

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1526

ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΦΩΤΗΣ (4516)

ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ (5478)

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΔΡΟΣΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση της εξέλιξης των κυριότερων οικονομοτεχνικών στοιχείων που αφορούν τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) κυρίως τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροδότηση, παράλληλα με την επέκταση της χρήσης τους μέσα από Υβριδικά Συστήματα Ηλεκτροπαραγωγής (Υ.Σ.Η.Ε.).

Μέσα από τα στοιχεία που δίνονται είναι σαφής η εξέλιξη που έχει παρουσιάσει ο συγκεκριμένος τομέας, κυρίως των τελευταίων 20 χρόνων, όσον αφορά τα κόστη παραγωγής και εκμετάλλευσης. Έτσι σήμερα σε συγκεκριμένες συνθήκες η ηλεκτροδότηση οικιών ή και ολόκληρων οικισμών με τη χρήση Α.Π.Ε., είναι ευθέως ανταγωνιστική σε σχέση με την ανάπτυξη ενός συμβατικού δικτύου ηλεκτροδότησης.

Η εξέλιξη αυτή που έχουν παρουσιάσει οι Α.Π.Ε. και η χρήση των Υβριδικών Συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται φανερό στο τέλος της εργασίας όπου παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης ηλεκτροδότησης κατοικίας. Η συγκεκριμένη περίπτωση αφορά κατοικία, η οποία θα κατοικείται μεγάλο διάστημα μέσα στο χρόνο, με απαιτήσεις για συνεχή ηλεκτροδότηση, με δεδομένο ότι η κατοικία βρίσκεται σχετικά απομακρυσμένη από το δίκτυο (αλλά όχι απομονωμένη).

Η επιλογή του θέματος της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε με βασικό γνώμονα την εκμετάλλευση των γνώσεων που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια της φοίτησης μας. Με την παρακολούθηση μαθημάτων όπως Φωτοβολταϊκά, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων και Μεταφορά-Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας γεννήθηκε η ιδέα της μελέτης ενός Υβριδικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας το οποίο χρησιμοποιεί τις Α.Π.Ε. σαν βασική πηγή ενεργείας για την κάλυψη των αναγκών μας.

Ο συνδυασμός των γνώσεων μας, της προσωπικής ενασχόλησης σε θέματα των ΑΠΕ, αλλά και μια εκτενής έρευνα σχετικά με θέματα των ΑΠΕ, συγκέντρωσαν όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η αναφορά σε ένα Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής (Υ.Σ.Η.Ε) με ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (Φωτοβολταϊκά στοιχεία,) καθώς επίσης και συστοιχία συσσωρευτών και γεννήτριας diesel).

Στην εργασία αυτή αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών καθώς και οι βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας τους, όπως επίσης την έκταση των εφαρμογών και την ευρεία χρήση που λαμβάνουν αυτά χώρα. Γι' αυτό τον λόγο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως μέσα από τα ολοκληρωμένα υβριδικά συστήματα φαίνεται να αυξάνουν τους ρυθμούς διείσδυσης τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη στιγμή που ειδικά έχει αυξηθεί το μερίδιο των καταναλωτών στους οποίους απευθύνεται η χρήση των ΑΠΕ. Επίσης γίνεται αναφορά στην αντικραυτική προστασία της ηλεκτρικής εγκατάστασης για την προστασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των άλλων συσκευών.

Στο τέλος της εργασίας αυτής παρουσιάζεται μια οικονομοτεχνική μελέτη ενός τέτοιου συστήματος σε μια κατοικία. Η συγκεκριμένη περίπτωση κατοικίας θα κατοικείται για μεγάλο διάστημα το χρόνο με απαιτήσεις για συνεχή ηλεκτροδότηση με δεδομένο ότι η κατοικία βρίσκεται σχετικά απομακρυσμένη από το δίκτυο και δεν μπορεί να τροφοδοτηθεί απευθείας σε αυτό με βάση την μελέτη μας. Εκεί εξετάζεται η οικονομική σύγκριση ανάμεσα σε ένα Υ.Σ.Η.Ε που έχει προσαρμοστεί στις απαιτήσεις της οικίας σε σχέση με απευθείας σύνδεση στο δίκτυο.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια	6
1.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα.....	7
1.3 Ο Λιγνίτης της Ελλάδας και οι Εκπομπές CO ₂	8
1.4 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	10
1.5 Η Συνθήκη του Κιότο	11
1.7 Προϋποθέσεις Λειτουργίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	15
1.8 Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	16
1.9 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Α.Π.Ε	18
1.10 Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Υ.Σ.Η.Ε.).....	19
1.11 Εφαρμογές Υβριδικών Συστημάτων	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
2.1 Ηλιακή Ενέργεια	23
2.2 Η αφθονία της Ηλιακή Ενέργειας.....	23
2.3 Φωτοβολταϊκή Ενέργεια	24
2.4 Πλεονεκτήματα Ηλεκτροπαραγωγής από ΦΒ συστήματα	25
2.5 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	26
2.6 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου.....	29
2.7 Τύποι ΦΒ Συστημάτων πυριτίου μεγάλου πάχους.....	30
2.8 ΦΒ στοιχεία λεπτών επιστρώσεων άμορφου πυριτίου και άλλων υλικών(thin film) ..	32
2.9 Φωτοβολταϊκή Μετατροπή.....	35
2.9.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ στοιχείου	35
2.9.2 Χαρακτηριστική Καμπύλη ΦΒ Στοιχείου	36
2.9.3 Σημείο Λειτουργίας ΦΒ Στοιχείου	38
2.10 Ένταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	39
2.10.1 Βαθμός απόδοσης ΦΒ στοιχείου	41
2.10.2 Ισχύς Αιχμής ΦΒ Στοιχείου	41
2.11 Φωτοβολταϊκό Σύστημα - Βασική μορφή ενός ΦΒ Συστήματος	41
2.12 Εγκατάσταση ΦΒ Συστημάτων	43
2.12.1 Αυτόνομο ΦΒ Σύστημα	43
2.12.2 Διασυνδεδεμένο ΦΒ Σύστημα	44
2.13 Απόδοση ΦΒ συστημάτων λόγο εξωτερικών παραγόντων	45
2.14 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων	48

2.15 Οφέλη από την χρήση των ΦΒ στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	50
3.1 Γενικά.....	50
3.2 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ	51
3.3 ΕΙΔΗ ΤΑΣΕΩΝ	51
3.3.1 Εναλλασσόμενη τάση.....	51
3.3.2 Συνεχή τάση.....	51
3.3.3 Κρουστική τάση.....	52
3.3.4 Βαθμίδα τάσης	53
3.4 Ορισμοί σχετικοί με τα μεγέθη του κεραυνού.	53
3.5 Είδη κεραυνών	54
3.6 Ο μηχανισμός του πλήγματος.....	54
3.6.1 Ρεύμα του κεραυνού.....	55
3.6.2 Συχνότητα με την οποία συμβαίνουν κεραυνοί.	56
3.7 Σύστημα γείωσης.....	57
3.7.1 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας	57
3.7.2 Εκτίμηση κινδύνου από πλήγμα κεραυνού.	58
3.7.3 Στάθμες προστασίας.....	58
3.7.4 Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	60
4.1 Δεδομένα Φορτία Κατοικίας	60
4.2 Επιλογή μεγέθους Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας	65
4.3 Επιλογή Συστοιχίας Φορτιστών.....	67
4.4 Επιλογή Μεγέθους Συσσωρευτών	68
4.5 Επιλογή Αντισροφών (Inverter).....	70
4.6 Επιλογή Μεγέθους Γεννήτριας Diesel.....	71
4.7 Αντικεραυνική Προστασία	72
4.8 Επιλογή Καλωδίων	73
4.9 Μηχανολογικό Υλικό	73
4.10 Τρόπος λειτουργίας.....	75
4.11 Εκτίμηση του κόστους ηλεκτροδότησης από το δίκτυο της ΔΕΗ.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ενέργεια σε όλες τις μορφές της είναι σημαντικός παράγοντας στην ανθρώπινη ζωή, ένας δείκτης το επίπεδο της οποίας μετράται με την κατανάλωση ενέργειας ανά άτομο. Η παραγωγή και η ορθολογική κατανομή ενέργειας είναι, επομένως, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε χώρα όσον αφορά την οικονομική της ανάπτυξη και τη βελτίωση του επιπέδου ζωής των κατοίκων της, με αποτέλεσμα η ενεργειακή πολιτική (που περιλαμβάνει συνοπτικά την εξασφάλιση, την εξοικονόμηση και τη διάθεση της ενέργειας), να αποτελεί το πρώτιστο μέλημα των κυβερνήσεων. Η κυρίαρχη τάση της τελευταίας εικοσαετίας είναι η επινόηση τεχνικών βελτιώσεων, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την παραγωγή της με λιγότερο περιβαλλοντικό κόστος

Η ενέργεια, και ειδικότερα η ηλεκτρική, αποτελεί τη βάση της σύγχρονης διαβίωσης. Σ' αυτήν στηρίζονται η βιομηχανία, η επιστημονική έρευνα, οι τηλεπικοινωνίες, ο τομέας των υπηρεσιών, η θέρμανση και ο κλιματισμός των κατοικιών και άλλων χώρων.

Η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι πρωτογενής, δηλαδή δεν βρίσκεται με τη μορφή της αυτούσια στη φύση, αλλά παράγωγη και το βασικό της μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκευθεί αλλά πρέπει να καταναλωθεί τη στιγμή της παραγωγής της. Τα βασικά πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις άλλες μορφές είναι η ευκολία στη χρησιμοποίηση και στον έλεγχό της, η δυνατότητα μεταφοράς της παντού και η ευκολία παραγωγής της. Όπως όλα τα αγαθά έτσι και η ηλεκτρική ενέργεια την τιμή της και το κόστος της. Μεγέθη που εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες, όπως ο τρόπος παραγωγής και μεταφοράς αλλά και της χρήσης του.

Τα ενεργειακά αποθέματα του πλανήτη μας είναι περιορισμένα εφόσον αναφέρονται στα συμβατικά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και την πυρηνική ενέργεια που αποτελούν τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αλλά η ηλιακή ακτινοβολία, εφόσον καταστεί δυνατό να αξιοποιηθεί με την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας, μπορεί να εξασφαλίσει την ενεργειακή αυτάρκεια του πλανήτη για απροσδιόριστο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 1.1: Θερμοδυναμικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

1.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η ενεργειακή κατανάλωση βασίζεται στις παραδοσιακές πηγές (λιγνίτης και πετρέλαιο) και μόνο μικρή προσπάθεια έχει γίνει προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Εκτός των μεταφορών και της αναμενόμενης μελλοντικής ευρύτερης εισαγωγής του φυσικού αερίου στη βιομηχανική και οικιακή χρήση, το μεγαλύτερο ποσό της δαπανώμενης ενέργειας έχει τη μορφή της ηλεκτρικής και επομένως η παραγωγή και η μεταφορά της σε μεγάλη κλίμακα είναι πολύ σημαντικά ζητήματα.

Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται στην Ελλάδα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και η αύξηση αυτή συμβαδίζει με τη γενικότερη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου που απαιτεί περισσότερες ενεργοβόρες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές πχ κλιματιστικά, φούρνοι μικροκυμάτων, ηλεκτρικές κουζίνες. Ευτυχώς η πατρίδα μας εκμεταλλεύεται σε σημαντικό ποσό την ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση νερού. Δυστυχώς δεν γίνεται ακόμα σε σημαντικό βαθμό εκμετάλλευση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής. Η χώρα μας δεν είχε, δεν έχει και δεν φαίνεται ότι θα αποκτήσει πυρηνικά εργοστάσια παρά τα κάποια κοιτάσματα ουρανίου που διαθέτει λόγω των κινδύνων πυρηνικών ατυχημάτων που έγιναν ιδιαίτερα εμφανείς μετά το καταστροφικό ατύχημα του Τσερνομπίλ το 1986.

Η Χώρα μας διαθέτει σημαντικές ποσότητες λιγνιτικών κοιτασμάτων που η μέχρι σήμερα αξιοποίησή τους συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της. Η συστηματική εκμετάλλευση του λιγνίτη (εικόνα 2) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950. Σήμερα αναπτύσσεται στα λιγνιτικά Κέντρα της Δυτικής Μακεδονίας της Μεγαλόπολης.



Εικόνα 1.2: Λιγνίτης

Ο εξοριζόμενος λιγνίτης χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτοντας περίπου 63% των αναγκών της χώρας. Για την εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων εφαρμόζεται η μέθοδος συνεχούς λειτουργίας, η οποία συνδυάζει ηλεκτροκίνητο εξοπλισμό με μεγάλη δυναμικότητα όπως είναι οι καδοφόροι εκσκαφείς, οι ταινιόδρομοι και οι αποθέτες. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός παραγωγής λιγνίτη από τα ορυχεία της ΔΕΗ ανέρχεται σε 70 εκτ. τόνους με αντίστοιχες εκσκαφές της τάξης των 336 εκτ m³ κατά το 2005.

Η εκμεταλλευσιμότητα των λιγνιτικών κοιτασμάτων εκφράζεται κατά βάση με οικονομικά κριτήρια, επηρεάζεται όμως και από άλλες παραμέτρους οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στη λήψη ανάλογων αποφάσεων. Στο πλαίσιο των προτεραιοτήτων που τίθενται διεθνώς στον ενεργειακό τομέα σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος, το περιβαλλοντικό κριτήριο λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων και κατά την αξιολόγηση ανάλογων επενδύσεων.

1.3 Ο Λιγνίτης της Ελλάδας και οι Εκπομπές CO₂

Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκόσμια. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχτεί συνολικά 1,3 δισ. τόνοι λιγνίτη, ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3, 1 δισ. τόνους περίπου. Το 2005 εξορύχτηκαν συνολικά 67,3 εκ. τόνοι.

Η χρήση του άνθρακα για ηλεκτροπαραγωγή ξεκίνησε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Οι πρώτοι σταθμοί είχαν ένα πενιχρό βαθμό απόδοσης 1 %, πράγμα που σήμαινε ότι χρειαζόταν 12,3 κιλά άνθρακα για την παραγωγή μιας μόνο κιλοβατώρας. Την ίδια ώρα εκλύονταν στην ατμόσφαιρα 37 κιλά διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

Πολλά άλλαξαν βέβαια από τότε. Η αποδοτικότητα των σταθμών βελτιώθηκε, για να φτάσει ένα αιώνα μετά κατά μέσο όρο στο 31 % σε διεθνές επίπεδο. Οι πιο εξελιγμένες μονάδες κατάφεραν μάλιστα να φτάσουν και το 47%. Στην περίπτωση του λιγνίτη (μορφή άνθρακα κατώτερης όμως ποιότητας), η μέγιστη απόδοση που επιτεύχθηκε είναι 45,3%.

Στην Ελλάδα, ένας τυπικός βαθμός απόδοσης των λιγνιτικών μονάδων είναι περί το 33%. Η εξαιρετικά χαμηλή θερμογόνος δύναμη του ελληνικού λιγνίτη (ιδίως αυτού της Μεγαλόπολης) συνεπάγεται πολύ χαμηλούς βαθμούς απόδοσης (που πέφτουν και στο 28% σε κάποιες περιπτώσεις). Αποτέλεσμα αυτού του χαμηλού βαθμού απόδοσης είναι οι υψηλές εκπομπές CO₂ από τις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής

Ο παρακάτω πίνακας 1 (με στοιχεία της ΔΕΗ) είναι αποκαλυπτικός.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (γραμμάρια ανά κιλοβατώρα, g CO ₂ /kWh) από την καύση ορυκτών καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα	
Λιγνίτης Βορρά	1310
Λιγνίτης Νότου	1490
Λιγνίτης - μέσος όρος χώρας	1346
Πετρέλαιο	750
Φυσικό αέριο	430

Πίνακας 1: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ

1.4 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η φυσική διαδικασία κατά την οποία οι ακτίνες του ήλιου παγιδεύονται και αντανακλώνται στη Γη με τη βοήθεια κάποιων συγκεκριμένων αερίων. Στη σημερινή εποχή το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί μια παρεξηγημένη έννοια, καθώς οι περισσότεροι το συνδέουν με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή.

Στην πραγματικότητα το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια ευεργετική φυσική διαδικασία η οποία διατηρεί τη θερμοκρασία του πλανήτη σε ανεκτά επίπεδα για την επιβίωση και την ανάπτυξη του ανθρώπου, καθώς και των έμβιων όντων γενικότερα. Υπεύθυνη για την παγκόσμια θέρμανση είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα, εξαιτίας της οποίας αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των θερμοσκοπικών αερίων και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα ενισχύοντας κατ'επέκταση σημαντικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ενίσχυση του φαινομένου από τον άνθρωπο ονομάζεται ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου.

A. Τα Αέρια του θερμοκηπίου είναι:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO₂),
- όζον (O₃)
- χλωροφθοράνθρακες (CFC)
- μεθάνιο (CH₄).

B. Συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου :

- Μείωση απορρόφησης άνθρακα από ωκεανούς
- Μείωση απορρόφησης άνθρακα από δάση
- Σταδιακό λιώσιμο πάγων
- Αύξηση της στάθμης των θαλασσών από 20- 40 εκατοστά.
- Αύξηση της θερμότητας των θαλασσών
- Αύξηση του πλήθους των εντόμων
- Εξαφάνιση πολλών θαλάσσιων ειδών
- Αύξηση βροχών και χιονοπτώσεων, σε κάποιες περιοχές και επικίνδυνη μείωση σε άλλες.
- Λειψυδρία

- Πλημμύρες πολλών δέλτα ποταμών
- Συρρίκνωση ποταμών
- Φονικοί τυφώνες

Γ. Ενδείξεις ότι ο κίνδυνος αυξάνει:

- Αύξηση της θερμοκρασίας στη Σιβηρία περισσότερο από ποτέ.
- Σταδιακό λιώσιμο των παγετώνων των Άλπεων.
- Αύξηση θερμοκρασίας στην Ανταρκτική.
- Αύξηση καταστροφικών βροχών στη Ρωσία.
- Αύξηση καταστροφικών χιονοπτώσεων στις ΗΠΑ
- Αύξηση θερμοκρασίας στην Ελλάδα από 1-5 βαθμούς Κελσίου, κίνδυνος λειψυδρίας, ξηρασίας, καυσώνων και καταστροφικών πλημμύρων.

1.5 Η Συνθήκη του Κιότο

Η παγκόσμια συνθήκη του Κιότο που στοχεύει στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, τέθηκε σε ισχύ, θέτοντας περιορισμούς στην έκλυση βλαβερών αερίων, που θεωρούνται υπεύθυνα για τις κλιματολογικές αλλαγές του πλανήτη. Αν και είχε υπογραφεί από το 1997, η συνθήκη του Κιότο τέθηκε σε εφαρμογή επίσημα στις 16/02/2005.

Πρόκειται για την πρώτη συνθήκη που έχει νομική δέσμευση για τον περιορισμό των αερίων που προέρχονται από 35 βιομηχανικές χώρες, τα οποία δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η παγκόσμια παραγωγή άνθρακα άγγιξε τα 2, 73 δις τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) το 2004, μια αύξηση σχεδόν 20% σε σχέση με το 1997, χρονιά που συμφωνήθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η αύξηση αυτή της παραγωγής οφείλεται στην πλειοψηφία των ασιατικών χωρών, αφού η παραγωγή μειώθηκε τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ το ίδιο χρονικό διάστημα.

Η παγκόσμια κατανάλωση άνθρακα αυξήθηκε επίσης κατά 20% την ίδια περίοδο, με την Ασία να καταγράφει μια εντυπωσιακή αύξηση κοντά στο 40%, τις ΗΠΑ 5,3% και μόνο την Ευρωπαϊκή Ένωση να μειώνει την κατανάλωση κατά 3,5% περίπου την περίοδο 1997-2004.

Ενώ όμως η Ευρωπαϊκή Ένωση φαίνεται να απαγκιστρώνεται έστω και δειά από τον άνθρακα, δεν συμβαίνει το ίδιο με την Ελλάδα. Κατά την μετά-Κιότο περίοδο, η Ελλάδα αύξησε την ετήσια παραγωγή λιγνίτη κατά 20% (σήμερα είναι κοντά στους

70 εκατ. τόνους ετήσια), ενώ η αύξηση αυτή αγγίζει το 35% την τελευταία δεκαετία. Το γεγονός αυτό εξηγεί και το γιατί η Ελλάδα έχει αποτύχει παταγωδώς να τιθασεύσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να σταθεί συνεπής προς τις διεθνείς υποχρεώσεις της. Σημειωτέο ότι η Ελλάδα είναι η 2η μεγαλύτερη λιγνιτοπαραγωγός χώρα στην Ευρώπη (μετά τη Γερμανία) και 5η σε όλο τον κόσμο.

Τα αποδεδειγμένα κοιτάσματα άνθρακα αγγίζουν το 1 τρις τόνους (909 δις τόνους το 1994 σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της BP). Τα μισά σχεδόν γνωστά αποθέματα αφορούν σε λιγνίτη και χαμηλής ποιότητας άνθρακα. Τα αποθέματα αυτά αρκούν θεωρητικά για περίπου 170 χρόνια με το σημερινό ρυθμό κατανάλωσης. Αν συνυπολογίσει όμως κανείς και τις αυξητικές τάσεις στην κατανάλωση σε ορισμένες ασιατικές χώρες (π.χ. Κίνα, Ινδία, Ιαπωνία, Κορέα, Ταϊβάν, Ινδονησία), τα αποθέματα θα εξαντληθούν στο μισό χρόνο, δηλαδή σε περίπου 85 χρόνια.

Αυτό βέβαια είναι μια θεωρητική εκτίμηση, γιατί δυστυχώς δεν έχουμε την πολυτέλεια να κάψουμε τόσο μεγάλες ποσότητες άνθρακα ως τα τέλη του αιώνα, αφού η κατανάλωση και μικρού μόνο τμήματος των αποθεμάτων μπορεί να επιφέρει μη αντιστρεπτές κλιματικές αλλαγές, αν υπερβούμε τα όρια αντοχής των οικοσυστημάτων. Σημειωτέον ότι η καύση του άνθρακα ευθύνεται για την έκλυση 10 δις τόνων CO₂ ετησίως περίπου, δηλαδή για το 40% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

1.6 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Έννοια και Περιεχόμενο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Η παγκοσμία επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη διατύπωσαν την εξής έννοια της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης: Βιώσιμη είναι η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να χειροτερεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Η δυνατότητα της βιώσιμης ανάπτυξης είναι υπαρκτή όσο υπάρχουν ανανεώσιμοι πόροι συμπεριλαμβανομένων και των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών και αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Η ευρύτερη έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναφέρεται σε κάθε πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώνεται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου.

Πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ενώ για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση καύση αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτό σημαίνει πως πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε διάφορες φυσικές διαδικασίες

όπως: Ο ήλιος, ο άνεμος, οι υδατοπτώσεις, η ενέργεια των κυμάτων, ρευμάτων, ωκεανών, η βιομάζα, η γεωθερμία.

Οι Α.Π.Ε. μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε έμμεσα, μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια).

Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις Α.Π.Ε. είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα, τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς και οι πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που συνδέονται με τη διατήρηση του παρόντος επιπέδου ανάπτυξης στον ενεργειακό τομέα, εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων από την χρήση κλασικών πηγών ενέργειας.

Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια, λόγω της εξέλιξης των τεχνολογιών τους και της διεύρυνσης της παραγωγικής βάσης τεχνολογίας σε αναπτυσσόμενες χώρες, με αντίστοιχη μείωση του κόστους επένδυσης και παραγωγής. Αποτελούν επίσης για τα κράτη στρατηγική επιλογή, αφού έχουν ωριμάσει και είναι ασφαλείς, ανταγωνιστικές κι ελκυστικές σε ιδιώτες και επενδυτές. Ενώ η εφαρμογή τους συμβάλλει στη βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών και ειδικότερα στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στην απεξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο.

Μπορούν δηλαδή να απαντήσουν αποτελεσματικά στο τρίπτυχο των που απασχολούν τον τομέα της ενέργειας:

- Επάρκεια Αποθεμάτων
- Ασφάλεια Ανεφοδιασμού
- Προστασία του Περιβάλλοντος

Στην προώθηση των Α.Π.Ε. στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά, συνέβαλε το γεγονός ότι μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, αποτελώντας την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

Είναι προφανές ότι χώρες με μεγάλα αποθέματα στις πρωταρχικές μορφές ενέργειας έχουν συνήθως την τάση να χρησιμοποιούν αυτό το πλεονέκτημα σαν μέσο για πολιτικό και οικονομικό έλεγχο των υπολοίπων.

Το πιο σημαντικό όφελος που μπορούν να προσφέρουν σε μια οικονομία σχετίζεται με τη βελτίωση της απασχόλησης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν καταπληκτικό δυναμικό ως προς τη δημιουργία και διαφύλαξη θέσεων εργασίας. Μελέτη του WWF για τη Βιομάζα «Biomass Study» εντοπίζει ένα δυναμικό απασχόλησης της τάξης των 170.000-290.000 θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης στις χώρες του ΟΟΣΑ, μόνο και μόνο από αυτή την συγκεκριμένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Οι εν λόγω θέσεις εργασίας υπολογίζεται ότι θα δημιουργηθούν κυρίως σε αγροτικές, αδύναμες από πλευράς υποδομών, περιοχές και θα είναι ως εκ τούτου εξαιρετικά σημαντικές.

Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι ο απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση εξοπλισμός τους. Εξάλλου, το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με τις μικρές έως ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης που εμφανίζουν, συνεπάγεται περιορισμένο κόστος λειτουργίας. Έτσι, αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό το μέχρι σήμερα μειονέκτημα του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων εκμετάλλευσής τους.

Επιπρόσθετα, στα τεχνικά πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. περιλαμβάνονται:

- Η δυνατότητα διαφοροποίησης των ενεργειακών φορέων, τεχνολογιών και υποδομών παραγωγής θερμότητας, καυσίμων και ηλεκτρισμού
- Η αύξηση της ευελιξίας των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, ώστε να ανταποκρίνονται στη μεταβαλλόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Για κάθε χώρα η επιλογή μεταξύ των διάφορων διαθέσιμων ενεργειακών πόρων εξαρτάται έντονα από τους φυσικούς περιορισμούς που τίθενται για κάθε τύπο πόρου (υδατικό δυναμικό, αιολικό δυναμικό ανά περιοχή, μέγιστη μέση ηλιακή έκθεση ανά μονάδα επιφάνειας κλπ). Για κάθε πόρο λοιπόν υπάρχει ένα κατώφλι της βέλτιστης απόδοσης.

Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά τα οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια τα οποία είναι αναγκαία προκειμένου να πραγματοποιηθούν τεχνικά οι ανανεώσιμες πηγές σε μια χώρα:

- Οικονομικός ανταγωνισμός (κόστος KWh)
- Επιπτώσεις στην απασχόληση
- Ευαισθησία στις τιμές των πρώτων υλών (πετρέλαιο, και άλλα ορυκτά)

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Κοινωνική αποδοχή

1.7 Προϋποθέσεις Λειτουργίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ενέργεια σε όλες τις μορφές της, του ανέμου, του νερού, της γεωθερμίας και της βιομάζας, που αποτελούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον, μπορούν και πρέπει να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες ώστε να συμβάλουν στην αιεφόρο ανάπτυξη, εφόσον είναι ανανεώσιμες και ρυπαίνουν ελάχιστα ή καθόλου.

Στη χώρα μας υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης αυτών των πηγών ενέργειας γιατί έχουμε σημαντική ηλιοφάνεια και αιολικό δυναμικό, ιδιαίτερα στα νησιά, αλλά και υδάτινο δυναμικό στις ορεινές περιοχές.

Για να είναι χρήσιμη μια πηγή ενέργειας είναι αναγκαίες ορισμένες προϋποθέσεις:

- Η ενέργεια αυτή να είναι άφθονη και η πρόσβαση στην ενεργειακή πηγή εύκολη.
- Να μετατρέπεται χωρίς δυσκολία σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
- Να μεταφέρεται εύκολα.
- Να αποθηκεύεται εύκολα.

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ή εναλλακτικών πηγών είναι ακόμη πολύ περιορισμένη σε παγκόσμια κλίμακα, εξυπηρετεί όμως το στόχο της προστασίας του περιβάλλοντος, γιατί είναι «καθαρές» και φιλικές προς το περιβάλλον. Έτσι το μεγάλο στοίχημα είναι να καθιερωθούν δημιουργώντας μεγαλύτερη οικονομική ευστάθεια σε κράτη εξαρτημένα ενεργειακά και να μειώσουν τις κλιματολογικές διαταραχές που παρατηρούμε πλέον σε παγκόσμια κλίμακα όλο και πιο έντονα.

Η αυτονομία από το δίκτυο εγκαθιστώντας σύστημα παραγωγής που βασίζεται στις ΑΠΕ είναι η σωστή λύση αν ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η τοποθεσία που βρίσκεται η εγκατάσταση πρέπει να έχει επαρκές δυναμικό ΑΠΕ.
- Δεν υπάρχει υφιστάμενη σύνδεση με το δίκτυο ή για να υλοποιηθεί απαιτείται επέκταση γραμμών που επιφέρει μεγάλο κόστος.
- Υπάρχει επιθυμία για ενεργειακή ανεξαρτησία από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

- Υπάρχει επιθυμία και οικονομική δυνατότητα να επενδυθούν σε ΑΠΕ για περιβαλλοντικούς λόγους.
- Υπάρχει μελλοντικός σχεδιασμός για επέκταση του δικτύου και αγορά από το δίκτυο της πλεονάζουσας.

1.8 Είδη Ανανεώσιμων Πηγών 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 πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή Ενέργεια**: Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές(ηλιακοί θερμοσίφωνες), ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με τη βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Α.Π.Ε. από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδατοπτώσεις**: Αναφέρεται στα 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 απ' 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 απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπιδάκες 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 με γεωθερμική ενέργεια.
- **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.
- **Ενέργεια από Κύματα**: Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- **Ενέργεια από τους Ωκεανούς**: Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.



Εικόνα 1.3: Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας(ΑΠΕ)

1.9 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Α.Π.Ε

A. 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 αυτάρκεια 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 τόπου 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 μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

B. Μειονεκτήματα

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Για αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν 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 απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.10 Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Υ.Σ.Η.Ε.)

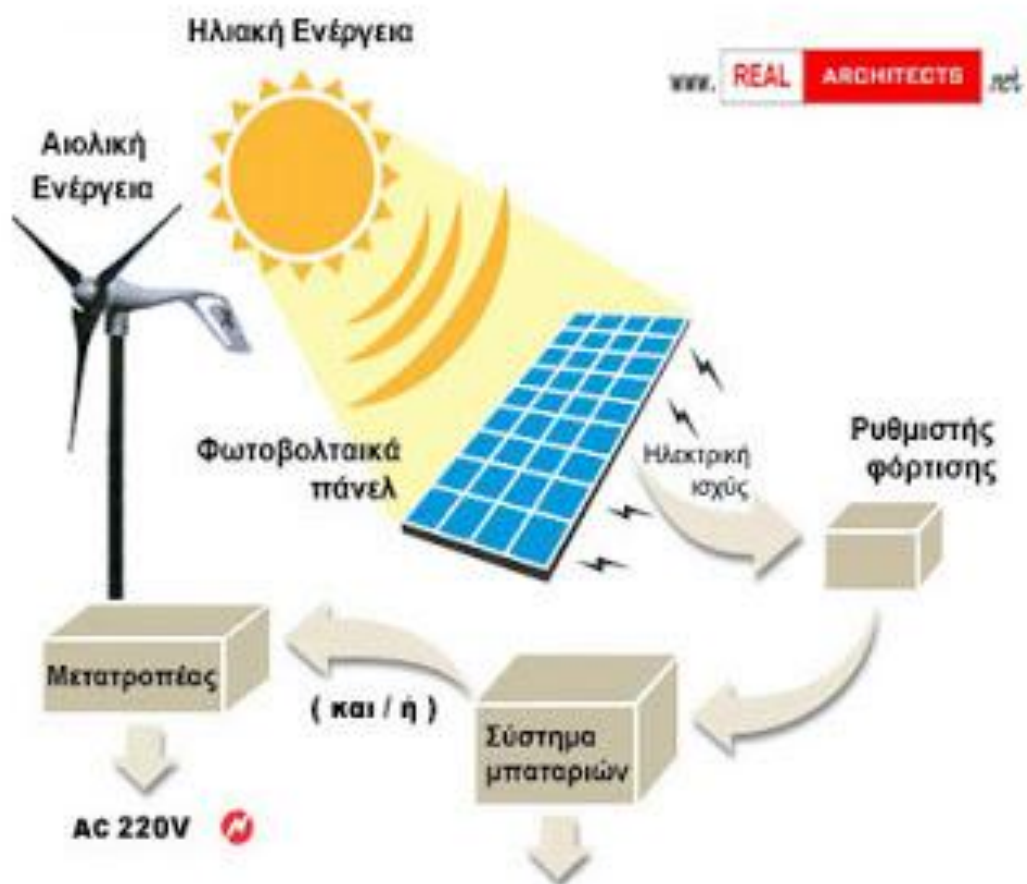
Με τον όρο Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας, αναφερόμαστε σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται πολλαπλές διατάξεις ενεργειακής μετατροπής ή περισσότερα του ενός καύσιμα για την ίδια διάταξη, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.

Ένα υβριδικό σύστημα (εικόνα 4) μπορεί να περιλαμβάνει μία συμβατική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μία τουλάχιστον μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, διατάξεις αποθήκευσης, συστήματα εμποπτείας και ελέγχου, καθώς και σύστημα διαχείρισης φορτίου.

Με αυτήν την έννοια, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μία εναλλακτική επιλογή αντί των συμβατικών συστημάτων, τα οποία τυπικά βασίζονται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Σύμφωνα με το νόμο 3468/2006, σαν υβριδικό σύστημα ή αλλιώς υβριδικός σταθμός ορίζεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

- Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ .
- Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Σαν ενέργεια που απορροφά ο υβριδικός σταθμός από το δίκτυο ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του υβριδικού σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.
- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ του σταθμού δε μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.



Εικόνα 1.4: Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.11 Εφαρμογές Υβριδικών Συστημάτων

A. Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Διασυνδεδεμένα σε Κεντρικό Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα απαρτίζονται από τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι ότι διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και ότι η τάση και η συχνότητα δεν επηρεάζονται από την παρουσία επιπρόσθετων γεννητριών ή φορτίων. Είναι δηλαδή δίκτυα άπειρου ζυγού.

Αν ένας υβριδικός σταθμός συνδεθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο, τότε γίνεται λόγος για διασυνδεδεμένη παραγωγή. Δεδομένου ότι το κεντρικό δίκτυο έχει την ευθύνη για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας, αλλά και για την παραγωγή άεργου ισχύος, ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος απλοποιείται καθώς δεν απαιτούνται συστήματα ελέγχου. Όταν ζητείται περισσότερη ενέργεια απ' αυτήν που μπορεί να παράγει ο σταθμός, το έλλειμμα ενέργειας παρέχεται από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Παρομοίως, τυχούσα περίσσεια ενέργειας που παράγεται από το υβριδικό σύστημα μπορεί να απορροφηθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο, ωστόσο πρέπει να τονιστεί ότι τίθενται περιορισμοί σχετικά με τη συμμετοχή του υβριδικού σταθμού στη στιγμιαία παραγωγή ισχύος. Σε μερικές περιπτώσεις η παρουσία του υβριδικού σταθμού επηρεάζει την ικανότητα του κεντρικού δικτύου να διατηρεί σταθερή τάση και συχνότητα, οπότε γίνεται λόγος για ασθενές δίκτυο και συνήθως απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός και διατάξεις ελέγχου.

B. Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα (Μη Διασυνδεδεμένα)

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών που δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε δεν υπάρχει σύστημα μεταφοράς παρά μόνο σύστημα διανομής. Η μετατροπή ενός συμβατικού αυτόνομου σταθμού σε υβριδικό αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στην ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμου και των ωρών λειτουργίας των συμβατικών γεννητριών.

Η σημαντικότερη διαφορά του αυτόνομου σε σχέση με ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι πρέπει να μπορεί να παρέχει όλη την ενέργεια που ζητείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή να κάνει αποκοπή φορτίου όταν αυτό δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, πρέπει να έχει την ικανότητα ρύθμισης συχνότητας και παραγωγής άεργου ισχύος ώστε να ρυθμίζει την τάση του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή από τις μονάδες ΑΠΕ του συστήματος ξεπερνά το φορτίο, η περίσσεια ενέργειας πρέπει να αποθηκευτεί ή και να απορριφθεί με κάποιον τρόπο ώστε να μην προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα.

Τα αυτόνομα δίκτυα δεν έχουν άπειρο ζυγό, οπότε επηρεάζονται έντονα από τη σύνδεση επιπρόσθετου φορτίου ή γεννήτριας. Για τους παραπάνω λόγους, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας και συστήματα ελέγχου και διαχείρισης φορτίου

Γ. Τροφοδότηση Απομονωμένων Φορτίων ή Φορτίων Ειδικού Σκοπού

Υβριδικά συστήματα χωρίς δίκτυο διανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού, τα οποία μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ή ακόμα και μεταβλητής τάσης και συχνότητας. Παραδείγματα τέτοιων φορτίων αποτελούν οι ηλεκτρικοί φάροι, ο φωτισμός της σήμανσης στους αυτοκινητόδρομους, η άντληση νερού, τα συστήματα αφαλάτωσης καθώς και οι ηλεκτρικοί μύλοι. Μία εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ σε συνδυασμό με μπαταρίες και ηλεκτρονικά ισχύος.

Σε αυτά τα συστήματα ο έλεγχος συχνότητας και τάσης καθώς και η διαχείριση της περίσσειας ισχύος δεν αποτελούν τις κύριες παραμέτρους σχεδίασης. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρησιμοποίησης και συμβατικής γεννήτριας που λειτουργεί όποτε η παραγωγή ΑΠΕ δεν επαρκεί, αλλά συνήθως δεν λειτουργεί παράλληλα με τις γεννήτριες ΑΠΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για κάλυψη των καθημερινών αναγκών του ανθρώπου δεν είναι κάτι το καινοφανές. Από αρχαιοτάτων χρόνων η ηλιακή ενέργεια αξιοποιήθηκε από τον άνθρωπο στη γεωργία, την κατοικία και αργότερα στη βιομηχανία. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεπτικότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα Φωτοβολταϊκά (ΦΒ), τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής, καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας.

Τα ΦΒ Συστήματα (ΦΒΣ) χρησιμοποιούνται για ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών, όπως παραγωγή ηλεκτρισμού από μεγάλες μονάδες και απευθείας σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτροπαραγωγής σε οικιακό και εμπορικό επίπεδο για κάλυψη βασικών αναγκών(π.χ. φωτισμός, ψυγείο, τηλεόραση κ.λπ.), τηλεπικοινωνίες, άντληση νερού, σηματοδότηση κ.λπ. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές εφαρμογές που τις συναντάμε κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου υπάρχει πρόβλημα ηλεκτροδότησης από το δίκτυο της ΔΕΗ, καθώς και σε επενδύσεις πουλώντας το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στη ΔΕΗ.

Επίσης αξιόλογες είναι οι εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση και το δροσισμό (ψύξη) κτιρίων, με τη χρήση ενεργητικών και παθητικών (βιοκλιματικών) συστημάτων.

2.2 Η αφθονία της Ηλιακή Ενέργειας

Οι ερευνητές του υπουργείου ενέργειας των ΗΠΑ έχουν καταγράψει την ποσότητα διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας. Σε παγκόσμια κλίμακα, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που καταφθάνει στη γη μέσα σε μια περίοδο δύο εβδομάδων, είναι ισοδύναμη με την ενέργεια όλων των αποθεμάτων φυσικών καυσίμων υδρογονανθράκων(γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου). Το συνολικό ποσό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη γήινη ατμόσφαιρα μέσα σε ένα χρόνο ισούται περίπου με 35.000 φορές την ενέργεια που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα ετησίως.

Στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας, η μέση ένταση της ηλιακής ενέργειας είναι 1.36kW ανά τετραγωνικό μέτρο (μετρούμενη κάθετα προς αυτήν επίπεδο). Ο αριθμός αυτός είναι γνωστός ως ηλιακή σταθερά και λαμβάνει τη μέγιστη αυτή τιμή όταν ο ήλιος είναι κατακόρυφος στον ουρανό.

Στις άλλες περιόδους της ημέρας, η λαμβανόμενη ενέργεια εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών πάνω στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας. Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη λαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια είναι το γεωγραφικό πλάτος, η χρονική στιγμή της ημέρας και η εποχή.

Να σημειωθεί επίσης, ότι για το μισό περίπου χρονικό διάστημα, η γη δεν λαμβάνει απευθείας ηλιακή ενέργεια. Φανταστείτε, ότι η σημερινή τεχνολογία αν μπορούσε να συλλάβει την ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας, τότε δεν θα υπήρχε πρόβλημα εξάντλησης των ενεργειακών πηγών.

Αυτή η αφθονία ενέργειας θα μπορούσε να επιτρέψει τον περισσότερο ισότιμο ανταγωνισμό των αναπτυσσόμενων και βιομηχανικών χωρών στην παγκόσμια αγορά. Υπενθυμίζεται, ότι χρήση φθηνών ενεργειακών πηγών, αποτελεί την απαίτηση της παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών. Η μεγάλη αυτή ποσότητα ενέργειας δεν μπορεί βέβαια να κατανοηθεί εύκολα, αλλά ενισχύει την έννοια ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια πραγματικά ανεξάντλητη πηγή. Το μεγαλύτερο ποσό της ενέργεια αυτής, δεν μπορεί να συλλεχθεί.

Καθώς διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα, ανακλάται πίσω στο διάστημα ή απορροφάται από τα φυτά και τις υδάτινες μάζες. Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες αυτές ο ήλιος εξακολουθεί να παρέχει τεράστια αποθέματα ενέργειας. Για παράδειγμα, περίπου το 13% της ηλιακής ενέργειας στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας, φθάνει στο έδαφος. Υποθέτοντας ότι η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό σε βαθμό απόδοσης 20%, τότε θα ήταν δυνατό να τροφοδοτηθούν όλες οι ηλεκτρικές ανάγκες μιας χώρας. Πρακτικά, εάν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ολόκληρη η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην οροφή κάποιας κατοικίας, τότε θα τροφοδοτούνταν όλες οι ηλεκτρικές ανάγκες του σπιτιού.

2.3 Φωτοβολταϊκή Ενέργεια

Τα ΦΒΣ σήμερα προσφέρουν μια ελκυστική λύση για έναν διαρκώς αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών που απαιτούν οικονομική και αξιόπιστη παροχή ενέργειας, ακόμη και κάτω από εξαιρετικά δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Με τη τεχνολογία αυτή μπορούμε να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να καταναλώνουμε συμβατικά καύσιμα. Εκμεταλλευόμαστε μόνο την ανανεώσιμη, ηλιακή ακτινοβολία που άφθονα και δωρεάν μας παρέχεται.

Το βασικό χαρακτηριστικό των ΦΒΣ, είναι η αυτόνομη λειτουργία τους χωρίς τη χρήση οποιασδήποτε καύσιμη ύλης, η υψηλή ανθεκτικότητα και αξιοπιστία, καθώς και η ικανότητα να λειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς συντήρηση. Τα καθιστά ενδεδειγμένη οικονομικά λύση για όλους τους τύπους εφαρμογών, που είναι απομακρυσμένες από το δίκτυο.

Κάθε κιλοβατώρα, που παράγεται από τα ΦΒ και όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες

απώλειες του δικτύου). Ένα τυπικό ΦΒΣ του ενός κιλοβάτ αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3-1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους.

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

2.4 Πλεονεκτήματα Ηλεκτροπαραγωγής από ΦΒ συστήματα

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία

σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις Γης.

Οι διάφοροι παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής.

Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο, απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10,6% κατά μέσο όρο (3,8% υψηλή-υπερυψηλή τάση, 6,8% μέση-χαμηλή τάση).

Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα ΦΒ μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση των αιχμών ζήτησης και στην αποτροπή black-out. Κάτι τέτοιο ενισχύεται και από πρόσφατες μελέτες στις ΗΠΑ και την Αυστραλία, όπου αποδείχτηκε ότι η διάσπαρτη εγκατάσταση ΦΒΣ θα βοηθούσε στην αποτροπή των μεγάλων black-out όπως αυτό που ταλαιπώρησε τη βόρεια Αμερική τον Αύγουστο του 2003. Επιπρόσθετα, η διαθεσιμότητα των ΦΒ είναι υψηλή και συνεπώς αποτελούν αξιόπιστα ενεργειακά συστήματα.

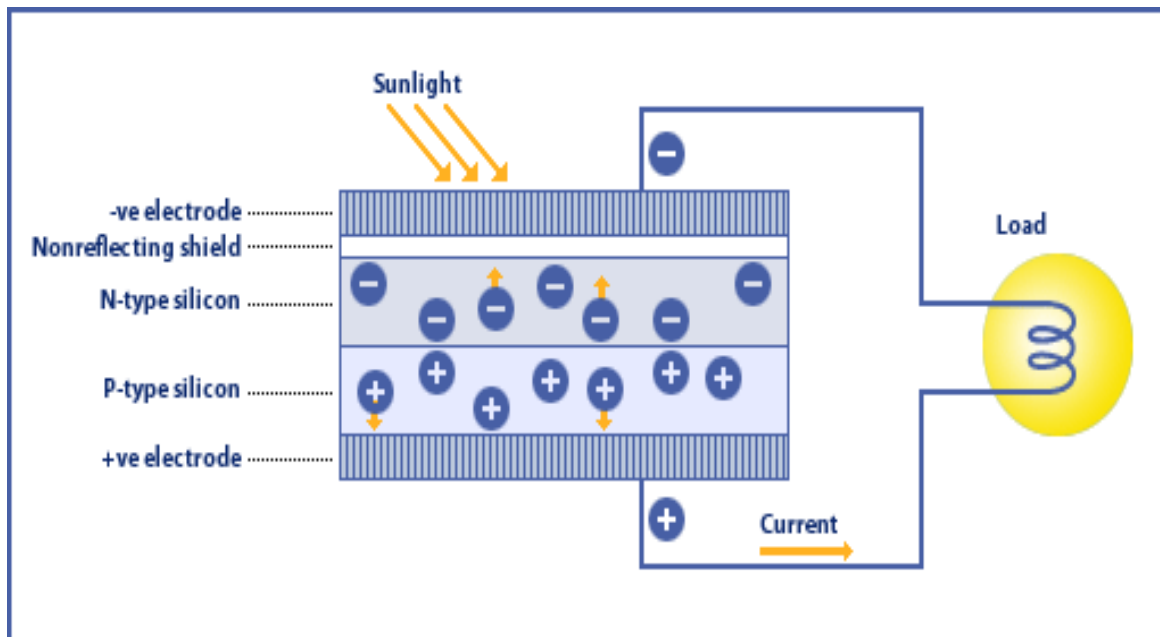
Σε 80 δις δολάρια ετησίως εκτιμάται το κόστος από τις διακοπές ρεύματος στις ΗΠΑ, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Lawrence Berkeley National Laboratory. Ένα ποσοστό 2% αυτού του ποσού αφορά τον οικιακό τομέα, ενώ το υπόλοιπο τη βιομηχανία και τις υπηρεσίες. Η αποκεντρωμένη παραγωγή και η διάδοση των ΦΒ θα μπορούσε να αποτρέψει πολλές από τις σημερινές διακοπές και να συμβάλει στην ευστάθεια των δικτύων και την εξοικονόμηση δισεκατομμυρίων δολαρίων. Κάτι τέτοιο φυσικά ισχύει και για την Ελλάδα και ιδίως για τα αδύναμα νησιωτικά δίκτυα. Στην Ελλάδα, εκτιμάται ότι κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ.

2.5 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Τα ΦΒΣ αποτελούν μία από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Εκμεταλλευόμενο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το ΦΒΣ παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή.

Όταν μια δίοδος επαφής δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια $h \cdot \nu$ μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο, λοιπόν, διαρκεί η ακτινοβολία δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στην περιοχή της επαφής των ημιαγωγών, έχουμε εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n ή και εκτροπή των οπών προς τον ημιαγωγό p (εικόνα 2.1).

Δημιουργείται δηλαδή μια διαφορά δυναμικού μεταξύ ακροδεκτών των δύο τμημάτων της διόδου, η οποία διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν και το γεγονός αυτό ονομάζεται ΦΒ φαινόμενο. Η διάταξη αυτή, η οποία αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell) και για λόγους ευκολίας γράφεται ΦΒ στοιχείο. Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται φωτόρευμα.



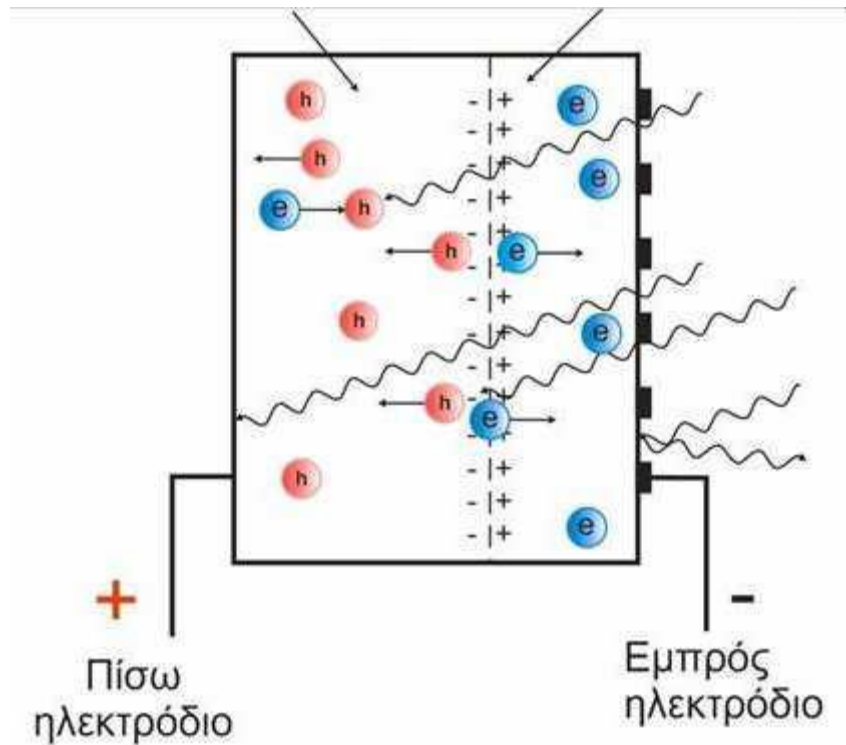
Εικόνα 2.1: Μηχανισμός εκδήλωσης ΦΒ φαινομένου σε ΦΒ στοιχείο

Το φωτόρευμα είναι ευθέως ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας S [W/m^2], που προσπίπτει το ΦΒ στοιχείο και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών.

Είναι προφανές ότι είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται το ΦΒ στοιχείο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του ΦΒ στοιχείου και διαχέεται προς την ατμόσφαιρα. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στο ΦΒ στοιχείο δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο αποτελείται από φωτόνια, έχουν ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού.

Για τα φωτόνια αυτά, το ΦΒ στοιχείο συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα, δηλαδή, η αντίστοιχη ακτινοβολία το διαπερνά και απλά θερμαίνει το μεταλλικό ηλεκτρόδιο, που καλύπτει την πίσω όψη του. Ούτε όμως και το μέρος της ακτινοβολίας, που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού αξιοποιείται, γιατί μετατρέπεται σε θερμότητα.

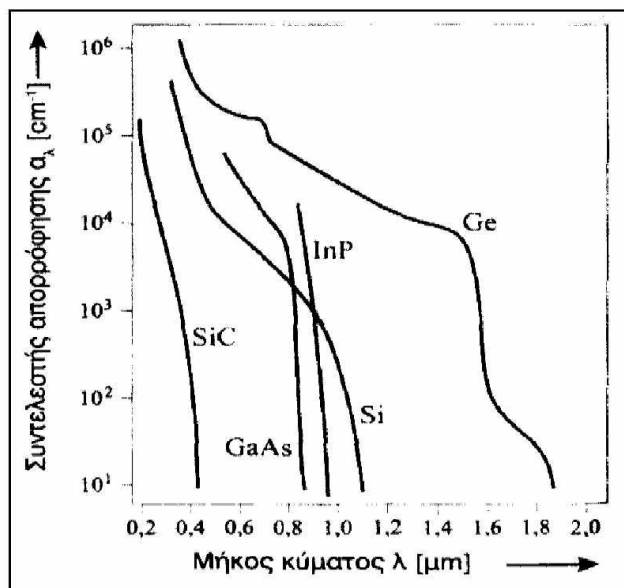
Τελικά, μόνο το μέρος της ακτινοβολίας της οποίας τα φωτόνια έχουν ενέργεια $h \cdot \nu = E_g$ αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2.2: Μηχανισμός παραγωγής φωτοβολταϊκής τάσης (e: Ελεύθερα ηλεκτρόνια, h: Οπές)

Αυτό συμβαίνει, γιατί τα φωτόνια αυτά απορροφώνται και αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του ΦΒ στοιχείου να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Και ως γνωστόν, ηλεκτρισμός σημαίνει κίνηση ηλεκτρονίων.

Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή απορρόφησης α_λ ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος λ της ηλιακής ακτινοβολίας και το υλικό (εικόνα 2.3). Είναι προφανές ότι ο συντελεστής απορρόφησης μηδενίζεται για μια κρίσιμη τιμή λ_g του μήκους κύματος ($\lambda_g = h \cdot c / E_g$), πάνω από την οποία το υλικό γίνεται διαπερατό (διαφανές), δηλαδή, τα φωτόνια δεν απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους.



Εικόνα 2.3: Διάγραμμα συντελεστή απορρόφησης διαφόρων υλικών

2.6 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου

Το πυρίτιο (Si) είναι από το πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, αφού αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού. Το καθαρό πυρίτιο παράγεται από την άμμο, της οποίας το κύριο συστατικό είναι το οξείδιο του πυριτίου (SiO₂).

Η πρώτη φάση του καθαρισμού γίνεται με την ανάτληξη από την οποία προκύπτει πυρίτιο μεταλλουργικής ποιότητας.

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τη μετατροπή του μεταλλουργικού πυριτίου, με τη βοήθεια υδροχλωρικού οξέος, σε αέριο τριχλωροσιλάνιο.

Στην τρίτη φάση γίνεται καθαρισμός του τριχλωροσιλανίου με κλασματική απόσταξη και η αναγωγή του με υδρογόνο, οπότε παράγεται πυρίτιο ηλεκτρονικής ποιότητας.

Στην τελευταία φάση το ηλεκτρονικό πυρίτιο τήκεται και ανακρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή.

Μετά από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι πάχους 0,5mm, οι οποίοι, αφού λειανθούν, διαμορφώνονται σε διόδους επαφής p-n με διάχυση ή εμφύτευση των κατάλληλων προσμείξεων. Το ΦΒ στοιχείο αποκτά την τελική του μορφή με τη

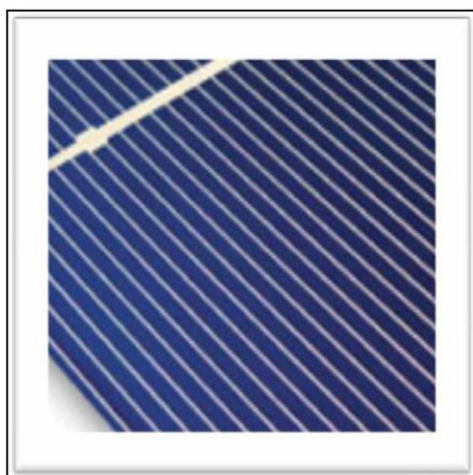
συγκόλληση των ηλεκτροδίων στις δύο όψεις του δίσκου, την κάλυψη της εμπρός επιφάνειας με αντανακλαστικό επίστρωμα και τη στεγανοποίηση.

Το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός, που κυριάρχησε μέχρι σήμερα σαν υλικό κατασκευής των ΦΒ στ. Ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής, τα ΦΒ στ. πυριτίου διακρίνονται στους παρακάτω τύπους.

2.7 Τύποι ΦΒ Συστημάτων πυριτίου μεγάλου πάχους

Το πάχος των ΦΒ στοιχείων μονοκρυσταλικού πυριτίου τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας".

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών ΦΒ είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό ΦΒ με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 2.4: ΦΒ στοιχεία μονοκρυσταλικού πυριτίου

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη.



Εικόνα 2.5: ΦΒ στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

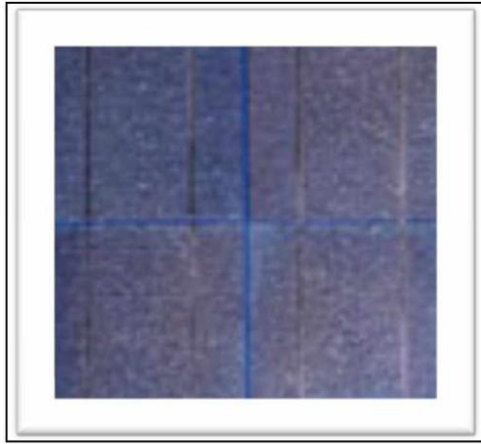
Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά ΦΒ κελιά.

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα ΦΒ πλαίσια (πάνελ).

Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου "χύτευση" και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC. Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών ΦΒ κυψέλων πυριτίου.

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

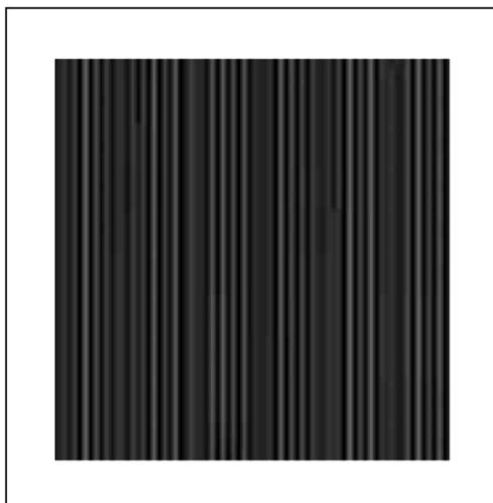


Εικόνα 2.6: ΦΒ στοιχεία ταινίας πυριτίου

2.8 ΦΒ στοιχεία λεπτών επιστρώσεων άμορφου πυριτίου και άλλων υλικών(thin film)

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

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8%, που είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των ΦΒ τεχνολογιών λεπτής επίστρωσης. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο που υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



Εικόνα 2.7: Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός

Άμορφο πυρίτιο (Thin film Silicon. A-Si)

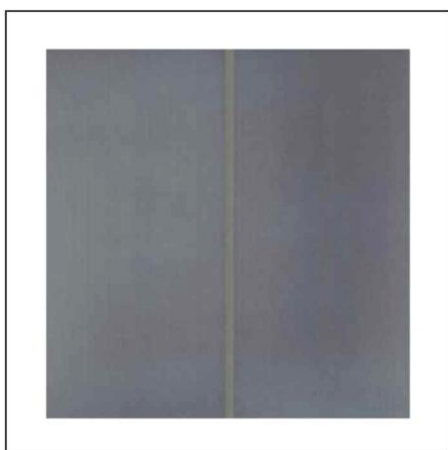
Αυτά τα ΦΒ στοιχεία έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων, οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού, κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο ΦΒ προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8%, ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

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

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια, χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων, μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια.

Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



Εικόνα 2.8: ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου Τελουριούχο Κάδμιο (Cd Te)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1 eV, που είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα, όπως τη δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6- 8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα ΦΒ στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για ΦΒ στοιχεία Cd Te είναι η First Solar. Τροχοπέδη αποτελεί ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στη χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί.

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από το χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο, άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV, που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.9: Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Η απόδοσή του στη μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που επιβάλλει σχεδόν τη χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων. Τα ΦΒ στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσής του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Άλλες τεχνολογίες ΦΒ στοιχείων

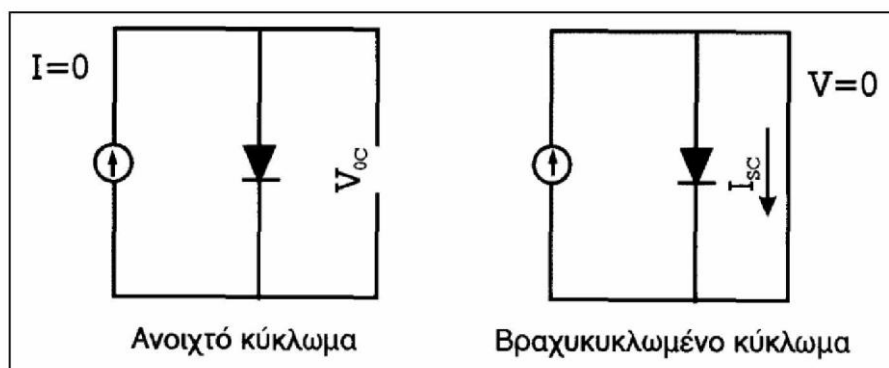
Η τεχνολογία των ΦΒ εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα ΦΒ στοιχεία, που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

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

2.9 Φωτοβολταϊκή Μετατροπή

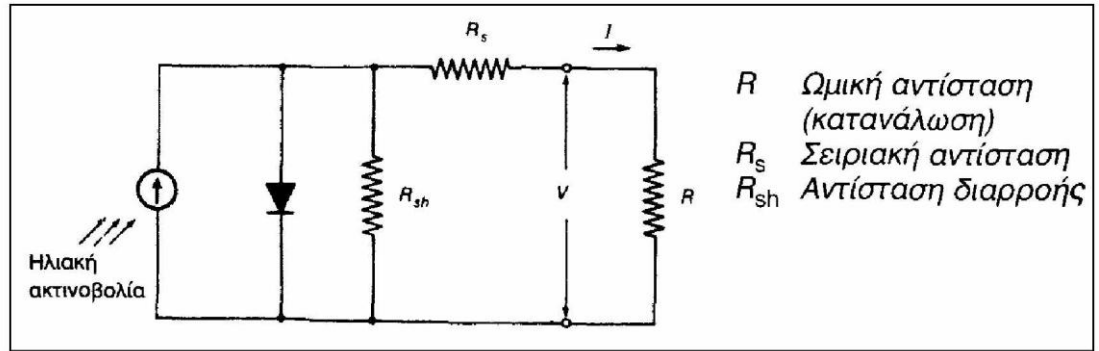
2.9.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ στοιχείου

Προκειμένου να μελετήσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός ΦΒ στοιχείου, που δέχεται σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, θεωρούμε ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από μια δίοδο επαφής (εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10: Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ στοιχείου

Αν στο απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα τα άκρα της επαφής συνδεθούν με χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής, άρα πρακτικά μηδενικής αντίστασης, το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο και διαρρέεται από ρεύμα ίσο με το φωτόρευμα, που ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} του ΦΒ στοιχείου (short-circuit current). Αν στα άκρα της επαφής δεν συνδέονται μεταξύ τους, δηλαδή, έχουμε ανοιχτό κύκλωμα, η τάση στα άκρα ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του ΦΒ στοιχείου (open circuit voltage).



Εικόνα 2.11: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ στοιχείου

Στην πραγματικότητα το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου (Εικόνα 2.11) περιλαμβάνει ακόμα δύο αντιστάσεις :

- i. Τη σειριακή αντίσταση R_s , η οποία συνδέεται σε σειρά με τη δίοδο επαφής και αφορά στις αντιστάσεις κατά το πέρασμα του ρεύματος μέσα από τη δίοδο και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια.
- ii. Τον αντίσταση διαρροής R_{sh} , η οποία συνδέεται παράλληλα με τη δίοδο

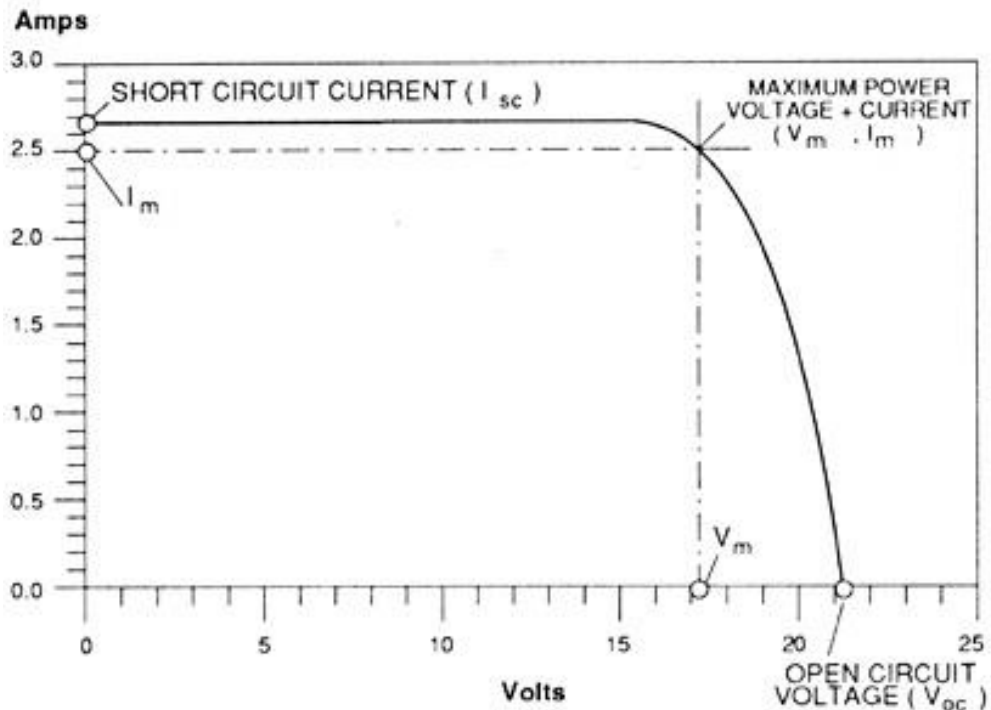
επαφής και αφορά στη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής. Τα ΦΒ στοιχεία του εμπορίου έχουν συνήθως $R_s < 5\Omega$ και $R_{sh} > 500\Omega$.

2.9.2 Χαρακτηριστική Καμπύλη ΦΒ Στοιχείου

Σύμφωνα με τα όσα αναπτύξαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η τάση των ΦΒ στοιχείων μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν παραμένει σταθερή η ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται.

Όταν το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} και η ηλεκτρική τάση μηδενίζεται ($V=0$). Αντίθετα, όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται.

Οι μεταβολές έντασης και τάσεως φαίνονται στο διάγραμμα της εικόνας 2.12 με μια καμπύλη που αποτελεί τη χαρακτηριστική καμπύλη του ΦΒ στοιχείου. Η καμπύλη αυτή ισχύει σε συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν (βραχυκύκλωμα) μέχρι άπειρη (ανοιχτό κύκλωμα). Είναι προφανές, ότι ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές.



Εικόνα 2.12: Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης I - τάσης V ενός ΦΒ στοιχείου

Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτρική ισχύς P ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης I επί την τάση U του ρεύματος ($P=I \cdot U$). Το μέγιστο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μέσα στην καμπύλη I - V με πλευρές I_m και U_m , έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ P_m από το ΦΒ στοιχείο (εικόνα 2.12). Άρα, εκτός από την τάση και την ένταση του ρεύματος μεταβάλλεται ομαλά και η ηλεκτρική ισχύς P που παράγει το ΦΒ στοιχείο, με μέγιστη τιμή την P_m για ένα ορισμένο ζεύγος τιμών έντασης I_m και τάσεως U_m .

Το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με πλευρές I_{sc} (ρεύμα βραχυκύκλωσης) και V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος), της καμπύλης I - V στην παραπάνω εικόνα, περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του ΦΒ στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος.

Το γινόμενο $V_m \cdot I_m$ (βέλτιστη ισχύς) προς το γινόμενο $V_{oc} \cdot I_{sc}$ (ακραίες τιμές) θα το ονομάζουμε συντελεστή πλήρωσης FF του ΦΒ στοιχείου (Fill Factor) και δίνει το μέτρο προσέγγισης της λειτουργίας ενός στοιχείου προς την ιδανική συμπεριφορά.

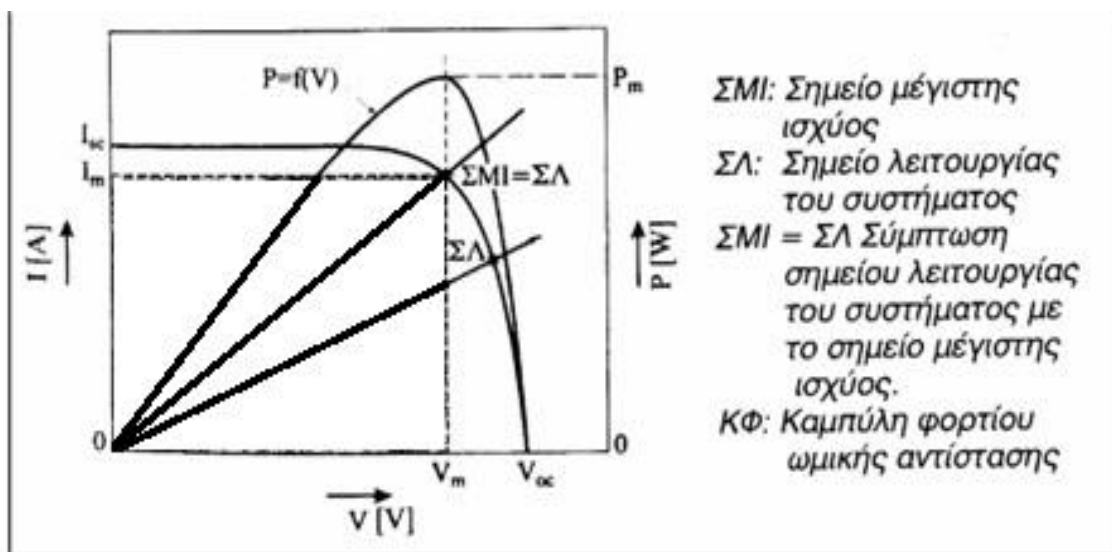
$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Η τιμή FF κυμαίνεται από 0 έως 1. Μια τιμή 0,7 - 0,9 χαρακτηρίζει ένα ΦΒ στοιχείο με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση.

2.9.3 Σημείο Λειτουργίας ΦΒ Στοιχείου

Στις ακραίες καταστάσεις του βραχυκυκλωμένου και ανοιχτού κυκλώματος, όπου $V=0$ και $I=0$ αντίστοιχα, η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το ΦΒ στοιχείο είναι μηδενική ($P=0$). Άρα, η μεταβολή της ισχύος με την τάση, που φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 2.13, παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση της τιμής του ρεύματος.

Συνεπώς, η αντίσταση του κυκλώματος, που τροφοδοτείται από ένα ΦΒ στοιχείο, πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή για να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από αυτό. Δηλαδή, η τάση και το ρεύμα της αντίστασης πρέπει να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ).

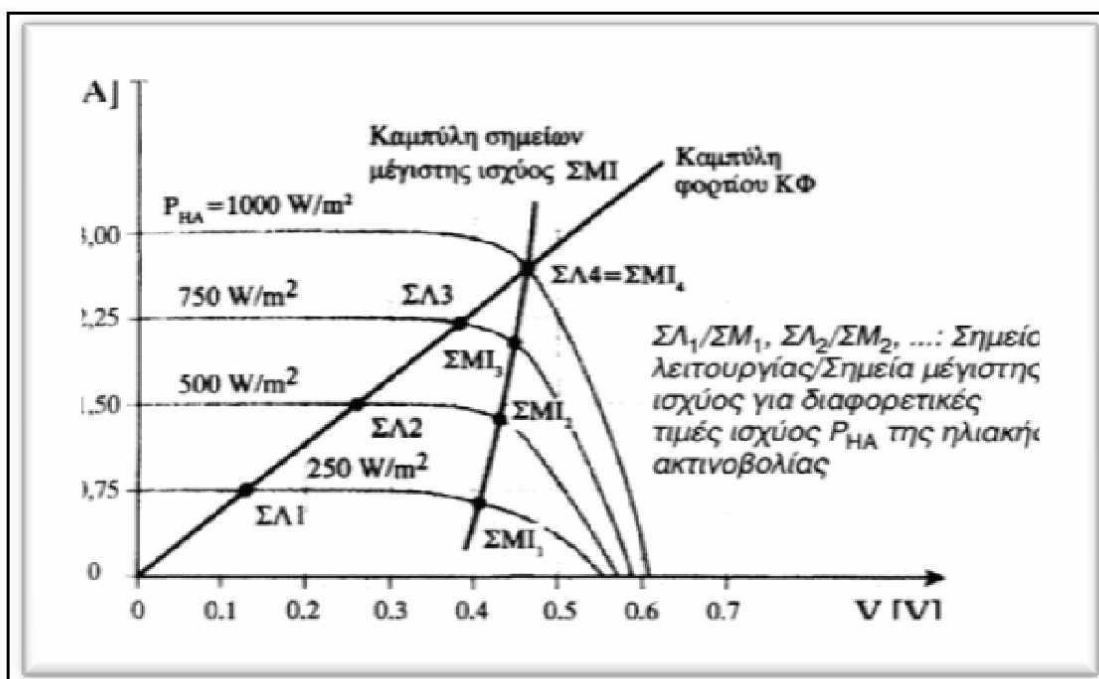


Εικόνα 2.13: Χαρακτηριστική καμπύλη $I - V$, μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος P ως προς την τάση V και καμπύλη φορτίου $ΚΦ$, ΦΒ στοιχείου

Θεωρώντας ότι ένα ΦΒ στοιχείο τροφοδοτεί μια ωμική αντίσταση, μπορούμε να απεικονίσουμε στο διάγραμμα 1-V του ΦΒ στοιχείου την καμπύλη φορτίου ΚΦ της αντίστασης (ευθεία γραμμή), η οποία δείχνει τη μεταβολή του ρεύματος I που τη διαρρέει, σε συνάρτηση με την εφαρμοσμένη στα άκρα της ηλεκτρική τάση V (εικόνα 2.13). Το σημείο της τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης και της καμπύλης φορτίου ονομάζεται σημείο λειτουργίας (ΣΛ) του συστήματος και καθορίζει το ρεύμα και την τάση στην αντίσταση.

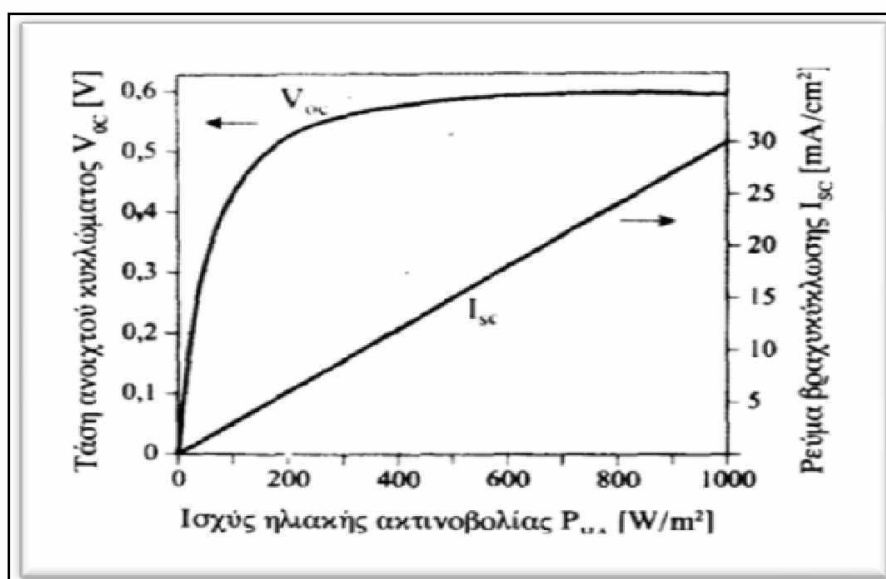
2.10 Ένταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Το πηλίκο της ηλεκτρομαγνητικής ισχύος P_{em} (του φωτός) που προσπίπτει σε μια επιφάνεια S , προς την επιφάνεια ονομάζεται ένταση ΗΜ ακτινοβολίας. Για κάθε τιμή της έντασης της ΗΜ ακτινοβολίας έχω και διαφορετική χαρακτηριστική $I - V$ για το ΦΒ



Εικόνα 2.14: Μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών $I - V$ ΦΒ στοιχείου όταν μεταβάλλεται η ένταση I της ΗΜ ακτινοβολίας.

Με τη χρήση ειδικών ηλεκτρονικών διατάξεων παρακολούθησης του ΣΜΙ όταν οι συνθήκες αλλάζουν, επιδιώκουμε τη συνεχή σύμπτωση του ΣΛ του συστήματος με το εκάστοτε ΣΜΙ, ώστε να αποδίδεται η μέγιστη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από το ΦΒ στοιχείο (εικόνα 2.14). Η προσπάθεια αυτή είναι απαραίτητη γιατί η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 2.15: Μεταβολή τάσης ανοιχτού κυκλώματος και ρεύματος βραχυκύκλωσης ως προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο διάγραμμα της εικόνας 2.15 φαίνεται η μεταβολή του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} και της τάσης του ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} σε συνάρτηση με την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας. Το ρεύμα I_{sc} μεταβάλλεται ανάλογα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ενώ η τάση V_{oc} αυξάνεται απότομα στην αρχή (ανατολή του ήλιου) και μετά παραμένει σχεδόν σταθερή για το υπόλοιπο διάστημα μιας αίθριας ημέρας.

Τέλος, η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου αυξάνεται κατά το φωτισμό του, γιατί ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο στοιχείο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} κατά τη μεγάλη ελάττωση της τάσεως ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του ΦΒ στοιχείου.

Είναι, λοιπόν, προφανές ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του ΦΒ στοιχείου προκαλεί μείωση της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος του P_m . Η μείωση αυτή είναι περίπου 0,4% για κάθε βαθμό Κελσίου πάνω από τους 25°. Δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία των ΦΒ στοιχείων είναι 30°C μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία (t_a) του αέρα.

2.10.1 Βαθμός απόδοσης ΦΒ στοιχείου

Ένα ΦΒ στοιχείο αποδίδει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ P_m και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία ισχύος. Το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται *βαθμός απόδοσης* η του ΦΒ στοιχείου.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{em}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{em}} = \frac{FF \cdot I_{SC} \cdot V_{OC}}{P_{em}}$$

2.10.2 Ισχύς Αιχμής ΦΒ Στοιχείου

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής ως χαρακτηριστικό του ΦΒ στοιχείου. Ισχύς αιχμής P_p (Pick Power), ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που αποδίδεται από το ΦΒ στοιχείο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC και έχει μονάδα μέτρησης το W_p .

2.11 Φωτοβολταϊκό Σύστημα - Βασική μορφή ενός ΦΒ Συστήματος

Η ΦΒ συστοιχία παράγει συνεχή τάση και άρα μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας μόνο ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα. Σε αυτές συγκαταλέγονται: οι αντιστάσεις θέρμανσης, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, τα ηλεκτρικά ψυγεία συνεχούς, με τάσεις τροφοδοσίας 12 ή 24 V DC κ.α. Ειδικές διατάξεις μετατρέπουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο (Inverters), προκειμένου να τροφοδοτηθούν συσκευές οικιακής ή άλλης χρήσης, οι οποίες ουσιαστικά λειτουργούν σαν να έχουν συνδεθεί στο κεντρικό δίκτυο (220V AC, ΔΕΗ).

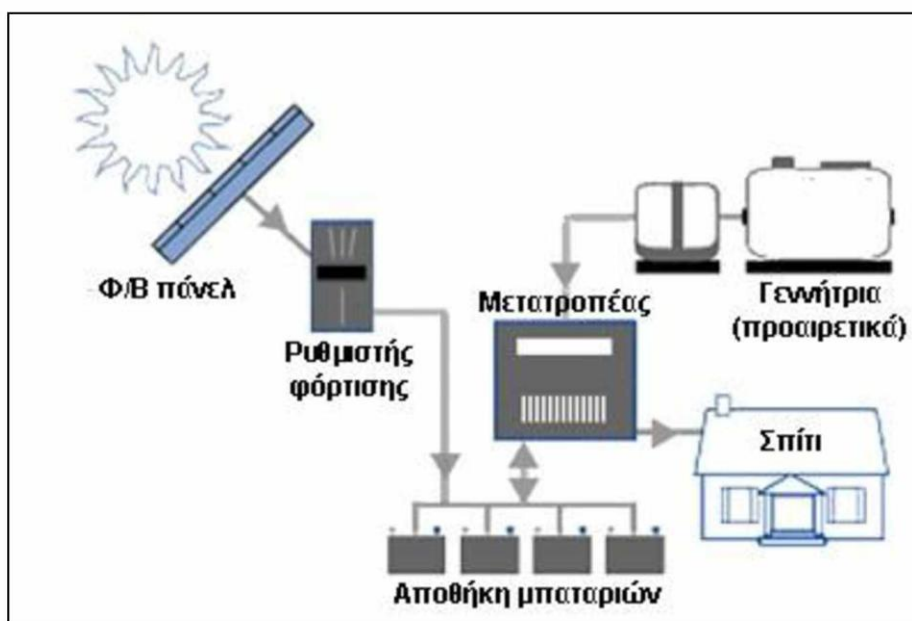
Η επιλογή της απ' ευθείας χρήσης της συνεχούς τάσης από ένα ΦΒΣ εξετάζεται κατά περίπτωση όπως π.χ. σε

- μικρά αυτόνομα αντλητικά συστήματα
- συστήματα τροφοδοσίας σταθμών τηλεμετάδοσης
- φωτισμού δρόμων ή πάρκων

κ.λπ., η αξιοποίηση απευθείας της ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας είναι προτιμητέα. Στη πλειονότητα όμως των περιπτώσεων επιλέγεται η μετατροπή της συνεχούς σε εναλλασσόμενη τάση και ο λόγος είναι ότι πολύ περισσότερες συσκευές και εργαλεία καθημερινής χρήσης τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση.

Παραδείγματος χάρι, όταν η ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια προορίζεται για οικιακή χρήση είναι προτιμότερο να προσαρμόσουμε το σύστημα τροφοδοσίας στις ήδη χρησιμοποιούμενες οικιακές συσκευές μας που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση 220 V. Οι τελευταίες χαρακτηρίζονται, λόγω μεγαλύτερης εμπορικής κατανάλωσης από χαμηλό κόστος παραγωγής.

Εξάλλου, η ηλεκτρική εγκατάσταση διανομής εναλλασσομένου ρεύματος, τάσεως 220 V, είναι σαφώς φθηνότερη της αντίστοιχης με συνεχές ρεύμα χαμηλής ηλεκτρικής τάσης, επειδή στην περίπτωση αυτή απαιτούνται μεγαλύτερης διατομής καλώδια για μείωση των απωλειών στη γραμμή μεταφοράς. Π.χ. σε μια εγκατάσταση αγροικίας ή παραθεριστικής κατοικίας με απαιτήσεις φωτισμού, ψύξης, χρήση ηλεκτρικών εργαλείων, άντληση και TV, αποδεικνύεται προσφορότερη η χρήση εναλλασσομένου ρεύματος.



Εικόνα 2.17: Βασική μορφή ενός ΦΒ συστήματος

Ένα τυπικό σύστημα ΦΒ τροφοδοσίας με μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη 220 V (εικόνα 2.17), αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα : το ΦΒ πάνελ, την αποθήκη μπαταριών, το ρυθμιστή φόρτισης και τους διάφορους τύπους μετατροπέων της ηλεκτρικής τάσης, συνεχούς σε συνεχή, συνεχούς σε εναλλασσόμενη και εναλλασσόμενης σε συνεχή, ανάλογα με τις αντίστοιχες απαιτήσεις.

2.12 Εγκατάσταση ΦΒ Συστημάτων

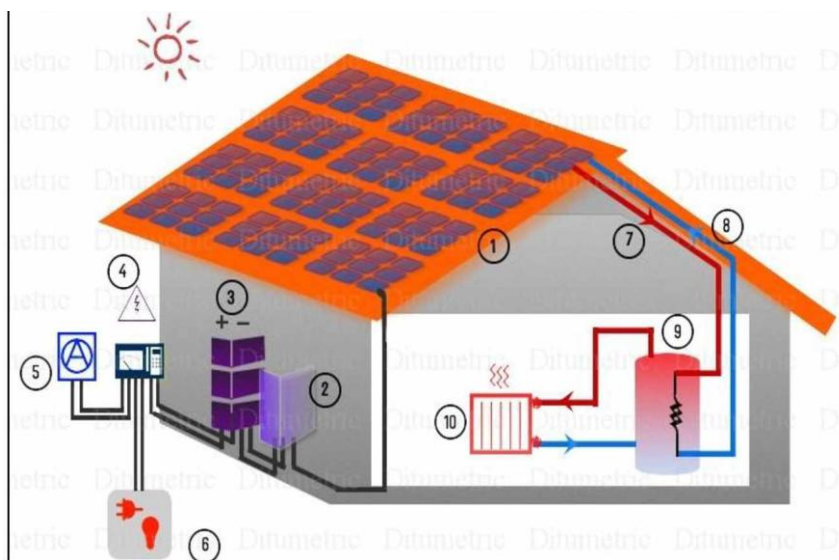
Τα ΦΒ συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Τα αυτόνομα συστήματα
- Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα

Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε πολλές ομοιότητες μεταξύ τους. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στα πρώτα υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ και η ενέργεια που παράγεται περνάει σ' αυτό, ενώ στο δεύτερο δεν υπάρχει τέτοια σύνδεση και η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται κατευθείαν στην κατανάλωση.

2.12.1 Αυτόνομο ΦΒ Σύστημα

Το αυτόνομο σύστημα (ή σύστημα εκτός δικτύου) (εικόνα 2.18) αποσκοπεί στο να προσφέρει ενεργειακή αυτονομία σε μια εγκατάσταση. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες απομονωμένων από το δίκτυο συστημάτων.



Εικόνα 2.18: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

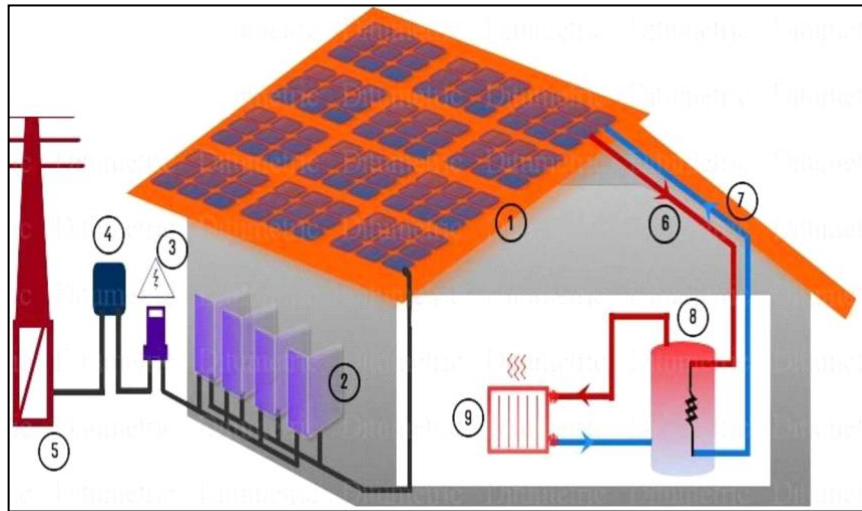
Κάποιες κατηγορίες από αυτές είναι:

- Οικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο της ΔΕΗ σε τέτοια απόσταση που το κόστος διασύνδεσης είναι υψηλό.
- Οικίες που για κάποιους λόγους δεν γίνεται να ηλεκτροδοτηθούν.
- Κτηνοτροφικές ή γεωργικές μονάδες απομακρυσμένες από το δίκτυο της ΔΕΗ.
- Τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις.
- Αντλητικά συστήματα υδροδότησης.
- Κινητές εγκαταστάσεις (τροχόσπιτα, πλωτά κ.λπ.)
- Εγκαταστάσεις που απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα (αμυντικές εφαρμογές, διαστημικές εφαρμογές).

Σε αυτό το ΦΒΣ η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο. Το ηλεκτρικό ρεύμα (DC) που παράγεται από το ΦΒ πλαίσιο, φορτίζει τις μπαταρίες, με τη βοήθεια του ρυθμιστή φόρτισης. Ο μετατροπέας αλλάζει την τάση των συσσωρευτών από συνεχές (DC) σε εναλλασσόμενο (AC).

2.12.2 Διασυνδεδεμένο ΦΒ Σύστημα

Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (εικόνα 2.19). Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.



Εικόνα 2.19: Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ΦΒ χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως σύστημα αδιάλειπτης παροχής UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο στη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή.

2.13 Απόδοση ΦΒ συστημάτων λόγω εξωτερικών παραγόντων

Η απόδοση των ΦΒ συστημάτων εξαρτάται:

- Από το κλίμα της περιοχής (όσο λιγότερες είναι οι ημέρες της ηλιοφάνειας, π.χ. δυτική Ελλάδα, τόσο μικρότερη είναι η απόδοση).
- Από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (όσο πιο νότια είναι η περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας).
- Από την κλίση των ΦΒ πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο (η βέλτιστη απόδοση είναι με νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 30°).
- Από την ηλικία των ΦΒ πλαισίων (υπολογίζεται ότι τα πλαίσια έχουν ζωή 20-30 έτη με απόδοση έως και 80% για τα πρώτα 20 έτη).

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΚΛΙΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ		
	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ - ΔΥΤΙΚΟΣ	90%	85%
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ - ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟΣ	90%	95%	60%
ΝΟΤΙΟΣ	90%	100%	60%
ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ - ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ	90%	67%	30%
ΒΟΡΕΙΟΣ	90%	60%	20%

Πίνακας 2.2: Απόδοση ΦΒΣ σε διάφορες κλίσεις και προσανατολισμούς.

Η παραγωγή ενέργειας από τον ήλιο είναι προβλέψιμη. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημά μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, ένα ΦΒΣ στην Ελλάδα παράγει κατά μέσω όρο ετησίως περίπου 1.300 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο kW (kWh /έτος/kW).

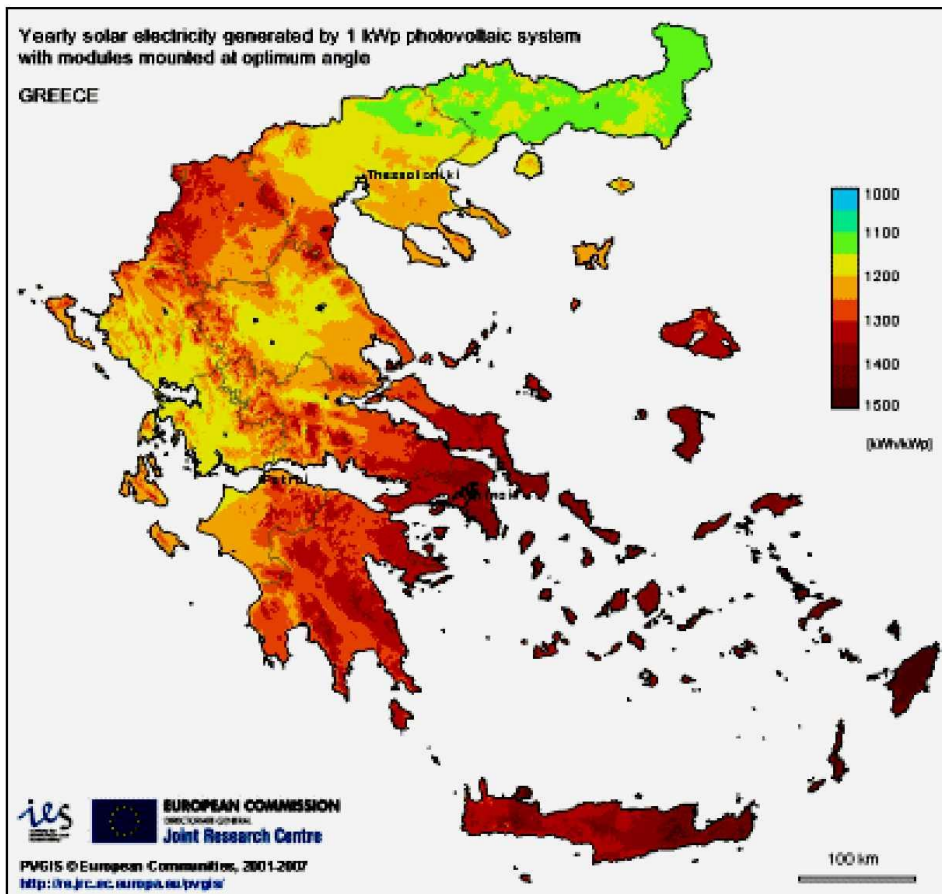
Ο χάρτης που ακολουθεί στην εικόνα 2.20, δίνει μια ρεαλιστική ενδεικτική εικόνα για το ότι ισχύει σε διάφορες περιοχές της χώρας. Συνεπώς στις νότιες και ανατολικές περιοχές της χώρας ένα ΦΒ σύστημα παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό από ότι στις βόρειες.

Ενδεικτικά αναφέρεται πως ένα ΦΒ σύστημα αποδίδει :

- Στην Αθήνα περίπου 1.250-1.450 kWh/έτος/kW.
- Στη Θεσσαλονίκη περίπου 1.150-1.275 kWh/έτος/kW.
- Στη Κρήτη ή στη Ρόδο περίπου 1.400-1.500 kWh/έτος/kW.

Η ακριβής απόδοση ενός ΦΒΣ θα υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη.

Συγκεκριμένα στοιχεία και χαρακτηριστικά, όπως ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί, οι ιδιαίτερες συνθήκες του οικοπέδου που θα εγκατασταθεί, οι τυχόν σκιάσεις και αποκλίσεις από τη βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό, κ.λπ.



Εικόνα 2.20: Χάρτης ετήσιας παραγωγής ενέργειας (kWh/kW)

2.14 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

- Μηδενική ρύπανση
- Αθόρυβη λειτουργία
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- Απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- Ελάχιστη συντήρηση

Τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

- Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς.
- Μείωση των εκμεταλλεύσιμων γεωργικών εκτάσεων

Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.

2.15 Οφέλη από την χρήση των ΦΒ στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα ΦΒ συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Για τον καταναλωτή, τις αγορές ενέργειας και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές, σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα ΦΒ, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται.

Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεπτικότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα ΦΒ είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές), αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες ΦΒ, της τάξης του 5-10%.

Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 12% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών, που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

3.1 Γενικά

Το αντικείμενο των Υψηλών Τάσεων είναι η μελέτη των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι διάφορες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και συσκευές, ενός ηλεκτρικού συστήματος, λόγω της τάσης που υπάρχει ανάμεσα στα στοιχεία τους ή τα στοιχεία αυτά και τη γη.

Οι παράμετροι που εξετάζονται στις Υψηλές Τάσεις είναι:

- α) Οι ηλεκτρικές καταπονήσεις που προκύπτουν κατά την λειτουργία μιας εγκατάστασης και που καθορίζονται από τη μορφή, το εύρος και την διάρκεια των ηλεκτρικών τάσεων που εμφανίζονται στις διάφορες θέσεις της εγκατάστασης.
- β) Η συμπεριφορά των διαφόρων υλικών που παρεμβάλλονται ανάμεσα στα στοιχεία της εγκατάστασης, που ορίζονται υπό τάση, για πρόληψη ηλεκτρικής υπερπήδησης. Τα υλικά αυτά ονομάζονται *μονώσεις*.

Ο τομέας των Υ.Τ. έχει σαν αντικείμενο τη διάταξη μέσα στην εγκατάσταση με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο των κατάλληλων μονώσεων ώστε να προλαμβάνονται ανεπιθύμητες ηλεκτρικές υπερπηδήσεις. Για να εξασφαλισθεί αυτό, πρώτο βήμα είναι η πλήρης μελέτη των παραμέτρων των ηλεκτρικών καταπονήσεων και η εύρεση μεθόδων για την κατά το δυνατόν μείωση των καταπονήσεων αυτών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται έλεγχος υπερτάσεων. Το επόμενο είναι η μελέτη των ιδιοτήτων των διαφόρων μονωτικών υλικών. Αυτά μπορεί να είναι στερεά (π.χ. χαρτί, γυαλί, λάστιχο κ.λπ.) και αέρια (αέρας, εξαφθοριούχο θείο, μείγματα αερίων). Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα μονωτικά υλικά, γι' αυτό και θα συζητηθούν με περισσότερη λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά του.

Ο οικονομικότερος συνδυασμός των δύο παραπάνω παραμέτρων για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης ονομάζεται *διαβάθμιση της μόνωσης* . Ο μόνος τρόπος για τη μελέτη των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών διαφόρων μονωτικών υλικών είναι η υποβολή τους -μέσα σε ένα εργαστήριο- σε ηλεκτρικές καταπονήσεις όμοιες ή ισοδύναμες με αυτές που πρόκειται να υποστούν κατά τη λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η μελέτη αυτή γίνεται είτε σε μεμονωμένα μονωτικά υλικά είτε σε συσκευές-εγκαταστάσεις που είναι ενσωματωμένα αυτά. Η ανεξάρτητη μελέτη των υλικών αποτελεί στη ουσία βασική έρευνα και έχει σκοπό να διατυπωθούν γενικοί κανόνες για τη συμπεριφορά τους. Η δοκιμή μιας ολόκληρης συσκευής ή εγκατάστασης αποτελεί βιομηχανική δοκιμή .

Για να γίνουν οι παραπάνω δοκιμές χρειάζονται εκτεταμένες και πολυδάπανες εργαστηριακές εγκαταστάσεις για τη παραγωγή υψηλών εργαστηριακών τάσεων ομοίων ή ισοδύναμων με αυτές που εμφανίζονται στα δίκτυα και για τη μέτρηση και καταγραφή των χαρακτηριστικών των τάσεων αυτών καθώς και των συνεπειών τους όταν εφαρμόζονται στις μονώσεις.

3.2 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

Σαν μορφή μιας τάσης ορίζεται το διάγραμμα του στιγμιαίου εύρους της, συναρτήσει του χρόνου.

Οι διάφορες τάσεις μπορούν να χωρισθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στη μία ανήκουν τάσεις που η μορφή τους επαναλαμβάνεται σε σταθερά χρονικά διαστήματα και ονομάζονται περιοδικές το δε σταθερό χρονικό διάστημα επανάληψης περίοδος. Στην άλλη κατηγορία ανήκουν όλες οι υπόλοιπες μη περιοδικές μορφές τάσης.

Μία άλλη υποδιαίρεση στη μορφή των τάσεων μπορεί να γίνει ανάλογα με τη διατήρηση της πολικότητάς τους με το χρόνο έστω και αν το εύρος τους μεταβάλλεται, Τάσεις που διατηρούν τη πολικότητά τους με το χρόνο λέγονται μονόφωρες.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στα ηλεκτρικά δίκτυα και που συνήθως έχουν εύρος μεγαλύτερο από εκείνο της κανονικής τάσης λειτουργίας τους (*υπερτάσεις*), έχουν κατά κανόνα ανώμαλη μορφή. Για τον έλεγχο της διηλεκτρικής αντοχής των εγκαταστάσεων στο εργαστήριο, χρησιμοποιούνται μερικές κανονικές μορφές τάσεων. Παρακάτω θα δούμε τα χαρακτηριστικά από τις πιο συνηθισμένες κανονικές μορφές τάσεων.

3.3 ΕΙΔΗ ΤΑΣΕΩΝ

3.3.1 Εναλλασσόμενη τάση

Εναλλασσόμενη τάση ονομάζεται κάθε τάση που οι μέσες τιμές των θετικών και των αρνητικών ημιπεριόδων λαμβανόμενες χωριστά είναι ίσες ή αλλιώς, που η μέση τιμή μιας περιόδου τους είναι μηδέν. Η πιο συνηθισμένη μορφή εναλλασσόμενης τάσης είναι η ημιτονοειδής. Η αναλυτική της έκφραση είναι: $V(t) = E \sin(\omega t)$

3.3.2 Συνεχή τάση

Η αναλυτική έκφραση μιας συνεχούς τάσης είναι $U=a C$ όπου C το εύρος της (σταθερό με το χρόνο) και a η πολικότητά της.

3.3.3 Κρουστική τάση

Κάθε μονόφορη τάση με μικρή διάρκεια μπορεί να χαρακτηριστεί σαν κρουστική τάση . Οι πιο ενδιαφέρουσες κρουστικές τάσεις είναι αυτές που παράγονται στα εργαστήρια με κρουστικές γεννήτριες για διηλεκτρικές δοκιμές. Η μορφή των κρουστικών αυτών τάσεων πλησιάζει τη μορφή μιας διπλοεκθετικής τάσης που έχει αναλυτική έκφραση:

$$V(t) = U [e^{a_1 t} + e^{a_2 t}]$$

Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό του μετώπου μιας κρουστικής τάσης είναι όχι τόσο η διάρκεια αλλά η κλίση , δηλαδή πόσο γρήγορα η τάση παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της. Η ουρά καθορίζεται με το χρόνο T , που η τάση έχει τιμή μεγαλύτερη από το 50% του εύρους της, επειδή για την ανάπτυξη της διάσπασης συμβάλλει, συνήθως το μέρος εκείνο της τάσης που υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή. Επειδή το μέτωπο έχει κατά κανόνα πολύ μικρότερη διάρκεια από την ουρά, ο χρόνος T , μετριέται από την αρχή της τάσης. Μία κρουστική τάση με μέτωπο T_{cr} και ουρά T συμβολίζεται με T_{cr}/T μs .

Οι κύριες ηλεκτρικές καταπονήσεις της μόνωσης ενός δικτύου

προέρχονται από τρεις πηγές:

- την κανονική τάση λειτουργίας
- τις ατμοσφαιρικές υπερτάσεις
- τις υπερτάσεις χειρισμών

Για τον έλεγχο της μόνωσης σε ατμοσφαιρικές υπερτάσεις έχει τυποποιηθεί η κρουστική τάση με διάρκεια μετώπου $T_{cr} = 1.2 \mu s$ και διάρκεια ουράς $T = 50 \mu s$.

Για τον έλεγχο σε υπερτάσεις χειρισμών δεν υπάρχει τυποποιημένη μορφή , γιατί η μορφή αυτή εξαρτάται από το μήκος του διακένου. Επειδή όμως τα διάκενα για υπερυψηλές τάσεις είναι 5 m και για το μήκος αυτό το πιο κρίσιμο μέτωπο είναι γύρω στα 250 μs , αναφέρεται συχνά σαν τυποποιημένη τάση χειρισμών η τάση με διάρκεια μετώπου $T_{cr} = 250 \mu s$ και διάρκεια ουράς $T = 2500 \mu s$.

3.3.4 Βαθμίδα τάσης

Αν η συνεχής τάση αποκτήσει το πλήρες εύρος της σχεδόν ακαριαία και στη συνέχεια παραμένει σταθερή, ονομάζεται βαθμίδα τάσης. Μία βαθμίδα τάσης χαρακτηρίζεται από το εύρος της τη πολικότητά της και τη στιγμή της εφαρμογής της t_0 . Συχνά το t_0 λαμβάνεται σαν αρχή των αξόνων ($t_0 = 0$). Η αναλυτική της έκφραση είναι: $U(t) = c$ για $t > t_0$ και $U(t) = 0$ για $t < t_0$

Για $c = 1$ και $t_0 = 0$, προκύπτει η μοναδιαία βαθμίδα. Το άθροισμα δύο βαθμίδων τάσης με αντίθετη πολικότητα, το ίδιο εύρος και διαφορετικά t_0 δίνει την ορθογωνική τάση. Με διάφορους συνδυασμούς βαθμίδων τάσης μπορεί με αρκετά καλή προσέγγιση να αναπαραχθεί οποιαδήποτε μορφή τάσης.

3.4 Ορισμοί σχετικοί με τα μεγέθη του κεραυνού.

Πιο κάτω δίνονται μερικοί ορισμοί για τις διάφορες παραμέτρους του κεραυνού:

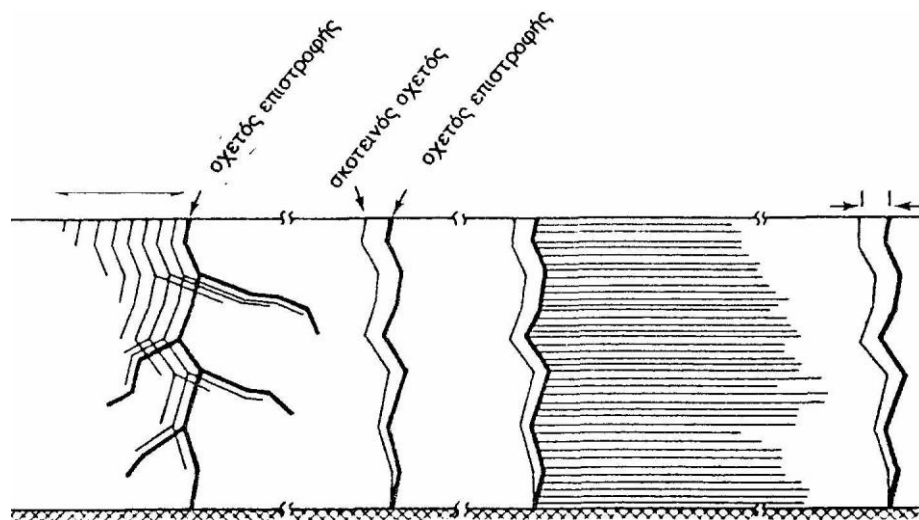
- Πολικότητα του κεραυνού. Η εκκένωση ενός αρνητικού νέφους προς τη γη γίνεται με ένα αρνητικό κεραυνό και ενός θετικού νέφους με ένα θετικό κεραυνό.
- Πολικότητα του ρεύματος. Κατά την εκκένωση ενός αρνητικού νέφους ρέει προς τη γη ένα αρνητικό ρεύμα και αντίθετως.
- Κατεύθυνση οχετού προεκκένωσης. Ένας κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης προχωρεί από το σύννεφο προς το έδαφος, ένας ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης προχωρεί από το έδαφος προς το σύννεφο. Ένας ανερχόμενος οχετός σύνδεσης είναι μία εκκένωση που ξεκινά από το έδαφος και συναντά σε μία ενδιάμεση θέση της απόστασης νέφους-εδάφους ένα κατερχόμενο οχετό.
- Πολικότητα του οχετού προεκκένωσης. Η πολικότητα ενός οχετού προεκκένωσης ταυτίζεται με την πολικότητα του φορτίου της θέσης από την οποία ξεκινά.
- Πολικότητα του ηλεκτρικού πεδίου. Το ηλεκτρικό πεδίο κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο ορίζεται σαν αρνητικό και το αντίθετο.

3.5 Είδη κεραυνών

Ο κεραυνός ξεκινά από σημεία υψηλής πεδιακής έντασης. Συγκέντρωση φορτίου ενός πρόσημου σε μία θέση του νέφους και το φορτίο αντίθετου πρόσημου, που επάγεται εξ αιτίας του, στο έδαφος, δημιουργούν ανάμεσα στο νέφος και το έδαφος μία ζώνη αυξημένων πεδιακών εντάσεων. Οι ψηλότερες εντάσεις μέσα στην ζώνη αυτή μπορεί να αναπτύσσονται είτε κοντά στο νέφος είτε --σε περίπτωση που το έδαφος παρουσιάζει μία σημαντική προεξοχή-- στη πλευρά του εδάφους

3.6 Ο μηχανισμός του πλήγματος.

Μία εκκένωση κεραυνού ξεκινά, όπως ειπώθηκε, κατά κανόνα από το σύννεφο. Το Σχ.4.3 δείχνει τον αρχικό μετασχηματισμό ενός κεραυνού (με πολλαπλές εκκενώσεις), όπως πάρθηκε με μία κάμερα που κινείται από αριστερά προς τα δεξιά. Όπως φαίνεται από το Σχ.4.3 ο οχετός προεκκένωσης παρουσιάζει αρκετούς κλάδους. Έχουν ληφθεί άλλωστε φωτογραφίες όπου ένας κεραυνός πλήττει περισσότερα από ένα σημεία. Καθώς ο οχετός προεκκένωσης κατέρχεται, αυξάνεται το ρεύμα του σαν συνέπεια της αύξησης του ρεύματος ιονισμού που παράγεται από την δημιουργία ιόντων αντίθετου πρόσημου από προεξοχές της επιφανείας του εδάφους. Σε κάποια στιγμή αυτής της αύξησης ένας ή περισσότεροι οχετοί ξεπηδούν από αυτά τα σημεία και καθώς φέρουν αντίθετο φορτίο σε σχέση με το φορτίο του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης, έλκονται ισχυρά μεταξύ τους. Οι οχετοί που ξεπηδούν από το έδαφος ονομάζονται *συνδετικοί οχετοί*.



Σχήμα 3.1 Δημιουργία ενός πολλαπλού κεραυνού όπως φαίνεται από μία φωτογραφική μηχανή κινούμενη προς τα δεξιά.

Μόλις οι δύο οχετοί συνδεθούν, ακολουθεί η φάση του *οχετού επιστροφής*, που αρχίζει από το σημείο σύνδεσης των δύο οχετών και που εκδηλώνεται με ραγδαία αύξηση του ρεύματος. Η θέση σύνδεσης των δύο οχετών γίνεται συχνά φανερή σε φωτογραφίες του κεραυνού με μία απότομη αλλαγή της κατεύθυνσης του κατερχόμενου οχετού ή με το σχηματισμό ενός βρόχου (Σχ.4.4) .

Συνήθως η αρχική εκκένωση του κεραυνού ακολουθείται από επόμενες (Σχ.3.1). Οι εκκενώσεις αυτές διαδέχονται η μία την άλλη σε μικρά χρονικά διαστήματα και η κάθε μία της περιλαμβάνει δικό της συνδετικό οχετό και οχετό επιστροφής. Συνήθως οι διαδοχικές αυτές εκκενώσεις ακολουθούν την ίδια όδευση που χαράζει η αρχική εκκένωση χωρίς όμως να αποκλείεται και το αντίθετο.

Έχει γενικά παρατηρηθεί πως πολλαπλές εκκενώσεις παρουσιάζουν συνήθως οι κατερχόμενοι αρνητικοί κεραυνοί, που όπως αναφέρθηκε αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό κεραυνών, ενώ θετικοί πολλαπλοί κεραυνοί είναι σπανιότατοι.

3.6.1 Ρεύμα του κεραυνού

Όταν ένα στοιχείο ενός συστήματος κτυπηθεί από κεραυνό, το μέγεθος της καταπόνησης που θα υποστεί εξαρτάται από το ρεύμα που εκφορτίζεται μέσω αυτού. Έτσι το ρεύμα ενός κεραυνού αντιπροσωπεύει την πιο σημαντική του παράμετρο.

Το κύριο ρεύμα που συνοδεύει μία εκκένωση κεραυνού, οφείλεται στον οχετό επιστροφής. Κατ' αυτόν το ηλεκτρικό πεδίο του κατερχόμενου οχετού εξουδετερώνεται από το αντίστοιχο ετερρόσημο φορτίο της γης. Το φορτίο αυτό ρέει μέσα στον αγωγό προεκκένωσης που έχει συνδέσει προηγουμένως το σύννεφο με τη γη. Το μέγεθος του ρεύματος που αναπτύσσεται κατά τη ροή του φορτίου του νέφους αλλά επίσης και από την ταχύτητα με την οποία προχωρεί ο οχετός επιστροφής, από τον ήδη ιονισμένο που χάραξε ο οχετός προεκκένωσης. Για την μέτρηση αυτού του ρεύματος έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι. Οι παλιότερες στηρίζονται σε μία εκτίμηση του ρεύματος του κεραυνού που γίνονταν από τα θερμικά ή μηχανικά αποτελέσματα που προκαλεί το πλήγμα του κεραυνού. Έτσι από την τήξη λεπτών μετάλλων ή τα ίχνη πάνω σε λεπτές μεταλλικές επιφάνειες, γίνονταν εκτίμηση της συνολικής ενέργειας του κεραυνού, επίσης εκτίμηση του εύρους του ρεύματος γίνονταν από την σύσφιξη που προκαλεί η ροή του ρεύματος δια μέσου του σωλήνα. Ένας άλλος τρόπος είναι η μέθοδος της μαγνητικής ζεύξης. Η μέθοδος στηρίζεται στο ότι όταν το ρεύμα του κεραυνού διαρρέει έναν αγωγό, σχηματίζεται γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο.

Αν τοποθετήσουμε κοντά στον αγωγό ένα μαγνητικό υλικό, αυτό θα μαγνητισθεί με την μέγιστη τιμή του πεδίου η οποία εξαρτάται από το μέγιστο ρεύμα που διέρρευσε τον αγωγό. Αν το υλικό παρουσιάζει μεγάλη υστέρηση μπορεί να μεταφερθεί στο εργαστήριο και να ληφθούν οι σχετικές μετρήσεις. Τέτοια μαγνητιζόμενα υλικά τοποθετούνται συνήθως σε επαφή με τα σκέλη μεταλλικών πύργων γραμμών μεταφοράς.

Η ακρίβεια όμως όλων αυτών των μεθόδων είναι πολύ μέτρια γιατί πρώτον δεν μπορούν να μετρήσουν όλες τις περιοχές που εκτείνεται το ρεύμα του κεραυνού και δεύτερον γιατί μετρώντας μόνο τη μέγιστη τιμή, δεν γίνεται διάκριση ανάμεσα στο ρεύμα διαφόρων εκκενώσεων ενός πολλαπλού κεραυνού. Γι' αυτό ο πλέον σύγχρονος τρόπος μέτρησης που χρησιμοποιείται, είναι μέσω του παλμογράφου. Το βασικό πρόβλημα που υπάρχει με τον παλμογράφο είναι το ότι το φαινόμενο είναι σχετικά σπάνιο και επομένως είναι δύσκολο να παρθούν παλμογραφήματα και συγχρόνως είναι αρκετά ακριβή μέθοδος.

Για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος που αποτελούν οι κεραυνοί για ένα σύστημα, πρέπει να είναι γνωστή όχι μόνον η συχνότητα με την οποία πέφτουν αλλά και πως κατανέμεται το εύρος του ρεύματος που τους συνοδεύει.

3.6.2 Συχνότητα με την οποία συμβαίνουν κεραυνοί.

Για την εκτίμηση του κινδύνου που μπορεί να αποτελέσει ο κεραυνός για μία περιοχή είναι αναγκαία η γνώση του αριθμού, N_g , των κεραυνών που πλήττουν κατά μέσον όρο μία ορισμένη επιφάνεια εδάφους (συνήθως 1 km^2) κατά την διάρκεια μίας ορισμένης χρονικής περιόδου (1 έτους). Επειδή για τον καθορισμό του αριθμού αυτού απαιτείται η εγκατάσταση ειδικών συσκευών, η πληροφορία αυτή δεν είναι διαθέσιμη παρά για περιορισμένες μόνον περιοχές. Αντιθέτως, η πληροφορία που είναι συνήθως διαθέσιμη από γενικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις είναι ο αριθμός, T , των ημερών του έτους που συμβαίνουν καταιγίδες με κεραυνούς ανεξάρτητα από την διάρκεια ή ένταση που παρουσιάζει κάθε μία από τις καταιγίδες αυτές. Ο αριθμός, T , διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Γενικά η συχνότητα καταιγίδων με κεραυνούς είναι μεγαλύτερη προς τον ισημερινό και μικρότερη προς πόλους. Ακόμα και για χώρες με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος παρουσιάζει σημαντικές διαφορές. Πολλές χώρες έχουν συντάξει χάρτες με ισοκεραυνικές καμπύλες, δηλαδή περιοχές με το ίδιο T .

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για τη συσχέτιση του αριθμού, N_g , των κεραυνών που πλήττουν το έδαφος με τον αριθμό, T , ημερών καταιγίδων κατά έτος. Η πιο πρόσφατη συσχέτιση έγινε από τους Anderson και Eriksson (1980) με τη σχέση $N_g = 0.023 T_u$.

3.7 Σύστημα γείωσης

Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να διαχέεται το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης, χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις, να συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου όπου αυτό είναι εφικτό, να περιορίζει την ανύψωση του δυναμικού του εδάφους στην περιοχή του, καθώς και να αναχαιτίζει τον κεραυνό στην περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους.

3.7.1 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας στόχο έχει να συλλάβει τον κεραυνό πριν αυτός πλήξει την υπό προστασία κατασκευή, να διοχετεύσει το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο του πλήγματος στη γη και να το διαχέει στο έδαφος χωρίς αυτό να προκαλεί θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους και το υλικό. Η εξωτερική ΕΑΠ αποτελείται από:

- το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς.
- το σύστημα των αγωγών καθόδου το οποίο εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα προς τη γη.
- το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος.

Η σχεδίαση του συλλεκτήριου συστήματος εξαρτάται από τη γεωμετρία της κατασκευής που χρίζει προστασίας, από τα μέγεθος της καθώς και από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας. Για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα χρησιμοποιούνται η μέθοδος της γωνίας προστασίας, η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας για πιο σύνθετες μορφές κτιρίων και η μέθοδος του πλέγματος αγωγών κυρίως για την προστασία επίπεδων επιφανειών.

Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος των αγωγών καθόδου η εξωτερική ΕΑΠ διακρίνεται σε δύο τύπους.

- Τη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.
- Τη μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μπορεί να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.

3.7.2 Εκτίμηση κινδύνου από πλήγμα κεραυνού.

Γενικά ο σχεδιασμός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι πάντα ένας συμβιβασμός μεταξύ της αποτελεσματικότητας της προστασίας που αυτό παρέχει και του κόστους επένδυσης και συντήρησης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που το συνιστά. Ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορεί ποτέ να εξασφαλίσει την απόλυτη προστασία της κατασκευής, ωστόσο μπορεί να μειώσει σε αποδεκτό βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του κεραυνού σ' αυτή. Έτσι ο σχεδιασμός του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας συνίσταται στην επιλογή της αποδεκτής στάθμης προστασίας.

3.7.3 Στάθμες προστασίας

Η στάθμη προστασίας ενός συστήματος ΣΑΠ σχετίζεται με την πιθανότητα με την οποία αυτό απαιτείται να προστατεύει ένα χώρο από τις επιπτώσεις του κεραυνού, διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του, όπως τις διαστάσεις του, και κατατάσσει το ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά του. Η σχέση μεταξύ στάθμης προστασίας και αποτελεσματικότητας του ΣΑΠ δίνεται από τον πίνακα . Η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ μειώνεται προχωρώντας από τη στάθμη 1 στη στάθμη 1111.

Στάθμη προστασίας	Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ
1	0,99
11	0,95
111	0,90
1111	0,85

Παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασία είναι οι διαστάσεις, η θέση και το υλικό της κατασκευής, η κατηγορία στην οποία αυτή κατατάσσεται σύμφωνα με τη χρήση της, οι συνέπειες που θα έχει η καταστροφή της στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον καθώς και η κεραυνική δραστηριότητα στην περιοχή. Για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας θα ληφθούν υπόψη η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής και η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής.

3.7.4 Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας

Η αντικεραυνική προστασία μιας Φ/Β εγκατάστασης όπως περιγράφεται παρακάτω βασίζεται στην γενική αρχή του διαχωρισμού της σε ζώνες αντικεραυνική προστασίας.

Οι Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) είναι περιοχές εκτός και εντός της κατασκευής που χρίζει προστασίας όπου οι αναμενόμενες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι καθαρισμένες σε σχέση με την επικινδυνότητά τους, και επομένως μπορούν να περιοριστούν. Οι ΖΑΠ οριοθετούνται από σημαντικές αλλαγές των ηλεκτρομαγνητικών συνθηκών αποτελώντας περιοχές αυξανόμενης απαίτησης ηλεκτρομαγνητικής προστασίας βαίνοντας από την εξωτερική περιοχή της κατασκευής, όπου υπάρχει κίνδυνος άμεσου πλήγματος, προς το εσωτερικό της όπου πρέπει να εξασφαλίζεται η ηλεκτρομαγνητική ατρωσία των συσκευών. Κατά την προστασία της κατασκευής οριοθετούνται οι παρακάτω ΖΑΠ:

- ΖΑΠ Α: Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες.
- ΖΑΠ Β : Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες.
- ΖΑΠ Γ : Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα και όπου το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που μπορεί να τα διαρρεύσει είναι περιορισμένο σε σχέση με τη ΖΑΠ Β. Στη ζώνη αυτή οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού μπορούν να περιοριστούν ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης που λαμβάνονται.
- Άλλες ζώνες Δ :Ζώνες όπου απαιτείται περαιτέρω μείωση του τμήματος του ρεύματος του κεραυνού καθώς και περαιτέρω εξασθένηση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη ΖΑΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΟΣ Υ.Σ.Η.Ε.

4.1 Δεδομένα Φορτία Κατοικίας

Στη μελέτη που ακολουθεί θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μια κατοικία. Σκοπός είναι η ανεύρεση του πιο συμφέροντος συνδυασμού πηγών ενέργειας.

Συγκεκριμένα έχουμε μια κατοικία στα Χανιά της Κρήτης 100 m². Η κατοικία είναι απομονωμένη από το δίκτυο της ΔΕΗ και το σύστημα μας θα λειτουργεί αυτόνομα. Η κατοικία βρίσκεται σε μια απόσταση 3 km από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και θα εξετάσουμε τη δυνατότητα χρήσης ενός υβριδικού συστήματος για την ηλεκτροδότηση της καθώς και το ωφέλιμο της επένδυσης, όπως επίσης και το σενάριο αυτή να ηλεκτροδοτηθεί από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η κατοικία θα χρησιμοποιείται τους καλοκαιρινούς μήνες και μεγάλο διάστημα το χειμώνα. Η απαίτηση του συστήματος είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθ'όλη τη διάρκεια του 24ωρου και ισχύς για την κάλυψη των φορτίων αιχμής, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο θα χρησιμοποιηθεί συστοιχία συσσωρευτών.

Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές θα χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα και τάση 240V. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος απαιτείται η εγκατάσταση αντιστροφέα (inverter), ώστε το συνεχές ρεύμα (DC), που θα αποθηκεύεται στους Η/Σ, να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο (AC). Τα φορτία της κατοικίας που θα καλυφθούν με το υβριδικό σύστημα, καθώς και οι αιχμές φορτίου για τις οποίες πρέπει να είναι ικανή η εγκατάσταση θα μελετηθούν στην πορεία.

Στον παρακάτω πίνακα 4.1 παρουσιάζεται μια τυπική λίστα ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται από την οικογένεια καθημερινά κατά τους μήνες που θα κατοικείται, την κατανάλωσή τους και τις μηνιαίες ώρες χρήσης τους που απαιτούνται. Το υπόλοιπο διάστημα που το σπίτι δεν θα κατοικείται θα λειτουργούν μόνο τα φώτα νυκτός και ένα σύστημα ασφαλείας.

Επίσης υπολογίζουμε την απαιτούμενη ημερήσια κατανάλωση σε kWh. Ο υπολογισμός απαιτεί το άθροισμα των ισχύων που αναγράφονται στις πινακίδες των ηλεκτρικών συσκευών. Να σημειωθεί ότι αν αναφέρεται μόνο τιμή σε Ampere τότε πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα Ampere x 240V ώστε να υπολογιστούν τα Watt.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ (W)	ΣΥΝΗΘΗΣ ΩΡΑΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	ΩΡΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ	KWh/ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ
DVD	14	22.00-00.00	2	0,028
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΟΥΖΙΝΑ	1800	9.30-11.30, 19.30-20.30	3	5,4
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΚΟΥΠΑ	1400	09.00-09.30	0,5	0,7
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ	500	15. 00-17. 00	2	1
ΚΑΦΕΤΙΕΡΑ	350	7.45-8.15	0,5	0,175
ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟ	3x1500	14.00-16.00, 20.00-22.00, 06.00-08.00	6	27
ΠΙΣΤΟΛΑΚΙ	1000	08.00-08.15 20.00-20.15	0,5	0,5
ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ	1200	16.00-17.00	1	1,2
ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ	1200	12.00-14.00	1	1,2
ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ	150	10:00-12:00	2	0,3
ΣΙΔΕΡΟ	1000	17. 00-19. 00	2	2
ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ	4000	15.00-15.10	0.10	0.5
ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	3x80	13.00-16.00, 19.00-0.00	8	1,920

ΤΟΣΤΙΕΡΑ	1100	7.45-8.15 19. 00-19. 30	1	1,1
ΦΩΤΑ	15w x 7	18.30-24.00	5,5	0,58
ΨΥΓΕΙΟ	340		4	1,360
ΣΥΝΟΛΟ				44,963

Πίνακας 4.1: Ανάλυση φορτίων κατοικίας

Τα φορτία της κατοικίας ελήφθησαν με βάση κυρίως δυο κριτήρια.

- Η ισχύς των συσκευών να ανταποκρίνεται στην λειτουργική διαβίωση της οικογένειας.
- Η ώρες λειτουργίας ανά ημέρα να είναι τέτοιες ώστε η απορροφημένη ισχύς να είναι η ελάχιστη από την διαθέσιμη και παράλληλα να είναι προσαρμοσμένη στις συνθήκες διαβίωσης της οικογένειας.

Πιο αναλυτικά έχουμε:

DVD: Η επιλογή της ισχύος των 14W έγινε με βάση την ισχύ τέτοιων συσκευών του εμπορίου και οι ώρες λειτουργίας από 22.00 – 24.00 με βάση της ανάγκες ανάπαυσης και ψυχαγωγίας της οικογένειας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΟΥΖΙΝΑ: Τα 1800W της επιλογής αποτελούν την χρησιμοποιούμενη ισχύς της κουζίνας που προκύπτει από τα 4000W μέγιστη ισχύς πολλαπλασιασμένη με έναν συντελεστή ταυτοχρονισμού 0.45 ($4000W \times 0.45 = 1800W$) όσον αφορά την επιλογή των ωρών λειτουργίας είναι τέτοιες ώστε από 9.30 – 11.30 για το μεσημεριανό φαγητό και από 19.30 – 20.30 για το βραδινό.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΚΟΥΠΠΑ: Τα 1400W είναι αρκετά για τον καθαρισμό μιας κατοικίας 3 – 4 δωματίων για ένα λογικό χρονικό διάστημα μισής ώρας. Οι ώρες λειτουργίας από 09.00 – 09.30 με βάση την ανάγκη ότι ενώ το φαγητό προετοιμάζεται (λειτουργία ηλεκτρικής κουζίνας) εκτελείται και ο καθαρισμός του σπιτιού.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ: Επιλέξαμε μια συσκευή των 500W αρκετή για ατομική – ημιαπαγγελματική χρήση και οι ώρες λειτουργίας από 15.00 – 17.00 που είναι οι ώρες μετά το μεσημεριανό φαγητό και την ανάπαυση.

ΚΑΦΕΤΙΕΡΑ: Οι ανάγκες παρασκευής ζεστού καφέ μπορούν να ικανοποιηθούν με άνεση με μια θερμική αντίσταση των 350W. Σε πρωινές ώρες 07.45 – 08.15.

ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟ: Η ισχύς του καθενός κλιματιστικού επιλέχθηκε με βάση την επιφάνεια – όγκου του κάθε δωματίου όπου για κάθε δωμάτιο μια ισχύς των 1000 –

1500 W είναι αρκετή. Εδώ επιλέχτηκαν τρεις χρονικοί περίοδοι ανά ημέρα. Η πρώτη περίοδος από 06.00 – 08.00 για το πρωινό ξύπνημα. Η δεύτερη περίοδος από 14.00 – 16.00 για την μεταμεσημβρινή ανάπαυση. Και η τρίτη περίοδος από 20.00 – 22.00 για την βραδινή ανάπαυση.

ΠΙΣΤΟΛΑΚΙ: Μια ισχύ των 1000W μπορεί να εξυπηρετήσει δύο έως τρία άτομα με χρόνους από 08.00 – 08.15 πριν την αναχώρηση της πρωινής εργασίας και από 20.00 – 20.15 για πιθανή βραδινή έξοδο.

ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΠΙΑΤΩΝ: Πρόκειται για μια τυπική ισχύ των 1200W αρκετή για οικιακή χρήση. Οι ώρες λειτουργίας από 16.00 – 17.00 που αποτελούν οι ώρες μετά το μεσημεριανό φαγητό και μετά το τέλος της λειτουργίας του κλιματιστικού.

ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ ΡΟΥΧΩΝ: Ένα πλυντήριο ρούχων ισχύος 1200W είναι αρκετό για μια τυπική οικογένεια τεσσάρων έως έξι ατόμων. Οι ώρες λειτουργίας από 12.00 – 14.00 είναι μετά τη λειτουργία της ηλεκτρικής κουζίνας και πριν τη λειτουργία του κλιματιστικού.

ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ: Η ισχύς είναι η τυπική ισχύς ενός ραδιοφώνου μεσαίων διαστάσεων. Η επιλογή του χρόνου λειτουργίας έγινε από της ανάγκες της υπηρεσίας, μετά το σκούπισμα και κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας του μεσημεριανού φαγητού.

ΣΙΔΕΡΟ: Πρόκειται για σίδερο ατμού με θερμική αντίσταση 1000W αρκετή για τον βρασμό και την ατμοποίηση του νερού. Και ο χρόνος λειτουργίας από 17.00 – 19.00 αποτελεί επιλογή της υπηρεσίας.

ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ: Εδώ οι επιλογές ισχύος είναι περιορισμένες στα 2000W – 4000W. Η επιλογή των 2000W μας οδηγούσε σε μια χωρητικότητα περίπου των 20 – 25 λίτρων νερού προφανώς ανεπαρκής, για αυτό και επιλέξαμε την ισχύ των 4000W με μια χωρητικότητα 80 – 100 λίτρα νερού σε πλήρη επάρκεια. Ο χρόνος λειτουργίας από 15.00 – 15.10 δηλώνει το σύντομο χρόνο 10 λεπτά μιας και το συνολικό φορτίο είναι ενεργοβόρο.

ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ: Οι τρεις τηλεοράσεις των 80W καλύπτουν τις μεταμεσημβρινές ώρες 13.00 – 16.00 και τις βραδινές από 19.00 – 24.00.

ΤΟΣΤΙΕΡΑ: Μια τοστιέρα των 1100W είναι ικανή να προετοιμάσει δύο έως τέσσερα πρωινά (07.45 – 08.15) και τα αντίστοιχα απογευματινά (19.00 – 19.30).

ΦΩΤΑ: Έχουν επιλεγεί λαμπτήρες οικονομικού φωτισμού των 15W με χρόνο λειτουργίας από 18.30 – 24.00.

ΨΥΓΕΙΟ: Είναι ένα τυπικό ψυγείο των 340W με απλή κατάψυξη και οι ώρες λειτουργίας του καθορίζονται από τον υπάρχοντα αυτοματισμό του.

Όπως γίνεται φανερό από την ανάλυση φορτίων και ωρών λειτουργίας ο παραπάνω πίνακας (4.1) προκύπτει με αναγκαίο συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης ισχύος που διαθέτουμε από τη μια πλευρά και τις ανάγκες μιας καλής διαβίωσης της οικογένειας από την άλλη πλευρά. Ο πίνακας είναι απλά ενδεικτικός και θα

μπορούσε να τροποποιηθεί και να προσαρμοστεί στα μέτρα μιας άλλης οικογένειας μικρότερης ή μεγαλύτερης.

Επιβάλλοντας στο συνολικό φορτίο του πίνακα 4.1 έναν λογικό συντελεστή ταυτοχρονισμού 0,65 έχουμε τα εξής.

- Μέσο ημερήσιο φορτίο : $44.963 \times 0.65 = 29,225 \text{ kWh}$
- Μέσο ωριαίο φορτίο : $29,225 / 24 = 1,21 \text{ kWh}$
- Μέσο μηνιαίο φορτίο : $29,225 \times 31 = 905,975 \text{ kWh}$
- Μέσο ετήσιο φορτίο : $905,975 \times 12 = 10871,7 \text{ kWh}$

Επομένως το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις αιχμής, αλλά ταυτόχρονα να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για να καλύπτει όλες τις ανάγκες της κατοικίας.

Για ένα τυπικό χρήστη, η ωριαία ζήτηση αιχμής είναι πιθανότατα 4-8 φορές της μέσης ωριαίας χρήσης.

- Ωριαία ζήτηση αιχμής min : $4 \times 1,21 = 4,84 \text{ kW}$
- Ωριαία ζήτηση αιχμής max : $8 \times 1,21 = 9,68 \text{ kW}$

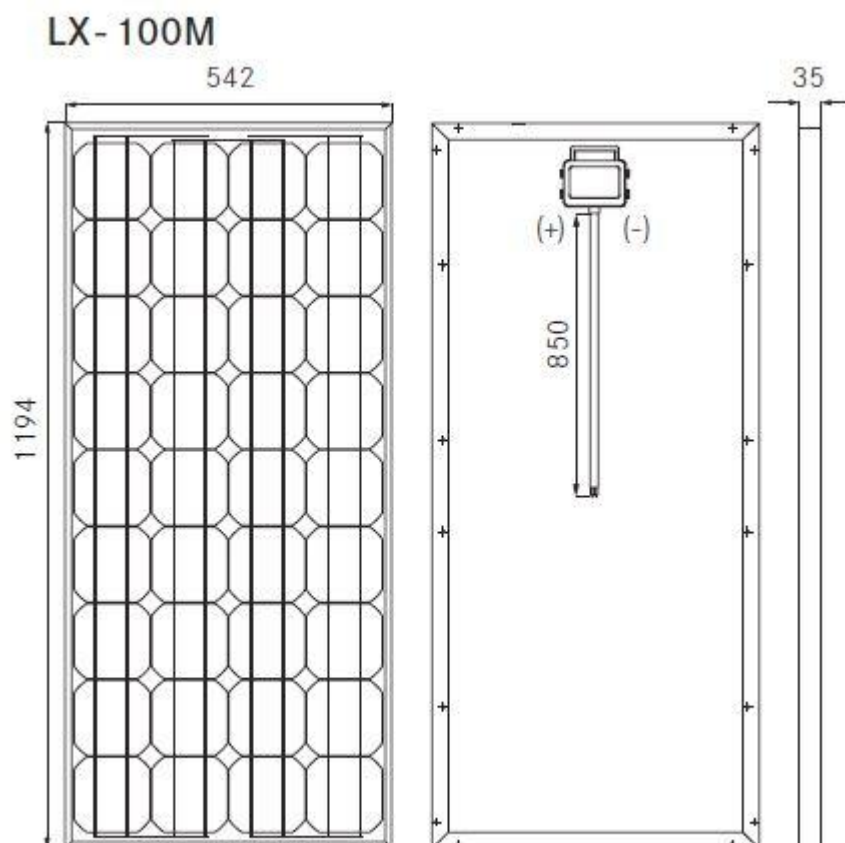
Η βάση των υπολογισμών μας θα είναι η απαίτηση της ικανοποίησης, της μέγιστης ωριαίας ζήτησης αιχμής = $9,68 \text{ kW}$

4.2 Επιλογή μεγέθους Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας

Το πιο ακριβό στοιχείο του υβριδικού συστήματος είναι η ΦΒ συστοιχία. Για να διατηρήσουμε το αρχικό κόστος της επένδυσης χαμηλό (μη χρήση ανεμογεννήτριας) θα χρησιμοποιήσουμε ένα ΦΒΣ τέτοιου μεγέθους, που απλώς να καλύπτει της απαιτήσεις των φορτίων σε ετήσια βάση.

Σύμφωνα με τα ηλιακά δεδομένα της Κρήτης η ετήσια ενέργεια προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μέγιστη σε κλίση 30°, όπου έχουμε 1702 kWh/m²/έτος. Έτσι το ΦΒΣ που θα εγκαταστήσουμε θα έχει νότιο προσανατολισμό με κλίση 30°. Το σύστημα θα εγκατασταθεί στην ταράτσα του σπιτιού εφόσον είναι ανεκμετάλλευτη και δεν θα χρησιμοποιηθεί για κάποιον άλλο λόγο.

Ακολουθεί τυπικό σχήμα ΦΒ πάνελ της εταιρίας Luxor το μοντέλο LX-100M των 100 Watt καθώς και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά.



Θα χρησιμοποιηθούν συνολικά 100 πάνελ για να μας δώσουν μία ισχύ 100 Panel x 100 Watt/Panel = 10000 Watt = 10 kW (P_{max}=9.68kW)

Ηλεκτρικά δεδομένα	LX-5M	LX-10M	LX-50P	LX-100M
Όνομασία	LX-5M/62,5x15,6-36	LX-10M/62,5x31,2-36	LX-50P/156x52-36	LX-100M/125-36
Όνομαστική ισχύς P _{mp} [Wp]	5	10	50	100
Εύρος P _{mp}	0 / +5%	0 / +5%	0 / +5%	0 / +5%
Όνομαστικό ρεύμα I _{mp} [A]	0,29	0,58	2,88	5,39
Όνομαστική τάση V _{mp} [V]	17,39	17,39	17,44	18,70
Ρεύμα βραχυκυκλώματος I _{sc} [A]	0,32	0,64	3,24	5,87
Τάση άνευ φορτίου U _{oc} [V]	21,60	21,60	21,60	21,60
Μέγιστη τάση συστήματος [V]	150	150	400	1000

Αφού τοποθετήσουμε με μεγάλη προσοχή όλα τα πάνελ αυτό θα μας πάρει δύο μέρες περίπου είμαστε έτοιμοι για την συνδεσμολογία τα πάνελ είναι 100 αφού 100 watt το ένα η συνδεσμολογία έχει ως εξής:

Αποτελείται από 20 ομάδες όπου η κάθε ομάδα θα περιέχει 5 πάνελ εν σειρά συνδεδεμένα. Η κάθε μία σειρά θα συγκεντρώνει $5 \times 100W = 500W$ και ρεύμα $100W / 18V = 5.5A$. Οι 20 ομάδες θα συνδεθούν παράλληλα μεταξύ τους συγκεντρώνοντας ισχύ $20 \times 500W = 10000W$. Το συνολικό ρεύμα που μπορούν να δώσουν οι 20 παράλληλες ομάδες είναι $20 \times 5.5A = 110A$

Το κόστος του καθενός πάνελ ανέρχεται στο ποσό των 15000 Ευρώ.

4.3 Επιλογή Συστοιχίας Φορτιστών

Διευρύνοντας τα τεχνικά φυλλάδια και καταλόγους διαφόρων εταιριών καταλήξαμε στην EPsolar. Ο φορτιστής που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο e Tracer ET6415N που είναι 1600W στα 24V. Όπου εμείς πρέπει να χρησιμοποιήσουμε 7 φορτιστές (παράλληλα $7 \times 1600W = 11200W$) έναντι των 10000W που εμείς έχουμε να διαχειριστούμε. Η συστοιχία των φορτιστών θα συνδεθεί στην έξοδο της ΦΒ συστοιχίας που βρίσκεται υπό τάση 90 VDC. Ακολουθούν τα τεχνικά φυλλάδια της εταιρίας.



Model	ET3415N	ET4415N	ET6415N
Nominal system voltage	12V/24V /36V/48V auto work		
Rated Battery current	30A	45A	60A
Max. PV open circuit voltage	150V		
Voltage range	8~72V		
Max. PV input power	400W (12V)	600W (12V)	800W (12V)
	800W (24V)	1200W (24V)	1600W (24V)
	1200W (36V)	1800W (36V)	2400W (36V)
	1600W (48V)	2400W (48V)	3200W (48V)
Self-consumption	1.4~2.2W		
Grounding	Negative		

Το κόστος των φορτιστών είναι 2500 ευρώ

4.4 Επιλογή Μεγέθους Συσσωρευτών

Η ονομαστική χωρητικότητα ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή, δηλαδή, το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει στο εσωτερικό του με τη μορφή χημικής ενέργειας, δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{(n + b) * m * E_k}{\sigma_{\gamma\beta} * \sigma_{\epsilon\kappa} * \beta_{\epsilon\kappa} * V_B}$$

Όπου:

$n=2$ (ημέρες αυτονομίας τους συστήματος)

$b=0$ (ποσοστό φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας, το φορτίο κατανάλωσης καλύπτεται απ' ευθείας από τη ΦΒ συστοιχία)

$m=1,2$ (συντελ. περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων. Για να καλύψουμε μια πιθανή υποτίμηση των αναγκών της κατανάλωσης.)

$E_k=26.613$ Wh/ημέρα (ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης) $\sigma_{\gamma\beta}=0,8$ (συντελεστής γήρανσης H/Σ)

$\sigma_{\epsilon\kappa}=0,91$ (συντελ. απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο κύκλ. εκφόρτησης) $\beta_{\epsilon\kappa}=0,6$ (βάθος εκφόρτωσης H/Σ)

$V_B=24$ (ονομαστική τάση H/Σ)

Έτσι λοιπόν, από τον ανωτέρω τύπο η ονομαστική χωρητικότητα των H/Σ που θα επιλέξουμε είναι $C=6.300$ Ah

Επομένως θα χρησιμοποιηθούν 24 συσσωρευτές τύπου 24 OPzS 3000 με τάση $V=2\text{Volts}$ και χωρητικότητα $C=3000\text{Ah}$. Η συστοιχία των συσσωρευτών θα περιλαμβάνει δύο παράλληλους κλάδους με 12 συσσωρευτές σε σειρά ανά κλάδο. Η σύνδεση σε σειρά καθορίζει την ονομαστική τάση $V_s=2*12=24\text{V}$ και η παράλληλη σύνδεση καθορίζει την ονομαστική χωρητικότητα $C=2*3000=6000$ Ah.

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εταιρίας OPzS.



Type Overview

Capacities, dimensions and weights

Type	C _{nom} /1.80 V Ah	C ₁₀ /1.80 V Ah	C ₅ /1.77 V Ah	C ₃ /1.75 V Ah	C ₁ /1.67 V Ah	max.* Weight kg	Weight electrolyte kg (1.24 kg/l)	max.* Length L mm	max.* Width W mm	max.* Height H mm	Fig.
4 OPzS 200	200	213	182	161	118	17.3	4.5	105	208	420	A
5 OPzS 250	250	266	227	201	147	21.0	5.6	126	208	420	A
6 OPzS 300	300	320	273	241	177	24.9	6.7	147	208	420	A
5 OPzS 350	350	390	345	303	217	29.3	8.5	126	208	535	A
6 OPzS 420	420	468	414	363	261	34.4	10.1	147	208	535	A
7 OPzS 490	490	546	483	426	304	39.5	11.7	168	208	535	A
6 OPzS 600	600	686	590	510	353	46.1	13.3	147	208	710	A
7 OPzS 700	700	801	691	596	411	59.1	16.7	215	193	710	B
8 OPzS 800	800	915	790	681	470	63.1	17.3	215	193	710	B
9 OPzS 900	900	1026	887	767	529	72.4	20.5	215	235	710	B
10 OPzS 1000	1000	1140	985	852	588	76.4	21.1	215	235	710	B
11 OPzS 1100	1100	1256	1086	938	647	86.6	25.2	215	277	710	B
12 OPzS 1200	1200	1370	1185	1023	706	90.6	25.8	215	277	710	B
12 OPzS 1500	1500	1610	1400	1197	784	110.4	32.7	215	277	855	B
14 OPzS 1750	1750	1881	1632	1397	914	142.3	46.2	215	400	815	C
15 OPzS 1875	1875	2016	1748	1496	980	146.6	46.7	215	400	815	C
16 OPzS 2000	2000	2150	1865	1596	1045	150.9	45.9	215	400	815	C
18 OPzS 2250	2250	2412	2097	1796	1176	179.1	56.4	215	490	815	D
19 OPzS 2375	2375	2546	2213	1895	1242	182.9	55.6	215	490	815	D
20 OPzS 2500	2500	2680	2330	1995	1307	187.3	55.7	215	490	815	D
22 OPzS 2750	2750	2952	2562	2195	1437	212.5	67.0	215	580	815	D
23 OPzS 2875	2875	3086	2678	2294	1503	216.8	65.9	215	580	815	D
24 OPzS 3000	3000	3220	2795	2394	1568	221.2	66.4	215	580	815	D
26 OPzS 3250	3250	3488	3028	2594	1699	229.6	65.4	215	580	815	D

Όπως παρατηρούμε έχουμε λίγο μικρότερη χωρητικότητα από αυτήν που απαιτείται. Έχουμε ελάχιστα μικρότερο ποσοστό αυτονομίας από αυτό που έχει ανάγκη το σύστημά μας για την αποθήκευση ενέργειας για 2 ημέρες αυτονομίας.

Το κόστος των συσσωρευτών είναι 3500 ευρώ

4.5 Επιλογή Αντιστροφών (Inverter)

Επιλέχθηκαν δύο inverter της εταιρίας Studer αφού από τα τεχνικά φυλλάδια το μεγαλύτερο που διαθέτε ήταν 5000W. Το μοντέλο είναι το XTH 5000-24. Τα δύο inverter συνδέθηκαν παράλληλα έχοντας σαν κοινή είσοδο την συστοιχία των συσσωρευτών και η κοινή έξοδος συνδέθηκε στον πίνακα της εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης (Ε.Η.Ε.). Ακολουθούν τα τεχνικά φυλλάδια.

	Output voltage	Battery voltage	Charge current	Maximum current	Power P30 / pNom	Power Smart-Boost
XTS 900-12 (-01)	230 Vac / 50 Hz	12 Vdc	35 Adc	16 Aac	900 * / 500 VA	900 VA
XTS 1200-24 (-01)	230 Vac / 50 Hz	24 Vdc	25 Adc	16 Aac	1200 * / 650 VA	1200 VA
XTS 1400-48 (-01)	230 Vac / 50 Hz	48 Vdc	12 Adc	16 Aac	1400 * / 750 VA	1400 VA
XTM 1500-12 (-01)	230 Vac / 50 Hz	12 Vdc	70 Adc	50 Aac	1500 / 1500 VA	1500 VA
XTM 2000-12 (-01)	230 Vac / 50 Hz	12 Vdc	100 Adc	50 Aac	2000 / 2000 VA	2000 VA
XTM 2400-24 (-01)	230 Vac / 50 Hz	24 Vdc	55 Adc	50 Aac	2400 / 2000 VA	2400 VA
XTM 2600-48 (-01)	230 Vac / 50 Hz	48 Vdc	30 Adc	50 Aac	2600 / 2000 VA	2600 VA
XTM 3500-24 (-01)	230 Vac / 50 Hz	24 Vdc	90 Adc	50 Aac	3500 / 3000 VA	3500 VA
XTM 4000-48 (-01)	230 Vac / 50 Hz	48 Vdc	50 Adc	50 Aac	4000 / 3500 VA	4000 VA
XTH 3000-12 (-01)	230 Vac / 50 Hz	12 Vdc	160 Adc	50 Aac	3000 / 2500 VA	3000 VA
XTH 5000-24 (-01)	230 Vac / 50 Hz	24 Vdc	140 Adc	50 Aac	5000 / 4500 VA	5000 VA
XTH 6000-48 (-01)	230 Vac / 50 Hz	48 Vdc	100 Adc	50 Aac	6000 / 5000 VA	6000 VA
XTH 8000-48	230 Vac / 50 Hz	48 Vdc	120 Adc	50 Aac	8000 / 7000 VA	8000 VA

Το κόστος ανέρχεται στα 4000 ευρώ

4.6 Επιλογή Μεγέθους Γεννήτριας Diesel

Το βασικό κριτήριο επιλογής της γεννήτριας diesel θα είναι αυτό που θα καλύπτει τις ελάχιστες λειτουργικές ανάγκες της κατοικίας δηλαδή φωτισμό, ψυγείο και δυο μικρές εστίες κουζίνας. Οι περιπτώσεις αυτές ανάγονται σε προσωρινή βλάβη του κεντρικού συστήματος ισχύος, μέχρι την διόρθωσή του, καθώς και περιπτώσεις έντονης νέφωσης πάνω από τρεις μέρες. Η τελευταία περίπτωση μάλλον είναι απίθανη μιας και τους χειμερινούς μήνες η κατοικία δεν χρησιμοποιείται. Έτσι λοιπόν μια γεννήτρια diesel των 6kVA θεωρείται αρκετή. (Ο συντελεστής ισχύος της εσωτερικής εγκατάστασης είναι σχεδόν μονάδα).

Το κόστος της είναι 1500 ευρώ.



Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Μέγιστη Απόδοση 6,6 KVA
Τάση (Volt) 230
Ισχύς (HP) 10,5
Κυβισμός (cc) 418
Κινητήρας 4χρονός, αερόψυκτος
Καύσιμο Diesel
Χωρητικότητα (lt) 12,5
Χρόνος Λειτουργίας (h) 6,5
Διαστάσεις (cm) 79x52x74
Βάρος (kg) 113

Η γεννήτρια θα συνδεθεί μέσω ρελέ ισχύος στο γενικό πίνακα της εσωτερικής εγκατάστασης και μέσω επιτηρητή έλλειψης τάσης θα δίνεται εντολή στον εκκινητή του πετρελαιοκινητήρα της γεννήτριας. Πλην των ανωτέρω η γεννήτρια διαθέτει και έξοδο περί τα 30VDC και μέσω ιδιού αυτοματισμού (χαμηλή τάση μπαταριών θα τις επαναφορτίζει).

4.7 Αντικεραυνική Προστασία

Μια χάλκινη ταινία πλάτους 25 mm και πάχους 3 mm θα τοποθετηθεί περιμετρικά της στέγης καλύπτοντας μια διαδρομή 80m² (επιφάνεια της στέγης). Σε κάθε γωνία της στέγης θα συνδεθεί ίδια λάμα με κάθοδο προς τη γη και με σύνδεση σε αντίστοιχο ηλεκτρόδιο γείωσης. Τέσσερις κάθοδοι άρα τέσσερα ηλεκτρόδια γείωσης. Στη είσοδο κάθε ενός inverter θα τοποθετηθεί από ένα αντίστοιχο αντικεραυνικό τύπου ράγας ικανού να παροχετεύει υπερτάσεις προς τη γη. Επίσης άλλα επτά αντικεραυνικά θα τοποθετηθούν μετά τα πάνελ δηλαδή στις επτά εισόδους των φορτιστών.



ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΑ ΡΑΓΑΣ 40kA 4P
AC SPD-440-320 GAC

33,99 €

Άμεση παραλαβή / Παράδοση 1 έως 3
ημέρες από EasyBuyWorld

Κόστος αντικεραυνικών, χάλκινης ταινίας και μικρό υλικών είναι στα 800 ευρώ

4.8 Επιλογή Καλωδίων

Κάθε μία από τις είκοσι σειρές των πάνελ θα μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ στον κοινό κόμβο εισόδου στον επτά φορτιστών – ρυθμιστών με αγωγό $3 \times 1.5 \text{mm}^2$ ΝΥΥ αφού το ρεύμα κάθε σειράς είναι περίπου 5,5A. Από τον κοινό κόμβο εξόδου των επτά φορτιστών – ρυθμιστών με μέγιστο ρεύμα $20 \times 5,5 \text{A} = 110 \text{A}$ θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο $3 \times 35 \text{mm}^2$ ΝΥΥ. Μεταξύ κάθε μιας συστοιχίας μπαταριών (2 μπαταρίες) θα συνδεθεί καλώδιο διατομής $3 \times 70 \text{mm}^2$ ΝΥΥ αφού το μέγιστο μεταφερόμενο ρεύμα θα είναι $5000 \text{W} / 24 \text{V} = 208 \text{A}$. Η σύνδεση των δύο αντιστροφών με τον πίνακα με ένα κοινό καλώδιο $3 \times 10 \text{mm}^2$ ΝΥΥ αφού το ρεύμα είναι $10000 \text{W} / 230 \text{V} = 43.47 \text{A}$. Ζήτημα πτώσης τάσης επί των αγωγών δεν αντιμετωπίζουμε εδώ μιας και τα μήκη είναι πολύ μικρά.

Κόστος καλωδίων, ασφαλειών, σωλήνων προστασίας ανέρχεται στα 800 ευρώ.

4.9 Μηχανολογικό Υλικό

Μεταλλικές βάσεις στήριξης, σίδερα συγκόλλησης, βίδες, παξιμάδια και όλα τα μικρο υλικά κοστίζουν 600 ευρώ.

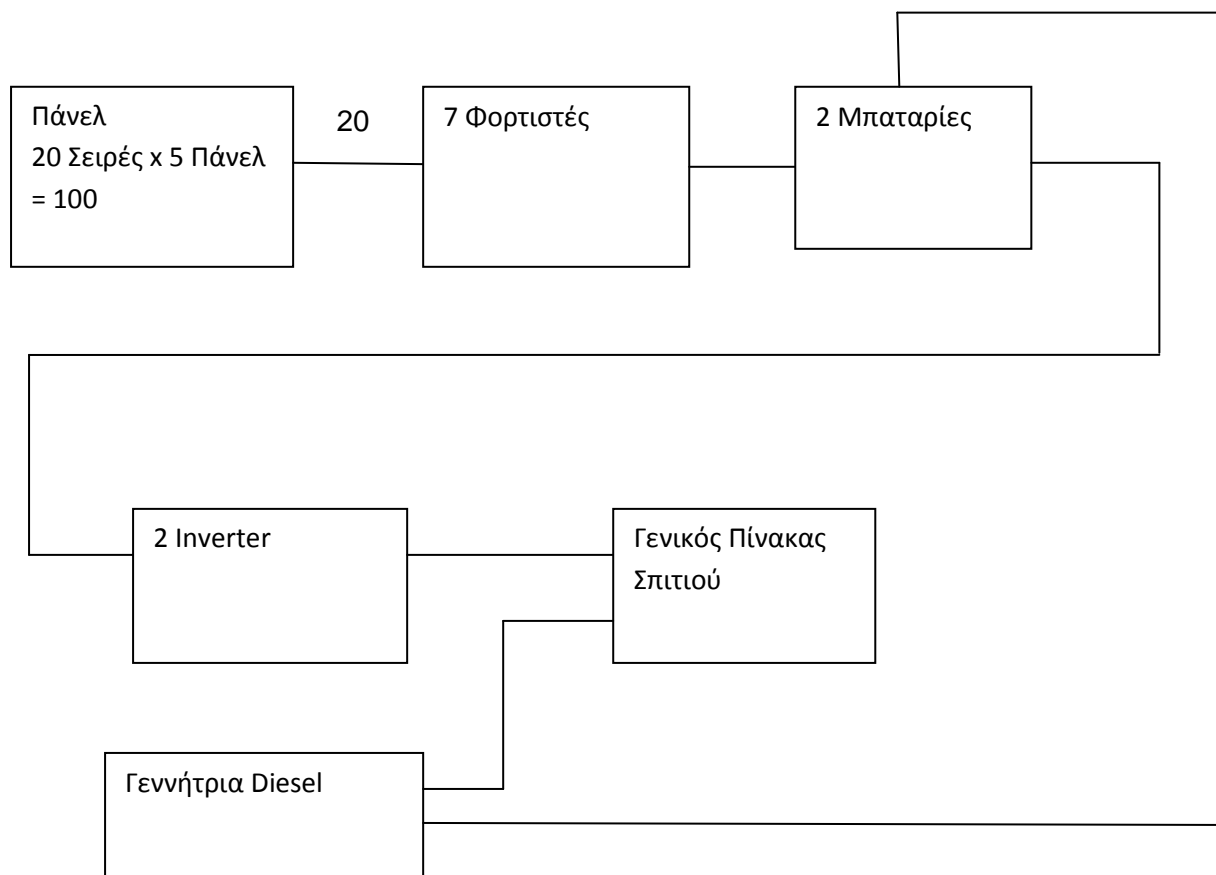
Ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με το συνολικό κόστος της εγκατάστασης

Υλικά	Κατάστημα Πώλησης	Τιμή (ευρώ)
Πάνελ LUXOR LX-100M 100W	Βλάχος, Πάτρα	15000
Inverter Studer XTH-5000- 24	Βλάχος, Πάτρα	4000
Φορτιστές EPsolar eTracer ET6415N	Βλάχος, Πάτρα	2500
Συσσωρευτές 24 OPzS 300	Βλάχος, Πάτρα	3500
Αντικεραυνικά και Λάμα χαλκού	Easy Buy World, Μαρούση, Αττικής	800
Γεννήτρια Diesel KUMATSU GP6000M	Καραγιάννης, Μεταμόρφωση, Αττικής	1500
Καλωδίωση	Ηλεκτροβιομηχανική, Πάτρα	800
Μηχανολογικά Υλικά	Γουρδούπης, Πάτρα	600
Αμοιβές Εργαζομένων		1300
	Σύνολο	30000

Οι παραπάνω τιμές ελήφθησαν από τις αντίστοιχες αναγραφόμενες εταιρίες ή καταστήματα πώλησης και έχουν ισχύ για το 2015.

4.10 Τρόπος λειτουργίας

Υπάρχει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας dc από τα φωτοβολταϊκά τα οποία πάνε στους ρυθμιστές φόρτισης και αυτοί με την σειρά τους φορτίζουν τις μπαταρίες .Από τις μπαταρίες παίρνουν τα inverter και εναλλάσσει το dc σε ac και αφού το ασφαλίσουμε με μία ασφάλεια των 35A δίνω στις καταναλώσεις μου δηλαδή στον πίνακα του σπιτιού. Η γεννήτρια αναλαμβάνει την τροφοδοσία του γενικού πίνακα μέσω μεταγωγικού διακόπτη σε περίπτωση βλάβης του συστήματος καθώς και την φόρτιση των μπαταριών όπως φαίνεται στο παρακάτω block διάγραμμα λειτουργίας.



Η απόδοση των πάνελ πέφτει χρόνο με το χρόνο γι' αυτό το λόγο επιλέγουμε το σύστημα μας να παράγει περισσότερες kWh από όσες χρειαζόμαστε, ώστε με την πάροδο του χρόνου να μην πέσει η παραγωγή σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται αναλυτικά η παραγωγή ενέργειας για τα επόμενα 25 χρόνια με τη ΦΒ συστοιχία που έχουμε επιλέξει.

ΕΤΟΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΑΝΕΛ(%)	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
1	100	11611
2	99	11495
3	98	11379
4	97	11263
5	96	11147
6	95	11031
7	94	10915
8	93	10798
9	92	10682
10	91	10566
11	90	10450
12	90	10450
13	89	10218
14	88	10107
15	87	10102
16	86	9986
17	86	9986
18	85	9870
19	85	9870
20	84	9753
21	84	9753
22	83	9637
23	82	9521
24	81	9405
25	80	9289

4.11 Εκτίμηση του κόστους ηλεκτροδότησης από το δίκτυο της ΔΕΗ

Στον πίνακα που ακολουθεί παραθέτουμε τιμολόγιο κοστολόγησης ανά kWh από την πλευρά της ΔΕΗ.

Κλιμάκια (στο σύνολο της κατανάλωσης)	Χρέωση Ενέργειας (€ / kWh)	Χρέωση Παγίου Μονοφασικής παροχής (€/τετράμηνο)	Χρέωση Παγίου Τριφασικής παροχής (€/τετράμηνο)
0- 2000 kWh	0,09460	1,52	4,80
> 2000 kWh	0,10252	1,52	4,80

Τιμολόγιο Γ1N: Με Χρονοχρέωση

Χρεώσεις Προμήθειας (με ισχύ από την 25.7.2014)

Κατανάλωση Ημέρας:

Ελάχιστη Χρέωση μονοφασικού (€/τετράμηνο): 5,30 Ελάχιστη Χρέωση τριφασικού (€/τετράμηνο) : 8,58

Κατανάλωση Νύχτας και ζώνης μειωμένης χρέωσης:

Πάγιο νύχτας τετραμήνου: 2,00 €

Ενέργεια νύχτας, όλες οι kWh : 0,06610 €/kWh

Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις Ημέρας (με ισχύ από την 1.6.2014)

Χρεωστέα Ισχύς: Η συμφωνημένη ισχύς (ΣΙ) της παροχής

Σημείωση:

Περίοδος τιμολογίου: 120 ημέρες.

Κλιμάκια σε kWh	ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ		ΛΟΙΠΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ (€/kWh)	ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ		ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ (€/kWh)
	Χρέωση Ισχύος €/kVA* ΣΙ / έτος)	Χρέωση Ενέργειας (€/kWh)		Χρέωση Ισχύος (Μοναδιαία Πάγια Χρέωση) (€/kVA* ΣΙ/ έτος)	Χρέωση Ενέργειας (Μοναδιαία Μεταβλητή Χρέωση) (€/kWh)	
0- 1600	0,16	0,00563	0,00046	0,56	0,0214	0,00699
1601-2000						0,01570
2001-3000						0,03987
>3000						0,04488
Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις Νύχτας και ζώνης μειωμένης χρέωσης (με ισχύ από την 1.2.2013)						
	0,00	0,00000	0,00046	0,00	0,0000	0,00889

Εάν η καταμέτρηση αφορά διαφορετική περίοδο, τότε για την Πάγια Χρέωση και για τα κλιμάκια κατανάλωσης του οικιακού τιμολογίου γίνεται αναλογική χρέωση χρησιμοποιώντας το συντελεστή, $A = \text{ημέρες περιόδου κατανάλωσης} / 120 \text{ ημέρες}$.

Από τον παραπάνω πίνακα και για μέσο ημερήσιο φορτίο 29.225 kWh έχουμε:

$29,225 \text{ kWh} \times 30 \text{ days} \times 4 \text{ months} = 3.507 \text{ kWh}$ το τετράμ. κατανάλωση ΔΕΗ

Άρα το κόστος της παραπάνω κατανάλωσης της ΔΕΗ θα ήταν:

$$3507 \text{ kWh} \times 0,10252 = 359,54 \text{ €}$$

Πάγιο τετραμηνίας κατανάλωσης = 11,13€

Σύνολο = 370,67 €/ τετράμηνο

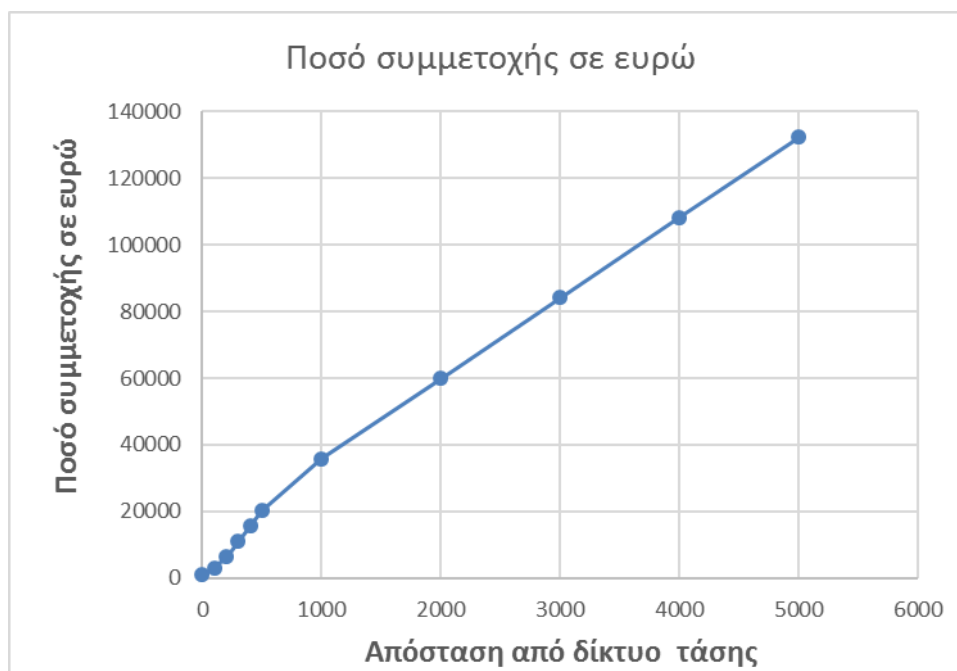
Άρα συνολικά το κόστος της ηλεκτροδότησης από τη ΔΕΗ θα ήταν 370,67 €/ τετράμ. $\times 3 = 1112,01 \text{ €}$ το χρόνο με τα σημερινά δεδομένα. Κάτι που αντιστοιχεί με το ετήσιο κέρδος με τη χρήση του Υ.Σ.Η.Ε.

Ακολουθεί πίνακας υπολογισμού της συμμετοχής του καταναλωτή ανάλογα με την απόσταση από το δίκτυο χαμηλής τάσης

Απόσταση από δίκτυο χαμηλής τάσης	Ποσό συμμετοχής σε ευρώ
0	975,14
100	3153,47
200	6265,37
300	10993,22
400	15602,30
500	20268,92

Επίσης ακολουθεί πίνακας υπολογισμού της συμμετοχής του καταναλωτή ανάλογα με την απόσταση από το δίκτυο μέσης τάσης

Απόσταση από δίκτυο μέσης τάσης	Ποσό συμμετοχής σε ευρώ
1000	35876,39
2000	59984,39
3000	84092,39
4000	108200,39
5000	132308,39



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα μεταβολής της απόστασης από το δίκτυο με το ποσό που αντιστοιχεί για την κάθε συμμετοχή.

Από τον πίνακα της απόστασης του δικτύου χαμηλής τάσης φαίνεται να είναι προτιμότερη η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ μιας και το κόστος σύνδεσης για 500 μέτρα είναι 20268 ευρώ έναντι των 30000 ευρώ για την εγκατάσταση του Υ.Σ.Η.Ε.

Αν όμως υπολογιστεί και το κόστος της ετήσιας κατανάλωσης των 1120 ευρώ φαίνεται οι δύο περιπτώσεις να είναι συγκρίσιμες. Παρά ταύτα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που παρέχει το δίκτυο της ΔΕΗ δηλώνει ότι τελικά υπερτερεί το δίκτυο.

Αντίθετα από τον πίνακα της απόστασης από το δίκτυο μέσης τάσης βλέπουμε ότι ακόμα και για 1000 μέτρα μόνο το ποσοστό συμμετοχής (35876,39 ευρώ) υπερβαίνει το κόστος της εγκατάστασης του Υ.Σ.Η.Ε. και αν λάβουμε υπ' όψιν και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας θα προτιμήσουμε σαφώς το Υ.Σ.Η.Ε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία : Κ. Καγκαράκης ΕΜΠ εκδόσεις ΣΥΜΕΤΡΙΑ 1992
2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα : Ι. Ε. ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη
3. Αυτόνομες εφαρμογές Ηλιακής ενέργειας : Βασίλης Μάμαλης εκδόσεις ΙΩΝ
4. Ηλιακή ενέργεια : ΣΑΚΑΣ Αθήνα 1972
5. Προοπτικές για την βελτίωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τεχνικά Χρονικά Κ. Καγκαράκης
6. Τεχνικά Φυλλάδια PHOTOVOLTAIC
7. Γενικές αναζητήσεις διαδικτύου
8. Πίνακες κοστολόγησης (ΔΕΗ)
9. “Προστασία Κατασκευών από Κεραυνούς”, Ελευθερία Πυργιώτη, Πάτρα, 2010.