



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων μηχανικών Τ.Ε.

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

STUDY OF THE PHOTOVOLTAIC PARK

Πτυχιακή εργασία

Σπουδαστής

Παπανίκος Δημήτριος -Κωνσταντίνος

Α.Μ.: 37309

Επιβλέπων καθηγητής

Dr. Καραϊσάς Πέτρος

## Πρόλογος

Πράσινη ενέργεια ή ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλύόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)**

1. Ενεργειακό Πρόβλημα.....Σελίδα 5
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας..... Σελίδα 7
3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....Σελίδα 8
4. Είδη ήπιων μορφών ενέργειας..... Σελίδα 9

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Ηλιακή ενέργεια**

1. Ηλιακή ενέργεια.....Σελίδα 11
2. Ηλιοθερμικά συστήματα.....Σελίδα 13
3. Φωτοβολταϊκά συστήματα.....Σελίδα 17

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Φωτοβολταϊκά συστήματα**

1. Τεχνολογία..... Σελίδα 20
2. Βαθμός απόδοσης..... Σελίδα 21
3. Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα..... Σελίδα 22

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας (Συσσωρευτές)**

1. Η Ανάγκη για Αποθήκευση..... Σελίδα 24
2. Ηλιακοί Συσσωρευτές..... Σελίδα 24
3. Δομή Συσσωρευτών..... Σελίδα 25
4. Κατηγορίες Στοιχείων και Συσσωρευτών..... Σελίδα 27
5. Τύποι Συσσωρευτών..... Σελίδα 27
6. Χαρακτηριστικά Μεγέθη ενός Συσσωρευτή..... Σελίδα 30
7. Οι συσσωρευτές στα Φ/Β..... Σελίδα 33

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Μετατροπείς DC/AC (inverters)**

1. Μετατροπείς (inverters).....Σελίδα 35
2. Τι είναι ο inverter.....Σελίδα 35
3. Ποια είδη μετατροπέων (inverters) υπάρχουν.....Σελίδα 36
4. Αντιστροφείας DC/AC.....Σελίδα 36
5. Διάταξη μονοφασικού αντιστροφεία..... Σελίδα 36
6. Βαθμός απόδοσης του μετατροπέα..... Σελίδα 36
7. Ποιες άλλες δυνατότητες μου προσφέρουν οι μετατροπείς..... Σελίδα 36

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: Μελέτη Φ/Β πάρκου (100KW)**

### **Μελέτη Φ/Β πάρκου 100KW στην ευρύτερη περιοχή του Κιλκίς**

1. Επιλογή Φ/Β συλλεκτών..... Σελίδα 39
  2. Υπολογισμός του μηνιαίου συντελεστή θερμοκρασίας ( $\sigma_{\theta}$ )..... Σελίδα 40
  3. Υπολογισμός του μηνιαίου συντελεστή ρύπανσης..... ..Σελίδα 41
  4. Επιλογή μετατροπέα (inverter)..... Σελίδα 41
  5. Συνδεσμολογία Φ/Β με συνεργασία inverter..... ..Σελίδα 42
  6. Τοποθέτηση Φ/Β με την βέλτιστη μηνιαία κλίση,(ρύθμιση κλίσης κάθε μήνα) ..... Σελίδα 43
  7. Υπολογισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης..... Σελίδα 46
  8. Υπολογισμός των στοιχείων του πίνακα των χαρακτηριστικών μεγεθών μίας Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης..... ..Σελίδα 46
  9. Τοποθέτηση Φ/Β συλλεκτών με την βέλτιστη ετήσια κλίση..... ..Σελίδα 51
  10. Υπολογίζοντας τα χαρακτηριστικά μεγέθη της Φ/Β εγκατάστασης τοποθετημένου με βάση την ετήσια βέλτιστη κλίση..... Σελίδα 53
  11. Υπολογισμός διατομής καλωδίων..... Σελίδα 57
  12. Κόστος Φ/Β εγκατάστασης..... Σελίδα 60
- Πηγές..... Σελίδα 61**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ1ο

### ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)



Εικόνα 1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

#### **1.Ενεργειακό Πρόβλημα**

Το οικολογικό πρόβλημα δημιουργείται με τη καύση των ορυκτών καυσίμων όπως του άνθρακα του πετρελαίου του φυσικού αερίου κ.λ.π., την έκλυση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα τα οποία είναι υπεύθυνα κατά κύριο λόγο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου που υπερθερμαίνει τον πλανήτη και προκαλεί τις παρατηρούμενες ήδη σήμερα κλιματικές αλλαγές. Παράλληλα η ρύπανση της ατμόσφαιρας με τα δύο αέρια, μαζί και με τα στερεά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία επίσης εκλύονται κατά τη καύση, ή και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, επιδρούν στη ζωή και τη παρουσία πολλών ειδών της χλωρίδας και της πανίδας της γης.

Εάν εγκαίρως είχε στραφεί η ανθρωπότητα και είχε προσανατολίσει σημαντικούς πόρους και μέσα, στην έρευνα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενδεχομένως σήμερα να είμαστε σε πολύ καλύτερη περιβαλλοντική κατάσταση έχοντας επιτύχει να παράγουμε μεγάλο μέρος από την απαιτούμενη ενέργειά μας από καθαρές οικολογικά πηγές. Οι λόγοι που δεν στραφήκαμε εγκαίρως ήταν αφ' ενός η χαμηλή τιμή του πετρελαίου που δεν δημιουργούσε προβληματισμούς, αφ' ετέρου τα συμφέροντα των μεγάλων εταιρειών πετρελαίου που είχαν πραγματοποιήσει τεράστιες επενδύσεις στον τομέα της εξόρυξης και εμπορίας πετρελαίου και δεν επιθυμούσαν μια εξέλιξη που θα έθετε τις επενδύσεις αυτές σε ρίσκο.

Δεν αποκλείεται η πρόσφατη αφύσικη ανατίμηση του πετρελαίου να αποβλέπει ακριβώς στο να καταστήσει πλέον συμφέρουσα τη στροφή προς τις ΑΠΕ και ιδιαίτερα προς το υδρογόνο, τη διαχείριση του οποίου έχουν ήδη αναλάβει οι ίδιες μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες.

Το ενεργειακό πρόβλημα συνίσταται στην έλλειψη ενέργειας και όχι σε αυτή καθ' εαυτή την παρουσία της. Η έλλειψη αυτή, ή εν πάση περιπτώσει η βέβαιη εκτίμηση ότι σε σύντομο σχετικά διάστημα θα στερέψουν τα καύσιμα που παράγουν την ενέργεια, δημιουργεί μια εφιαλτική προοπτική καθολικής κατάρρευσης του επιπέδου ζωής και του πολιτισμού μας, εκτός αν βρεθούν εγκαίρως άλλες πηγές ενέργειας ικανές να καλύψουν το κενό που αναπόφευκτα αργά ή γρήγορα θα δημιουργηθεί. Είναι φυσικό η εξέλιξη αυτή που καθημερινά γίνεται αντιληπτή όλο και καθαρότερα να δημιουργεί ανησυχίες για την επερχόμενη κρίση και ερωτήματα, για το ποιοι θα είναι εκείνοι που θα την διαχειρισθούν. Σε ένα κόσμο άναρχο που οι διεθνείς σχέσεις δεν διέπονται από αρχές δικαίου αλλά μάλλον υπερισχύει το δίκαιο του ισχυρότερου, η πρόσβαση στις περιοχές των αποθεμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου και άλλων υδρογονανθράκων αποτελεί από μόνη της πηγή εξουσίας και ισχύος. Μπροστά στην προοπτική του τέλους εποχής για τη φτηνή ενέργεια, οι διάφοροι «παγκόσμιοι παίκτες» παίρνουν θέσεις και ετοιμάζονται για την τελική φάση στην οποία επιθυμούν να έχουν πλεονεκτικότερη θέση από τους αντιπάλους τους.

Το πετρέλαιο, η έλλειψή του, οι τιμές του, οι τόποι εξόρυξης, η διέλευση των δικτύων διανομής του, δημιουργούν ένα πλέγμα γεωπολιτικών προϋποθέσεων και στρατηγικών γύρω από τις οποίες κινούνται, στριφογυρίζουν και τοποθετούνται όλες οι σημαντικές χώρες του κόσμου.

Η πολιτική των μεγάλων χωρών, ή συνασπισμών χωρών, αποβλέπει αποκλειστικά στην εξυπηρέτηση συμφερόντων των εθνικών εταιρειών πετρελαίου και παράλληλα στη διατήρηση ή και ενίσχυση της, λιγότερο ή περισσότερο, ηγεμονικής θέσης που ήδη κατέχουν στο παγκόσμιο στερέωμα. Στη θεώρηση της σύγχρονης πολιτικής των μεγάλων χωρών της υδρογείου, που περιστρέφεται γύρω από τη διαχείριση των αποθεμάτων υδρογονανθράκων, υπεισέρχονται λίγοι σταθεροί παράγοντες και πολλοί περισσότεροι ασταθείς και συνεχώς μεταβαλλόμενοι. Ως σταθερούς θα μπορούσε κανείς να αναφέρει την κατανομή των γνωστών κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου πάνω στη γη. Αντίθετα η πολιτική των πετρελαιοπαραγωγών χωρών μικρότερων ή μεγαλύτερων, ισχυρότερων ή ασθενέστερων, που γεωγραφικά στέκουν πάνω ή δίπλα στα κοιτάσματα θα πρέπει να ενταχθεί στους απροσδιόριστους και άγνωστους παράγοντες που διέπουν το πρόβλημα.

Η κατάσταση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου είναι θέμα εικασιών. Οι χώρες και οι εταιρείες πετρελαίου είναι απρόθυμες να φανερώσουν τι ξέρουν και παραπλανούν εσκεμμένα. Οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα συχνά ποικίλλουν σε τεράστιο βαθμό και στηρίζονται σε ένα πλήθος ορισμών που σκοπό έχουν να περιγράψουν τι ακριβώς εννοούμε όταν μιλάμε για αποθέματα.

Η προοπτική ανακαλύψεως νέων κοιτασμάτων, που θα άλλαζε τη σημερινή εικόνα, ενώ δεν μπορεί να αποκλεισθεί, εν τούτης φαίνεται ισχνή. Η σειρά των συλλογισμών που τεκμηριώνει αυτή την

άποψη έχει ως εξής: Υπάρχουν περίπου 1500 κοιτάσματα πετρελαίου μεγάλου και γιγαντιαίου μεγέθους στον κόσμο σήμερα. Περιέχουν το 94% του γνωστού αργού πετρελαίου. Τα 400 μεγαλύτερα κοιτάσματα περιέχουν το 60-70%. Μόνο 41 απ' αυτά τα τελευταία ανακαλύφθηκαν μετά το 1980. Η ουσία είναι, σύμφωνα με τους Βρετανούς ειδικούς, ότι τώρα πλέον ο πλανήτης ολόκληρος έχει ερευνηθεί εξαντλητικά και έτσι έχει καταστεί σαφές ότι δεν υπάρχουν άλλα κοιτάσματα σε νέες περιοχές που να μπορούν να συγκριθούν με εκείνα της Βόρειας Θάλασσας και της Αλάσκας και να μην έχουν ανακαλυφθεί. Η Αμερικανική Γεωλογική Επιθεώρηση, απ' την άλλη πλευρά, συμφωνεί μ' αυτή την άποψη και αναφέρει ότι η ανακάλυψη σημαντικών κοιτασμάτων πετρελαίου κορυφώθηκε το 1962 και έκτοτε βρίσκεται σε πτώση. Η χρυσή εποχή του πετρελαίου έχει τελειώσει. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν θα συνεχίσουν να ανακαλύπτονται νέα μικρότερα κοιτάσματα, αλλά δεν θα επαρκούν ώστε να αντισταθμίσουν τη συνεχιζόμενη μείωση στα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα. Έτσι φτάνουμε στην πρώτη σταθερά του ενεργειακού προβλήματος στην οποία συγκλίνουν οι γνώμες όλων των ειδικών, ότι δηλαδή, σε περίπου 30 χρόνια από τώρα η κρίση θα έχει εκδηλωθεί και θα βρίσκεται στο αποκορύφωμά της. Τα πρώτα συμπτώματα αρχίζουν να γίνονται ορατά από τώρα που παρατηρούμε μια συχνή αύξηση της τιμής του πετρελαίου. Σήμερα η τιμή κυμαίνεται στα 70-75\$ το βαρέλι όταν προ 2.5 ετών ήταν στα 25\$ ανά βαρέλι. Η αφύσικη αυτή αύξηση δεν οφείλεται σε ομαλή εφαρμογή της προσφοράς και ζήτησης, αλλά όπως όλοι οι εκτιμητές συμφωνούν, εμπεριέχει μεγάλο ποσοστό κερδοσκοπίας που φθάνει την αισχροκέρδεια εκ μέρους των εταιρειών πετρελαίου ή και μεσαζόντων που αναμιγνύονται στην εμπορία του πετρελαίου.

## **2.Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια «συσκευασμένη» κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπομενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό

δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 2001/77/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου επιδιώκεται το 20% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια να καλύπτεται από εναλλακτικές πηγές μέχρι το 2020.

Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK άρθρο 5 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπολογίζεται διαιρώντας την ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διά της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας από όλες τις ενεργειακές πηγές και εκφράζεται ως ποσοστό. Σύμφωνα με το άρθρο 6 της ίδιας οδηγίας τα κράτη μέλη μπορούν να συμφωνούν και να προβαίνουν σε ρυθμίσεις για τη στατιστική μεταβίβαση συγκεκριμένης ποσότητας από ΑΠΕ από ένα κράτος μέλος σε άλλο. Η μεταβιβαζόμενη ποσότητα αφαιρείται από το μεταβιβάζον και προστίθεται στο κράτος που δέχεται τη μεταβίβαση. Η στατιστική μεταβίβαση δεν επηρεάζει την επίτευξη του εθνικού στόχου του μεταβιβαζόντος κράτους μέλους.

### **3.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

#### *Πλεονεκτήματα*

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτόρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.



- Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τούτου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

### *Μειονεκτήματα*

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### **4.Είδη ήπιων μορφών ενέργειας**

- Αιολική ενέργεια. Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

- Υδραυλική ενέργεια. Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- Βιομάζα. Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.
- Γεωθερμική ενέργεια. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.
- Ενέργεια από τη θάλασσα
  1. Ενέργεια από παλίρροιες. Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
  2. Ενέργεια από κύματα. Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
  3. Ενέργεια από τους ωκεανούς. Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.
- Ωσμωτική ενέργεια. Η ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ωσμωτική ενέργεια (ή γαλάζια ενέργεια) και ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό είναι διαχωρισμένα από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό περνάει μέσω αυτής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ2ο : ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

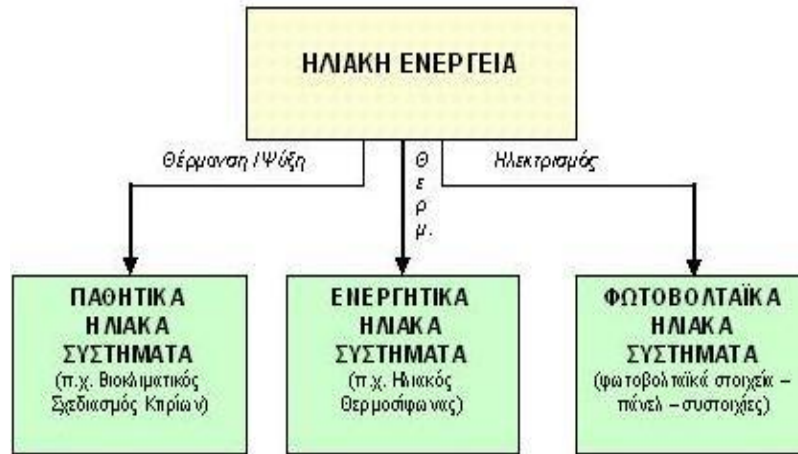
### 1.Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

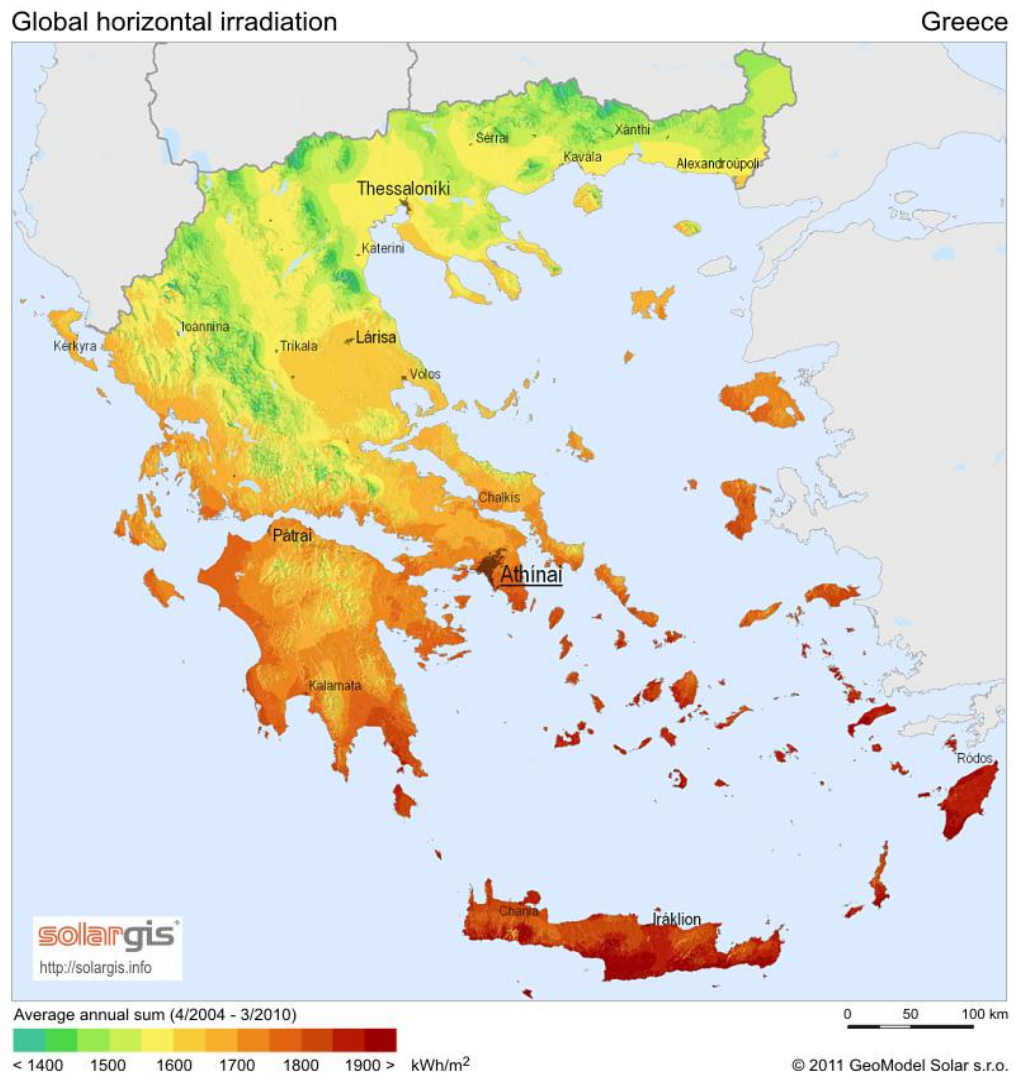
Ένας τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία. Μέχρι στιγμής, χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στους δορυφόρους, επειδή έχουν πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία κατασκευάζονται από πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ημιαγωγός, δηλαδή είναι ένα υλικό, το οποίο ανάλογα με την θερμοκρασία του αποκτά την ιδιότητα των μονωτών και των αγωγών και όταν εμπλουτιστεί με κάποια άλλα κατάλληλα στοιχεία, επιτρέπει την ροή των ηλεκτρονίων. Ένα ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα πυριτίου, ένα εμπλουτισμένο με θετικά ιόντα και ένα με αρνητικά. Όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στην επιφάνεια, ελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία συλλέγονται από ένα πλέγμα αγωγών που υπάρχουν και στις δύο επιφάνειες. Όταν συνδεθεί το στοιχείο με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια κινούνται από την αρνητική προς την θετική επιφάνεια δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή Ηλιοθερμικά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 2. Σχεδιάγραμμα κατανομής ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 3. Ηλιακή ακτινοβολία σε χάρτη της Ελλάδας.

## 2. Ηλιοθερμικά συστήματα

Τα ηλιοθερμικά συστήματα συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια που μετέπειτα μπορεί να παράξει ηλεκτρισμό. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιοθερμικών συστημάτων και η διαφορά τους έγκειται στο βαθμό θερμότητας που μπορούν να παράξουν δηλαδή ως χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες. Τα ηλιοθερμικά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, είναι πιο αποδοτικά από τα φωτοβολταϊκά.

Η χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας συλλέκτες είναι επίπεδες πλάκες που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου για να ζεστάνουν νερό μέσα στο πλαίσιο. Αυτά τα συστήματα δεν παράγουν ηλεκτρισμό αλλά ζεστό νερό για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

Οι συλλέκτες με σωλήνες κενού (vacuum tubes) παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια στο εσωτερικό του γυαλοσωλήνα κενού (το κενό αέρος έχει τον μικρότερο συντελεστή θερμικής απώλειας), με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλές ως μηδαμινές θερμικές απώλειες στο περιβάλλον. Πετυχαίνοντας έτσι υψηλότερες θερμοκρασίες από τους συμβατικούς συλλέκτες σε συνθήκες κρύου καιρού αλλά η απόδοση τους είναι πιο μικρή σε συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας. Επιπρόσθετα οι συλλέκτες με σωλήνες κενού, έχουν ωφέλιμη ζωή πάνω από 25 χρόνια, σε αντίθεση με τους συμβατικούς συλλέκτες που η απόδοση τους μειώνεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου. Παγκόσμιες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η απόδοση τους σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες είναι 30-40% μεγαλύτερη. Επίσης μετά από 10-15 χρόνια το μέγιστο που μπορούν να χάσουν σε απόδοση είναι 40% που σημαίνει ότι μετά από 15 χρόνια θα έχουν περίπου την ίδια απόδοση με τους επίπεδους συλλέκτες.

Αντίθετα, οι υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με κάτοπτρα ή φακούς σε ένα ντεπόζιτο νερού μετατρέποντας το σε ατμό, ο οποίος στην συνέχεια κινεί ατμογεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Για να λειτουργήσουν αποδοτικά, τα ηλιοθερμικά συστήματα χρειάζονται άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες ή τα κάτοπτρα. Εάν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια η απόδοση τους μειώνεται αισθητά.

Ένα ηλιοθερμικό παραβολικό πιάτο με κάτοπτρα είναι συλλέκτης υψηλής θερμοκρασίας. Συγκεντρώνει τις ακτίνες του ηλίου στην δεξαμενή μιας μηχανής Stirling. Το πιάτο ακολουθεί τον ήλιο κατά την διάρκεια της μέρας.

Η διαφορά των ηλιοθερμικών συστημάτων με τα φωτοβολταϊκά είναι ότι τα ηλιοθερμικά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια πρώτα σε θερμική και μετέπειτα σε ηλεκτρισμό, ενώ τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Άλλη μία σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο είναι πως τα φωτοβολταϊκά δεν χρειάζονται ηλιοφάνεια για να παράξουν ηλεκτρισμό.

Ένα ηλιοθερμικό Παραβολικού κοίλου ή γούρνα είναι κατασκευασμένο ως ένα μεγάλο παραβολικό κάτοπτρο (συνήθως έχει ασημένια επικάλυψη ή γυαλισμένο αλουμίνιο) με ένα σωλήνα Dewar που τρέχει κατά το μήκος του σε κομβικό σημείο. Το φως του ήλιου αντανακλάται από τον καθρέφτη και επικεντρώνεται στο σωλήνα Dewar, θερμαίνοντας υγρό το οποίο στην συνέχεια μετατρέπει κινητική

ενέργεια σε ηλεκτρισμό. Η γούρνα συνήθως ευθυγραμμίζεται με άξονα βορρά-νότου, και περιστρέφεται έτσι ώστε να παρακολουθεί τον ήλιο στον ουρανό κάθε μέρα.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, αλλά και σε νοικοκυριά για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών (ζεστό νερό, θέρμανση). Η απόδοση τους είναι ανάλογη με την ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην οριζόντια επιφάνεια του συλλέκτη. Στον Ελλαδικό χώρο η μεσαία ετήσια ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 1450 στα βόρεια έως 1950 κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο, στην Κρήτη και την Κύπρο. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετρηθεί με όργανα όπως το πυρανόμετρο.



Εικόνα 4. Ηλιακό σύστημα. Ένα ηλιοθερμικό παραβολικό πιάτο με κάτοπτρα. Αυτός ο συλλέκτης είναι υψηλής θερμοκρασίας. Συγκεντρώνει τις ακτίνες του ηλίου στην δεξαμενή μιας μηχανής Stirling. Το πιάτο ακολουθεί τον ήλιο κατά την διάρκεια της μέρας.

#### *Οικιακή Χρήση*

Ο τρόπος λειτουργίας και η αρχιτεκτονική των οικιακών ηλιοθερμικών συστημάτων είναι αρκετά απλός. Αποτελούνται από έναν ηλιακό συλλέκτη, ένα ταμιευτήρα και ένα σύστημα σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο. Ο ηλιακός συλλέκτης απαρτίζεται από μία απορροφητική πλάκα, η οποία περιέχει αγωγούς από τους οποίους διέρχεται το προς θέρμανση ρευστό. Η απορροφητική πλάκα περιέχεται σε ένα αεροστεγές και αδιάβροχο πλαίσιο, το οποίο είναι καλυμμένο από την πλευρά του ηλίου με γυαλί η διαφανές ανθεκτικό πλαστικό και από την άλλη με θερμομονωτικό υλικό. Η απορροφητική πλάκα για να απορροφά το μέγιστο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι μαύρη και ματ και τα υλικά που

χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της προκύπτουν από ποικίλες τεχνικές (ηλεκτροχημικές κ.ά.), προκειμένου να αυξηθεί η απορροφητικότητα της πλάκας. Οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται σε επίπεδους συλλέκτες και σε συλλέκτες κενού.



Εικόνα 5. Χαμηλής θερμοκρασίας Ηλιοθερμικό.

### *Βιομηχανική Χρήση*

Τα ηλιοθερμικά συστήματα που προορίζονται για κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας έχουν διαφορετική αρχιτεκτονική και κατασκευή. Αυτές οι μονάδες χρησιμοποιούνται για την θέρμανση χώρων, αφαλάτωση, παραγωγή ζεστού νερού για τη βιομηχανία, την τηλεθέρμανση οικισμών, τον ηλιακό κλιματισμό και κυρίως για την ηλιοθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού.

Αξιοποιούνται σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία, αθλητικά κέντρα, συγκροτήματα κατοικιών, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά όχι για οικιακή χρήση, καθώς οι απαιτήσεις σε χώρο και εξοπλισμό είναι πολύ μεγάλες. Για την λειτουργία τους αξιοποιούν ένα σύστημα κεντρικού ελέγχου με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες (ίδιους στη φιλοσοφία με τα οικιακά συστήματα, αλλά μεγαλύτερης έκτασης), ταμιευτήρες, καθώς και κυκλοφορητές του ρευστού.

Επίσης, επειδή λειτουργούν σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τα φωτοβολταϊκά, μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια με μορφή θερμότητας για την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση αλάτων που λιώνουν όταν υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας και αποδίδουν τη θερμική τους ενέργεια όταν υπάρχει ανάγκη.



Εικόνα 6. Ηλιακός συλλέκτης με κάτοπτρα στην Γαλλία. Ο συγκεκριμένος συλλέκτης μπορεί να φτάσει υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι και 3.800 βαθμών Κελσίου).-Εφαρμογή ηλιοθερμικών συστημάτων στην βιομηχανία.

#### *Συλλέκτες υψηλής θερμοκρασίας*

Εάν η ηλιακή ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας και το νερό στο ντεπόζιτο είναι το μέσο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τότε η απόδοση των θερμικών μηχανών αυξάνεται αναλόγως με τη θερμοκρασία της πηγής, δηλαδή τη θερμοκρασία της ηλιακής ακτινοβολίας και την θερμοκρασία του μέσου (δηλαδή του ατμού). Ο ατμός διοχετεύεται με μεγάλη πίεση (ανάλογη της θερμοκρασίας του ατμού) στα μηχανικά μέρη της μηχανής που περιστρέφονται δημιουργώντας ηλεκτρισμό.

Ανάλογα με τις θερμοκρασίες του μέσου και της πηγής, διαφορετικές τεχνολογίες μετατροπής θερμότητας σε ηλεκτρισμό αποδίδουν διαφορετικά. Σε θερμοκρασίες μέχρι και 600°C, οι ατμοστροβίλοι ή ατμολέβητες, σαν τυποποιημένη τεχνολογία, έχουν απόδοση έως και 41%. Όταν η θερμοκρασία του ατμού είναι πέραν των 600°C, οι αεριοστροβίλοι είναι πιο αποδοτικοί.





Εικόνα 7. Ο ηλιοθερμικός ηλεκτροπαραγωγός σταθμός, PS10 στην Ισπανία χρησιμοποιεί κάτοπτρα για να συγκεντρώσει τις ακτίνες του ήλιου σε ένα κεντρικό πύργο.

### 3.Φωτοβολταικά συστήματα

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.



Εικόνα 8. Φ/Β συστήματα.

Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14%

περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

#### Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- Καταναλωτικά προϊόντα (1mW–100 Wp ).

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φακοί κ.ά.

- Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100 Wp –200k Wp ).

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- Ηλεκτροδότηση Νοσοκομείων.
- Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού.
- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

#### Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

#### Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα – Οικιακός Τομέας

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τυπικού μεγέθους 1,5kWp έως 20kW, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως προαναφέρθηκε, η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων. Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια είναι:

- Συγχρονισμός ψυκτικών φορτίων κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο με τη μεγίστη παραγόμενη ισχύ από τα Φ/Β.
- Αποφυγή χρήσης γης για την εγκατάσταση.
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επιτόπου κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας.

- Επίσης, οι Φ/Β συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία των κτιρίων, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η οικονομική απόδοση του συστήματος, λόγω αποφυγής κόστους συμβατικών οικοδομικών υλικών.

Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος, που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού τους πελάτες της.

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» ( Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ3ο : ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα φωτοβολταϊκά (ή Φ/Β) συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για την Ελλάδα. Εκμεταλλευόμενο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια.

### 1.Τεχνολογία

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-170mm περίπου. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.



Εικόνα 9. Φωτοβολταϊκά από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο



Εικόνα 10. Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο

από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Η κατασκευή μιας γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά από την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι απίθανο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης γεννήτριας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών στοιχείων είναι πολύ δύσκολη. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

## 2.Βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης: η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.



Εικόνα 11. Φωτοβολταϊκή συστοιχία

### 3.Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

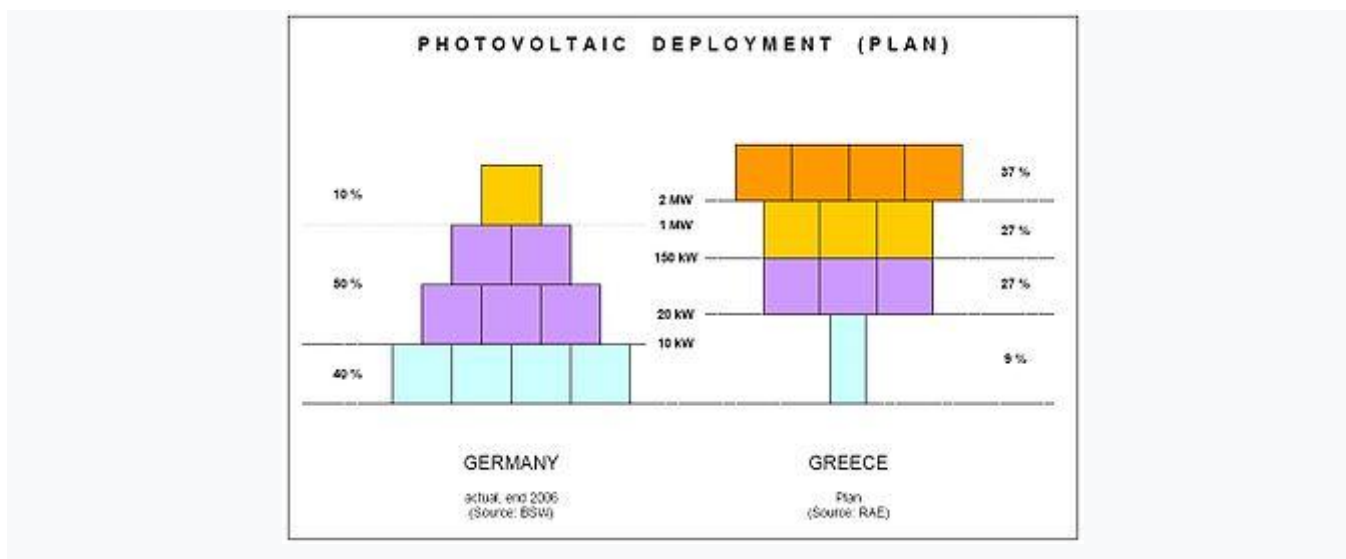
Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογιστεί κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 2700 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

#### *Κίνητρα στην Ελλάδα*

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως προς την ηλιοθερμική ενέργεια η Ελλάδα ήταν πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες με περίπου ένα εκατομμύριο εγκατεστημένους ηλιακούς θερμοσίφωνες, που συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας το ανεξάντλητο ηλιακό δυναμικό. Τώρα μένει να γίνει το ίδιο και ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις μάλιστα για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι ακόμα καλύτερες, αφού τα Φ/Β συστήματα παρουσιάζουν την μέγιστη παραγωγή ακριβώς εκείνες τις ώρες της ημέρας που και η κατανάλωση (ζήτηση) φτάνει στο μέγιστο και η ΔΕΗ ζητά από όλους τους καταναλωτές να περιορίσουν την ζήτηση ή αναγκάζεται να κάνει περικοπές (ελεγχόμενη συσκότιση). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιδοτούνται από το Ελληνικό κράτος μέσω του νέου επενδυτικού νόμου Ν. 3522/06 και του αναπτυξιακού νόμου Ν. 3299/04 για επενδυτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας (επιδότηση αγοράς εξοπλισμού έως και 40% ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης και τα επιχειρηματικά κριτήρια που ικανοποιούνται). Στη συνέχεια, με βάση το νόμο Ν.

3468/06 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ο επενδυτής συνάπτει δεκαετές συμβόλαιο – με μονομερή δυνατότητα ανανέωσης της σύμβασης από την πλευρά του επενδυτή για ακόμη δέκα χρόνια – για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει στον ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για τις διασυνδεδεμένες περιοχές, ή απευθείας στη ΔΕΗ για τις μη-διασυνδεδεμένες περιοχές. Η τιμή πώλησης κυμαίνεται από 0,40 έως 0,50 Ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh) ανάλογα με το μέγεθος και την περιοχή της εγκατάστασης. Όμως, και ο ιδιώτης μπορεί να επωφεληθεί του νόμου 3468, πουλώνοντας την πλεονάζουσα ενέργεια της εγκατάστασης ιδιόχρησης που διαθέτει στις ίδιες ανταγωνιστικές τιμές, με επιπλέον όφελος φοροελάφρυνση έως και 700 Ευρώ.

Τα κίνητρα αυτά έχουν ήδη δείξει τα πρώτα αποτελέσματα, και πλέον βλέπουμε τη δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας, και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε καινούργια ή και παλιότερα σπίτια. Με την τρέχουσα νομοθεσία η Ελληνική πολιτεία στοχεύει στην δημιουργία μεγάλων ως πολύ μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων, σε αντίθεση με άλλες χώρες, που όπως η Γερμανία στοχεύουν στην ανάπτυξη πολλών μικρών συστημάτων. Μία σχετική σύγκριση φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Τα στοιχεία του διαγράμματος προέρχονται από τον σύνδεσμο εταιρειών ηλιακής ενέργειας της Γερμανίας (BSW) και από την Ελληνική Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).



Εικόνα 12. Φωτοβολταϊκός σχεδιασμός

### Στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία είναι αντίστοιχη με την ελληνική. Πολλές πόλεις χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν παράσχει ανάλογα κίνητρα για την εγκατάσταση Φ/Β τόσο σε οικιακές όσο και σε εταιρικές εγκαταστάσεις. Πρόσφατα, η πόλη με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια στην Γερμανία, το Φράμπουργκ<sup>[1]</sup> (Freiburg im Breisgau) διατηρώντας τον τίτλο της "πράσινης πόλης" ανακοίνωσε την εγκατάσταση Φ/Β σε οικίες και δημόσια κτίρια. Οι οικιακοί καταναλωτές στην πόλη πωλούν τα ποσά ενέργειας που περισσεύουν στον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόμοιες προσπάθειες γίνονται, επίσης, στην Νότια Γαλλία και στην Ιταλία, καθώς οι περιοχές αυτές πλεονεκτούν από την άποψη ημερήσιας ηλιοφάνειας. Προσδοκείται, ωστόσο, η εγκατάσταση Φ/Β και σε βορειότερες περιοχές, ιδιαίτερα όταν βελτιωθεί ο συντελεστής απόδοσής τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας

#### 1. Η Ανάγκη για Αποθήκευση

Ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι ανάγκη να αποθηκευτεί, ώστε να χρησιμοποιηθεί μετά τη δύση του ήλιου, τη νύχτα, πριν την ανατολή του ήλιου, όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ακτινοβολία ή κατά τη διάρκεια συνεχών ημερών με νεφελώδη ουρανό. Η στατιστική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου και η δυνατότητα μετατροπής μέρους αυτής σε καθαρή για το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου του τρέχοντος επιπέδου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, καθιστά όλο και πιο συχνά επιτακτική τη χρήση των ηλιακών κυττάρων ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλιοφάνειας ενός τόπου αντιπαρατιθέμενα στην ίδια τη φύση του φαινομένου, που χαρακτηρίζεται από τις έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, θα περιορίζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα περισσότερα από τα συστήματα αποθήκευσης που υπάρχουν δεν προσφέρονται για το σκοπό αυτό είτε λόγω μεγάλου αρχικού κόστους, είτε λόγω μη προσαρμογής των δυνατοτήτων αποθήκευσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η άντληση και η αποθήκευση νερού, ο συμπιεσμένος αέρας, η θερμική αποθήκευση, η παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου, η αποθήκευση σε σφονδύλους κλπ.

#### 2. Ηλιακοί Συσσωρευτές

Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Η χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια συσσωρευτών φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα πλεονεκτήματα ενός Φ/Β συστήματος με συσσωρευτές είναι η δυνατότητα να παρέχουν ενέργεια σε περιόδους που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η δυνατότητα να καλύπτουν στιγμιαίες αιχμές ζήτησης φορτίου, η ύπαρξη σταθερής τάσης στο σύστημα, η ικανότητα αποθήκευσης της επί πλέον της ενεργειακής ζήτησης ενέργειας ώστε να μειώνονται οι απώλειες κτλ. Από την άλλη μεριά, η αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος, το αυξημένο κόστος, ο αυξημένος χρόνος και το κόστος συντήρησης και πολλές φορές η μειωμένη αξιοπιστία μπορούν να καταγραφούν στα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος.





Στο κεφάλαιο αυτό, εκτός από τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των συσσωρευτών θα εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

### 3. Δομή Συσσωρευτών

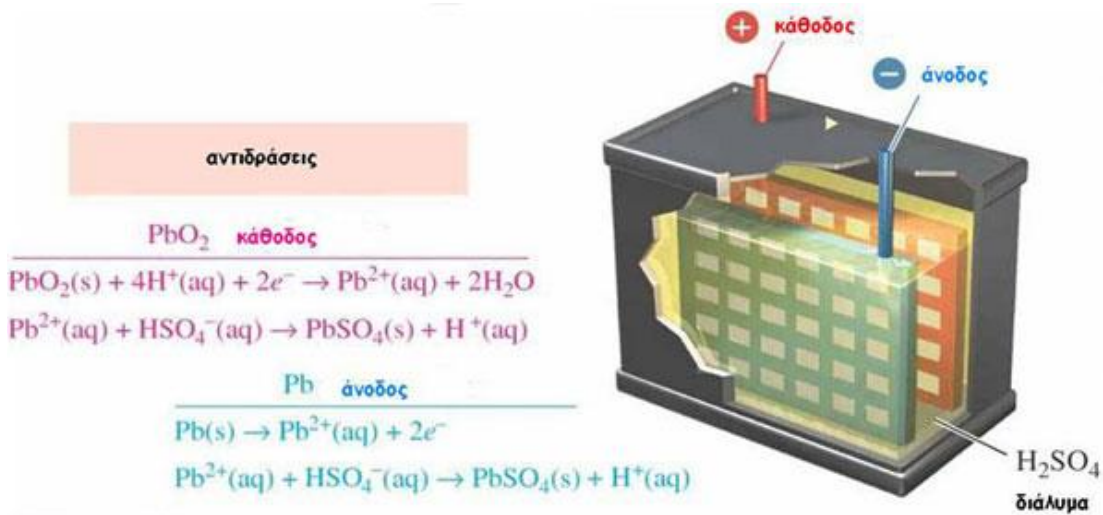
Ένας συσσωρευτής αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή/και παράλληλα και ο τρόπος σύνδεσής τους εξαρτάται από την επιθυμητή τάση εξόδου και τη χωρητικότητα της συστοιχίας. Το στοιχείο αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

- Την άνοδο, η οποία δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Την κάθοδο, η οποία δέχεται τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και ανάγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη (ιονικός αγωγός) ο οποίος αποτελεί το μέσο για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του στοιχείου μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως κάποιο διάλυμα που συμβάλλει στην ιονική αγωγιμότητα της διάταξης.

Σε ένα πρακτικό σύστημα, η άνοδος επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω: καλή αγωγιμότητα, σταθερότητα, ευκολία κατασκευής και μικρό κόστος. Συνήθως τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή ανόδων είναι τα μέταλλα. Η κάθοδος πρέπει να είναι ένας καλός οξειδωτικός παράγοντας και να μην αλληλεπιδρά χημικά με τον ηλεκτρολύτη. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή καθόδων είναι τα οξειδία μετάλλων. Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει καλή ιονική αγωγιμότητα. Η άνοδος και η κάθοδος είναι ηλεκτρικά απομονωμένες μέσα στο στοιχείο για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη.

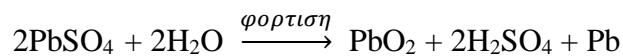
Στις κατασκευές των στοιχείων χρησιμοποιείται ένα υλικό διαχωρισμού για να διαχωρίσει τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου. Το υλικό διαχωρισμού είναι διαπερατό από τον ηλεκτρολύτη, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ιονική αγωγιμότητα του στοιχείου. Κατάλληλα υλικά μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για τη μείωση της εσωτερικής τους αντίστασης.

Το στοιχείο μπορεί να κατασκευαστεί σε πολλά σχήματα: κυλινδρικό, επίπεδο ή πρισματικό. Τα στοιχεία σφραγίζονται με διάφορους τρόπους για να αποφευχθεί η διαρροή του ηλεκτρολύτη. Μερικά στοιχεία διαθέτουν βαλβίδες για να επιτρέπουν τη διαφυγή των αερίων που παράγονται κατά τη λειτουργία τους. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η δομή ενός συσσωρευτή όπου διακρίνονται τα δομικά χαρακτηριστικά που έχουν περιγραφεί παραπάνω.



Αρχή Λειτουργίας Συσσωρευτών.

Ο μηχανισμός της λειτουργίας των συσσωρευτών στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, η οποία για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την αντίδραση



Η κατεύθυνση προς τα δεξιά αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτωσης, ενώ η αντίθετη στη φόρτιση του συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αρχική επαφή των μολύβδινων πλακών με το ηλεκτρολυτικό διάλυμα H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, λεπτό επιφανειακό στρώμα των ηλεκτροδίων μετατρέπεται από Pb σε PbSO<sub>4</sub>. Κατά τη φόρτιση υπό τάση λίγο μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης της διάταξης, το ηλεκτρόδιο που είναι συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο της πηγής φόρτισης, ανάγεται σε μεταλλικό μολύβδο (Pb), με σπογγώδη μορφή και το άλλο που είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο της πηγής, οξειδώνεται προς PbO<sub>2</sub>, φαιού χρώματος. Ένας συσσωρευτής αποτελείται από μία συνάθροιση κυψελίδων και η ονομαστική του τάση είναι το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων των κυψελίδων του. Έτσι, ο συσσωρευτής που χρησιμοποιούμε, με ονομαστική τιμή 60Volt αποτελείται από 30 κυψελίδες ονομαστικής τιμής 2Volt η καθεμία.

#### **4.Κατηγορίες Στοιχείων και Συσσωρευτών**

##### *Πρωτεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές*

Τα πρωτεύοντα στοιχεία ( ή συσσωρευτές) δε γίνεται να επαναφορτιστούν, γι' αυτό εκφορτίζονται μία φορά και στη συνέχεια αποσύρονται. Ο πρωτεύων συσσωρευτής είναι μία ικανοποιητική και συνήθως φθηνή πηγή ενέργειας. Τα γενικά πλεονεκτήματα τους είναι η γενικά μεγάλη ζωή τους όταν βρίσκονται αποθηκευμένοι, η μεγάλη πυκνότητα ενέργειας για μικρούς ή μεσαίους ρυθμούς εκφόρτισης, η μικρή ή έως καθόλου ανάγκη για συντήρηση, η ευκολία χρήσης και το μικρό αρχικό κόστος. Διάφορες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός, φωτογραφικός εξοπλισμός, παιχνίδια κ.α. Οι πιο συνηθισμένοι πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι κυλινδρικοί ή επίπεδοι.

##### *Δευτερεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές*

Τα δευτερεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά μετά την εκφόρτιση, μέχρι να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση πριν τη εκφόρτιση. Αυτό γίνεται με την εφαρμογή ρεύματος με την αντίθετη φορά από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ισχύεις. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: 1. Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής εκφορτίζεται μόνο όταν είναι απαραίτητο και φορτίζεται από μία πηγή τάσης ή ρεύματος. Τέτοιες εφαρμογές είναι τα συστήματα αεροπλάνων, συστήματα έκτακτης ανάγκης και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. 2. Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής χρησιμοποιείται ως κύρια πηγή ενέργειας και επαναφορτίζεται μετά τη χρήση αντί να αποσύρεται. Τέτοιες εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν τις φορητές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρικά οχήματα και γενικά εφαρμογές τις οποίες δε μπορούν να καλύψουν οι πρωτεύοντες συσσωρευτές.

Οι δευτερεύοντες συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακά πυκνότητα, υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης και καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Μερικοί συσσωρευτές, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως μηχανικά επαναφορτιζόμενοι, φορτίζονται με την αντικατάσταση ενός από τα ηλεκτρόδια, συνήθως της μεταλλικής διόδου. Τους βασικότερους εκπροσώπους αυτής της κατηγορίας, που είναι και πλέον κατάλληλοι για φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελούν οι συσσωρευτές μολύβδου (LEAD-ACID) και οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (NICKEL-CADMIUM).

#### **5.Τύποι Συσσωρευτών**

Έχει ήδη αναφερθεί ότι τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου και νικελίου σε υποκατηγορίες. Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι.

##### *Συσσωρευτές Μολύβδου*

Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

- Οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb).
- Οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca), οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης.

- Οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου / μολύβδου-ασβεστίου.
- Οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM).

Συσσωρευτές Μολύβδου-Αντιμονίου (Pb-Sd). Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

#### *Συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη*

(Captive Electrolyte Lead Acid Batteries) Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead-Acid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση τους καθιστά ιδανικούς για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

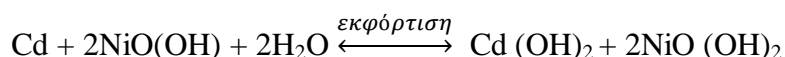
#### *Άλλοι Τύποι Συσσωρευτών:*

Εκτός από τους συσσωρευτές μολύβδου έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς και έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο ή βρίσκονται ακόμα υπό μελέτη διάφοροι άλλοι τύποι συσσωρευτών όπως οι συσσωρευτές νικελίου. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών νικελίου είναι:

- Οι συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου.
- Οι συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου.
- Οι συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου.
- Οι συσσωρευτές REDOX.

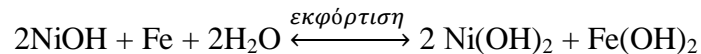
#### *Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου*

Η χημική αντίδραση που περιγράφει τη φόρτιση-εκφόρτιση είναι:



Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου σε νερό. Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών περιλαμβάνονται η δυνατότητα μεγάλων ρυθμών, μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα υπερφόρτισης, σχετικά σταθερή τάση λειτουργίας συναρτήσει της στάθμης φόρτισης, ικανότητα παραμονής σε μέτρια στάθμη φόρτισης χωρίς πολλές φθορές. Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές, φορητά εργαλεία, σαν εφεδρικές πηγές και σε διαστημικές εφαρμογές. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος και η μικρή χωρητικότητα.

Συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου Η χημική αντίδραση που περιγράφει τη φόρτιση-εκφόρτιση είναι:



Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου σε νερό. Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής και η δυνατότητα να υπερφορτίζονται και να υπερεκφορτίζονται με ελάχιστη μόνιμη βλάβη, ενώ στα μειονεκτήματα το σχετικά υψηλό κόστος και ο μικρός βαθμός απόδοσης.

Συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου. Η χημική αντίδραση είναι όμοια με τους προηγούμενους με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου στη θέση του σιδήρου. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ενέργειας που τους κάνει κατάλληλους για συσσωρευτές έλξης, ενώ σαν μειονεκτήματα έχουν τη μικρή διάρκεια ζωής, σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης και το υψηλό κόστος. Συσσωρευτές REDOX Τα ενεργά υλικά είναι διάλυμα 2 CrCl σε νερό για το θετικό ηλεκτρόδιο και διάλυμα 3FeCl σε νερό για το αρνητικό ηλεκτρόδιο και αποθηκεύονται σε χωριστά δοχεία εκτός του στοιχείου, όπου βρίσκονται τα δυο ηλεκτρόδια και κυκλοφορούν με τη βοήθεια αντλιών. Στα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής, η δυνατότητα υπερφόρτωσης ή υπερεκφόρτισης χωρίς μόνιμη βλάβη, η δυνατότητα ρύθμισης της τάσης με την πρόθεση επί πλέον στοιχείων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, ενώ στα μειονεκτήματα οι ενεργειακές (παρασιτικές) απαιτήσεις για τη λειτουργία των βοηθητικών συσκευών κ.α. Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι βρίσκονται υπό μελέτη και άλλοι τύποι συσσωρευτών που καθένας παρουσιάζει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

#### *Κύκλος Λειτουργίας (DUTY CYCLE)*

Μια πλήρης φόρτιση μαζί με την επόμενη επαναφόρτιση αναφέρεται σαν ένας κύκλος (CYCLE). Οι συσσωρευτές ανάλογα με τον τρόπο χρησιμοποίησης χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες, που καθεμιά παρουσιάζει ιδιαίτερα κρίσιμα χαρακτηριστικά.

#### *Συσσωρευτές Εκκίνησης (SLI και DIESEL)*

Χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση (STARTING), φωτισμό (LIGHTING) και ανάφλεξη (IGNITION) αυτοκινήτων και ντιζελομηχανών. Έχουν μεγάλους ρυθμούς εκφόρτισης και αποδίδουν μεγάλα ποσά ενέργειας σε μικρές χρονικές περιόδους με μικρό βάθος εκφόρτισης, σχετικά χαμηλό κόστος, μεγάλη ταχύτητα αυτοεκφόρτισης, διάρκεια ζωής 2-5 χρόνια για αυτοκίνητα και μέχρι 8 χρόνια για ντιζελομηχανές και μικρή διάρκεια ζωής σε κύκλους (200 κύκλους για 50% DOD και 3-5 κύκλους για 80-100% DOD).

#### *Συσσωρευτές Έλξης (MOTIVE POWER, TRACTION)*

Χρησιμοποιούνται σε ανυψωτικά μηχανήματα, ηλεκτρικούς συρμούς ορυχείων, υποβρύχια και εν γένει ηλεκτροκίνητα οχήματα. Έχουν μεγάλη ταχύτητα αυτοεκφόρτισης και όταν δεν εκφορτίζονται σε βάθος μπορεί να διαρκέσουν 5-15 χρόνια.

### *Στάσιμοι Συσσωρευτές (STATIONARY FLOAT)*

Χρησιμοποιούνται σε τηλεφωνικά συστήματα, συστήματα αδιάλειπτου παροχής και εν γένει εφεδρικά συστήματα. Αρχίζουν να παρέχουν ενέργεια μόνο όταν η κύρια τροφοδοσία πάθει κάποια βλάβη με ρυθμούς εκφόρτισης C/8 μέχρι 2C ανάλογα με την εφαρμογή. Έχουν διάρκεια ζωής 15-30 χρόνια

### *Συσσωρευτές Κλειστού Τύπου (SEALED)*

Δε χρειάζονται συνήθως συντήρηση (πρόσθεση νερού) διότι χρησιμοποιούν πλάκες ενισχυμένες με ασβέστιο που ελαχιστοποιούν την έκλυση αερίων, καταλύτη για επανασύνδεση των αερίων και βαλβίδες ασφαλείας.

### *Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μικρού Ρυθμού Εκφόρτισης*

Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που σχεδιάζονται για ελάχιστη συντήρηση με μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης (C/500), να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες, με μεγάλη διάρκεια ζωής (5-15 χρόνια) και μικρή ταχύτητα αυτοεκφόρτισης.

### *Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μέσου Ρυθμού Εκφόρτισης*

Χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο ή με εφεδρική πηγή ενέργειας. Είναι συνήθως τροποποιημένοι συσσωρευτές έλξης (π.χ. περιέχουν περισσότερο ηλεκτρολύτη, ώστε να μειώσουν τις απαιτήσεις σε συντήρηση, λιγότερο ανθεκτικές από μηχανική άποψη κτλ). Έχουν μέσους ρυθμούς και μεγάλο ημερήσιο βάθος εκφόρτισης.

## **6.Χαρακτηριστικά Μεγέθη ενός Συσσωρευτή**

### *Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά*

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (HEΔ) και η ονομαστική χωρητικότητά του. Η HEΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή. Οι τιμές των HEΔ των διαφόρων τύπων συσσωρευτών (Pb- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NiCd, Ni-Fe, Ni-Zn, Sodium- Sulphur, Zinc- Bromide, Zinc- Chloride, Lithium- Metal Sulphide, Nickel- Hydrogen) κυμαίνονται μεταξύ 1V και 4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μια διάταξη συσώρευσης σε υψηλότερη HEΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25 V. Έτσι, οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με την τυπική εμπορική τους μορφή οι συσσωρευτές μολύβδου είναι 6V, 12V 24V και 48 V.

### *Χωρητικότητα*

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν είναι η χωρητικότητα C του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης ή περίοδο εκφόρτισης. Εξαρτάται από αρκετούς σχεδιαστικούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, η ποσότητα του ενεργού υλικού, ο αριθμός, ο σχεδιασμός και οι φυσικές διαστάσεις των πλακών (ηλεκτροδίων). Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από τη μπαταρία), η

τάση της μπαταρίας στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία της μπαταρίας και το ιστορικό της χρήσης της (κακή χρήση κτλ). Η συνήθης μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι το Amberhour (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας C προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με ρυθμό εκφόρτισης C/120). Φυσικά, η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Amber. Μερικές φορές, η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή εκφράζεται σε Kilowatt-hour (KWh) και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000.

Μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα 3/4 της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι βρίσκεται στο 25% SOC.

#### *Εκφόρτιση και Επιτρεπόμενο Βάθος Εκφόρτισης*

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή DOD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από το ρυθμό εκφόρτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης πρέπει να μειώνεται θέτοντας την τάση αποκοπής του φορτίου στην συσκευή ρυθμιστή φόρτισης σε κατάλληλο σημείο. Το αποτέλεσμα θα είναι ο συσσωρευτής να μην εκφορτίζεται πλήρως και η θερμοκρασία στερεοποίησης να διατηρείται χαμηλά. Το κόστος θα είναι η μείωση της αυτονομίας του συστήματος μπαταρίας-συσσωρευτή. Για να διατηρείται η αυτονομία, η χωρητικότητα του συσσωρευτή πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη, τόσο τη μείωση της σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και το DOD στις θερμοκρασίες αυτές. Η τάση του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με το ρυθμό εκφόρτισης για τον οποίο είναι καθορισμένη η χωρητικότητα.

#### *Αυτοεκφόρτιση*

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του SOC (state of charge), χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Τα αίτια είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες της μπαταρίας και σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επιλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του συσσωρευτή. Τυπικό μέγεθος αυτοεκφόρτισης είναι η απώλεια του 0,7% του SOC ανά ημέρα και για το λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση. Τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή είναι:

- Σε θερμοκρασία 5°C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 2% ανά μήνα.
- Σε θερμοκρασία 15°C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 4% ανά μήνα.
- Σε θερμοκρασία 25°C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 10% ανά μήνα.

#### *Φόρτιση*

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς το συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους

ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας.

Οι προδιαγραφές δεν περιορίζουν κατά κανόνα το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή εφόσον δεν γίνει υπέρβαση της τάσης εκκλύσεως αερίων. Ωστόσο, η τάση εκκλύσεως αερίων γίνεται μικρότερη καθώς το ρεύμα φόρτισης γίνεται μεγαλύτερο.

Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκκλύσεως αερίων.

#### *Χρόνος Ζωής Συσσωρευτή*

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

Η χωρητικότητα, C του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή. Μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Ένας πρακτικός κανόνας που προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά των συσσωρευτών και ουσιαστικά περιγράφει το χρόνο ζωής τους, είναι ο ακόλουθος: Το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι με καλή προσέγγιση σταθερό:

$$\beta_{\text{εκφ}} N_k = \text{σταθερό}$$

όπου  $N_k$  το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή.

#### *Συντελεστής Γήρανσης Συσσωρευτή*

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή, με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή (γήρανση) πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στο χρόνο ζωής του να διατηρεί τη δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το αυτό βάθος εκφόρτισης,  $\beta$ . Η εμπειρία έχει δείξει ότι, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητάς του. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή,  $n_{\gamma,\beta} = 0,8$

#### *Συντελεστής Φόρτισης και Απόδοση*

Τα αμπερώρια (Ah) που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι κατά κανόνα περισσότερα από τα Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά το ίδιο ποσοστό του SOC. Έτσι, ορίζεται ο συντελεστής φόρτισης ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ah προς την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής φόρτισης} = \frac{\text{εισερχόμενη ποσότητα Ah}}{\text{εξερχόμενη ποσότητα Ah}}$$



Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος. Δηλαδή ισχύει:

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξεως του 10-20% της προσφερόμενης σ' αυτόν ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας,  $\eta_E$ . Ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ( $W = V \cdot I \cdot t$ ), δια του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγούμενη φόρτισή του. Τυπική τιμή 80-85%.

$$\eta_E = \frac{W_{εκφ}}{W_{φορτ}}$$

Εκτός από το βαθμό ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιείται επίσης ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου,  $\eta_q$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά τη φόρτιση. Τυπική τιμή 90%

$$\eta_q = \frac{Q_{εκφ}}{Q_{φορτ}}$$

## 7.Οι Συσσωρευτές στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Για τη σωστή εκλογή, σχεδίαση και λειτουργία των συσσωρευτών στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι όπως:

- Τα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.
- Οι συσκευές προσαρμογής και ελέγχου της ισχύος.
- Το φορτίο.
- Οι μετεωρολογικές συνθήκες.
- Ο συγκεκριμένος τύπος του συσσωρευτή.

### *Κύκλος Λειτουργίας σε Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα με Εφεδρική Πηγή*

Ο τρόπος με τον οποίο θα λειτουργήσει ένας συσσωρευτής επηρεάζει τόσο τον τύπο όσο και την ιδιαίτερη κατασκευή των στοιχείων του. Σ' ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ο κύκλος λειτουργίας των συσσωρευτών καθορίζεται κυρίως από:

- Το προφίλ του φορτίου.
- Την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τη χρονική σχέση της με το φορτίο.
- Την ύπαρξη ή μη εφεδρικής πηγής ενέργειας.

### *Αυτόνομα συστήματα με εφεδρική πηγή ενέργειας*

Στα συστήματα αυτά υπάρχει μια εφεδρική πηγή (ντιζελογεννήτρια), ενώ για περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας ή μεγάλης ζήτησης υπάρχουν και συσσωρευτές με χωρητικότητα που κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι μερικές μέρες, ανάλογα με το ποσοστό του φορτίου που πρέπει να καλύψει το ηλιακό σύστημα και τις κλιματολογικές συνθήκες. Γενικά ο κύκλος λειτουργίας είναι παρόμοιος με των συσσωρευτών των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο. Ωστόσο αν υπάρχει διαθέσιμη αρκετή χωρητικότητα (μερικές μέρες) προκύπτουν κάπως χαμηλότεροι ρυθμοί φόρτισης/εκφόρτισης και λιγότεροι πλήρεις κύκλοι στη μονάδα του χρόνου.

### *Ονομαστική Χωρητικότητα και Παρεχόμενη Ισχύς από τους Συσσωρευτές κατά τη Λειτουργία τους σε Φωτοβολταϊκό Σύστημα*

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καταλήγουμε σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C_N$ . Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα  $C$  δίνεται από:

$$C = C_N \times \beta$$

όπου  $\beta$  είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευθεί και να ανακτηθεί σε ιδανικές συνθήκες, σε κάθε κύκλο φόρτισης- εκφόρτισης είναι:

$$E = C \times \beta = C_N \times \beta \times V$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μόλυβδου  $\alpha$ , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι  $E$  η ενεργός χωρητικότητα του  $C$  θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης  $E_\varphi$ , ίση με:

$$E_\varphi = \frac{E}{\alpha}$$

Και τότε η ονομαστική χωρητικότητά του είναι:

$$C_N = \frac{E_\varphi}{\beta \times V} = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V}$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ  $P$  επί  $\mu$  συνεχείς μέρες, τότε η ενεργός χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

$$C = \frac{24\mu \times P}{\alpha \times V}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Μετατροπείς DC/AC (inverters)



### 1. Μετατροπείς (inverters)

Πρακτικά, οι inverters αποτελούν ένα από τα κυριότερα τμήματα της κάθε εγκατάστασης, γι' αυτό και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία κατά την επιλογή προϊόντος, καθώς έτσι διασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό η απρόσκοπτη λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στη συγκεκριμένη ενότητα σας παρουσιάζουμε όλες τις πληροφορίες που θα πρέπει να γνωρίζετε για τους μετατροπείς (inverters) που χρησιμοποιούνται στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, ενώ με τους αναλυτικούς πίνακες που θα βρείτε στις επόμενες σελίδες, θα έχετε την ευκαιρία να ενημερωθείτε για όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προϊόντων που μπορείτε να βρείτε στην ελληνική αγορά (για τα συνδεδεμένα στο δίκτυο της ΔΕΗ συστήματα).

### 2. Τι είναι ο inverter

Ο inverter (μετατροπέας) είναι μια συσκευή με ηλεκτρονικές και ηλεκτρολογικές διατάξεις, η οποία μετατρέπει το παραγόμενο από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο, συμβατό με το δίκτυο του ηλεκτρισμού. Πρακτικά, ο μετατροπέας του κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι ο «εγκέφαλος» της εγκατάστασης, αφού μπορεί να «εκμεταλλεύεται» το ρεύμα που παράγεται από τα panels, είτε πρόκειται για αυτόνομο είτε για διασυνδεδεμένο σύστημα. Επιπρόσθετα, ο inverter είναι «υπεύθυνος» για την επιτήρηση όλου του συστήματος. Αν για παράδειγμα εντοπιστεί κάποια βλάβη στο δημόσιο δίκτυο, στη Φ/Β γεννήτρια ή στην καλωδίωση, θα «ενημερώσει» και θα «πράξει» αναλόγως.

### **3. Ποια είδη μετατροπέων (inverters) υπάρχουν**

Οι μετατροπείς χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Τους μονοφασικούς και τους τριφασικούς. Στις «οικιακές» φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι απαραίτητη της ΔΕΗ να παράγεται μονοφασικό ρεύμα (230V) για εγκατεστημένη ισχύ έως 5 kWp και τριφασικό για μεγαλύτερες από 5 kWp εγκαταστάσεις. Τριφασικός inverter είναι αυτός που παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα τριών φάσεων και μονοφασικός είναι αυτός που παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα μίας φάσης. Για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις άνω των 5 kWp, ένα έργο μπορεί να υλοποιηθεί είτε με τρεις μονοφασικούς (ένα για κάθε φάση) ή με έναν τριφασικό μετατροπέα.

### **4. Αντιστροφείας DC/AC**

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο με το δίκτυο για να μπορεί να διοχετεύει την ισχύ του σε αυτό, είναι απαραίτητο να μπορεί να μετατρέπει την συνεχή τάση εξόδου του σε εναλλασσόμενη με χαρακτηριστικά ίδια με αυτά του δικτύου, ώστε να μη δημιουργεί πρόβλημα στη λειτουργία του δικτύου και στη ποιότητα ισχύος που αυτό παρέχει. Την μετατροπή αυτή επιτυγχάνουμε μέσω του αντιστροφέα (Inverter) ή DC to AC Converter, η θέση του οποίου σε ένα σύστημα φαίνεται στο σχήμα .

### **5. Διάταξη μονοφασικού αντιστροφέα**

Τα ημιαγωγικά στοιχεία που χρησιμοποιούμε έχουν την ιδιότητα να άγουν ή όχι ανάλογα με το αν τους δίνεται παλμός έναυσης από κάποιο ανεξάρτητο λογικό κύκλωμα ενώ η σβέση του μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με παλμούς (τρανζίστορ) είτε κάτω από ειδικές συνθήκες όπου το ρεύμα που διαρρέει το διακόπτη μηδενίζεται για κάποιο χρονικό διάστημα (θυρίστορ). Τα στοιχεία αυτά ανοιγοκλείνουν ανά ομάδες (1,2) και (3,4) για χρόνο μιας ημιπεριόδου, με μια συχνότητα ίση με την διπλάσια της συχνότητας του δικτύου ( $f=50\text{Hz}$ ) ή περίοδο  $T=1/2f=0.01\text{ sec}$  και παράγουν στην έξοδο της διάταξης μια τάση.

### **6. Βαθμός απόδοσης του μετατροπέα**

Ο κάθε μετατροπέας (inverter) χαρακτηρίζεται, μεταξύ άλλων τεχνικών χαρακτηριστικών, και από τον βαθμό απόδοσης του. Ο βαθμός απόδοσης κάθε συσκευής είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς την ενέργεια που απαιτείται για να λειτουργήσει. Όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής απόδοσης, τόσο περισσότερο ρεύμα από το ρεύμα που παράγουν τα πάνελ μπορεί να διοχετευθεί στο δημόσιο δίκτυο και τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση της ηλιακής εγκατάστασης (οι inverter που κυκλοφορούν έχουν μέγιστο βαθμό απόδοσης από 92% έως 99%). Όσον αφορά στο θόρυβο λειτουργίας τους, είναι ελάχιστος και αντιληπτός μόνο σε πολύ κοντινή απόσταση. Ακούγεται περίπου όπως ένας σταθερός Η/Υ. Ουσιαστικά ακούμε το θόρυβο των μικρών ανεμιστήρων που χρησιμοποιούνται για την ψύξη.

### **7. Ποιες άλλες δυνατότητες μου προσφέρουν οι μετατροπείς**

Όπως όλα τα ηλεκτρονικά μηχανήματα τα οποία χρησιμοποιούμε καθημερινά, και οι inverters προβάλλουν μηνύματα σφάλματος, είτε γραπτά στις οθόνες τους είτε με ενδεικτικές λυχνίες. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα με κατάλληλο εξοπλισμό να «βλέπουμε» από μακριά τον inverter και τις ενδείξεις του. Αυτό γίνεται είτε μέσω διαδικτύου (internet), είτε μέσω GSM modem (τεχνολογία κινητού τηλεφώνου). Έτσι και τα μηνύματα λάθους αλλά και η καταγραφή της απόδοσης είναι διαθέσιμα σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, όπου και αν βρισκόμαστε.

*Σε πόσο χρονικό διάστημα χρειάζονται αντικατάσταση και τι εγγυήσεις δίνονται;*

Σχεδόν όλες οι εταιρείες μετατροπέων έχουν κατασκευάσει τα προϊόντα τους έτσι, ώστε να λειτουργούν σε όλη τη διάρκεια ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγάλες εταιρείες του χώρου και οι πιο γνωστές, υποστηρίζουν ότι τα προϊόντα τους λειτουργούν για περισσότερα από 25 χρόνια στο μέγιστο βαθμό απόδοσης ακόμα και σε ακραίες συνθήκες (χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες και όταν βρίσκονται σε μη κλειστούς χώρους). Τέλος, όσον αφορά στις εγγυήσεις που δίνονται, συναντούμε χρονικά διαστήματα από 5 έτη και πάνω, με δυνατότητα επέκτασης σε αρκετές περιπτώσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: Μελέτη Φ/Β πάρκου (100KW)

### Μελέτη Φ/Β πάρκου 100KW στην ευρύτερη περιοχή του Κιλκίς

Η επιλογή της ισχύς, 100 KW, πραγματοποιήθηκε λόγω διευκολύνσεων που προκύπτουν από την αδειοδοτική διαδικασία, η επιλογή της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων πραγματοποιήθηκε βάσει παραμέτρων που αφορούν στην μέγιστη ισχύ που μπορούν να παράξουν, την απόδοση και το κόστος τους. Από τα παραπάνω σε συνδυασμό με τους ειδικούς όρους και τις διαδικασίες για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων που περιγράφονται από την Υπουργική Απόφαση 40158/2010, υπολογίστηκε ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων και η διάταξή τους.

Το Κιλκίς βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Μακεδονίας και σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1) έχει γεωγραφικό πλάτος 41<sup>ο</sup> και 00' βόρεια και γεωγραφικό μήκος 22<sup>ο</sup> και 53' ανατολικά. Το έδαφος της περιοχής είναι πεδινό χωρίς μεγάλους ορεινούς όγκους που να προκαλούν σκίαση στο χώρο τοποθέτησης των Φ/Β συλλεκτών.

Πινάκας 1

α/α	Πόλη	Γ.Π	Γ.Μ
1	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	40,31'	21,16'
2	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	40,16'	22,31'
3	ΚΕΡΚΥΡΑ	39,37'	19,55'
4	ΚΙΛΚΙΣ	41,00'	22,53'
5	ΚΟΖΑΝΗ	40,18'	21,47'
6	ΚΟΜΟΤΗΝΗ	41,07'	25,24'
7	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	37,56'	22,57'
8	ΚΩΣ	36,53'	27,17'
9	ΛΑΜΙΑ	38,54'	22,28'
10	ΛΑΡΙΣΑ	39,28'	22,51'
11	ΛΕΙΒΑΔΙΑ	38,26'	22,53'
12	ΛΕΥΚΑΔΑ	38,50'	20,42'
13	ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙ	38,22'	21,27'
14	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39,06'	26,33'
15	ΝΑΥΠΛΙΟ	37,64'	22,49'
16	ΞΑΝΘΗ	41,08'	24,53'
17	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41,31'	26,32'
18	ΠΑΤΡΑ	38,14'	22,49'
19	ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ	40,23'	24,53'
20	ΠΡΕΒΕΖΑ	38,57'	26,32'
21	ΠΥΡΓΟΣ	37,40'	21,44'
22	ΡΕΘΥΜΝΟ	35,22'	23,27'
23	ΡΟΔΟΣ	36,26'	20,44'

24	ΣΑΜΟΣ	37,46'	21,27'
25	ΣΠΑΡΤΗ	37,04'	24,29'
26	ΣΕΡΡΕΣ	41,06'	28,14'
27	ΤΡΙΚΑΛΑ	39,33'	26,58'
28	ΤΡΙΠΟΛΗΣ	37,31'	22,26'
29	ΦΛΩΡΙΝΑ	40,47'	23,33'

Η έκταση στην οποία θα τοποθετηθούν οι συλλέκτες εκεί καλή κλίση προς το νότο και τον έδαφος είναι επίπεδο.

Για να είναι δυνατή η πρόσβαση στον χώρο με κακές καιρικές συνθήκες θα πρέπει να γίνει διάστρωση με χαλίκι 3<sup>A</sup> και ισχυρό πάτημα με οδοστρωτήρα.

Επειδή το έδαφος έχει κλίση προς τον νότο θα πρέπει στην περιφέρεια του πάρκου να δημιουργήσουμε φρεάτια συλλογής και απομάκρυνσης των όμβριων υδάτων.

Η κατασκευή του οικίσκου για την τοποθέτηση των πινάκων , του πεδίου ζεύξης και των ηλεκτρονικών διατάξεων θα πρέπει να γίνει στην δυτική πλευρά διότι εκεί βρίσκεται και το δίκτυο σύνδεσης.

## 1. Επιλογή Φ/Β συλλεκτών

Θα τοποθετηθούν Φ/Β συλλέκτες κατάλληλοι για σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο διανομής.

Επιλεγούμε Φ/Β συλλέκτες RWE SCHOTT solar με τα χαρακτηριστικά στοιχειά του παρακάτω πίνακα. (πίνακας 2).

Πίνακας 2

Τυπος	ASE-300-DG-FT/50
EFG κυψέλες (πλήρως τετραγωνισμένες 10x10cm)	
Ονομαστική ισχύς (P <sub>nom</sub> )	300 Wp
Τάση στο σημείο μεγίστης ισχύος (U <sub>mp</sub> )	51,2 V
Ένταση στο σημείο μεγίστης ισχύος (I <sub>mp</sub> )	5,9 A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I <sub>sc</sub> )	6,40 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U <sub>oc</sub> )	60 V
Διαστάσεις (μήκος ,πλάτος) σε mm	1829x1283x50.8 mm
Βάρος	50 Kg
Αριθμός κυψελών ανά συλλέκτη	216
Τα ικετικά μεγέθη ισχύουν για στάνταρ συνθήκες (STC) , ακτινοβολίας 1000 W/m <sup>2</sup> , πυκνότητα αέρα AM 1,5 και θερμοκρασία κυψελών 25° C.	
Μεγίστη τάση συστήματος	1000 V

Συμφώνα με τα χαρακτηριστικά στοιχειά του παραπάνω πίνακα θα είναι :

$$n\pi\lambda = \frac{Pm}{E \times F\sigma} = \frac{300}{1000 \times 1.982 \times 1.283} = 0.1236 \text{ ή } 12,36 \%$$

## 2. Υπολογισμός του μηνιαίου συντελεστή θερμοκρασίας ( $\sigma_\theta$ )

Για μεγάλη ακρίβεια στους υπολογισμούς και για τα πλαίσια πυριτίου, μπορεί να γίνει προσδιορισμός του συντελεστή θερμοκρασίας ( $\sigma_\theta$ ), για κάθε μήνα, με βάση τη μέση ημερήσια θερμοκρασία ανά μήνα της συγκεκριμένης περιοχής.

Ο υπολογισμός γίνεται με τη βοήθεια της σχέσης :

$$\sigma_\theta = 1 - \left[ \frac{\theta_{1+10}}{200} \right]$$

Όπου  $\theta_1$  η μέση τιμή ημερησία θερμοκρασία ανά μήνα της περιοχής που τοποθετήθηκαν οι συλλέκτες.

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία ανά μήνα δίνεται από τον παρακάτω πίνακα. (πίνακας 3)

Πίνακας 3.

πόλη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
ΚΙΛΚΙΣ	4,00	7,00	10,00	14,00	21,00	26,00	28,00	27,00	22,00	17,00	11,00	5,00

πόλη	Ανοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Έτος
ΚΙΛΚΙΣ	15,00	27,00	16,67	5,33	16,00

Συνήθως ο συντελεστής δίνεται από τον κατασκευαστή και έχει σχέση με τη θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου. Στην πράξη μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για κάθε βαθμό Κελσίου, αύξησης της θερμοκρασίας των κυψελών του συλλέκτη, πέρα από τους 26 °C, έχουμε μείωση της μεγίστης ισχύος κατά 0,4 %.

Από τους υπολογισμούς με βάση την παραπάνω σχέση έχουμε τις τιμές του συντελεστή θερμοκρασίας ( $\sigma_\theta$ ) ανά μήνα όπως στον παρακάτω πίνακα. (πίνακας 4)

Πίνακας 4

πόλη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
ΚΙΛΚΙΣ	0,93	0,91	0,9	0,84	0,845	0,82	0,81	0,815	0,84	0,88	0,89	0,925

πόλη	Ανοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Έτος
ΚΙΛΚΙΣ	0,875	0,84	0,86	0,92	0,87



### 3. Υπολογισμός του μηνιαίου συντελεστή ρύπανσης

Η περιοχή έχει μέτρια ρύπανση από τον μήνα Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο ( $\sigma_p=0,9$ ) και ελάχιστη της υπόλοιπους μήνες ( $\sigma_p=1$ ) και με βάση αυτά τα στοιχεία θα έχουμε ανά μήνα της τιμές του παρακάτω πίνακα (πίνακας 5):

Πίνακας 5

πόλη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
ΚΙΛΚΙΣ	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1

### 4. Επιλογή μετατροπέα (inverter)

Θα επιλεγεί μετατροπέας DC-AC δικτύου , μέσης ισχύος .

Ο μετατροπέας θα είναι τριφασικός , χαμηλής τάσης , τύπος SC100 outdoor, με χαρακτηριστικά στοιχεία του παρακάτω πίνακα (πίνακας 6) :

Πίνακας 6

A/ A	Ονομασία χαρακτηριστικού	SC60LV	SC125LV	SC100outdoor	SC100	SC150
<b>A.</b>	<b>ΜΕΓΕΘΗ ΕΙΣΟΔΟΥ</b>					
1	Προτεινομένη μέγιστη PV-ισχύς ( $P_{pv}$ )	70k Wp	145 k Wp	110 k Wp	110 k Wp	175 k Wp
2	(PV)-πεδίο τάσης MPPT ( $U_{pv}$ )	300-600V	300-600V	450-800V	450-800V	450-800V
3	Μέγιστη τάση εισόδου ( $U_{pv,max}$ )	650V	650V	880V	880V	880V
4	Μέγιστη ένταση εισόδου ( $I_{pv,max}$ )	215A	448A	233A	233A	354A
5	DC κυματισμός ( $U_{pp}$ )	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
6	Μέγιστος αριθμός string (παράλληλα)	3	5	3	3	5
7	Προστασία D.C υπέρτασης	ναι	ναι	ναι	ναι	ναι
<b>B.</b>	<b>ΜΕΓΕΘΗ ΕΞΟΔΟΥ</b>					

1	Ονομαστική AC ισχύς ( $P_{AC, nom}$ )	60 KW	125 KW	100 KW	100 KW	150 KW
2	Ονομαστική AC ένταση ( $I_{AC, nom}$ )	87A	180A	144A	144A	215A
3	Αρμονικές	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
4	Περιοχή λειτουργίας της AC τάσης ( $U_{AC}$ )	$3 \times 400V \pm 10\%$	$3 \times 400V \pm 10\%$	$3 \times 400V \pm 10\%$	$3 \times 400V \pm 10\%$	$3 \times 400V \pm 10\%$
5	A.C Συχνότητα (FAC)	49.5 Hz-50Hz	49.5 Hz-50Hz	49.5 Hz-50Hz	49.5 Hz-50Hz	49.5 Hz-50Hz
6	Προαιρετικά	59.5Hz-60Hz	59.5Hz-60Hz	59.5Hz-60Hz	59.5Hz-60Hz	59.5Hz-60Hz
7	Μετατόπιση φάσης ( $\cos\phi$ )	1	1	1	1	1
8	Προστασία A.C υπέρτασης	ναι	ναι	ναι	ναι	ναι

Ο μετατροπέας δικτύου η το πεδίο ζεύξης φέρουν ηλεκτρονική διάταξη, που σε περίπτωση διακοπής ρεύματος του κεντρικού δικτύου διανομής, θέτουν την Φ/Β εγκατάσταση αυτόματος εκτός.

Η Φ/Β εγκατάσταση τίθεται εκτός αν η τάση εξόδου του κεντρικού μετατροπέα (τάση της το κεντρικό δίκτυο διανομής) υπερβεί τα όρια + 15% έως - 20% της ονομαστικής τιμής. Η Φ/Β εγκατάσταση τίθεται εκτός αν η συχνότητα εξόδου του μετατροπέα υπερβεί τα όρια  $\pm 0,5$  Hz.

Της περιπτώσεις αυτές ο μετατροπέας θα πρέπει να τίθεται εκτός σε χρόνο όχι μεγαλύτερο των 0,5 sec, η δε ανάζευξη του να γίνεται μετά από την παρέλευση του χρόνου 3 min. Ο μετατροπέας θα πρέπει να φέρει διάταξη προστασίας έναντι νησιδοποίησης.

## 5. Συνδεσμολογία Φ/Β με συνεργασία inverter

Θα τοποθετήσουμε συνολικά :  $V=100000/300 \approx 330$  συλλέκτες ASE-300-DG-FT/50. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα είναι :

$$P_m = V \cdot P_{m1} = 330 \times 300 = 99000W = 99 \text{ kW}$$

Θα γίνει τοποθέτηση σε 11 σειρές με προσανατολισμό το Νότο, κάθε σειρά θα περιλαμβάνει  $V_\sigma = 330/11 = 30$  συλλέκτες. Οι συλλέκτες θα συνδεθούν ανά 10 σε σειρά (κλάδος). Επομένως

$$U_\sigma = v \cdot U_{mpp} = 10 \cdot 51,2 = 512 \text{ V και } I_\sigma = I_{mpp} = 5,9 \text{ A.}$$

Οι τρεις κλάδοι της κάθε σειράς των συλλεκτών θα της δίνει :

- Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος  $U_\sigma = 512 \text{ V}$
- Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος  $I_\Sigma = 3 \times 5,9 = 17,7 \text{ A}$

Οι 11 σειρές στην είσοδο του μετατροπέα θα συνδέονται παράλληλα και θα της δίνουν :

- Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος  $U_{pv' max} = U_\sigma = 512 \text{ V}$
- Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος  $I_{pv' max} = 11 \times I_\Sigma = 11 \times 17,7 = 194 \text{ A}$

Με βάση τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετατροπέα (στοιχεία εισόδου) και η μέγιστη τάση και η μέγιστη ένταση είναι μέσα στην περιοχή λειτουργίας του.

## 6. Τοποθέτηση Φ/Β με την βέλτιστη μηνιαία κλίση, (ρύθμιση κλίσης κάθε μήνα)

Της αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα , για να έχουμε σωστή συνεργασία συλλεκτών και μετατροπέα θα τοποθετήσουμε της συλλέκτες σε 11 σειρές με προσανατολισμό το Νότο και κάθε σειρά θα περιλαμβάνει 30 συλλέκτες συνδεδεμένους με τον τρόπο που αναφέρθηκε .

Για την βέλτιστη μηνιαία κλίση (Δεκέμβριος) και με βάση τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα (πίνακας 7) , έχουμε :

Πινάκας 7.

Πόλη Μηνιαία κλίση Συντελεστή ς h1 Συντελεστή ς h2		-5°	-4°	-3°	-2°	-1°	Μηνιαία Βέλτιστ η Κλίση	+1°	+2°	+3°	+4°	+5°
ΚΙΑΚΙΣ	B° k	52,0 0	53,00	54,00	55,00	56,00	57,00	58,00	59,00	60,00	61,00	62,00
	h1	2,26 4	2,272	2,280	2,287	2,293	2,299	2,304	2,308	2,312	2,314	2,316
	h2	0,61 6	0,602	0,588	0,574	0,559	0,545	0,530	0,515	0,500	0,485	0,469

$$\beta=57^\circ \cdot h1 = 2.299 \text{ και } h2= 0.545 .$$

Επειδή οι συλλέκτες θα έχουν ύψος  $h = 1,892 \text{ m}$  και πλάτος  $L = 1,283 \text{ m}$ , θα έχουμε :

- Απόσταση ανάμεσα στις σειρές :  $X= h \cdot h1 = 1,892 \cdot 2,299 = 4.34 \text{ m}$
- Απόσταση που καταλαμβάνει κάθε σειρά από το έδαφος :

$$X' = h \cdot h2 = 1,892 \cdot 0,545 = 1,03 \text{ m}$$

Τοποθετώντας τις σειρές με αυτές τις αποστάσεις δεν έχουμε σκίαση σε καμία ημέρα του έτους.

- Το μήκος  $y$  της κάθε σειράς, με προσανατολισμό το νότο , θα είναι :  
 $y = K \cdot L = v_\sigma \cdot L = 30 \cdot 1,238 = 38,49 \text{ m}$
- Το πλάτος  $y'$  που καταλαμβάνουν στο έδαφος οι έντεκα σειρές θα είναι :  
 $y' = [ ( v - 1 ) \cdot x + x' ] = [ ( 11 - 1 ) \cdot 4,30 + 1,03 ] = 44,03 \text{ m}.$

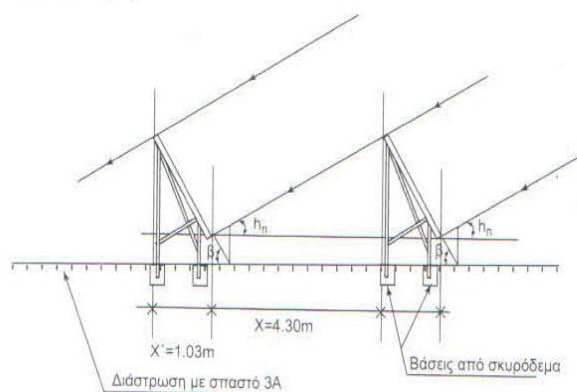
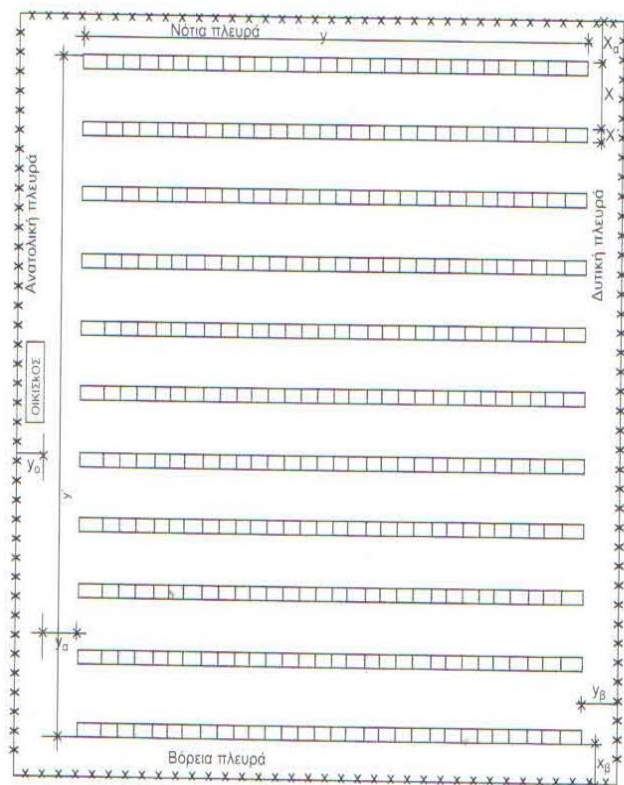
- Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση των 330 συλλεκτών , χωρίς να έχουμε σκίαση , θα είναι :

$$F_s = y \cdot y' = 38,49 \cdot 44,03 = 1694,71 \text{ τμ}$$

Επειδή για λόγους ασφαλείας θα έχουμε περίφραξη περιμετρικά του χώρου τοποθέτησης των συλλεκτών, καθώς και του χώρου που θα καταλαμβάνει ο οικίσκος, θα πρέπει :

- Περιμετρικά των συλλεκτών να υπάρχει ελεύθερος χώρος τουλάχιστον 2,5 m για την άνετη κυκλοφορία ενός οχήματος για έλεγχο και συντήρηση
- Επιπλέον ελεύθερος χώρος στην ανατολική πλευρά για την κατασκευή του οικίσκου που θα πρέπει να έχει διαστάσεις (με βάση και τις διαστάσεις του μετατροπέα) τουλάχιστον 2,50 x 4,00 m.
- Η συνολική έκταση του χώρου που απαιτείται για την Φ/Β εγκατάσταση και που θα πρέπει να είναι περιφραγμένη, σύμφωνα με τους κανονισμούς θα είναι :

$$\begin{aligned} F_{\text{sol}} &= (y' + x_\alpha + x_\beta) \cdot (y + y_o + y_\alpha + y_\beta) = \\ &= (44,03 + 2,50 + 2,50) \cdot (38,49 + 2,50 + 2,50 + 2,50) = \\ &= 49,03 \cdot 45,99 = 2254,89 \text{ τμ} \end{aligned}$$



Η τοποθέτηση των μεταλλικών βάσεων θα γίνεται με πάκτωση μέσα σε οπή στο έδαφος και πλήρωση με σκυρόδεμα.

Η διάστρωση με σπαστό 3A και το πάτημα στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνεται ώστε να διατηρείται η φυσική κλίση του εδάφους προς το νότο, για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων και τη δυνατότητα επίσκεψης με κακές καιρικές συνθήκες.

Οι βάσεις θα είναι μεταλλικές γωνιακής διατομής, θα αποτελούνται από διάφορα τμήματα και θα έχουν τη δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της γωνίας  $\beta$ .

Η περίφραξη θα πρέπει να γίνει με βάση την ισχύουσα νομοθεσία που αναφέρεται στις Φ/Β εγκαταστάσεις.

Θα πρέπει οι συλλέκτες να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα , ιδίως τους θερινούς μήνες που η ρύπανση είναι μεγαλύτερη . Το καθάρισμα μπορεί να γίνεται εύκολα αν σε διάφορα σημεία υπάρχουν κρουνοί υδροληψίας .

### 7. Υπολογισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης δίνεται από το γινόμενο των επιμέρους βαθμών απόδοσης των διαφόρων μερών ή τμημάτων της εγκατάστασης .

$$\alpha. \text{ Βαθμός απόδοσης συλλεκτών : } n_{\sigma} = 12,36 \%$$

$$\beta. \text{ Βαθμός απόδοσης μετατροπέα : } n_1 = 95 \%$$

$$\gamma. \text{ Βαθμός απόδοσης καλωδιώσεων : } n_2 = 97 \%$$

$$\delta. \text{ Βαθμός απόδοσης πινάκων : } n_3 = 98 \%$$

$$n_{\delta} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,98 = 0,90307.$$

$$n_{\text{ολ}} = n_{\sigma} \cdot n_{\delta} = 0,1236 \cdot 0,90307 = 0,11162.$$

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 4 ( μηνιαίος συντελεστής θερμοκρασίας ) και τα στοιχεία του πίνακα 5 ( μηνιαίος συντελεστής ρύπανσης ) θα έχουμε τον παρακάτω πίνακα ( πίνακας 8 ) με τον τελικό μηνιαίο βαθμό απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης όπου :  $n'_{\text{ολ}} = n_{\text{ολ}} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}$  .

Πίνακας 8

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
0,103	0,1015	0,1004	0,0937	0,084	0,082	0,081	0,081	0,084	0,098	0,099	0,103

### 8. Υπολογισμός των στοιχείων του πίνακα των χαρακτηριστικών μεγεθών μίας Φ/Β εγκατάστασης

Για τον υπολογισμό των στοιχείων του ΠΙΝΑΚΑ χαρακτηριστικών μεγεθών μιας Φ/Β εγκατάστασης ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία :

1. Συμπληρώνουμε την στήλη (1) με τους δώδεκα μήνες
2. Συμπληρώνουμε την στήλη (2) με την βέλτιστη γωνία κλίσης για κάθε μήνα από τα στοιχεία του πίνακα 1
3. Συμπληρώνουμε την στήλη (3) με την ολική ηλιακή ακτινοβολία  $H_k$  του μήνα σε  $Kw / m^2$ , στο επίπεδο με την βέλτιστη κλίση, από τα στοιχεία του πίνακα 9
4. Συμπληρώνουμε την στήλη (4 με τον ολικό βαθμό απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης ( $n_{ολ} = n_{\sigma} \cdot n_{\delta}$ )
5. Συμπληρώνουμε την στήλη (5) με την μέση ημερήσια θερμοκρασία ανά μήνα από τα στοιχεία του πίνακα 3.
6. Συμπληρώνουμε την στήλη (6) με τον συντελεστή θερμοκρασίας που υπολογίζουμε από την σχέση :  $\sigma_{\theta} = 1 - [(\theta_1 + 10)/200]$ .

Συμπληρώνουμε την στήλη (7) με τον συντελεστή ρύπανσης με βάση την μέτρια ρύπανση της περιοχής ανά μήνα (πολύ μικρή έως μηδενική ρύπανση  $\sigma_p = 0,9$ , υψηλή ρύπανση (0,8).

7. Συμπληρώνουμε τη στήλη (8) με τον τελικό βαθμό απόδοσης ανά μήνα από την σχέση  $n'_{ολ} = \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p$
8. Συμπληρώνουμε τη στήλη (9) με την ολική επιφάνεια των συλλεκτών που τοποθετούμε από την σχέση  $F_{ολ} = n \cdot F_{\sigma}$ , όπου  $n$  ο αριθμός των συλλεκτών και  $F_{\sigma}$  η επιφάνεια στ.μ του συλλέκτη.
9. Συμπληρώνουμε την συνολική μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια που μας δίνουν οι συλλέκτης από την σχέση :

$$A = H_k \cdot F_{ολ} \cdot n_{ολ}$$

Αν οι συλλέκτης καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, που η ρύπανση είναι πολύ μεγαλύτερη, ο συντελεστής ρύπανσης θα είναι ίσος με τη μονάδα και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε αυτούς τους μήνες θα αυξηθεί. Συμφώνα με τον πίνακα 9 η ηλεκτρική ενέργεια που θα παραχθεί σε αυτή την περίπτωση συνολικά σε ένα έτος θα είναι 153555,3 Kwh. Η αύξηση θα είναι 8832,9 Kwh το έτος.

Πίνακας 9. Βέλτιστη κλίση ανά μήνα, συντελεστής διόρθωσης R και ολική ηλιακή ακτινοβολία  $H_k$  σε  $KWh / m^2$  στο επίπεδο με την βέλτιστη κλίση ανά μήνα.

Πόλη,	Βέλτιστη κλίση, R & $H_k$	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
ΚΙΑΚΙ Σ	$B_K^0$	60,0 0	51,0 0	39,0 0	22,0 0	8,00	0,00	3,00	17,0 0	34,0 0	50,0 0	60,0 0	57,0 0
	R	1,65	1,38	1,19	1,05	1,01	1,00	1,00	1,03 6	1,15	1,40	1,64	1,46
	$H_k$	81,1 4	87,3	121, 1	148, 7	172, 9	195, 0	199, 1	180, 3	150, 8	131, 3	92,0 0	51,1 3

Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά μεγέθη της Φ/Β εγκατάστασης στην ευρύτερη περιοχή του Κιλκίς

	1	2	3	4	5
α/α	Μήνας	Βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης σε μοίρες με ελάχιστη τιμή (β)	Ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο με τη βέλτιστη κλίση ( $H_k$ ) σε $Kw/m^2$ το μήνα.	Ολικός βαθμός απόδοσης Φ/Β εγκαταστάτης ( $n_{ολ}$ )	Μέση ημερησία θερμοκρασία ανά μήνα σε °C
1	Ιανουάριος	60,00	81,14	0,11162	4,00
2	Φεβρουάριος	51,00	87,3	0,11162	7,00
3	Μάρτιος	39,00	121,1	0,11162	10,00
4	Απρίλιος	22,00	148,7	0,11162	14,00
5	Μάιος	8,00	172,9	0,11162	21,00
6	Ιούνιος	0,00	195,0	0,11162	26,00
7	Ιούλιος	3,00	199,1	0,11162	28,00
8	Αύγουστος	17,00	180,3	0,11162	27,00
9	Σεπτέμβριος	34,00	150,8	0,11162	22,00
10	Οκτώβριος	50,00	131,3	0,11162	17,00
11	Νοέμβριος	60,00	92,00	0,11162	11,00
12	Δεκέμβριος	57,00	51,13	0,11162	5,00



	6	7	8	9	10
α/α	Συντελεστής Θερμοκρασίας (σθ)	Συντελεστής ρύπανσης (σρ)	Τελικός βαθμός απόδοσης Φ/Β εγκατάστασης	Ολική επιφάνεια συλλεκτών Φ/Β εγκατάστασης F <sub>ολ</sub>	Συνολική μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια (Α) σε Kwh (3x8x9)
Ιανουάριος	0,93	1	0,103	801,054	7254,7
Φεβρουάριος	0,91	1	0,1015	801,054	7805,5
Μάρτιος	0,90	1	0,1004	801,054	10827,6
Απρίλιος	0,84	1	0,0937	801,054	13295,3
Μάιος	0,845	0,9	0,084	801,054	15458,9
Ιούνιος	0,82	0,9	0,082	801,054	17434,9
Ιούλιος	0,81	0,9	0,081	801,054	17801,5
Αύγουστος	0,815	0,9	0,081	801,054	16120,6
Σεπτέμβριος	0,84	0,9	0,084	801,054	13483,0
Οκτώβριος	0,88	1	0,098	801,054	11739,5
Νοέμβριος	0,89	1	0,099	801,054	8225,7
Δεκέμβριος	0,925	1	0,103	801,054	5275,2
			ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΟ		144722,4

Πίνακας 11. ηλεκτρικοί ενεργεία ανά μηνά για συντελεστή ρύπανσης ισο με την μονάδα.

Ιανουάριος	7254,7
Φεβρουάριος	7805,5
Μάρτιος	10827,6
Απρίλιος	13295,3
Μάιος	17159,4
Ιούνιος	19352,7
Ιούλιος	19759,7
Αύγουστος	17893,9
Σεπτέμβριος	14966,1
Οκτώβριος	11739,5
Νοέμβριος	8225,7
Δεκέμβριος	5275,2
ΣΥΝΟΛΟ (Kwh)	153555,3

## 9. Τοποθέτηση Φ/Β συλλεκτών με την βέλτιστη ετήσια κλίση

Για την βέλτιστη κλίση με βάση τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα (πίνακας 12):

Πίνακας 12

Πόλη Μηνιαία κλίση Συντελεστής h1 Συντελεστής h2		-5°	-4°	-3°	-2°	-1°	Ετήσια Βέλτιστη κλίση	+1°	+2°	+3°	+4°	+5°
ΚΙΑΚΙΣ	B° k	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	32,00	33,00
	h1	1,738	1,764	1,790	1,816	1,841	1,865	1,889	1,912	1,935	1,957	1,978
	h2	0,921	0,914	0,906	0,899	0,891	0,883	0,875	0,866	0,857	0,848	0,839

Για την ετήσια βέλτιστη κλίση

$$\beta=28^\circ \cdot h_1 = 1,865 \text{ και } h_2= 0.883 .$$

Επειδή οι συλλέκτες θα έχουν ύψος  $h = 1,892 \text{ m}$  και πλάτος  $L = 1,283 \text{ m}$ , θα έχουμε :

- Απόσταση ανάμεσα στις σειρές :  $X= h \cdot h_1 = 1,892 \cdot 1,865 = 3,5 \text{ m}$
- Απόσταση που καταλαμβάνει κάθε σειρά στο έδαφος :

$$X' = h \cdot h_2 = 1,892 \cdot 0,883 = 1,67 \text{ m}$$

Τοποθετώντας τις σειρές με αυτές τις αποστάσεις ,με κλίση  $\beta=28^\circ$  , δεν έχουμε σκίαση σε καμία ημέρα του έτους.

- Το μήκος  $y$  της κάθε σειράς, με προσανατολισμό το Νότο , θα είναι :  
 $y = K \cdot L = v_\sigma \cdot L = 30 \cdot 1,238 = 38,49 \text{ m}$

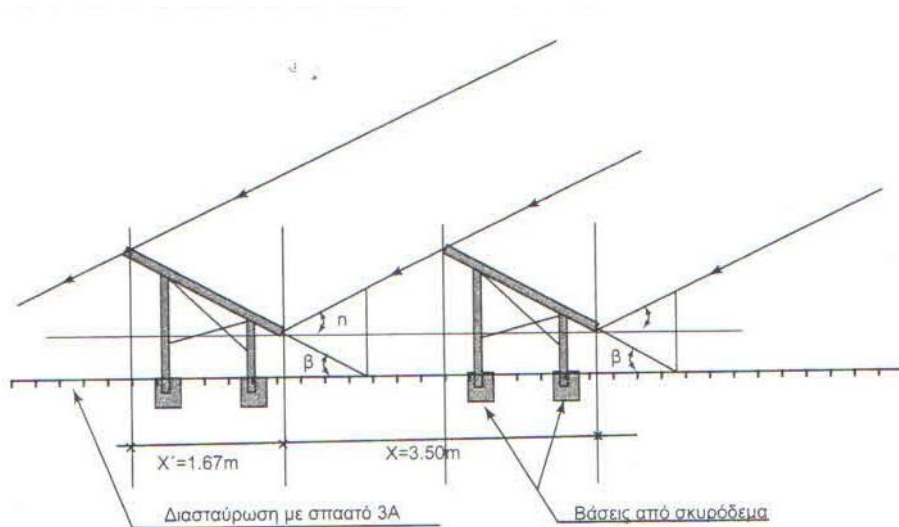
- Το πλάτος  $y'$  που καταλαμβάνουν στο έδαφος οι έντεκα σειρές θα είναι :  
 $y' = [ ( v - 1 ) \cdot x + x' ] = [ ( 11 - 1 ) \cdot 3,5 + 1,67 ] = 36,67 \text{ m}.$

- Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση των 330 συλλεκτών σε 11 σειρές , χωρίς να έχουμε σκίαση , θα είναι :

$$F_s = y \cdot y' = 38,49 \cdot 36,67 = 1411,43 \text{ τμ}$$

- Με τον ελεύθερο χώρο ανάμεσα στους συλλέκτες ,τον οικίσκο και την εξωτερική περίφραξη ,σύμφωνα με την ενότητα 6 ,θα έχουμε:

$$\begin{aligned}
 F_{sol} &= (y' + x_{\alpha} + x_{\beta}) \cdot (y + y_o + y_{\alpha} + y_{\beta}) = \\
 &(36,67 + 2,50 + 2,50) \cdot (38,49 + 2,50 + 2,50 + 2,50) = \\
 &= 41,67 \cdot 45,99 = 1916,40 \text{ τμ}
 \end{aligned}$$



Τρόπος στήριξης συλλεκτών στο έδαφος (τοποθέτηση μεταλλικών θέσεων) για την μόνιμη βέλτιστη κλίση ,για γωνία  $\beta=28^\circ$ .ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50.

Η τοποθέτηση θα γίνει όπως στην ενότητα 6.

Υπάρχουν περιπτώσεις που αντί των οπών στο έδαφος ,γίνεται διάστρωση με σκυρόδεμα που φέρει εσωτερικά μεταλλικό πλέγμα ,σε όλο το μήκος της βάσης ,κάτω από τη σειρά των συλλεκτών.

**10. Υπολογίζοντας τα χαρακτηριστικά μεγέθη της Φ/Β εγκατάστασης τοποθετημένους με βάση την ετήσια βέλτιστη κλίση.**

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με την ενότητα 8 εκτός των στηλών (2) και (3) που συμπληρώνονται από τα στοιχεία του πίνακα :

Πίνακας 13. Μόνιμη κλίση και ολική ηλιακή ακτινοβολία  $H_k$  σε  $KWh/m^2$  στο επίπεδο με την ετήσια μόνιμη βέλτιστη κλίση.

Πόλη,	Μόνιμη κλίση	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
ΚΙΛΚΙΣ	27,00	70,55	81,52	119,2	148,4	166,9	181,8	188,6	178,3	149,8	122,8	80,46	46,40
	28,00	71,15	81,98	119,5	148,2	166,2	180,9	187,7	177,9	150,0	123,5	81,13	46,71
	29,00	71,74	82,42	119,8	148,0	165,6	179,9	186,8	177,5	150,3	124,1	81,79	47,0

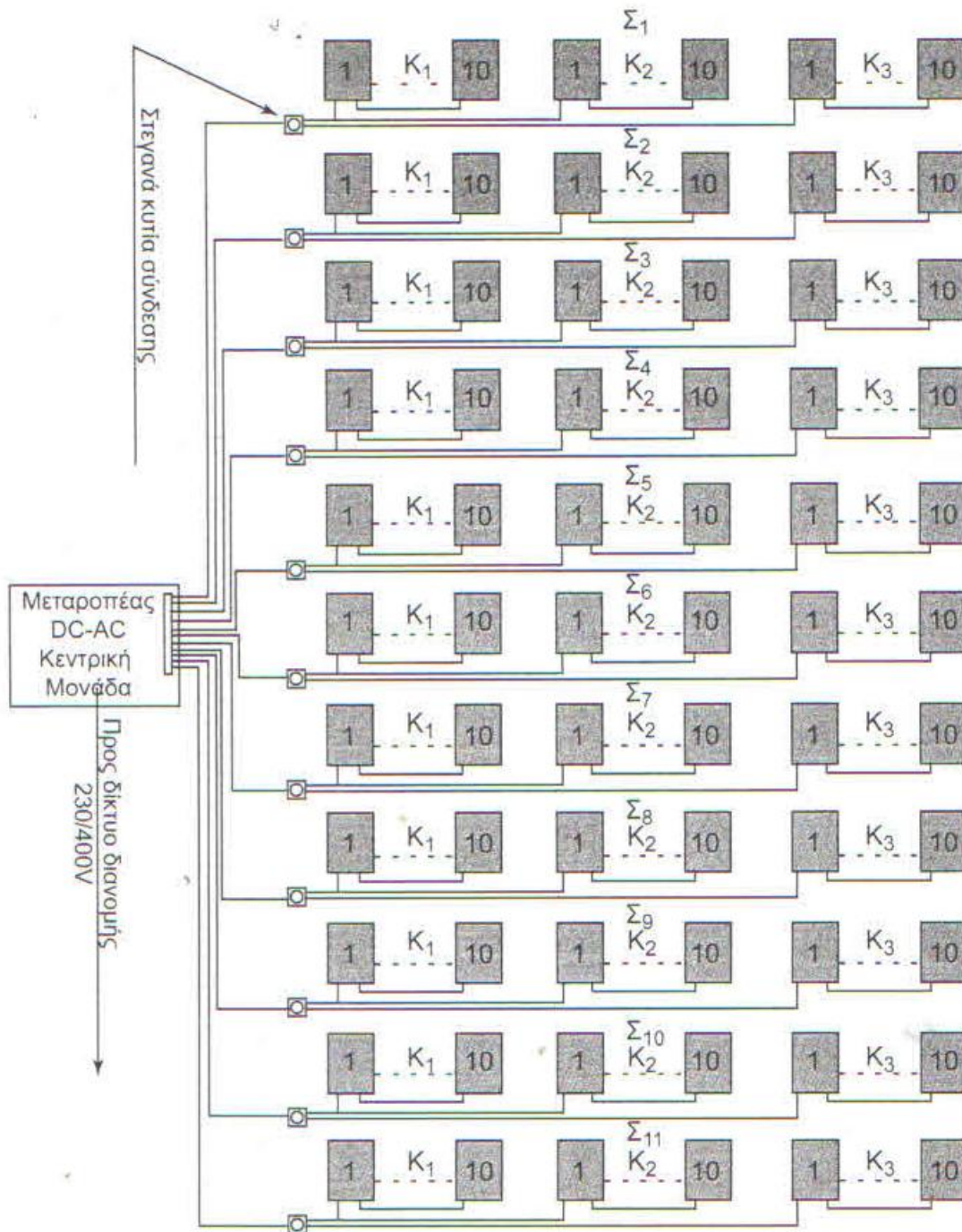
Οπότε έχουμε:

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά μεγέθη της Φ/Β εγκατάστασης στην ευρύτερη περιοχή του Κιλκίς με συλλέκτες τοποθετημένους με βάση την ετήσια βέλτιστη κλίση  $28^\circ$ .

1	2	3	4	5
Μήνας	Ετήσια βέλτιστη κλίση $\beta=28^\circ$	Ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο με την ετήσια βέλτιστη κλίση ( $H_k$ ) σε $Kw/m^2$ το μήνα.	Ολικός βαθμός απόδοσης Φ/Β εγκαταστάτης ( $\eta_{ολ}$ )	Μέση ημερησία θερμοκρασία ανά μήνα σε $^\circ C$
Ιανουάριος	$28^\circ$	71,15	0,11162	4,00
Φεβρουάριος	$28^\circ$	81,98	0,11162	7,00
Μάρτιος	$28^\circ$	119,5	0,11162	10,00
Απρίλιος	$28^\circ$	148,2	0,11162	14,00
Μάιος	$28^\circ$	166,2	0,11162	21,00
Ιούνιος	$28^\circ$	180,9	0,11162	26,00
Ιούλιος	$28^\circ$	187,7	0,11162	28,00
Αύγουστος	$28^\circ$	177,9	0,11162	27,00
Σεπτέμβριος	$28^\circ$	150,0	0,11162	22,00
Οκτώβριος	$28^\circ$	123,5	0,11162	17,00
Νοέμβριος	$28^\circ$	81,13	0,11162	11,00
Δεκέμβριος	$28^\circ$	46,71	0,11162	5,00

	6	7	8	9	10
Μήνας	Συντελεστής Θερμοκρασίας (σ <sub>θ</sub> )	Συντελεστής ρύπανσης (σ <sub>ρ</sub> )	Τελικός βαθμός απόδοσης Φ/Β εγκατάστασης	Ολική επιφάνεια συλλεκτών Φ/Β εγκατάστασης F <sub>ολ</sub>	Συνολική μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια (A) σε Kwh (3x8x9)
Ιανουάριος	0,93	1	0,103	801,054	6472,9
Φεβρουάριος	0,91	1	0,1015	801,054	7276,2
Μάρτιος	0,90	1	0,1004	801,054	10519,9
Απρίλιος	0,84	1	0,0937	801,054	13227,3
Μάιος	0,845	0,9	0,084	801,054	14932,6
Ιούνιος	0,82	0,9	0,082	801,054	16471,6
Ιούλιος	0,81	0,9	0,081	801,054	16840,4
Αύγουστος	0,815	0,9	0,081	801,054	15878,1
Σεπτέμβριος	0,84	0,9	0,084	801,054	13375,6
Οκτώβριος	0,88	1	0,098	801,054	11276,5
Νοέμβριος	0,89	1	0,099	801,054	7729,5
Δεκέμβριος	0,925	1	0,103	801,054	4301,9
			ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΟΛΟ		138302,5

Μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β εγκατάστασης. (σχήμα 1.)

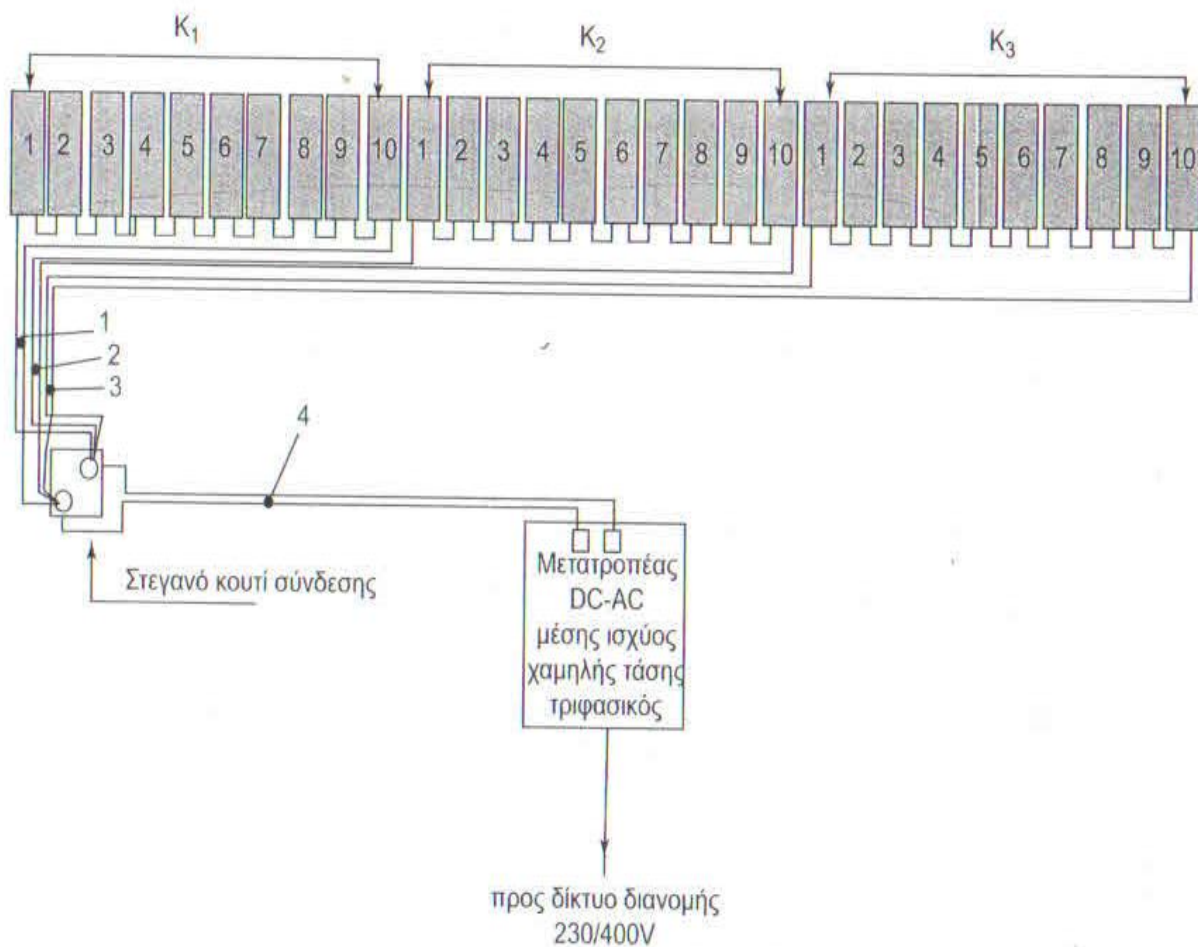


$K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  κλάδοι σειράς με 10 Φ/Β συλλέκτες συνδεδεμένοι σε σειρά.

$\Sigma_1$  έως  $\Sigma_{11}$  σειρές Φ/Β συλλεκτών με τρεις κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα σε κάθε σειρά.

Λεπτομέρεια συνδεσμολογιών των τριών κλάδων της σειράς των συλλεκτών με τον κεντρικό μετατροπέα, με χρήση στεγανών κουτιών σύνδεσης και ειδικών καλωδίων.

Μονογραμμικό διάγραμμα. (σχήμα 2.)



Οι Φ/Β συλλέκτες θα συνδεθούν όπως το παραπάνω σχέδιο .Η συνδεσμολογία θα γίνεται μέσα σε στεγανά κουτιά προστασίας IP68.

Για την είσοδο-έξοδο των καλωδίων θα γίνεται χρήση ειδικών στεγανών στυπιοθληπτών.

Τα καλώδια θα είναι ειδικού τύπου με κόκκινοι χρώμα για τον θετικό ακροδέκτη και μαύρο για τον αρνητικό.



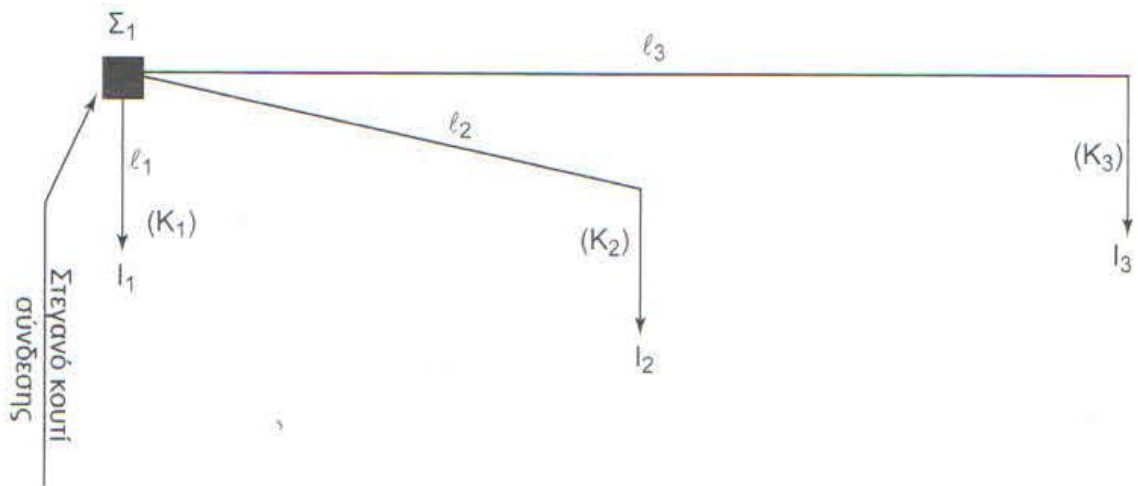
## 11. Υπολογισμός διατομής καλωδίων.

Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης με βάση τους διεθνείς ηλεκτρικούς κανόνες, πρέπει να είναι μικρότερη του 5%.

1. Διαδρομή από κάθε κλάδο σειράς μέχρι το στεγανό κουτί σύνδεσης της κάθε σειράς (τοποθέτηση στον αέρα).

Παίρνοντας υπ όψιν το μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β εγκατάστασης και την συνδεσμολογία των τριών κλάδων της κάθε σειράς των Φ/Β συλλεκτών, θα έχουμε το απλό μονογραμμικό διάγραμμα της κάθε σειράς, όπου οι αποστάσεις  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ , είναι παντού οι ίδιες

Απλό μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β συλλεκτών.



Από τα στοιχεία της ενότητας 5,6 θα έχουμε:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\sigma = I_m = 5,9A.$$

$$U_{\Sigma 1} = U_1 = U_2 = U_3 = U_\sigma = 512V.$$

$$l_1 = 1m, l_2 = y/3 = 12,83m, l_3 = 2y/3 = 25,66m.$$

α. Έλεγχος με βάση την πυκνότητα του ρεύματος.

Για ένταση ρεύματος  $I_\sigma = 5,9A$  και για τύπο καλωδίου HO7RN-F, με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384,η διατομή θα είναι  $S = 1,5mm^2$ . Επειδή τα καλώδια αυτά θα τοποθετηθούν εξωτερικά, με βάση τα στοιχεία του προτύπου, θα έχουμε:

- Συντελεστής διόρθωσης, λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος,  $f_1=0,87$  (για  $\theta=45^{\circ}\text{C}$  και υλικό EPR).
- Συντελεστής διόρθωσης, λόγω ομαδοποίησης περισσότερων από ένα κύκλωμα,  $F_3=0,70$  (για τρία κυκλώματα).

Επομένως  $I_{\sigma} = I_{\sigma} / f_1 * f_3 = 5,9 / 0,87 * 0,70 = 9,68\text{A}$ .

Άρα θα έχουμε για ένταση ρεύματος  $9,68\text{A}$  και διατομή  $1,5\text{mm}^2$ .

β. Έλεγχος με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης ( $U_{\pi\tau} \% < 5\% * U_{ov}$ ).

Για  $l_1 = 1\text{m}$ ,  $R_1 = \rho * l_1 / s = 0,018 * 1 / 1,5 = 0,012\Omega$ .

$$U_{\pi\tau} = I_{\sigma} * R_1 = 5,9 * 0,012 = 0,0708\text{V}.$$

$$U_{\varepsilon\pi} < U_{\sigma} * 5\% < 512 * 0,05 < 25,6\text{V}.$$

Από τους υπολογισμούς προκύπτει  $U_{\pi\tau} < U_{\varepsilon\pi}$  ή  $0,0708\text{V} < 25,6\text{V}$ .

Για  $l_2 = 12,83\text{m}$ ,  $R_2 = \rho * l_2 / s = 0,018 * 12,83 / 1,5 = 0,153\text{V}$ .

$$U_{\pi\tau} < U_{\varepsilon\pi} \text{ ή } 0,153\text{V} < 25,6\text{V}.$$

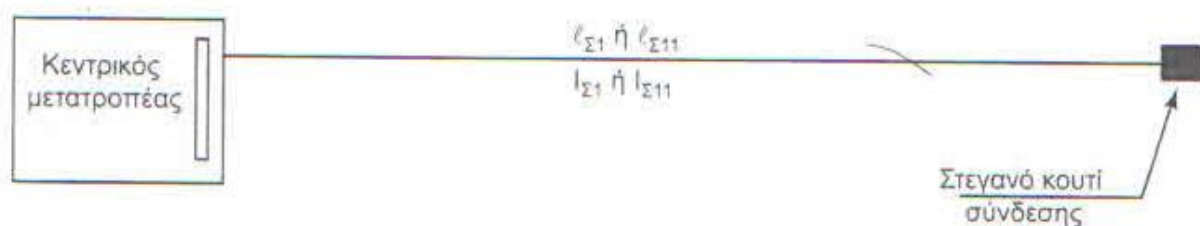
Για  $l_3 = 25,66\text{m}$ ,  $R_3 = \rho * l_3 / s = 0,018 * 25,66 / 1,5 = 0,308\text{V}$ .

$$U_{\pi\tau} < U_{\varepsilon\pi} \text{ ή } 0,308\text{V} < 25,6\text{V}.$$

Επομένως με καλώδιο διατομής  $2 \times 1,5\text{mm}^2$ , έχουμε πτώση τάσης πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη.

2. Διαδρομή από κάθε στεγανό κουτί σύνδεσης και μέχρι τον μετατροπέα (τοποθέτηση στο έδαφος). Παίρνοντας υπόψη το μονογραμμικό σχεδιάγραμμα του σχήματος 1 και 2, θα έχουμε για την σειρά  $\Sigma_1$  ή  $\Sigma_{11}$  το απλό μονογραμμικό διάγραμμα του σχήματος 3.

Μονογραμμικό διάγραμμα (σχήμα 3).



Από τα στοιχεία της ενότητας 5,6 θα έχουμε:

$$I_{\Sigma 1} = 3 * I_{\sigma} = 3 * 5,9 = 17,7A.$$

$$I_{\Sigma 1} = U_{\sigma} = 512V.$$

$$L_{\Sigma 1} = 2(5x + x' + 5m) = 2(5 * 4,30 + 1,03 + 5) = 55,06m.$$

α. Έλεγχος με βάση την πυκνότητα του ρεύματος.

Για ένταση ρεύματος  $I_{\Sigma 1} = 17,7A$  και για τύπο καλωδίου H07RN-F, με βάση το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD384, θα είναι  $1,5mm^2$  (26A). Επειδή τα καλώδια αυτά θα τοποθετηθούν μέσα στο έδαφος, με βάση τα στοιχεία του προτύπου, θα έχουμε:

- Συντελεστής διόρθωσης, λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας εδάφους ( $25^{\circ}C$ ),  $f_2 = 0,96$ .
- Συντελεστής διόρθωσης, λόγω περισσοτέρων του ενός καλωδίων, θαμμένων κατευθείαν στο έδαφος,  $f_5 = 0,50$ .

$$\text{Επομένως } I'_{\Sigma 1} = I_{\Sigma 1} / f_2 * f_5 = 17,7 / 0,96 * 0,50 = 36,875A.$$

Άρα για ένταση ρεύματος 36,875A, έχουμε διατομή  $S = 4mm^2$ . Διατομή καλωδίου  $2 \times 4mm^2$ .

β. Έλεγχος με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης ( $U_{\pi\tau} \% < 5\% * U_{nom}$ ).

Απόσταση μετατροπέα από στεγανό κουτί σύνδεσης (μονογραμμικό διάγραμμα σχήμα 3),

$$l_{\Sigma 1} = 55,06m.$$

Η αντίσταση του καλωδίου, θα είναι :

$$R = \rho * l/s = 0,018 * 1/55,06/4 = 0,248 \Omega.$$

Η πτώση τάσης στη διαδρομή αυτή, θα είναι :

$$U_{\pi\tau} = I_{\Sigma 1} * R = 17,7 * 0,248 = 4,3896 V.$$

$$U_{\epsilon\pi} < U_{on} * 5\% \text{ ή } U_{\epsilon\pi} < 512 * 0,05 \text{ ή } U_{\epsilon\pi} < 25,6V.$$

$$\text{Επομένως } U_{\pi\tau} < U_{\epsilon\pi} \text{ ή } 4,39 V < 25,6V.$$

Τελική διατομή του καλωδίου  $S = 4mm^2$  (καλώδιο  $2 \times 4mm^2$ ).

3. Διαδρομή από μετατροπέα προς το πεδίο ζεύξης με το κεντρικό δίκτυο διανομής.

- Μέγιστη τάση εισόδου :  $U_{PV,max} = U_{\sigma} = 512 V$
- Μέγιστη ένταση εισόδου :  $I_{PV,max} = 11 * I_{\Sigma} = 11 * 17,7 = 194,7 A$
- Μέγιστη ισχύς εισόδου :  $P_{PV,max} = U_{PV,max} * I_{PV,max} = 512 * 194,7 = 99686,4 W$  ή  $99,686 KW$
- Μέγιστη ισχύς εξόδου :  $P_{max} = P_{PV,max} * \eta^{\delta}$

Ο βαθμός απόδοσης  $\eta'$  είναι το γινόμενο του βαθμού απόδοσης του μετατροπέα ( $\eta_1 = 95\%$ ) και του βαθμού απόδοσης των πινάκων ( $\eta_3 = 98\%$ ).

Επομένως :  $\eta' = \eta_1 + \eta_3 = 0,95 + 0,98 = 0,931$ .

$$P_{\max} = 99,686 * 0,931 = 92,808 \text{ KW.}$$

Με βάση την έξοδο του μετατροπέα, έχουμε :

- Ονομαστική ισχύς μετατροπέα :  $P_{\text{nom}} = 100 \text{ KW}$ .
- Ονομαστική τάση μετατροπέα :  $P_{\text{nom}} = 3 \times 400 \text{ V}$ .
- Ονομαστική ένταση μετατροπέα :  $I_{\text{nom}} = 144 \text{ A}$ .

α. Έλεγχος με βάση την πυκνότητα του ρεύματος.

Για ένταση ρεύματος  $I_{\text{nom}} = 144 \text{ A}$  και για τον τύπο καλωδίου NYΥ, με βάση το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384 η διατομή του καλωδίου θα είναι  $s = 50\text{mm}^2$ .

Η διατομή του καλωδίου θα είναι  $s = 50\text{mm}^2$  (καλώδιο NYΥ 3X50+35 $\text{mm}^2$ ).

## 12. Κόστος Φ/Β εγκατάστασης

Το κόστος της Φ/Β εγκατάστασης σε τιμές εμπορίου για μεσαίου μεγέθους εγκατάσταση (100KW), ανέρχεται περίπου σε (5000) πέντε χιλιάδες ευρώ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος.

Η εγκατεστημένη ισχύς είναι :  $P_m = 11 * 30 * 300 = 99000\text{W}$  ή 99KW.

Κόστος εγκατάστασης:  $K_1 = 99 * 5000 = 195000$  ευρώ.

Κόστος οικοπεδικής έκτασης, διαμόρφωσης χώρου, περιφράξης και κατασκευής οικίσκου:  $K_2 = 55000$  ευρώ.

Συνολικό κόστος :  $K = K_1 + K_2 = 250000$  ευρώ.

## Πηγές

- Οδηγία Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, 2009/28/EK.
- Οδηγία Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, 2001/77/EK
- Wikipedia.org
- Βιβλιογραφία : Συμβατικές και ήπιες μορφές ενέργειας
- Βιβλιογραφία :Εναλλακτικές μορφές ενέργειας