύνδεση στη σειρά των μετατροπέων υποβιβασμού και ανύψωσης τάσης μπορεί να συνδυαστεί σε έναν ενιαίο μικτό μετατροπέα. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η είσοδος παρέχει ενέργεια στην αυτεπαγωγή και η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη. Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός, η ενέργεια που έχει αποθηκευθεί στην αυτεπαγωγή μεταφέρεται στην έξοδο. Κατ'αυτό το χρονικά διάστημα δεν παρέχεται ενέργεια από την είσοδο. Στην ανάλυση της μόνιμης κατάστασης ισορροπίας που παρουσιάζεται εδώ, ο πυκνωτής εξόδου θεωρείται πολύ μεγάλος, με αποτέλεσμα η τάση εξόδου να είναι σταθερή  $u_o(t)=V_o$

Ε. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ		
E1.	Συνολικό ρεύμα εισόδου DC (A):	51.4
E2.	Συνολική τάση εισόδου DC (V):	21.9
E3.	Ρυθμιστής φόρτισης:	Phocos pl60
E4.	Μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα εισόδου DC (A):	60

### Τρόπος λειτουργίας του MPPT

Θεωρώντας λοιπόν ότι η μπαταρία μας είναι σε χαμηλά επίπεδα περίπου στα 11,5 volt ο MPPT παίρνει τα 16.9 Volt και τα 7.1amps και τα μετατρέπει σε 9,6 amps και 12,5 volt ώστε η μπαταρία να 'απορροφάει' περίπου τα 120 watt τα οποία το πάνελ αποδίδει και έτσι σχεδόν εξαλείφεται αυτή η απώλεια που αναφέραμε παραπάνω

Όποτε αυτό που κάνει ο MPPT είναι να βρίσκει το μέγιστο σημείο απόδοσης το οποίο είναι διαφορετικό από το STC (Standard Test Conditions)προβλεπόμενο όριο για παράδειγμα κάτω από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ένα 120W πάνελ μπορεί να παρέχει έως και 130+ Watts διότι η έξοδος του πάνελ ανεβαίνει όσο η θερμοκρασία πέφτει αλλά χωρίς τον εντοπισμό και την αξιοποίηση του αυτά τα παραπάνω Watts πάνε χαμένα στην αντίθετη περίπτωση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες η ισχύς πέφτει γι'αυτό και το καλοκαίρι υπάρχει λιγότερο κέρδος.

Τα MPPT είναι αποτελεσματικότερα (τον χειμώνα και τις συννεφιασμένες μέρες όπου και η έξτρα ισχύς είναι απαραίτητη ) Σε χαμηλές θερμοκρασίες τα πάνελ δουλεύουν καλύτερα αλλά χωρίς την χρήση των MPPT χάνουμε στη ουσία το κέρδος την στιγμή που οι ηλιόλουστες μέρες είναι λίγες και η ισχύς απαραίτητη για την επαναφορτιση των μπαταριών.Όσο χαμηλότερα φορτισμένη είναι η μπαταρία τόσο περισσότερο ρεύμα το MPPT στέλνει στην μπαταρία για την σωστότερη επαναφορτιση της.

### Ανάλυση του MPPT

Η διάταξη "παρακολούθησης Σημείου Μέγιστης Ισχύος" (MPPT)είναι στην ουσία ένας υψηλής συχνότητας μετατροπέας ο οποίος παίρνει την συνεχή τάση που βγάζει στην έξοδο το φβ πάνελ το μετατρέπει σε υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα και το ξαναμετατρέπει σε συνεχές με διαφορετική τάση και ρεύμα ώστε αυτές να είναι οι επιθυμητές για την φόρτιση της μπαταρίας τα MPPT λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες στην κλίμακα των 20-80Khz το πλεονέκτημα αυτών των κυκλωμάτων είναι ότι περιέχουν μεγάλης αποδοτικότητας μετατροπείς και μικρά εξαρτήματα .

Τα περισσότερα νέα μοντέλα έχουν στο σύστημα τους και μικροελεγκτες που τους βοηθούν να ρυθμίσουν την έξοδο που πηγαίνει στην μπαταρία και οι οποίοι 'κλείνουν' για λίγο ελεγχουν τα δεδομένα μεταξύ πάνελ και μπαταρίας και κάνουν τις οποίες προσαρμογές, αν και οι μικροελεγκτες δεν είναι καινούργιοι ( η AERL τους είχε βγάλει στο εμπόριο από το 1985)μόνο πρόσφατα έγιναν αρκετά φθηνοί ώστε να χρησιμοποιούνται και σε αρκετά μικρά συστήματα φβ συστημάτων για την καλύτερη απόδοση τους .

### 3.4.8 Επιλογή συσσωρευτών <<ΣΤ>>

#### ΣΤ. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

$$C_{Bat} = \frac{E_{night} + E_{sys} \cdot d_{Aut}}{U_{sys} \cdot \epsilon_{DOD} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{DISTR}}$$

Cbat:	Χωρητικότητα συσσωρευτών	(Ah)1077.7
Enight:	Ημερ. Ενεργ. Κατανάλωση -Ωρες νύχτας	(Wh)581
Esys:	Ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση	(Wh)1342
daut :	Βαθμός αυτονομίας σε (ημέρες)	(d)4
Vsys:	Τάση συστήματος	(V)12
εDOD:	Επιτρεπτός βαθμός εκφόρτισης συσσωρευτών	(%)50
ηInv:	Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα	(%)92
ηDISTR:	Απόδοση σύνδεσης συσσωρευτών - αντιστροφέα	(%)100

Η μπαταρία είναι απαραίτητη σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα Φ/β πλαίσια και να τη δίνει στον καταναλωτή κατά τα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (νυκτερινές ώρες, συννεφιασμένες μέρες).

Γενικά οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε Φ/β συστήματα είναι όμοιες με τις κοινές μπαταρίες αυτοκινήτων, δηλαδή φόρτισης εκφόρτισης. Οι πιο συνηθισμένες είναι με ηλεκτρόδια (πόλους) μολύβδου σε διάλυμα θεικού οξέως, οι επονομαζόμενες μπαταρίες θεικού οξέος-Μόλυβδου(H2SO4-Pb).

Αυτές είναι και οι πιο οικονομικές για τα Φ/β συστήματα. Σε περιπτώσεις όμως μεγάλων αυξομειώσεων της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους, χρησιμοποιούνται αλκαλικές νικελίου-καδμίου(Ni-Cd).(συνήθως χρησιμοποιούνται Μπαταρίες σε αυτόνομα φβ συστήματα και σε υβριδικά όχι όμως και σε διασυνδεδεμένα )

Κάθε μπαταρία έχει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σύνδεση της σε ένα Φ/β σύστημα.

#### I) Ολική χωρητικότητα.

Δείχνει το συνολικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στη μπαταρία και μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Αν μια μπαταρία είναι φορτισμένη πλήρως και μπορεί να δώσει ρεύμα έντασης 10 A για χρόνο (συνεχόμενο ή μη) 20h, έχει χωρητικότητα 200 Ah.

#### II) Η τάση

Η τάση της μπαταρίας όταν είναι φορτισμένη εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρολύτη που περιέχει και το είδος και τον αριθμό των πλακών. Οι μπαταρίες περιέχουν πολλά ζεύγη πλακών στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση. Κάθε ζεύγος πλακών μπαταρίας μολύβδου δίνει τάση περίπου 2 V. Όποτε μια μπαταρία μολύβδου με 6 ζεύγη πλακών δίνει τάση περίπου 12 V.

#### III) Το βάθος εκφόρτισης

Είναι το ποσοστό της εκφόρτισης, στο οποίο μπορεί να φθάνει καθημερινά η μπαταρία, για να διατηρείται σε καλή κατάσταση και να μην ελαττωθεί ο κανονικός χρόνος ζωής της.

Το βάθος εκφόρτισης εξαρτάται από την κατασκευή της μπαταρίας. Οι πλάκες μπορεί να κατασκευασθούν με διαφορετικό πάχος και από διάφορα κράματα μετάλλων, όπως μολύβδου-ασβεστίου, μολύβδουαντιμονίου, για να ανταποκριθούν σε ορισμένες εφαρμογές. Γενικά όσο πιο χοντρές είναι οι πλάκες τόσο περισσότερο μπορεί να εκφορτιστεί μια μπαταρία και μετά να ξαναφορτιστεί.

Υπάρχουν μπαταρίες για τις οποίες συστήνεται από τον κατασκευαστή ότι είναι δυνατό να εκφορτίζονται καθημερινά κατά 10-20% μετά από καθημερινή πλήρη φόρτιση. Υπάρχουν άλλες που μπορεί να εκφορτίζονται μέχρι και 80% του αρχικού φορτίου τους.

Οι πρώτες είναι ελαφρές ενώ οι δεύτερες είναι βαριές, πιο ακριβές και προτιμούνται στα Φ/β συστήματα. Μια κατηγορία μπαταριών που μπορούν να εκφορτισθούν πλήρως (100%) χωρίς καμιά βλάβη και να ξαναφορτισθούν είναι εκείνες που έχουν πλάκες από νικέλιο-κάδμιο.

Οι τελευταίες προτιμούνται, στα Φ/β συστήματα, διότι με την πλήρη φόρτιση και εκφόρτιση τους εξυπηρετούν με όλο το φορτίο τους. Εφόσον μάλιστα δεν επηρεάζεται ο χρόνος ζωής τους και κατάσταση τους, είναι δυνατόν να αποφευχθεί και η χρησιμοποίηση ρυθμιστή τάσης.

Κάθε μπαταρία εκτός από την ολική χωρητικότητα της, έχει και τη χρήσιμη (αξιοποιήσιμη) χωρητικότητα της, που είναι το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης του επί την ολική χωρητικότητα:

$C_x = B \times C_{ολ}$  όπου  $C_x$  η χρήσιμη χωρητικότητα,  $B$  το βάθος εκφόρτισης και  $C_{ολ}$  η ολική χωρητικότητα.

IV) Το κόστος για κάθε KWh.

Για να βρεθεί η ολική ηλεκτρική ενέργεια  $E_{ολ}$  που θα δώσει μια μπαταρία για όλη τη διάρκεια της ζωής της, πρέπει να πολλαπλασιαστεί η χρήσιμη χωρητικότητα  $C_x$  με την τάση  $U$  και το συνολικό αριθμό  $N$  φορτίσεων-εκφορτίσεων.

$$E_{ολ} = C_x \times U \times N$$

Όταν διαιρεθεί η τιμή της μπαταρίας με την  $E_{ολ}$ , βρίσκεται το κόστος κάθε KWh που δίνει η μπαταρία. Είναι φανερό ότι όσο χαμηλότερο είναι το κόστος αυτό τόσο πιο συμφέρουσα θα είναι η αγορά της μπαταρίας.

V) Θερμοκρασία λειτουργίας.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Πολλοί κατασκευαστές μαζί με τις άλλες προδιαγραφές δίνουν και την καμπύλη διόρθωσης της μπαταρίας.

Η διόρθωση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να έχει η μπαταρία κατά τη διάρκεια του χρόνου και το ρυθμό εκφόρτισης υπό μορφή ρεύματος που θα έχει στο συγκεκριμένο Φ/β σύστημα. Από το παρακάτω σχήμα βρίσκεται ότι, αν για παράδειγμα ο ρυθμός εκφόρτισης είναι  $C/5$  και χαμηλότερη θερμοκρασία  $0^{\circ}C$  η διορθωμένη χωρητικότητα είναι 73 Ah. Ρυθμός εκφόρτισης  $C/5$  σημαίνει ότι η μπαταρία δίνει 20 A και έχει χωρητικότητα 100 Ah.

Σε μια εκφορτισμένη μπαταρία μολύβδου ο ηλεκτρολύτης στερεοποιείται λίγο κάτω από τους  $0^{\circ}C$  ενώ σε μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία για να στερεοποιηθεί ο ηλεκτρολύτης πρέπει η θερμοκρασία να κατέβει στους  $-20^{\circ}C$ .

VI) Χρόνος ζωής.

Ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο ρυθμός φόρτισης, και εκφόρτισης, ο αριθμός φορτίσεων και εκφορτίσεων και οι ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας. Σε ένα Φ/β σύστημα μια μπαταρία μολύβδου έχει διάρκεια ζωής που δεν ξεπερνά τα 5-6 χρόνια, ενώ οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου διαρκούν πολύ περισσότερο όταν λειτουργούν με τις ίδιες συνθήκες.

### 3.4.9 Υπολογισμός καλωδιώσεων <<H>>

Η. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΩΝ		
H1.	Σύνδεση Φ/Β πλαισίων - Ρυθμιστή φόρτισης	
	Απόσταση (m):	20m
	Διατομή καλωδίου (mm <sup>2</sup> ):	16mm <sup>2</sup>
H2	Σύνδεση Ρυθμιστή φόρτισης - Συσσωρευτών	
	Απόσταση (m):	2m
	Διατομή καλωδίου (mm <sup>2</sup> ):	35mm <sup>2</sup>

### 3.5 Οδηγίες Λειτουργίας και Συντήρησης

Από τις παραδοχές που κάναμε για τους υπολογισμούς μας αλλά και από την απλή λογική μπορούμε να διατυπώσουμε τις παρακάτω στοιχειώδεις οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης για την καλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

α) Καθαρισμός των επιφανειών των συλλεκτών μία φορά το μήνα.

β) Αναπροσαρμογή της κλίσης των συλλεκτών δύο φορές το χρόνο (Μάρτης και Οκτώβριος). [στην Συγκεκριμένη περίπτωση βεβαίως η κλίση παραμένει σταθερή στις 28° μοίρες όπως βλέπουμε πιο πάνω.]

γ) Έλεγχος και ενδεχόμενη συμπλήρωση της στάθμης του ηλεκτρολύτη (θειικό οξύ ) στους συσσωρευτές κάθε τρεις μήνες.

Είναι αναγκαίο αυτές οι οδηγίες να πραγματοποιούνται ώστε το σύστημα μας να δουλεύει αποδοτικότερα και να μην δημιουργούνται προβλήματα τα οποία με λίγη προσπάθεια μπορούν να αποφευχθούν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Περίληψη

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η αντικεραυνική προστασία κτιρίων με Φ/Β γεννήτρια στην στέγη τους. Γειώσεις Φ/Β συστήματος, μέσα προστασίας καθώς και ενσύρματα η ασύρματα συστήματα επιτήρησης της απόδοσης του συστήματος.

### 4.1 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΤΟΥΣ.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με τη μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας σε Φ/Β πάρκα. Όμως Φ/Β γεννήτριες χρησιμοποιούνται επίσης από ιδιοκτήτες κατοικιών καθώς επίσης και από ιδιωτικές εταιρίες οι οποίες τοποθετούν γεννήτριες στις στέγες των κτιρίων που διαθέτουν.

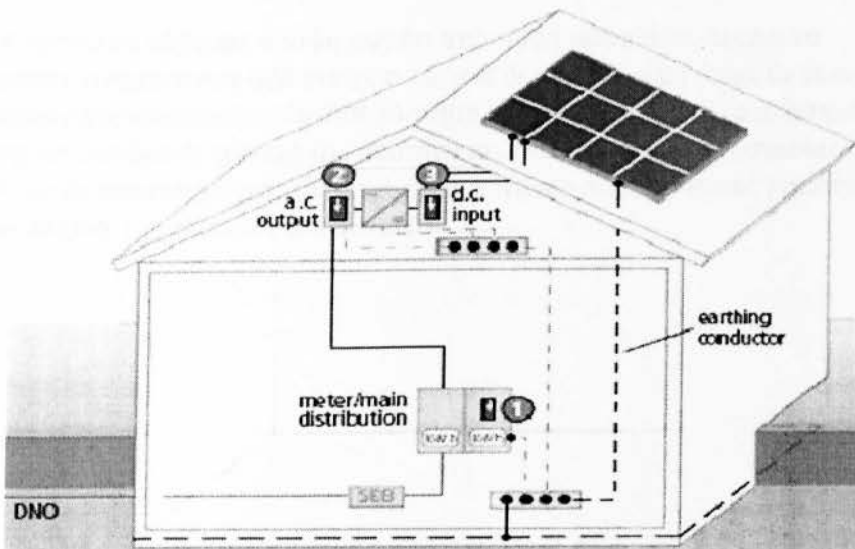
Η εγκατάσταση των Φ/Β στοιχείων στα κτίρια δεν αυξάνει τον κίνδυνο πλήγματος κεραυνού έτσι ώστε η απαίτηση για αντικεραυνική προστασία να μην απορρέει μόνο από την ύπαρξη του Φ/Β συστήματος. Παρ' όλα αυτά είναι πιθανό να υπάρξει ένας αυξανόμενος κίνδυνος για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περίπτωση πλήγματος.

Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι εξαιτίας της καλωδίωσης των Φ/Β γραμμών μέσα στο κτίριο στις ήδη υπάρχουσες οδεύσεις των καλωδίων το ρεύμα των εκκενώσεων μπορεί να προκαλέσει επιζήμιες επιδράσεις.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τρεις περιπτώσεις. Όταν η εγκατάσταση της γεννήτριας γίνεται σε κτίριο που έχει ήδη αντικεραυνική προστασία και τηρούνται ή όχι οι απόστασης ασφαλείας μεταξύ εξωτερικής ΕΑΠ και Φ/Β εγκατάστασης και συστήματος σε κτίριο χωρίς αντικεραυνική προστασία.

#### 4.1.1 Κτίρια χωρίς αντικεραυνική προστασία.

Το σχήμα δείχνει ένα πιθανό τρόπο προστασίας έναντι υπερτάσεων ενός Φ/Β όταν το κτίριο δεν έχει αντικεραυνική προστασία.





Πιθανές τοποθεσίες εγκατάστασης εκτροπέων υπέρτασης είναι:

Η dc είσοδος του inverter.

Η ac έξοδος του inverter.

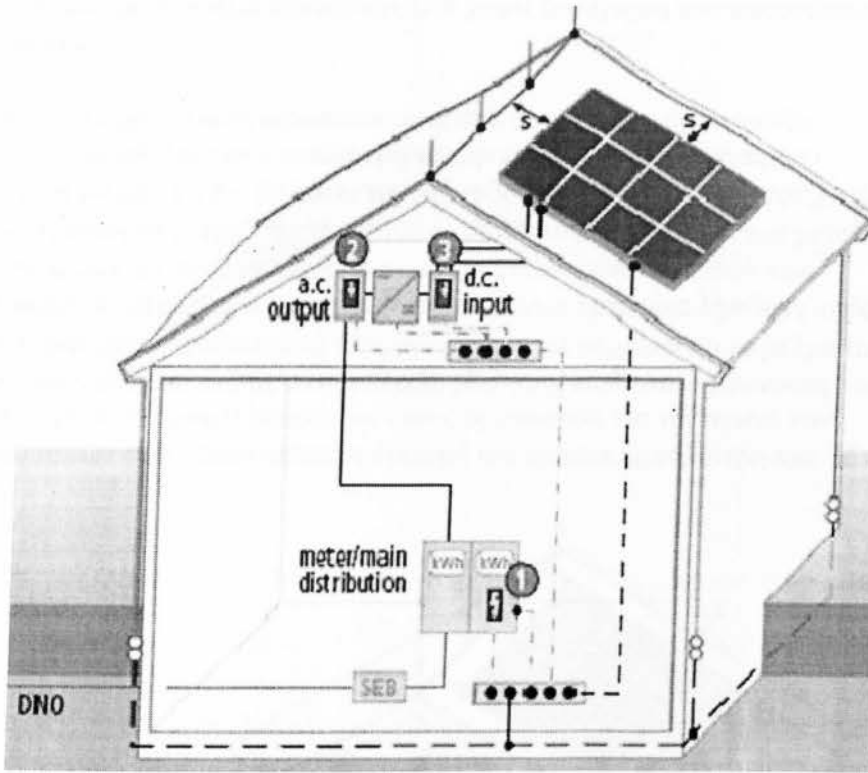
Η παροχή χαμηλής τάσης.

Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης είναι δεν είναι μεγαλύτερη από 5 m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη. Για μεγαλύτερα μήκη αγωγών επιπλέον συσκευές προστασίας είναι απαραίτητες στην ac έξοδο του inverter. Στην dc είσοδο του inverter κάθε ένας από τους αγωγούς της Φ/Β συστοιχίας πρέπει να προστατεύεται με έναν εκτροπέα μεταξύ του συν (+) και του πλην (-). Αυτή η εγκατάσταση παρέχει προστασία για Φ/Β συστήματα με τάση μέχρι 1000 V dc. Η τάση λειτουργίας της συσκευής προστασίας πρέπει να είναι 10 % υψηλότερη από τη αναμενόμενη τάση ανοιχτού κυκλώματος της γεννήτριας κατά τη διάρκεια της μέγιστης ηλιοφάνειας μιας κρύας χειμωνιάτικης μέρας.

#### **4.1.2 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ και διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.**

Στην περίπτωση αυτή το Φ/Β σύστημα στην επιφάνεια της σκεπής πρέπει να σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη το ήδη υπάρχον σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Για το λόγο αυτό το Φ/Β σύστημα πρέπει να εγκατασταθεί μέσα στη ζώνη προστασίας του συστήματος της εξωτερικής ΕΑΠ για να εξασφαλίσει την προστασία του ενάντια στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Με τη χρήση κατάλληλων συλλεκτήριων συστημάτων, όπως για παράδειγμα τεταμένα σύρματα, άμεσα κεραυνικά πλήγματα πάνω στα Φ/Β πάνελ μπορούν να αποφευχθούν. Τα επιπλέον τεταμένα σύρματα που πιθανόν μπορεί να τοποθετηθούν εκ των υστέρων πρέπει να τοποθετηθούν με τρόπο που να εμποδίζουν τα άμεσα πλήγματα στη γεννήτρια και επιπλέον να μην προκαλούν σκίαση στην επιφάνεια της.

Ακόμα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι απόσταση ασφαλείας πρέπει να διατηρείται ανάμεσα στα Φ/Β στοιχεία και στα μεταλλικά μέρη όπως το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Το Φ/Β σύστημα του σχήματος είναι τοποθετημένο στην προστατευόμενη περιοχή του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενώ τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας. Στην περίπτωση αυτή ο αγωγός γείωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 6mm<sup>2</sup>.



Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με εξωτερική ΕΑΠ και τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.

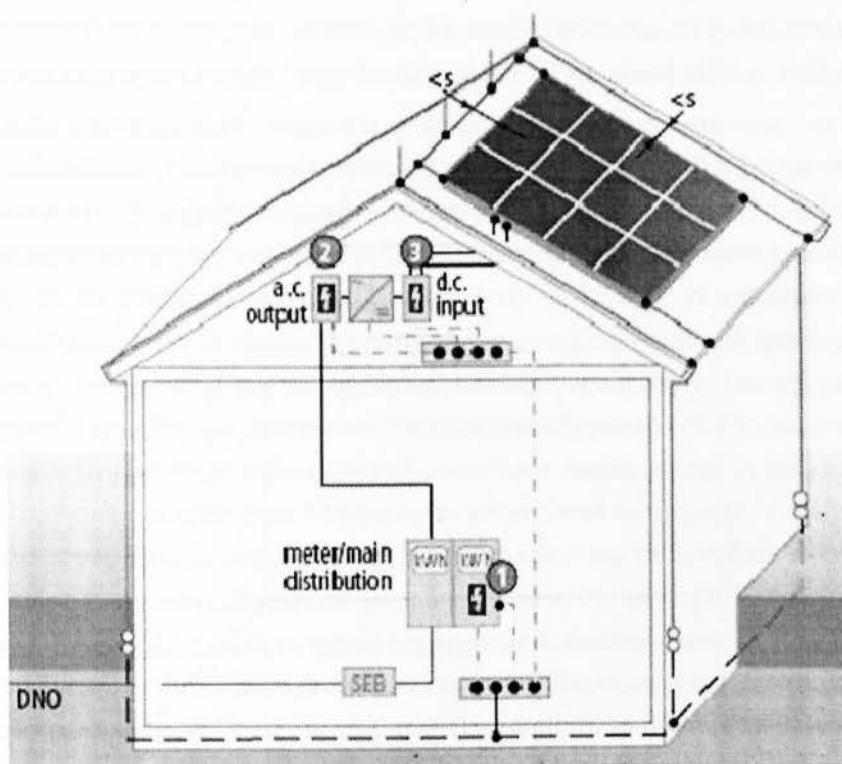
Ένα βασικό μέρος της αντικεραυνικής προστασίας είναι οι ισοδυναμικές συνδέσεις για όλα τα αγωγικά συστήματα που εισέρχονται στο κτίριο από έξω. Οι απαιτήσεις των ισοδυναμικών συνδέσεων ικανοποιούνται με άμεση σύνδεση όλων των μεταλλικών συστημάτων και έμμεση μέσω εκτροπέων υπέρτασης όλων των ενεργών συστημάτων στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιούνται στην είσοδο της κατασκευής ώστε να εμποδίζεται η εισχώρηση του ρεύματος της εκκένωσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Και στην περίπτωση αυτή τοποθετούμε έναν εκτροπέα υπέρτασης στην παροχή χαμηλής τάσης. Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης είναι δεν είναι μεγαλύτερη από 5 m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη. Για μεγαλύτερα μήκη αγωγών επιπλέον συσκευές προστασίας είναι απαραίτητες στην ac έξοδο του inverter.

Στην dc είσοδο του inverter κάθε ένας από τους αγωγούς της Φ/Β συστοιχίας πρέπει να προστατεύεται με έναν εκτροπέα.

#### 4.1.3 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ χωρίς διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.

Συχνά ολόκληρη η σκεπή καλύπτεται από Φ/Β στοιχεία για την επίτευξη μεγαλύτερου κέρδους με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να παρέχεται μια άμεση αγώγιμη σύνδεση μεταξύ του συστήματος της εξωτερικής ΕΑΠ και των μεταλλικών Φ/Β στοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση οι επιδράσεις των ρευμάτων που μεταφέρονται μέσα στο κτίριο μέσω των dc αγωγών πρέπει να ληφθούν υπόψη και να εξασφαλιστεί η ισοδυναμική τους σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του κεραυνού πρέπει να επίσης να συμπεριληφθεί στην ισοδυναμική σύνδεση και να τοποθετηθούν εκτροπείς υπέρτασης στους dc αγωγούς. Για τον αγωγό των ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει η διατομή του να είναι μεγαλύτερη από 16 mm<sup>2</sup>.



Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με εξωτερική ΕΑΠ χωρίς τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας .

Ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν και για την είσοδο της χαμηλής τάσης. Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης είναι δεν είναι μεγαλύτερη από 5 m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη. Τα μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων είναι μόνο τοπικά αποδοτικά το οποίο ισχύει και για την περίπτωση του inverter. Όταν ο τελευταίος είναι τοποθετημένος στη σοφίτα επιπλέον προστασία είναι απαραίτητη για την ac έξοδο του.

#### 4.1.4 Αντικεραυνική Προστασία από Έμμεσα Πλήγματα

Εντός του φωτοβολταϊκού συστήματος και ειδικότερα εντός του κεντρικού πίνακα, και προκειμένου να προστατευθεί ο εξοπλισμός από κρουστικές υπερτάσεις του δικτύου που δύνανται να επαχθούν στο δίκτυο λόγω κεραυνόπτωσης, θα εγκατασταθούν τα συστήματα προστασίας RayvossR. Πρόκειται για συστήματα που βασίζονται στην πρωτοποριακή τεχνολογία StrikesorbR και εξασφαλίζουν απόλυτη προστασία από κρουστικές υπερτάσεις. Χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την προστασία κρίσιμης ηλεκτρονικής υποδομής σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως σε τηλεπικοινωνίες, συστήματα βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου, αμυντικά συστήματα, κέντρα μηχανογράφησης, νοσοκομεία, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σχεδίαση του StrikesorbR αποκλείει τον κίνδυνο καταστροφικής αστοχίας, έκρηξης ή πρόκλησης πυρκαγιάς - φαινόμενα συχνά σε συμβατικές διατάξεις προστασίας - ενώ παράλληλα παρέχει πολύ χαμηλές τιμές παραμένουσας τάσης και εξαιρετικά επίπεδα προστασίας. Τα στοιχεία StrikesorbR παρουσιάζουν αξιοσημείωτα υψηλή αντοχή σε πολλαπλά επαναλαμβανόμενα κεραυνικά πλήγματα και μπορούν να διαχειριστούν πολλαπλές υπερτάσεις χωρίς καμία ανάγκη συντήρησης. Πρόκειται για τα μοναδικά στοιχεία προστασίας έναντι υπερτάσεων αναγνωρισμένα κατά UL 1449 (3η έκδοση) που λειτουργούν ασφαλώς χωρίς τη χρήση εσωτερικών ασφαλειών. Αυτό το μοναδικό χαρακτηριστικό, σε συνδυασμό με την δυνατότητα σύνδεσης εν σειρά με τα καλώδια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (direct connection) καθιστά τα συστήματα RayvossR και τα στοιχεία StrikesorbR ως την πιο αξιόπιστη λύση προστασίας του κρίσιμου ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες, τα συστήματα RayvossR και τα στοιχεία StrikesorbR εξασφαλίζουν συνεχή αποτελεσματική προστασία ακόμη και υπό τις πλέον αντίξοες καιρικές συνθήκες ή σε συνθήκες κακής ποιότητας παροχής ρεύματος, χωρίς να απαιτούν συντήρηση ή επίβλεψη.

## 4.2 Γείωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Υπάρχουν τριών ειδών γειώσεις, ανάλογα με τη χρήση τους.

- Γείωση λειτουργίας : είναι η γείωση που γίνεται για λειτουργικούς λόγους και γειώνεται ένα ενεργό σημείο του κυκλώματος καθώς και ο ουδέτερος αγωγός (άμεση και έμμεση).

Γείωση προστασίας : είναι η γείωση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος π.χ γειώνονται οι μεταλλικές βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών γεννητριών.

- Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας : είναι η ανοιχτή ή συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Οι γειώσεις αυτές διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη. Οι ανοιχτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση.

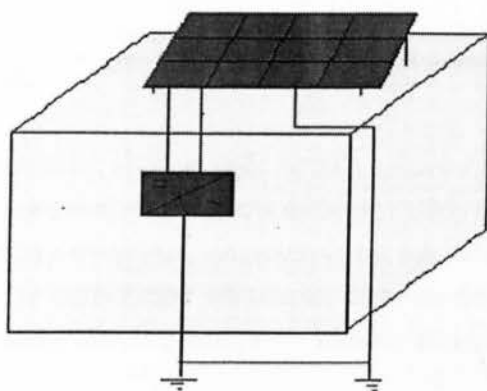
Σκοπός της γείωσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι να προστατεύει της φωτοβολταϊκές συστοιχίες από τον κίνδυνο για άμεσο πλήγμα από κεραυνό, διαχέοντας το ρεύμα του αγωγού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης. Επιπλέον, το σύστημα γείωσης προστατεύει τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά συστήματα (π.χ αναστροφείς, μετατροπείς) από τα αποτελέσματα του κεραυνού, δηλαδή από την εμφάνιση επικίνδυνων υπερτάσεων. Επιπλέον, συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου καθώς και αναχαιτίζει τον κεραυνό σε περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους.

### 4.2.1 Γείωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας που είναι τοποθετημένη στη στέγη μιας κατασκευής.

Η γείωση του φωτοβολταϊκού πάνελ με τη γη μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους. Αρχικά μπορούμε να συνδέσουμε το πάνελ μέσω ενός αγωγού σύνδεσης με το ηλεκτρικό σύστημα το οποίο είναι γειωμένο. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στη υλοποίηση αλλά σε περίπτωση πλήγματος όλο το ρεύμα του κεραυνού διοχετεύεται στη γη μέσα από το κτίριο. Αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνο καθώς η αμοιβαία επαγωγή μεταξύ του αγωγού σύνδεσης και των γειτονικών αγωγών σε περίπτωση πλήγματος θα προκαλέσει έντονες υπερτάσεις οδηγώντας σε καταστροφή της μόνωσης και πρόκληση πυρκαγιάς.

Ακόμα μπορούμε να γειώσουμε το πάνελ απευθείας μέσω ενός ηλεκτροδίου γείωσης. Αυτή η απομόνωση των γειώσεων όμως δεν έχει καμία αξία. Η αντίσταση μεταξύ τω δύο ηλεκτροδίων γείωσης είναι πιθανό να είναι αρκετά χαμηλή, τόσο ώστε να πραγματοποιηθεί μια σημαντική ροή ρεύματος στο σύστημα. Αυτή η ροή με τη σειρά της θα προκαλέσει μια μεγάλη διαφορά δυναμικού μεταξύ της γείωσης και του ενεργειακού συστήματος οδηγώντας σε εκκένωση μεταξύ των πάνελ και των τερματικών που αυτά τροφοδοτούν.

Στο σχήμα παρουσιάζεται η μέθοδος που ενδείκνυται περισσότερο όσον αφορά στη γείωση τέτοιων εγκαταστάσεων.



Σύνδεση φωτοβολταϊκού συστήματος στη γη.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό ηλεκτρόδιο γείωσης ενώ τα δύο ξεχωριστά ηλεκτρόδια συνδέονται ισοδυναμικά στο επίπεδο της γης. Η μέθοδος αυτή διοχετεύει με ασφάλεια όλο το ρεύμα του κεραυνού στη γη.

#### 4.2.2 Σύστημα Θεμελιακής Γείωσης

Όλες οι βάσεις και τα μεταλλικά μέρη επί οροφής, πρέπει να είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένα με την χρήση αγωγού κατάλληλης διατομής ( $\Phi 10$ ). Στα 2 αντιδιαμετρικά άκρα του πάρκου, (5-A) πλευρά του πάρκου, εγκαθίστανται κάθοδοι, οι οποίοι οδηγούν σε 2 τρίγωνα γείωσης τα οποία εξασφαλίζουν την σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων με την Γη και παρέχουν ένα σταθερό σύστημα γείωσης προστασίας και λειτουργίας. Τρίγωνα Γείωσης επίσης τοποθετούνται πλησίον του ερμαρίου της ΔΕΗ καθώς και ένα επιπλέον στην ΝΔ πλευρά του χώρου. Και στις 2 περιπτώσεις το τρίγωνο βρίσκεται σε βάθος 1μ από την επιφάνεια της γης, ενώ αποτελείται από 3 ηλεκτρόδια  $\Phi 20 \times 150 \text{cm}$  τοποθετημένα κάθετα στην γη, σχηματίζοντας ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 2.5μ, το οποίο συμπληρώνεται με λάμα 30x3 από θερμογαλβανισμένο χάλυβα. Τα δυο ηλεκτρόδια διατρέχει χαλκαγωγός διατομής 50 mm<sup>2</sup> ο οποίος και συνδέεται αφενός στην γείωση των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων, αφετέρου στον εξοπλισμό της ΔΕΗ. Ο δεύτερος αγωγός,

παραμένει συνδεδεμένος σε αναμονή, παρέχοντας έτσι ασφάλεια σε περίπτωση αστοχίας. Και τα δύο τρίγωνα παραμένουν συνδεδεμένα με το υπόλοιπο σύστημα θεμελιακής γείωσης παρέχοντας έτσι ένα πλήρες και ισοδυναμικό σύστημα γείωσης και προστασίας του φωτοβολταϊκού.

#### 4.2.3 Γείωση Προστασίας

Σκοπός της γείωσης προστασίας είναι να μηδενιστεί η πιθανότητα να τεθεί υπό κατάσταση ηλεκτρικού δυναμικού οποιαδήποτε αγώγιμη επιφάνεια με την οποία δύναται να έρθει σε επαφή ο άνθρωπος. Δημιουργώντας μια κατασκευή στην οποία όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα επιφάνειες είναι συνδεδεμένες έμμεσα ή άμεσα με το σύστημα γείωσης απομακρύνουμε τον κίνδυνο ατυχήματος.

Η γείωση προστασίας μπορεί να εφαρμοστεί με τρεις τρόπους:

**Άμεση Γείωση:** όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα κατασκευές οι οποίες είναι αγώγιμες συνδέονται μέσω του αγωγού γείωσης (ή αγωγού προστασίας) απευθείας με τη γη (δηλαδή το ηλεκτρόδιο γείωσης). Οι μεταλλικές επιφάνειες της ίδιας σειράς είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένες, ενώ όλες οι σειρές διασυνδέονται με αγωγό διατομής 1x50 mm<sup>2</sup> (κιτρινοπράσινο) προκειμένου να διασφαλιστεί η ισοδυναμική γείωση μεταξύ όλων των σειρών του φωτοβολταϊκού. Τα πάνελ θα είναι και αυτά συνδεδεμένα από κατάλληλη οπή και μέσω αγωγού διατομής 1x6mm<sup>2</sup> (κιτρινοπράσινο) με τις μεταλλικές βάσεις. Οι μεταλλικές σχάρες μέσα στις οποίες θα οδεύουν τα καλώδια είναι συνδεδεμένες και αυτές με την ισοδυναμική γείωση των σειρών του πάρκου μέσω αγωγού διατομής 1x6mm<sup>2</sup> (κιτρινοπράσινο). Η μπάρα γείωσης του κεντρικού πίνακα, οι απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων εντός αυτού, καθώς επίσης και η ισοδυναμική γείωση των σειρών του φωτοβολταϊκού θα συνδεθούν με ένα τρίγωνο γείωσης που κατασκευάζεται δίπλα στο κτίριο μέσω αγωγού διατομής 1x50mm<sup>2</sup>. Στην περίμετρο της κάθε στέγης τοποθετείται συλλεκτήριο σύστημα συλλογής και καθόδου άμεσων κεραυνικών πληγμάτων αποτελούμενο από χαλύβδινους αγωγούς διατομής Φ10 και αγωγούς καθόδου εγκατεστημένους στο κάθετο τμήμα του κτιρίου και οι οποίοι θα καταλήγουν στο σύστημα γείωσης του φωτοβολταϊκού.

**Ουδετέρωση:** Σύνδεση του αγωγού γείωσης με τον ουδέτερο που γίνεται μέσα στον μετρητή και μόνο από τη ΔΕΗ. Από αυτό το σημείο ξεκινάει ο αγωγός γείωσης που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο γείωσης.

**Γείωση με Διακόπτη Διαφυγής Έντασης:** όταν για οποιοδήποτε λόγο προκληθεί διαρροή έντασης προς τη γη προκαλείται διακοπή της γραμμής.

#### 4.2.4 Μέσα Προστασίας Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η βασική δομή μιας εγκατάστασης Φ/Β με όλα τα απαραίτητα μέσα για την πλήρη προστασία της. Οι λειτουργίες των διακοπών ισχύος, των απαγωγέων υπερτάσεων (αντικεραυνικά) καθώς και των διακοπών φορτίου (απομόνωσης) συνδυαζόμενες μεταξύ τους δημιουργούν ένα αδιαπέραστο εμπόδιο ικανό να αποτρέψει επικίνδυνες βλάβες ή δυσλειτουργίες. Τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα μπορούν να εγκατασταθούν και σε ράγα DIN διευκολύνοντας πολύ την εγκατάσταση.

##### Μικροαυτόματοι ή Αυτόματοι διακόπτες ισχύος ανοιχτού ή κλειστού τύπου

Οι μικροαυτόματοι και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος προστατεύουν μια ηλεκτρική εγκατάσταση από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Στο κύκλωμα συνεχούς τάσης του φωτοβολταϊκού συστήματος (DC πλευρά), οι μικροαυτόματοι προστατεύουν κάθε στοιχειοσειρά πλαισίων (string) από ρεύματα ανάστροφης φοράς καθώς επίσης και από την έγχυση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) στο κύκλωμα συνεχούς σε πιθανή βλάβη του αναστροφέα (inverter). Κάθε στοιχειοσειρά πλαισίων (ηλιακοί συλλέκτες) πρέπει να προστατεύεται ξεχωριστά ώστε να εξασφαλίζεται ο περιορισμός του σφάλματος μόνο σ' εκείνη τη στοιχειοσειρά που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, επιτρέποντας την κανονική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την υπόλοιπη εγκατάσταση. Μετά τη διόρθωση του σφάλματος είναι εφικτή η επαναλειτουργία της γεννήτριας, είτε χειροκίνητα είτε με τηλεχειρισμό. Η ευκολία με την οποία μπορεί να απομονωθεί ηλεκτρικά, για λόγους συντήρησης ή επέκτασης, κάποιο μέρος του συστήματος, αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα

##### Απαγωγείς υπερτάσεων (SPD's)

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι αναστροφέες είναι πολύ ευαίσθητα σε μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς μεγάλων διακοπών. Οι απαγωγείς υπερτάσεων (αντικεραυνικά), για κυκλώματα συνεχούς τάσης, περιορίζουν αυτές τις υπερτάσεις, προστατεύοντας τον εξοπλισμό και αποτρέποντας περαιτέρω ζημιές στην εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διάρκεια σχεδιασμού μιας τέτοιας επένδυσης.

##### Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης (DC)

Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο, με ονομαστική τάση λειτουργίας έως και 1.200 VDC σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 60364-7-712, IEC 60947 για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος, αυξάνοντας τη χρηστικότητα της εγκατάστασης και καθιστώντας τους μια άριστη επένδυση.



### Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης (AC)

Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο.

### Διακόπτες διαρροής (RCD's)

Οι διακόπτες διαρροής προστατεύουν το προσωπικό και τον εξοπλισμό μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από ηλεκτροπληξία ή εκδήλωση πυρκαγιάς. Η ύπαρξη των διακοπών διαρροής στους πίνακες διανομής μιας εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη. Ειδικοί διακόπτες διαρροής προσφέρουν προστασία από παλμικά ρεύματα με συνεχείς συνιστώσες και εξαιρετικά μικρούς χρόνους αντίδρασης σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62423, καθιστώντας τους ιδανικούς για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων.

### Μετρητές ενέργειας

Μετρούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι μετρητές ενέργειας μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν σε πίνακες με ράγα DIN και να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και μεταφοράς δεδομένων μέσω κατάλληλων σειριακών μονάδων επικοινωνίας

### Πίνακες

Οι πίνακες χρησιμοποιούνται τόσο στο κύκλωμα συνεχούς (DC) όσο και στο κύκλωμα εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Συνιστάται να είναι κλάσης II και να διαθέτουν βαθμό προστασίας έναντι εισερχομένων σωματιδίων και υγρασίας IP 65, όταν τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους

## **4.3 Φαινόμενο Νησιδοποίησης**

Νησιδοποίηση είναι η κατάσταση στην οποία περιέρχεται ένα τμήμα ηλεκτρικού δικτύου (που περιλαμβάνει τοπικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής - φωτοβολταϊκά συστήματα, και καταναλώσεις) όταν διακοπεί η κύρια πηγή τροφοδοσίας του, δηλαδή το Σύστημα - ΔΕΗ, και συνεχίζει να τροφοδοτείται μόνο από τις μονάδες παραγωγής που βρίσκονται στην υπόψη περιοχή.

Αν ένα τμήμα του δικτύου, θεωρηθεί ως τμήμα νησιδοποίησης, τότε δεν μπορεί να εφαρμοστεί κανένας έλεγχος από το σύστημα, τόσο στη τάση όσο και στη συχνότητα της «νησίδας».

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης μπορεί να εμφανιστεί λόγω των παρακάτω:

- Ως αποτέλεσμα ενός σφάλματος που ανιχνεύεται από τα όργανα προστασίας του δικτύου και προκαλεί το άνοιγμα μιας συσκευής προστασίας κατά του σφάλματος, αλλά που δεν ανιχνεύεται από τον αναστροφέα του φωτοβολταϊκού συστήματος (μη ανιχνεύσιμα σφάλματα γραμμής).
- Ως αποτέλεσμα τυχαίου ανοίγματος της γραμμής διανομής του δικτύου λόγω εσφαλμένης λειτουργίας του εξοπλισμού.
- Ως αποτέλεσμα απενεργοποίησης της γραμμής διανομής και των φορτίων για λόγους συντήρησης.
- Ως αποτέλεσμα ανθρώπινου λάθους, κακής εκτίμησης.

Οι λόγοι που θα πρέπει να αποφεύγεται η νησιδοποίηση είναι:

Για την αποφυγή φαινομένου νησιδοποίησης απαιτείται σύστημα προστασίας απόξυξης που να προκαλεί απόξυξη των τοπικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής κατά τη στιγμή που διακόπτεται η κύρια πηγή τροφοδότησης.

- Προκαλεί σοβαρές διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας του ρεύματος πέρα από τα επιτρεπτά όρια με δυσμενείς συνέπειες για τις λειτουργούσες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και άλλες συνδεδεμένες εγκαταστάσεις κυρίως από τη αδυναμία ανάληψης φορτίου πέρα από τη δεδομένη δυναμικότητά τους. Το δίκτυο δεν μπορεί να ελέγξει την τάση και τη συχνότητα στη νησίδα. Οι διακυμάνσεις τάσης ή συχνότητας μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό των πελατών. Οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών δικτύων ανησυχούν γιατί θεωρούνται υπεύθυνοι για ζημιές στον ηλεκτρικό εξοπλισμό των πελατών τους, που συνδέονται στο δίκτυό τους, οι οποίες ζημιές είναι αποτέλεσμα των διακυμάνσεων τάσης και συχνότητας έξω από τα καθορισμένα όρια.
- Η νησιδοποίηση εμποδίζει την ομαλή αποκατάσταση του δικτύου.

Το ανοιγοκλείσιμο σε μια νησίδα μπορεί να οδηγήσει στην συνεχόμενη εσφαλμένη λειτουργία της γραμμής ή την καταστροφή εξοπλισμού του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτό θα συμβεί όταν ο εξοπλισμός δεν είναι σε φάση με το δίκτυο.

- Κίνδυνοι μπορεί να υπάρξουν και για το προσωπικό που απασχολείται σε εργασίες αποκατάστασης της τροφοδοσίας της περιοχής της κύριας πηγής γιατί δεν γνωρίζει εάν οι αγωγοί συνεχίζουν να βρίσκονται υπό τάση, λόγω της λειτουργίας των τοπικών μονάδων.

Διάφορες τεχνικές ανίχνευσης του φαινομένου νησιδοποίησης μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία. Αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες ομάδες: τις παθητικές και τις ενεργητικές μεθόδους. Οι παθητικές μέθοδοι προσπαθούν να ανιχνεύσουν το φαινόμενο με τη βοήθεια της παρατήρησης της εξέλιξης των εξόδων των ηλεκτρικών μεταβλητών των αναστροφών. Από την άλλη, οι ενεργητικές μέθοδοι διαταράσσουν αυτές τις μεταβλητές με σκοπό να ανιχνεύσουν το φαινόμενο σε σχέση με την αντίδραση του συστήματος.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρήζει ειδικού χειρισμού από τον αναστροφέα, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω κατάλληλων μετρήσεων την ύπαρξη του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 (Automatic disconnection device between a generator and the public lowvoltage grid) η συμμόρφωση προς το οποίο (ή αντίστοιχο ισοδύναμο του κατά τα πρότυπα άλλων χωρών πλην Γερμανίας ή χωρών που υιοθετούν τους Γερμανικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτική. Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αναστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανασυνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και η 5EH ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αναστροφών. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της ΔΕΗ κατά τη δοκιμή ηλεκτρίσης του σταθμού και την παραλαβή του.

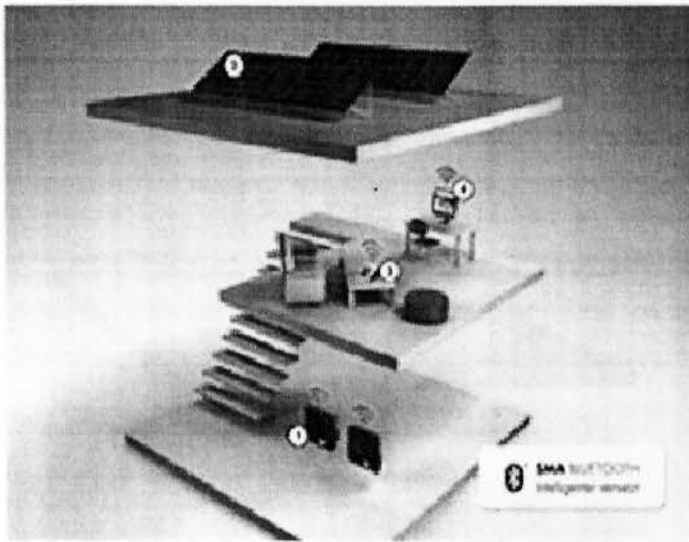
#### **4.4 Επιτήρηση της Απόδοσης της Εγκατάστασης**

Η υλοποίηση μίας ηλιακής εγκατάστασης σημαίνει ότι είναι μία τεχνολογία του μέλλοντος αλλά και μία μακροχρόνια πηγή εσόδων. Άρα, πρέπει να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία της. Για αυτό υπάρχουν ολοκληρωμένα συστήματα τηλεμετρίας για την επιτήρηση της εγκατάστασής και της απόδοσής της σε 24ωρή βάση. Τα συστήματα τηλεμετρίας βασίζονται στο διαδίκτυο και δίνουν τη δυνατότητα επιτήρησης της εγκατάστασης από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Τα προϊόντα αυτά βασίζονται στα ευρέως διαδεδομένα πρωτόκολλα επικοινωνίας έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματώνονται χωρίς πρόβλημα σε κάθε υπάρχουσα εγκατάσταση. Η ανοιχτή αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων επιτρέπει τη γρήγορη και ασφαλή προσαρμογή της εγκατάστασης ακόμη και σε ειδικές εφαρμογές. Παραδείγματα αυτών των εφαρμογών αποτελούν το ασύρματο σύστημα Sunny Beam και το Sunny Boy Control, το Sunny WebBox και το Sunny Portal της εταιρείας SMA Solar Technology AG από την οποία πήραμε και τα στοιχεία.

#### 4.4.1 Ασύρματα ή Ενσύρματα - Ασφαλής Σύνδεση Με ή Χωρίς Καλώδια

Για την επιτήρηση εγκαταστάσεων ηλιακού ρεύματος θα πρέπει να εκτελείται μεταφορά δεδομένων των τιμών ισχύος ή της ενεργειακής απόδοσης. Για την επικοινωνία ανάμεσα στους ηλιακούς μετατροπείς και τις συσκευές για την επιτήρηση δικτύου, υπάρχουν δύο βασικές δυνατότητες σύνδεσης: την ασύρματη και την ενσύρματη σύνδεση. Και οι δύο προσφέρουν πλεονεκτήματα και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις διαφόρων μεγεθών. Στη συνέχεια διασαφηνίζεται ποιος τρόπος επικοινωνίας ταιριάζει ιδανικά στο εκάστοτε φωτοβολταϊκό σύστημα.

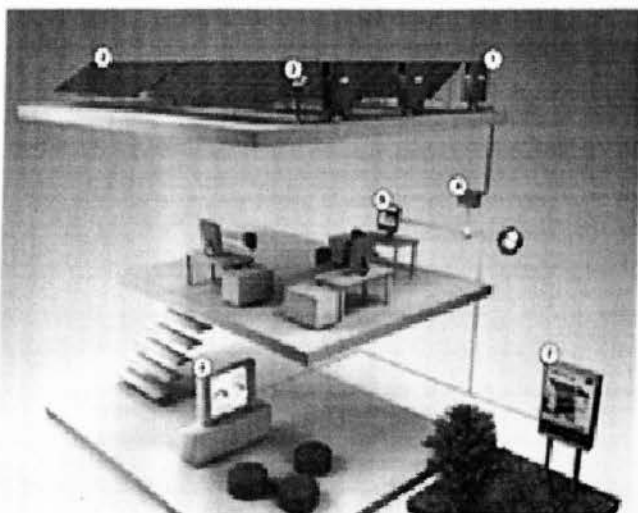
#### 4.4.2 Ασύρματης Σύνδεσης



Με το Bluetooth μπορούν εύκολα και γρήγορα να δημιουργηθούν ασύρματα δίκτυα, χωρίς επιπρόσθετο κόστος όπως διάτρηση τοίχων, σοβάτισμα ή βάψιμο. Αποτελεί την ιδανική λύση για μια εγκατάσταση στη στέγη μιας ιδιωτικής κατοικίας. Το Bluetooth, το διεθνές πρότυπο ραδιοεπικοινωνιών, προσφέρει ευελιξία και επεκτασιμότητα στην επιτήρηση της εγκατάστασης. Οι τεχνικοί και οι φορείς αξιοποίησης της εγκατάστασης εξοικονομούν χρόνο και κόστος. Χάρη στο Bluetooth, ο εντοπισμός όλων των μετατροπέων γίνεται άμεσα και η σύνδεσή τους στην εγκατάσταση αυτόματα. Χάρη στην έξυπνη δικτύωση υπάρχει δυνατότητα ενσωμάτωσης έως και 50 συσκευών σε ένα δίκτυο. Υπάρχει επιπλέον μεγάλη

εμβέλεια μεταξύ των συσκευών Η τεχνολογία Bluetooth εντυπωσιάζει και για την αξιοπιστία της. Χάρη στη συχνή αλλαγή συχνοτήτων και την αποστολή δεδομένων σε μικρές μονάδες, η ασύρματη σύνδεση είναι ιδιαίτερα σταθερή. Και η ισχύς εκπομπής προσαρμόζεται πάντα στις εκάστοτε ανάγκες της εφαρμογής. Επίσης η ενσωματωμένη σε όλες τις συσκευές προστασία με κωδικό, διασφαλίζει τα δεδομένα από την πρόσβαση τρίτων.

#### 4.4.3 Ενσύρματη Σύνδεση



Ο δίαυλος πεδίου RS485 αποτελεί την πλέον κλασική λύση στον τομέα της ενσύρματης τεχνολογίας επικοινωνίας. Χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια και έχει αποδείξει την αξία του σε αμέτρητες εγκαταστάσεις. Όλες οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους υπό τη μορφή αλυσίδας (δημιουργώντας τον επονομαζόμενο δίαυλο δεδομένων). Στο τέρμα αυτής της αλυσίδας, συλλέγονται όλα τα δεδομένα (από το Sunny WebBox) και ενημερώνει αξιόπιστα σχετικά με την κατάσταση της ηλιακής σας εγκατάστασης. Το πλεονέκτημα της καλωδίωσης RS485: Μήκη καλωδίωσης έως και 1.200 μέτρα και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, ακόμα και σε ιδιαίτερα ευαίσθητα περιβάλλοντα χωρίς απώλειες ισχύος. Γιατί ιδιαίτερα στα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι φορείς αξιοποίησης της εγκατάστασης επιζητούν μέγιστη ασφάλεια και αξιοπιστία.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Φραγκιαδάκης Ιωάννης Ε. (2004) , Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις: ΖΗΤΗ

<http://el.wikipedia.org>

<http://www.selasenergy.gr/>

[www.google.gr](http://www.google.gr)

<http://www.greenenergyparts.com>

ΤΕΙ - ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ: ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ  
ΥΠ. ΚΑΘ-ΤΗΣ: Π. ΝΙΝΟΣ  
ΚΑΘ-ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ**  
**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**  
**(ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ)**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:  
Π. ΝΙΝΟΣ  
ΚΑΘ-ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ 1<sup>η</sup>

ΤΙΤΛΟΣ: ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ  
(ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ SYN 501 )