



ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ
ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΩΝ 100kW»**

Α.Α.ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ : 1615



ΚΟΚΚΟΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΣΑΛΛΑΚΟΥ ΕΡΒΙΝ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ, 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
Η ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Α.Π.Ε.).....	5
1.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	5
1.1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	10
1.1.2 ΒΙΟΜΑΖΑ	12
1.1.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	14
1.1.4 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	15
1.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ.....	19
1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	19
1.3.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ.....	21
1.3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	22
1.3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	26
1.3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	34
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ.....	34
2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ.....	34
2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	38
2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	39
2.4 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ.....	43
2.5 ΕΞΩΓΕΝΗΣ ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΤΥΠΟΥ P ΚΑΙ N.....	50
2.6 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ.....	52
2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	61
3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ.....	61
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ.....	61
3.3 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	63
3.3.1 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ.....	66
3.3.1.1 ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΣΗ.....	66
3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ.....	69

3.5	ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	73
3.6	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ	80
3.7	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	81
3.8	ΓΕΙΩΣΗ	82
3.9	ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	84
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	87
	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	87
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Α.Π.Ε.)

1.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια μορφή Α.Π.Ε., η δημιουργία της οποίας γίνεται εμμέσως από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση τεράστιων αέριων μαζών από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο τους ανέμους. Την συγκεκριμένη μορφή ενέργειας την έχει ανακαλύψει ο άνθρωπος από τα αρχαία χρόνια και προχώρησε στην εκμετάλλευσή της με κλασικό παράδειγμα την χρήση των ανεμόμυλων και την δημιουργία των ιστιοφόρων. Τα τελευταία χρόνια, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας έχει αναπτυχθεί και γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται με την χρήση της περωτής μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε μηχανική και το δεύτερο στάδιο γίνεται με την χρήση γεννήτριας μετατρέποντας την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Στην παρακάτω εικόνα αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας της αιολικής ενέργειας [5].

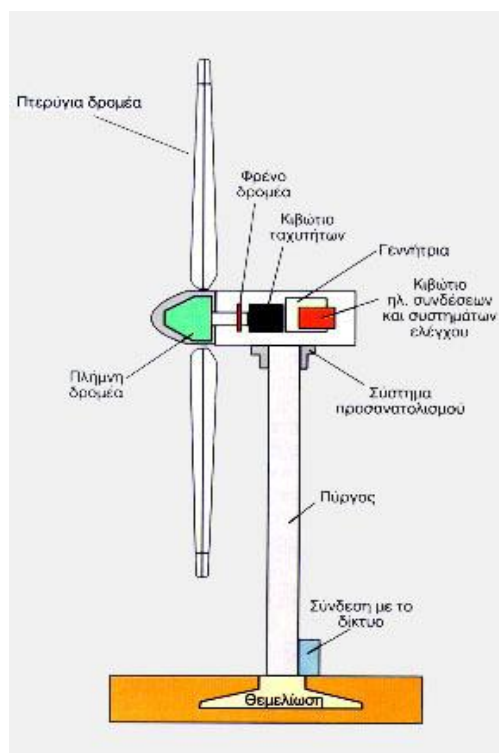


Εικόνα 1.1: Παράδειγμα λειτουργίας αιολικής ενέργειας [4]

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γίνεται αποκλειστικά με ορισμένες μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Οι συγκεκριμένες είναι γνωστές με την

ονομασία ανεμογεννήτριες και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα, οι οποίες κάνουν περιστροφή γύρω από έναν άξονα οριζόντιο προς το επίπεδο του εδάφους και βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι πρέπει να προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται περισσότερο, σε ποσοστό που αγγίζει το 90%. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, οι οποίες κάνουν περιστροφή γύρω από έναν άξονα, ο οποίος είναι κάθετος προς το επίπεδο του εδάφους και δέχονται τον άνεμο από κάθε κατεύθυνση. Είναι η ευκολότερη στην κατασκευή και αυτή με την μικρότερη απόδοση και συνεπώς χρησιμοποιείται λιγότερο από την πρώτη [6].

Στις παρακάτω εικόνες παρατηρούμε και τις δύο κατηγορίες ανεμογεννητριών.



Εικόνα 1.2: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα [5]



Εικόνα 1.3: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα [6]

Ουσιαστικά όσον αφορά την διεθνή αγορά, οι επικρατέστερες ανεμογεννήτριες με ποσοστό περίπου 90% είναι αυτές του οριζόντιου άξονα. Έχουν ισχύ πάνω από 700 kW και συνδέονται άμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο δημιουργώντας μια συστοιχία από ανεμογεννήτριες, οι οποίες αποτελούν το αιολικό πάρκο, το οποίο είναι μια αυτόνομη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της φτερωτής της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα στον περιστρεφόμενο οριζόντιο άξονα, ο οποίος οδηγείται σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης με αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Η κίνηση αυτή μεταφέρεται μέσω άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής, σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Για να μην φθαρεί ο στρόβιλος στην περίπτωση που οι άνεμοι κινούνται με μεγάλες ταχύτητες υπάρχει στην όλη διάταξη ένας μειωτήρας, ο οποίος έχει την δυνατότητα να μειώνει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων. Είναι πάρα πολύ σημαντικό η ταχύτητα του ανέμου να είναι πάνω από 15 Km/h για να δημιουργηθεί η ηλεκτροπαραγωγή μέσα από μια συνηθισμένη ανεμογεννήτρια. Η ονομαστική τους ισχύς κυμαίνεται από 50 - 750 kW. Η τάση της παραγωγής κυμαίνεται στα 25.000 V και είναι απαραίτητος ένας μετασχηματιστής ώστε να μεταφερθεί το ρεύμα στο δίκτυο. Η συστηματική εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας μπορεί να δημιουργήσει πολλά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι να αυξηθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώνοντας παράλληλα τις εισαγόμενες πρωτογενείς πηγές ενέργειας, κάτι το οποίο παρουσιάζει σε τεράστιο βαθμό συναλλαγματικά οφέλη. Επίσης έχει την δυνατότητα να περιορίσει σε μεγάλο βαθμό την ρύπανση του περιβάλλοντος από την στιγμή που είναι υπολογισμένο ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μίας μόνο ανεμογεννήτριας δυναμικότητας 550 kW σε ένα χρόνο υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση

2.700 βαρελιών πετρελαίου, οδηγώντας σε μείωση του εκπεμπόμενου CO₂ κατά 735 τόνους περίπου το χρόνο. Επιπλέον έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας μειώνοντας την ανεργία και βοηθώντας να βελτιωθεί η οικονομία [8].

Τα προβλήματα τα οποία δημιουργούνται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, είναι ο θόρυβος από την λειτουργία των ανεμογεννητριών, οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο ραδιόφωνο, την τηλεόραση και τις τηλεπικοινωνίες, στα οποία η λύση τους βρίσκεται στην εξέλιξη της τεχνολογίας, οι αρνητικές επιπτώσεις στα ενδιαιτήματα και την άγρια ζωή και ιδιαίτερος στα πτηνά και στις νυχτερίδες, όπως και ορισμένα εμπόδια αισθητικής.

Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, καταναλώνεται επί τόπου ή διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Ως επί το πλείστον η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία δημιουργείται από τις ανεμογεννήτριες, αποθηκεύεται με σκοπό να γίνει χρήση της όταν θα υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση από την παραγωγή. Η αποθήκευση γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους σύμφωνα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Ο πρώτος και πιο γνωστός τρόπος είναι οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή μπαταρίες και απευθύνεται σε μικρής κλίμακας μονάδες μη συνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο. Ο δεύτερος τρόπος αποθήκευσης, ο οποίος απευθύνεται σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η άντληση ύδατος χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανεμογεννήτριες και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο, το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό [9].

Παρατηρούμε ότι η αιολική ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο παρουσιάζει μεγάλη άνθηση και μέσα από την ανάπτυξη της τεχνολογίας αναπτύσσονται νέα υλικά, τα οποία έχουν σαν στόχο να αυξηθεί η απόδοση των ανεμογεννητριών και παράλληλα να μειωθούν τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει. Αποτελεί μια καθαρή πηγή ενέργειας που προέρχεται από τον άνεμο. Δεν προκαλεί ρύπανση της ατμόσφαιρας όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, και γίνεται μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να πραγματοποιείται αποβολή χημικών ουσιών από τις ανεμογεννήτριες στην ατμόσφαιρα που μπορεί να προκαλέσουν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου. Όσον αφορά την έκταση που καταλαμβάνουν, περιορίζεται μόνο στην τσιμεντένια βάση των ανεμογεννητριών, αφήνοντας τον υπόλοιπο χώρο ελεύθερο για την όποια εκμετάλλευση. Ταυτόχρονα, η απόσταση των πυλώνων που προβλέπεται από τις κατοικημένες περιοχές και

η οποία είναι καθορισμένη βάση νόμου, εξασφαλίζει την αξία της γης των ατόμων που κατοικούν στην περιοχή.

Πέρα από τα πολλά πλεονεκτήματα που παρέχει, έχει και ένα μειονέκτημα σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Το πιο βασικό μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος που παρουσιάζει καθώς γίνεται πρώτα μια έρευνα με σκοπό να εντοπιστούν τα κατάλληλα σημεία ώστε να δημιουργηθεί ένα αιολικό πάρκο. Ανάλογα με το πόσο ενεργητική, ως προς τον άνεμο, είναι μια τοποθεσία, το αιολικό πάρκο μπορεί ή δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος. Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια σε γενικές γραμμές υπάρχει μείωση του κόστους της αιολικής ενέργειας, κρίνεται απαραίτητη μια αρχική επένδυση, η οποία θα είναι πιο ψηλή από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με καύση ορυκτών. Ορισμένες φορές επειδή συνεχώς μεταβάλλεται η ένταση των ανέμων, υπάρχει πιθανότητα διακυμάνσεων στην ενέργεια που παράγεται και επίσης υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθούν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ουσιαστικά, ο εντοπισμός των προβλημάτων είναι στην ηχορύπανση από τις ανεμογεννήτριες, στην αισθητική και στις επιπτώσεις στα πτηνά και στις νυχτερίδες [8].

Όσον αφορά την ηχορύπανση, το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σε απόσταση 200 μέτρων είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μίας μικρής επαρχιακής πόλης και σαφώς δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με βάση τον νόμο ο οποίος επιτρέπει την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών με μικρότερη απόσταση τα 500 μέτρα από τις κατοικημένες περιοχές, το επίπεδο είναι ακόμα πιο χαμηλό και μπορούμε να πούμε ότι βρίσκεται σε αντιστοιχία με ένα ήσυχο καθιστικό δωμάτιο.

Επίσης αναφέρονται σε μεγάλο βαθμό και τα προβλήματα αισθητικής που μπορεί να παρουσιάσουν οι ανεμογεννήτριες στο φυσικό τοπίο. Βέβαια, όσον αφορά το συγκεκριμένο, υπάρχουν κανόνες και προδιαγραφές σχεδιασμού, οι οποίοι έρχονται σε αρμονία με το φυσικό τοπίο χωρίς να ενοχλούν αισθητικά [11].

Σημαντικό είναι το θέμα της προστασίας των πτηνών. Μία από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων είναι η θνησιμότητα των πτηνών καθώς προσκρούουν στις ανεμογεννήτριες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμποδίζεται η κίνηση τους και παράλληλα να υπάρχει αλλαγή χρήσης των βιοτόπων.

Στα περισσότερα προβλήματα που αναφέρθηκαν ή έχει υπάρξει λύση ή έχουν μειωθεί σε μεγάλο βαθμό μέσα από την εξέλιξη της τεχνολογίας ή μέσα από τον σωστό χωροταξικό σχεδιασμό που αφορά την δημιουργία αιολικών πάρκων [11].

1.1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

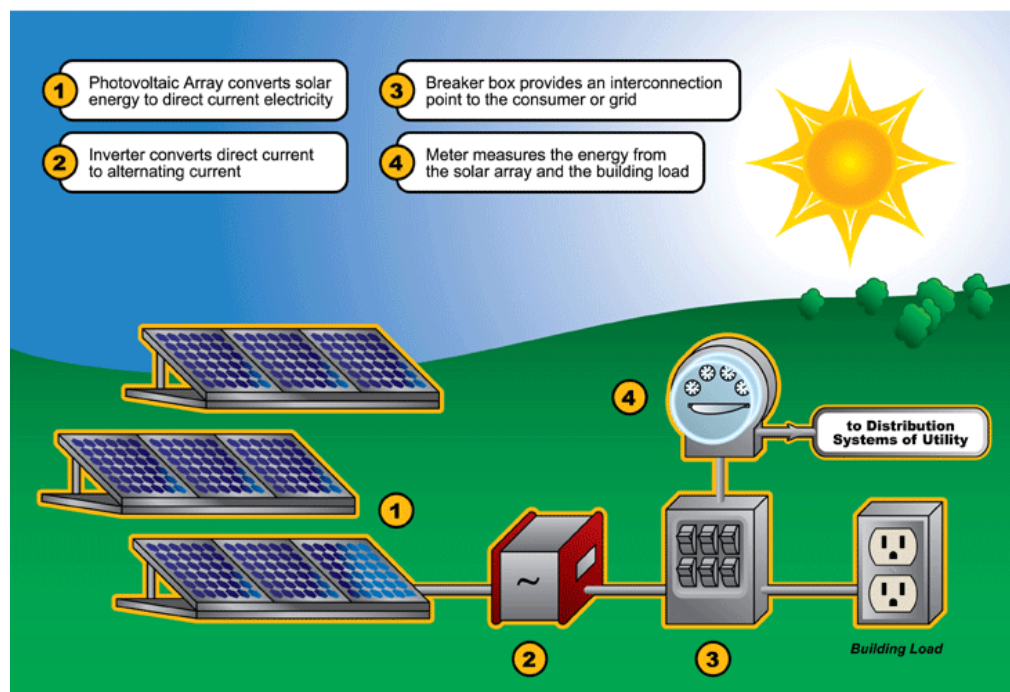
Όταν αναφερόμαστε στην ηλιακή ενέργεια εννοούμε το σύνολο των μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Το 1839 παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα και ξεκίνησε η χρήση τους αργότερα σε διαστημικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται αύξηση της παραγωγής φωτοβολταϊκών σε παγκόσμιο επίπεδο. Από το 1982 τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αυξηθεί κατά 15%. Αυτή η αύξηση προκύπτει από το γεγονός ότι έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό το κόστος καθώς και στο γεγονός ότι έχουν βελτιωθεί οι τεχνικές, οι οποίες αφορούν τα υλικά, το σχέδιο και την κατασκευή των ηλιακών στοιχείων που έχουν αυξήσει την απόδοση της λειτουργίας τους και έχουν μειώσει το κόστος. Αποτελεί αναμφισβήτητο γεγονός ότι το κόστος τους έχει παρουσιάσει τεράστια πτώση από την στιγμή που πρωτοεμφανίστηκαν και στα επόμενα χρόνια προβλέπεται ακόμη μεγαλύτερη πτώση της τάξεως 1,3 ευρώ ανά Watt [12].

Ο πιο απλός και γνωστός τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι οποίοι με την χρήση της ηλιακής ενέργειας ζεσταίνουν το νερό. Αυτό γίνεται με την βοήθεια των ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια σε επιφάνεια που ζεσταίνεται και η θερμότητα μεταδίδεται στο νερό. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε οικιακά είτε και σε βιομηχανίες και πιο πρόσφατα έχει γίνει χρήση του για την θέρμανση και την ψύξη χώρων [13].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη, είναι αυτά τα οποία κάνουν μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι εγκαταστάσεις τέτοιων συστημάτων είναι γνωστά με την ονομασία «φωτοβολταϊκά πάρκα». Στην περίπτωση που καλύπτουν μεγάλη έκταση έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν ή αυτόνομα τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια μία συγκεκριμένη μονάδα εξασφαλίζοντας το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία της ή ως διασυνδεδεμένα συστήματα

με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή γίνεται τροφοδοσία του δικτύου με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτά ώστε να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού (εικόνα 2.4) [12].

SOLAR



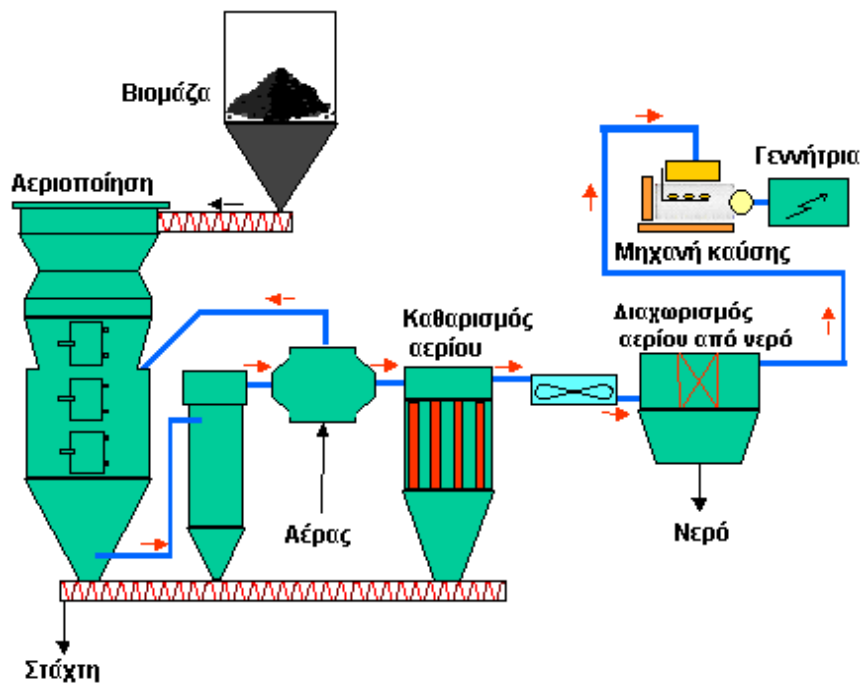
Εικόνα 1.4: Λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων [12]

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια από τις πιο γνωστές μορφές Α.Π.Ε. Στην συνέχεια αναλύουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Όσον αφορά τα μειονεκτήματα το πιο βασικό είναι ότι πρέπει να καλύψουν μεγάλη έκταση γης ώστε να παράγουν ένα αξιόλογο ποσό ενέργειας. Αυτό όπως καταλαβαίνουμε δεν ωφελεί το περιβάλλον όσον αφορά τον τομέα της γεωργίας γιατί περιορίζεται η παραγωγή τροφίμων. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος για να αξιοποιηθεί η ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο βέβαια τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται από την εφαρμογή τους αποτελούν σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξή τους καθώς δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και δεν προκαλούν θόρυβο. Παράλληλα, όταν εγκαθίστανται δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τελειώνοντας, είναι μια λύση για περιοχές οι οποίες είναι απομακρυσμένες και δεν τους παρέχεται δίκτυο ηλεκτροδότησης [12]. Παρόλα αυτά σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι απαιτείται η περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση των χρησιμοποιημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων για την αποφυγή της επιβάρυνσης του

περιβάλλοντος με τοξικά στερεά απορρίμματα που περιέχουν μεταξύ άλλων ποσότητες βαρέων μετάλλων[14].

1.1.2 BIOMAZA

Η βιομάζα αποτελεί την παλαιότερη μορφή Α.Π.Ε. παγκοσμίως. Αρκετοί υποστηρίζουν ότι μετά την εξάντληση των αποθεμάτων αργού πετρελαίου, ορυκτού άνθρακα και φυσικού αερίου, η βιομάζα θα συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια της γης. Με τον όρο βιομάζα εννοούμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Στην ουσία είναι όλα τα υποπροϊόντα που προέρχονται από την ζωική, δασική και αλιευτική παραγωγή. Επίσης σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται και αυτά που προέρχονται από την βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών καθώς και τα αστικά λύματα και οι φυσικές ύλες που προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα. Στην ουσία η βιομάζα αποτελεί μια οργανική ύλη, η οποία παράγεται αρχικά από τα φυτά, τα φύκη και φωτοσυνθετικά βακτήρια, των οποίων η ενέργεια προέρχεται από τον ήλιο. Με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης τα φυτά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα και οι ζωικοί οργανισμοί μέσα από την τροφή παίρνουν αυτή την ενέργεια και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Ουσιαστικά, αποτελεί μια μορφή Α.Π.Ε. που αποθηκεύει την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας κυρίως τα φυτά μέσα από την διαδικασία της φωτοσύνθεσης [8].



Εικόνα 1.5: Παράδειγμα εκμετάλλευσης βιομάζας [16]

Η βιομάζα χρησιμοποιείται σε διάφορες μορφές όπως για παράδειγμα σαν βιοαιθανόλη και βιοντίζελ, για την παραγωγή θερμικής, κινητικής και ηλεκτρικής ενέργειας . Διαθέτει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το βασικό πλεονέκτημα της είναι ότι έχει την δυνατότητα να παρέχει ενέργεια, η οποία βρίσκεται σε χημική μορφή και χρησιμοποιώντας την τεχνολογία γίνεται αξιοποίηση της με αρκετές μεθόδους. Άλλο ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι κατά την διάρκεια της καύσης της, το ισοζύγιο του διοξειδίου του άνθρακα είναι μηδενικό προστατεύοντας έτσι το περιβάλλον[21].

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της βιομάζας αποτελεί πλεονέκτημα το γεγονός ότι ενδυναμώνει την ενεργειακή ανεξάρτηση από τρίτους και συμβάλλει στο να παραμένει ο αγροτικός πληθυσμός στις γεωργικές περιοχές βοηθώντας έτσι στην αποκέντρωση των πληθυσμών. Με αυτό τον τρόπο αναπτύσσονται εναλλακτικές καλλιέργειες, οι οποίες αποτελούν το έναυσμα για την κοινωνική και την οικονομική ανάπτυξη των συγκεκριμένων περιοχών [16].

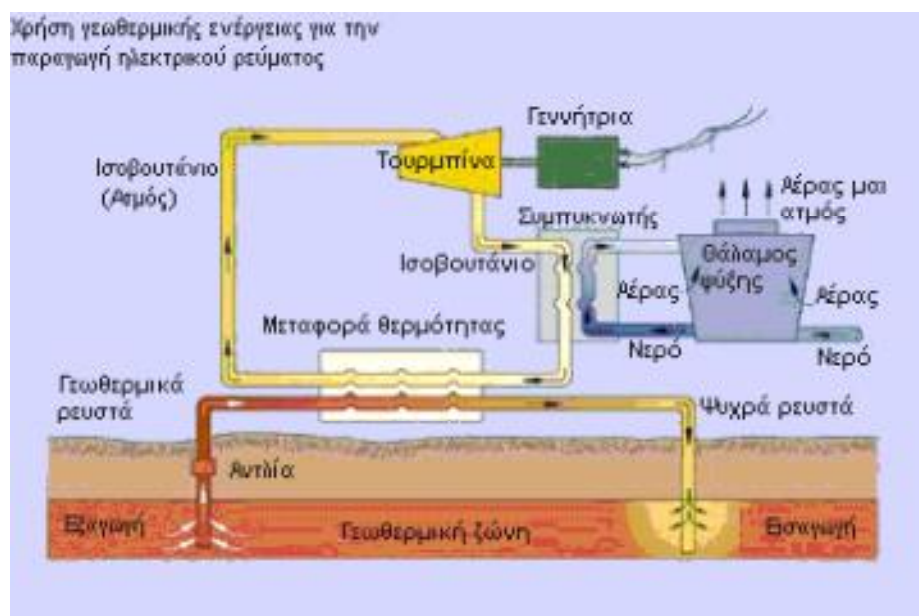
Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, η αξιοποίηση της βιομάζας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα έχει σαν χαρακτηριστικό την πολυμορφία και το χαμηλό ενεργειακό όφελος. Αυτό συμβαίνει διότι έχει χαμηλή πυκνότητα, μεγάλο όγκο, υψηλή περιεκτικότητα σε νερό καθώς

επίσης και μεγάλη διασπορά. Το γεγονός ότι έχει μεγάλη διασπορά και ότι η παραγωγή της είναι εποχιακή δεν διευκολύνουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δυσκολεύουν την συλλογή, την μεταφορά και την αποθήκευση της με αποτέλεσμα το κόστος να βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα για να μετατραπεί σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας. Τέλος, δημιουργούνται και διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα στην ολοκλήρωση μιας μονάδας επεξεργασίας της βιομάζας που αφορούν τόσο την διάθεση των αποβλήτων της όσο και τις αέριες εκπομπές της λόγω καύσης [16].

1.1.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η γεωθερμία αποτελεί μια μορφή Α.Π.Ε., η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Συμβάλλει στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και στην κάλυψη των αναγκών που αφορούν την θέρμανση και την ψύξη. Στην πράξη γίνεται χρήση της συγκεκριμένης ενέργειας με μια διαδικασία γεώτρησης πηγών νερού ή ατμού, ίδια με αυτής της γεώτρησης πετρελαίου [17].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος που λειτουργεί η γεωθερμική ενέργεια παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 1.6).



Εικόνα 1.6 : Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος [18]

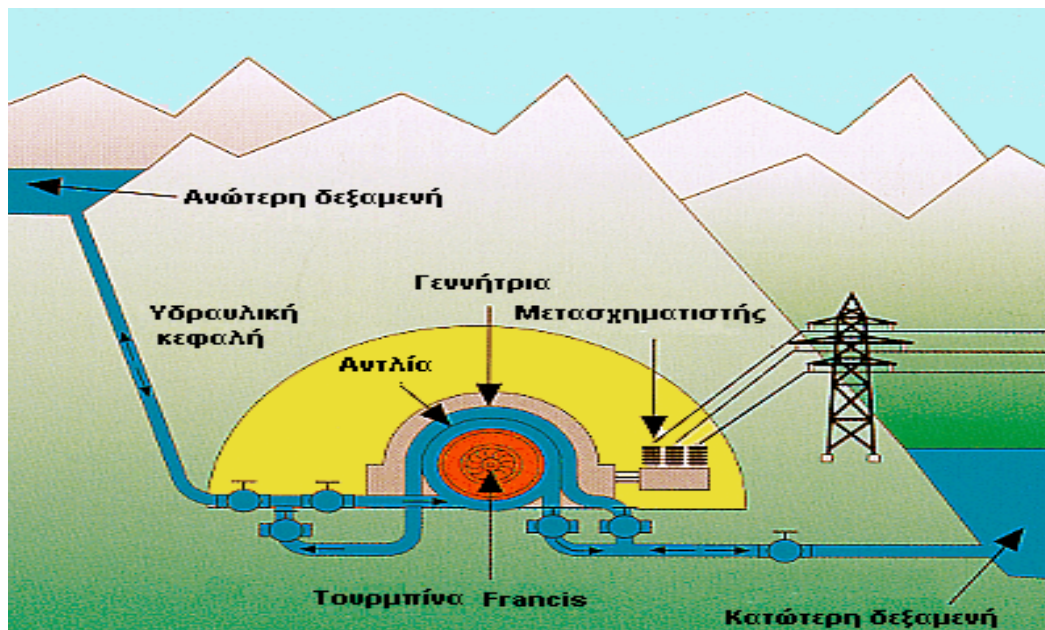
Με βάση έρευνες είναι διαπιστωμένο ότι η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού έχει διαφορά από μέρος σε μέρος και κυμαίνεται από 25°C έως 360°C. Αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό καθώς γίνεται χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια στην περίπτωση που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 25°C) [19].

Χρήση της γεωθερμικής ενέργειας γίνεται σε διάφορους κλάδους, όπως είναι η θέρμανση των θερμοκηπίων που είναι γνωστή παγκοσμίως. Επίσης χρησιμοποιείται στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και στην τηλεθέρμανση δηλαδή στην θέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών και πόλεων [19].

Το υψηλό κόστος όσον αφορά την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι το κύριο μειονέκτημα της. Τα πλεονεκτήματα της αφορούν την εφαρμογή της. Πλεονέκτημα είναι ότι πρόκειται για έναν φυσικό πόρο θερμότητας και ενέργειας, ο οποίος είναι καθαρός αφού δεν χρησιμοποιεί καύσιμα. Επίσης συμβάλλει στο να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αέριων ρύπων που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Τέλος, τα γεωθερμικά συστήματα αποδίδουν σε μεγάλο βαθμό και είναι άξια εμπιστοσύνης σε ακραίες καιρικές συνθήκες [20].

1.1.4 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η υδροηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλεύεται και μετατρέπει την δυναμική ενέργεια του νερού και των λιμνών και την κινητική ενέργεια του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια (εικόνα 2.7). Παρακάτω αναφέρονται τα δύο στάδια που πραγματοποιούνται για την προαναφερόμενη διαδικασία. Στην πρώτη φάση, χρησιμοποιώντας τον στρόβιλο μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια περιστρέφοντας τον άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιώντας την γεννήτρια γίνεται μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική [12].

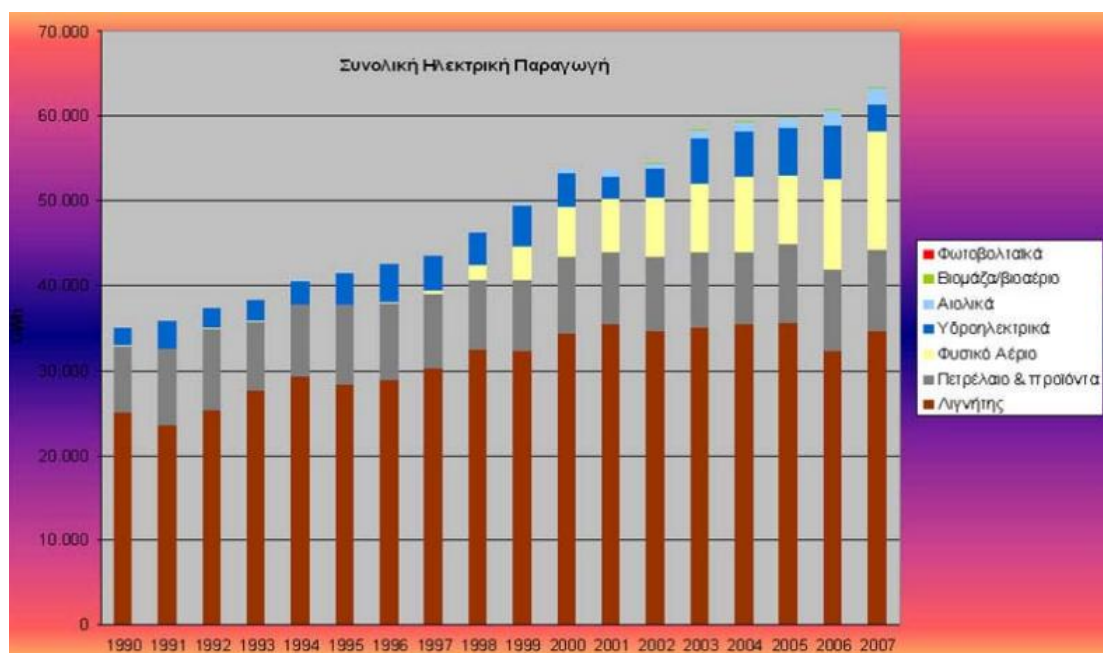


Εικόνα 1.7: Χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας [16]

Βασική παράμετρος της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η δυνατότητα να αποθηκεύει νερό σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες και να αποδεσμεύει τις συγκεκριμένες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της είναι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη δημιουργία υδροηλεκτρικών πάρκων λόγω της αλλαγής του φυσικού περιβάλλοντος και των έργων που πρέπει να γίνουν για την λειτουργία των πάρκων. Παρά το γεγονός ότι αυτό αποτελεί το βασικό μειονέκτημα της υδροηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να λειτουργήσει θετικά με τον κατάλληλο σχεδιασμό και αξιοποίηση καθώς υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν υγροβιότοποι. Τα υδροηλεκτρικά έργα μικρής κλίμακας χαρακτηρίζονται από συνεχή ροή πράγμα που σημαίνει ότι δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να μην χρειάζεται να δημιουργηθούν μεγάλα φράγματα και ταμιευτήρες. Για αυτό το λόγο διαχωρίζονται σε μικρούς και μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Ο μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός χαρακτηρίζεται από ένα έργο, το οποίο συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς οι παρεμβάσεις που γίνονται για την πραγματοποίηση του έργου εντάσσονται αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους [12].

Στο διάγραμμα 1.1 παρουσιάζεται η συνολική ηλεκτρική παραγωγή, ενώ στο διάγραμμα 1.2 παρουσιάζεται η εξέλιξη της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007 από συμβατικά καύσιμα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα[18].

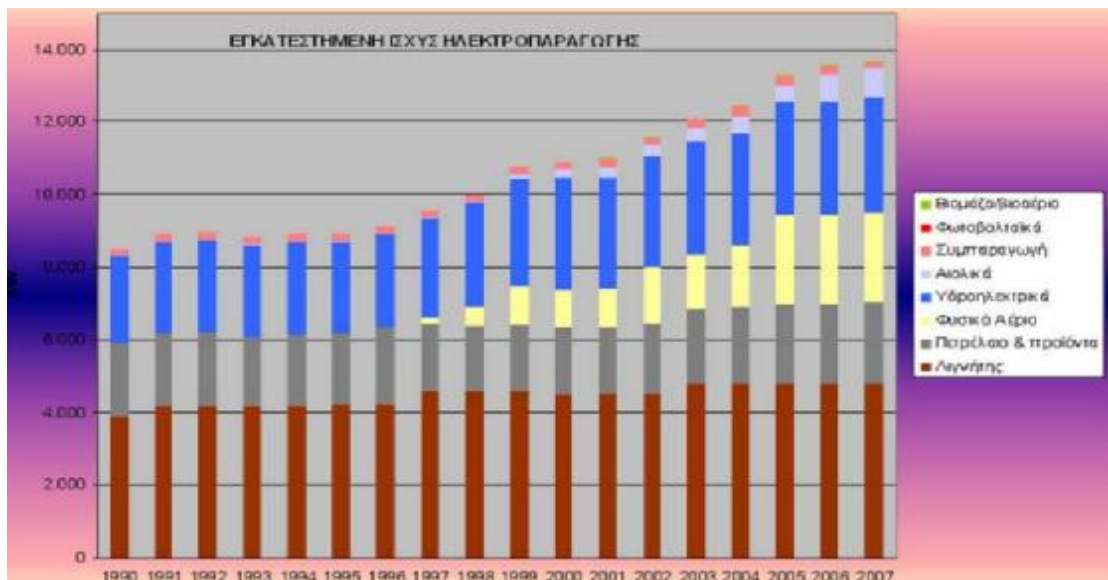


Διάγραμμα 1.1 : Συνολική Ηλεκτροπαραγωγή από συμβατικά καύσιμα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (1990-2007) [21]

Παρατηρώντας το γράφημα της εξέλιξης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007, διαπιστώνουμε τα εξής σημαντικά [21]:

- Την αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, η οποία απεικονίζει την οικονομική ανάπτυξη της εποχής αυτής και την αντανάκλασή της στην αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας
- Το μεγάλο μερίδιο της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη αλλά και την ετήσια ποσοστιαία μείωση ως προς την ετήσια συνολική παραγωγή
- Την ετήσια παραγόμενη από πετρέλαιο ηλεκτρική ενέργεια, τη διατήρησή της σαν ποσότητα με την πάροδο του χρόνου και τη μείωσή της ως ποσοστού επί της ετήσιας παραγωγής με την πάροδο του χρόνου

- Την είσοδο του φυσικού αερίου στο μείγμα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και την ετήσια σταδιακή αύξηση της παραγόμενης από αυτό ηλεκτρικής ενέργεια λόγω της εγκατάστασης νέων Σταθμών Παραγωγής τεχνολογίας φυσικού αερίου
- Την παραγόμενη από υδροηλεκτρικούς σταθμούς ηλεκτρική ενέργεια, με την διευκρίνιση ότι οι εμφανείς αυξομειώσεις απεικονίζουν τις ετήσιες βροχοπτώσεις των περιοχών εγκατάστασης των σταθμών
- Την βαθμιαία αύξηση της παραγόμενης από Ανανεώσιμες Πηγές ηλεκτρική ενέργεια τα τελευταία χρόνια και την διείσδυση των Α.Π.Ε. στην Ηλεκτροπαραγωγή



Διάγραμμα 1.2: Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα (1990-2007) [21]

Παρατηρώντας το γράφημα της εξέλιξης της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα για το χρονικό διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2007, διαπιστώνουμε τα εξής [21]:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στον λιγνίτη, διότι είναι εγχώριο προϊόν και βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα
- Το σταθερό, σχετικά μεγάλο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα

του, και αυτό κύρια λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσης τους

- Το σταθερό ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες για την κατασκευή τους απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για δημιουργία φραγμάτων και υδατικών ταμιευτήρων
- Την πρώτη εμφάνιση και τη σταδιακή αύξηση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του Φυσικού Αερίου στη χώρα μας
- Τη μικρή αλλά συνεχή αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων αιολικής ενέργειας και τη σηματοδότηση της νέας εποχής για τη διεύθυνση των Α.Π.Ε. στην ηλεκτροπαραγωγή

1.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση οι Α.Π.Ε. είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα είναι η αιολική, ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, η βιομάζα, τα εκλύόμενα βιοαέρια καύσιμα από χώρους υγειονομικής ταφής από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού [30].

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της χώρας μας οι Α.Π.Ε. είναι οι ενεργειακές πηγές, όπως ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ., οι οποίες βρίσκονται σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Αποτελούν τις πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα [31].

1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μειονεκτήματα που προκαλούνται κατά κύριο λόγο από την χρήση της βιομάζας και συγκεκριμένα από την εκμετάλλευση της:

- Ø Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα δυσκολεύουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Ø Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Ø Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχουν δυσκολίες στην συλλογή, την μεταφορά και την αποθήκευση της βιομάζας που προκαλούν αύξηση του κόστους της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Ø Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.
- Ø Η υψηλή παραγωγή ατμοσφαιρικών ρύπων, η οποία είναι αντίστοιχη αυτής των ορυκτών καυσίμων. Παρόλα αυτά θεωρείται όμως ότι η χρήση βιομάζας δε συνεισφέρει στην κλιματική αλλαγή λόγω της απορρόφησης του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα από τις ενεργειακές καλλιέργειες παραγωγής της βιομάζας[24].

Σε σχέση με το πετρέλαιο και λόγω των μειονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω το κόστος της βιομάζας βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν εφαρμογές, στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Ακόμη, το συγκεκριμένο πρόβλημα αρχίζει σταδιακά και μειώνεται διότι οι τιμές του πετρελαίου ανεβαίνουν και επίσης παρουσιάζεται ανάπτυξη και βελτίωση στις τεχνολογίες που αξιοποιούν την βιομάζα. Τέλος, θα πρέπει πάντα να δίνεται μεγάλη σημασία στην προστασία του περιβάλλοντος για μια καλύτερη ποιότητα ζωής παρόλο που πολλές φορές το κόστος είναι υψηλό [32].

Παρακάτω παρουσιάζονται τα οικονομικά προβλήματα που δημιουργούνται στην ενεργειακή παραγωγή:

- Η ανταγωνιστικότητα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα η οποία οφείλεται:
 - α) στη δυσκολία να βρεθεί πρώτη ύλη,
 - β) στις αυξημένες τιμές πρώτης ύλης,

γ) στην περιορισμένη δυνατότητα πολλών βιομηχανιών να επεξεργαστούν πρώτες ύλες αλλά και να εκμεταλλευτούν τα παραπροϊόντα και

δ) στις υψηλές τιμές που πρέπει οι παραγωγοί να πωλούν την παραγόμενη ενέργεια.

- Η σύνδεση της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα με εγχώριες πρώτες ύλες μέσα από την βελτίωση της απόδοσης και του κόστους των εγχώρια παραγόμενων προϊόντων, ξεπερνώντας με αυτό τον τρόπο την διστακτικότητα των γεωργών για την καλλιέργεια των συγκεκριμένων ενεργειακών φυτών [32].

1.3.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

Προβλήματα θορύβου: ο θόρυβος που εκπέμπεται από τις ανεμογεννήτριες χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: τον μηχανικό και τον αεροδυναμικό.

∅ Ο μηχανικός θόρυβος προέρχεται από την περιστροφή των μηχανικών τμημάτων όπως για παράδειγμα το κιβώτιο ταχυτήτων, την ηλεκτρογεννήτρια, τα έδρανα κλπ.

∅ Ο αεροδυναμικός θόρυβος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα πτερύγια.

Ο θόρυβος αντιμετωπίζεται ή μέσα από απευθείας στην πηγή του ή από την διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ήδη μειωθεί είτε σχεδιάζοντας από την αρχή γρανάζια πλάγιας οδόντωσης είτε δημιουργώντας μια εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Όσον αφορά τον αεροδυναμικό θόρυβο η λύση βρίσκεται στην προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, οι οποίοι δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωση του.

Προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών: τα συγκεκριμένα προβλήματα ως επί το πλείστον προκαλούνται από τις ανεμογεννήτριες λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου και επίσης από πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες.

Αποτελεί αναμφισβήτητο γεγονός ότι η μετάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης καθώς και του ραδιοφώνου δημιουργούν εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το βασικότερο πρόβλημα δημιουργείται από τα κινούμενα πτερύγια των ανεμογεννητριών, τα οποία αυξομειώνουν το σήμα εξαιτίας των αντανακλάσεων. Το συγκεκριμένο ήταν πιο έντονο στις πρώτες κατασκευές των ανεμογεννητριών όπου είχαν μεταλλικά πτερύγια. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες αποτελούνται από πτερύγια κατασκευασμένα με συνθετικά υλικά, τα οποία δημιουργούν πολύ μικρές επιπτώσεις στην μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας[36].

Αισθητικά προβλήματα και προσβολή του φυσικού τοπίου: το συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι τελείως υποκειμενικό καθώς μέσα από έρευνες σε διάφορες χώρες στην Ευρώπη αποδεικνύεται ότι όποιος θεωρεί σημαντική την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, δεν δίνει σημασία στον αισθητικό παράγοντα, σε αντίθεση με ορισμένους οι οποίοι είναι αρνητικοί από την αρχή. Επίσης αυτοί οι οποίοι γνωρίζουν πόσο σημαντικά είναι τα οφέλη από την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, δεν θεωρούν ότι τα αιολικά πάρκα προσβάλλουν το φυσικό τοπίο.

Με βάση βέβαια το γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριες είναι κατ' ανάγκη ορατές από απόσταση, θα πρέπει να δίνεται σημασία στις ιδιαιτερότητες κάθε τύπου εγκατάστασης και στην προσπάθεια να ενσωματωθούν στο φυσικό τοπίο [8].

1.3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Περιβαλλοντικές οχλήσεις: Στα ηλιακά συστήματα στα οποία συμπεριλαμβάνονται και τα φωτοβολταϊκά, οι περιβαλλοντικές οχλήσεις που πιθανόν να δημιουργηθούν αφορούν κυρίως τον αισθητικό παράγοντα αλλά και τον θόρυβο που προκαλείται κατά την διάρκεια της εγκατάστασης τους. Ο βαθμός όχλησης αυξάνεται με το μέγεθος των συστημάτων. Η πρόληψη αυτών των επιπτώσεων αλλά και η αντιμετώπιση τους γίνεται με επιτυχία μέσα από την σωστή χωροθέτηση, η οποία θέτει βασικές προϋποθέσεις όπως για παράδειγμα να εκτιμηθούν σωστά οι εναλλακτικές θέσεις εγκατάστασης και οι πιθανές επιπτώσεις, να εκπονηθούν

Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, να χρησιμοποιηθούν οι καλύτερες διαθέσιμες τεχνικές, να αναλυθεί το κόστος και το όφελος σε τοπικό, περιφερειακό αλλά και εθνικό επίπεδο καθώς και είναι βασικό να συμμετέχουν κοινωνικές ομάδες και οργανώσεις, οι οποίες θα προχωρήσουν στην εκπόνηση των σταδίων του σχεδιασμού με σκοπό να εξασφαλίσουν την κοινωνική αποδοχή[25].

Οι επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών ηλιακών συστημάτων ανά στάδιο κατασκευής είναι οι εξής:

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Ατμόσφαιρα: Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών στοιχείων αποτελεί μια διεργασία ιδιαίτερα ενεργοβόρα, πράγμα που σημαίνει την έκλυση ατμοσφαιρικών ρύπων. Η παραγωγή του κρυσταλλικού πυριτίου (Si) είναι η διεργασία με τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Επιπλέον, η παραγωγή των πλαισίων, των συστημάτων εξισορρόπησης καθώς και τα πλαίσια και οι δομές στήριξης στην ανύψωση και συγκεκριμένα τα στοιχεία καδμίου-τελλουρίου (CdTe) και σουλφιδίου του καδμίου (CdS) προκαλούν τοξικές εκπομπές που περιέχουν το βαρύ μέταλλο κάδμιο.

Φυσικοί πόροι: Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (Si) είναι κατασκευασμένα από πρώτες ύλες, οι οποίες είναι ευρέως διαθέσιμες στη φύση, όπως για παράδειγμα ο χαλαζίας. Η παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα στοιχείων από εναλλακτικά υλικά, όπως ίνδιο (In), γάλλιο (Ga), σελήνιο (Se) και τελλούριο (Te) θα μπορούσε να προκαλέσει μελλοντικά την εξάντληση των αποθεμάτων των διαθέσιμων φυσικών πόρων.

Εδαφος & υδάτινοι αποδέκτες: Η μη ασφαλής χρήση στο κύκλο ζωής (εξόρυξη, παραγωγή, επεξεργασία, αντικατάσταση, μη περιβαλλοντικά ορθή τελική διάθεση, ανακύκλωση) μεγάλου αριθμού υλικών καθώς και μια πιθανή διαρροή κατά την διαδικασία της παραγωγής ή επεξεργασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων.

Άνθρωπος: Το εργατικό δυναμικό καθώς και το εξειδικευμένο προσωπικό που απασχολείται στην διαδικασία της παραγωγής και του σχεδιασμού των φωτοβολταϊκών στοιχείων εκτίθεται σε μεγάλο αριθμό υλικών, όπως είναι π.χ. οι

διαλύτες, τα οποία είναι επικίνδυνα για την δημόσια και την επαγγελματική υγεία [33].

ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Θόρυβος: Τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο χώρο εγκατάστασης προκαλούν αυξημένο θόρυβο στην περιοχή.

Ατμόσφαιρα: Η κατανάλωση ενέργειας που επιβάλλεται για τη μεταφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει σαν αποτέλεσμα τις εκπομπές αερίων, οι οποίες βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με αυτές που εκπέμπονται στο στάδιο παραγωγής των φωτοβολταϊκών στοιχείων[14].

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Θόρυβος: Κατά την εγκατάσταση αυξάνονται τα επίπεδα του θορύβου στην περιοχή.

Τοπίο-Αισθητική-Οικοσυστήματα: Οι παρεμβάσεις που προκαλούνται, διαταράσσουν τα οικοσυστήματα και δημιουργούν μια αισθητική και οπτική ενόχληση στο τοπίο, παρά το γεγονός ότι χαρακτηρίζονται σε γενικές γραμμές ήπιες.

Άνθρωπος: Υπάρχει πιθανότητα από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να προκληθεί προσωρινή θάμβωση στα άτομα που ή εργάζονται κοντά ή συμβάλλουν στην εγκατάστασή τους.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Τοπίο – Χλωρίδα - Οικοσυστήματα: Η σκίαση από τις διατάξεις βοηθά να διατηρηθεί η υγρασία στις θερμές και στις ξηρές περιοχές με αποτέλεσμα να αυξάνεται η υγρασία στο έδαφος και αυτό να οδηγεί στην αυξημένη παραγωγικότητα της γης. Αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει σημαντικές οικολογικές επιπτώσεις σε ευαίσθητες περιοχές.

Αισθητική: Το σχήμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου καθώς και ο τρόπος που χωροθετείται αλλά και η επιφάνεια που καταλαμβάνεται είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν αισθητικά το τοπίο. Για τα συστήματα που βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές και είναι μικρά δεν προκαλείται αισθητική ενόχληση σε σχέση με αυτά που βρίσκονται σε οροφές[31].

Άνθρωπος:

1. Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία: κίνδυνος για την δημόσια υγεία προκαλείται από τα στοιχεία οροφής ή από αυτά που είναι ενσωματωμένα στο κέλυφος των κτιρίων, καθώς και από φώτα που δύναται να υπάρχουν στο κτίριο, τα οποία απελευθερώνουν ρύπους στην ατμόσφαιρα όπως για παράδειγμα τα στοιχεία Cd, Te, Se, αρσενικό (As). Ο κίνδυνος είναι πολύ μικρός για μικρές εγκαταστάσεις (<5 kWp). Για μεγαλύτερες (>100 kWp) απαιτούνται συνήθη μέτρα (π.χ. οι κάτοικοι σε απόσταση 1-2 km από την εγκατάσταση).
2. Κίνδυνοι για τη επαγγελματική υγεία: Στην διαδικασία της παραγωγής και της εγκατάστασης οι κίνδυνοι που παρουσιάζονται θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι τυπικοί όπως και σε κάθε εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Παρόλα αυτά το συνεχές ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά είναι περισσότερο επικίνδυνο από το ισοδύναμο εναλλασσόμενο και για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία περισσότερα προστατευτικά μέτρα. Επιπλέον είναι δυνατόν τα στοιχεία να προκαλέσουν προσωρινή θάμβωση σε ανθρώπους από τις ανακλώμενες ακτίνες ηλίου [33].

ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ

Εκτός από τις διατάξεις Si, η τοξικότητα του Cd αφορά στη τελική διάθεση των διατάξεων CdTe. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η ανακύκλωση ή περιβαλλοντικά ορθή διάθεση σύμφωνα με τους κανονισμούς διάθεσης απορριμμάτων. Στην διαδικασία της καύσης απευθερώνονται τοξικές αέριες εκπομπές Cd, μολύβδου (Pb) και άλλων μετάλλων που περιέχονται στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αντίστοιχα, η ανεξέλεγκτη διάθεση σε χωματερές οδηγεί σε ρύπανση των υπογείων υδάτων [33].

1.3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας προκαλούνται κάποια προβλήματα που η ικανοποιητική επίλυση τους θα βοηθήσει στην οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας.

Ιδιάζουσα χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών: Τα γεωθερμικά ρευστά λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα περιέχουν διαλυμένα άλατα και αέρια. Η αλλαγή που παρουσιάζεται στα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των ρευστών κατά την διαδικασία της φάσης εκμετάλλευσης δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες τόσο για τη χημική προσβολή των μεταλλικών επιφανειών, όσο και για την απόθεση ορισμένων διαλυμένων ή αιωρούμενων στερεών και την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών.

Σχηματισμός επικαθίσεων: Η χρήση τεχνικών και μεθόδων μπορούν να βοηθήσουν στον σχηματισμό επικαθίσεων στις γεωθερμικές μονάδες ορισμένες από αυτές τις τεχνικές και μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της, η ρύθμιση του pH του ρευστού, η προσθήκη χημικών ουσιών (αναστολέων δημιουργίας

επικαθίσεων) και η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα, στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας [32].

Διάβρωση στις γεωθερμικές μονάδες: Οι δυνατότητες που υπάρχουν για να ελεγχθεί η διάβρωση στις γεωθερμικές μονάδες είναι η επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής, όπως για παράδειγμα η χρήση πολυμερικών υλικών, εναλλακτών θερμότητας από τιτάνιο, Hastelloy κ.ά., η επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα, η προσθήκη αναστολέων διάβρωσης, και ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Παρά το γεγονός ότι η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται από μια ήπια μορφή ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, δημιουργούνται προβλήματα στο περιβάλλον κυρίως από την εκμετάλλευσή της. Κρίνεται απαραίτητο να διαχωριστούν οι επιπτώσεις από την αξιοποίηση της γεωθερμίας λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας σε διαλυμένα άλατα και αέρια σε σχέση με τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται από τη διάθεση των νερών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι σε γενικές γραμμές πιο μικρά από αυτά των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση των ρευστών υψηλής ενθαλπίας παρουσιάζονται προβλήματα στο περιβάλλον, τα οποία διαφέρουν από μέρος σε μέρος ανάλογα με την χρήση γης, τις εκπομπές αερίων, τη διάθεση υγρών αποβλήτων, το θόρυβο, τη δημιουργία μικροσεισμικότητας και τις καθιζήσεις. Ο χώρος που καταλαμβάνεται για να αξιοποιηθεί η γεωθερμία και αφορά την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο για τις γεωτρήσεις, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης, είναι κατά κύριο λόγο μικρότερος από αυτόν που χρειάζεται για να αξιοποιηθούν άλλες μορφές ενέργειας, όπως για παράδειγμα ατμοηλεκτρικοί σταθμοί γαιάνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κτλ [35].

CO₂: Το CO₂ που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πεδίου και την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας,

παρόλο που οι εκπομπές του βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες Α.Π.Ε. Το H_2S , επειδή χαρακτηρίζεται από έντονη οσμή και είναι τοξικό, δημιουργεί προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές H_2S ποικίλλουν από $<0,5$ g/kWh μέχρι και 7 g/kWh. Με διάφορες μεθόδους και τεχνικές όπως για παράδειγμα με τη διεργασία Stredford, με την καύση και επανεισαγωγή, με την οξειδωτική μέθοδο Dow κ.ά. μπορεί να γίνει πιο εύκολα έλεγχος στις εκπομπές του H_2S [35].

1.3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Εδαφος: Κατασκευάζοντας φράγματα τα οποία συνοδεύονται και από άλλα έργα, χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεταβολές στις χρήσεις γης της περιοχής.

Το τοπίο μεταβάλλεται ποιοτικά καθώς μια χερσαία έκταση και ένας ποτάμιος υγρότοπος μετατρέπονται σε λιμναίο βιότοπο, ενώ το προηγούμενο φυσικό περιβάλλον μετατρέπεται κατά μεγάλο ποσοστό σε ανθρωπογενές.

Είναι πολύ πιθανό να υπάρξει αλλοίωση του εδάφους από τη διάνοιξη δανειοθάλαμου για την απόληψη υλικών.

Επίσης μεταβάλλεται η μορφολογία του εδάφους λόγω της κατασκευής του ορύγματος του ταμιευτήρα καθώς και του ίδιου του φράγματος και αλλοιώνεται το ανάγλυφο λόγω της κατασκευής της λίμνης και των υπόλοιπων οικοδομικών έργων.

Ακόμη προκαλούνται σεισμικές δραστηριότητες ή κατολισθήσεις κατά την διάρκεια της πλήρωσης του ταμιευτήρα και προκαλούνται στατικά προβλήματα από την άνοδο του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του ταμιευτήρα.

Υδροταμιευτήρας: Προκαλείται αλλοίωση του εδάφους από την κατασκευή ενός θαλάμου που χρησιμοποιείται για την επακόλουθη απόθεση των υλικών που θα προκύψουν από την κατασκευή του ορύγματος, το οποίο θα δημιουργηθεί από τον

αγωγό μεταφοράς και πτώσης του νερού καθώς και από όλα τα υπόλοιπα βοηθητικά κατασκευαστικά έργα. Γενικότερα μεταβάλλεται η μορφολογία του εδάφους από τις κατασκευές.

Νέρο:

Ποσότητα:

- Û Μεταβάλλεται η ποσότητα του νερού κατάντη του φράγματος καθώς παρουσιάζονται εναλλαγές περιόδων ξηρασίας και πλημμυρών.
- Û Επιβραδύνεται η ροή του ποταμού στο φράγμα και επιταχύνεται η ροή του κατάντη του φράγματος.
- Û Αυξομειώνεται η στάθμη του ταμιευτήρα σε διαφορετικό βαθμό από τις αυξομειώσεις που παρουσιάζονται σε μια φυσική λίμνη.
- Û Μεταβάλλεται ο υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής.

Ποιότητα: Το νερό που υπερχειλίζει από το φράγμα δεν παρουσιάζει αρκετές φερτές ύλες εξαιτίας της κατακράτησης των υλών αυτών στο φράγμα, με αποτέλεσμα να διαβρώνεται η παλιά κοίτη του ποταμού.

Στην περίπτωση που δεν γίνεται αποψίλωση της βλάστησης μέσα από το χώρο που καταλαμβάνει το φράγμα, το οξυγόνο μειώνεται στο νερό εξαιτίας της βιοαποδόμησης των οργανικών και απελευθερώνεται μεθάνιο λόγω της συνεπακόλουθης δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών στον πυθμένα.

Τα αναερόβια βακτήρια που αναπτύσσονται μετατρέπουν τον αβλαβή ανόργανο υδράργυρο, που βρίσκεται ήδη στο έδαφος, σε μεθυλο-υδράργυρο, ο οποίος χαρακτηρίζεται από τοξικότητα και είναι βιοσυσσωρεύσιμος καθώς μέσω της τροφικής αλυσίδας μπορεί να μεταβιβαστεί τελικά και στους ανώτερους οργανισμούς.

Ιχθυοπανίδα: Όσον αφορά την ιχθυοπανίδα εμφανίζονται νέα είδη κυρίως στις λίμνες και παράλληλα παρουσιάζεται αναταραχή στα είδη που ήδη προϋπάρχουν στην ποτάμια ιχθυοπανίδα και απειλούνται είτε με μείωση είτε με εξαφάνιση. Αυτό γίνεται εξαιτίας των εναλλαγών στην θερμοκρασία του νερού, στη συγκέντρωση των

διαλυμένων αερίων κατάντη, στη μεταβολή της ποσότητας και της ποιότητας του νερού καθώς στις έντονες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού.

Επίσης παρουσιάζεται μείωση αλλά και εξαφάνιση στα ψάρια κατάντη του φράγματος λόγω της μικρής παροχής του νερού.

Μεγάλο πρόβλημα δημιουργείται σε όλα τα είδη των μεταναστευτικών ψαριών, τα ανάδρομα (π.χ. σολομός), τα κατάδρομα (π.χ. χέλι), τα αμφίδρομα (π.χ. κάποια είδη κεφάλων) και τα ποταμοδρομικά. Τα μεταναστευτικά ψάρια απαιτούν διαφορετικό περιβάλλον στις βασικές φάσεις της ζωής [36].

Λοιπή πανίδα: λόγω της ύπαρξης ταμιευτήρα δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για κάποια είδη ορνιθοπανίδας, ερπετών και θηλαστικών κυρίως αρπακτικών.

Από το ίδιο το φράγμα ή και τον ταμιευτήρα παρουσιάζεται αποκοπή σε ορισμένα είδη ζώων, όπως είναι τα θηλαστικά με αποτέλεσμα να δυσκολεύονται οι μετακινήσεις και οι μεταναστεύσεις τους. Επιπλέον δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για κάποια είδη εντόμων εξαιτίας της αυξημένης υγρασίας και του ηπιότερου περιβάλλοντος.

Οικοσυστήματα-Χλωρίδα: Εξαιτίας της κατασκευής του φράγματος και της κατάκλισης του ταμιευτήρα εξαφανίζεται όλο το χερσαίο οικοσύστημα. Παρουσιάζονται αλλοιώσεις στο ποτάμιο και στο παραποτάμιο οικοσύστημα, ανάντη και κατάντη του φράγματος και παράλληλα γίνεται αντικατάσταση με μια ομοιόμορφη δεξαμενή, με έντονες και αφύσικες διακυμάνσεις της στάθμης, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να χαθεί ένα μέρος της φυσικής παρόχθιας βλάστησης και πανίδας. Επίσης υπάρχουν πιθανότητες να υποβιβαστούν οι ακτές δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο προβλήματα στην αλιεία και στα υδρόβια πουλιά.

Με την κατασκευή του φράγματος συγκρατείται πίσω του όλο το φορτίο των φερτών ιζημάτων που μετέφερε το νερό του ποταμού και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην γίνεται μεταφορά αυτού του φορτίου κατάντη και να προκαλούνται

αλλοιώσεις στο συγκεκριμένο περιβάλλον, κυρίως στο στόμιο της εκβολής (δέλτα) του ποταμού ή ακόμα και αρκετά μέτρα πιο μακριά στις γειτονικές ακτές.

Οι εναλλαγές των περιόδων ξηρασίας ή πλημμυρών προκαλεί διάβρωση του εδάφους και εξαφανίζεται η βλάστηση στην γύρω περιοχή.

Τοπίο: Το τοπίο αλλάζει σημαντικά καθώς γίνεται μετατροπή του φυσικού τοπίου σε ορισμένα σημεία του σε ανθρωπογενές. Το διάμηκες, δαιδαλώδες και άγριο ποτάμιο τοπίο, μετατρέπεται σε λιμναίο, συνήθως ήπιο και ομαλό. Τα δάση και η όποια βλάστηση που ήδη υπάρχουν μετατρέπονται σε λίμνες, διώρυγες, κανάλια και σταθμούς παραγωγής, σε νέους δρόμους πρόσβασης καθώς και σε νέα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Καθώς η ροή του νερού κατάντη του φράγματος βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και καθώς παρατηρείται διάβρωση στην κοίτη του ποταμού παρουσιάζονται αλλοιώσεις στο τοπίο μέχρι και το σημείο της εκβολής του.

Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις-Εργασία: παρουσιάζονται επιπτώσεις στον συγκεκριμένο τομέα εξαιτίας της μετακίνησης των ανθρώπων και των κατοικιών τους, που διαμένουν στις γύρω περιοχές που γίνεται κατασκευή του ταμιευτήρα και των υπόλοιπων οικοδομικών έργων. Αλλάζει το αντικείμενο εργασίας των κατοίκων εξαιτίας της απώλειας των γεωργικών εκτάσεων που εκμεταλλεύονταν οικονομικά και πλέον κατακλύζονται από τα νερά που συγκεντρώνονται στον ταμιευτήρα. Επιπλέον είναι γεγονός ότι προκαλούνται αλλαγές και στους παραγωγικούς τομείς που δραστηριοποιείται ο πληθυσμός της περιοχής. Ορισμένοι βρίσκουν εργασία στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο είτε κατά την κατασκευή είτε κατά τη λειτουργία του, ενώ κάποιοι άλλοι χάνουν τις γεωργικές τους εκτάσεις, που απαλλοτριώνονται και αλλάζουν εργασία.

Επιπτώσεις στην υγεία: Οι μεταβολές που παρουσιάζονται στο κλίμα και κυρίως η υγρασία που δημιουργείται μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην υγεία των κατοίκων της τοπικής κοινωνίας. Επίσης υπάρχουν και ορισμένοι πιθανοί

κίνδυνοι λόγω των σεισμικών δονήσεων και πιθανών κατολισθήσεων κατά την διάρκεια του σταδίου της κατασκευής και λειτουργίας. Επιπλέον πιθανοί κίνδυνοι δημιουργούνται και από την επαφή των λιπαντικών του στροβίλου και της γεννήτριας με το νερό ή από την διαρροή ελαίων του μετασχηματιστή [36].

Στον επόμενο πίνακα 1.1 συνοψίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση διαφορετικών πηγών και τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας.

Πίνακας 1.1 : Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [37]

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ			
ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	ΆΛΛΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
ΑΝΘΡΑΚΑΣ, ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ, ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ	CO ₂ , NO _x , SO _x , VOC, ΤΕΦΡΑ	ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ, ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ
ΠΥΡΗΝΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ	-	ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ, ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΟΠΛΑ, ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ
ΒΙΟΜΑΖΑ	ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ	CO ₂ , SO _x , NO _x , VOC,	ΑΠΟΞΗΛΩΣΗ ΔΑΣΩΝ

		ΤΕΦΡΑ	
ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΗ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ	-	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΕ ΒΙΟΤΟΠΟΥΣ, ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ Η΄ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩ Ν ΑΠΟ ΑΣΤΟΧΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	-	ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ, ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ, ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΟΥΛΙΑ, ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ, ΣΚΙΑΣΗ
ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	-	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ, ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται (πηγάξει) από τον ήλιο. Πριν την εκτενή αναφορά στην ηλιακή ακτινοβολία κρίνεται σκόπιμο για την καλύτερη κατανόηση της ηλιακής ακτινοβολίας να αναφερθεί ο ορισμός και η βασική θεωρία που διέπει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία[12].

Ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία νοείται η εκπομπή υπό μορφή κύματος ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μεταδίδεται με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία αποτελούνται από την ταυτόχρονη μετάδοση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου τα οποία ταλαντώνονται κάθετα μεταξύ τους και μεταδίδονται κάθετα στην διεύθυνση μετάδοσης. Η ταχύτητα μετάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κενό προσδιορίζεται στα 300.000 km/h δηλαδή με την ταχύτητα του φωτός. Για να ορίσουμε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα χρησιμοποιούνται τρία βασικά γνωρίσματα – χαρακτηριστικά :

- Ø Το μήκος κύματος (λ) το οποίο ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος και έχει ως μονάδα μέτρησης είναι το μέτρο (m) και πιο ρεαλιστικά οι υποδιαιρέσεις του μέτρου όπως nm.
- Ø Την ταχύτητα (c) η οποία είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος και μετράται σε second (s)
- Ø Την συχνότητα (f) η οποία ορίζεται ως ο αριθμός των κυμάτων που περνούν από ένα σημείο σε μια δεδομένη χρονική στιγμή προς την μονάδα του χρόνου και η μονάδα μέτρησης της είναι το Hz [16]

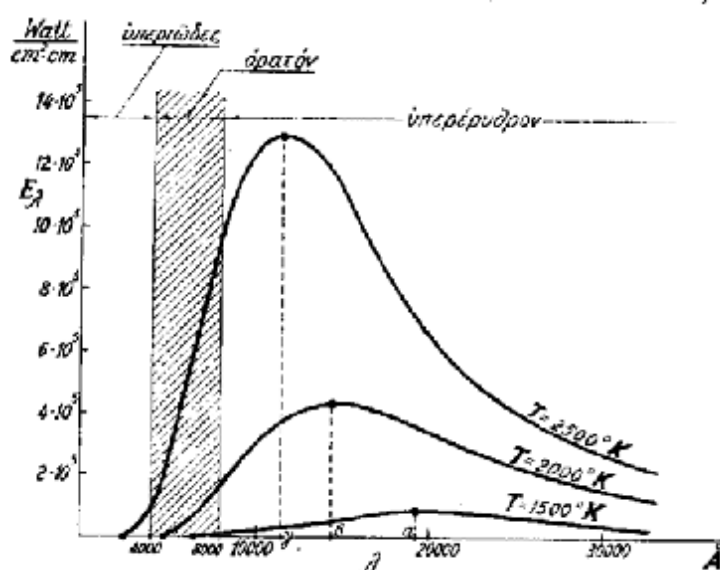
Η σχέση που συνδέει όλες τις παραπάνω ποσότητες είναι:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Η εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προέρχεται από τα δομικά στοιχεία της ύλης όπως άτομα, μόρια και ιόντα και συνδέεται με αυτά είτε από την θερμοκρασία των σωμάτων, όπου εκεί η ακτινοβολία ονομάζεται θερμική λόγω της θερμότητας που εκπέμπεται. Είτε για λόγους που δεν σχετίζονται με την θερμότητα

άλλα με την διέγερση και αυτοδιέγερση των δομικών μονάδων τις ύλης. Για παράδειγμα, ακτινοβολία εκπέμπεται κατά την αυτοδιέγερση ηλεκτρονίων τα οποία κινούνται από μια ενεργειακή στοιβάδα μεγαλύτερης ενέργειας σε μια στοιβάδα μικρότερης ενέργειας. Ο τρόπος της διέγερσης του ηλεκτρονίου, ή οποιαδήποτε αλλού δομικού στοιχείου της ύλης, μπορεί να επιτευχθεί είτε μετά από κρούση μεταξύ ηλεκτρονίου – ηλεκτρονίου όταν δρα ένα ηλεκτρικό πεδίο είτε μετά από απορρόφηση ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας[22].

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω το μήκος κύματος αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικότερα μεγέθη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό όταν εισάγεται η έννοια του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ως φάσμα νοείται το εύρος τιμών που καταλαμβάνει ένα μήκος κύματος. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χωρίζεται σε περιοχές όπως φαίνατε στο σχήμα (1) με ξεχωριστή ονομασία και διαφορετικές ιδιότητες.



Σχήμα 2.1: Το φάσμα του ορατού φωτός (nm)

Το προαναφερθέν εύρος τιμών προσδιορίζεται μεταξύ $10^{-7}\mu\text{m}$ και $10^{10}\mu\text{m}$ δηλαδή από τα μήκος κύματος των κοσμικών ακτίνων μέχρι το μήκος κύματος ραδιοφωνικών κυμάτων. Η ηλιακή ακτινοβολία ανήκει στην περιοχή του ορατού φωτός και συγκεκριμένα από 400 έως 700 nm όπως φαίνεται στο σχήμα 1.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι :

1. **Ένταση ακτινοβολίας:** Η οποία συμβολίζεται με I και ορίζεται ως ο ρυθμός πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια της ακτινοβολούμενης ενέργειας στην μονάδα του χρόνου. Υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (2) και έχει μονάδα μέτρησης το W/m^2 .

$$I = \frac{dU}{dt} \quad (2)$$

Όπου dU = στοιχειώδες ακτινοβολούμενη ενέργεια

2. **Ένταση ακτινοβολίας $I_{(\lambda)}$:** Ως ένταση της ακτινοβολίας ορίζεται η ποσότητα της ενέργειας $dQ_{(\lambda)}$ μια ακτινοβολίας μήκους κύματος λ η οποία διέρχεται κάθετα μια στοιχειώδης επιφάνεια dA και υπολογίζεται μέσω της σχέσης (3) με μονάδες μέτρησης W/m^2

$$I_{\lambda} = \frac{dQ}{dA} \quad (3)$$

Αντίστοιχα, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ηλιακής ακτινοβολίας είναι :

1. **Άμεση ηλιακή ακτινοβολία:** Η οποία συμβολίζεται με H_b και εκφράζει την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γής χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση. Η μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολία πραγματοποιείται με κατάλληλα όργανα τα οποία μετρούν την ακτινοβολία σε μονάδες $Joule/m^2$ αναλύοντας την σε δύο συνιστώσες την κάθετη και την παράλληλη στην επιφάνεια του συλλέκτη, με την παράλληλη συνιστώσα να μην συνεισφέρει στην μέτρηση διότι δεν υφίσταται μετατροπή της σε θερμική ενέργεια.
2. **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία:** Η οποία συμβολίζεται με H_d αποτελεί την ακτινοβολία με προέλευση από το σύνολο του ουράνιου θόλου και σχηματίζεται από την σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας και από σωματίδια της ατμόσφαιρας ενώ η μονάδα μέτρησης της είναι το $Joule/m^2$.
3. **Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία:** Η οποία συμβολίζεται με H_r και αποτελείται από την ανακλώμενη συνιστώσα της άμεση ηλιακής ακτινοβολίας από το έδαφος ή γειτονικά σε αυτήν αντικείμενα.
4. **Ολική ηλιακή ακτινοβολία:** Η οποία συμβολίζεται με H και αποτελεί ο άθροισμα όλων των επιμέρους ηλιακών ακτινοβολιών (Άμεση, Διάχυτη και Ανακλώμενη) με μονάδες μέτρησης $Joule/m^2$ ενώ οι τιμές της είναι

χαρακτηριστικές για κάθε ζώνη της χώρας ανά μήνα παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο και των μέσο όρο της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ανά περιοχή.

Μετά την σύντομη αναφορά στο θεωρητικό πλαίσιο της ηλεκτρομαγνητικής και ηλιακής ακτινοβολίας η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παρουσίαση των ιδιοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας και μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων[16].

2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ο ήλιος είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ύπαρξη της ζωής. Αποτελεί το αστέρι με ακτίνα 700.000km, μάζα 2×10^{30} kg, με εσωτερική θερμοκρασία 15.000.000 K και επιφανειακή 5.800K. Η πηγή θερμότητας του ήλιου αντλείτε από αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις με μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο που ως προϊόν έχει την έκλυση και κατ' επέκταση διάδοση ενέργειας προς το σύμπαν υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και σωματιδιακής φύσης[19].

Η μέση τιμή της ηλιακής ενέργεια στην επιφάνεια της γης είναι περίπου 600 W/m^2 , όμως η πραγματική της τιμή της εξαρτάται σημαντικά από τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Τα πρώτα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γής δέχονται συνολικά 174 PW (petawatts, δηλαδή 15^{10} W) ηλιακής ακτινοβολίας. Όπου, το 30% της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανακλάται πάλι προς το διάστημα, ενώ η υπόλοιπη απορροφάται από τα σύννεφα, τους ωκεανούς και το έδαφος της γης.

Το φάσμα του ηλιακού φωτός προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου 5800 K, δηλαδή όση είναι κατά μέσο όρο η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του ήλιου. Η διαμόρφωση του φάσματος είναι επαρκής για τη εξήγηση θερμικών εφαρμογών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως π.χ. η θέρμανση νερού στους ηλιακούς θερμοσίφωνες όμως δεν συμβαίνει το ίδιο και για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο διότι, αυτή καθορίζεται από τη φωτονική σύσταση της ακτινοβολίας. Το ηλιακό φως εμφανίζει μια πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, γεγονός που οφείλεται σε επιλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει [29]

Ενδεικτικά να αναφερθεί για την επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από το υψόμετρο της τοποθεσίας στην Γή που δέχεται την ακτινοβολία

Πιο συγκεκριμένα, έχει μετρηθεί ότι στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει περίπου τα $950\text{-}1000 \text{ W/m}^2$, ενώ η τιμή αυτή αυξάνεται κατά περίπου 7.5 W/m^2 για κάθε 100 m της τοποθεσίας, διότι μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

Τέλος, από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, μόλις το 60% είναι άμεση, δηλαδή, σε δέσμη ακτινών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οπτικές εφαρμογές π.χ. να εστιαστούν με κάτοπτρα ή φακούς. Η υπόλοιπη χαρακτηρίζεται ως διάχυτη, διότι πριν φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους έχει προηγουμένως πολλαπλώς σκεδαστεί και ανακλαστεί από τις επιφάνειες των διαφόρων σωματιδίων και σταγονιδίων που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και την απόσταση που διένυσε η ακτινοβολία μέσα σε αυτήν[37].

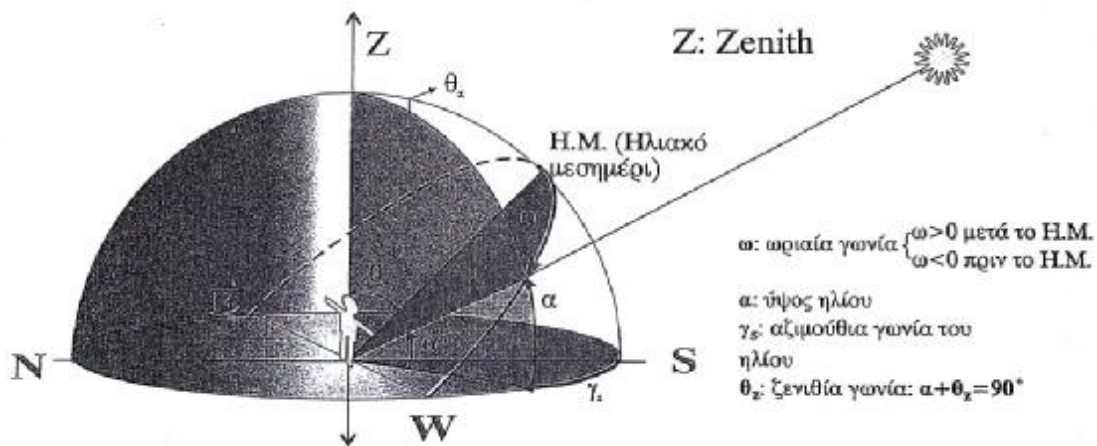
2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η συλλογή της ηλιακής θερμικής ενέργειας αξιοποιείται κυρίως για λόγους παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού. Για την παραγωγή θερμότητας αρκεί τα άτομα που δομούν ένα υλικό σώμα να απορροφήσουν ενέργεια από τα φωτόνια (που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία) που προσκρούουν επάνω τους και με αυτήν την ανταλλαγή ενέργειας να αρχίσουν να διεγείρονται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους στο πλέγμα και να προσκρούουν με τα γειτονικά τους άτομα και έτσι να υφίσταται μετάδοση της ενέργειας.

Η ποσότητα της ενέργειας η οποία θα καταλήξει στην επιφάνεια της γης μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σε άμεση εξάρτηση από τους παρακάτω παράγοντες

- 1) Το υψόμετρο
- 2) Την γεωγραφική θέση
- 3) Την υγρασία
- 4) Μετεωρολογικές συνθήκες
- 5) Τη θέση του ηλίου

Ένας ακόμη πολύ σημαντικός παράγοντας για την ηλιακή ακτινοβολία είναι η διαδρομή που θα διανύσει μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας. Η διαδρομή αυτή φέρει την ονομασία μάζα αέρα και αποτελεί έναν αριθμό που μας δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που διένυσε η ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με την με την ιδανική και άρα μικρότερη διαδρομή που είναι η κάθετη στην επιφάνεια της γης ή αλλιώς ζενίθ [56]



Εικόνα 2.1 :Η απεικόνιση του ζενίθ και η ημερήσια τροχιά του Ήλιου

Στη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου της μάζας αέρα εμφανίζονται απώλειες που οφείλονται σε οπτικά φαινόμενα όπως σκέδαση και ανάκλαση. Πιο συγκεκριμένα, ένα μέρος της ακτινοβολία σκεδάζεται στα σωματίδια της ατμόσφαιρας που συναντά και την μεταφορά της με ένα μικρό μέρος την σκεδαζόμενης ακτινοβολίας να επιστρέφει εκτός γήινης ατμόσφαιρας και με το υπόλοιπο να κατευθύνεται στην επιφάνεια της γης. Επίσης ένα δεύτερος μέρος της ακτινοβολίας υφίσταται ανάκλαση από σύννεφα αλλά και κατά την πρόσπτωση της στο έδαφος και διαχέεται στην ατμόσφαιρα [24]

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας κρίνεται απαραίτητη διότι μπορεί χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών μετασχηματίζοντας την σε άλλες μορφές ενέργειας

Στις μέρες μας η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται με πολλούς τρόπους με τον πιο δημοφιλή την η θέρμανση νερού για οικιακές χρήσεις.. Η συλλογή του ηλιακού φωτός πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι χωρίζονται δύο κύριες κατηγορίες: τους συγκεντρωτικούς και τους μη συγκεντρωτικούς. Ειδικότερα, οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες, οι οποίοι θεωρούνται και η απλούστερη μορφή συλλέκτη, έχουν κοινή την περιοχή που προσπίπτει το φως με αυτήν που το απορροφά. Αντίθετα, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής από την επιφάνεια απορρόφησης και μάλιστα πολλές φορές αυτή η διαφορά μπορεί να είναι και εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη. Στις εφαρμογές που απαιτούνται θερμοκρασίες κάτω των 100°C, όπως για παράδειγμα στην θέρμανση χώρων, χρησιμοποιούνται, γενικά, οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας[19].

Τέλος μια ακόμη πολύ δημοφιλής εφαρμογή η οποία συνεχώς αναπτύσσεται και η αξιοποίηση της συμβάλει στην επίλυση του ενεργειακού προβλήματος του πλανήτη είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με την βοήθεια των ιδιοτήτων των ημιαγωγών οι οποίοι αποτελούν μια κατηγορία υλικών με ξεχωριστές ηλεκτρικές ιδιότητες[53].

Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας και διατάξεις υπολογισμού της

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη αποτελείται από τρεις συνιστώσες: την άμεση, τη διάχυτη και την ανακλώμενη. Η άμεση ακτινοβολία (direct radiation) είναι αυτή που λαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση της πραγματοποιείται με πυρανόμετρο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2: Πυρανόμετρο μέτρησης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας

Υπολογίζεται σε συνάρτηση με την γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο συλλέκτη λαμβάνοντας υπόψη και τον προσανατολισμό του συλλέκτη, το ύψος και την αζιμούθια γωνία του ήλιου στην δεδομένη στιγμή της μέτρησης.

Η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα είναι η διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) και μπορεί να διαχυθεί από σωματίδια και υγρασία ή και να ανακλαστεί από τα σύννεφα. Ένα μέρος της ανακλάται από το έδαφος στον ουρανό και από εκεί διαχέεται ξανά προς τα πίσω. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι πολύ περισσότερο δύσκολο να υπολογιστεί από ότι η άμεση και μετράται με πυρανομετρό όπως αυτό της παρακάτω εικόνας[12].



Εικόνα 2.3: Πυρανόμετρο υπολογισμού της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας

Τέλος η τελευταία συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο συλλέκτη είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία η προκύπτει από την ανάκλαση του φωτός σε κοντινές επιφάνειες στο συλλέκτη. Αυτή η συνιστώσα είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο στην περίπτωση όπου ο συλλέκτης είναι κεκλιμένος, και όχι οριζόντιος. Η ανακλώμενη συνιστώσα μπορεί να προσφέρει μια σημαντική αύξηση της απόδοσης σε περίπτωση που κοντά στο συλλέκτη υπάρχουν επιφάνειες με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης όπως το χιόνι ή το νερό, αλλά σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι αμελητέα[17].

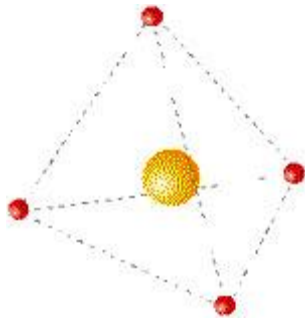
2.4 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Η αξιοποίηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τους ημιαγωγούς. Τα στερεά υλικά που είναι γνωστά με το όνομα ημιαγωγοί αποτελούν, τις τελευταίες δεκαετίες αντικείμενο εμπειριστατωμένων ερευνών τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εφαρμοσμένο πεδίο. Οι εφαρμογές που προσφέρουν είναι πολυάριθμες και οι σημαντικότερες σχετίζονται με την ανορθωτική τους λειτουργία, όπως και τα φωτοηλεκτρικά κύτταρα αλλά και την δυνατότητα σμίκρυνσης διατάξεων ημιαγωγιμότητας που έχει μεγάλη εφαρμογή στην ανάπτυξη συστημάτων πληροφορικής[33].

Θέλοντας να δώσουμε έναν ορισμό για του ημιαγωγούς θα λέγαμε ότι αποτελούν την κατηγορία των στερεών της οποίας ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων βρίσκεται ανάμεσα στους μονωτές (μικρός αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων) και τα μέταλλα (μεγάλος αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων). Λόγω αυτής της ιδιότητας η ειδική αντίσταση που εμφανίζουν βρίσκεται μεταξύ των τιμών $10^{-4} \Omega\text{m} - 10^{-7} \Omega\text{m}$ σε αντίθεση με τα μέταλλα τα οποία βρίσκονται στην περιοχή των $10^{-8} \Omega\text{m}$ και τους μονωτές με τιμές άνω των $10^{12} \Omega\text{m}$. Ακόμη το ενεργειακό χάσμα (E_g) μεταξύ των στοιβάδων τους είναι μωρότερο των 2eV ενώ εμφανίζουν σημαντική μείωση της ειδικής τους αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας[46].

Δομή και συμπεριφορά ενδογενούς ημιαγωγού

Κάθε τι υλικό έτσι και οι ημιαγωγοί αποτελούνται από άτομα τα οποία με την σειρά τους αποτελούνται από τον πυρήνα που είναι θετικά φορτισμένος και τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε διάφορες κβαντισμένες στάθμες, και έχουν ίσο και αντίθετο φορτίο με αυτό του πυρήνα Σε ένα κρυσταλλικό ημιαγωγό τα ηλεκτρόνια σθένους που είναι τα ηλεκτρόνια τις εξωτερικής στοιβάδας δημιουργούν δεσμούς μεταξύ τους και έτσι δημιουργείται η κρυσταλλική δομή[15].



Εικόνα 2.4: Η κρυσταλλική δομή του πυριτίου [<http://www.tmth.gr>]

Οι σημαντικότερες παράμετροι ενός ημιαγωγικού υλικού για τη λειτουργία ηλιακών κυττάρων είναι:

- Το ενεργειακό χάσμα
- ο αριθμός ελεύθερων φορέων (ηλεκτρονίων ή οπών) διαθέσιμων για την κατάσταση αγωγής και
- η «παραγωγή» και η επανασύνδεση των ελεύθερων φορέων (ηλεκτρονίων ή οπών) όταν πέφτει φως στο υλικό

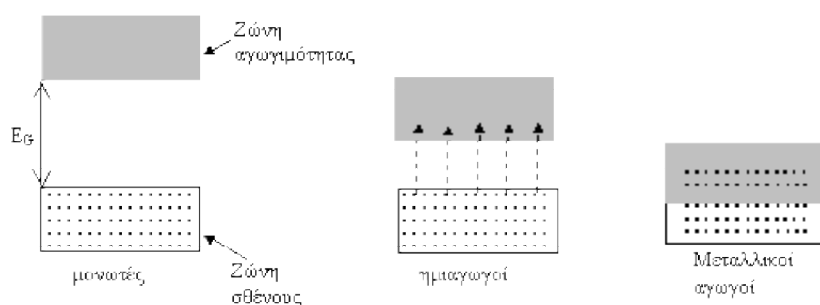
Το ενεργειακό χάσμα ενός ημιαγωγού είναι η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να διεγερθεί ένα ηλεκτρόνιο που είναι κολλημένο στο δεσμό του, ώστε να φτάσει στην ελεύθερη κατάσταση, όπου μπορεί να συμμετέχει στην αγωγή ρεύματος. Η δομή των ενεργειακών ζωνών ενός ημιαγωγού δίνει την ενέργεια των ηλεκτρονίων στον κατακόρυφο άξονα και καλείται «διάγραμμα ζωνών». Το χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο ενός ημιαγωγού καλείται «ζώνη σθένους» (E_V), ενώ το ενεργειακό επίπεδο στο οποίο ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να θεωρείται ελεύθερο (από τους ομοιοπολικούς δεσμούς, άρα να κινείται ως ρεύμα) καλείται «ζώνη αγωγιμότητας» (E_C). Το ενεργειακό χάσμα (E_G) είναι διαφορά (το χάσμα) στην ενέργεια μεταξύ της δεσμευμένης κατάστασης και της ελεύθερης, μεταξύ της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας. Επομένως, το ενεργειακό χάσμα είναι η ελάχιστη μεταβολή στην ενέργεια του ηλεκτρονίου που απαιτείται για να διεγείρει το ηλεκτρόνιο έτσι ώστε να μπορεί να συμμετέχει στην αγωγή ρεύματος[32].

Μόλις το ηλεκτρόνιο διεγερθεί και μεταβεί στη ζώνη αγωγιμότητας, είναι ελεύθερο να τριγυρίζει στον ημιαγωγό και να συμμετέχει στην αγωγή ρεύματος. Εντούτοις, η διέγερση ενός ηλεκτρονίου στη ζώνη αγωγιμότητας θα επιτρέψει επίσης μια πρόσθετη διαδικασία αγωγής να πραγματοποιηθεί. Η διέγερση ενός ηλεκτρονίου στις

άκρες της ζώνης αγωγιμότητας αφήνει πίσω του ένα κενό διάστημα για ένα άλλο ηλεκτρόνιο. Ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό άτομο μπορεί να κινηθεί σε αυτό το κενό διάστημα. Όταν αυτό το ηλεκτρόνιο κινείται, αφήνει πίσω του ένα κενό διάστημα. Η συνεχής μετακίνηση του κενού για ένα ηλεκτρόνιο, αποκαλούμενου «οπή», μπορεί να θεωρηθεί ως μετακίνηση ενός θετικού φορτίου μέσω του κρυσταλλικού πλέγματος[25].

Συνεπώς, η διέγερση ενός ηλεκτρονίου στη ζώνη αγωγιμότητας οδηγεί όχι μόνο στη μετάβαση του ηλεκτρονίου στη ζώνη αγωγιμότητας, αλλά και στη δημιουργία μιας οπής στη ζώνη σθένους. Λέμε, χαρακτηριστικά, ότι δημιουργήθηκε ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής. Κατά συνέπεια, και το ηλεκτρόνιο και η οπή μπορούν να συμμετέχουν στην αγωγή ρεύματος και καλούνται «φορείς».

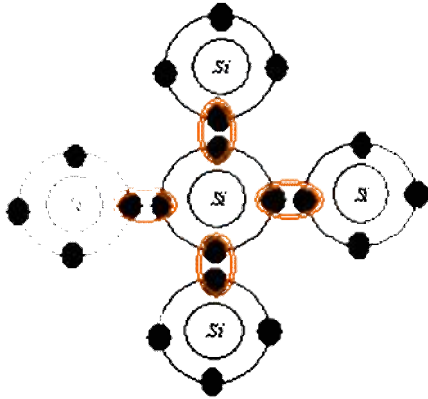
Η έννοια μιας κινούμενης «οπής» είναι ανάλογη με αυτήν μιας φυσαλίδας σε ένα υγρό. Αν και στην πραγματικότητα, το υγρό είναι που κινείται, είναι ευκολότερο να περιγράψει κανείς την κίνηση της φυσαλίδας που ακολουθεί την αντίθετη κατεύθυνση.



Εικόνα 2.5 : Παρουσίαση των τριών τύπων ηλεκτρικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα στερεά [<http://users.sch.gr>]

Συμπεριφορά ενδογενούς ημιαγωγού

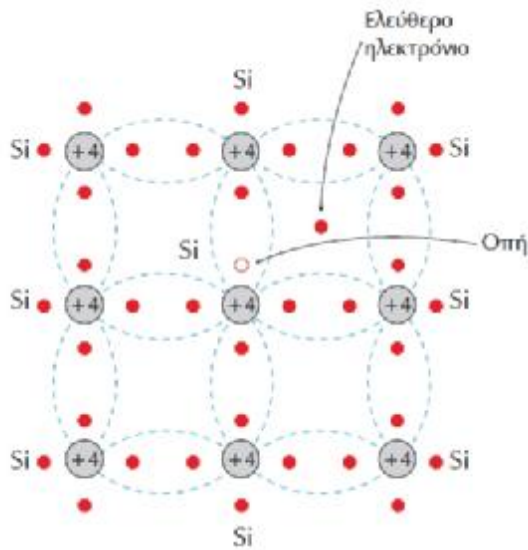
Σε ένα κρυσταλλικό ημιαγωγό τα ηλεκτρόνια σθένους που είναι τα ηλεκτρόνια τις εξωτερικής στοιβάδας δημιουργούν δεσμούς μεταξύ τους και έτσι δημιουργείται η κρυσταλλική δομή[39].



Εικόνα 2.6 : Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με εμφανείς τους ομοιοπολικούς δεσμούς (κόκκινοι κύκλοι) που αναπτύσσονται στο πλέγμα

Στη θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός ($T=0$ K) ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν μονωτής αφού όλα τα ηλεκτρόνια συμμετάσχουν στους δεσμούς. Αντίθετα σε θερμοκρασία διάφορη του μηδενός παρατηρούνται τα εξής:

Τα ηλεκτρόνια σθένους απορροφούν θερμική ενέργεια αυξάνοντας την εσωτερική ενέργεια τους με αποτέλεσμα το άτομο είτε να διεγείρεται θερμικά και αυτό να εκφράζεται ως ταλαντώσεις των ατόμων γύρω από την θέση ισορροπίας με έκλυση θερμότητας είτε αν η αύξηση αυτή της ενέργεια τους είναι αρκετά μεγάλη τέτοια ώστε να καθίσει το ηλεκτρόνιο ικανό να μεταβεί στην ελεύθερη κατάσταση, δηλαδή από την ζώνη σθένους να περάσει στην ζώνη αγωγιμότητας και να κινείται ελεύθερα στον κρύσταλλο. Η ενεργειακή απόσταση ανάμεσα την ζώνη σθένους (E_c) και την ζώνη αγωγιμότητας (E_v) ονομάζεται ενεργειακό χάσμα (E_g) και η ενέργεια που απαιτείται για την μετάβαση αυτή ονομάζεται ενέργεια ιονισμού που σε θερμοκρασία δωματίου ,δηλαδή 300 K, είναι περίπου 0,66 eV[27].



Εικόνα 2.7 : Απεικόνιση της κίνησης ηλεκτρονίου δημιουργώντας οπές και ελεύθερα ηλεκτρόνια [<http://users.sch.gr>]

Εγκαταλείποντας το ηλεκτρόνιο την θέση του δημιουργεί μια οπή δηλαδή ένα θετικό φορτίο που είναι ικανό να τραβήξει ένα ηλεκτρόνιο από το διπλανό άτομο και έτσι έχουμε την δημιουργία δυο φορέων αντίθετου φορτίου που κινούνται αντίθετα στον κρύσταλλο. Έτσι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ο ημιαγωγός παρουσιάζει αγωγιμότητα αφού κάποια από τα ηλεκτρόνια σθένους έχουν μεταβεί στην ζώνη αγωγιμότητας άρα και σε ελεύθερη κατάσταση[12].

Έτσι, δημιουργούνται ελεύθεροι φορείς και στις δύο ζώνες. Η συγκέντρωση αυτών των φορέων καλείται συγκέντρωση φορέων ενδογενούς ημιαγωγού (ή απλώς ενδογενής συγκέντρωση) και συμβολίζεται με n_i . Το ημιαγωγικό υλικό που δεν έχει νοθευτεί με προσμίξεις καλείται ενδογενές υλικό. Η ενδογενής συγκέντρωση είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας ή ο αριθμός των οπών στη ζώνη σθένους

Αυτός ο αριθμός φορέων εξαρτάται από το ενεργειακό χάσμα του υλικού και από τη θερμοκρασία του. Μεγάλο ενεργειακό χάσμα καθιστά δυσκολότερο για έναν φορέα να διεγερθεί θερμικά και να το ξεπεράσει. Έτσι, η ενδογενής συγκέντρωση είναι μικρότερη στα υλικά με υψηλότερο ενεργειακό χάσμα. Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την πιθανότητα ένα ηλεκτρόνιο να μεταβεί στη ζώνη αγωγιμότητας, πράγμα το οποίο θα αυξήσει τη συγκέντρωση φορέων του ενδογενούς

ημιαγωγού. Αυτό μεταφράζεται άμεσα σε υψηλότερη απόδοση των ηλιακών κυττάρων.

Απορρόφηση Φωτός από Ημιαγωγό

Όταν φώς προσπίπτει σε ένα ημιαγωγό είναι δυνατόν να ανακλαστεί, να διαπεράσει τον κρύσταλλο ή να απορροφηθεί. Στην τελευταία περίπτωση κβαντισμένες ποσότητες ενέργεια δηλαδή τα φωτόνια απορροφούνται από τον κρύσταλλο και διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις ανάλογα με την ενέργεια του φωτονίου:

α) $E < E_g$ η ενέργεια που προσλαμβάνει το ηλεκτρόνιο σθένους από το φωτόνιο είναι μικρότερη από το εύρος της απαγορευμένης ζώνης οπότε δεν μπορεί να μεταβεί στην ζώνη αγωγιμότητας, αλλά παρουσιάζεται μια ταλάντωση των ατόμων του κρυστάλλου χωρίς να χαλαρώσουν οι δεσμοί μεταξύ τους. Τα ηλεκτρόνια σθένους ανεβαίνουν σε μεγαλύτερες ενεργειακές καταστάσεις μη ευσταθείς και επιστρέφουν ξανά στην αρχική αποδίδοντας την ενέργεια που προσέλαβαν με μορφή θερμότητας

β) $E = E_g$ η ενέργεια του φωτονίου που απορροφάται είναι ίση με το εύρος της απαγορευμένης ζώνης οπότε το ηλεκτρόνιο μπορεί να περάσει σε ελεύθερη κατασταση αφήνοντας πίσω του στη ζώνη σθένους μια οπή

γ) $E > E_g$ η ενέργεια του φωτονίου είναι μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα οπότε έχουμε πάλι την δημιουργία ζεύγους ηλεκτρονίου-οπή. Η περίσσεια ενέργεια αποδίδετε στα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας με την μορφή κινητικής ενέργειας

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι όταν φώς προσπίπτει σε ένα ημιαγωγό αυξάνεται η αγωγιμότητα του αφού αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας αλλά και οι οπές στη ζώνη σθένους[28].

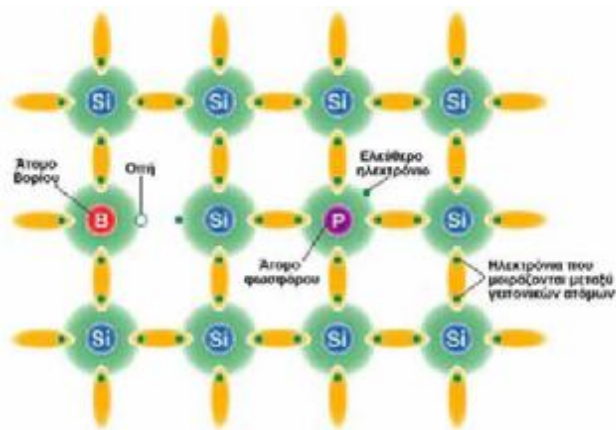
Προsmίξεις

Είναι δυνατό να μετατοπιστεί η ισορροπία των ηλεκτρονίων και των οπών σε ένα κρυσταλλικό πλέγμα μέσω προσμίξεων με άλλα άτομα (ντοπάρισμα). Άτομα με ένα περισσότερο ηλεκτρόνιο σθένους από ότι το πυρίτιο χρησιμοποιούνται για να παράγουν ημιαγώγιμο υλικό «τύπου-n». Αυτά τα άτομα-προsmίξεις είναι στοιχεία της ομάδας V του περιοδικού πίνακα και έχουν 5 ηλεκτρόνια σθένους (π.χ. φώσφορος). Προσφέροντας 4 ηλεκτρόνια για καθέναν από τους 4 ομοιοπολικούς δεσμούς με τα

άτομα του πυριτίου, εμφανίζεται περίσσεια ενός ηλεκτρονίου, που δεν ανήκει σε δεσμό. Με την έγχυση πολλών ατόμων φωσφόρου δημιουργούνται πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αυτά τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε μια ενδιάμεση ενεργειακή στάθμη πολύ κοντά στη ζώνη αγωγιμότητας, στη ζώνη δοτών. Έτσι, τους είναι πιο εύκολο απ' ό,τι πριν να μεταβούν στη ζώνη αγωγιμότητας, αν τους δοθεί ένα μικρό ποσό ενέργειας (μικρότερο από το ενεργειακό χάσμα EG).

Παρόμοια, άτομα με ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο σθένους χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υλικών «τύπου-p». Τέτοια άτομα-προσμίξεις είναι στοιχεία της ομάδας III του περιοδικού πίνακα, π.χ. το βόριο. Αυτά έχουν μόνο 3 ηλεκτρόνια σθένους με τα οποία αλληλεπιδρούν με τα άτομα πυριτίου. Πιο συγκεκριμένα, όταν αντικατασταθεί ένα άτομο πυριτίου με ένα άτομο-πρόσμιξη (π.χ. βορίου) θα σχηματιστούν και πάλι 4 ομοιοπολικοί δεσμοί, αλλά από τον τέταρτο δεσμό θα λείπει ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό συνεπάγεται το σχηματισμό μιας οπής. Τελικά, με την έγχυση πολλών ατόμων βορίου, τα οποία ονομάζονται λήπτες, δημιουργούνται πολλές οπές. Αυτές ανήκουν σε μια ενεργειακή κατάσταση, πολύ κοντά στη ζώνη σθένους, που λέγεται ζώνη ληπτών. Αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ πιο εύκολο για μια οπή να μεταβεί στη ζώνη σθένους, αν αποκτήσει ένα μικρό ποσό ενέργειας. Τότε, όταν πάει στη ζώνη σθένους, θα μπορεί να συμμετέχει ελεύθερα στη δημιουργία ρεύματος.

Στα υλικά που έχουν ντοπαρισθεί, υπάρχουν πάντα περισσότεροι φορείς του ενός τύπου συγκριτικά με τον άλλο. Ο τύπος φορέων με την υψηλότερη συγκέντρωση καλείται «φορείς πλειονότητας», ενώ οι φορείς χαμηλότερης συγκέντρωσης καλούνται «φορείς μειονότητας». Προφανώς, σε ένα υλικό τύπου-n οι φορείς πλειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια, ενώ οι φορείς μειονότητας είναι οι οπές[27].



Εικόνα 2.8 : “Ντοπαρισμένο” πλέγμα πυριτίου με άτομα Βορίου και Φωσφόρου
[\[http://gneng.blogspot.gr\]](http://gneng.blogspot.gr)

2.5 ΕΞΩΓΕΝΗΣ ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΤΥΠΟΥ P ΚΑΙ N

Τα παραπάνω παραγόμενα φορτία αποτελούν την βασική διαδικασία του φωτοβολταϊκού φαινομένου χωρίς όμως να μπορούν να δώσουν ρεύμα από μόνα τους, αφού από μόνα τους τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα εκτελούσαν τυχαίους ελιγμούς, για σύντομο χρονικό διάστημα, και θα επανενώνονταν με τις οπές. Έτσι απαιτείται ένας επιπλέον μηχανισμός το λεγόμενο φράγμα δυναμικού που επιτυγχάνεται χάρη τις ιδιότητες των εξωγενή ημιαγωγών τύπου p και n[15].

Ημιαγωγός Τύπου n

Αν νοθεύσουμε ένα ημιαγωγό ενός τετρασθενούς στοιχείου (πχ πυριτίο) με άτομα ενός πεντασθενούς στοιχείου ένα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους του πεντασθενούς στοιχείου περισσεύει στην δημιουργία των δεσμών. Έτσι αυτό το ηλεκτρόνιο δεν βρίσκεται ούτε στην ζώνη σθένους ούτε στην ζώνη αγωγιμότητας αλλά σε μια ενδιάμεση κατάσταση μέσα στην απαγορευμένη ζώνη, σε στάθμη κοντά στην ζώνη αγωγιμότητας, δημιουργώντας ένα νέο επίπεδο δοτών που σε θερμοκρασία δωματίου μεταπηδούν στην ζώνη αγωγιμότητα χωρίς τον κίνδυνο επανασύνδεσης αφού δεν έχουν αφήσει πίσω τους κάποια οπή αλλά ένα θετικό ιόν του πεντασθενούς στοιχείου.

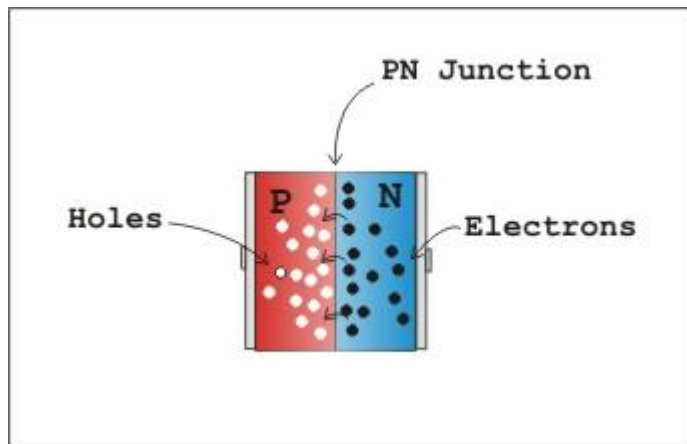
Οπότε στον εξωγενή ημιαγωγό τύπου n έχουμε περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας[32].

Ημιαγωγός Τύπου p

Αντίστοιχα αν νοθεύσουμε ένα ημιαγωγό ενός τετρασθενούς στοιχείου (πχ πυρίτιο) με άτομα ενός τρισθενούς στοιχείου στον τέταρτο δεσμό θα λείπει ένα ηλεκτρόνιο οπότε και θα έχουμε την δημιουργία μια οπής η οποία βρίσκεται σε ενδιάμεση κατάσταση αλλά αυτή την φορά σε στάθμη κοντά στην ζώνη σθένους. Έτσι ένας κρύσταλλος τύπου p έχει θετικά φορτία (οπές) ικανά να μετακινηθούν στο κρυσταλλικό πλέγμα.

Επαφή pn

Όπως περιγράψαμε στις προηγούμενες παραγράφους σε ένα ημιαγωγό τύπου n οι φορείς πλειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτία) ενώ στον τύπου p φορείς πλειονότητας είναι οι οπές (θετικά φορτία). Έτσι αν φέρω σε επαφή ένα ημιαγωγό τύπου p και έναν τύπου n, μέσω του φαινομένου της διάχυσης μεταπηδούν ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου n στον ημιαγωγό τύπου p και έτσι στην επιφάνεια επαφής των δυο ημιαγωγών δημιουργείτε μια ανισορροπία φορτίων, με την πλευρά του τύπου p να φορτίζεται αρνητικά λόγω των ηλεκτρονίων που πέρασαν και την πλευρά του τύπου n θετικά λόγω της απώλειας των ηλεκτρονίων. Έτσι δημιουργείται γύρω από την επιφάνεια επαφής ένα φράγμα δυναμικού που αποτρέπει την περαιτέρω μεταπήδηση των ηλεκτρονίων απο την πλευρά n στην πλευρά p, και αποτελεί τον απαραίτητο μηχανισμό για την αξιοποίηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου περιοχή γύρω από την επαφή ονομάζεται περιοχή απογύμνωσης[47].



Εικόνα 2.9 : Άποψη της επαφής pn [<http://www.imagesco.com>]

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί τον τρόπο κατασκευής μιας διόδου επαφής p-n που όταν πολώνεται ορθά καταργείται το φράγμα δυναμικού και έχουμε ροή ρεύματος ενώ όταν πολώνεται ανάστροφα ενισχύεται η περιοχή απογύμνωσης και εμποδίζεται η ροή ρεύματος[25].

2.6 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στηρίζεται στο φαινόμενο της φωτοδιέγερσης. Με αυτό, όταν φως προσπίπτει στον κρύσταλλο του ημιαγωγιμού υλικού, παράγονται φορείς. Είναι ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας, ελεύθερα από ομοιοπολικούς δεσμούς για να κινούνται και οπές αντίστοιχα στη ζώνη σθένους.

Αυτός, όμως, ο μηχανισμός παραγωγής φορέων δεν επαρκεί για να μπορεί ο κρύσταλλος να δώσει ρεύμα από μόνος του. Ο λόγος είναι γιατί οι συγκεκριμένοι φορείς π.χ. τα ηλεκτρόνια, έχουν βέβαια αποκτήσει παραπάνω ενέργεια, έχουν απελευθερωθεί τελείως από το δεσμό τους, είναι στη ζώνη αγωγιμότητας (στην ανώτερη αυτή ενεργειακή κατάσταση), αλλά σε λίγο χάνουν τη μεγαλύτερη ενέργειά τους. Ελεύθερα, διανύουν άτακτα και χωρίς «χρήσιμο» προσανατολισμό κάποια απόσταση μέσα στον κρύσταλλο και τελικά, με τις συνεχείς συγκρούσεις με τα άτομα π.χ. του πυριτίου, χάνουν την ενέργεια που είχαν αποκτήσει. Έτσι, αναπόφευκτα, βρίσκονται να έχουν τόση ενέργεια, όση έχει ένα ηλεκτρόνιο που είναι εγκλωβισμένο

σε έναν ομοιοπολικό δεσμό. Με άλλα λόγια, τα μέχρι πρότινος ελεύθερα ηλεκτρόνια, επανέρχονται στην προηγούμενη ενεργειακή τους κατάσταση, που χαρακτηρίζεται ονομάζεται ζώνη σθένους και, έχοντας αποδώσει όλη την περίσσεια ενέργειά τους ως θερμότητα, επανέρχονται στους ομοιοπολικούς δεσμούς. Άρα και πάλι, δεν είναι ελεύθερα, αλλά δεμένα. Δεν μπορούν, πλέον, να δώσουν ρεύμα[14].

Για να λειτουργεί ως πηγή ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο, λοιπόν, απαιτείται κάτι παραπάνω. Πρόκειται για έναν μηχανισμό, το φράγμα δυναμικού (potential barrier). Σκοπός του θα είναι να εμποδίζει την τελείως άτακτη πορεία των φορέων που παράγονται από τη φωτοδιέγερση και να τους κατευθύνει. Εξ ορισμού, θέτει περιορισμούς στους φορείς ανάλογα με την ενέργεια που έχουν (δηλαδή τους εμποδίζει ή όχι) και τελικά, διαχωρίζει τους φορείς, πράγμα που οδηγεί σε παραγωγή τάσης. Πώς γίνεται αυτό:

Είναι φανερό ότι, με έναν κρύσταλλο πυριτίου (ή άλλου ημιαγωγού) και λειτουργώντας με τον παραπάνω τρόπο, η φωτοδιέγερση δεν αρκεί. Αυτό που κάνουμε είναι να φτιάξουμε μια επαφή p_n , αντί να έχουμε έναν ενιαίο κρύσταλλο ημιαγωγού και μάλιστα ενδογενούς (μη ντοπαρισμένου). Όταν γίνει αυτό, αμέσως αρχίζει μια διαδικασία διάχυσης. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που προέρχονται από το ντοπαρίσμα (από τα άτομα-προσμίξεις, δότες) και που βρίσκονται στο υλικό τύπου- n , επειδή παρουσιάζουν μεγάλη συγκέντρωση σε αυτό το υλικό και πολύ μικρή στο υλικό τύπου- p , αρχίζουν να διαχέονται. Τείνουν να καταλάβουν, δηλαδή όλο το χώρο που τους διατίθεται, μαζί με αυτόν όπου σπανίζουν (υλικό τύπου- p). Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και με τις οπές που βρίσκονται, αρχικά, στο υλικό τύπου- p . Αυτή η μετακίνηση φορέων ισοδυναμεί με την ύπαρξη ρεύματος, που λέγεται ρεύμα διάχυσης[23].

Όταν τα ηλεκτρόνια διαπεράσουν την επαφή p_n , βρίσκονται μέσα στο υλικό τύπου- p , δηλαδή σε ένα «εχθρικό περιβάλλον». Επειδή, μάλιστα, οι οπές είναι πάρα πολλές, όσον αφορά τη συγκέντρωσή τους, λόγω του ντόπινγκ, γίνεται αμέσως επανασύνδεση. Έτσι, η διάχυση οδηγεί σε πάρα πολλές επανασυνδέσεις κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δύο υλικών (επαφή) και είναι αναμενόμενο να μειωθεί σημαντικά ο αριθμός των οπών σε αυτήν την περιοχή του υλικού τύπου- p . Φυσικά, τα αντίστοιχα συμβαίνουν και στο υλικό τύπου- n .

Έχει τονιστεί, όμως, ότι ένα ντοπαρισμένο υλικό είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Τώρα, λοιπόν, που χάθηκαν πολλές οπές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια, μέσα στο υλικό τύπου-p, παύει να είναι εκεί ηλεκτρικά ουδέτερο. Κάποια από τα αρνητικά δεσμευμένα φορτία δεν καλύπτονται από θετικά, που ήταν οπές. Αυτά τα φορτία λέγονται ακάλυπτα (uncovered). Τελικά, παρουσιάζεται, συνολικά, αρνητικό φορτίο και ομοίως, στην άλλη πλευρά της επαφής, θετικό φορτίο. Πρόκειται για μια περιοχή κοντά στην επαφή, όπου λόγω επανασύνδεσης, όπως τονίστηκε, χάθηκαν φορείς πλειονότητας. Για αυτό, λέγεται περιοχή αραίωσης ή απογύμνωσης (depletion region) [24].

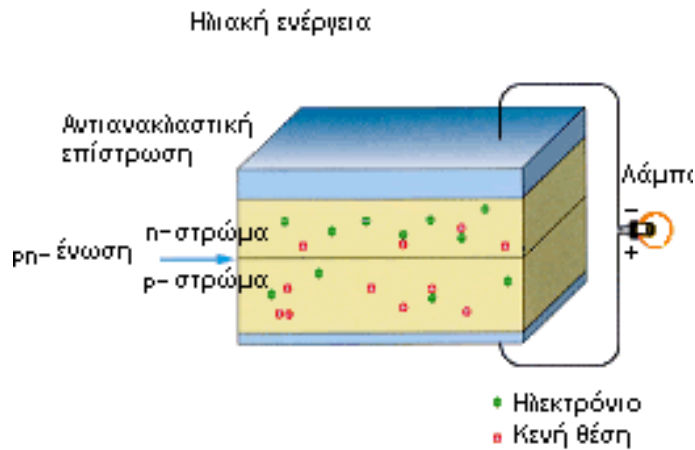
Αυτό, όμως, που άλλαξε, τώρα, είναι το εξής: όσο γινόταν η διάχυση, ηλεκτρόνια μετακινούνταν προς την περιοχή τύπου- p. Ελεύθερα; Όχι τελείως. Όσο αναπτυσσόταν στην περιοχή τύπου- p αρνητικό φορτίο (κοντά στην επαφή πάντα), τόσο γινόταν και πιο δύσκολο για τα ηλεκτρόνια να προσεγγίσουν αυτήν την περιοχή, λόγω των απωθητικών δυνάμεων. Έτσι, η διάχυση, με την πάροδο του χρόνου, δυσχεραίνεται, ώσπου σταματάει (σχεδόν τελείως, αλλά όχι τελείως). Και πράγματι: Με την περιοχή απογύμνωσης που σχηματίστηκε, έχουμε και ένα ηλεκτρικό πεδίο, με φορά αυτήν από τα θετικά φορτία προς τα αρνητικά (όπως πάντα κατά το νόμο του Coulomb). Αυτό το πεδίο εμποδίζει και σχεδόν σταματάει τελείως τη διάχυση.

Τώρα πια, που σχηματίστηκε η περιοχή απογύμνωσης και σε κατάσταση ισορροπίας, έχουμε δύο ρεύματα. Ένα πολύ μικρό ρεύμα διάχυσης και ένα ολίσθησης. Το πρώτο οφείλεται σε διάχυση. Πραγματικά, κάποιοι φορείς πλειονότητας της κάθε πλευράς του κρυστάλλου (π.χ. ηλεκτρόνια του υλικού τύπου-n), παρά το πεδίο που περιγράψαμε, επειδή θερμικά έτυχε να αποκτήσουν μεγάλη ενέργεια, καταφέρνουν να το περνούν και διαχέονται, τελικά, προς την άλλη πλευρά της επαφής. Το δεύτερο ρεύμα ονομάζεται ρεύμα ολίσθησης. Οφείλεται σε φορείς μειονότητας (π.χ. ηλεκτρόνια που βρίσκονται μέσα στο υλικό τύπου- p). Αυτοί οι φορείς δημιουργήθηκαν τυχαία και θερμικά. Δηλαδή, λόγω θερμότητας, κάποια ηλεκτρόνια αποκτούν τόση ενέργεια, ώστε αποδεσμεύονται από τον ομοιοπολικό δεσμό τους και μεταβαίνουν στη ζώνη αγωγιμότητας. Βέβαια, υπάρχει ο κίνδυνος αυτοί οι φορείς μειονότητας να επανασυνδεθούν, διότι βρίσκονται σε «εχθρικό περιβάλλον» (κοντά στους πολυάριθμους φορείς πλειονότητας του υλικού τύπου- p). Αν δε συμβεί αυτό και αν μπορέσουν να πλησιάσουν την επαφή, τότε κατευθείαν συλλέγονται από αυτήν. Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει ότι το πεδίο της περιοχής αραίωσης (το οποίο σε

αυτήν την περίπτωση βοηθάει και δεν εμποδίζει) τα σπρώχνει με δύναμη προς το υλικό τύπου- n (προς την άλλη πλευρά της επαφής). Στην ισορροπία, τα δύο αυτά ρεύματα είναι ίσα και επομένως, η επαφή p-n παράγει μηδενικό ρεύμα[6].

Όταν, όμως συμβαίνει η φωτοδιέγερση, το φωτόνιο παράγει ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής, αν βεβαίως έχει την απαιτούμενη ενέργεια. "Μετακινεί" ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας και μια οπή στη ζώνη σθένους. Έστω ότι το φωτόνιο προσπίπτει σε ένα σημείο του κρυστάλλου πυριτίου, όπου έχω υλικό τύπου-p. Το ηλεκτρόνιο που είναι ελεύθερο, πλέον, να κινείται μπορεί να υποστεί επανασύνδεση, διότι αποτελεί φορέα μειονότητας μέσα στο «εχθρικό περιβάλλον» του υλικού τύπου-p. Συνήθως, όμως, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συμβαίνει η φωτοδιέγερση κοντά στην επαφή. Άρα, το ηλεκτρόνιο έχει πολλές πιθανότητες να συλλεγεί από το πεδίο της επαφής, συμ-μετέχοντας στο ρεύμα ολίσθησης για το οποίο έγινε λόγος προηγουμένως. Η οπή, που είναι φορέας πλειονότητας, εμποδίζεται από το ίδιο πεδίο (φράγμα δυναμικού) να διαχυθεί και να περάσει και αυτή την επαφή. Μένει, λοιπόν, κατά πάσα πιθανότητα, στο υλικό τύπου-p.

Το αποτέλεσμα: Αν συνεχιστεί η πρόσπτωση φωτονίων και η φωτοδιέγερση, έχουμε πολλά ηλεκτρόνια στο υλικό τύπου-n (πολλούς φορείς πλειονότητας) και πολλές οπές στο υλικό τύπου-p. Έγινε ο διαχωρισμός των φορέων για τον οποίον χρειαζόμασταν το φράγμα δυναμικού. Τα ντοπαρισμένα υλικά, όμως, είναι οπωσδήποτε ηλεκτρικά ουδέτερα. Άρα, τώρα που οι φορείς πλειονότητας αυξήθηκαν, το υλικό τύπου-n έγινε αρνητικά φορτισμένο και το υλικό τύπου-p, αντιστοίχως, θετικά φορτισμένο. Αυτή η παρουσία φορτίου από τη μία αρνητικού και από την άλλη θετικού, παράγει τάση. Έτσι, η επαφή p-n έγινε πηγή τάσεως. Επιπλέον, επειδή πολλά φωτόνια προσπίπτουν στα υλικά και αρκετά ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής δε συναντούν επανασύνδεση, το ρεύμα ολίσθησης μεγαλώνει. Κατά τη συμβατική του φορά, έχει κατεύθυνση προς τα έξω από το κύτταρο σε σχέση με την τάση. Σαν αποτέλεσμα έχουμε ισχύ να παράγεται και να εξέρχεται από το κύτταρο[18].



Εικόνα 2.10: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από επαφή τύπου pn σε φωτοβολταϊκό κύτταρο [http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/pv_cell.htm]

2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα φ/β ξεκίνησαν να κάνουν την εμφάνισή τους σχετικά νωρίς, παράλληλα με τη χρήση άλλων ΑΠΕ, αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των φ/β συνεχώς βελτιωνόταν. Βασικός πελάτης των φ/β τα χρόνια που ακολούθησαν, είναι η NASA. Το υψηλό κόστος εγκατάστασης φ/β είναι ο πιο σημαντικός λόγος της μη ένθερμης αποδοχής από την αγορά. Για παράδειγμα, η τιμή των φ/β ξεκίνησε από τα 500\$ ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ, μετά από 14 χρόνια, το 1970 έφτασε τα 100\$/Watt. Το 1973, οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής έφεραν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα 50\$/Watt.

Η πρώτη εγκατάσταση φ/β που φτάνει στα επίπεδα του 1MW έγινε το 1980 στην Καλιφόρνια, από την εταιρεία ARCO Solar, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων. Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή φ/β έφτασε τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$.

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1999, η εταιρία Spectrolab συνεργαζόμενη με το εργαστήριο National Renewable Energy Laboratory (NREL) των Η.Π.Α. αναπτύσσει ένα φ/β στοιχείο με απόδοση 32.3%. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των

Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των φ/β πλαισίων φτάνει συνολικά τα 200 MW.

Από το 2004 και μετά, η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των φ/β φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων στα 6.5 €/Wp. Η Γερμανία και η Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή φ/β πλαισίων και σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φ/β και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα 1.200 MW ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα 6.500.000.000\$.

Στη σημερινή εποχή, με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά, κυρίως, υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας[49].

Η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών έχει αυξηθεί τα τελευταία είκοσι χρόνια. Από το 1982 τα φ/β συστήματα παρουσιάζουν μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 15%. Ο μεγάλος αυτός ρυθμός ανάπτυξης που καταγράφεται προκύπτει από τη μείωση του κόστους και τις τεχνικές κατασκευαστικές βελτιώσεις στη σχεδίαση, τα υλικά και στην κατασκευή των ηλιακών στοιχείων που έχουν αυξήσει την απόδοση της λειτουργίας τους και έχουν μειώσει το κόστος. Είναι γεγονός ότι από την πρώτη τους εμφάνιση τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν παρουσιάσει είκοσι φορές πτώση τους κόστους τους, ενώ αναμένεται αυτό να μειωθεί ακόμα περισσότερο και να φτάσει το 1,3 ευρώ ανά watt, μέχρι το 2030.

Τα συστήματα αυτά εάν καλύπτουν μεγάλη έκταση μπορούν να λειτουργήσουν είτε αυτόνομα τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια μία συγκεκριμένη μονάδα εξασφαλίζοντας το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία της είτε ως διασυνδεδεμένα συστήματα με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή τροφοδοτούν το δίκτυο με την παραγόμενη από αυτά ηλεκτρική ενέργεια για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού.

Τα φ/β συστήματα αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ (Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας) και είναι η πιο γνωστή μορφή στο ευρύ κοινό. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα τα οποία αναφέρονται

παρακάτω. Ξεκινώντας από τα μειονεκτήματα, βασικό μειονέκτημα ενός φ/β είναι η ανάγκη κάλυψης μεγάλων εκτάσεων γης για την παραγωγή αξιόλογου ποσού ενέργειας. Αυτή η αλλαγή χρήσης της γης κοστίζει τόσο στο περιβάλλον όσο και στην γεωργία αφού περιορίζεται η παραγωγή τροφίμων. Επίσης, το κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Παρόλα αυτά όμως, τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή τους αποτελούν σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξή τους. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους είναι μηδενικό αφού δεν προκαλούν θόρυβο, ούτε ρυπαίνουν. Ταυτόχρονα, μετά την εγκατάστασή τους δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση και απολαμβάνουν μεγάλη διάρκεια ζωής που μπορεί να ξεπεράσει τα είκοσι χρόνια. Τέλος, αποτελούν μια αξιόπιστη λύση ενεργειακής επάρκειας για περιοχές απομακρυσμένες και μη διασυνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Πιο συγκεκριμένα, για τα θερμικά ηλιακά συστήματα ακόμα και αν υπάρχει σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, η λειτουργία τους εξομαλύνει τις αιχμές φορτίου με αποτέλεσμα την αποφυγή πτώσης του. Αν υποθέσουμε ότι η παραγωγή και η κατανάλωση σε ένα τέτοιο ηλιακό σύστημα γίνεται τοπικά, αποφεύγονται οι απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, κάτι που αντιστοιχεί στην κατά 10% εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου[49].

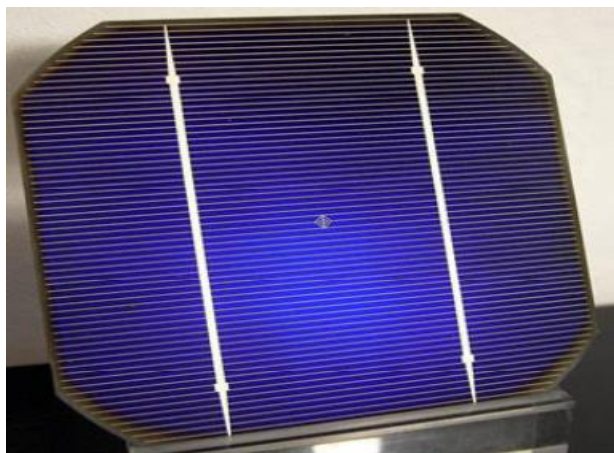
Τύποι φ/β κελιών

Τα ηλιακά κελιά έχουν συνήθως τετράγωνο σχήμα πλευράς περίπου 10 εκατοστών. Ένα ηλιακό κελί παράγει πολύ μικρή ισχύ, μικρότερη από 2W και έτσι ενώνονται ηλεκτρικά σε συνέχεια ή παράλληλα σχηματίζοντας τα φ/β πάνελ. Οι κυριότεροι τύποι ηλιακών κελιών δίνονται αναλυτικά παρακάτω.

I. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από ένα μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία «Czochralski». Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση της τάξης του 15-18% αλλά και από υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου ή τετράγωνα. Το χρώμα τους είναι βαθύ μπλε έως

μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι. Στην Εικόνα που ακολουθεί διαφαίνεται ένα φ/β με μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.

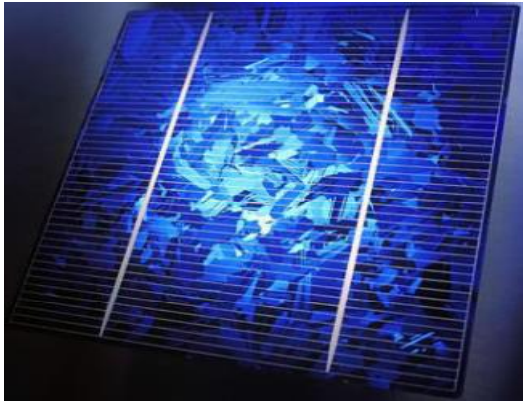


Εικόνα 2.11 : Πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

[Πηγή http://www.m0ukd.com/Solar_Panels/]

II. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι πιο φθηνά από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα φ/β αυτού του τύπου.



Εικόνες 2.12: Πλαίσιο άμορφου πυριτίου

[Πηγή http://www.m0ukd.com/Solar_Panels/]

III. Άμορφο πυρίτιο

Το άμορφο πυρίτιο αποτελεί την πιο συνηθισμένη και πιο διαδεδομένη μορφή κελιών λεπτής μεμβράνης, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης π.χ. υπολογιστές τσέπης. Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Το άμορφο πυρίτιο μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα, σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης. Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Σήμερα, ένα εμπορικό φ/β πλαίσιο με κελιά άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%, ενώ τα κελιά μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 13-18%. Τέλος, τα κελιά αυτά παρουσιάζουν μεγάλη απώλεια απόδοσης όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, γεγονός που τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση στην Ελλάδα. Επίσης, δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φ/β πλαισίων[42].

IV. Κελιά χαλκού-Ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτού υμενίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ

Σκοπός της μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα έχει ονομαστική ισχύ περί τα 100kWp στον ελλαδικό χώρο. Αρχικά εξετάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας, αφού πρώτα χωριστεί η χώρα σε 7 περιοχές ανάλογα με την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται και επιλεγούν ενδεικτικά συγκεκριμένες τοποθεσίες-πόλεις από κάθε μια από αυτές τις περιοχές. Έπειτα επιλέγεται μια πόλη που και γίνεται λεπτομερέστερη ανάλυση του ηλιακού δυναμικού. Η πόλη που επιλέγεται είναι η Καλαμάτα. Όσον αφορά την κλίση των συστοιχιών εξετάζεται το ηλιακό δυναμικό στην περίπτωση της σταθερής ετήσιας κλίσης, σε αμετακίνητες βάσεις στήριξης. Δεν εξετάζεται η περίπτωση ενός συστήματος με κινούμενες συστοιχίες. Η έκταση γης, στην οποία θα τοποθετηθεί η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με το δίκτυο ΧΤ, γεγονός που δεν δικαιολογεί επιπλέον έξοδα υποδομών για διασύνδεση στο δίκτυο. Επιπλέον εξετάζονται διάφορα μέτρα για την προστασία της εγκατάστασης, όπως γειώσεις και αντικεραυνική προστασία. Τέλος γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη του φ/β πάρκου και εξετάζεται η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ

Κριτήρια επιλογής ισχύος

Ο σχεδιασμός ενός Φ/Β πάρκου όπως και κάθε σχεδιασμός τεχνικού έργου προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Μέγεθος αφετηρία για τη σχεδίαση ενός Φ/Β πάρκου αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται κατά περίπτωση από τα παρακάτω κριτήρια:

α) Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Στην περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη, εμπίπτουν κυρίως οι αυτοπαραγωγοί, με απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο Φ/Β συστήματα.

β) Κριτήρια με βάση την διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του πάρκου είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει αν «καλύψουμε» πλήρως με

συλλέκτες την διαθέσιμη επιφάνεια (εννοείται ότι συνυπολογίζονται οι ζώνες σκίασης και επισκεψιμότητας). Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα με συσσωρευτές ή χωρίς, με απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο.

γ) Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που απορρέει από συγκεκριμένες απαιτήσεις κατανάλωσης (αυτόνομα συστήματα μη διασυνδεδεμένα, είτε αυτοπαραγωγοί όπως στο πρώτο κριτήριο). Το μειονέκτημα του αυτόνομου συστήματος είναι ότι δεν αξιοποιεί την ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα που δεν ισχύει με το απευθείας διασυνδεδεμένο σύστημα.

Στην περίπτωσή μας, όπως είναι φανερό, το μοναδικό κριτήριο που θα καθορίσει το μέγεθος της ισχύος του φ/β πάρκου είναι το ποσό της επένδυσης που είναι διαθέσιμο. Σύμφωνα με το σενάριο, έχουμε στη διάθεσή μας την απαραίτητη έκταση και πρόθεσή μας είναι να υλοποιηθεί το έργο με όσο δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά χωρίς να υπερβαίνει τα 100kWp (γεγονός που θα δημιουργούσε καθυστερήσεις λόγω γραφειοκρατίας και επιπλέον αδειών, βεβαιώσεων κτλ.)

επιλέγεται αυτό το μέγεθος της ισχύος.

Αλγόριθμος Υπολογισμού Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για να υπολογιστεί η τοπογραφική διάταξη και η έκταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που θα καθορίσουν και την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Τα κυρίαρχα μεγέθη που το καθορίζουν είναι ο προσανατολισμός και η κλίση των συλλεκτών, η μορφολογία του εδάφους και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας, που με τη σειρά τους καθορίζονται από την επιλογή πλαισίου, αντιστροφέα και φυσικά την ισχύ της εγκατάστασης.

Αλγόριθμος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/Β Πάρκου

Το ζητούμενο σε κάθε εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για να γίνει αυτό πρέπει να

είναι κατανοητό από ποιούς παράγοντες εξαρτάται. Σε μία φ/β εγκατάσταση προφανώς τον πρωταρχικό ρόλο παίζει το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό της περιοχής.

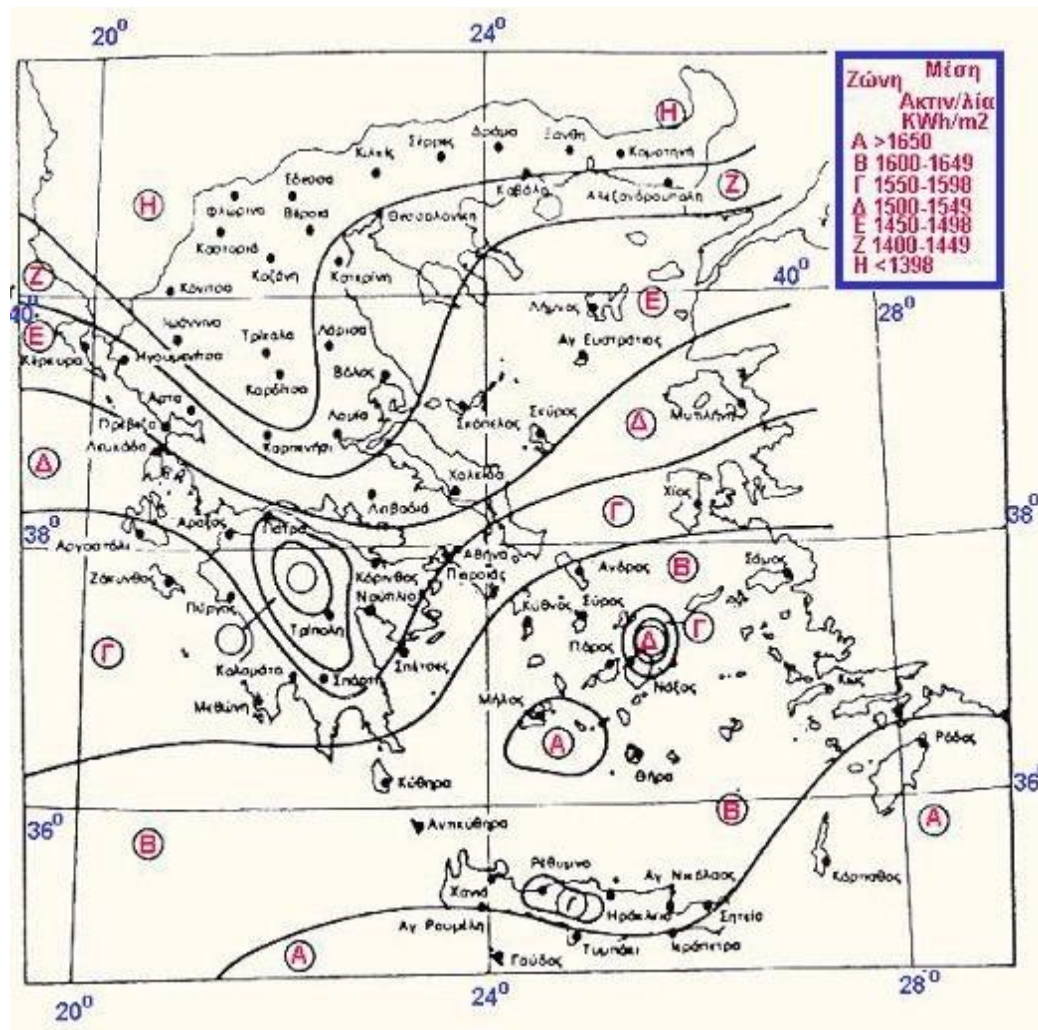
Έπειτα σημαντικότερη είναι η συνεισφορά της φ/β γεννήτριας στην καλή απόδοση του συστήματος. Επομένως λαμβάνονται υπόψη οι αποδόσεις των πλαισίων των αντιστροφών, οι απώλειες των καλωδίων κτλ. Τέλος δεν πρέπει να παραληφθούν διάφοροι διορθωτικοί συντελεστές όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος και η ρύπανση.

3.3 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η τοποθεσία ενός φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ, λόγω των καιρικών φαινομένων της συγκεκριμένης περιοχής και της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται από τα υψηλότερα της Ευρώπης, κάνοντας τα φ/β ελκυστικά για αξιοποίηση. Όμως δεν μπορούν να εξαχθούν ανάλογα συμπεράσματα για όλες τις περιοχές τις χώρες, καθώς κάποια σημεία δέχονται υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. νησιά νοτιοανατολικού Αιγαίου), ενώ άλλα πολύ χαμηλότερα (π.χ.

βόρεια Ελλάδα). Για αυτό το λόγο ακολουθεί η παρακάτω ανάλυση, που σκοπό έχει να δείξει τις περιοχές μεγάλου ηλιακού δυναμικού, αλλά και την εύρεση της βέλτιστης κλίσης ανά τοποθεσία.

Ο Ελλαδικός χώρος μπορεί να χωριστεί σε 7 ζώνες ανάλογα με το ποσό της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται.



Σχήμα 3.1 Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Από τον παραπάνω χάρτη είναι εμφανή τα σημεία που έχουν υψηλές τιμές ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και είναι τα νησιά του νότιου, νοτιοανατολικού Αιγαίου και η Κρήτη. Αν συγκρίνουμε την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές με υψηλό δυναμικό με αυτές που έχουν το χαμηλότερο, τότε οι πρώτες εμφανίζονται να έχουν ετήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά 25% περίπου υψηλότερο.

Για την εύρεση της βέλτιστης ετήσιας κλίσης, χρησιμοποιείται η ανάλυση του κεφαλαίου 2. Παρακάτω επιλέγονται 7 πόλεις της Ελλάδας, μια από κάθε περιοχή και υπολογίζεται η βέλτιστη γωνία κλίσης και η αντίστοιχη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Ως αφετηρία χρησιμοποιείται η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Οι πόλεις φαίνονται στον Πίνακα 6.1, ενώ στον Πίνακα 6.2 εκτός από τη βορρ και το αντίστοιχο HT_{max} δίνεται και η διαφορά ανάμεσα στο γεωγραφικό

πλάτος και το βορρ. Παρατηρούμε ότι η διαφορά αυτή μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και το γεωγραφικό πλάτος.

Πίνακας 3.1

Πόλη	Ζώνη	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιο επίπεδο (kWh/m²)	Γεωγραφικό Πλάτος φ (μοίρες)
Ρόδος	A	1686	36,17
Κύθηρα	B	1615	36,17
Καλαμάτα	Γ	1596	37,03
Μυτιλήνη	Δ	1539	39,1
Σκύρος	E	1480	38,9
Θεσσαλονίκη	Z	1403	40,64
Κομοτηνή	H	1368	41,1

Πίνακας 3.2

Πόλη	Ζώνη	βορτ (μοίρες)	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για βορτ (kWh/m ²)	φ- βορτ (μοίρες)
Ρόδος	A	28	1839,43	8
Κύθηρα	B	27	1754,08	9
Καλαμάτα	Γ	28	1740,83	9
Μυτιλήνη	Δ	28	1680,5	11
Σκύρος	E	27	1585,15	12
Θεσσαλονίκη	Z	30	1544,79	11
Κομοτηνή	H	31	1521,38	10

3.3.1 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

3.3.1.1 ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΛΙΣΗ

Αρχικός στόχος είναι η εύρεση της βέλτιστης κλίσης των φ/β συστοιχιών ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε ετήσια βάση, δηλαδή εκείνη η κλίση που θα εξασφαλίσει τη μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Όσον αφορά την τιμή της αζιμούθιας γωνίας γ , επιλέγεται μηδενική, δηλαδή επιλέγεται απόλυτα νότιος προσανατολισμός. Οι τιμές της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην Καλαμάτα, όπου θα εγκατασταθεί η φ/β γεννήτρια, καθώς και οι τιμές της για κλίσεις από 0ο μέχρι 65ο υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3. Παρατηρούμε ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης βορτ είναι κοντά στις 28ο-29ο και διαφέρει σημαντικά από το γεωγραφικό πλάτος της Καλαμάτας που είναι 37,03ο.

Είναι αναμενόμενο με την ανάλυση που έχει γίνει στο κεφάλαιο 2.. Ένα επίσης πολύ σημαντικό γεγονός που προκύπτει από τους υπολογισμούς είναι ότι για αποκλίσεις $\pm 5\circ$ από τη βέλτιστη γωνία , η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται μόλις κατά 0,5%. Δηλαδή η μεταβολή της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαίσθητη για μικρές μεταβολές της κλίσης περί το βορρ.

Πίνακας 3.3

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο β (μοίρες)	Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία HT (kWh/m ²)
0	1594
5	1640,5
10	1678,6
15	1707,88
20	1728,04
25	1738,86
26	1739,9
27	1740,55
28	1740,83
29	1740,72
30	1740,24
35	1732,12
40	1714,57
45	1687,71
50	1651,77
55	1607,04
60	1553,91
65	1492,84

Επιλέγεται η εκδοχή των αμετακίνητων στηριγμάτων σε γωνία 28ο για όλη την διάρκεια του έτους. Στον πίνακα 6.4 δίνονται αναλυτικά όλες οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας για το γεωγραφικό πλάτος της Καλαμάτας και για την επιλεγόμενη τιμή της κλίσης, καθώς και η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κάθε μήνα.

Πίνακας 3.4

Περιέχει την ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο H, την εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία Ho, τον συντελεστή Rb, την

άμεση, διάχυτη, ανακλώμενη και συνολική ηλιακή ακτινοβολία για κλίση 28ο ανά μήνα για το γεωγραφικό πλάτος της Καλαμάτας. Η τελευταία στήλη δείχνει την μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία για κάθε μήνα.

Μήνας	H (kWh/m ²)	Ho (kWh/m ²)	Rb	Άμεση (kWh/m ²)	Διάχυτη (kWh/m ²)	Ανακλώμενη (kWh/m ²)	HT (kWh/m ²)	HT/d (kWh/d·m ²)
Ιανουάριος	66	146,68	1,85	71,4	25,77	0,77	97,94	3,16
Φεβρουάριος	76	172,76	1,56	68,08	30,36	0,89	99,32	3,55
Μάρτιος	116	247,66	1,29	89,93	43,45	1,36	134,74	4,35
Απρίλιος	135	294,85	1,07	85,61	51,78	1,58	138,97	4,63
Μάιος	192	340,64	0,95	123,31	57,99	2,25	183,55	5,92
Ιούνιος	209	347,2	0,88	130,3	57,49	2,45	190,23	6,34

Ιούλιος	217	350,5	0,9 1	141,49	57,06	2,54	201,09	6,49
Αύγουστος	198	319,08	1,0 1	144,23	51,87	2,32	198,42	6,4
Σεπτέμβρι ος	149	259,18	1,1 9	122,31	43,82	1,74	167,88	5,6
Οκτώβριος	106	207,48	1,4 6	98,74	36,11	1,24	136,09	4,39
Νοέμβριος	75	151,88	1,7 6	82,55	26,54	0,88	109,97	3,67
Δεκέμβρι ος	55	134,29	1,9 5	58,43	23,56	0,64	82,63	2,67
Άθροισμα				1216,37	505,8	18,66	1740,83	

3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Η επιλογή των αντιστροφών είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης. Αν η προσέγγιση γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε θα καταλήξουμε στην επιλογή αντιστροφών μεγάλης ισχύος, γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του φ/β συστήματος μικρή. Ως ακραίο παράδειγμα θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι το συγκεκριμένο φ/β πάρκο ισχύος 100kWp καλύπτεται από ένα και μόνο αντιστροφή. Όμως μια τέτοια επιλογή, είναι λανθασμένη, καθώς περιέχει τον κίνδυνο να αποκοπεί όλο το σύστημα σε περίπτωση βλάβης του μοναδικού αντιστροφέα. Επισημαίνεται ότι ο τύπος των αντιστροφών για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική ισχύς εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να ταυτίζεται σε καμία περίπτωση με την ισχύ αιχμής των φ/β πλαισίων στην είσοδό του. Μια τέτοια επιλογή θα ήταν λανθασμένη, καθώς τα φ/β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής τους υπό ιδανικές συνθήκες, οι οποίες δεν συναντώνται στην

πράξη και αν συμβεί ποτέ αυτό διαρκεί για ένα πολύ μικρό διάστημα. Οι εταιρίες οι οποίες παράγουν αντιστροφείς προτείνουν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Αντίθετα αν επιλεγεί μικρότερη τιμή, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα μη αποδοτική χρήση των αντιστροφέων και ακόμα μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνται περισσότεροι αντιστροφείς για την υλοποίηση της ίδιας φ/β εγκατάστασης.

Η ισχύς του αντιστροφέα πρέπει να συμβιβάζει πολλούς παραμέτρους. Για το συγκεκριμένο φ/β πάρκο εξετάστηκαν τα προϊόντα μιας εκ των μεγαλύτερων εταιριών στον χώρο, της SMA. Η εταιρία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στο χώρο των αντιστροφέων για φ/β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία όσον αφορά την αξιοπιστία και την απόδοση.

Η προσέγγιση που ακολουθείται για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα έχει πρώτα από όλα να κάνει με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συμβιβάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Θεωρούμε ότι όλοι οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν είναι όμοιοι, γεγονός που εξασφαλίζει ότι και τα string των φ/β πλαισίων, καθώς και οι συστοιχίες θα προκύψουν ίδιες. Αυτό θα έχει με τη σειρά του σαν αποτέλεσμα να γίνει ευκολότερη η τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης και να γίνει ευκολότερη η κυκλωματική σύνδεση. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 100kWp, η ισχύς των αντιστροφέων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή. Εξετάζονται οι διάφορες υλοποιήσεις που μπορούν να προκύψουν χρησιμοποιώντας τους αντιστροφείς της SMA της σειράς SUNNY MINI CENTRAL, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύς. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν είναι τα : SMC 6000TL, SMC 7000TL και SMC 8000TL. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των αντιστροφέων φαίνονται στον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5 Τεχνικά στοιχεία των αντιστροφέων SUNNY MINI CENTRAL της εταιρίας SMA.

SMA-SUNNY MINI CENTRAL			
	SMC 6000TL	SMC 7000TL	SMC 8000TL
Τιμές Εισόδου			
Μέγιστη ισχύς DC	6200W	7200W	8250W
Εύρος τάσης DC	335V-700V	335V-700V	335V-700V
Ονομαστική τάση DC	350V	350V	350V
Μέγιστη τάση DC	700V	700V	700V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	19A	22A	25A
Διακύμανση τάσης DC	<10%	<10%	<10%
Μέγιστος αριθμός παράλληλων string	4	4	4
Τιμές Εξόδου			
Μέγιστη ισχύς AC	6000W στους 40οC	7000W στους 40οC	8000W στους 40οC
Ονομαστική ισχύς AC	6000W	7000W	8000W
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	27A	31A	35A
THD ρεύματος AC	<4%	<4%	<4%
Ονομαστική τάση AC	220V-240V	220V-240V	220V-240V
Ονομαστική συχνότητα AC	50Hz	50Hz	50Hz
Απόδοση			
Μέγιστη απόδοση	98,00%	98,00%	98,00%
Euro-eta	97,70%	97,70%	97,70%

Μηχανολογικά στοιχεία			
Βάρος	31kg	32kg	33kg
Ύψος/Μήκος/Πλάτος/ (mm)	613/468/242	613/468/242	613/468/242

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πλήθους των αντιστροφέων. Η φ/β εγκατάσταση πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο ΧΤ μέσω τριών αγωγών στις τρεις φάσεις του δικτύου (τριφασική σύνδεση) εξετάζεται το κατά πόσο είναι δυνατόν οι τρεις αυτοί αντιστροφείς να προσφέρουν μια υλοποίηση στην οποία θα υπάρχει συμμετρία ισχύος μεταξύ των τριών φάσεων. Έχει επιλεγεί η χρήση ενός τύπου αντιστροφέα αυτό συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των αντιστροφέων πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 3, για να μπορούν να ομαδοποιηθούν συμμετρικά, όσον αφορά την ισχύ, οι έξοδοί τους.

Εξετάζοντας τον αντιστροφέα SMC 6000TL, παρατηρούμε ότι η ισχύς εισόδου είναι 6kW. Λαμβάνοντας υπόψη όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω για την ισχύ αιχμής των πλαισίων προκύπτει ότι η ιδανική ισχύς στην είσοδό του κυμαίνεται μεταξύ 6.000Wp και 7.200Wp (έως 20% αυξημένη). Οι τιμές αυτές μας οδηγούν στην επιλογή 15 τέτοιων αντιστροφέων, που θα δέχονται στη είσοδό τους 6.667Wp ($100.000Wp/15 \approx 6.667Wp$). Τα αντίστοιχα μεγέθη για τους άλλους δύο αντιστροφείς προκύπτουν με τον ίδιο τρόπο και είναι: 12 αντιστροφείς SMC 7000TL που θα δέχονται στη είσοδο ισχύ περίπου 8.333Wp, 12 αντιστροφείς SMC 8000TL με ισχύ εισόδου την ίδια με πριν δηλαδή 8.333Wp, καθώς αν επιλέγαμε 9 η ισχύς στην είσοδό του θα ήταν πάρα πολύ μεγάλη (11.111Wp). Είναι ακόμα προφανές ότι αν πρέπει να επιλέξουμε ανάμεσα στους 2 τελευταίους αντιστροφείς, προφανώς συμφέρει ο αντιστροφέας SMC 7000TL, καθώς είναι φθηνότερος, όμως θα πρέπει πρώτα να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατόν να συνδυαστεί με τα επιλεγόμενα πλαίσια, γεγονός που εξετάζεται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο. Τέλος οι παραπάνω τιμές ισχύος εισόδου των αντιστροφέων είναι ενδεικτικές, ενώ οι ακριβείς θα υπολογιστούν με βάση την ισχύ των φ/β πλαισίων.

3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι γενικά ένα σύνθετο πρόβλημα. Η πληθώρα κατασκευαστικών εταιριών και πλαισίων επιτείνουν ακόμα περισσότερο τη δυσκολία της επιλογής.

Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες έγινε η επιλογή των πλαισίων ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοσή τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί είχε να κάνει με τη επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του. Πολύ γρήγορα η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου, καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες που έχουν αναφερθεί στον κεφάλαιο 3 έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές, δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφορες. Σύγκριση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων δίνεται στον πίνακα 3.6.

Μετά από μια έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών γεννητριών είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξεως του 10-15% ακριβότερες. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τις πολυκρυσταλλικές. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.

Πίνακας 3.6 Συγκριτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων

Υλικό φ/β στοιχείων	Απόδοση φ/β στοιχείων του εμπορίου	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	14-19%	<ul style="list-style-type: none"> • Ομοιόμορφη μοριακή δομή • Μεγάλος βαθμός απόδοσης 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό κόστος παραγωγής • Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής • Ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο	10-14%	<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο • Τετραγωνικά δισκία επιτρέπουν μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης 	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλότερη απόδοση συγκρινόμενη με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο • Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής
Ribbon Πυρίτιο	Έως 15%	<ul style="list-style-type: none"> • Λιγότερες απώλειες πυριτίου στην παραγωγή 	<ul style="list-style-type: none"> • Χειρότερη ποιότητα πυριτίου από αυτή του μον/κού • Περιορισμένες

			εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Thin-film Πυρίτιο	Έως 17% (ραγδαία εξελισσόμενη έρευνα)	<ul style="list-style-type: none"> • Λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό • Όχι μεγάλες απαιτήσεις σε υλικό υποστρώματος • Πολλά υποσχόμενη τεχνολογία 	• Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Άμορφο Πυρίτιο	6-9%	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλό κόστος παραγωγής συγκρινόμενο με το κρυσταλλικό πυρίτιο • Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρός βαθμός απόδοσης • Βαθμιαία μείωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου
Αρσενικούχο γάλλιο	25-30%	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλος βαθμός απόδοσης • Υψηλή θερμική αδράνεια 	• Υψηλό κόστος παραγωγής (5πλασιο του κρυσταλλικού πυριτίου)

Από την άποψη της ισχύος συμφέρει περισσότερο η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με μεγάλη ισχύ αντί πολλών πλαισίων με μικρότερες ισχείς ειδικά για μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις. Τα μεγάλα πλαίσια δουλεύονται πιο εύκολα στην εγκατάστασή τους, απαιτούνται λιγότερες συνδέσεις και είναι μικρότερο το κόστος

εγκατάστασης. Επίσης το κόστος ανά Wp μειώνεται με την αύξηση της ισχύος ενός πλαισίου, αλλά για πλαίσια μεγαλύτερα των 120Wp είναι ουσιαστικά σταθερό.

Όμως η επιλογή ενός πλαισίου με πολύ μεγάλη ισχύ μπορεί να έχει και αρνητικές επιπτώσεις, γιατί μια ενδεχόμενη σκίαση ενός μέρους του, έχει ως αποτέλεσμα μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ότι σε ένα πλαίσιο με μικρότερη ισχύ. Συμβιβάζοντας τα παραπάνω επιλέγεται η ισχύς του πλαισίου να κυμαίνεται μεταξύ 120Wp και 200Wp.

Τελικά μελετώντας τα datasheet των πλαισίων από τις παραπάνω εταιρίες, επιλέχθηκαν τρία πλαίσια τις εταιρίας Kyocera, τα οποία θα εξεταστούν, αν μπορούν να συνδυαστούν και με ποιο τρόπο, με τους αντιστροφείς της προηγούμενης παραγράφου, για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος, που είναι η εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος 100kWp. Τα πλαίσια αυτά είναι τα: KC130 GHT-2, KC175GHT-2 και KC200GHT-2, ονομαστικής ισχύος 130Wp, 175Wp και 200Wp αντίστοιχα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 6.7.

Πίνακας 3.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων φ/β πλαισίων εταιρίας

Kyocera.

KYOCERA-KC			
Ηλεκτρική απόδοση υπό στάνταρ συνθήκες (STC*)			
	KC130 GHT-2	KC175GHT-2	KC200GHT-2
Ονομαστική μέγιστη ισχύς P_{max}	130W	175W	200W
Ονομαστική τάση φόρτισης V_{mpp}	17,6V	23,6V	26,3V
Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης I_{mpp}	7,39A	7,42A	7,61A
Τάση ανοιχτού	21,9V	29,2V	32,9V

κυκλώματος Voc			
Ρεύμα βραχυκύκλωσης Isc	8,02A	8,09A	8,21A
Τάση μέγιστης ισχύος συστήματος	750V	1000V	1000V
Πλήθος φ/β στοιχείων ανά πλαίσιο	36	48	54
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
Μορφή φ/β στοιχείων	πολυγωνική	πολυγωνική	πολυγωνική
Διαστάσεις (μήκος×πλάτος×ύψος) mm	1425×652×36	1290×990×36	1425×990×36
Βάρος	11,9kg	16,0kg	18,5kg

*STC Ηλιακή ακτινοβολία=1kW/m², AM=1.5, θερμοκρασία πλαισίου=25οC

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή του φ/β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Ακόμα οι διατάσεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του, ρόλο κλειδί έχουν τα μεγέθη της τάσης και έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνυφασμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

Έστω ότι επιλέγονται 15 αντιστροφείς SMC 6000TL, ο καθένας εκ των οποίων πρέπει να δέχεται στην είσοδο του 6667Wp για να φτάσουμε τα 100kWp που είναι η επιθυμητή τιμή της εγκατάστασης. Εξετάζοντας τα πλαίσια που έχουμε στη διάθεσή μας καταλήγουμε στο γεγονός ότι το πλαίσιο, το οποίο είναι το πιο ιδανικό από τα 3 να συνδυαστεί με τον συγκεκριμένο αντιστροφέα είναι το KC175GHT-2.

Επόμενο βήμα είναι να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός των πλαισίων και η κυκλωματική σύνδεσή τους. Υπολογίζεται ότι σε κάθε αντιστροφέα συνδέονται 38 πλαίσια των 175Wp (**175Wp×38=6650Wp**). Τα πλαίσια αυτά οργανώνονται σε 2 παράλληλα string των 19 πλαισίων το καθένα. Αυτό σημαίνει ότι η είσοδος του αντιστροφέα δέχεται 19 πλαίσια εν σειρά×23,6V=448,4V από ένα string (επί συνόλου 2 string ανά αντιστροφέα), που είναι η απαραίτητη τάση εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου.

Ακόμα δέχεται 2 παράλληλα string×7,42A=14,84A, που παρατηρούμε ότι βρίσκεται μέσα στα όρια του αντιστροφέα. Ο συνολικός αριθμός των φ/β πλαισίων της εγκατάστασης προκύπτει είναι 38 πλαίσια/αντιστροφέα ×15 αντιστροφείς=570 φ/β πλαίσια

Τέλος η συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι:

6650Wp/αντιστροφέα ×15 αντιστροφείς=99.750Wp που είναι πολύ κοντά στο επιθυμητό.

Με τη ίδια λογική εξετάστηκε και ο δεύτερος και ο τρίτος αντιστροφέας και τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στον πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8 Πιθανοί συνδυασμοί πλαισίων-αντιστροφέων

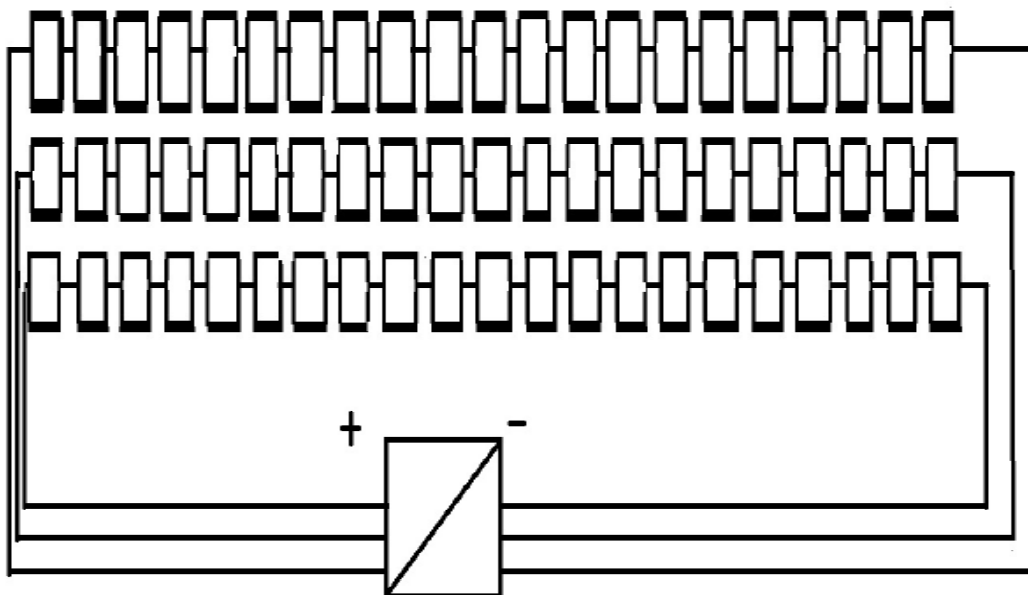
	1η περίπτωση	2η περίπτωση	3η περίπτωση
Αντιστροφέας (INV)	SMC6000TL (6kW)	SMC 7000TL (7kW)	SMC 8000TL (8kW)
Πλαίσιο	KC 175 GHT□2 (175Wp)	KC 200 GHT□2 (200Wp)	KC 130 GHT□2 (200Wp)
Πλήθος αντιστροφέων	15	12	12
Πλαίσια/Αντιστροφέα	38	38	63
Ισχύς PV στην είσοδο αντιστροφέα $P_{in,dc}$	6650Wp	7600Wp	8190Wp
Παράλληλα String/αντιστροφέα	2	2	3
Πλαίσια εν σειρά/αντιστροφέα	19	19	21
Τάση στην είσοδο αντιστροφέα $V_{in,dc}$	448,4V	499,7V	369,6V
Ένταση ρεύματος στην είσοδο αντιστροφέα $I_{in,dc}$	14,84A	15,22A	22,17A

Συνολικός αριθμός πλαισίων	570	456	756
Συνολική ισχύς εγκατάστασης	99.750Wp	91.200Wp	98.280Wp
Κόστος αντιστροφών	15×2.750€=41.250 €	12×2.850€=34.200 €	12×2.950€=35.400 €

Από τα παραπάνω προτιμάται η περίπτωση 3, καθώς το κόστος των αντιστροφών σε αυτή τη περίπτωση προκύπτει αρκετά μικρότερο.

3.6 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ

Οι συστοιχίες του φ/β πάρκου αποτελούνται από 63 φ/β πλαίσια με την κυκλωματική σύνδεση που περιγράφηκε παραπάνω (Σχήμα 3.2). Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει ένας αντιστροφέας ανά συστοιχία. Η λύση αυτή σαφώς και δεν είναι η μοναδική.



Σχήμα 3.2 Κυκλωματική Διάταξη Συστοιχίας

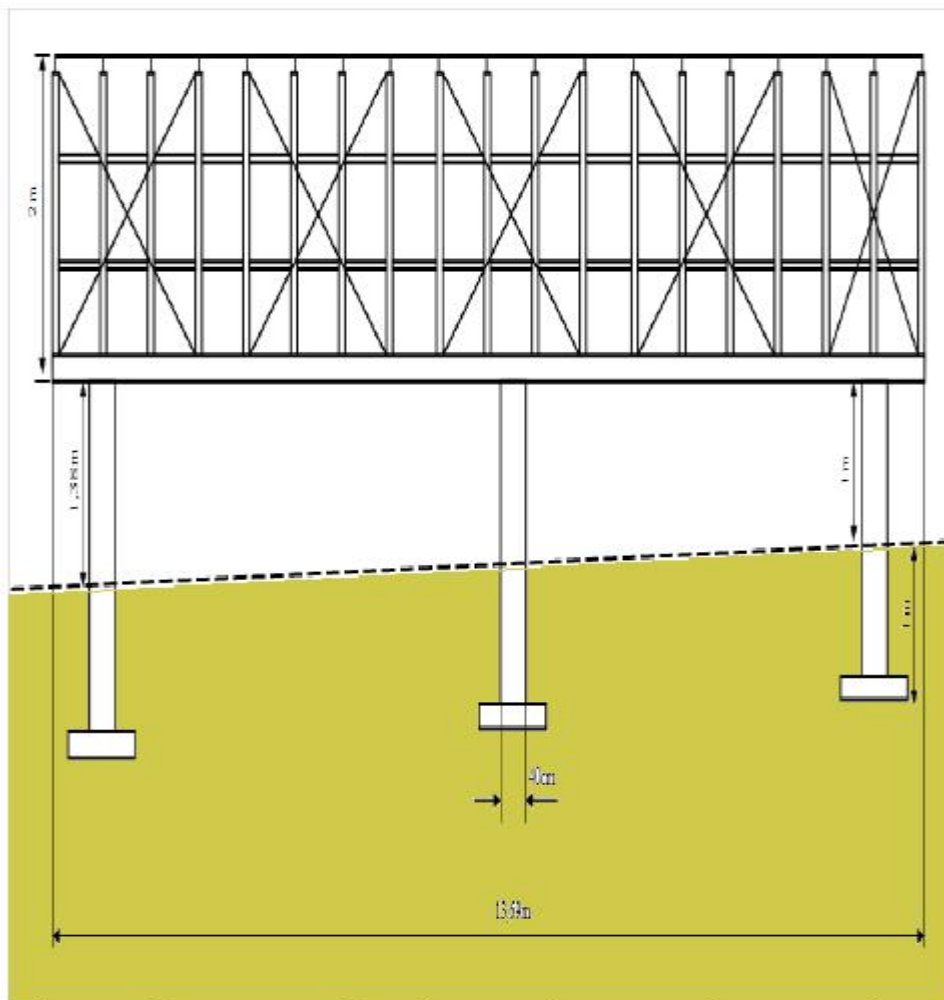
Οριζόντια έχουμε $[21 \text{ modules}] \times 0,652\text{m} = 13,692\text{m} \approx 14\text{m}$

Κάθετα έχουμε $[3 \text{ modules}] \times 1,425\text{m} = 4,275\text{m} \approx 4,3\text{m}$

Inverter SMC 8000TL

3.7 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Σχήμα 3.3 Διάταξη συστοιχίας, βάσεων στήριξης και στύλων στον χώρο (πίσω όψη).



Σχήμα 6.4 Διάταξη συστοιχίας, βάσεων στήριξης και στύλων στον χώρο (πλάγια όψη).

3.8 ΓΕΙΩΣΗ

Στις συνήθεις κτιριακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις διακρίνει κανείς τρεις κατηγορίες γειώσεων: 1. Γείωση λειτουργίας

2. Γείωση προστασίας

3. Γείωση ασφαλείας ή αντικεραυνικής προστασίας

Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι παρακάτω:

- Η **ουδετέρωση**, δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση με τον ουδέτερο αγωγό ή άλλο γειωμένο αγωγό φάσης δικτύου.
- Η **άμεση γείωση**, με απευθείας αγώγιμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης το οποίο μπορεί να είναι μια πλάκα γείωσης, ένα ηλεκτρόδιο, ένα τρίγωνο κλπ.
- Η γείωση **μέσω διακόπτη διαφυγής**, για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης. Υπάρχουν δυο ειδών διακόπτες διαφυγής, τάσης (ΔΔΤ) και έντασης (ΔΔΕ).

Για την εγκατάσταση που μελετάται επιλέγεται ο συνδυασμός άμεσης θεμελιακής γείωσης με διακόπτες διαφυγής έντασης. Η θεμελιακή γείωση αποτελείται από ταινία ή κυλινδρικό αγωγό, που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Η θεμελιακή γείωση συνδέεται ηλεκτρικά με τον οπλισμό της εγκατάστασης αποκτά χαμηλές τιμές αντίστασης, διότι σχηματίζει ένα πολύ μεγάλο ηλεκτρόδιο γείωσης. Ως ηλεκτρόδια θεμελιακής γείωσης χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ταινίες με ελάχιστες διαστάσεις διατομής 30 mm × 3.5 mm ή χαλύβδινοι αγωγοί κυκλικής διατομής με ελάχιστη διάμετρο 10 mm. Όμως χαμηλότερη αντίσταση γείωσης επιτυγχάνεται με την χρήση ταινίας. Αν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο γείωσης σε μορφή ταινίας, αυτή πρέπει να τοποθετηθεί με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής της κατακόρυφα.

Η θεμελιακή γείωση χρησιμοποιείται και ως γείωση αντικεραυνικής προστασίας (Σχήμα 6.5), όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση που μελετάται, θα

πρέπει οι συνδετήρες – σφικκτήρες να έχουν υποστεί τις προβλεπόμενες εργαστηριακές δοκιμές των Προτύπων της σειράς ΕΛΟΤ EN 50164.

Σχήμα 3.5 Θεμελιακή γείωση



Σχήμα 3.6 Διασύνδεση οπλισμού-γειωτή



Διασύνδεση οπλισμού - γειωτή

3.9 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Αντιστροφείς

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι οι αντιστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν, ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον «Οδηγό σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο χαμηλής τάσης» της Δ.Ε.Η..τα σημαντικότερα σημεία του οποίου είναι:

- Η εισαγωγή συνεχούς ρεύματος (χωρίς τη χρήση ΜΣ) είναι μικρότερη του 0,5% της ονομαστικής του τιμής.
- Η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος (THDI) είναι μικρότερη από 4%.
- Η σύνδεση και η αποσύνδεση γίνεται μέσω ηλεκτρονόμων που ελέγχονται μέσω λογισμικού και περιλαμβάνει αυτόματη (επανα)σύνδεση εφόσον οι τιμές τάσης και συχνότητας εμπίπτουν στα όρια $0,8 \times V_{nom} - 1,15 \times V_{nom}$ και $49,5\text{Hz} - 50,5\text{Hz}$ και άμεση αποσύνδεση εφόσον δεν πληρούνται τα όρια αυτά.
- Η ενεργός προστασία έναντι της νησιδοποίησης μέσω μέτρησης της σύνθετης αντίστασης.

Καλώδια

Τα καλώδια, με τα οποία συνδέονται τα φ/β πλαίσια μεταξύ τους, είναι ειδικού τύπου διατομής $2,5\text{mm}^2$ και μπορεί κάποιος να τα προμηθευτεί μαζί με τις γεννήτριες. Ακόμα η σύνδεση της συστοιχίας με τον αντιστροφέα μπορεί να γίνει με καλώδια νεοπρενίου ή PVC, τα οποία ενδείκνυνται για μεσαία και υψηλή καταπόνηση και είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες. Ο υπολογισμός αυτών των καλωδίων, γίνεται με βάση τις τιμές της τάσης και της έντασης στην είσοδο του αντιστροφέα όπου τελικά η παροχή ισχύος από τις φ/β συστοιχίες γίνεται μέσω καλωδίων τύπου H07RN-F (νεοπρενίου) διατομής $1 \times 2,5\text{mm}^2$, που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα έντασης 7,39A από τα φ/β πλαίσια στον αντιστροφέα.

Σχήμα 3.7 Καλώδιο H07RN-F



Η σύνδεση του αντιστροφέα με τον πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης γίνεται με καλώδια τύπου H07V-K (παλιότερα γνωστά ως NYAF) διατομής 3×16mm².

Σχήμα 3.8 Καλώδιο H07V-K



Τα καλώδια στον πίνακα ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και έπειτα αναχωρούν για τη σύνδεσή τους με την XT του δικτύου με καλώδια τύπου H07V-K διατομής 5×35mm² και προστατεύονται με διακόπτη μικροαυτόματο 160A και αποζεύκτη επίσης 160A.

Μέσα προστασίας

Οι ασφάλειες θα είναι των 16A και οι διακόπτες των 25A, ενώ ο διακόπτης διαφυγής έντασης θα είναι των 30mA. Στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην έξοδο

του αντιστροφέα, θα υπάρχει επίσης διακόπτης διαφυγής έντασης και μικροαυτόματος διακόπτης των 40Α.

Εξωτερικός Πίνακας Pillar

Οι έξοδοι όλων των αντιστροφέων συγκεντρώνονται σε ένα πίνακα χαμηλής τάσης, όπου και ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και στη συνέχεια αναχωρεί μια τριφασική γραμμή για να συνδεθεί με το δίκτυο. Προτιμήθηκε η χρήση ενός πίνακα Pillar. Κατασκευάζονται από χαλυβοέλασμα γαλβανιζέ πάχους 2mm σε διάφορες διαστάσεις, ενώ ο βαθμός προστασίας τους είναι IP40 ή ανάλογα με τις προδιαγραφές μέχρι και IP66.



Σχήμα 3.9 Εξωτερικός πίνακας – Pillar

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το μειονέκτημα των φ/β εγκαταστάσεων είναι το υψηλό κόστος αγοράς των φ/β γεννητριών. Ακολουθεί μια τεχνοοικονομική ανάλυση του φ/β σταθμού παραγωγής 100kWp. Εξετάζεται η περίπτωση επιδότησης κατά 50% και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις τιμές που θεσπίστηκαν στον αναπτυξιακό νόμο 3468/2006. Αρχικά υπολογίζεται το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των φ/β γεννητριών.

Πίνακας 4.1 Πίνακας Κόστους

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΙΜΗ
KYOCERA □ KC 130 GHT □ 2	756	620,00 €	468.720,00 €
SMA □ SUNNY MINI CENTRAL 8000TL	12	2.950,00 €	35.400 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	1	3.000,00 €	3.000,00 €
ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΥΛΙΚΟ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ			1.200,00 €
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΕΣ □ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ			3.000,00 €
ΕΓΚΑΤΣΤΑΣΗ Φ/Β	12	2.000,00 €	24.000,00 €

ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ			
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (ΚΑΛΩΔΙΑ, ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ κ.τ.λ.)			25.000,00 €
ΛΟΙΠΑ ΕΞΟΔΑ (ΓΡΑΦΕΙΟΚΡΑΤΙΚΑ κ.τ.λ.)			2.500,00 €
ΣΥΝΟΛΟ			562.820,00 €

Η τιμή πώλησης της ενέργειας από την εγκατάσταση που υλοποιήθηκε σύμφωνα με τον αναπτυξιακό νόμο 3468/2006 και εφόσον πρόκειται για διασυνδεδεμένο σύστημα με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 100kWp, είναι 0,45€/kWh.

Πίνακας 4.2 Απόδοση Επένδυσης με Επιχορήγηση

Έτος	Έσοδα	Λειτουργικές	Μεικτό	Αποσβέσεις	Χρεολύσιο	Τόκοι	Φόροι	Καθαρή	Αθροιστική	Παρούσα	Αθροιστική
0									□140.000		□140.000
1	58540	1600	56940	18667	5571	9800	4580	36989	□103.011	34895	□105.105
2	60004	1640	58364	18667	5961	9410	4865	38127	□64.884	33933	□71.172
3	61504	1681	59823	18667	6379	8992	5157	39295	□25.590	32993	□38.179
4	63041	1723	61318	18667	6825	8546	5456	40491	14902	32073	□6.107
5	64617	1766	62851	18667	7303	8068	5763	41717	56619	31174	25067
6	66233	1810	64422	18667	7814	7557	6077	42974	99593	30295	55362
7	67888	1856	66033	18667	8361	7010	6399	44263	143856	29437	84800
8	69586	1902	67684	18667	8946	6425	6729	45584	189440	28600	113399
9	71325	1949	69376	18667	9572	5799	7068	46937	236377	27782	141181
10	73108	1998	71110	18667	10243	5128	7415	48325	284702	26984	168166
11	71189	2048	69141	18667	10959	4412	7021	46749	331451	24627	192793
12	72969	2099	70870	18667	11727	3644	7366	48132	379584	23920	216713
13	747	2152	7264	18667	12548	282	772	4955	429133	23231	239944

	93		1			3	1	0			
14	766 63	2206	7445 8	18667	13426	194 5	808 4	5100 3	480136	22558	262502
15	744 44	2261	7218 3	18667	14366	100 5	762 9	4918 3	529319	20522	283025
16	763 05	2317	7398 8				147 98	5919 0	588509	23300	306325
17	782 13	2375	7583 7				151 67	6067 0	649179	22531	328855
18	801 68	2435	7773 3				155 47	6218 7	711366	21787	350642
19	776 07	2495	7511 2				150 22	6008 9	771455	19860	370502
20	795 47	2558	7698 9				153 98	6159 2	833047	19205	389707

Άρα προκύπτει ότι η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι 389.707

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με βάση την οικολογική οργάνωση Greenpeace δημιουργούνται μετατρέποντας αξιόπιστους, καθαρούς και ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, τα οργανικά υλικά (βιομάζα), το νερό (μικρά υδροηλεκτρικά φράγματα) και η γεωθερμία, σε ενέργεια.

Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης αποτελείται από μια άμεση και μια διάχυτη συνιστώσα με την πρώτη να αποτελεί την μη σκεδαζόμενη ακτινοβολία ενώ την δεύτερη να αντιπροσωπεύει την ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση. Κατά αντιστοιχία τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια επιφάνεια ένα μέρος τους απορροφάτε ένα άλλο ανακλάτε και ένα τελευταία διαπερνά την επιφάνεια της γης.

Η παρούσα μελέτη αφορά την εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 100kWp, το οποίο κατατάσσει το έργο στα μεσαίας κλίμακας. Η βέλτιστη τοπογραφική διάταξης της εγκατάστασης αποτελεί πολύ σημαντικό κομμάτι της, καθώς μπορεί να εξασφαλίσει την ελάχιστη χρήση του διαθέσιμου χώρου, την μέγιστη πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας, το ελάχιστο μήκος καλωδίων για τη σύνδεση και τον περιορισμό των απωλειών.

Τέλος σύμφωνα με την τωρινή κατάσταση στην Ελλάδα όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα διαπιστώθηκαν τα εξής: Ο συνδυασμός γενναίων επιδοτήσεων (έως και 50%) σε συνδυασμό με την αυξημένη τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την Δ.Ε.Η. (45€/kWh) έκανε τις αντίστοιχες επενδύσεις κάτι παραπάνω από βιώσιμες. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε έκρηξη ενδιαφέροντος, φτάνοντας την συνολική ισχύ των αιτήσεων για φ/β εγκαταστάσεις στα 700MW (Σεπτέμβριος 2007). Οι τεχνικοοικονομική μελέτη επιβεβαιώνει και δικαιολογεί την ανάπτυξη αυτή. Από την άλλη όμως δείχνει ότι μέχρι και σήμερα η βιωσιμότητα των φ/β επενδύσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρέμβαση του κράτους και ουσιαστικά είναι τελείως αδιάφορη σε ένα επενδυτή χωρίς τα αναγκαία μέτρα στήριξης (π.χ. επιδοτήσεις).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ευρωπαϊκή Πολιτική, 2012. *Ευρωπαϊκός Χάρτης Πορείας προς μια οικονομία χαμηλού άνθρακα μέχρι το 2050* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446&language=el-GR&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F_default%2FNo+Skin&ContainerSrc=%5BG%5DContainers%2F_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true [προσβάσιμο στις 5 Απριλίου 2014].
2. Giovanni Riva, 2010. *Εγχειρίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER_handbook_gr.pdf [προσβάσιμο στις 4 Απριλίου 2014].
3. Τσακαλάκης Κώστας, 2007. *Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα και εναλλακτικές πηγές* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.environment-develop.ntua.gr/uploads/k_7.pdf [προσβάσιμο στις 4 Απριλίου 2014].
4. Καλδέλης, Ι.Κ. και Καββαδίας Κ.Α., 2001. «Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας», Εκδ. Σταμούλης, Αθήνα
5. Τσίτα Κατερίνα, 2014. *Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα* [online]. Διαθέσιμο από: <http://renewablegreece.wikispaces.com> [προσβάσιμο στις 6 Απριλίου 2014].
6. Ζάμπελης ΑΒΕΕ, 2013. *Φωτοβολταικά All About Green Energy* [online]. Διαθέσιμο από: www.allaboutgreenenergy.gr [προσβάσιμο στις 17 Μαρτίου 2014].
7. Αποστολάκης Κ. Κυρίτσης, 2012. *Σ. Βιομάζα* [online]. Διαθέσιμο από: www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf [προσβάσιμο στις 11 Απριλίου 2014].
8. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2013. *Αιολική ενέργεια* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287&language=el-GR&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F_default%2FNo+Skin&ContainerSrc=%5BG%5DContainers%2F_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true [προσβάσιμο στις 13 Απριλίου 2014].
9. A. Petersson, 2005 «Analysis, Modeling and Control of DFIG for WT», Chalmers Department of Technology, Goteborg, Sweden.

10. **Καρβούνης Γ. 2014.** *Ενέργεια - Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας - Κλιματική Αλλαγή* [online]. Διαθέσιμο από: <https://energy-economy.wikispaces.com> [προσβάσιμο στις 11 Απριλίου 2014].
11. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2014. *Ηλιακή ενέργεια & φωτοβολταϊκά* [online].
- Διαθέσιμο από: http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286&language=el-GR&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F_default%2FNo+Skin&ContainerSrc=%5BG%5DContainers%2F_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true [προσβάσιμο στις 19 Απριλίου 2014].
12. Δαμανίδου Α. 2013. *Ηλιακή ενέργεια* [online]. Διαθέσιμο από: <http://gym-esp-mosch.att.sch.gr/ergasies/ananeewsimes3.swf> [προσβάσιμο στις 14 Απριλίου 2014].
13. Division of C.T. Enterprises, 2009. *Solar Power Links* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.freeresidentialsolarpower.com>, [προσβάσιμο στις 14 Απριλίου 2014].
14. Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ), 2014. *Α.Π.Ε.* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.desmie.gr/ape-sithya/ekkatharisi-ape/> [προσβάσιμο στις 18 Απριλίου 2014].
15. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς, 2010. *Ενέργεια και Περιβάλλον* [online]. Διαθέσιμο από: <http://kpe-kastor.kas.sch.gr> [προσβάσιμο στις 7 Μαΐου 2014].
16. ARC, 2011. *Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά* [online]. Διαθέσιμο από: http://arcstudiogr.blogspot.gr/2011/01/blog-post_28.html [προσβάσιμο στις 9 Μαΐου 2014].
17. Ζάμπελης ΑΒΕΕ, 2013. *Ηλιοθερμία - πράσινη θέρμανση* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.allaboutgreenenergy.gr/services/heliothermia> [προσβάσιμο στις 19 Μαρτίου 2014].
18. *Εσπερινό ΕΠΑΛ Χανίων*, 2012. *Γεωθερμία* [online]. Διαθέσιμο από: epal-esp-chanion.chan.sch.gr/special_thematic.../2012.../geothermia.pdf [προσβάσιμο στις 18 Μαρτίου 2014].
19. *ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ*, 2007. *Γεωθερμία-βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες* [online]. Διαθέσιμο από: irakleitos.ntua.gr/dns/84.pdf [προσβάσιμο στις 04 Μαρτίου 2014].

20. Γκόνης Π, 2009. *Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας* [online]. Διαθέσιμο από: http://powerelectronicslab.info/TeiNotes/LecturesRenewable/6o_mathima.pdf [προσβάσιμο στις 26 Μαρτίου 2014].
21. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2014. *Ηλεκτροπαραγωγή* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.ypeka.gr/?tabid=277> [προσβάσιμο στις 24 Ιουνίου 2014].
22. Ανδρίτσος Ν, 2008. *Ενέργεια και περιβάλλον* [online]. Διαθέσιμο από: users.auth.gr/kararant/tdk/Teaching/BOOK_1.pdf [προσβάσιμο στις 7 Μαΐου 2014].
23. Φλουδόπουλου Χ., 2012. *Οι εναλλακτικές για φθηνότερη θέρμανση το χειμώνα* [online]. Διαθέσιμο από: <http://m.capital.gr/News.aspx?id=1596495> [προσβάσιμο στις 02 Μαΐου 2014].
24. Agronews, 2014. *Ωφέλεια και προβληματισμοί για τα pellets* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.agronews.gr/green-report/axiopoisiiviomazas/arthro/75994/ofeleia-kai-provlimatismoi-gia-ta-pellets/> [προσβάσιμο στις 11 Μαΐου 2014].
25. Biomass Energy, 2014. *Εκπομπές από την καύση πέλλετ σε εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/737-emissions-from-biomass-pellets-combustion> [προσβάσιμο στις 04 Μαΐου 2014].
26. Greenpeace, 2007. *Προτεινόμενες προδιαγραφές για εκπομπές ρύπων από λέβητες και εστίες καύσης βιομάζας* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2007/10/Suggested_biomass_standards_Oct07.pdf [προσβάσιμο στις 17 Απριλίου 2014].
- Κούσουλας Γ. 2008. *Προσέγγιση στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση* [online]. Διαθέσιμο από: www.ekke.gr/estia/Cooper/Gym_Kozani.../Gumn_Koz_Emp_Biok.pdf [προσβάσιμο στις 08 Απριλίου 2014].
27. Ανδρίτσος Ν. 2011. *Ενέργεια και περιβάλλον* [online]. Διαθέσιμο από: www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Energy&Environment_Chapter_2.pdf [προσβάσιμο στις 08 Απριλίου 2014].
28. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής Διεύθυνση ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας, 2009. *5η εθνική έκθεση για το επίπεδο διείσδυσης της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010*, ΚΑΠΕ: 2012 «Οδηγός ΑΠΕ - Δυνατότητες Αξιοποίησης στην Τοπική Αυτοδιοίκηση

29. Παπαοικονόμου Α. *Παραγωγή ενέργειας από βιομάζα* [online]. Διαθέσιμο από: https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/13731/1/Papaoikonomou_Msc2010.pdf [προσβάσιμο στις 21 Μαρτίου 2014].
30. Φραντζεσκάκη Ν., 2008. *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ηλιακών συστημάτων για μια αειφόρο προοπτική* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B08%20%20PERIBALONTIKA%20SYSTHΜATA/02-Fratzeskaki_PERIBAL%20EPIPT%20HΛIAKWN%20SYST.pdf [προσβάσιμο στις 02 Μαΐου 2014].
31. Κουντουρη Φ., 2013. *Γεωθερμική ενέργεια* [online]. Διαθέσιμο από: www.aueb.gr/.../ECONOMICS%20GEOTHERMAL%20ENERGY.doc [προσβάσιμο στις 07 Μαΐου 2014].
32. *Η ενέργεια γύρω μας* [online]. Διαθέσιμο από: <http://ienergiagiromas.weebly.com/pilambdaepsilomicronnuepsilonkappatau942mualphataualpha--muepsiloniotaomicronnuepsilonkappatau942mualphataualpha2.html> [προσβάσιμο στις 17 Μαΐου 2014].
33. Λαμπροπούλου Β., Καραγεωργόπουλος Α., Κορνάρος Μ., 2004. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς – Η Ελληνική Εμπειρία [online]. Διαθέσιμο από: www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=7004 [προσβάσιμο στις 08 Μαρτίου 2014].
34. Κατσαπρακάκης Δ., Χρηστάκης Δ., 2013. *Επιπτώσεις αιολικών πάρκων* [online]. Διαθέσιμο από: http://www.tm.teiher.gr/Portals/23/Shmeioseis/anan_piges_enegeias/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%80%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD%20%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CF%89%CE%BD.pdf [προσβάσιμο στις 22 Μαρτίου 2014].
35. Dempsey, N., Bramley, G., Power, S. & Brown, C., 2011, ‘The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability’, *Sustainable Development*, vol. 19, no. 5, p. 289-300
36. Ανδρίτσος, Ν., 2008, *Ενέργεια και περιβάλλον, Διδακτικές σημειώσεις, Βόλος*
37. Παπαϊωάννου, Γ., Herr, H. & Hetreirich, M., 2009, *Ήπιες μορφές ενέργειας*, 2^η εκδ., Ίων, Αθήνα
38. Τσουνής, Γ., 1993, *Λεξικό για το περιβάλλον*, Δελφίνι, Αθήνα

39. Κορωναίος, Χ. Ι., 2012, *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Διδακτικές σημειώσεις*, Αθήνα
40. European Commission, 2009, *Energy 2020- A Strategy for competitive, sustainable and secure energy*, European Commission, Brussels
41. ICAP, 2012, *Κλαδική ανάλυση: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, 2011
42. Rowlands, I.H., 2005, *The European directive on renewable electricity: conflicts and compromises*, *Energy policy*, vol. 33, 965 – 974
43. United States Environmental Protection Agency, 2013- *Good Up High* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.epa.gov/oar/oaqps/gooduphigh> [προσβάσιμο στις 14 Μαρτίου 2014].
44. Ζάνη Πρόδρομου, 2008. *Σημειώσεις για την Ρύπανση της Ατμόσφαιρας*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
45. *Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κοζάνης, 2010. Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες έλεγχου αέριας ρύπανσης* [online]. Διαθέσιμο από: eprints.teikoζ.gr/214/1/A18_2010.pdf [προσβάσιμο στις 01 Μαρτίου 2014].
46. Εθνικό και καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών, 2012. *Ατμοσφαιρική ρύπανση*, Διαθέσιμο από: <http://mde-didaktiki.biol.uoa.gr/mde9/boulgari/airpollution.pdf> [προσβάσιμο στις 15 Μαρτίου 2014].
47. Γεντεκάκης Ιωάννης, 2003. *Ατμοσφαιρική ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές Τεχνολογίες*, Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
48. «IOBE, 2011. *Επιδράσεις και αναγκαίες προσαρμογές για τη μεγάλης κλίμακας διεύθυνση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή*
49. Moussiopoulos, N. et al., 2010, *‘Environmental, social and economic information management for the evaluation of sustainability in urban areas: A system of indicators for Thessaloniki, Greece, Cities*
50. Kammen, M. D. & Engel, D., 2009, *Green Jobs and the Clean Energy Economy: the Copenhagen Climate Council’s Thought Leadership Series*, Copenhagen
51. ICAP, 2012, *Κλαδική ανάλυση: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*
52. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2013. *Κλιματική αλλαγή - ευρωπαϊκή πολιτική* [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446> [προσβάσιμο στις 02 Ιουνίου 2014].

53. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2013. Έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ayq57aIx1P4%3D&tabid=37&...> [προσβάσιμο στις 08 Μαΐου 2014].
54. Taxation Innovation and the Environment - OECD 2010 [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/48178034.pdf> [προσβάσιμο στις 15 Μαΐου 2014].
55. Η Ενεργειακή Επανάσταση είναι το όραμα της Greenpeace, [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.oecd.org/environment/tools-evaluation/48178034.pdf> [προσβάσιμο στις 15 Μαΐου 2014].
56. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, 2014, [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.dei.gr/> [προσβάσιμο στις 30 Ιουνίου 2014].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Sunny Mini Central

SMC 6000TL, SMC 7000TL και SMC 8000TL



Υψηλότερη απόδοση παγιοαίσιως,
πάνω από 98 %

Χαμηλότερη τιμή μονάδας

Ελάχιστος χρόνος απόδοσης

OptiCool:

Μέγιστη απόδοση σε θερμοκρασία
περιβάλλοντος έως 50 °C χάρη στο
σύστημα ψύξης δικτύου θαλάμου

SMA grid guard 2:

Αυτόνομος διακόπτης σύνδεσης
σε δίκτυο σύμφωνα με το πρότυπο
DIN VDE 0126-1-1

Electronic Solar Switch ESS:

Ενοσωματωμένος διακόπτης
απόζευξης DC σύμφωνα με το
πρότυπο DIN VDE 0100-712
(προαιρετικά)

Για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις
τριφασικής τροφοδοσίας

Εγγύηση 5 ετών από την SMA

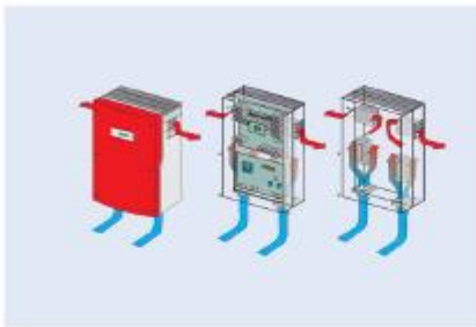
Η νέα σειρά προϊόντων Sunny Mini Central σας προσφέρει ακόμα περισσότερα: με απόδοση πάνω από 98% και την χαμηλότερη τιμή αγοράς σας εγγυάται την ταχύτερη απόδοση των ηλιακών μοιραστών.

Κλιμακωτές κατηγορίες ισχύος 6,7 και 8 kW, όπως επίσης και δυνατότητα συνδυασμού όλων των προϊόντων της σειράς, εξασφαλίζουν ευελιξία στο σχεδιασμό της εγκατάστασης. Είναι αυτόνοδο πως τα νέα Sunny Mini Central διαθέτουν όλες τις λειτουργίες ασφαλείας και άμεσης της κορυφαίας εταιρίας.

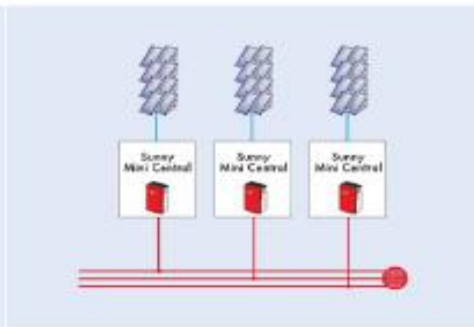
Στην επόμενη σελίδα θα βρείτε τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα σας τρέξουν!

Περισσότερες πληροφορίες στην
ιστοσελίδα:

www.SMA.de/SMC8000TL



Οριζόντιο Στήριξη γέφυρα δύο φάσεων για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης, σχεδόν σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έως 40 °C



Παράλληλη σύνδεση του Sunny Mini Central (βραχυκή σύνδεση βύσας)

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

	SMA 6000TL	SMA 7000TL	SMA 8000L
Τύπος σύνδεση			
Μέγιστη ισχύς DC	6250 W	7200 W	8250 W
Έξοδος τάσης DC	325 V - 700 V	325 V - 700 V	325 V - 700 V
Ονομαστική τάση λειτουργίας (U _{DCnom})	350 V	350 V	350 V
Μέγ. τάση MPP (U _{MPPmax})	500 V	500 V	500 V
Μέγ. τάση DC (U _{DCmax})	700 V	700 V	700 V
Μέγ. ρεύμα σύνδεσης (I _{DCmax})	19 A	22 A	25 A
Καθυστέρηση τάσης DC (t _{DC})	< 10 s	< 10 s	< 10 s
Μέγ. αριθμός string (σε αλυσίδα)	4	4	4
Σύνδεση DC	Βύσας σύνδεσης (MC ή T)α	Βύσας σύνδεσης (MC ή T)α	Βύσας σύνδεσης (MC ή T)α
Επιμέτρηση	ναι	ναι	ναι
Επιμέτρηση ισχύος	ναι	ναι	ναι
Διεύθυνση λειτουργίας	ναι	ναι	ναι
Προστασία από καιροπληγή τάσης	Δίοδος βραχυκύκλωσης	Δίοδος βραχυκύκλωσης	Δίοδος βραχυκύκλωσης
Τύπος σύνδεση AC			
Μέγιστη ισχύς AC (P _{ACmax})	6000 W στους 40 °C	7000 W στους 40 °C	8000 W στους 40 °C
Ονομαστική ισχύς AC (P _{ACnom})	6000 W	7000 W	8000 W
Μέγ. ρεύμα σύνδεσης (I _{ACmax})	27 A	31 A	35 A
Συντελεστής παραγωγής ρεύματος βύσας	< 4 %	< 4 %	< 4 %
Ονομαστική τάση AC (U _{ACnom})	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V
Ονομαστική συχνότητα AC (f _{ACnom})	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	ναι	ναι	ναι
Ανταρτή σε βραχυκύκλωση	ναι	ναι	ναι
Σύνδεση βύσας	Αφρώδης ενάλλαστρούμενη ρεύματος	Αφρώδης ενάλλαστρούμενη ρεύματος	Αφρώδης ενάλλαστρούμενη ρεύματος
Απόδοση			
Μέγιστη απόδοση (η _{max})	98 %	98 %	98 %
Επίπεδο (η _{95%})	97,7 %	97,7 %	97,7 %
Πιστοποίηση			
Σχέδιοσημείο	IEC γέφυρα (χωρίς μετασχηματιστή)	IEC γέφυρα (χωρίς μετασχηματιστή)	IEC γέφυρα (χωρίς μετασχηματιστή)
Επιμέτρηση βύσας (I DIN VDE 0126-1-1)	30A γεία ground 2	30A γεία ground 2	30A γεία ground 2
Αριθμός φάσεων προστασίας	1	1	1
Παράμετροι			
απόδοση με το πρότυπο DIN EN 62529	IP65 (απόθεση στη σκιά και στο νερό)	IP65 (απόθεση στη σκιά και στο νερό)	IP65 (απόθεση στη σκιά και στο νερό)
Σχέδιοσημείο αέρας	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Επιμετρούμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C
Μεταλλουργική μερική			
Βάρος	31 kg	32 kg	33 kg
Πλάτος / Ύψος / Βάθος σε mm	468 / 612 / 242	468 / 612 / 242	468 / 612 / 242
Εξοπλισμός			
Επιπρόσθετο	Προαιρετικό: RS232/RS485/αποθήκη βασικής δεδομένων, ΟΒήν 2 γραμμές 5 χρόνων (Προαιρετικό: 10 χρόνια)	Προαιρετικό: RS232/RS485/αποθήκη βασικής δεδομένων, ΟΒήν 2 γραμμές 5 χρόνων (Προαιρετικό: 10 χρόνια)	Προαιρετικό: RS232/RS485/αποθήκη βασικής δεδομένων, ΟΒήν 2 γραμμές 5 χρόνων (Προαιρετικό: 10 χρόνια)
ΟΒήν	Προαιρετικό: ESS	Προαιρετικό: ESS	Προαιρετικό: ESS
Εγγύηση	Συμβατό π.χ. με Sunny Boy Central, Sunny Beam, Sunny WebBox και Sunny Portal	Συμβατό π.χ. με Sunny Boy Central, Sunny Beam, Sunny WebBox και Sunny Portal	Συμβατό π.χ. με Sunny Boy Central, Sunny Beam, Sunny WebBox και Sunny Portal

© SMA Solar Technology AG 2014. Όλες οι τιμές είναι ενδεικτικές και ενδέχεται να αλλάξουν χωρίς προειδοποίηση.

www.SMA.de
Καλέστε +49 561 9522 4000

Καινοτομία στη μηχανική συστημάτων
με σκοπό την επιτυχία στα φωτοβολταϊκά



