



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αρ.:1319

**“Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου
500 kWp και σύνδεση του στο δίκτυο διανομής”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΝΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:

**ΚΑΛΑΜΑΡΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

ΠΑΤΡΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

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

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε *σεμονοκρυσταλλικό* ή *πολυκρυσταλλικό*. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου 500 kWp που κατασκευάστηκε στην περιοχή της Τρίπολης. Η εξασφάλιση μεγάλου ποσοστού απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι η ηλιακή ενέργεια, μέσω της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, είναι μια σημαντική κατεύθυνση προς την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα αποτελεί μια σημαντική πρόκληση τόσο για τους μηχανικούς όσο και για την παγκόσμια οικονομία.

Αρχικά δίνονται γενικά στοιχεία για τον ήλιο και την ακτινοβολία που εκπέμπει, ενώ γίνεται και αναφορά στο πώς μετράται η ηλιακή ακτινοβολία. Στη συνέχεια επεξηγείται η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια καθώς και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Επίσης εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων και τα υλικά κατασκευής τους καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Εξετάζεται επίσης το φαινόμενο της νησιδοποίησης και αναφέρονται στοιχεία για την αδειοδότηση του έργου.

Στη συνέχεια γίνεται διαστασιολόγηση του Φ/Β πάρκου και χωροθέτηση των βάσεων στήριξης των πλαισίων, γίνεται τεχνική ανάλυση ως προς τους μετατροπείς που χρησιμοποιήσαμε, την γείωση, τις καλωδιώσεις για τα DC αλλά και για τα AC καλώδια, την αντικεραυνική προστασία και την σύνδεση με το δίκτυο. Τέλος παρουσιάζεται η οικονομοτεχνική μελέτη της εγκατάστασης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	9
1.1 Ο ήλιος πηγή ενέργειας.....	9
1.2 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	12
1.3 Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα.....	12
1.4 Τα φωτοβολταϊκά στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	17
2.1 Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια.....	17
2.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	18
2.3 Μοντέλο μιας διόδου του πλαισίου και καθορισμός παραμέτρων.....	21
2.3.1 Μοντέλο μιας διόδου ενός φ/β κυττάρου.....	21
2.3.2 Μοντέλο μιας διόδου για ένα ολόκληρο πλαίσιο.....	21
2.3.3 Συνήθεις προσεγγίσεις.....	23
2.3.4 Προσδιορισμός παραμέτρων του κυκλώματος μιας διόδου με τη χρήση πειραματικών μετρήσεων.....	24
2.3.5 Εξισώσεις που δίνουν τις παραμέτρους του μοντέλου.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	27
3.1 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	27
3.2 Συντελεστής πλήρωσης (Fill Factor, FF).....	27
3.3 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών.....	28
3.3.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si).....	28
3.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si).....	29
3.3.3 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Ταινίας Πυριτίου (Ribbon Silicon).....	29
3.3.4 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Άμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si).....	29
3.3.5 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe ₂ με προσθήκη γαλλίου CIGS).....	30
3.3.6 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).....	31
3.3.7 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe).....	31
3.3.8 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία.....	31
3.4 Επίδραση εξωτερικών παραγόντων.....	32
3.4.1 Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	32
3.4.2 Η επίδραση της θερμοκρασίας.....	33
3.4.3 Η επίδραση της ρύπανσης.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	35
4.1 Νησιδοποίηση.....	35
4.1.1 Αιτίες πρόκλησης του φαινομένου της νησιδοποίησης.....	36
4.1.2 Λόγοι για τους οποίους η μη σκόπιμη νησιδοποίηση ανεπιθύμητη.....	37
4.1.3 Διερεύνηση της πιθανότητας κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή.....	38
4.2 Αδειοδότηση Φ/Β συστημάτων.....	38
4.3 Μελέτη Φ/Β Σταθμού.....	40
4.4 Καλωδιώσεις.....	41
4.5 Αντιστροφεείς (inverters).....	43

4.5.1 Μετασηματιστής σε αντιστροφή	44
4.5.2 Κεντρικοί Μετατροπείς	45
4.5.3 Αντιστροφείς Κλάδων - String Inverters	45
4.5.4 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)	45
4.5.4 Αντιστροφείς ενσωματωμένοι στα πάνελ	45
4.6 Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα	46
4.7 Σκιάσεις σε φ/β panel και διατάξεις προστασίας της λειτουργίας	47
4.8 Ανάστροφο ρεύμα	48
4.9 Ποσοστό Απόδοσης Φ/Β Εγκατάστασης	49
4.9.1 Ποια είναι η λειτουργία του ποσοστού απόδοσης	49
4.9.2 Πως υπολογίζεται το ποσοστό απόδοσης	50
4.9.3 Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το ποσοστό απόδοσης	50
4.9.3.1 Θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών μονάδων	50
4.9.3.2 Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύς απώλειας	50
4.9.3.3 Σκίαση ή ακαθαρσίες στη συσκευή μέτρησης	51
4.9.3.4 Σκίαση ή ακαθαρσίες στις φωτοβολταϊκές μονάδες	51
4.9.3.5 Περισσότεροι παράγοντες	51
4.10 Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	52
4.11 Βαθμός προστασίας (IP)	53
4.12 Γείωση	54
4.13 Συνθήκες STC και NOCT	56
4.13.1 STC	56
4.13.2 NOCT	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
ΙΧΝΗΛΑΤΕΣ – TRACKERS	57
5.1 Τι είναι οι Ιχνηλάτες	57
5.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου σε φ/β πάρκα	58
5.3 Στροφή γύρω από ένα άξονα	58
5.4 Στροφή γύρω από δύο άξονες	59
5.5 Περιγραφή της γωνίας του Ήλιου και του Φ/Β	60
5.5.1 Διαμόρφωση μοναδιαίων διανυσμάτων	63
5.5.2 Γωνία πρόσπτωσης και λαμβανόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία	64
5.6 Βελτιστοποίηση του φ/Β πλαισίου με συγκεκριμένα βήματα	65
5.7 Συμπεράσματα	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ	74
6.1 Γενικά στοιχεία υπομελέτη έργου	74
6.2 Τεχνική περιγραφή του έργου	76
6.2.1 Γενική διάταξη του σταθμού	76
6.2.2 Μετατροπείς	77
6.2.3 Ιχνηλάτες (Trackers)	77
6.2.4 Χωροθέτηση	78
6.2.5 Μετασηματιστής	79
6.2.6 Οικίσκος Μετασηματιστή	81
6.2.7 Τηλεμετρία	83

6.3 Ενεργειακή μελέτη του έργου	84
6.3.1 Θεωρητικός Υπολογισμός - Μετεωρολογικά Δεδομένα	84
6.4 Ενεργειακή Μελέτη μέσω του προγράμματος PVSYST 5.56	88
6.4.1 Ανάλυση αναφοράς ενεργειακής μελέτης	101
6.5 Σύνδεση Φ/Β με μετατροπέα	101
6.6 Σύνδεση μετατροπέα με τον Πίνακα ΧΤ του μετασχηματιστή	102
6.6 Καλωδιώσεις	103
6.6.1 Καλωδίωση DC	105
6.6.2 Καλωδίωση AC	105
6.7 Γείωση - Αντικεραυνική Προστασία	106
6.8 Επιχειρηματικό Πλάνο	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	116

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εισερχόμαστε σε μία νέα ηλιακή εποχή. Τις τελευταίες εκατονταετίες οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα τα οποία χρειάστηκαν περίπου 400 χρόνια για να σχηματιστούν και να αποθηκευτούν υπογείως. Τώρα χρειάζεται να επιτευχθεί μεγάλη προσπάθεια, τεχνολογική και πολιτική, στα συστήματα ενέργειας τα οποία χρησιμοποιούν τον Ήλιο άμεσα. Είναι μία από τις πιο δυνατές προκλήσεις με την οποία έρχονται αντιμέτωποι οι σημερινοί μηχανικοί και επιστήμονες.

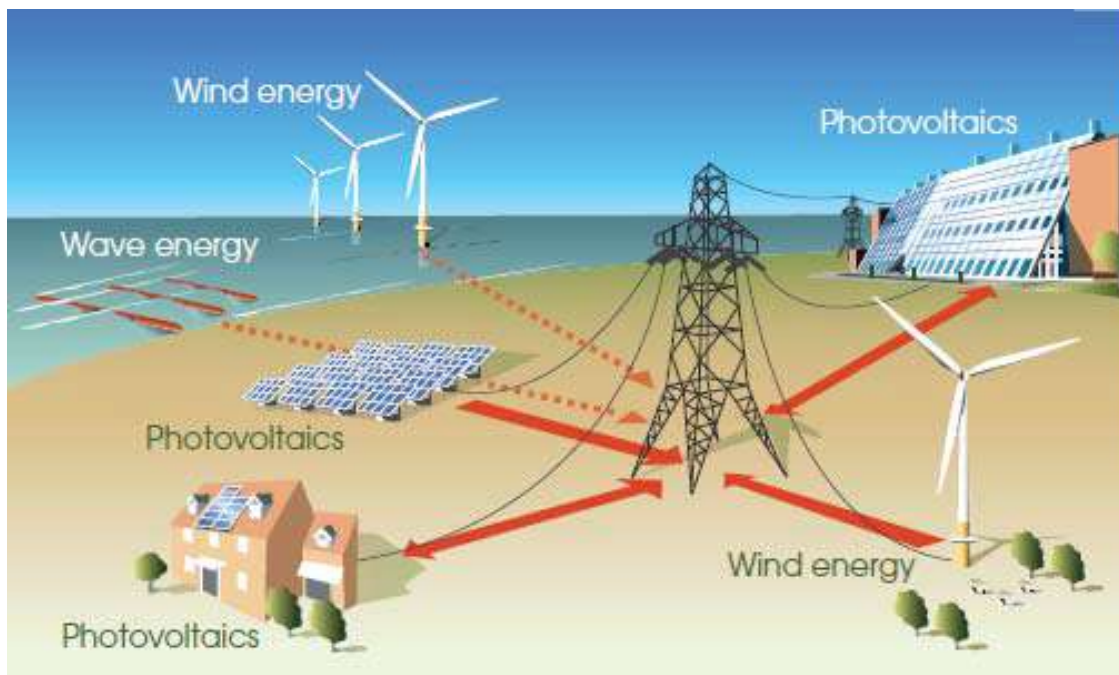
Οι περισσότεροι πολιτικοί και οι φορείς χάραξης πολιτικής συμφωνούν ότι μία συνολική ανακατεύθυνση της ενεργειακής πολιτικής είναι απαραίτητη έτσι ώστε ο πλανήτης Γη να επιβιώσει σε μία λογική μορφή, κάτι το οποίο δεν είναι απλώς θέμα αποθέματος καυσίμων. Έχει γίνει σαφές, ότι ακόμη και τα αποθέματα καυσίμων να ήταν απεριόριστα, δεν θα μπορούσαμε να συνεχίσουμε να τα καίμε ασύστολα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν και η αύξηση της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, θα οδηγούσαν σχεδόν σίγουρα σε περιβαλλοντική κρίση. Έτσι ο κίνδυνος έχει δύο πλευρές: από τη μία η ραγδαία μείωση των ορυκτών καυσίμων, από την άλλη η αυξανόμενη αδυναμία του περιβάλλοντος να απορροφήσει τις εκπομπές των ρύπων.

Κατά την δεκαετία του 1970, η δημόσια συζήτηση για το θέμα των ενεργειακών αποθεμάτων ήταν πολύ μικρή. Στον εκ βιομηχανοποιημένο κόσμο υπήρχε η γενική ιδέα ότι ο ηλεκτρισμός παράγεται κεντρικές μονάδες παραγωγής και διανέμεται σε εργοστάσια, γραφεία και οικίες μέσω ενός δικτύου με μεγάλα “πλοκάμια”. Λίγοι ήταν εκείνοι οι οποίοι γνώριζαν με ποιο τρόπο παραγόταν ο ηλεκτρισμός, ή ότι η καύση άνθρακα πετρελαίου και αερίου δημιουργούσαν περιβαλλοντικά προβλήματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Όσοι γνώριζαν επί του θέματος, υπέθεταν ότι η πυρηνική ενέργεια ήταν πανάκεια.



Σχ.1 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στην Ακαδημία Mont-Cenis στη Herne, σε τοποθεσία όπου βρισκόταν ανθρακωρυχείο

Ωστόσο, ακόμη και εκείνα τα χρόνια υπήρχαν μερικές φωνές οι οποίες προειδοποιούσαν ότι δεν είναι όλα τόσο ρόδινα. Στο βιβλίο *Small is beautiful* που πρωτοεκδόθηκε το 1973, ο E.F. Schumacher υποστήριζε πως η σύγχρονη κοινωνία δεν αντιλαμβάνεται τον εαυτό της ως ένα κομμάτι της φύσης, αλλά ως μία δύναμη η οποία παλεύει να κυριαρχήσει και να την κατακτήσει. Αυτή είναι η ψευδαίσθηση των απεριόριστων δυνάμεων οι οποίες προκύπτουν από την αδιαμφισβήτητη επιτυχία της νέας τεχνολογίας, η οποία είναι και η ρίζα των παρούσων δυσκολιών. Μεταχειριζόμαστε τα κοιτάσματα, συμπεριλαμβανομένων του πετρελαίου και των αποθεμάτων αερίου, σαν να ήταν σταθερά και αειφόρα. Το μήνυμα του Schumacher είναι πλέον αρκετά επίκαιρο. Για το καλό τόσο του πλανήτη Γη όσο και των μελλοντικών γενεών αρχίσαμε να κάνουμε τον συγκεκριμένο διαχωρισμό και να επενδύουμε σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή, οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να παράγουν εκπομπές άνθρακα. Τα τελευταία χρόνια, αυτό το μήνυμα ενισχύθηκε από τον τέως αντιπρόεδρο των Η.Π.Α. Al Gore, μέσω των ομιλιών του και του ντοκιμαντέρ *An Inconvenient Truth*. Ενώ τα ορυκτά καύσιμα που σχηματίστηκαν μέσω της ηλιακής ενέργειας πριν από εκατοντάδες χρόνια πρέπει να υπολογίζονται ως απόθεμα, η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται στη Γη χωρίς κόστος, μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε όποτε εμείς επιθυμούμε. Η πρόκληση του μέλλοντος είναι να εκμεταλλευτούμε την ανανεώσιμη ενέργεια αυτού του είδους αποτελεσματικά, σχεδιάζοντας και δημιουργώντας μηχανήματα που θα εξυπηρετούν τις ανθρώπινες ανάγκες χωρίς να επιβαρύνουν τον πλανήτη.



Σχ.2 Τρεις σημαντικές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας: ήλιος, αέρας, κύμα

Πρέπει ίσως να αναλογιστούμε το νόημα της ανανεώσιμης ενέργειας λίγο πιο προσεκτικά. Υποδηλώνει την ενέργεια η οποία είναι αειφόρος, με την έννοια ότι είναι διαθέσιμη σε βάθος χρόνου χωρίς να εξαντλούνται σημαντικά τα αποθέματα της Γης ή να προκαλείται ανεπανόρθωτη οικολογική καταστροφή. Τι πραγματικά άλλαξε τα πράγματα ήταν η εξέλιξη της ατμομηχανής για την εργοστασιακή παραγωγή και τη ναυσιπλοΐα τον 19ο αιώνα. Έτσι γεννήθηκε η βιομηχανική εποχή. Από τότε μέχρι και σήμερα καίμε άνθρακα, πετρέλαιο και αέρια χωρίς να δίνουμε σημασία στους φυσικούς ρυθμούς της Γης και της ικανότητάς της να απορροφήσει τα απόβλητα και τα υποπροϊόντα, ή να συνεχίσει να μας παρέχει ενεργειακά αποθέματα. Είναι πλέον εύλογο να αλλάξουμε προτεραιότητες.

Εφόσον η μείωση των εκπομπών άνθρακα είναι κύριο πλεονέκτημα των ανανεώσιμων πηγών (ήλιος, άνεμος, κύματα), πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι αυτό το όφελος ισχυρίζονται και οι υποστηρικτές της πυρηνικής ενέργειας. Αληθεύει ότι και οι δύο τρόποι προσφέρουν ηλεκτρική παραγωγή χωρίς σημαντικές εκπομπές άνθρακα, ωστόσο από κάθε άλλη άποψη βρίσκονται σε εντελώς αντίθετα πόλους. Οι ανανεώσιμες προσφέρουν την προοπτική της ευρείας και σχετικά μικρής κλίμακας ηλεκτρικής παραγωγής, ενώ η πυρηνική ενέργεια απαιτεί την κατασκευή τεράστιων κεντρικών σταθμών παραγωγής. Οι ανανεώσιμες πηγές δεν χρειάζονται καύσιμα ούτε παράγουν απόβλητα κατά τη λειτουργία τους, η πυρηνική βιομηχανία ταλανίζεται από τα προβλήματα ραδιενεργών αποβλήτων. Στο σύνολο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα ασφαλείας ή ευαισθησία σε τρομοκρατικές ενέργειες (πλεονεκτήματα που δεν μπορεί να ισχυριστεί η πυρηνική ενέργεια). Τέλος υπάρχει το ζήτημα της πυρηνικής εξάπλωσης και η δυσκολία απομόνωσης από τα πυρηνικά όπλα.

Ωστόσο θα ήταν άδικο να προσποιηθούμε ότι η ανανεώσιμη ενέργεια είναι η τέλεια απάντηση. Για παράδειγμα η ηλιακή, η αιολική και η ενέργεια των κυμάτων είναι γενικά διάχυτες και διαλείπουσες, συχνά είναι και απρόβλεπτες. Ενώ παρόλο που δεν χρειάζονται καύσιμα και δεν παράγουν απόβλητα, το επενδυτικό κόστος είναι μεγάλο. Υπάρχουν μεγάλες προκλήσεις με τις οποίες θα έρθουμε αντιμέτωποι και θα χρειασθεί να τις ξεπεράσουμε καθώς κινούμαστε σε ένα ηλιακό μέλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΉΛΙΟΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια γενική αναφορά στον Ήλιο και την ηλιακή ενέργεια. Επίσης γίνεται επεξήγηση των όρων της άμεσης, της διάχυτης, της ανακλώμενης ακτινοβολίας και του albedo, ενώ παρουσιάζονται και οι συνθήκες αγοράς Φ/Β στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

1.1 Ο Ήλιος, πηγή ενέργειας

Ο Ήλιος στέλνει ένα σχεδόν αφάνταστο ποσό ενέργειας προς την Γη, περίπου 10^{17} W (εκατό δισεκατομμύρια watts). Με όρους ηλεκτρικής προμήθειας αυτό το ποσό είναι ίσο με την παραγωγή περίπου εκατό εκατομμυρίων σύγχρονων πυρηνικών ή σταθμών ορυκτών καυσίμων. Για να το παρουσιάσουμε από μία άλλη όψη, ο Ήλιος παρέχει σε περίπου μία ώρα τις τωρινές ενεργειακές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού για έναν ολόκληρο χρόνο.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στους ωκεανούς. Κάποιο μέρος της διακόπτεται από τα σύννεφα, ενώ ένα μεγάλο μέρος προσπίπτει ώρες και σε μέρη που δεν βολεύουν. Παρόλα αυτά, συνυπολογίζοντας όλους αυτούς του παράγοντες, είναι ξεκάθαρο πως ο Ήλιος είναι ένας πολύ σημαντικός ευεργέτης.

Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ενέργειας (δηλ. Η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας κανονικοποιημένη ως προς τις ακτίνες της) ακριβώς πάνω από την γήινη ατμόσφαιρα είναι γνωστή ως *ηλιακή σταθερά* και ισούται με **1366 W/m²**. Αυτή μειώνεται καθώς εισέρχεται στην ατμόσφαιρα κατά περίπου 30%, δίνοντας στην επιφάνεια της Γης περίπου **1000 W/m²** στο επίπεδο της θάλασσας, μία μέρα χωρίς σύννεφα. Αυτή η τιμή είναι το αποδεκτό πρότυπο για μία μέρα με ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιείται ευρέως στον έλεγχο των Φ/Β κελιών και συστημάτων.

Μία άλλη σημαντική ποσότητα είναι η μέση πυκνότητα ισχύος η οποία προσλαμβάνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους, γνωστή ως *μέση ετήσια ακτινοβολία*. Ένας ξεκάθαρος τρόπος για να την υπολογίσουμε είναι αν συνειδητοποιήσουμε ότι η Γη παρατηρώντας από τον Ήλιο φαίνεται σαν ένας δίσκος ακτίνας **R** και επιφάνειας **πR^2** . Ωστόσο, εφόσον η Γη είναι σφαιρική και έχει συνολική επιφάνεια **$4\pi R^2$** , η μέση ετήσια ακτινοβολία ακριβώς πάνω από την ατμόσφαιρα πρέπει να είναι **$1366/4=342$ W/m²**. Παρόλα αυτά μοιράζεται άνισα, **430 W/m²** πάνω από τον ισημερινό αλλά πολύ λιγότερο στις περιοχές του Βόρειου και Νότιου Πόλου λόγω της γωνίας της θέσης τους σε σχέση με τον Ήλιο.

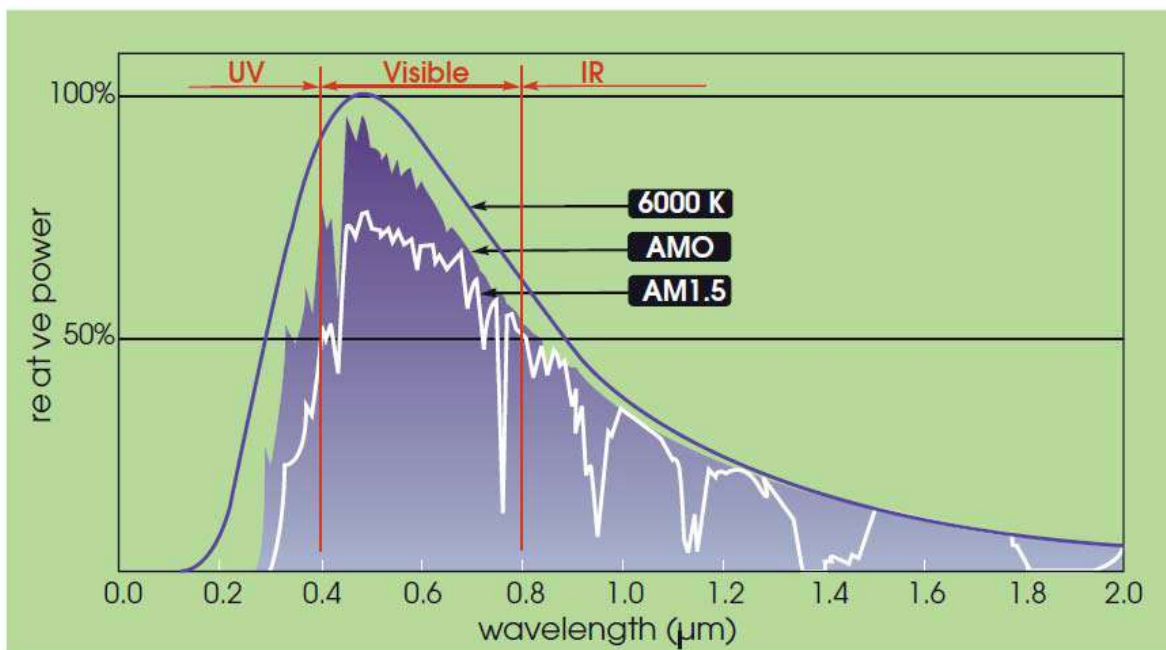
Το κάτω μισό του σχήματος δείχνει την μείωση της ακτινοβολίας εξαιτίας της ατμόσφαιρας. Η απορρόφηση από αέρια και η σκέδαση από μόρια και σωματίδια σκόνης είναι μερικές υπεύθυνα. Τα σύννεφα είναι σημαντικός παράγοντας σε μερικές περιοχές. Παρατηρούμε ότι η μέση ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης επηρεάζεται δραστικά από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και έχει εύρος από **300 W/m²** στην Έρημο Σαχάρα μέχρι και κάτω από **80 W/m²** σε περιοχές του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στους πόλους.

Εάν γνωρίζουμε τη μέση ακτινοβολία σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία, είναι απλό να υπολογίσουμε τη συνολική προσλαμβανόμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους.

(**1 έτος=8760 ώρες**). Για παράδειγμα, Λονδίνο και Βερολίνο με την ίδια μέση ακτινοβολία (περίπου **120 W/m²**) προσλαμβάνουν συνολική ετήσια ενέργεια περίπου **$120 \times 8760 / 1000 = 1050$ kWh/m²**. Τέτοιου είδους εικόνες είναι χρήσιμες σε σχεδιαστές Φ/Β συστημάτων που χρειάζεται να γνωρίζουν τη συνολική ηλιακή ενέργεια. Πρέπει όμως να λαμβάνουμε υπόψιν το γεγονός ότι οι τιμές αυτές αποτελούν μέσο όρο από μέρα σε νύχτα και από καλοκαίρι σε χειμώνα, οπότε είναι πιθανό να διαφέρουν σημαντικά από χρόνο σε χρόνο. Επίσης, είναι ενδιαφέρον να αναλογιστούμε κατά πόσο το φαινόμενο του θερμοκηπίου, παρατηρώντας και τα καιρικά φαινόμενα που έχουν καταγραφεί κατά το παρελθόν, μπορεί να

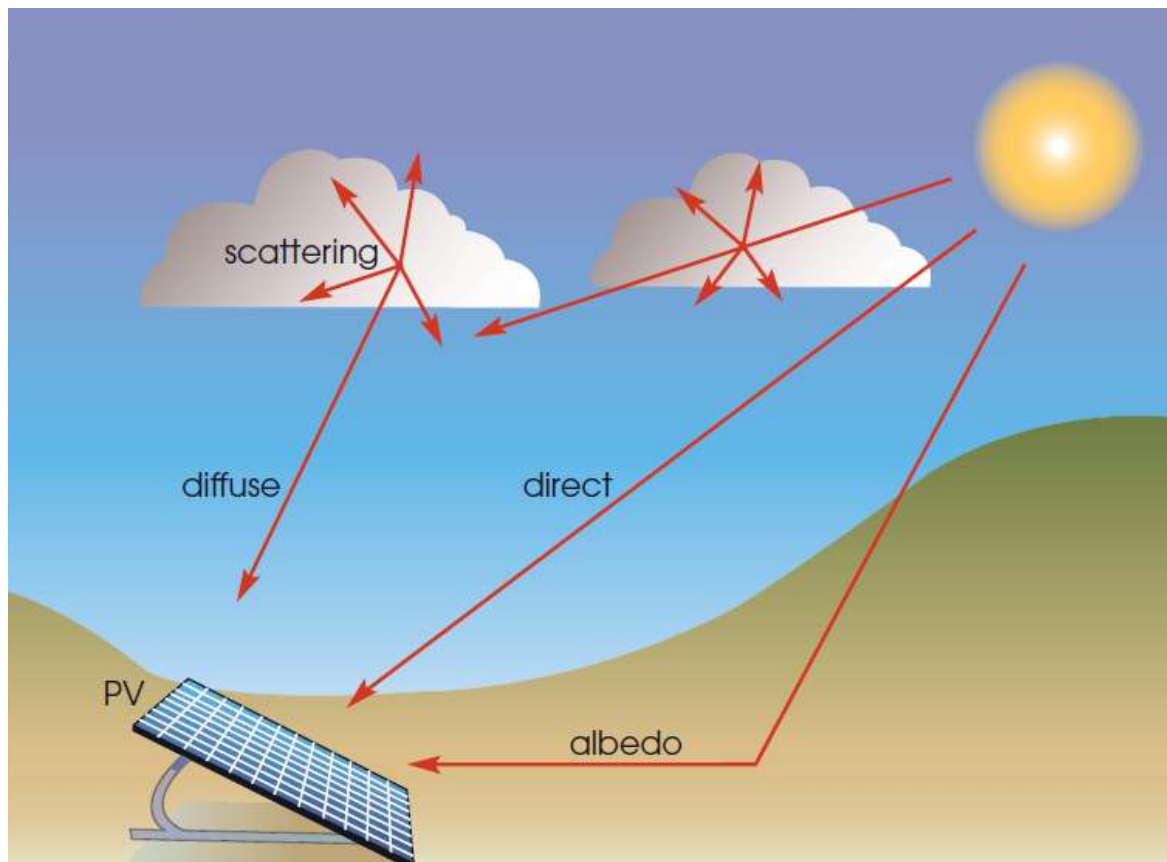
επηρεάσει τις τιμές αυτές. Μέχρι τώρα δεν έχουμε συνυπολογίσει την ηλιακή φασματική κατανομή (είναι το εύρος και η ένταση των μηκών κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του). Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα διότι διαφορετικά είδη ηλιακών κυττάρων αντιδρούν διαφορετικά στα διάφορα μήκη κύματος του ηλιακού φωτός. Είναι γνωστό ότι ηλιακό φάσμα είναι όμοιο με αυτό ενός τέλει εκπομπού, γνωστό και ως *μέλαν σώμα*, σε θερμοκρασία περίπου 6000 K. Η λεία καμπύλη στο σχήμα που ακολουθεί δείχνει πως τέτοια ακτινοβολία μέλανου σώματος εκτείνεται σε μήκη κύματος μεταξύ 0.2 και 2.0 μm και παρουσιάζει κορυφή περίπου στα 0.5 μm . Τα μήκη κύματος τα οποία είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι έχουν εύρος μεταξύ 0.4 μm (ιώδες) και 0.8 μm (ερυθρό). Μικρότερα μήκη κύματος είναι τα υπεριώδη (UV) και μεγαλύτερα είναι τα υπέρυθρα (IR). Παρατηρούμε τι ποσοστό από το συνολικό φάσμα βρίσκεται στην περιοχή των υπέρυθρων.

Στο σχήμα φαίνονται δύο ακόμη καμπύλες, η AM0 και η AM1.5, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές ηλιακές φασματικές κατανομές που φθάνουν στη Γη. Για να τις εξηγήσουμε χρειάζεται να λάβουμε υπόψη το μήκος της διαδρομής (pathlength ή *Air Mass*(AM) (Αέρια Μάζα) του ηλιακού φωτός κατά μήκος της ατμόσφαιρας. Η AM0 αφορά το ηλιακό φως ακριβώς έξω από την ατμόσφαιρα (μηδενικό pathlength) συνεπώς είναι σχετικό με τα Φ/B που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους. Στην περίπτωση επίγειων Φ/B, το pathlength είναι το ίδιο με το πάχος της ατμόσφαιρας (AM1) όταν ο ήλιος είναι ακριβώς κατακόρυφος. Εάν δεν είναι κατακόρυφος, το pathlength αυξάνεται σύμφωνα με τον κανόνα του αντίστροφου συνημίτονου. Για παράδειγμα, όταν βρίσκεται 60° από την κατακόρυφη θέση το pathlength διπλασιάζεται (AM2) κτλ. Η ευρέως χρησιμοποιούμενη AM1.5 καμπύλη αντιπροσωπεύει τον ήλιο 48° από την κατακόρυφη θέση και είναι γενικά αποδεκτή για την αξιολόγηση των Φ/B κυττάρων και συστημάτων. Οι βαθιές και απότομες διαβαθμίσεις είναι εξαιτίας της απορρόφησης από το οξυγόνο, τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα.



Σχ.1.1 Φασματική κατανομή της ηλιακής ενέργειας

Το θέμα όμως δεν τελειώνει εδώ, καθώς όταν ηλιακά κύτταρα τοποθετούνται στο επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια της Γης, συνήθως λαμβάνουν τόσο άμεση όσο και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Ο παράγοντας *diffuse* αντιπροσωπεύει τη σκέδαση από τα σύννεφα και τη σκόνη στην ατμόσφαιρα, το *albedo* αντιπροσωπεύει το φως που αντανακλάται από το έδαφος ή από αντικείμενα όπως δέντρα και κτίρια. Η ηλεκτρική έξοδος από τα Φ/Β κελιά από το συνδυασμό του αποτελέσματος αυτών των παραγόντων. Σε ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία ο παράγοντας της άμεσης ακτινοβολίας είναι συνήθως ο σημαντικότερος. Εάν όμως τα κελιά δεν είναι προσανατολισμένα κατευθείαν προς τον ήλιο ή αν η νέφωση είναι ισχυρή ο παράγοντας της διάχυτης ακτινοβολίας επικρατεί (επίσης τα σύννεφα εμποδίζουν ή εξασθενούν την άμεση ακτινοβολία). Ακόμα η συνεισφορά του *albedo* είναι συνήθως μικρή, αλλά μπορεί να είναι πολύ σημαντική σε περιοχές όπως οι ελβετικές Άλπεις εξαιτίας της ισχυρής ανάκλασης από το χιόνι. [1]



Σχ.1.2 Από τον Ήλιο στο Φ/Β μέσω της ατμόσφαιρας

1.2 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει είτε άμεσα χρησιμοποιώντας πυρανόμετρα ή φωτοβολταϊκούς αισθητήρες, είτε έμμεσα αναλύοντας εικόνες από δορυφόρους. Τα πυρανόμετρα είναι αισθητήρες μεγάλης ακρίβειας που συνδυάζουν δύο ημισφαιρικούς γυάλινους θόλους, ένα μαύρο μεταλλικό επίπεδο ως απορροφητική επιφάνεια, τα θερμικά στοιχεία που είναι τοποθετημένα κάτω από την επιφάνεια και το λευκό μεταλλικό περίβλημα. Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει κάθετα πάνω στην απορροφητική επιφάνεια διαμέσου των δύο ημισφαιρικών θόλων ζεσταίνοντας την. Εφόσον η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ανάλογη της ακτινοβολίας, η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ της μαύρης επιφάνειας και του περιβάλλοντος μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την ακτινοβολία. Επίσης, μας δίνει την δυνατότητα να υπολογίσουμε μόνο την διάχυτη ακτινοβολία αν τοποθετήσουμε ένα δακτύλιο σκίασης για την άμεση ακτινοβολία. Τα πυρανόμετρα, αν και είναι αρκετά ακριβή, παρουσιάζουν αργή απόκριση επειδή βασίζονται σε θερμικά στοιχεία, έτσι δεν μπορούν να αντιληφθούν τις γρήγορες μεταβολές στην ακτινοβολία. Οι φωτοβολταϊκοί αισθητήρες έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τα πυρανόμετρα. Αποτελούνται από ένα ηλιακό κύτταρο το οποίο παράγει ένα ρεύμα ανάλογο της ακτινοβολίας. Η ακρίβεια του όμως μειώνεται από το γεγονός ότι ένα ηλιακό κύτταρο δεν μπορεί να απορροφήσει ακτινοβολία όλων των μηκών κύματος του ηλιακού φάσματος.

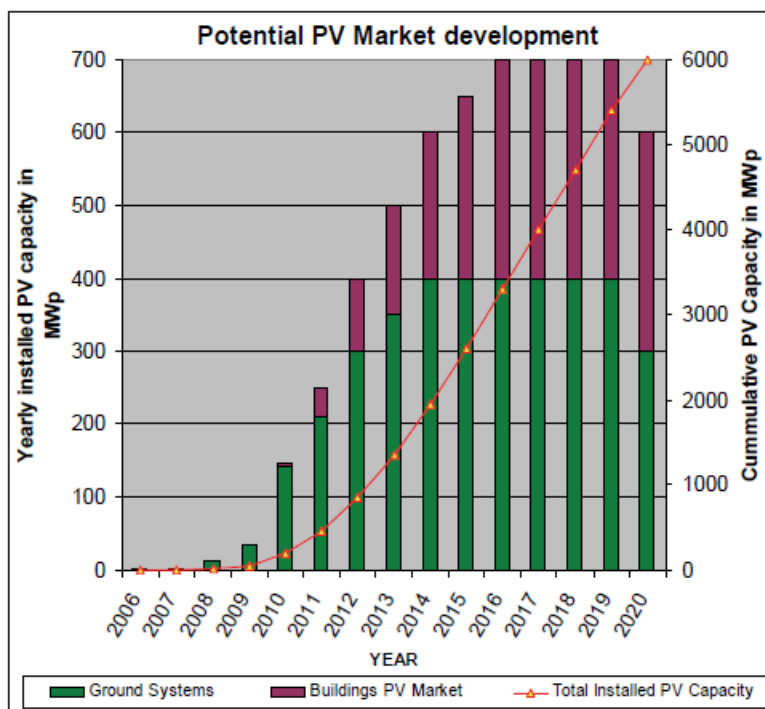
1.3 Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Τα εγκατεστημένα Φ/Β συστήματα στην Ελλάδα μέχρι το 2006 ήταν κυρίως ιδιόκτητα αυτόνομα συστήματα σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα, πέρα από μερικά έργα επίδειξης, ήταν σχετικά λίγα. Παρόλο που υπήρχε νομικό πλαίσιο για την αγορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) από το 1994, η έλλειψη σημαντικού καθεστώτος στήριξης, η εμπλοκή πολλών δημόσιων υπηρεσιών με σκοπό να λαμβάνουν μεγάλο αριθμό αδειών και η απουσία συγκεκριμένης νομοθεσίας, παρεμπόδισαν την εισαγωγή μεγαλύτερου αριθμού Φ/Β συστημάτων. Η ετήσια εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα πριν τον νόμο 3483/2006, ο οποίος εισήγαγε κερδοφόρα τιμολόγια τροφοδότησης (feed-in tariff), εξαιρουμένων προγραμμάτων επίδειξης και ερευνητικά έργα, δεν ξεπερνούσε τα 200 με 300 kWp.

Το 2007 η εγκατεστημένη ισχύς αυξήθηκε κατά 2.3 MWp η μισή προερχόμενη από διασυνδεδεμένα συστήματα εξαιτίας του νόμου 3486/2006. Τις χρονιές 2008 και 2009 η εγκατεστημένη ισχύς αυξήθηκε κατά 12 και 36.5 MWp αντίστοιχα κυρίως από διασυνδεδεμένα συστήματα.

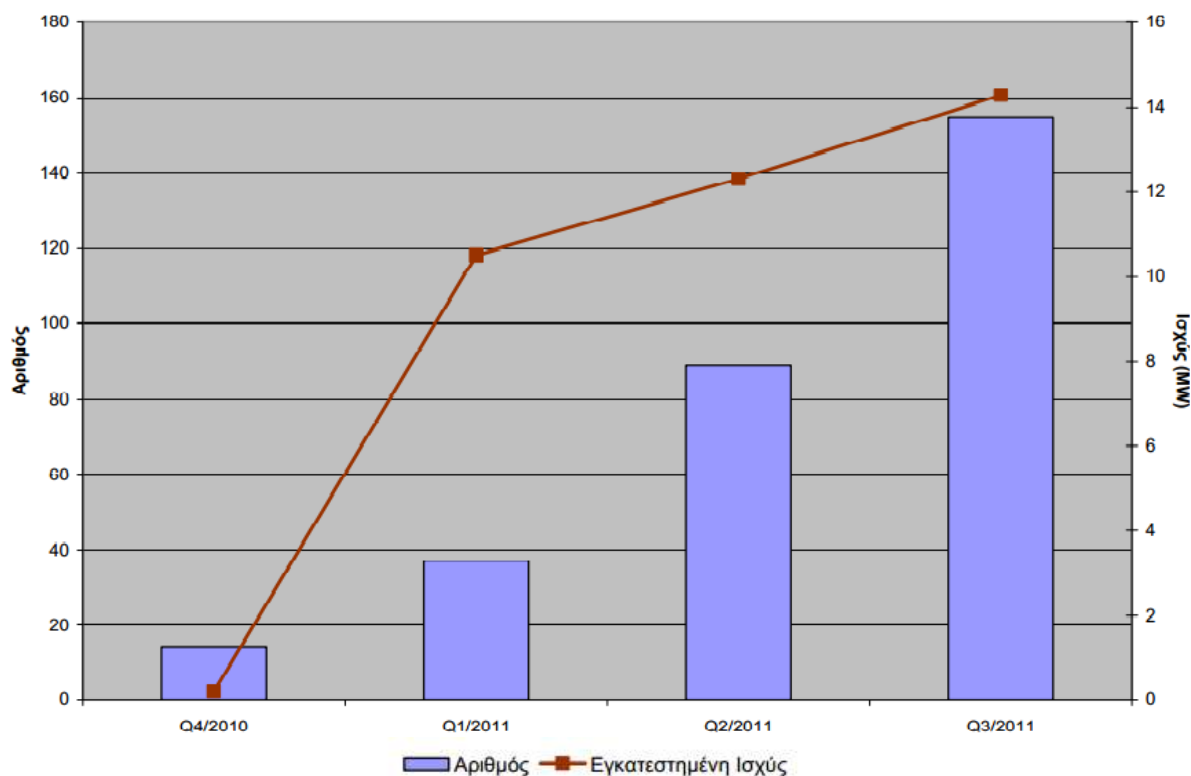
Το 2010 η ισχύς αυξήθηκε κατά 148 MWp. Η συγκεκριμένη ποσότητα κατανέμεται σε 107 MWp που προέρχεται από συστήματα άνω των 10 kWp στην ηπειρωτική χώρα, κυρίως επίγεια, περίπου 5 MWp από συστήματα σε κτίρια έως 10 kWp το καθένα και 36 MWp από συστήματα έως 100 kWp εγκατεστημένη σε νησιά τα οποία δεν είναι διασυνδεδεμένα.

Τέλος τη 10^η θέση στο παγκόσμιο TOP-10 των χωρών με την υψηλότερη νέα εγκατεστημένη ισχύ από φωτοβολταϊκά το 2011 βρέθηκε η Ελλάδα σύμφωνα με τα στατιστικά της διεθνούς αγοράς Φ/Β που έδωσε στη δημοσιότητα ο ΣΕΦ. Παράλληλα, η Ελλάδα, με 39,5 Wp/κάτοικο, βρέθηκε στη 4^η θέση της λίστας με τις αγορές με τη μεγαλύτερη νέα εγκατεστημένη ισχύ ανά κάτοικο για το 2011.



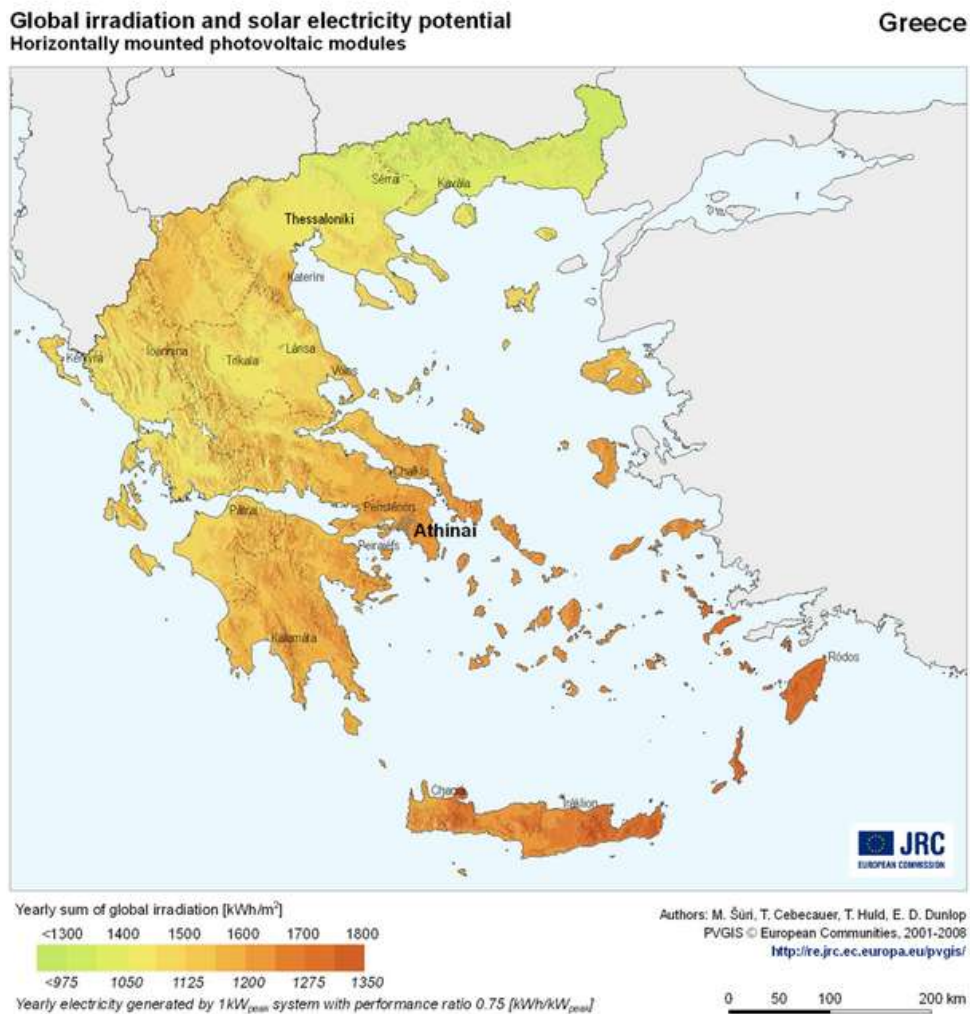
Σχ.1.3 Πιθανή εξέλιξη των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα.

Στο παραπάνω σχήμα αναπαρίσταται ένα πιθανό σενάριο της προβλεπόμενης εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα που φτάνει τα 6000 ευρώ. Αυτός ο στόχος παρουσιάστηκε από την EPIA (European Photovoltaic Industry Association) και υποστηρίζεται από την HELAPCO (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών). [2]



Σχ.1.4 Αριθμός και εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β συστημάτων

Επεξήγηση: Το Q στον οριζόντιο άξονα υποδηλώνει τρίμηνο του έτους και ο αριθμός υποδηλώνει ποιο τρίμηνο συγκεκριμένα. [3]

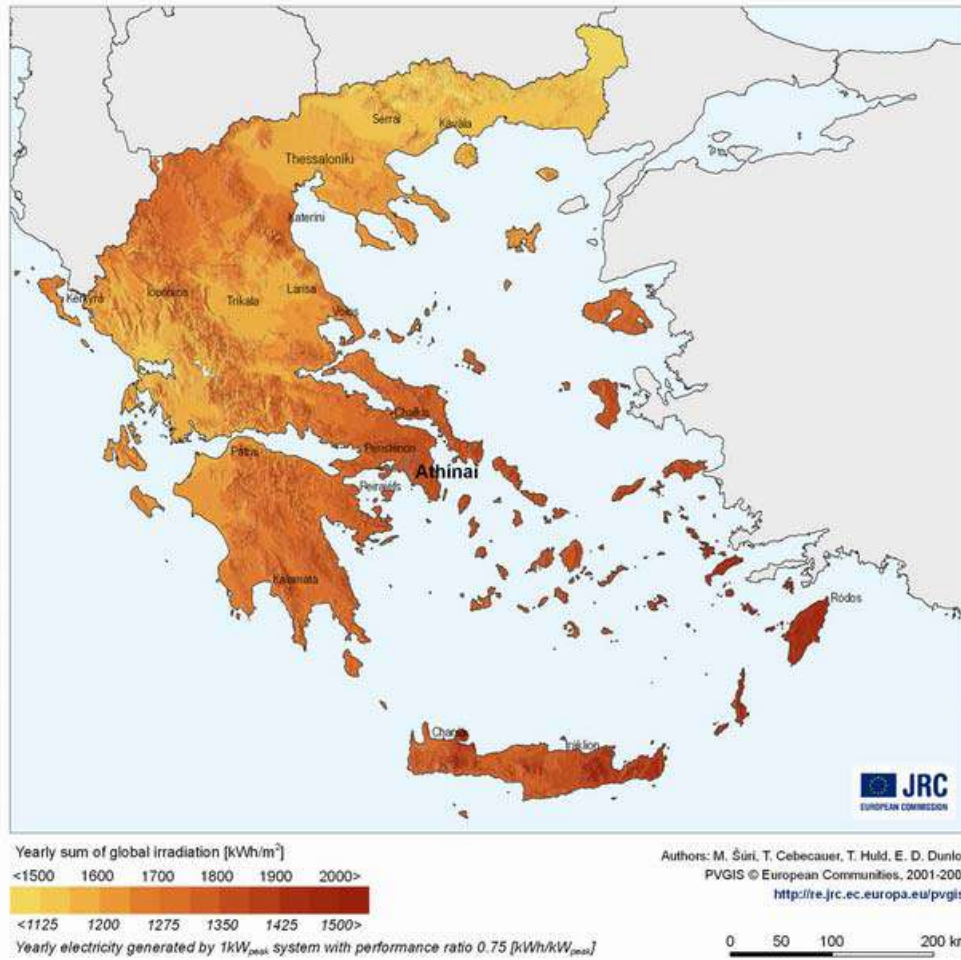


Σχ.1.5

Ο παραπάνω χάρτης παρουσιάζει την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία και το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι δυνατό να παραχθεί από φ/β πλαίσια τοποθετημένα οριζοντίως. Επίσης, ο χάρτης που ακολουθεί αφορά πλαίσια τοποθετημένα υπό τη βέλτιστη γωνία ανά περιοχή. Παρατηρούμε ότι σε όλη την επικράτεια της Ελλάδας το πόσο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγάλο, ενώ όσο πιο νότια κινούμαστε το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια των πλαισίων αυξάνεται σημαντικά.

Global irradiation and solar electricity potential
Optimally-inclined photovoltaic modules

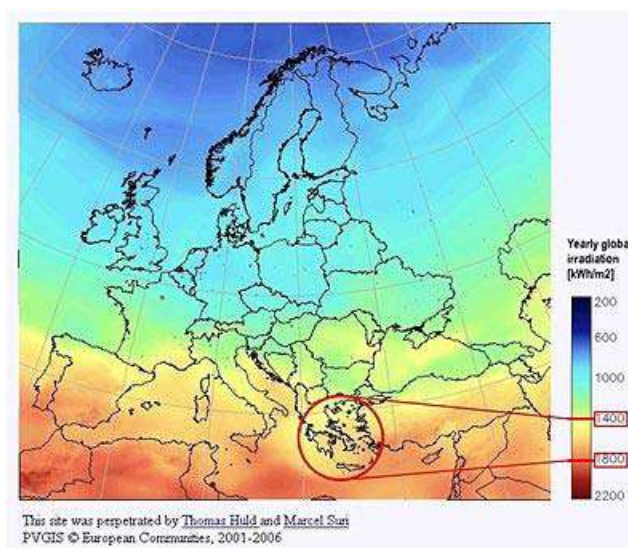
Greece



Σχ.1.5

1.4 Τα Φ/Β στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία είναι αντίστοιχη με την ελληνική. Πολλές πόλεις χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν παράσχει ανάλογα κίνητρα για την εγκατάσταση Φ/Β τόσο σε οικιακές όσο και σε εταιρικές εγκαταστάσεις. Πρόσφατα, η πόλη με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια στην Γερμανία, το Φράιμπουργκ (Freiburg im Breisgau) διατηρώντας τον τίτλο της "πράσινης πόλης" ανακοίνωσε την εγκατάσταση Φ/Β σε οικίες και δημόσια κτίρια, ενώ τον Οκτώβριο του 2008 φιλοξενήθηκε το διεθνές συνέδριο για τα Φ/Β. Οι οικιακοί καταναλωτές στην πόλη πωλούν τα ποσά ενέργειας που περισσεύουν στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόμοιες προσπάθειες γίνονται, επίσης, στην Νότια Γαλλία και στην Ιταλία, καθώς οι περιοχές αυτές πλεονεκτούν από την άποψη ημερήσιας ηλιοφάνειας. Προσδοκείται, ωστόσο, η εγκατάσταση Φ/Β και σε βορειότερες περιοχές, ιδιαίτερα όταν βελτιωθεί ο συντελεστής απόδοσής τους.



Σχ.1.7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β

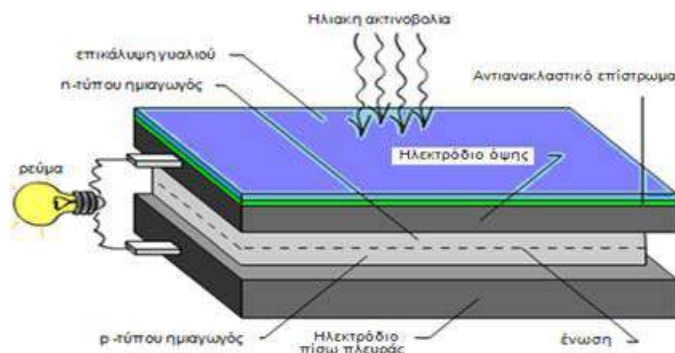
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο επεξηγείται τι είναι η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια και πως παράγεται. Επίσης αναλύεται ο όρος του φωτοβολταϊκού φαινομένου και τέλος γίνεται μια μαθηματική ανάλυση που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τις φωτοдиодους και τα φ/β πλαίσια.

2.1 Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια



Σχ.2.1

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο (photovoltaic cell) είναι γενικά ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Σήμερα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η βιομηχανική παραγωγή έχει προωθηθεί, είναι αυτά που βασίζονται στην δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρωμάτων σε επαφή. Συνήθως, τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται ηλεκτρόδια. Η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετράγωνης πλάκας, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου. Όταν το φ/β στοιχείο φωτίζεται προκαλείται στο εσωτερικό του ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρευμα), το οποίο αποδεικνύεται ευθέως ανάλογο της πυκνότητας ισχύος του ηλιακού φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια του. Η αναπτυσσόμενη σε ένα τυπικό φ/β στοιχείο συνεχής ηλεκτρική τάση ανοιχτού κυκλώματος, βρίσκεται στην περιοχή 0,50-0,70 V ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή των 10-40 mA/cm², για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 Kw/m².



Σχ.2.2 Δομή φωτοβολταϊκού κυττάρου

2.2 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

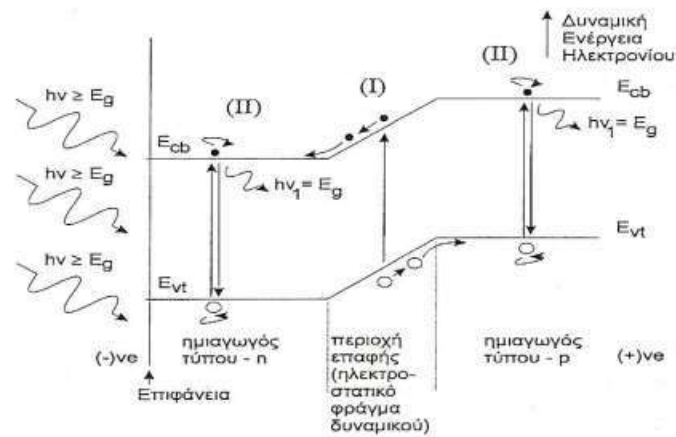
Τα φωτόνια της ηλιακής δέσμης διαθέτουν χαρακτηριστική ποσότητα ενέργειας η οποία είναι ανάλογη του μήκους κύματος του φωτός. Στη διαδικασία της φωτοεκπομπής, εάν ένα ηλεκτρόνιο απορροφήσει την ενέργεια ενός φωτονίου και αποκτήσει περισσότερη ενέργεια από την απαιτούμενη που χρειάζεται για να απομακρυνθεί από το υλικό, τότε αυτό εκτινάσσεται από το υλικό. Σε περίπτωση που η ενέργεια των φωτονίων είναι πάρα πολύ χαμηλή, το ηλεκτρόνιο είναι ανίκανο να δραπετεύσει από την επιφάνεια του υλικού. Η αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν αλλάζει την ενέργεια των αρχικών φωτονίων, παρά μόνο τον αριθμό τους, έτσι η ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός.

Τα ηλεκτρόνια μπορούν να απορροφήσουν την ενέργεια από τα φωτόνια όταν ακτινοβολούνται, ωστόσο ακολουθούν την αρχή «όλα ή τίποτα». Όλη η ενέργεια ενός φωτονίου πρέπει να απορροφηθεί και να χρησιμοποιηθεί για να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο από την ατομική σύνδεση, αλλιώς επανεκπέμπεται. Εάν όλη η ενέργεια του φωτονίου απορροφηθεί, μέρος της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται για να το ελευθερώσει από το άτομο και το υπόλοιπο συμβάλλει στην κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου ως ελεύθερο μόριο.

Κατά την έκθεση μιας μεταλλικής επιφάνειας σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συχνότητας υψηλότερης από τη συχνότητα κατώτατων ορίων ή το μήκος κύματος κατώτατων ορίων (τα οποία είναι συγκεκριμένα ανάλογα με τον τύπο επιφάνειας του υλικού), τα φωτόνια απορροφώνται και παράγεται ρεύμα. Κανένα ηλεκτρόνιο δεν εκπέμπεται ως ακτινοβολία με συχνότητα κάτω από αυτή του κατωφλίου, αφού τα ηλεκτρόνια είναι ανίκανα να κερδίσουν την απαιτούμενη ενέργεια για να υπερνικήσουν το ηλεκτροστατικό εμπόδιο που παρουσιάζεται στην άκρη της κρυστάλλινης επιφάνειας. Με βάση τη διατήρηση της ενέργειας, η ενέργεια του φωτονίου απορροφάται από το ηλεκτρόνιο και εάν αυτή είναι επαρκής, τότε το ηλεκτρόνιο μπορεί να απομακρυνθεί από το υλικό, δεδομένου ότι η ενέργεια ενός φωτονίου μπορεί μόνο να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται καλούνται συχνά φωτοηλεκτρόνια.

Αναλυτικότερα, τα ηλιακά στοιχεία βασίζουν τη λειτουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανομημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά από την οποία προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να δημιουργηθεί ένα ζεύγος ελεύθερων φορέων: δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο της ζώνης αγωγιμότητας και μια οπή στη ζώνη σθένους. Η αναγκαιότητα ύπαρξης του ηλεκτροστατικού φράγματος πηγάζει από την απαίτηση για διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορέων φορτίου και τη συγκέντρωσή τους πάνω στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου, δηλαδή τη φωτιζόμενη και την πίσω όψη τους. Συγκεκριμένα επειδή μερικά από τα ζεύγη των φορέων αυτών δημιουργούνται μέσα ή δίπλα από την περιοχή του ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού διαχωρίζονται προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική τους ενέργεια. Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν σφαίρες μάζας m_e που κυλούν πάνω σε ένα κεκλιμένο επίπεδο, ενώ οι οπές συμπεριφέρονται σαν φουσαλίδες που αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό. Στο μοντέλο αυτό, το ηλεκτρόνιο (σφαίρα) ελαχιστοποιεί τη δυναμική της ενέργειας κινούμενη προς τα άνω σε ένα διάφραγμα δυναμικής ενέργειας. Για παράδειγμα σε μια δίοδο pn τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα του τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα του τύπου p, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται φορτία στις δύο αντικρινές επιφάνειες και να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων του

ηλιακού στοιχείου, για όσο διάστημα υπάρχει η οπτική διέγερση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους π.χ. από διόδους Schottky που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.



Σχ.2.3 Διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας των ηλεκτρονίων σε συνάρτηση με το βάθος από την επιφάνεια

Όπως φαίνεται στο σχήμα, στο ηλιακό στοιχείο προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια τιμής $E=hn \geq E_g$. Όπου $E_g=E_{cb}-E_{vt}$ η τιμή του ενεργειακού διακένου, E_{cb} ο πυθμένας της ζώνης αγωγιμότητας και E_{vt} η κορυφή της ζώνης σθένους. Στην περιοχή (I) το δημιουργούμενο ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής διαχωρίζεται από το ηλεκτροστατικό πεδίο. Στο σχήμα τα ηλεκτρόνια (σφαίρες) κυλούν πάνω στον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας και μεταφέρονται στην περιοχή τύπου-n. Κατ' αναλογία, οι οπές (φυσαλίδες) ολισθαίνουν μόλις κάτω από την περιοχή της ζώνης σθένους και μεταφέρονται προς την περιοχή τύπου-p για να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική τους ενέργεια. Στις περιοχές (II) δεν διαχωρίζονται χωρικά οι παραγόμενοι φορείς οπότε, αφού ζήσουν το χρόνο ζωής τους, επανασυνδέονται και χάνονται εκπέμποντας ένα φωτόνιο ενέργειας:

$$E = h \cdot \nu = E_g \quad (2.1)$$

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα $I\Phi$ που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Αν υποθέσουμε ότι έχουν εξασφαλιστεί οι βασικές προϋποθέσεις για ένα καλό φ/β στοιχείο, τότε για την πυκνότητα του φωτορεύματος, ισχύει ικανοποιητικά η σχέση:

$$I\Phi = e \cdot g \cdot (L_n + L_p) \quad (2.2)$$

e : το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο

g : ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας

L_n : το μέσο μήκος διάχυσης των ηλεκτρονίων

L_p : το μέσο μήκος διάχυσης των οπών

Το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φ/β στοιχείου σε σχέση με τη ροή Φ ορίζεται ως φασματική απόκριση S . Για ακτινοβολία μήκους κύματος λ , η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ είναι:

$$S(\lambda) = \frac{I\varphi(\lambda)}{e\Phi(\lambda)} \quad (2.3)$$

όπου $\Phi(\lambda)$ είναι το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι $\lambda+d\lambda$.

Όταν λοιπόν ένα φ/β στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το **φωτόρευμα $I\Phi$** , του οποίου η τιμή του είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Για τον υπολογισμό του μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$I_L = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda \quad (2.4)$$

όπου

e : το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο

$R(\lambda)$: ο δείκτης ανάκλασης για ακτινοβολία μήκους κύματος λ

λ_g : το μέγιστο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό, ενεργειακού διακένου E_g

2.3 Μοντέλο της μιας διόδου του πλαισίου και καθορισμός των παραμέτρων του

2.3.1 Μοντέλο της μιας διόδου ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου

Το παραμετρικό μοντέλο της μιας διόδου ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$I_{cell} = I_{L,cell} - I_{0,cell} \left(e^{\frac{V_{cell} + I_{cell} R_{s,cell}}{n_{cell} V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{cell} + I R_{s,cell}}{R_{sh,cell}} \quad (2.5)$$

Όπου :

- V_T : η θερμική τάση σε Volt που δίνεται από τη σχέση $V_T = \frac{kT_c}{q}$ (2.6)

Για θερμοκρασία δωματίου, $27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{K}$, $V_T \approx 25,85\text{mV}$

- K : η σταθερά Boltzmann $K = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$
- T_c : απόλυτη θερμοκρασία του κυττάρου σε βαθμούς Kelvin ($0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}$).
- q : φορτίο ηλεκτρονίου
- n_{cell} : συντελεστής διόρθωσης που οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης και μη ιδανικής διάχυσης τα οποία συμβαίνουν στην περιοχή της p-n επαφής. Παίρνει τιμές μεταξύ 1 και 2
- I_{cell} : το ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου
- V_{cell} : η τάση στην έξοδο του κυττάρου
- $I_L, cell$: το φωτόρευμα, δηλαδή το ρεύμα που παράγεται λόγω του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός επί του κυττάρου.
- $I_{0, cell}$: ρεύμα κόρου της διόδου
- $R_{s, cell}$: σε σειρά αντίσταση του κυττάρου. Παριστάνει σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα κατανομημένα στοιχεία αντίστασης κατά τη ροή των φορέων στον κυρίως ημιαγωγό, την ενδοεπιφάνεια μεταξύ ημιαγωγού ωμικής επαφής και την ωμική επαφή. Είναι συνήθως μικρότερη του 1Ω
- $R_{sh,cell}$: παράλληλη αντίσταση του κυττάρου. Οφείλεται σε διαρροές φορέων που συμβαίνουν : στην επαφή pn (επανασύνδεση), στην εξωτερική παράπλευρη επιφάνεια του κυττάρου (επιφανειακή διαρροή), σε άλλες ανωμαλίες του κρυστάλλου. Είναι της τάξης των $k\Omega$, γενικά πολύ μεγαλύτερη από την R_s

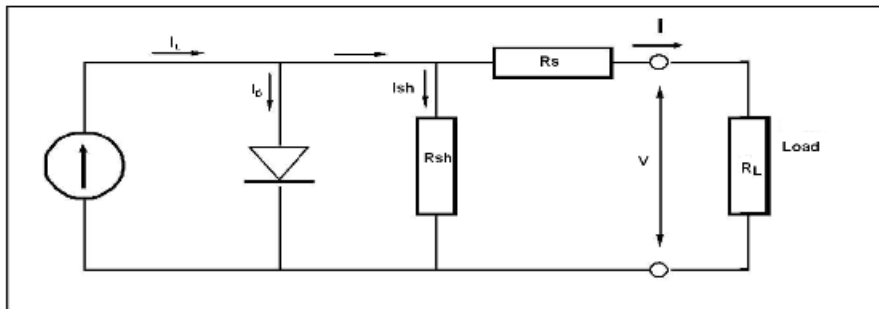
2.3.2 Μοντέλο της μιας διόδου για ένα ολόκληρο το πλαίσιο

Με βάση το μοντέλο της μιας διόδου για ένα ηλιακό κύτταρο προκύπτει το μοντέλο της μιας διόδου για ένα ολόκληρο πλαίσιο. Αν θεωρήσουμε ότι το πλαίσιο αποτελείται από N_s ίδια ηλιακά κύτταρα σε σειρά και N_p παράλληλες αλυσίδες κυττάρων τότε η ηλεκτρική συμπεριφορά του δίνεται από την εξίσωση:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{V + IR_s}{n \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

Όπου:

- N_s : αριθμός κυττάρων σε σειρά. Θεωρούμε ότι τα κύτταρα είναι πανομοιότυπα.
- N_p : αριθμός παράλληλων αλυσίδων
- n : $N_s \times n_{cell}$
- $I = I_{cell} \times N_p$, το ρεύμα στην έξοδο του πλαισίου
- $V = V_{cell} \times N_s$, η τάση στη έξοδο του πλαισίου
- $I_L = I_{L,cell} \times N_p$ το συνολικό ισodύναμο φωτόρευμα του πλαισίου
- $I_0 = I_{0,cell} \times N_p$ το συνολικό ρεύμα κόρου της διόδου του πλαισίου
- $R_s = (N_s / N_p) \times R_{s, cell}$ η ισodύναμη σε σειρά αντίσταση του πλαισίου
- $R_{sh} = (N_s / N_p) \times R_{sh, cell}$ η ισodύναμη παράλληλη αντίσταση του πλαισίου. Η εξίσωση αυτή είναι μια μη γραμμική πεπλεγμένη εξίσωση, $I=f(I,V)$. Αποτελεί το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την ηλεκτρική συμπεριφορά ενός πλαισίου σε στατικές καταστάσεις. Το ισodύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα



Σχ.2.4 Το μοντέλο της μιας διόδου για ένα πλαίσιο

Αν επιλύσουμε την παραπάνω εξίσωση (2.6) ως προς την τάση τότε παίρνουμε πάλι μια πεπλεγμένη εξίσωση τα μορφής $V=f(I,V)$, επομένως έχουμε :

$$V = -IR_s + nV_T \ln \left(\frac{I_L - \beta_R \cdot I - \frac{V}{R_{SH}}}{I_0} + 1 \right) \quad (2.7)$$

Όπου: $\beta_R = 1 + \frac{R_s}{R_{SH}}$

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μετριέται βραχυκυκλώνοντας την έξοδο και μετρώντας το τελικό ρεύμα υπό πλήρη ακτινοβολήση. Αγνοώντας την μικρή δίοδο και το ρεύμα γείωσης που διαφεύγει υπό μηδενική τάση, το ρεύμα βραχυκύκλωσης υπό αυτές τις συνθήκες είναι το φωτόρευμα. Η μέγιστη φωτοτάση παράγεται υπό συνθήκες ανοιχτοκύκλωσης. Αγνοώντας το ρεύμα γείωσης που διαφεύγει και θέτοντας $I_L=0$. Από τις παραπάνω εξισώσεις μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα βραχυκύκλωσης και την τάση ανοιχτοκύκλωσης. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} υπολογίζεται αν θέσουμε στην εξίσωση 2.6 $V=0$ και $I = I_{sc}$ οπότε προκύπτει :

$$I_{sc} = \frac{1}{\beta_R} \cdot \left\{ I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{I_{sc} \cdot R_s}{n \cdot V_T} \right) - 1 \right] \right\} \quad (2.9)$$

Η τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{oc} υπολογίζεται αν θέσουμε στην εξίσωση (2.7) όπου $I = 0$ και $V = V_{oc}$ οπότε προκύπτει:

$$V = nV_T \cdot \ln \left(\frac{I_L - \frac{V_{oc}}{R_{SH}}}{I_0} + 1 \right) \quad (2.10)$$

2.3.3 Συνήθειες προσεγγίσεις

Όπως είδαμε η R_{sh} είναι πολύ μεγάλη (της τάξης των $k\Omega$) και πολύ μεγαλύτερη της R_s μπορούμε να κάνουμε τις παρακάτω προσεγγίσεις:

$$\frac{V + IR_s}{R_{SH}} \approx 0 \quad \text{και} \quad \frac{V}{R_{SH}} \approx 0 \quad \text{και} \quad \beta_R = 1 + \frac{R_s}{R_{SH}} \approx 1$$

Οι παραλειπόμενοι όροι είναι σχεδόν αμελητέοι και δεν έχουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της χαρακτηριστικής εξόδου V-I.

Έτσι οι σχέσεις (2.6), (2.7), (2.9), (2.10) απλοποιούνται στις ακόλουθες:

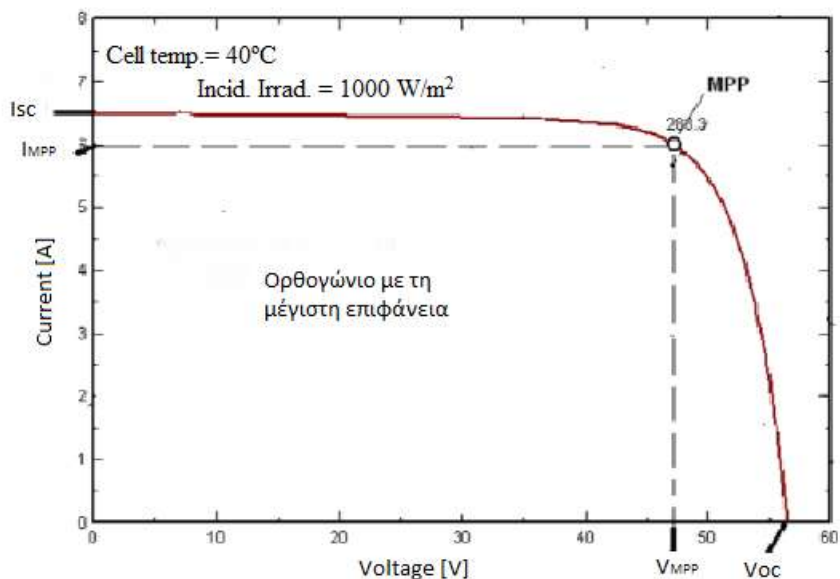
$$I \approx I_L - I_0 \cdot \left[e^{\frac{V+I \cdot R_s}{n \cdot V_T}} - 1 \right] \quad (2.11)$$

$$V \approx -I \cdot R_s + nV_T \cdot \ln \left[\frac{I_L - I}{I_0} + 1 \right] \quad (2.12)$$

$$I_{sc} \approx I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{I_{sc} \cdot R_s}{n \cdot V_T} \right) - 1 \right] \quad (2.13)$$

$$V_{oc} \approx nV_T \cdot \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (2.14)$$

Η γραφική παράσταση μεταξύ τάσης και ρεύματος στην έξοδο του πλαισίου καλείται χαρακτηριστική εξόδου I-V και έχει επικρατήσει να παριστάνεται στο πρώτο τεταρτημόριο. Μια τέτοια καμπύλη για δοσμένη ένταση ακτινοβολίας και δοσμένη θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχ.2.5 Χαρακτηριστική I-V φωτοβολταϊκού πλαισίου

Στην καμπύλη βλέπουμε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά μεγέθη γ για το πλαίσιο:

- I_{sc} : το ρεύμα βραχυκύκλωσης στην έξοδο του πλαισίου για τάση εξόδου $V=0$
- V_{oc} : την τάση ανοιχτού κυκλώματος, που είναι η τάση για ρεύμα $I=0$
- MPP: το σημείο μέγιστης ισχύος εξόδου που είναι το σημείο της I-V καμπύλης
- από όπου μπορούμε να κατασκευάσουμε το ορθογώνιο με την μέγιστη επιφάνεια
- μέσα στην καμπύλη I-V. Η ισχύς στο σημείο, αυτό για δοσμένες συνθήκες
- ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το πλαίσιο, PM
- I_{MPP} : το ρεύμα εξόδου που αντιστοιχεί στο MPP
- V_{MPP} : η τάση εξόδου που αντιστοιχεί στο MPP

2.3.4 Προσδιορισμός παραμέτρων του κυκλώματος της μιας διόδου με χρήση πειραματικών μετρήσεων

Οι παράμετροι που καθορίζουν το μοντέλο της μιας διόδου για το φβ πλαίσιο δεν υπολογίζονται εύκολα. Παρουσιάζεται εδώ συνοπτικά ένας αλγεβρικός τρόπος προσδιορισμού των παραμέτρων του μοντέλου με βάση συγκεκριμένες πειραματικές μετρήσεις ή δεδομένα που παρέχονται για τα πλαίσια υπό γνωστές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας (συνθήκες αναφοράς). Οι συνθήκες αναφοράς λαμβάνονται συνήθως για ακτινοβολία 1000 W/m^2 και για τη θερμοκρασία 25°C (STC συνθήκες).

Για δεδομένες λοιπόν τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας μπορούμε να καθορίσουμε την πλήρη I-V χαρακτηριστική ενός οποιουδήποτε πλαισίου αρκεί να προσδιορίσουμε τις παραμέτρους των παραπάνω εξισώσεων, δηλ τα : n , I_0 , I_L , R_{sh} , R_s .

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κάποιες επιλεγμένες μετρήσεις και γίνονται κατάλληλες προσεγγίσεις στις παραπάνω εξισώσεις του μοντέλου για να καταλήξουμε σε σχέσεις που δίνουν τις αναλυτικές εκφράσεις για τις παραμέτρους του μοντέλου με ικανοποιητική ακρίβεια. Επομένως χρησιμοποιούμε κάποιες μετρήσεις και τις εξισώσεις που περιγράφουν το μοντέλο και στη συνέχεια επιλύουμε το αλγεβρικό σύστημα που προκύπτει ως προς τις ζητούμενες παραμέτρους. Για τον υπολογισμό λοιπόν των παραμέτρων με την συγκεκριμένη

αλγεβρική μέθοδο χρησιμοποιούνται κατάλληλα πειραματικά σημεία που προκύπτουν από κάποια κατάλληλη πειραματική καμπύλη. Τα σημεία αυτά είναι:

- Τάση ανοιχτού κυκλώματος, V_{oc} .
- Ρεύμα ανοιχτοκύκλωσης, I_{sc} .
- Τάση V_{MP} και ρεύμα I_{MP} στο σημείο μέγιστης ισχύος εξόδου P_{MP} .
- Την κλίση, $\partial V/\partial I$, της καμπύλης V-I στο σημείο ($V=V_{oc}$, $I=0$), με βάση την οποία υπολογίζουμε την R_{s0} . Έχουμε δηλαδή:

$$R_{s0} = - \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{V=V_{oc}} \quad (2.15)$$

Για το σκοπό αυτό απαιτείται η λήψη πειραματικών μετρήσεων πολύ κοντά στην τιμή V_{oc} . Συγκεκριμένα παίρνουμε το ζεύγος τιμών (V_{MAX} , I_{MIN})

$$R_{s0} = - \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{V=V_{oc}} = - \frac{V_{oc} - V_{MAX}}{0 - I_{MIN}} \rightarrow R_{s0} = \frac{V_{oc} - V_{MAX}}{I_{MIN}} \quad (2.16)$$

Την κλίση της καμπύλης V-I στο σημείο ($V=0$, $I=I_{sc}$), με βάση την οποία υπολογίζουμε την R_{sh} . Έχουμε δηλαδή:

$$R_{sh} = - \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{I=I_{sc}} \quad (2.17)$$

Για το σκοπό αυτό απαιτείται η λήψη πειραματικών μετρήσεων πολύ κοντά στην τιμή ($V=0$, $I=I_{sc}$). Συγκεκριμένα παίρνουμε το ζεύγος τιμών (0 , I_{MAX})

$$R_{sh0} = - \left(\frac{\partial V}{\partial I} \right)_{I=I_{sc}} = - \frac{0 - V_{MIN}}{I_{sc} - I_{MAX}} \rightarrow R_{sh0} = \frac{V_{MIN}}{I_{sc} - I_{MAX}} \quad (2.18)$$

2.3.5 Εξισώσεις που δίνουν τις παραμέτρους του μοντέλου

Με βάση τα παραπάνω μετρούμενα δεδομένα, με τη χρήση των εξισώσεων που έχουμε ήδη δει και κάνοντας κατάλληλες προσεγγίσεις καταλήγουμε σε 5 εξισώσεις για τον υπολογισμό των παραμέτρων του μοντέλου του φ/β πλαισίου. Οι εξισώσεις στις οποίες καταλήγουμε παρουσιάζονται πιο κάτω. Η διαδοχή των εξισώσεων συμπίπτει με τη διαδοχή που πρέπει να γίνουν οι υπολογισμοί για να λάβουμε τις τιμές των παραμέτρων. Συνεπώς έχουμε:

$$R_{sh} \cdot R_{sh0} = \frac{V_{MIN}}{I_{sc} - I_{MAX}} \quad (2.19)$$

$$n \approx \frac{1}{V_T} \cdot \frac{V_{MP} + I_{MP}R_{s0} - V_{oc}}{\ln\left(\frac{(I_{sc} - I_{MP})R_{sh} - V_{MP}}{I_{sc} \cdot R_{sh} - V_{oc}}\right) + \frac{I_{MP}}{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}} \quad (2.20)$$

$$I_0 \approx \frac{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{nV_T}\right)} \quad (2.21)$$

$$R_s = R_{s0} - \frac{nV_T}{I_0 \exp\left(\frac{V_{oc}}{nV_T}\right)} \quad (2.22) \quad \text{όπου: } R_{s0} = \frac{V_{oc} - V_{MAX}}{I_{MIN}}$$

$$I_L = I_{sc} \left(1 + \frac{R_s}{R_{SH}}\right) + I_0 \left[\exp\left(\frac{I_{sc}R_s}{nV_T}\right) - 1\right] \quad (2.23)$$

Μπορούμε συνεπώς να υπολογίσουμε τις παραμέτρους του μοντέλου ενός φβ πλαισίου (πάντα για συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας) ως συνάρτηση μεγεθών άμεσα μετρήσιμων από την χαρακτηριστική V-I. Τα μετρούμενα μεγέθη είναι :

- V_{oc} : τάση ανοιχτού κυκλώματος
- I_{sc} : ρεύμα βραχυκύκλωσης.
- V_{MP} : τάση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος
- I_{MP} : ρεύμα που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος
- V_{MIN} : η ελάχιστη μετρηθείσα τιμή τάσεως της καμπύλης
- I_{MAX} : η μέγιστη μετρηθείσα τιμή ρεύματος της καμπύλης
- V_{MAX} : η μέγιστη μετρηθείσα τιμή τάσεως της καμπύλης
- I_{MIN} : η ελάχιστη μετρηθείσα τιμή ρεύματος της καμπύλης (1)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται ο βαθμός απόδοσης του φ/β πλαισίου και ο συντελεστής πλήρωσης. Ακόμα περιγράφονται τα υλικά κατασκευής των πλαισίων και τέλος προσδιορίζονται παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία τους.

3.1 Βαθμός απόδοσης φ/β πλαισίου

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

$$n = \frac{P_{MP}}{P_{IN}} = \frac{V_{MP}I_{MP}}{GA} \quad (3.1)$$

Όπου :

G : η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο ηλιακό κύτταρο

A : η επιφάνεια του ηλιακού κυττάρου

3.2 Συντελεστής Πλήρωσης (Fill Factor, FF)

Ο συντελεστής πλήρωσης δίνεται από το διάγραμμα της I-V και είναι ο λόγος του εμβαδού του μέγιστου ορθογωνίου με πλευρές V_m , I_m (μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς του στοιχείου) που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V, προς το εμβαδόν του ορθογωνίου I_{sc} , V_{oc} (Ιδανική συμπεριφορά του στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος). Η σχέση είναι η εξής:

$$FF = V_m I_m / V_{oc} I_{sc} \quad (3.2)$$

Συμπεραίνουμε ότι όταν οι τιμές του λόγου αυτού πλησιάζουν τη μονάδα τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος. Ο συντελεστής πλήρωσης είναι ένα μέτρο του πόσο τετράγωνη είναι η καμπύλη I-V και οι τιμές είναι μεταξύ 0.7 και 0.9.

3.3 Υλικά κατασκευής Φ/Β

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- ✓ Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- ✓ Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- ✓ Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- ✓ Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

3.3.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης /επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



Σχ.3.1 Φ/Β πλαίσιο από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

3.3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC).



Σχ.3.2 Φ/Β πλαίσιο από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

3.3.3 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Ταινίας Πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του φτάνει γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

3.3.4 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Άμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

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

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

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη

ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά. Φωτοβολταϊκά Υλικά Λεπτών Επιστρώσεων Thin Film. Η τεχνολογία Thin Film καταλαμβάνει σήμερα περίπου το 10% της αγοράς και αναμένεται να φτάσει το 40% - 45% της συνολικής αγοράς των φωτοβολταϊκών τα επόμενα 4 -5 χρόνια. Παρόλο ότι τα στοιχεία Thin Film δεν έχουν αποδόσεις αντίστοιχες του κρυσταλλικού πυριτίου, διαθέτουν πολλά άλλα προτερήματα τα οποία τα καθιστούν άκρως ελκυστικά:

- Οι κυψέλες Thin Film αντέχουν περισσότερο στην ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν περισσότερη ισχύ στη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες όπως η Ελλάδα και άλλες μεσογειακές χώρες, έχει αποδειχθεί πως τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου έχουν μειωμένη απόδοση.
- Με την τεχνολογία Thin Film παράγονται περισσότερες κιλοβατώρες ενέργειας σε σχέση με τα κρυσταλλικά στοιχεία, ακόμα και σε συνθήκες διάχυτου φωτός.
- Τα στοιχεία Thin Film μεγάλου εμβαδού αποτελούν οικονομική λύση ειδικότερα για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις της τάξεως του MW όπου το κόστος εγκατάστασης είναι σαφώς μειωμένο. Η αγορά των στοιχείων Thin Film προσφέρει μια οικονομικότερη λύση σε σχέση με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με στοιχεία Thin Film απαιτεί εμβαδόν μικρότερο συγκριτικά με μία εγκατάσταση (Tracking) που αποτελείται από κρυσταλλικά στοιχεία υψηλής απόδοσης.
- Η τεχνολογία Thin Film επιτυγχάνει σημαντικά μειωμένο αρχικό κόστος επένδυσης και ταχύτερους χρόνους απόσβεσης σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα.
- Η τεχνολογία Thin Film προσφέρει καινοτόμες λύσεις σε κτίρια, όπως για παράδειγμα την χρήση ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών στοιχείων στα παράθυρα, αντικαθιστώντας έτσι τα τζάμια σε προσόψεις κτιρίων, προσφέροντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα να εισέλθει φυσικό φως.
- Η ανακύκλωση, σε ποσοστό μεγαλύτερο της τάξης του 90%, των υλικών που αποτελούν το Thin Film όπως γυαλί και μέταλλο, καθιστά τη συγκεκριμένη τεχνολογία απολύτως φιλική προς το περιβάλλον.

3.3.5 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

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

3.3.6 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

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

3.3.7 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

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

3.3.8 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

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

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία είναι πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ

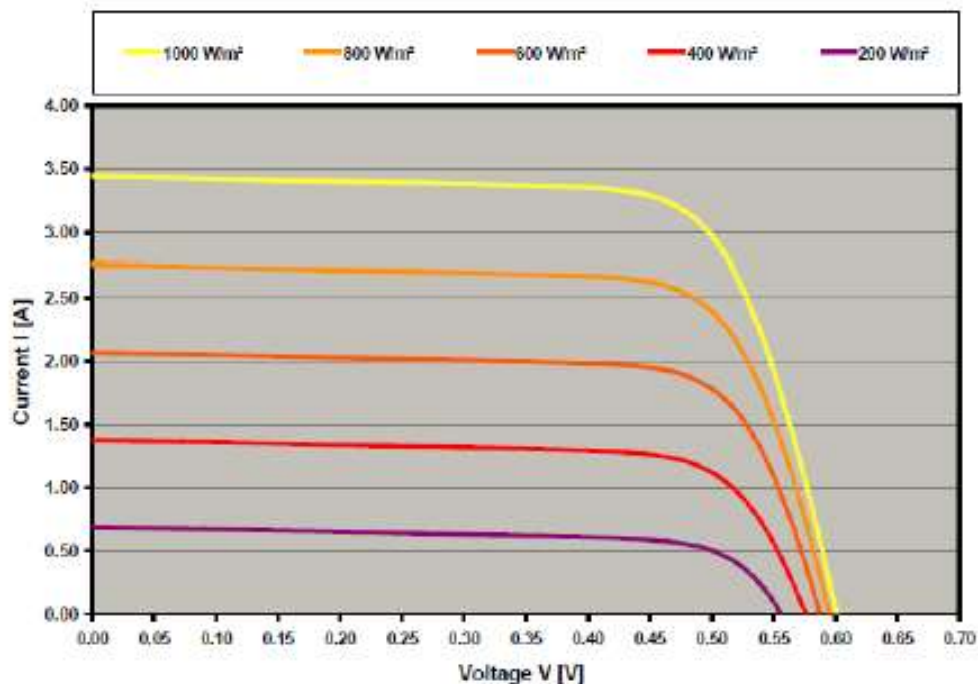
36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

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

3.4 Επίδραση εξωτερικών παραγόντων

3.4.1 Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζει σημαντικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}). Όσο αυξάνεται το η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας τόσο αυξάνει και το ρεύμα βραχυκύκλωσης ενώ παρουσιάζει και μια μικρή αύξηση η τάση ανοιχτού κυκλώματος. Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά ανάλογα και στην ισχύ του πλαισίου για σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχ.3.4

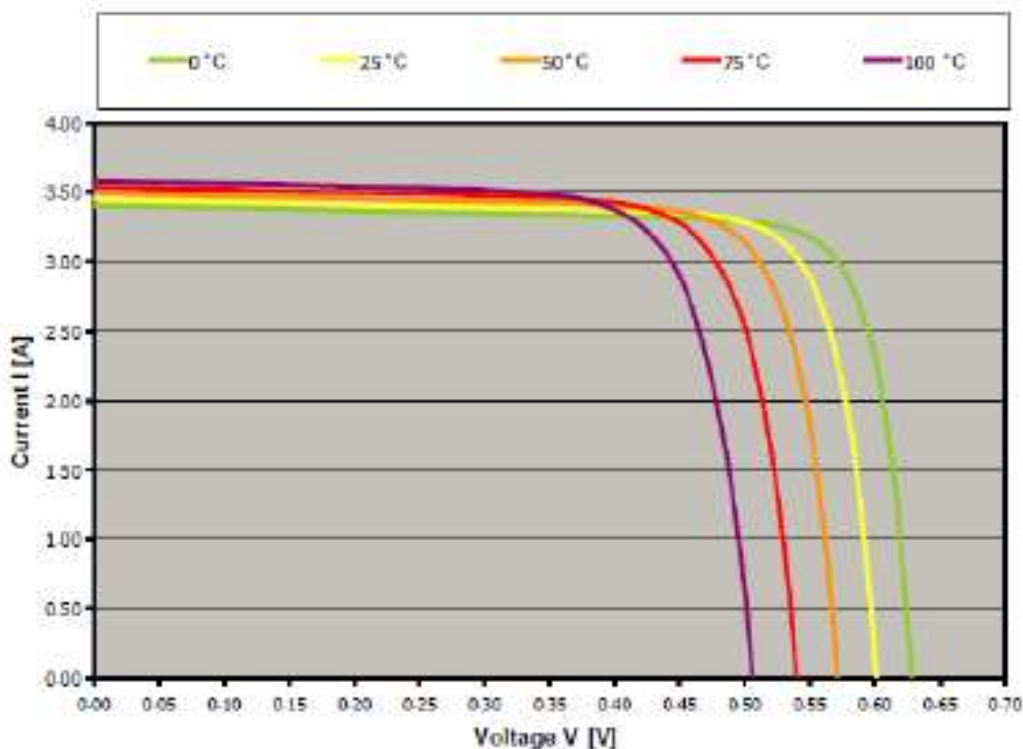
3.4.2 Η επίδραση της θερμοκρασίας

Η απόδοση των φ/β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φ/β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία, συνήθως 20°C, που συχνά, ιδίως τους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιολογικά από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου.

Έχει μετρηθεί ότι αφενός, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος κατά 25 ως 30°C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο, στους υπολογισμούς μας, παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30°C. Για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} , με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Δηλαδή για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο $\eta_{\pi} \times \sigma_{\theta}$. Στη συμβατική θερμοκρασία ο σ_{θ} είναι ίσος με τη μονάδα και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή.

π.χ. στην Αθήνα, τον μήνα Ιούλιο, που έχουμε μέση θερμοκρασία του αέρα, στις φωτεινές ώρες της ημέρας, σχεδόν 30°C, η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του φ/β πλαισίου θα είναι περίπου 60 °C και επομένως η τιμή του συντελεστή θερμοκρασίας διόρθωσης του φ/β πλαισίου θα είναι περίπου: $\sigma_{\theta}=1,00-(60-20) \times 0,005=0,8$.

Γενικά η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά την τάση του πλαισίου και πιο συγκεκριμένα η τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) αυξάνεται σημαντικά όταν μειώνεται η θερμοκρασία όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχ.3.5

3.4.3 Η επίδραση της ρύπανσης

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φ/β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη. Όταν η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάται ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φ/β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή (σ_p), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φ/β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια του είναι εντελώς καθαρή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα γενικά στοιχεία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου όπως είναι το φαινόμενο της νησιδοποίησης, θέματα περί αδειοδότησης. Ενώ περιγράφονται και πιο τεχνικά στοιχεία όπως είναι οι καλωδιώσεις, τύποι μετατροπέων. Τέλος γίνεται επεξήγηση των προβλημάτων που επιφέρει η σκίαση και του βαθμού απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης.

4.1 Νησιδοποίηση

Ως νησιδοποίηση (islanding) ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία ένα τμήμα του δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει τόσο φορτίο και παραγωγή όσο και αποθήκευση, απομονώνεται από το υπόλοιπο δίκτυο αλλά συνεχίζει να λειτουργεί τροφοδοτούμενο από τις μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης που συνδέονται στο τμήμα αυτό. Ως νησίδα αναφέρεται ένα τμήμα του δικτύου διανομής αποτελούμενο από μία ή περισσότερες μονάδες Διανεμημένης Παραγωγής (ΔΠ) και από φορτίο.

Η νησιδοποίηση μπορεί να γίνεται σκόπιμα ή όχι. Η δυνατότητα σκόπιμης νησιδοποίησης προϋποθέτει την ύπαρξη ελέγχου τάσης και συχνότητας μέσα στη νησίδα προκειμένου να διατηρείται ευσταθής η λειτουργία της. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να περιλαμβάνει έλεγχο της παραγωγής (μέσω ρυθμιστών τάσης και συχνότητας), έλεγχο φορτίων (π.χ. απόρριψη μη κρίσιμων φορτίων), κατάλληλο έλεγχο πιθανών αποθηκευτικών μέσων κ.ά.

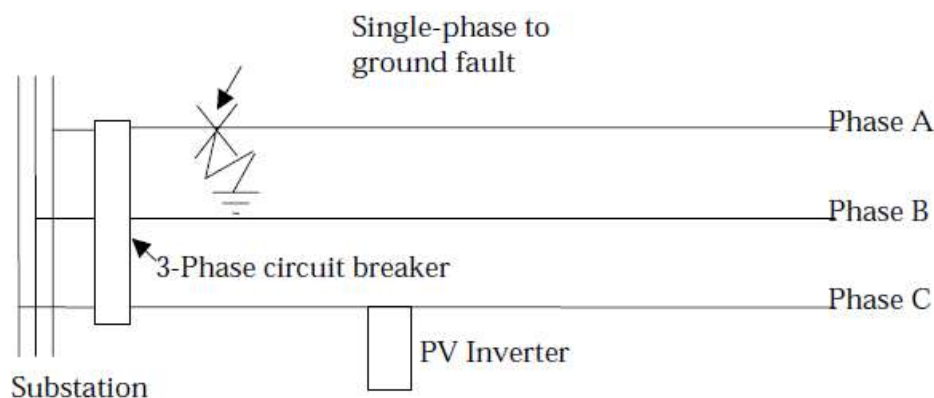
Όσον αφορά την μη σκόπιμη νησιδοποίηση, η επίδραση του ισοζυγίου της ισχύος παραγωγής-κατανάλωσης σε αυτήν είναι μεγάλη. Μια μη σκόπιμη νησίδα συνήθως έχει μικρή διάρκεια ζωής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, καθώς η νησίδα περιλαμβάνει τυχαία φορτία και παραγωγούς, η παραγωγή της πιθανώς δεν ταυτίζεται με τη ζήτησή της με αποτέλεσμα την ανισορροπία ισχύος κατά τον σχηματισμό της. Η ανισορροπία αυτή με τη σειρά της συνεπάγεται μεγάλες αλλαγές στο μέτρο και τη συχνότητα της τάσης εκτός των προκαθορισμένων ορίων. Αυτό θα οδηγήσει σε διακοπή της λειτουργίας των συμμετεχόντων παραγωγών. Υπάρχει όμως η οριακή περίπτωση σχετικής ισορροπίας του ενεργειακού ισοζυγίου με αποτέλεσμα τη διατήρηση της νησίδας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η μη σκόπιμη νησιδοποίηση ενδέχεται να συμβεί εξαιτίας μιας πληθώρας αιτιών και είναι επιθυμητή καθώς συνοδεύεται από μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων.

4.1.1 Αιτίες πρόκλησης του φαινομένου της νησιδοποίησης

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης μπορεί να συμβεί:

- Ως αποτέλεσμα ενός σφάλματος, το οποίο αν και ανιχνεύεται από τον προστατευτικό εξοπλισμό του δικτύου και οδηγεί σε απομόνωση του τμήματος του δικτύου το οποίο περιέχει το σφάλμα, εντούτοις δεν ανιχνεύεται από τους ΔΠ του συγκεκριμένου τμήματος.
- Ως αποτέλεσμα της διακοπής της τροφοδότησης από το δίκτυο διανομής για λόγους συντήρησης.
- Ως αποτέλεσμα ανθρώπινου λάθους ή κακόβουλων ενεργειών.

Ένα παράδειγμα της πρώτης περίπτωσης (μη ανίχνευσης του σφάλματος από τον ΔΠ) είναι ένας μονοφασικός αντιστροφέας ΦΒ συστήματος συνδέεται σε μια από τις τρεις φάσεις του δικτύου διανομής. Ο μονοφασικός αντιστροφέας συνήθως διαθέτει ένα μονοπολικό μέσο προστασίας, όπως μια μονοπολική ασφάλεια, η οποία συνεργάζεται επιλεκτικά με έναν τριπολικό διακόπτη. Όταν συμβεί μονοφασικό σφάλμα σε μια από τις άλλες δύο φάσεις του δικτύου διανομής, ο τριπολικός διακόπτης θα διακόψει την τροφοδότηση από το δίκτυο διανομής μέχρι να εκκαθαριστεί το σφάλμα. Ωστόσο, η ασφάλεια που προστατεύει τον μονοφασικό αντιστροφέα δεν θα διεγερθεί, καθώς δεν υφίσταται διαταραχή της τάσης στη συγκεκριμένη φάση του τριφασικού δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το τμήμα του δικτύου από τον διακόπτη και έπειτα να παραμείνει ενεργοποιημένο από τον μονοφασικό αντιστροφέα. Το προηγούμενο παράδειγμα φαίνεται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχ.4.1 Μη ανίχνευση σφάλματος στο δίκτυο διανομής από τον ΔΠ

4.1.2 Λόγοι για τους οποίους η μη σκόπιμη νησιδοποίηση είναι ανεπιθύμητη

Όταν συμβαίνει το φαινόμενο της μη σκόπιμης νησιδοποίησης τότε εμφανίζονται μια σειρά από αρνητικές επιπτώσεις που αφορούν την ασφάλεια, την αξιοπιστία του δικτύου και την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Αυτές είναι οι εξής:

- Το φαινόμενο της νησιδοποίησης μπορεί να αποτελέσει θανάσιμο κίνδυνο για το προσωπικό που εργάζεται σε κάποιο τμήμα του δικτύου στο οποίο έχει συμβεί νησιδοποίηση. Το προσωπικό μπορεί να εργάζεται στο συγκεκριμένο τμήμα το οποίο έχει αποσυνδεθεί από το κεντρικό δίκτυο (άρα θεωρείται ανενεργό) αλλά συνεχίζει να τροφοδοτείται από τους παραγωγούς της νησίδας. Τότε θα βρίσκεται υπό τάση και μάλιστα εν αγνοία του, οπότε διατρέχει άμεσο κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Το γεγονός αυτό αποτελεί το σοβαρότερο κίνδυνο καθώς αφορά την ανθρώπινη ζωή. Οι εργαζόμενοι στο δίκτυο συνήθως έχουν τον χρόνο να εργαστούν με βάση κάποιους κανόνες ασφαλείας, χρόνο τον οποίο δεν διαθέτουν εργαζόμενοι σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως π.χ. πυροσβέστες.
- Εμφανίζεται σοβαρός κίνδυνος διαταραχών στη συχνότητα και στην τάση και διακύμανση αυτών εκτός των προβλεπόμενων και προκαθορισμένων ορίων, καθώς τα μεγέθη αυτά δεν επιβάλλονται από το δίκτυο. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι καταστροφικό για ορισμένες από τις συσκευές που εξακολουθούν να λειτουργούν στο νησιδοποιημένο τμήμα του δικτύου.
- Αν το νησιδοποιημένο τμήμα του δικτύου επανασυνδεθεί εκτός φάσης με το κεντρικό δίκτυο, τότε μπορεί να εμφανιστούν ισχυρά μεταβατικά φαινόμενα λόγω υπερρευσμάτων στο δίκτυο διανομής αλλά και να υπάρξουν καταστροφές στον εξοπλισμό.
- Σε περίπτωση σφάλματος εντός της νησίδας οι ΔΠ δεν έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης. Καθώς τα υφιστάμενα μέσα προστασίας είναι επιλεγμένα με βάση τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης (που προέρχονται από το δίκτυο), δεν θα διεγερθούν από τα χαμηλά ρεύματα των ΔΠ. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση σφαλμάτων εντός νησίδας.

Για λόγους όπως οι παραπάνω υπάρχει η απαίτηση το φαινόμενο της νησιδοποίησης να ανιχνεύεται και να διακόπτεται έγκαιρα.

4.1.3 Διερεύνηση της πιθανότητας κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή προϋποθέτει την παρουσία των ακόλουθων συμβάντων κατά σειρά:

1. Απώλεια του δικτύου εξαιτίας σφάλματος και κατά συνέπεια αντίδρασης των προστατευτικών συσκευών ή για λόγους συντήρησης και επισκευής.
2. Οριακό ισοζύγιο της παραγωγής και της κατανάλωσης εντός της νησίδας.
3. Αποτυχία του ΔΠ να ανιχνεύσει τη νησίδα είτε γιατί η νέα λειτουργική κατάσταση είναι εντός ζώνης μη ανίχνευσης του φαινομένου ή εξαιτίας αστοχίας του συστήματος ανίχνευσης.
4. Επαφή με έναν μη μονωμένο αγωγό από το προσωπικό το οποίο εργάζεται χωρίς να ακολουθήσει τους κανόνες ασφαλείας που υφίστανται.

Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή είναι μικρή, εφόσον προκύπτει μετά από συνδυασμό όλων των προαναφερθέντων παραγόντων, παρ' όλα αυτά όμως είναι υπαρκτή.

4.2 Αδειοδότηση Φ/Β συστημάτων

Έχει οριστεί ως εθνικός στόχος, η κάλυψη του **40%** της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως το 2020. Η συνδρομή των Φ/Β συστημάτων θα φτάνει τα 2,2 Gwp. Οι επενδύσεις στα Φ/Β δεν επιδοτούνται ως προς το αρχικό κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης, έτσι θα πρέπει να εξετάζεται το κόστος της επένδυσης και η δυνατότητα χρηματοδότησης από το τραπεζικό σύστημα ή αν υπάρχουν ικανά ίδια κεφάλαια.

Οι κατηγορίες αδειοδότησης για τα συστήματα με βάση τη θέση και την ισχύ τους διακρίνονται σε:

- Συστήματα έως 10 kWp σε στέγες κτιρίων
- Συστήματα σε βιομηχανικές στέγες
- Συστήματα σε αγροτεμάχια

Για τα επίγεια φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ έως 500 kWp που είναι και το σύστημα της διπλωματικής απαιτούνται τα συγκεκριμένα βήματα:

- Βεβαίωση απαλλαγής από την Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) η οποία χορηγείται από την Περιφέρεια
- Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- Προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ
- Υπογραφή της σύμβασης αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ

Ο επενδυτής υπογράφει σύμβαση πώλησης της παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας με τον ΔΕΣΜΗΕ αν η εγκατάσταση ανήκει στην Ηπειρωτική Ελλάδα και τα διασυνδεδεμένα νησιά ή με τη Διεύθυνση Διαχείρισης Νήσων (ΔΕΗ) για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η σύμβαση μπορεί να ενεργοποιηθεί έως και 18 μήνες μετά την υπογραφή της. Έπειτα από την πάροδο του διαστήματος ακυρώνεται η σύμβαση και ο επενδυτής μπορεί να αιτηθεί την σύμβαση εφόσον το επιθυμεί αλλά με τις τιμές και τους όρους που θα ισχύουν τη συγκεκριμένη περίοδο διαπραγμάτευσης.

Οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Έτος – Μήνας	Διασυνδεδεμένο		Μη διασυνδεδεμένο (€ / MWh) Ανεξαρτήτως ισχύος
	>100 kWp (€ / MWh)	≤100 kWp (€ / MWh)	
2009 Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00
2009 Αύγουστος	400,00	450,00	450,00
2010 Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
2011 Αύγουστος	351,01	394,89	394,89
2012 Φεβρουάριος	292,08	328,60	328,60
2012 Αύγουστος	180,00	225,00	225,00
2013 Φεβρουάριος	95,00	120,00	100,00
2013 Αύγουστος	95,00	120,00	100,00
2014 Φεβρουάριος	90,00	115,00	95,00
2014 Αύγουστος	90,00	115,00	95,00
Για κάθε έτος v από το 2015 και μετά: $\mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$ = Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ($v - 1$)	$1,1 * \mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$	$1,2 * \mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$	$1,1 * \mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$
Διάρκεια Σύμβασης	20 έτη		

4.3 Μελέτη Φ/Β Σταθμού

Η εκπόνηση της Μελέτης και του σχεδιασμού Φ/Β σταθμών καλής ποιότητας προϋποθέτει τις παρακάτω ενέργειες:

- Τοπογραφική ανάλυση του χώρου εγκατάστασης και εδαφολογική αξιολόγηση οι οποίες προκύπτουν από την διεξαγωγή εδαφολογικών και γεωτεχνικών μελετών του χώρου εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού, με σκοπό την ταξινόμηση του εδάφους, ανάλογα με την ποιότητά του, προκειμένου να καθοριστεί το κατάλληλο Σύστημα Στήριξης των Φ/Β πλαισίων, καθώς και η βέλτιστη μέθοδος στερέωσης αυτών στο έδαφος
- Μελέτη απαιτούμενων Χωματουργικών Εργασιών και Διαμόρφωσης Εδάφους προκειμένου να επιτευχθεί η φυσική απορροή των όμβριων υδάτων και η αποφυγή λιμναζόντων υδάτων και λάσπης στο χώρο εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού
- Μελέτη απαιτούμενων Χωματουργικών Εργασιών και Διαμόρφωσης Εδάφους προκειμένου να επιτευχθεί οδική πρόσβαση στο γήπεδο του Φ/Β σταθμού
- Μελέτη απαιτούμενων Χωματουργικών Εργασιών και Διαμόρφωσης Εδάφους προκειμένου να επιτευχθούν διάδρομοι πρόσβασης στις επιμέρους μονάδες του Φ/Β σταθμού και διάνοιξης καναλιών όδευσης καλωδίων
- Μελέτη και σχεδιασμός του τρόπου στήριξης ή θεμελίωσης του Συστήματος Στήριξης και λοιπών κατασκευών
- Μελέτη απαιτούμενων Χωματουργικών Εργασιών και Διαμόρφωσης Εδάφους προκειμένου να τοποθετηθεί το Σύστημα Στήριξης, ο οικίσκος ο εξωτερικός φωτισμός και οι λοιπές κατασκευές
- Μελέτη χωροθέτησης και αποτύπωσης των σημείων τοποθέτησης των βάσεων του Συστημάτων Στήριξης των Φ/Β πλαισίων στο γήπεδο
- Στατικές Μελέτες Συστημάτων Στήριξης
- Μελέτη σχεδιασμού περιφράξης του γηπέδου με σκοπό την άρτια φύλαξη του χώρου εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού
- Διαστασιολόγηση Φ/Β σταθμού η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των τεχνικών μελετών και υπολογισμών που απαιτούνται προκειμένου να προκύψει η βέλτιστη επιλογή των εξαρτημάτων που τον απαρτίζουν
- Μελέτη που περιλαμβάνει υπολογισμούς Συνεχούς και Εναλλασσομένου Ρεύματος (DC & AC), προκειμένου να εξασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργία του Φ/Β σταθμού καθώς και τη βέλτιστη διαστασιολόγηση των καλωδιώσεων DC και AC
- Μελέτη εγκατάστασης μονάδων επικοινωνίας και τηλεπαρακολούθησης του Φ/Β σταθμού καθώς και των καλωδιώσεων επικοινωνίας
- Μελέτη συστήματος ασφαλείας (συναγερμός)
- Μελέτες εφαρμογής ηλεκτρομηχανολογικών έργων του Φ/Β σταθμού των εγκαταστάσεων ισχυρών και ασθενών ρευμάτων, του συστήματος γειώσεων και αντικεραυνικής προστασίας, ύδρευσης, αποχέτευσης και πυρόσβεσης
- Επίβλεψη και Έλεγχο Προόδου Έργου προκειμένου να τηρηθούν όλα τα διαγράμματα εργασιών για την ολοκλήρωση του έργου στον προβλεπόμενο χρόνο

4.4 Καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του 1,5mm²) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο.



Σχ.4.2 Τυπικά καλώδια φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60°C και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφείς κυμαίνονται συνήθως από 4-16mm². Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο. Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των 25-70mm², σε

περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφείς (της τάξης ονομαστικής ισχύος των 100kW και άνω). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κυτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Στις περιπτώσεις αυτές τα κυτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου.

Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και το σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων.

Επιπλέον, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειτνίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή.

Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των 5mΩ και μικρότερη). Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει παραδείγματα συνδέσμων καλωδίων:



Σχ.4.3 Σύνδεσμοι DC φωτοβολταϊκών καλωδίων

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYY, NYM, NYCWY) εφαρμόζοντας τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.

4.5 Αντιστροφείς (inverters)

Με τον όρο αντιστροφέα νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V (ανά φάση) /50 Hz. Οι αντιστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μία Φ/Β εγκατάσταση καθώς όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο. Κατά συνέπεια έχει ιδιαίτερη σημασία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση.

Η ΔΕΗ, αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο των αντιστροφέων σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για αυτούς απαιτώντας την ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν:

- Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφέων: οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά
- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%.
Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

όπου I_1 είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και I_h η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 \times h$ Hz.

- Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος
- Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11 kW
- Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7 kW έως 1MW

Τονίζεται ότι η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ

Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε :

- Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
- Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless inverters(TL))
Επιπλέον, ανάλογα της τεχνολογίας διασύνδεσης των Φ/Β πάνελ που χρησιμοποιείται οι αντιστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:
- Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
- Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
- Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
- Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (module integrated inverters)

4.5.1 Μετασχηματιστής σε αντιστροφή

Ο κυριότερος λόγος που χρησιμοποιείται μετασχηματιστής στους αντιστροφείς είναι η απομόνωση της DC πλευράς (σύνδεση με φ/β πλαίσια) από την AC πλευρά (σύνδεση με το δίκτυο). Οι μετασχηματιστές αυτοί είναι κατασκευασμένοι για συχνότητα 50 Hz και για υψηλότερη συχνότητα των 10-15 kHz όταν χρησιμοποιούνται σε μικρότερη ισχύ. Οι μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος. Οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης εμφανίζουν πιο εξειδικευμένη κατασκευή.

Ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα, όταν χρησιμοποιείται σε μετατροπείς, είναι οι αυξημένες απώλειες οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 2% με 4%. Παρόλα αυτά, inverters χωρίς μετασχηματιστή μπορεί να παρουσιάσουν αυξημένες απώλειες λόγω χρήσης μετατροπέων DC/DC για ανύψωση της DC τάσης των panels, ενώ είναι αυξημένες οι απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών.

4.5.2 Κεντρικοί Μετατροπείς

Οι κεντρικοί αντιστροφείς παρουσιάζουν μεγάλα επίπεδα ισχύος (από 30-50 kW έως 1-2 MW) και χρησιμοποιούνται σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Σε περιπτώσεις αρκετά μεγάλης ισχύος συνοδεύονται και από μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης για την απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ.

Οι σύγχρονοι κεντρικοί μετατροπείς χρησιμοποιούν τρανζίστορ IGBT με μεγάλες συχνότητες μεταγωγής, τα οποία σε συνδυασμό με εξελιγμένες τεχνικές διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) υλοποιούμενων ψηφιακά δημιουργούν σχεδόν ημιτονοειδή ρεύματα εξόδου, κάτι που καθιστά χαμηλή την χρήση φίλτρων.

4.5.3 Αντιστροφείς Κλάδων - String Inverters

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σταθμούς μικρής και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων στις αντίστοιχες εισόδους του μετατροπέα. Οι συγκεκριμένοι αντιστροφείς μπορεί να είναι μονοφασικοί και τριφασικοί, ενώ μπορεί να είναι με μετασχηματιστή ή χωρίς. Διαθέτουν αρκετή ευελιξία αναφορικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, αρκεί φυσικά να μην παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Ακόμη είναι σκόπιμο να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο αριθμό και τύπο πάνελ.

4.5.4 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)

Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή στην ουσία κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ ή σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης

4.5.4 Αντιστροφείς ενσωματωμένοι στα πάνελ

Οι αντιστροφείς αυτοί αποτελούν μία σχετικά νέα κατηγορία χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Σκοπός της χρήσης τους αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά. Οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.

4.6 Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Τα φ/β πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τους επιδιωκόμενους σκοπούς. Μερικά φ/β πλαίσια συναρμολογημένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως από Αλουμίνιο), με καλωδιώσεις που απολήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο, ως ενιαία κατασκευή, έτοιμη για εγκατάσταση, με δυνατότητα, λόγω μικρού βάρους, εύκολης αφαίρεσης, μεταφοράς ή επέμβασης στα επί μέρους φ/β πλαίσια, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες όμοιες μονάδες, λέγεται φ/β panel.

Ο συνδυασμός πολλών φ/β πλαισίων, καλωδιωμένων μεταξύ τους, σε σειρά ή παράλληλα, σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, με αντίστοιχο κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο, αποτελεί την φ/β συστοιχία. Τα φ/β πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους. Κάθε κλάδος αποτελείται από φ/β πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη σύνδεση το ολικό ρεύμα.

Τα φ/β πλαίσια, σε μια συστοιχία, συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση, μέσα στα επιτρεπτά όρια.

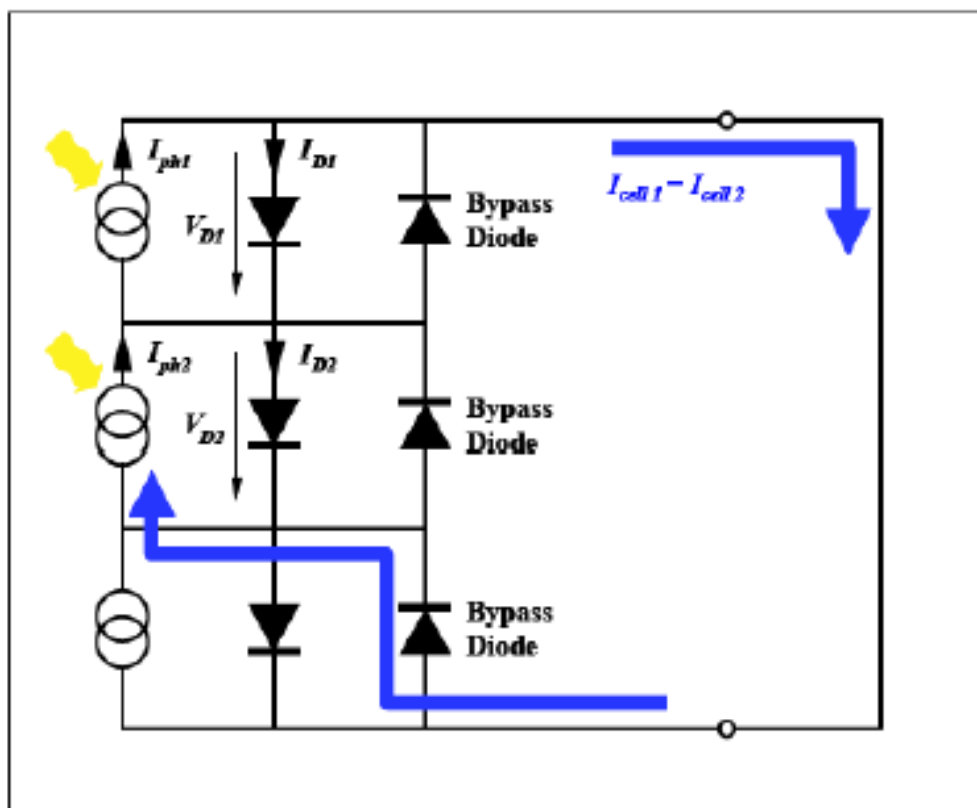
Ένα συνεργαζόμενο σύνολο φ/β συστοιχιών αποτελούν ένα **φ/β συγκρότημα** ή **φ/β πάρκο**, το οποίο, μαζί με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται για μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, τον έλεγχο της φόρτισης των συσσωρευτών (αν υπάρχουν), για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος (1kW-1 MW) επαρκούς για την τροφοδοσία οικίας, οικισμών ή χωρίων κλπ., αποτελούν **φ/β σταθμό**.

4.7 Σκιάσεις σε φ/β panel και διατάξεις προστασίας της λειτουργίας

Ένα τυπικό φ/β πλαίσιο αποτελείται από φ/β στοιχεία ίδιων, κατά το δυνατόν, ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή βλάβη ενός και μόνο φ/β στοιχείου του, θα μπορούσε να επιφέρει ολική ακρήστευσή του. Μία σκιασμένη κυψελίδα συμπεριφέρεται, κατά βάση, όπως η απλή δίοδος p-n, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις άλλες, τις “υγιείς”, μόνες τους ή σε συνδυασμό με την τάση των συσσωρευτών, στους οποίους πιθανόν συνδέονται, μια υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα φ/β στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση, μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της.

Στην πράξη, για τα τυπικά φ/β πλαίσια, η σκιασμένη κυψελίδα λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια, που προσφέρουν οι υπόλοιπες. Παρατεταμένος σκιασμός της, σε συνδυασμό της, σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπόλοιπων κυψελίδων, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην ακρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου του.

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως κατάσταση “θερμής κηλίδας” (Hot spot) του φ/β στοιχείου. Για να αποτραπεί μια τέτοια εξέλιξη, το φ/β πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους, οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των σε σειρά συνδεδεμένων φ/β στοιχείων του πλαισίου επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του φ/β πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο φ/β στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί. Ονομάζονται διόδοι παράκαμψης ΔΠ, (Bypass diodes). Τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων, που βρίσκεται στο πίσω μέρος του φ/β πλαισίου. Σε περιπτώσεις που είναι πιθανή παροδική, μερική σκίαση μέρους των φ/β πλαισίων μιας συστοιχίας, καθένα από αυτά παραλληλιζείται, με διόδους παράκαμψης.



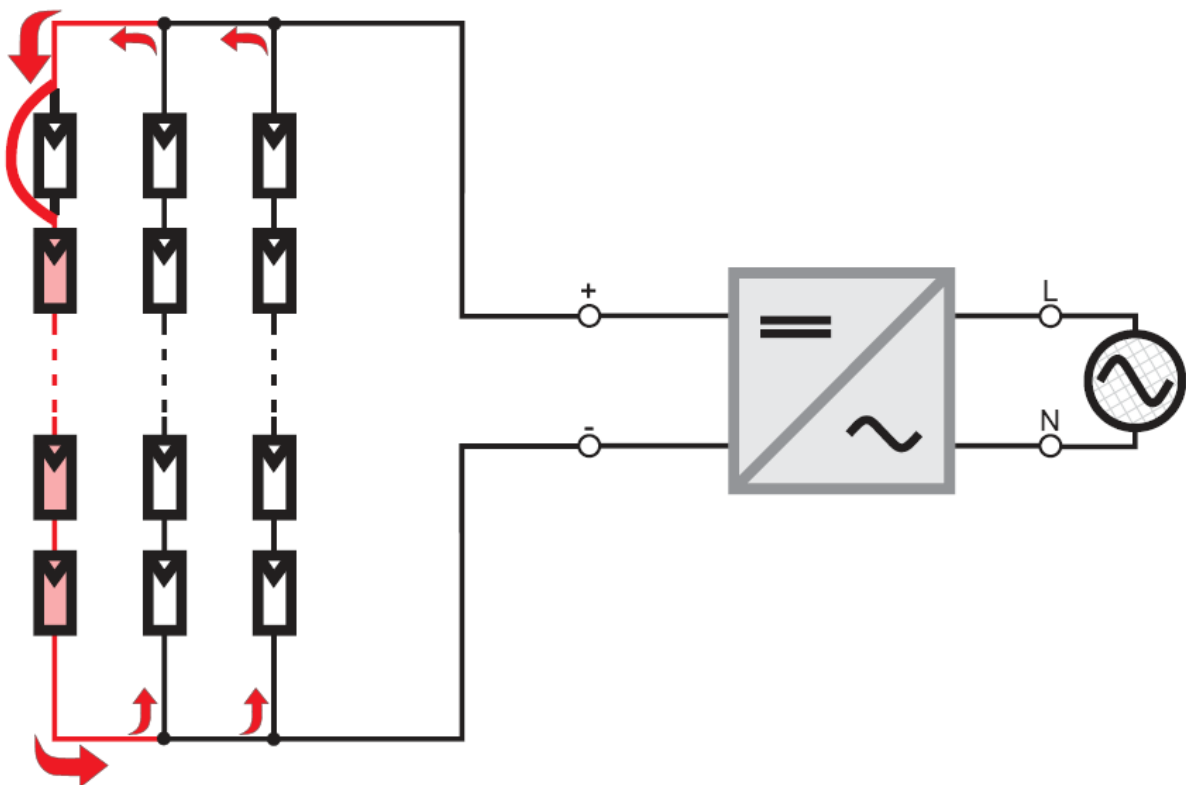
Σχ.4.4 Ροή ρεύματος μέσω της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης

4.8 Ανάστροφο ρεύμα

Το φαινόμενο της αντιστροφής ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια σε μια φ/β συστοιχία, που συνδέεται σε έναν αντιστροφέα είναι γενικά ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο. Μπορεί να εμφανιστεί μόνο στην περίπτωση, την οποία υπάρχουν φ/β πλαίσια συνδεδεμένα παράλληλα και η τάση ανοιχτού κυκλώματος στα άκρα των παράλληλων strings είναι διαφορετική. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί εάν επιλεγούν παράλληλα strings 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 διαστασιολογηθεί σωστά και για κατάσταση λειτουργίας χωρίς σφάλματα, η εμφάνιση του ανάστροφου ρεύματος είναι τελείως ανεπαίσθητη.

Το ανάστροφο ρεύμα 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 ενός string σε σχέση με τα άλλα παράλληλα string. Σε μία τέτοια περίπτωση 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 στο συγκεκριμένο string. Παρόλο που τέτοια φαινόμενα σφαλμάτων είναι αρκετά απίθανα, και πολύ σπάνια συμβαίνουν στην πράξη, πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης.



Σχ.4.5 Ανάστροφο ρεύμα

4.9 Ποσοστό Απόδοσης Φ/Β Εγκατάστασης

Το ποσοστό απόδοσης είναι ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Το ποσοστό απόδοσης περιγράφει με συγκεκριμένο τρόπο την αναλογία ανάμεσα στην πραγματική και τη θεωρητικά δυνατή ενεργειακή απόδοση. Είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από τη διάταξη μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, όπως και από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε αυτήν. Για το λόγο αυτό μπορεί κανείς με τη βοήθεια του ποσοστού απόδοσης να συγκρίνει φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο και βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία ανά τον κόσμο.

Το ποσοστό απόδοσης (performance ratio) είναι ένα μέγεθος για την ποιότητα μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανεξάρτητα από το σημείο τοποθέτησης της και για αυτό παίρνει συχνά το όνομα ποιοτικός συντελεστής. Το ποσοστό απόδοσης (ΠΑ) δίνεται επί τοις εκατό και περιγράφει την αναλογία ανάμεσα στην πραγματική και την ιδανική απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται το ποσοστό της ενέργειας που είναι πραγματικά διαθέσιμο για την τροφοδοσία μετά την αφαίρεση των ενεργειακών απωλειών (π.χ. λόγω απωλειών θερμότητας και απωλειών αγωγού) και της ιδιοκατανάλωσης για τη λειτουργία.

Όσο πιο κοντά στο 100 % βρίσκεται η τιμή του ποσοστού απόδοσης μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, τόσο πιο αποδοτικά δουλεύει η εγκατάσταση αυτή. Ωστόσο, μία τιμή της τάξης του 100 % δεν είναι πραγματικά δυνατή, επειδή κατά τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης υπάρχουν πάντα απώλειες που δεν μπορούν να αποφευχθούν (πχ. απώλειες θερμότητας εξαιτίας της θέρμανσης των φωτοβολταϊκών μονάδων). Παρόλα αυτά, το ποσοστό απόδοσης αποδοτικών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων φτάνει μέχρι και 80 %.

4.9.1 Ποια είναι η λειτουργία του ποσοστού απόδοσης

Το ποσοστό απόδοσης μας ενημερώνει για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την αξιοπιστία της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης.

Με το ποσοστό απόδοσης μπορούμε να συγκρίνουμε την απόδοση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με την απόδοση άλλων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ή να επιτηρούμε την κατάσταση μιας φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ωστόσο, κατά τον υπολογισμό του ποσοστού απόδοσης σε τακτικά και προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα δεν γίνεται λόγος για μία απόλυτη σύγκριση, αλλά για μία δυνατότητα ελέγχου πορείας και απόδοσης: κατά την έναρξη λειτουργίας μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και με την προϋπόθεση ότι σε εκείνη τη χρονική στιγμή η εγκατάσταση δουλεύει ιδανικά, εάν διασφαλίζεται το 100 % της τιμής εξόδου για το ποσοστό απόδοσης, τότε μέσω του υπολογισμού των υπόλοιπων τιμών ποσοστού απόδοσης μπορούν να ανιχνευτούν οι αποκλίσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου και να παρθούν έγκαιρα αντίμετρα. Επομένως, οι αποκλίσεις της τιμής του ποσοστού απόδοσης με τιμές κάτω από την κανονική περιοχή, σας δείχνουν από νωρίς μία πιθανή βλάβη της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης.

4.9.2 Πως υπολογίζεται το ποσοστό απόδοσης

Για τον υπολογισμό του ποσοστού απόδοσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης χρειάζονται διάφορα μεγέθη. Ένα από αυτά είναι οι τιμές πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο σημείο τοποθέτησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Τις τιμές αυτές μπορούμε να τις πληροφορηθούμε μέσω μίας συσκευής μέτρησης, η οποία μετρά την ποσότητα ενέργειας για τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που προέρχεται από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Άλλα μεγέθη που χρειάζονται είναι η επιφάνεια μονάδας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών μονάδων. Ο βαθμός απόδοσης μονάδας υπάρχει στο φύλλο στοιχείων της φωτοβολταϊκής μονάδας.

4.9.3 Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το ποσοστό απόδοσης

Το ποσοστό απόδοσης είναι ένα απλό μέγεθος ορισμού, το οποίο θα μπορούσε να πάρει τιμές μεγαλύτερες του 100 % υπό την επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων. Ο λόγος για αυτό είναι ότι κατά τον υπολογισμό του ποσοστού απόδοσης χρησιμοποιούνται παράμετροι ισχύος για τις φωτοβολταϊκές μονάδες, οι οποίες προσδιορίζονται βάσει των συνθηκών των βασικών δοκιμών (πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας 1.000 W ανά τετραγωνικό μέτρο και θερμοκρασία μονάδας 25 βαθμοί Κελσίου). Επομένως, αποκλίνουσες συνθήκες κατά την πραγματική λειτουργία επηρεάζουν το ποσοστό απόδοσης.

Οι παρακάτω παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την τιμή του ποσοστού απόδοσης:

4.9.3.1 Θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών μονάδων

Η ισχύς και η αποδοτικότητα μίας ηλιακής κυψέλης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από τη θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής μονάδας. Μία φωτοβολταϊκή μονάδα είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, σε περίπτωση συννεφιάς την χειμερινή περίοδο η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι κρύα. Εάν κατά τη διάρκεια αυτής της κακοκαιρίας το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας προσπέσει πάνω στην κρύα φωτοβολταϊκή μονάδα, τότε η μονάδα αυτή θα δουλέψει με μεγάλη αποδοτικότητα. Το γεγονός αυτό μπορεί να παρουσιάσει για σύντομο διάστημα μία υψηλή τιμή ποσοστού απόδοσης. Ωστόσο, μετά από μία συγκεκριμένη ώρα η φωτοβολταϊκή μονάδα ζεσταίνεται και η αποδοτικότητα πέφτει ξανά.

4.9.3.2 Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύς απώλειας

Τις πρωινές και βραδινές ώρες και ιδίως το χειμώνα, οπότε ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά, η τιμή της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας πλησιάζει την τιμή για την ισχύ απώλειας (= διαφορά ανάμεσα στην προσλαμβάνουσα και την προσδιδόμενη ισχύ) πολύ περισσότερο σε σχέση με άλλες μέρες και περιόδους του έτους. Για το λόγο αυτό η τιμή του ποσοστού απόδοσης τις εν λόγω χρονικές στιγμές υπολογίζεται μικρότερη από ότι συνήθως.

4.9.3.3 Σκίαση ή ακαθαρσίες στη συσκευή μέτρησης

Σε οποιοδήποτε σημείο τοποθέτησης υπάρχει περίπτωση να πέσει πάνω στη συσκευή μέτρησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σκιά από φυτά ή οικοδομές, προκαλώντας έτσι σύντομη ή και συνεχή σκίαση της συσκευής μέτρησης. Ιδιαίτερα σε περιόδους όπου ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά, ακόμα και τμήματα της ίδιας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μπορούν να ρίξουν σκιά πάνω στη συσκευή μέτρησης. Η μερική ή πλήρης σκίαση της συσκευής μέτρησης ενδέχεται να οδηγήσει σε τιμές ποσοστού απόδοσης και πάνω από το 100 %. Εκτός αυτού, περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως χιόνι, σκόνη ή γύρη ενδέχεται να βρωμίσουν τη συσκευή μέτρησης της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης και έτσι να εμφανιστούν επίσης τιμές ποσοστού απόδοσης πάνω από 100 %.

4.9.3.4 Σκίαση ή ακαθαρσίες στις φωτοβολταϊκές μονάδες

Σε οποιοδήποτε σημείο τοποθέτησης υπάρχει περίπτωση να πέσει πάνω στις φωτοβολταϊκές σας μονάδες σκιά από φυτά ή οικοδομές, προκαλώντας έτσι σύντομη ή και συνεχή σκίαση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Επίσης, ακαθαρσίες από σκόνη, γύρη, χιόνι κ.α. μπορεί να προκαλέσουν σκίαση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Η σκίαση αυτή έχει ως αποτέλεσμα οι φωτοβολταϊκές μονάδες να μπορούν να απορροφήσουν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Επομένως, η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών μονάδων μειώνεται και ακολούθως και η τιμή ποσοστού απόδοσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

4.9.3.5 Περισσότεροι παράγοντες

- Χρονικό διάστημα καταγραφής
- Απώλειες αγωγού
- Βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών μονάδων
- Βαθμός απόδοσης του μετατροπέα
- Διαφορετικές τεχνολογίες ηλιακών κυψελών στις φωτοβολταϊκές μονάδες και τη συσκευή μέτρησης
- Υποβιβασμός των ηλιακών κυψελών
- Διάταξη της συσκευής μέτρησης (Σε περίπτωση που μία συσκευή μέτρησης είναι τμήμα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης αλλά δεν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα προς τις φωτοβολταϊκές μονάδες της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, τότε εξαιτίας της διαφορετικής πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας οι τιμές του ποσοστού απόδοσης μπορεί να φτάσουν και πάνω από 100 %.)

4.10 Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης αναγράφεται πάντα στα τεχνικά φυλλάδια. Ωστόσο θα πρέπει να γνωρίζει κανείς ότι κάθε αντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. Ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφέων εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση αντιστροφέων σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, όπου θα πρέπει να εξετάζεται, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Έτσι για υπέρ - διαστασιολογημένους αντιστροφέες (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), είναι πιθανό να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Από την άλλη πλευρά, αντιστροφέες που εμφανίζονται υπό-διαστασιολογημένοι σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή tracker) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$\eta_E = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%}$$

όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

4.11 Βαθμός προστασίας (IP)

Ο συμβολισμός IP προέρχεται από το International Protection. Ακολουθείται από δύο αριθμούς που είναι ποσοτικά ενδεικτικοί για την είσοδο ξένων σωμάτων ή σκόνης και νερού. Ο πρώτος αριθμός αντιστοιχεί στο μέγεθος ξένων σωμάτων που μπορούν να εισέλθουν στη συσκευή. Ο δεύτερος αριθμός αντιστοιχεί στην προσβολή του νερού που μπορεί να αντέξει η συσκευή.

Η Σημασία του πρώτου αριθμού X, αφορά είσοδο ξένων σωμάτων ή επαφή με το ανθρώπινο σώμα

0	Καμία προστασία. Καμία προστασία για επαφή με το χέρι ή το σώμα
1	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 50mm. Αποκλείεται επαφή με το σώμα, αλλά χωρούν να μπουν δάχτυλα
2	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 12mm. Αποκλείεται επαφή με το δάχτυλο
3	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 2,5mm. Αποκλείεται επαφή μέσω εργαλείων, πχ. κατσαβιδιών ή συρμάτων πάνω από 2,5mm
4	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 1mm. Αποκλείεται η επαφή μέσω εργαλείων άνω του 1mm
5	Δεν μπαίνει τόση σκόνη ώστε να επικαθίσει στο εσωτερικό. Αποκλείεται παντελώς η επαφή
6	Δεν μπαίνει καθόλου σκόνη. Αποκλείεται η επαφή

Σημασία του δεύτερου αριθμού Y, αφορά είσοδο νερού

0	Καμία προστασία
1	Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν κατακόρυφα
2	Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν με κλίση μέχρι και 15° ως προς τον κατακόρυφο
3	Δεν μπαίνουν σταγόνες μέχρι και 60° κλίση ως προς την κατακόρυφο
4	Δεν μπαίνει νερό που ψεκάζεται από όλες τις κατευθύνσεις
5	Δεν μπαίνει νερό που πέφτει υπό μορφή δέσμης από όλες τις κατευθύνσεις
6	Δεν μπαίνει νερό από παροδική πλημμύρα
7	Δεν μπαίνει νερό σε παροδικό εμβαπτισμό υπό δοσμένη πίεση και χρόνο
8	Δεν μπαίνει νερό σε μόνιμο εμβαπτισμό υπό δοσμένη πίεση

Βαθμοί προστασίας κατά EN 60529, IPXY

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο βαθμός προστασίας επηρεάζει αρκετά την τιμή της συσκευής. Όσο μεγαλώνει ο βαθμός προστασίας τόσο αυξάνεται και η τιμή του προϊόντος.

4.12 Γείωση

Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός ξένου προς το κύκλωμα μεταλλικού αντικειμένου με μια μεταλλική εγκατάσταση γείωσης. Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Η γείωση μπορεί να είναι συνεχής ή να διακόπτεται παρεμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή, οπότε μιλάμε για ανοιχτή γείωση. Η τελευταία συναντάται, όχι όμως κατά κανόνα σε εγκαταστάσεις αλεξικέραυνων. Υπάρχουν τρία είδη γείωσης:

Γείωση λειτουργίας: Είναι η γείωση ενός σημείου ενός ενεργού κυκλώματος, πχ. η γείωση του ουδέτερου ενός ΜΣ και η γείωση του ουδέτερου αγωγού του συστήματος. Η γραμμή γείωσης μπορεί γενικά να είναι αυτεπαγωγές, αντιστάσεις ή ένας συνεχής αγωγός

Γείωση προστασίας: Είναι η γείωση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος, πχ. η γείωση του κελύφους μιας ηλεκτρικής συσκευής. Η γείωση προστασίας μειώνει τις τάσεις επαφής. Είναι δε πάντα συνεχής, δηλαδή δεν παρεμβάλλονται αντιστάσεις ή διάκενα

Γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας: Είναι η ανοιχτή ή η συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Αυτές οι γειώσεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη. Ανοικτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση

Κατηγορίες Υπερτάσεων

Κατηγορία υπερτάσεων I : Εξοπλισμός μειωμένης απαίτησης προστασίας, όπως για παράδειγμα στοιχεία ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Κατηγορία υπερτάσεων II : Εξοπλισμός στον οποίο δεν αναμένεται υπέρταση λόγω κεραυνού, αλλά μπορεί να υπάρξουν υπερτάσεις άλλων κατηγοριών, όπως οι κοινές ηλεκτρικές συσκευές, ή φορητός εξοπλισμός.

Κατηγορία υπερτάσεων III: Εξοπλισμός στον οποίο δεν αναμένεται υπέρταση λόγω κεραυνού, αλλά μπορεί να υπάρξουν υπερτάσεις άλλων κατηγοριών, αλλά με αυξημένη απαίτηση αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας του εξοπλισμού, όπως μέσα προστασίας, διακόπτες, ρευματολήπτες.

Κατηγορία υπερτάσεων IV: Εξοπλισμός στον οποίον αναμένεται υπέρταση λόγω πλήγματος κεραυνού, όπως τα καλώδια μεταφοράς ισχύος, τα εναέρια δίκτυα, οι μετρητές ενέργειας και οι διακόπτες ισχύος.

Κλάσεις εκτροπών υπέρτασης

Οι εκτροπείς υπέρτασης ανάλογα με το επίπεδο προστασίας που παρέχουν και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους διακρίνονται από την IEC [12] σε τρεις κλάσεις.

Κλάση I: Συμπεριλαμβάνει διατάξεις προστασίας που ενδέχεται να διαρρέοντα από το ρεύμα του κεραυνού ή τμήματά του. Εγκαθίστανται σε σημεία όπου αναμένεται άμεσο πλήγμα κεραυνού, όπως οι εναέριες γραμμές μεταφοράς ΧΤ, ή οι είσοδοι εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας. Οι διατάξεις αυτής της κλάσης καλούνται συνήθως «αλεξικέραυνα».

Κλάση II: Συμπεριλαμβάνει διατάξεις προστασίας έναντι υπερτάσεων λόγω έμμεσων πληγμάτων κεραυνού ή από χειρισμούς. Εγκαθίστανται σε σημεία με χαμηλότερες απαιτήσεις προστασίας σε σχέση με την προηγούμενη κλάση, όπως στον γενικό πίνακα ΧΤ.

Κλάση III: Σε αυτήν την κλάση υπάγονται διατάξεις στις οποίες απαιτείται μειωμένη προστασία έναντι υπερτάσεων λόγω χειρισμών, όπως οι συσκευές εντός της κατασκευής.

4.13 Συνθήκες STC και NOCT

4.13.1 STC

Εξαιτίας της επίδρασης της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V και συνεπώς στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP), έπρεπε να καθιερωθεί ένα σύνολο δοκιμών σε συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες εδραιώνουν τις τιμές της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στις οποίες οι κατασκευαστές φ/β να μετρούν την έξοδο των πάνελ.

Αυτές οι δοκιμές είναι γνωστές

ως “**STC**” (**Standard Test Conditions**) ή αλλιώς **Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμής**.

Οι συνθήκες αυτές είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία 25 °C
- Ακτινοβολία 1000 W/m²
- Μάζα αέρος σε φασματική κατανομή 1.5

Αυτές οι συνθήκες αντιστοιχούν στο φάσμα και την ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μία μέρα χωρίς σύννεφα, σε μία επιφάνεια προς τον Ήλιο με κλίση 37° και τον Ήλιο με κλίση 41.81° πάνω από τον ορίζοντα.

4.13.2 NOCT

Ένα φ/β πλαίσιο σε ένα χωράφι συνήθως λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μερικές φορές σε συνθήκες χαμηλότερης ακτινοβολίας. Με σκοπό να προσδιοριστεί η ηλεκτρική έξοδος του φ/β κελιού, είναι σημαντικό να καθοριστεί η αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου. Η **NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)** ή αλλιώς Ονομαστική **Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης** ορίζεται ως η θερμοκρασία που φτάνουν τα ανοιχτοκυκλωμένα κελιά κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες:

- Ακτινοβολία πάνω στην επιφάνεια του κελιού ίση με 800 W/m²
- Θερμοκρασία αέρα 20°C
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s
- Τοποθέτηση με ελεύθερη την πίσω όψη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΙΧΝΗΛΑΤΕΣ – TRACKERS

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται τι είναι ιχνηλάτης και πως λειτουργεί. Επίσης αναφέρεται σε ποιους άξονες μπορεί να στρέφεται και τελικά γίνεται μία μαθηματική ανάλυση που αφορά την περιστροφή του.

5.1 Τι είναι οι Ιχνηλάτες

Ο ήλιος ακολουθεί την ίδια πορεία κατά την διάρκεια όλων των εποχών από την ανατολή στην δύση καθημερινά όλες τις εποχές. Παράλληλα κινείται επίσης από το Βορρά μέχρι το Νότο καθώς οι εποχές αλλάζουν. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά πλαίσια έχουν μέγιστη απόδοση και παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια όταν είναι τοποθετημένα 90° σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Οι **Trackers** αποτελούν ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου (pv tracker). Αυξάνουν την απόδοση ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού ή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Ακολουθούν τον ήλιο, έτσι ώστε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να παράγουν την μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι trackers αποτελούνται από σύστημα κινούμενης βάσης το οποίο είναι μονοαξονικό ή διαξονικό (διπλού άξονα) σύστημα το οποίο παρακολουθεί την πορεία του ήλιου στον ορίζοντα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες τοποθετούνται πάνω στην κινούμενη βάση έτσι ώστε να έχουν κατεύθυνση πάντα προς τον ήλιο, και έτσι να αυξάνεται η απόδοσή τους κατά 25% έως 40% όλο τον χρόνο όπως εκτιμάται για την Ελλάδα.

Τύποι trackers φωτοβολταϊκών πάρκων:

- **Trackers καθέτου άξονα** (μονού συστήματος άξονα) για κάθετη παρακολούθηση του ήλιου
- **Trackers οριζόντιου άξονα** (μονού συστήματος άξονα) για οριζόντια παρακολούθηση του ήλιου
- **Trackers διπλού άξονα** (διαξονικού συστήματος άξονα) για παράλληλη κάθετη και οριζόντια παρακολούθηση του ήλιου

5.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου σε φωτοβολταϊκά πάρκα

Από πανεπιστημιακές μελέτες και έρευνες προκύπτει ότι τα συστήματα Tracker με λογισμικό πρόγραμμα αζιμουθιακής (Ανατολής - Δύσης) και γωνιακής (Βορά - Νότου) παρακολούθησης του ήλιου, μπορούν να παράγουν επιπλέον ενέργεια έως 56% , σε ιδανικές καιρικές συνθήκες ,σε σύγκριση με τα σταθερά συστήματα.

Ο Tracker για φωτοβολταϊκά πάρκα κινείται με αυτόνομο λογισμικό προσαρμοσμένο για όλο τον 21 αιώνα ,με δυνατότητα αναβάθμισης. Το PLC σύστημα οδηγεί με αξιοπιστία τον υδραυλικό γωνιακό μειωτήρα για την αζιμουθιακή κίνηση και το έμβολο για την γωνιακή κίνηση , καταναλώνοντας πολύ λίγη ενέργεια. Άρα ο Tracker είναι αυτόνομος , αυτοεξυπηρετούμενος και αποτελεί μονάδα από μόνος του.

Ο Tracker για φωτοβολταϊκά πάρκα σε καιρικές συνθήκες μέτριας έως και πυκνής νέφωσης μπορεί να περιορίζει την απόδοση, αλλά η καθετότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ σε σχέση με την διάκεντρο γης-ήλιου μας δίνει απόδοση σαφώς μεγαλύτερη από μια σταθερή ή από μια κινούμενη με αισθητήρες φωτός διάταξη.

Ο Tracker μας δίνει το βέλτιστο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με την μικρότερη κατανάλωση αυτοεξυπηρέτησης και με την απόλυτη καθετότητα παρακολούθησης του ήλιου.

5.3 Στροφή γύρω από ένα άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό γύρω από ένα άξονα ενώ στο τέλος της ημέρας ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής. Το πρωί με την ανατολή του ηλίου στρέφεται, έτσι ώστε να ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.

Η περιστροφή γύρω από έναν άξονα διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις:

- Αζιμουθιακός tracker: Η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετο στο συλλέκτη, του οποίου η γωνία κλίσης παραμένει σταθερή κατά την ημερήσια κίνησή του.
- Tracker πολικού άξονα: Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω από άξονα $χχ'$, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου , ούτως ώστε κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη και περιέχει τον άξονα $χχ'$. Κατά τη διάρκεια του έτους, η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται στο διάστημα $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$.

Η περιστροφή του συλλέκτη μπορεί να βασίζεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, με ή χωρίς χρήση ηλεκτρικών κινητήρων. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπτικό σύστημα ανίχνευσης της θέσης του ήλιου, το οποίο όμως απαιτεί πρόσθετο έλεγχο και οδήγηση, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία του. Στην πιο απλή μορφή το οπτικό αυτό σύστημα αποτελείται από δύο αισθητήρες φωτός (φωτοδιόδους) δεξιά και αριστερά ενός λεπτού πετάσματος. Η διαφορά φωτισμού των διόδων παρέχει το κριτήριο στροφής της διάταξης. Όμως, κατά τη διάρκεια μιας μερικά συννεφιασμένης μέρας, οι ανακλάσεις των ηλιακών ακτινών στις συστάδες των σύννεφων, δημιουργούν προβλήματα αναγνώρισης του πραγματικού ήλιου. Το οπτικό σύστημα θεωρεί ισοδύναμες όλες τις θέσεις ανάκλασης και προσπαθεί να προσανατολιστεί, μη αποκλειόμενης της πλήρους περιστροφής του συστήματος. Απαιτούνται, άρα, πρόσθετα συστήματα ελέγχου, με αποτέλεσμα το αρχικό πλεονέκτημα της απλότητας να εκμηδενίζεται και η διάταξη να μετατρέπεται σε πολύπλοκη και δυσλειτουργική. Στη δεύτερη περίπτωση, η κίνηση προκύπτει ως τροποποίηση της

ισορροπίας του πνευματικού συστήματος, εξαιτίας διαφορικής θέρμανσης του από τον ήλιο. Το σύστημα ενισχύεται με αποσβεστήρες δονήσεων (Shock Absorbers), προκειμένου να αντιμετωπίζεται η δράση του ισχυρού ανέμου. Σήμερα βρίσκεται στάδιο εξέλιξης της αποτελεσματικότητάς του και παρ' ότι ακόμη υψηλού κόστους, αποτελεί μια πολύ πρακτική και αξιόπιστη λύση.

5.4 Στροφή γύρω από δύο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δυο άξονες, επιτυγχάνεται μέσω δύο, συνήθως διαδοχικών, κινήσεων του συλλέκτη με ηλεκτρικούς κινητήρες, είτε βηματικούς είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής, με μειωτήρες και έλεγχο στροφών, για τον προσανατολισμό του επιπέδου, κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Ο προσδιορισμός των κατάλληλων γωνιών στροφής γίνεται με κατάλληλες διατάξεις (Encoders), η λειτουργία των οποίων βασίζεται, είτε σε οπτική διάταξη καταμέτρησης οπών, είτε σε ηλεκτρικό ροοστάτη, περιστροφικής λειτουργίας.

Η διάταξη που περιγράψαμε, ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Tracker) δύο αξόνων και χαρακτηρίζεται από το ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα (ή σχεδόν κάθετα) στην επιφάνεια του. Η διάταξη, με τη δύση του ήλιου, επιστρέφει σε θέση αναφοράς, που χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και μικρή γωνία κλίσης, προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανό ισχυρό άνεμο, μέχρι την ανατολή. Λίγο πριν την ανατολή του ήλιου, ο μηχανισμός στρέφει τον συλλέκτη, έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες τότε να προσπέσουν κάθετα σε αυτόν. Από τη χρονική στιγμή αυτή, αρχίζει η παρακολούθηση του ήλιου. Όσο μικρότερη η περίοδος ενεργοποίησης του μηχανισμού στροφής, τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η κατάσταση συνεχούς κάθετης πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών, χωρίς αυτό να είναι εξαιρετικά κρίσιμο. Μια γωνία 10° , μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη, ακτινοβολίας. (μείωση συνημιτονικής συμπεριφοράς). Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κίνησης της διάταξης προέρχεται από την παραγόμενη από τη συστοιχία, ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια.

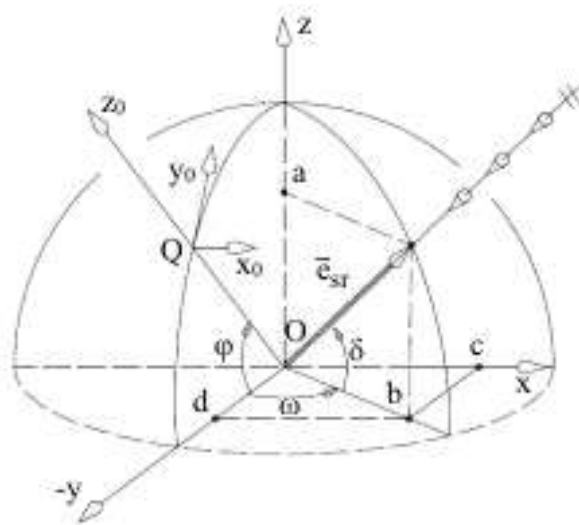
Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ήλιου, δύο αξόνων, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής, εξαιτίας ισχυρού ανέμου. Για το λόγο αυτό, σε συστήματα με μηχανική κίνηση για τον προσανατολισμό των συλλεκτών προς τον ήλιο, ελέγχεται η ταχύτητα του ανέμου, έτσι ώστε, στην περίπτωση ισχυρών ανέμων, οι συλλεκτικές επιφάνειες να διατάσσονται οριζόντια. Σ' αυτή τη θέση παρουσιάζουν μικρή μετωπική επιφάνεια προς τον άνεμο.

Οι διατάξεις πλήρους παρακολούθησης του ήλιου, με επίπεδα ΦΒ πλαίσια έχουν εν γένει περιορισμένη χρήση και χρησιμοποιούνται κυρίως σε συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία λειτουργούν, ουσιαστικά, με την απ' ευθείας συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε πολλές περιπτώσεις επιλέγεται η μερική παρακολούθηση, με αζιμουθιακούς συλλέκτες σταθερής γωνίας κλίσης, επειδή είναι απλούστερη, φθηνότερη και πιο αξιόπιστη κατασκευή, σε σχέση με τον tracker δύο αξόνων ή αυτό του πολικού άξονα. Η στατική κατασκευή, παρότι σχετίζεται με χαμηλότερη ετήσια ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας από τους συλλέκτες που τοποθετούνται σ' αυτή, αποτελείται απλούστερη και πιο αξιόπιστη κατασκευή. Το κόστος των ειδικών μηχανολογικών κατασκευών και ηλεκτρονικών οδήγησης ενός ηλιοτροπικού συστήματος παραμένει αξιόλογο σε σύγκριση με το κόστος των ΦΒ πλαισίων. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι, σε κάθε περίπτωση προέχει η αξιόπιστη και ασφαλής λειτουργία του συστήματος συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας, το στατικό σύστημα αποτελεί, στις

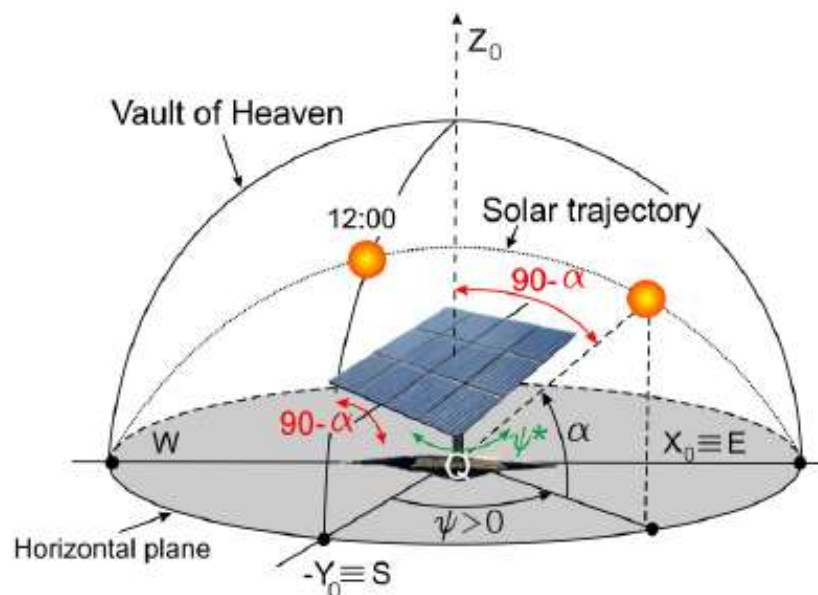
περισσότερες των περιπτώσεων την πιο ενδεδειγμένη λύση, ιδιαίτερα περίπτωση εφαρμογών μικρής ισχύος, με χρήση επίπεδων ΦΒ πλαισίων.

5.5 Περιγραφή της γωνίας του Ήλιου και του Φ/B

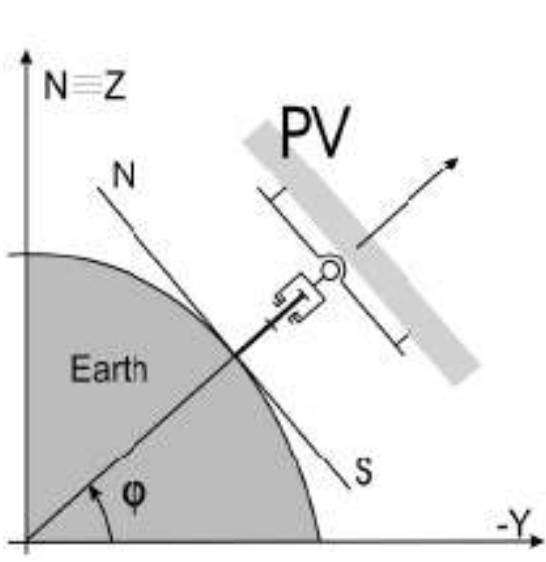
Η γωνιακή θέση της ηλιακής ακτίνας μπορεί να αναλυθεί σε ένα σύστημα δύο γωνιών: το τοπικό σύστημα (ή αζιμουθιακό σύστημα) $QX_0Y_0Z_0$ ενός παρατηρητή Q στη γη αυτό το σύστημα είναι εφαπτομενικό στη γη στο σημείο Q, (βλέπε Σχ.5. 1 και 5.2) και το σφαιρικό (ή ισημερινό) σύστημα $OXYZ$, του οποίου κέντρο είναι το σημείο O (το κέντρο της γης)



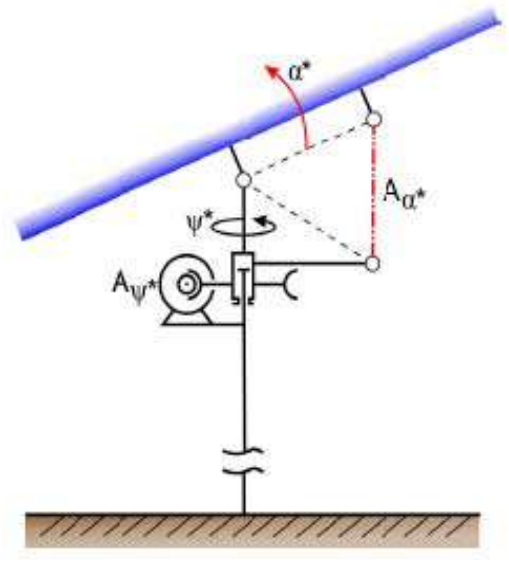
Σχ.5.1 Οι γωνίες ηλιακών ακτίνων στο ισημερινό σύστημα: γωνία απόκλισης (δ) και ωριαία γωνία(ω)



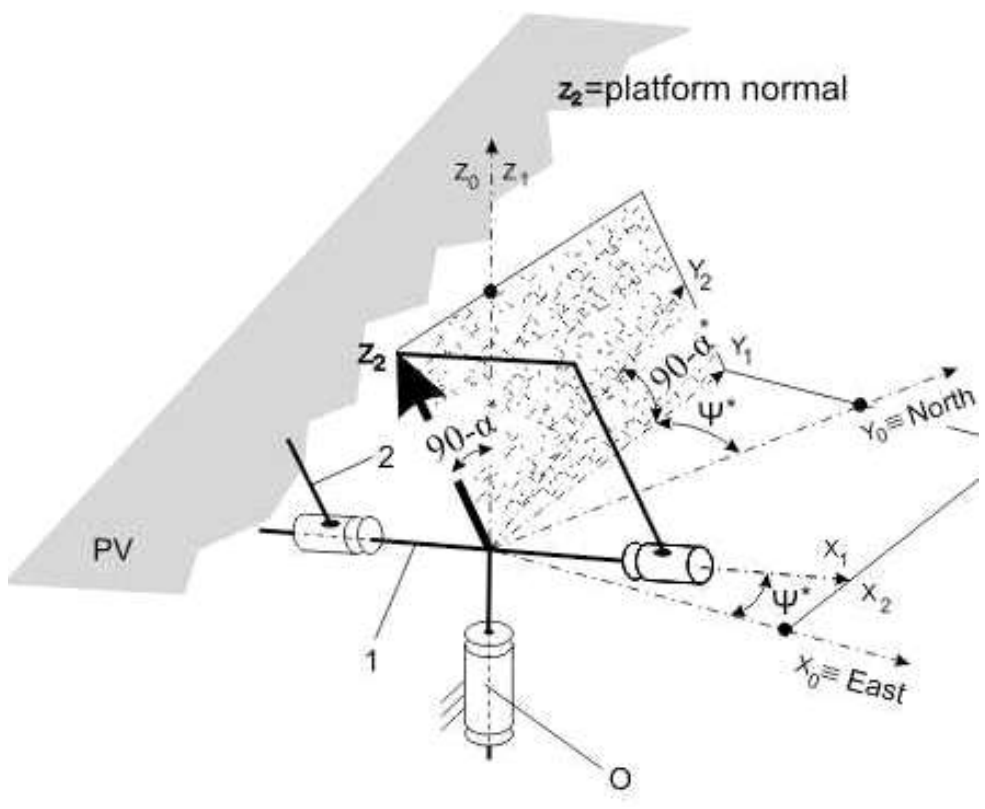
Σχ.5.2. Οι γωνίες ηλιακών ακτίνων στο αζιμουθιακό σύστημα: γωνία αζιμούθιου (ψ) και γωνία ύψους (α)



(a)



(b)



(c)

Σχ.5.3

Αζιμουθιακός tracker: a) θέση του tracker σε σύγκριση με τη γη
 b) σχέδιο λειτουργίας, c) γεωμετρικό σχέδιο

Η θέση του παρατηρητή Q περιγράφεται με βάση τη γωνία φ γεωγραφικού πλάτους (Σχ.5.1) και η θέση ηλιακών ακτίνων, στο ισημερινό σύστημα OXYZ (Σχ.5.1), περιγράφεται μέσω της ωριαίας γωνίας ω και της γωνίας απόκλισης δ .

$$\omega = 15^\circ(12 - T) \quad (5.1)$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin \frac{360^\circ(N - 80)}{365} \quad (5.2)$$

Όπου: T - ο ηλιακός χρόνος (η), N - ο αριθμός ημέρας. Στο αζιμουθιακό σύστημα (QX0Y0Z0), η θέση ηλιακών ακτίνων περιγράφεται χρησιμοποιώντας δύο γωνίες (Σχ.5.2): γωνία ύψους α και γωνία ψ αζιμούθιο. Η γωνία ύψους είναι η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της θέσης του παρατηρητή στη γη. Η γωνία αζιμούθιο είναι η γωνία μεταξύ της προβολής των ηλιακών ακτίνων στη θέση του παρατηρητή στη γη και του άξονα N-S αυτής της θέσης. Για μια δεδομένη γωνία φ γεωγραφικού πλάτους (Σχ.5.1) και 5.3a), η εξάρτηση των αζιμουθιακών γωνιών (α , ψ) μέσω των γωνιών (ω , δ) δίνεται από τις σχέσεις (5.3) και (5.4), οι οποίες προκύπτουν από την ισότητα των σχέσεων (5.5) και (5.6):

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad (5.3)$$

$$\psi = (\text{sgn}\omega) \cos^{-1} \left(\frac{\sin \alpha \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \varphi} \right) \quad (5.4)$$

Για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, η γωνιακή μετατόπιση των ΦΒ που χρησιμοποιούν tracker γίνεται ασυνεχώς (σταδιακά), έτσι οι αζιμουθιακές γωνίες του tracker έχουν διακριτές μεταβολές. Προκειμένου να ξεχωρίζουν από τις γωνίες των ηλιακών ακτίνων ψ και α (που έχουν συνεχείς μεταβολές, σε όλες τις ακόλουθες σχέσεις οι γωνίες του tracker έχουν τον αστερίσκο: ψ^* , α^* (Σχ.5.3b και 5.3c) και ω δ^* .

5.5.1 Διαμόρφωση μοναδιαίων διανυσμάτων

Σύμφωνα με τα Σχ.1, 2 και 3, οι ακόλουθες εκφράσεις των πινάκων για το μοναδιαίο διάνυσμα μπορούν να ληφθούν, μέσα από το σύστημα αναφοράς QX0Y0Z0:

$$\bar{e}_{\delta\gamma} = \begin{bmatrix} \cos \delta \cdot \sin \omega \\ -\cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \sin \varphi + \sin \delta \cdot \cos \varphi \\ \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi + \sin \delta \cdot \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$\bar{e}_{\delta\gamma} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cdot \sin \psi \\ -\cos \alpha \cdot \cos \psi \\ \sin \alpha \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Το μοναδιαίο διάνυσμα του ΦΒ που χρησιμοποιεί tracker το οποίο προσανατολίζεται με βάση το αζιμούθιο:

$$\bar{e}_{PV-az} = \begin{bmatrix} \sin \psi^* \cos \alpha^* \\ -\cos \psi^* \cos \alpha^* \\ \sin \alpha^* \end{bmatrix}_{x0y0z0} \quad (5.7)$$

όπου:

$$\alpha^* = \sin^{-1}(\sin \delta^* \sin \varphi + \cos \delta^* \cos \varphi \cos \omega^*) \quad (5.8)$$

$$\psi^* = (\text{sgn} \omega) \cos^{-1} \left(\frac{\sin \alpha^* \sin \varphi - \sin \delta^*}{\cos \alpha^* \cos \varphi} \right) \quad (5.9)$$

5.5.2 Γωνία πρόσπτωσης και λαμβανόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ ηλιακών ακτίνων και ΦΒ πάνελ, που ορίζεται ως η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στο ΦΒ, προκύπτει από το εσωτερικό γινόμενο των μοναδιαίων διανυσμάτων τους. Ο υπολογισμός αυτού του γινομένου οδηγεί στην ακόλουθη σχέση:

$$\cos \nu = \bar{e}_{sun-ray} \cdot \bar{e}_{PV-az} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cdot \sin \psi \\ -\cos \alpha \cdot \cos \psi \\ \sin \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sin \psi^* \cdot \cos \alpha^* \\ -\cos \psi^* \cdot \cos \alpha^* \\ \sin \alpha^* \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

$$\cos \nu = \cos \alpha \cdot \sin \psi - \cos \alpha^* - \sin \psi^* + \cos \alpha - \cos \psi \cdot \cos \alpha^* \cdot \cos \psi^* + \sin \alpha \cdot \sin \alpha^* \quad (5.11)$$

Η άμεση διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία R_d [W/m²] εξαρτάται από την ώρα και την ημέρα :

$$R_d = 1367[1 + 0,0334 \cdot \cos(0,9856^\circ N - 2,72^\circ)] \cdot e^{-\frac{T_R}{0,94+0,94 \sin \alpha}} \quad (5.12)$$

όπου: N - ο αριθμός ημέρας, α - η γωνία ύψους και TR - ο παράγοντας χαμμένης ακτινοβολίας. Το μέρος της συνολικής άμεσης ακτινοβολίας R_d που είναι κάθετη στην ΦΒ, που ονομάζεται άμεση ακτινοβολία λαμβανόμενη από το πάνελ, περιγράφεται από το νόμο συνημιτόνου του Lambert:

$$R_{dr} = R_d \cdot \cos \nu \quad (5.13)$$

Επειδή το R_d ποικίλλει ανά ώρα, η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του πάνελ σημαίνει την ελαχιστοποίηση των μεταβολών της γωνίας πρόσπτωσης έτσι ώστε το R_{dr} να γίνεται μέγιστο. Στο Σχ. 5.4b παρουσιάζονται μερικές μεταβολές της απευθείας προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας για έναν αζιμουθιακό tracker.

5.6 Βελτιστοποίηση του φ/B πλαισίου με συγκεκριμένα βήματα

Η ενεργητική βελτιστοποίηση του προσανατολισμού του αζιμουθιακού tracker έχει δύο στοιχεία που πρέπει να ελαχιστοποιηθούν: ο αριθμός βημάτων που αφορούν τη γωνία ψ^* και ο αριθμός βημάτων που αφορούν τη γωνία α^* . Παρακάτω εξετάζεται η περίπτωση του θερινού ηλιοστασίου ($N = 172$, $\delta = +23,5^\circ$) για τοποθεσία ($\varphi = 45.5^\circ$, N και ο παράγοντας χαμμένης ακτινοβολίας $T_r = 5.3$), λαμβάνοντας υπόψη σε αυτή την προσέγγιση $n = 0 \dots, 4$ καθημερινά βήματα εντοπισμού (tracking) και υποθέτοντας ότι ο ουρανός είναι χωρίς σύννεφα.

Τα Σχ.5. 4, ..., 5.9 απεικονίζουν τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκαν αριθμητικά με χρήση του λογισμικού MathLab. Στο Σχ. 5.4α απεικονίζονται οι μεταβολές των γωνιών των ηλιακών ακτίνων κατά τη διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου για τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Επίσης, στο σχήμα. 4b παρουσιάζεται γραφικά η οικογένεια καμπυλών των μεταβολών της απευθείας προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας που αντιστοιχούν σε όλες τις βέλτιστες λύσεις, οι οποίες θεωρήθηκαν ξεχωριστά. Η εξωτερική καμπύλη α (βλέπε Σχ. 5.5, 5.6, 5.7 και 5.8): παρουσιάζει την μεταβολή της απευθείας διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας.

Στη συνέχεια, στο σχήμα. 5α απεικονίζονται οι μεταβολές της μέγιστης απευθείας προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας, η οποία είναι συνήθως κάθετη στο ΦΒ πάνελ, για τα 0 και 1 βήματα εντοπισμού. Οι σκιασμένες περιοχές A0 και A1, από τα σχήματα αυτά, αντιπροσωπεύουν το ποσό συγκεκριμένης ενέργειας που αντιστοιχεί σε αυτές τις δύο περιπτώσεις. Στο σχήμα. 5.5b, παρουσιάζονται οι μεταβολές των αζιμουθιακών γωνιών (α^*, ψ^*) και της γωνίας πρόσπτωσης (ν).

Ομοίως, στα σχήματα.5.6, 5.7 και 5.8 απεικονίζονται οι βέλτιστες μεταβολές των γωνιών που αντιστοιχούν στα 2 βήματα, 3 βήματα και 4 βήματα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του 4 σταδίου, το σύστημα εντοπισμού (tracking system) ακολουθεί τα επόμενα στάδια: στις 9 ώρα (ηλιακή ώρα), το σύστημα εντοπισμού αλλάζει την γωνιακή θέση του πάνελ από $\alpha^* = 32^\circ$ σε $\alpha^* = 65^\circ$ (βήμα 1). Στις 10.70 (ηλιακή ώρα), το σύστημα εντοπισμού αλλάζει την γωνιακή θέση του πάνελ από $\psi^* = 88^\circ$ σε $\psi^* = 0^\circ$ (βήμα 2). Στις 13.30 (ηλιακή ώρα) το σύστημα εντοπισμού αλλάζει την γωνιακή θέση του πάνελ από $\psi^* = 0^\circ$ σε $\psi^* = 88^\circ$ (βήμα 3) και στις 15 (ηλιακή ώρα), το σύστημα εντοπισμού αλλάζει την γωνιακή θέση του πάνελ από $\alpha^* = 65^\circ$ σε $\alpha^* = 32^\circ$ (βήμα 4).

Το Σχ. 5.9 παρουσιάζει μια συγκριτική ανάλυση των ποσών ενέργειας που αντιστοιχούν σε κάθε περίπτωση εντοπισμού: 0 βήματα (σταθερής κλίσης πάνελ) και 1 βήμα (Σχ. 5.5), 2 βήματα (Σχ. 5.6), 3 βήματα (Σχ. 5.7), 4 βήματα (Σχ. 5.8) και απευθείας διαθέσιμη ακτινοβολία. Τα αριθμητικά αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα I. Σύμφωνα με το Σχ. 5.9, στην περίπτωση για 0 βήμα (σταθερή κλίση πάνελ, με $\alpha^* = 65^\circ$ και $\psi^* = 0^\circ$), η ενέργεια της απευθείας προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας αντιπροσωπεύει 70.82% από την ενέργεια της απευθείας διαθέσιμης ακτινοβολίας.

Όταν το σύστημα εντοπισμού ακολουθεί 1 βήμα (Σχ. 5.5), η απευθείας προσλαμβανόμενη ενέργεια αντιπροσωπεύει το 90,79% από την ενέργεια της απευθείας διαθέσιμης ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι προσανατολισμός με 1 βήμα φέρνει $90,79\% - 70,82\% = 19,97\%$ σε σύγκριση με την περίπτωση του 0 βήματος.

Όταν το πάνελ ακολουθεί τα βήματα εντοπισμού 3 και 4 (Σχ. 5.7 και 5.8), η ενέργεια της απευθείας ακτινοβολίας αντιπροσωπεύει το 94,67% και 96,56% αντίστοιχα από την ενέργεια της απευθείας διαθέσιμης ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι ο προσανατολισμός του πάνελ από τα βήματα εντοπισμού 3 και 4 φέρνει 23,85% και 25,74 αντίστοιχα% σε σύγκριση με την περίπτωση του βήματος 0.

Τελικά, αν το ΦΒ πάνελ ακολουθεί ∞ βήματα (συνεχής προσανατολισμός), αυτά φέρνουν 29,18% με την περίπτωση του 0 βήματος και μόνο $29.18\% - 25.74\% = 3,44\%$ σε σύγκριση με την περίπτωση των 4 βημάτων. Από μια άλλη άποψη, κάθε συμπληρωματικό βήμα φέρνει: $90,79\% - 70,82\% = 19,97\%$ στην περίπτωση βήματος 1 (σε σύγκριση με την περίπτωση του βήματος 0), $93,06\% - 90,79\% = 2,27\%$ στην περίπτωση βήματος 2 (σε σύγκριση με την περίπτωση του βήματος 1), $94,67\% \beta 93,06\% = 1,61\%$ περίπτωση βήματος 3 (σε σύγκριση με την περίπτωση του βήματος 2) και $96,56\% \beta 94,67\% = 1,89\%$ στην περίπτωση βήματος 4 (σε σύγκριση με την περίπτωση του βήματος 3).

5.7 Συμπεράσματα

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα κύρια συμπεράσματα:

α) Με τον αζιμουθιακό tracker η απευθείας προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο πάνελ μπορεί να αυξηθεί. Για αυτό το πλάτος των αζιμουθιακών κινήσεων και ο αριθμός των βημάτων εντοπισμού είναι αντικείμενο βελτιστοποίησης.

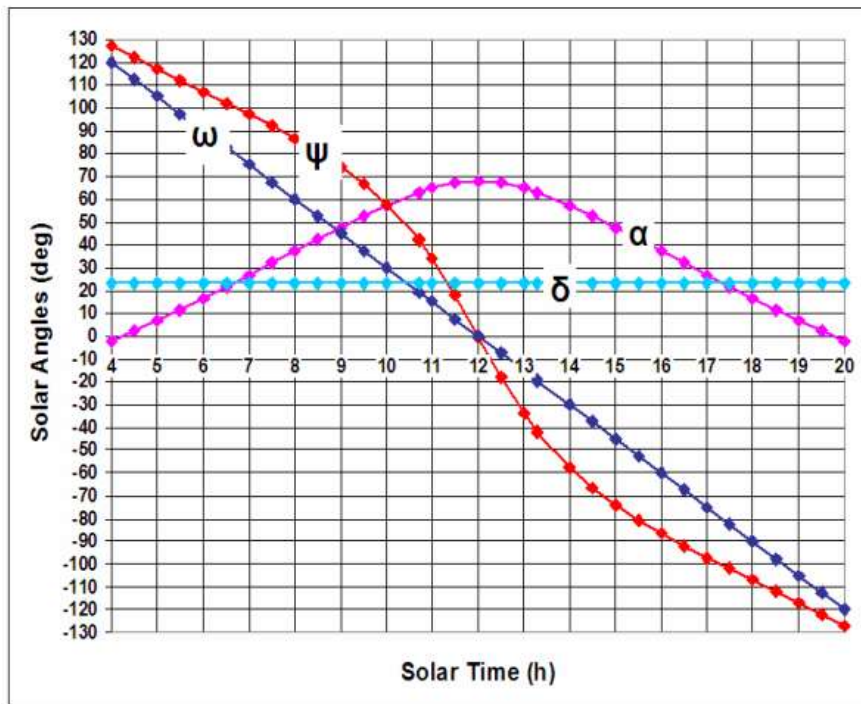
β) Η βελτιστοποίηση στοχεύει στη μεγιστοποίηση της απευθείας προσλαμβανόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο πάνελ και στην ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του ενεργοποιητή.

γ) Για διαφορετικό αριθμό βημάτων, με βάση τη μεγιστοποίηση της απευθείας προσλαμβανόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, οι βέλτιστες αζιμουθιακές γωνίες λαμβάνονται για μια συγκεκριμένη ημέρα (θερινό ηλιοστάσιο για την συγκεκριμένη τοποθεσία) με όρο ότι ο ουρανός δεν έχει σύννεφα.

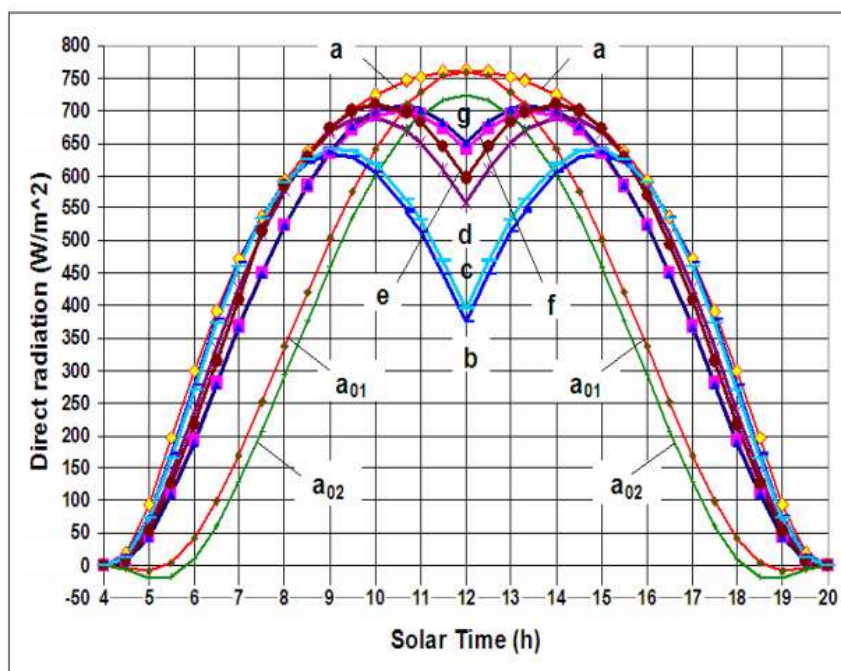
δ) Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (βλέπε Σχ 5.5,...,5.9 και πίνακα Ι) επισημαίνουν ότι τα 0, 1, 2, 3 και 4 βήματα εντοπισμού προσανατολισμού μεγιστοποιούν την απευθείας προσλαμβανόμενη ακτινοβολία σε: 0.7082, 0.9079, 0.9306, 0.9467 και αντίστοιχα σε 0.9656 από την διαθέσιμη απευθείας ακτινοβολία (AR:available direct radiation). Η διαφορά 0.2918, μεταξύ της περίπτωσης AR και της περίπτωσης του βήματος 0 καλύπτεται μερικώς από τον βηματικό προσανατολισμό, έτσι: 0,1997 (βήμα 1), 0,2224 (βήμα 2), 0,2385 (βήμα 3) και 0,2574 (βήμα 4). Έτσι, το υπόλοιπο των βημάτων έως το άπειρο θα φέρει μόνο 0,0344 από το AR. Αυτό σημαίνει ότι, η συνεισφορά του τελευταίου βήματος μειώνεται όταν ο αριθμός των βημάτων αυξάνεται.

ε) Η διαδικασία πρέπει να επεκταθεί από την καθημερινή στην εποχική βελτιστοποίηση και έπειτα στην ετήσια βελτιστοποίηση, χρησιμοποιώντας τα προηγούμενα αποτελέσματα ως στοιχεία.

στ) Σε μελλοντική έρευνα, η επίδραση του τύπου των φωτοβολταϊκών και άλλων τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών, πρέπει να ληφθεί υπόψη.



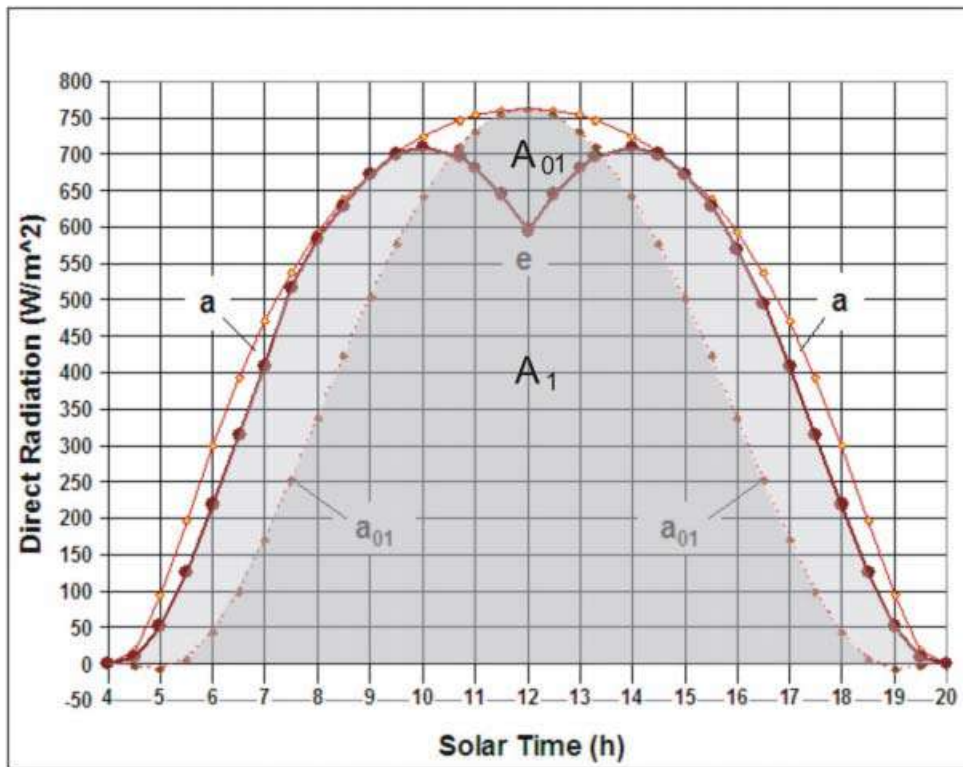
a)



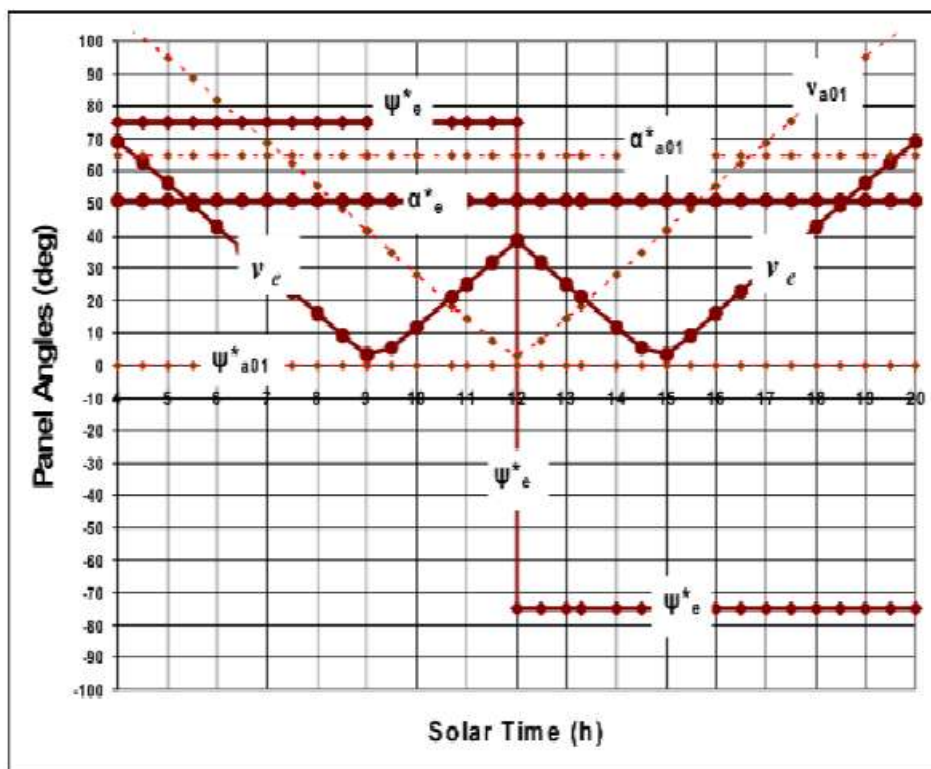
b)

Σχ.5.4

Σχ.5.4 Μεταβολές στο θερινό ηλιοστάσιο :a) των ηλιακών γωνιών (α , ψ) και (ω , δ) σε γεωγραφικό πλάτος $45,5^\circ$, b) η λαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία με βάση τις βέλτιστες λύσεις : όπου a- η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, για πάνελ σταθερό με κλίση με a_{01} ($\alpha^*=65^\circ, \psi^*=0^\circ$), a_{02} ($\alpha^*=49^\circ, \psi^*=0^\circ$). Πάνελ κάνοντας χρήση tracker με b ($\alpha^*=32^\circ, \psi^*=88^\circ$) c ($\alpha^*=32^\circ, \psi^*=82^\circ$), d ($\alpha^*=49^\circ, \psi^*=84^\circ$), e ($\alpha^*=51^\circ, \psi^*=75^\circ$), f ($\alpha^*=65^\circ, \psi^*=88^\circ$), g ($\alpha^*=65^\circ, \psi^*=82^\circ$).



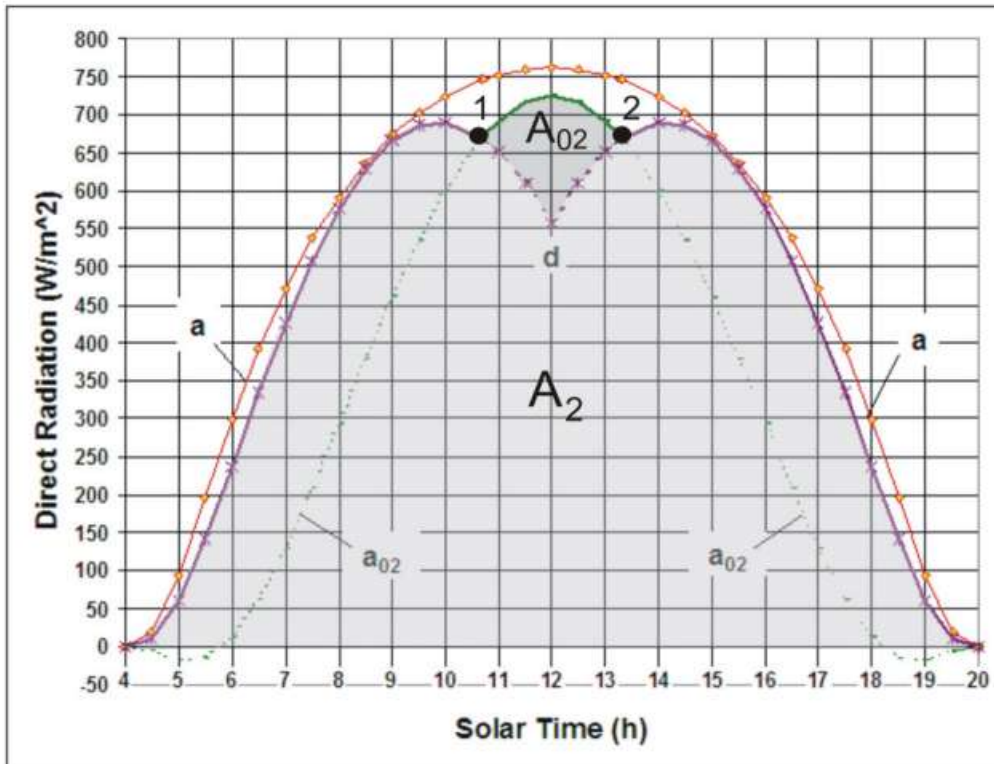
a)



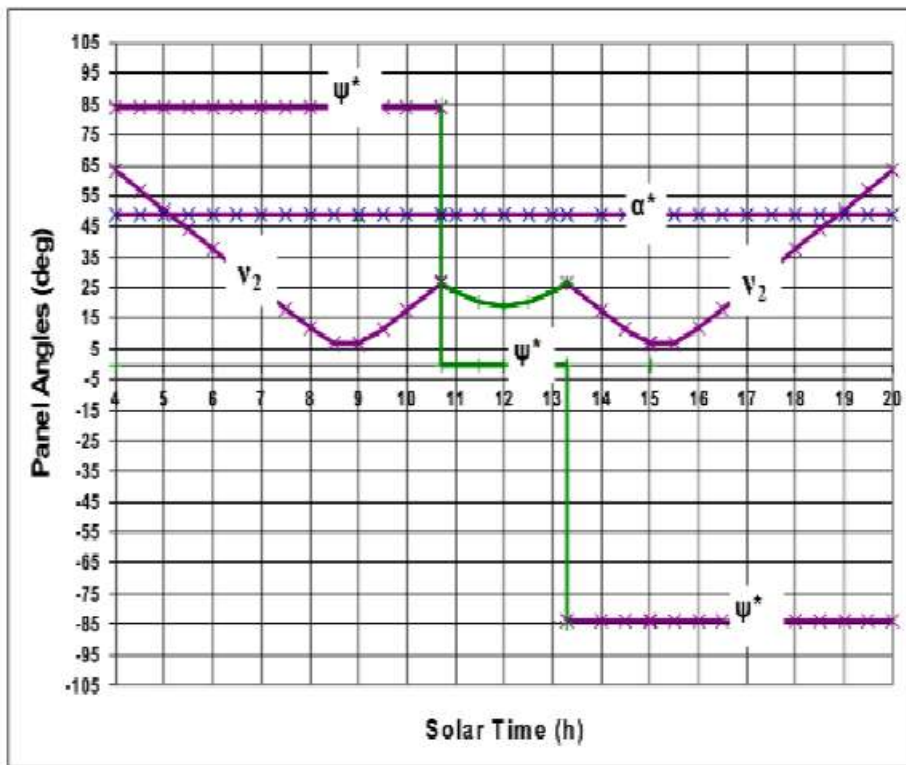
b)

Σχ.5.5

Σχ.5.5 Μεταβολές στο Θερινό Ηλιοστάσιο: α) της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας για: a_{01} -0 βήματα ($\alpha^*=65^\circ, \psi^*=0^\circ$), e -ένα βήμα ($\alpha^*=51^\circ, \psi^*=75^\circ$), β) οι αζιμουθιακές γωνίες και οι γωνίες πρόσπτωσης του πάνελ με βάση το Σχ.α)



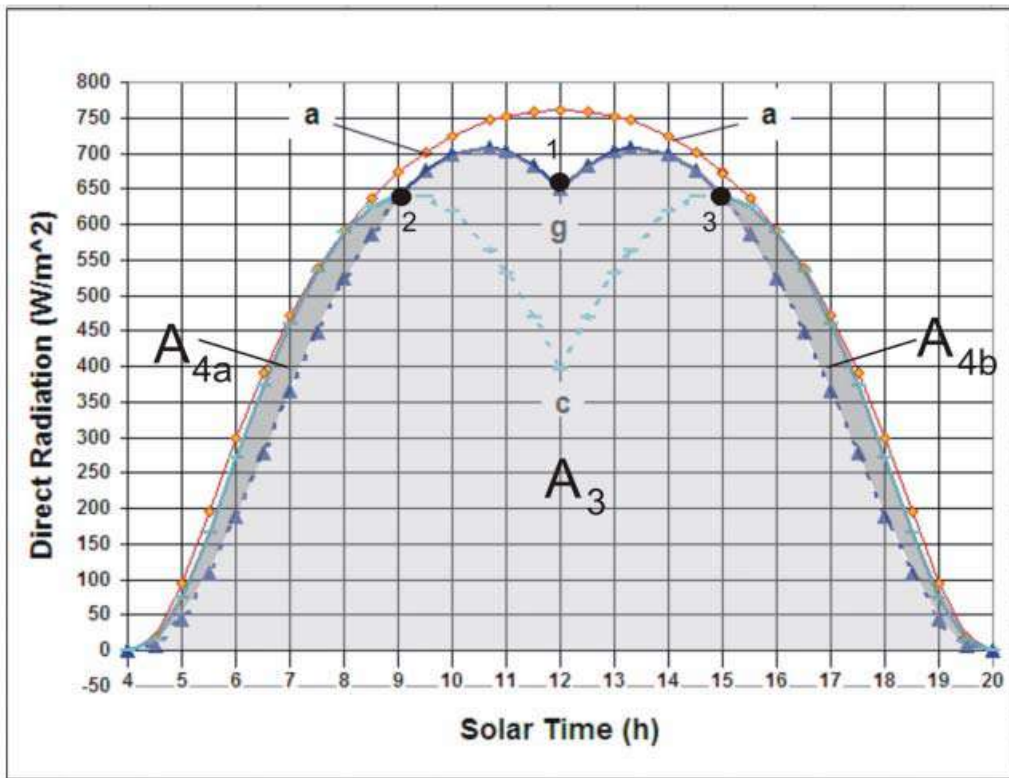
a)



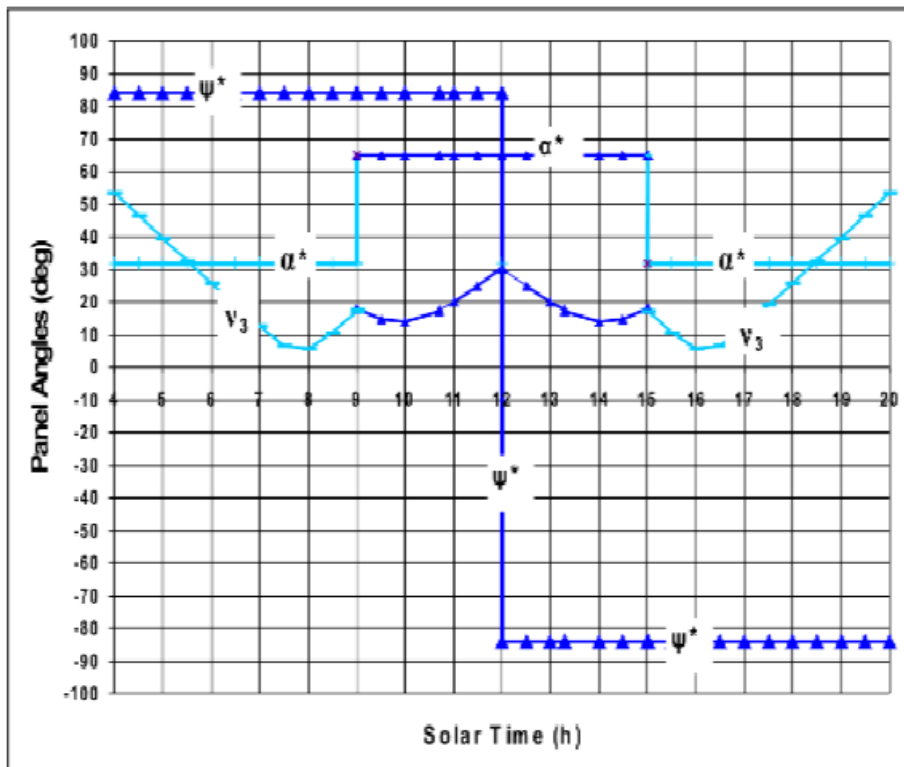
b)

Σχ.5.6

Σχ.5.6 Μεταβολές στο Θερινό Ηλιοστάσιο: a) της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας για 2 βήματα : a_{02} ($\alpha^*=49^\circ$, $\psi^*=0^\circ$), d ($\alpha^*=49^\circ$, $\psi^*=84^\circ$), b) οι αζιμουθιακές γωνίες και οι γωνίες πρόσπτωσης του πάνελ με βάση το Σχ.α)



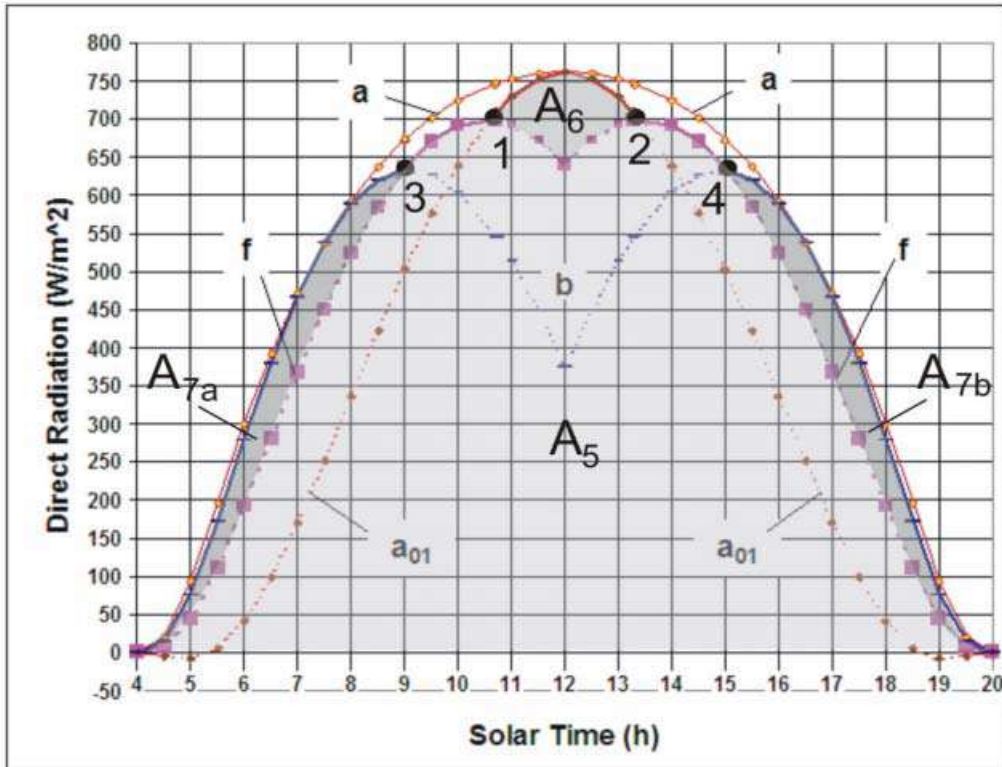
a)



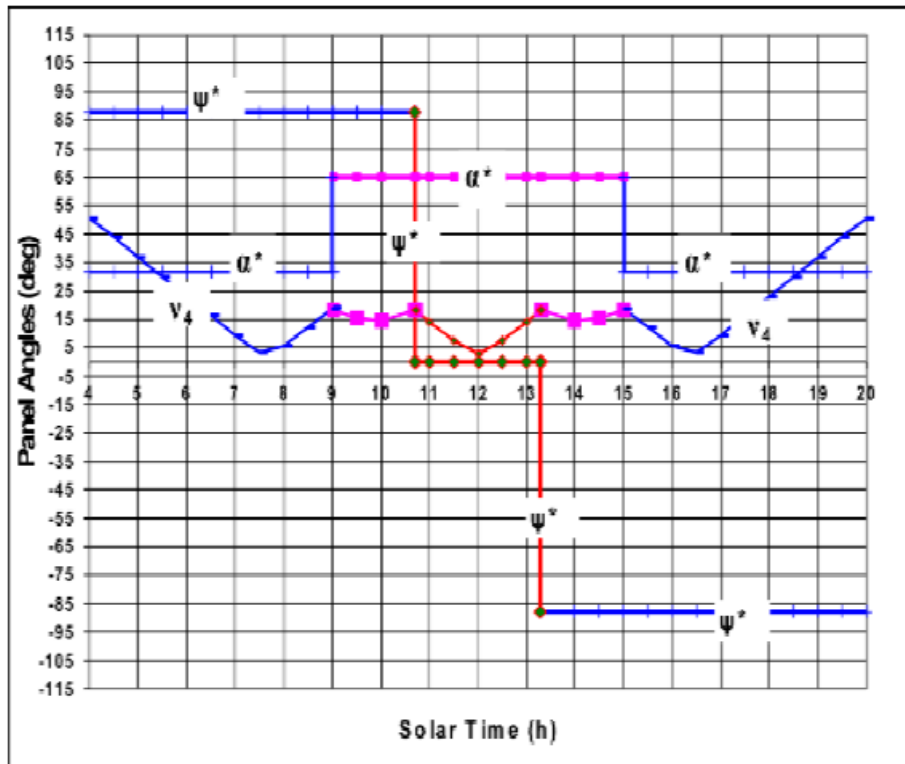
b)

Σχ.5.7

Σχ.5.7 Μεταβολές στο Θερινό Ηλιοστάσιο: a) της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας για 3 βήματα : c ($\alpha^*=32^\circ, \psi^*=82^\circ$), g ($\alpha^*=65^\circ, \psi^*=82^\circ$), b) οι αζιμουθιακές γωνίες και οι γωνίες πρόσπτωσης του πάνελ με βάση το Σχ.α)



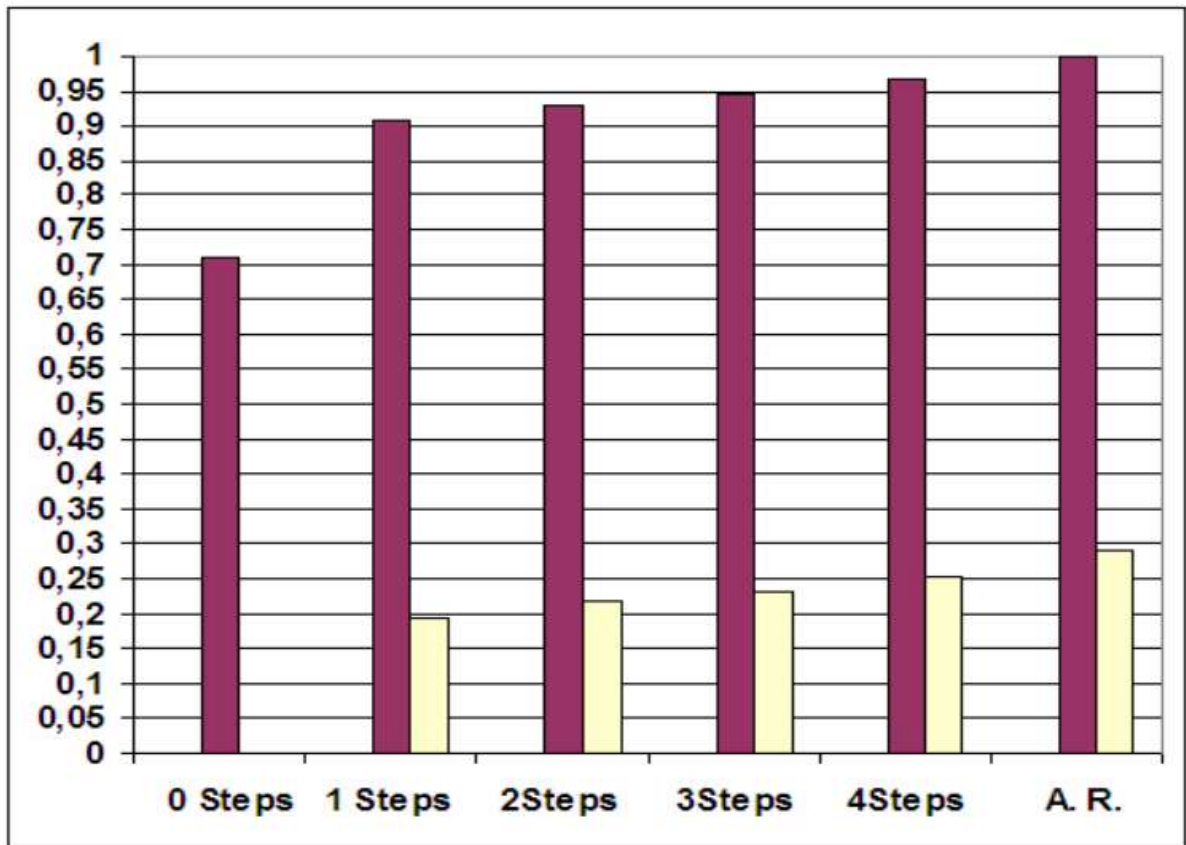
a)



b)

Σχ.5.8

Σχ.5.8 Μεταβολές στο Θερινό Ηλιοστάσιο: a) της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας για 4βήματα : a₀₁(α*=65°,ψ*=0), b(α*=32°,ψ*=88°), f(α*=65°,ψ*=88°), b) οι αζιμουθιακές γωνίες και οι γωνίες πρόσπτωσης του πάνελ με βάση το Σχ.α)



Σχ.5.9

Σχ.5.9 Τα ποσά ενέργειας που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό βημάτων ιχνηλασίας

Κέρδος λαμβανόμενων ποσοτήτων ενέργειας που επιτεύχθηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό βημάτων ιχνηλασίας

Step Azimuthal Tracking	0 Step	1 Step	2 Steps	3 Steps	4 Steps	A.R.
Percent from Available direct solar Radiation (AR)	0.7082	0.9079	0.9306	0.9467	0.9656	1
Rated difference compared 0 Tracking Srep (65/0)	0	0.1997	0.2224	0.2385	0.2574	0.2918

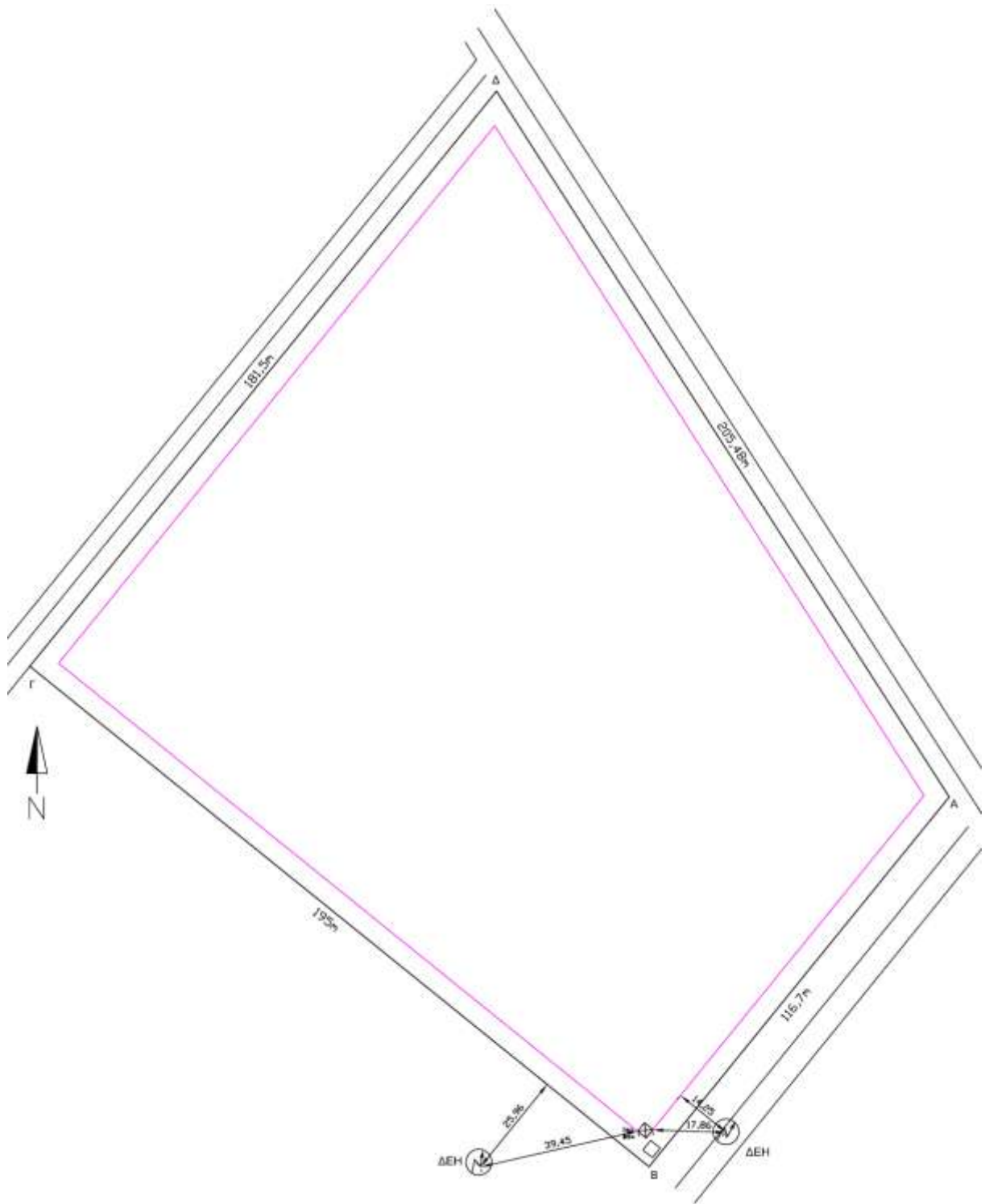
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται τα γενικά στοιχεία του υπό μελέτη Φ/Β σταθμού, γίνεται η τεχνική περιγραφή του έργου και η διαστασιολόγηση των πλαισίων με τους μετατροπείς. Ακόμη παρουσιάζεται η ενεργειακή μελέτη και τέλος γίνεται η οικονομοτεχνική μελέτη της επένδυσης.

6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ

Ο υπό μελέτη Φ/Β σταθμός είναι ισχύος **499,33 kWp** και θα συνδεθεί στο Δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ. Το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του σταθμού θα διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ. Ο συγκεκριμένος σταθμός θα εγκατασταθεί σε γήπεδο συνολικού εμβαδού 29.400 m² το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Τρίπολης.



Σχ.6.1 Κάτοψη οικοπέδου

6.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

6.2.1 Γενική διάταξη του σταθμού

Ο Φ/Β σταθμός συνολικής ισχύος 499,33 kWp θα αποτελείται από 2171 πλαίσια της εταιρίας **Innotech Solar**, σειράς **ITS EcoClassic-PolyUp**, με υλικό κατασκευής το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και ισχύος **230Wp** το κάθε ένα. Τα πιστοποιητικά καταλληλότητας του πλαισίου είναι σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (IEC 61215).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β πλαισίου, οι εγγυήσεις προϊόντος και απόδοσης και τα πιστοποιητικά Ελέγχου Παραγωγής και πρόσθετων κελιών δίνονται στο παράρτημα.

Τα Φ/Β πλαίσια θα τοποθετηθούν σε ιχνηλάτες (Trackers) της εταιρείας **IDEEMATEC** σειράς **ST32** σε προσανατολισμό 'landscape'. Ο κάθε ιχνηλάτης θα έχει διαστάσεις: μήκος 8,29m, πλάτος 4,94m και ύψος περίπου 3m. Τα Φ/Β πλαίσια σε ομάδες και υποομάδες (string) σε 26 μετατροπείς (inverters) της εταιρείας **Siemens**.

Οι μετατροπείς που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω:

- 25 Sinvert PVM20 19.200W AC, 19.600 DC
- 1 Sinvert PVM17 16.500W AC, 16.800 DC

Η τοποθέτηση των πλαισίων στους ιχνηλάτες θα πραγματοποιηθεί ως εξής:

- Σε 95 ιχνηλάτες θα τοποθετηθούν 21 πλαίσια στον κάθε ένα (σύνολο 1995 πλαίσια)
- Σε 8 ιχνηλάτες θα τοποθετηθούν 22 πλαίσια στον κάθε ένα (σύνολο 176 πλαίσια)

Η τοποθέτηση έγινε έτσι ώστε κάθε tracker να αποτελεί ένα string με σκοπό να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο το μήκος των καλωδιώσεων DC μεταξύ πλαισίων και μετατροπέα.

Η σύνδεση των πλαισίων στους μετατροπείς πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- Σε 23 μετατροπείς PVM20 συνδέθηκαν σε κάθε έναν 84 πλαίσια, διατεταγμένα σε 4 παράλληλες συστοιχίες (ομάδες), αποτελούμενη η κάθε μία από 21 πλαίσια σε σειρά (υποομάδες - strings).
- Σε 2 μετατροπείς PVM20 συνδέθηκαν σε κάθε έναν 88 πλαίσια, διατεταγμένα σε 4 παράλληλες συστοιχίες, αποτελούμενη η κάθε μία από 22 πλαίσια σε σειρά.
- Σε 1 μετατροπέα PVM17 συνδέθηκαν 63 πλαίσια, διατεταγμένα σε 3 παράλληλες συστοιχίες, αποτελούμενη από 21 πλαίσια σε σειρά.

Η κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος σε κάθε φάση είναι:

- Στη φάση R 166,44 kWp
- Στη φάση S 166,44 kWp
- Στη φάση T 166,44 kWp

6.2.2 Μετατροπείς

Η μέγιστη ανισοκατανομή μεταξύ των φάσεων είναι 0 kWp (0%)

Η κυματομορφή εξόδου των μετατροπέων είναι ημιτονοειδής 230V /50 Hz, με συνολική αρμονική παραμόρφωση μικρότερη του 4% και συνολική έγχυση DC μικρότερη του 0,5%. Η προστασία τους έχει βαθμό IP 65.

Από πλευράς πιστοποιήσεων οι μετατροπείς Siemens καλύπτουν τις ευρωπαϊκές και ελληνικές προδιαγραφές. (VDE 0126, προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κλπ.) Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιητικά ελλείψεως κωλυμάτων, αρμονικών, Quality Management System, Environmental management System των μετατροπέων δίνονται στο Παράρτημα.

Μεταξύ των στοιχειοσειρών και των μετατροπέων παρεμβάλλονται υποπίνακες DC οι οποίοι περιέχουν διακόπτες και απαγωγείς υπερτάσεων. Συνολικά θα χρησιμοποιηθούν 26 υποπίνακες DC . Επίσης όλοι οι μετατροπείς θα συνδεθούν στον Γενικό Πίνακα Χαμηλής Τάσης. Ο Γενικός Πίνακας XT περιέχει όλες τις διατάξεις προστασίας που απαιτούνται για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Περιλαμβάνει τον γενικό τριφασικό διακόπτη για απομόνωση του συνόλου του εξοπλισμού από το δίκτυο της ΔΕΗ καθώς και μικροαυτόματους διακόπτες για απομόνωση κάθε Μετατροπέα ξεχωριστά. Στον Γενικό Πίνακα XT τοποθετήθηκαν επίσης απαγωγοί υπέρτασης τύπου 1 και τύπου 2 προς την πλευρά του Δικτύου.

6.2.3 Ιχνηλάτες (Trackers)

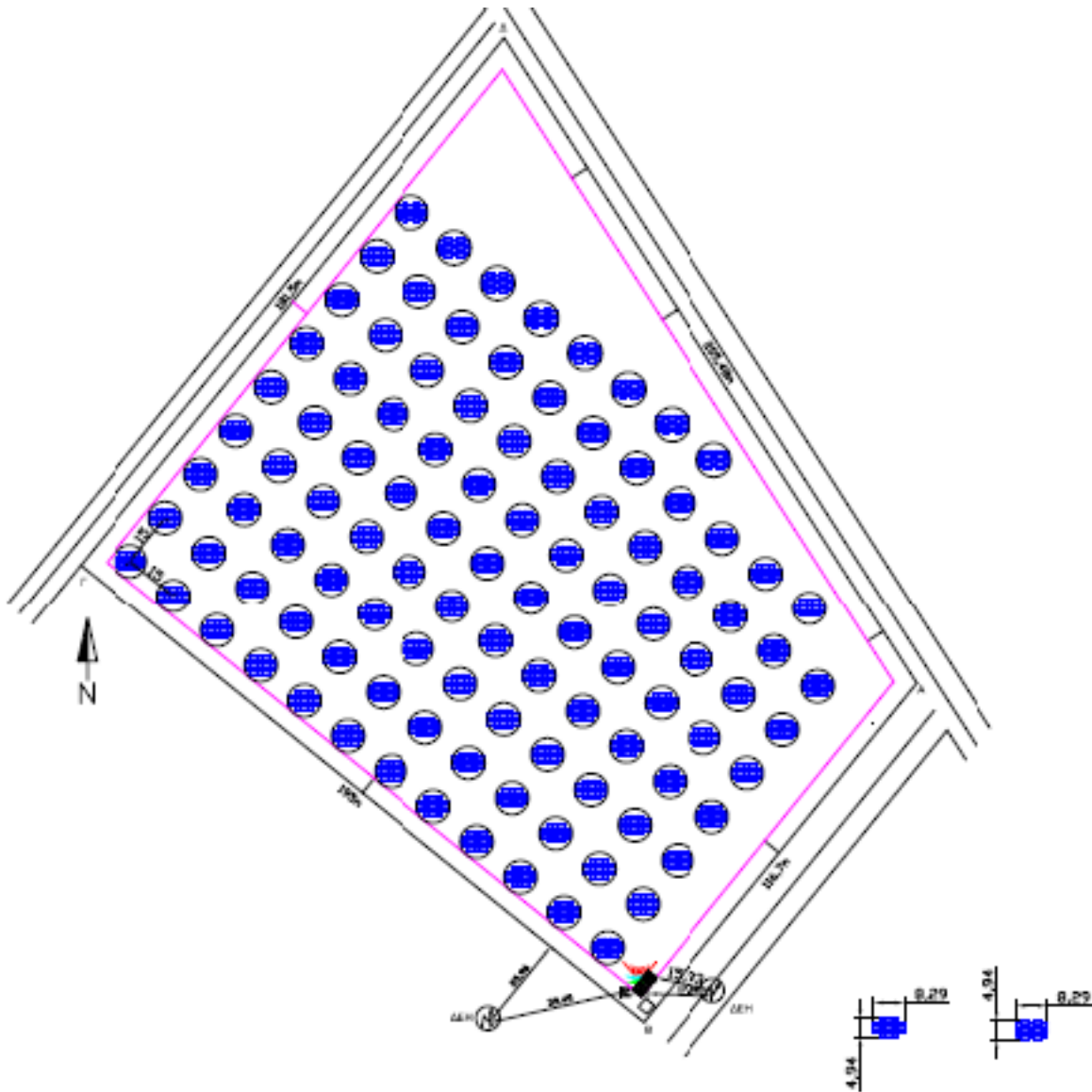
Οι ιχνηλάτες είναι της εταιρείας IDEEMATEC της σειράς ST32. Η κίνησή τους είναι μονού άξονα, αζιμουθιακή. Έχουν σύστημα ελέγχου PLC/BUS με σύστημα ελέγχου θέσης. Η μονάδα κίνησης τους αποτελείται από ατέρμονες κοχλίες με διπλή διάταξη οδοντωμάτων και τριφασικό ηλεκτρικό μοτέρ AC. Η στήριξη θα γίνει με τη μέθοδο της μετόμπτηξης.



Σχ.6.2

6.2.4 Χωροθέτηση

Η τοποθέτηση των tracker στο οικόπεδο θα γίνει όπως φαίνεται στην παραπάνω κάτοψη. Το ροζ περίγραμμα αποτελεί το νόμιμο όριο μέσα στο οποίο μπορεί να βρίσκεται η εγκατάσταση με βάση το ύψος της. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το όριο είναι τα πέντε μέτρα εντός της περιφράξης. Κάτω δεξιά φαίνονται οι διαστάσεις των tracker και η γωνία τους.



Σχ.6.3

Νόμιμα όρια εγκατάστασης εντός της περιφράξης:

- 2.5 m αν το ύψος της εγκατάστασης δεν ξεπερνάει τα 2.5 m
- 5 m αν το ύψος της εγκατάστασης ξεπερνάει τα 2.5 m

6.2.5 Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής που θα χρησιμοποιηθεί για την ανύψωση τάσης θα είναι της εταιρείας **Siemens** της σειράς **GEAFOL**. Έχει τιμή ισχύος 630 kVA και τιμή εξόδου 20kV (όσο και η τιμή του δικτύου Μέσης Τάσης της ΔΕΗ).



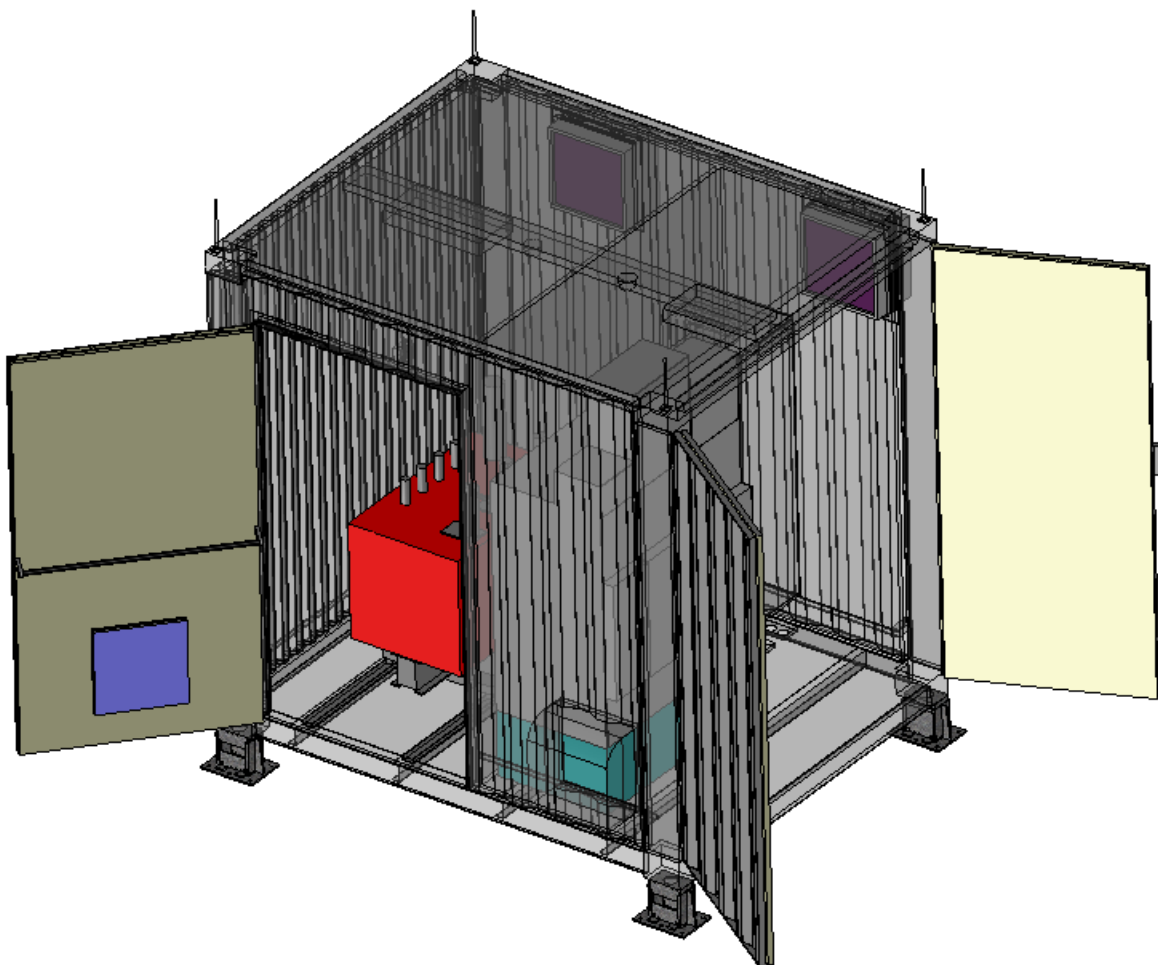
Σχ.6.4

Ο μετασχηματιστής είναι ξηρού τύπου και χρησιμοποιεί χυτορητίνη ως μέσο μόνωσης.
Αναλυτικά ο μετασχηματιστής αποτελείται όπως φαίνεται από το σχήμα από τα εξής μέρη:

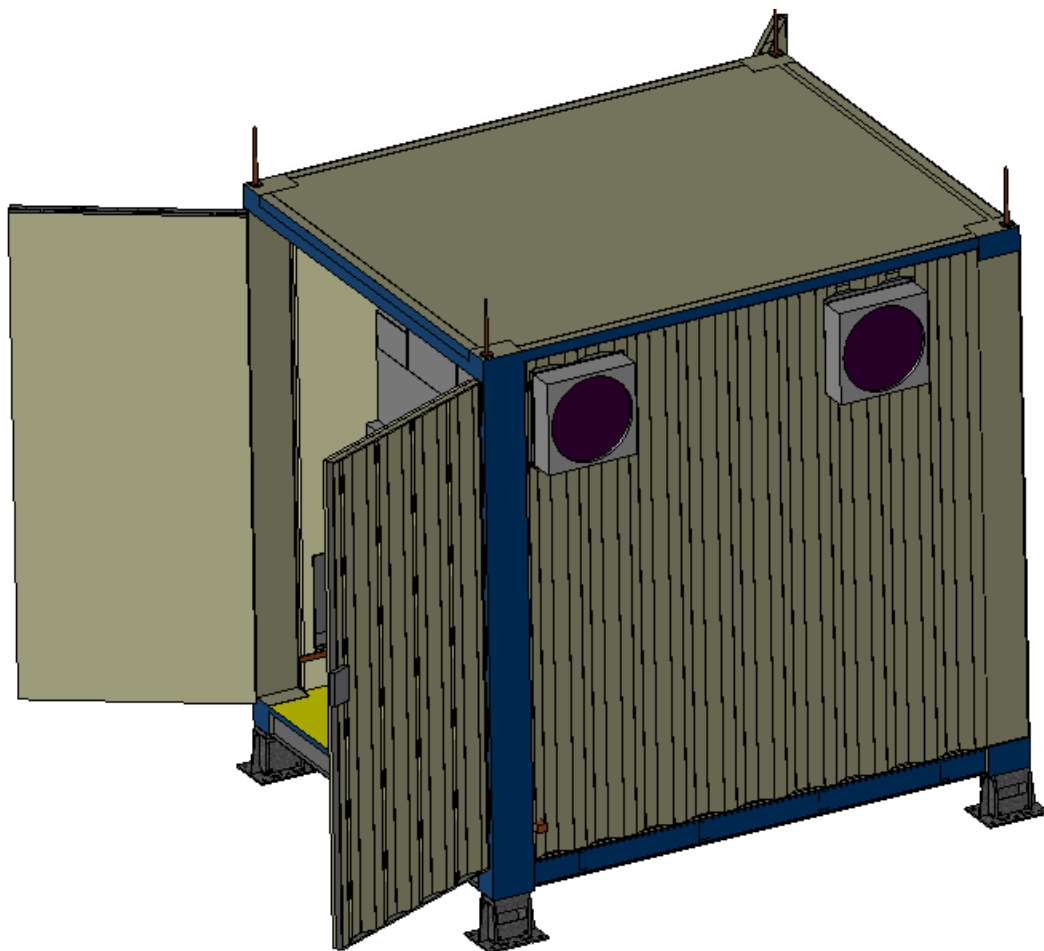
- Πυρήνας τριών σκελών
- Τύλιγμα χαμηλής τάσης, κατασκευασμένο από ταινίες αλουμινίου.
- Τύλιγμα υψηλής τάσης
- Σύνδεση χαμηλής τάσης
- Σύνδεση υψηλής τάσης
- Σύστημα στήριξης πηνίου
- Σύστημα στήριξης και μεταφοράς
- Μόνωση: Μίξη από εποξειδική ρητίνη και σκόνη χαλαζία
- Σωλήνες διασύνδεσης

6.2.6 Οικίσκος Μετασχηματιστή

Ο οικίσκος θα είναι της εταιρείας **Siemens** της σειράς PVC-10SG ο οποίος περιέχει διαμέρισμα μετασχηματιστή και διαμέρισμα για τους πίνακες ΜΤ/ΧΤ. Η συγκεκριμένη σειρά έχει θερμική μόνωση κλωβού και σύστημα κυκλοφορίας αέρα, όπως απαιτεί η χρήση του συγκεκριμένου μετασχηματιστή.



a)



b)

Σχ.6.5 Οικίσκος Μετασχηματιστή

Ο πίνακας Μέσης Τάσης είναι Siemens 8DJH



Σχ.6.6 Πίνακας MT

Ο πίνακας Χαμηλής Τάσης αποτελείται από:

- 1 αυτόματο διακόπτη ισχύος 250A (Sentron 3VL)
- 26 μικροαυτόματους διακόπτες, για είσοδο από inverters
- μικροαυτόματους διακόπτες 1×16A, για το φωτισμό και τους ρευματολήπτες
- 1 βολτόμετρο
- ενδεικτικές λυχνίες
- Αντικεραυνική προστασία Strikesorb 40B στον πίνακα XT

6.2.7 Τηλεμετρία

Για την επικοινωνία μεταξύ των μετατροπέων και όλων των επιμέρους συστημάτων με τον απομακρυσμένο χρήστη μέσω του διαδικτύου θα χρησιμοποιηθεί μονάδα router βιομηχανικού τύπου με σύνδεση σε ασύρματο δίκτυο 3G. Επίσης για την διασύνδεση όλων των επιμέρους συστημάτων με το παραπάνω router θα χρησιμοποιηθεί switch 16 θυρών της εταιρίας NetGear (FS116) και ταχύτητας 10/100 Mbps.

Η τηλεπαρακολούθηση του Φ/Β πάρκου (κρίσιμα στοιχεία και δεδομένα των μετατροπέων), θα γίνεται μέσω της δικτυακής πύλης της Siemens: SINVERT WEBMONITOR, με δυνατότητα υπολογισμού μεγεθών και αποθήκευσης δεδομένων σε data base.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων επικοινωνίας δίνονται στο Παράρτημα.

6.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

6.3.1 Θεωρητικός Υπολογισμός - Μετεωρολογικά Δεδομένα Μετεωρολογικά δεδομένα

Ως μετεωρολογικά δεδομένα για την συγκεκριμένη τοποθεσία (περιοχή Τρίπολης), χρησιμοποιήθηκαν αυτά της βάσης δεδομένων του ερευνητικού κέντρου ηλιακής ενέργειας της Ευρωπαϊκής επιτροπής (PVGIS: Geographical Assessment of Solar Energy Resource and Photovoltaic Technology) που βρίσκεται διαθέσιμο στο site:

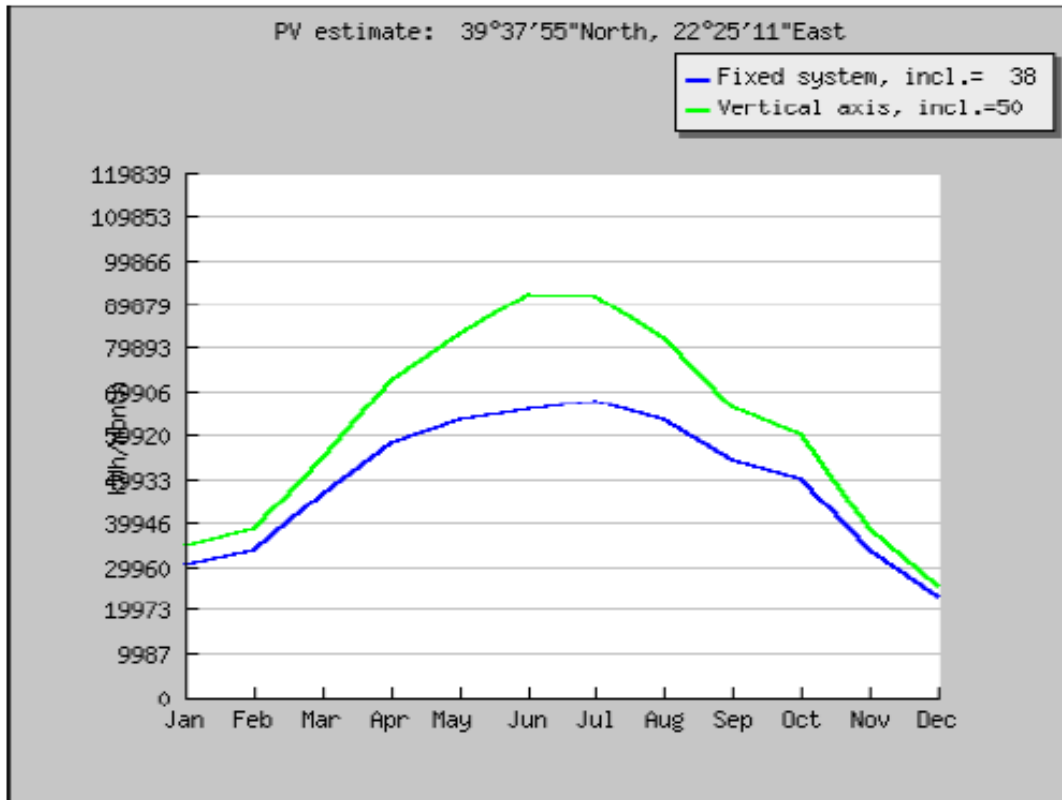
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Τα γραφήματα και οι πίνακες που ακολουθούν δείχνουν αναλυτικά τον θεωρητικό υπολογισμό για το σύστημά μας και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

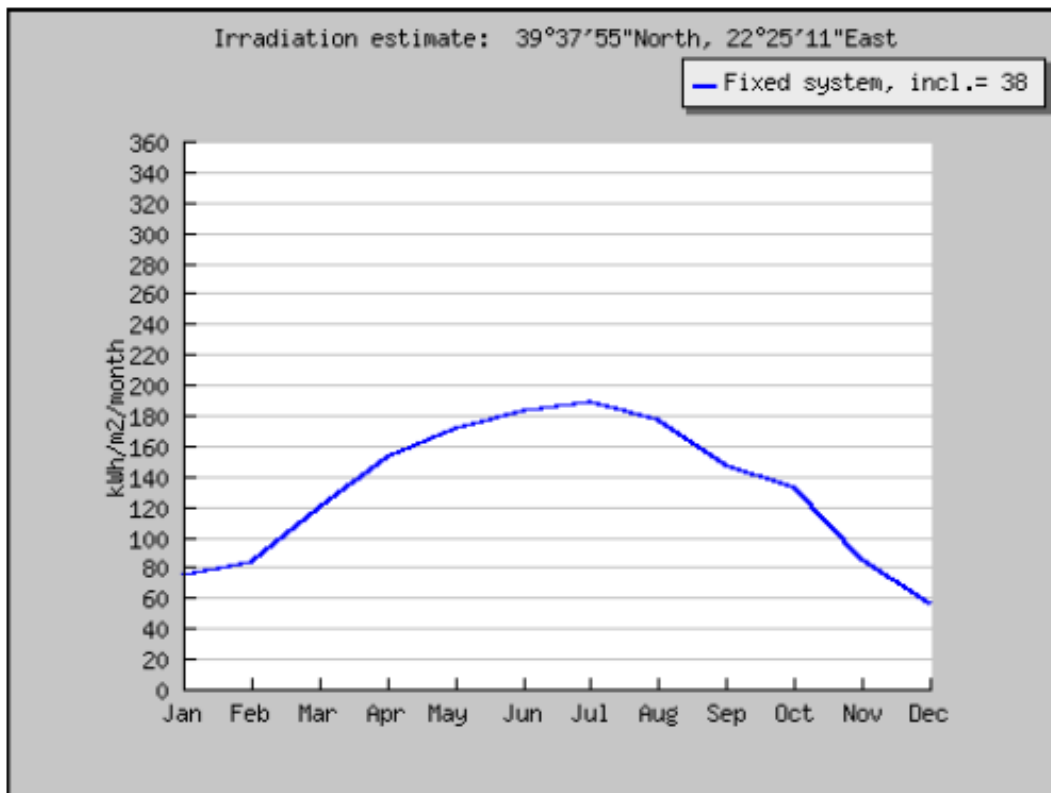
Fixed system: inclination=38 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	973.00	30200	2.39	74.2
Feb	1190.00	33400	2.99	83.6
Mar	1500.00	46500	3.85	119
Apr	1930.00	57900	5.07	152
May	2040.00	63100	5.52	171
Jun	2190.00	65600	6.09	183
Jul	2180.00	67500	6.09	189
Aug	2040.00	63300	5.70	177
Sep	1810.00	54200	4.90	147
Oct	1610.00	50000	4.25	132
Nov	1120.00	33500	2.83	84.9
Dec	738.00	22900	1.82	56.5
Year	1610.00	49000	4.30	131
Total for year		588000		1570

Vertical axis tracking system optimal inclination=50°				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1110.00	34400	2.72	84.4
Feb	1370.00	38300	3.42	95.7
Mar	1760.00	54500	4.50	140
Apr	2410.00	72300	6.27	188
May	2670.00	82700	7.14	221
Jun	3070.00	92000	8.41	252
Jul	2950.00	91400	8.12	252
Aug	2650.00	82000	7.31	226
Sep	2210.00	66200	5.94	178
Oct	1930.00	59700	5.06	157
Nov	1280.00	38500	3.26	97.8
Dec	823.00	25500	2.03	63.0
Year	2020.00	61500	5.36	163
Total for year		737000		1960

- Ed: Η μέση ημερήσια ηλεκτρική παραγωγή για το σύστημα των 499.33 kWh
- Em: η μέση μηνιαία ηλεκτρική παραγωγή για το σύστημα των 499.33 kWh
- Hd: Η μέση ημερήσια ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο που προσλαμβάνεται από τα Φ/Β πλαίσια (kWh/m^2)
- Hm η μέση μηνιαία ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο που προσλαμβάνεται από τα Φ/Β πλαίσια (kWh/m^2)



- Η μηνιαία ενεργειακή απόδοση του συστήματος για πλαίσια σταθερής βάσης
- Η μηνιαία ενεργειακή απόδοση του συστήματος για πλαίσια σε ιχνηλάτη κάθετου άξονα



Η μηνιαία ακτινοβολία για πλαίσιο σταθερής βάσης

6.4 Ενεργειακή Μελέτη μέσω του προγράμματος PVSYST 5.56

Γενικά

Η ενεργειακή μελέτη έγινε έτσι ώστε να προσδιορισθεί η μέγιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση για το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο με μονοαξονικά συστήματα παρακολούθησης του ήλιου **Ideematec ST32/38°**.

Πρόγραμμα επίλυσης

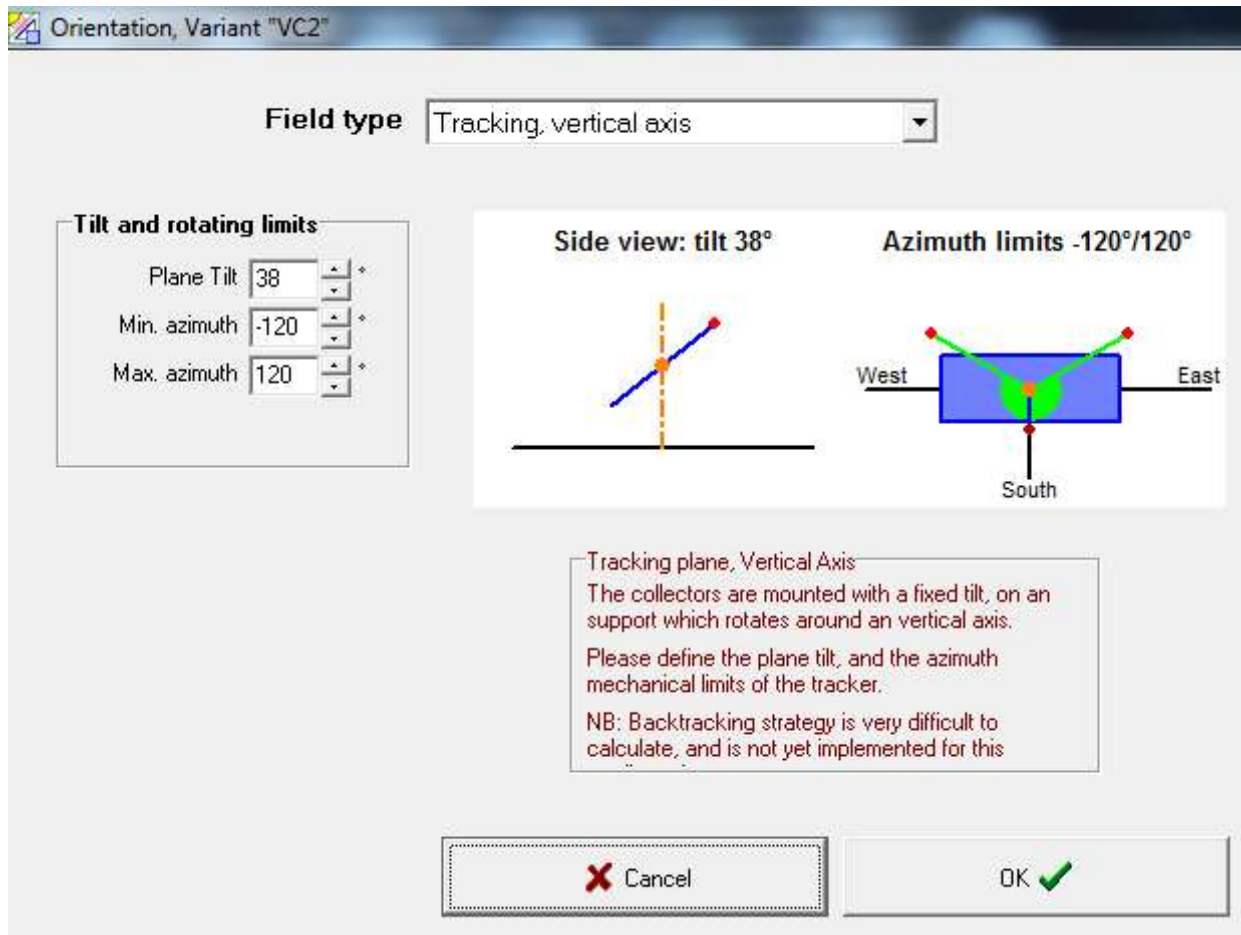
Η ενεργειακή μελέτη του έργου έγινε μέσω του προγράμματος PVSYST 5.56. Το συγκεκριμένο λογισμικό λαμβάνει υπόψη του τις σκιάσεις (μακρινού ορίζοντα καθώς και τις κοντινές), τις απώλειες κατά την ανάκλαση, τις απώλειες ενέργειας κατά την Φ/Β μετατροπή, την θερμοκρασιακή επίπτωση στην παραγόμενη ενέργεια, τις απώλειες επί των καλωδίων, τις απώλειες κατά τη DC/AC μετατροπή καθώς και τις απώλειες του μετασχηματιστή για τη σύνδεση με το δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ.

Ορίζοντας

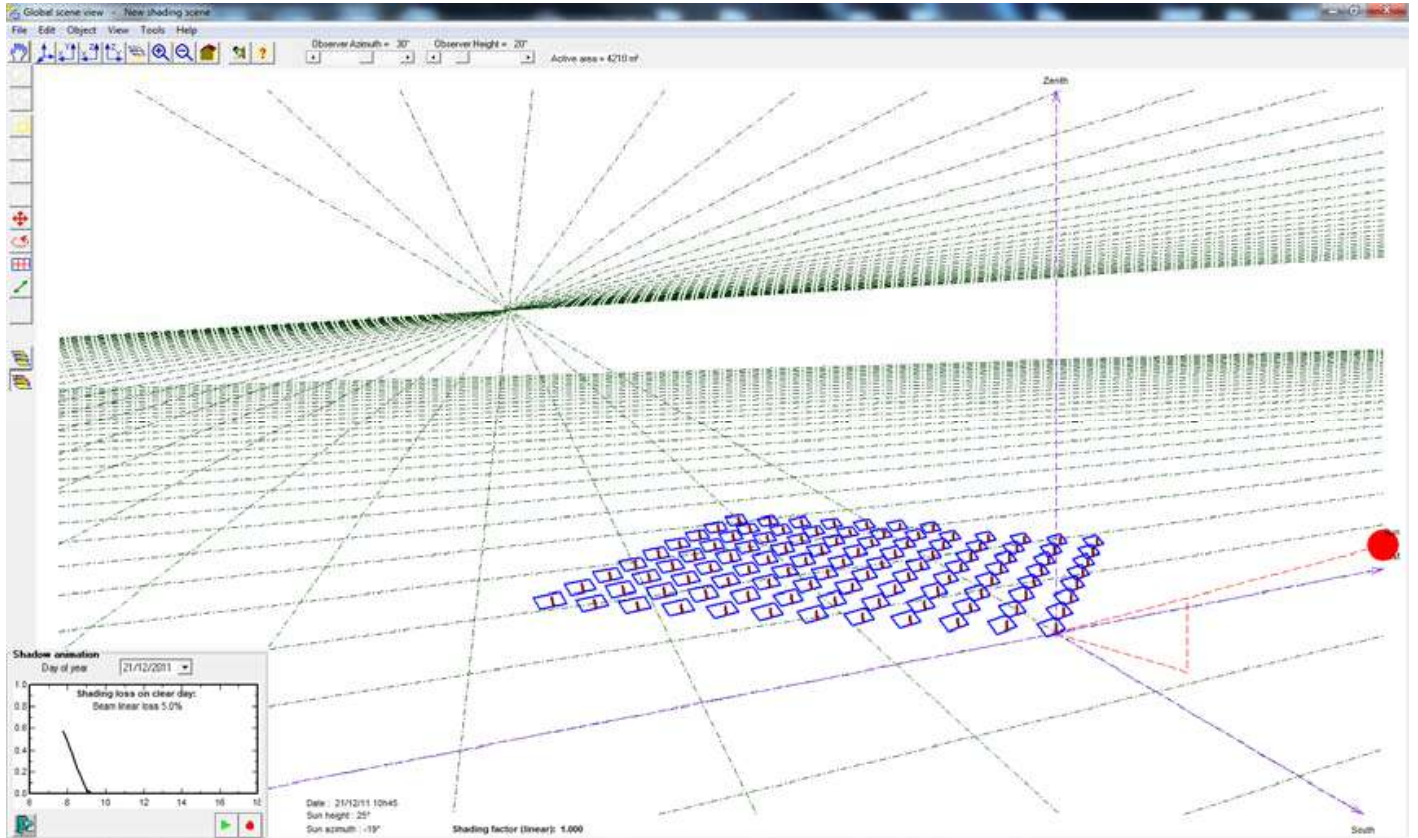
Η θέση του αγροτεμαχίου δεν επηρεάζεται από σκιάσεις γειτονικών βουνών οπότε δεν τον λάβαμε υπόψιν.

Ανάλυση του προγράμματος PVSYST 5.56

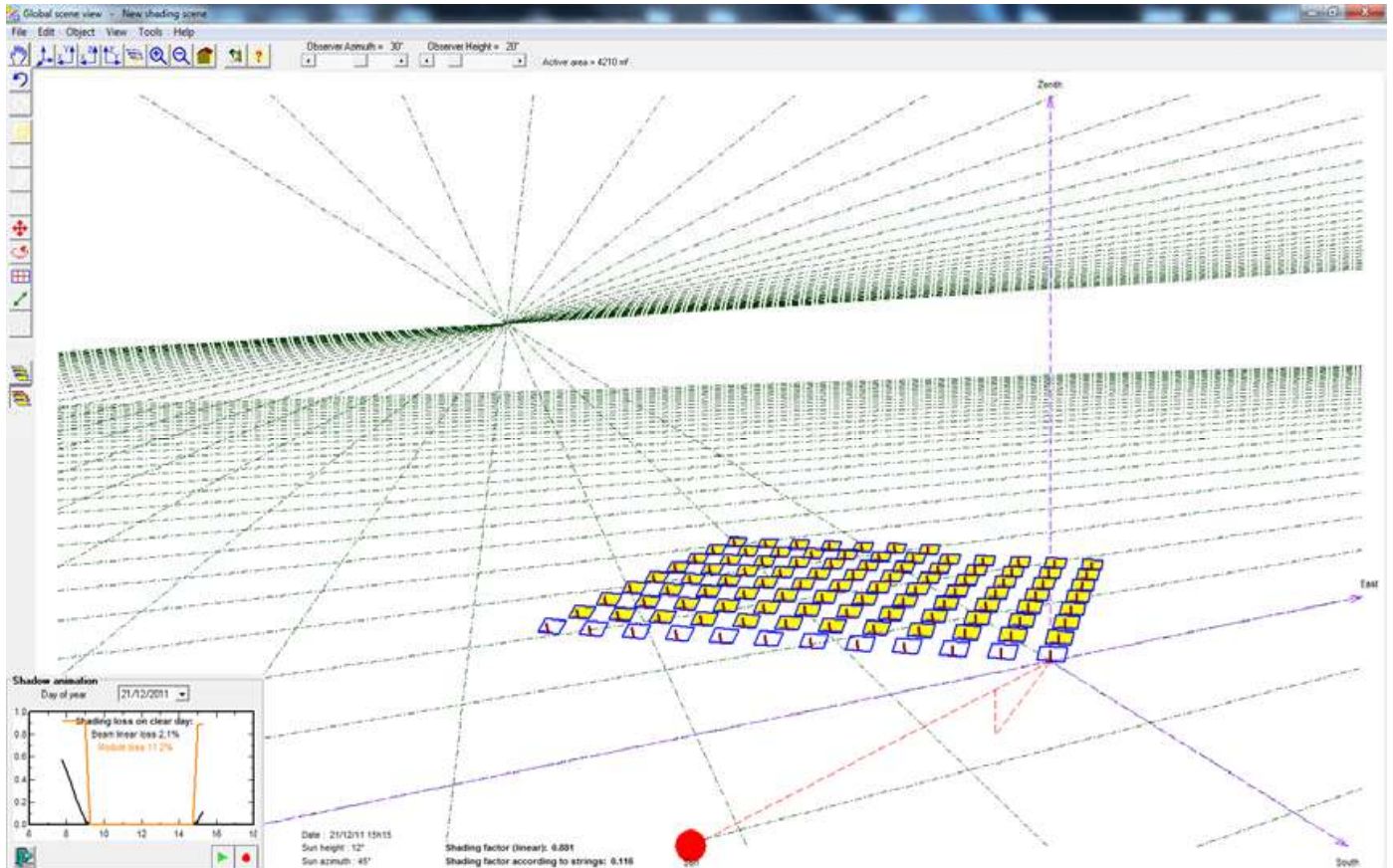
Αρχικά καθορίζουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα μέσω του site <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> για την περιοχή της Τρίπολης με συντεταγμένες : γεωγραφικό μήκος 39.6°, γεωγραφικό πλάτος: 22.4°. Το albedo (συντελεστής ανάκλασης του εδάφους το ορίσαμε στο 0.20. Κατόπιν, προχωρήσαμε στην επιλογή **Orientation**, στην οποία καθορίσαμε το σύστημα παρακολούθησης με κάθετο άξονα ως προς τον ορίζοντα (αζιμουθιακός), την κλίση του ιχνηλάτη ως προς τον ορίζοντα στις 38°, την ελάχιστη αζιμουθιακή γωνία στις -120° και την μέγιστη αζιμουθιακή γωνία στις 120° σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ιχνηλάτη, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Αρχικά έγινε σχεδιασμός του Φ/Β σταθμού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



και στη συνέχεια καθορίσαμε τις απώλειες σκίασης ενεργοποιώντας την επιλογή **shadow animation**: κατά την οποία γίνεται η προσομοίωση της κίνησης του ήλιου και οι σκιάσεις που επιφέρουν οι ιχνηλάτες. Το κίτρινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα επισημαίνει τις απώλειες λόγω σκίασης.



Στο επόμενο βήμα έγινε η διαστασιολόγηση των Φ/Β πλαισίων με τους μετατροπείς (inverters) μέσω της επιλογής **System**. Στη συγκεκριμένη επιλογή μας δίνεται η δυνατότητα να χωρίσουμε το Φ/Β μας σύστημα να το χωρίσουμε σε υποσυστήματα έτσι ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή διαστασιολόγηση, (χρησιμοποιώντας διαφορετικό τύπο μετατροπέα, διαφορετικό αριθμό πλαισίων και διαφορετικό τρόπο που θα διαταχθούν τα πλαίσια σε κάθε μετατροπέα). Το σύστημά μας χωρίστηκε σε 3 υποσυστήματα. Στο πρώτο υποσύστημα καθορίσαμε την εγκατεστημένη του ισχύ η οποία είναι 444 kWp. Έπειτα ορίσαμε τον τύπο του Φ/Β πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί και τέλος τον τύπο του μετατροπέα.

Global System configuration
 3 Number of kinds of sub-fields
 Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	2171	Nominal PV Power	500 kWp
Module area	3551 m ²	Maximum PV Power	486 kWdc
Nb. of inverters	26	Nominal AC Power	496 kWac

Sub-field #1 | Sub-field #2 | Sub-field #3

Presizing Help
 No Sizing Enter planned power 444.0 kWp, ... or available area 3156 m²

Select the PV module
 Sort modules: Power Technology Manufacturer
 230 Wp 25V Si-poly ITS EcoClassic poly 230 ITS(InnotechSolaar) Manufacturer
 Approx. needed modules: **1930** Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) **26.4 V**
 V_{oc} (-10°C) **41.6 V**

Select the inverter
 Sort inverters by: Power Voltage (max) Manufacturer
 19 kW 480 - 850 V 50/60 Hz Sinvert PVM20 Siemens
 Nb. of inverters: Operating Voltage: **480-850 V** Global Inverter's power: **442 kWac**
 Input maximum voltage: **1000 V**

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series: should be between 19 and 24
 Nbre strings: between 91 and 92
 Overload loss: **0.0 %**
 P_{nom} ratio: **1.01**
Nb. modules: 1932 Area: 3160 m²

Operating conditions

V _{mpp} (60°C)	553 V
V _{mpp} (20°C)	657 V
V _{oc} (-10°C)	873 V

Plane irradiance: **1000 W/m²** Max. in data STC
 I_{mpp} (STC): 708 A Max. operating power: **410 kW**
 I_{sc} (STC): 773 A at 1000 W/m² and 50°C
 I_{sc} (at STC): 764 A **Array nom. Power (STC): 444 kWp**

User's needs Detailed losses

Στο υποσύστημα αυτό υπολογίζεται ότι χρειάζονται 92 σειρές (strings) από 21 πλαίσια η κάθε μία και θα μοιραστούν σε 23 μετατροπείς (4 strings σε κάθε ένα) Μετατροπείς υποσυστήματος: Siemens PVM20.

Στο δεύτερο υποσύστημα καθορίσαμε την εγκατεστημένη ισχύ στα 40.5kWp

Grid system definition , Variant "VC2"

Global System configuration

3 Number of kinds of sub-fields

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	2171	Nominal PV Power	500 kWp
Module area	3551 m ²	Maximum PV Power	486 kWdc
Nb. of inverters	26	Nominal AC Power	496 kWac

Sub-field #1 | **Sub-field #2** | Sub-field #3

Presizing Help

No Sizing Enter planned power 40.5 kWp, ... or available area 288 m²

Select the PV module

Sort modules: Power Technology Manufacturer Favorites

230 Wp 25V Si-poly ITS EcoClassic poly 230 ITS(InnotechSolaar) Manufacturer

Approx. needed modules: **176** Sizing voltages: Vmpp (60°C) **26.4 V**
Voc (-10°C) **41.6 V**

Select the inverter

Sort inverters by: Power Voltage (max) Manufacturer All inverters

19 kW 480 - 850 V 50/60 Hz Sinvert PVM20 Siemens

Nb. of inverters: Operating Voltage: **480-850 V** Global Inverter's power: **38.4 kWac**
Input maximum voltage: **1000 V**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: should be between 19 and 24

Nbre strings: only possibility 8

Overload loss: **0.0 %**

Pnom ratio: **1.05**

Nb. modules: 176 Area: 288 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C): 580 V
Vmpp (20°C): 688 V
Voc (-10°C): 914 V

Plane irradiance: **1000 W/m²** Max. in data STC

Imp (STC): 61.6 A Max. operating power: **37.3 kW**
Isc (STC): 67.2 A at 1000 W/m² and 50°C

Isc (at STC): 66.4 A **Array nom. Power (STC): 40.5 kWp**

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power.
(Info, not significant)

Στο υποσύστημα αυτό υπολογίζεται ότι χρειάζονται 8 σειρές (strings) από 22 πλαίσια η κάθε μία και θα μοιραστούν σε 2 μετατροπείς (4 strings σε κάθε ένα) Μετατροπείς υποσυστήματος: Siemens PVM20.

Στο τρίτο υποσύστημα καθορίσαμε την εγκατεστημένη ισχύ στα 14.5kWp

Grid system definition, Variant "VC2"

Global System configuration

3 Number of kinds of sub-fields

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	2171	Nominal PV Power	500 kWp
Module area	3551 m ²	Maximum PV Power	486 kWdc
Nb. of inverters	26	Nominal AC Power	496 kWac

Sub-field #1 | **Sub-field #2** | **Sub-field #3**

Presizing Help

No Sizing Enter planned power 14.5 kWp, ... or available area 97 m²

Select the PV module

Sort modules: Power Technology Manufacturer Favorites

245 Wp 25V Si-mono c-Si M 60 245 Bosch Manufacturer

Approx. needed modules: **59** Sizing voltages: **V_{mpp} (60°C) 26.5 V**
V_{oc} (-10°C) 41.8 V

Select the inverter

Sort inverters by: Power Voltage (max) Manufacturer All inverters

17 kW 525 - 850 V 50/60 Hz Sinvert PVM17 Siemens

Nb. of inverters: Operating Voltage: **525-850 V** Global Inverter's power: **16.5 kWac**
Input maximum voltage: **1000 V**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: should be between 20 and 23

Nbre strings: only possibility 3

Overload loss: **0.0 %** Show sizing

Pnom ratio: **0.94**

Nb. modules: 63 Area: 104 m²

Operating conditions

V_{mpp} (60°C): 556 V
V_{mpp} (20°C): 657 V
V_{oc} (-10°C): 878 V

Plane irradiance: **1000 W/m²** Max. in data STC

I_{mpp} (STC): 24.1 A Max. operating power: **14.0 kW**
at 1000 W/m² and 50°C

I_{sc} (STC): 26.3 A **Array nom. Power (STC): 15.4 kWp**
I_{sc} (at STC): 26.1 A

The inverter power is slightly oversized.

User's needs

Detailed losses

Cancel

OK

Στο υποσύστημα αυτό υπολογίζεται ότι χρειάζονται 3 σειρές (strings) από 21 πλαίσια η κάθε μία και θα συνδεθούν στον καθορισμένο μετατροπέα: Siemens PVM17

Μέσω της επιλογής detailed losses καθορίσαμε τις απώλειες τω 3 υποσυστημάτων οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- καλωδιώσεις DC: 1.8% για το πρώτο υποσύστημα και 1.5% για τα υπόλοιπα
- καλωδιώσεις AC: 1%
- Module Quality loss 0.5%
- Module Mismatch losses 0.5%
- Array soiling losses 3%
- Απώλειες μετασχηματιστή 1.1%

Τέλος προχωρήσαμε στην προσομοίωση για να πάρουμε την αναφορά της ενεργειακής απόδοσης του Φ/Β μας συστήματος όπως φαίνεται παρακάτω:

PVSYST V5.56		15/05/12	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Larisa PRA		
Geographical Site	Larisa	Country	Greece
Situation	Latitude 39.6°N	Longitude	22.4°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	80 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Ag.Anargyroi-Larisa from PVGIS, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	VC2		
	Simulation date	15/05/12 13h05	
Simulation parameters			
Tracking plane, Vertical Axis	Plane Tilt	38°	
Rotation Limitations	Minimum Azimuth	-120°	Maximum Azimuth 120°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	According to strings	Electrical effect	100 %
PV Arrays Characteristics (3 kinds of array defined)			
PV module	Si-poly	Model	ITS_EcoClassic_poly_230
	Manufacturer	ITS(InnotechSolaar)	
Array#1: Number of PV modules	In series	21 modules	In parallel 92 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	1932	Unit Nom. Power 230 Wp
Array global power	Nominal (STC)	444 kWp	At operating cond. 410 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	579 V	I mpp 708 A
Array#2: Number of PV modules	In series	22 modules	In parallel 8 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	176	Unit Nom. Power 230 Wp
Array global power	Nominal (STC)	40.5 kWp	At operating cond. 37.3 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	607 V	I mpp 62 A
Array#3: Number of PV modules	In series	21 modules	In parallel 3 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	63	Unit Nom. Power 230 Wp
Array global power	Nominal (STC)	14.49 kWp	At operating cond. 13.37 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	579 V	I mpp 23 A
Total Arrays global power	Nominal (STC)	499 kWp	Total 2171 modules
	Module area	3551 m²	
Array#1 : Inverter	Model	Sinvert PVM20	
	Manufacturer	Siemens	
Characteristics	Operating Voltage	480-850 V	Unit Nom. Power 19 kW AC
Inverter pack	Number of Inverter	23.0 units	Total Power 442 kW AC
Array#2 : Inverter	Model	Sinvert PVM20	
	Manufacturer	Siemens	
Characteristics	Operating Voltage	480-850 V	Unit Nom. Power 19 kW AC
Inverter pack	Number of Inverter	2 units	Total Power 38 kW AC
Array#3 : Inverter	Model	Sinvert PVM17	
	Manufacturer	Siemens	
Characteristics	Operating Voltage	525-850 V	Unit Nom. Power 17 kW AC

Grid-Connected System: Simulation parameters (continued)

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20 °C, Wind=1 m/s.)			NOCT	45 °C
Wiring Ohmic Loss	Array#1	16 mOhm	Loss Fraction	1.8 % at STC
	Array#2	160 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Array#3	407 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
	Global		Loss Fraction	1.7 % at STC
Array Soiling Losses			Loss Fraction	3.0 %
Module Quality Loss			Loss Fraction	0.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	0.5 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05

System loss factors

AC wire loss inverter to transfo	Inverter voltage	400 Vac tri		
	Wires	101 m 3x700 mm²	Loss Fraction	1.0 % at STC
External transformer	Iron loss (24H connection)	501 W	Loss Fraction	0.1 % at STC
	Resistive/Inductive losses	3.2 mOhm	Loss Fraction	1.0 % at STC

User's needs : Unlimited load (grid)

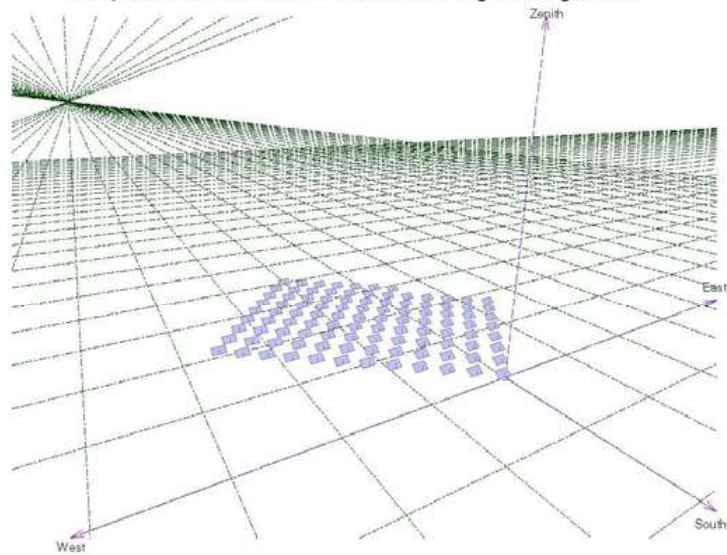
Grid-Connected System: Near shading definition

Project : Larisa PRA

Simulation variant : VC2

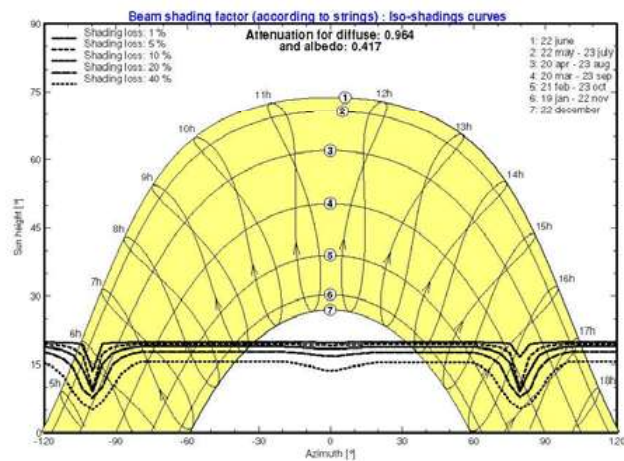
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
Near Shadings	According to strings		
PV Field Orientation	Tracking plane, Vertical Axis, Plane Tilt	38°	
PV modules	Model	ITS_EcoClassic_poly_230	Pnom 230 Wp
PV Array	Nb. of modules	2171	Pnom total 499 kWp
Inverter	Model	Sinvert PVM20	Pnom 19.20 kW ac
Inverter	Model	Sinvert PVM17	Pnom 16.50 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	26.0	Pnom total 496 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Larisa PRA: Ielakis larisa2



Grid-Connected System: Main results

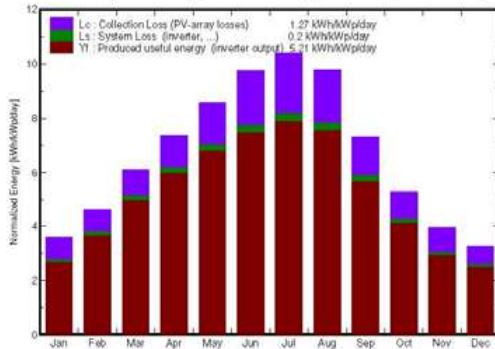
Project : Larisa PRA

Simulation variant : VC2

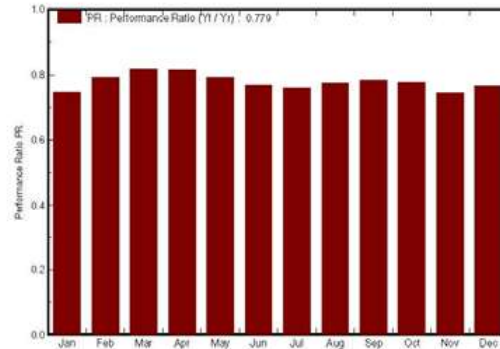
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
Near Shadings	According to strings		
PV Field Orientation	Tracking plane, Vertical Axis, Plane Tilt	38°	
PV modules	Model	ITS_EcoClassic_poly_230	Pnom 230 Wp
PV Array	Nb. of modules	2171	Pnom total 499 kWp
Inverter	Model	Sinvert PVM20	Pnom 19.20 kW ac
Inverter	Model	Sinvert PVM17	Pnom 16.50 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	26.0	Pnom total 496 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results	Produced Energy	949 MWh/year	Specific prod.	1901 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	77.9 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 499 kWp



Performance Ratio PR



VC2

Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	%	%
January	61.0	6.20	111.4	93.0	43.4	41.6	10.97	10.51
February	78.3	7.30	130.0	115.6	53.5	51.5	11.59	11.15
March	126.8	9.80	189.7	175.8	80.4	77.4	11.94	11.50
April	163.5	13.60	221.3	206.7	93.3	89.9	11.87	11.44
May	203.4	19.10	286.4	249.1	109.4	105.4	11.57	11.15
June	224.1	23.90	292.8	270.9	116.3	112.2	11.19	10.79
July	236.8	25.80	322.2	299.2	126.9	122.4	11.10	10.70
August	214.5	25.40	303.2	285.3	121.6	117.2	11.30	10.89
September	147.9	21.20	219.2	204.1	88.8	85.6	11.42	11.00
October	102.0	16.70	164.5	148.8	66.3	63.8	11.36	10.93
November	65.1	11.50	118.1	100.3	45.8	43.9	10.92	10.48
December	58.9	7.50	101.1	86.6	40.3	38.6	11.21	10.75
Year	1682.3	15.71	2439.7	2235.2	986.1	949.5	11.38	10.96

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

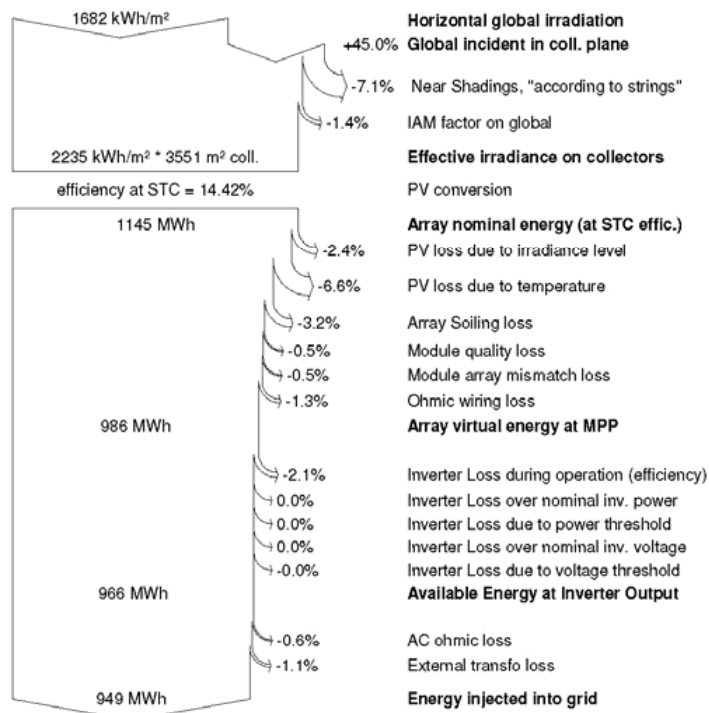
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Larisa PRA

Simulation variant : VC2

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
Near Shadings	According to strings		
PV Field Orientation	Tracking plane, Vertical Axis, Plane Tilt	38°	
PV modules	Model	ITS_EcoClassic_poly_230	Pnom 230 Wp
PV Array	Nb. of modules	2171	Pnom total 499 kWp
Inverter	Model	Sinvert PVM20	Pnom 19.20 kW ac
Inverter	Model	Sinvert PVM17	Pnom 16.50 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	26.0	Pnom total 496 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Loss diagram over the whole year



6.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην πρώτη σελίδα της αναφοράς αναγράφονται τα στοιχεία του Φ/Β πάρκου, δηλαδή η περιοχή, οι γεωγραφικές συντεταγμένες και ο παράγοντας της αντανάκλασης (albedo). Επίσης αναφέρονται τα δεδομένα τοποθέτησης των πανέλων (plane tilt, rotation limitations) και η διαστασιολόγηση με τους μετατροπείς.

Στη δεύτερη σελίδα αναφέρονται αναλυτικά οι απώλειες της DC καλωδίωσης για κάθε υποσύστημα, της AC καλωδίωσης, του μετασχηματιστή αλλά και λοιπές απώλειες όπως απώλειες λόγω σκόνης, mismatch κτλ.

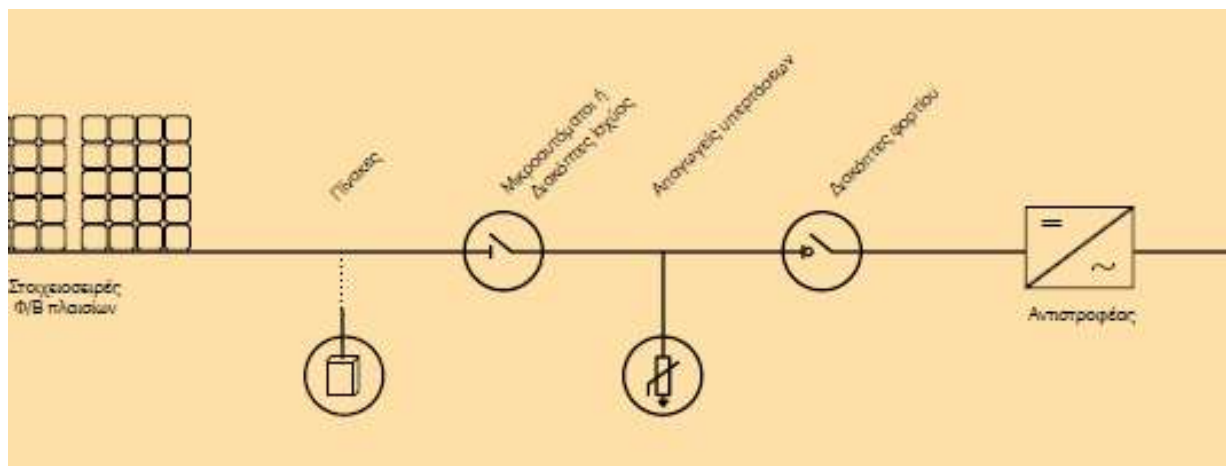
Στη τρίτη σελίδα φαίνεται η προσομοίωση του πάρκου σε τρισδιάστατη μορφή και οι απώλειες λόγω σκίασης στην καμπύλη που ακολουθεί. Στη συγκεκριμένη καμπύλη, φαίνεται το ύψος του ήλιου στον ορίζοντα (σε μοίρες) για συγκεκριμένες μέρες κάθε εποχής και για τις ώρες από τις ώρες 4 π.μ. έως τις 7 π.μ. Οι γραμμές χρώματος μαύρου δείχνουν τις απώλειες σκίασης σε σχέση με το ύψος του ήλιου.

Στην τέταρτη σελίδα αναγράφεται η προβλεπόμενη απόδοση του πάρκου η οποία είναι 949 MWh το χρόνο και ο λόγος απόδοσης ο οποίος φτάνει το 77.9%, ενώ τα συγκεκριμένα δεδομένα παρίστανται και διαγραμματικά. Στον τελευταίο πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα ακτινοβολίας και αποδιδόμενη ισχύς.

Στην τελευταία σελίδα δίνεται το διάγραμμα των συνολικών απωλειών στο οποίο αναφέρεται και η τελική αποδιδόμενη ισχύς που δίνεται στο δίκτυο

6.5 Σύνδεση Φ/Β με μετατροπέα

Η σύνδεση των στοιχειοσειρών με τον μετατροπέα θα γίνει μέσω καλωδίων DC τα οποία είναι τύπου H07RN-F. Μεταξύ πλαισίων και μετατροπέα θα μεσολαβήσει μικροαυτόματος των 16A η οποία προστατεύει από ανάστροφα ρεύματα προς το πλαίσιο. Η επιλογή της τιμής των 16A έγινε ως εξής: Το πάνελ σύμφωνα με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά αντέχει έως δύο φορές του ρεύματος βραχυκύκλωσής του ($I_{sc}=8,30$) σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας (STC) το οποίο είναι $2 \times 8,30A=16,6A$. Άρα θα τοποθετηθεί μικροαυτόματος 16 A. Επίσης θα χρησιμοποιηθεί απαγωγός υπερτάσεων 25A για προστασία από μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς. Ενώ θα υπάρχει και διακόπτης φορτίου που χρησιμοποιείται σαν γενικός διακόπτης ελέγχου, έτσι ώστε όταν χρειαστεί να μπορεί να απομονωθεί όλο το κύκλωμα συνεχούς τάσης (DC).

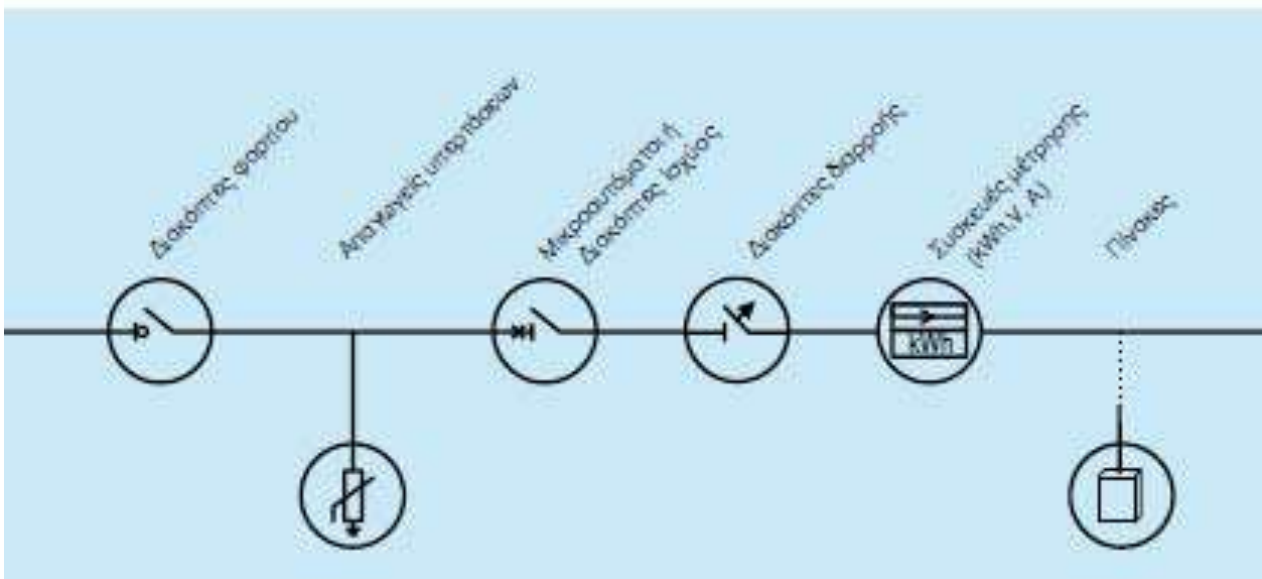


Σχ.6.7

6.6 Σύνδεση μετατροπέα με τον Πίνακα ΧΤ του μετασχηματιστή

Για τη μεταφορά ισχύος από τους Μετατροπείς στον Πίνακα Χαμηλής Τάσης του μετασχηματιστή χρησιμοποιήθηκαν καλώδια ισχύος τύπου NYY J1VV-R. Μεταξύ του μετατροπέα και του πίνακα ΧΤ παρεμβάλλεται διακόπτης φορτίου AC που θα χρησιμοποιείται σαν γενικός διακόπτης στην AC πλευρά. Επίσης θα χρησιμοποιηθεί απαγωγός υπέρτασης και επιτηρητής δικτύου ο οποίος ανιχνεύει σφάλματα υπέρτασης, υπότασης, υπερσυχνότητας και υποσυχνότητας. Ακόμα θα παρεμβληθεί μικροαυτόματος διακόπτης 32A (το μέγιστο ρεύμα εξόδου του μετατροπέα είναι 29A) και διακόπτης διαρροής AC που διασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων και του εξοπλισμού από ατυχήματα, όπως ηλεκτροπληξία ή εκδήλωση πυρκαγιάς που οφείλονται στη διαρροή ρεύματος προς τη γη. Τέλος, θα χρησιμοποιηθεί μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σημειώνεται ότι οι μετατροπείς έχουν τα περισσότερα μέτρα ασφαλείας που αναφέρθηκαν αλλά χρησιμοποιούνται για περισσότερη ασφάλεια και για την εύκολη συντήρηση της εγκατάστασης.



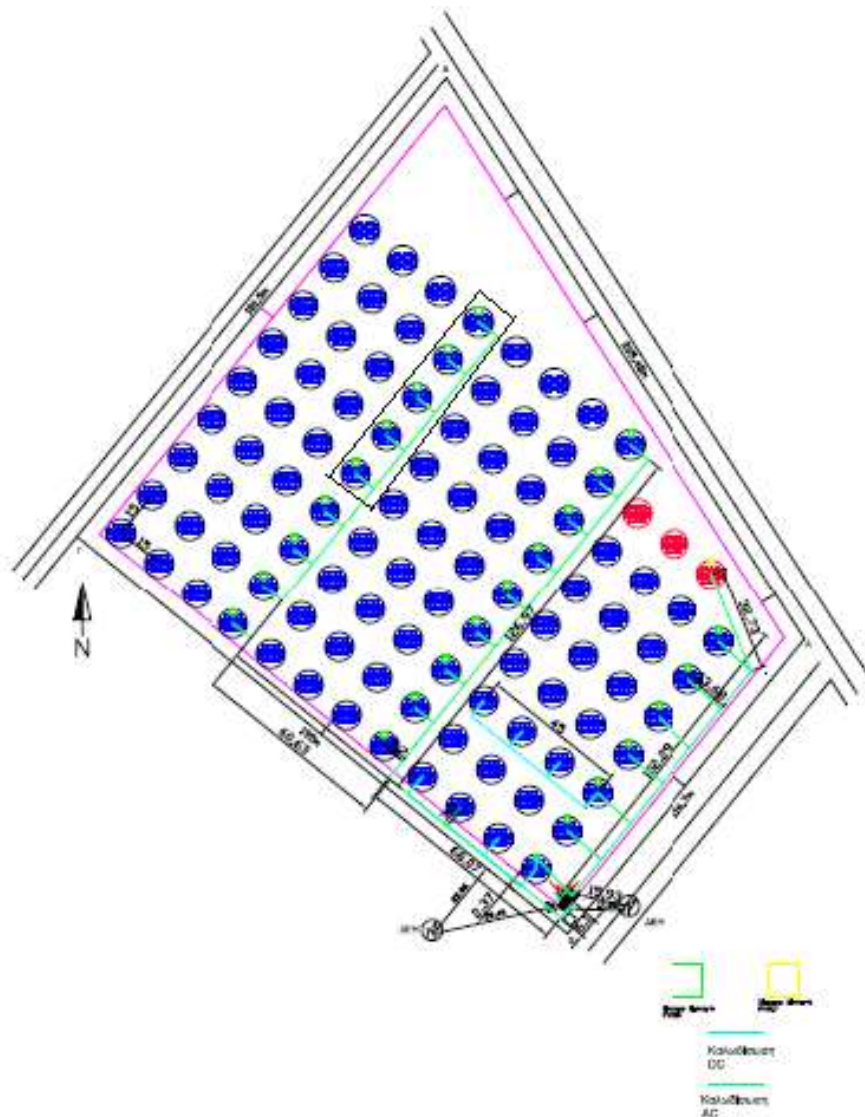
Σχ.6.8

6.6 Καλωδιώσεις

Όλες οι οδεύσεις των καλωδίων θα γίνουν εντός πλαστικού σπιράλ το οποίο θα ενταφιαστεί σε βάθος 0,80 μέτρων από την επιφάνεια του γηπέδου για προστασία από μηχανικές καταπονήσεις, υγρασία και τρωκτικά. Η πρόσβαση στα υπόγεια καλώδια για λόγους επισκευής και συντήρησης θα γίνεται από φρεάτια που θα κατασκευαστούν παραπλεύρως των βάσεων στήριξης ανά 30 μέτρα περίπου στα οποία θα τοποθετηθεί υδατοστεγές μαντεμένιο καπάκι.

Οι οδεύσεις των καλωδίων αντιστοιχίζονται σε 2 κατηγορίες:

- **Ισχυρά ρεύματα:** Αναφέρονται στις καλωδιώσεις μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά πάνελ στους μετατροπείς και από τους μετατροπείς στον Πίνακα ΧΤ του μετασχηματιστή και από εκεί στο Δίκτυο της ΔΕΗ.
- **Ασθενή Ρεύματα:** Αναφέρονται στις καλωδιώσεις για τη μεταφορά ισχύος υπό τάση 12-24V DC για τα συστήματα του συναγερμού και του κυκλώματος παρακολούθησης καθώς και στις καλωδιώσεις για τη μεταφορά δεδομένων τόσο των μετατροπέων όσο και των σημάτων του συστήματος συναγερμού.



Οι γραμμές με το γαλάζιο χρώμα αφορούν τη DC καλωδίωση ενώ με το πράσινο χρώμα την AC καλωδίωση. Ο κάθε tracker αποτελεί και ένα string. Η καλωδίωση θα γίνει έτσι ώστε οι ιχνηλάτες να συνδέονται ανά τέσσερις σε ένα μετατροπέα και θα είναι στη σειρά, παράλληλα με τη μεγάλη πλευρά του οικοπέδου όπως φαίνεται στο σχήμα. Οι μετατροπείς θα βρίσκονται πάνω στη βάση των ιχνηλατών. Οι τρεις ιχνηλάτες της κάτωψης με κόκκινο χρώμα είναι αυτοί που συνδέονται στον inverter PVM.

6.6.1 Καλωδίωση DC

Η σύνδεση των στοιχειοσειρών με τον μετατροπέα θα γίνει μέσω καλωδίων DC τα οποία είναι τύπου H07RN-F και υψηλής αντοχής στις ακτίνες UV, στις ηλεκτρικές, μηχανικές κ.α. χημικές καταπονήσεις. Χρησιμοποιήθηκαν καλώδια διατομής $1 \times 4 \text{ mm}^2$. Η διατομή επιλέχθηκε έτσι οι απώλειες καλωδίωσης να μην ξεπερνούν το 1%, μέσω προγράμματος υπολογισμού της εταιρείας SMA. Οι μετατροπείς είναι τοποθετημένοι κάτω από τους tracker, επάνω στην βάση στήριξης τους. Υπολογίζουμε επίσης το μήκος του καλωδίου από το σημείο αναχώρησης, δηλαδή από τα πλαίσια στον tracker μέχρι το έδαφος (~3m), 0,80m το βάθος στο οποίο βρίσκεται η όδευση, 0.80m που είναι το μήκος από την όδευση μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, και το μήκος μέχρι τον inverter (~2m). Συνολικά δηλαδή $3+2+0,80+0,80=6,60$ περίπου δηλαδή 7m. Άρα το μέγιστο μήκος φτάνει τα $45+7=52\text{m}$. Η τάση DC είναι ίση με την τάση του κάθε string: V_{MPP} κάθε πάνελ επί τον αριθμό των πάνελ. Τα καλώδια θα βρίσκονται μέσα σε πλαστικό σπирάλ.

6.6.2 Καλωδίωση AC

Για τη μεταφορά ισχύος από τους Μετατροπείς στον Γενικό Πίνακα Χαμηλής Τάσης χρησιμοποιήθηκαν καλώδια ισχύος τύπου NY Y J1VV-R. Για όλους τους μετατροπείς, θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο NY Y J1VV-R $5 \times 16 \text{ mm}^2$. Για τους πέντε inverters που είναι στη τελευταία στήλη με το μαύρο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο NY Y J1VV-R $5 \times 25 \text{ mm}^2$.

Το νούμερο 5 στον τύπο του καλωδίου σημαίνει τον αριθμό των αγωγών (3 φάσεις, ουδέτερο και γείωση).

Τα καλώδια θα βρίσκονται μέσα σε πλαστικό σπирάλ.

6.7 Γείωση - Αντικεραυνική Προστασία

Η εκτίμηση της συνολικής αντίστασης σε απομακρυσμένη γη είναι από τα πρώτα βήματα για τον υπολογισμό του μεγέθους και της βασικής κάτοψης ενός συστήματος γείωσης. Η αντίσταση εξαρτάται πρωτίστως από την περιοχή που θα καταλαμβάνει το σύστημα γείωσης. Ως πρώτη εκτίμηση, μία ελάχιστη τιμή του υποσταθμού του συστήματος γείωσης σε ομοιόμορφο χώμα μπορεί να υπολογιστεί μέσω του τύπου μιας κυκλικού μεταλλικού πλάκας σε μηδενικό βάθος.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (6.1)$$

Όπου:

- R_g η αντίσταση γείωσης του υποσταθμού
- ρ η ειδική αντίσταση του εδάφους σε $\Omega \cdot m$
- A η περιοχή που καλύπτεται από το επίγειο πλέγμα σε m^2

Έπειτα, ένα άνω όριο της αντίστασης γείωσης μπορεί να εξαχθεί προσθέτοντας ένα δεύτερο όρο στον προηγούμενο τύπο

$$R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T} \quad (6.2)$$

Όπου:

- L_T είναι το συνολικό μήκος των αγωγών σε m

Στην περίπτωση συνδυασμού πλέγματος ράβδων σε ομοιόμορφο χώμα, ένας συνδυασμός του μήκους από οριζόντιους αγωγούς και γειωμένες ράβδους θα αποδώσει μία συντηρητική εκτίμηση του L_T , διότι οι γειωμένες ράβδοι συνήθως είναι πιο αποτελεσματικές σε μία ανά μονάδα μήκους βάση.

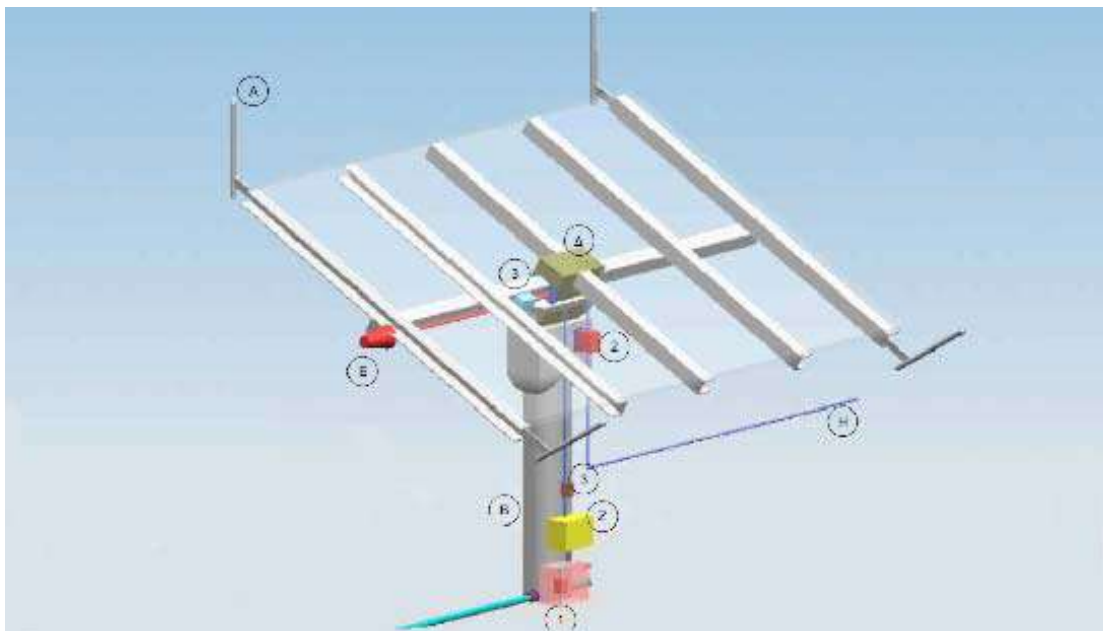
Ο δεύτερος όρος αναγνωρίζει το γεγονός ότι η αντίσταση ενός οποιουδήποτε συστήματος γείωσης το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό αγωγών είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή μιας σταθερής μεταλλικής πλάκας. Η διαφορά μειώνεται με την αύξηση του μήκους των αγωγών που είναι θαμμένοι στο χώμα και φτάνει στο 0 όταν το L_T τείνει στο άπειρο. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του βάθους που είναι το πλέγμα προκύπτει ο ακόλουθος τύπος:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (6.3)$$

Όπου:

- h είναι το βάθος που είναι θαμμένο το πλέγμα σε m

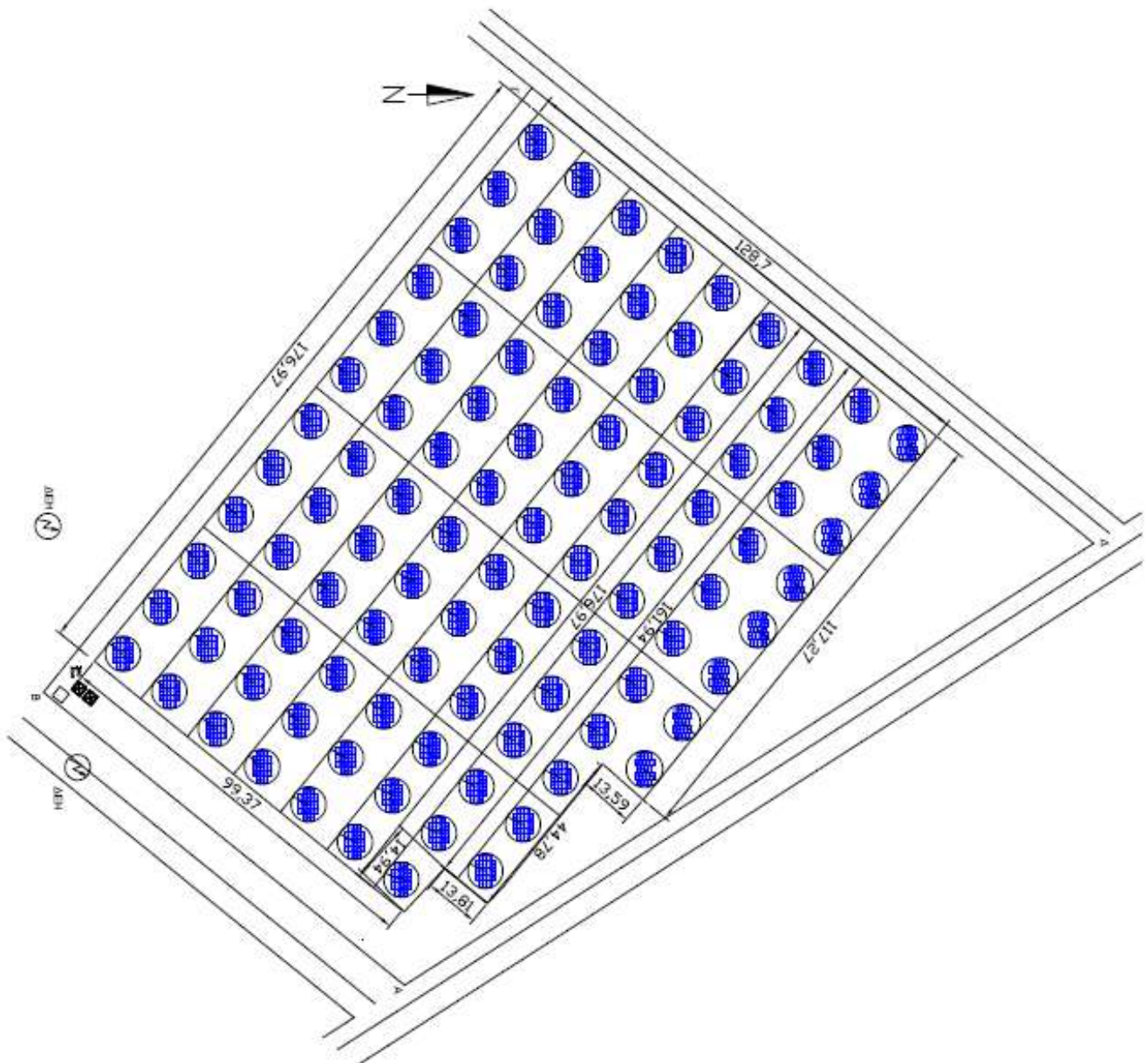
Η προστασία από υπερτάσεις θα είναι με βάση το σχήμα που ακολουθεί.



Σχ.6.10

Όπου :

- A είναι οι ακίδες του εξωτερικού ΣΑΠ (Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας)
- B είναι η βάση του ιχνηλάτη
- Δ είναι η μονάδα ελέγχου προσανατολισμού
- E είναι το αισθητήριο προσανατολισμού
- Z είναι ο μετατροπέας
- H είναι η γραμμή μεταφοράς δεδομένων



Σχ.6.11

Ο Φ/Β σταθμός θα έχει προστασία για άμεσο κεραυνικό πλήγμα. Θα τοποθετηθούν συλλέκτριες ακίδες πάνω στους ιχνηλάτες όπως φαίνεται στο Σχ.6.10. Οι ιχνηλάτες θα είναι γειωμένοι και θα συνδέονται με το πλέγμα όπως φαίνεται στην παραπάνω κάτωψη. Θα χρησιμοποιηθεί χαλύβδινη ταινία γείωσης θερμά επιψευδαργυρωμένη διαστάσεων 3×30 mm η οποία θα τοποθετηθεί σε βάθος 1 m. Οι ιχνηλάτες θα συνδέονται με το πλέγμα με χαλύβδινους αγωγούς διαμέτρου 8 mm². Το πλέγμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε η συνολική αντίσταση γείωσης να είναι μικρότερη από 1 Ω. Η ταινία θα στηρίζεται πάνω σε ορθοστάτες τοποθετημένους ανά 10 m. Τέλος η ταινία γείωσης θα καλυφθεί με αργιλόχωμα και περαιτέρω βελτίωση της συνολικής αντίστασης (το αργιλόχωμα έχει χαμηλή ειδική αντίσταση ρ).

6.8 Επιχειρηματικό Πλάνο

Ακολουθεί η οικονομοτεχνική μελέτη του Φ/Β πάρκου με αναλυτικούς πίνακες και οικονομικά στοιχεία, τα οποία παρουσιάζουν την βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επένδυσης.

- **Φ/Β Πάρκο 500 kW, Συμμετοχή 30% - Δανεισμός 70%**

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα γενικά στοιχεία του έργου τα οποία αφορούν την παραγωγή ενέργειας, τους ετήσιους συντελεστές αναπροσαρμογής, απωλειών απόδοσης και το συντελεστή tracking ο οποίος παρουσιάζει το ποσοστό αύξησης της παραγωγής ενέργειας σε σχέση με ένα αντίστοιχο πάρκο με σταθερές βάσεις.

Στοιχεία Έργου	
Ισχύς	500,00 kWp
Παραγωγή ανά έτος & kW	1.450,00 kWh/kWp
Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας	949,00MWh
Ταρίφα	292,08 €/MWh
Ετήσια αναπροσαρμογή	0,25%
Ετήσια απώλεια απόδοσης	0,50%
Συντελεστής tracking	1,32 σταθερά

Χρήση κεφαλαίων		Προέλευση κεφαλαίων		
Κατασκευαστικό κόστος	1.260.000 €	Συμμετοχή	420.000 €	30,00%
Μη κατασκευαστικό (ΔΕΗ κλπ)	140.000 €	Δάνειο	980.000 €	70,00%
		Επιδότηση	0 €	0,00%
Σύνολο επένδυσης	1.400.000 €	Σύνολο επένδυσης	1.400.000 €	100,00%

Κόστος Λειτουργίας				Ανάλυση Δανείου	
		incr/year	1 ^ο Έτος	Επιτόκιο	6,50%
Δαπάνες Εταιρείας	2.500 €	0,25%	2.500 €	Δάνειο	980.000 €
Ενοίκιο Γης	8.000 €	5,00%	8.000 €	Διάρκεια	10
Διαχείριση / Συντήρηση	5%	2%	13.894 €		
Σύνολο			24.394 €	Ετήσια Δόση	136.323 €

Στο πρώτο μισό του πίνακα φαίνεται το κατασκευαστικό κόστος αλλά και τα συνολικά κόστη που απαιτούνται στο μη κατασκευαστικό κομμάτι όπως πχ ΔΕΗ. Επίσης παρουσιάζεται το ποσοστό των ιδίων κεφαλαίων που θα διαθέσει ο επενδυτής και το ποσοστό του κεφαλαίου που θα αποκτηθεί μέσω δανειοδότησης.

Στο δεύτερο μισό αναγράφεται το κόστος λειτουργίας του πάρκου στο οποίο περιέχεται ενοίκιο γης και η ανάλυση της δανειοδότησης. Όπως φαίνεται το κόστος ανά έτος είναι 24.394 ευρώ.

Σε αυτόν τον πίνακα παρουσιάζεται η αποτίμηση της επένδυσης. Οι ταμειακές ροές για 20 χρόνια είναι 2.937.041 ευρώ, ενώ εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR: **I**nternal **R**ate of **R**eturn) είναι 24,24%. Ο IRR είναι ένας συντελεστής ο οποίος παρουσιάζει την κερδοφορία της επένδυσης. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών μετά από φόρους οι οποίες προέρχονται από το πρόγραμμα, με το αρχικό κόστος του προγράμματος. Με άλλα λόγια, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος.

Αποτίμηση Επένδυσης	
Κεφάλαιο	1.400.000 €
Συμμετοχή	420.000 €
CASH FLOW (20 years)	2.937.041 €
Καθαρή Παρούσα Αξία	1.558.597 €
Δείκτης κερδοφορίας	3,71
IRR επί της συμμετοχής	24,24%

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης υπολογίζεται ως εξής: εξισώνοντας την παρούσα αξία της αναμενόμενης καθαρής εισροής μετρητών με την παρούσα αξία της εκροής μετρητών.

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \quad (6.4)$$

Όπου:

- CF_t : η πρόσθετη ετήσια ταμειακή ροή (η ταμειακή ροή μπορεί να πάρει θετική ή αρνητική τιμή), μετά από φόρους του
- έτους t και $t=0,1,2,\dots,n$
- IRR: ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης

Στον πίνακα P&L ACCOUNTS (Profit and Loss Accounts, δηλαδή ο ισολογισμός) παρουσιάζονται αναλυτικά οικονομικά στοιχεία κάθε χρόνου για είκοσι χρόνια. Επίσης φαίνονται τα σύνολα της εικοσαετίας. Πιο συγκεκριμένα, ο όρος **EBITDA** είναι τα αρχικά των λέξεων **E**arnings **B**efore **I**nterest **T**axes **D**epreciation **A**mortization που σημαίνει κέρδη προ τόκων, φόρων, απόσβεσης, χρεολυσίων. Ο όρος **EBD** (**E**arnings **B**efore **D**epreciation) είναι τα κέρδη πριν την απόσβεση και **EBT** (**E**arnings **B**efore **T**axes) είναι τα κέρδη προ φόρων. Τελικά το κέρδος της επένδυσης μετά από φόρους είναι 2.394.879 ευρώ.

P&L ACCOUNTS																						
	ΕΤΟΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ΕΤΟΣ	2020	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Εσοδα €	5.418.820	277.877	277.179	276.475	275.767	275.053	274.334	273.609	272.879	272.144	271.403	270.657	269.906	269.149	268.387	267.619	266.845	266.067	265.282	264.492	263.696	262.890
Λειτουργικές	609.129	24.394	25.042	25.689	26.334	26.978	27.620	28.260	28.898	29.535	30.170	30.803	31.434	32.063	32.691	33.317	33.940	34.562	35.182	35.800	36.417	37.030
ΕΒΡΙΤΔΑ	4.809.691	253.483	252.136	250.786	249.432	248.075	246.714	245.349	243.981	242.609	241.234	239.855	238.472	237.086	235.696	234.302	232.905	231.504	230.100	228.692	227.280	225.863
ΑΠΟΦΟΡΕΣ	-1.419.800	-101.960	-101.960	-101.960	-101.960	-101.960	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000	-98.000
ΕΒΔ	3.389.891	151.523	150.176	148.826	147.472	146.115	144.714	143.349	141.981	140.609	139.234	137.855	136.472	135.086	133.696	132.302	130.905	129.504	128.100	126.692	125.280	123.863
Εσοδα Τηχών	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΕΒΤ	2.993.598	74.756	91.197	94.874	98.874	103.219	111.890	116.993	122.513	128.477	134.914	141.885	140.472	139.086	137.696	206.302	232.905	231.504	230.100	228.692	227.280	225.863
000001	-598.720	-14.951	-18.239	-18.975	-19.775	-20.644	-22.378	-23.399	-24.803	-25.695	-26.983	-28.371	-28.094	-27.817	-27.539	-41.260	-46.581	-46.301	-46.020	-45.738	-45.456	-45.174
Κέρδη μετά από φόρους	2.394.879	59.805	72.957	75.899	79.099	82.575	89.512	93.595	98.010	102.781	107.931	113.484	112.378	111.269	110.157	165.042	186.324	185.203	184.080	182.953	181.824	180.695
Μείωση	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μη διανεμημένα κέρδη	59.805	132.763	208.662	287.761	370.336	459.848	553.443	651.453	754.235	862.185	975.649	1.088.027	1.199.295	1.309.452	1.474.494	1.660.818	1.846.022	2.030.101	2.213.055	2.394.879	2.576.703	2.758.527
CASH FLOW STATEMENTS																						
ΕΒΤ	2.993.598	74.756	91.197	94.874	98.874	103.219	111.890	116.993	122.513	128.477	134.914	141.885	140.472	139.086	137.696	206.302	232.905	231.504	230.100	228.692	227.280	225.863
Λειτουργικές	3.844.419	164.079	182.409	192.129	181.337	184.830	188.618	191.295	196.365	201.159	206.333	211.911	209.060	209.283	208.171	207.057	180.739	180.739	184.096	182.970	181.840	180.710
Επενδυτικές	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Χρηματοδοτικές	-907.377	0	-77.343	-82.370	-87.724	-93.427	-99.499	-105.967	-112.855	-120.190	-128.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Εύρωδια (Α)-(Β)-(Γ)	2.937.041	164.079	105.066	109.759	93.612	91.403	89.119	85.328	83.511	80.969	78.330	211.911	209.060	209.283	208.171	207.057	180.739	180.739	184.096	182.970	181.840	180.710
Ταμείο στην αρχή του έτους 1.1	5.000	-5.000	-96.457	-201.523	-311.282	-404.894	-496.297	-585.416	-670.744	-754.255	-835.224	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554	-913.554
Ταμείο στο τέλος του έτους 31.12	2.899.419	96.457	201.523	311.282	404.894	496.297	585.416	670.744	754.255	835.224	913.554	1.125.465	1.334.525	1.543.807	1.751.978	1.959.035	2.139.774	2.320.513	2.504.609	2.697.578	2.899.419	3.092.287

Από τη συγκεκριμένη οικονομική ανάλυση προκύπτει ότι το συγκεκριμένο έργο αποτελεί μία κερδοφόρα επένδυση με εξασφαλισμένη κέρδος. Ο πίνακας Cash Flow Statements (πίνακας ταμειακών ροών) δείχνει το ταμείο της επένδυσης στο βάθος της εικοσαετίας, τα οποία είναι 2.869.419 ευρώ. Ενώ το αρχικό κόστος της επένδυσης είναι 1.400.000 ευρώ. Η οικονομική ανάλυση αυτή αφορά το πρώτο εξάμηνο του 2012. Το πρόγραμμα αυτό της οικονομικής ανάλυσης έχει υλοποιηθεί στην εταιρεία INET ENERGY.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Electricity from Sunlight: An Introduction To Photovoltaics, Payl A. Lynn,
WILEY
- [2] The PV Market in Greece S.Tselepis
- [3] ΛΑΓΗΕ
- [4] Διαδικτυακός τόπος Εταιρεία Φωτοβολταϊκών HelioSystems
- [5] Κ. Καγκαράκης, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, ΕΜΠ
- [6] Δικτυακός τόπος της Εταιρείας Heliosphera
- [7] Κατάλογος Εταιρείας Thin film partners of Greece www.thinfilm.gr
- [8] Wilsun Xu, Konrad Mauch, Sylvain Martrel, "An Assessment Detection Method and Issues for Canada", CANMET (CTEC), DEVON-OTTAWA-VARENNES
- [9] John Stevens, Russel Bonn, Jerry Ginn and Sigifredo Gonzalez, "Development and Testing of an Approach to Anti-Islanding in Utility-Interconnected Photovoltaic Systems", Photovoltaic System Applications Department, Sandia National Laboratories, Greg Kern Ascension Technology Boulder, Colorado
- [10] Islanding Detection in Power Systems, Niklas Strath
- [11] Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων ΤΕΕ τμήμα κεντρικής Μακεδονίας
- [12] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα
- [13] Διαδικτυακός τόπος SMA
- [14] Πέτρος Ντοκόπουλος, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών
- [15] Διαδικτυακός τόπος ερευνητικού κέντρου ηλιακής ενέργειας της Ευρωπαϊκής επιτροπής (PVGIS: Geographical Assessment of Solar Energy Resource and Photovoltaic Technology) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
- [16] Διαδικτυακός τόπος ABB: <http://www.abb.gr>
- [17] Διαδικτυακός τόπος Siemens: <http://www.siemens.com>
- [18] The incidence angles of the trackers used for the PV panels' orientation, Dorin Diaconescu, Ion Visa, Bogdan Burduhos, Valentina Dinicu
- [19] Ζαχαρίας Θ., ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ι
- [20] Ζαχαρίας Θ., ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙ


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
12	Formula	R	=	$\frac{\rho \cdot L}{A}$	X	L	/	A									
13	Resistance one way	0.20 Ohm		1.81E-08		45 m		4.0 mm ²									
14	Resistance bidirectional	0.41 Ohm															
15																	
16	Current distribution at	5.1 kW															
17																	
18	Formula	I	=	$\frac{P}{U}$	/	U											
19	Generatorstrom	7.8 A		5.1 kW		651 V											
20																	
21																	
22																	
23	Strom im Rückleiter	7.77 A															
24																	
25	Voltage drop at	7.8 A															
26																	
27	Formula	dU	=	$R(Lx)$	X	$I(Lx)$	+	$R(N)$	X	$I(N)$							
28	Στάθμη 508	3.2 V		0.20 Ohm		7.8 A		0.20 Ohm		7.8 A							
29																	
30																	
31																	
32	Power loss at	7.8 A															
33																	
34	Formula	P_v	=	$P_v(L1)$	+	$P_v(N)$											
35	Power loss	24.59 W		12.29 W		12.29 W											
36	in %	0.5%															
37																	
38	Annual reduction in yield through power loss: ca. 0,2%																
39	Energy distribution based on the calculations of the European weighted efficiencies)																
40																	
41																	
42																	

P/Pnom	Ploss	Eff-loss
		0.24%
		Factor
5.0%	1.23 W	0.03
10.0%	2.46 W	0.06
20.0%	4.92 W	0.13
30.0%	7.38 W	0.19
50.0%	12.29 W	0.48
100.0%	24.59 W	0.20
		1.00

Excell SMA για καλωδιώσεις

Φωτοβολταϊκά πλαίσια



ITS | INNOTECH SOLAR

ITS München GmbH | Landshuter Allee 8
80637 Munich | Germany
Telephone: + 49 (0) 89 54 55 83 - 70
sales@innotechsolar.com
www.innotechsolar.com

Greener than Green

EcoClassic

(former ITS Economy Project)

EcoClassic is Innotech Solar's top-selling module. Because of solid manufacturing, it has proven itself in various PV-installations of different sizes. EcoClassic modules allow for outstanding power generation while ensuring a very favorable cost position in the market. Innotech Solar recommends a horizontal installation.

Durability

Innotech Solar uses only cell materials from leading premium cell manufacturers. To eliminate the possibility of hotspot formation thoroughly, strict ITS control-criteria mandate a thermo-picture of each cell before and after processing.

Price-performance ratio

Innotech Solar's innovative use of cell processing technology allows to offer high quality modules at an attractive price. Furthermore ITS modules guarantee an excellent yield through positive sorting (-0/+10 Wp).

Environment

Innotech Solar taps resources by optimizing cells that are rejected by manufacturers due to electrical characteristics. Compared to common crystalline processes, modules with upgraded ITS cells reduce energy use in production by 90%. As a result, ITS customers can considerably decrease their carbon footprint.

Highlights

- Durable due to effective hotspot-prevention processes
- Cost advantage as a result of optimized cell processing
- Up to 10W more module performance because of positive sorting
- Lowest carbon footprint due to reducing up to 90% of energy use in production.



EcoClassic – PolyUp
STC*

Pmax	Wp	200	210	220	230
Vmpp	V	29.2	29.4	29.5	29.6
Impp	A	7.00	7.30	7.60	7.90
Voc	V	37.0	37.1	37.2	37.4
Isc	A	7.80	8.00	8.20	8.30
IR****	A	15	15	15	15
η	%	12.2 – 12.8	12.8 – 13.4	13.5 – 14.1	14.1 – 14.7

NOCT**

Pmax	Wp	147	155	162	168
Vmpp	V	25.6	25.7	25.8	26.0
Voc	V	33.7	33.9	34.1	34.2
Isc	A	6.30	6.40	6.70	6.90

Temperature Coefficients

Pn	-0.43 %/K
Voc	-0.33 %/K
Isc	0.05 %/K

EcoClassic– MonoUp
STC*

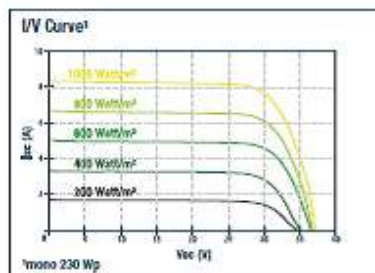
Pmax	Wp	200	210	220	230
Vmpp	V	28.5	28.6	29.0	29.4
Impp	A	7.20	7.50	7.70	7.90
Voc	V	36.3	36.7	36.8	37.2
Isc	A	8.20	8.30	8.40	8.45
IR****	A	15	15	15	15
η	%	12.2 – 12.8	12.8 – 13.4	13.5 – 14.1	14.1 – 14.7

NOCT**

Pmax	Wp	145	150	160	165
Vmpp	V	24.7	25.2	25.7	26.3
Voc	V	32.6	33.1	33.3	33.5
Isc	A	6.35	6.50	6.70	6.95

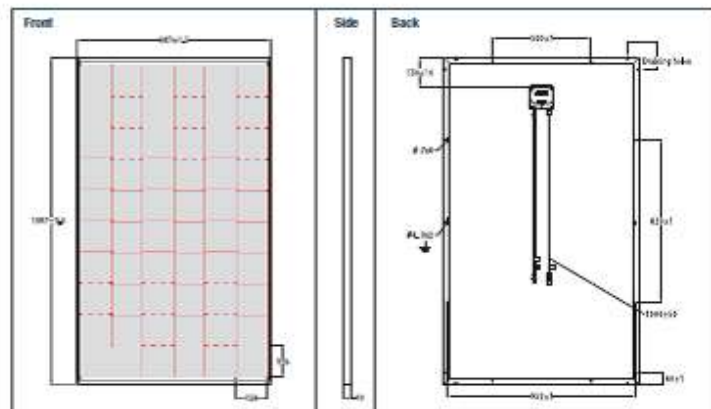
Temperature Coefficients

Pn	-0.47 %/K
Voc	-0.37 %/K
Isc	0.03 %/K



Both Module Types

NOCT**	45°C
Module efficiency reduction at 200 W/m²****	-0.6 (± 0.3)% abs.
Max. System Voltage	1000 V (EU), 600 V (US)
IP protection level	IP 65
Module Technology	Glass-Foil-Laminate with black aluminum frame
Module Design	Cover material: high transparent solar glass (tempered), 3.2 mm Encapsulation: EVA-Solar Cells-EVA; Back material
No. and Type of Solar Cells	60 crystalline solar cells, 156 x 156 mm, 180 μm ± 30 μm
Cables	Junction box with MC4 (pluggable) connectors, cable: 2 x 1 m / 4 mm²
Bypass-Diodes	3 pcs.
Dimensions (l x w x h)	1657 x 987 x 40 mm
Weight	18.5 kg
Operating Temperature Range	-40 ... +60°C
Ambient Temperature Range	-40 ... +45°C
Mechanical ratings	Suction pressure of 2400 Pa approved (Wind speed 130 km/h with safety factor 3), load of 5400 Pa approved
Fire rating	Class C
Certification	IEC 61215 : 2005 IEC 61730-1/-2 : 2004 UL 1703 3rd edition CEC/CSI listing MCS
Positive sorting	-0 Wp / +10 Wp
Packing dimensions	1707 x 1045 x 180 mm, 44 modules per pallet
Product warranty	5 year standard warranty, extendable to 10 years after registration
Performance warranty	90% of output power for 10 years and 80% for 25 years, according to the Warranty Conditions of Innotech Solar



Both module types are available with 2 or 3 busbars.

* STC – Standard Test Conditions, measurement conditions: Intensity irradiation 1000 W/m², spectral distribution AM 1.5, temperature 25 ± 2°C, according to standard EN 60904-3

** NOCT – Normal Operation Cell Temperature, measurement conditions: irradiation intensity 800 W/m², AM 1.5, temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

*** Reduced performance with the decrease in the intensity of irradiation of 1000 W/m² and 200 W/m², temperature 25°C according to EN 60904-1

**** Reverse current power rating: operation of the modules with an external power source is only permitted with a string fuse with a release current of < 2 x Isc @ STC*

Measuring tolerances of Pmax @ STC ± 5%, all other electric parameters ± 10%.

This datasheet conforms to EN 50380. Innotech Solar reserves the right to change specifications without notice.

Revision 01/2012

ZERTIFIKAT ◆ CERTIFICATE ◆ CERTIFICADO ◆ СЕРТИФИКАТ ◆ 認証証書 ◆ CERTIFICATE ◆ ZERTIFIKAT



Certificate of Factory Production Control

This certificate has been issued to

ITS Halle Module GmbH.

of

**Magdeburger Str.51,
D-06112 Halle,
Germany.**

whose production management system has been assessed and found to comply with the Factory Production Control Requirements of the MCS Product Certification Scheme in respect of:

Production of Photovoltaic Solar Panels

at the above address

and includes the following products:

**ITS220EB3x; ITS220MB3x; ITS220FB3x; ITS220NB3x;
ITS220EB5x; ITS220MB5x; ITS220FB5x; ITS220NB5x.
(All modules are 170-230W in 10 Watt steps)**

**ranges of Photovoltaic Solar Panels as detailed
on the attached annex to this certificate**

Signed:

on behalf of BABT



Certificate Number:

BABT 8574 R0

Valid from:

20th May 2011

This Certificate expires on:

19th May 2014

The holder of this certificate is authorised to use the MCS Approved Product Mark. This certificate has been issued by BABT in accordance with the Certification Regulations of BABT. Conditions of validity of this certificate, if any, are listed in the Annex. This certificate is not transferable and remains the property of BABT at all times. This certificate constitutes page 1 of the combined Certificate and Annex.

(For scope of certification prior to the validity date on this certificate please refer to BABT)

British Approvals Board for Telecommunications • TÜV SÜD Group
Forsyth House • Churchfield Road • Walton-on-Thames • Surrey • KT12 2TD • United Kingdom



Certificate

Registration No.: PV 50220179

Page 1

Report No.: 12605526 089

License Holder:
Innotech Solar AS
 Kronprinsensgate 5
 NO-0251 Oslo
 Norway

Product:
 PV Module
 Type: ITS04abcde, ITS06abcde, ITS08abcde,
 ITS12abcde, ITS22abcde, ITS27abcde
 a = 0 or 1 or 2 or 3
 b = A or E or F or G or M or N or O or P
 c = C or D or B or F or J
 d = 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8 or 9 or V or Y
 e = 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 0 or A or B

Manufacturing Plant:
0002-12605526 001

Model / e	1	2	3	4	5	0	A	B
ITS27abcde	250	260	270	280	290	240		
ITS22abcde	200	210	220	230		190	180	170
ITS12abcde		120	130					
ITS08abcde			80	90	100			
ITS06abcde	50	55	60					
ITS04abcde	30	35	40	45				

Basis:

IEC 61215:2005
EN 61215:2005
 "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval"

Factory Inspection
 To document the consistent quality of the product factory inspections are performed periodically.



- Periodic inspection
- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730

Remarks:

- Previous Certificate: PV50197018 0001

Conditions:

The product test is voluntarily according to technical regulations. Any change of the design, materials, components or processing may require the repetition of some of the qualification tests in order to retain type approval.

The certificate is valid until 8 July 2014.



Certification body



Dipl.-Ing. J. Taylor

Yokohama, 12 January 2012

TÜV Rheinland Japan Ltd. – Yokohama 222-0033, Japan

Certificate

Registration No.: PV 50220180

Page 1

Report No.: 12605526 090

License Holder:
Innotech Solar AS
 Kronprinsensgate 5
 NO-0251 Oslo
 Norway

Product:
 PV Module
 Type: ITS04abcde, ITS06abcde, ITS08abcde,
 ITS12abcde, ITS22abcde, ITS27abcde
 a = 0 or 1 or 2 or 3
 b = A or E or F or G or M or N or O or P
 c = C or D or B or F or J
 d = 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8 or 9 or V or Y
 e = 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 0 or A or B

Manufacturing Plant:
0002-12605526 002

Model / e	1	2	3	4	5	0	A	B
ITS27abcde	250	260	270	280	290	240		
ITS22at:cde	200	210	220	230		190	180	170
ITS12at:cde		120	130					
ITS08at:cde			80	90	100			
ITS06at:cde	50	55	60					
ITS04at:cde	30	35	40	45				

Basis:

- IEC 61730-1:2004
 - IEC 61730-2:2004
 - EN 61730-1:2007
 - EN 61730-2:2007
- *Photovoltaic (PV) module safety qualification*



- Periodic inspection
- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730

- Factory inspection**
 To document the consistent quality of the product factory inspections are performed periodically.

Remarks:

- Previous Certificate: PV50197022 0001
- IEC EN 61730 consists of part 1 (Requirements for construction) and part 2 (Requirements for testing).
- The above listed PV modules fulfil the requirements of Application Class A (Safety Class II). They may be used in PV plants at a maximum system voltage (Voc at STC) of up to 1000 VDC.
- The fire test (IEC 61730-2 / MST 23) was not performed.

Conditions:

The product test is voluntarily according to technical regulations. Any change of the design, materials, components or processing may require the repetition of some of the qualification tests in order to retain type approval.

The certificate is valid until 8 July 2014.



Certification body



Dipl.-Ing. J. Taylor

Yokohama, 12 January 2012

TÜV Rheinland Japan Ltd. – Yokohama 222-0033, Japan

Photonic Energy A/S.
Mr. Tom Tang

Date: 17 May 2010
Our ref.: 213096978

Lautrupsgade 9,
2100 Copenhagen, Denmark

Sending Approved Document for Additional cells

Type Designation: JMP-xxxW-M6-G, JMP-xxxW-S6-G
(xxx = 40, 45, 50, 55, 60, 80, 85, 90, 110, 115, 120, 125, 130, 165, 170, 175,
180, 185, 190, 195, 200, 205, 210, 215, 220, 225, 230 or 235)

License No.: PV50159361, PV50159362
Report No.: 12605526 033, 12605526 034

Dear Mr. Tang:

We herewith recognize the additional alternative cells for your certified products as requested in your letter of 30 April, 2010.

Please find enclosed a copy of your documents, authorized by us, stamped "Genehmigt/ Approved" and dated 30. April, 2010.

We appreciate your support and would like to offer our assistance in the approval of your future products through our extensive range of technical services.

Please feel free to contact us should you need any further assistance.

With kind regards,


TÜV RHEINLAND JAPAN LTD.
Product Safety and Quality



Eleanor Lee
Engineer


Stefan Kiehn
Manager

Enclosure

NOTICE OF ALTERATIONS/MODIFICATION (変更通知)

Applicant (申請会社名) : Photonic Energy A/S Date: 2010-04-30
 Signature:  Page: 1/1
 (サイン) Ref. No.: 213096978
 Product (製品名) : PV Module Type designation (型式) : JMP-xxxW-M6-G /JMP-xxxW-S6-G
 Report No.: 12605526 series License No.: PV 50159361 & PV50159362

Methods (Design / Component) Presently Employed (変更前 : 現行)	Alteration/Modification to be Introduced (変更後)
<p>Original Cell Types: REC SC6(Alkaline cell), REC SC6(Acidic etched cell), DeiSolar D6PL, DeiSolar D6EL</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">  </div>	<p>(1) New cell types added: ITS MonoUp6 3BB and 2BB each with full size cell (156mm*156mm) and cutting cell(156mm*52mm, 156mm*78mm); ITS PolyUp6 3BB and 2BB each with full size cell (156mm*156mm) and cutting cell(156mm*52mm, 156mm*78mm)</p> <p>(2) Original cell types should remain unchanged in the test report.</p>

● 記入の仕方: 変更前(現行)と変更後の対比、違いが明確に理解できる書き方(英語)をお願いします。特に1次側の変更か2次側の変更かを明記下さい。

Μετατροπείς - Inverters



Sunny prospects for photovoltaic plants from 10 kW to the MW range

The new SINVERT PVM photovoltaic inverters

Whether it is for barns, schools, roofs of industrial buildings, or ground-mounted plants – now you can very efficiently use the power of the sun: with the new 3-phase SINVERT PVM photovoltaic inverters. With these inverters, you will get a peak efficiency > 98% when converting solar power and feeding it into the grid. The compact wall-mounted devices are designed to be robust and durable. First-class performance which pays off: therefore 98+.

Technical data at a glance

	Type	PVM10	PVM13	PVM17	PVM20
DC	U MPP min	380 V	420 V	460 V	480 V
	U MPP max	850 V	850 V	850 V	850 V
	U DC max	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
	I DC max	29 A	30 A	37 A	41 A
	Overvoltage protection	Type 3			
AC	P rated	10.0 kW	12.4 kW	16.5 kW	19.2 kW
	P max	10.0 kW	12.4 kW	16.5 kW	19.2 kW
	I max	18 A	18 A	29 A	29 A
	Grid connection	3AC 400 V; 50/60 Hz			
	cos phi	0.91 to 0.9c			
	THD I	<2.5 %			
	eta max	98.0 %	98.0 %	98.2 %	98.2 %
	eta EU	97.4 %	97.5 %	97.8 %	97.8 %
	Infeed starting at	20 W			
	Own consumption at night	<0.5 W			
	Overvoltage protection	Typ 3			
	Ambient conditions	T min	-25 °C	-25 °C	-25 °C
T max		+55 °C	+55 °C	+55 °C	+55 °C
T max for P rated		+50 °C	+50 °C	+45 °C	+45 °C
Cooling		natural convection			
max. installation altitude		2000 m above sea level			
Operating noise (approx.)		45 dB(A)			
Width (approx.)		530 mm			
Height (approx.)		600 mm			
Depth (approx.)		265 mm			
Weight (approx.)	40 kg				

SINVERT PVM – the highlights:

- Three-phase solar inverters in 4 outputs: 10, 13, 17 and 20 kW
- Peak efficiency of 98 %
- European efficiency >97 % over a very broad range of power
- Very low own consumption (night < 0.5 W)
- Very wide MPP range
- Full output up to 40 °C respectively 50 °C ambient temperature
- Rugged, compact wall-mounted unit for indoors and outdoors (degree of protection IP65) without external fans
- Suited for any module technology, as long as no module grounding is required
- SINVERT Webmonitor for worldwide access and analysis of inverter and plant data
- SINVERT Select configuring tool for optimal PV plant planning

Siemens AG
Industry Sector
Control Components and Systems Engineering
P.O. Box 23 55
90713 FÜRTH, GERMANY

www.siemens.com/sinvert

Subject to change without prior notice
06/2010
Order No.: E80001-A2050-P300-V1-7600
DISPO 46371
SCHÖ(27616 GL.CE.PV.PVS.V.52.0.08 SB05103.
Printed in Germany
© Siemens AG 2010

The information provided in this brochure contains merely general descriptions or performance characteristics which in case of actual use do not always apply as described or which may change as a result of further development of the products. An obligation to provide the respective characteristics shall only exist if expressly agreed in the terms of contract.

All product designations may be trademarks or product names of Siemens AG or supplier companies whose use by third parties for their own purposes could violate the rights of the owners.

Industries > Renewable Energies > Photovoltaics > Inverters and Components for PV Plants > SINVERT PVM String Inverters, from 10 KW > String Inverters according to IEC

6AG3120-3JM02-0AC0 SINVERT PVM20 6DC 50/60HZ A

Technical Data



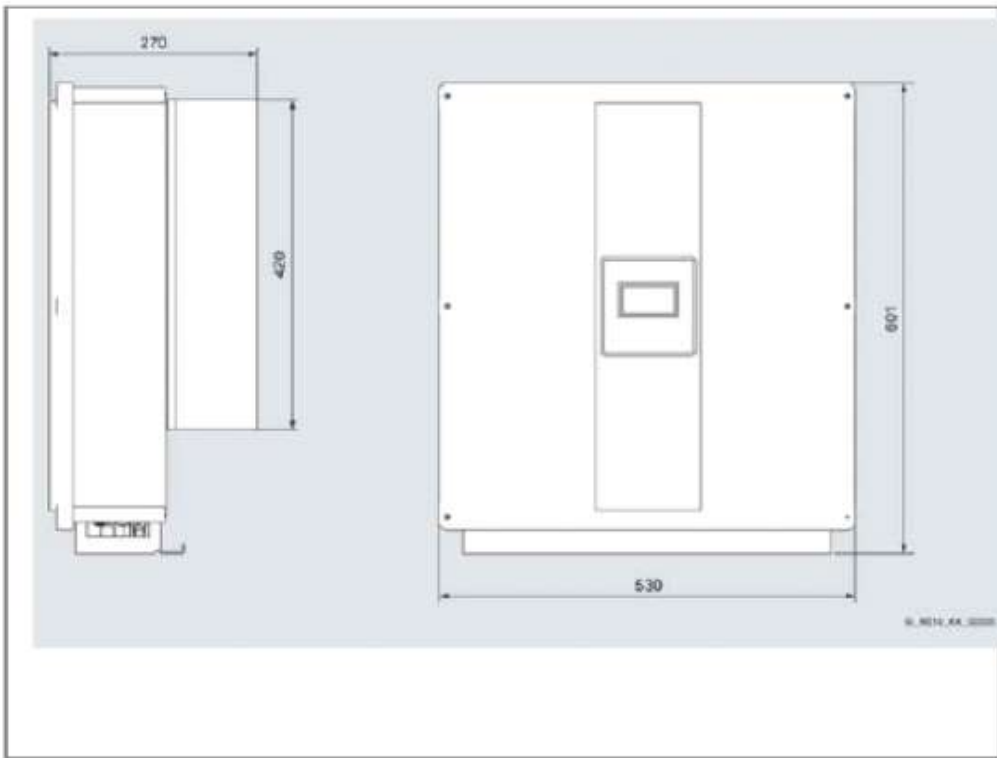
SINVERT PVM20 INVERTER FOR PV, GRID CONNECT. LV, IEC 50/60HZ, 3P, 400VAC, STANDARD MPP, UMAX 1000VDC, 8 DC-INPUTS, IP65, AIR COOLING, SINVERT PVM WARRANTY - 5 YEARS

General technical data:

product brand name	SINVERT
Product-type designation	SINVERT PVM20
product designation	photovoltaic inverter
Output class for PV inverters	20
Design of PV inverter unit	single device
Number of PV inverter sub-units	1
Type of installation	indoor installation / outdoor installation
Protection class IP	IP65
Operating resource protection class	I
Installation altitude / at rated value of power / at a height above sea level / maximum	m 2,000
Incoming air temperature / at nominal value of active power supplied / maximum	°C 40
Ambient temperature	
• during operating	°C -25...+65
• during storage	°C -25...+70
• during transport	°C -25...+70
Relative humidity / without condensation	
• during operating phase	% 4...100
Climatic class	4K4H
Type of cooling	natural convection
A-rated sound power level / maximum	dB 45
RAL color number	RAL 7035
Design of the display	graphical (with backlight)
Horizontal image resolution	128
Vertical screen resolution	64
Number of colors / of the display	2
Design of the display / touchscreen	No
Design of the control elements	8 membrane keys
National language / at the indicator of the display / selectable	English, French, German, Italian, Spanish, Czech
Design of the interface / for communication	Ethernet, RS485
Product feature / functional earth	No
Connection method for PV inverters	without transformer
Product function / galvanic isolation	No

Product component		
<ul style="list-style-type: none"> input for radiation sensor 		Yes
<ul style="list-style-type: none"> relay output for fault message 		Yes
Inputs:		
MPP voltage	V	480...850
Input voltage / on the DC side		
<ul style="list-style-type: none"> for the start of the infeed operation 	V	350
<ul style="list-style-type: none"> for possible infeed operation 	V	350...850
<ul style="list-style-type: none"> nominal value 	V	600
<ul style="list-style-type: none"> maximum permissible 	V	1,000
Consumed active power / on the DC side / nominal value	W	19,600
Total power used / on the DC side / maximum	A	41
Number of inputs / on the DC side		6
Input current / per DC input / maximum	A	25
Product component / on the DC side		
<ul style="list-style-type: none"> circuit breaker 		Yes
<ul style="list-style-type: none"> overvoltage protection 		Yes
Design of the overvoltage protection / on the DC side		type 3
Outputs:		
Phase number		3
Output voltage / on the AC side / for infeed operation / nominal value	V	400
Output voltage / on the AC side		
<ul style="list-style-type: none"> for infeed operation 	V	320...480
Line frequency		
<ul style="list-style-type: none"> 1 		
<ul style="list-style-type: none"> for infeed operation / nominal value 	Hz	50
<ul style="list-style-type: none"> 2 		
<ul style="list-style-type: none"> for infeed operation / nominal value 	Hz	60
Active power supplied / on the AC side		
<ul style="list-style-type: none"> in permanent operation / nominal value 	W	19,200
<ul style="list-style-type: none"> maximum 	W	19,200
Current supplied / on the AC side / maximum	A	29
Power factor / at nominal value of active power supplied / nominal value		1
Power factor inductive / minimum		0.9
Power factor capacitive / minimum		0.9
Relative residual ripple / of AC current / at nominal value of the AC active power / on unloaded line / maximum	%	2.5
Grounding concept / on the AC side		
Design of protection / on the AC side / required		TN-S
Product component / on the AC side / overvoltage protection		32 (type B)
Product component / on the AC side / overvoltage protection		Yes
Design of the overvoltage protection / on the AC side		type 3
Efficiency / heat loss:		
Efficiency / maximum possible	%	98.2
Euro efficiency	%	97.8
Apparent power consumed		
<ul style="list-style-type: none"> in night-time operating mode 	V-A	0.5
<ul style="list-style-type: none"> in standby operating mode 	V-A	0.5
Input power / on the DC side / for possible infeed operation / minimum	W	60
Connections:		
Design of the electrical connection		
<ul style="list-style-type: none"> at the DC input 		MC4

<ul style="list-style-type: none"> at AC output 		connector
Conductor cross-section that can be connected / at the AC- output / stranded wire		
<ul style="list-style-type: none"> with conductor end processing 	mm ²	4...6
Lockable cable diameter		
<ul style="list-style-type: none"> at the AC- output 	mm	10...18
Design of the electrical connection		
<ul style="list-style-type: none"> for communications interface for insulation sensor for relay output for fault 		1 connector for Ethernet and 2 connectors for RS485 (In/Out) connector M12 connector M12
Installation/mounting/dimensions:		
Built in orientation		vertical
Type of mounting		wall mounting
Cable gland version		from below
Width / of the single device	mm	530
Height / of the single device	mm	600
Depth / of the single device	mm	280.5
Weight / of the single device	kg	41
Certificates/approvals:		
Verification of suitability		CE
Product function / line monitoring for low voltage		Yes
Product quality		
<ul style="list-style-type: none"> EMC interference resistance industry according to IEC 61000-6-2 EMC emitted interference industry according to IEC 61000-6-4 		Yes Yes
Standard		
<ul style="list-style-type: none"> for security for harmonic currents for voltage variations and flicker 		EN 50178 EN 61000-3-12 EN 61000-3-11
General Product Approval		
Manufacturer		other
Further information:		
Information- and Downloadcenter (Catalogs, Brochures,...)		http://www.siemens.com/sinvert-infocenter
Industry Mall (Online ordering system)		http://www.siemens.com/sinvert-mall
CAx-Online-Generator		http://www.siemens.com/cax
Service&Support (Manuals, Certificates, Characteristics, FAQs,...)		http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/6AG3120-3JM02-0AC0/all
Image database (product images, 2D dimension drawings, 3D models, device circuit diagrams, ...)		http://www.automation.siemens.com/bilddb/cax_en.aspx?mfb=6AG3120-3JM02-0AC0



SIEMENS

Περιγραφή του τρόπου παρακολούθησης του Δικτύου και της προστασίας έναντι του φαινομένου της Νησιδοποίησης

Οι αντιστροφείς τύπου SINVERT PVM της εταιρείας SIEMENS παρέχουν πλήρη προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης. Ο αντιστροφέας SIEMENS SINVERT PVM διέπεται από και περιλαμβάνει όλους τους κανονισμούς (Regulations) του προτύπου DIN VDE 0126-1-1.

Γίνεται αποσύνδεση του inverter όταν το δίκτυο είναι εκτός των ορίων τάσης και συχνότητας:

- $0,8U_n < U_n < 1,15U_n$
- $49,5\text{Hz} < f < 50,5\text{Hz}$ (Continent)
- $47,5\text{Hz} < f < 51\text{Hz}$ (Island)
- Έγχυση συνεχούς ρεύματος $< 0,5\% I_{ACnom}$
- Χρόνος αποσύνδεσης $< 500\text{ms}$.

Με την αποκατάσταση του σφάλματος δικτύου γίνεται επανασύνδεση σε χρόνο $>180\text{s}$.

Η ρύθμιση των παραμέτρων αυτών γίνεται από τον κατασκευαστή τους (SIEMENS) και ενεργοποιείται μετά τη σύνδεση των αντιστροφέν στο δίκτυο.

Σε περίπτωση που τα όρια της τάσης ή της συχνότητας ή ακόμα και των δύο παραμέτρων μεταβληθούν εκτός του προκαθορισμένου εύρους, οι αντιστροφείς παύουν την λειτουργία τους με αυτόματη αποσύνδεση σε χρόνο μικρότερο των $0,5\text{sec}$ και περνούν σε κατάσταση «σφάλματος».

Όταν το δίκτυο επανέλθει στις αρχικές του παραμέτρους τότε και οι αντιστροφείς επανασυνδέονται αυτόματα, αφού όμως περάσει το χρονικό διάστημα που επιβάλλει η ΔΕΗ (3min).

Μετά τιμής,
SIEMENS A.E.

Industry Sector
Industry Automation &
Drive Technologies Division
I IA CE
Αγησιλάου 6-8,
151 23, Αμαρούσιο
Τηλ. +30 210 6864-514
Fax +30 210 6864-388

SIEMENS A.E.
ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
& ΠΡΟΧΩΡΤΩΝ
151 23 ΑΜΑΡΟΥΣΙΟ / ΑΘΗΝΑ
ΑΓΗΣΙΛΑΟΥ 6-8

Page 1 of 1



Bureau Veritas Consumer
Product Services GmbH
Businesspark A08
98842 Türkheim
Germany
+ 49 (0) 8245 98810-0
cps-tuerkheim@de.bureauveritas.com

Πιστοποιητικό ελλείψεως κωλυμάτων

Εντολοδότης: Siemens AG
Industry Sector
Würzburger Str. 121
90766 Fürth
Γερμανία

Παραγόμενο προϊόν: Ανεξάρτητη διεπαφή μεταξύ μιας δικτυακά παράλληλης αυτοτροφοδοτούμενης εγκατάστασης και του δημόσιου δικτύου χαμηλής τάσης

Μοντέλο: SINVERT PVM10, SINVERT PVM13,
SINVERT PVM17, SINVERT PVM20

Προβλεπόμενη χρήση:

Ανεξάρτητη διεπαφή με τριφασική επιτήρηση δικτύου σύμφωνα με το DIN V VDE V 0126-1-1:2006-02* για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με τριφασική παράλληλη τροφοδοσία μέσω αναστροφέα στο δίκτυο της δημόσιας παροχής. Η ανεξάρτητη διεπαφή είναι απαραίτητο εξάρτημα για τον προαναφερθέντα αναστροφέα. Λειτουργεί εφεδρικά για την περίπτωση διεπαφής ανοιχτής στην εταιρεία διανομής δικτύου (εταιρεία ηλεκτρισμού) με λειτουργία απόζευξης.

* with a dc-injection $\approx 0,5\%$ of $I_{N,conn}$
49,5Hz- \pm 50,5Hz (Continert)
47,5Hz- \pm 51,5Hz (Island)
Disconnection time \approx 500ms
Reconnection time \approx 180s

Βασικά στοιχεία ελέγχου:

DIN V VDE V 0126-1-1:2006-02 και „Οδηγία για σύνδεση και παράλληλη λειτουργία από αυτοτροφοδοτούμενη εγκατάσταση σε δίκτυο χαμηλής τάσης“ της „Ένωσης ηλεκτρολογικών έργων Γερμανίας- VDEW-“.

Η έννοια της ασφάλειας ενός προαναφερθέντος αντιπροσωπευτικού προϊόντος αντιστοιχεί στις προδιαγραφές που ισχύουν τη στιγμή έκδοσης αυτού του πιστοποιητικού έγκυρων προδιαγραφών ασφαλείας για τη συγκεκριμένη χρήση σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Αριθμός αναφοράς: 09TH0301-VDE0126_GR
Αριθμός πιστοποίησης: U10-114
Ημερομηνία: 2010-03-22 **Ισχύει μέχρι:** 2012-10-27

Andreas Aufmuth

Herstellerbescheinigung
Manufacturer certification

Oberschwingungen
harmonics

Hersteller: Siemens AG.....
Manufacturer: Industrial Automation - Control Components and Systems Engineering
Anschrift: Industry Sector, IA CE
Address: Würzburger Str. 121
90766 Fürth.....
Produkt- bezeichnung: SINVERT PVM10 - 6AG3120-3JB02-0AC0
Product description: SINVERT PVM13 - 6AG3120-3JE02-0AC0
SINVERT PVM17 - 6AG3120-3JJ02-0AC0
SINVERT PVM17 - 6AG3120-3JK02-0AC0
SINVERT PVM20 - 6AG3120-3JM02-0AC0

Das bezeichnete Produkt erfüllt in der von uns in Verkehr gebrachten Ausführung folgende Anforderung:
The product described above in the form as delivered meets the following requirement:

Oberschwingungen gemäß Anhang
harmonics see annex


Messgerät / *measurement*: ZES Zimmer LMG500
Betriebsparameter / *system parameter*:
U_{dc} = 550V.....
U_{ac} = 400V / 50Hz

Die Erfüllung der Anforderung wird nachgewiesen durch die Einhaltung folgender Normen:
Conformance to requirement is assured through the application of the following standards:

Referenznummer Reference number	Ausgabedatum Edition	Referenznummer Reference number	Ausgabedatum Edition
EN 61000-3-12	2005.....	IEC 61000-3-4	1999.....

Fürth, den / *the* 08.07.2010

Siemens AG

Jürgen Sperber
IA CE SE PRM PV 2
Product Management.....
Name, Funktion
Name, function

Unterschrift
signature

Siemens Aktiengesellschaft. Chairman of the Supervisory Board: Gerhard Gromme; Managing Board: Peter Loescher, Chairman, President and Chief Executive Officer; Wolfgang Dehen, Heinrich Hiesinger, Joe Kaeser, Barbara Kux, Hermann Requardt, Siegfried Russwurm, Peter Y. Solmsen; Registered offices: Berlin and Munich; Commercial registries: Berlin Charlottenburg, HRB 12300, Munich, HRB 6664; WEEE-Reg.-No. DE 23891322.

Anhang / Annex
Zu Oberschwingungen / harmonics

inverter type					
	PVM10	PVM13	PVM17 4DC	PVM17 6DC	PVM20
rated current [A]					
	14,4	17,9	23,8	24,0	27,5
current harmonics [%]					
n					
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	0,37	0,31	0,24	0,20	0,19
3	0,63	0,53	0,41	0,46	0,59
4	0,27	0,23	0,18	0,16	0,15
5	0,16	0,14	0,10	0,46	0,30
6	0,14	0,12	0,09	0,07	0,07
7	0,67	0,56	0,44	0,50	0,51
8	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
9	0,11	0,09	0,07	0,30	0,25
10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,05
11	0,28	0,23	0,18	0,28	0,18
12	0,10	0,08	0,06	0,07	0,06
13	0,43	0,36	0,28	0,19	0,13
14	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03
15	0,25	0,21	0,16	0,17	0,20
16	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
17	0,73	0,61	0,47	0,42	0,19
18	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04
19	0,31	0,26	0,20	0,27	0,18
20	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
21	0,15	0,12	0,09	0,05	0,10
22	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
23	0,39	0,32	0,25	0,29	0,41
24	0,07	0,06	0,05	0,01	0,02
25	0,37	0,31	0,24	0,12	0,18
26	0,11	0,09	0,07	0,04	0,03
27	0,13	0,11	0,08	0,09	0,07
28	0,08	0,07	0,05	0,03	0,04
29	0,22	0,18	0,14	0,16	0,15
30	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02
31	0,32	0,26	0,21	0,14	0,06
32	0,07	0,06	0,04	0,01	0,01
33	0,07	0,06	0,04	0,04	0,01
34	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03
35	0,20	0,17	0,13	0,05	0,03
36	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
37	0,15	0,12	0,10	0,07	0,03
38	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
39	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03
40	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
41	0,14	0,12	0,09	0,09	0,04
42	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
43	0,15	0,13	0,10	0,05	0,05
44	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02
45	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
46	0,06	0,07	0,05	0,02	0,01
47	0,15	0,12	0,10	0,05	0,05
48	0,10	0,08	0,07	0,02	0,01
49	0,06	0,05	0,04	0,04	0,02
50	0,10	0,08	0,06	0,02	0,02
THDI [%]	1,70	1,40	1,10	1,20	1,10



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK[®]

CERTIFICATE

IQNet and

DQS GmbH Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen
hereby certify that the company

Siemens AG

**Industry Sector, Industry Automation Division, Business Unit Systems Engineering
I IA SE**

Würzburger Straße 121
90766 Fürth

with the sites as listed in the annex

for the scope

Development, production and sales of electronic boards, units and systems for automation and drives and of software and software services, production and sales of catalogues and product data, translation services, product training, test center

has implemented and maintains a

Quality Management System.

An audit, documented in a report, has verified that this quality management system fulfills the requirements of the following standard:

ISO 9001 : 2000

This certificate is valid until 2011-08-11

Frankfurt am Main 2008-08-12

Registration Number: DE-001108 QM



Rene Wasmer
Rene Wasmer
President of IQNet

M. Drechsel
Ass. iur. M. Drechsel
Managing Directors of DQS GmbH

S. Heimloth
S. Heimloth
Managing Directors of DQS GmbH



IQNet Partners*:

AENOR Spain AFAQ AFNOR France AIB-Vinçotte International Belgium ANCE Mexico APCER Portugal CISQ Italy CQC China
CQM China CQS Czech Republic Cro Cert Croatia DQS Germany DS Denmark ELOT Greece FCAV Brazil
FONDONORMA Venezuela HKQAA Hong Kong China ICONTEC Colombia IMNC Mexico Inspecta Certification Finland
IRAM Argentina IQA Japan KFQ Korea MSZT Hungary Nemko AS Norway NSAI Ireland PCBC Poland
Quality Austria Austria RR Russia SAI Global Australia SII Israel SIQ Slovenia SIRIM QAS International Malaysia
SQS Switzerland SRAC Romania TEST St Petersburg Russia YUQS Serbia

IQNet is represented in the USA by: AFAQ AFNOR, CISQ, DQS, NSAI Inc. and SAI Global

* The list of IQNet partners is valid at the time of issue of this certificate. Updated information is available under www.iqnet-certification.com



Annex to IQNet Certificate Number: DE-001108 QM / 2008-08-12

Siemens AG

**Industry Sector, Industry Automation Division, Business Unit Systems Engineering
I IA SE**

Würzburger Straße 121
90766 Fürth

Site	Scope
Clemens-Winkler-Straße 3 09116 Chemnitz	Development, production and sales of electronic boards, units and systems for automation and drives
Siemensallee 84 76187 Karlsruhe	Development, production and sales of electronic boards, units and systems for automation and drives, software services
Östliche Rheinbrückenstraße 50 76187 Karlsruhe	Production and sales of catalogues and product data, translation services, test center
Frauenauracher Straße 80 91056 Erlangen	Documentation for electronic boards, units and systems for automation and drives, software services
Frauenauracher Straße 85 91056 Erlangen	Production and sales of catalogues and product data, translation services
Werner-von-Siemens-Straße 65 91052 Erlangen	Product training
Günther-Scharowsky-Straße 21 91050 Erlangen	Test center
Werner-von-Siemens-Straße 52 92224 Amberg	Production of electronic boards and units for automation and drives
Gleiwitzer Straße 555 90327 Nürnberg	Production and sales of catalogues and product data, product training

This annex (edition: 2008-08-12) is only valid in connection with the above-mentioned IQNet Certificate.



C E R T I F I C A T E

DQS GmbH

Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen

hereby certifies that the company

Siemens Aktiengesellschaft

Automation and Drives
Systems Engineering A&D SE
Würzburger Straße 121
90766 Fürth

with the A&D SE-sites and A&D-organizational units as listed in the annex

for the scope

Development, production and sales of electronic boards,
units and systems for automation and drives
and of software and software services

has implemented and maintains an

Environmental Management System.

An audit, documented in a report, has verified that this
environmental management system fulfills the requirements
of the following standard:

EN ISO 14001 : 2004

November 2004 edition

This certificate is valid until 2009-11-07

Certificate Registration No. 001108 UM

Frankfurt am Main 2006-11-08

Ass. iur. M. Drechsel

MANAGING DIRECTORS

Dipl.-Ing. S. Heinloth



D-80433 Frankfurt am Main, August-Schanz-Straße 21





Annex to Certificate Registration No.: 001108 UM

Siemens Aktiengesellschaft

Automation and Drives
Systems Engineering A&D SE
 Würzburger Straße 121
 90766 Fürth

Sites / Organizational unit	Scope
Siemens AG A&D SE Würzburger Straße 121 90766 Fürth	Development, production and sales of electronic boards, units and systems for automation and drives as well as software, software services
Siemens AG A&D AS RD DH F Siemensstraße 2-4 90766 Fürth	Development of electronic boards, units and systems for automation and drives
Siemens AG A&D RC Siemensstraße 2-4 90766 Fürth	Cancellation, further shipment and scrapping of damaged and original-packaged products of automation and drive technology
Siemens AG A&D SE Clemens-Winkler-Straße 3 09116 Chemnitz	Development, production and sales of electronic boards, units and systems for automation and drives
Siemens AG A&D AS RD DH C Clemens-Winkler-Straße 3 09116 Chemnitz	Development of electronic boards, units and systems for automation and drives
Siemens AG A&D MC RD B Clemens-Winkler-Straße 3 09116 Chemnitz	Development of electronic boards, units and systems for automation and drives
Siemens AG A&D SE Siemensallee 84 76187 Karlsruhe	Development, production and sales of electronic boards, units and systems for automation and drives, software services

This annex (edition: 2006-11-08) is only valid in connection with the above-mentioned certificate.