



**Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αυτόνομη λειτουργία μαρίνας με δυνατότητα  
διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο**

**Autonomous marina's operation with  
connectivity to the grid**

**ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ :**

**ΟΥΤΣΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΣΤΕΦΑΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :**

**ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ  
Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Πειραιά**



# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό επιθυμούμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον κ. Παντελή Μαλατέστα καθηγητή ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε στην ανάθεση του θέματος, την επιστημονική του καθοδήγηση, την ευχάριστη συνεργασία και πολύπλευρη συμπαράστασή του σ' ολόκληρη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους δικούς μας ανθρώπους, τις οικογένειες μας, που μας στηρίζουν ηθικά αλλά και οικονομικά όλα αυτά τα χρόνια, για την επίτευξη των στόχων μας.

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή “ήπιες μορφές ενέργειας” είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η ενέργεια νερού, ηλιακή, αιολική, βιομάζα μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιήσε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων Ως Α.Π.Ε. θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα). 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 θα 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.

Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και πολλά κράτη υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Στην παρούσα μελέτη αναλύονται οι ενεργειακές ανάγκες της μαρίνας της νήσου Ίου των Κυκλάδων, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και η δυνατότητα κάλυψής τους από Φ/Β σταθμό που θα δύναται να διασυνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1-3
---------------	-----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία διεθνώς.....	4-6
1.1 Διεθνείς συνθήκες.....	4-5
1.2 Ελληνική πραγματικότητα.....	5-6

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ηλιακή ακτινοβολία.....	7-9
2.1 Η δομή του ηλίου.....	7-8
2.2 Ηλιακή ακτινοβολία και ένταση.....	8-9

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανάλυση φωτοβολταϊκών φαινομένων.....	10-26
3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	10-11
3.2 Τύποι ηλιακών κυψελών και πλαισίων.....	11-12
3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής κυψέλης.....	13-23
3.3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα.....	13-14
3.3.2 Τάση ανοιχτού κυκλώματος (Ρεύμα βραχυκύκλωσης).....	14-15
3.3.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V φωτοβολταϊκής κυψέλης.....	15-17
3.3.4 Σημείο λειτουργίας μεγίστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.).....	17-18
3.3.5 Καμπύλη φορτίου.....	18-18
3.3.6 Εξάρτηση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών Φ/Β στοιχείων από την πυκνότητα ισχύος (Σ.Μ.Ι.).....	19-19
3.3.7 Παράγων πλήρωσης (FF- Fill Factor).....	19-20
3.3.8 Επίδραση θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Φ/Β στοιχείου.....	20-22
3.3.9 Απόδοση φωτοβολταϊκής κυψέλης.....	22-23
3.4 Απόδοση Φ/Β πλαισίου και παράγοντες που την επηρεάζουν .....	23-26
3.4.1 Απόδοση Φ/Β πλαισίου.....	23-25
3.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση.....	25-26
3.4.2.1 Παράγων ή συντελεστής γήρανσης.....	25-25
3.4.2.2 Οπτικές ενεργειακές απώλειες.....	25-26
3.4.2.3 Θερμοκρασία φωτοβολταϊκής κυψέλης.....	26-26
3.4.2.4 Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής.....	26-26

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<b>Πειραματικό μέρος.....</b>	<b>27-38</b>
4.1 Σενάριο.....	27-27
4.2 Ενεργειακές απαιτήσεις υποδομής.....	27-29
4.2.1 Καταναλώσεις σκαφών διαφόρων διαστάσεων.....	27-29
4.3 Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων.....	29-31
4.3.1 Πληρότητα μαρίνας.....	29-31
4.4 Μελέτη ηλιακού δυναμικού στην περιοχή.....	31-37
4.4.1 Επίδοση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος.....	35-37
4.4.1.1 Εκτίμηση ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας από πρόγραμμα PVGIS.....	35-37
4.5 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα προσφοράς- ζήτησης ενέργειας.....	37-38

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<b>Μελέτη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου.....</b>	<b>39-77</b>
5.1 Επιλογή ηλεκτρικών στοιχείων του πάρκου.....	39-73
5.1.1 Επιλογή αντιστροφέα (INVERTER).....	39-42
5.1.2 Φ/Β πλαίσια.....	42-46
5.1.3 Καταναλώσεις σκαφών διαφόρων διαστάσεων.....	46-50
5.1.4 Επιλογή γωνίας κλίσης Φ/Β.....	50-52
5.1.4.1 Σταθερή ετήσια κλίση.....	50-52
5.1.5 Διαστασιολόγηση συστοιχίας.....	52-54
5.1.6 Φαινόμενο αντίστροφης ροής του ρεύματος.....	54-56
5.1.7 Τοπογραφική διάταξη και χωροθέτηση.....	56-61
5.1.8 Προστασία έναντι υπερτάσεων (Απαγωγή κρουστικών υπερτάσεων).....	61-61
5.1.8.1 Εσωτερική προστασία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών από κρουστικές υπερτάσεις.....	61-61
5.1.8.2 Εξωτερική προστασία των κυψελών και του οικίσκου από άμεσα πλήγματα.....	62-62
5.1.8.3 Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας (Σ.Α.Π.).....	62-64
5.1.9 Γείωση.....	65-67
5.1.9.1 Μέθοδοι γείωσης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.....	65-67
5.1.10 Διασύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ.....	67-73
5.1.10.1 Αντιστροφείς.....	67-68
5.1.10.2 Καλώδια.....	69-70
5.1.10.3 Οικίσκος.....	71-72
5.1.10.4 Χωματουργικές εργασίες-Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου.....	73-73
5.2 Οικονομική αξιολόγηση.....	73-77
5.2.1 Βιωσιμότητα και οικονομικά δεδομένα επένδυσης.....	75-77

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

<b>Εξαγόμενα συμπεράσματα μελέτης.....</b>	<b>78-79</b>
6.1 Συμπεράσματα.....	78-79

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

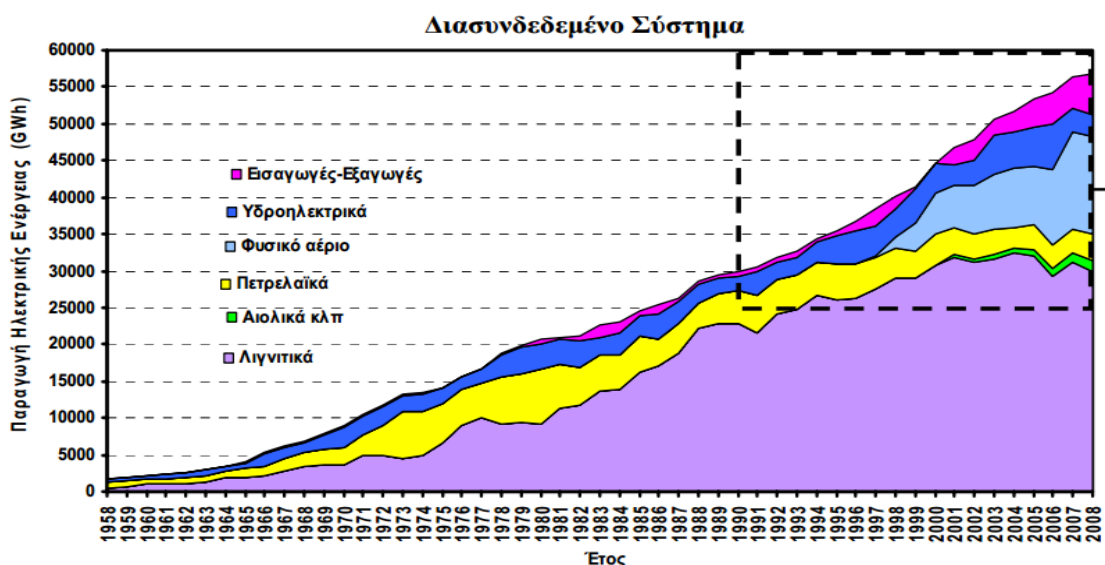
Παράρτημα Α.....	80-80
Παράρτημα Β.....	81-89

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>90-90</b>
--------------------------	--------------

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τελευταίες εξελίξεις στο περιβάλλον, καθιστούν το μέλλον του πλανήτη αβέβαιο. Πιο πολύ από ποτέ ο άνθρωπος έχει αρχίσει να συνειδητοποιεί ότι οι παρεμβάσεις στο περιβάλλον δεν μπορούν να συνεχίσουν να είναι ανεξέλεγκτες. Από τα μεγαλύτερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα σήμερα είναι η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας (Σχήμα 1). Οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες αναγνωρίζονται ευρέως ως το κύριο αίτιο της καταστροφής του περιβάλλοντος, από την άποψη τόσο της εξάντλησης των φυσικών πόρων όσο και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Υπάρχουν ολοένα και ισχυρότερες ενδείξεις ότι η κλιματική αλλαγή οφείλεται στις εκπομπές του αερίου του θερμοκηπίου, οι οποίες προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από τον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και από τις μεταφορές (Σχήμα 2). Είναι επομένως επιτακτική ανάγκη, η στροφή σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας και κυρίως στις ανανεώσιμες, οι οποίες και εντελώς φιλικές προς το περιβάλλον είναι και ανεξάντλητες. Αντίθετα το πετρέλαιο και τα ορυκτά καύσιμα, αν και βραχυπρόθεσμα υπάρχουν ακόμα αρκετά αποθέματα, σε βάθος χρόνου ίσως και ενός αιώνα θα εξαντληθούν, ενώ η πλήρης εξάρτηση από αυτά δημιουργεί σοβαρά οικονομικά προβλήματα σε κάθε αύξηση των τιμών τους.

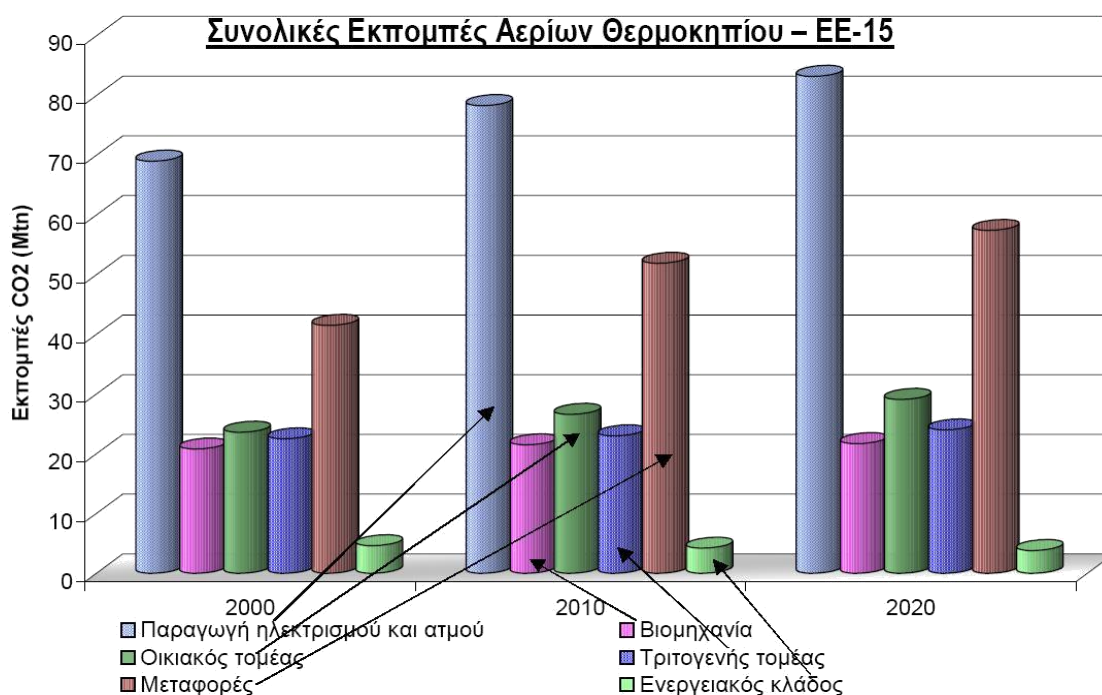


**Σχήμα 1** Εξέλιξη της πρωτογενούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε GWh για τα έτη 1958-2008

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες και μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδατοπτώσεις
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από παλίρροιες
- Ενέργεια από κύματα
- Ενέργεια από τους ωκεανούς





**Σχήμα 2** Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 15, ανά τομέα για το έτος 2000 και πρόβλεψη για τα έτη 2010 και 2020.

Για την εκμετάλλευση των παραπάνω ήπιων μορφών ενέργειας έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες τεχνολογίες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η ηλιακή ενέργεια ως η ήπια μορφή ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάμεσα στις άλλες τεχνολογίες, οι οποίες εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια είναι και η φωτοβολταϊκή τεχνολογία, η οποία κερδίζει ευρεία αποδοχή ως ένας τρόπος διατήρησης και βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον. Όλο και περισσότερες εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανταποκρίνονται στις επιθυμίες των καταναλωτών συμπεριλαμβάνοντας τα φωτοβολταϊκά στον παραγωγικό μηχανισμό. Τα πλεονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα:

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Υψηλή αξιοπιστία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Ελάχιστες απαιτήσεις επίβλεψης και συντήρησης.
- Αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες (ισχυρούς άνεμους, ακραία χαλαζόπτωση, κλπ).
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 25 χρόνια).

- Σχετικά απλή μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες.
- Εύκολη επέκταση της υπάρχουσας εγκατάστασης.
- Δυνατότητα ανεξαρτησίας από τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής για απομακρυσμένες περιοχές (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα).
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών, όσον αφορά την ισχύ. Από μερικά Watt μέχρι μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μερικών MW.

Από την άλλη τα κύρια μειονεκτήματα είναι:

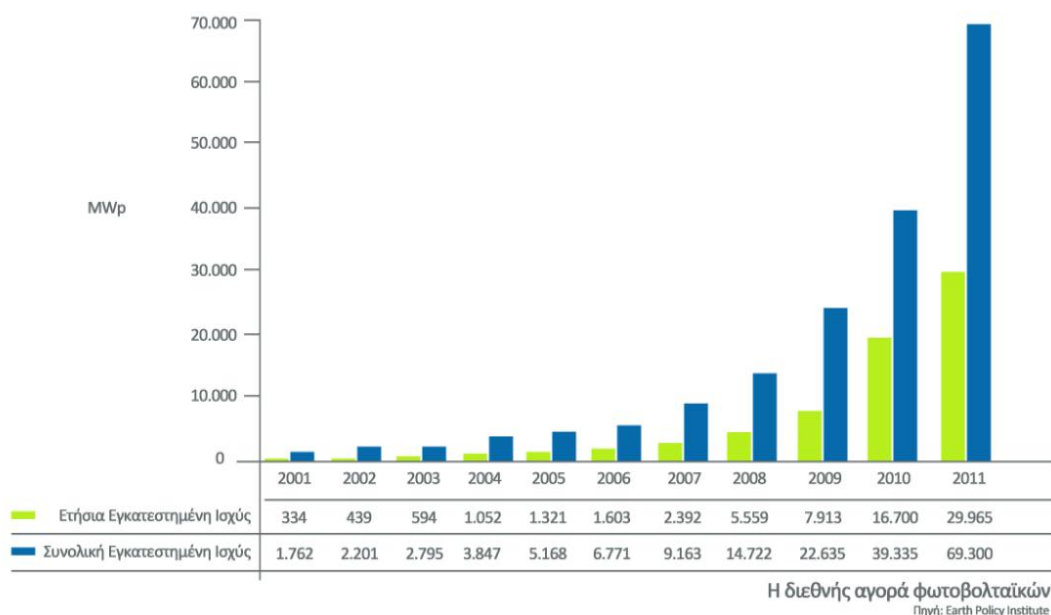
- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, το οποίο οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο υψηλό κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων και πολύ λιγότερο στο κόστος τις υπόλοιπης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός).
- Σε εφαρμογές που απαιτείται η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα), αυτή γίνεται με μη αποδοτικό τρόπο, με περιορισμένες δυνατότητες, ενώ και το κόστος των συσσωρευτών είναι υψηλό.
- Λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών.
- Εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις καιρικές συνθήκες, που αποτελούν έναν απρόβλεπτο παράγοντα, επιτρέποντας μόνο εκτιμήσεις σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα (συνήθως ετήσια).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

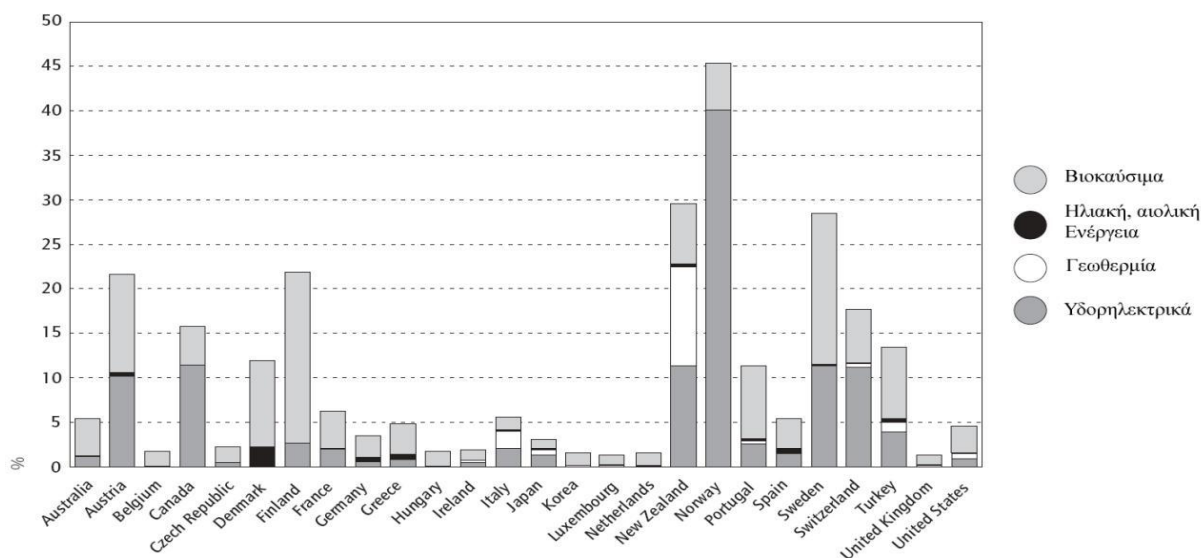
## Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία

### 1.1 Διεθνείς συνθήκες

Είναι γεγονός μια μεγάλη στροφή διεθνώς, όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από μεγάλες εταιρίες και επενδυτές. Σε αντίθεση με το παρελθόν η ανάπτυξη σήμερα συνδέεται άμεσα με περιβαλλοντικά ζητήματα, τα οποία αποτελούν σημαντική συνιστώσα σε οποιοδήποτε ενεργειακό επενδυτικό σχέδιο. Η αναγκαιότητα αυτή πηγάζει κυρίως από την μεγάλη αλλαγή, που έχει συμβεί στην κοινή γνώμη όσον αφορά την περιβαλλοντική συνείδηση και από τις αδιαμφισβήτητες κλιματολογικές αλλαγές, των τελευταίων χρόνων, οι οποίες εκτός των άλλων έχουν σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις.



Σχήμα 1.1 Εξέλιξη της παγκόσμιας αγοράς φωτοβολταϊκών σε MWp



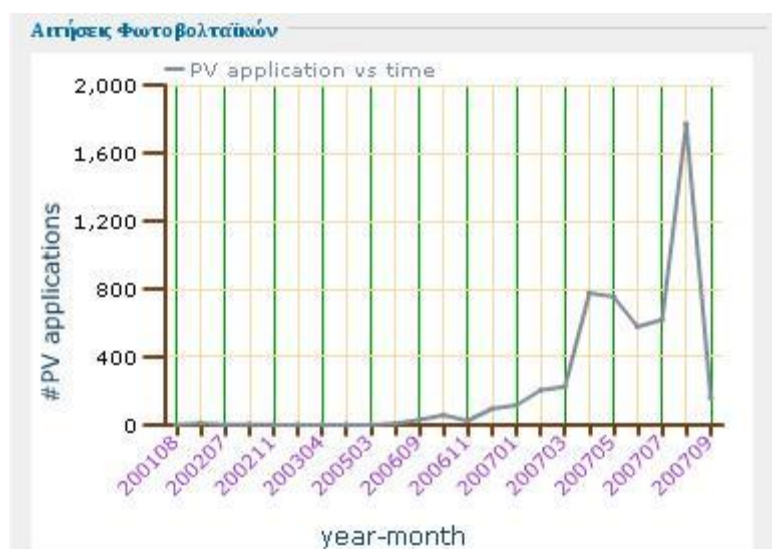
Σχήμα 1.2 Συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην συνολική πρωτογενή παραγωγή στις χώρες της IEA (International Energy Agency) για το έτος 2011

Το αποτέλεσμα είναι, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να μετατραπούν σε λύση πρώτης προτεραιότητας για μια ισορροπημένη ανάπτυξη. Όπως είναι αναμενόμενο, υπάρχουν μεγάλες διαφορές από χώρα σε χώρα, όσον αφορά το ποια μορφή ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί. Καθοριστικό ρόλο παίζουν οι γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες, έτσι ώστε η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να είναι αποδοτική.

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία εμφανίζει μια ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια διεθνώς (Σχήμα 1.1). Ταυτόχρονα γίνεται μεγάλη προσπάθεια στον τομέα της έρευνας, με σκοπό την εξεύρεση νέων υλικών, αλλά και λιγότερο ενεργοβόρων διαδικασιών παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων, γεγονότα που από την μια θα αυξήσουν την απόδοση και από την άλλη θα μειώσουν το κόστος παραγωγής. Οι δύο τελευταίες παράμετροι αποτελούν και τα κύρια μειονεκτήματα της φ/β τεχνολογίας, τα οποία εμποδίζουν την περαιτέρω ανάπτυξη της. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι παρόλο που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φ/β στοιχείων τα τελευταία χρόνια είναι πολλαπλάσια αν συγκριθεί με την κατάσταση προ μερικών δεκαετιών, εντούτοις παραμένει σε πολύ χαμηλά ποσοστά, όσον αφορά τη συνεισφορά στην συνολική πρωτογενή παραγωγή (Σχήμα1.2).

## 1.2 Ελληνική Πραγματικότητα

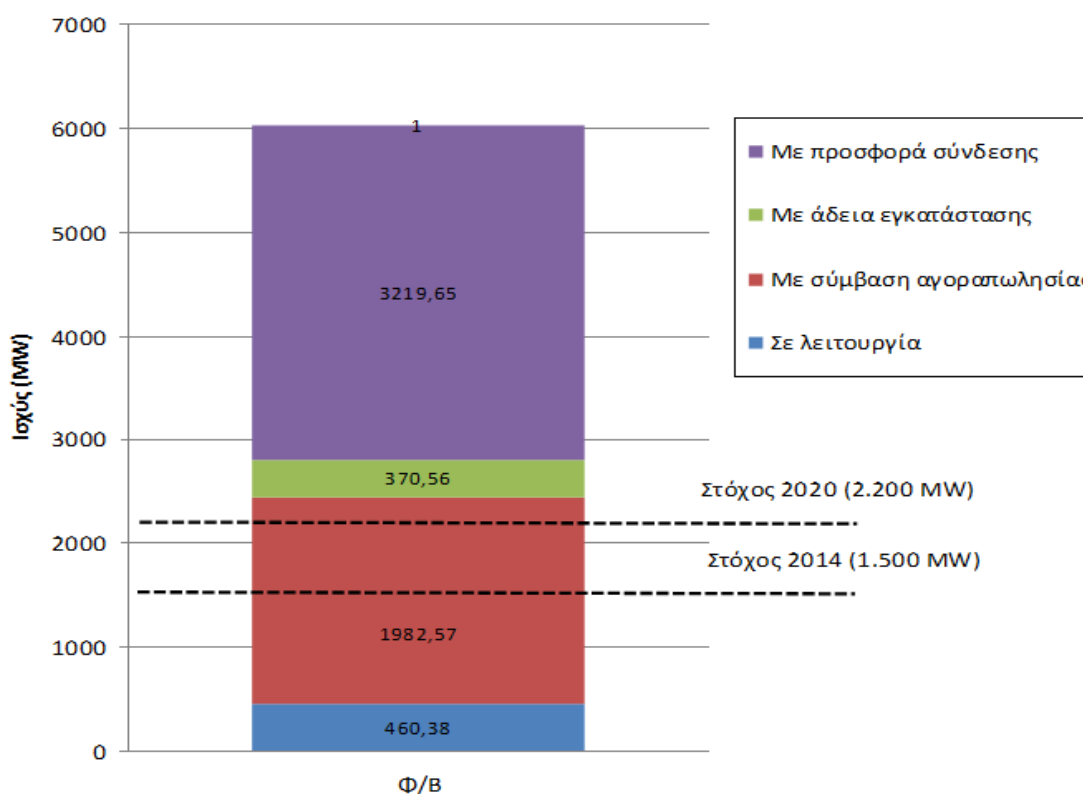
Παρόλο που το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας είναι ιδανικό για την εκμετάλλευση της φ/β τεχνολογίας, μέχρι και το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτη. Περιοριζόταν κυρίως σε αυτόνομα φ/β συστήματα για απομακρυσμένες από το κεντρικό δίκτυο περιοχές, ενώ και σε αυτή τη περίπτωση ο αριθμός και το μέγεθος ήταν πολύ περιορισμένα.



**Σχήμα 1.3** Εξέλιξη των αιτήσεων για φ/β συστήματα στην Ελλάδα για τα έτη 2001- 2007.

Όμως τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια πολύ μεγάλη αλλαγή. Ο κλάδος της φ/β τεχνολογίας γνωρίζει μια έκρηξη επενδυτικού ενδιαφέροντος, απόρροια της αλλαγής της πολιτείας ως προς την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών γενικότερα και της φ/β τεχνολογίας πιο συγκεκριμένα. Οι γενναίες επιδοτήσεις σε συνδυασμό με την αυξημένη τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα είχαν ως αποτέλεσμα αυξημένο επενδυτικό ενδιαφέρον, καθώς η φ/β τεχνολογία κατέστη όχι μόνο βιώσιμη, αλλά και κερδοφόρα επένδυση με ελάχιστο ρίσκο.

Το αποτέλεσμα ήταν μια χωρίς προηγούμενο εκτίναξη του αριθμού των αιτήσεων για την χορήγηση άδειας κατασκευής φ/β πάρκων (Σχήμα 1.3). Ο στόχος των 700MW που είχε τεθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα, καλύφθηκε πολύ γρήγορα (τέλος του 2007). Όπως είναι φανερό, σε μια χώρα όπου η περιβαλλοντική συνείδηση των πολιτών και των επιχειρήσεων δεν είναι πολύ μεγάλη, ο κρατικός παρεμβατισμός μοιάζει ίσως ο μοναδικός τρόπος για την εκδήλωση επενδυτικού ενδιαφέροντος στη συγκεκριμένη τεχνολογία. Όμως τα πράγματα μπορούν να αλλάξουν σημαντικά, όχι μόνο με την αλλαγή της κοινής γνώμης πάνω σε περιβαλλοντικά ζητήματα, αλλά και από την εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία μοιάζει ικανή στο άμεσο μέλλον να κάνει τα φ/β μια βιώσιμη και εφικτή λύση στο παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα (Σχήμα 1.4).



**Σχήμα 1.4** Η αδειοδοτική εξέλιξη των Φ/Β και οι επιδιωκόμενοι για το 2014 και 2020 στόχοι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

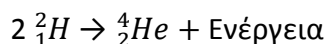
### Ηλιακή ακτινοβολία

#### 2.1 Η δομή του ήλιου

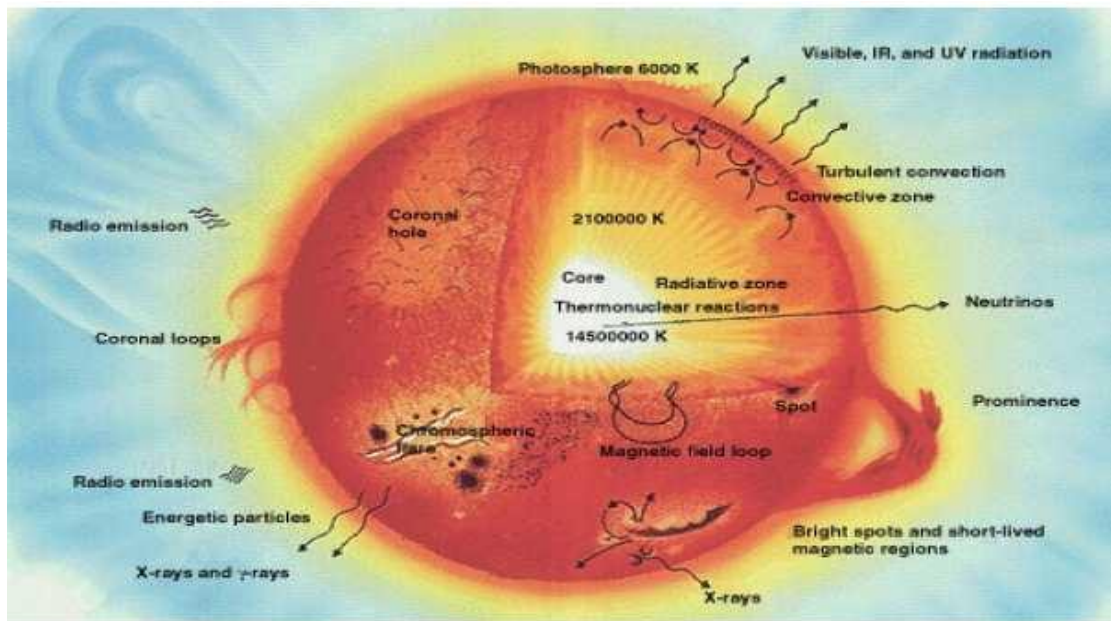
Ο ήλιος είναι ένα τυπικό αστέρι, με μάζα  $2 \times 10^{30}$  kg, ακτίνα 700.000 Km ηλικία  $5 \times 10^9$  χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή του ήλιου (εικόνα 2.1) και ξεχωρίζουν τα εξής τμήματα:

- Πυρήνας: Βρίσκεται στο κέντρο και εκτείνεται σε διάμετρο ίση με το 25% της συνολικής με θερμοκρασίες που φτάνουν τους 15.000.000 K .
- Ζώνη ακτινοβολίας: Καταλαμβάνει το 55% της ακτίνας του ήλιου. Σε αυτή τη ζώνη η ενέργεια από τον πυρήνα μεταφέρεται προς τα έξω από τα φωτόνια.
- Ζώνη μεταφοράς: Εδώ υπάρχει σχετικά ψυχρό και αραιό αέριο και κυριαρχεί η μεταφορά ενέργειας με συναγωγή.
- Φωτόσφαιρα: Αποτελεί τον ορατό δίσκο του ήλιου πάχους 500 Km
- Χρωμόσφαιρα: Είναι διαφανής στο φώς γιατί έχει πυκνότητα 1000 φορές μικρότερη από την φωτόσφαιρα.
- Στέμμα: Εκτείνεται προς το μεσοπλανητικό χώρο σχηματίζοντας την ηλιόσφαιρα.

Η επιφανειακή θερμοκρασία του ήλιου είναι περίπου 5.800 K και η εσωτερική περίπου 15.000.000 K. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή η πυρηνική αντίδραση σύντηξης :



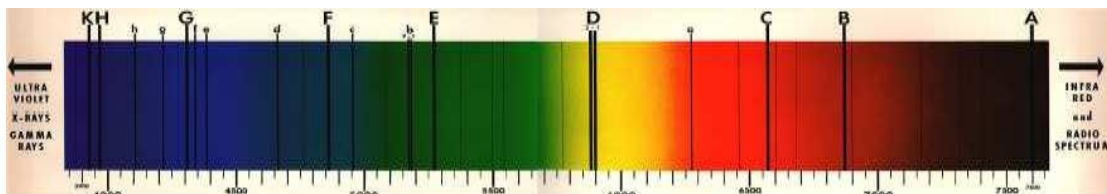
δικαιολογεί, με το έλλειμμα μάζας, την εκλυόμενη ενέργεια με βάση την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε He εκλύεται ενέργεια ίση με  $U = 1,67 \times 10^5$  kWh.



**Εικόνα 2.1** Δομή του ήλιου

## 2.2 Η Ηλιακή ακτινοβολία και η ένταση της

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς την γη με ταχύτητα 300.000 Km/sec και μεταφέρει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Πραγματοποιώντας φασματοσκοπική ανάλυση εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα που περιέχονται σε αυτήν (εικόνα 2.2), το σύνολο των οποίων αποτελεί το ηλιακό φάσμα. Σε κάθε χρώμα του φάσματος αντιστοιχεί και διαφορετική συχνότητα.



**Εικόνα 2.2** Φάσμα ορατού φωτός

Από όλες τις συχνότητες του ηλιακού φάσματος μόνο οι μεγάλες συχνότητες στις οποίες έχουμε μεγάλη μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας είναι δυνατό να προκαλέσουν ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο. Οι συχνότητες αυτές αποτελούν το 75% του φάσματος.

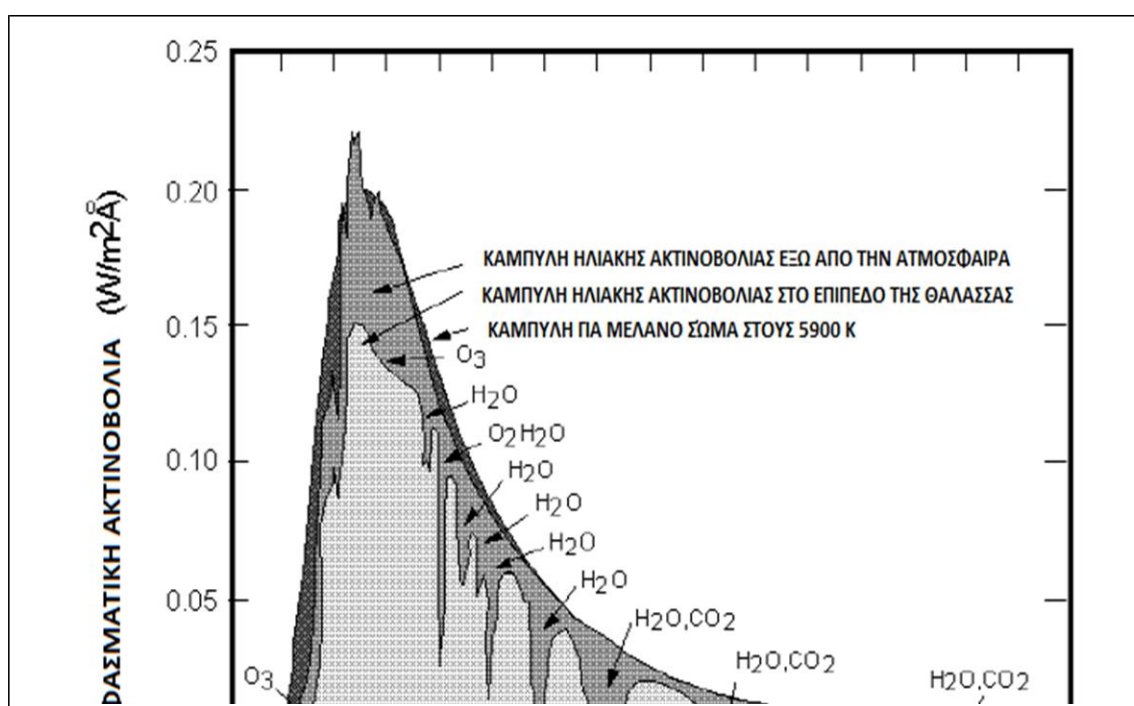
Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον αστέρα προς το διάστημα και η ένταση της ακτινοβολίας του (το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε 1 m<sup>2</sup> επιφάνειας σε 1 sec) βάση της διατήρησης της ενέργειας ανα μονάδα χρόνου (διατήρηση ισχύος) προκύπτει από την σχέση :

$$J = \frac{P}{4\pi d^2}$$

(όπου d απόσταση από την ήλιο, στην οποία μετράται η ένταση)

Ελάττωση της έντασης συμβαίνει σε όλη την διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα της γης λόγω της απορρόφησης και της σκέδασης των μορίων του αέρα, της σκόνης και της υγρασίας.

Τέλος ένας επίσης σημαντικός παράγοντας που επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα είναι και η κατανομή της ενέργειας κατά μήκος του κύματος. Γεγονός που επηρεάζει την απόδοση των φωτοβολταϊκών, που εξαρτάται από τα μήκη κύματος που υπάρχουν στην προσπίπτουσα ακτινοβολία. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.3) φαίνεται η κατανομή στο ηλιακό φάσμα έξω από την ατμόσφαιρα που είναι παρόμοια με την κατανομή ακτινοβολίας που προέρχεται από μαύρο (μελανό σώμα) θερμοκρασίας 5.900 K.



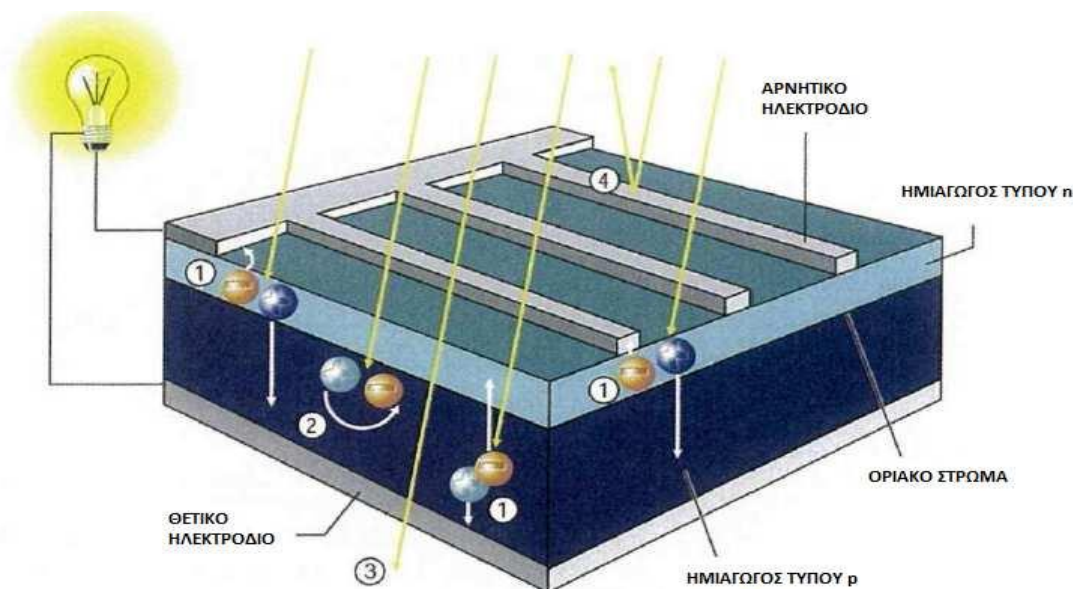
Εικόνα 2.3 Καμπύλες φασματικής κατανομής

Η μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, που απορροφάται στο εσωτερικό μια διάταξης υλικών σε επαφή (ημιαγωγοί), σε ηλεκτρική ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάταξη ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο και τα πιο συνηθισμένα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένοι οι ημιαγωγοί έχουν ως βασικό υλικό κυρίως το πυρίτιο (silicon) που κατέχει το 95% της παγκόσμιας παραγωγής (σύμφωνα με στοιχεία του έτους 2006), είτε το γάλλιο (gallium arsenide), είτε το κάδμιο (cadmium telluride) είτε το χαλκό (copper indium diselenide).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Ανάλυση φωτοβολταϊκών φαινομένων



Εικόνα 3.1 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

### 3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

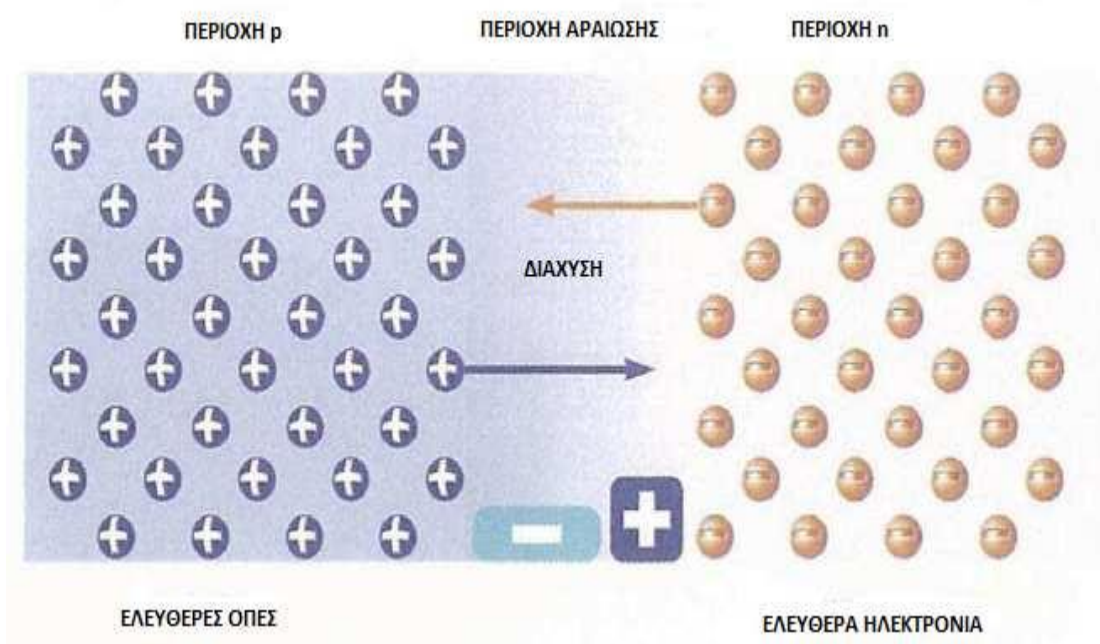
Στην περιοχή των ημιαγωγών που είναι σε επαφή δημιουργούνται σε όλο το χώρο ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών με δύο τρόπους, θερμικά και με την δράση εξωτερικού φωτισμού (φωτονίων), κατάλληλου μήκους κύματος. Διακρίνουμε τα ζεύγη που δημιουργούνται μέσα στην περιοχή επαφής, λόγω του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου, αλλά και έξω από αυτήν πολύ κοντά όμως στα σύνορα των περιοχών τύπου  $n$  και  $p$  αντίστοιχα. Πολλοί από τους φορείς αυτούς έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να φτάσουν στις περιοχές όπου υπερτερούν οι όμοιοι προς αυτούς φορείς (φορείς πλειονότητας), και να παραμείνουν ως "ελεύθεροι" ηλεκτρικοί φορείς αφού η πιθανότητα να συναντήσουν φορέα μειονότητας και να επανασυνδεθούν είναι πολύ μικρή.

Οι φορείς που θα συναντήσουν αντίθετο φορέα και θα επανασυνδεθούν δεν συμβάλουν στην δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στην ημιαγωγική διάταξη.

Η περιοχή τύπου  $n$  έχει ως φορείς πλειονότητας τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, ενώ η περιοχή τύπου  $p$  τις οπές (εικόνα 3.2). Οι πρόσθετοι φορείς φορτίζουν τους χώρους που φτάνουν με πλεονάζοντα φορτία, έτσι το δυναμικό στο χώρο  $p$  γίνεται θετικότερο ως προς το αντίστοιχο του χώρου  $n$  όπου έχουν καταλήξει τα ηλεκτρόνια που δημιουργήθηκαν στην επαφή. Η συνεχής κίνηση των φωτο-δημιουργούμενων

φορέων κάτω από την επίδραση του ισχυρού πεδίου αποτελεί ρεύμα με φορά αυτή του ενδογενούς πεδίου, δηλαδή από τον ημιαγωγό τύπου  $n$  στον ημιαγωγό τύπου  $p$  και ονομάζεται φωτόρευμα. Η τιμή του είναι ευθέως ανάλογη του πλήθους των απορροφημένων φωτονίων το οποίο είναι ανάλογο των προσπίπτόντων φωτονίων των οποίων η συνολική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας αποτελεί την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

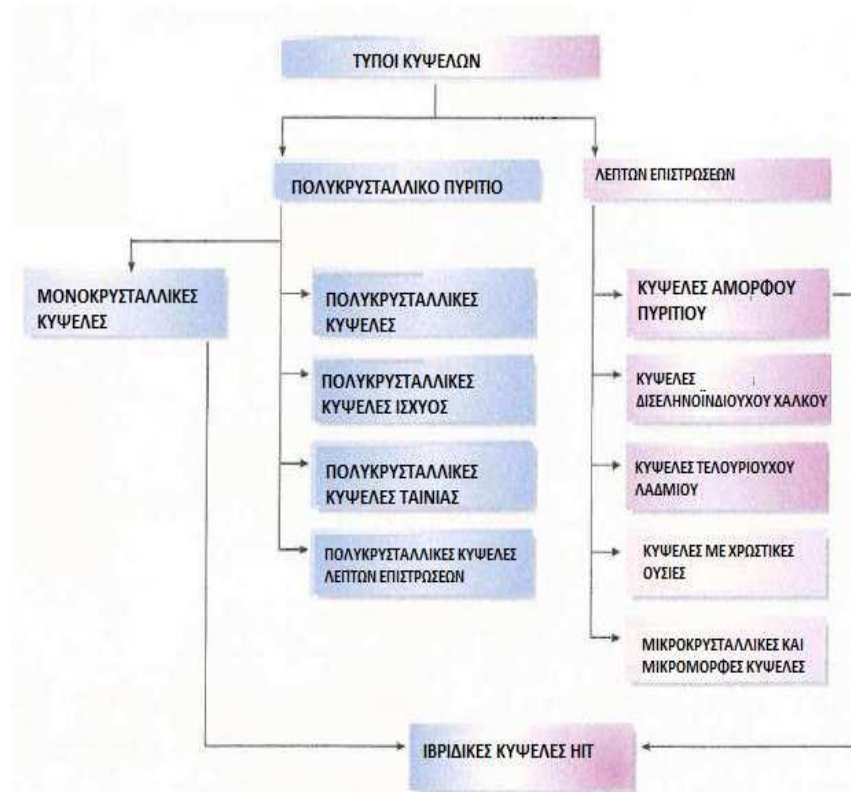
Οι αυξημένες όμως πυκνότητες φορέων πλειονότητας, στις αντίστοιχες περιοχές, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος διάχυσης των φορέων αυτών προς τις αντίθετες περιοχές που οι φορείς αυτοί αποτελούν μειονότητα. Το ρεύμα αυτό είναι ισχυρό και αποτελείται από δύο συνιστώσες (ηλεκτρονίων και οπών), προσδιορίζεται δε από την μεταβολή της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας της περιοχής, έχει φορά από τον ημιαγωγό τύπου  $p$  στον ημιαγωγό τύπου  $n$  (αντίθετης φοράς από το φωτόρευμα) και δεν διαφέρει σε τίποτα με το ρεύμα που δημιουργεί η εφαρμογή ορθής τάσης  $V_F$  σε μη φωτιζόμενη δίοδο. Η διάχυση προκαλεί αύξηση των φορέων μειονότητας των αντίθετων περιοχών με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός επανασύνδεσης των φορέων μειονότητας με τους φορείς πλειονότητας.



Εικόνα 3.2 Διάχυση ηλεκτρονίων οπών

### 3.2 Τύποι ηλιακών κυψελών και πλαίσια

Στην εικόνα 3.3 παραθέτουμε διαγραμματικά τους τύπους των ηλιακών κυψελών, όπως αναφέραμε και παραπάνω το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο (silicon).



**Εικόνα 3.3** Τύποι ηλιακών κυψελών

Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών κυψελών που συνδέονται σε σειρά ώστε να αποτελούν μια εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα με τα επιθυμητά ηλεκτρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά δημιουργούν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν την βασική μονάδα μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας (ή φωτοβολταϊκή γεννήτρια).

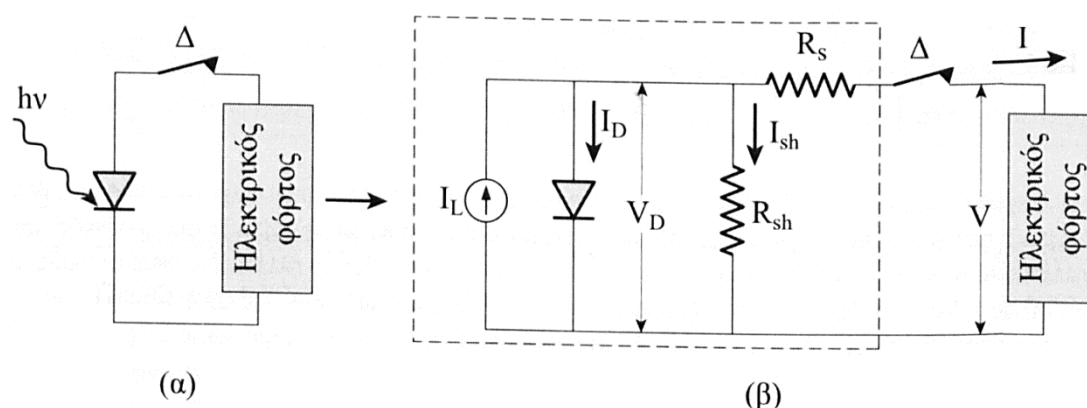
Η επιλογή του αριθμού των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι άμεση συνέπεια του τύπου των συσσωρευτών και της ονομαστικής ηλεκτρικής τάσης αυτών. Ο λόγος είναι απλός, η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποδίδει την ενέργεια της με την μέγιστη ισχύ όταν φωτίζεται με έναν ήλιο ( $1 \text{ ήλιος} \rightarrow 1 \text{ kW/m}^2$ ) και λειτουργεί στο λεγόμενο σημείο μέγιστης ισχύος, το σημείο αυτό φροντίζουμε να αντιστοιχεί σε τάση που να καλύπτει τη φόρτιση του συσσωρευτή.

Οι συσσωρευτές Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (μολύβδου-θειικού οξέως), οι οποίοι κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά, ονομαστικής τάσης 12 V απαιτούν για την φόρτισή τους τάση 14,2–14,4 V. Αν υπολογίσουμε και την επιπλέον τάση 1-2 V που απαιτείται για τις γραμμές μεταφοράς, τις ηλεκτρονικές διατάξεις που ελέγχουν τα όρια τάσης φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή αλλά και την διόδο αντεπιστροφής που τοποθετείται για να αποτρέπεται η εκφόρτιση του συσσωρευτή διαμέσου της ΦΒ συστοιχίας όταν αυτή δεν φωτίζεται αντιλαμβανόμαστε ότι το σημείο της μέγιστης ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, σ' ένα ήλιο, θα πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον την τάση των 15 -17 V (14,4 + 1 έως 2 V).

### 3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής κυψέλης

#### 3.3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.4) και είναι μέσα στο πλαίσιο διακεκομμένης γραμμής.



Εικόνα 3.4 Ισοδύναμο κύκλωμα ΦΒ. (α) Απλό και (β) Πλήρες

Περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος  $I_L$  σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο και το μη ιδανικό τμήμα του που αποτελείται από μια αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος  $R_{sh}$  μεταξύ των άκρων του στοιχείου παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της διόδου και μια αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου  $R_s$  συνδεδεμένη σε σειρά με αυτήν.

Η αντίσταση  $R_{sh}$  αφορά διαδρομές του ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n μεταξύ των σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Αναλυτικότερα, οι διαδρομές αυτές αφορούν ρεύματα:

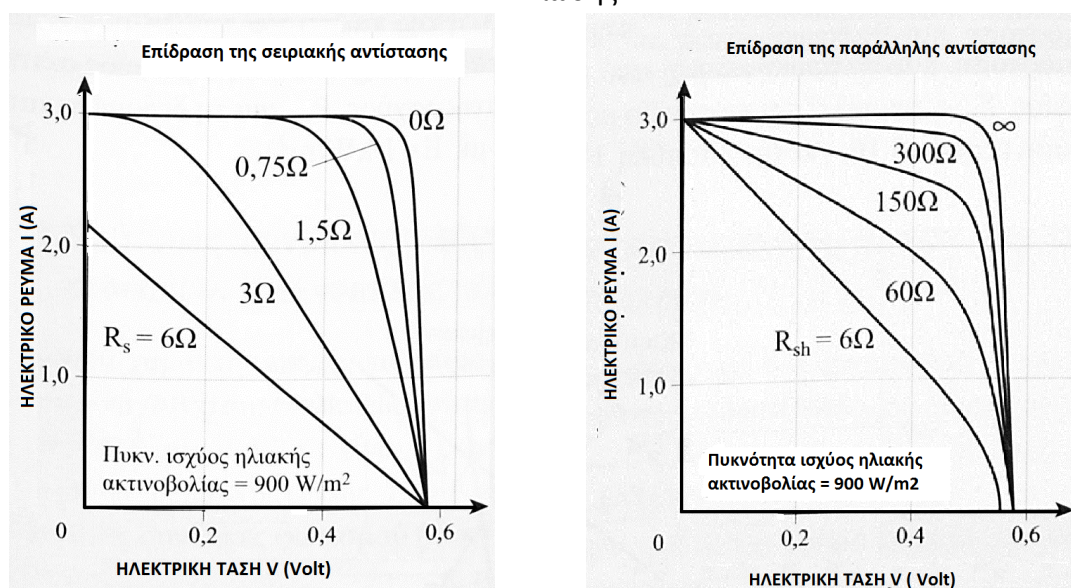
1. Δια μέσου του σώματος της διάταξης επαφής
2. Δια των εξωτερικών επιφανειών της επαφής, παράλληλα προς το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής και
3. Δια μέσου της ηλεκτρικής διάβασης που δημιουργούν οι προσμείξεις της επαφής.

Η αντίσταση  $R_s$  αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή :

1. Κατά την δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα της διόδου και
2. Στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους.

Η επίδραση των αντιστάσεων  $R_{sh}$  και  $R_s$  φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.5) από την οποία γίνεται φανερό ότι μικρή  $R_{sh} (< 500 \Omega)$  έχει ως αποτέλεσμα την έντονη ελάττωση του ρεύματος καθώς προχωρούμε προς την τάση

$V_{oc}$ , ενώ μεγάλη  $R_s$  οδηγεί σε μείωση της μέγιστης ισχύος λόγω ότι μια αύξηση της  $R_s$  περιορίζει την περιοχή τάσεων στην οποία αντιστοιχεί σταθερό ρεύμα βραχυκύκλωσης.



**Εικόνα 3.5** Επίδραση σειριακής και παράλληλης αντίστασης

### 3.3.2 Τάση ανοιχτού κυκλώματος – ρεύμα βραχυκύκλωσης

#### Ανοιχτό κύκλωμα

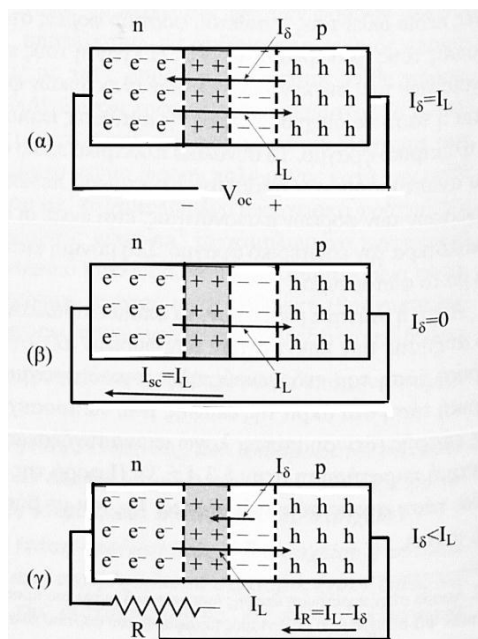
Στην περίπτωση που το φωτοβολταϊκό στοιχείο βρίσκεται σε ανοικτό κύκλωμα και κάτω από συνθήκες σταθερού φωτισμού τα ρεύματα που κυκλοφορούν μέσα στην επαφή είναι αντίθετης φοράς και ίσα κατά απόλυτη τιμή  $I_s = - I_L$  (εικόνα 3.6α). Αυτή η ισότητα ρευμάτων, τα οποία επιβάλλονται αφενός από την διάχυση, λόγω αύξησης των πυκνοτήτων των φορέων πλειονότητας, αφετέρου από την ηλεκτρική τάση του ενδογενούς ηλεκτρικού φραγμού, έχει ως αποτέλεσμα η τάση στα άκρα της επαφής p-n να προσεγγίζει το ύψος της τάσης  $V_{bi}$  (τάση διάχυσης : η τάση που διακόπτει το φαινόμενο της διάχυσης από το ένα τμήμα της επαφής στο άλλο) με φορά αντίθετη αυτής. Ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ) και ισχύει :

$$V_{oc} \leq V_{bi}$$

Η ισότητα αφορά την ιδανική περίπτωση που δεν συμβαίνουν επανασυνδέσεις.

## Κλειστό κύκλωμα

Αν, τώρα, τα άκρα της επαφής p-n που φωτίζεται όπως και πριν κάτω από συνθήκες σταθερού φωτισμού, είναι βραχυκυκλωμένα (με χάλκινο σύρμα πρακτικά



μηδενικής αντίστασης), οι αυξημένες πυκνότητες των φορέων πλειονότητας στα άκρα της επαφής δημιουργούν έκχυση τους είτε μέσα από την επαφή, που παρουσιάζει φραγμό, είτε μέσα από το σύρμα, που δεν παρουσιάζει φραγμό. Άρα κατά το βραχυκύκλωμα το ρεύμα  $I_L$  διέρχεται από τον αγωγό βραχυ- κύκλωσης (εικόνα 3.6β), οπότε ισχύει :

$$I_{SC} = I_L$$

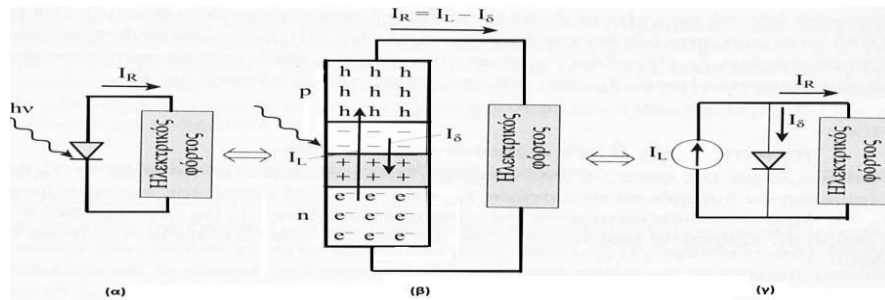
Όταν όμως στα άκρα της επαφής συνδέσουμε μια αντίσταση  $R$  (εικόνα 3.6γ) αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα  $I_R = I_L - I_{\delta}$ , δηλαδή το ρεύμα  $I_R$  εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης που συνδέουμε στα άκρα της επαφής.

Εικόνα 3.6 Επαφή p-n

### 3.3.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής κυψέλης

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, φώς δεδομένης πυκνότητας ισχύος και φάσματος δημιουργεί μέσα στο σώμα της φωτοβολταϊκής κυψέλης ηλεκτρικό ρεύμα  $I_L$ . Το ρεύμα αυτό παραμένει σταθερό καθώς αλλάζει η ωμική αντίσταση που είναι συνδεδεμένη στα άκρα του. Έτσι η λειτουργία της ΦΒ κυψέλης είναι ισοδύναμη με εκείνη που θα δημιουργούσε η σύνδεση μιας πηγής σταθερού ρεύματος στα άκρα της διόδου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6, ειδικότερα θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πηγή αυτή προσαρμόζει την τάση στα άκρα της ώστε να διατηρεί το ρεύμα πρακτικά σταθερό, για αυτό παρουσιάζεται και ως πηγή σταθερού ρεύματος.

Σύμφωνα με προηγούμενη ανάλυση το ρεύμα  $I_{\delta}$  είναι σαν να προέρχεται από μια ορθή τάση  $V_F$ , επειδή οφείλεται στην αύξηση των πυκνοτήτων των φορέων πλειονότητας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι τιμές του  $I_{\delta}$  ακολουθούν την καμπύλη I-V της διόδου (εικόνα 3.8).



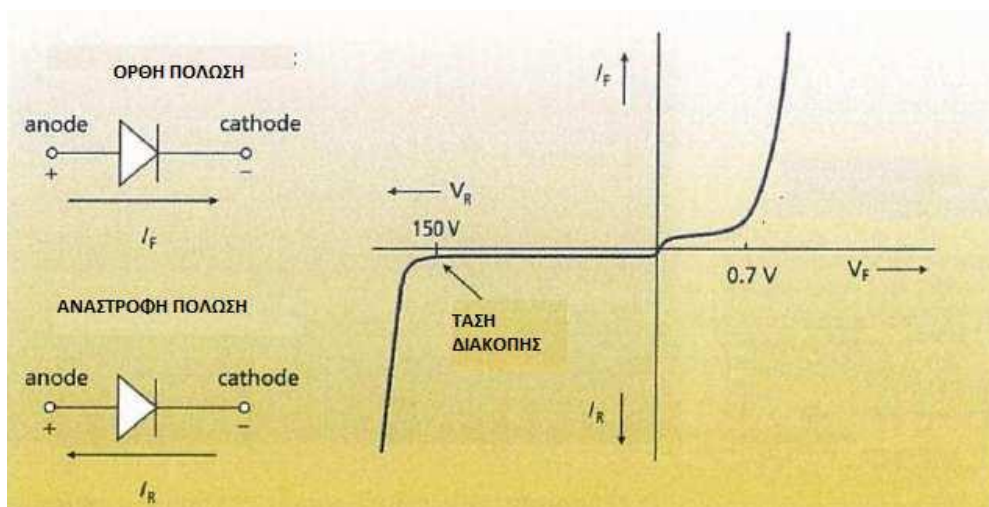
**Εικόνα 3.7 (α) τυπικό ηλεκτρικό κύκλωμα που περιλαμβάνει (β)Αναλυτική παρουσίαση ρευμάτων στο κύκλωμα (γ) Το ισodύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα.**

Έτσι, για να κατασκευάσουμε την καμπύλη I-V της φωτιζόμενης διόδου πρέπει να προσθέσουμε την καμπύλη I-V της μη φωτιζόμενης διόδου και την ευθεία  $I = -I_L$ , του φωτορεύματος που αποτελεί την καμπύλη I-V της πηγής σταθερού ρεύματος. Το ρεύμα  $I_R$  όμως έχει αντίθετη φορά από το επιβαλλόμενο στη δίοδο ρεύμα από μία εξωτερική πηγή με ορθή πόλωση, συνεπώς στο διάγραμμα I-V της μη φωτιζόμενης επαφής θα τοποθετήσουμε τις τιμές  $I_R$  στον αρνητικό ημιάξονα και σε κάθε τιμή του  $I_S$  θα προσθέτουμε το  $-I_L$  και θα βρίσκουμε το  $I_R$

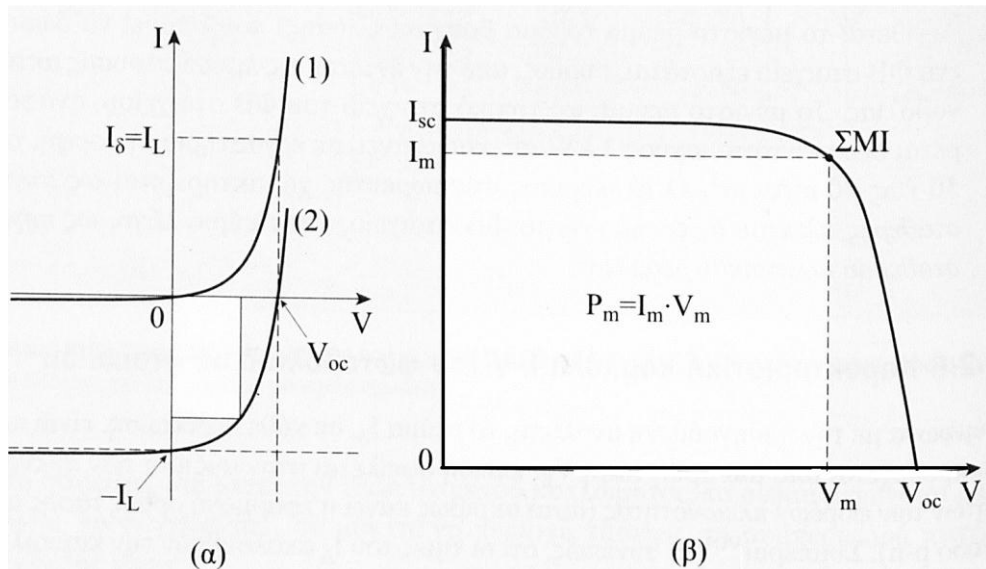
$$I = I_S \left[ e^{\frac{eV}{\eta I_S K_B T}} - 1 \right] - I_L$$

(όπου  $\eta$  ο παράγων ιδανικότητας της διόδου)

Στην εικόνα 3.9α φαίνεται η καμπύλη I-V της φωτοβολταϊκής κυψέλης στο σκοτάδι (1) και στο φως (2), ενώ στην εικόνα 3.9β δίνεται σε μεγέθυνση το τμήμα της καμπύλης που βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο ανεστραμμένο ως προς τις τιμές του ρεύματος, στο οποίο η επαφή p-n συμπεριφέρεται ως φωτοβολταϊκό στοιχείο. Σε εκείνη την περιοχή η φωτοβολταϊκή κυψέλη φέρεται σαν πηγή ενέργειας και παρέχει ενέργεια σ' ένα καταναλωτή ( $P = V \cdot I < 0$ ).



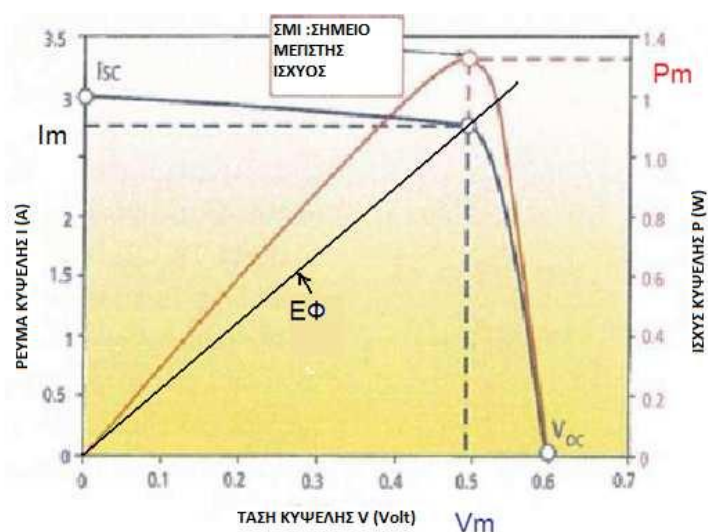
**Εικόνα 3.8 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V επαφής p-n, σε ορθή και ανάστροφη πόλωση**



**Εικόνα 3.9** (α) Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V, ενός ΦΒ στοιχείου, στο σκοτάδι (1) και στο φως (2) (β) Σε μεγέθυνση το τμήμα της καμπύλης στο τέταρτο τεταρτημόριο

### 3.3.4 Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος ( ΣΜΙ )

Για την καλύτερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φωτοβολταϊκού πρέπει να προσαρμόσουμε την αντίσταση του καταναλωτή ώστε η τάση και το ρεύμα σε αυτόν να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης λειτουργίας. Το συμπέρασμα αυτό γίνεται εμφανές αν στην καμπύλη I-V κατασκευάσουμε και την καμπύλη της ισχύος σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού,  $P = f(V)$ , όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.10.



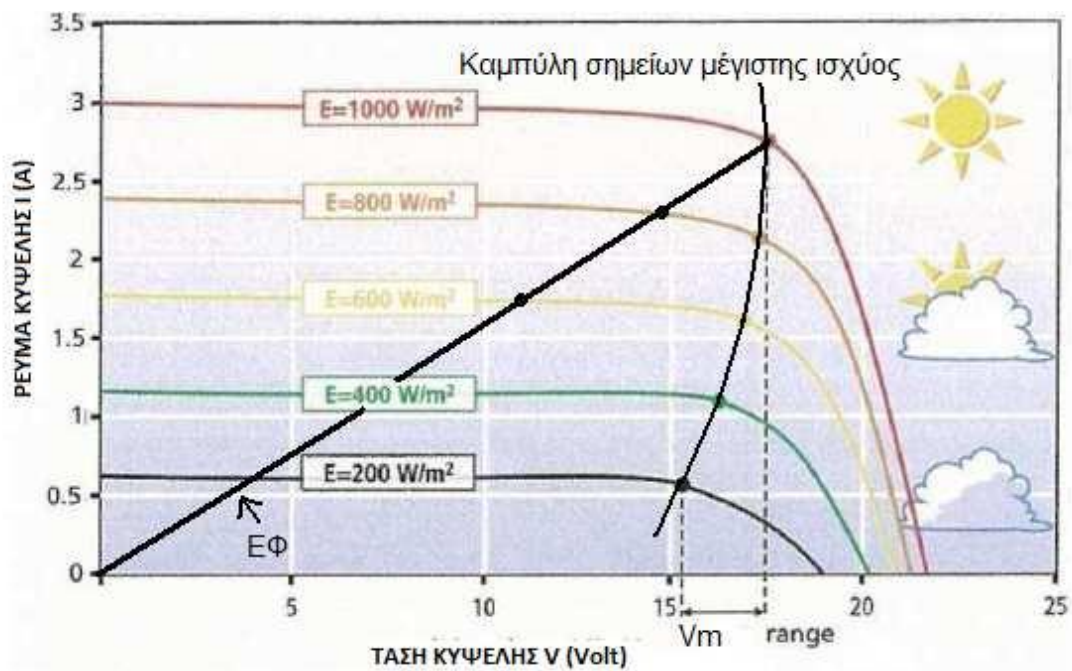
**Εικόνα 3.10** Ανεστραμμένη καμπύλη I-V στο τεταρτημόριο που το ΦΒ στοιχείο παρέχει ενέργεια, καμπύλη ισχύος και ευθεία φόρτου ( ΕΦ )



Προφανώς στις ακραίες συνθήκες για τάση μηδέν και τάση ίση με την  $V_{oc}$ , η παρεχόμενη ισχύς είναι μηδέν συνεπώς είναι αναμενόμενο η καμπύλη της ισχύος να εμφανίζει μέγιστο, το οποίο παρουσιάζεται κοντά στο σημείο που αρχίζει η έντονη πτώση του ρεύματος.

### 3.3.5 Καμπύλη φόρτου

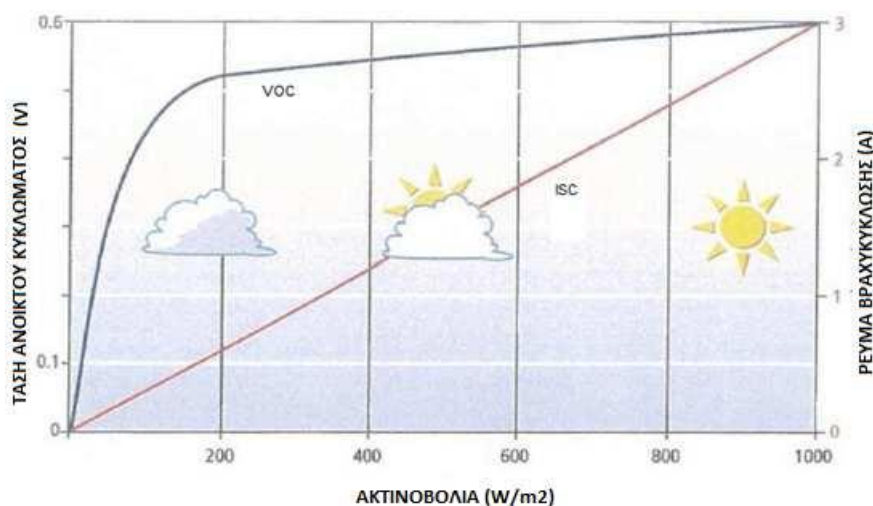
Καμπύλη φόρτου είναι η καμπύλη του ρεύματος  $I$  που διαρρέει τη διάταξη σε συνάρτηση με την τάση που εφαρμόζεται στην είσοδό της,  $I=f(V)$ . Αν την τοποθετήσουμε στην καμπύλη  $I-V$  του φωτοβολταϊκού τότε το σημείο τομής αυτών των δύο μας δίνει το σημείο λειτουργίας του συστήματος. Στην εικόνα 3.10 φαίνεται η καμπύλη φόρτου (ΕΦ) για ωμική κατανάλωση, το οποίο είναι ταυτόσημο με το ΣΜΙ. Προφανώς αν μεταβληθεί η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας η καμπύλη  $I-V$  αλλάζει και το σημείο λειτουργίας για δεδομένο φορτίο δεν συμπίπτει με το ΣΜΙ (εικόνα 3.11). Για να συμπίπτει το σημείο λειτουργίας με το ΣΜΙ, προφανώς θα πρέπει να αλλάξει η ωμική αντίσταση έτσι ώστε η νέα ευθεία φορτίου να περνά από το αντίστοιχο νέο ΣΜΙ. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το ΦΒ στοιχείο είναι  $P_m=V_m \cdot I_m$ , όπου  $V_m$  και  $I_m$  η μέγιστη τάση και ρεύμα στο σημείο μέγιστης λειτουργίας.



Εικόνα 3.11 Χαρακτηριστική  $I-V$  συναρτήση ηλιακής ακτινοβολίας

### 3.3.6 Εξάρτηση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ΦΒ στοιχείου από την πυκνότητα ισχύος της ΗΜ ακτινοβολίας

Είναι προφανές παρατηρώντας την εικόνα 3.11 ότι η πυκνότητα ισχύος της ΗΜ ακτινοβολίας έχει άμεση εξάρτηση με την μέγιστη ισχύ που μπορεί να προσφέρει το ΦΒ στοιχείο. Όσο λιγότερη είναι η ακτινοβολία τόσο λιγότερο είναι και το ρεύμα που διαρρέει την διάταξη, αντιθέτως η τάση μέγιστου σημείου ισχύος παραμένει σχετικά σταθερή.



**Εικόνα 3.12** Τάση Voc και Isc σε συνάρτηση με την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ΗΜ ακτινοβολίας

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα 3.12, παρατηρούμε ότι:

1. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης Isc είναι ανάλογο της πυκνότητας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (γραμμική εξάρτηση) και
2. η τάση ανοικτού κυκλώματος Voc αρχικά αυξάνει ως συνάρτηση της ακτινοβολίας και παραμένει πρακτικά σταθερή για μεγαλύτερη αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας.

### 3.3.7 Παράγων πλήρωσης (FF – Fill Factor)

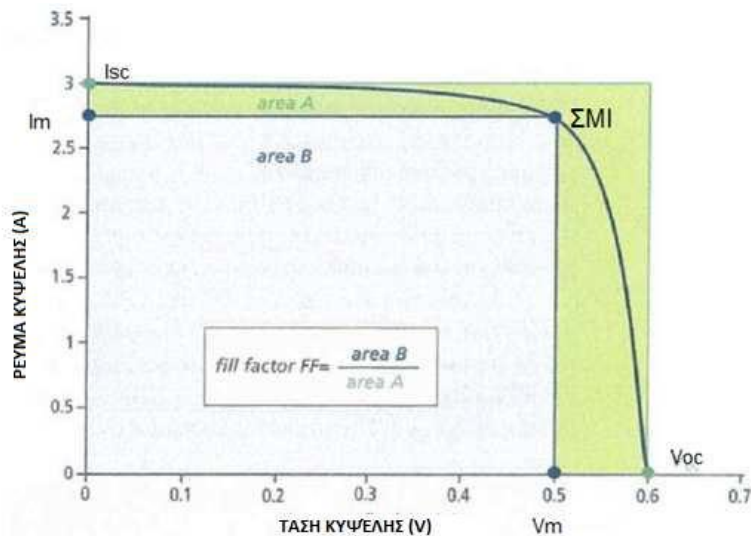
Ο παράγων πλήρωσης FF της ΦΒ κυψέλης (εικόνα 3.13) δίνεται από την σχέση:

$$FF = \frac{\text{area } B}{\text{area } A} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Οι τιμές του καθορίζονται από το υλικό του ΦΒ και τις συνθήκες και είναι μεταξύ 0 και 1. Η τιμή αναφοράς ελέγχου δίνεται σε πρότυπες συνθήκες (STC) και όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι τόσο η λειτουργία του ΦΒ πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή 0-Voc. Σε αυτήν την περίπτωση η διάταξη χαρακτηρίζεται από μικρή  $R_s$  και μεγάλη  $R_{sh}$ .

Οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) είναι :

1. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος  $1 \text{ kW/m}^2$  και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με AM1,5 (κάθετη πρόσπτωση)
2. Θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου ίση με  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



**Εικόνα 3.13** Παράγων πλήρωσης

### 3.3.8 Επίδραση θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Φ/Β στοιχείου

Η θερμοκρασία της κυψέλης αυξάνεται με τον φωτισμό, εξαιτίας της μετατροπής μέρους της ηλιακής ενέργειας σε θερμική (αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του υλικού). Στην περίπτωση που το ΦΒ στοιχείο είναι ενσωματωμένο στο ΦΒ πλαίσιο η διαφορά  $\theta_c - \theta_a$ , όπου  $\theta_c$  η θερμοκρασία λειτουργίας της κυψελίδας και  $\theta_a$  του περιβάλλοντα αέρα, αυξάνει σχεδόν γραμμικά ως συνάρτηση της πυκνότητας της ολικής ακτινοβολίας,  $E$ , με τυπικό ρυθμό:

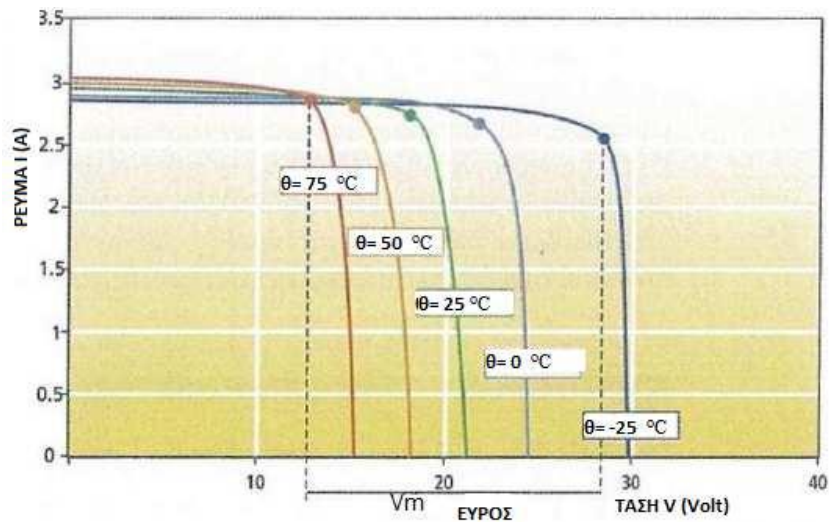
$$\frac{\theta_c - \theta_a}{E} \approx 30 \text{ }^\circ\text{C} / \left( \frac{\text{Kw}}{\text{m}^2} \right), \quad (\text{όπου } E \text{ η ακτινοβολία})$$

Συνεπακόλουθα μεταβάλλεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  και η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$ . Παρατηρώντας την εικόνα 3.14 βλέπουμε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  αυξάνεται ελαφρώς με την θερμοκρασία λόγω της αύξησης του μήκους διάχυσης των φωτοδημιουργούμενων φορέων μειονότητας με την θερμοκρασία, άρα και αύξηση του πλήθους των φορέων που καταφέρνουν να φτάσουν στους απέναντι χώρους της διάταξης, όπου οι φορείς αυτοί αποτελούν πλειονότητα. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  δίνεται από την σχέση:

$$I_{SC} = \frac{E}{E_{STC}} \cdot I_{SC,STC} \cdot [1 + \alpha_{I_{SC}} \cdot (\theta_c - \theta_{STC})]$$

Όπου  $\alpha_{I_{SC}} = \frac{dI_{SC}}{I_{SC}dT}$ , ο θερμικός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης του ΦΒ  $I_{STC,SC}$ , η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε STC (πρότυπες συνθήκες ελέγχου),

Ε, πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας,  $E_{STC} = 1000 \frac{W}{m^2}$  και  $T = 273 + \theta$



**Εικόνα 3.14** Μεταβολή της καμπύλης I-V με την αύξηση της θερμοκρασίας για ακτινοβολία  $1000W/m^2$

Αντίθετα η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μάλιστα η ποσοστιαία ελάττωση της, ανά βαθμό θερμοκρασίας είναι σχεδόν μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη της αντίστοιχης αύξησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ . Αυτή η έντονη ελάττωση της  $V_{OC}$  οφείλεται στη ισχυρή εξάρτηση του ρεύματος κόρου,  $I_s$ , της διόδου από την θερμοκρασία. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$  δίνεται από την σχέση:

$$V_{OC} = V_{OC,STC} \cdot [1 + \beta_{V_{OC}} \cdot (\theta_C - \theta_{STC})] \cdot \left[1 + \delta(\theta_C) \cdot \ln \frac{E}{E_{STC}}\right],$$

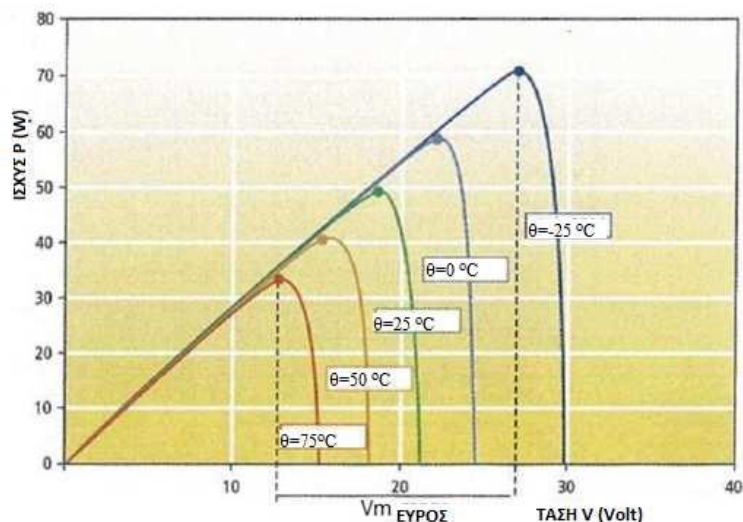
Όπου,

$V_{OC,STC}$ , η τάση ανοιχτού κυκλώματος σε STC

$\delta(\theta_C)$ , διορθωτικός παράγοντας της εξάρτησης  $V_{OC}$  από την E και

$\beta_{V_{OC}} = \frac{dV_{OC}}{V_{OC}dT}$ , ο θερμικός συντελεστής τάσης του ανοιχτού κυκλώματος του ΦΒ

Φυσικά η αύξηση της θερμοκρασίας έχει επιπτώσεις και στη ισχύ του ΦΒ στοιχείου. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.15 επιδρά αρνητικά με αποτέλεσμα η ισχύς να μειώνεται σημαντικά.



**Εικόνα 3.15** Μεταβολή της ισχύος σε συνάρτηση με την θερμοκρασία για ακτινοβολία  $1000\text{W}/\text{m}^2$

### 3.3.9 Απόδοση φωτοβολταϊκής κυψέλης

Η απόδοση ενεργειακής μετατροπής (βαθμός απόδοσης) του ΦΒ στοιχείου καθορίζεται από την σχέση :

$$\eta_C = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{SC} \cdot V_{OC}}{P_{in}},$$

και ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$  που αποδίδεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο προς την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας  $P_{in} = E \cdot S$ .

Επειδή αναφερόμαστε σε απόδοση ΦΒ στοιχείου το εμβαδό  $S$  αντιστοιχεί στην ενεργό επιφάνεια του ΦΒ μη λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια της μεταλλικής σχάρας του.

Σύμφωνα λοιπόν με προηγούμενη ανάλυση η απόδοση αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας  $E$  και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

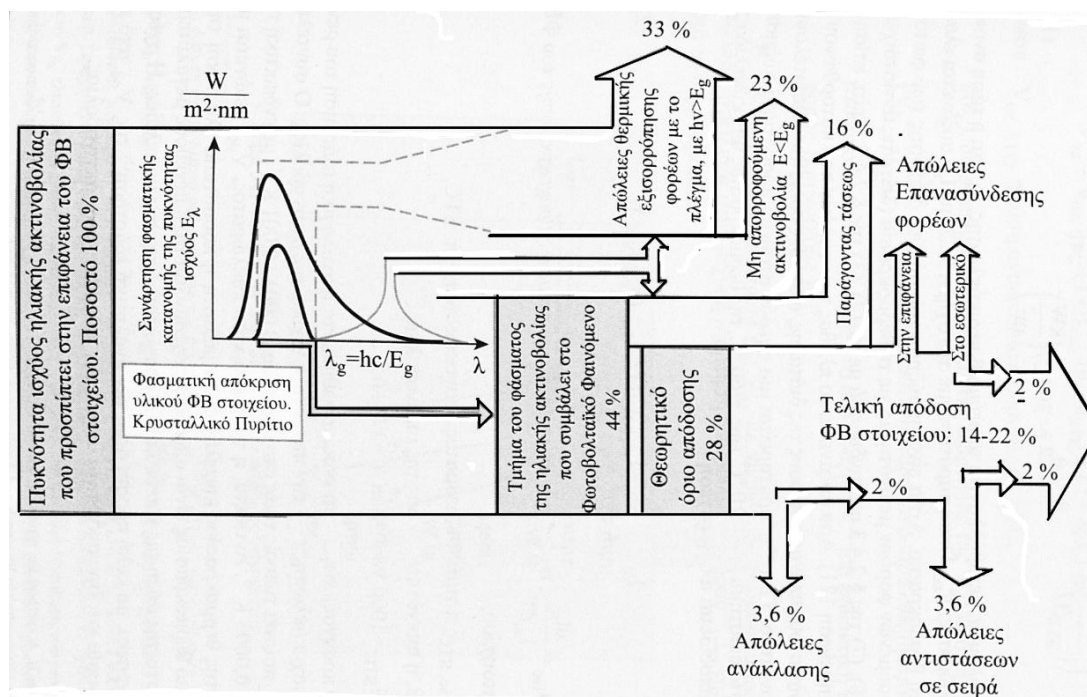
Πολλές φορές, όταν γνωρίζουμε την ονομαστική τιμή της απόδοσης στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου ( $STC$ ) και θέλουμε την απόδοση σε διαφορετική θερμοκρασία, για κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούμε την σχέση :

$$\eta_C = \eta_T \cdot \eta_{C,STC},$$

Όπου,  
 $\eta_T = 1 + \gamma_{mp} \cdot (\theta_C - \theta_{STC})$ , συντελεστής ή παράγων θερμοκρασίας του ΦΒ στοιχείου

$\gamma_{mp} = \frac{dP}{P_m \cdot dT}$ , ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος του ΦΒ στοιχείου  $\eta_{C,STC}$ , ονομαστική τιμή απόδοσης στις πρότυπες συνθήκες. Στην εικόνα 3.16 παρουσιάζεται το διάγραμμα Sankey που περιγράφει την ροή ενέργειας κατά την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια και προσδιορίζει την τελική απόδοση του

ΦΒ στοιχείου. Το συγκεκριμένο διάγραμμα αναφέρεται σε κρυσταλλικό πυρίτιο, περιγράφει όμως και την γενικότερη συμπεριφορά των ΦΒ στοιχείων ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής και τον τύπο τους.



**Εικόνα 3.16** Διάγραμμα ροής ενέργειας κατά την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια (διάγραμμα Sankey)

### 3.4 Απόδοση ΦΒ πλαισίου και παράγοντες που την επηρεάζουν

#### 3.4.1 Απόδοση ΦΒ πλαισίου

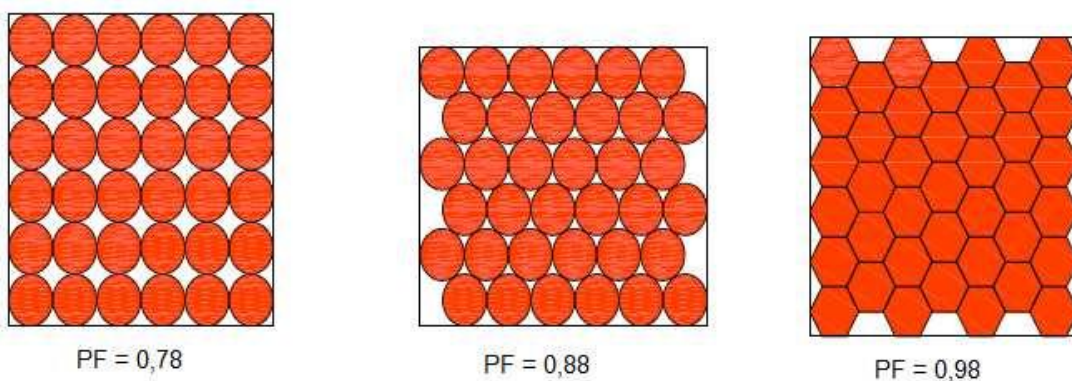
Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης ενός ΦΒ πλαισίου εμβαδού  $S$ , προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m$  προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας  $E \cdot S$ , όπου  $E$  η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου :

$$n_m = \frac{P_m}{E \cdot S}$$

Εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής του, την θερμοκρασία των ΦΒ κυψελών και την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση τους είναι μικρότερη της αντίστοιχης της ΦΒ κυψέλης (ΦΒ στοιχείο) εργαστηριακής παραγωγής επειδή :

1. Η μη πλήρης κάλυψη της επιφάνειας του ΦΒ κυψέλες, η οποία καθορίζεται από τον παράγοντα κάλυψης (PF- Packing Factor), που αποτελεί το πηλίκο της πραγματικής επιφάνειας των ΦΒ κυψελών προς την επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου (εικόνα 3.17).

2. Η ανομοιογένεια των ΦΒ κυψελών που συνθέτουν το ΦΒ πλαίσιο και
3. Η ανελαστικότητα του υαλοπίνακα πλαισίου

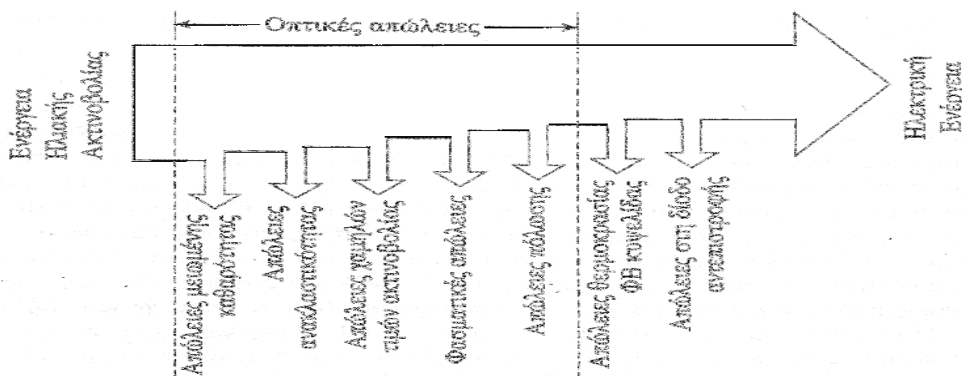


**Εικόνα 3.17** Παραδείγματα διαφορετικής διάταξης ΦΒ κυψελών

Η υψηλή θερμοκρασία των ΦΒ στοιχείων του πλαισίου και εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του με αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής της κυψελίδας καθώς και η ρύπανση της επιφάνειας του, όπως π.χ. η σκόνη μειώνει την ενεργειακή απόδοση του. Εν συντομία οι κυριότερες απώλειες που συντελούν στην μείωση του στιγμιαίου συντελεστή απόδοσης  $\eta_m$  του ΦΒ πλαισίου είναι :

- η γήρανση του ΦΒ πλαισίου
- οι απώλειες οπτικού δρόμου και θερμοκρασίας κυψελίδας και
- στις απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.18) παρουσιάζονται οι ενεργειακές απώλειες με την μορφή διαγράμματος Sankey.



**Εικόνα 3.18** Διάγραμμα Sankey για τη ροή ενέργειας σε ΦΒ πλαίσιο

Ο συντελεστής απόδοσης  $\eta_m$  μπορεί να αποδοθεί και ως γινόμενο των επιμέρους στιγμιαίων συντελεστών ενεργειακών απωλειών από τη σχέση :

$$\eta_m = n_{καθ} \cdot n_R \cdot n_{LI} \cdot n_S \cdot n_p \cdot n_T \cdot n_D \cdot n_{m,STC}$$

Όπου,

$n_{καθ}$  : Συντελεστής καθαρότητας υαλοπίνακα ΦΒ πλαισίου.

$n_R$  : Συντελεστής απόκλισης λόγω διαφοροποίησης της ανακλαστικότητας σε γωνίες πρόσπτωσης διάφορες της καθέτου του ΦΒ πλαισίου.

$n_{LI}$  : Συντελεστής απόκλισης στην περιοχή χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας.

$n_S$  : Συντελεστής φασματικής απόκλισης λόγω διαφορετικού φάσματος σε σχέση με το φάσμα AM 1,5 (STC).

$n_p$  : Συντελεστής απόκλισης εξαιτίας της πόλωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

$n_r$  : Συντελεστής απόκλισης της απόδοσης του ΦΒ πλαισίου εξαιτίας της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας της κυψέλης σε σχέση με την θερμοκρασία αναφοράς 25°C.

$n_D$  : Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής.

$n_{m,STC}$  : Συντελεστής απόδοσης ΦΒ πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες (STC)

Η τελική τιμή του συντελεστή απόδοσης καθορίζεται και από τον παράγοντα γήρανσης του ΦΒ πλαισίου  $n_{γ,m}$ .

### **3.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση**

#### **3.4.2.1 Παράγων ή συντελεστής γήρανσης**

Αφορά στη μείωση της απόδοσης των ΦΒ πλαισίων στο χρόνο ζωής τους και εκφράζεται συνήθως με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσής τους άρα και της ισχύος αιχμής και οφείλεται κυρίως σε υπερθερμάνσεις των ΦΒ κυψελών που καταστρέφουν την δομή του υλικού τους.

#### **3.4.2.2 Οπτικές ενεργειακές απώλειες**

Αποτελούν όλες εκείνες τις απώλειες που καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης σε σχέση με τις πρότυπες συνθήκες, λόγω των παρακάτω αιτιών:

- Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας ΦΒ πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC.
- Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1,5 (STC)
- Απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης



- Απώλειες χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
- Καθαρότητα όψεως του ΦΒ πλαισίου

### 3.4.2.3 Θερμοκρασία ΦΒ κυψέλης

Περιγράφει τη διαφοροποίηση της απόδοσης του ΦΒ πλαισίου, λόγω της διαφορετικής θεοκρασίας λειτουργίας της κυψέλης σε σχέση με την θερμοκρασία της στις πρότυπες συνθήκες (STC) και δίνεται από την ίδια σχέση που χρησιμοποιείτε στην περίπτωση μεμονωμένου ΦΒ στοιχείου :

$$n_T = 1 + \gamma_{mp} \cdot (\theta_c - \theta_{STC}),$$

Όπου,

$\gamma_{mp} = \frac{dP}{P_m \cdot dT}$ , ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος του ΦΒ στοιχείου  $\theta_c$  θερμοκρασία κυψέλης θεωρούμενη ίδια για όλες τις κυψέλες.

Μια αναλυτική έκφραση για την εξάρτηση της θερμοκρασίας της κυψέλης από τις συνθήκες περιβάλλοντος, είναι:

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G_t}{G_{STC}} \cdot (T_1 \cdot e^{B \cdot ws} + T_2 + \Delta\theta),$$

Όπου,

$\theta_a$  : η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα.

$G_D$  : η πυκνότητα της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του ΦΒ πλαίσιο.

$B$  : εμπειρικός συντελεστής.

$ws$  : η ταχύτητα του ανέμου.

$T_1, T_2$  : εμπειρικοί συντελεστές που υπολογίζονται με βάση τις οριακές τιμές της θερμοκρασίας της κυψέλης σε χαμηλές και υψηλές ταχύτητες ανέμου αντίστοιχα και

$\Delta\theta$  : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της κυψέλης και της πίσω επιφάνειας του ΦΒ πλαισίου.

### 3.4.2.4 Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής

Περιγράφει τις απώλειες που προέρχονται από την δίοδο αντεπιστροφής που τοποθετείται για να αποτρέπεται η εκφόρτιση του συσσωρευτή διαμέσου της ΦΒ συστοιχίας όταν αυτή δεν φωτίζεται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Πειραματικό μέρος

#### 4.1 Σενάριο

Η παρούσα μελέτη έχει σκοπό να καλύψει μέρος των ενεργειακών αναγκών της μαρίνας της Ίου. Ιδανικά αυτή η εγκατάσταση θα θέλαμε να αποδώσει ενεργειακή αυτονομία. Με την παρακάτω μελέτη θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση ενός πάρκου ισχύος περί τα 100 kWp για να διαπιστωθεί κατά πόσο το σενάριο αυτό είναι εφικτό.

Αρχικά έχουμε συλλέξει στοιχεία για τις καταναλώσεις των σκαφών και τις ενεργειακές τους απαιτήσεις, ώστε να καταγράψουμε τις ενεργειακές ανάγκες της μαρίνας συνολικά. Ο χώρος αυτός μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι 50 σκάφη, μικρού, μεσαίου και μεγάλου μήκους. Από τις πληροφορίες που μας δόθηκαν από το λιμεναρχείο του νησιού, υπολογίζεται ότι το 60% των σκαφών που παρκάρουν είναι μέχρι 8m., το 25% μεταξύ 8 έως 12m., ενώ ένα 15% ξεπερνάει αυτό το μήκος και μπορεί να φτάσει και τα 25m. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι καταναλώσεις και οι ενεργειακές απαιτήσεις των σκαφών αυτών.

#### 4.2 Ενεργειακές απαιτήσεις υποδομής

##### 4.2.1 Καταναλώσεις σκαφών διαφορετικού μήκους

Τα σκάφη που θα ελλιμενίζονται στη μαρίνα, ανάλογα με το μήκος τους και τον εξοπλισμό τους, θα καταναλώνουν και την ανάλογη ενέργεια. Προς τούτο, εξετάζοντας σκάφη διαφορετικού μήκους με τον πλήρη εξοπλισμό τους ανάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα (Πίνακες 4.2,4.3,4.4)

<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ (Watt)</b>	<b>ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑ (Wh)</b>
Φωτισμός εσωτερικός	5	30	5	750
Ψυγείοκαταψύκτης	1	350	6	2100
Τηλεόραση	1	85	4	340
Ράδιο-cd	1	50	1	50
Κλιματιστικό	1	450	4	1800
Διάφορες μικροσυσκευές	1	250	1	250
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>5.290</b>

Πίνακας 4.1 Ενεργειακές απαιτήσεις σκαφών ≤8m

<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ (Watt)</b>	<b>ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙ- ΤΟΥΡΓΙΑΣ</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑ (Wh)</b>
Φωτισμός εσωτερικός	9	40	5	1800
Ψυγειοκαταψύκτης	1	600	6	3600
Τηλεόραση	1	100	4	400
Ράδιο-cd	1	50	1	50
Κλιματιστικό	1	700	4	2800
Διάφορες μικροσυσκευές	1	350	1	350
Φούρνος μικροκυμάτων	1	700	1	700
Κεραμική εστία	2	1000	0.5	1000
Boiler νερού	1	1000	2	2000
Πρεσοστατική αντλία	1	500	2.5	1250
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>13.950</b>

**Πίνακας 4.2** Ενεργειακές απαιτήσεις σκαφών από 8-12 m

<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ</b>	<b>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ (Watt)</b>	<b>ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑ (Wh)</b>
Φωτισμός εσωτερικός	15	40	5	3000
Ψυγειοκαταψύκτης	1	1000	6	6000
Τηλεόραση	1	200	4	800
Ράδιο-cd	1	100	1	100
Κλιματιστικό	1	700	4	2800
Διάφορες μικροσυσκευές	1	500	1	500
Φούρνος μικροκυμάτων	1	500	2	1000
Κεραμική εστία	2	1000	1	2000
Boiler νερού	1	2000	2	4000
Πρεσοστατική αντλία	1	1000	2.5	2500
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>22.700</b>

**Πίνακας 4.3** Ενεργειακές απαιτήσεις σκαφών >12m.

Οι τιμές των καταναλώσεων για τους 3 τύπους σκαφών, προέρχεται από τον υπολογισμό των καταναλώσεων κατά την καλοκαιρινή και χειμερινή λειτουργία τους, όπου παρατηρείται διαφορά στην χρήση του κλιματιστικού για ψύξη-θέρμανση αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω, και σύμφωνα με την παραδοχή ότι το 60% των σκαφών που παρκάρουν είναι μέχρι 8m., το 25% μεταξύ 8 έως 12m., ενώ το 15% μεγαλύτερα από

12m. έως 25m., προκύπτει ότι οι ημερήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της μαρίνας, όταν αυτή είναι πλήρης είναι:

- $5.290 \text{ Wh} \times 30 \text{ σκάφη} = 158.700 \text{ Wh}$
- $13.950 \text{ Wh} \times 13 \text{ σκάφη} = 181.350 \text{ Wh}$
- $22.700 \text{ Wh} \times 7 \text{ σκάφη} = 158.900 \text{ Wh}$

Για τη μαρίνα της Ίου, 30 σκάφη μέχρι 8m. , 13 σκάφη από 8-12 m. , και 7 μεγαλύτερα από 12μ.

#### **4.3 Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων**

Αφού έχουμε υπολογίσει την ενέργεια που απαιτείται για τη κάθε κατηγορία σκάφους ξεχωριστά, υπολογίζουμε στην συνέχεια την ενέργεια συνολικά σε μηνιαία και ετήσια βάση.

##### **ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ:**

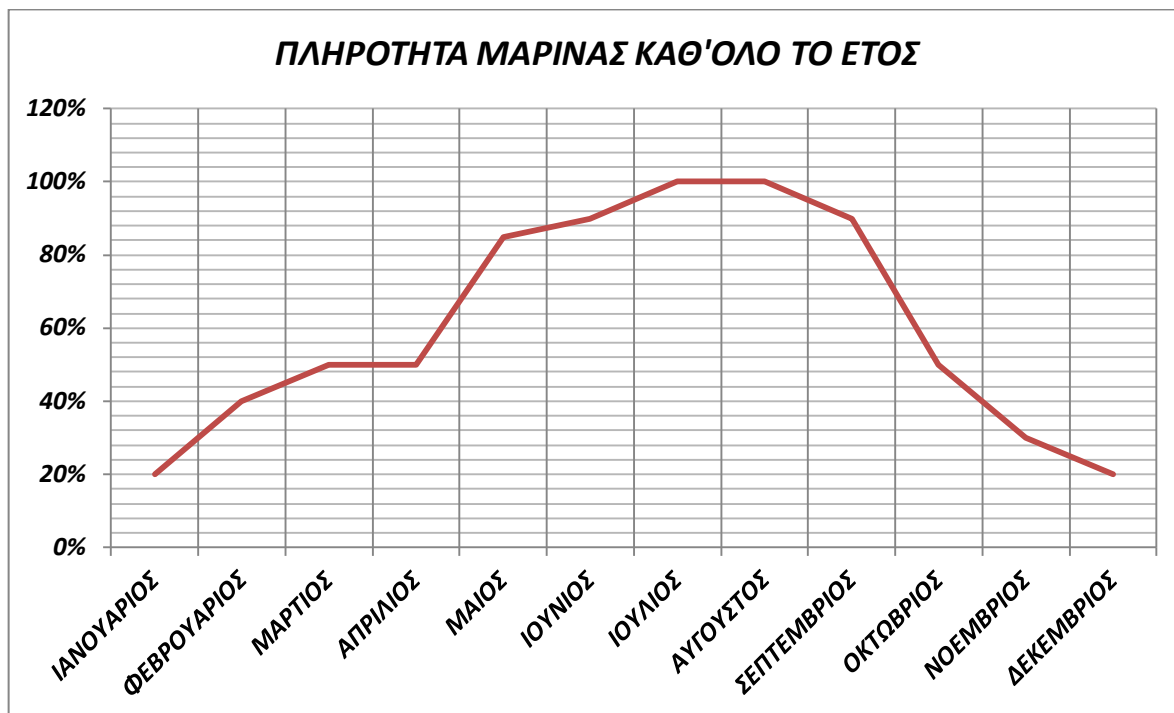
- $158.700 \text{ Wh (σκ.<8m.)} + 158.900 \text{ Wh(8m.≤σκ.≤12m.)} + 181.350 \text{ Wh(σκ.≥12m.)}$   
 $= 498.950 \text{ Wh} \approx \underline{499 \text{ kWh.}}$

##### **ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ :**

- $499 \text{ kWh} \times 30 \text{ ημέρες} = \underline{14.970 \text{ kWh}}$

#### **4.3.1 Πληρότητα Μαρίνας**

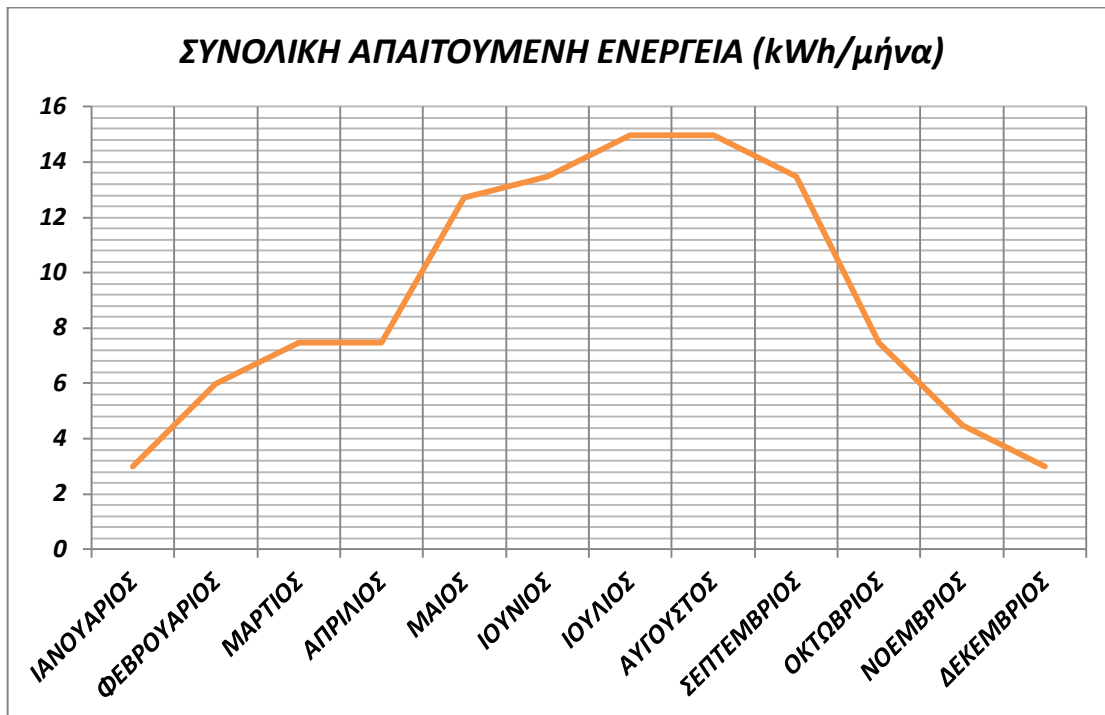
Προκειμένου να εξαγάγουμε ένα σωστό συμπέρασμα θα πρέπει να ελέγξουμε την πληρότητα της μαρίνας για κάθε μήνα ξεχωριστά και στο σύνολο του έτους. Προς τούτο παραθέτουμε σχήματα και πίνακες που καλύπτουν τις ανάγκες της μαρίνας καθ'όλη τη χρονική αυτή διάρκεια. Το Σχ.4.1 δείχνει τη πληρότητα της μαρίνας καθ'όλο το έτος, ο πίνακας 4.1 τη συνολική απαιτούμενη ημερήσια και μηνιαία ενέργεια σε σχέση με την πληρότητα και Σχ. 4.2 τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια ετησίως.



**Σχήμα 4.1** Ετήσια πληρότητα μαρίνας

ΜΗΝΑΣ	ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh/ημ)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh/μήνα)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	20%	14.97	2.994
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	40%	14.97	5.988
ΜΑΡΤΙΟΣ	50%	14.97	7.485
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	50%	14.97	7.485
ΜΑΙΟΣ	85%	14.97	12.724
ΙΟΥΝΙΟΣ	90%	14.97	13.473
ΙΟΥΛΙΟΣ	100%	14.97	14.97
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	100%	14.97	14.97
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	90%	14.97	13.473
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	50%	14.97	7.485
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30%	14.97	4.491
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	20%	14.97	2.994
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>108.532</b>

**Πίνακας 4.1** Συνολική απαιτούμενη ετήσια ενέργεια



**Σχήμα 4.2** Μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις

Από τα παραπάνω εξάγουμε, όπως ήταν αναμενόμενο, το συμπέρασμα, ότι οι απαιτήσεις είναι πολύ υψηλότερες (αγγίζουν το απόλυτο της φιλοξενίας της μαρίνας) κατά τους εαρινούς μήνες, ενώ κατά τους θερινούς, το ποσοστό αυτό είναι πολύ μικρό και κατ' επέκταση και οι απαιτήσεις σε ενέργεια.

#### **4.4 Μελέτη ηλιακού δυναμικού στην περιοχή**

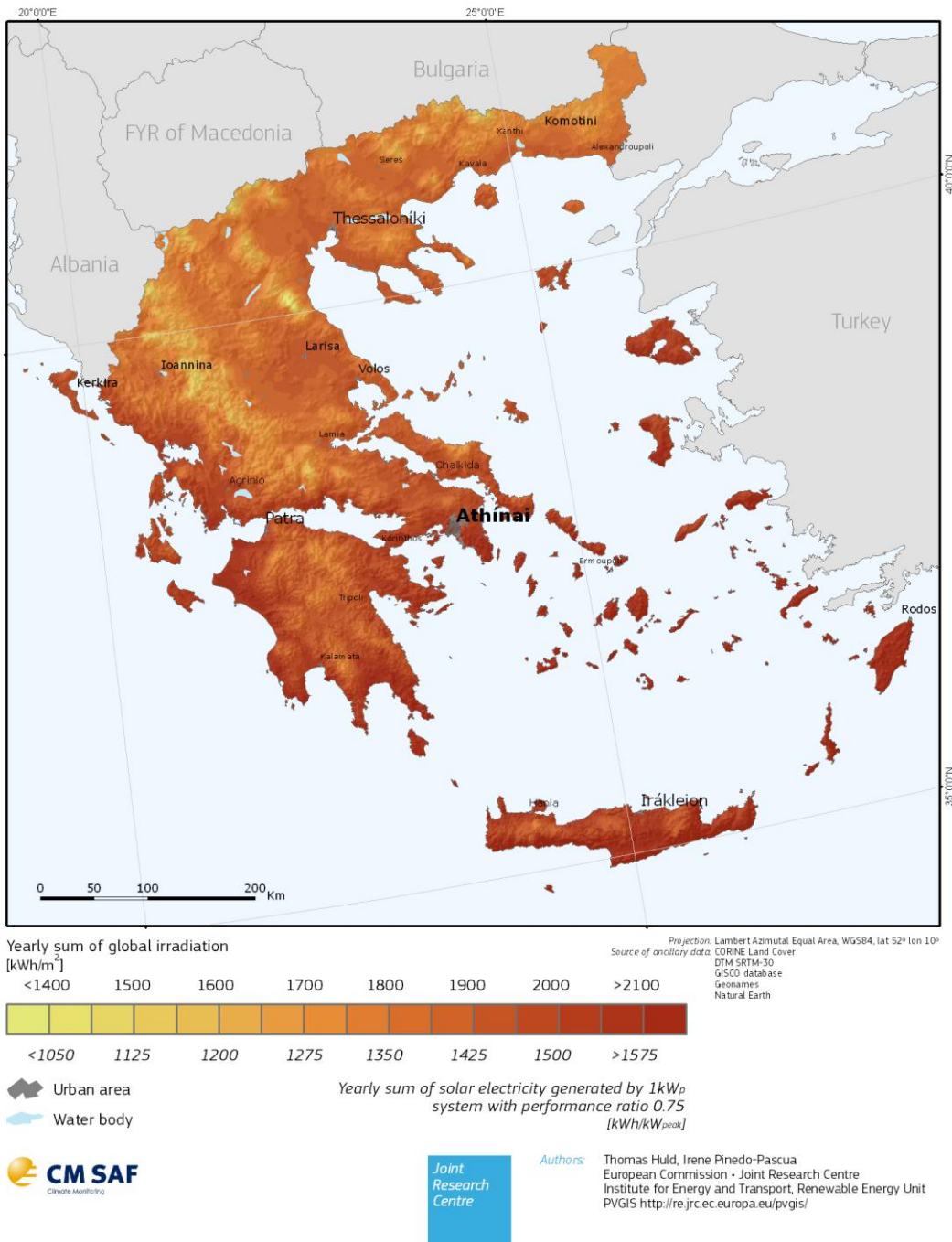
Επόμενο βήμα στην μελέτη μας είναι να υπολογίσουμε το παρεχόμενο ηλιακό δυναμικό στην περιοχή, έτσι ώστε να εξετάσουμε την αρχική μας παραδοχή. Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται από τα υψηλότερα της Ευρώπης, κάνοντας τα φ/β ελκυστικά για αξιοποίηση. Όμως δεν μπορούν να εξαχθούν ανάλογα συμπεράσματα για όλες τις περιοχές τις χώρας, καθώς κάποια σημεία δέχονται υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. νησιά νοτιοανατολικού Αιγαίου), ενώ άλλα πολύ χαμηλότερα (π.χ. βόρεια Ελλάδα).

Για τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού γίνεται χρήση του προγράμματος PVGIS. Παρακάτω παρουσιάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας σύμφωνα με τον ιστότοπο της ευρωπαϊκής υπηρεσίας (Εικόνα 4.1).

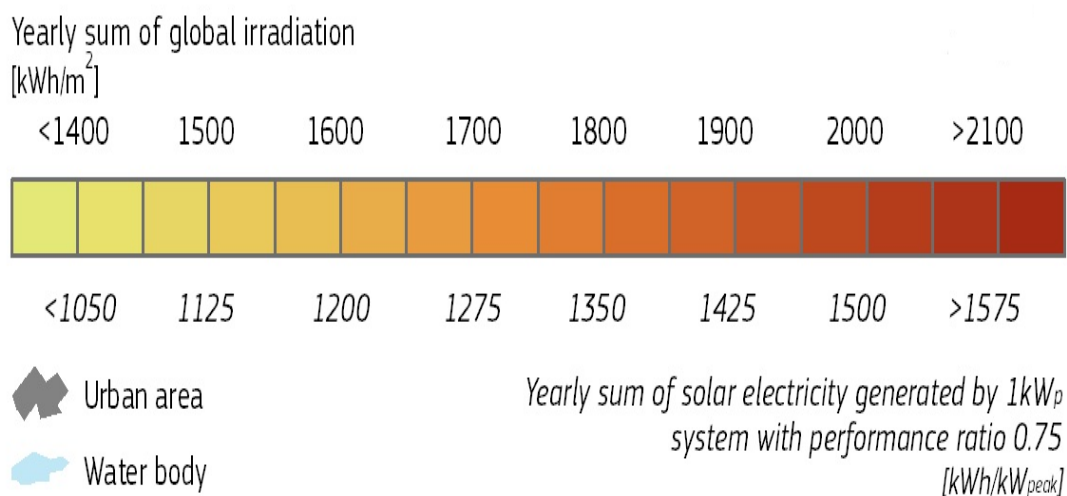
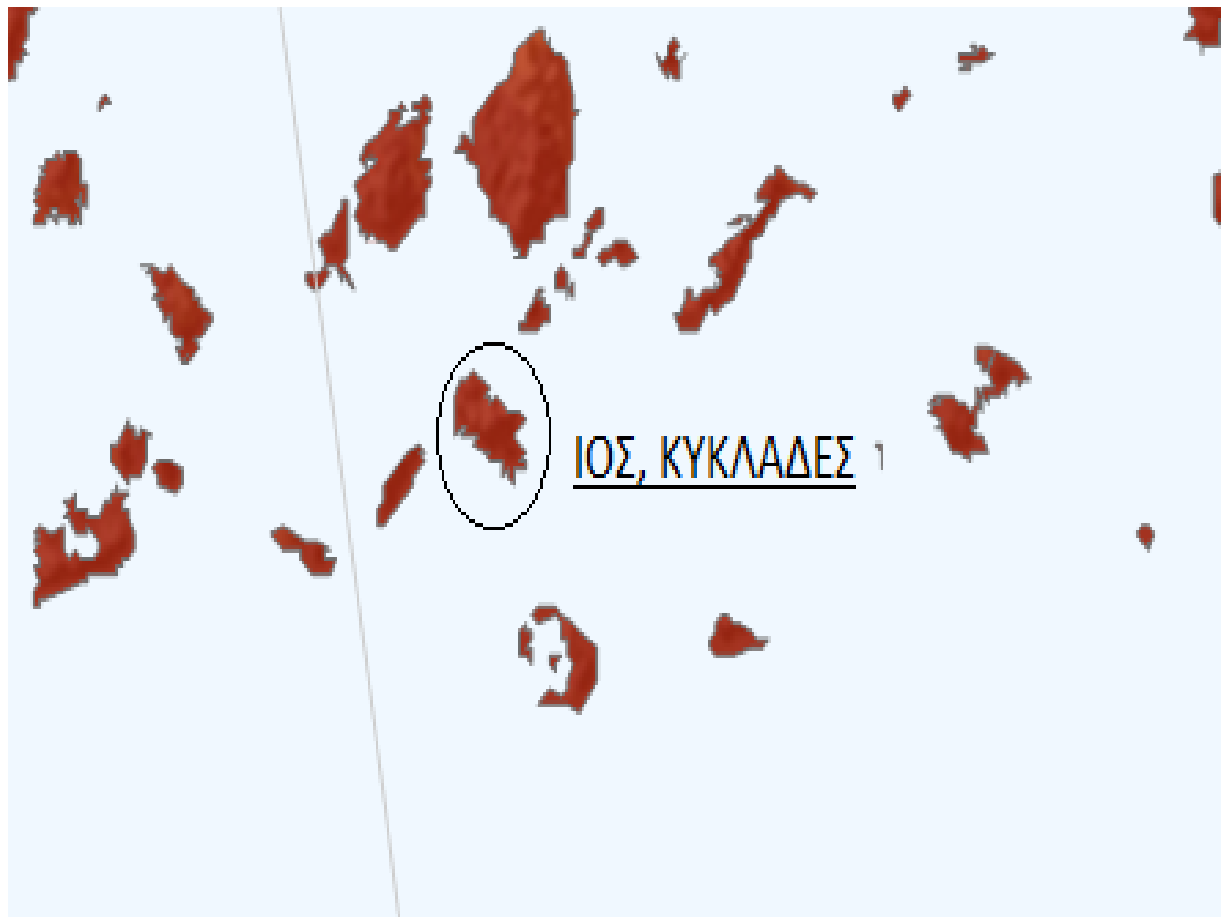
# Global irradiation and solar electricity potential

## Optimally-inclined photovoltaic modules

### GREECE / ΕΛΛΑΔΑ



Εικόνα 4.1 Χάρτης ηλιακού δυναμικού ανά την Ελλάδα



**Εικόνα 4.2** Χάρτης ηλιακού δυναμικού στην περιοχή ενδιαφέροντος

Παρατηρούμε, πως η αποδιδόμενη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο (kW/m<sup>2</sup>) είναι αρκετά υψηλή και αναμένουμε μία αρκετά καλή απόδοση της εγκατάστασης (Εικόνα 4.2). Στη συνέχεια παρουσιάζουμε το υπό παραχώρηση οικόπεδο του δήμου, το οποίο αρχικά θα το εντοπίσουμε από το ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (Εικόνα 4.3) για να αποτυπώσουμε τις ακριβείς συντεταγμένες του (Πίνακας 4.2), να τις εκχωρήσουμε στο πρόγραμμα που χρησιμοποιούμε και να μας αποδώσει τα αποτελέσματα της ηλιοφάνειας στην περιοχή.





**Εικόνα 4.1** Απόσπασμα δορυφορικού χάρτη ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. εμφανίζουν το οικοπέδο ενδιαφέροντος

A/A	X	Y
0	631651,83	4028209,80
1	631686,89	4028165,48
2	631772,88	4028168,13
3	631784,13	4028171,44
4	631811,91	4028170,11
5	631819,18	4028184,00
6	631812,57	4028219,06
7	631771,56	4028225,68

**Πίνακας 4.2** Ακριβείς συντεταγμένες οικοπέδου ενδιαφέροντος

Αφού έχουμε εντοπίσει το οικόπεδο μας στο χάρτη και έχουμε και τις ακριβείς συντεταγμένες του, τις εισάγουμε στο πρόγραμμα μας για ακριβή αποτελέσματα. (Το κτηματολόγιο χρησιμοποιεί συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ 87, ενώ το πρόγραμμα μας WGS 84. Για τη μετατροπή χρησιμοποιούμε το κατάλληλο πρόγραμμα).

#### 4.4.1 Επίδοση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

##### 4.4.1.1 Εκτίμηση ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας από το πρόγραμμα PVGIS

Τοποθεσία: 36°24'17" Βόρεια, 25°27'37" Ανατολικά, Υψομετρική διαφορά: 87 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (a.s.l.).

Χρησιμοποιούμενο πρόγραμμα για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας: PVGIS-CMSAF.

Ονομαστική ισχύς του φ/β συστήματος: 100.0 kW (κρυσταλλικό πυρίτιο).

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας: 10.6% (με βάση την τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος).

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω ανακλάσεων από γωνία κλίσης: 2.4%

Άλλες απώλειες λόγω καλωδίων, αντιστροφεία κ.λ.π.: 14.0%

Συνολικές απώλειες συστήματος: 24.9%

Διορθωμένο σύστημα: κλίση=31°, προσανατολισμός=-2°(βέλτιστο)				
ΜΗΝΑΣ	Ed	Em	Hd	Hm
Ιανουάριος	299	9270	3.79	117
Φεβρουάριος	322	9030	4.13	116
Μάρτιος	446	13800	5.79	179
Απρίλιος	503	15100	6.63	199
Μάιος	531	16500	7.17	222
Ιούνιος	563	16900	7.71	231
Ιούλιος	564	17500	7.79	242
Αύγουστος	562	17400	7.76	241
Σεπτέμβριος	519	15600	7.08	212
Οκτώβριος	433	13400	5.76	179
Νοέμβριος	340	10200	4.41	132
Δεκέμβριος	301	9340	3.84	119
Έτους	449	13700	6	182
<b>Σύνολο Έτους</b>		<b>164040</b>		<b>2189</b>

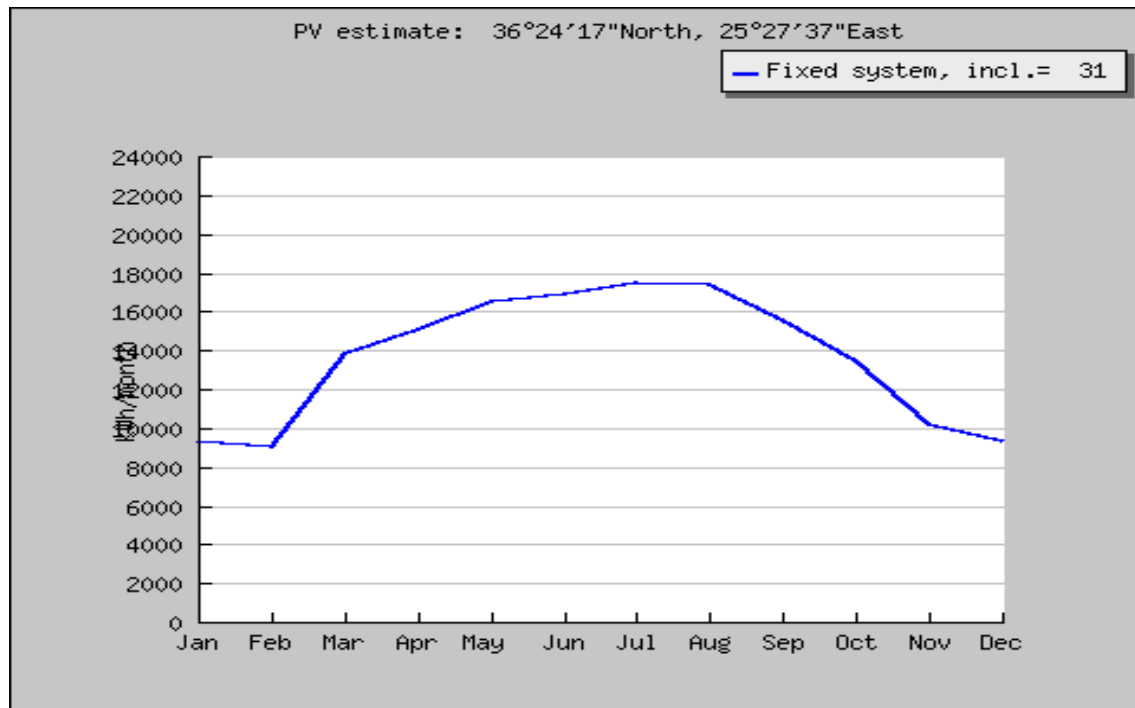
**Ed:** Μέση τιμή ημερήσιας ηλεκτρικής παραγωγής συστήματος (kWh).

**Em:** Μέση τιμή μηνιαίας ηλεκτρικής παραγωγής συστήματος (kWh).

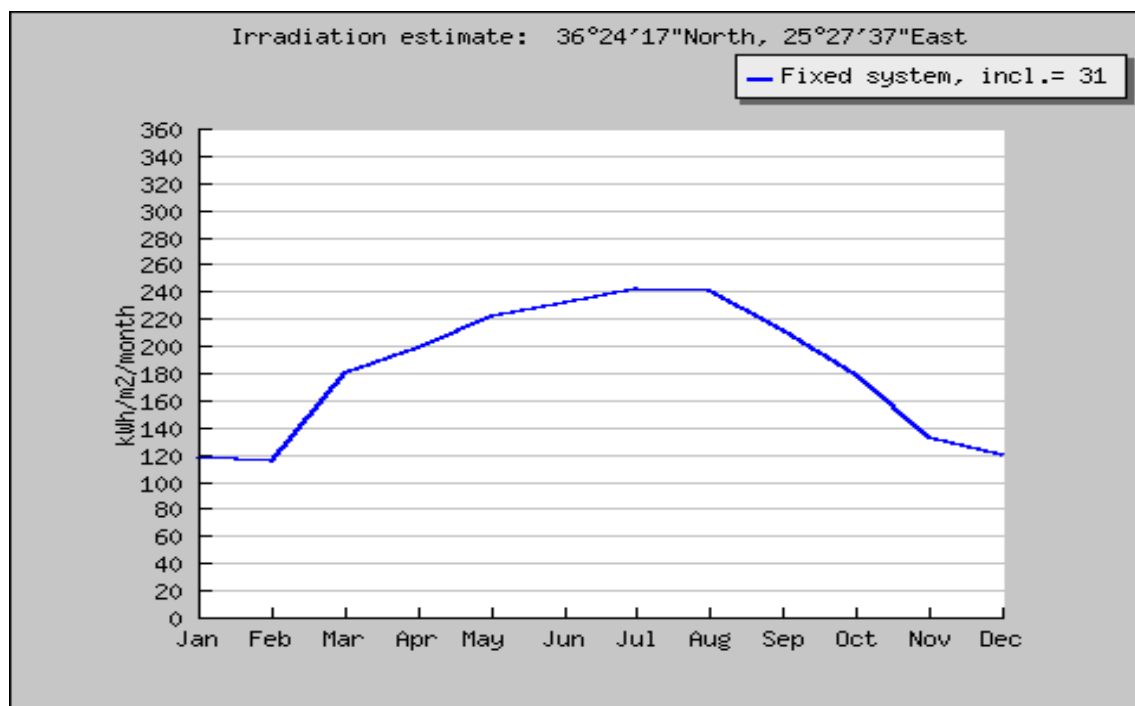
**Hd:** Μέση τιμή αθροίσματος ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m<sup>2</sup>).

**Hm:** Μέση τιμή αθροίσματος ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m<sup>2</sup>).

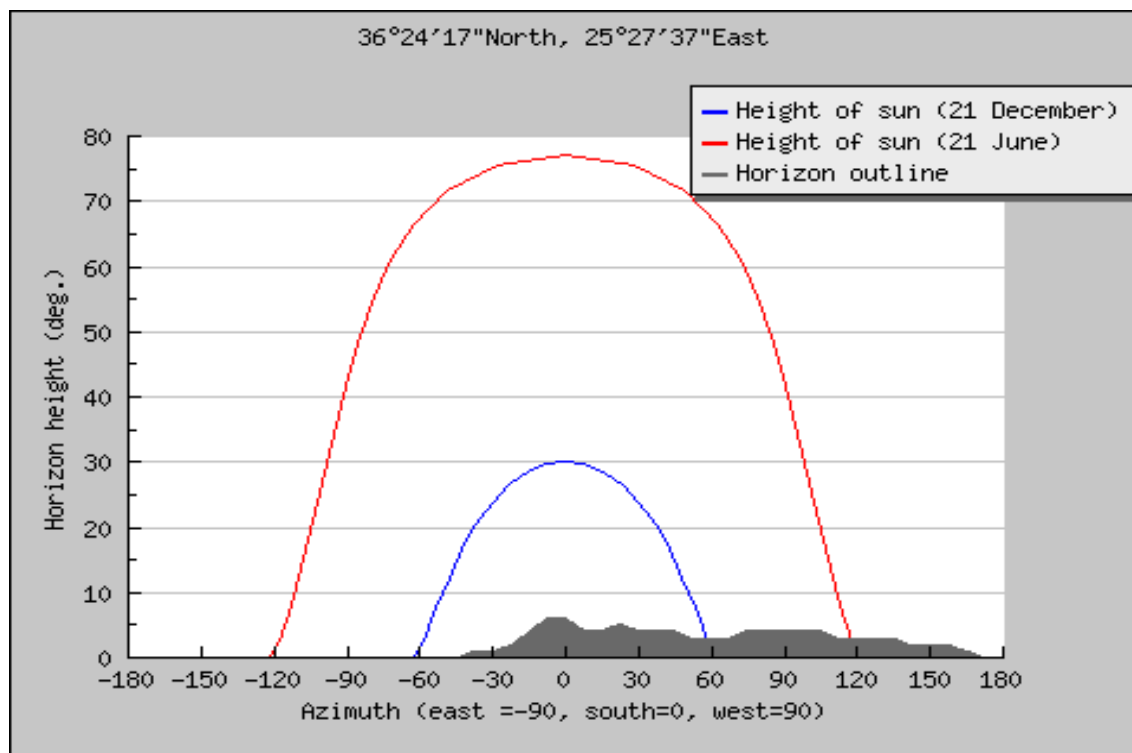
**Πίνακας 4.3** Εκτίμηση ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας βάσει του προγράμματος PVGIS



Σχήμα 4.3 Μηνιαία αποδιδόμενη ενέργεια Φ/Β με διορθωμένη γωνία κλίσεως



Σχήμα 4.4 Μηνιαία ακτινοβολία ανά τ.μ. Φ/Β με διορθωμένη γωνία κλίσεως



**Σχήμα 4.5** Περίγραμμα ορίζοντα με την ακολουθούμενη γραμμή κίνησης του ηλίου το χειμώνα (μπλέ γραμμή) και το καλοκαίρι (κόκκινη γραμμή)

Έτσι έχουμε:

- **108.532 Kwh** ενέργεια προς ζήτηση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μαρίνας, σύμφωνα με τους υπολογισμούς παραπάνω.
- **164.040 Kwh** ενέργεια που μπορεί να αποδώσει (προσφερόμενη) η εγκατάσταση ισχύος 100 kWp.

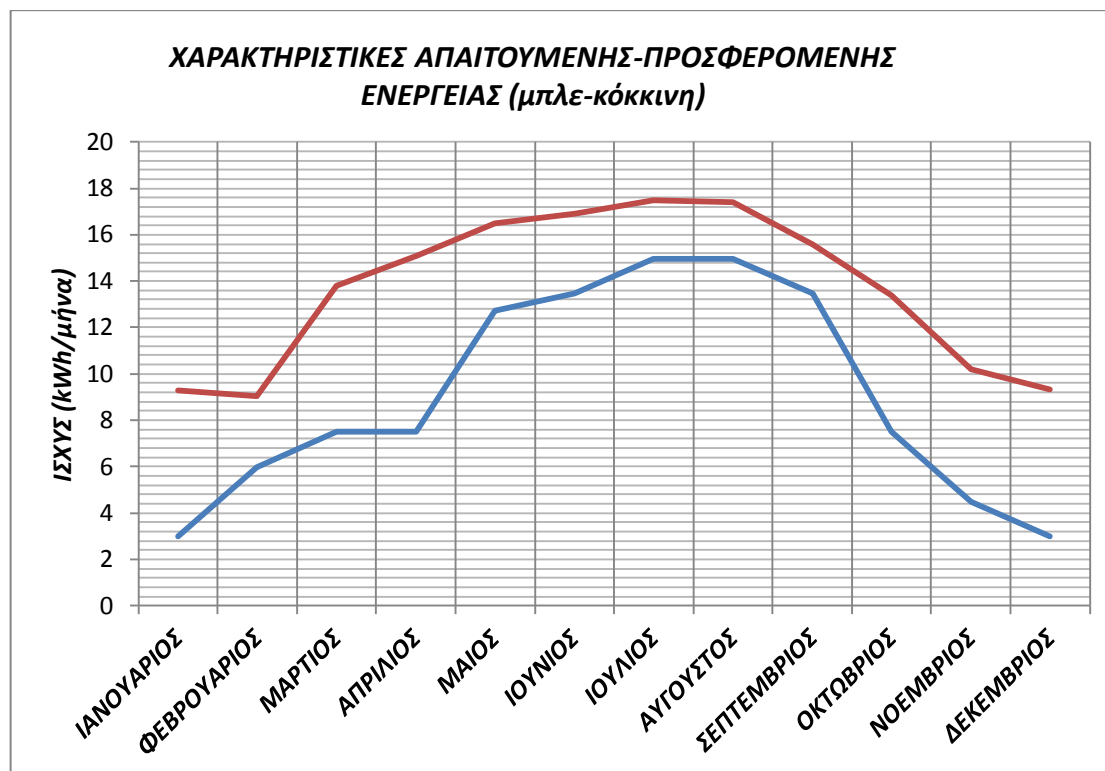
#### **4.5 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα προσφοράς-ζήτησης ενέργειας**

Παρατηρούμε λοιπόν, πως η εγκατάσταση μπορεί να αποδώσει ενεργειακή αυτονομία στη μαρίνα. Ακόμη και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η ζήτηση της μαρίνας είναι υψηλή, η εγκατάσταση μας καλύπτει αυτό το ποσό. Η κατασκευή όμως ενός αυτόνομου, μη-διασυνδεδεμένου συστήματος με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ, θα είχε ως αποτέλεσμα να μην μπορούμε να αξιοποιήσουμε την παραγόμενη, κατά τους χειμερινούς μήνες, ενέργεια. Αυτό προκύπτει γιατί το χειμώνα έχουμε πολύ μικρή ζήτηση και υψηλή προσφορά, με αποτέλεσμα η ενέργεια αυτή να μην αξιοποιείται. Παράλληλα, αν πάραυτα θέλαμε να αξιοποιήσουμε αυτή την ενέργεια, θα έπρεπε να την αποθηκεύσουμε και αυτό θα γινόταν με τη χρήση συσσωρευτών, κάτι όμως, που θα αύξανε πάρα πολύ το κόστος της συνολικής εγκατάστασης και το έργο θα ήταν μη συμφέρον.

Έτσι καταλήγουμε στην επιλογή μίας διασυνδεδεμένης, με το δίκτυο, γεννήτριας φωτοβολταϊκών, η οποία θα προσφέρει την ενέργεια στο δίκτυο και θα τροφοδοτείται από αυτό απευθείας.

<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh/μήνα)</b>	<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΕΤΑΙ ΑΠΟ ΠΑΡΚΟ ΙΣΧΥΟΣ 100kW (kWh/μήνα)</b>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2.994	9.270
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	5.988	9.030
ΜΑΡΤΙΟΣ	7.485	13.800
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	7.485	15.100
ΜΑΙΟΣ	12.7245	16.500
ΙΟΥΝΙΟΣ	13.473	16.900
ΙΟΥΛΙΟΣ	14.97	17.500
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	14.97	17.400
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	13.473	15.600
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	7.485	13.400
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	4.491	10.200
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	2.994	9.340
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>164.040</b>

**Πίνακας 4.4** Συνολική απαιτούμενη και προσφερόμενη ενέργεια από το Φ/Β πάρκο



**Σχήμα 4.6** Χαρακτηριστικές καμπύλες απαιτούμενης και προσφερόμενης ενέργεια από Φ/Β πάρκο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Μελέτη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου

#### 5.1 Επιλογή ηλεκτρολογικών στοιχείων του πάρκου

##### 5.1.1 Επιλογή αντιστροφέα (INVERTER)

Η επιλογή των αντιστροφέων είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης. Αν η προσέγγιση γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε αναμφισβήτητα θα καταλήξουμε στην επιλογή αντιστροφέων μεγάλης ισχύος, γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του φ/β συστήματος μικρή. Ως ακραίο παράδειγμα θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι το συγκεκριμένο φ/β πάρκο ισχύος 100kWp καλύπτεται από ένα και μόνο αντιστροφέα. Όμως μια τέτοια επιλογή, προφανώς είναι λανθασμένη, καθώς περιέχει τον κίνδυνο να αποκοπεί όλο το σύστημα σε περίπτωση βλάβης του μοναδικού αντιστροφέα.

Επισημαίνεται ότι ο τύπος των αντιστροφέων για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική ισχύς εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να ταυτίζεται σε καμία περίπτωση με την ισχύ αιχμής των φ/β πλαισίων στην είσοδό του. Μια τέτοια επιλογή θα ήταν λανθασμένη καθώς τα φ/β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής τους υπό ιδανικές συνθήκες, οι οποίες δεν συναντώνται στην πράξη και αν συμβεί ποτέ αυτό διαρκεί για ένα πολύ μικρό διάστημα. Επιπλέον και οι εταιρίες, οι οποίες παράγουν αντιστροφέες προτείνουν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα

<i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</i>	<i>ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ Wac</i>	<i>ΤΙΜΗ(€)</i>	<i>(€)/ WATT</i>
IV SMA SMC 7000 HV GR	7000	2.335	0.33
IV SMA STP 8000TL	8000	3.475	0.43
IV SMA STP 10000TL	10000	3.621	0.36
IV SMA STP 12000TL	12000	3.893	0.32
IV SMA STP 15000TL	15000	4.436	0.38
IV SMA STP 17000TL	17000	4.617	0.27
IV SMA STP 20000TLHE-10	20000	5.251	0.26

**Πίνακας 5.1 Τιμοκατάλογος αγοράς αντιστροφέων SMA**

Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα.

Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν επιλεγεί μικρότερη τιμή, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα μη αποδοτική χρήση των αντιστροφένων και ακόμα μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνται περισσότεροι αντιστροφείς για την υλοποίηση της ίδιας φ/β εγκατάστασης

Στον προηγούμενο πίνακα παρουσιάζονται οι αντιστροφείς της εταιρείας SMA, και η τιμή του κάθε ένα ξεχωριστά. Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε και την τιμή ανά watt του κάθε προϊόντος, ώστε να δημιουργήσουμε μια εικόνα για τα οικονομικά δεδομένα που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση. Παρατηρούμε πως η τιμή μειώνεται όσο αυξάνεται η αποδιδόμενη ισχύς του αντιστροφέα και συνεπώς, οικονομικά μας συμφέρει η τελευταία επιλογή με τη μεγαλύτερη αποδιδόμενη ισχύ.

Η προσέγγιση που ακολουθείται για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα έχει πρώτα από όλα να κάνει με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συμβιβάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Θεωρούμε ότι όλοι οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν είναι όμοιοι, γεγονός που εξασφαλίζει ότι και τα string των φ/β πλαισίων, καθώς και οι συστοιχίες θα προκύψουν ίδιες. Αυτό θα έχει με τη σειρά του σαν αποτέλεσμα να απλοποιηθεί η τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης και να γίνει ευκολότερη η κυκλωματική σύνδεση. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 100kWp, η ισχύς των αντιστροφένων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τρεις τύπους αντιστροφένων της κατασκευάστριας εταιρείας που έχουμε αναφέρει, SMA (Πίνακας 5.2), έτσι ώστε να μπορέσουμε να εξετάσουμε ποια υλοποίηση είναι η πιο ιδανική για την περίπτωση μας.

Τα μοντέλα που εξετάζονται παρακάτω είναι τα εξής :

SUNNY TRIPOWER 12000TL, SUNNY TRIPOWER 15000TL και SUNNY TRIPOWER 17000TL.

<b>SMA-SUNNY TRIPOWER</b>			
	<b>STP 12000TL-10</b>	<b>STP 15000TL-10</b>	<b>STP 17000TL-10</b>
<b>ΤΙΜΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ</b>			
Μέγιστη ισχύς DC	12.5 kW	15.6 kW	17.6 kW
Εύρος τάσης DC	Είσοδος A:379V-800V Είσοδος B:150V-800V	Είσοδος A:335V-800V Είσοδος B:150V-800V	Είσοδος A:340V-800V Είσοδος B:150V-800V
Ονομαστική τάση DC	350V	350V	350V
Μέγιστη τάση DC	1000V	1000V	1000V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	22A/11A	33A /11A	33A /11A
Διακύμανση τάσης DC	<10%	<10%	<10%
Μέγιστος αριθμός παράλληλων string	4/1	5/1	5/1

<b>ΤΙΜΕΣ ΕΞΟΔΟΥ</b>			
Μέγιστη ισχύς AC	12 kVA στους 40°	13 kVA στους 40°	14 kVA στους 40°
Ονομαστική ισχύς AC	12 kVA	13 kVA	14 kVA
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	19.2A	24A	24.6A
THD ρεύματος AC	<4%	<4%	<4%
Ονομαστική τάση AC	220V-240V	220V-240V	220V-240V
Ονομαστική συχνότητα AC	50Hz/60Hz ±4.5Hz	50Hz/60Hz ±4.5Hz	50Hz/60Hz ±4.5Hz
Ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης (cos φ)	0.8 υπερ- ...0.8υποδιέγερση	0.8 υπερ- ...0.8υποδιέγερση	0.8 υπερ- ...0.8υποδιέγερση
Σύνδεση AC	Τριφασική	Τριφασική	Τριφασική
<b>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b>			
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC	•	•	•
Ηλεκτρονικός διακόπτης ESS απομόνωσης φορτίου DC	•	•	•
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	•	•	•
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς γη	•	•	•
Επιτήρηση δικτύου (SMA Grid Guard)	•	•	•
Μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα	•	•	•
Απαγωγός υπέρτασης DC (Τύπος II) με δυνατότητα ενσωμάτωσης	•	•	•
Ηλεκτρονική ασφάλεια στοιχειοσειρών	•	•	•
Εντοπισμός βλάβης στοιχειοσειρών	•	•	•
<b>ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>			
Μηχανολογικές διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	665 / 690 / 265	666 / 690 / 265	667 / 690 / 265
Βάρος	περ. 65 kg	περ. 65 kg	περ. 65 kg
Περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Αυτοκατανάλωση (τη νύχτα)	< 1 W	< 1 W	< 1 W
Τοπολογία	χωρίς μετασχηματιστή	χωρίς μετασχηματιστή	χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Σημείο τοποθέτησης: εσωτερικά / εξωτερικά (ηλεκτρονικό σύστημα IP65)	•/•	•/•	•/•

<b>ΑΠΟΔΟΣΗ</b>			
Μέγιστη απόδοση	98%	98%	98%
Euro-Eta	97,5%	97,5%	97,5%

### Πίνακας 5.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέων SMA

Αφού έχουμε παραθέσει τα στοιχεία των αντιστροφέων θα πρέπει να καταλήξουμε στην επιλογή που θα κάνουμε σε έναν από τους τρεις. Αρχικά διαπιστώνουμε



πως και οι τρεις μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο ΧΤ της ΔΕΔΔΗΕ αφού διαθέτουν τριφασική σύνδεση από την πλευρά AC.

- Στην πρώτη περίπτωση όπου η τιμή της ισχύς εισόδου είναι 12.5 kW υπολογίζουμε πως χρειαζόμαστε  $100 \text{ kW} / 12.5 \text{ kW} = 8$  αντιστροφείς οι οποίοι θα κοστίσουν  $8 * 3.893 \text{ €} = \underline{\underline{31.144 \text{ €}}}$ .
- Στην δεύτερη περίπτωση όπου η τιμή της ισχύς εισόδου είναι 15.6 kW υπολογίζουμε πως χρειαζόμαστε  $100 \text{ kW} / 15.6 \text{ kW} = 6.6$  δηλαδή 7 αντιστροφείς οι οποίοι θα κοστίσουν  $7 * 4.436 \text{ €} = \underline{\underline{31.052 \text{ €}}}$ .
- Στην τρίτη περίπτωση όπου η τιμή της ισχύς εισόδου είναι 17.6 kW υπολογίζουμε πως χρειαζόμαστε  $100 \text{ kW} / 17.6 \text{ kW} = 5.68$  δηλαδή 6 αντιστροφείς οι οποίοι θα κοστίσουν  $6 * 4.617 \text{ €} = \underline{\underline{27.702 \text{ €}}}$ .

Παρατηρούμε λοιπόν πως η τρίτη μας επιλογή είναι σημαντικά πιο οικονομική από τις υπόλοιπες δύο. Έτσι ο αντιστροφέας **SUNNY TRIPOWER STP 17000TL-10** της εταιρίας SMA είναι αυτός που θα επιλέξουμε για την εγκατάσταση μας.

### 5.1.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Η επιλογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι γενικά ένα σύνθετο πρόβλημα. Η πληθώρα κατασκευαστικών εταιριών και πλαισίων επιτείνουν ακόμα περισσότερο τη δυσκολία της επιλογής. Οι παράμετροι της επιλογής μας ήταν η αξιοπιστία και η τεχνολογία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοσή τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί είχε να κάνει με τη επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του (Πίνακας 5.3). Πολύ γρήγορα η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου, καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές, δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφωρες.

Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών φ/β πλαισίων είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξεως του 10-15% ακριβότερες. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τις πολυκρυσταλλικές. Όμως εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.

Για την επιλογή των δικών μας πλαισίων, εξετάζουμε τα στοιχεία των εταιρειών LUXOR, BOSCH, PANASONIC, SUNTECH, ALEO, YINGI SOLAR, AXITEC. Έχουμε επιλέξει αυτές της εταιρείες γιατί είναι γνωστές στο χώρο, έχουν την απαραίτητη εμπειρία και τεχνολογία και προφανώς δεν θα μπορούσαμε να εξετάσουμε όλες τις κατασκευάστριες εταιρείες οι οποίες απαριθμούνται σε εκατοντάδες (Πίνακας 5.4).

Από την άποψη της ισχύος συμφέρει περισσότερο η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με μεγάλη ισχύ αντί πολλών πλαισίων με μικρότερες ισχύεις ειδικά για μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις, που λειτουργούν ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα πλαίσια δουλεύονται πιο εύκολα στην εγκατάσταση τους, απαιτούνται λιγότερες συνδέσεις και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο.

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

Από την άλλη η επιλογή ενός πλαισίου με πολύ μεγάλη ισχύ μπορεί να έχει και αρνητικές επιπτώσεις, γιατί μια ενδεχόμενη σκίαση ενός μέρους του, θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ότι σε ένα πλαίσιο μικρότερης ισχύος. Συμβιβάζοντας τα παραπάνω επιλέγεται η ισχύς του πλαισίου να κυμαίνεται μεταξύ 220Wp και 230Wp.

<b>ΥΛΙΚΟ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>	<b>ΑΠΟΔΟΣΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΟΥ</b>	<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>
<b>ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ</b>	14-19%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ομοιόμορφη μοριακή δομή</li> <li>• Μεγάλος βαθμός απόδοσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος παραγωγής</li> <li>• Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής</li> <li>• Ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής</li> </ul>
<b>ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ</b>	10-14%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο</li> <li>• Τετραγωνικά δισκία επιτρέπουν μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλότερη απόδοση συγκρινόμενη με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο</li> <li>• Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής</li> </ul>
<b>RIBBON ΠΥΡΙΤΙΟ</b>	Έως 15%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λιγότερες απώλειες πυριτίου στην παραγωγή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χειρότερη ποιότητα πυριτίου από αυτή του μονοκρυσταλλικού</li> <li>• Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα</li> </ul>
<b>THIN-FILM ΠΥΡΙΤΙΟ</b>	Έως 17%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό</li> <li>• Όχι μεγάλες απαιτήσεις σε υλικό υποστρώματος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα</li> </ul>
<b>ΑΜΟΡΦΟ ΠΥΡΙΤΙΟ</b>	6-9%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολλά υποσχόμενη τεχνολογία</li> <li>• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας</li> <li>• Χαμηλό κόστος παραγωγής συγκρινόμενο με το κρυσταλλικό πυρίτιο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικρός βαθμός απόδοσης</li> <li>• Βαθμιαία μείωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου</li> </ul>
<b>ΑΡΣΕΝΙΚΟΥΧΟ ΓΑΛΛΙΟ</b>	25-30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλος βαθμός απόδοσης</li> <li>• Υψηλή θερμική αδράνεια</li> <li>• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος παραγωγής (5πλασιο του κρυσταλλικού πυριτίου)</li> <li>• Πολύπλοκο υλικό</li> </ul>

<b>ΔΙΣΕΛΗΝΙΟΥΧΟΣ ΙΝΔΙΟΥΧΟΣ ΧΑΛΚΟΣ</b>	Έως 10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν εμφανίζει βαθμιαία πτώση της απόδοσης όπως το άμορφο πυρίτιο</li> <li>• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία</li> </ul>
<b>ΤΕΛΛΟΥΡΙΟΥΧΟ ΚΑΔΜΙΟ</b>	6-13%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλό κόστος παραγωγής</li> <li>• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιορισμένη εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα</li> <li>• Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία</li> <li>• Περιορισμένη εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα</li> </ul>

**Πίνακας 5.3 Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους**

<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ</b>					
<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>	<b>WP</b>	<b>≥500kW</b>	<b>≥100kW</b>	<b>≥5-10kW</b>	<b>TMX</b>
		<b>(€/WP)</b>	<b>(€/WP)</b>	<b>(€/WP)</b>	<b>(€/WP)</b>
<b>LUXOR</b>					
LX-200M/125-72 (Mono)	200	0,68	0,70	0,72	0,82
LX-230P/156-60 (Poly)	230	0,63	0,65	0,67	0,77
LX-240P/156-60 (Poly)	240	0,65	0,67	0,69	0,79
LX-250M/156-60 (Mono)	250	0,69	0,71	0,73	0,83
<b>PANASONIC</b>					
PAN 235HIT (Hybrid cell technology)	235	1,37	1,38	1,39	1,49
PAN 240HIT (Hybrid cell technology)	240	1,44	1,45	1,46	1,56
PAN 250HIT (Hybrid cell technology)	250	1,32	1,33	1,34	1,44
<b>BOSCH</b>					
BS 245M/156-60 (Mono)	245	0,82	0,84	0,86	0,96
<b>SUNTECH</b>					
STP PLUTO245/Wdm (Pluto Poly)	245	0,67	0,69	0,71	0,81
STP 250-20/Wd (Poly)	250	0,64	0,66	0,68	0,78
STP 250S-20/Wd (Mono)	250	0,67	0,69	0,71	0,81
STP 260S-20/Wd (Mono)	260	0,69	0,71	0,73	0,83
STP 290-24/Vd (Poly)	290	0,66	0,68	0,70	0,80
<b>YINGI SOLAR</b>					
YL 245P-29b (Poly)	245	0,63	0,64	0,65	0,75
YL 260C-30b (Panda)	260	0,71	0,72	0,73	0,83

<b>AXITECH</b>					
AC-225P/156-60 (Poly)	225	0,55	0,57	0,59	0,69
AC-230P/156-60 (Poly)	230	0,57	0,59	0,61	0,71
AC-250M/156-60 (Mono)	250	0,69	0,71	0,73	0,83
<b>ALEO</b>					
aleo s_18.220 (Poly)	220	0,77	0,79	0,83	0,93
aleo s_18.225 (Poly)	225	0,78	0,80	0,84	0,94
aleo s_18.230 (Poly)	230	0,79	0,81	0,85	0,95

**Πίνακας 5.4** Εξεταζόμενοι τύποι Φ/Β πάνελς διαφόρων εργοστασίων

Τελικά μελετώντας τα δεδομένα των πλαισίων από τις παραπάνω εταιρίες, επιλέχθηκαν τρία πλαίσια τις εταιρίας ALEO τα οποία θα εξεταστούν, αν μπορούν να συνδυαστούν και με ποιο τρόπο, με τους αντιστροφείς της προηγούμενης παραγράφου, για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος, που είναι η εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος ισχύος 100 kW (Πίνακας 5.5).

<b>ALEO S_18 220-225-230</b>			
<i>Ηλεκτρική απόδοση υπό στάνταρ συνθήκες (STC*)</i>			
<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>aleo s_18 220</b>	<b>aleo s_18 225</b>	<b>aleo s_18 230</b>
Ονομαστική ισχύς P <sub>mp</sub>	220W	225W	230W
Ονομαστική τάση V <sub>mp</sub>	17,6V	23,6V	26,3V
Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης I <sub>mp</sub>	7,39A	7,42A	7,61A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος V <sub>oc</sub>	21,9V	29,2V	32,9V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I <sub>sc</sub>	8,02A	8,09A	8,21A
Μέγιστη τάση συστήματος	1000V	1000V	1000V
Απόδοση η	13.4%	13.7%	14%
Επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος A <sub>p</sub>	7.47 m <sup>2</sup> /kWp	7.30 m <sup>2</sup> /kWp	7.15 m <sup>2</sup> /kWp
Αριθμός κυψελών	60	60	60
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	Πολυκρυσταλλική	Πολυκρυσταλλική	Πολυκρυσταλλική
Μορφή φ/β στοιχείων	Πολυγωνική	Πολυγωνική	Πολυγωνική
Διαστάσεις (μήκος×πλάτος×ύψος) mm	1660x990x50	1660x990x50	1660x990x50
Βάρος	21kg	21kg	21kg

\*STC Ηλιακή ακτινοβολία = 1000 W/m<sup>2</sup>, AM=1.5, θερμοκρασία πλαισίου=25°C.

**Πίνακας 5.5 :** Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίων τύπου ALEO S\_18 220-225-230

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή του φ/β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Η δικιά μας επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων αν και δεν είναι η οικονομικότερη, γίνεται γιατί προτιμάμε να επιλέξουμε μια πολύ καλή και αξιόπιστη εταιρεία, η οποία διαθέτει τις ανάλογες εγγυήσεις και πιστοποιήσεις IEC/EN 61215, IEC/EN 61730.

Οι διατάξεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του, ρόλο κλειδί έχουν τα μεγέθη της τάσης και έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος MPP (maximum power point per tracker), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνυφασμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

### 5.1.3 Συνδιασμός πλαισίου-αντιστροφέα

Με βάση την επιλογή των αντιστροφέων και των φ/β πλαισίων, που έγινε παραπάνω, εξετάζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί για την υλοποίηση του φ/β πάρκου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε φαίνεται αμέσως παρακάτω και βασίστηκε στα εξής:

- Τα πλαίσια που συνδέονται σε έναν αντιστροφέα πρέπει να έχουν ίδια χαρακτηριστικά, σε διαφορετική περίπτωση δεν υπάρχει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους. Γενικότερα πρέπει μια τέτοια υλοποίηση να αποφεύγεται, καθώς μπορούν να ανακύψουν και τεχνικά προβλήματα (π.χ ανάστροφο ρεύμα προς κάποιο παράλληλο string, γεγονός που εξετάζεται παρακάτω).
- Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, προτιμήθηκε, οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση να είναι οι ίδιοι (κυρίως να έχουν την ίδια ισχύ).
- Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όλα τα πλαίσια, που θα χρησιμοποιηθούν σε όλη την εγκατάσταση θα είναι τα ίδια.

Έστω ότι επιλέγουμε 6 αντιστροφείς **STP 17000TL-10**, ο καθένας εκ των οποίων πρέπει να δέχεται στην είσοδο του 16,662Wp για να φτάσουμε τα 100kWp που είναι η επιθυμητή τιμή της εγκατάστασης. Εξετάζοντας τα πλαίσια που έχουμε στη διάθεσή μας καταλήγουμε στο γεγονός ότι το πλαίσιο, το οποίο είναι το πιο ιδανικό από τα 3 να συνδυαστεί με τον συγκεκριμένο αντιστροφέα (σκοπός πάντα είναι, η εγκατεστημένη ισχύς να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στα 100kWp, χωρίς όμως να τα ξεπερνάει) είναι το **aleo s\_18 230**.

Το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός των πλαισίων και η κυκλωματική σύνδεσή τους. Υπολογίζεται ότι στους 4 αντιστροφείς συνδέονται 72 πλαίσια των 230Wp ( $230Wp \times 73 = 16560Wp$ ) και στους άλλους 2, 73 πλαίσια των 230Wp ( $230Wp \times 74 = 16790Wp$ ). Τα πλαίσια αυτά οργανώνονται σε 2 παράλληλα string των 46 και 26 πλαισίων το καθένα. Αυτό σημαίνει ότι η είσοδος του αντιστροφέα 1 έως 4 δέχεται: 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V = 604,9 V$  και αυτά παραλληλισμένα με άλλα 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V = 604,9 V$  στην είσοδο A, 604,9V δηλαδή, ενώ από στην είσοδο

δο Β, 26 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$ , ενώ ο 5<sup>ος</sup> και 6<sup>ος</sup> αντιστροφέας 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=631,2 V$  και αυτά παραλληλισμένα με άλλα 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=631,2 V$  στην είσοδο Α, 604,9V δηλαδή, ενώ στην είσοδο Β, 27 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$  δέχεται που είναι και στις 2 εισόδους μας χαμηλότερες από τις ανώτερες τάσεις εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου.

Ο συνολικός αριθμός των φ/β πλαισίων της εγκατάστασης προκύπτει: 72 πλαίσια/αντιστροφέα $\times 4$  αντιστροφέας + 73 πλαίσια $\times 2$  αντιστροφέας = 434 φ/β πλαίσια.

**ΕΥΡΟΣ ΤΑΣΗΣ DC    Είσοδος Α:340V-800V**  
**Είσοδος Β:150V-800V**

---

**1<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ**

**ΕΙΣΟΔΟΣ Α**

- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$   
Παραλληλισμένα με
- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$

**ΕΙΣΟΔΟΣ Β**

- 26 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$

**2<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ**

**ΕΙΣΟΔΟΣ Α**

- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$   
Παραλληλισμένα με
- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$

**ΕΙΣΟΔΟΣ Β**

- 26 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$

**3<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ**

**ΕΙΣΟΔΟΣ Α**

- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$   
Παραλληλισμένα με
- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$

**ΕΙΣΟΔΟΣ Β**

- 26 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$

**4<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ**

**ΕΙΣΟΔΟΣ Α**

- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$   
Παραλληλισμένα με
- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$

**ΕΙΣΟΔΟΣ Β**

- 26 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$

## 5<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$   
Παραλληλισμένα με
- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$

### ΕΙΣΟΔΟΣ Β

- 27 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$

## 6<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$   
Παραλληλισμένα με
- 23 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=604,9 V$

### ΕΙΣΟΔΟΣ Β

- 27 πλαίσια εν σειρά  $\times 26,3V=710,1 V$

## Μέγιστο ρεύμα εισόδου 33A /11A

## 1<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά παράλληλα με 23 πλαίσια εν σειρά  
 $7,39A +7,39A = 14,78A$

### ΕΙΣΟΔΟΣ Β

- 26 πλαίσια εν σειρά  $=7,39A$

## 2<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά παράλληλα με 23 πλαίσια εν σειρά  
 $7,39A +7,39A = 14,78A$

### ΕΙΣΟΔΟΣ Β

- 26 πλαίσια εν σειρά  $=7,39A$

## 3<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά παράλληλα με 23 πλαίσια εν σειρά  
 $7,39A +7,39A = 14,78A$

### ΕΙΣΟΔΟΣ Β

- 26 πλαίσια εν σειρά  $=7,39A$

## 4<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

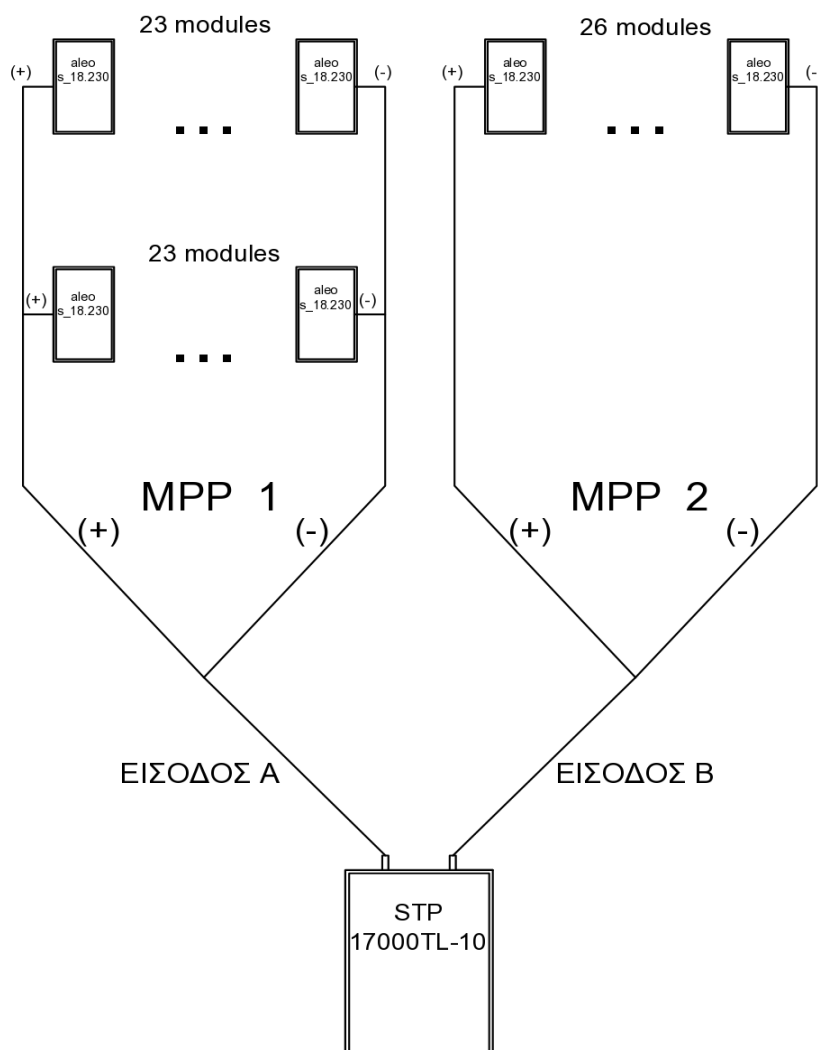
### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά παράλληλα με 23 πλαίσια εν σειρά  
 $7,39A +7,39A = 14,78A$

**ΕΙΣΟΔΟΣ Β**

- 26 πλαίσια εν σειρά =7,39A

**Inverter 1-4**



**Σχήμα 5.1** Σχηματική αναπαράσταση συνδεσμολογίας πάνελ-αντιστροφέα 1-4

**5<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ**

**ΕΙΣΟΔΟΣ Α**

- 23 πλαίσια εν σειρά παράλληλα με 23 πλαίσια εν σειρά  
 $7,39A + 7,39A = 14,78A$

**ΕΙΣΟΔΟΣ Β**

- 27 πλαίσια εν σειρά =7,39A



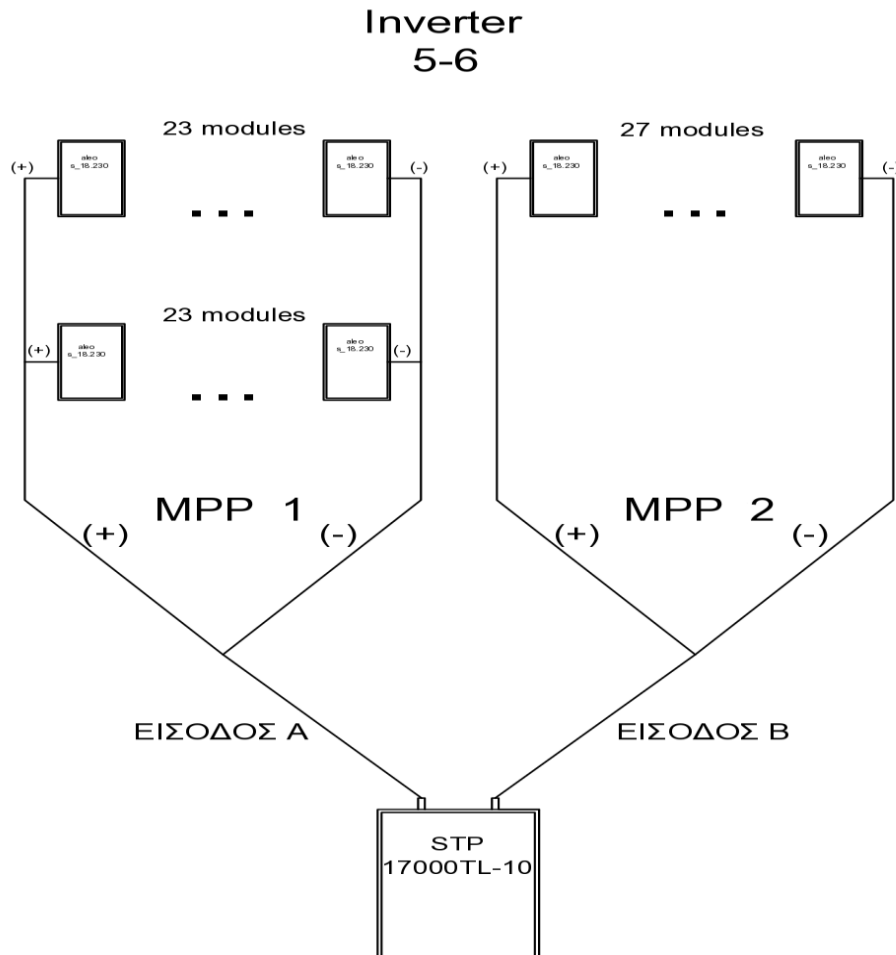
## 6<sup>ος</sup> ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

### ΕΙΣΟΔΟΣ Α

- 23 πλαίσια εν σειρά παράλληλα με 23 πλαίσια εν σειρά  
 $7,39A + 7,39A = 14,78A$

### ΕΙΣΟΔΟΣ Β

- 27 πλαίσια εν σειρά = 7,39A



Σχήμα 5.2 Σχηματική αναπαράσταση συνδεσμολογίας πάνελ-αντιστροφέα 5-6

### 5.1.4 Επιλογή γωνίας κλίσης Φ/Β

#### 5.1.4.1 Σταθερή ετήσια κλίση

Στη συνέχεια, στόχος μας είναι να επιλέξουμε την ιδανική γωνία κλίσης, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ώστε να επιτύχουμε μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Η τιμή της αζιμούθιας γωνίας  $\gamma$ , είναι 0. Επιλέγουμε δηλαδή απόλυτα νότιο προσανατολισμό. Το πρόγραμμα μας έχει υπολογίσει την ιδανική γωνία κλίσης (Πίνακας 5.6)) και μας δίνει  $31^\circ$  ενώ τον προσανατολισμό  $-2^\circ$  δηλαδή με ελάχιστη κλίση προς τα δυτικά. Από το ίδιο πρόγραμμα θα παρουσιάσουμε τον παρακάτω πίνακα ο οποίος θα επιβεβαιώνει το σενάριο αυτό και στη συνέχεια θα εξετάσουμε και την επιλογή δυο διαφορετικών κλίσεων για τους θερινούς και τους εαρινούς μήνες.

<i>Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο θ (μοίρες)</i>	<i>Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>)</i>
0	1950
5	2020
10	2080
15	2130
20	2170
25	2190
26	2190
27	2195
28	2200
29	2200
30	2200
31	2200
35	2190
40	2180
45	2140
50	2100
55	2040
60	1970
70	1790

**Πίνακας 5.6 :** Γωνία κλίσης Φ/Β πάνελς

Παρατηρούμε λοιπόν πως η κλίση μεταξύ 28°-31° αποδίδει την ίδια ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Εμείς θα προτιμήσουμε την αρχική επιλογή του προγράμματός μας και θα παραμείνουμε στις 31°. Ακόμη και στην περίπτωση που απομακρυνόμασταν όμως, περισσότερο από αυτή την επιλογή, αυτό δεν θα επηρέαζε πολύ την απόδοση της εγκατάστασής μας, καθώς όπως βλέπουμε η διαφορά αυτή είναι της τάξεως του ±0.5%.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.7) παρουσιάζεται η συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τους καλοκαιρινούς και τους χειμερινούς μήνες και η ακριβής βέλτιστη γωνία κλίσης για κάθε μήνα του χρόνου. Παράλληλα παρουσιάζονται και στοιχεία θερμοκρασίας, καθαρότητας της ατμόσφαιρας, στοιχεία που επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση της εγκατάστασής μας.

**Ιδανική γωνία κλίσης : 31°**  
**Έλλειμμα ετήσιας ακτινοβολίας λόγω σκίασης: 0.0 %**

<b>Month</b>	<b>Hh</b>	<b>Hopt</b>	<b>H(31)</b>	<b>lopt</b>	<b>TL</b>	<b>D/G</b>	<b>TD</b>	<b>T24h</b>	<b>NDD</b>
Jan	2140	3050	3090	57	3.6	0.54	12.3	11.5	187
Feb	2850	3700	3740	49	3.6	0.51	12.4	11.6	167
Mar	3970	4620	4630	37	4.3	0.49	13.6	12.9	134
Apr	5400	5720	5700	23	4.9	0.42	16.5	15.5	27
May	6430	6260	6200	11	4.8	0.40	20.9	19.7	1
Jun	7120	6660	6590	4	5.4	0.36	25.1	23.8	0
Jul	6900	6590	6520	7	5.5	0.36	27.3	26.2	0
Aug	6270	6450	6420	19	5.5	0.36	27.3	26.2	1
Sep	5220	6020	6030	34	5.0	0.35	24.5	23.5	2
Oct	3650	4690	4730	47	4.4	0.43	20.8	19.9	20
Nov	2300	3160	3200	55	3.7	0.54	17.1	16.1	74
Dec	1800	2550	2590	58	3.5	0.59	13.9	13.1	146
Year	4510	4960	4960	29	4.5	0.41	19.3	18.3	759

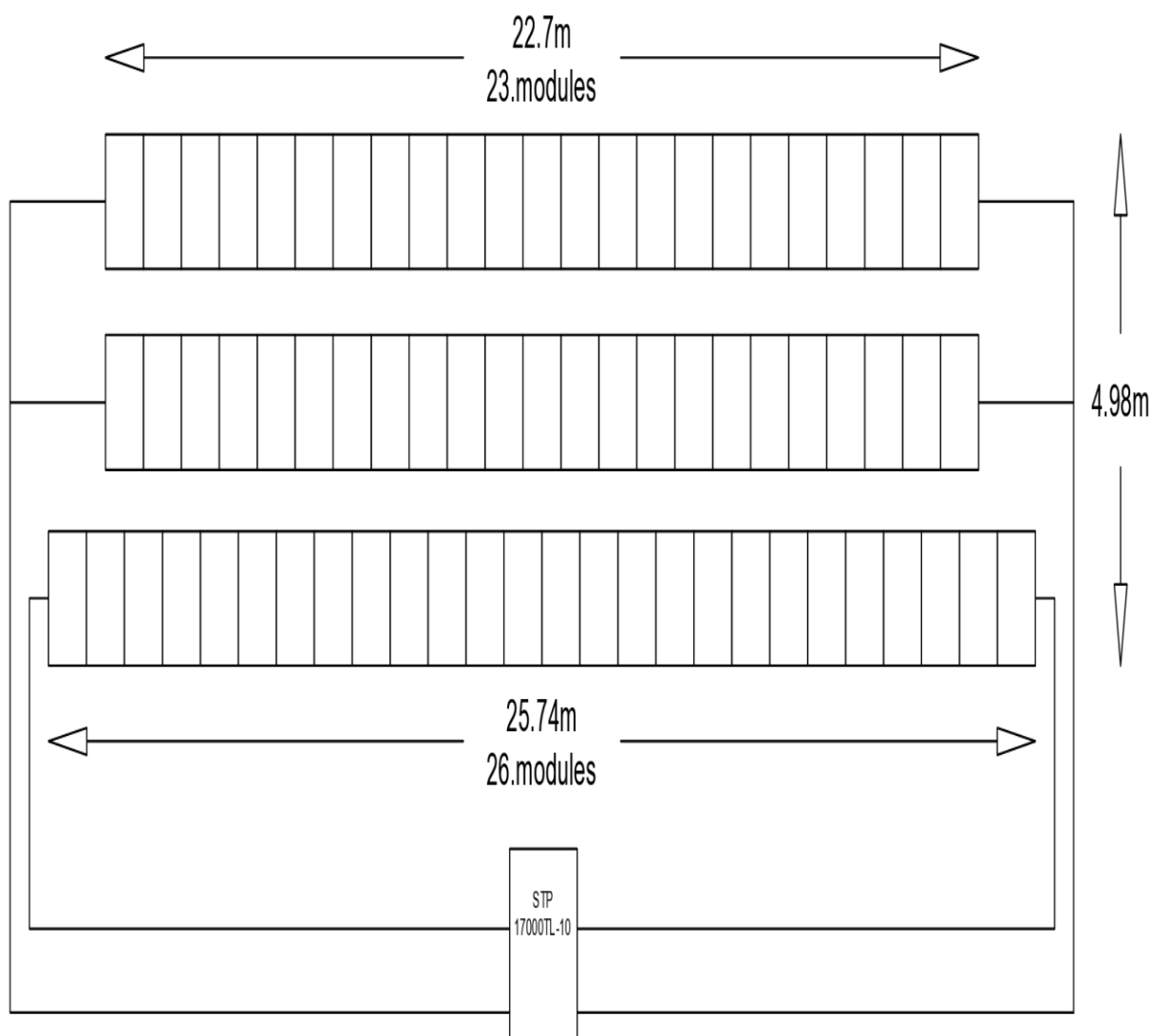
- Hh:** Ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (Wh/m<sup>2</sup>/day)  
**Hopt:** Ακτινοβολία σε ιδανική γωνία κλίσης (Wh/m<sup>2</sup>/day)  
**H(31):** Ακτινοβολία για κλίση: 31deg. (Wh/m<sup>2</sup>/day)  
**lopt:** Βέλτιστη γωνία κλίσης (deg.)  
**TL:** Βαθμός θολώτητας  
**D/G:** Βαθμός διάχυσης προς παγκόσμια ακτινοβολία  
**TD:** Μέσος όρος ημερήσιας θερμοκρασίας (°C)  
**T24h:** Μέση θερμοκρασία 24ώρου (°C)  
**NDD:** Αριθμός ημερών μελέτης θέρμανσης

**Πίνακας 5.7** Συνολική ηλιακή ακτινοβολία για τους καλοκαιρινούς και τους χειμερινούς μήνες και η ακριβής βέλτιστη γωνία κλίσης για κάθε μήνα του χρόνου.

### 5.1.5 Διαστασιολόγηση συστοιχίας

Στόχος μας εδώ είναι να σχεδιάσουμε τις συστοιχίες με τέτοιο τρόπο ώστε να μας βολεύει η σύνδεση ενός αντιστροφέα με κάθε συστοιχία. Θα μπορούσαμε να συνδέσουμε 73 και 72 πλαίσια αντίστοιχα και έτσι σε κάθε τραπέζι να υπάρχει και ένας αντιστροφέας. Σε διαφορετική περίπτωση θα μπορούσαμε σε ένα τραπέζι να διπλασιάσουμε τον αριθμό των πλαισίων και το κάθε τραπέζι να αποτελείται από δυο αντιστροφείς ή και να υποδιπλασιάσουμε τον αριθμό των συστοιχιών και ο αντιστροφέας να βρίσκεται ανάμεσα σε 2 τραπέζια. Εμείς θα σταθούμε στην περίπτωση όπου θα έχουμε έναν αντιστροφέα ανά τραπέζι.

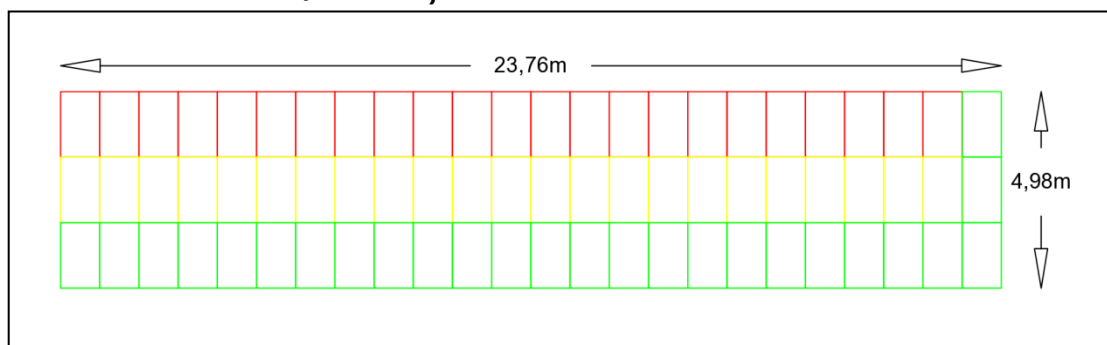
Η επιλογή αυτή γίνεται γιατί η εγκατάσταση μας θα γίνει πιο λειτουργική. Ο χώρος που θα χρησιμοποιήσουμε από το οικόπεδο θα είναι λιγότερος και κατά συνέπεια και το μήκος των καλωδίων λιγότερο. Έτσι περιορίζουμε τις απώλειες ισχύος λόγω καλωδίων. Παρακάτω στο σχήμα παρουσιάζεται η διάταξη της συστοιχίας (Σχήμα 5.3).



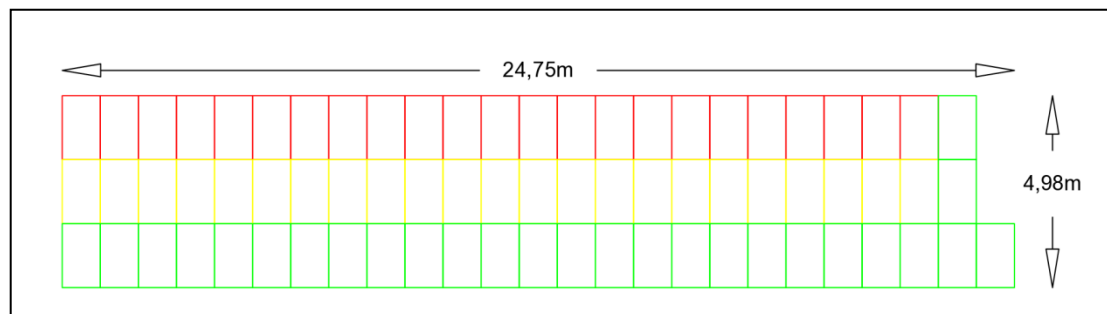
**Σχήμα 5.3** Διάταξη της συστοιχίας

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η κάθε συστοιχία και η σύνδεση που θα γίνει. Βλέπουμε πως οι δυο πρώτες απαρτίζονται από 23 πάνελ η κάθε μια οι οποίες συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους και καταλήγουν στην είσοδο A ενώ στην είσοδο B, καταλήγουν 26 πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους. Επειδή όμως στην πράξη δεν μας συμφέρει να τα τοποθετήσουμε έτσι, στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η πραγματική διάταξη του τραπεζιού (Σχήμα 5.4).

#### ΤΡΑΠΕΖΙ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ 1 έως 4



#### ΤΡΑΠΕΖΙ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ 5 και 6



Σχήμα 5.4 Πραγματική διάταξη των τραπεζιών των αντιστροφέων 1-6

Παραπάνω βλέπουμε την πραγματική διάταξη των τραπεζιών. Όπως έχουμε αναλύσει και προηγουμένως, οι 4 πρώτοι αντιστροφέες έχουν 72 πάνελ, ενώ οι άλλοι δυο 73.

Το κόκκινο, κίτρινο και πράσινο χρώμα δείχνουν την κάθε συστοιχία και τον τρόπο που θα συνδεθούν. Το κόκκινο και το κίτρινο παράλληλα στην είσοδο Α και το πράσινο μόνο του στην είσοδο Β.

#### 5.1.6 Φαινόμενο αντίστροφής ροής του ρεύματος

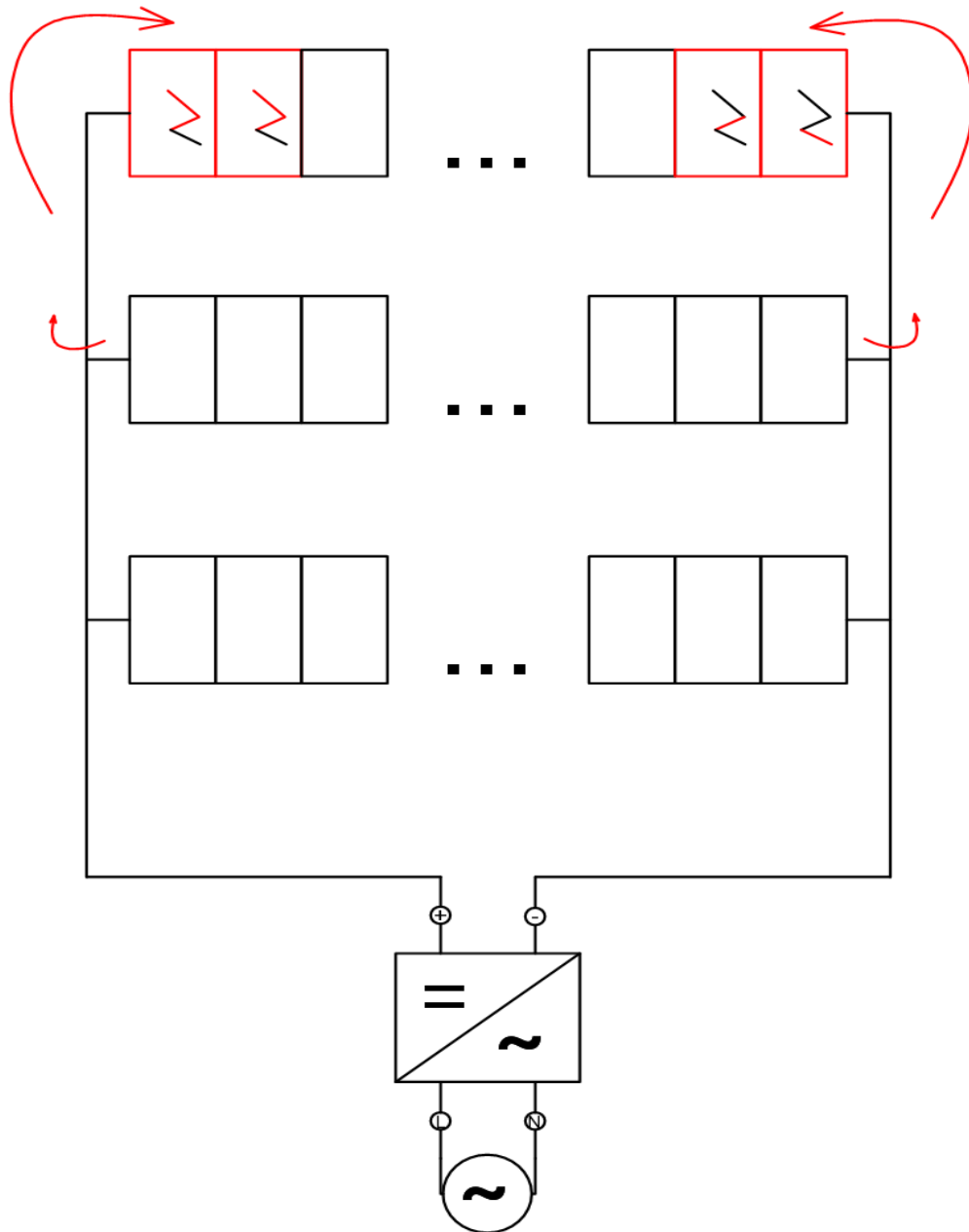
Το φαινόμενο της αντίστροφής ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια σε μια φ/β συστοιχία, η οποία συνδέεται σε έναν αντιστροφέα είναι γενικά ένα φαινόμενο το οποίο θέλουμε να αποφύγουμε. Μπορεί να εμφανιστεί μόνο στην περίπτωση, την οποία υπάρχουν φ/β πλαίσια συνδεδεμένα παράλληλα και η τάση ανοιχτού κυκλώματος στα άκρα των παράλληλων συστοιχιών είναι διαφορετική. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί εάν επιλεγούν παράλληλες συστοιχίες ίδιου μήκους και ισχύος. Επιπλέον το φαινόμενο της σκίασης δεν συνεπάγεται εμφάνιση ανάστροφου ρεύματος σημαντικής τιμής, καθώς η επίδρασή του στην τάση ανοιχτού κυκλώματος είναι ασήμαντη. Επομένως σε μια φ/β γεννήτρια, η οποία έχει διαστασιοποιηθεί σωστά και για κατάσταση λειτουργίας χωρίς σφάλματα, η εμφάνιση του ανάστροφου ρεύματος είναι τελείως ανεπαίσθητη.

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εμφανιστεί μόνο σε περιπτώσεις σφαλμάτων της φ/β γεννήτριας (π.χ. βραχυκύκλωμα σε ένα ή περισσότερα πλαίσια), τα οποία μπορούν να μειώσουν σημαντικά την τάση ανοιχτού κυκλώματος μίας συστοιχίας σε σχέση με τις υπόλοιπες οι οποίες είναι παράλληλα συνδεδεμένες. Σε μία τέτοια περι-

πτωση η δίοδος παράκαμψης (bypass diode), που έχουν όλα τα φ/β πλαίσια, αναγκάζει το ανάστροφο ρεύμα να περάσει μέσα από το string, το οποίο εμφάνισε το σφάλμα και ανάλογα με την τιμή αυτού του ρεύματος μπορεί να οδηγήσει σε θέρμανση και πιθανώς καταστροφή όλων των πλαισίων, που είναι συνδεδεμένα σε σειρά στη συγκεκριμένη συστοιχία. Παρόλο που τέτοια φαινόμενα σφαλμάτων είναι αρκετά απίθανα, και πολύ σπάνια συμβαίνουν στην πράξη, πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης. Τα μέτρα που μπορούμε να λάβουμε για να αποφύγουμε το φαινόμενο αυτό είναι τα εξής:

1. **Διαστασιολόγηση των strings.** Με την κατάλληλη επιλογή των στοιχείων που αποτελούν ένα string (πλαίσια, καλώδια, ακροδέκτες σύνδεσης), έτσι ώστε να αντέχουν το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης των υπολοίπων strings. Όταν ο μέγιστος αριθμός των παράλληλων strings είναι 2, ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται πάντα, καθώς το ανάστροφο ρεύμα που θα δεχθεί το string, όπου εμφανίστηκε το σφάλμα, θα προέρχεται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του άλλου string και θα ισούται με αυτό. Επομένως δεν χρειάζεται καμία επιπλέον προστασία έναντι του ανάστροφου ρεύματος όταν υπάρχουν 2 παράλληλα strings.
2. **Δίοδοι φραγής (String Diodes).** Οι δίοδοι αυτές συνδέονται εν σειρά με κάθε παράλληλο string για να αποτρέψουν την διέλευση ανάστροφου ρεύματος. Το μειονέκτημα είναι ότι στην κανονική λειτουργία της γεννήτριας σε κάθε string περνάει από τη δίοδο αυτή το ρεύμα κανονικής λειτουργίας με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες. Επιπλέον μια ενδεχόμενη βλάβη της δίοδου μπορεί να αναιρέσει τον προστατευτικό της ρόλου ή ακόμα και να επιφέρει αστοχία όλου του string.
3. **Ασφάλειες τήξης (String Fuses).** Συνδέονται και αυτές εν σειρά με κάθε παράλληλο string και έχουν κατάλληλη τιμή έτσι ώστε να προστατεύουν από το ανάστροφο ρεύμα. Πλεονεκτούν σε σχέση με τις δίοδους φραγής καθώς έχουν ασήμαντες απώλειες κατά την κανονική λειτουργία, ενώ και η περίπτωση βλάβης τους μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή.

Τέλος πρέπει να τονίσουμε πως η μέγιστη τιμή του ανάστροφου ρεύματος, που μπορούν να δεχθούν τα φ/β πλαίσια, είναι μια τιμή η οποία δεν δίνεται από τους κατασκευαστές. Γενικότερα, δεχόμαστε ότι για τιμές του ανάστροφου ρεύματος μεγαλύτερες από το διπλάσιο του ρεύματος βραχυκύκλωσης πρέπει να λαμβάνουμε μέτρα προστασίας.



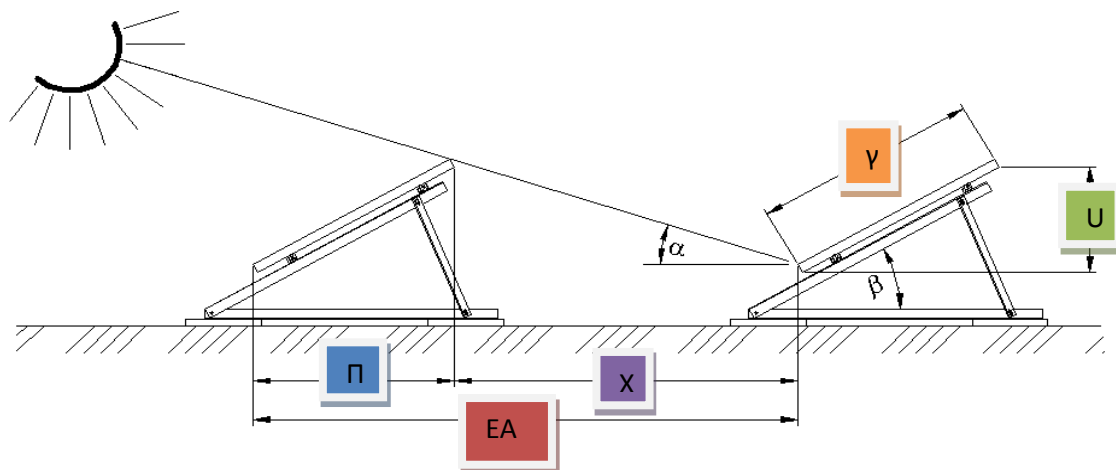
**Σχήμα 5.5** Φαινόμενο αντίστροφης ροής του ρεύματος

### 5.1.7 Τοπογραφική διάταξη και χωροθέτηση του

Η φ/β γεννήτρια μας είναι εγκατεστημένη σωστά και αποδίδει τη μέγιστη ισχύ όταν η τοπογραφική μας διάταξη είναι βέλτιστη. Για να γίνει αυτό θα πρέπει:

1. Η τοποθέτηση των πλαισίων να είναι απόλυτα προσανατολισμένη προς το νότο (αζιμούθιο  $180^\circ$ ), και η κλίση των πλαισίων μας ως προς το οριζόντιο επίπεδο να είναι ακριβώς αυτή που έχει προκύψει από τη μελέτη μας, δηλαδή  $31^\circ$ .

2. Η χωροθέτηση των τραπεζιών, που προκύπτουν από τη μελέτη μας, να είναι τέτοια ώστε η μια επιφάνεια να μην δέχεται σκίαση από την άλλη, ώστε να μην έχουμε απώλειες ισχύος λόγω σκίασης.
3. Το μήκος των καλωδίων που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι το, κατά το δυνατόν, ελάχιστο έτσι ώστε να αποφύγουμε τα μήκη αυτά να είναι μεγάλα γιατί αυξάνονται οι απώλειες ισχύος λόγω του μήκους αυτού.



**Σχήμα 5.6** Αναπαράσταση διάταξης συστοιχιών

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	A/U
ΚΡΗΤΗ	35	2.2
ΚΥΚΛΑΔΕΣ	36	2.3
ΠΕΛΟΠΟΝΗΣΟΣ	37	2.5
ΛΙΒΑΔΕΙΑ	38	2.7
ΛΑΜΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑ	39	2.8
ΚΟΖΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40	2.9
ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41	3

**Πίνακας 5.8 :** Λόγος A/U σε επλεγμένες περιοχές σύμφωνα με το γεωγραφικό τους πλάτος



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ											
ΜΗΚΟΣ ΠΑΝΕΛ	ΠΑΝΕΛ /ΣΕΙΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ $\gamma$	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ $\theta$	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ Α-ΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΣΕΙΡΕΣ $\delta$	ΓΕΩ-ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	A/U	U	A	ΠΡΟΒΟΛΗ $\Pi$	ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	X
1.66	3	4.98	31	0	36	2.3	2.56	5.90	4.27	10.17	5.90

**Πίνακας 5.9 :** Απόσταση ,προβολή και ύψος κάθε συστοιχίας

Σύμφωνα με την προηγούμενη σχηματική αναπαράσταση θα υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των συστοιχιών (X), την προβολή της κάθε συστοιχίας με (Π), και το ύψος που θα σηκώνεται η κάθε συστοιχία (U).

Στον πίνακα είναι υπολογισμένες οι τιμές σύμφωνα με ένα υπολογιστικό φύλλο excel. Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που γίνονται ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα.

1. Αρχικά εισάγουμε το μήκος των πάνελ, το οποίο είναι γνωστό από την κατασκευάστρια εταιρία: **1,66m**.
2. Συμπληρώνουμε τον αριθμό των πλαισίων της κάθε συστοιχίας: **3**, όπως προέκυψε από τη μελέτη μας.
3. Το συνολικό μήκος των πλαισίων προκύπτει από το γινόμενο **1,66x3=4,98m**.
4. Στη συνέχεια εισάγουμε την γωνία κλίσης που θέλουμε να έχουν τα πάνελ, **31°**, και συμπληρώνουμε το γεωγραφικό πλάτος και το λόγο της ελεύθερης απόστασης προς το ύψος (A/U) από τον πίνακα. Στη στήλη της υψομετρικής διαφοράς ανάμεσα στις σειρές βάζουμε **0** γιατί το οικόπεδο μας έχει μηδενική γωνία κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
5. Το ύψος της συστοιχίας υπολογίζεται από την εξής σχέση: **4,98xsin(0.541052)= 2.56m**. Εδώ έχουμε μετατρέψει τις 31° σε ακτίνια:  $31 \times \frac{\pi}{180} = 0.541052 \text{ rad}$ , και στη συνέχεια υπολογίζουμε το ημίτονο των ακτινίων.
6. Στη στήλη της ελεύθερης απόστασης A υπολογίζουμε το γινόμενο του λόγου A/ U με το ύψος U και έχουμε: **2.3x2.56=5.88≈5.90m**.
7. Η προβολή των πλαισίων προκύπτει από το λόγο του ύψους U προς την εφαπτομένη της γωνίας σε ακτίνια.

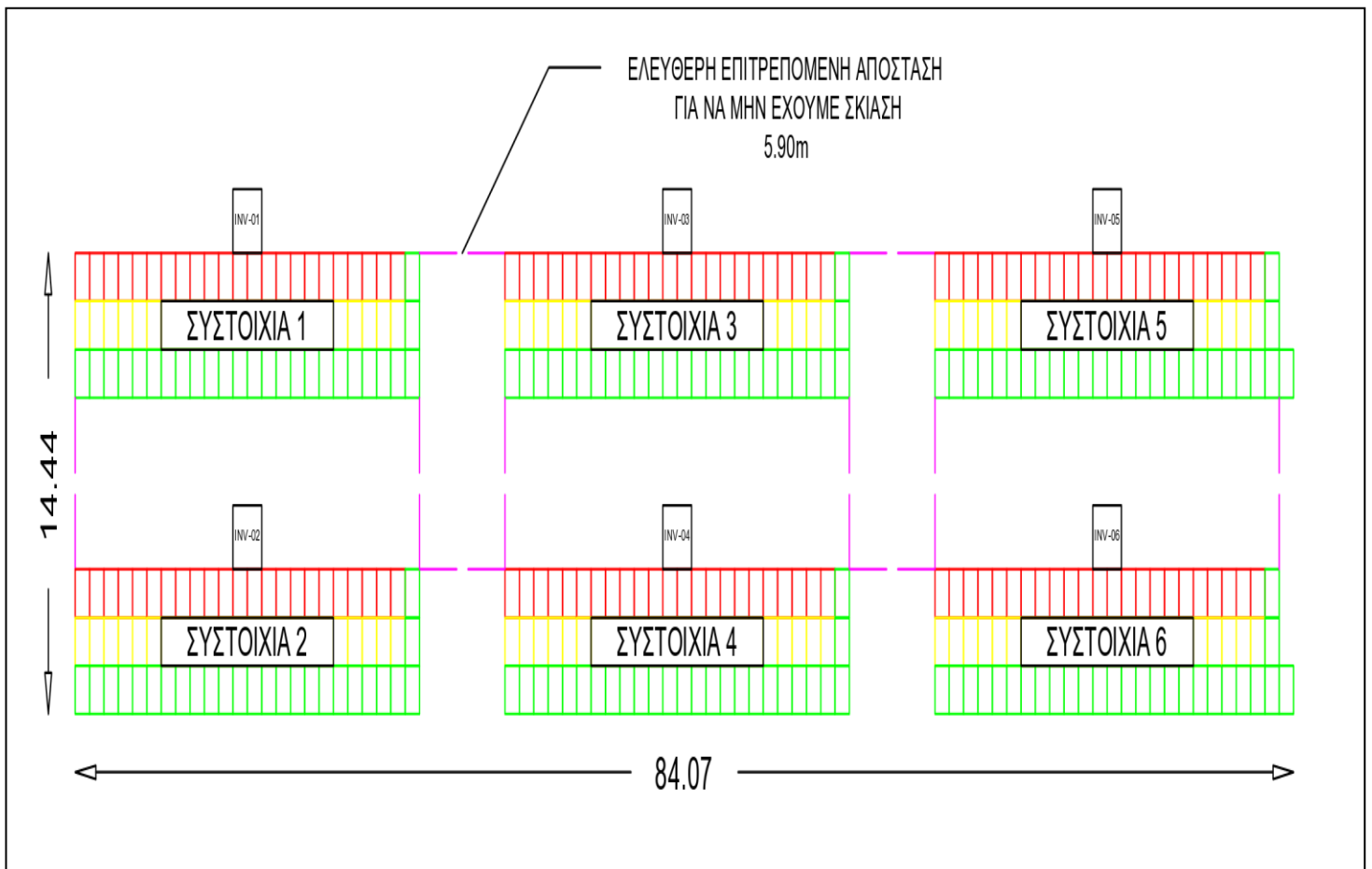
$$2,56/\tan(0.541052)=4.2678\approx\mathbf{4.27m.}$$

8. Η ελεύθερη απόσταση (ΕΑ) προκύπτει από τον εξής τύπο:  

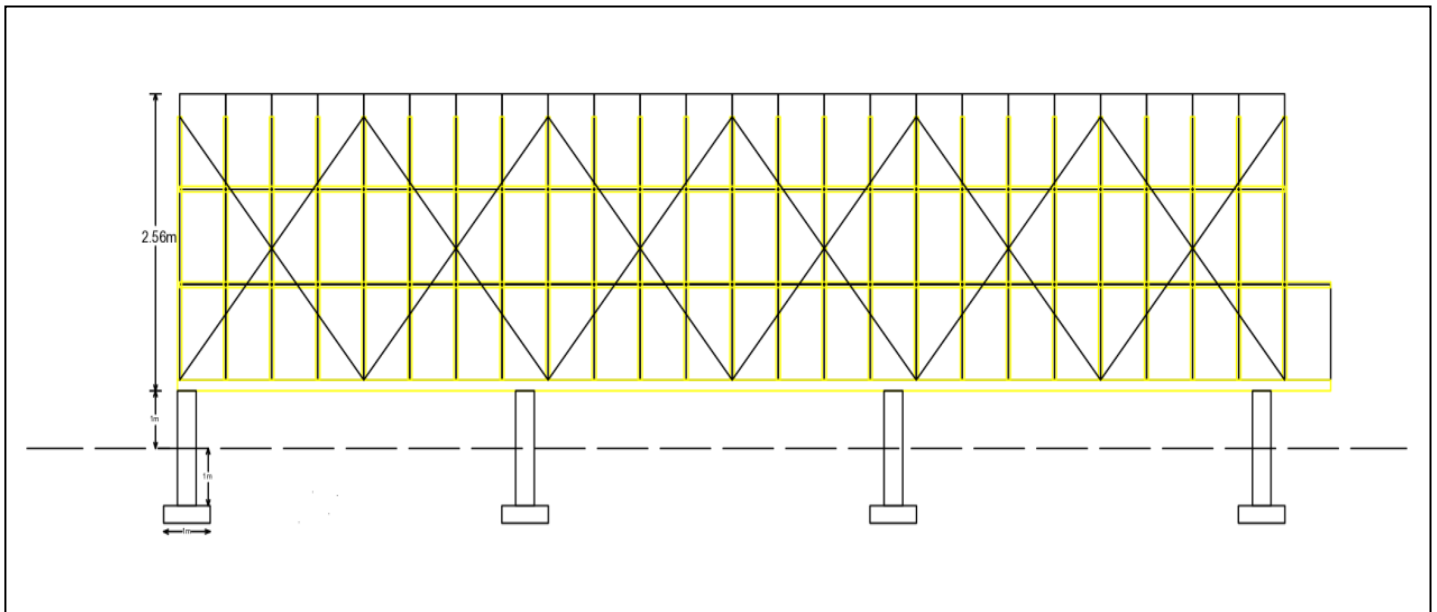
$$\text{Προβολή}(\Pi) \times [\text{συνολικό μήκος πλαισίων}(\gamma) \times \text{cosr}(0.541052)] = 4.27 \times [4.98 \times \text{cosr}(0.541052)] = \mathbf{10.17m.}$$
9. Τέλος, η ελεύθερη απόσταση x προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:  

$$\text{Ελεύθερη απόσταση (ΕΑ)} - [\text{ύψος (U)} / \text{tanr}(0.541052)] = 10.17 - [2.56 / \text{tanr}(0.541052)] = \mathbf{5.90m.}$$

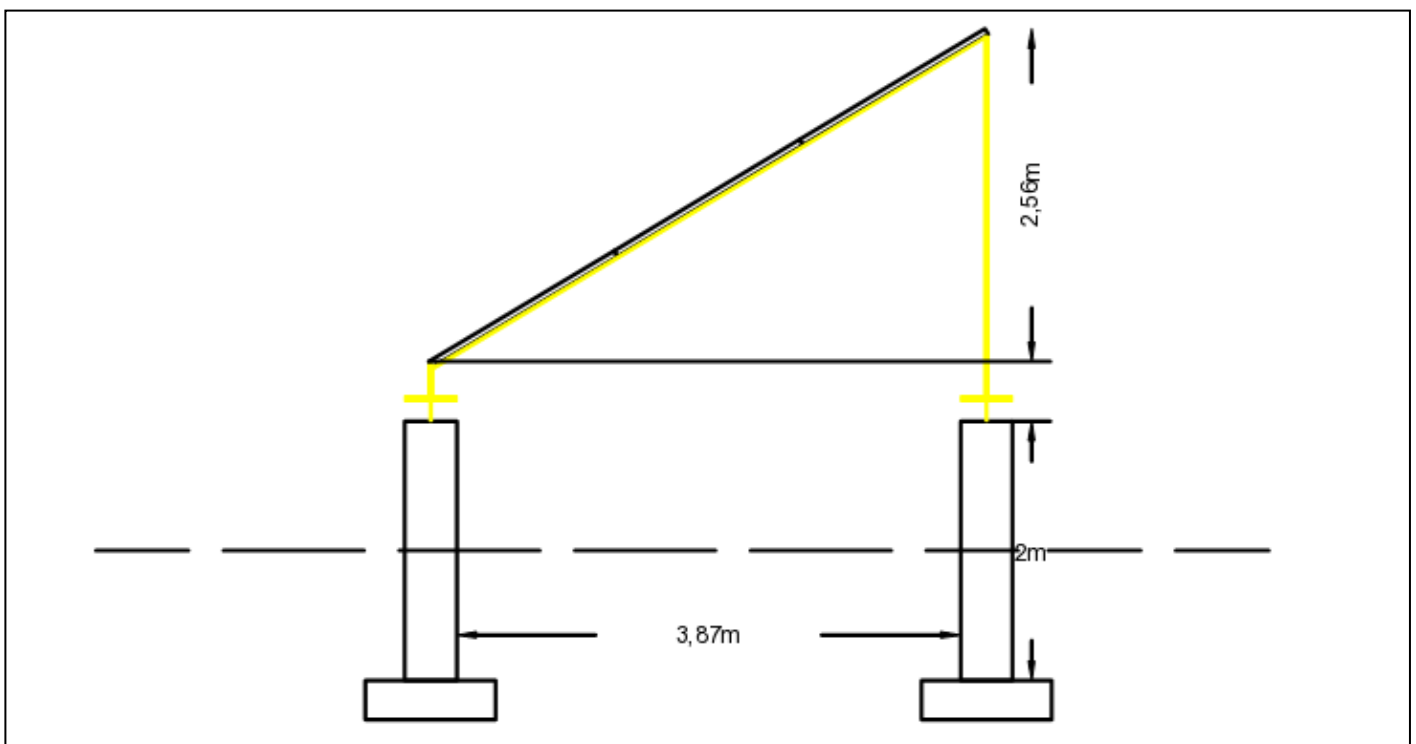
Υπολογίσαμε τελικά πως η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση των συστοιχιών, ώστε να μην σκιάζει το ένα τραπέζι το άλλο είναι **5,90m**.



**Σχήμα 5.6** Κάτοψη διάταξης Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



**Σχήμα 5.7** Πίσω όψη συστοιχίας Φ/Β σταθμού με βάσεις στήριξης



**Σχήμα 5.8** Πλάγια όψη συστοιχίας Φ/Β σταθμού με βάσεις στήριξης

Παραπάνω παρουσιάστηκαν οι διάφορες όψεις των συστοιχιών. Η συνολική εγκατάσταση που παρουσιάζεται στην πρώτη σχηματική αναπαράσταση θα είναι τοποθετημένη τουλάχιστον 5 μέτρα μακριά από τα όρια του οικοπέδου όπου θα γίνει και η απαραίτητη περίφραξη για να προστατευθεί η εγκατάσταση από τυχόν κινδύνους που μπορεί να προκαλέσουν ζώα ή άλλοι παράγοντες.

Για την εγκατάσταση της κάθε συστοιχίας έχουμε επιλέξει 2 σειρές των 4 στύλων, δηλαδή 8 στύλους συνολικά για κάθε τραπέζι. Ο κάθε στύλος, από μπετό, έχει ύψος 2 μέτρα, εκ' των οποίων το 1 μέτρο είναι βυθισμένο στο έδαφος και στηρίζεται σε μια πεδιλοδοκό και το υπόλοιπο 1 μέτρο, είναι ορατό.

Οι στύλοι δημιουργούν μια νοητή οριζόντια ευθεία πάνω στην οποία στηρίζονται οι αλουμιένιες βάσεις στήριξης. Οι βάσεις αλουμινίου που εγκαθιστούμε, μας δίνουν και την επιθυμητή κλίση των 31°, ενώ παράλληλα μας επιτρέπουν να κάνουμε μια καλή κατασκευή, αφού το αλουμίνιο είναι ένα ελαφρύ, ανθεκτικό και διαχρονικό στις φυσικές φθορές, μέταλλο.

Στους στύλους θα τοποθετήσουμε επίσης, τους αντιστροφείς και τα μέσα προστασίας και απόξευξης καθώς ενδείκνυται η εξωτερική τους χρήση. Τέλος στους στύλους θα τοποθετήσουμε και τις γειώσεις.

#### **5.1.8. Προστασία έναντι υπερτάσεων(Απαγωγή κρουστικών υπερτάσεων)**

Καθώς η συχνότητα, η ένταση του ρεύματος, το σημείο πτώσης των κεραυνών και τα εξ'επαγωγής δευτερογενή δυναμικά δεν μπορούν να προσδιοριστούν, δεν υπάρχει σύστημα το οποίο να προσφέρει απόλυτη (100%) ασφάλεια. Σκοπός κάθε εγκατάστασης ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (Σ.Α.Π.) είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ζημιών.

Η προστασία κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς αποσκοπεί στην προστασία του εξοπλισμού αλλά κυρίως στην ασφάλεια των ανθρώπων και πρέπει να υλοποιείται σύμφωνα με την σειρά ΕΛΟΤ EN 61643 και ΕΛΟΤ EN 62305 αντίστοιχα. Σύμφωνα με το ΦΕΚ470 (5 Μαρτίου 2004) Άρθρα 3 έως 6 η αναγκαιότητα εφαρμογής προστασίας από υπερτάσεις είναι πλέον απαραίτητη ανεξάρτητα με το αν υπάρχει ή εάν προβλέπεται να υπάρξει σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας. Στηριζόμενοι στην υπάρχουσα εμπειρία εκατοντάδων χιλιάδων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε Ευρωπαϊκές χώρες κάτω των 10kWp που δεν εξέχουν από το περίγραμμα του κτιρίου, θεωρείται ότι ο κίνδυνος από κεραυνικό πλήγμα δεν αυξάνεται με την τοποθέτηση του συστήματος.

##### **5.1.8.1 Εσωτερική προστασία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών από κρουστικές υπερτάσεις**

A) Προστασία στην είσοδο του συνεχούς ρεύματος (DC) των μετατροπέων (inverters). Τοποθέτηση δύο απαγωγών DEHN PV 500V SCP ένα ανά πόλο συνεχούς ρεύματος.

B) Προστασία στην έξοδο του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) των μετατροπέων (inverters). Τοποθέτηση του απαγωγού DEHN M TT 2P 275V ανά μονοφασική έξοδο.

Γ) Προστασία στην είσοδο από ΔΕΗ. Τοποθέτηση του απαγωγού DEHN Ventil M TT 255V ανά τριφασική είσοδο.

### 5.1.8.2 Εξωτερική προστασία των κυψελών και του οικίσκου από άμεσα πλήγματα

Η προστασία υλοποιείται με το σύστημα κλωβού. Αναλυτικά το σύστημα αυτό αποτελείται από ακίδες σύλληψης, στηρίγματα ακίδων, καλώδια ισοδυναμικής σύνδεσης και από άλλα υλικά. Εδώ απαιτείται ξεχωριστή ανά περίπτωση μελέτη λόγω της ιδιαιτερότητας κάθε εγκατάστασης.

### 5.1.8.3 Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (Σ.Α.Π.)

Η πιθανότητα να χτυπήσει κεραυνός την φ/β εγκατάσταση είναι αρκετά μικρή εντούτοις η ζημιά που μπορεί να προκληθεί από ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι πολύ μεγάλη στα φ/β πλαίσια και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (αντιστρεφείς, καλώδια, συστήματα ελέγχου κλπ.).

Στόχος εδώ, είναι να προστατευτούν οι φ/β συστοιχίες από μια ενδεχόμενη φωτιά εξαιτίας ενός άμεσου χτυπήματος από κεραυνό και η προστασία του ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό που μπορεί να προκληθεί από τον κεραυνό. Για να προστατευτεί η εγκατάσταση στον χώρο που καταλαμβάνουν τα φ/β πλαίσια πρέπει να εγκατασταθεί ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Ανάλογα με τον τύπο της αντικεραυνικής προστασίας και το ύψος των απαιτούμενων ράβδων - αλεξικέραυνων, καθορίζεται η ποσότητά τους καθώς και η απόστασή τους. Για τους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας για αντικεραυνική προστασία τύπου III κατά VDE V 0185-3. Να αναφέρουμε ότι υπάρχουν συνολικά τέσσερις τύποι προστασίας. Ξεκινώντας από την προστασία τύπου I, που προσφέρει τη μέγιστη ασφάλεια καταλήγουμε στην τύπου IV, που προσφέρει συγκριτικά με τις υπόλοιπες τη λιγότερη ασφάλεια. Η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας για τύπου III προστασία είναι 45m και η κοιλία της σφαίρας αυτής σε σχέση με την απόσταση μεταξύ των αλεξικέραυνων και δίνεται από τη σχέση:

$$p = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (1)$$

Όπου  $p$  η κοιλία της σφαίρας,  $R$  η ακτίνα της και  $d$  η απόσταση μεταξύ των αλεξικέραυνων. Προφανώς το ύψος στο οποίο θα αναρτηθούν τα αλεξικέραυνα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την τιμή που βρίσκεται από την παραπάνω σχέση και το ύψος αυτό μετράται από το επίπεδο που ορίζουν τα υψηλότερα σημείο των φ/β συστοιχιών.

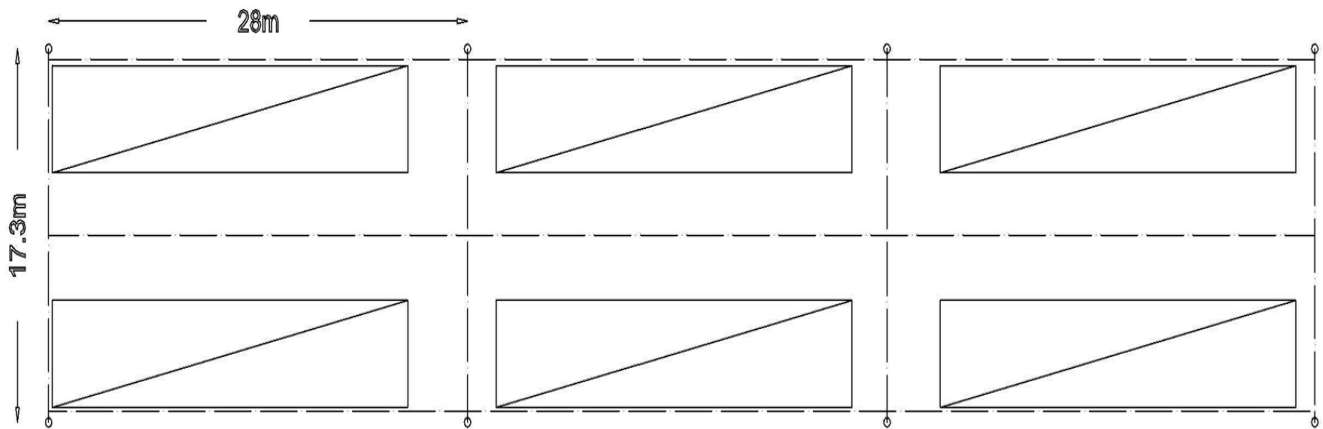
Στην εγκατάσταση μας επιλέγουμε την τοποθέτηση 8 τερματικών ακίδων σύλληψης σε σημεία της εγκατάστασης όπως δείχνουμε στα σχήμα που ακολουθεί. Τα σημεία τοποθέτησης, εκτός από την αντικεραυνική προστασία, εξασφαλίζουν ότι η σκίαση που θα δημιουργείται είναι αμελητέα. Τα τερματικά δημιουργούν ανά τέσσερα, νοητά ορθογώνια με διαστάσεις 28mX17,34m. Δεδομένου αυτού του μεγέθους, η απόσταση  $d$  προκύπτει:

$$d = \sqrt{28^2 + 17,3^2} = 32,91m \approx 33m$$

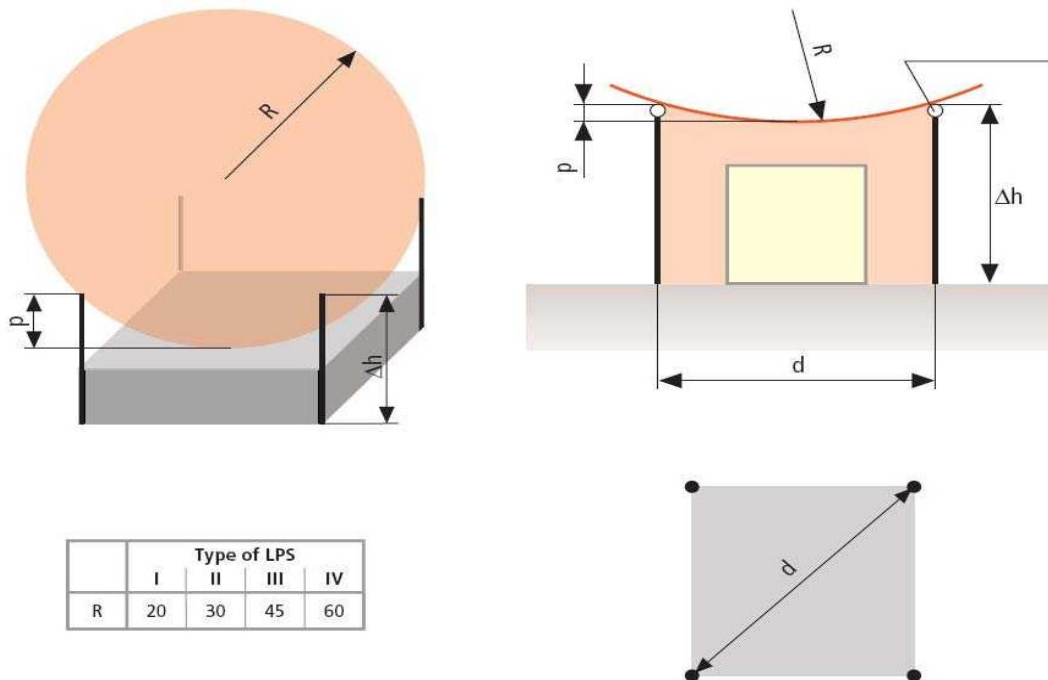
Αντικαθιστούμε στη σχέση (1) και έχουμε:

$$p = 45 - \sqrt{45^2 - \left(\frac{32.91}{2}\right)^2} = 3.11m$$

Για την υλοποίηση της αντικεραυνικής προστασίας χρησιμοποιήσαμε ακίδες σύλληψης και κυλινδρικούς μεταλλικούς δοκούς για τη στήριξή τους, οι οποίοι εδράζονται σε μια βάση από μπετόν και επειδή έχουν μεγάλο ύψος, θα στηρίζονται, όπου είναι απαραίτητο, από τις βάσεις στήριξης των συστοιχιών μέσω ηλεκτρομονωτικού υλικού.



Σχήμα 5.9 Αναπαράσταση αντικεραυνικών ακίδων σύλληψης



Σχήμα 5.10 Απεικόνιση μοντέλου κυλιόμενης σφαίρας



Σχήμα 5.11 Αντικεραυνική ακίδα υπό γωνία 120° πακτωμένη επί βάσεως

### 5.1.9. Γείωση

Η γείωση ορίζεται ως η αγώγιμη σύνδεση με το έδαφος των προς γείωση τμημάτων μιας εγκατάστασης ή του ουδέτερου κόμβου μετασχηματιστών και γεννητριών. Σκοπός της γείωσης είναι η εκφόρτιση των ηλεκτρικών ρευμάτων προερχόμενων από σφάλμα στη γη.

Στις βιομηχανικές και κτιριακές εγκαταστάσεις κτιρίων χρησιμοποιούμε τρεις βασικές κατηγορίες γείωσης. Αυτές είναι οι εξής:

#### **I. Γείωση λειτουργίας:**

Είναι η γείωση που γίνεται για λειτουργικούς λόγους ή για την αποφυγή υπερτάσεων και διακρίνεται σε:

- Άμεση εφόσον δεν περιλαμβάνει άλλη αντίσταση πλην της αντίστασης γείωσης
- Έμμεση εφόσον εκτός από τη αντίσταση γείωσης περιλαμβάνει και ωμικές, επαγωγικές και χωρητικές αντιστάσεις.

(Η περίπτωση της ανοικτής γείωσης, δηλαδή όταν στη γραμμή της γείωσης έχει παρεμβληθεί σπινθηριστής ή ασφάλεια διάσπασης, δεν συμπεριλαμβάνεται στις γειώσεις λειτουργίας.)

#### **II. Γείωση προστασίας:**

Είναι η αγώγιμη σύνδεση των μεταλλικών μερών μιας εγκατάστασης που δεν ανήκουν στο κύκλωμα λειτουργίας και εξασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων που μπορεί να έρθουν σε επαφή με αυτά.

#### **III. Γείωση ασφάλειας ή αντικεραυνικής προστασίας:**

Η γείωση ασφάλειας χρησιμεύει στην ασφάλεια των παρευρισκόμενων στον περιβάλλοντα χώρο. Ενδεικτικά παραδείγματα του είδους αυτού είναι οι γειώσεις των αλεξικέραυνων, οι γειώσεις των αντιστατικών δαπέδων των χώρων επείγουσας ιατρικής και των χώρων με μηχανήματα προηγμένης τεχνολογίας.

#### **5.1.9.1 Μέθοδοι γείωσης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων**

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

1. Η **ουδετέρωση**, δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση με τον ουδέτερο αγωγό ή άλλο γειωμένο αγωγό φάσης δικτύου.
2. Η **άμεση γείωση**, με απευθείας αγώγιμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης το οποίο μπορεί να είναι μια πλάκα γείωσης, ένα ηλεκτρόδιο, ένα τρίγωνο κλπ.
3. Η γείωση **μέσω διακόπτη διαφυγής**, για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης.

Υπάρχουν δυο ειδών διακόπτες διαφυγής, τάσης (ΔΔΤ) και έντασης (ΔΔΕ). Ο διακόπτης διαφυγής τάσης παρακολουθεί την τάση ως προς γη των μεταλλικών περιβλημάτων όπου είναι συνδεδεμένος και αν αυτή υπερβεί τα 50 V τότε αποσυνδέει το κύκλωμα. Το γειωμένο άκρο του ΔΔΤ συνδέεται με ιδιαίτερο ηλεκτρόδιο γείωσης. Ο διακόπτης διαφυγής έντασης παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη. Αν αυτό



υπερβεί μία τιμή, συνήθως 30 mA, τότε αποξέυει το κύκλωμα. Σε αντιδιαστολή με τους ΔΔΤ, έχουμε εδώ και μία προστασία κατά της πυρκαγιάς, γιατί περιορίζεται άμεσα το ρεύμα διαρροής προς γη.

Στην εγκατάσταση μας επιλέγουμε θεμελιακή γείωση με διακόπτες διαφυγής έντασης. Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση θα γίνει στη βάση των στύλων και θα δημιουργήσουμε ένα κλειστό βρόγχο, με την χαλύβδινη ταινία ( με ελάχιστες διαστάσεις διατομής 30 mm x 3.5 mm) ή τον κυλινδρικό αγωγό ( με ελάχιστη διάμετρο 10 mm) που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι βυθισμένος περίπου 1 μέτρο στο έδαφος. Επειδή το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρό όλο το έτος συνήθως, ο θεμελιακός γειωτής έχει σχετικά χαμηλή αντίσταση γείωσης.

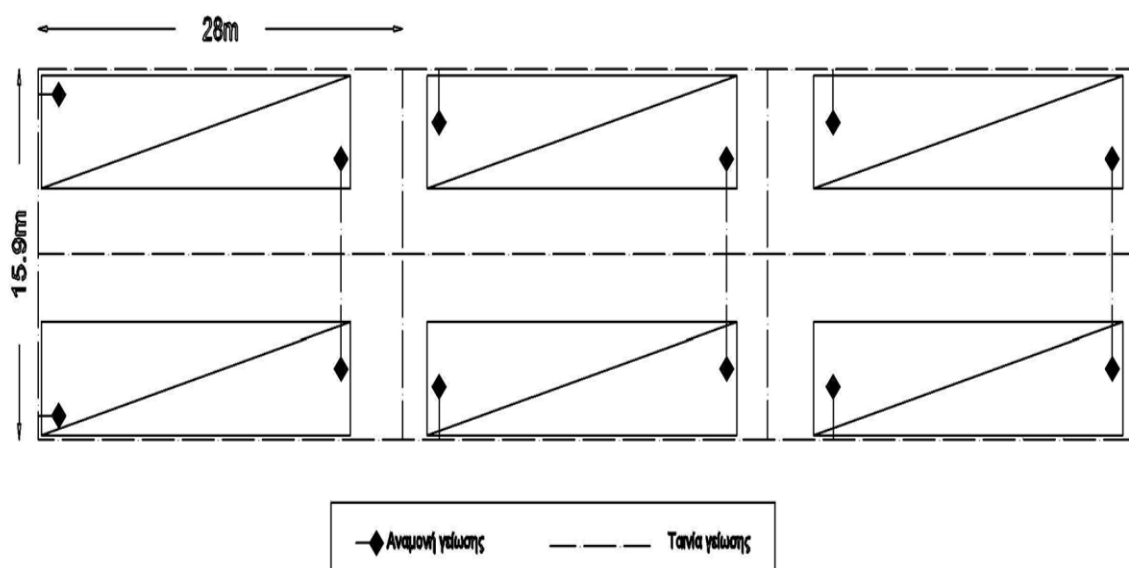
Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε ταινία γιατί επιτυγχάνουμε χαμηλότερη αντίσταση γείωσης. Το ηλεκτρόδιο γείωσης σε μορφή ταινίας που θα χρησιμοποιηθεί θα τοποθετηθεί με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής της κατακόρυφα. Επειδή η εγκατάσταση μας έχει αρκετά μεγάλη επιφάνεια θα προτιμήσουμε να δημιουργήσουμε μικρότερους βρόγχους που θα είναι περίπου 20m x 20m ο καθένας.

Τα εξαρτήματα που θα συνδέουν τους αγωγούς μεταξύ τους και μεταξύ του σιδηρού οπλισμού θα είναι κατασκευασμένα από γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα για να έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση αλλά και υψηλή αγωγιμότητα στο υπό διαρροή ρεύμα.

Οι λήψεις των συνδέσεων της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης με τη θεμελιακή γείωση, θα τοποθετηθούν όσο πιο κοντά στις θέσεις εγκατάστασης των πινάκων διανομής. Οι λήψεις είναι κατασκευασμένες από γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα για να έχουν ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Μπορεί να είναι σε μορφή ακροδέκτη γείωσης ή ζυγού γείωσης ή σε μορφή στρογγυλού αγωγού ή ταινίας. Πρέπει να επισημαίνονται (π.χ. με επικάλυψη ταινίας, χρωματισμό κλπ.) και να προστατεύονται κατάλληλα από φθορά κατά τη φάση κατασκευής της κατασκευής (π.χ. κτίριο). Τα εξαρτήματα σύνδεσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης και των ισοδυναμικών συνδέσεων με τις λήψεις της θεμελιακής γείωσης, καθώς και τα σημεία σύνδεσης των εξαρτημάτων διαστολής με τις λήψεις της θεμελιακής γείωσης πρέπει να έχουν αντοχή σε διάβρωση στο περιβάλλον που εγκαθίστανται, ικανότητα να άγουν το αναμενόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και επαρκή μηχανική αντοχή ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της ηλεκτρικής συνέχειας.

Εάν η θεμελιακή γείωση χρησιμοποιείται και ως γείωση αντικεραυνικής προστασίας, όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση μας, θα πρέπει οι συνδετήρες – σφιγκτήρες να έχουν υποστεί τις προβλεπόμενες εργαστηριακές δοκιμές των Προτύπων της σειράς ΕΛΟΤ EN 50164.

**ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΜΕΛΙΑΚΗΣ ΓΕΙΩΣΗΣ  
ΜΕ ΑΝΑΜΟΝΕΣ ΚΑΙ ΤΑΙΝΙΑ ΓΕΙΩΣΗΣ**



**Σχήμα 5.12** Αναπαράσταση θεμελιακής γείωσης

### 5.1.10 Διασύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ

Τα Φ/Β συστήματα ισχύος έως 100 kWp, συνδέονται στο δίκτυο Χ.Τ. υποχρεωτικά συνδέονται στο δίκτυο μέσω τριφασικής παροχής. Στην περίπτωση της τριφασικής σύνδεσης θα πρέπει να επιδιώκεται η συμμετρική φόρτιση των τριών φάσεων. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες της ΔΕΔΔΗΕ, το ποσοστό ασυμμετρίας μεταξύ των τριών φασικών ρευμάτων δεν μπορεί να υπερβαίνει το 20%.

Η έγχυση του παραγόμενου ρεύματος στο δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ γίνεται μέσω του μετρητή της ΔΕΔΔΗΕ όπου καταγράφεται η ποσότητα σε κιλοβατώρες. Οι προδιαγραφές της ΔΕΔΔΗΕ για τον εξοπλισμό και την ποιότητα του παραγόμενου ρεύματος είναι συγκεκριμένες και ελέγχονται από τη ΔΕΔΔΗΕ κατά την αίτηση για τη σύνδεση του συστήματος, που είναι το πρώτο στάδιο της διαδικασίας υλοποίησής του. Στην αίτηση σύνδεσης επισυνάπτονται τα τεχνικά εγχειρίδια και τα απαιτούμενα πιστοποιητικά του εξοπλισμού (IEC-EN 61215 ή 61646, IEC 61730-Class A) και το μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης.

#### 5.1.10.1 Αντιστροφείς

Οι αντιστροφείς της εγκατάστασης μας θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ασφαλείας για να συνδεθούν και να λειτουργήσουν αρμονικά με το δίκτυο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει:

- Τα όρια τάσης και συχνότητας των inverters είναι ρυθμιζόμενα και μπορούν να μεταβληθούν σε μικρότερο ή και μεγαλύτερο εύρος.

- Ο έλεγχος τάσης και συχνότητας του δικτύου γίνεται μέσω ηλεκτρονικών και εσωτερικού λογισμικού. Ο χρήστης δεν έχει πρόσβαση στο λογισμικό ούτε στις ρυθμίσεις.
  - Σε περίπτωση που οι τιμές των παραπάνω μεγεθών, τάσης ή συχνότητας ή ακόμα και των δύο μεταβληθούν εκτός των προκαθορισμένων ορίων, ο αντιστροφέας παύει την λειτουργία του (αποσυνδέεται αυτόματα) σε χρόνο μικρότερο των 0,5 Sec. Όταν το δίκτυο επανέλθει και η τάση και η συχνότητα βρίσκονται κανονικά στα προκαθορισμένα όρια, ο αντιστροφέας αυτόματα επανασυνδέεται σε 180 sec ( 3 λεπτά). Το MSD ή ENS, έχει γίνει προδιαγραφή για τους αντιστροφείς (inverters) που συνδέονται στα ηλεκτρικά δίκτυα της Γερμανίας καθώς και άλλων Ευρωπαϊκών χωρών και αποτελεί έναν συνδυασμό δύο ξεχωριστών μεθόδων ανίχνευσης και αποσύνδεσης.
  - Οι δύο διατάξεις είναι συνδεδεμένες σε σειρά στην έξοδο του αντιστροφέα και στον ουδέτερο, αλλά παρότι είναι συνδεδεμένες εν σειρά, ελέγχουν ανεξάρτητα. Οι δύο διατάξεις μετρούν την τάση, την συχνότητα και την σύνθετη αντίσταση του δικτύου. Ανάλογα με τις τιμές εύρους που καθορίζονται για το κάθε μέγεθος, μπορούν να διακόπτουν τη λειτουργία ανιχνεύοντας απομονωμένη λειτουργία, με την βοήθεια ηλεκτρονικών και αυτομάτων διακοπών.
- Ακόμη για προστατευτεί το δίκτυο από το φαινόμενο της νησιδοποίησης θα πρέπει:
- Εντός του αντιστροφέα να πραγματοποιείται μέτρηση της σύνθετης αντίστασης του δικτύου, σύμφωνα με το πρότυπο DIN VDE 0126. Η μέτρηση της σύνθετης αντίστασης του δικτύου, γίνεται με τη βοήθεια ενός μικρού παλμού ρεύματος που εισάγεται σε αυτό. Η διάταξη ανιχνεύει τη μεταβολή στην αντίσταση αυτή για κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα. Για τις οικιακές εφαρμογές, τυπικό κριτήριο απομονωμένης λειτουργίας έχει οριστεί το  $\Delta Z \geq 0.5 \Omega$ . Η τιμή αυτή εξαρτάται πάντα από τα χαρακτηριστικά του κεντρικού δικτύου και διαφέρει στους κανονισμούς από χώρα σε χώρα και σε δίκτυα της Ευρώπης φθάνει και  $\Delta Z \geq 1,2 \Omega$ . Η μέθοδος αυτή λόγω των συχνότατων ελέγχων προσφέρει μεγάλη αξιοπιστία στον έλεγχο για απομονωμένη λειτουργία. Οι inverters διακόπτουν την λειτουργία τους μέσα σε 5 sec, αν η σύνθετη αντίσταση του δικτύου μεταβληθεί πάνω από 0,5 Ω. ( $\Delta Z \geq 0.5 \Omega$ ).
  - Η εισαγωγή συνεχούς ρεύματος (χωρίς τη χρήση ΜΣ) πρέπει να είναι μικρότερη του 0,5% της ονομαστικής του τιμής.
  - Η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος (THDI) είναι μικρότερη από 4%.

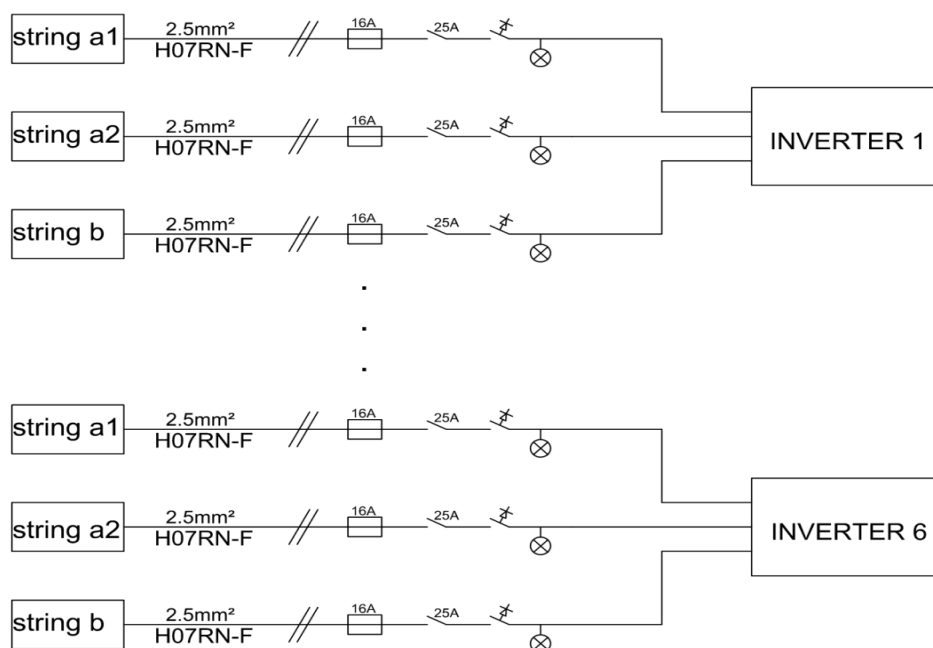
### 5.1.10.2 Καλώδια

Η σωστή επιλογή και τοποθέτηση των καλωδίων καθιστά ορθή και ασφαλή την λειτουργία του συστήματος, δίνουμε μεγάλη προσοχή στην πολικότητα κατά τη διασύνδεση της γεννήτριας. Επίσης, η διατομή και ο τύπος των καλωδίων (οπασδήποτε πολύκλινα, επικασσιτερωμένου χαλκού, σχεδιασμένα ειδικά για φωτοβολταϊκά συστήματα) είναι κατάλληλα για το συνολικό ρεύμα που θα πρέπει να άγουν. Απαιτείται η τοποθέτηση των ασφαλειών κατάλληλου τύπου και μεγέθους, και πάντα, αυτόματες ασφάλειες σχεδιασμένες για συνεχές ρεύμα. Τέλος, τοποθετούμε τις απαραίτητες διατάξεις ζεύξης / απόζευξης των συλλεκτών, ώστε να είναι ασφαλής εγκατάσταση και απεγκατάσταση τους χωρίς τον κίνδυνο δημιουργίας τόξου (ARC) το οποίο μπορεί να καταστρέψει τους ακροδέκτες ή και να προκαλέσει ατύχημα ή τραυματισμό.

Οι συλλέκτες τοποθετούνται έτσι ώστε το πλαίσιο να γειώνεται σωστά. Ακόμη γειώνονται στο ίδιο σημείο, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η συνεχής γείωση όλων των συλλεκτών ακόμη και σε περίπτωση αφαίρεσης μίας ή περισσότερων γεννητριών.

Τα φ/β πλαίσια διαθέτουν δικά τους καλώδια ενσωματωμένα στο κιβώτιο σύνδεσης, διαμέτρου 2,5mm<sup>2</sup> και μήκους 1,2 και 0,8 μέτρων το (+) και το (-) αντίστοιχα. Το καλώδια αυτά διαθέτουν αρσενικό και θηλυκό βίσμα ώστε η μεταξύ τους σύνδεση να γίνεται με ευκολία και ασφάλεια. Στο εσωτερικό του κιβωτίου σύνδεσης υπάρχουν 3 δίοδοι by-pass οι οποίοι είναι τοποθετημένοι από τον κατασκευαστή με σκοπό να περιοριστούν οι βλάβες από σκίαση.

Η σύνδεση της κάθε συστοιχίας με τον αντιστροφέα γίνεται με καλώδια νεοπρενίου τα οποία ενδείκνυνται για υψηλή καταπόνηση και αντοχή στα καιρικά φαινόμενα. Η διατομή τους θα είναι 2,5mm<sup>2</sup> και θα μεταφέρουν ρεύμα έντασης 7,61 A. Η διατομή τους υπολογίστηκε με βάση το ρεύμα που αναφέραμε και ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο H07RN-F (νεοπρενίου) τα οποία είναι κατάλληλα για μεσαία και υψηλή καταπόνηση και παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Παρακάτω παρουσιάζεται το μονογραμμικό σχέδιο της σύνδεσης των συστοιχιών με τον αντιστροφέα.

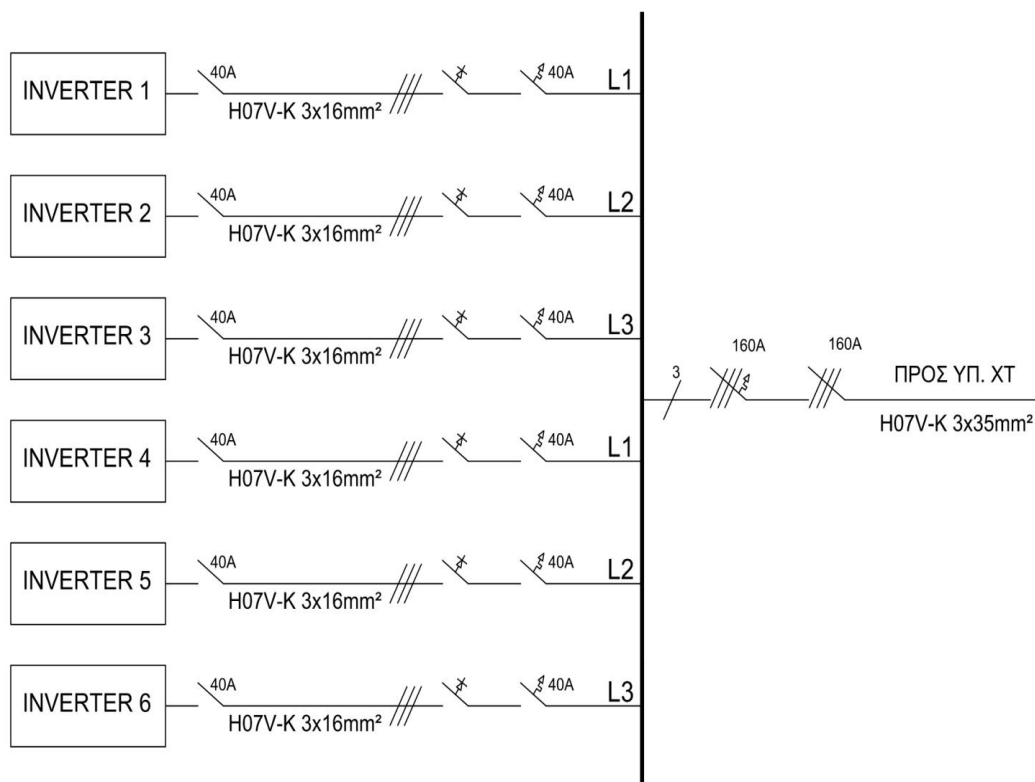


Σχήμα 5.13 Μονογραμμικό σχέδιο από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος

Στην άλλη μεριά η σύνδεση του αντιστροφέα με τον πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης γίνεται με καλώδια τύπου H07V-K διατομής 3×16mm<sup>2</sup>. Οι απώλειες των καλωδίων αυτών δεν θέλουμε να ξεπερνούν το 1%, όπως χαρακτηριστικά ορίζεται στα εγχειρίδια κατασκευαστών. Οι απώλειες εξαρτώνται τόσο από τη διατομή των αγωγών όσο και από το μήκος τους.

Για τη συγκεκριμένη διατομή που επιλέχτηκε, η απαίτηση οι απώλειες να περιορίζονται στο 1% ικανοποιείται όταν το μήκος των καλωδίων δεν ξεπερνάει τα 31,1m. Η θέση του πίνακα στην εγκατάσταση ικανοποιεί εύκολα την απαίτηση αυτή. Τα καλώδια στον πίνακα ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και έπειτα αναχωρούν για τη σύνδεσή τους με την ΧΤ του δικτύου με καλώδια τύπου H07V-K διατομής 5×35mm<sup>2</sup> και προστατεύονται με διακόπτη μικροαυτόματο 160Α και απόζεύκτη επίσης 160Α.

Τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούμε είναι μια ασφάλεια τήξης σε συνδυασμό με έναν ασφαλειοαποζεύκτη, διακόπτη διαρροής έντασης και ενδεικτική λυχνία. Οι ασφάλειες θα είναι των 16 Α και οι διακόπτες των 25 Α ενώ οι διακόπτες διαφυγής έντασης θα είναι των 30 mA. Όλη η διάταξη προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο. Ακόμη στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην έξοδο του αντιστροφέα, θα υπάρχει επίσης διακόπτης διαφυγής έντασης και μικροαυτόματος διακόπτης των 40 Α.

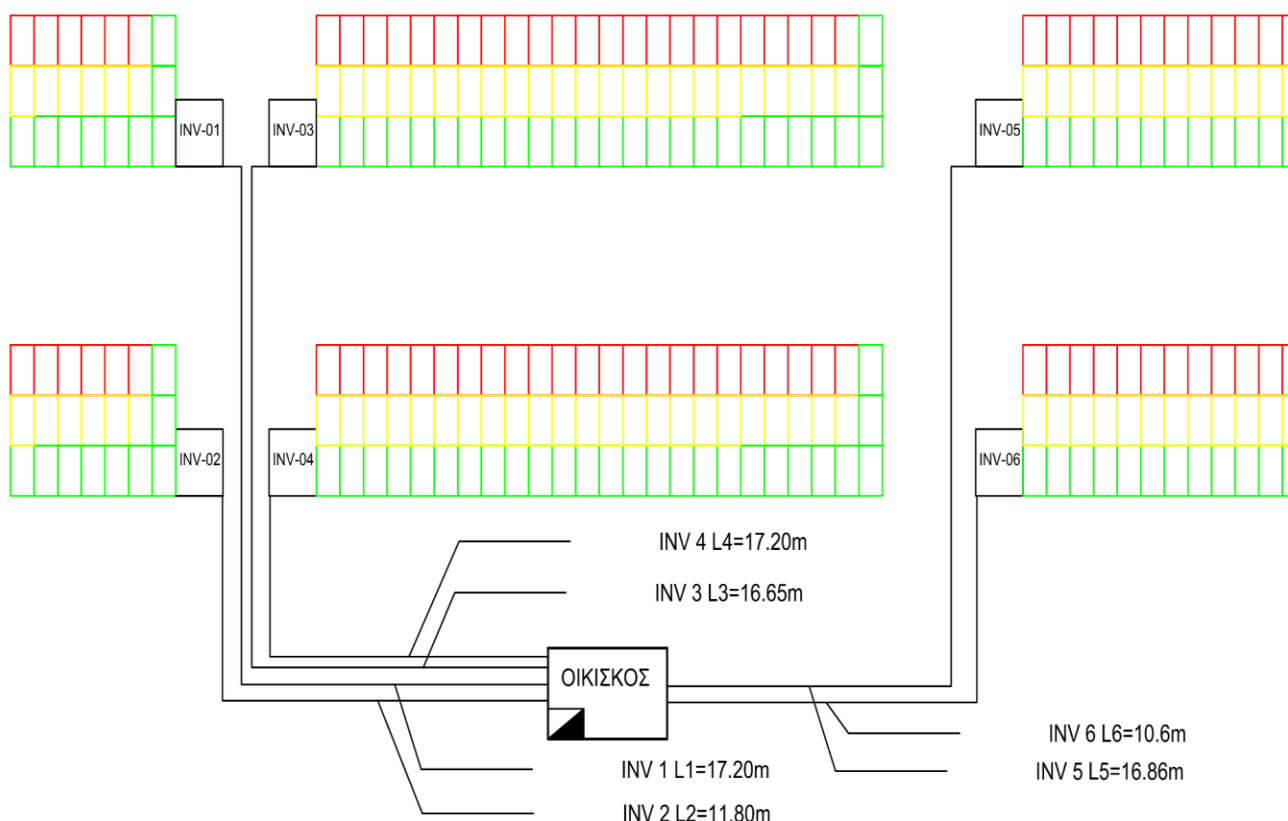


**Σχήμα 5.14** Μονογραμμικό σχέδιο από την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος

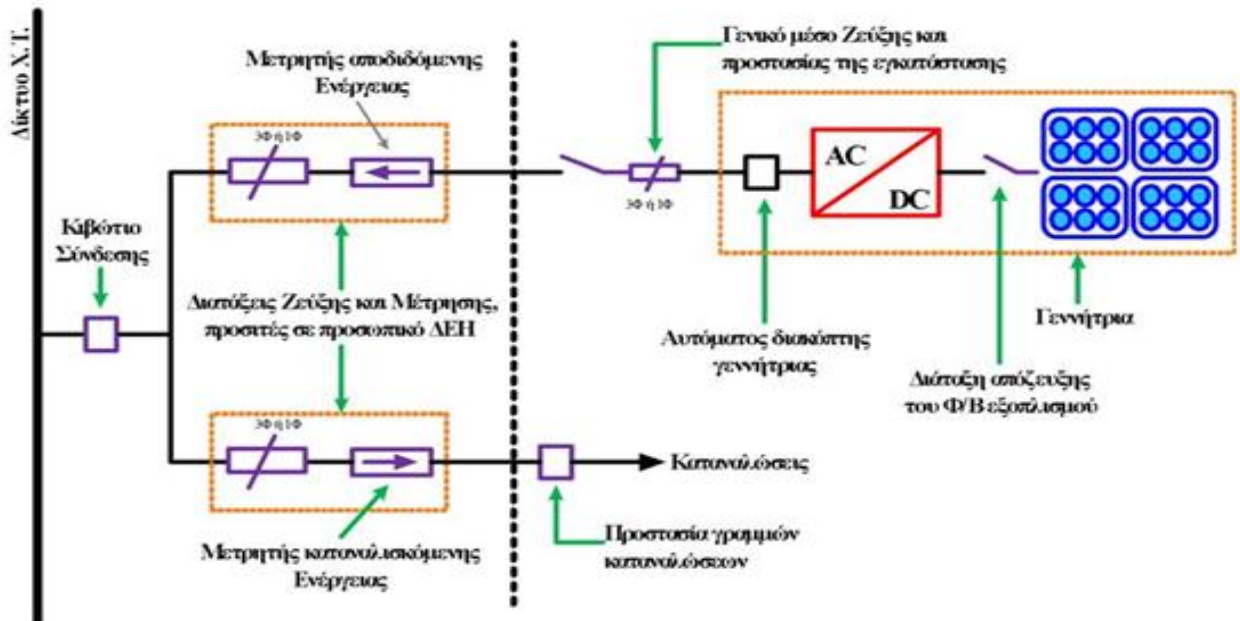
### 5.1.10.3 Οικίσκος

Ο οικίσκος θα περιέχει έναν πίνακα χαμηλής τάσης όπου θα συγκεντρώνονται τα καλώδια συνεχούς ρεύματος όλων των αντιστροφών. Τα καλώδια αυτά ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και έπειτα αναχωρεί μια τριφασική γραμμή για να συνδεθεί με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ. Ο οικίσκος αυτός θα πρέπει να είναι τοποθετημένος τουλάχιστον 2.5 μέτρα πιο μακριά από τα όρια του οικοπέδου. Έχει διαστάσεις περίπου 5 x 3 μέτρα και 2.5 μέτρα ύψος. Η θέση του πίνακα στην εγκατάσταση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον περιορισμό των απωλειών λόγω του μήκους των καλωδίων. Εμείς θα τοποθετήσουμε τον πίνακα, ο οποίος θα βρίσκεται εντός του οικίσκου, όσο πιο κοντά στο μετασχηματιστή του δικτύου έτσι ώστε το τριφασικό καλώδιο παροχής από τον πίνακα προς το μετασχηματιστή να είναι κατά το δυνατόν πιο κοντό. Έτσι περιορίζουμε πολύ το μήκος αυτού του καλωδίου το οποίο είναι αρκετά ακριβό και σε μεγάλο μήκος έχει σημαντικές απώλειες. Ο πίνακας αυτός, pillar, είναι πίνακας διανομής, τροφοδότησης κινητήρων φωτισμού για υπαίθρια εγκατάσταση, όπου απαιτείται μεγάλη στεγανότητα λόγω των αντίξωων καιρικών συνθηκών.

#### **ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΟΙΚΙΣΚΟΥ ΣΤΟ ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΜΕ ΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΧΩΡΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΘΕ**



**Σχήμα 5.15** Αναπαράσταση οικίσκου στο οικόπεδο με τα καλώδια που αντιστοιχούν σε κάθε INVERTER



Σχήμα 5.16 Διατάξεις προσαπός διασύνδεσης στο δίκτυο Χ.Τ.



Εικόνα 5.1 Απεικόνιση πίνακα χαμηλής τάσης -PILLAR

#### **5.1.10.4 Χωματουργικές Εργασίες – Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου**

Οι χωματουργικές εργασίες που απαιτείται να γίνουν για να υλοποιηθεί η εγκατάσταση μας. Αρχικά θα γίνει περίφραξη σε απόσταση 4 μέτρων από τα όρια του οικοπέδου όπως ορίζεται από την ανάλογη νομοθεσία ώστε το πάρκο να είναι προστατευμένο από διάφορους παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν φθορές στο σύστημα μας. Έπειτα θα εκτελεστούν οι εργασίες εκσκαφής για την τοποθέτηση των τσιμέντων και τέλος θα δημιουργηθεί και ένα όρυγμα στο οποίο θα είναι τοποθετημένα τα καλώδια που θα φεύγουν από τον κάθε αντιστροφέα και θα καταλήγουν στο οικίσκο. Το όρυγμα αυτό θα έχει μήκος πλάτος και βάθος 1m, και μέσα θα είναι τοποθετημένες οι σχάρες που θα φέρουν τα καλώδια, και θα τα προστατεύουν από διάφορες φθορές που μπορεί να προκληθούν από την υγρασία του εδάφους ή από άλλους παράγοντες .

Για την παρακολούθηση του πάρκου θα τοποθετηθούν περιμετρικά κάμερες οι οποίες θα καλύπτουν όλη την εγκατάσταση. Οι κάμερες που θα χρησιμοποιήσουμε θα έχουν ακτίνα εμβέλειας μέχρι 30 m και θα τοποθετηθούν σε μεταλλικούς στύλους ύψους 3m για να έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης όλης της εγκατάστασης. Παρακάτω παρουσιάζεται και η αντίστοιχη σχηματική αναπαράσταση τοποθέτησης και εμβέλειας της κάθε κάμερας με ακτίνα 30m.

Για την παρακολούθηση και καταγραφή των δεδομένων της εγκατάστασης, κάτι που είναι ιδιαίτερος σημαντικό, θα χρησιμοποιήσουμε το σύστημα ελέγχου της εταιρίας SMA, SunnyBoy Control με το λογισμικό SunnyData Control. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να εγκατασταθεί στους περισσότερους, αν όχι σε όλους τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έπειτα έχει τη δυνατότητα να καταγράψει ένα σημαντικό όγκο δεδομένων της φ/β εγκατάστασης, και να αποστέλλει μια αναφορά σε ωριαία ή ημερήσια βάση, η οποία προσφέρει στον ιδιοκτήτη την δυνατότητα ελέγχου του συστήματος από το χώρο που βρίσκεται κάθε φορά. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να σταλθούν με Fax ή και μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Το σύστημα αυτό απαιτεί την εγκατάσταση ενός εξωτερικού μόντεμ μέσω του οποίου στέλνονται τα στοιχεία της εγκατάστασης. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον ιδιοκτήτη να παρακολουθεί την εγκατάσταση του, να ελέγχει την απόδοση αυτού, και να αντιμετωπίζει άμεσα τυχόν σφάλματα που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα. Με ένα μόνο SunnyBoy Control δίνεται είναι εφικτή η παρακολούθηση έως και 50 αντιστροφέων. Η μεταξύ τους επικοινωνία γίνεται είτε μέσω αγωγού δικτύου PowerLine είτε μέσω διεπαφής RS485.

## **5.2 Οικονομική αξιολόγηση**

Παρακάτω αναλύεται τεchnοοικονομικά ο φωτοβολταϊκός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος 100 kW, έτσι ώστε να εξεταστεί και να προκύψει το κόστος της εγκατάστασης, και η βιωσιμότητα της επένδυσης από τα έσοδα που θα προκύψουν. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε πως τα έσοδα της εγκατάστασης θα προέλθουν από ίδια κεφάλαια κατά ένα μέρος ,ενώ τα υπόλοιπα από έντοκο δανεισμό. Το έργο αυτό, δεν εντάσσεται σε κάποιο πρόγραμμα επιδότησης, όπως είθισται να συμβαίνει παλαιότερα με ανάλογες κατασκευές φωτοβολταϊκών γεννητριών. Αρχικά παρουσιάζουμε αναλυτικά το συνολικό κόστος της κατασκευής όπως φαίνεται παρακάτω:



ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 100 Kw					
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ/ΤΕΜΑΧΙΟ	ΣΥΝΟΛΟ	ΣΥΝΟΛΑ ΟΜΑΔΟΣ
<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ</b>					
1	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	434	186,3	80.854,20 €	<b>104.854,20 €</b>
2	ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ	6	4.000,00	24.000,00 €	
<b>ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ</b>					
1	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ	6	4617	27.702,00 €	<b>49.202,00 €</b>
2	ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΝΙΚΟΣ	1	2500	2.500,00 €	
3	ΠΙΝΑΚΕΣ DC	6	500	3.000,00 €	
4	ΛΟΙΠΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ	1	13000	13.000,00 €	
5	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	1	3000	3.000,00 €	
<b>ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ</b>					
1	ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ	396	15	5.940,00 €	<b>9.940,00 €</b>
2	ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ	1	3000	3.000,00 €	
3	ΟΙΚΙΣΚΟΣ	1	1000	1.000,00 €	
<b>ΤΗΛΕΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b>					
1	DATA LOGGER	1	800	800,00 €	<b>3.000,00 €</b>
2	ΚΑΜΕΡΕΣ	4	300	1.200,00 €	
3	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	1	1.000,00	1.000,00 €	
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>166.996,20 €</b>

**Πίνακας 5.17 Κόστος Φ/Β πάρκου ισχύος 100 KW**

Παρατηρούμε, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, πως το κόστος της συνολικής εγκατάστασης, πλέον Φ.Π.Α, ανέρχεται περίπου στο ποσό των **167.000 €**.

Έπειτα παρουσιάζουμε την τιμή αγοράς της ενέργειας από τον ΔΕΔΔΗΕ. Εδώ αξίζει να αναφέρουμε, συνοπτικά, κάποιες τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν και ανακοινώθηκαν έκτακτα στις 11-08-2012, οι οποίες αφορούν τις νέες συμβάσεις έργων τόσο τα φωτοβολταϊκά πάρκα στέγης, όσο και τα πάρκα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος μεγαλύτερης από 10 kW.

**1.Μείωση της εγγυημένης τιμής της κιλοβατώρας (feed-in tariff) για νέα φωτοβολταϊκά έργα.**

Οι μειώσεις στις εγγυημένες τιμές αγοράς της ενέργειας από φωτοβολταϊκά φθάνουν μέχρι 46% (οι μεγαλύτερες μειώσεις έγιναν στα φωτοβολταϊκά σε στέγες)

και, οι τιμές θα μειώνονται κάθε εξάμηνο για τα επόμενα χρόνια. Για την τρέχουσα περίοδο από τον Αύγουστο του 2012, οι τιμές διαμορφώνονται ως εξής:

- Για μονάδες ισχύος πάνω από 100 κιλοβάτ στο διασυνδεδεμένο σύστημα: 180 ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh) (από 271,64).
- Για μονάδες κάτω από 100 κιλοβάτ στο διασυνδεδεμένο σύστημα (ηπειρωτική Ελλάδα) και για μονάδες ανεξαρτήτως ισχύος στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα(νησιά), 225 ευρώ ανά μεγαβατώρα (από 305,6).
- Για τα φωτοβολταϊκά στις στέγες η τιμή πέφτει στα 250 ευρώ ανά μεγαβατώρα, από 470,25.

Το υπουργείο επισήμανε στην ανακοίνωση ότι οι εγγυημένες τιμές κιλοβατώρας (feed in tariff) ήταν από τις υψηλότερες στην Ευρώπη, και ότι καθορίστηκαν σε μια χρονική περίοδο που το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών ήταν αρκετά υψηλό, ενώ σήμερα έχει μειωθεί δραστικά (περίπου 50%). Οι μειώσεις της τιμής αφορούν τα νέα έργα, δεν έχουν δηλαδή αναδρομική ισχύ και δεν αφορούν έργα που λειτουργούν.

## **2.Αναστολή νέων αδειών.**

Η αναστολή αποφασίστηκε, αφού οι υπάρχουσες υπογεγραμμένες συμβάσεις ξεπερνούν τους στόχους της χώρας για το 2020.

## **3.Παρακράτηση του 25% του τέλους ΕΡΤ για τον λογαριασμό των ΑΠΕ.**

Τα έσοδα από την παρακράτηση αυτή εκτιμάται ότι θα φθάσουν στα 75 εκατ. ευρώ το χρόνο.

Στη δική μας περίπτωση η φ/β εγκατάσταση, έχει σύμβαση έργου στα 22,5 λεπτά/κιλοβατώρα.

<b>ΤΙΜΟΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΚΙΛΟΒΑΤΩΡΑΣ</b>			
<b>ΕΤΟΣ</b>	<b>ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ (ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ) &gt;100kW</b>	<b>ΔΙΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ &lt;= 100kW και ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ</b>	<b>ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΤΕΓΕΣ</b>
2012 Άυγουστος	18,000	22,500	25,000
2013 Φεβρουάριος	17,190	21,488	23,875
2013 Άυγουστος	16,416	20,521	22,801
2014 Φεβρουάριος	15,678	19,597	21,775
2014 Άυγουστος	14,972	18,715	20,795

**Πίνακας 5.18:** Τιμοκατάλογος κιλοβατώρας για διασυνδεδεμένες και μη περιοχές

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την βιωσιμότητα της επένδυσης μας και τα προσδοκώμενα κέρδη που θα αποφέρει.

### **5.2.1 Βιωσιμότητα και οικονομικά δεδομένα επένδυσης**

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε πως το οικόπεδο διατίθεται από το δήμο, άρα δεν χρειάζεται να διαθέσουμε κεφάλαιο για την αγορά οικοπέδου. Επιπλέον θεωρούμε

πως η συνολική επένδυση θα καλυφθεί κατά 40% από ίδια κεφάλαια και κατά 60% από δανεισμό.

<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ</b>	
<b>1. Γενική περιγραφή</b>	
1.1 Συνολική ισχύς σταθμού	<b>99.820kWp</b>
1.2 Στατιστικές ώρες	<b>166h</b>
1.3 Ετήσια παραγωγή ενέργειας	<b>164.040kWh</b>
<b>2. Συνολική επένδυση</b>	
2.1 Κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης	<b>167.000€</b>
2.2 Κόστος απόκτησης οικοπέδου	<b>0€</b>
2.3 Συνολικό κόστος	<b>167.000€</b>
2.4 Ιδία κεφάλαια	<b>66.800€</b>
2.5 Δανεισμός	<b>100.200€</b>
2.6 Επιτόκιο αναγωγής	<b>7%</b>
<b>3 Τιμές πώλησης</b>	
3.1 Τιμή πώλησης kWh	<b>22.5€/MWh</b>
<b>4 Ετήσια αποτελέσματα</b>	
4.1 Έσοδα από πώληση ενέργειας	<b>36.909€</b>
4.2 Λειτουργικά έξοδα (με προσάυξηση 2,5% ετησίως)	<b>600€</b>
4.3 Έξοδα ασφάλισης (με προσάυξηση 2.5 % ετησίως)	<b>1000€</b>
4.4 Συντελεστής φόρων	<b>25%</b>
4.5 Μικτό κέρδος (χωρίς εξυπηρέτηση δανείου)	<b>35.309€</b>
4.6 Καθαρό ετήσιο κέρδος	<b>26.482€</b>

**Πίνακας 5.19 Οικονομικά δεδομένα του Φ/Β σταθμού**

<b>ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ ΔΑΝΕΙΟΥ</b>				
<b>1 Όροι δανείου</b>				
1.1 Ποσό δανείου				<b>100.200€</b>
1.2 Ετήσιο επιτόκιο				<b>7%</b>
1.3 Διάρκεια δανείου				<b>15 Έτη</b>
<b>2. Αποπληρωμή δανείου</b>				
	<i>ΕΤΗ</i>	<i>ΧΡΕΟΛΥΣΙΟ</i>	<i>ΤΟΚΟΙ</i>	<i>ΤΟΚΟΧΡΕΟΛΥΤΙΚΗ ΔΟΣΗ</i>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>15</b>	<b>100.200 €</b>	<b>64.280 €</b>	<b>164.480 €</b>

**Πίνακας 5.19** Δανειακή σύμβαση με τους όρους και την αποπληρωμή της

Παρατηρούμε λοιπόν πως η ετήσια χρεολυτική δόση θα κυμαίνεται περίπου στα **10.965€**. Με τα καθαρά έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει, πως αν όλα τα έσοδα διατεθούν για την αποπληρωμή του δανείου αυτό μπορεί να αποπληρωθεί σε 6,2 έτη. Αν στην πορεία θελήσουμε να αποπληρωθούν τα ίδια κεφάλαια, ως απόσβεση, αυτό θα χρειαστεί 2,5 έτη. Η συνολική απόσβεση δηλαδή, θα διαρκέσει περίπου 9 χρόνια. Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως τα οικονομικά μεγέθη του δανείου και της αποπληρωμής του, δεν είναι ακριβή διότι το επιτόκιο του δανείου και η φορολόγηση του πάρκου είναι δύο μεταβλητές οι οποίες μπορούν να πάρουν άλλες διαστάσεις, ανάλογα με την προτίμηση του εργοδότη. Για παράδειγμα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής δανείου με σταθερό, βασικό κυμαινόμενο ή κυμαινόμενου επιτοκίου Euribor 1,3 ή 6 μηνών. Ακόμη η εγκατάσταση μπορεί να ενταχθεί σε εταιρία, η οποία θα συσταθεί από τον ή τους εργοδότες, όπου η φορολόγηση είναι διαφορετική. Στα παραπάνω δεν θα εισέλθουμε σε περισσότερες λεπτομέρειες γιατί είναι αντικείμενο που ξεφεύγει από τα πλαίσια αυτής της μελέτης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Εξαγόμενα Συμπεράσματα Μελέτης

#### 6.1 Συμπεράσματα

Με ζητούμενο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μαρίνας της Ίου, προκύπτει το θέμα της παραπάνω μελέτης. Η ολοκληρωτική κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων, είναι μία παράμετρος η οποία βασίζεται σε δύο μεταβλητές. Η πρώτη είναι η ζήτηση και η δεύτερη η προσφορά της ενέργειας. Έτσι λοιπόν η μελέτη ξεκινάει με την προσπάθεια υπολογισμού και αποτύπωσης των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας, και κατ' επέκταση της ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αποδίδεται στην περιοχή κατασκευής του πάρκου. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί καθολική ενεργειακή κάλυψη, της κατανάλωσης, δηλαδή της μαρίνας. Εδώ πρέπει να αναφερθεί, πως υπάρχει η δυνατότητα επιλογής, ανάμεσα σε μια ευρεία γκάμα προγραμμάτων υπολογισμού της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο, για τον οποίο πραγματοποιείται η μελέτη. Εδώ, γίνεται η επιλογή του συγκεκριμένου προγράμματος το οποίο έχει την εγγύηση της ευρωπαϊκής υπηρεσίας, και θεωρείται ότι είναι ένα πρόγραμμα ιδιαίτερα αξιόπιστο στα αποτελέσματα του.

Στην πορεία αφού έχουν υπολογιστεί τα μεγέθη της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας, απομένει να γίνει η επιλογή, αν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια που θα εγκατασταθεί, θα είναι αυτόνομη ή διασυνδεδεμένη με το δίκτυο της ΔΕΔΔΗΕ. Στην περίπτωση της εγκατάστασης ενός αυτόνομου πάρκου απαιτούνται τεράστια κεφάλαια, για την απόκτηση συσσωρευτών. Έτσι το σενάριο του διασυνδεδεμένου συστήματος είναι αυτό το οποίο τίθεται σε εφαρμογή και μελετάται.

Η δημιουργία ενός τέτοιου τεχνικού έργου, είναι ένα σύνθετο και πολυπαραμετρικό πρόβλημα. Οι παράμετροι αυτοί, είναι η επιλογή των μηχανικών μερών του έργου, όπως για παράδειγμα οι αντιστροφείς, οι ηλιακοί συλλέκτες κ.λ.π., αλλά και η διαστασιολόγηση του πάρκου δηλαδή η κλίση των πλαϊσίων και η κατεύθυνση τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Όλα τα προηγούμενα πρέπει να ταιριάζουν αρμονικά μεταξύ τους, και να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση τους, σε βάθος χρόνου, εφόσον αναφερόμαστε σε μια κατασκευή η οποία μπορεί να έχει διάρκεια ζωής και λειτουργίας από 25 έως και 30 χρόνια.

Η επιλογή των μηχανικών μερών της εγκατάστασης, και σύμφωνα αυτά που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο, γίνεται με βάση την αξιοπιστία και την απόδοση. Επιλέγονται στοιχεία, τα οποία προέρχονται από αναγνωρισμένες, στο χώρο, κατασκευάστριες εταιρίες, ώστε η εγκατάσταση να έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση, τώρα, αλλά και στο μέλλον. Μια ακόμη σημαντική προϋπόθεση, είναι η ασφαλής λειτουργία του πάρκου. Τα συστήματα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας, τα οποία είναι υπεύθυνα για την προστασία του πάρκου, πρέπει να είναι υψηλών προδιαγραφών ώστε να παρέχεται εγγύηση για την ασφαλή λειτουργία του.

Η οικονομική αξιολόγηση που γίνεται στη συνέχεια μας δείχνει ότι η υλοποίηση του έργου είναι εφικτή και προσεγγίσιμη για κάποιον που θέλει να επενδύσει στις ΑΠΕ. Με μια ματιά θα παρατηρήσει κανείς, πως οι τιμές για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου έχουν μειωθεί σημαντικά το τελευταίο διάστημα, ενώ η τιμή αγοράς της κιλοβατώρας έχει μειωθεί δυσανάλογα, ως προς όφελος του επενδυτή. Έτσι εξηγείται και η ξαφνική ανακοίνωση του ΥΠΕΚΑ για αναστολή των νέων αδειών.

Το έργο αυτό είναι ένα έργο μεσαίας κλίμακας, από άποψη ισχύος, έκτασης και διάθεσης οικονομικών πόρων. Το αποτέλεσμα όμως δείχνει πως τεχνικά έργα σαν και αυτό, μπορούν να αποδώσουν πολύ καλά αποτελέσματα και οφέλη στον καταναλωτή, στην κοινωνία, στο περιβάλλον. Για να παραχθεί ένας ηλιακός συλλέκτης, το υλικό που χρησιμοποιείται είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ένα στοιχείο που υπάρχει σε αφθονία στην επιφάνεια της γης και μπορεί να συσσωρευτεί σχετικά εύκολα και γρήγορα σε μεγάλες ποσότητες. Στην αρχική του μορφή το βρίσκουμε να είναι σε πρόσμιξη με άνθρακα. Για να διασπαστεί ο άνθρακας με το πυρίτιο και να μείνει το δεύτερο στοιχείο για επεξεργασία, απαιτείται θέρμανση στους 1800 °C. Αντιλαμβάνεται κανείς πως πρόκειται για ένα πολύ μεγάλο ποσό ενέργειας, ενώ, μελέτες έχουν δείξει πως για να παρασκευαστεί ένα πάνελ, ένα άλλο πρέπει να λειτουργεί και να παράγει ενέργεια για 10 χρόνια, για να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις κατασκευής του. Από τη στιγμή όμως που μιλάμε για διάρκεια λειτουργίας 25 με 30 έτη εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως κάθε ηλιακός συλλέκτης λειτουργεί για 15 με 20 χρόνια χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον, και να παράγει ενέργεια.

Η Ελλάδα χρειάζεται ένα στρατηγικό εθνικό σχέδιο επέκτασης των ΑΠΕ. Οι τεράστιες δυνατότητες σε ήλιο αλλά και άνεμο, σε συνδυασμό με την χαμηλή τιμή κατασκευής μπορούν να την καταστήσουν πρωταγωνιστή στο ευρύτερο ενεργειακό χάρτη.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Σχηματική αναπαράσταση του Φ/Β πάρκου μέσω AutoCad

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### SUNNY TRIPOWER 8000TL / 10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL



STP 8000TL-10 / STP 10000TL-10 / STP 12000TL-10 / STP 15000TL-10 / STP 17000TL-10

#### Υψηλή απόδοση με χαμηλό κόστος

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης της τάξεως του 98,2 %
- Βέλτιστη προσαρμογή του βαθμού απόδοσης μέσω του συστήματος ελέγχου MPP OptiTrac Global Peak της SMA
- Επικοινωνία Bluetooth®

#### Ασφάλεια

- Τριπλή προστασία μέσω του συστήματος Orfitprotect: ηλεκτρονική ασφάλεια στοιχειοσειρών, έξυπνη αναγνώριση σφάλματος στοιχειοσειρών, ενσωματωμένο απαγωγό υπέρτασης DC (τύπου II)

#### Ευελιξία

- Τάση εισόδου DC έως 1.000 V
- Ενσωματωμένες λειτουργίες διαχείρισης δικτύου
- Ακριβής σχεδιασμός εγκατάστασης μέσω του συστήματος Orfitflex

#### Ευκολία

- Τριφασική τροφοδοσία
- Σύνδεση καλωδίων χωρίς εργαλεία
- Ενιαίο σύστημα σύνδεσης DC SUNCLIX
- Εύκολα προσβάσιμη περιοχή συνδέσεων

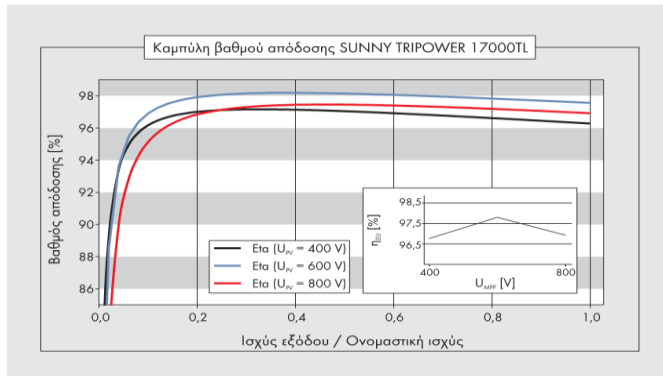
### SUNNY TRIPOWER 8000TL / 10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL

Τριφασικός για εύκολο σχεδιασμό του συστήματος

Τεχνολογία του μέλλοντος: ο τριφασικός μετατροπέας Sunny Tripower διαθέτει μέγιστη ευελιξία κατά το σχεδιασμό μίας εγκατάστασης χάρη στη νέα τεχνολογία Orfitflex με δύο εισόδους ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος MPP και με μεγάλο εύρος πινών τάσης εισόδου και έτσι ενδείκνυται για τη διαστασιολόγηση με κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ο Sunny Tripower πληροί όλες τις απαιτήσεις, παραδείγματος χάριν για την παροχή αέργου ισχύος και την υποστήριξη δικτύου, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο αξιόπιστα στη διαχείριση του δικτύου. Το σύστημα ασφάλειας Orfitprotect με εντοπισμό βλάβης στοιχειοσειρών, ηλεκτρονική ασφάλεια των στοιχειοσειρών και ενσωματωμένο απαγωγό υπέρτασης DC Τύπου II, εξασφαλίζει την υψηλή διαθεσιμότητα του μετατροπέα.

#### Απεικόνιση αντιστροφεία










### Εξαρτήματα



<sup>1</sup> Δεν ισχύει για όλα τα εθνικά παραρτήματα του προτύπου EN 50438  
<sup>2</sup> Σημαντικό στην περίπτωση ασφάλειας βραχυκύκλωσης της ηλεκτρονικής ασφάλειας στοιχειοσειρών  
<sup>3</sup> Στο στάδιο του σχεδιασμού  
 Προσωρινά στοιχεία, τελευταία ενημέρωση Σεπτέμβριος 2012

Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 17000TL
10200 W	12250 W	15340 W	17410 W
1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
320 V - 800 V / 600 V	380 V - 800 V / 600 V	360 V - 800 V / 600 V	400 V - 800 V / 600 V
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
22 A / 11 A	22 A / 11 A	33 A / 11 A	33 A / 11 A
33 A / 12,5 A	33 A / 12,5 A	40 A / 12,5 A	40 A / 12,5 A
2 / A:4, B:1	2 / A:4, B:1	2 / A:5, B:1	2 / A:5, B:1
10000 W	12000 W	15000 W	17000 W
10000 VA	12000 VA	15000 VA	17000 VA
3 / N / PE, 220 / 380 V	3 / N / PE, 220 / 380 V	3 / N / PE, 220 / 380 V	3 / N / PE, 220 / 380 V
3 / N / PE, 230 / 400 V	3 / N / PE, 230 / 400 V	3 / N / PE, 230 / 400 V	3 / N / PE, 230 / 400 V
3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 240 / 415 V
160 V - 280 V	160 V - 280 V	160 V - 280 V	160 V - 280 V
50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
16 A	19,2 A	24 A	24,6 A
1	1	1	1
0,8με υπερδιέγερση ... 0,8με υποδιέγερση 3 / 3	0,8με υπερδιέγερση ... 0,8με υποδιέγερση 3 / 3	0,8με υπερδιέγερση ... 0,8με υποδιέγερση 3 / 3	0,8με υπερδιέγερση ... 0,8με υποδιέγερση 3 / 3
98,1 % / 97,7 %	98,1 % / 97,7 %	98,2 % / 97,8 %	98,2 % / 97,8 %
● ● / ● ○ ● / ● / - ● I / III	● ● / ● ○ ● / ● / - ● I / III	● ● / ● ○ ● / ● / - ● I / III	● ● / ● ○ ● / ● / - ● I / III
665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 in)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 in)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 in)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 in)
59 kg (130,07 lb)	59 kg (130,07 lb)	59 kg (130,07 lb)	59 kg (130,07 lb)
-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
51 dB(A)	51 dB(A)	51 dB(A)	51 dB(A)
1 W	1 W	1 W	1 W
Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool	Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool	Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool	Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool
IP65	IP65	IP65	IP65
4K4H	4K4H	4K4H	4K4H
100 %	100 %	100 %	100 %
SUNCLIX / Ελατηριωτός συνδετήρας	SUNCLIX / Ελατηριωτός συνδετήρας	SUNCLIX / Ελατηριωτός συνδετήρας	SUNCLIX / Ελατηριωτός συνδετήρας
Γράφημα	Γράφημα	Γράφημα	Γράφημα
○ / ● / ○ / ○	○ / ● / ○ / ○	○ / ● / ○ / ○	○ / ● / ○ / ○
○ / ○	○ / ○	○ / ○	○ / ○
● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
CE, VDE0126-1-1, RD 661/2007, G59/2, PPC, AS4777, S14777, EN 50438 <sup>1</sup> , C10/11, PPDS, IEC 61727, UTE C15-712-1, VDEAR-N 4105, BDEVW 2008, RD 16999, CEI 0-21			
● Βασικός εξοπλισμός	○ Προαιρετικός εξοπλισμός	- Δεν διατίθεται	
STP 10000TL-10	STP 12000TL-10	STP 15000TL-10	STP 17000TL-10

## Τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

GR   GR	Φωτοβολταϊκά πλαίσια aleo	S_18 SOL
		Κατηγορίες απόδοσης <b>220   225   230 W</b>
	<p><b>Καλοί λόγοι</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ 10 χρόνια εγγύηση προϊόντος</li> <li>→ 25 χρόνια εγγύηση απόδοσης</li> <li>→ Θετική ταξινόμηση</li> <li>→ Τα καλύτερα εξαρτήματα σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα ποιότητας</li> <li>→ Επαγγελματική εξυπηρέτηση πελατών</li> <li>→ Πιστοποίηση κατά IEC/EN 61215 (Ed. 2)</li> <li>→ Πιστοποίηση κατά IEC/EN 61730, κατηγορία προστασίας II</li> <li>→ Σχετικά με την ενσωμάτωση στην οροφή</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div>	

Απεικόνιση των Φ/Β γεννητριών

# aleo s\_18 sol

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (STC)		S18.220T	S18.225T	S18.230T
Ονομαστική ισχύς	$P_{MPP}$ [W]	220	225	230
Ονομαστική τάση	$U_{MPP}$ [V]	28,7	28,9	29,1
Ονομαστικό ρεύμα	$I_{MPP}$ [A]	7,65	7,78	7,90
Τάση άνευ φορτίου	$U_{oc}$ [V]	36,3	36,4	36,6
Ρεύμα βραχυκύκλισης	$I_{sc}$ [A]	8,24	8,34	8,44
Απόδοση	$\eta$ [%]	12,7	13,0	13,3
Επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος	$A_p$ [ $m^2/kW_p$ ]	7,86	7,69	7,52

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε τυπικές συνθήκες δοκιμών (STC): 1000 W/m<sup>2</sup>; 25°C; AM 1,5

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (NOCT)		S18.220T	S18.225T	S18.230T
Ισχύς	$P_{MPP}$ [W]	158	162	165
Τάση	$U_{MPP}$ [V]	27,0	27,3	27,6
Ρεύμα	$I_{MPP}$ [A]	5,86	5,93	5,99
Τάση άνευ φορτίου	$U_{oc}$ [V]	33,3	33,5	33,7
Ρεύμα βραχυκύκλισης	$I_{sc}$ [A]	6,52	6,57	6,62
Απόδοση	$\eta$ [%]	11,4	11,7	11,9

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας κυψελών: 800 W/m<sup>2</sup>; 20°C; AM 1,5; άνεμος 1 m/s  
NOCT: 48°C (ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψελών)

Άλλα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	
Μείωση της απόδοσης STC Από 1000 W/m <sup>2</sup> σε 200 W/m <sup>2</sup>	[%] < 6
Εύρος κατηγορίας (βεβητική ταξινόμηση)	[W] -0/+4,99
Ακρίβεια μέτρησης $P_{MPP}$ σε STC	[%] -3/+3
Ανοχή λοιπών ηλεκτρικών τιμών	[%] -10/+10

Φορτία	
Μηχανική καταπόνηση πλαισίων	[Pa] 5400
Μέγιστη τάση συστήματος	[V <sub>oc</sub> ] 1000
Ρεύμα επιστροφής	[A] 15

Μηχανική καταπόνηση κατά IEC/EN 61215

Συντελεστές θερμοκρασίας	
1. Συντελεστής θερμοκρασίας	$\alpha$ ( $I_{sc}$ ) [%/K] +0,04
2. Συντελεστής θερμοκρασίας	$\beta$ ( $U_{oc}$ ) [%/K] -0,34
3. Συντελεστής θερμοκρασίας	$\gamma$ ( $P_{MPP}$ ) [%/K] -0,46

**Διεύθυνση**  
aleo solar AG  
Gewerbegebiet Nord  
Krummer Weg 1  
17291 Prenzlau  
Γερμανία

**Διεύθυνση επικοινωνίας**  
aleo solar Ελλάς  
Εφεδρών Αζημαστικών 3  
15351 Παλλήνη | Αττική  
Ελλάδα  
T +30 210 66 57 293  
Info@aleo-solar.gr  
www.aleo-solar.gr

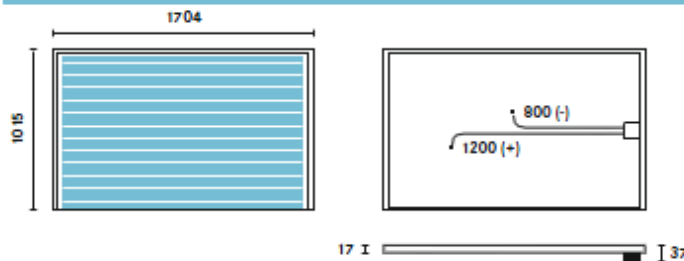
Βαθμός αποδοτικότητας με βάση τη συνολική επιφάνεια των πλαισίων

Βασικά στοιχεία	
Μήκος x πλάτος x ύψος	[mm <sup>3</sup> ] 1015 x 1704 x 37
Βάρος	[kg] 19
Αριθμός κυψελών	60
Μέγεθος κυψελών	[mm <sup>2</sup> ] 156 x 156
Υλικό κυψελών	Πολυκρυσταλλικό Si
Μπροστινό κάλυμμα	Ηλιακό γυαλί (TSG)
Πίσω κάλυμμα	Πολυμερής μεμβράνη
Υλικό πλαισίου	Κράμα αλουμινίου
Μήκος καλωδίου	[mm] 1200 (+), 800 (-)
Φίς	Κατηγορία MC3
Κατηγορία IP	IP65
Δίοδοι by-pass	3

Για επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τις εγγυήσεις στα προϊόντα και τις υπηρεσίες μας, μπορείτε να επικοινωνήσετε μαζί μας οποιαδήποτε στιγμή ή να ανατρέξετε στην ιστοσελίδα μας στη διεύθυνση [www.aleo-solar.gr](http://www.aleo-solar.gr)

© aleo solar AG | 08/2010 | Με κάθε επιφύλαξη για τυχόν λάθη και ανημερώσεις

Διαστάσεις [mm]



Ο εξουσιοδοτημένος αντιπρόσωπος της aleo της περιοχής σας

## Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β γεννητριών

## Radiation estimates

Time	G	Gd	Gc	A	Ad	Ac
07:22	29	28	23	15	12	12
07:37	41	41	33	22	19	17
07:52	160	73	216	315	95	478
08:07	206	87	282	374	109	569
08:22	251	100	348	424	121	644
08:37	294	112	411	466	131	706
08:52	335	122	472	500	140	758
09:07	373	131	530	530	147	801
09:22	409	139	584	555	153	838
09:37	442	146	634	576	158	868
09:52	472	152	680	593	162	893
10:07	498	157	722	608	165	914
10:22	522	161	758	621	168	932
10:37	543	165	790	631	170	946
10:52	560	168	817	639	172	957
11:07	574	170	838	645	173	966
11:22	584	172	855	649	174	973
11:37	591	173	866	652	174	977
11:52	594	173	871	654	175	979
12:07	594	173	871	654	175	979
12:22	591	173	866	652	174	977
12:37	584	172	855	649	174	973
12:52	574	170	838	645	173	966
13:07	560	168	817	639	172	957
13:22	543	165	790	631	170	946
13:37	522	161	758	621	168	932
13:52	498	157	722	608	165	914
14:07	472	152	680	593	162	893
14:22	442	146	634	576	158	868
14:37	409	139	584	555	153	838
14:52	373	131	530	530	147	801
15:07	335	122	472	500	140	758
15:22	294	112	411	466	131	706
15:37	251	100	348	424	121	644
15:52	206	87	282	374	109	569
16:07	160	73	216	315	95	478
16:22	41	41	33	22	19	17
16:37	29	28	23	15	12	12
16:52	15	15	12	7	6	6

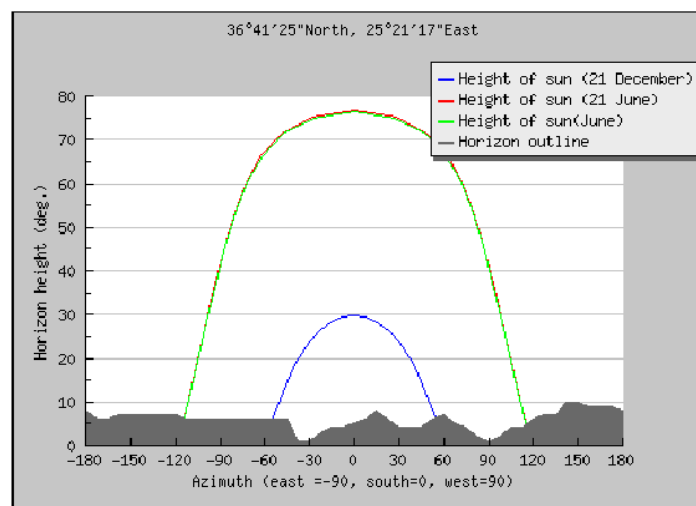
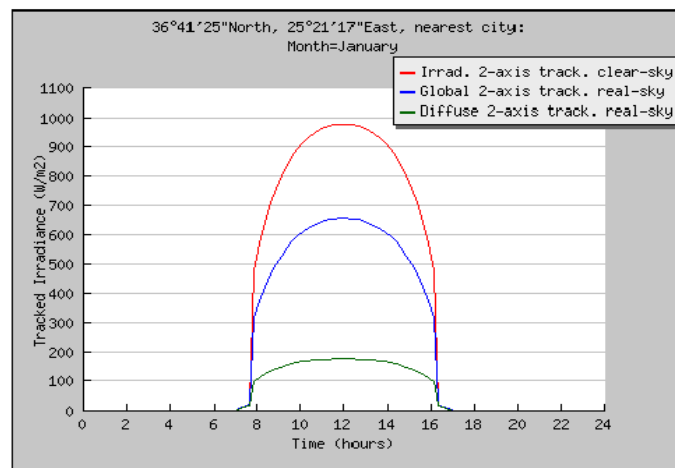
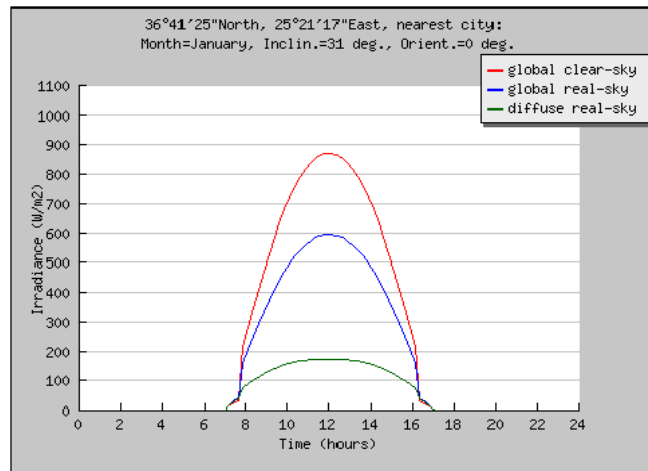
**G:** Global irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

**Gd:** Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

**Gc:** Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

**A:** Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

Στοιχεία ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την προσιπτούσα ακτινοβολία κατά το μήνα Ιανουάριο



**Διαγράμματα απεικόνισης ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά το μήνα Ιανουάριο**

## Radiation estimates

Time	G	Gd	Gc	A	Ad	Ac
05:07	21	20	27	11	9	14
05:22	32	32	42	17	15	22
05:37	44	43	56	313	78	286
05:52	50	46	65	407	99	372
06:07	83	56	97	493	117	450
06:22	123	66	135	571	132	521
06:37	169	76	178	640	145	584
06:52	220	86	225	702	156	640
07:07	274	95	274	756	164	689
07:22	331	104	325	805	171	733
07:37	389	112	377	847	176	771
07:52	448	119	429	884	180	804
08:07	507	126	481	916	182	833
08:22	564	132	531	943	184	858
08:37	621	138	581	967	184	879
08:52	675	142	628	987	184	897
09:07	727	147	673	1000	183	912
09:22	776	150	715	1020	181	925
09:37	822	153	754	1030	180	935
09:52	864	156	790	1040	178	944
10:07	902	158	823	1050	176	951
10:22	935	160	852	1060	174	957
10:37	965	161	877	1060	172	961
10:52	989	162	898	1070	171	964
11:07	1010	163	915	1070	169	967
11:22	1020	164	927	1070	168	969
11:37	1030	164	936	1070	168	970
11:52	1040	165	940	1080	167	970
12:07	1040	165	940	1080	167	970
12:22	1030	164	936	1070	168	970
12:37	1020	164	927	1070	168	969
12:52	1010	163	915	1070	169	967
13:07	989	162	898	1070	171	964
13:22	965	161	877	1060	172	961
13:37	935	160	852	1060	174	957
13:52	902	158	823	1050	176	951
14:07	864	156	790	1040	178	944
14:22	822	153	754	1030	180	935
14:37	776	150	715	1020	181	925
14:52	727	147	673	1000	183	912
15:07	675	142	628	987	184	897
15:22	621	138	581	967	184	879
15:37	564	132	531	943	184	858
15:52	507	126	481	916	182	833
16:07	448	119	429	884	180	804

16:22	389	112	377	847	176	771
16:37	331	104	325	805	171	733
16:52	274	95	274	756	164	689
17:07	220	86	225	702	156	640
17:22	169	76	178	640	145	584
17:37	123	66	135	571	132	521
17:52	83	56	97	493	117	450
18:07	50	46	65	407	99	372
18:22	44	43	56	313	78	286
18:37	32	32	42	213	56	196
18:52	21	20	27	11	9	14
19:07	9	9	11	4	4	6

**G:** Global irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

**G<sub>d</sub>:** Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

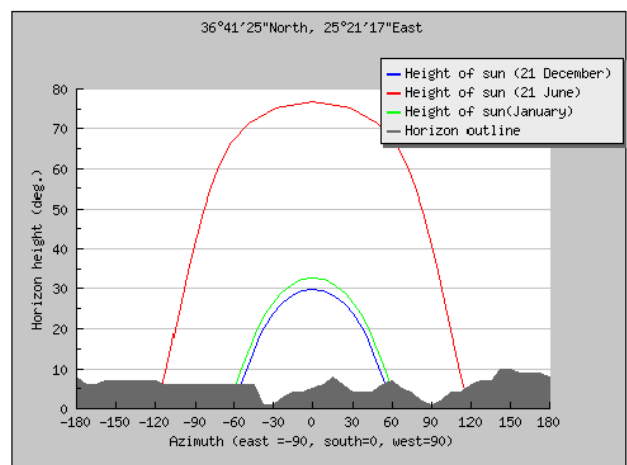
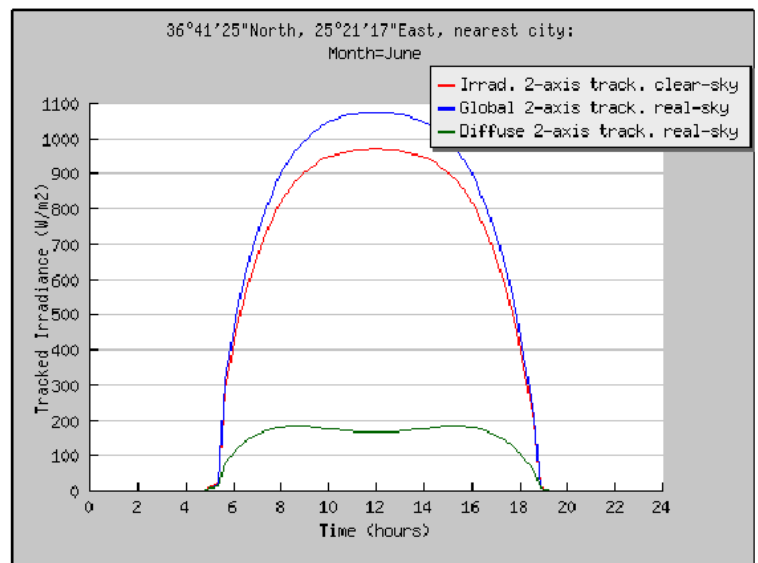
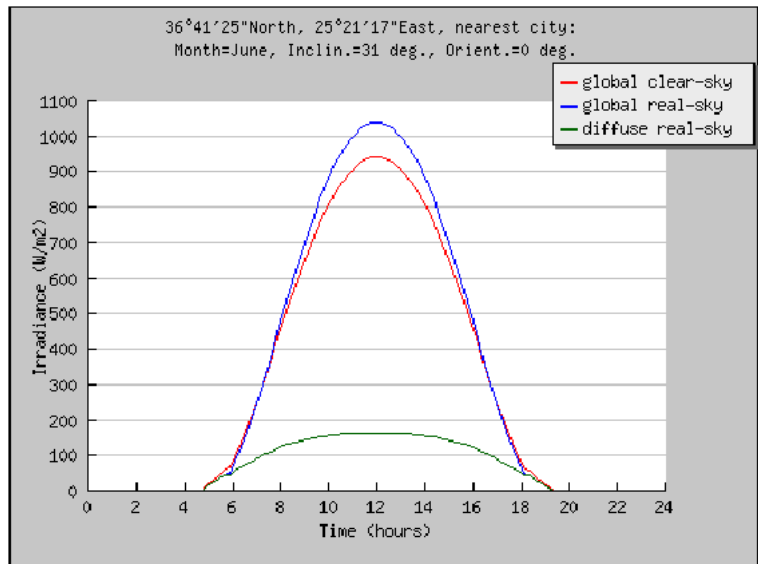
**G<sub>c</sub>:** Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

**A:** Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

**A<sub>d</sub>:** Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

**A<sub>c</sub>:** Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

Στοιχεία ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την προσίπτουσα ακτινοβολία κατά το μήνα



**Διαγράμματα απεικόνισης ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά το μήνα Ιούνιο**



- Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>)
2. Εφημερίς της κυβερνήσεως - ΝΟΜΟΣ 3851/2010: “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος , Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, Φ.Ε.Κ. Α’
3. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (ΔΕΗ – [www. dei. gr/](http://www.dei.gr/))  
(Second Edition)
5. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ – [http :// www. cres. gr](http://www.cres.gr))
6. SMA Solar Technology (SMA – <http://www.sma-hellas.com/el.html>)
7. Aleo Solar (Aleo – <http://www.aleo-solar.gr/>): Technical Application Papers
8. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – [http :// www. helapco. gr/](http://www.helapco.gr/)): «Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός»
9. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – [http :// www. helapco. gr/](http://www.helapco.gr/)): «Στατιστικά ελληνικής αγοράς 2010»
10. Silcio Solar Technologies (Silcio – <http://www.silcio.gr/>)
11. Schletter GmbH (Schletter – <http://www.schletter.de/>)
14. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής:  
«<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=555&language=el-GR>»
15. [http :// www .φωτοβολταϊκά. com](http://www.φωτοβολταϊκά.com)
16. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης: «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις Ζήτη (2007)
17. Αντωνόπουλος Κ.: «ΘΕΡΜΙΚΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», Πολυτεχνειακές Εκδόσεις, Μέρος Πρώτο (2004)
18. Ήπιες μορφές ενέργειας : ‘Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας’ Του Σ.Ν.Καπλάνη(εκδόσεις ΙΩΝ)
20. Institute of Environmental Sciences (ISE). PVSYST - Manual. University of Geneva 2009.

22. Ινστιτούτο Τεχνολογίας και εφαρμογών Στερεών Καυσίμων. Ηλιακή Ενέργεια.

ΙΤΕΣΚ2009 On line available at : <http://www.itesk.gr>

25. Energy Information Administration. World Energy Outlook 2008. On line available

at: <http://www.eia.doe.gov>