



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**

ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

Επιβλέπων: Πέτρος Γ. Βερνάδος, Ομότιμος Καθηγητής

Συνεπιβλέπουσα: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΑΔΟΥ, Εργ. Συνεργάτης

Μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού πάρκου

Installation planning of photovoltaic park

**Πτυχιακή Εργασία:
Κυρίτση Χ. Αλέξανδρου (Α.Μ. 31097)**

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή “ήπιες μορφές ενέργειας” είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, ο ήλιος, η βιομάζα και μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Κάθε μορφή έχει τις δικές της ιδιομορφίες και μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είτε σε μικρότερες μονάδες όπως στα κτίρια. Οι νέες τεχνολογίες που εξετάζονται σήμερα, κυμαίνονται με βάση την παραγωγή ποσών ενέργειας με παρονομαστή το κόστος, δηλαδή να είναι οικονομικά αποδεκτές και ταυτόχρονα να καλύπτουν υψηλά ποσά ενέργειας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στη μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος **100 KW** στη θέση Καμαρίνα του Δήμου Ζαλλόγου του Νομού Πρεβέζης.

Η μελέτη περιλαμβάνει έρευνα σχετικά με τη βελτιστοποίηση της ολικής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στη συνέχεια διαστασιολόγηση και καθορισμό των παραγόντων του προς εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος. Γίνεται ο προϋπολογισμός της επένδυσης με τα κόστη παραγωγής και τα έξοδα της επιχείρησης.

ABSTRACT

Renewable Energy Sources are forms of exploitable energy that derived from several natural processes such as wind, geothermy, sun, biomass and can offer alternative ways of producing energy. It's the first kind of energy that human use before turn to energy from mineral fuels. R.E.S are practical limitless, their use does not pollute the environment while the their use is only limited by the development of reliable and economically acceptable technologies that are intended to commitment their potential. The interest for R.E.S started after the first oil crisis of 1974 and consolidated after the awareness of the serious global environmental problems in the last decade.

For many countries the R.E.S provide a domestic source of energy with favorable prospects to the energy balance, helping to reduce dependence on expensive imported oil. Each form has its own peculiarities and can be implemented either in large producing electricity facilities and thermal energy or in smaller units such buildings.

This graduation project concerns the study of installing photovoltaic power plant with total capacity of 100 KW in place Kamarina of municipality Zallogo in the prefecture of Preveza.

The study includes research on optimizing the whole radiation that recruited from the surface of the photovoltaic and then sizing and determining the factors for the installation of a photovoltaic system. Estimated the investment budget with production costs and business expenses.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους και ειδικότερα τους γονείς μου, Χαράλαμπο και Μαρία Κυρίτση, τον αδερφό μου Κωνσταντίνο και την κοπέλα μου Ρωξάνη για την απλόχερη και πολύτιμη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Επίσης εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στην κ. Ζουντουρίδου Εριέττα καθηγήτρια μου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην αναθέτηση του θέματος, την επιστημονική της καθοδήγηση, την ευχάριστη συνεργασία και πολύπλευρη συμπαράσταση της σε ολόκληρη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	4
1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	4
1.2 Κύριες πηγές ενέργειας σήμερα.....	4
1.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	6
1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	7
1.5 Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε στην Ελλάδα.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	12
2.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	12
2.2 Μέτρηση και υπολογισμός ακτινοβολίας.....	12
2.3 Η ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα.....	12
2.4 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	16
3.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	16
3.2 Κυριότερα στοιχεία φωτοβολταϊκού συστήματος.....	18
3.3 Φωτοβολταϊκά πάνελ.....	22
3.4 Ενεργειακή απολαβή πάνελ στον Ελλαδικό χώρο.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	28
4.1 Περιγραφή έργου.....	28
4.2 Χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας.....	29
4.3 Υπολογισμός Φ/Β μονάδας-Διαστασιολόγηση.....	29
4.4 Υπολογισμός καλωδιώσεων.....	39
4.5 Προστασία έναντι υπερτάσεων-Γείωση.....	49
4.6 Εργασίες διαμόρφωσης χώρου.....	51
4.7 Κατασκευή Βοηθητικών Εγκαταστάσεων.....	53
4.8 Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής.....	53
4.9 Εκτίμηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	57
5.1 Οικονομική ανάλυση.....	57
5.2 Συνολικό κόστος εγκατάστασης-μελέτη βιωσιμότητας.....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, παρατηρείται διεθνώς μία συνεχής συγκέντρωση της παραγωγής σε συνεχώς μεγαλύτερους Σταθμούς παραγωγής και παράλληλα ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής με συνεχώς μεγαλύτερες τάσεις, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτό συνέβη και στη χώρα μας με την ανάπτυξη του Εθνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία περίπου κατά τη 1956-1963 εξαγόρασε τις περίπου 300 ηλεκτρικές εταιρίες που προμήθευαν τότε την ηλεκτρική ενέργεια με μικρά τοπικά δίκτυα. Όμως με αφορμή τις πετρελαϊκές κρίσης της δεκαετίας του '70 άρχισε να γίνεται διεθνώς συνείδηση η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας, αφενός μεν για να αξιοποιούνται καλύτερα οι διαθέσιμοι ενεργειακοί πόροι, αφετέρου δε για να περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Άρχισε τότε σε διεθνές επίπεδο η αναζήτηση Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας, σε αντιστάθμισμα των συμβατικών πηγών, όπως είναι το κάρβουνο, το πετρέλαιο και η πυρηνική ενέργεια. Παράλληλα άρχισε μία προσπάθεια για την εξοικονόμηση και γενικότερα τη καλύτερη και αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας.

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που ο άνθρωπος έχει στη διάθεσή του διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στέρεο φλοιό της γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και σ'αυτές που καθημερινά αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης.

Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα και η χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια. Οι δεύτερες έχουν βασική τους προέλευση τον ήλιο. Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια που φτάνει στη γη, εκτός από τη γενικότερη συμβολή της στη δημιουργία, ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίνει ακατάπαυστα ενέργεια με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (ενέργεια κυμάτων) και συμβάλει στη δημιουργία των θαλάσσιων ρευμάτων. Αναρροφούμενο από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Συμβάλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας και τέλος από τη καύση φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

1.2 Κύριες πηγές ενέργειας σήμερα

Το κάρβουνο

Για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα αποτελεί την κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλος μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από τη καύση του ορυκτού άνθρακα.



Εικόνα 1: Εγκατάσταση παραγωγής καρβούνου

Το πετρέλαιο

Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20ου αιώνα, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από δύο πετρελαϊκές κρίσεις (1973 και 1979) και τη διαπίστωση ορατών πλέον επιπτώσεων στο περιβάλλον μας, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αλλαγής του τρόπου ζωής μας και αναζήτησης λύσεων από το χώρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες 55% στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες, το ποσοστό χρήσης πετρελαίου, ως ενεργειακής πηγής, συνεχίζει να αυξάνει, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες παρατηρείται τάση μείωσης του με σταδιακή διεύδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 2: Εξαγωγή πετρελαίου

Η καύση του άνθρακα του πετρελαίου και των παραγώγων του δίνει, ως άμεσα προϊόντα, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που

εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μία μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για περίπου 200 χρόνια και το κάρβουνο και 50 χρόνια για το πετρέλαιο.

Η πυρηνική ενέργεια



Εικόνα 3: Εργοστάσιο παραγωγής πυρηνικής ενέργειας

Από το 1945 και μετά, προστέθηκε στις μεγάλες ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στη οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση, την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόμο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα. Από τα πιο σημαντικά, εκείνο στον πυρηνικό σταθμό του ThreeMileIsland της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ), τον Απρίλιο του 1979 και εκείνο στο Τσέρνομπιλ της Ρωσίας, τον Απρίλιο του 1986, τρομοκράτησαν όλο τον κόσμο.

Καλύπτει το 6,5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης και το 17% της παγκοσμίως παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη παγκοσμίως ηλεκτρική ισχύς σε πυρηνικά εργοστάσια ανέρχεται σε 370 GW περίπου. Στην Ευρώπη ξεπερνά τα 158,4 GW. Το περιορισμένο των κοιτασμάτων του βασικού υλικού, τα πυρηνικά απόβλητα και η απειλητική πιθανότητα ολοσχερούς καταστροφής του κόσμου μας, είτε από την υποτιθέμενη υπό έλεγχο πυρηνική αντίδραση είτε από την ανεξέλεγκτη διασπορά των πυρηνικών όπλων, βάζουν φρένο στη χρήση της.

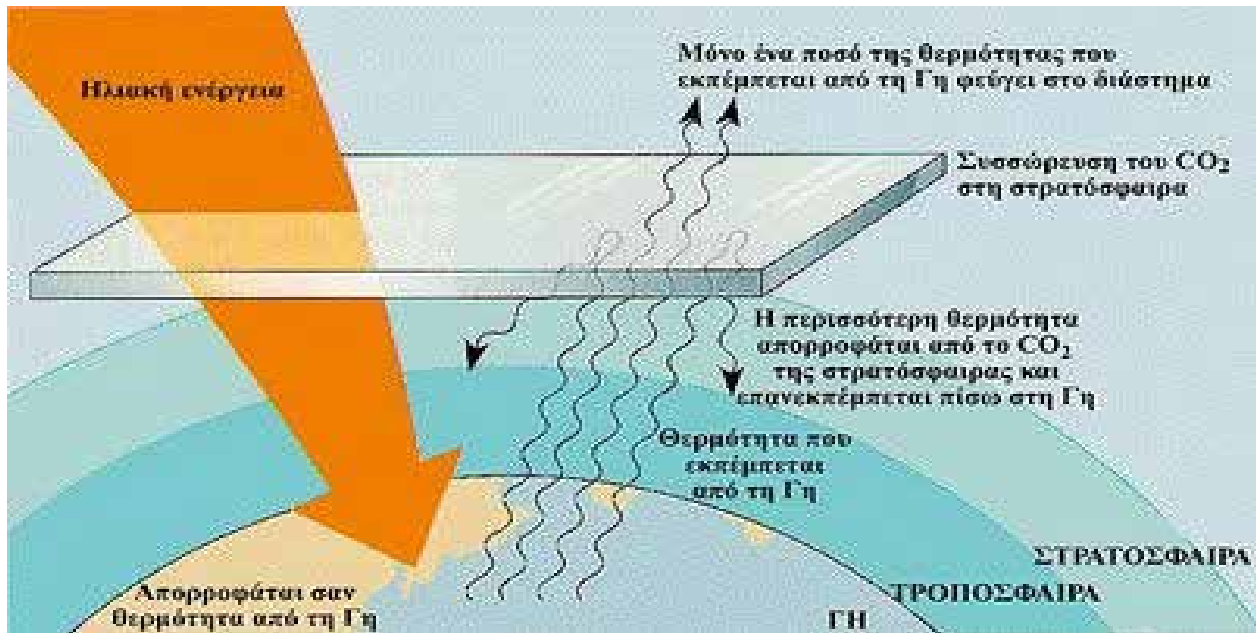
Όλες οι μεγάλης πυκνότητας ισχύος συμβατικές πηγές ενέργειας, εκτός από την αδιαμφισβήτητη προσφορά τους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης και τη μεγάλη συμβολή τους στη βελτίωση της διαβίωσης του ανθρώπου, συνδέονται δυστυχώς με πολύ σοβαρές και εμφανώς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, ενισχύεται διεθνώς η άποψη για μερική, σε πρώτη φάση, αντικατάστασή τους με άλλες πηγές ενέργειας, που να μη ρυπαίνουν και να ενσωματώνονται φιλικά στο περιβάλλον, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο. Αυτό που αποτελεί

απειλή για το πλανήτη μας είναι η υπερβολική εμφάνιση του φαινομένου, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων. Έχει εξακριβωθεί ότι ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας (γνωστά και ως αέρια θερμοκηπίου), επιτρέπουν τη διέλευση της ακτινοβολίας προς τη Γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνειά της. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα συγκεκριμένα αέρια ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

Πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, τη διατήρηση και την εξέλιξη της ζωής στο πλανήτη μας. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν κατά 35°C χαμηλότερη, δηλαδή περίπου -20°C αντί για +15°C που είναι σήμερα και η ζωή θα ήταν αδύνατη στη μορφή που τη γνωρίζουμε.



Εικόνα 4: Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το εν λόγω φαινόμενο, στις φυσικές του διαστάσεις, δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα έχει ζωτική σημασία για τη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη στους 15°C περίπου. Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων αυξάνουν τη δυνατότητα της ατμόσφαιρας να παγιδεύσει την υπέρυθρη ακτινοβολία της Γης. Η αύξηση αυτή οδηγεί στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνεπώς στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη. Τα αέρια εκείνα των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης. Εμάς μας ενδιαφέρουν οι εκπομπές ρύπων που προκαλούνται από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση της, άμεσα ή έμμεσα, δηλαδή από τον ενεργειακό τομέα.

1.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.4.1 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, γεωθερμία), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον.

Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι κυριότερες μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι σήμερα τεχνοοικονομικά εκμεταλλεύσιμες είναι οι ακόλουθες:

A.Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται συνηθέστερα μέσω φωτοβολταϊκών γεννητριών που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια ή με τη συγκέντρωση των ηλιακών ακτινών μέσω ηλιακών συλλεκτών για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών και τελικά τη παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

B. Βιομάζα

Καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας, είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον. Στη χώρα μας τέτοιες μονάδες είναι εγκατεστημένες στη Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο, Χανιά και Ψυτάλλεια Αττικής με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 8000 KW.

Γ. Αιολική Ενέργεια

Αξιοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια και σε ηλεκτρική ενέργεια. Παγκοσμίως η εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς ανεμογεννητριών από 7,6 GW το 1997, έφτασε τα 120,8 GW το 2008. Στην Ευρώπη, η αντίστοιχη ισχύς είναι κοντά στα 66,0 GW.

Δ. Γεωθερμική Ενέργεια

Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή (25°C με 80°C), η ενέργειά τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών, κ.α., ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή (>150°C), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, όπου είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με εξαιρετικά μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, μικρό μόνο μέρος (περίπου τα 3/20) χρησιμοποιείται σήμερα για θέρμανση χώρων, λουτροθεραπεία, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς της χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MW.

Ε. Υδατόπτωση

Η υδατόπτωση κινεί υδροστρόβιλους, που με τη σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρογεννήτριες. Η δημιουργία τεχνητών λιμνών με φράγματα έχει περιορισμένη εφαρμογή λόγω των απαιτούμενων ειδικών εδαφικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις η κατασκευή ενός φράγματος, παρότι η περιοχή καλύπτει τα τεχνικά κριτήρια,

μπορεί να προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή και ενδεχομένως μετακίνηση πληθυσμού, λόγω της κατάκλισης με νερό εκτεταμένων εύφορων και με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά περιοχών. Η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας καλύπτει, περίπου, το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

1.4.2 Πλεονεκτήματα Α.Π.Ε

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα, αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

1.5 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

1.5.1 Παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Το 2004, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα άγγιξε τα 32,7 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (TOE). Τη μερίδα του λέοντος στο ενεργειακό μείγμα απέσπασε το πετρέλαιο με περίπου 20 εκατ. TOE (61,2%) και ακολούθησαν ο λιγνίτης (9,3 εκατ. TOE ή 28,5%), το φυσικό αέριο (2,2 εκατ. TOE ή 6,8%) και τέλος τα υδροηλεκτρικά και οι λοιπές ΑΠΕ (1,1 εκατ. TOE ή 3,5%). Η εικόνα αυτή παραμένει λίγο πολύ διαχρονικά σταθερή με τα ορυκτά καύσιμα να κυριαρχούν καλύπτοντας ένα μερίδιο κοντά στο 93% της πρωτογενούς ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο λοιπόν που οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) έχουν εκτιναχτεί τα τελευταία χρόνια ξεπερνώντας ήδη τον δεσμευτικό στόχο που έχει θέσει η χώρα για αύξηση των θερμοσκοπικών αερίων κατά 25% την περίοδο 1990-2011.

1.5.2 ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στη χώρα μας, τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ υποστηρίζονται και προωθούνται από πλευράς επίσημης πολιτείας, από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ερευνητικός φορέας εποπτευόμενος από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) του Υπουργείου Ανάπτυξης, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Γραφεία, τη ΔΕΗ, τα Ιδρύματα Τεχνολογίας και Έρευνας, τα Πανεπιστήμια, τα Τεχνολογικά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (ΤΕΙ), την Τοπική Αυτοδιοίκηση κ.α. Εκτός αυτών, έντονη είναι ήδη η δραστηριότητα του ιδιωτικού τομέα, σε όλο το φάσμα των εφαρμογών των ΑΠΕ.

Η ανάπτυξη τους ενισχύεται από σχετικά προγράμματα της ΕΕ, η οποία επιχορηγεί όχι μόνο την έρευνα αλλά στηρίζει, ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα, εφαρμογές μεγάλης ισχύος, σε βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία κ.α.. Σημαντικό βήμα προώθησης των ΑΠΕ στη χώρα μας, μέσα στην τελευταία δεκαετία, απετέλεσε η χάραξη πιο συγκεκριμένης ενεργειακής πολιτικής και η θεσμοθέτηση νομοθετικού πλαισίου εγκατάστασης και αξιοποίησής τους.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κυρίως της αιολικής και της ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας, προωθείται και ενισχύεται, με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς, σ' όλο τον αναπτυγμένο κόσμο. Αιτία είναι τα συσσωρευμένα οικολογικά προβλήματα που δημιούργησε η αλόγιστη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Η κύρια δυσκολία που αντιμετωπίζουν σήμερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προκειμένου να ενσωματωθούν στην καθημερινή ζωή, είναι το σχετικά υψηλό κόστος της παραγόμενης kWh τους, σε σχέση με το κόστος της kWh πετρελαίου.

Μεταξύ των δύο κύριων τρόπων παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, αιολικής και φωτοβολταϊκής, η αιολική εμφανίζεται σήμερα οικονομικότερη και άρα περισσότερο προσιτή, κυρίως με τη μορφή αιολικών πάρκων, συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους, όπως το ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, είναι αθόρυβα και μπορούν να εγκατασταθούν παντού όπου δε σκιάζει, παρουσιάζουν ακόμα υψηλό κατασκευαστικό κόστος.

Η διαφορά κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής κιλοβατώρας από ΑΠΕ και από πετρέλαιο μειώνεται σταδιακά, ώστε σύντομα, μέσα στην επόμενη δεκαετία, να μπορεί να προβλεφθεί μια απ' ευθείας σύγκριση κόστους ενέργειας. Ήδη το κόστος εγκατάστασής τους εμφανίζεται ανταγωνιστικό απέναντι στη συμβατική παραγωγή ενέργειας, σε περιπτώσεις μη συνδεδεμένων με το δίκτυο περιοχών (Απομονωμένοι οικισμοί, νησιά κ.α.).

1.5.3 Νόμοι για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα

Τον Ιούνιο του 2006 ψηφίστηκε ο νέος νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ν. 3468/06), με ιδιαίτερος ευνοϊκά κίνητρα σε ιδιώτες, αλλά κυρίως σε επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας. Τα βασικά σημεία - κίνητρα του νέου νόμου είναι:

-Επιδοτείται η αρχική εγκατάσταση σε ποσοστό από 30% έως 55% της αξίας του συστήματος, ενώ επιδοτούμενο είναι και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού (Αναπτυξιακός νόμος 3299/04).

-Η τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας είναι 0,40-0,50 ευρώ ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Η τιμή είναι μεγαλύτερη στα νησιά και μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα.

-Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μία 20ετία, σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση

τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

Τον Ιανουάριο του 2009 ψηφίστηκε νέος νόμος για τα φωτοβολταϊκά (ν.3734/2009), όπου κυρίως τροποποιούνται άρθρα του προηγούμενου νόμου. Ρυθμίζονται θέματα αδειοδότησης και τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Η σύμβαση εγγυημένης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας συνάπτεται για είκοσι (20) έτη, με τιμή αναφοράς από σχετικό πίνακα σταδιακά αποκλιμακούμενης τιμής της κιλοβατώρας μέχρι το 2014, που αντιστοιχεί στο μήνα και το έτος υπογραφής της σύμβασης.

Δίδεται, επίσης, η δυνατότητα, μετά από κοινή υπουργική απόφαση, εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια, με συμψηφισμό της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο και της καταναλισκόμενης απ' αυτό. Οι προτάσεις για αδειοδότηση υποβάλλονται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και έχει κυρίως γνωμοδοτικές και εισηγητικές αρμοδιότητες στον τομέα της ενέργειας.

Σήμερα παρατηρείται, σε παγκόσμια κλίμακα, μια αυξημένη δραστηριότητα στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ, που προοιωνίζει την αλματώδη ανάπτυξη και ενσωμάτωσή τους στην ενεργειακή παραγωγή, μέσα στην πρώτη εικοσαετία του νέου αιώνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος είναι μια πύρινη σφαίρα με ακτίνα 700.000km, είναι δηλαδή 300 φορές βαρύτερος από τη γη. Από τον ήλιο ακτινοβολείται συνεχώς προς το διάστημα τεράστια ενέργεια, διαφόρων μηκών κύματος, αποτελούμενη από φως και θερμότητα. Η ισχύς της ενέργειας αυτής φθάνει τα εκατοντάδες χιλιάδες δισεκατομμύρια Kw και οφείλεται στην πυρηνική διάσπαση του υδρογόνου, καθώς σε χρόνο ενός δευτερολέπτου 600 εκατομμύρια τόνοι του στοιχείου αυτού μετατρέπονται σε 596 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Τα υπόλοιπα 4 εκατομμύρια μετατρέπονται στην ακτινοβολούμενη ενέργεια. Η καύση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε τετραγωνικό μέτρο του ήλιου να εκπέμπει 70.000 Hp. Για να παραχθεί ενέργεια σε τέτοια κλίμακα θα πρέπει να καίγεται κάθε δευτερόλεπτο 11 δισεκατομμύρια φορές η ετήσια παραγωγή της γης σε κάρβουνο.

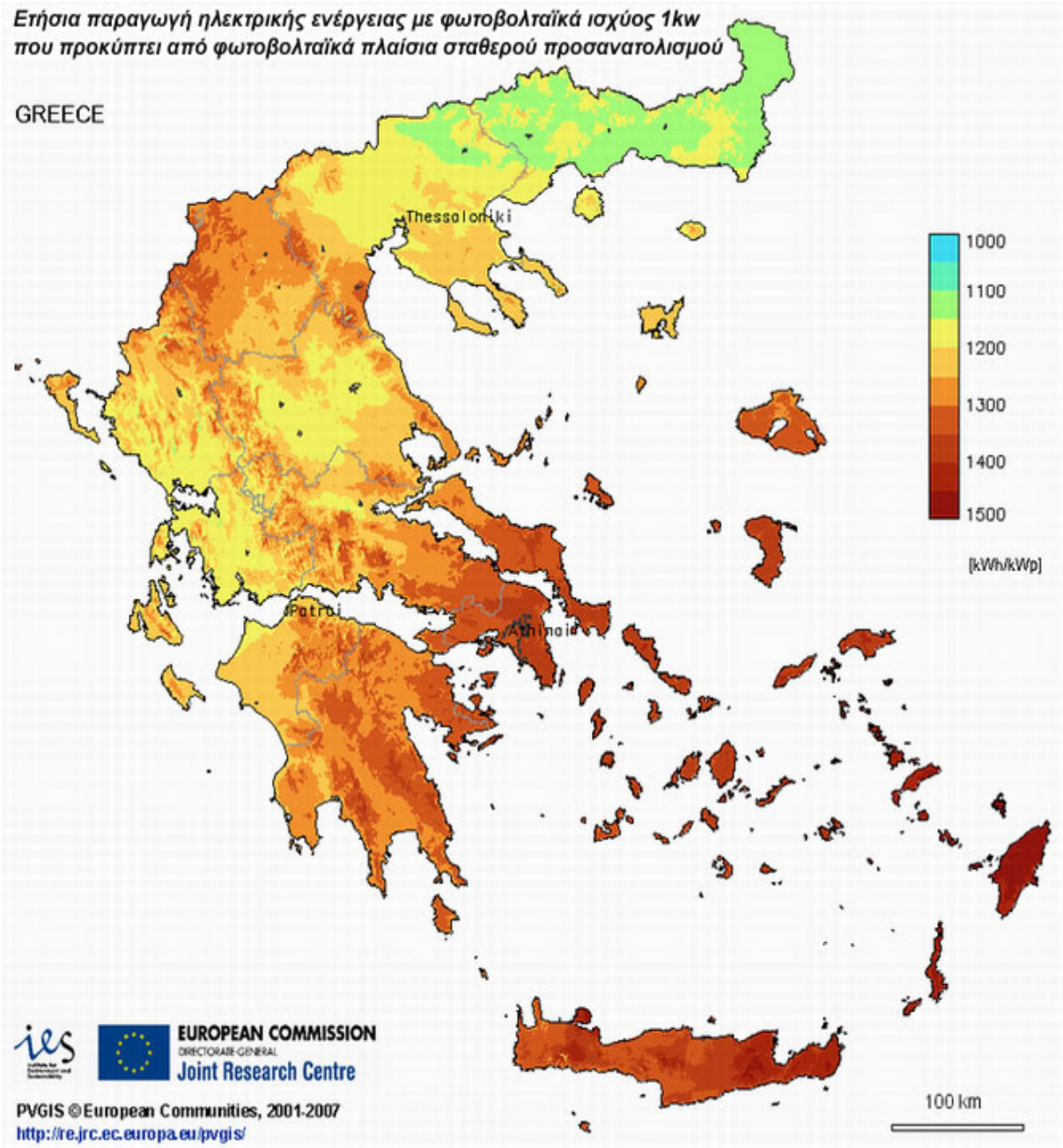
Στη γη φτάνει μόλις το μισό του δισεκατομμυριοστού αυτής της ακτινοβολίας και επιπλέον η ιονόσφαιρα και ορισμένα τμήματα της ατμόσφαιρας απορροφούν ένα μέρος της. Το αποτέλεσμα είναι η ηλιακή ακτινοβολία να δρα ενεργητικά στη ζωή του πλανήτη, εκτός από κάποιες ανεπιθύμητες διαταραχές στις τηλεπικοινωνίες, στις κλιματολογικές συνθήκες και σε ορισμένους οργανισμούς. Έχει υπολογιστεί ότι από τα 4000Q (1Q = ενεργειακό ισοδύναμο με 25.000 τόνους πετρελαίου) της ηλιακής ενέργειας που φτάνει κάθε χρόνο στη γη, 1000 ανακλώνται στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας, 1000 απορροφούνται από την ατμόσφαιρα, ενώ τα υπόλοιπα θερμαίνουν την επιφάνεια της γης.

2.2. Μέτρηση και υπολογισμός ακτινοβολίας

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο και το πυρηλιόμετρο. Το πυρανόμετρο (ακρίβεια: ~1%) μετρά την ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη ή με φωτοβολταϊκό στοιχείο που σκεπάζεται από ημισφαίριο με γυάλινα τοιχώματα. Το πυρηλιόμετρο (ακρίβεια: από 0,2% έως 2%) μετρά την ακτινοβολία επίσης με θερμοηλεκτρική στήλη, που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός κυλίνδρου, του οποίου ο άξονας διατηρείται παράλληλος με τις ηλιακές ακτίνες με βοήθεια αστροστάτη. Με το όργανο αυτό μπορεί να μετρηθεί και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Ωστόσο το πυρηλιόμετρο είναι σημαντικά ακριβότερο από το πυρανόμετρο. Εκτός από τα δύο αυτά όργανα χρήσιμες πληροφορίες παρέχουν οι ηλιογράφοι, που μετρούν τη διάρκεια της ηλιοφάνειας με ακρίβεια της τάξης των 10 λεπτών της ώρας.

2.3. Η ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη στις μέρες μας. Αυτό που μας ενδιαφέρει συνήθως είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημα μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ό,τι στις βόρειες. Αυτό φαίνεται και στον ενεργειακό χάρτη της Ελλάδος που ακολουθούν και συμβουλευονται κατασκευαστές και επιχειρήσεις και ως προς την επιλογή της τοποθεσίας, αν δεν υπάρχει ήδη ο χώρος, αλλά και ως προς την επιλογή των panel, ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής αλλά και την ζητούμενη παραγόμενη ισχύ.



Εικόνα 5: Ενεργειακός χάρτης Ελλάδος

Σύμφωνα λοιπόν με τον παραπάνω χάρτη του PVGIS της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου απεικονίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που θα παρήγαγε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 1 KWp σε ένα έτος, έχοντας βέλτιστο προσανατολισμό. Παρατηρούμε ότι ολόκληρη η επικράτεια είναι σε ζώνες με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερης των 1100 KWh/KWp. Έτσι για παράδειγμα, μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με ονομαστική ισχύ 100KWp χωρίς σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς στη νοτιοδυτική Κρήτη όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 1500 KWh/KWp το έτος, θα παράγει σε ένα χρόνο $1500 * 100 \text{ KWh}$ ή 150 MWh. Η ίδια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στα βόρεια της Θεσσαλονίκης όπου η παραγωγή ενέργειας είναι περίπου 1150 KWh/KWp, θα παράγει 115 MWh σε ένα έτος.

Τα φωτοβολταϊκά έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις από το Νότο έως και 45° είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση. Η σωστή

κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο στην Ελλάδα, σε ετήσια κλίμακα είναι γύρω στις 30°. Παράγοντες όπως γειτονικοί ορεινοί όγκοι, τοπικές κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία) κ.α. επηρεάζουν την απόδοση των ένα φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ερωτήματα όπως πόσο αποτελεσματική θα ήταν η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος με τη χρήση ενός συστήματος στήριξης 2πλού άξονα πρέπει να απαντηθούν πριν την απόφαση για μια τέτοια επένδυση.

Η αρχική εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας σε ετήσια ή και ακόμα ημερήσια βάση, γίνεται ακόμα πιο σημαντική στις περιπτώσεις όπου θα πρέπει να προηγηθεί και επένδυση σε γη. Στις περισσότερες των περιπτώσεων όμως ο χώρος εγκατάστασης υπάρχει εκ των προτέρων στην ιδιοκτησία του <<παραγωγού>> ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο με φωτοβολταϊκά χρειάζεται το φως της ηλιακής ακτινοβολίας, όχι τη θερμότητα της. Ακόμα και μία συννεφιασμένη χειμωνιάτικη μέρα θα υπάρχει άφθονο διάχυτο φως και τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό, έστω και με μειωμένη απόδοση (π.χ. ακόμη και με απόλυτη συννεφιά το φωτοβολταϊκό θα παράγει ένα 5%-20% της μέγιστης ισχύς του).

Η Ελλάδα πάντως είναι ιδιαίτερα ευνοημένη από τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αν σκεφτεί κανείς ότι πολλά από τα συστήματα για τα οποία μιλάμε έχουν αναπτυχθεί και αποδίδουν στη βόρεια Ευρώπη, γίνεται κατανοητό ότι οι συνθήκες ηλιοφάνειας στη χώρα μας προσφέρονται για συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας.

2.4. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φως, σύμφωνα με τον Maxwell, είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο λαμβάνει ο οφθαλμός ως ερέθισμα και μετατρέπεται από το μυαλό του ανθρώπου σε αίσθηση φωτός. Αργότερα, ο Planck εισηγήθηκε την σωματιδιακή φύση του φωτός και ονόμασε τα στοιχειώδη σωματίδια από τα οποία αποτελείται "quanta" φωτός. Στις ημέρες μας η επιστημονική κοινότητα αποδέχεται και τις δύο θεωρήσεις του φωτός και αναφερόμαστε στη δυαδική φύση του φωτός εννοώντας την σωματιδιακή και ηλεκτρομαγνητική του υπόσταση.

Το φως ως ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από τη ταχύτητα διάδοσης του, η οποία στο κενό είναι ίση με $c=3 \cdot 10^8$ m/s και το μήκος λ για το οποίο ισχύει $c=\lambda \cdot f$, όπου f η συχνότητα του κύματος.

Το ηλιακό φως αποτελείται από ενεργειακά σωματίδια που ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια έχουν κοινή ταχύτητα αλλά περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Όταν αυτά προσπίπτουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, υλικό με ημιαγωγικές ιδιότητες, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται, ανάλογα με την ενέργεια που μεταφέρουν.

Τα φωτόνια με χαμηλή ενέργεια διαπερνούν τον ημιαγωγό χωρίς καμία επίδραση ενώ τα φωτόνια με μεγάλη ενέργεια, που αντιστοιχούν σε μικρού μήκους ακτινοβολία, είναι αυτά που παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ύλη αποτελείται από άτομα. Κάθε άτομο, με τη σειρά του, αποτελείται από τον πυρήνα και από τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω από αυτόν, τοποθετημένα πάνω σε στοιβάδες. Από τα ηλεκτρόνια τα πιο απομακρυσμένα από τον πυρήνα, αυτά της εξωτερικής στοιβάδας, λέγονται ηλεκτρόνια σθένους και η αντίστοιχη στοιβάδα σθένους. Κάθε άτομο επιδιώκει να συμπληρώσει την εξωτερική του στοιβάδα με 8 ηλεκτρόνια.

Από ηλεκτρικής απόψεως τα διάφορα σώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τους αγωγούς, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Οι αγωγοί επιτρέπουν την διέλευση του ηλεκτρισμού ενώ οι μονωτές δεν την επιτρέπουν. Οι ημιαγωγοί σε κατάλληλες συνθήκες εκδηλώνουν τις ιδιότητες των άλλων δύο κατηγοριών και μπορούν να λειτουργήσουν ως αγωγοί ή ως μονωτές.

Τα φωτόνια με μεγάλη ενέργεια "υποχρεώνουν" τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού στοιχείου να μετακινηθούν σε άλλη θέση και όπως γνωρίζουμε ο ηλεκτρισμός στην ουσία είναι κίνηση ηλεκτρονίων. Συγκεκριμένα, φωτίζοντας τον ημιαγωγό, κάποια από τα φωτόνια συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια σθένους και μεταβιβάζουν σε αυτά όλη τους την ενέργεια. Αν, λοιπόν, φωτίσουμε

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

έναν κρύσταλλο πυριτίου, στο εσωτερικό του θα παρατηρήσουμε κάποια ηλεκτρόνια να εγκαταλείπουν τα αντίστοιχα άτομα και να προσκολλώνται σε άλλα. Στον κρύσταλλο θα υπάρχουν άτομα με 9 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα, που θα είναι αρνητικά φορτισμένα, και άτομα με 7 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα που θα είναι θετικά φορτισμένα. Στο μεταξύ ελευθερώνονται κι άλλα ηλεκτρόνια που προσκολλώνται σε άτομα ή καταλαμβάνουν τη θέση ενός κενού δεσμού (οπή) που χάνεται. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια άτακτη μετακίνηση ηλεκτρονίων και οπών, η οποία όμως δεν ισοδυναμεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κατευθυνόμενη και προς συγκεκριμένη φορά μετακίνηση ηλεκτρονίων ή οπών. Την κατευθυνόμενη κίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών την πετυχαίνουμε με τους ημιαγωγούς πρόσμιξης,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα Φ/Β συστήματα ανάλογα με την δομή τους διακρίνονται σε τρεις γενικότερες κατηγορίες :

- Στα μεμονωμένα - αυτόνομα συστήματα (no grid - autonomous systems)
- Στα υβριδικά - αυτόνομα συστήματα (hybrid – autonomous systems)
- Στα διασυνδεδεμένα συστήματα με το Ηλεκτρικό δίκτυο (grid – connected systems)

Υπάρχουν βέβαια αρκετοί παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο του Φ/Β συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση (άρα και τον ιδιαίτερο συμπληρωματικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί και πως αυτός ο εξοπλισμός θα διαταχθεί στο όλο σύστημα). Το ποσό της ισχύος που απαιτείται να παραχθεί είναι μόνο ένας από τους παράγοντες που θα πρέπει να εξεταστεί. Η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται το σύστημα, τα οικονομικά μεγέθη στα οποία θα πρέπει να κινηθεί η επένδυση, η απόσταση των φορτίων από την ηλιογεννήτρια καθώς και ο τύπος των φορτίων και η συχνότητα στην οποία αυτά λειτουργούν θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή ενός από τα τρία είδη των Φ/Β συστημάτων, καθώς και για τον καθορισμό του μεγέθους του.

Ακόμα δεν θα πρέπει να αγνοείται σε καμία περίπτωση ότι η αύξηση του συμπληρωματικού εξοπλισμού πέρα από την ηλιογεννήτρια, δημιουργεί ένα σύστημα με μικρότερη αξιοπιστία λόγω ενδεχόμενης αποτυχίας του εξοπλισμού αυτού, αυξάνει τις απώλειες λόγω της μη τέλει απόδοσης του εξοπλισμού, αυξάνει το κόστος του συστήματος. Επιπλέον δεν θα πρέπει να αγνοείται ότι όσο μεγαλύτερη απόδοση έχουν οι ηλεκτρικές αυτές διατάξεις τόσο μικρότερο γίνεται το κόστος του Φ/Β συστήματος και προσθέτοντας επιπρόσθετες πηγές ενέργειας αυξάνει η διαθεσιμότητα του σε ηλεκτρική ισχύς.

3.1.1. Αυτόνομα συστήματα (no grid- autonomous systems)

Με τον όρο μεμονωμένο - αυτόνομο (no grid- autonomous) Φ/Β σύστημα ορίζεται εκείνο το Φ/Β σύστημα που λειτουργεί αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέεται σε διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η έννοια της αυτονομίας στους Φ/Β σταθμούς έχει το χαρακτηριστικό της ανεξάρτητης λειτουργίας από το τυχόν υπάρχον δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του αυτόνομου σταθμού είναι η χρονική ανεξαρτησία του ή αξιοπιστία, δηλαδή ο αριθμός των ημερών που ο σταθμός μπορεί να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες του ηλεκτρικού φορτίου στις δυσμενέστερες περιπτώσεις.

Ο χαρακτηρισμός ενός Φ/Β συστήματος ως αυτόνομου δεν αποκλείει και την χρήση και άλλων πηγών ενέργειας για την ικανοποίηση των αναγκών του φορτίου στις δυσμενέστερες περιπτώσεις, αλλά απλά σημαίνει ότι στο ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο η Φ/Β γεννήτρια συνεισφέρει ενέργεια μεγαλύτερη από τις άλλες πηγές.

Η κύρια εφαρμογή ενός μεμονωμένου - αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι σε απόμακρες περιοχές όπου οι γραμμές του ηλεκτρικού δικτύου δεν μπορούν να εγκατασταθούν είτε λόγω δυσκολιών του εδάφους είτε απλά είναι οικονομικά ασύμφορο να γίνει κάτι τέτοιο (σύμφωνα με στοιχεία περισσότεροι από δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι διεθνώς ζουν σε χωριά τα οποία δεν είναι ακόμα συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα Ελληνικά απομακρυσμένα νησιά (οικονομικά ασύμφορη εγκατάσταση) και τα χωριά σε μεγάλο υψόμετρο όπου είναι δύσκολη η πρόσβαση σε αυτά.

3.1.2. Υβριδικά-αυτόνομα συστήματα (hybrid – autonomous systems)

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτόνομους σταθμούς, μπορεί να στηρίζεται και συνεργασία διαφόρων ηλεκτρικών πηγών, όπου η μια πηγή δρα συμπληρωματικά προς την άλλη, ώστε να μειώνεται το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος και να αυξάνεται η βεβαιότητα ικανοποίησης των απαιτήσεων των φορτίων όλες τις χρονικές στιγμές. Οι σταθμοί αυτού του τύπου ονομάζονται «υβριδικοί», αφού αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών.

Έτσι συγκεκριμένα στα αυτόνομα – υβριδικά Φ/Β συστήματα, η Φ/Β γεννήτρια συνεργάζεται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ντίζελ (H/Z) ή με ανεμογεννήτριες ή και με τα δύο. Όσον αφορά βέβαια τις χρήσεις τους είναι ακριβώς οι ίδιες με τις χρήσεις των μεμονωμένων - αυτόνομων συστημάτων Σ.Ρ. και Ε.Ρ. με αποθήκευση ενέργειας που εξετάστηκαν παραπάνω αφού και τα δομικά τους στοιχεία είναι ίδια με την προσθήκη βέβαια της βοηθητικής ή των βοηθητικών πηγών ενέργειας.

Τα περισσότερα πάντως υβριδικά - αυτόνομα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούν H/Z ντίζελ σε συνεργασία με την Φ/Β γεννήτρια καθώς μια πηγή ενέργειας όπως είναι το H/Z ντίζελ παρέχει προγραμματιζόμενη ισχύ όταν αυτή είναι απαραίτητη. Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται και μπαταρίες επιπρόσθετα στη ντιζελογεννήτρια αφού αυτές μειώνουν την απαίτηση να λειτουργεί η ντιζελογεννήτρια υπό συνθήκες μερικής φόρτισης. Έτσι οι μπαταρίες ικανοποιούν την διακύμανση των ημερήσιων φορτίων, και η ντιζελογεννήτρια φροντίζει για την ικανοποίηση των διακυμάνσεων μεγάλης χρονικής περιόδου. Για παράδειγμα, η ντιζελογεννήτρια χρησιμοποιείται στην κατάσταση της χειρότερης περίπτωσης καιρικών φαινομένων όπως μια παρατεταμένη νεφοκάλυψη κάποιων ημερών ή εβδομάδων.

Η καλύτερη λειτουργία των υβριδικών - αυτόνομων συστημάτων ανεμογεννήτριας - Φ/Β καθώς και η πιο οικονομική λειτουργία τους με την προσθήκη H/Z παρατηρείται στους μήνες της Άνοιξης. Εκείνες οι μέρες είναι αρκετά δροσερές (η απόδοση των Φ/Β ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας) και συνήθως πνέουν ισχυροί άνεμοι. Ο δρόμος που ακολουθούν οι ακτίνες του ηλίου δεν είναι τόσο μακρύς όπως είναι το Καλοκαίρι, ούτε φυσικά αυτές πέφτουν τόσο πλάγια στη γη όπως πέφτουν το Χειμώνα. Αντίθετα ο Χειμώνας είναι η χειρότερη περίοδος τους αφού χαρακτηρίζεται από μικρές και νεφελώδεις ημέρες στις οποίες μάλιστα το ημερήσιο φορτίο που καλείται να καλύψει ένα τέτοιο σύστημα λόγω των ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών αγγίζει την μέγιστη τιμή του. Τέλος το Καλοκαίρι δεν ενδείκνυται αφού είναι η εποχή με το μικρότερο αιολικό δυναμικό.

3.1.3. Διασυνδεδεμένα συστήματα με το Ηλεκτρικό δίκτυο (grid – connected systems)

Πρόκειται για τον πιο σύνηθες τύπο Φ/Β συστήματος στην εποχή μας. Τα θέματα αξιοπιστίας και ασφάλειας τα οποία είχαν τεθεί κατά τα πρώτα χρόνια τις λειτουργίας τους αναφορικά με τον τρόπο νησιδοποίησης έχουν πλέον λυθεί (τα συστήματα αυτά σταματούν αυτόματα να παράγουν εναλλασσόμενη τάση και να την τροφοδοτούν στο δίκτυο, όταν το δίκτυο βγει για κάποιο λόγο εκτός λειτουργίας, προστατεύοντας έτσι τους εργάτες που θα προσπαθήσουν να επιδιορθώσουν την ενδεχόμενη βλάβη).

Έχει ακόμα δοθεί λύση και στο θέμα της ικανοποίησης των απαιτήσεων της ποιότητας της ισχύος με την οποία τροφοδοτούν αυτά τα Φ/Β συστήματα το δίκτυο, μέσω της υλοποίησης κατάλληλα σχεδιασμένων αντιστροφών που μετατρέπουν την τάση Σ.Ρ. σε Ε.Ρ. με πολύ χαμηλή παραμόρφωση. Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής είναι αναγκαστικά σχετικά μεγάλου μεγέθους ώστε να υπάρχει αξιολογικό οικονομικό ενδιαφέρον αλλά και διότι οι ειδικοί αυτοί αντιστροφείς κατασκευάζονται συνήθως για ισχύς πάνω από 1KW.

Όταν το τοπικό ή το εθνικό δίκτυο είναι σε απόσταση αρκετά προσιτή ως προς την τοποθεσία της Φ/Β εγκατάστασης, είναι συχνά σκόπιμη και συμφέρουσα η σύνδεση μεταξύ τους και η συνεργασία τους. Δηλαδή, η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στο Φ/Β σύστημα, διοχετεύεται και πωλείται στο δίκτυο, ενώ από την άλλη μεριά, το δίκτυο καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος όταν δεν επαρκεί η παραγωγή της Φ/Β γεννήτριας. Αυτό το γεγονός βελτιώνει τους δύο σημαντικούς παράγοντες κάθε συστήματος ενέργειας, δηλαδή την συνολική οικονομία και την διαθεσιμότητα τροφοδοσίας του φορτίου.

Τα συστήματα αυτά από πλευράς δομής αποτελούνται από την Φ/Β γεννήτρια, την μπαταρία (αν κάποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο), το ρυθμιστή φόρτισης (όταν υπάρχει μπαταρία) και τον ειδικής κατασκευής αντιστροφέα. Ένας μετρητής ενέργειας χρησιμοποιείται για να καταγράψει την ενέργεια που μεταφέρθηκε προς το δίκτυο, και ένας άλλος μετρητής την ενέργεια που πάρθηκε από το δίκτυο (υπάρχουν και περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ένας μόνο μετρητής που εκτελεί και τις δύο μετρήσεις). Η τιμή της ενέργειας που καταγράφουν οι δύο μετρητές κοστολογείται συνήθως με διαφορετικό τρόπο. Όπως αναφέραμε και παραπάνω η ύπαρξη της μπαταρίας δεν είναι επιβεβλημένη αφού η χρήση της σε ένα τέτοιο σύστημα περιορίζεται στην τροφοδότηση των απότομων αιχμών του φορτίου πράγμα που μπορεί όμως να γίνει και από το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς και στην αποθήκευση της επιπλέον ενέργειας που παράγεται από τα Φ/Β, πράγμα που μπορεί πάλι να γίνει από το ηλεκτρικό δίκτυο (το δίκτυο παίζει τελικά το ρόλο της μπαταρίας). Φυσικά ένα τέτοιο σύστημα χωρίς την ύπαρξη της μπαταρίας και επακόλουθα του ρυθμιστή φόρτισης της έχει ένα κόστος που είναι περίπου το μισό του κόστους εάν είχε και μπαταρία, ενώ εμφανίζει βελτιωμένη απόδοση και μειωμένη περιβαλλοντική επίδραση.

Γενικά σε ένα τέτοιο σύστημα το πλεόνασμα της ενέργειας είτε αποθηκεύεται στις μπαταρίες για να χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της μη ικανοποιητικής παραγωγής της ή πωλείται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το απόθεμα ενέργειας στις μπαταρίες χρησιμοποιείται ακαριαία ως ενίσχυση εάν η παροχή ισχύος από το Φ/Β σύστημα είναι σημαντικά μειωμένη από κάποια τυχαία παρουσία σύννεφων και δεν αρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου.

Επιπρόσθετα η αποθήκευση της ενέργειας στις μπαταρίες μπορεί επίσης να βοηθήσει στη μείωση των απαιτήσεων τροφοδότησης ισχύος από το ηλεκτρικό δίκτυο στις ώρες των απότομων αιχμών του φορτίου. Έτσι αποθηκεύοντας ενέργεια από το δίκτυο στις μπαταρίες σε ώρες χαμηλής απαίτησης ισχύος για να χρησιμοποιηθεί όταν το τοπικό φορτίο την χρειάζεται σε ώρες απότομων αιχμών του φορτίου πετυχαίνεται η μείωση της χρησιμοποίησης μονάδων γεννητριών οι οποίες θα λειτουργήσουν με ένα μεγάλο κόστος για να καλύψουν αυτές τις απότομες αιχμές.

Κάποια ακόμα από τα πλεονεκτήματα τους εκτός από το μειωμένο κόστος και την βελτιωμένη τους απόδοση είναι ότι επειδή τα συστήματα αυτά είναι εγκατεστημένα στο σημείο της χρήσης τους οι απώλειες της μεταφοράς ισχύος ελαττώνονται, ενώ η ενσωμάτωση της Φ/Β γεννήτριας στα κτίρια έχει το πλεονέκτημα της μη χρησιμοποίησης επιπρόσθετης έκτασης γης, μείωση του κόστους του εξοπλισμού στήριξης και χρήση των Φ/Β ως δομικού υλικού της επιφάνειας των κτιρίων.

3.2. Κυριότερα στοιχεία Φ/Β συστήματος

3.2.1. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Το βασικό χαρακτηριστικό συστατικό κάθε Φ/Β εγκατάστασης είναι η Φ/Β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα Φ/Β ηλιακά στοιχεία. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια «μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας» κατά αναλογία με τις

συμβατικές μεθόδους παραγωγής από θερμοηλεκτρικά εργοστάσια. Μια Φ/Β γεννήτρια αποτελείται από Φ/Β πλαίσια που ενώνονται και συγκροτούν συστοιχίες.

3.2.2. Φωτοβολταϊκή συστοιχία (string)

Σε μια Φ/Β εγκατάσταση που έχει σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες Φ/Β πλαίσια. Όπως είναι αναμενόμενο τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/Β συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των Φ/Β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτόν τον τρόπο, αν ένα Φ/Β στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα.

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

3.2.3. Αντιστροφείς

Ο σχεδιασμός ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος ξεκινάει με την επιλογή ενός κατάλληλου αντιστροφέα. Αυτός καθορίζει τη τάση του συστήματος από τη πλευρά του συνεχούς και η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μπορεί τότε να διαμορφωθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εισόδου του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας είναι το πιο σημαντικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ύστερα από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η αρμοδιότητά του είναι να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από την ηλιακή κυψέλη σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 50 Hz προσαρμοζόμενο στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς που προορίζονται μόνο για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτοί που προορίζονται για παράλληλη λειτουργία πρέπει να ανταποκρίνονται τόσο στα χαρακτηριστικά του δικτύου όσο και στην απόδοση της ηλιακής γεννήτριας εξίσου καλά. Καθώς το ρεύμα από τα πάνελ ρέει μέσα από τον αντιστροφέα, τα χαρακτηριστικά του ουσιαστικά επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Εκτός από την αποτελεσματική μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα περιλαμβάνουν επίσης στοιχεία υπεύθυνα για το τύπο της καθημερινής λειτουργίας. Αυτά εξασφαλίζουν ότι η λειτουργία ξεκινάει τη κατάλληλη χρονική στιγμή της ημέρας μόλις οι ηλιακές κυψέλες δώσουν αρκετή ισχύ. Αποτυχημένη προσπάθεια εκκίνησης απαιτεί ισχύ από το δίκτυο και θα πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας πάνω στη I-V χαρακτηριστική καμπύλη μετακινείται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των πανέλων. Έξυπνος έλεγχος από τον αντιστροφέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μεγίστης ισχύος και συνεχή αναπροσαρμογή στο περισσότερο επιθυμητό σημείο λειτουργίας. Συσκευές προστασίας είναι εξίσου ενσωματωμένες στον αντιστροφέα ο οποίος αυτομάτως αποσυνδέεται από το σύστημα εάν προκύψουν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Αρχές Λειτουργίας Αντιστροφέων

Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με διάφορες αρχές:

- Η έξοδος του αντιστροφέα λαμβάνεται σαν μια ρυθμιζόμενη πηγή ρεύματος. Η αλλαγή με το χρόνο της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ρυθμίζεται έτσι ώστε να αντιστοιχεί στις αλλαγές της προβλεπόμενης τάσης του δικτύου. Εάν η τάση του δικτύου αποκλίνει σημαντικά από την ημιτονοειδή κυματομορφή, αυτή θα ακολουθηθεί από τον αντιστροφέα και θα λειτουργήσει με βάση αυτή.
- Ανεξάρτητα από την κυματομορφή της τάσης του δικτύου, ο αντιστροφέας παρέχει εσωτερικώς ρυθμιζόμενο, ημιτονοειδώς διαμορφωμένο ρεύμα στο δίκτυο, το οποίο ρέει ταυτόχρονα με τη τάση του δικτύου.
- Ο αντιστροφέας επιχειρεί να βελτιώσει τη κυματομορφή της τάσης του δικτύου παρέχοντας ηλεκτρισμό με την κατάλληλη κυματομορφή. Αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα όταν το διασυνδεδεμένο δίκτυο έχει χαμηλότερη ισχύ (μεγαλύτερη σύνθετη αντίσταση) από ότι εκείνα με μεγαλύτερη ισχύ.

Απαιτήσεις προς Ικανοποίηση

Οι αντιστροφείς του διασυνδεδεμένου δικτύου διαθέτουν μια ποικιλία στόχων που καλούνται να εκπληρώσουν και πρέπει να ικανοποιούν διάφορες ρυθμίσεις. Κατά την επιλογή ενός αντιστροφέα για το σύστημα, προσοχή θα πρέπει να δοθεί στα ακόλουθα σημεία:

i) Αυτόματη έναρξη λειτουργίας το πρωί.

Μετά την ανατολή, ο αντιστροφέας πρέπει να αναγνωρίζει πότε η ισχύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι αρκετά υψηλή ώστε να εξασφαλίζει σύνδεση και ηλεκτρική παροχή στο δίκτυο.

ii) Μερική υψηλή απόδοση φορτίου.

Η ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς είναι πολύτιμη και δαπανηρή πρέπει να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα στον αντιστροφέα με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. Επειδή ο καιρός δεν είναι πάντοτε ηλιόλουστος, το σύστημα συχνά λειτουργεί με μερικό φορτίο. Η εσωτερική κατανάλωση του αντιστροφέα συνεπώς έχει σημαντική επίδραση στην καμπύλη απόδοσης. Στους καλούς αντιστροφείς η εσωτερική κατανάλωση του αντιστροφέα είναι μικρότερη από 1% της ισχύος.

iii) Λειτουργία ορισμένης υπερφόρτισης

Όταν η ισχύς ξεπεράσει το όριο της στη πλευρά του συνεχούς ρεύματος, πρέπει να ληφθούν μέτρα που να εξασφαλίζουν ότι ο αντιστροφέας δεν θα απενεργοποιείται και θα παραμένει ανενεργός μέχρι το επόμενο πρωί. Θα είναι προτιμότερο εάν ο αντιστροφέας μπορεί να διατηρεί τη λειτουργία του διαθέτοντας ένα όριο ισχύος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μετακινώντας το σημείο λειτουργίας μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος προς τις υψηλότερες τιμές τάσης.

iv) Λειτουργία στο σημείο μέγιστης ισχύος από τη πλευρά της ηλιακής γεννήτριας.

Οι ηλιακές κυψέλες έχουν μια χαρακτηριστική καμπύλη με ένα προφανές μέγιστο. Για τα κρυσταλλικά πανέλα το καλύτερο σημείο λειτουργίας είναι συνήθως σε μια τάση λειτουργίας, η οποία είναι περίπου 20% χαμηλότερη από τη τάση ανοιχτοκύκλωσης. Καθώς η πυκνότητα της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή, η τάση της ηλιακής γεννήτριας που αντιστοιχεί στο μέγιστο σημείο ισχύος (VMPP) εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία της ηλιακής κυψέλης. Η τάση VMPP πέφτει περίπου 0.4% για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας σε Κ. Καθώς η θερμική χρονική σταθερά για το ηλιακό πάνελ είναι εννιά με δέκα λεπτά, η προσαρμογή στο σημείο μέγιστης λειτουργίας δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνεται πολύ συχνά, περίπου κάθε τρία λεπτά.

v) Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος των ηλεκτρονικών εσωτερικού ελέγχου από τη πλευρά της ηλιακής γεννήτριας.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αντιστροφέας δεν πρέπει να τραβά οποιοδήποτε ποσό ισχύος από το δίκτυο. Τα ηλεκτρονικά ισχύος ελέγχου δεν πρέπει να θέτονται σε λειτουργία έως ότου η τάση της ηλιακής γεννήτριας να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο το πρωί.

vi) Αντοχή του αντιστροφέα σε συνθήκες βραχυκύκλωσης και ανοιχτοκύκλωσης.

Ο αντιστροφέας δεν πρέπει να καταστρέφεται εάν το δίκτυο αποσυνδεθεί ενώ υφίσταται η τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Το αίτημα αυτό είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί, επειδή όταν το δίκτυο ξαφνικά αποσυνδεθεί, η αποθηκευμένη ενέργεια στα πηνία και τις χωρητικότητες δεν μπορεί πλέον να διαχυθεί στο δίκτυο αλλά να διασκορπιστεί εσωτερικώς. Αυτή η κατάσταση δύναται να συμβεί εάν ο διακόπτης κλείσει αμέσως στον αντιστροφέα κατά τη διάρκεια λειτουργίας πλήρους φορτίου.

vii) Διηλεκτρική δύναμη.

Τόσο η είσοδος όσο και η έξοδος του αντιστροφέα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικές στην υπέρταση.

viii) Ακουστικός θόρυβος.

Ο ακουστικός θόρυβος πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

ix) Αυτόματη αποσύνδεση από το δίκτυο σε απόκλιση τάσης ή συχνότητας.

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα πρέπει να αναγνωρίζουν τα σφάλματα του δικτύου. Εάν υπάρχουν αποκλίσεις από τη συχνότητα ή τη τάση του δικτύου, ή διακοπή της μιας φάσης, ο αντιστροφέας πρέπει να αποκόπτεται από το δίκτυο εντός ενός δεδομένου χρονικού πλαισίου. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του εναλλασσόμενου δικτύου.

x) Συντελεστής ισχύος $\cos \varphi > 0.9$

Ο συντελεστής ισχύος του συστήματος του πελάτη πρέπει να είναι κοντά στο 1. Αυτό εμποδίζει να απορροφάται από το δίκτυο μεγάλη ποσότητα άεργου ισχύος. Αντιστροφείς με αυτόματη διαμόρφωση πλάτους έχουν συντελεστή ισχύος 1.

xi) Χαμηλό αρμονικό περιεχόμενο στην παροχή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο.

Σε έναν ιδανικό αντιστροφέα, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο θα συνίσταται μόνο από τη θεμελιώδη συχνότητα των 50 Hz. Στους πραγματικούς αντιστροφείς, η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια διαθέτει ένα δεδομένο περιεχόμενων αρμονικών. Παρόλα αυτά, οι ηλεκτρονικές συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης πρέπει να συμμορφώνονται με τους γενικούς κανονισμούς για τις αρμονικές.

xii) Σήματα συγχρονισμού.

Οι διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο αντιστροφείς δεν πρέπει να ενοχλούνται από χαμηλής συχνότητας σήματα συγχρονισμού. Τα σήματα συγχρονισμού επιβάλλονται από τη τάση του δικτύου των 50Hz και δεν πρέπει να προκαλούν καμία σημαντική διακοπή του αντιστροφέα. Αντιθέτως, οι αντιστροφείς δεν πρέπει να μειώνουν τα σήματα συγχρονισμού πάρα πολύ έντομα, πχ. με εσωτερικά φίλτρα.

xiii) Επαρκής ενοργάνωση, απλός χειρισμός από το χρήστη.

Ο χειριστής του διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να μπορεί να αποφαινεται εάν το σύστημα λειτουργεί σωστά με μια γρήγορη ματιά. Η επίδειξη των ακολούθων τιμών είναι χρήσιμη για το σκοπό αυτό.

- τάση της ηλιακής γεννήτριας
- ένταση της ηλιακής γεννήτριας
- ένταση του δικτύου
- κατάσταση μόνωσης της ηλιακής γεννήτριας
- πληροφορίες κατάστασης λειτουργίας

3.3. Φωτοβολταϊκά πάνελ

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

A. Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου <<μεγάλου πάχους>>

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si)

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%, το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής.

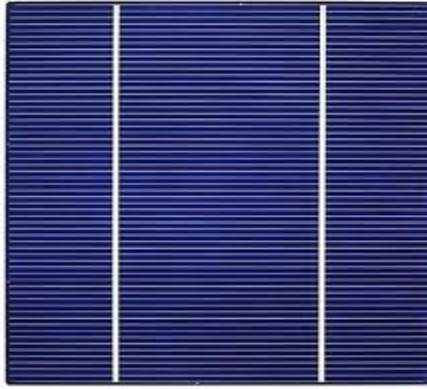
Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, έχει απόδοση πλαισίου 18,5%.



Εικόνα 6: Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si)

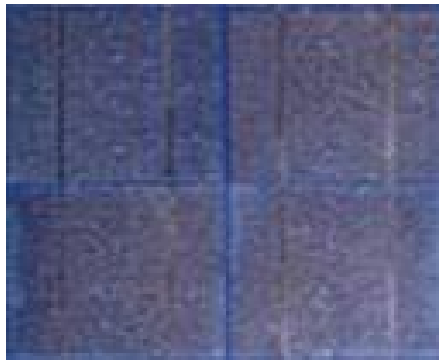
Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται απ ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών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



Εικόνα 7: Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon-Si)

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

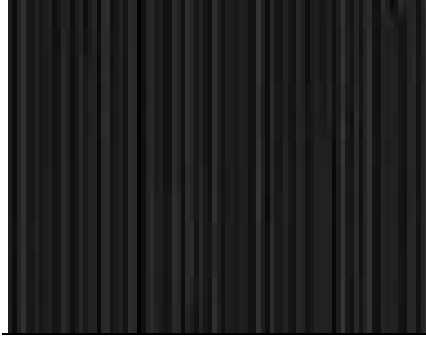


Εικόνα 8: Φωτοβολταϊκό στοιχείο ταινίας πυριτίου

B. Φωτοβολταϊκα υλικά λεπτών επιστρώσεων (thin film)

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



Εικόνα 9: Φωτοβολταϊκό στοιχείο δισεληνοϊνδιούχου χαλκού

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

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση τη απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



Εικόνα 10: Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία τελουριούχου Καδμίου (CdTe)

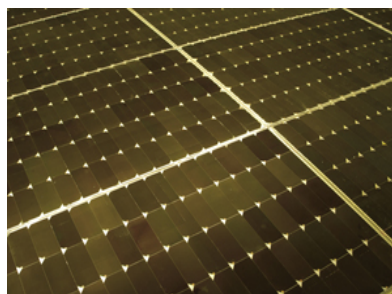
Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό χάσμα γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελούριου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό, κατάλληλο για ενσωμάτωση στα κτίρια (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



Εικόνα 11: Φωτοβολταϊκό στοιχείο CdTe

4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό χάσμα 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



Εικόνα 12: Φωτοβολταϊκό στοιχείο Αρσενικούχου Γαλλίου

Γ. Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

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

Δ. Άλλες Τεχνολογίες

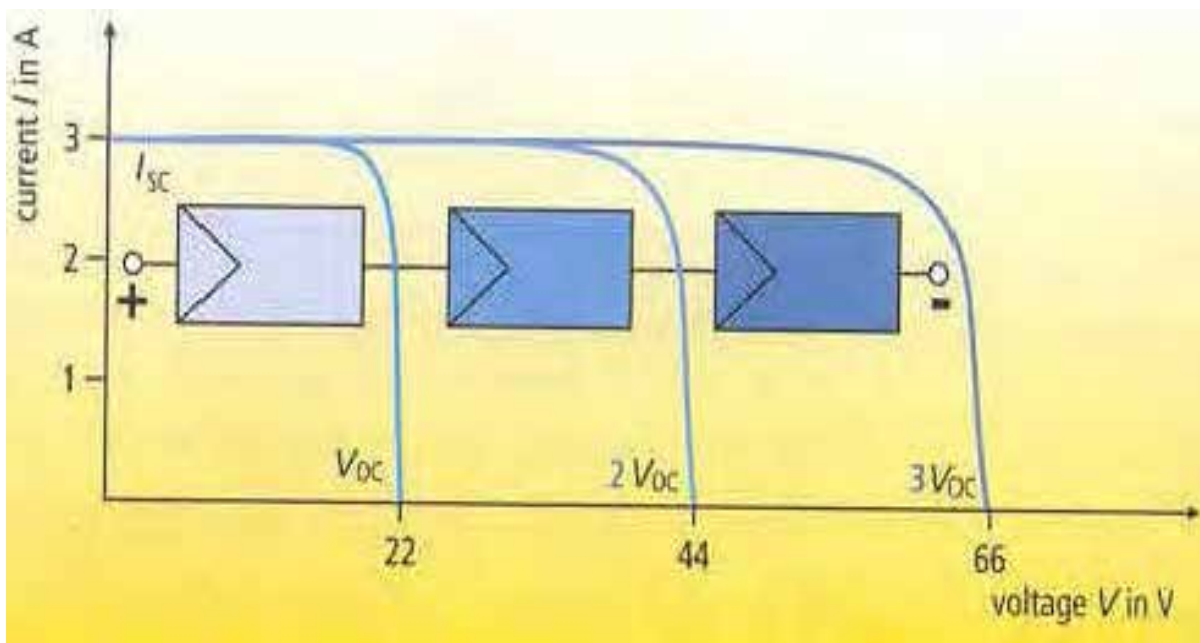
Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

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

3.3.2 Συνδέσεις των πλαισίων

α) Σε σειρά σύνδεση.

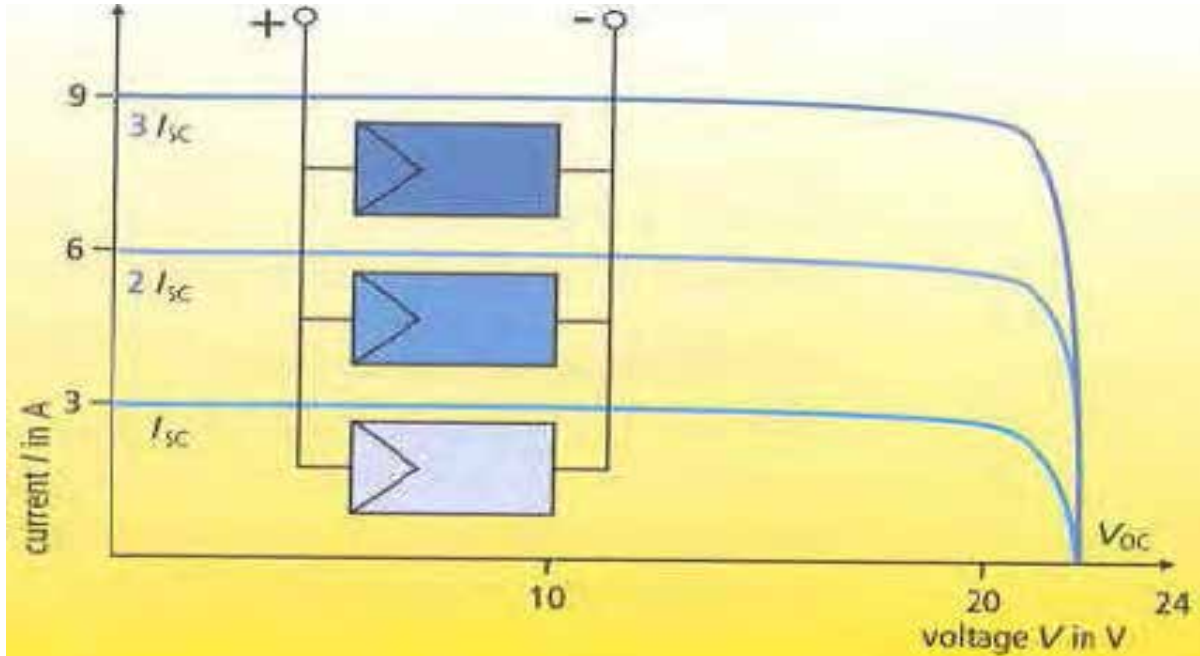
Στη σύνδεση κελιών σε σειρά υπάρχει η ίδια ροή ρεύματος ανά κελί ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των κελιών. Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του συνδυασμού προκύπτει από το άθροισμα των τιμών τάσεων των κελιών για την ίδια τιμή έντασης ρεύματος, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 13: Σύνδεση κελιών σε σειρά

β) Παράλληλη σύνδεση

Η παράλληλη σύνδεση κελιών αυξάνει την ένταση ρεύματος, η τάση στα άκρα του συνδυασμού παραμένει η ίδια με την τάση του κάθε κελιού. Έτσι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του συνδυασμού προκύπτει από την άθροιση των τιμών ρεύματος για την ίδια τιμή τάσης, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 14: Σύνδεση κελιών παράλληλα

3.4. Ενεργειακή απολαβή πάνελ στον Ελλαδικό χώρο

Για την μέγιστη απολαβή ενέργειας, τα πάνελ είναι απαραίτητο να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό με κλίση η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για τα ελληνικά δεδομένα, μία τυπική μέση χαρακτηριστική κλίση είναι αυτή των 30 μοιρών. Ωστόσο όπως θα αναλυθεί περαιτέρω, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ενεργειακή απολαβή αναγκάζοντας τα φωτοβολταϊκά πάνελ να ακολουθούν καθημερινώς την πορεία του ήλιου από ανατολή προς δύση με μεταβλητή κλίση, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η θέση του ήλιου στον ορίζοντα. Ωστόσο, τα προηγούμενα, δηλαδή η τοποθέτηση των πάνελ σε νότιο προσανατολισμό με περίπου 30 μοίρες κλίση ως προς την οριζόντιο, δίνουν έναν πρακτικό κανόνα τοποθέτησης των πάνελ.

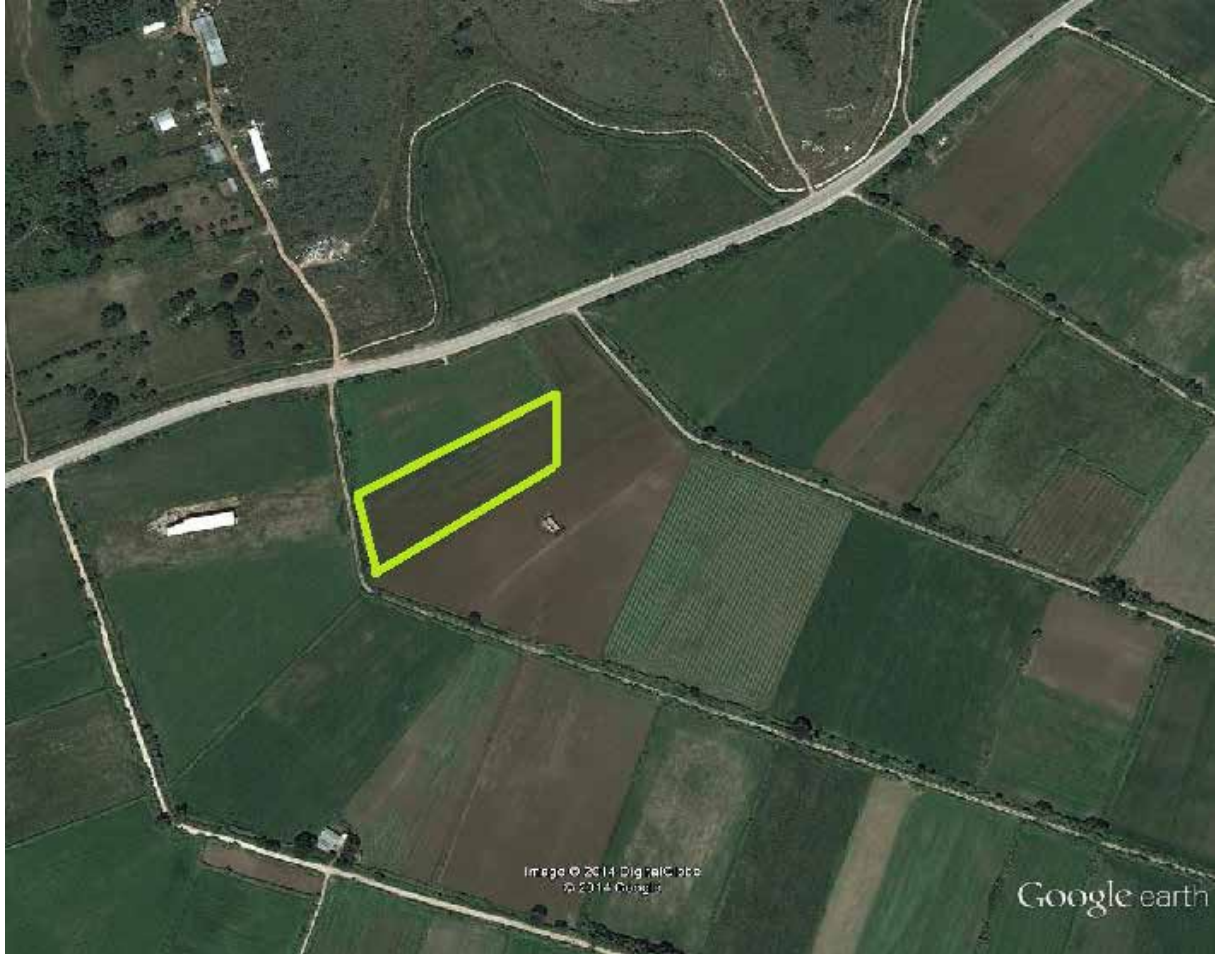
Αναφορικά με τη σκίαση, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η εγκατάσταση να βρίσκεται σε χώρο στον οποίο απουσιάζουν εμπόδια. Επιπλέον, για την αποφυγή σκιάσεων σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης.

Η ενεργειακή απολαβή από τα φωτοβολταϊκά πάνελ εξαρτάται προφανώς και από τα κλιματολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης. Είναι προφανές ότι φωτοβολταϊκά πάνελ του ίδιου κατασκευαστή τοποθετημένα ακριβώς με τον ίδιο τρόπο θα δίνουν διαφορετική παραγωγή στη Βόρεια απ' ότι στη Νότια Ελλάδα, όπου επικρατούν διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει πάντα να έχει υπόψη του ότι η αναγραφόμενη ισχύ κάθε πάνελ (peak power, W_p) αναφέρεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματικά επικρατούσες συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Περιγραφή έργου

Βρίσκεται σε ιδιόκτητο γήπεδο 9.320 τ.μ. στρεμμάτων στη θέση Καμαρίνα του Δήμου Ζαλλόγου του Νομού Πρεβέζης και παρουσιάζεται στη παρακάτω δορυφορική φωτογραφία της περιοχής.



Εικόνα 15:Φωτογραφία από Google earth του γηπέδου

Η πρόσβαση γίνεται μέσω υφιστάμενης αγροτικής οδού στις παρυφές της θέσης εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού Πάρκου. Το γήπεδο έχει μηδενική κλίση και είναι, εξαιρετικά ηλιόλουστο αφού κανένα βουνό η λόφος δεν το σκιάζει από την ανατολή έως την δύση του ηλίου.

Οι συντεταγμένες του είναι: 39° 6'25.46"B
20°40'52.76"A
Ύψος 61 m

Από τα μετεωρολογικά στοιχεία τεκμηρίωσης ηλιακής ενέργειας, που συλλέχθηκαν, η περιοχή δεν έχει ιδιαίτερες σωρεύσεις νεφών, και έχει υψηλή ηλιοφάνεια, με συνεχείς ήπιους σχετικά ανέμους που συνεισφέρουν στον δροσισμό της μονάδος, συμβάλλοντας έτσι σε καλύτερη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

4.2. Χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας

Η πρωτογενής μορφή ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια. Από τεχνολογικής απόψεως, τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (φωτοβολταϊκά) αφορούν ηλεκτρονικά στοιχεία που μετατρέπουν την ενέργεια του ηλίου σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ως ηλιακό δυναμικό ορίζεται η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί ανά μονάδα επιφάνειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο. Ο προσδιορισμός του ηλιακού δυναμικού μιας θέσης γίνεται σε ετήσια βάση με βάση την κατανομή της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους.

Για τις μετρήσεις ηλιοφάνειας χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από μια κοντινότερη θέση, τις οποίες θεωρούμε ικανοποιητικές για την εκτίμηση της δικής μας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος δεδομένου ότι δεν μπορούν να υπάρχουν σημαντικές ποσοστιαίες διαφορές στην ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια και στην παραγόμενη ενέργεια από θέση σε θέση σε τόσο κοντινή απόσταση.

Το γήπεδο που επιλέχθηκε για την εφαρμογή του φωτοβολταϊκού πάρκου έχει διαστάσεις ικανές έτσι ώστε να περικλείει τις συστοιχίες του Φωτοβολταϊκού Πάρκου και τους αντιστροφείς, κα να μη σκιάζεται κανένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.

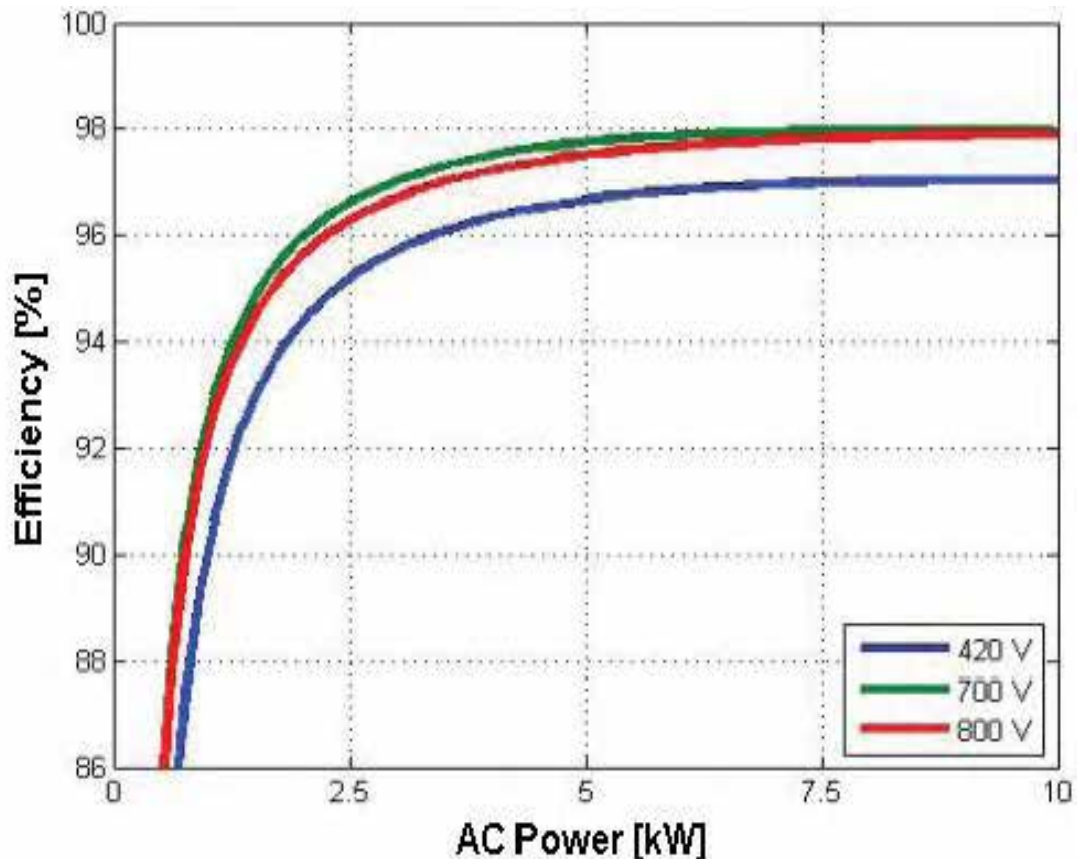
4.3. Υπολογισμός Φ/Β μονάδας-Διαστασιολόγηση

· Inverter

Η ονομαστική ισχύς της εγκατάστασης είναι 100 kWp. Στην εγκατάσταση θα χρησιμοποιήσουμε 10 ίδιους τριφασικούς inverters ονομαστικής ισχύος 10 kW έκαστος (χωρίς να αναφέρουμε εταιρία και μοντέλο). Κάθε inverter διαθέτει 2 ανεξάρτητες μεταξύ τους εισόδους, με κάθε είσοδο να έχει δικό της MPPT. Στη συνέχεια παρατίθενται οι Πίνακες με τα στοιχεία λειτουργίας και οι απαραίτητα γραφικές για τον inverter που επιλέξαμε, στοιχεία απαραίτητα για σωστή διαστασιολόγηση.

Αριθμός Εισόδων	2
Ονομαστική/Μέγιστη DC Ισχύς ανά είσοδο	6000 W
Μέγιστη DC Τάση ανά είσοδο	1000 V
Μέγιστη DC Ένταση εισόδου	12 A (+2%)
Ονομαστική/Μέγιστη DC Ισχύς συνολικά	10000 W (+3%)
Μέγιστο AC Ρεύμα εξόδου ανά φάση	15 A (+2%)

Πίνακας 16: Στοιχεία λειτουργίας του inverter που θα χρησιμοποιήσουμε



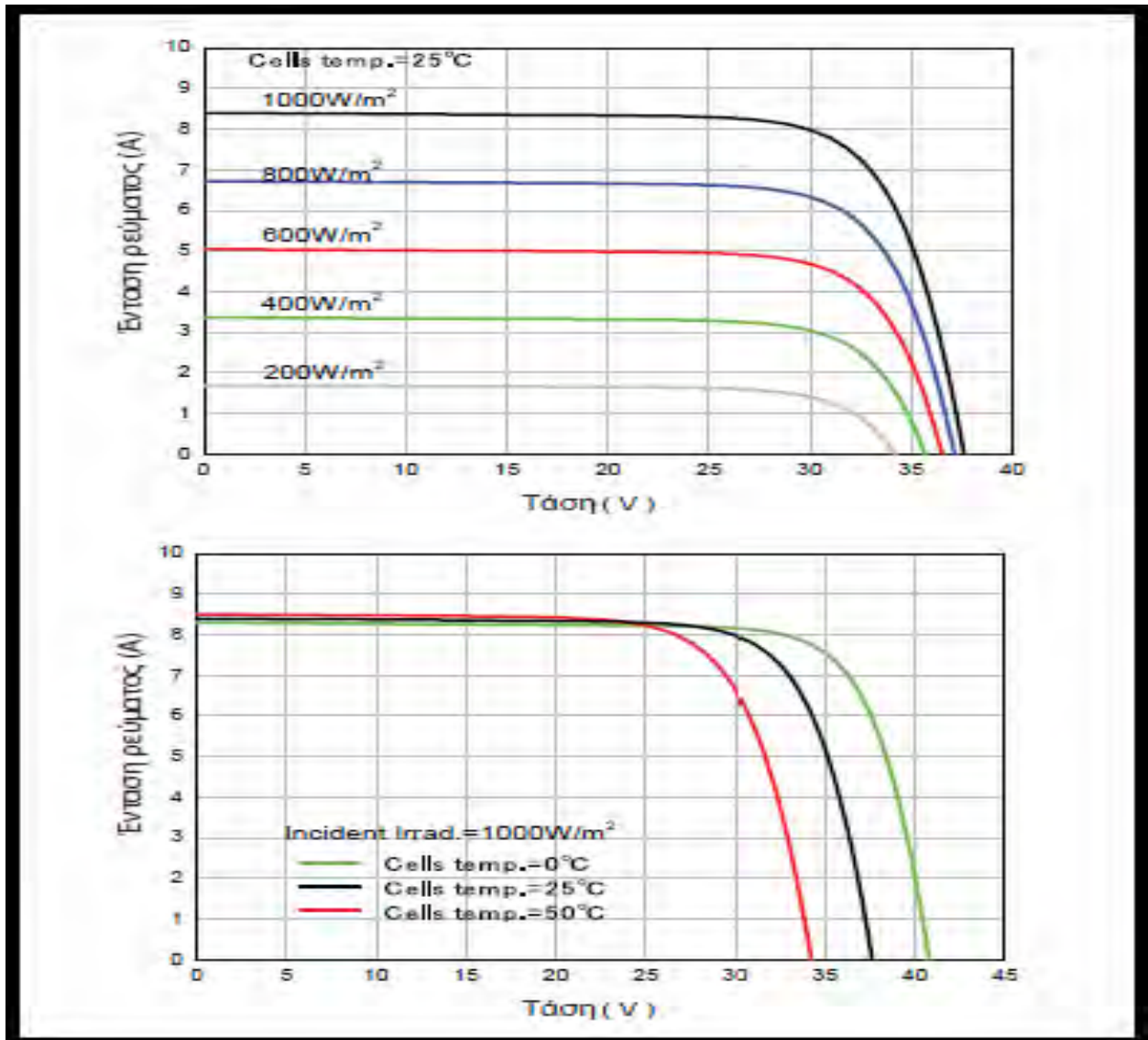
Σχήμα 17: Διάγραμμα Απόδοσης-Ισχύος με παράμετρο την τάση λειτουργίας για τον inverter που θα χρησιμοποιήσουμε

Όπως φαίνεται στο σχήμα 17, ο λόγος ισχύος της Φ/Β μονάδας που συνδέεται στην είσοδό του προς την ονομαστική του συνίσταται από τον κατασκευαστή να μην ξεπερνά το 103%, γιατί αλλιώς ο inverter “κόβει” ισχύ ώστε να τηρείται αυτό το όριο και να μην προκληθεί ζημιά.

Επίσης από το σχήμα βλέπουμε πως ο inverter επιτυγχάνει μεγαλύτερη απόδοση όταν λειτουργεί με μεγάλη ισχύ, κοντά στην ονομαστική ισχύ του και η απόδοση μεγιστοποιείται για λειτουργία στα 7.5 kW, μένοντας πρακτικά σταθερή έως τα 10 kW. Επομένως θέλουμε κάθε inverter που επιλέξαμε να λειτουργεί στα 10 kW, αφ’ ενός για μέγιστη απόδοση και αφετέρου για ελαχιστοποίηση του αριθμού των inverter που θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης παρατηρώντας τις καμπύλες που έχουν προκύψει με παράμετρο την τάση λειτουργίας, βλέπουμε πως ο inverter έχει καλύτερη απόδοση για μεγαλύτερη τάση και πρακτικά η μέγιστη απόδοση συναρτήσει της τάσης επιτυγχάνεται για λειτουργία κοντά στα 700V, μένοντας πρακτικά σταθερή για μεγαλύτερες τιμές τάσης λειτουργίας. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως για μεγαλύτερη οικονομία και καλύτερη απόδοσή των inverter, πρέπει κάθε inverter να λειτουργήσει στην ονομαστική του ισχύ και να έχει μεγάλη τάση εισόδου. Αυτό συνεπάγεται πως κάθε inverter θα έχει μικρό ρεύμα εισόδου ($P=V \times I$), κάτι που είναι επιθυμητό, καθώς έτσι μειώνονται οι ωμικές απώλειες ($P_{\text{απωλ.}} = I^2 \times R$) και κατ’ επέκταση οι ελάχιστες απαιτούμενες διατομές των DC καλωδίων. Επομένως η καλύτερη στρατηγική είναι η ισχύς από τις Φ/Β συστοιχίες να μεταφέρεται στους αντίστοιχους inverters υπό τη μέγιστη δυνατή τάση και το ελάχιστο δυνατό ρεύμα και μήκος καλωδίων.

· Φ/Β συστοιχίες

Αρχικά θα προβούμε σε μια πρώτη εκτίμηση του συνολικού αριθμού των πάνελ που απαιτούνται για την κάλυψη της συνολικής ισχύος που θέλουμε να έχει η Φ/Β εγκατάσταση. Τα απαραίτητα στοιχεία για τα πάνελ τα οποία επιλέγουμε για την εγκατάσταση φαίνονται παρακάτω:



Σχήμα 18: Χαρακτηριστικές I-V για κάθε πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε με παράμετρο την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τη θερμοκρασία αντίστοιχα

Μέγιστη Ισχύς P _m	240 WP
Τάση Μέγιστης Ισχύος V _{mp}	30.2 V
Ένταση μέγιστης Ισχύος I _{mp}	7.95 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος V _{OC}	37.6 V
Ένταση Ρεύματος βραχυκυκλώματος I _{SC}	8.4 A
Απόδοση στοιχείου	14.8%
Αντοχή Ισχύος	+3%

Πίνακας 19: Στοιχεία λειτουργίας των πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε

Εξαρτήματα και μηχανικά στοιχεία	
Εμπρός κρύσταλλο	Γυαλί ασφαλείας υψηλής διαύγειας, 3.2 mm - Saint Gobain (Albarino) Pilkington
Κουτί διακλάδωσης	Huber+Suhner (IP 67) Radox HA3 // Tyco, 1740971-1
Δίοδος	3 δίοδοι - ST STPS1545CG // Diotec SL1515 (15A)
Καλώδια	H+S Radox Smart // Tyco 1.0m, ZH5CG (4 mm ² et 12AWG), πιστοποιημένο κατά IEC και UL, PV Wire
Βύσματα	MC4 // H+S , IP67, πιστοποιημένε κατά IEC και UL
Πλαίσιο	Κράμα ανοδωμένου αλουμινίου τύπου 6063-T5
Υλικό περιβλήματος	EVA (πάχους 0,50 mm ± 0,03 mm)
Υλικό επιφάνειας πίσω μέρους	Λευκό TPT (πάχους 0,32 ± 0,03 mm)
Σιλικόνη σε γέλη	Dow Corning
Εύρος θερμοκρασίας	Από -40°C έως +90°C
Μέγιστο φορτίο	5400 Pa
Άντοχή σε κρούση	Χαλύβδινο σφαιρίδιο, 535 g, από ύψος 1,3 m

Προδιαγραφές	
Κυψέλες	Φωτοβολταϊκές κυψέλες πολυκρυσταλλικού περιπίου 156 mm x 156 mm
Αριθμός κυψελών	60 (6 x 10)
Διαστάσεις (mm)	1640 x 992 x 40
Βάρος (kg)	19.0

Πίνακας 20: Στοιχεία για τα πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε

NOCT	25+2
Συντελεστής Θερμοκρασίας ISC (%/°C)	-0.05+0.01
Συντελεστής Θερμοκρασίας VOC (%/°C)	-0.32+0.02
Συντελεστής Θερμοκρασίας Im (%/°C)	-0.02+0.02
Συντελεστής Θερμοκρασίας Vm (%/°C)	-0.42+0.03
Συντελεστής Θερμοκρασίας Pm (%/°C)	-0.43+0.05

Πίνακας 21: Συντελεστές διόρθωσης των στοιχείων λειτουργίας των πάνελ για θερμοκρασία υψηλότερη από 25°C

Ο συνολικός αριθμός πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι :

$$n = \frac{\text{Ονομαστική ισχύς της εγκατάστασης}}{\text{Μέγιστη ισχύς ενός πάνελ}} = \frac{100000 \text{ W}}{240 \text{ W}} = \mathbf{416 \text{ πάνελ}}$$

Άρα η εγκατάσταση θα έχει συνολικά **416** πάνελ και ονομαστική ισχύ $416 \times 240 = \mathbf{99840 \text{ Wp}}$.

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Όπως προαναφέραμε, στην εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθούν 10 ίδιοι τριφασικοί inverters ονομαστικής ισχύος 10000 W έκαστος, με κάθε inverter να έχει 2 ανεξάρτητες εισόδους. Συνεπώς τα 416 πάνελ θα μοιραστούν με τον ίδιο τρόπο σε αυτούς τους 10 inverters. Προκειμένου να καλυφθούν όλα τα πάνελ, σε 4 inverters θα αντιστοιχούν 41 πάνελ στο καθένα ($41 \times 4 = 164$ πάνελ), ενώ στους υπόλοιπους 6 θα αντιστοιχούν 42 πάνελ στο καθένα ($42 \times 6 = 252$ πάνελ). Η αντιστοιχία inverter-πάνελ φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

A/A Inverter	Συνολικός αριθμός πάνελ στις εισόδους του inverter	Αριθμός πάνελ στην είσοδο 1	Αριθμός πάνελ στην είσοδο 2
1	41	21	20
2	41	21	20
3	41	21	20
4	41	21	20
5	42	21	21
6	42	21	21
7	42	21	21
8	42	21	21
9	42	21	21
10	42	21	21

Πίνακας 22: Αριθμός πάνελ σε κάθε είσοδο inverter

Έτσι η συνολική Φ/Β γεννήτρια θα χωριστεί σε 20 Φ/Β αλυσίδες, καθεμία από τις οποίες θα αντιστοιχεί σε μία είσοδο inverter, με τρόπο που περιγράφεται από τον παραπάνω Πίνακα. Θα έχουμε δηλαδή 10 Φ/Β γεννήτριες, με έναν inverter και 2 Φ/Β συστοιχίες η καθεμία.

Ως γνωστόν, σε μια Φ/Β συστοιχία, ο αριθμός των πάνελ σε σειρά, δηλαδή ο αριθμός των πάνελ κάθε αλυσίδας, καθορίζει την τάση της αλυσίδας και επομένως ολόκληρης της συστοιχίας. Επίσης, μία συστοιχία μπορεί να συγκροτείται από αλυσίδες πάνελ συνδεδεμένες παράλληλα, ο αριθμός των οποίων καθορίζει το ρεύμα εξόδου της συστοιχίας.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ κάθε Φ/Β συστοιχίας και του inverter που βρίσκεται συνδεδεμένος στην έξοδο της. Πρέπει δηλαδή να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ τάσης και του ρεύματος εξόδου της γεννήτριας και τάσης και ρεύματος εισόδου του μετατροπέα. Βασικό κριτήριο για τον καθορισμό του αριθμού των πλαισίων εν σειρά αποτελεί η επιθυμούμενη τάση στα άκρα της συστοιχίας η οποία πρέπει να καθοριστεί με βάση την τάση του inverter από την πλευρά της εισόδου του.

Η καλύτερη επιλογή επομένως θα ήταν η κάθε συστοιχία που αντιστοιχεί σε μία είσοδο inverter να αποτελείται από όσο το δυνατόν περισσότερα πάνελ σε σειρά και όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό αλυσίδων συνδεδεμένων παράλληλα. Αρχικά λοιπόν ελέγχουμε εάν όλα τα πάνελ μίας συστοιχίας που αντιστοιχεί σε μία είσοδο inverter μπορούν να συνδεθούν σε σειρά σχηματίζοντας μόνο μία αλυσίδα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του inverter.

Πρώτα ελέγχουμε η μέγιστη τάση εξόδου μίας αλυσίδας 20 ή 21 πάνελ σε σειρά να μην ξεπερνά τη μέγιστη τάση εισόδου του inverter.

- Για 20 πάνελ σε σειρά η συνολική μέγιστη τάση εξόδου θα είναι:
 $V_{outmax20} = 20 \times V_{oc} = 20 \times 37.6 = 752 \text{ V}$
- Για 21 πάνελ σε σειρά η συνολική μέγιστη τάση εξόδου θα είναι:
 $V_{outmax21} = 21 \times V_{oc} = 21 \times 37.6 = 789.6 \text{ V}$

Οι παραπάνω τιμές είναι αρκετά χαμηλότερες από τα 1000 V, που είναι η μέγιστη τάση που μπορεί να δεχτεί κάθε είσοδος του μετατροπέα. Ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη πως σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 25°C (τα στοιχεία για τα πάνελ αναφέρονται σε θερμοκρασία

περιβάλλοντος 25°C) καθώς η τάση των πάνελ αλλάζει ανάλογα με τη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Ο ακόλουθος πίνακας δίνει τον κατάλληλο συντελεστή προσαύξησης της τάσης ανοιχτού κυκλώματος ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος:

Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	Συντελεστής
24 έως 20	1.02
19 έως 15	1.04
14 έως 10	1.06
9 έως 5	1.08
4 έως 0	1.10
-1 έως -5	1.12
-6 έως -10	1.14
-11 έως -15	1.16
-16 έως -20	1.18
-21 έως -25	1.20
-26 έως -30	1.21
-31 έως -35	1.23
-36 έως -40	1.25

Πίνακας 23: Διορθωτικοί συντελεστές για τη V_{oc} σε πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου για θερμοκρασίες χαμηλότερες από 25°C

Βλέπουμε πως όσο η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται, ο συντελεστής προσαύξησης της τάσης των πάνελ αυξάνεται σημαντικά. Για να έχουμε κάνει μια πολύ ασφαλή εκτίμηση, θα υπολογίσουμε τη μέγιστη τάση εξόδου κάθε συστοιχίας σε ακραίες θερμοκρασίες. Το διάστημα -11°C έως -15°C είναι μία αρκετά ακραία περίπτωση για την Πρέβεζα, επομένως αν η μέγιστη τάση εξόδου δεν ξεπερνά τα 1000V σε αυτές τις συνθήκες, τότε η λειτουργία του inverter θα είναι ασφαλής.

Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος -11°C έως -15°C συνεπώς:

- η μέγιστη τάση εξόδου μίας συστοιχίας αποτελούμενης από 20 πάνελ σε σειρά θα είναι: $V_{outmax20} = 1.16 \times V_{oc\ 20} = 1.16 \times 752 = 872.3V < 1000V$
- η μέγιστη τάση εξόδου μίας συστοιχίας αποτελούμενης από 21 πάνελ σε σειρά θα είναι: $V_{outmax21} = 1.16 \times V_{oc\ 21} = 1.16 \times 789.6 = 915.94V < 1000V$

Φαίνεται πως ακόμα και σε ακραία χαμηλές θερμοκρασίες, η μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος κάθε συστοιχίας αποτελούμενης από μόνο μία αλυσίδα των 20 ή 21 πάνελ σε σειρά απέχει αρκετά από τη μέγιστη επιτρεπτή τάση κάθε εισόδου του inverter. Το όριο των 1000 V για κάθε είσοδο του inverter επομένως δεν παραβιάζεται σε καμία περίπτωση.

Ομοίως με την τάση, πρέπει να ελέγξουμε και το μέγιστο ρεύμα της κάθε συστοιχίας, το οποίο, εφόσον οι συστοιχίες τόσο των 20 όσο και των 21 πάνελ θα αποτελούνται μόνο από μία αλυσίδα, θα ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης ενός πάνελ. Έτσι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να προκύψει σε κάθε συστοιχία θα είναι: $I_{outmax} = I_{sc} = 8.4\text{ A}$.

Ωστόσο σε περιπτώσεις μεγάλης ηλιοφάνειας, είναι δυνατόν η προσπίπτουσα στην επιφάνεια των πάνελ ακτινοβολία να ξεπερνά τα 1000 W/m², τιμή στην οποία αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των πάνελ που χρησιμοποιούμε, με αποτέλεσμα το ρεύμα εξόδου τους να

αυξάνεται. Για το λόγο αυτό δίνουμε μία προσαύξηση 25% στο μέγιστο ρεύμα ώστε να είναι πιο ασφαλής η εκτίμησή μας. Έτσι θεωρούμε ότι το μέγιστο ρεύμα εξόδου που μπορεί να προκύψει σε κάθε συστοιχία είναι: $I_{outmax} = I_{sc} \times 1.25 = 8.4 \times 1.25 = 10.5 \text{ A} < 12 \text{ A}$.

Επομένως και το όριο μέγιστου ρεύματος εισόδου του inverter δεν παραβιάζεται σε καμία περίπτωση από την προτεινόμενη διαστασιολόγηση.

Έπειτα πρέπει να ελέγξουμε εάν η τάση V_{mp} της κάθε συστοιχίας βρίσκεται εντός των ορίων τάσης για τα οποία ο μετατροπέας μπορεί να ψάχνει το σημείο MPP. Με άλλα λόγια πρέπει να ελέγξουμε εάν η κατώτερη τιμή τάσης κάθε συστοιχίας αφενός επαρκεί για να λειτουργεί ο inverter στον οποίο συνδέεται και αφετέρου εάν βρίσκεται εντός του διαστήματος στο οποίο ο inverter μπορεί να ανιχνεύει το MPP (420V - 800 V). Σύμφωνα λοιπόν με τα στοιχεία λειτουργίας των πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε:

- Για 20 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου θα είναι: $V_{mp20} = 20 \times V_{mp} = 20 \times 30.2 = 604 \text{ V}$
- Για 21 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου θα είναι: $V_{mp21} = 21 \times V_{mp} = 21 \times 30.2 = 634.2 \text{ V}$

Οι παραπάνω τιμές τάσης όμως, όπως έχουμε πει και προηγουμένως αφορούν τη λειτουργία σε θερμοκρασία 25 °C. Η θερμοκρασία γειτονικά των πάνελ όμως μπορεί να ανέρχεται στους 60 °C ή 70 °C, γεγονός που μειώνει την τάση εξόδου τους. Για να κάνουμε λοιπόν μία πολύ ασφαλή εκτίμηση για την τιμή της τάσης V_{mp} των συστοιχιών σε υψηλές θερμοκρασίες, θα υπολογίσουμε την V_{mp} στους 80 °C, με τη βοήθεια των στοιχείων για τους συντελεστές διόρθωσης λειτουργίας των πάνελ για θερμοκρασία υψηλότερη από 25 °C:

Επειδή $\Delta\theta = 80 - 25 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, ο συντελεστής μείωσης της V_{mp} για τους 80 °C θα είναι $-(0.42 \times 55)\% = -23.1\%$

- Για 20 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου στους 80 °C θα είναι: $V_{mp20,80^\circ\text{C}} = 20 \times V_{mp} \times (100 - 23.1)\% = 20 \times 30.2 \times 76.9\% = 464.45 \text{ V} > 420 \text{ V}$
- Για 21 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου στους 80 °C θα είναι: $V_{mp21,80^\circ\text{C}} = 21 \times V_{mp} \times (100 - 23.1)\% = 21 \times 30.2 \times 76.9\% = 487.7 \text{ V} > 420 \text{ V}$

Τον ίδιο έλεγχο για την V_{mp} πρέπει να κάνουμε και για τις ακραία χαμηλά θερμοκρασίες. Όπως πριν για τη V_{oc} , έτσι και για την V_{mp} θα κάνουμε έλεγχο σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, στο διάστημα -11°C έως -15°C. Εκεί για την V_{mp} θα έχουμε:

- Για 20 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος -11°C έως -15°C θα είναι: $V_{mp20,-11^\circ\text{C}} = 20 \times V_{mp} \times 1.16 = 700.64 \text{ V} < 800 \text{ V}$
- Για 21 πάνελ σε σειρά η συνολική V_{mp} τάση εξόδου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος -11°C έως -15°C θα είναι: $V_{mp21,-11^\circ\text{C}} = 21 \times V_{mp} \times 1.16 = 735.67 \text{ V} < 800 \text{ V}$

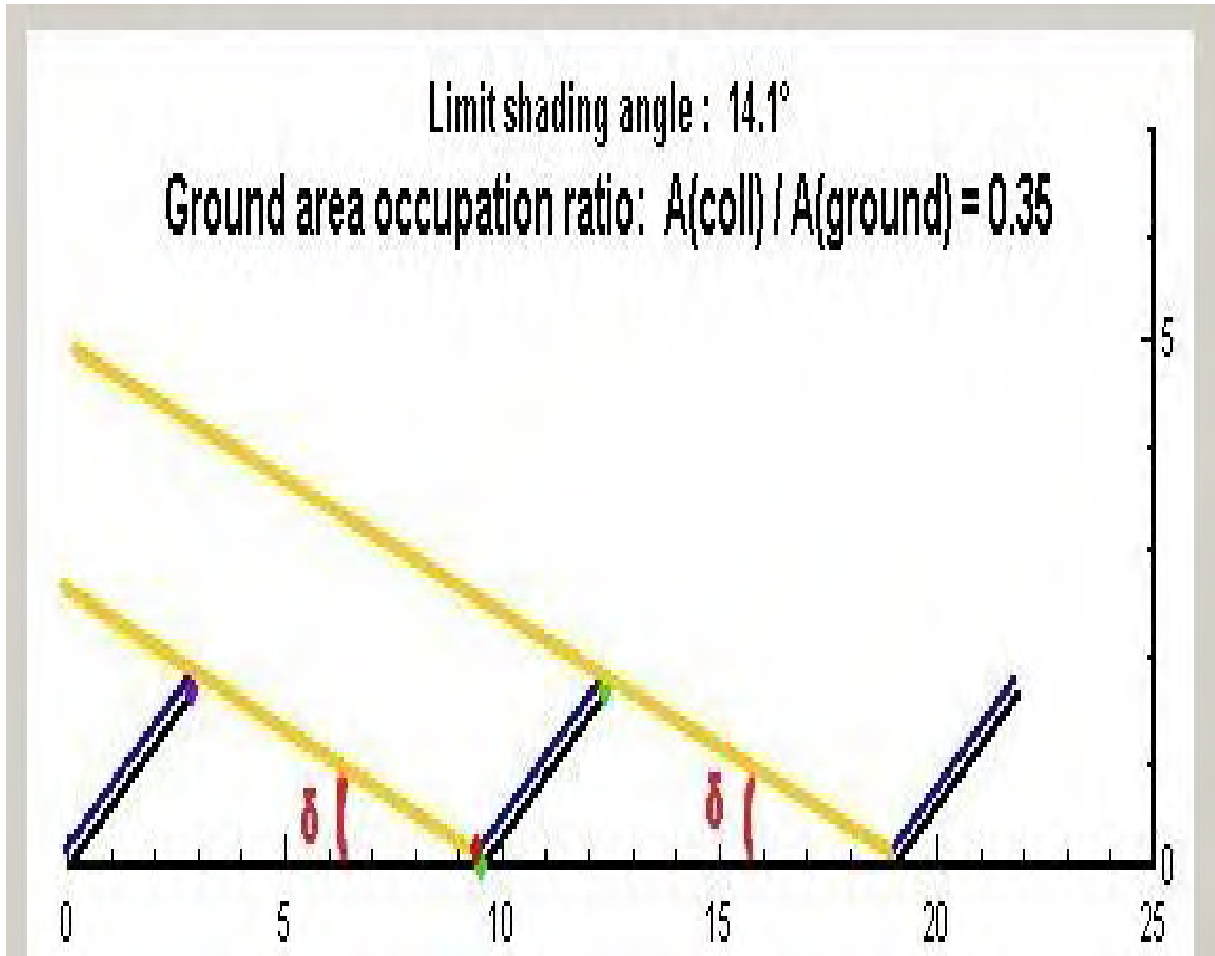
Βλέπουμε επομένως πως ακόμα ακραία υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, η τάση εξόδου των συστοιχιών που αποτελούνται τόσο από 21 όσο και από 20 πάνελ, βρίσκεται μέσα στο διάστημα στο οποίο ο inverter μπορεί να ανιχνεύει το MPP.

Η καλύτερη επιλογή είναι οι 20 συστοιχίες να χωριστούν σε 10 διπλές βάσεις. Έτσι πίσω από κάθε βάση εγκαθίσταται ένας inverter και καθεμία από τις δύο συστοιχίες μίας βάσης συνδέεται σε μία είσοδό του. Τα πάνελ θα στηριχθούν σε σταθερές βάσεις, θα έχουν νότιο προσανατολισμό με περίπου 30 μοίρες κλίση ως προς την οριζόντιο.

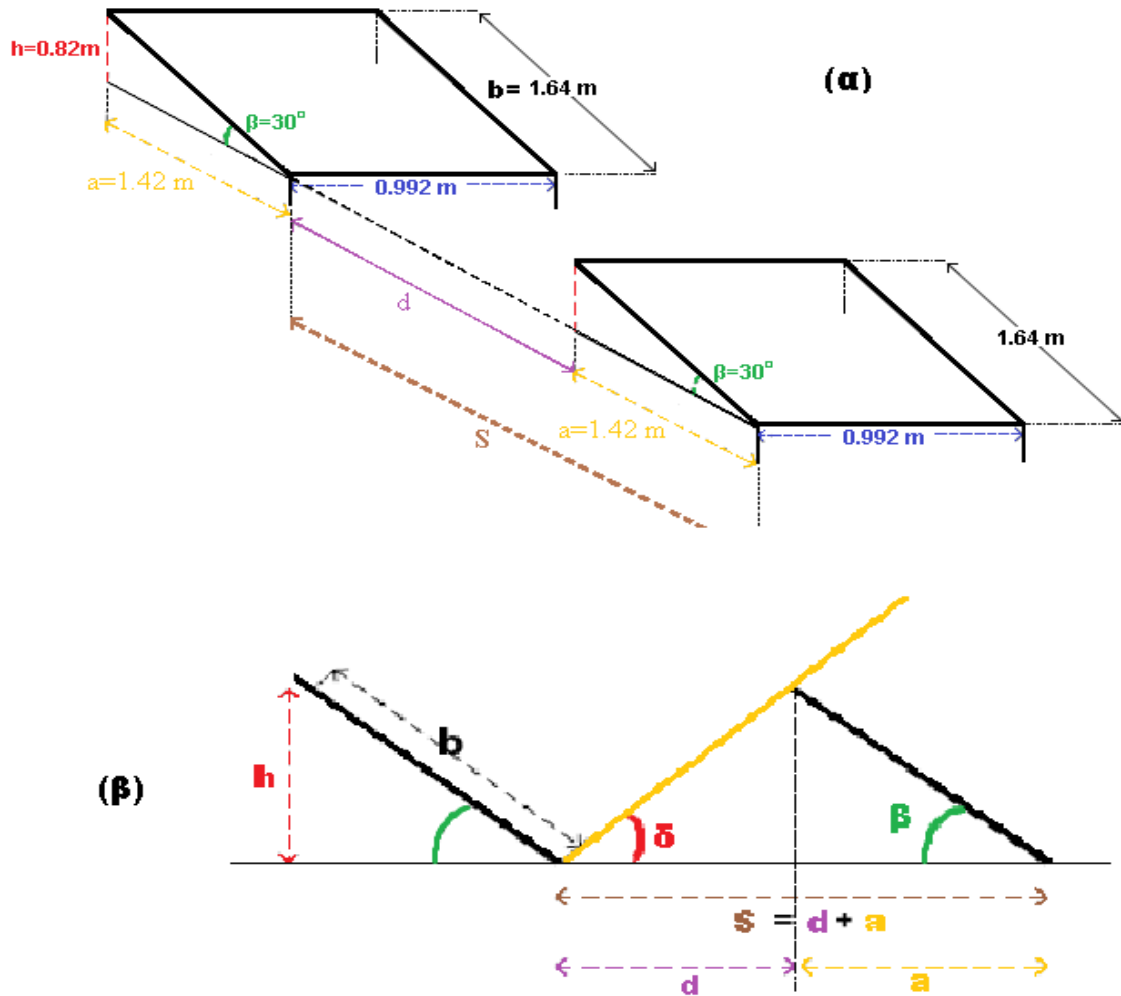
Η διάταξη αυτή που προτείναμε παραπάνω πρέπει φυσικά να μπορεί να προσαρμοστεί στο χωράφι, δηλαδή να χωράει μέσα σε αυτό, το γήπεδό μας όμως όπως προαναφέραμε είναι αρκετά μεγάλο (9.320 τ.μ) άρα δεν τίθεται τέτοιο πρόβλημα. Προφανώς είναι απαραίτητο να

τηρηθούν και οι κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ των βάσεων όπως θα υπολογιστούν στη συνέχεια, ώστε καμία βάση να μη σκιάζει κάποια άλλη.

Τα Σχήματα που ακολουθούν, μας βοηθούν να υπολογίσουμε την ελάχιστη απόσταση που πρέπει να απέχει μία βάση από τη μπροστινή της, ώστε η μπροστά βάση να μη σκιάζει καθόλου την πίσω. Στο πρώτο σχήμα φαίνεται η οριακή γωνία σκίασης δ μεταξύ δύο διαδοχικών μονών βάσεων ώστε η μπροστά να μη σκιάζει την πίσω. Για την περιοχή της Πρέβεζας αυτή η οριακή γωνία δ είναι 14° . Στο δεύτερο σχήμα φαίνεται μία τρισδιάστατη (α) και μία πλάγια όψη (β) δύο διαδοχικών πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε, με κλίση 30° ως προς το έδαφος.



Σχήμα 24: Οριακή γωνία σκίασης μεταξύ δύο διαδοχικών πάνελ σε κλίση



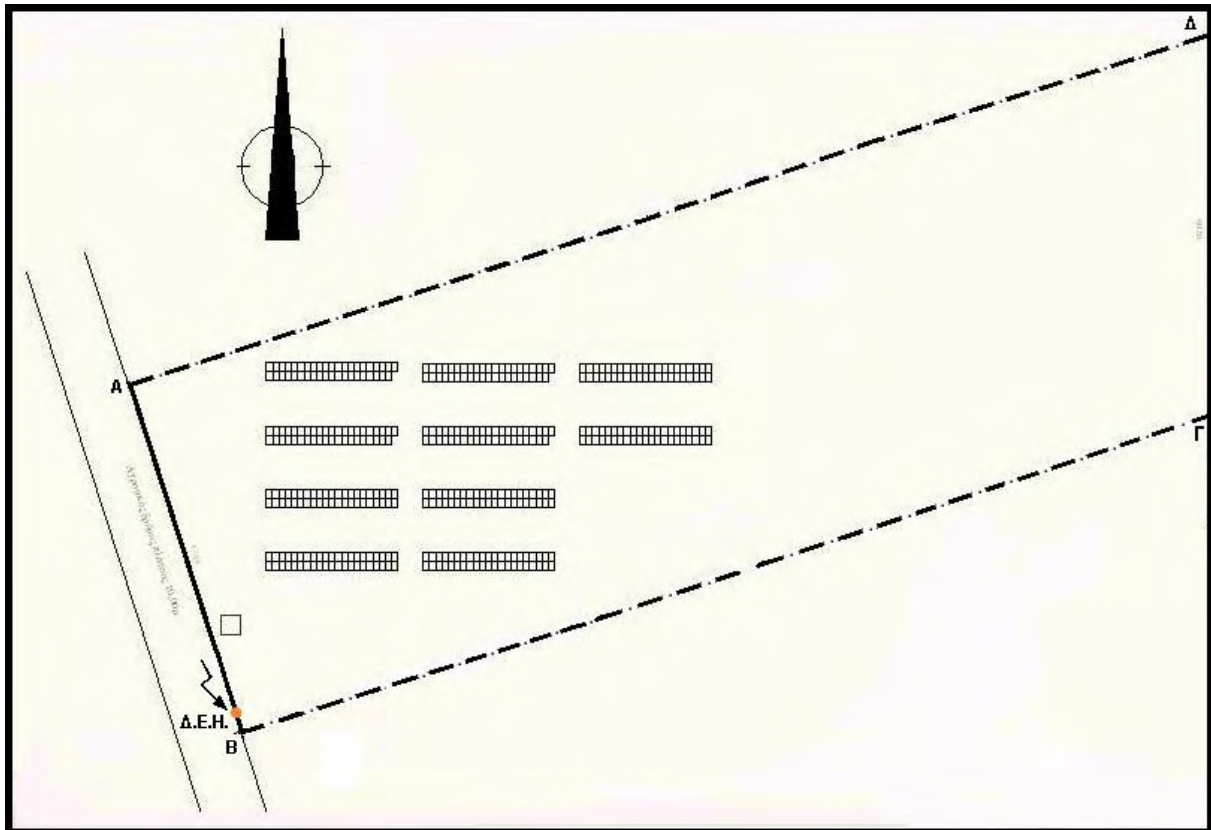
Σχήμα 25: Τρισδιάστατη και μία πλάγια όψη δύο διαδοχικών πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε, με κλίση 30° ως προς το έδαφος

Με βάση το σχήμα 25 έχουμε: $\tan \delta = \frac{h}{d} \Rightarrow d = \frac{h}{\tan \delta}$

Για $\delta = 14^\circ$ προκύπτει ότι $d = 3.29 \text{ m}$ και $S = 4.71 \text{ m}$

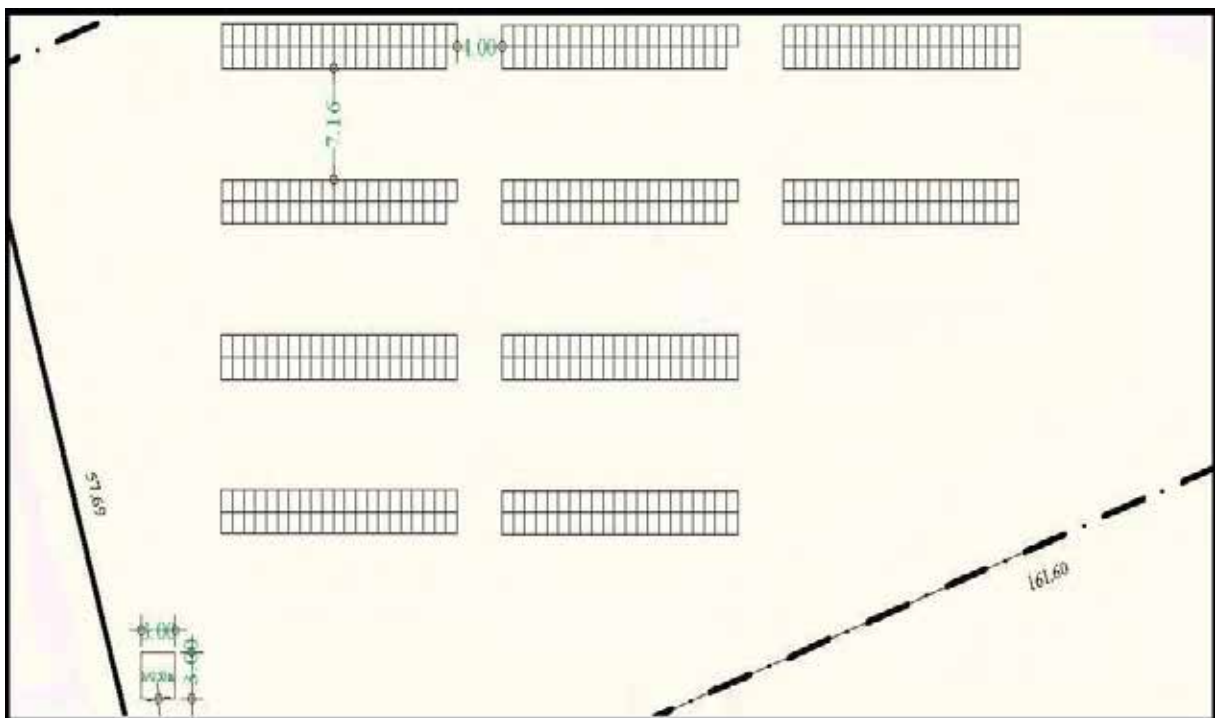
Επειδή εμείς έχουμε διπλές βάσεις, δηλαδή διπλάσιο h και d , θα ισχύει $d = 6.58 \text{ m}$ και $S = 9.42 \text{ m}$.

Έτσι καταλήγουμε στην παρακάτω χωροθέτηση των πάνελ ως προς το τοπογραφικό διάγραμμα του χωραφιού:



Σχήμα 26: Χωροθέτηση πλαισίων στο χωράφι με προσανατολισμό το νότο

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η εγκατάσταση από πιο κοντινή απόσταση με αναγραφόμενες τις αποστάσεις μεταξύ των βάσεων:



Σχήμα 27: Χωροθέτηση πλαισίων στο χωράφι τηρώντας τις απαραίτητες αποστάσεις ανάμεσα στις βάσεις

Όπως φαίνεται, καθώς μας το επέτρεπε ο χώρος, για ασφαλέστερο διάστημα, τοποθετήσαμε τις βάσεις με $d=7.16\text{ m}$ και $S=10\text{m}$.

Παρατηρούμε ότι σε θερμοκρασία $25\text{ }^\circ\text{C}$ η τάση εξόδου μίας αλυσίδας 21 πάνελ και κατ' επέκταση η τάση εισόδου του αντίστοιχου inverter είναι 634.2 V , τιμή που απέχει λίγο από τα 700 V που απαιτούνται στην είσοδο του inverter προκειμένου αυτός να λειτουργεί με τη μέγιστη απόδοσή του. Έστω ότι αυξάνουμε τα πάνελ μίας αλυσίδας κατά ένα, ώστε να αυξηθεί η τάση εξόδου της, αφήνοντας την από κάτω αλυσίδα με 21 πάνελ. Η ισχύς που θα δίνουν και οι δύο αλυσίδες στον inverter θα είναι $(22+21)\times 240\text{W}=10320\text{W}$. Ο κατασκευαστής του inverter ωστόσο μας δίνει την πληροφορία πως η μέγιστη ισχύς εισόδου του δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10300 W . Επιπλέον εάν σε κάποιες αλυσίδες αυξάναμε τον αριθμό των πάνελ, κάποιες άλλες θα έμεναν με λιγότερα πάνελ. Έτσι επιλέγουμε να έχουν όλες οι συστοιχίες ίδιο αριθμό πάνελ και όλοι οι inverter να λειτουργούν με ίδιο βαθμό απόδοσης, ελάχιστα χαμηλότερο από το μέγιστό τους, που είναι 98% .

Μετά τους παραπάνω ελέγχους συμπεραίνουμε πως η καλύτερη στρατηγική είναι κάθε συστοιχία να αποτελείται από μία μόνο αλυσίδα πάνελ σε σειρά, σύμφωνα με τον τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω. Αυτό συμβαίνει όχι μόνο διότι τα όρια ρεύματος και τάσης των inverter δεν παραβιάζονται σε καμία περίπτωση, αλλά κι επειδή σε κανονικές συνθήκες τα επίπεδα τάσης και ισχύος στα οποία λειτουργούν οι inverters είναι τέτοια που τους επιτρέπουν να επιτυγχάνουν τις μέγιστες αποδόσεις τους. Έτσι η εγκατάσταση θα αποτελείται από 20 μονές αλυσίδες πάνελ, καθεμία από τις οποίες θα συνδέεται σε μία είσοδο inverter.

4.4 Υπολογισμός καλωδιώσεων

Οι υπολογισμοί για καλώδια τάσεων μέχρι και 1000V AC ή 1400 V DC γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο CENELEC HD384.5.523 που είναι κανονισμός στην Ελλάδα και στα μέλη της E.E.

DC Καλώδια

Στα DC καλώδια, το μέγιστο ρεύμα που πρέπει να αντέχουν υπολογίζεται ως $I_m=1.25\times 1.25\times I_{sc}$ για κάθε συστοιχία και λαμβάνουμε υπ' όψιν διορθωτικούς συντελεστές για την θερμοκρασία. Οι DC αγωγοί περιβάλλονται από μόνωση πολυαιθυλενίου διασταυρωμένου δεσμού (XLPE) με μέγιστη θερμοκρασία τους $90\text{ }^\circ\text{C}$.

Οι inverters τοποθετούνται κοντά στη έξοδο των Φ/Β συστοιχιών ώστε να μειωθεί το μήκος των DC καλωδίων από την έξοδο κάθε συστοιχίας προς τον αντίστοιχο inverter. Στην εγκατάστασή μας, κάθε inverter θα τοποθετηθεί πίσω από την αντίστοιχη συστοιχία, στο μέσο της. Το μέγιστο συνεχές επιτρεπόμενο ρεύμα για τα DC καλώδια τα οποία θα είναι στον αέρα (εγκατάσταση εκτός εδάφους) υπολογίζεται ως εξής:

$$I = I_0 \times f\theta \times f_n$$




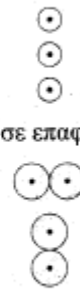

Όπου :

I_0 είναι το ρεύμα αναφοράς, που λαμβάνουμε από τους κατάλληλους πίνακες με την αντίστοιχη διατομή και ισχύει για θερμοκρασία περιβάλλοντος $30\text{ }^\circ\text{C}$ και PVC μονωτικό,

$f\theta$ είναι ο διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι η θερμοκρασία στο όριο του καλωδίου όταν αυτό δε φορτίζεται. Πρέπει δηλαδή να δοθεί προσοχή στις περιπτώσεις προσπίπτουσας ακτινοβολίας του ήλιου ή άλλης ακτινοβολίας ή πηγής που θερμαίνει το καλώδιο.

f_n είναι ο διορθωτικός συντελεστής για πλήθος κυκλωμάτων.

Ο Πίνακας που ακολουθεί μας βοηθάει να επιλέξουμε μία διατομή με βάση το ρεύμα I:

διατομή	Πολυπολικά καλώδια		Μονοπολικά καλώδια		
			σε επαφή 	αραιά>0,3 d 	αραιά>0,3 d 
mm ²	A	A	A	A	A
1,5	18,5	22	–	–	–
2,5	25	30	–	–	–
4	34	40	–	–	–
6	43	51	–	–	–
10	60	70	–	–	–
16	80	94	–	–	–
25	101	119	110	130	141
35	126	148	137	162	176
50	153	180	167	196	216
70	196	232	216	251	279
95	238	282	264	304	341
120	276	328	308	352	396
150	319	379	356	406	456
185	364	434	409	463	521
240	430	514	485	546	615
300	497	593	561	629	709
400	–	–	656	754	852
500	–	–	749	868	982
630	–	–	855	1005	1138

Πίνακας 28: Όρια φόρτισης πολυπολικών και μονοπολικών καλωδίων χαμηλής τάσης από χαλκό και PVC για τους 30°C και σε απόσταση των κυκλωμάτων (μεταξύ τους και από τοίχους) άνω του 0,3d όπου d είναι η διάμετρος του μανδύα. Για μόνωση EPR ή XLPE οι τιμές πολλαπλασιάζονται επί 1,19.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας 29 ο οποίος περιέχει το συντελεστή διόρθωσης fθ για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C και εφαρμόζεται για διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνεται στον πίνακα 28.

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	—	0,65
70	—	0,58
75	—	0,50
80	—	0,41

Πίνακα 29: Συντελεστές διόρθωσης f_{θ} για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C. Εφαρμόζονται για διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον πίνακα 28.

Τέλος, παρατίθεται ο πίνακας 30 με το συντελεστή διόρθωσης f_n για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα κυκλωμάτων σε επαφή ή σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, ο οποίος εφαρμόζεται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος του Πίνακα 28.

α/α	Τρόπος τοποθέτησης μονωμένων αγωγών ή καλωδίων	Πλήθος κυκλωμάτων ή πολυπολικών καλωδίων											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	– Ελεύθερα στον αέρα ή – πάνω στην επιφάνεια δομικού υλικού ή – επιτοίχια γυμνά ή σε σωλήνα ή – εντοιχισμένα γυμνά ή σε σωλήνα	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	Σε απλή στρώση, σε επαφή με τοίχο ή με δάπεδο ή πάνω σε συμπαγή φορέα καλωδίων	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
3	Σε απλή στρώση, στερεωμένη απευθείας κάτω από οροφή	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61

Πίνακα 30: Συντελεστές διόρθωσης f_n για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα κυκλωμάτων ή περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων σε επαφή ή σε απόσταση μεταξύ τους. Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον Πίνακα 28.

Αρχικά θα υπολογίσουμε το μέγιστο ρεύμα που πρέπει να αντέξουν τα DC καλώδια στους 30 °C το οποίο ισούται με $I_m = 1.25 \times 1.25 \times I_{sc} = 1.25 \times 1.25 \times 8.4 = 13.125 \text{ A}$.

Από τον πίνακα 29 επιλέγουμε μία αρκετά υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος για ασφάλεια, με τους 70 °C να αποτελεί ένα αρκετά ασφαλές επίπεδο θερμοκρασίας. Ο αντίστοιχος συντελεστής $f\theta$ για μόνωση XLPE θα ισούται με 0.58.

Από τον πίνακα 30 θα επιλέξουμε ένα διορθωτικό συντελεστή για πλήθος μονοπολικών καλωδίων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, κάθε inverter θα τοποθετηθεί πίσω από την αντίστοιχη συστοιχία, στο μέσο της, προς ελαχιστοποίηση των DC καλωδιώσεων. Σε κάθε inverter συνδέονται 2 DC καλώδια, ένα στην πλευρά + και ένα στην πλευρά -. Επομένως έχουμε δύο καλώδια (κυκλώματα) σε κοντινή απόσταση. Στην περίπτωση μας όμως, όπως έχει διευκρινιστεί, οι χρησιμοποιούμενοι inverters έχουν 2 ανεξάρτητες εισόδους και θα χρησιμοποιηθούν διπλές βάσεις στην εγκατάσταση. Σε κάθε βάση θα στηρίζονται 2 συστοιχίες (είτε των 20 είτε των 21 πάνελ), μία σε κάθε επίπεδο, καθεμία από τις οποίες θα συνδέεται με μία είσοδο του inverter. Αυτό σημαίνει πως στο πίσω μέρος κάθε βάσης, θα υπάρχει ένας inverter στον οποίο θα συνδέονται 4 καλώδια, 2 για κάθε είσοδο-έξοδό του. Επομένως για κάθε inverter θα υπάρχουν 4 DC καλώδια (ελεύθερα στον αέρα) σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, συνεπώς από τον πίνακα 30 θα επιλεγεί τιμή για το $f\eta$ ίση με 0.65.

Αν και έχουμε μονοπολικό καλώδιο, από τον πίνακα 28, θα επιλέξουμε διατομή από τη δεύτερη στήλη για τα διπολικά καλώδια, γιατί αφενός ο πίνακας δεν περιέχει διατομές μονοπολικών καλωδίων για ρεύματα μικρότερα από 110A και αφετέρου η περίπτωση διπολικού καλωδίου είναι πιο δυσμενής από το μονοπολικό, επομένως η περίπτωση διπολικού θα καλύπτει επαρκώς και το μονοπολικό καλώδιο.

Έστω ότι επιλέγουμε διατομή αγωγού 2.5 mm^2 με μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα 30 A. Η τιμή αυτή, πολλαπλασιάζεται επί 1.19 καθώς η μόνωση των καλωδίων είναι XLPE και έχει μεγαλύτερη αντοχή. Το μέγιστο αυτό επιτρεπόμενο ρεύμα πολλαπλασιάζεται με τους διορθωτικούς συντελεστές $f\theta$ και $f\eta$ που επιλέξαμε, θα γίνει $I=30 \times 1.19 \times 0.58 \times 0.65=13.46 \text{ A} > I_m$. Επομένως καλώδια με διατομή αγωγού 2.5 mm^2 θα μπορέσουν οριακά να αντέξουν διαρκώς ρεύμα ίσο με I_m .

Για ρεύμα λοιπόν 13.125A βλέπουμε πως μια διατομή DC αγωγού 2.5 mm^2 θα μας κάλυπτε. Ωστόσο είναι απαραίτητο να ελέγξουμε την πτώση τάσης για αυτή τη διατομή.

Η πτώση τάσης για μονοφασικό κύκλωμα, για μία επιλεγθείσα διατομή δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{2 \times L \times \Psi' \times P}{U^2} = \frac{2 \times L \times \Psi' \times I \times \cos\phi}{U} \quad (1)$$

όπου Ψ είναι η ισοδύναμη αντίσταση ανά μονάδα μήκους, που είναι συνάρτηση της γραμμής και της γωνίας ϕ του συντελεστή ισχύος.

Έχουμε τις σχέσεις: $\Psi = R' \times X \times \tan\phi$ (2)

$$R' = \frac{1}{\kappa \times A} \text{ (ωμική αντίσταση)} \quad (3)$$

Τα σύμβολα έχουν ως εξής:

L=μήκος γραμμής (m)

P=ισχύς (W)

U=τάση (V)

I=ρεύμα (A)

$\cos\phi$ = συντελεστής ισχύος

R', X' = αντίσταση, ανάρδραση ανά μονάδα μήκους (Ω/m)

κ = αγωγιμότητα ($\Omega^{-1} \times \text{m} \times \text{mm}^{-2}$) στη θερμοκρασία λειτουργίας

$A =$ διατομή (mm^{-2})

Σημείωση: Όσον αφορά την αγωγιμότητα του αγωγού καλό είναι να λαμβάνεται από τις προδιαγραφές του, που συνήθως δίνονται σε θερμοκρασία $\theta_1 = 20^\circ C$. Για διαφορετική θερμοκρασία θ_2 η αγωγιμότητα μεταβάλλεται (μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας). Έτσι για θερμοκρασία $\theta_2 > \theta_1$ ισχύει:

$$K_{\theta_2} = K_{\theta_1} / \{1 + 4 \times 10^{-3} \times (\theta_2 - \theta_1)\} \quad (4)$$

Η πτώση τάσης μετριέται σε ποσοστό επί τοις εκατό και για σταθερά $I, P, U, I, \cos\phi, R', X'$ δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1% για DC και AC ρεύμα.

Άρα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλη διατομή A τέτοια ώστε το $\frac{\Delta U}{U}$ μην ξεπερνά το 1%. Για ακόμη μεγαλύτερη απόδοση, θα επιλέξουμε διατομές αγωγών τόσο για τα DC όσο και για τα AC καλώδια τέτοιες ώστε το $\frac{\Delta U}{U}$ να κυμαίνεται κοντά στο 0.5% ή και λιγότερο.

Στη σχέση (1) θα έχουμε $I = 13.125$ A και $\cos\phi = 1$, καθώς θεωρούμε ότι οι inverters λειτουργούν με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος. Η τάση θα ληφθεί για ένα υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας, στους $70^\circ C$, ώστε να καλύπτεται η συνήθης περίπτωση κατά την οποία στα καλώδια και στα πάνελ συναντώνται υψηλές θερμοκρασίες. Βάση του πίνακα 23, ο συντελεστής μείωσης για την τάση στους $70^\circ C$ θα είναι $-0.42 \times (70 - 25)\% = -18.9\%$. Έτσι η τάση εξόδου μίας συστοιχίας των 21 πάνελ θα είναι $634.2 \times (100 - 18.9) = 514.34$ V. Η απόσταση L , εφόσον ο inverter θα είναι στο μέσο της συστοιχίας θα είναι περίπου ίση με το μήκος της συστοιχίας και λαμβάνεται ως 21m. Η αγωγιμότητα κ του χαλκού σε θερμοκρασία $\theta_1 = 20^\circ C$ είναι ίση με $56 \Omega^{-1} \times m \times mm^{-2}$. Εμείς όμως μελετάμε λειτουργία του καλωδίου στους $70^\circ C$. Η αγωγιμότητα του χαλκού τότε, με βάση τη σχέση (4) είναι: $\kappa_{70^\circ C} = \kappa_{20^\circ C} / \{1 + 4 \times 10^{-3} \times (70 - 20)\} = 56 / 1.4 = 46.67 \Omega^{-1} \times m \times mm^{-2}$. Έτσι $\Psi' = \frac{1}{46.67 \times A}$. Το X' είναι μηδέν γιατί έχουμε DC ρεύμα.

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στη σχέση (1) για διατομή $A = 2.5 mm^2$ προκύπτει $\frac{\Delta U}{U} = 0.9186\%$. Αυτή η πτώση τάσης θέλουμε να μειωθεί. Για αυτό αυξάνουμε τη διατομή του αγωγού. Δοκιμάζοντας να θέσουμε στο A την αμέσως μεγαλύτερη διαθέσιμη διατομή, στα $4 mm^2$, η πτώση τάσης $\frac{\Delta U}{U}$ θα γίνει 0.574% . Η τιμή αυτή είναι ικανοποιητικά χαμηλή, ωστόσο μπορούμε να τη μειώσουμε κι άλλο, με περαιτέρω αύξηση της διατομής, επιλέγοντας αγωγούς διατομής $6 mm^2$. Αυτό θα ήταν μία συμφέρουσα προσέγγιση καθώς το μικρό επιπλέον κόστος για καλώδια $6 mm^2$ αντισταθμίζεται από την περαιτέρω μείωση της πτώσης τάσης, η οποία θα περιοριστεί στο 0.383% .

AC Καλώδια

Τα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος θα είναι τύπου JIVV (NYY) και θα βρίσκονται θαμμένα στο έδαφος μέσα σε σωλήνες, σε βάθος περίπου 0.7m. Θα έχουν μόνωση PVC καθώς η θερμοκρασία εδάφους στην οποία θα εκτίθενται είναι σχετικά χαμηλή ($25-30^\circ C$) και επομένως δεν υπάρχει λόγος για χρήση μόνωσης XLPE

Τα AC καλώδια της εγκατάστασης χωρίζονται σε δύο ομάδες:

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

- i) Στα AC καλώδια που ξεκινούν από την έξοδο του κάθε inverter και καταλήγουν στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης και
- ii) ii) Στο AC καλώδιο που ξεκινά από τον κεντρικό πίνακα και συνδέεται στη χαμηλή τάση του δικτύου. Προφανώς το καλώδιο της δεύτερης κατηγορίας θα έχει αρκετά μεγαλύτερη διατομή από αυτά της πρώτης, καθώς θα άγει το συνολικό ρεύμα απ' όλους τους inverters.

Για καλώδια θαμμένα στο έδαφος η μέγιστη συνεχής επιτρεπόμενη ένταση δίνεται από τον τύπο:

$$I = I_0 \cdot f_{\theta} \cdot f_c \cdot f_i$$

όπου:

I_0 είναι η ένταση αναφοράς η οποία διαρρέει συνεχώς τους αγωγούς και λαμβάνεται από τον πίνακα και ισχύει για τις παρακάτω συνθήκες:

- βάθος 0.7m
- θερμοκρασία εδάφους 20°C
- ειδική θερμική αντίσταση εδάφους $k=2.5 \text{ }^{\circ}\text{K}\times\text{m}/\text{W}$
- ένα σύστημα μονοφασικό ή τριφασικό

f_{θ} είναι διορθωτικός συντελεστής εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία του εδάφους και δίνεται στον πίνακα 34.

f_c είναι διορθωτικός συντελεστής εξαρτώμενος από την ειδική αγωγιμότητα του εδάφους και δίνεται στον πίνακα 35.

f_i είναι διορθωτικός συντελεστής εξαρτώμενος από το πλήθος των συστημάτων που γειτνιάζουν και δίνεται στον πίνακα 36 αν για τα καλώδια που βρίσκονται είναι μέσα σε σωλήνες.

Η θερμοκρασία του εδάφους δεν είναι πάντοτε διαθέσιμο στοιχείο. Είναι μέγιστη κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο. Κατά IEC 60287 αυτή μπορεί να ληφθεί ως εξής:

Κλίμα	Θερμοκρασία εδάφους 0,7 m
Τροπικά	25-40°
Υποτροπικά	15-30°
Μεσαία κλίματα	10-20°

Πίνακας 31: Θερμοκρασία εδάφους για κάθε κλίμα κατά IEC 60287





Η θερμική αντίσταση του εδάφους εξαρτάται από την υγρασία του και μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας. Η δημοσίευση IEC 60287 προτείνει να λαμβάνονται οι εξής τιμές:

Κλίμα	Έδαφος	Θερμική αντίσταση K·m/W
Συνεχώς υγρό κλίμα	πολύ υγρό	0,7
Κανονική βροχόπτωση	υγρό	1,0
Σπάνια βροχόπτωση	ξηρό	2,0
Λίγη ή καθόλου βροχή	πολύ ξηρό	3,0

Πίνακας 32: Θερμική αντίσταση εδάφους για κάθε κλίμα κατά IEC 60287

Για το Νομό Πρεβέζης επιλέγουμε υγρό κλίμα με κανονική βροχόπτωση και επομένως θερμική αντίσταση 1 K·m/W.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι σχετικοί πίνακες που αναφέρθηκαν παραπάνω:

Αγωγός mm ²	Μόνωση			
	PVC		EPR ή XLPE	
	Πλήθος φορτιζόμενων αγωγών			
	2 	3 	2 	3 
1,5	22	18	26	22
2,5	29	24	34	29
4	38	31	44	37
6	47	39	56	46
10	63	52	73	61
16	81	67	95	79
25	104	86	121	101
35	125	103	146	122
50	148	122	173	144
70	183	151	213	178
95	216	179	252	211
120	246	203	287	240
150	278	230	324	271
185	312	258	363	304
240	361	297	419	351
300	408	336	474	396

Πίνακας 33: Μέγιστα συνεχώς επιτρεπόμενα ρεύματα σε A, καλωδίων χαμηλής τάσης εγκατεστημένων στο έδαφος. Μόνωση από PVC ή EPR ή XLPE, αγωγός από χαλκό, ημιτονοειδές ρεύμα συχνότητας 50 Hz.

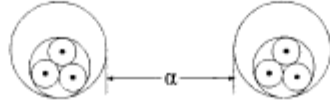
Θερμοκρασία εδάφους °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

Πίνακας 34: Συντελεστές διόρθωσης f_{θ} για θερμοκρασία εδάφους διαφορετική των 20°C. Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον Πίνακα 33.

Ειδική θερμική αντίσταση K·m/W	1	1,5	2	2,5	3
Συντελεστής διόρθωσης	1,18	1,10	1,05	1	0,96

Πίνακας 35: Συντελεστές διόρθωσης f_c για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους διαφορετική από 2.5 K·m/W. Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον πίνακα 33.

Α) Πολυπολικά καλώδια σε οχετούς				
Πλήθος καλωδίων	Απόσταση μεταξύ οχετών (α)			
	Μηδενική (σε επαφή)	0,25 m	0,50 m	1,00 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90



Πίνακας 36: Συντελεστές διόρθωσης f_i για περισσότερα από ένα κυκλώματα με καλώδια τοποθετημένα στο έδαφος. Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον πίνακα 33.

Αρχικά θα υπολογίσουμε τη διατομή των αγωγών των AC καλωδίων της πρώτης κατηγορίας. Από τον πίνακα 34 επιλέγουμε από τη δεύτερη στήλη (για μόνωση PVC). Πρακτικά η θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος 1m είναι σταθερή, γύρω στους 25°C. Εμείς για πιο ασφαλές αποτέλεσμα, επιλέγουμε για θερμοκρασία εδάφους 30 °C, $f_\theta=0.89$. Από τον πίνακα 35 για $k=1 \text{ K}\times\text{m}/\text{W}$ αντιστοιχεί $f_c=1.18$. Ο συντελεστής f_i επιλέγεται ίσος με τη μονάδα καθώς από την έξοδο κάθε inverter ξεκινά ένα μόνο τριφασικό καλώδιο το οποίο δε γειτνιάζει με άλλα καλώδια και επομένως δε χρειάζεται κάποιος διορθωτικός συντελεστής για πλήθος καλωδίων που γειτνιάζουν.

Από τον πίνακα 33 επιλέγουμε ένταση ρεύματος I_0 για την αντίστοιχη διατομή από την τρίτη στήλη του Πίνακα (μόνωση PVC), καθώς οι αγωγοί που φορτίζονται είναι 3, ένας για κάθε φάση. Έστω ότι επιλέγουμε τυχαία την πρώτη διαθέσιμη διατομή του πίνακα, δηλαδή 1.5 mm^2 για το AC καλώδιο που συνδέεται στην έξοδο κάθε inverter και καταλήγει στον κεντρικό πίνακα. Με βάση τους διορθωτικούς συντελεστές που επιλέξαμε, ένα τριφασικό καλώδιο με αγωγούς διατομής 1.5 mm^2 μπορεί να αντέξει μέγιστη διαρκή επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος ανά φάση $I = 18 \times 0.89 \times 1.18 = 18.9 \text{ A}$. Η τιμή αυτή του I είναι μεγαλύτερη από τα 15 A (+2%), που είναι η μέγιστη ένταση εξόδου ανά φάση σε κάθε inverter. Άρα αγωγοί διατομής 1.5 mm^2 θα μπορούν να αντέξουν επαρκώς την καταπόνηση από το ρεύμα εξόδου των inverter στους οποίους συνδέονται. Ωστόσο είναι απαραίτητο να ελεγχθεί, όπως και στην περίπτωση των DC καλωδίων, η πτώση τάσης $\frac{\Delta U}{U}$ για την επιλεγθείσα διατομή.

Ο τύπος που δίνει την πτώση τάσης σε τριφασικό κύκλωμα για επιλεγμένη διατομή A είναι ο εξής:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{L \times \Psi_I \times P}{U^2} = \frac{\sqrt{3} \times L \times \Psi_I \times I \times \cos \varphi}{U} \quad (5)$$

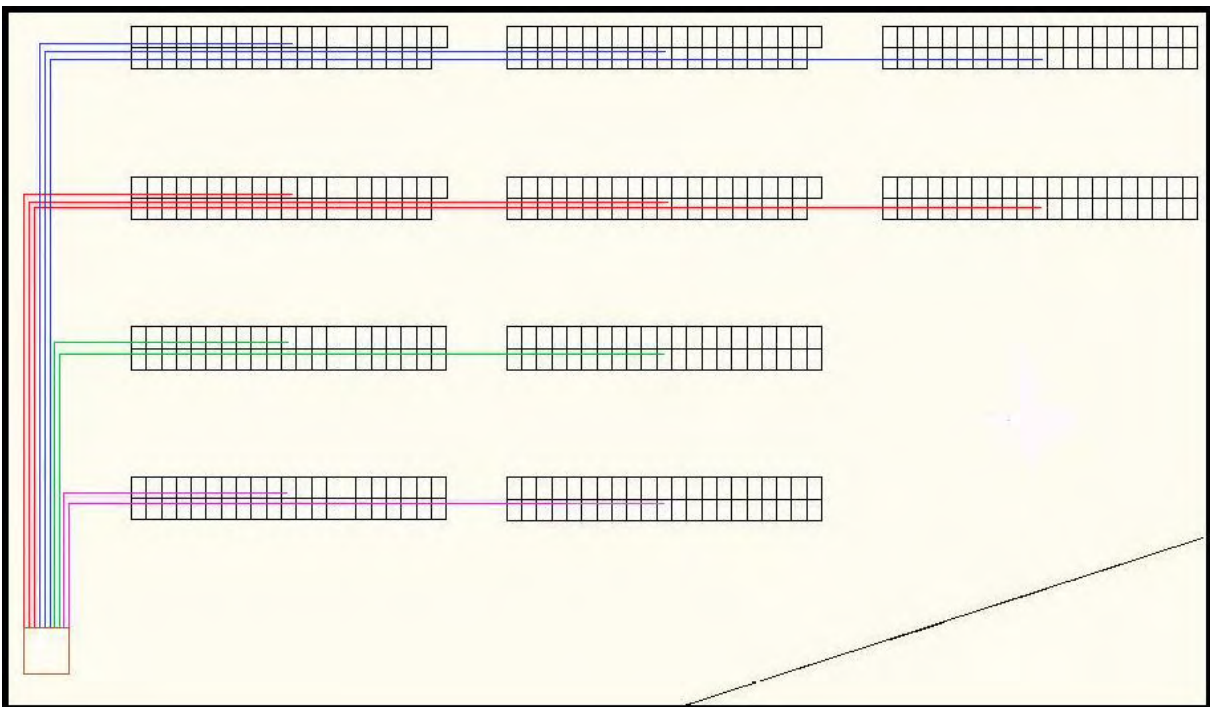
όπου όλες οι μεταβλητές έχουν αναλυθεί παραπάνω (εδώ U είναι πολική τάση).

Στη σχέση (5) θα έχουμε $I=15 \text{ A}$ και $\cos \varphi=1$, καθώς θεωρούμε ότι οι inverters λειτουργούν με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος. Η τάση στην έξοδο κάθε inverter είναι σταθερή, ακολουθώντας την τάση του δικτύου και θα ληφθεί ίση με 230V φασική, δηλαδή 398.4 V πολική. Η αγωγιμότητα του χαλκού πρέπει να υπολογιστεί για τη θερμοκρασία εδάφους που επιλέξαμε παραπάνω, δηλαδή τους 30°C. Έτσι έχουμε:

$$K_{30^{\circ}\text{C}}=K_{20^{\circ}\text{C}}/\{1+4\times 10^{-3}\times(30-20)\}=56/1+4\times 10^{-3}\times 10=56/1.2=$$

$$=53.85 \Omega^{-1}\times\text{m}\times\text{mm}^{-2}.$$

Ο όρος $X\tan\phi$ είναι ίσος με μηδέν καθώς θεωρούμε πως για κάθε inverter $\phi=0$. Η απόσταση L των γραμμών δεν είναι σταθερή αλλά ανήκει σε ένα ευρύ φάσμα τιμών, καθώς όπως φαίνεται και από το σχήμα 37 οι inverter κάθε βάσης απέχουν διαφορετική απόσταση από τον κεντρικό Πίνακα και επομένως τα AC καλώδια καθενός inverter προς τον πίνακα έχουν διαφορετικό μήκος. Για να κάνουμε έναν υπολογισμό του $\frac{\Delta U}{U}$ θέτουμε $L=50$ m, όπου η τιμή αυτή προφανώς καλύπτει και τις περιπτώσεις για τις οποίες το L είναι μικρότερο από 50 m, καθώς αν το $\frac{\Delta U}{U}$ έχει επαρκώς χαμηλή τιμή για μήκος γραμμής 50 m, θα έχει ακόμα χαμηλότερη τιμή για μικρότερα μήκη γραμμών.



Σχήμα 37: Διαδρομή AC καλωδίων (κάτω από το έδαφος) από κάθε inverter στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης.

Έτσι λοιπόν επιλέγοντας διατομή $A=1.5 \text{ mm}^2$ και $L=50\text{m}$ και αντικαθιστώντας τις υπόλοιπες τιμές στη σχέση (5) η πτώση τάσης προκύπτει ίση με 6.99%. Η τιμή αυτή φυσικά δεν είναι αποδεκτή και πρέπει να μειωθεί. Δοκιμάζοντας την αμέσως επόμενη διαθέσιμη διατομή $A=2.5 \text{ mm}^2$ η πτώση τάσης γίνεται 4.19%, τιμή επίσης μη αποδεκτή. Έπειτα από διαδοχικές δοκιμές βλέπουμε πως για $A=10 \text{ mm}^2$ η πτώση τάσης γίνεται $\frac{\Delta U}{U} = 0.552\%$ που είναι μία τιμή αποδεκτά χαμηλή. Έτσι λοιπόν τα AC καλώδια που έχουν μήκος μέχρι 50m από τον inverter έως τον κεντρικό πίνακα, θα είναι NYF 4x10 mm^2 (3 φάσεις και ουδέτερος).

Για μήκη καλωδίων άνω των 50 m η πτώση τάσης δύναται να λάβει τιμές που μπορεί να ξεπερνούν τα αποδεκτά όρια, για διατομή αγωγών 10 mm^2 . Συγκεκριμένα, για μήκος καλωδίου $L=85$ m, η πτώση τάσης γίνεται ίση με 1%.

Για το λόγο αυτό οι αγωγοί των καλωδίων που θα συνδέουν inverter και κεντρικό πίνακα και θα έχουν μήκος μεγαλύτερο από 50 m, θα έχουν την αμέσως μεγαλύτερη διαθέσιμη διατομή, δηλαδή $A=16\text{mm}^2$ ώστε η πτώση τάσης κατά μήκος τους να κρατηθεί σε επαρκώς χαμηλές τιμές. Για να δούμε εάν η διατομή αυτή είναι επαρκής, θα υπολογίσουμε το $\frac{\Delta U}{U}$ για τον πιο απομακρυσμένο, από τον κεντρικό πίνακα, inverter (πάνω δεξιά στη χωροθέτηση). Εάν το $\frac{\Delta U}{U}$ για το AC καλώδιο έχει επαρκώς χαμηλή τιμή, τότε είμαστε καλυμμένοι και για τα υπόλοιπα AC καλώδια που καταλήγουν στον πίνακα.

Ο inverter αυτός απέχει από τον πίνακα περίπου 108 m. Για $L=105$ m και $A=16$ mm² και τις υπόλοιπες τιμές ίδιες με πριν, από τη σχέση (5) η $\frac{\Delta U}{U}$ προκύπτει ίση με 0.822%. Η τιμή αυτή θέλουμε να μειωθεί περαιτέρω, γι αυτό δοκιμάζουμε τη $\frac{\Delta U}{U}$ για διατομή $A=25$ mm², η οποία προκύπτει ίση με 0.526%. Η τιμή αυτή είναι ικανοποιητικά χαμηλή (ακόμα χαμηλότερη για μικρότερα μήκη καλωδίων) και γι αυτό η διατομή των 25 mm² επιλέγεται τελικά για τα καλώδια μήκους μεγαλύτερο των 50 m. Έτσι τα καλώδια αυτά θα είναι τύπου NY 4×25 mm² (3 φάσεις και ουδέτερος).

Παρατήρηση: Στα AC καλώδια που ξεκινούν από τον inverter και καταλήγουν στον κεντρικό πίνακα δε χρησιμοποιείται αγωγός γείωσης, καθώς οι inverters συνδέονται απευθείας στη θεμελιακή γείωσης μέσω των αγωγών που σχηματίζουν το πλέγμα γείωσης, όπως θα εξηγηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Έπειτα πρέπει να υπολογίσουμε τη διατομή των αγωγών του AC καλωδίου το οποίο θα ξεκινά από τον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης και θα συνδέεται στο δίκτυο. Το καλώδιο αυτό θα πρέπει να αντέχει το άθροισμα των μεγίστων ρευμάτων από όλους τους inverters, δηλαδή $10 \times 15 = 150$ A σε κάθε φάση. Οι διορθωτικοί συντελεστές είναι οι ίδιοι με αυτός που επιλέχθηκαν για τα AC καλώδια της πρώτης κατηγορίας. Επιλέγοντας διατομή αγωγού 70 mm² ανά φάση από τον πίνακα 33 βλέπουμε πως το καλώδιο μπορεί να αντέξει μέγιστη διαρκή ένταση $I = 151 \times 0.89 \times 1.18 = 158.58$ A ανά φάση, δηλαδή μπορεί να αντέξει την καταπόνηση από το μέγιστο συνολικό ρεύμα εξόδου όλων των inverter.

Όστοςο πρέπει να ελέγξουμε την πτώση τάσης στο καλώδιο για αυτή τη διατομή αγωγών. Ο πίνακας απέχει περίπου 15 m από την κοντινότερη κολώνα της ΔΕΗ άρα $L=15$ m. Από τη σχέση (5) για $I=150$ A, διατομή αγωγού 70 mm² και για τις υπόλοιπες τιμές ίδιες με αυτές που επιλέχθηκαν για τα AC καλώδια της πρώτης ομάδας, η πτώση τάσης θα είναι = 0.26%, τιμή πολύ ικανοποιητική. Άρα η διατομή των αγωγών για τις 3 φάσεις του καλωδίου από τον πίνακα μέχρι το δίκτυο θα είναι $A=70\text{mm}^2$. Το καλώδιο αυτό θα περιέχει και αγωγό γείωσης και ουδέτερο, οι οποίοι επειδή δε διαρρέονται από ρεύμα σε φυσιολογικές συνθήκες, δε χρειάζεται να έχουν ίδια διατομή. Έτσι επιλέγεται γι αυτούς διατομή 50 mm². Έτσι το καλώδιο αυτό θα είναι NY 3×70mm² +2×50 mm².

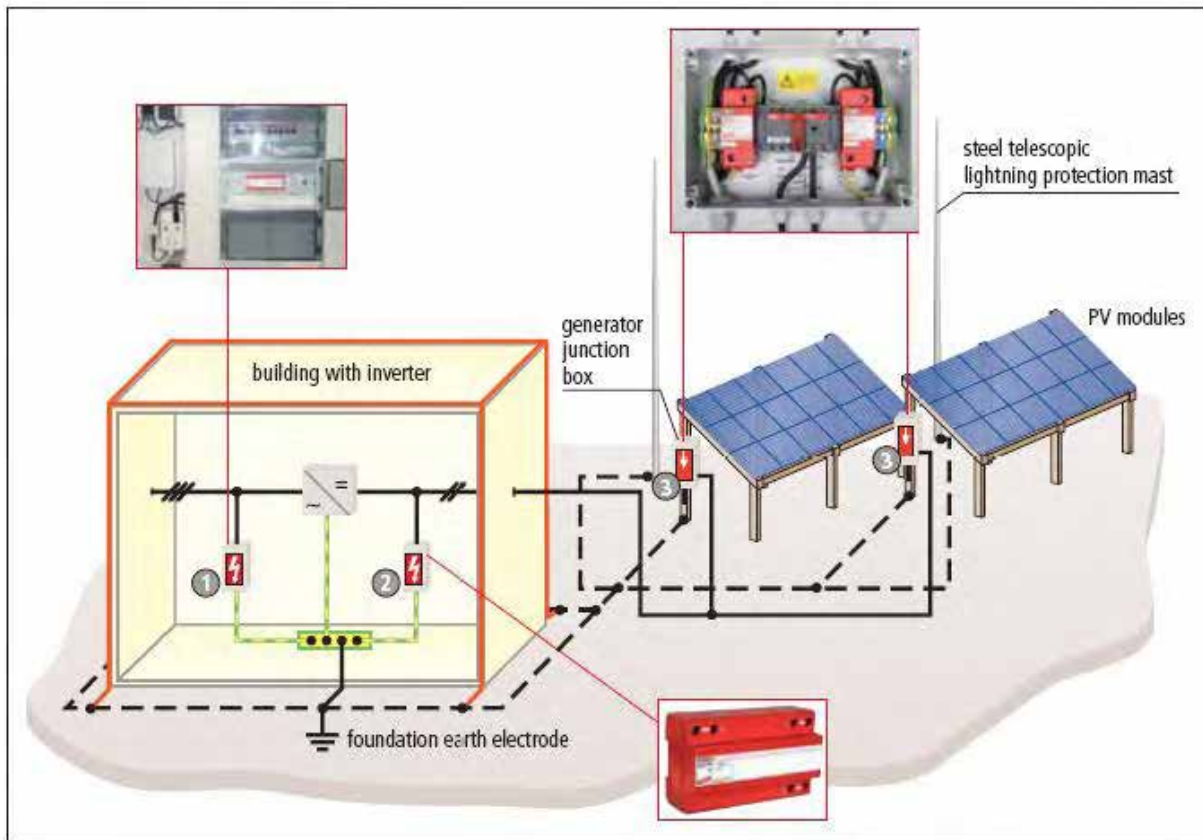
4.5. Προστασία έναντι υπερτάσεων-Γείωση

4.5.1. Προστασία έναντι υπερτάσεων στις Φ/Β συστοιχίες

Στα κιβώτια διασύνδεσης, κατά το δυνατόν πλησιέστερα στα πλαίσια εγκαθίστανται εκτροπείς υπέρτασης. Οι εκτροπείς αυτοί προστατεύουν τοπικά τα Φ/Β στοιχεία και εμποδίζουν τις υπερπηδήσεις που οφείλονται στις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις στα στοιχεία.

4.5.2. Προστασία έναντι υπερτάσεων στους Inverters

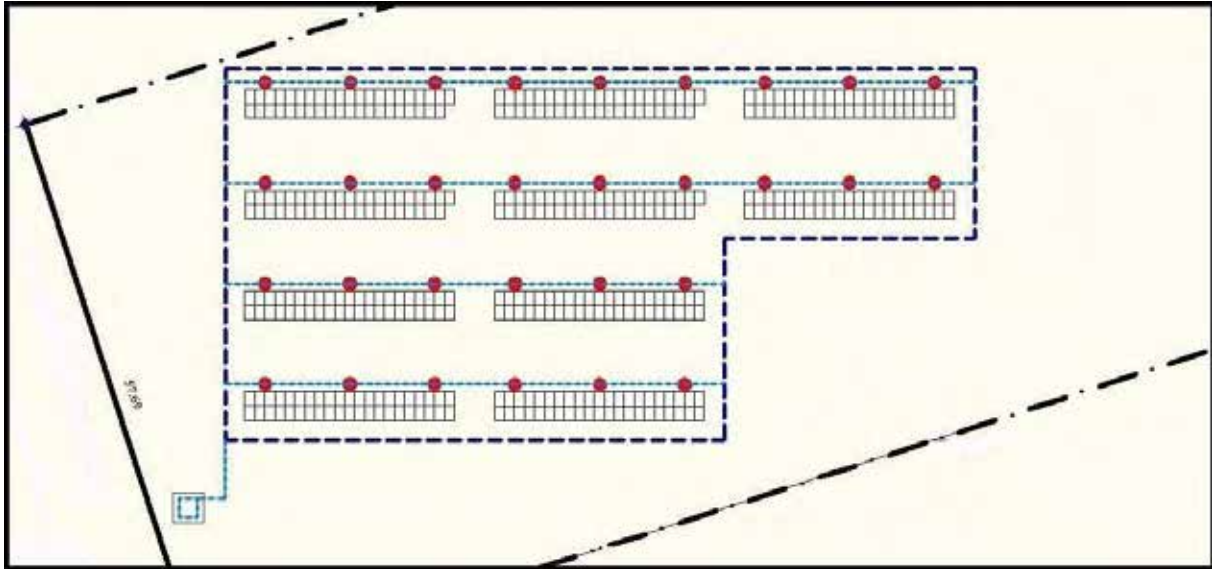
Στους inverters θα τοποθετηθούν διατάξεις προστασίας από τυχόν οδεύοντα κύματα που μπορεί να προκληθούν από κεραυνικό πλήγμα σε μακρινή απόσταση και να έχουν ως αποτέλεσμα τάση στα άκρα του inverter μεγαλύτερη της ονομαστικής του, τόσο στη DC όσο και στην AC πλευρά. Για αυτό για κάθε inverter θα τοποθετηθεί μία διάταξη προστασίας από κύματα (Surge Protection Device-SPD) στη DC πλευρά με ονομαστική τάση 1000V(μέγιστη DC τάση inverter) και άλλη μία στην AC πλευρά, με ονομαστική τάση 400V (μέγιστη πολική AC τάση inverter).



Σχήμα 38: Βασικό κυκλωματικό διάγραμμα προστασίας έναντι υπερτάσεων

4.5.3 Σύστημα γείωσης

Το σύστημα γείωσης της εγκατάστασης αποτελείται από ένα πλέγμα αγωγών γείωσης συνδεδεμένο στη θεμελιακή γείωση, σχηματίζοντας κλειστούς βρόχους. Τα μεταλλικά πλαίσια των panel, πάνω στα οποία τοποθετούνται οι κατακόρυφοι ράβδοι του συλλεκτήριου συστήματος, συνδέονται στο σύστημα γείωσης. Στο σύστημα γείωσης συνδέεται και ο inverter κάθε βάσης. Έτσι θα δημιουργηθούν κλειστοί βρόχοι, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 39: Πλέγμα γείωσης της εγκατάστασης

Το σύστημα θεμελιακής γείωσης κατασκευάζεται από χαλύβδινο γειωτή ταινίας (λάμα) επιπευδαργυρωμένο, διαστάσεων 40x4 mm. Η ταινία τοποθετείται περιμετρικά των Φ/Β συστοιχιών, σε απόσταση περίπου 1-2 m από αυτές και πρέπει να στηρίζεται κάθετα σε μέσα στο έδαφος, σε βάθος 60-70 cm. Στη συνέχεια τοποθετούνται οι εγκάρσιοι γειωτές ταινίας οι οποίοι δημιουργούν το πλέγμα γείωσης.

4.6. Εργασίες διαμόρφωσης χώρου

4.6.1. Χωματουργικές εργασίες

Πριν από την έναρξη των εργασιών εγκατάστασης απαιτείται η διαμόρφωση του χώρου. Έτσι προχωρούμε με τη βοήθεια χωματουργικού μηχανήματος, αρχικά στην εκχέρωση του χώρου εγκατάστασης όπως επίσης και στην εξομάλυνση του εδάφους ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή όπως και η λειτουργία των βάσεων. Στη συνέχεια προχωρούμε στην τοποθέτηση των βάσεων, την κατασκευή της περίφραξης, την τοποθέτηση του οικίσκου, την κατασκευή του τοιχίου της μετρητικής διάταξης της ΔΕΗ, την κατασκευή της βάσης του αλεξικέραυτου και την κατασκευή των ιστών στήριξης των καμερών, φωτισμού και αισθητήρων συναγερμού.

4.6.2. Κατασκευή περίφραξης

Η περίφραξη θα είναι από συρματόπλεγμα και θα έχει 1 πόρτα συρόμενη , συνολικού μήκους 5 μέτρων. Η περίφραξη έχει 2,5 μέτρα ύψος από το έδαφος. Αποτελείται από γαλβανισμένο συρματόπλεγμα 50 X 50, Νο 16, ύψους 2 μέτρων και μεταλλικούς ορθοστάτες οι οποίοι είναι πάσσαλοι από σωλήνες διαμέτρου Φ60mm πάχους 1,5mm, ύψους 2,5 μέτρα με κεκλιμένη επέκταση 50 cm. Οι ορθοστάτες εκτείνονται ανά 2,5 μέτρα και στις γωνίες της περίφραξης θα υπάρχουν αντηρίδες. Στο επάνω μέρος της περίφραξης θα τοποθετηθούν τρεις σειρές αγκαθωτό σύρμα γαλβανιζέ. Οι μεταλλικοί πάσσαλοι (ορθοστάτες) θα είναι γαλβανισμένοι, θα τοποθετηθούν σε βάθος 50cm και θα τοποθετούνται σε απόσταση 2,5 μέτρων μεταξύ τους σε υποδοχές εντός του εδάφους που θα πληρώνονται με σκυρόδεμα.

4.6.3. Κατασκευή βάσης οικίσκου

Η έδραση του οικίσκου θα γίνει με βάση 3,5X3X0,3 m ενταφιασμένη κατά 10 cm και δύο φρεάτια εκατέρωθεν της βάσης. Ο βοηθητικός οικίσκος(isobox) καλύπτει τις ανάγκες εγκατάστασης των συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης ενός πάρκου 100 kW προσφέροντας ασφάλεια, εργονομία και στεγανότητα. Διαθέτει άνετη πόρτα από προφίλ αλουμινίου διαστάσεων 0,9x2m για την είσοδο στο χώρο, παράθυρο και περσίδες για τον καλύτερο αερισμό του περιβάλλοντος. Για μεγαλύτερη στεγανότητα και προστασία από τις εξωτερικές συνθήκες ο οικίσκος PVH καλύπτεται τόσο περιμετρικά όσο και στην οροφή με θερμομονωτικό πάνελ υψηλής αντοχής. Επίσης ο οικίσκος διαθέτει εσωτερική ηλεκτρολογική εγκατάσταση που αποτελείται από φάτα διακόπτες και πρίζες καθώς και πρόβλεψη για κλιματιστικό. Για την απομάκρυνση των υδάτων από την οροφή έχει τοποθετηθεί υδροροή. Οι διαστάσεις του τυποποιημένου οικίσκου είναι 3m×2.3m×2.2m .

4.6.4. Κατασκευή βάσης αλεξικέρανου

Σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή του ιστού του αλεξικέρανου, γίνεται εκσκαφή τάφρου 1X1X0,9 m και κατασκευάζεται βάση διαστάσεων 1X1X1 m. Για την κατασκευή χρησιμοποιείται ο οπλισμός που προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή του ιστού, κατασκευάζεται ο ξυλότυπος ώστε να εξέχει από το έδαφος 10 cm και τοποθετείται η αγκύρωση και το σκυρόδεμα.

4.6.5. Κατασκευή τοιχίου τοποθέτησης μετρητικής διάταξης

Η κατασκευή γίνεται σύμφωνα με το έντυπο επισκόπησης της ΔΕΗ. Κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και δίπλα του κατασκευάζεται φρεάτιο για την όδευση των καλωδίων.

4.6.6. Κατασκευή ιστών καμερών – φωτισμού

Στα σημεία τοποθέτησης των ιστών, τοποθετούνται ιστοί από γαλβανιζέ 2'' και μήκους 4,5 m. Πακτώνονται στο έδαφος σε βάθος 90cm και παράλληλα για την σταθεροποίησή τους, γίνεται και ενίσχυση με σκυρόδεμα. Για την όδευση των καλωδίων εμπρός από κάθε ιστό τοποθετείται φρεάτιο.

4.6.7. Τοποθέτηση Καλωδιώσεων

Για την τοποθέτηση των καλωδιώσεων ανοίγονται τάφροι βάθους 70cm στα σημεία όδευσης των καλωδιώσεων που καταλήγουν στα φρεάτια που έχουν κατασκευαστεί. Εντός των τάφρων τοποθετούνται σωλήνες (ένας για τα ισχυρά και ένας για τα ασθενή ρεύματα) και αφού περιβληθούν με μια λεπτή στρώση ύψους 10 εκ. από ψιλή άμμο επιχώνονται ξανά με ειδικό πλαστικό πλέγμα. Εντός τάφρων (με επίχωση μόνο) τοποθετούνται και οι αγωγοί γειώσεων όπως και οι αγωγοί του πλέγματος της αντικεραυνικής προστασίας. Στη συνέχεια τοποθετούνται οι καλωδιώσεις σύμφωνα με την μελέτη εφαρμογής.

4.6.8. Τοποθέτηση Πινάκων

Με την ολοκλήρωση των εγκαταστάσεων τοποθετούμε και συνδέουμε τους πίνακες. Οι πίνακες κατασκευάζονται σύμφωνα με την νομοθεσία και περιέχουν όλες τις ασφαλιστικές διατάξεις που απαιτούνται.

4.7. Κατασκευή Βοηθητικών Εγκαταστάσεων

4.7.1. Σύστημα τηλεπαρακολούθησης

Στον οικίσκο τοποθετούνται η κεντρική μονάδα δεδομένων η οποία συνδέεται με τους αναστροφείς σε σειρά με καλώδιο 4Χ0.25 mm² των αναστροφέων και η μονάδα μετεωρολογικών δεδομένων η οποία συνδέεται με τα αισθητήρια και με την κεντρική μονάδα δεδομένων.

4.7.2. Σύστημα καμερών

Για την πλήρη εποπτεία του χώρου τοποθετούνται και συνδέονται 8 κάμερες, τύπου Bullet κατάλληλες για εξωτερικές συνθήκες λειτουργίας και κυρίως για νυχτερινή λειτουργία (night vision camera), στους στύλους που έχουν κατασκευαστεί, οι οποίες συνδέονται με καταγραφικό DVR 8 καναλιών στο χώρο του οικίσκου.

4.7.3. Σύστημα συναγερμού

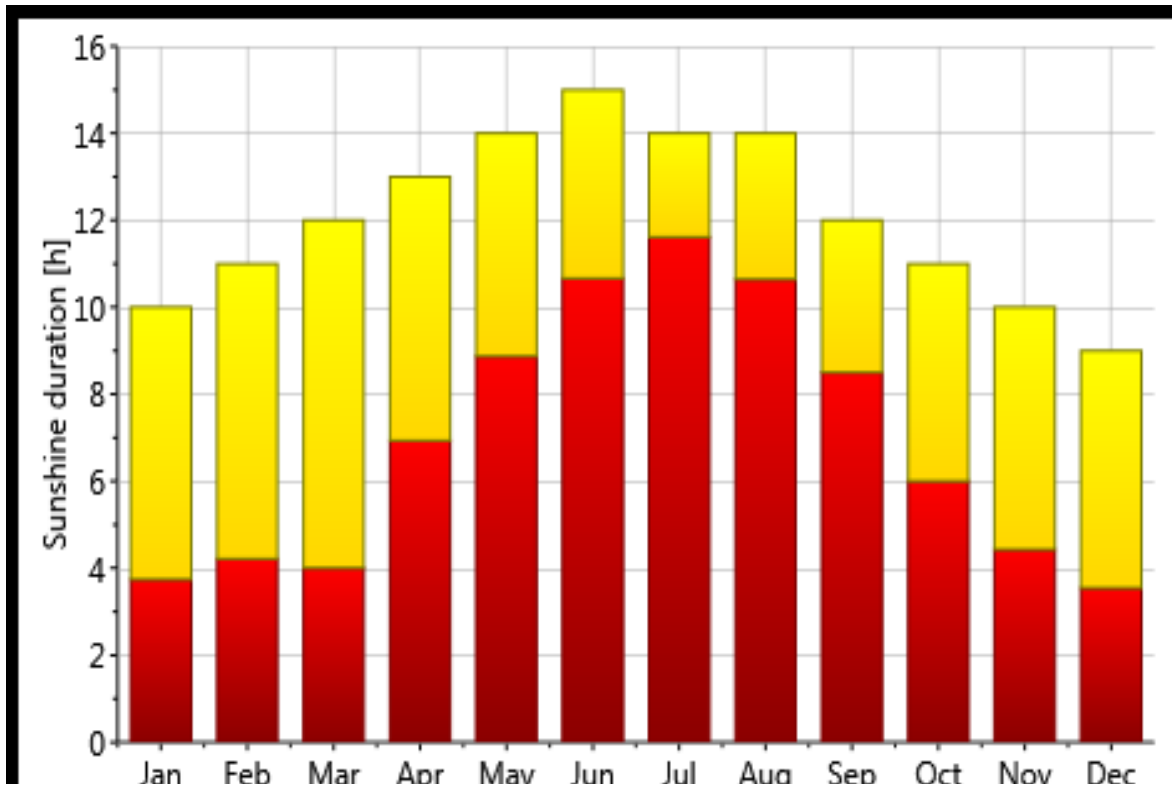
Για την κάλυψη του χώρου τοποθετούνται περιμετρικά 10 αισθητήρες δέσμης υπερύθρων (BEAM). Στις πόρτες εισόδου και οικίσκου τοποθετούνται μαγνητικές επαφές, ενώ στο χώρο του οικίσκου τοποθετείται αισθητήρας κίνησης. Η σύνδεση γίνεται σε κεντρική μονάδα στο χώρο του οικίσκου. Η κεντρική μονάδα συνδέεται επίσης με πληκτρολόγιο και σειρήνα που τοποθετείται στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου. Τέλος το σύστημα συμπληρώνει ένα GSM modem για απομακρυσμένη ειδοποίηση αναγγελίας συναγερμού. Ο πίνακας συναγερμού θα τοποθετείται εντός του οικίσκου ελέγχου, όπως και οι λοιπές διατάξεις των συστημάτων συναγερμού, φωτισμού και CCTV. Εντός του οικίσκου τοποθετείται UPS 1KVA για την τροφοδότηση των συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης του πάρκου σε περίπτωση διακοπής της παροχής του δικτύου.

4.7.4. Δίκτυο φωτισμού

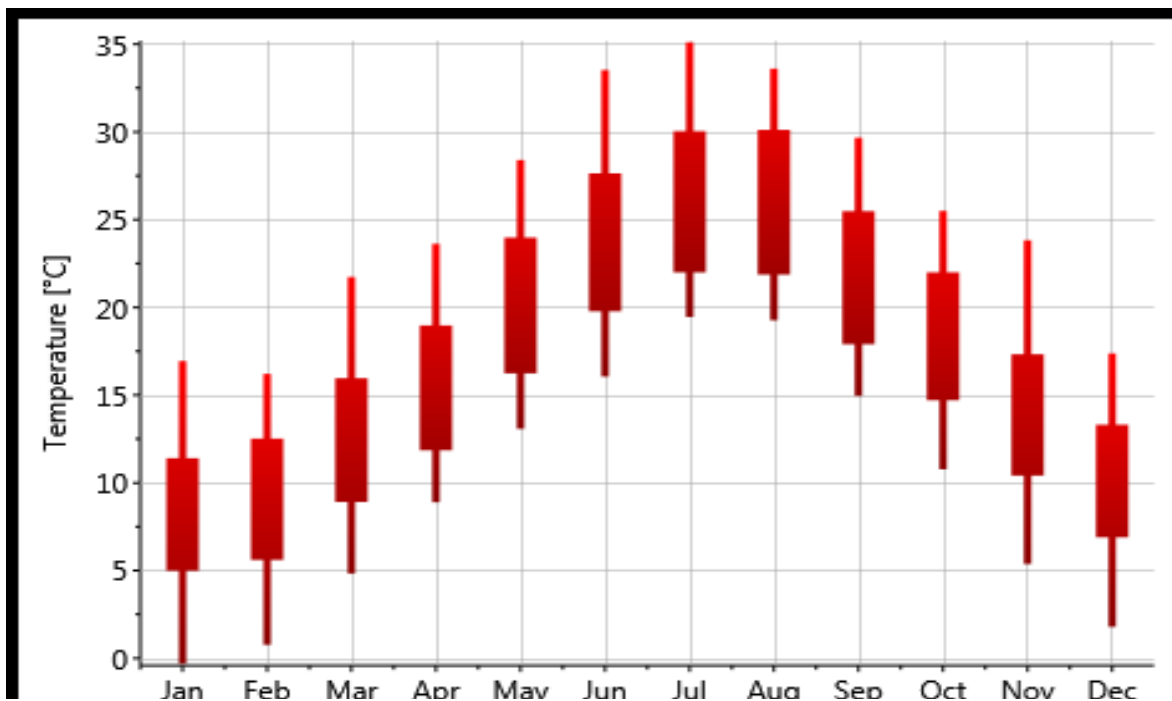
Οκτώ προβολείς LED ισχύος 30 Watt έκαστος αναλαμβάνουν το φωτισμό του πάρκου. Η σύνδεση γίνεται στον εσωτερικό πίνακα μέσω αισθητήρα φωτός ώστε να ενεργοποιείται κατά την διάρκεια της νύχτας. Ο αυτοματισμός συμπληρώνεται με μεταγωγικό διακόπτη τριών θέσεων για δυνατότητα και χειροκίνητης λειτουργίας. Η αποστολή των δεδομένων και της εικόνας και η παρακολούθηση γίνεται μέσω διαδικτύου.

4.8. Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής

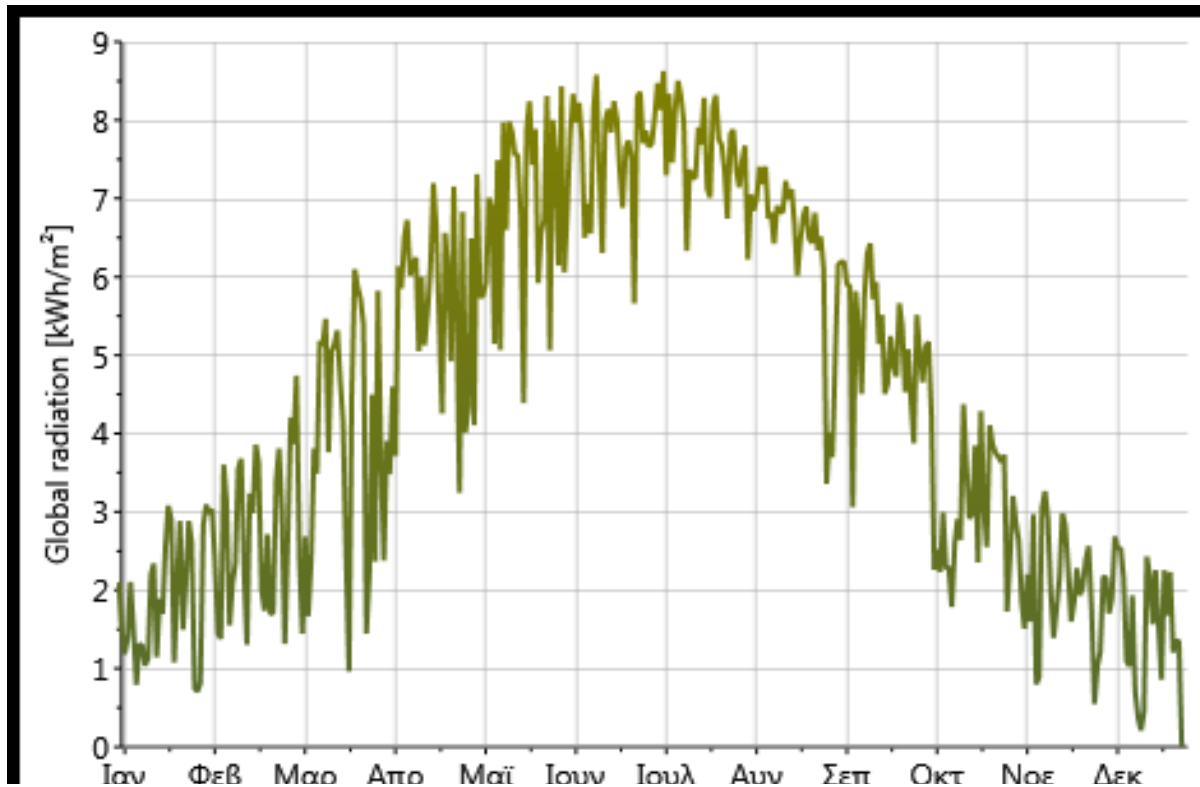
Παρακάτω θα εξετάσουμε τα ενεργειακά δεδομένα της περιοχής μέσω του προσομοιωτή Meteororm.



Εικόνα 40 Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής



Εικόνα 41 Θερμοκρασίες περιοχής με ακραίες τιμές



Εικόνα 42 Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής σε απόλυτες τιμές

	Gh	Dh	Ta	FF
January	57	31	8,1	3
February	73	40	8,9	3
March	122	52	12,3	2,6
April	161	73	15,6	2,4
May	207	80	20,1	2,3
June	225	77	24,1	2,5
July	240	64	26	2,7
August	212	63	25,9	2,4
September	155	57	21,9	2,4
October	107	44	18,2	2,2
November	68	35	13,8	2,3
December	49	25	9,9	2,9
Year	1673	640	17,1	2,6

Εικόνα 43 Στοιχεία ανέμων και ηλιοφάνειας

Υπόμνημα:

Ta: Θερμοκρασία, (Air temperature)

FF: Ταχύτητα ανέμου, (Wind speed)

Gh: Μέση ηλιακή ακτινοβολία με βάση τις παραμέτρους ορίζοντα της περιοχής

Dh: Μέση διάχυτη ακτινοβολία με βάση τον ορίζοντα της περιοχής

Η ακτινοβολία εκφράζεται σε [W /m²]

Η θερμοκρασία εκφράζεται σε [C]

Η ταχύτητα του ανέμου εκφράζεται σε [m/s]

4.9. Εκτίμηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Χρησιμοποιώντας τα τελευταία, δορυφορικά, δεδομένα του Joint Research Center της Ευρωπαϊκής Ένωσης, PVGIS, για την συγκεκριμένη περιοχή ,έχουμε τα παρακάτω δεδομένα:

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	257.00	7970	3.17	98.3
Feb	326.00	9120	4.06	114
Mar	412.00	12800	5.22	162
Apr	470.00	14100	6.05	181
May	518.00	16100	6.85	212
Jun	555.00	16700	7.46	224
Jul	572.00	17700	7.72	239
Aug	557.00	17300	7.51	233
Sep	473.00	14200	6.26	188
Oct	383.00	11900	4.96	154
Nov	287.00	8610	3.62	109
Dec	240.00	7450	2.98	92.5
Yearly average	421	12800	5.50	167
Total for year		154000		2010

- 1] Εκτιμώμενες απώλειες λόγω της θερμοκρασίας και χαμηλής ακτινοβολίας : 8,2% (χρησιμοποιώντας την τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος)
- 2] Η εκτιμώμενη απώλεια που οφείλεται στα γωνιακά αποτελέσματα ανάκλασης: 2,5%
- 3] Άλλες ζημιές (καλώδια, inverter κλπ) : 14.0%
- 4] Σε συνδυασμό απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος: 23,2%

Όπου:

Yearly average : Ετήσιος μέσος όρος

Total for year: Συνολικές αποδόσεις το χρόνο

E_d : Μέση ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το συγκεκριμένο σύστημα (kWh)

E_m : Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το συγκεκριμένο σύστημα (kWh)

H_d : Μέσο ημερήσιο άθροισμα της παγκόσμιας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που ελήφθη από τις ενότητες του συγκεκριμένου συστήματος (kWh/m²)

H_m : Μέσο άθροισμα της παγκόσμιας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που ελήφθη από τις ενότητες του συγκεκριμένου συστήματος (kWh/m²)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα λοιπόν τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας, των περιοχών βρέθηκε ότι η συνολική παραγωγή κατά έτος θα είναι 154 KWh. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί ότι αυτή η παραγωγή έχει προκύψει με παραμέτρους απωλειών κατά 3% μεγαλύτερες για λόγους ασφαλείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Οικονομική ανάλυση

Η οικονομική βιωσιμότητα ενός ενεργειακού επενδυτικού σχεδίου αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για την προσέλκυση επενδυτικού ενδιαφέροντος. Επιπλέον σημαντικό ρόλο παίζει το ρίσκο που πάντα συνεπάγεται μια επένδυση.

Η διαδικασία επιλογής ενός σχεδίου επένδυσης περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα στάδια:

- Το πρώτο είναι ο προσδιορισμός των εφικτών εναλλακτικών παραλλαγών του σχεδίου επένδυσης. Είναι σχέδια επενδύσεων τεχνικά ασυμβίβαστα, με την έννοια ότι η πραγματοποίηση του ενός αποκλείει την πραγματοποίηση των άλλων.
- Το δεύτερο, είναι η εκτίμηση της ροής των εσόδων και δαπανών που συνοδεύουν το έργο.
- Το τρίτο, είναι η αξιολόγηση των εναλλακτικών σχεδίων και η επιλογή ενός, το οποίο θα κατασκευασθεί.
- Το τέταρτο, είναι η παρακολούθηση και η καταγραφή των αποκλίσεων ως προς τις προβλέψεις, μετά την πραγματοποίησή του, για την άσκηση μιας θετικής κριτικής για το μέλλον.

Από όλα τα στάδια το πρώτο είναι ίσως το πιο σημαντικό, γιατί περιλαμβάνει την καταγραφή των εναλλακτικών σχεδίων και γενικότερα τις νέες ιδέες και τα νέα σχέδια για καρποφόρες επενδύσεις σε όλους τους τομείς.

5.2 Συνολικό κόστος εγκατάστασης-μελέτη βιωσιμότητας

Βάσει του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και υπηρεσιών προκύπτει το συνολικό κόστος εγκατάστασης ως εξής:

- Α/Σ ΚΑΛΩΔΙΟ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ: $390\text{m} \times 13.9\text{€/m} = 5435\text{€}$
- ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟ ΚΑΜΕΡΩΝ: $960\text{m} \times 0.30\text{€/m} = 288\text{€}$
- ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟ BEAM: $1075\text{m} \times 0.30\text{€/m} = 322.5\text{€}$
- Α/Σ ΚΑΛΩΔΙΟ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ: $960\text{m} \times 1.2\text{€/m} = 1152\text{€}$
- ΚΑΜΕΡΕΣ: 8 ΚΑΜΕΡΕΣ $\times 60\text{€/τεμ} = 480\text{€}$
- BEAM: 10 BEAM $\times 30\text{€/τεμ} = 300\text{€}$
- ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ: 8 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ $\times 20\text{€/τεμ} = 160\text{€}$
- ISOBOX: 1200€
- ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ISOBOX: 2500€
- ΥΠΟΠΙΝΑΚΑΣ: 1200€
- ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ: 3000€
- ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ: 19000€
- ΠΑΝΕΛ: 416 ΠΑΝΕΛ $\times 179,5\text{€/τεμ} = 89760\text{€}$ 74672
- ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ: 10 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ $\times 3000\text{€/τεμ} = 30000\text{€}$
- DC ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟ ΓΙΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ:
($180\text{m} \times 5\text{σειρές}$) $= 900\text{m} \times 1.2\text{€/m} = 1080\text{€}$
- ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ: 3000€
- ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΕΗ: 12910 €
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ: 6000€
- ΕΚΣΚΑΦΕΣ: 2800€
- ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ: 3000€

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

- ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΑ: (10 ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΑ x 50€/ημερ)=500€ x 5 ΑΤΟΜΑ=2500€
- ΕΞΟΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ:2500€
- ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ:3000€
- ΑΣΦΑΛΙΣΗ ΕΡΓΟΥ:1000€

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ:177.500€+ 23% = 218.325 €

Για να υπολογίσουμε την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος για τα επόμενα 20 χρόνια λειτουργίας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την φυσιολογική μείωση απόδοσης των πάνελ. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των πάνελ και λαμβάνοντας υπόψη ότι εγγυούνται 80% τουλάχιστον απόδοση στην ονομαστική τιμή peak μετά από 20 χρόνια έχουμε 1 % μείωση κατά έτος .Άρα:

Ετος	Παραγωγή (KWh)	Τιμή πώλησης (€/kWh)	Έσοδα (€)	Λειτουργικές Δαπάνες	Καθαρά κέρδη προ φόρων & τόκων	Φόροι	Καθαρά κέρδη
1	154.000	0,2500	38.500 €	15.939 €	22.561 €	4.512 €	18.049 €
2	152.460	0,2588	39.449 €	16.332 €	23.117 €	4.623 €	18.494 €
3	150.935	0,2678	40.421 €	16.734 €	23.687 €	4.737 €	18.950 €
4	149.426	0,2772	41.418 €	17.147 €	24.271 €	4.854 €	19.417 €
5	147.932	0,2869	42.439 €	17.570 €	24.869 €	4.974 €	19.895 €
6	146.452	0,2969	43.485 €	18.003 €	25.482 €	5.096 €	20.386 €
7	144.988	0,3073	44.557 €	18.447 €	26.110 €	5.222 €	20.888 €
8	143.538	0,3181	45.655 €	18.901 €	26.754 €	5.351 €	21.403 €
9	142.103	0,3292	46.781 €	19.367 €	27.413 €	5.483 €	21.931 €
10	140.682	0,3407	47.934 €	19.845 €	28.089 €	5.618 €	22.471 €
11	139.275	0,3526	49.115 €	20.334 €	28.782 €	5.756 €	23.025 €
12	137.882	0,3650	50.326 €	20.835 €	29.491 €	5.898 €	23.593 €
13	136.503	0,3778	51.566 €	21.349 €	30.218 €	6.044 €	24.174 €
14	135.138	0,3910	52.838 €	21.875 €	30.963 €	6.193 €	24.770 €
15	133.787	0,4047	54.140 €	22.414 €	31.726 €	6.345 €	25.381 €
16	132.449	0,4188	55.475 €	22.966 €	32.508 €	6.502 €	26.006 €
17	131.124	0,4335	56.842 €	23.533 €	33.309 €	6.662 €	26.648 €
18	129.813	0,4487	58.243 €	24.113 €	34.130 €	6.826 €	27.304 €
19	128.515	0,4644	59.679 €	24.707 €	34.972 €	6.994 €	27.977 €
20	127.230	0,4806	61.150 €	25.316 €	35.834 €	7.167 €	28.667 €

Στη περίπτωση μας λοιπόν που το έργο είναι αυτοχρηματοδοτούμενο, όταν η επιχείρηση βαίνει στο δωδέκατο έτος λειτουργίας της ο επενδυτής έχει αποσβέσει τα έξοδα της επένδυσης του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- 1.Φωτοβολταϊκά συστήματα Ι.Ε Φραγκιαδάκης
- 2.Καπλάνης Σωκράτης , Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων
- 3.Σημειώσεις εργαστηριακού μαθήματος Α.Π.Ε Ι ,Τσιώλης Σπύρος Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Πειραιά
- 4.Σημειώσεις μαθήματος θεωρίας Ε.Η.Ε Ι ,Καμινάρης Σταύρος Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Πειραιά
- 5.Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά συστήματα Κωνσταντινίδης Στέλιος – Νεοκλέους Ανδρέας
6. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Χριστοφής Ι Κορωναίος

- 7.<http://www.dei.gr>
- 8.<http://www.rae.gr>
- 9.<http://www.ypeka.gr/>
- 1.<http://www.selasenergy.gr/>
- 11.<http://www.photovoltaiic.gr>
- 12.<http://www.pvsyst.com/en/>
- 13.<https://www.google.com/earth/>
- 14.<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- 15.<http://www.eetemher.gr/bio/ELOT384.pdf>
16. <http://environ.survey.ntua.gr/files/mathimata/6420/APE-kef1-6.pdf>