

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΟΥΓΚΟΛΟΣ

ΠΡΩΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΥ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

MSc in Energy

ΒΟΛΟΣ 2010



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 8980/1
Ημερ. Εισ.: 25-10-2010
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
621.312 44
ΠΡΩ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η ενεργειακή κρίση έχει αρχίσει και γίνεται ορατή σε όλες τις πλευρές της καθημερινής ζωής, επηρεάζοντάς την σε σημαντικό βαθμό. Τα αποθέματα πετρελαίου λιγοστεύουν με ταχύτατους ρυθμούς ενώ η ζήτηση αυξάνεται με φρενήρεις ρυθμούς. Ταυτόχρονα, οι φυσικές καταστροφές, σημαντικό μέρος των οποίων αποδίδεται στην κλιματική αλλαγή, που με τη σειρά της αποδίδεται –εν μέρει- στην ρύπανση εξαιτίας της παραγωγής και χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας, και στη συνεχιζόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος κατέστησαν αναγκαία την εύρεση και εφαρμογή εναλλακτικών μορφών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, φιλικές προς αυτό. Λύση στο αδιέξοδο αυτό φαίνεται να δίνουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καθώς σιγά-σιγά κατακτούν ολοένα και περισσότερο έδαφος στο χώρο της ενέργειας. Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελούν η αιολική ενέργεια, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η ενέργεια από βιομάζα, η γεωθερμία, η παλιρροιακή ενέργεια, κ.α. οι οποίες αναπτύσσονται. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με χρήση φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει τον τρόπο μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια που εκχέεται στο δίκτυο, τα στοιχεία που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα καθώς και την οικονομική ανάλυση μιας τέτοιου είδους εγκατάστασης.

Για την καλύτερη μελέτη του θέματος, πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση τριών διασυνδεδεμένων στο δίκτυο συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούμενα από συστοιχίες φωτοβολταϊκών στοιχείων, διαφορετικής εγκατεστημένης ισχύος η κάθε συστοιχία και από αντιστροφεία, σε παραθαλάσσιο οικισμό της Ραφήνας. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε και η οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης, αξιολογώντας το χρόνο αποπληρωμής του έργου και το κατά πόσο ή όχι είναι συμφέρουσα μια τέτοια επένδυση. Τα δεδομένα καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μελετήθηκαν και αναλύθηκαν, εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά : Φωτοβολταϊκό φαινόμενο, φωτοβολταϊκό στοιχείο, αντιστροφείς, εγκατεστημένη ισχύς, παραγόμενη ενέργεια, Καθαρή Ταμειακή Ροή, Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης, έντοκη περίοδος αποπληρωμής.

ABSTRACT

The latest years, the energy crisis has become more and more evident in every aspect of our daily life, affecting it in a significant way. The oil deposits have been diminished rapidly while the demand has been increased with frenzied rhythms. Simultaneously, natural disasters, a significant part of them has been attributed to the climate changing, where the later has been attributed to the pollution due to production and use of conventional forms of energy and the continuing environmental pollution contributed to the need of discovering different ways of producing electrical energy which will be friendly to the environment.

Renewable Resources of energy seem to solute the problem as gradually expanding more and more in the field of energy. Types of renewable resources are the wind energy, solar energy, hydroelectric, biomass, geothermic, tidal power and some others that are developed. The present thesis deals with the electric power that is produced using solar collectors. More precisely, it is presented the procedure of converting solar energy into electrical energy that is absorbed by the grid, the components which constitute the system as well as the study if such an investment is lucrative.

In order to achieve a better view for the subject, three grid connected systems for producing electric power, have been installed. These systems are consisted from solar panels and an inverter each of them and they are located at a hamlet by the sea at Rafina region. Moreover, an economic analysis has been made, evaluating the whole installation and its discounted payback period. The data and the results which have drowned out have been studied and analyzed, leading us to considerable conclusions.

Key words :

Photovoltaic phenomenon, photovoltaic panel, inverter, nominal power, produced energy, Net Present Value, Internal Rate of Return, payback period.

ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	2
Abstract.....	3
Περιεχόμενα	4
Ευχαριστίες	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
1.1 Ηλιακή Ενέργεια, Μεταφορά ενέργειας από τον ήλιο στη γη.....	14
1.2 Κλιματική αλλαγή – Οικολογικό πρόβλημα.....	15
1.3 Το πρωτόκολλο του Κιότο.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	23
2.1 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	23
2.2 Μαθηματικές Εξισώσεις Περιγραφής Φαινομένου.....	26
2.3 Απορρόφηση της Ακτινοβολίας Στα Φωτοβολταϊκά Στοιχεία.....	27
2.4 Δημιουργία του Φωτορεύματος.....	28
2.5 Ημιαγώγιμα Υλικά.....	30
2.6 Δημιουργία Ζευγών Ηλεκτρονίων-Οπών.....	31
2.7 Η ένωση pn.....	34
2.7.1 Τάση Ανοιχτοκύκλωσης και Ρεύμα Βραχυκύκλωσης.....	34
2.7.2 Χαρακτηριστικές Καμπύλες I-V και P-V.....	35
2.8 Ηλιακά Στοιχεία Πυριτίου.....	38
2.8.1 Επιλογή και Συμπεριφορά του Πυριτίου.....	38
2.8.2 Η διαμόρφωση της διόδου.....	39
2.9 Χρήσεις και Επιδράσεις.....	40
2.9.1 Γενικές Χρήσεις και Εφαρμογές.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Δικτύων Διανομής	44
3.2.1 Κανονική Κατάσταση.....	44
3.2.2 Έκτακτη Κατάσταση.....	45

3.3 Προγραμματισμός Ανάπτυξης Των Δικτύων Διανομής.....	47
3.4 Ανάλυση Λειτουργίας Δικτύων Διανομής.....	47
3.5 Σχεδίαση Προστασίας	49
3.5.1 Βασικές Αρχές Σχεδίασης Προστασίας Δικτύων Διανομής.....	49
3.5.2 Μέσα Προστασίας.....	50
3.5.2.1 Εναέρια Δίκτυα.....	50
3.5.2.2 Υπόγεια Δίκτυα.....	51
3.5.3 Αξιοπιστία.....	51
3.5.3.1 Απαιτήσεις Αξιοπιστίας Δικτύων Διανομής.....	51
3.5.3.2 Δείκτες Αξιοπιστίας.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	53
4.1 Εισαγωγή.....	53
4.2 Γιατί Υπερτερεί η Διασπαρμένη Παραγωγή.....	53
4.3 Η Εγγύτητα Σημαντικότερη από την Απόδοση.....	55
4.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	56
4.4.1 Αιολική Ενέργεια.....	56
4.4.1.1 Παραγωγή Ενέργειας.....	56
4.4.1.2 Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος.....	59
4.4.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά.....	60
4.4.3 Βιομάζα.....	62
4.4.4 Κυψέλες καυσίμου	63
4.4.4.1 Παραγωγή Ενέργειας.....	63
4.4.5 Φυσικό Αέριο.....	66
4.4.6 Φωτοβολταϊκή Ενέργεια.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	72
5.1 Εισαγωγή.....	72
5.2 Μη Τεχνικά Εμπόδια στα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	72
5.3 Τεχνική Θεώρηση	73
5.4 Το πρότυπο IEEE 929-2000.....	74
5.4.1 Διαταραχές Τάσης.....	74
5.4.2 Διαταραχές Συχνότητας.....	75

5.4.3 Προστασία από Νησιδοποίηση.....	75
5.4.4 Συντελεστής Ισχύος	77
5.4.5 Επανασύνδεση Μετά από Σφάλμα Δικτύου και Αποκατάσταση.....	77
5.4.6 Έγχυση συνεχούς σε εναλλασσόμενο σύστημα.....	78
5.4.7 Γείωση.....	78
5.5 Απώλειες.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	80
6.1 Μπαταρίες.....	80
6.1.1 Επιλογή Μπαταρίας Φωτοβολταϊκών.....	81
6.1.2 Αυτόματοι Διαχειριστές Μπαταρίας.....	82
6.1.2.1 Κριτήρια Επιλογής Ελεγκτή Φόρτισης.....	82
6.1.2.2 Παρακολούθηση του Σημείου Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point Tracker,MPPT).....	84
6.1.2.3 Προστασία Βαθιάς Εκφόρτισης.....	85
6.2 Αντιστροφείς.....	86
6.2.1 Αρχές Λειτουργίας Αντιστροφέων.....	87
6.2.2 Απαιτήσεις προς Ικανοποίηση.....	90
6.3 Ηλιακές Κυψέλες.....	90
6.3.1 Αξιολόγηση των Σημαντικών Τεχνολογιών για Ηλιακές Κυψέλες.....	90
6.3.2 Ηλιακά Στοιχεία Πυριτίου.....	90
6.3.2.1 Ηλιακά Στοιχεία Άμορφου Πυριτίου (a-Si).....	91
6.3.2.2 Ηλιακά Στοιχεία Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου.....	93
6.3.2.3 Ηλιακά Στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου.....	95
ΚΕΦΑΛΛΙΟ 7: ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	97
7.1 Περιγραφή Οικισμού.....	97
7.2 Εξοπλισμός.....	97
7.3 Διάταξη Συστοιχιών.....	97
7.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	98
7.4.1 Πάνελ.....	98
7.4.1.1 Πάνελ YL165Wp	98
7.4.1.2 Πάνελ YL170Wp.....	100

7.4.2 Αντιστροφείς.....	102
7.4.2.1 Αντιστροφέας SolarSTAR a6000.....	102
7.4.2.2 Αντιστροφέας Sunny Boy SWR 700 Medium.....	104
7.4.2.3 Αντιστροφέας Sunny Boy SWR 1100LV.....	107
7.5 Αναφορές.....	109
7.5.1 Συστοιχία N.1.....	110
7.5.2. Συστοιχία N.2.....	114
7.5.3 Συστοιχία N.3.....	118
7.6 Αποδόσεις.....	122
7.6.1 Συστοιχία N.1.....	122
7.6.2 Συστοιχία N.2.....	125
7.6.3 Συστοιχία N.3.....	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ.....	129
8.1 Ορισμός Επενδυτικών Σχεδίων.....	129
8.1.1 Σχέδιο Επένδυσης.....	129
8.1.2 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Επένδυσης.....	129
8.2 Εκτίμηση Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ).....	130
8.2.1 Περίπτωση Ύπαρξης Ιδίων και Δανειακών Κεφαλαίων.....	131
8.3 Κριτήρια Αξιολόγησης Επενδυτικών Σχεδίων.....	131
8.3.1 Ορθολογικά Κριτήρια.....	131
8.3.1.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ).....	131
8.3.1.2 Κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ΕΒΑ της Επένδυσης (IRR).....	132
8.3.2 Ατελή Κριτήρια.....	132
8.3.2.1 Η Περίοδος Επανάκτησης του Κόστους της Επένδυσης (Payback Period).....	132
8.4 Αξιολόγηση της Επένδυσης.....	133
8.4.1 Υπολογισμός Μεγεθών.....	133
8.4.2 Αποτελέσματα.....	140
8.4.3 Συμπεράσματα.....	141
8.4.3.1 Επένδυση Μηδενικής Επιδότησης.....	141
8.4.3.2 Επένδυση με Επιδότηση 20%.....	141
8.4.3.3 Επένδυση με Επιδότηση 30%.....	142
8.4.3.4 Επένδυση με Επιδότηση 40%.....	142

8.4.3.5 Επένδυση με Επιδότηση 50%.....	142
8.4.4 Παρατηρήσεις.....	142
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	142
9.1 Νομοθετικό - συνταγματικό πλαίσιο.....	142
9.2 Αναδρομή νομοθετικού πλαισίου και ισχύουσα νομοθεσία.....	142
9.3 Προϋποθέσεις για την εγκατάσταση ΦΒ συστήματος.....	152
9.4 Επιδοτήσεις βάση του αναπτυξιακού νόμου.....	152
9.5 Διαδικασίες αδειοδότησης.....	157
9.6 Τεχνικές διευκρινήσεις από τη ΔΕΗ.....	160
Παραρτήματα.....	162
Παράρτημα Α.....	162
Παράρτημα Β.....	190
Παράρτημα Γ.....	192
Βιβλιογραφία.....	190

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Προβλεπόμενη μείωση εκπομπών για την περίοδο 2008-2012 (www.europa.eu)

Πίνακας 2: Όρια τάσης και οι προτεινόμενοι από το IEEE 929-2000 χρόνοι διακοπής του αντιστροφέα ((Turap Gonen, 1986).

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών (Lorenzo, 1994)

Πίνακας 4: Μεταβλητά Κόστη

Πίνακας 5: Πάγια Κόστη

Πίνακας 6: Ετήσια Έσοδα

Πίνακας 7: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 0%

Πίνακας 8: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 0%

Πίνακας 9: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 20%

Πίνακας 10: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 20%

Πίνακας 11: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 30%

Πίνακας 12: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 30%

Πίνακας 13: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 40%

Πίνακας 14: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 40%

Πίνακας 15: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 50%

Πίνακας 16: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 50%

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Πίνακας 18 : Τιμές πώλησης της παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πίνακας 19 : Ποσοστά επιδότησης σύμφωνα με την περιοχή και το μέγεθος της επιχείρησης

Πίνακας 20 : Γεωγραφικές περιοχές για τον Αναπτυξιακό νόμο

Πίνακας 21 : Κατηγοριοποίηση του μεγέθους των εταιρειών

Πίνακας 22: Προβλεπόμενες άδειες που απαιτούνται ανάλογα του έργου

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δημιουργία ατόμου ηλίου (Lee Willis, 2000)

Εικόνα 2: Παγίδευση της ακτινοβολίας, φαινόμενο του θερμοκηπίου (www.europa.eu)

Εικόνα 3: Κατανομή παγκόσμιων εκπομπών ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (Bates, 1990)

Εικόνα 4: Στόχοι που έθεσε η Ε.Ε. για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (www.europa.eu)

Εικόνα 5: Φωτοηλεκτρική επίδραση, όπου η εισερχόμενη ΗΜ ακτινοβολία διεγείρει τα ηλεκτρόνια απομακρύνοντάς τα από το υλικό (Καπλάνης, 2004)

Εικόνα 6: Ηλιακό στοιχείο που αποτελείται από την επαφή ημιαγωγού τύπου-n και τύπου-p. Διάγραμμα της δυναμική ενέργειας των ηλεκτρονίων σε συνάρτηση με το βάθος από την επιφάνεια (Δέρβος, 2006).

Εικόνα 7: Η μεταβολή της φασματικής απόκρισης $S(\nu)$ σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας στις περιοχές ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου: εμπρός όψη τύπου n, πίσω όψη τύπου p (Φραγκιαδάκης, 2007).

Εικόνα 8: Κυριοιότητες ζώνης οθένους και ζώνης αγωγιμότητας για ημιαγωγό υλικό (Καπλάνης, 2004).

Εικόνα 9: Ενεργειακό διάγραμμα της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας συναρτήσει της ορμής του α. πυριτίου (Si) και β. αρσενικού γαλλίου (GaAs) (Καπλάνης, 2004).

Εικόνα 10: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτιζόμενου ηλιακού στοιχείου (Φραγκιαδάκης, 2007)

Εικόνα 11: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός φωτοβολταϊκού υπό φως και υπό σκοτάδι (Φραγκιαδάκης, 2007).

Εικόνα 12: Χαρακτηριστική P-V, φωτοβολταϊκού στοιχείου που ακτινοβολείται (Φραγκιαδάκης, 2007).

Εικόνα 13: Χαρακτηριστική I-V για διαφορετικής έντασης ακτινοβολίας (Φραγκιαδάκης, 2007)

Εικόνα 14: Παρότι υπάρχει μια οικονομία κλίμακας του κόστους, το πλεονέκτημα που είχαν οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής περιορίζεται συνεχώς κατά το τελευταίο μισό του 20ου αιώνα (Κάππος, 2009).

Εικόνα 15: Κόστος ανά kW για 3000 ώρες αρδρευτικής υπηρεσίας (Κάππος, 2009).

Εικόνα 16: Μερικοί τύποι ανεμογεννητριών. Οι τρεις επάνω τύποι είναι οι συχνότερα και περισσότερο χρησιμοποιούμενοι (Καλδέλλης, 2005)

Εικόνα 17: Υδροηλεκτρικό φράγμα (Κάππος, 2009)

Εικόνα 18: Κύρια μέρη μιας κυψέλης καυσίμου (Κάππος, 2009)

Εικόνα 19: Διαχείριση Φυσικού Αερίου (Λέφας, 2004)

Εικόνα 19: Ποσοστιαία κατανομή χρησιμοποίησης του φυσικού αερίου (Λέφας, 2004)

Εικόνα 20: Στοιχεία ενός τυπικού απομονωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος (Lakervi and Holmes, 1996).

Εικόνα 21: Καμπύλη τάσης και ρεύματος κατά τη διάρκεια της φόρτισης (Lorenzo, 1994)

Εικόνα 22: Χαρακτηριστικές καμπύλες εντοπισμού του MPP σε πάνελ S50 SIEMENS (German solar energy society, 2005).

Εικόνα 23: Σχηματική απεικόνιση (α) του κρυσταλλικού πυριτίου, (β) του άμορφου πυριτίου με ατελείς και στρεβλωμένους δεσμούς, (γ) του υδρογονούχου άμορφου πυριτίου με συμπληρωμένους και χαλαρωμένους τους δεσμούς του. Οι μαύροι κύκλοι δείχνουν τις θέσεις των Si και οι άσπροι τις θέσεις των ατόμων H (Καπλάνης, 2004).

Εικόνα 24: Πάνελ άμορφου πυριτίου (ΚΑΠΕ, 2002)

Εικόνα 25: Πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου (ΚΑΠΕ, 2002)

Εικόνα 26: Πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου (ΚΑΠΕ, 2002)

Εικόνα 27: Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Εικόνα 28: I-V χαρακτηριστική

Εικόνα 29: Καμπύλες I-V

Εικόνα 30: Καμπύλες P-V

Εικόνα 31: Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Εικόνα 32: I-V χαρακτηριστική

Εικόνα 33: Καμπύλες I-V

Εικόνα 34: Καμπύλες P-V

Εικόνα 35: Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Εικόνα 36: Καμπύλη Ισχύος εξόδου P_{out} (AC) συναρτήσει της ισχύος εισόδου P_{in} (DC)

Εικόνα 37: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εισόδου P_{in} (DC)

Εικόνα 38: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εξόδου P_{out} (AC)

Εικόνα 39: Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Εικόνα 40: Καμπύλη Ισχύος εξόδου P_{out} (AC) συναρτήσει της ισχύος εισόδου P_{in} (DC)

Εικόνα 41: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εισόδου P_{in} (DC)

Εικόνα 42: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εξόδου P_{out} (AC)

Εικόνα 43: Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Εικόνα 44: Καμπύλη Ισχύος εξόδου P_{out} (AC) συναρτήσει της ισχύος εισόδου P_{in}

Εικόνα 45: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εισόδου P_{in} (DC)

Εικόνα 46: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εξόδου P_{out} (AC)

Εικόνα 47 : Δομικό διάγραμμα διαδικασίας αδειοδότησης

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Διάγραμμα 2: Κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας, απώλειες συστήματος και απώλειες συλλέκτη

Διάγραμμα 3: Ενέργεια Αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Διάγραμμα 4: Κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας, απώλειες συστήματος και απώλειες συλλέκτη

Διάγραμμα 5: Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Διάγραμμα 6: Κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας, απώλειες συστήματος και απώλειες συλλέκτη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής εργασίας ήταν ο κ. Αθανάσιος Κούγκολος, καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την υποστήριξη, καθοδήγηση και την αίσθηση της συνεχούς επικοινωνίας που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σεραφείμ Πολύζο, επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε. Ο προαναφερόμενος μου υπέδειξε διορθώσεις όσον αφορά το οικονομικό κομμάτι της εργασίας. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, στην Σύλβια Πανταζοπούλου καθώς και τον καθηγητή του Ε.Μ.Π. του Τμήματος των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Νικόλαο Χατζηαργυρίου για την πολύτιμη βοήθειά τους τόσο στο θεωρητικό όσο και στο εργαστηριακό κομμάτι της παρούσας εργασίας

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επίκουρη καθηγήτρια Σίσυ Λασπίδου, του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την βοήθεια της και την καθοδήγηση της για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην σύζυγό μου Ελένη, στα παιδιά μου Θεοδωρή και Δημήτρη καθώς και στους γονείς που με στηρίζουν σε κάθε επιστημονικό και επαγγελματικό μου βήμα.

Σεπτέμβριος 2010

Με εκτίμηση

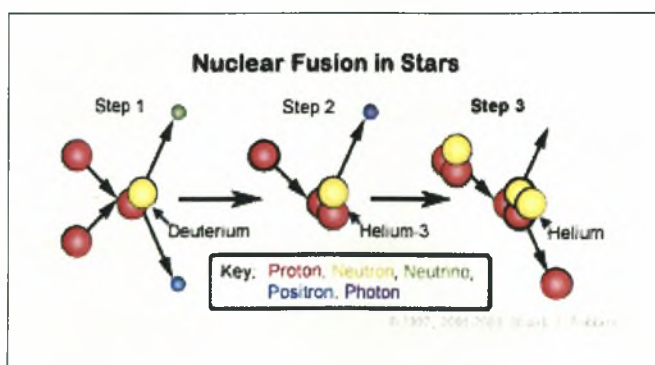
Γεώργιος Πρώιας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε κάθε εποχή στην ιστορική εξέλιξη οι άνθρωποι προσπαθούσαν να επιλύσουν προβλήματα που αφορούσαν τουλάχιστον την επιβίωση τους. Σήμερα, στην αυγή του 21^{ου} αιώνα καλούμαστε να απαντήσουμε στο ερώτημα της ενεργειακής κάλυψης. Αρχικά, αυτό το ερώτημα δεν φαίνεται να είναι ερώτημα επιβίωσης, όμως ο τρόπος με τον οποίο παράγονταν η ενέργεια τους τελευταίους αιώνες ήταν τόσο επιβλαβής για το φυσικό περιβάλλον, επιφέροντας ένα σωρό από οικολογικά προβλήματα που σήμερα η απάντηση στο ερώτημα της ενεργειακής κάλυψης τίθεται σε διαφορετική βάση. Τίθεται στη βάση της επιβίωσης της ανθρωπότητας αλλά και του φυσικού περιβάλλοντος.

1.1 Ηλιακή Ενέργεια, Μεταφορά ενέργειας από τον ήλιο στη γη

Ο ήλιος, ένα αστέρι τύπου G ηλικίας πέντε δισεκατομμυρίων ετών, αποτελεί το σημαντικότερο αντικείμενο στη γη. Χωρίς τον ήλιο, η ζωή δεν θα μπορούσε να υπάρξει, καθώς η απουσία αυτού συνεπάγεται και την απουσία θερμότητας με μια σειρά καταστροφικών αποτελεσμάτων. Η ύπαρξη ζωής στην γη οφείλεται στον ήλιο καθώς αυτός βρίσκεται στην αρχή της τροφικής αλυσίδας που συμπεριλαμβάνει και τον άνθρωπο ως τον τελευταίο κρίκο της. Όλα εξαρτώνται από τον ήλιο. Δεν υπάρχει σχεδόν τίποτα σημαντικότερο στη γη από αυτόν. Ο ήλιος δημιουργεί την ηλιακή ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως πυρηνική τήξη, όπου δύο άτομα του υδρογόνου ενώνονται για να δημιουργηθεί ένα άτομο ηλίου (Lee Willis, 2000).



Εικόνα 1: Δημιουργία ατόμου ηλίου (Lee Willis, 2000)

Κάθε δευτερόλεπτο, ο ήλιος μετατρέπει 500 εκατομμύρια μετρικούς τόνους υδρογόνου σε ήλιο. Λόγω της διαδικασίας της τήξης, 5 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια κάθε δευτερόλεπτο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε έτος, 157.680.000.000.000 μετρικοί τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια. Το προϊόν από ένα δευτερόλεπτο της ενέργειας αντιστοιχεί σε 1×10^{27} Watt ενέργειας. Στη γη, λαμβάνουμε περίπου $2/1.000.000.000$ εκείνης της ενέργειας, ή περίπου 2×10^{18} Watt. Αυτό αντιστοιχεί σε αρκετή ενέργεια ώστε να τροφοδοτηθούν 100 κοινοί λαμπτήρες φωτός για περίπου 5 εκατομμύρια έτη (περισσότερο από την ύπαρξη των ανθρώπων). Ισοδύναμα, η ενέργεια που στέλνει στη γη ο ήλιος, αντιστοιχεί στην ενέργεια που θα παρήγαγαν περισσότεροι από 150 εκατομμύρια μεγάλοι σταθμοί παραγωγής. Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται αυτή ακριβώς την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία, πλαίσια ηλιακών κυψελίδων και γιγαντιαία κάτοπτρα ώστε να δύναται να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και να θερμαίνει νερό καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών του αναγκών. Αν και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε μόλις το 1839, το πρώτο ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο κατασκευάστηκε πολύ αργότερα, το 1954 για διαστημικές εφαρμογές. Στις μέρες μας καθώς το κόστος των φωτοβολταϊκών στοιχείων μειώνεται συνεχώς και σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου απέναντι στο περιβάλλον καθώς και τις νομικές δευσμέσεις των κρατών (Συνθήκη του Kyoto) για χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαπλώνεται ραγδαία καθιστώντας τα ανταγωνιστικά έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας. Επίσης, δεδομένου ότι ο ήλιος θα «πεθάνει» σε περίπου πέντε δισεκατομμύρια χρόνια και ότι η ενέργεια που προσφέρει είναι φιλική προς το περιβάλλον, συμπεραίνουμε ότι αυτός αποτελεί αέναη πηγή ηλιακής ενέργειας καθιστώντας την εκμετάλλευση αυτής ιδιαίτερα επωφέλη συνοδευόμενη με πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι των υπολοίπων ενεργειακών πηγών και τα φωτοβολταϊκά συστήματα μια πολλά υποσχόμενη ενεργειακή τεχνολογία απαλλαγμένη από τις δυσμενείς περιβαντολογικές επιπτώσεις των υπολοίπων συμβατικών μορφών ενέργειας (Charisiou-Kalliantopoulos V. and Laspidou C., 2010).

1.2 Κλιματική αλλαγή - Οικολογικό πρόβλημα

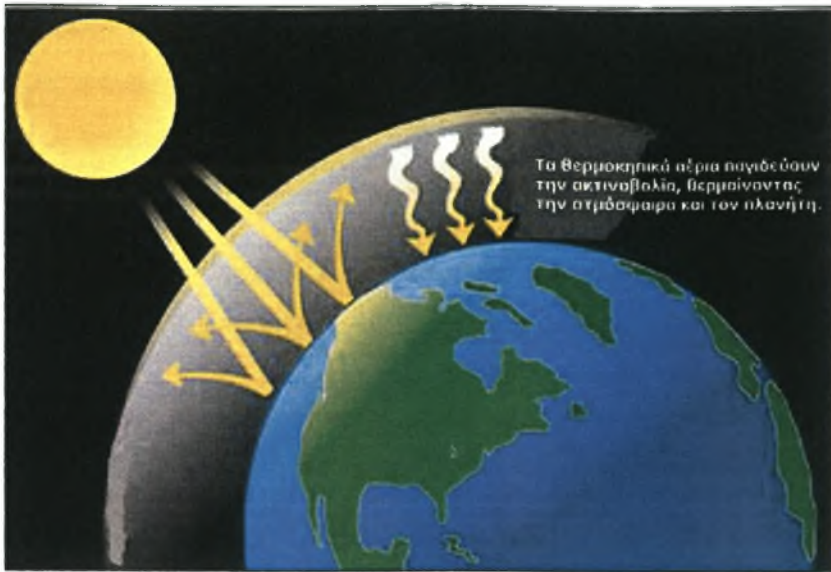
Η καταστροφή του πλανήτη αναδεικνύεται σε υπαρξιακό ζήτημα για τον άνθρωπο. Και ήρθε η ώρα να αναλάβει την ευθύνη αυτής της εφιαλτικής πραγματικότητας. Το

φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος, οι κλιματολογικές αλλαγές (σε έναν βαθμό), η ρύπανση του εδάφους και των νερών, η αποψίλωση των δασών, η συνεχής μείωση των ενεργειακών πηγών, η διάβρωση των εδαφών, η εξαφάνιση πάνω από 800 είδη φυτών και ζώων την τελευταία εικοσαετία, είναι αποτελέσματα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και προάγγελοι ενός πολύ ζοφερού μέλλοντος. Σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες:

- έως το 2100 η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη αναμένεται να αυξηθεί κατά 1,4 έως και 5,8 βαθμούς Κελσίου.
- στο τέλος της πρώτης εκατονταετίας του νέου αιώνα η στάθμη της θάλασσας αναμένεται να αυξηθεί κατά 9 έως και 88 εκατοστά, απειλώντας ακόμη και την ύπαρξη πολλών παραθαλάσσιων περιοχών και νησιών.
- η ερημοποίηση απειλεί το 70% της επιφάνειας της Γης, προκαλώντας προβλήματα σε 100 χώρες του πλανήτη με πληθυσμό της τάξης του ενός δισεκατομμυρίου.
- το 40% αυτών που απομένουν από τα παλαιά δάση θα εξαφανιστεί μέσα σε 10 ή 20 χρόνια. (www.greenpeace.gr)

Έχει επίσης υπολογιστεί ότι αν συνεχίσουμε με τα σημερινά ενεργειακά πρότυπα σε 30 χρόνια θα έχουμε κατασπαταλήσει το 25% των παγκόσμιων αποθεμάτων, ενώ θα έχουμε βομβαρδίσει την ατμόσφαιρα με εκατοντάδες χιλιάδες τόνους μονοξειδίου του άνθρακα, του πιο επικίνδυνου από τα αέρια του «θερμοκηπίου». Τι είναι όμως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και πώς οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνεισφέρουν στην επιδείνωση αυτού;

Η ενέργεια του ήλιου θερμαίνει την επιφάνεια της γης και καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η θερμότητα αντανακλάται στην ατμόσφαιρα ως ενέργεια υπεριώδους ακτινοβολίας όπως φαίνεται στην εικ. 2. Ένα μέρος της ενέργειας απορροφάται στην ατμόσφαιρα από τα αέρια του θερμοκηπίου (υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, μονοξείδιο του αζώτου, φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου). (www.europra.eu)



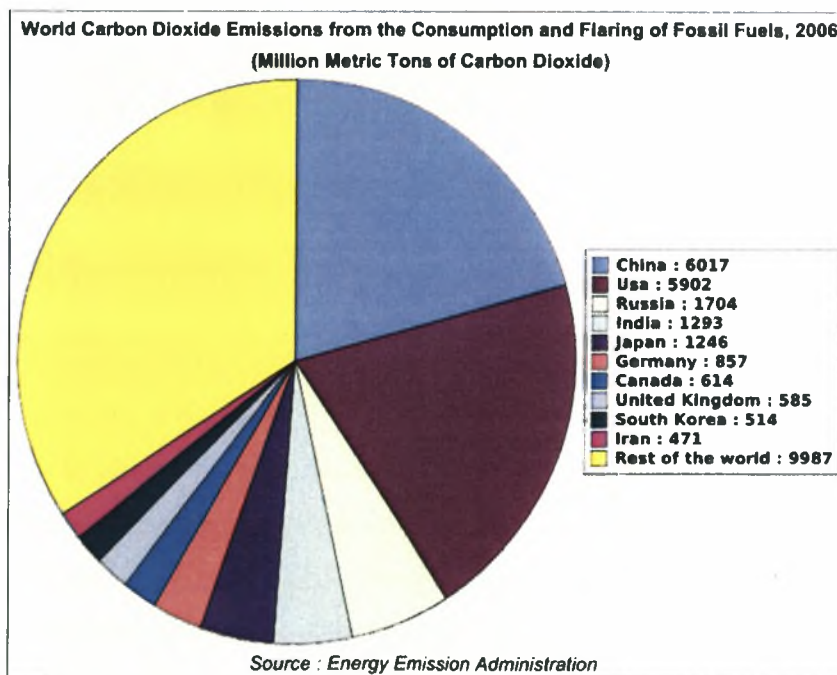
Εικόνα 2: Παγίδευση της ακτινοβολίας, φαινόμενο του θερμοκηπίου (www.europa.eu)

Η ατμόσφαιρα λειτουργεί όπως τα τοιχώματα ενός θερμοκηπίου, αφήνοντας το ορατό ηλιακό φως να εισέλθει και απορροφώντας την εξερχόμενη ενέργεια υπεριώδους ακτινοβολίας, διατηρώντας ζεστό το εσωτερικό του. Αυτή η φυσική διαδικασία ονομάζεται "φαινόμενο του θερμοκηπίου". Χωρίς αυτό, η μέση θερμοκρασία στη γη θα ήταν -18°C , ενώ αυτή τη στιγμή φθάνει τους $+15^{\circ}\text{C}$. Ωστόσο, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα αερίων του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), μεθανίου και πρωτοξειδίου του αζώτου, τα οποία ενισχύουν το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και αυξάνουν τη θερμοκρασία. Αυτή η υπερθέρμανση που προκαλεί ο ανθρώπινος παράγοντας ονομάζεται "ενισχυμένο" φαινόμενο του θερμοκηπίου και σαφώς έχει επιπτώσεις:

- **Λιώσιμο των πολικών πάγων:** Η περιοχή του αρκτικού πάγου στο Βόρειο Πόλο έχει μειωθεί κατά 10% τις τελευταίες δεκαετίες, και το πάχος του πάγου πάνω από το νερό έχει μειωθεί κατά περίπου 40%. Στην άλλη άκρη του κόσμου, τμήματα του στρώματος πάγου στην ήπειρο της Ανταρκτικής έχουν γίνει ασταθή.
- **Εξαφάνιση παγετώνων:** Είναι πιθανό ότι το 75% των παγετώνων στις Ελβετικές Άλπεις θα εξαφανιστεί έως το 2050.
- **Ανοδος της στάθμης της θάλασσας:** Τον τελευταίο αιώνα, η στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει κατά 12 έως 22 εκατοστά, και αναμένεται να ανεβαίνει ακόμη πιο γρήγορα στο μέλλον.

- **Ακραία καιρικά φαινόμενα:** Κατά την τελευταία δεκαετία, υπήρξαν τρεις φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές λόγω καιρού στον κόσμο απ' ό τι τη δεκαετία του '60, όπως καύσωνες, πλημμύρες, ξηρασίες και δασικές πυρκαγιές. Όλα αυτά τα φαινόμενα έχουν μεγάλο ανθρώπινο και οικονομικό κόστος.
- **Η φύση απειλείται:** Πολλά είδη ζώων και φυτών δε θα μπορέσουν να αντιμετωπίσουν την άνοδο της θερμοκρασίας και τις αλλαγές στο φυσικό τους οικότοπο.

Σε αυτά τα πλαίσια είναι πλέον αναγκαία τόσο για τον άνθρωπο ως οντότητα που ζει και αναπαράγεται στο πλανήτη Γη όσο και για την ίδια την φύση και τον πλανήτη, η μείωση των παραγόντων που δυσχεραίνουν και επιταχύνουν την περιβαλλοντική καταστροφή. Κατά συνέπεια ο τρόπος με τον οποίο παράγεται αλλά και καταναλώνεται ενέργεια είναι βασικά σημεία τα οποία πρέπει ριζικά να αλλάξουμε (Bates, 1990). Στην κατεύθυνση αυτή και κυρίως στο να πετύχουμε παγκόσμια μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βρίσκεται το πρωτόκολλο που υπογράφηκε στο Κyoto της Ιαπωνίας στις 11 Δεκεμβρίου το 1997 όπως φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Κατανομή παγκόσμιων εκπομπών ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (Bates, 1990)

1.3 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προέκυψε από τη Σύμβαση-Πλαίσιο για τις Κλιματικές Αλλαγές που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο, τον Ιούνιο του 1992, από το σύνολο σχεδόν των κρατών. Η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση αυτή, κάνοντάς την νόμο του Κράτους τον Απρίλιο του 1994, ν.2055/1994(ΦΕΚ60Α/15-4-1994). Στόχος της Σύμβασης είναι “η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες”.

Λίγα χρόνια μετά, και συγκεκριμένα το 1997, καθορίστηκε στα πλαίσια της σύμβασης αυτής ένα σημαντικό νομικό εργαλείο για τον έλεγχο των εκπομπών, γνωστό και ως Πρωτόκολλο του Κιότο. Κεντρικός άξονας του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των βιομηχανικά αναπτυγμένων κρατών να μειώσουν τις εκπομπές έξι (6) αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012, σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Το Πρωτόκολλο προβλέπει τον εξής καταμερισμό ευθυνών ανά χώρα (Πίνακας 1)

Πίνακας 2: Προβλεπόμενη μείωση εκπομπών για την περίοδο 2008-2012 (www.europa.eu)

Ευρωπαϊκή Ένωση (των 15), Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

Υπολογίζοντας το μέσο όρο των προαναφερόμενων ετών. Τα εν λόγω 5 έτη είναι γνωστά ως πρώτη περίοδος υποχρεώσεων. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, το Πρωτόκολλο προβλέπει διάφορα μέσα, όπως: ενίσχυση ή θέσπιση εθνικών πολιτικών μείωσης των εκπομπών (αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας, προώθηση των βιώσιμων μορφών γεωργίας, ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κ.ά.) καθώς και μηχανισμούς συνεργασίας με τα άλλα συμβαλλόμενα μέρη, όπως άδειες εκπομπής και από κοινού εφαρμογή. Το Πρωτόκολλο προσφέρει ευελιξία ως προς τον τρόπο με τον οποίο οι χώρες δύνανται να επιτύχουν τους στόχους τους. Για παράδειγμα έχουν τη δυνατότητα να αντισταθμίσουν εν μέρει τις εκπομπές τους αυξάνοντας τις λεγόμενες

«καταβόθρες» (sinks), δηλαδή τα δάση, τα οποία απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Οι χώρες μπορούν επίσης να συμβάλλουν στα έξοδα έργων άλλων χωρών που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω της λεγόμενης Κοινής Εφαρμογής (JI) και του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης (CDM) που αναφέρονται ως «ευέλικτοι μηχανισμοί» και περιγράφονται παρακάτω.

- 1. Από Κοινού Εφαρμογή (ΑΚΕ) (Joint Implementation, JI):** Επιτρέπει σε χώρες που υπέγραψαν το Πρωτόκολλο και εκπληρώνουν τα καθορισμένα κριτήρια καταλληλότητας να χρηματοδοτούν ή/και να φιλοξενούν έργα παραγωγής μείωσης των εκπομπών αποκτώντας έτσι ποσοστά ή Μονάδες Μείωσης Εκπομπών (MME) (Emission Reduction Units, ERU). Οι MME προστίθενται εξ ολοκλήρου ή μέρος τους στο ποσό των Καθορισμένων Ποσοστιαίων Μονάδων (ΚΠΜ) (Assigned Amount Units, AAU), που αναλογούν στις εκπομπές της χώρας που πραγματοποιεί την επένδυση, ενώ ταυτόχρονα αφαιρούνται από το αντίστοιχο ποσό της χώρας που φιλοξενεί τέτοια έργα. Ο υπολογισμός τους βασίζεται στην εκτίμηση της πραγματοποιούμενης μείωσης εκπομπών ενός τέτοιου έργου, ως προς τη βασική γραμμή (baseline), δηλαδή το εκτιμώμενο επίπεδο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που θα υπήρχε χωρίς την πραγματοποίησή του εν λόγω έργου.
- 2. Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (ΜΚΑ) (Clean Development Mechanism) (CDM):** Καλύπτει έργα από συνεργασίες μεταξύ χωρών, του παραρτήματος Β του πρωτοκόλλου που δεν εντάσσονται σε αυτό. Οι μειώσεις ως προς τη βασική γραμμή (baseline) από έργα ΜΚΑ καλούνται Επικυρωμένες Πιστωτικές Μονάδες Μείωσης Εκπομπών (ΕΠΜΜΕ) (EPMME) (Certified Emission Reductions, CERs). Έργα για πυρηνική ενέργεια εξαιρούνται από τον ΜΚΑ. Όλα τα συμβαλλόμενα μέρη πρέπει να πληρούν τρεις βασικές απαιτήσεις: εθελοντική συμμετοχή σε ΜΚΑ, ίδρυση εθνικής αρχής έργων ΜΚΑ και επικύρωση του πρωτοκόλλου του Κιότο.
- 3. Διεθνής Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΔΕΔΕ) (International Emissions Trading, IET):** αφορά τις αγοραστικές συναλλαγές των ήδη παραγόμενων δικαιωμάτων, ενώ η από Κοινού Εφαρμογή και ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης αποτελούν μηχανισμούς παραγωγής δικαιωμάτων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Σύμφωνα με το (ΔΕΔΕ) εταιρείες ή χώρες που μείωσαν οικονομικά και αποτελεσματικά τις εκπομπές τους δύναται να πωλήσουν τις μειώσεις τους σε άλλες

που επιζητούν μειώσεις, προκειμένου να διαθέτουν τις καθορισμένες ποσοστιαίες μονάδες εκπομπών που τους αναλογούν.

Οι δύο μηχανισμοί παραγωγής δικαιωμάτων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (ΑΚΕ) και (ΜΚΑ) που αναλύθηκαν παραπάνω αφορούν:

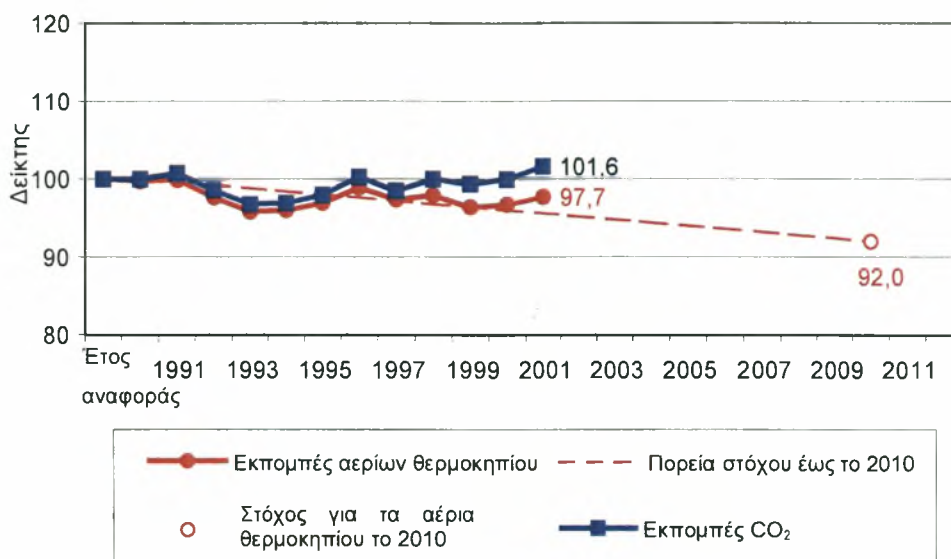
Την ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (εισαγωγή αιολικής, ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας, βιομάζας και υδροηλεκτρικών μικρής κλίμακας - μικρότερα των 20MW), μεγάλα υδροηλεκτρικά, αντικατάσταση καυσίμου (φυσικό αέριο αντί άνθρακα, βιομάζα αντί πετρελαίου), την ενεργειακή αποτελεσματικότητα (συνδυασμένος κύκλος παραγωγής θερμότητας και ισχύος, διαδικασίες βελτιστοποίησης συστημάτων φωτισμού και απομόνωσης, εξοπλισμός χαμηλής ενέργειας), την κατακράτηση και αποθήκευση διαφεύγοντος αερίου (επεξεργασία απορριμμάτων, γεωλογική κατακράτηση CO₂, συλλογή αερίου από χωματερές, βιοαέριο).

Βέβαια τα τελευταία χρόνια οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), τουλάχιστον στους κόλπους της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αναπτυχθεί και ωριμάσει στην αγορά πράγμα το οποίο διαφαίνονταν ήδη από το πιλοτικό στάδιο εφαρμογής τους, αφού μέχρι το 2002 κατείχαν το 34.6% των καταγεγραμμένων έργων ΑΚΕΔ¹ όντας δεύτερη επιλογή των επενδυτών πίσω από τα έργα ενεργειακής αποτελεσματικότητας, όμως οι εμπειρίες που αποκόμισαν οι επενδυτές σχετικά με τέτοια έργα παραγωγής μείωσης εκπομπών τους οδήγησαν σε στροφή των επιλογών τους κυρίως σε ΑΠΕ έπειτα και από την αποδοχή του πρωτοκόλλου του Κιότο από την Ρωσία και την τελική εφαρμογή του στις 16 Φεβρουαρίου του 2005.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα δέχτηκε τις δεσμεύσεις του πρωτοκόλλου του Κιότο με την απόφαση 2002/358 στις 25 Απριλίου το 2002. (<http://eur-lex.europa.eu>) αξίζει να αναφέρουμε ότι οι Η.Π.Α. δεν έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο του Κιότο παρά το γεγονός ότι κατέχουν περίπου το 22% στο παγκόσμιο χάρτη των εκπομπών CO₂. (<http://www.eia.doe.gov>). Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της ΕΕ και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα Κ-Μ της ΕΕ κύρωσαν το Πρωτόκολλο το Μάιο 2002. Η Ελλάδα το κύρωσε με το Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α'117). Το Πρωτόκολλο θέτει νομικά δεσμευτικούς στόχους και ώστε

¹ Σύμφωνα με τον κατάλογο έργων ΑΚΕΔ των Ηνωμένων Εθνών(UNFFC) και του φορέα έργων ΜΚΑ του CDMWatch

έως το 2008-2012 οι βιομηχανικές χώρες να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ως προς συγκεκριμένο έτος αναφοράς (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Στόχοι που έθεσε η Ε.Ε. για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (www.europa.eu)

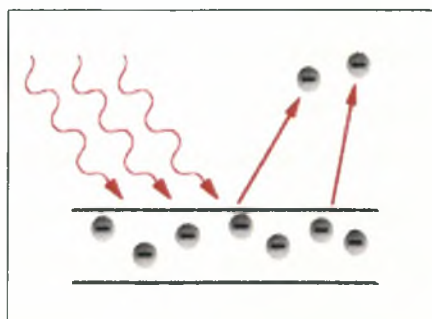
Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια στην ΕΕ-15, πράγμα το οποίο αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία, αξίζει να αναφέρουμε ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β το 1989 ανέρχονταν σε 4,4 MWp ενώ το 2000 σε 88 MWp, άρα σχεδόν εικοσαπλασιάστηκε η παραγωγή από Φ/Β. Σε αυτήν την αύξηση συντέλεσε τόσο η μείωση του κόστους των Φ/Β πάνελ όσο και το θεσμικό πλαίσιο που δημιουργήθηκε βάσει του οποίου προωθούνταν η ανάπτυξη των Φ/Β. Τελικώς τόσο η τεράστια ανάγκη να αναστείλουμε την κλιματική αλλαγή και όλες τις επιπτώσεις που αυτή επιφέρει στον πλανήτη και το περιβάλλον όσο και το υπάρχον θεμελιακό θεσμικό πλαίσιο που εξασφαλίζει το πρωτόκολλο του Κιότο μας οδηγούν στην παραγωγή ενέργειας μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 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 ενέργεια που χρειάζεται για να απομακρυνθεί από το υλικό, τότε αυτό εκτινάσσεται από το υλικό. Εάν 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, και 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, αλλά 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 η ενέργεια 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 (Καπλάνης, 2004).

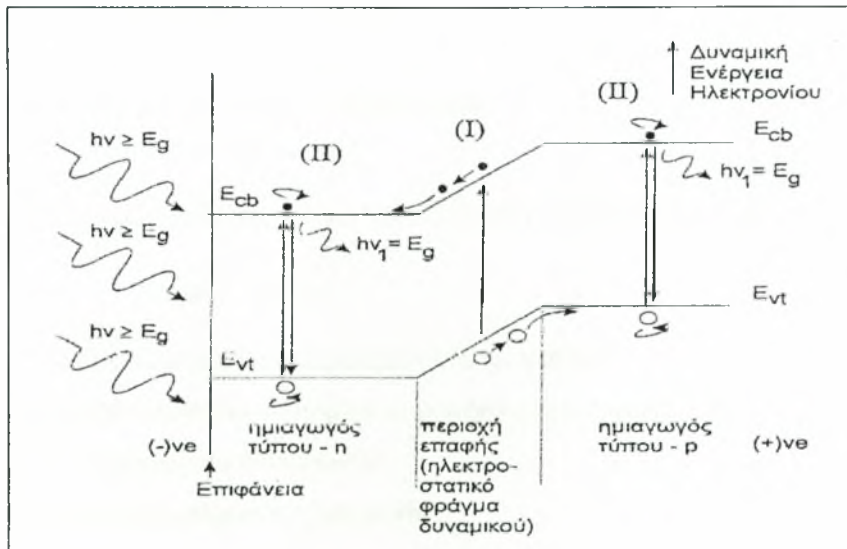


Εικόνα 5: Φωτοηλεκτρική επίδραση, όπου η εισερχόμενη ΗΜ ακτινοβολία διεγείρει τα ηλεκτρόνια απομακρύνοντάς τα από το υλικό (Καπλάνης, 2004)

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 κατωφλιού, 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 με μια πεπερασμένη κινητική ενέργεια. Ένα φωτόνιο μπορεί να εκπέμψει ένα μόνο ηλεκτρόνιο, 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 εκτίνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανεμημένο 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 την συγκέντρωσή τους πάνω στις δυο όψεις του ηλιακού στοιχείου, δηλαδή τη φωτιζόμενη και την πίσω όψη τους. Συγκεκριμένα επειδή μερικά από τα ζεύγη των φορέων αυτών δημιουργούνται μέσα ή και 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 φυσαλίδες που αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό. Στο μοντέλο αυτό, το ηλεκτρόνιο (σφαίρα) ελαχιστοποιεί τη δυναμική του ενέργεια κινούμενο προς τα κάτω, ενώ η οπή (φυσαλίδα) ελαχιστοποιεί τη δυναμική της ενέργειας κινούμενη προς τα άνω σε ένα διάφραγμα δυναμικής ενέργειας. Για παράδειγμα σε μια δίοδο p-n τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου

n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται φορτία στις δυο αντικρινές επιφάνειες και να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δυο τμημάτων του ηλιακού στοιχείου, για όσο διάστημα υπάρχει η οπτική διέγερση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών 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 (Δέρβος, 2006).



Εικόνα 6: Ηλιακό στοιχείο που αποτελείται από την επαφή ημιαγωγού τύπου-n και τύπου-p. Διάγραμμα της δυναμική ενέργειας των ηλεκτρονίων σε συνάρτηση με το βάθος από την επιφάνεια (Δέρβος, 2006).

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 6, στο ηλιακό στοιχείο προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια τιμής $E = hv \geq E_g$. 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 σπές (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:

$$E = h \cdot \nu = E_g \quad (1)$$

2.2 Μαθηματικές Εξισώσεις Περιγραφής Φαινομένου

Στην ανάλυση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες ισοδύναμες εξισώσεις:

$$hf = \phi + E_{k_{max}} \quad (2)$$

Όπου f : η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτονίου

$$\phi = hf_0 \quad (3)$$

η ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για να απομακρυνθεί ένα ηλεκτρόνιο από το υλικό.

$$E_{k_{max}} = \frac{1}{2} m v_m^2 \quad (4)$$

η μέγιστη κινητική ενέργεια ενός εκπεμπόμενου ηλεκτρονίου

f_0 : η συχνότητα κατωφλιού για να συμβεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

m : η μάζα του εκπεμπόμενου ηλεκτρονίου

v_m : η ταχύτητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρονίου

Εάν η ενέργεια του φωτονίου (hf) δεν είναι μεγαλύτερη από τη ενέργεια κατωφλιού (ϕ), κανένα ηλεκτρόνιο δεν θα εκπεμφθεί (Φραγκιαδάκης, 2007). Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας του Einstein η σχέση μεταξύ της ενέργειας (E) και της ορμής (p) ενός μορίου είναι:

$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} \quad (5)$$

2.3 Απορρόφηση της Ακτινοβολίας στα Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνειά τους. Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται πάνω στην επιφάνειά τους και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα για τα φωτόνια εκείνα με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενό του. Έτσι, η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγό υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο εκείνο το μέρος της ενέργειας που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ενώ το υπόλοιπο μεταφέρεται σαν κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από το δεσμό και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα.

Η ενέργεια ενός φωτονίου E συνδέεται με την συχνότητα της ακτινοβολίας ν και με το μήκος κύματος λ με τις σχέσεις:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (6)$$

Όπου: h : η σταθερά του Planck ($h=6,3 \times 10^{-34}$ Js)

c : η ταχύτητα του φωτός ($c=3 \times 10^8$ m/s)

Αν το ενεργειακό διάκενο είναι σε μονάδες eV και το μήκος κύματος σε μm τότε το μέγιστο χρησιμοποιήσιμο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό ενεργειακού διακένου E_g , θα είναι:

$$\lambda_g = \frac{1,238}{E_g} \quad (7)$$

Αν στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού διεισδύσει ακτινοβολία μονοχρωματικής δέσμης με φωτόνια ενέργειας $h\nu$ και έντασης H , τότε η ροή των φωτονίων Φ θα είναι:

$$\phi = \frac{H}{h\nu} = \frac{H\lambda}{hc} \quad (8)$$

Παρατηρούμε ότι για σταθερή ένταση H , η ροή Φ είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ενέργεια των φωτονίων.

Η ευκολία με την οποία απορροφούνται τα φωτόνια, δίνεται από το ρυθμό της μεταβολής της Φ με την αύξηση της απόστασης που διανύει η ακτινοβολία. Ο ρυθμός αυτός έχει αρνητική τιμή, αφού η Φ μειώνεται με την αύξηση της απόστασης x που διανύει η ακτινοβολία και είναι ανάλογος με τη συγκεκριμένη τιμή της Φ στο βάθος x , δηλαδή την $\Phi(x)$. Θα ισχύει συνεπώς η σχέση:

$$-\frac{d\Phi}{dx} = a\Phi(x) \quad (9)$$

Όπου a ο συντελεστής απορρόφησης της υπόψη ακτινοβολίας, σε αντίστροφες μονάδες μήκους.

Η λύση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης για $x=0$ και Φ_0 την αρχική τιμή της ροής των φωτονίων στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού είναι:

$$\Phi(x) = \Phi_0 \exp[-ax] \quad (10)$$

και ονομάζεται νόμος του Μπερ. Παρατηρούμε ότι ο ρυθμός απορρόφησης των φορέων είναι μεγαλύτερος κοντά στην επιφάνεια του ημιαγωγού και εξασθενεί εκθετικά με την απόσταση από αυτή (Φραγκιαδάκης, 2007).

2.4 Δημιουργία του Φωτορεύματος

Όταν ένα φωτοβολταικό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα I_{ph} , 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:

$$I_{ph} = e \cdot g \cdot (L_n + L_p) \quad (11)$$

Όπου: e : το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο

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

L_n : το μέσο μήκος διάχυσης των ηλεκτρονίων

L_p : το μέσο μήκος διάχυσης των οπών

Ως φασματική απόκριση S , ορίζεται το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φ/β στοιχείου, σε σχέση με τη ροή Φ και αποτελεί χρήσιμο μέγεθος για τον υπολογισμό του φωτορεύματος. Για ακτινοβολία μήκους κύματος λ , η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ θα είναι:

$$S(\lambda) = \frac{I_{\phi}(\lambda)}{e\Phi(\lambda)} \quad (12)$$

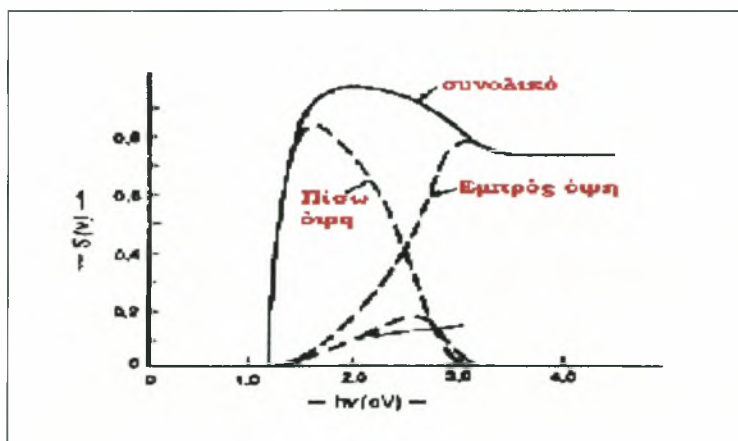
όπου $\Phi(\lambda)$: το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι $\lambda+d\lambda$.

Συνεπώς το συνολικό φωτόρευμα του στοιχείου όταν δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία, θα είναι :

$$I_{\Phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)\Phi(\lambda)d\lambda \quad (13)$$

Η τιμή της φασματικής απόκρισης και συνεπώς του φωτορεύματος ενός φ/β στοιχείου, εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού, το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων κλπ.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της φασματικής απόκρισης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου του εμπορίου σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται.

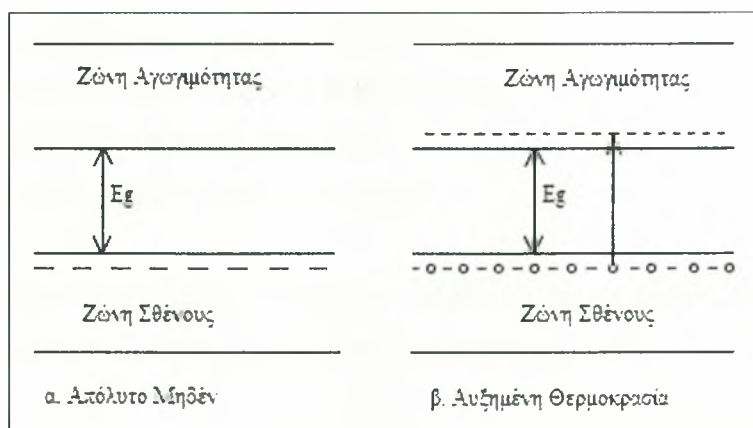


Εικόνα 7: Η μεταβολή της φασματικής απόκρισης $S(\nu)$ σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας στις περιοχές ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου: εμπρός όψη τύπου n, πίσω όψη τύπου p (Φραγκιαδάκης, 2007).

2.5 Ημιαγώγιμα Υλικά

Τα ημιαγώγιμα υλικά χαρακτηρίζονται ως τέλειοι μονωτές σε θερμοκρασία απόλυτου μηδενός με τα ανιόντα ικανά για μετάδοση θερμότητας και ενέργειας μέσω επαφής καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του υλικού. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί με βάση τη κβαντική θεωρία, σημειώνοντας ότι τα ημιαγώγιμα υλικά έχουν ενεργειακό διάκενο μεταξύ της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας. Η ζώνη σθένους αντιπροσωπεύει τις επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας των ηλεκτρονίων σθένους που αποτελούν τα όρια στα άτομα των δεκτών. Η ζώνη αγωγιμότητας αντιπροσωπεύει τις επιτρεπόμενες τιμές ενέργειας των ηλεκτρονίων που έχουν λάβει με κάποιο μηχανισμό ενέργεια και πλέον δεν αποτελούν τα όρια σε ένα συγκεκριμένο άτομο δέκτη.

Στη θερμοκρασία των 0°K , όλες οι επιτρεπόμενες στάθμες ενέργειας στη ζώνη σθένους ενός ημιαγώγιμου υλικού είναι κατηλημένες από ηλεκτρόνια ενώ στη ζώνη αγωγιμότητας οι επιτρεπόμενες στάθμες ενέργειας είναι κενές. Καθώς η διαδικασία μεταφοράς ενέργειας μέσω επαφής απαιτεί τα ανιόντα να κινούνται από τη μια στάθμη στην άλλη εντός του ενεργειακού διακένου καμία μεταφορά ενέργειας δε μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν όλες οι στάθμες είναι άδειες ή όταν όλες είναι γεμάτες (Καπλάνης, 2004).



Εικόνα 8: Καταστάσεις ζώνης σθένους και ζώνης αγωγιμότητας για ημιαγώγιμο υλικό (Καπλάνης, 2004).

Καθώς η θερμοκρασία σε ένα δείγμα ημιαγωγού αυξάνεται, μεταδίδεται επαρκής ενέργεια στο ηλεκτρόνιο ώστε να μετακινηθεί από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Όταν το ηλεκτρόνιο εγκαταλείψει τη ζώνη σθένους τότε μια θέση μένει κενή, αυτή μπορεί να καταληφθεί πλέον από ένα άλλο ηλεκτρόνιο αν αυτό μετακινηθεί προς τη θέση αυτή. Φυσικά το ηλεκτρόνιο που μετακινήθηκε στη ζώνη σθένους για να καταλάβει τη κενή θέση άφησε κενή τη θέση από την οποία προήρθε. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το ηλεκτρόνιο που μετακινείται στη ζώνη σθένους θα πρέπει να έχει είτε αρνητική ενεργό μάζα μαζί με το αρνητικό του φορτίο είτε θετική ενεργό μάζα και θετικό φορτίο. Η τελευταία είναι η συνηθέστερη περιγραφή και η κίνηση του ηλεκτρονίου μέσα στη ζώνη σθένους καλείται κίνηση οπής, όπου οπή καλούνται τα θετικά φορτισμένα ιόντα. Αυτά τα ηλεκτρόνια και οι οπές εμφανίζονται πάντα σε ζεύγη. Συνεπώς όταν ένα ηλεκτρόνιο μετακινηθεί από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας μέσα σε ένα ημιαγωγό με οποιοδήποτε τρόπο συμβάλει στη δημιουργία ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής (Καπλάνης, 2004).

2.6 Δημιουργία Ζευγών Ηλεκτρονίων-Οπών

Η ενέργεια του φωτονίου δίνεται όπως έχουμε ήδη αναφέρει από τη σχέση:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (\text{J}) \quad (14)$$

όπου: h : η σταθερά του Planck, $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J/sec

c : η ταχύτητα του φωτός $c = 2,998 \times 10^8$ m/sec

ν : η συχνότητα του φωτονίου (Hz)

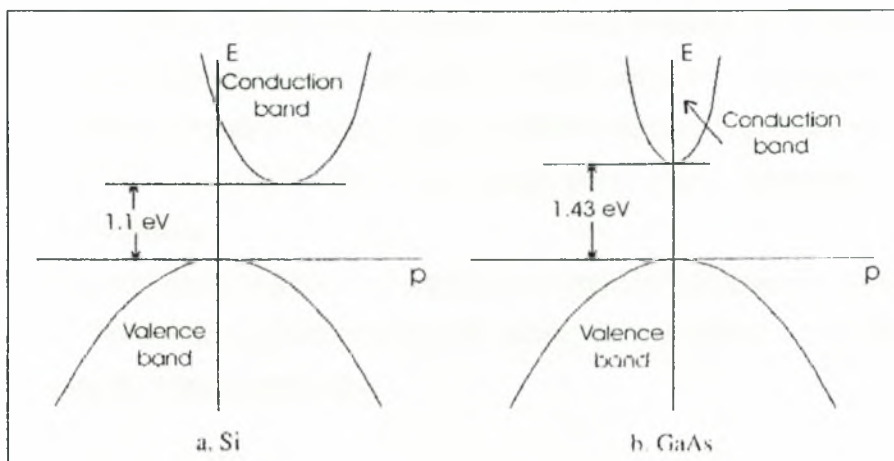
λ : το μήκος κύματος του φωτονίου (m)

Καθώς σε ατομικό επίπεδο, η ενέργεια εκφράζεται σε eV ($1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J) και το μήκος κύματος σε μm, η ενέργεια μπορεί να εκφραστεί σε eV.

$$E = \frac{1,24}{\lambda} \quad (\text{eV}) \quad (15)$$

Η ενέργεια του φωτονίου πρέπει να υπερβαίνει το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού E_g για να απορροφηθεί. Τα φωτόνια με ενέργεια ίση ή λίγο παραπάνω από την E_g είναι τα περισσότερο κατάλληλα να απορροφηθούν αφού αντιστοιχούν καλύτερα στο

ενεργειακό διάκενο και στην αρχή διατήρησης της ορμής. Ακόμη και αν το φωτόνιο έχει περισσότερη ενέργεια από αυτή του διακένου, μπορεί να παράγει ένα μόνο ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής. Το υπόλοιπο της ενέργειάς του χάνεται στο στοιχείο με τη μορφή θερμικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό είναι επιθυμητό ο αγωγός που χρησιμοποιείται για απορρόφηση του φωτός να έχει ενεργειακό διάκενο τέτοιο ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό του ηλιακού φάσματος να μπορεί να απορροφηθεί. Γνωρίζοντας ότι το σημείο αιχμής του ηλιακού φάσματος είναι σε μήκος κύματος $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$, προκύπτει ενεργειακό διάκενο $E_g = 2,5 \text{ eV}$. Η φύση του διακένου επίσης επηρεάζει το βαθμό απορρόφησης σε ένα υλικό. Καθώς τα ηλεκτρόνια μετακινούνται από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, λαμβάνει χώρα μεταφορά ενέργειας και ορμής έτσι ώστε να ισχύουν οι νόμοι της αρχής διατήρησης της ενέργειας και της ορμής. Ορισμένα ημιαγώγιμα υλικά ταξινομούνται ως υλικά άμεσου διακένου ενώ άλλα ως υλικά έμμεσου διακένου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα (Καπλάνης, 2004).



Εικόνα 9: Ενεργειακό διάγραμμα της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας συναρτήσει της ορμής του α. πυριτίου (Si) και β. αρσενικού γαλλίου (GaAs) (Καπλάνης, 2004).

Παρατηρούμε ότι για το πυρίτιο η βάση της ζώνης αγωγιμότητας είναι μετατοπισμένη στον άξονα της ορμής, απομακρυνόμενη από τη κορυφή της ζώνης σθένους. Αυτό είναι ένα έμμεσο διάκενο. Αντίθετα το διάγραμμα του GaAs είναι ένα άμεσο διάκενο όπου η βάση της ζώνης αγωγιμότητας βρίσκεται σε ευθεία με τη κορυφή της ζώνης σθένους. Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν ότι οι επιτρεπόμενες ενέργειες ενός σωματιδίου μέσα στη ζώνη σθένους εξαρτάται από την ορμή του σωματιδίου. Η

μετακίνηση του ηλεκτρονίου από ένα σημείο στη ζώνη σθένους σε ένα άλλο στη ζώνη αγωγιμότητας πρέπει να διέπεται από την αρχή διατήρησης της ενέργειας και της ορμής. Για παράδειγμα, στο πυρίτιο, η βάση της ζώνης αγωγιμότητας με την κορυφή της ζώνης σθένους διαφέρουν $1,1\text{eV}$, είναι δύσκολο για ένα φωτόνιο με ενέργεια $1,1\text{eV}$ να διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο σθένους ώστε αυτό να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας, για τον λόγο ότι η μετάβαση αυτή απαιτεί να συνοδεύεται από την ανάλογη ορμή ώστε να επιτευχθεί μετατόπιση κατά μήκος του άξονα της ορμής, όμως το φωτόνιο φέρει μικρή ορμή. Το ηλεκτρόνιο σθένους πρέπει συνεπώς ταυτόχρονα να αποκτήσει ορμή από κάποια άλλη πηγή καθώς απορροφά ενέργεια από το αρχικό φωτόνιο. Επειδή όμως τέτοια φαινόμενα είναι αδύνατον να συμβούν, η απορρόφηση χαμηλών ενεργειακά φωτονίων στο ενεργειακό διάκενο του πυριτίου είναι πολλές τάξεις μεγέθους λιγότερη πιθανή από την απορρόφηση υψηλότερων ενεργειακά φωτονίων. Καθώς τα φωτόνια διαθέτουν τόσο μικρή ορμή, καταλήγουμε ότι τα υλικά άμεσου διακένου, όπως το Αρσενικό Γάλλιο (GaAs) και το άμορφο πυρίτιο απορροφούν φωτόνια με ενέργεια κοντά στην ενέργεια διακένου του υλικού πολύ πιο εύκολα απ' ό,τι τα υλικά έμμεσου διακένου. Συνεπώς, τα υλικά απορρόφησης άμεσου διακένου μπορούν να είναι πολλές τάξεις μεγέθους λεπτότερα από ότι τα υλικά με έμμεσο διάκενο και ακόμη μπορούν να απορροφήσουν ένα σημαντικό μέρος της αρχικής ακτινοβολίας.

Η διαδικασία απορρόφησης είναι παρόμοια με πολλά άλλες φυσικές διαδικασίες. Ο ρυθμός μεταβολής της πυκνότητας του φωτός σε συνάρτηση με τη θέση είναι ανάλογος με την αρχική πυκνότητα:

$$\frac{dI}{dx} = -\alpha I \quad (16)$$

η λύση της είναι:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (17)$$

όπου I : πυκνότητα του φωτός σε βάθος x στο υλικό

I_0 : πυκνότητα στην επιφάνεια

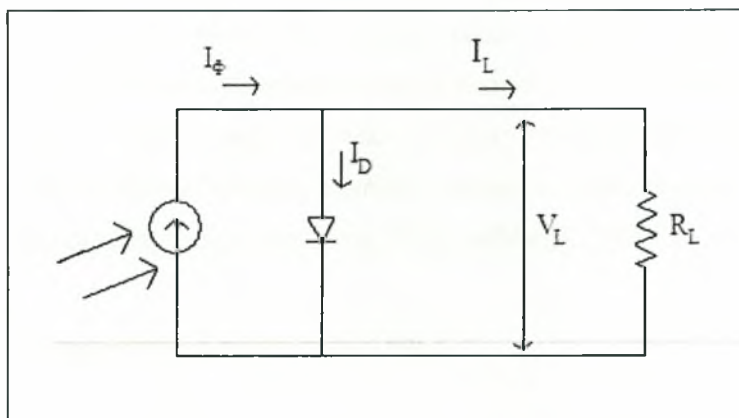
α : σταθερά απορρόφησης, εξαρτάται από το υλικό και από το μήκος κύματος.

Η εξίσωση $I = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$, δέπει την απορρόφηση των φωτονίων κοντά ή πάνω στην ένωση pn. Η τελευταία σχέση δείχνει ότι τα στοιχεία πρέπει να είναι επαρκώς παχιά για να απορροφήσουν την ακτινοβολία. Σε ορισμένες περιπτώσεις το μήκος της διαδρομής αυξάνεται προκαλώντας την ανάκλαση του φωτός από την εμπρός και πίσω επιφάνεια ενώ μέσα στο υλικό παράγονται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών.

2.7 Η Ένωση pn

2.7.1 Τάση Ανοιχτοκύκλωσης και Ρεύμα Βραχυκύκλωσης

Οι δυο σημαντικότερες παράμετροι περιγραφής την ηλεκτρική απόδοση της κυψέλης είναι η τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} . Ένα απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου φαίνεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτιζόμενου ηλιακού στοιχείου (Φραγκιαδάκης, 2007)

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μετριέται βραχυκυκλώνοντας την έξοδο και μετρώντας το τελικό ρεύμα υπό πλήρη ακτινοβολία. Αγνοώντας τη μικρή δίοδο και το ρεύμα γείωσης που διαφεύγει υπό μηδενική τάση, το ρεύμα βραχυκύκλωσης υπό αυτές τις συνθήκες είναι το φωτόρευμα I_{ph} που είναι ανάλογο προς τα φωτόνια που απορροφά το ηλιακό στοιχείο, δηλαδή $I_{sc} = I_{ph}$.

Η μέγιστη φωτοτάση παράγεται υπό συνθήκες τάσης ανοιχτοκύκλωσης. Πάλι, αγνοώντας το ρεύμα γείωσης που διαφεύγει και θέτοντας $I_L=0$ στην εξίσωση:

$$I_L = I_\Phi - I_0 \left[e^{\frac{qV_{oc}}{KT}} - 1 \right] \quad (18)$$

παίρνουμε τη τάση ανοιχτοκύκλωσης :

$$V_{oc} = \frac{KT}{Q} \cdot \ln \left(\frac{I_\Phi}{I_0} + 1 \right) \quad (19)$$

Όπου I_0 : το ανάστροφο ρεύμα κόρου της διόδου

Q : το φορτίο του ηλεκτρονίου = $1,602 \times 10^{-19}$ Coulomb

K : η σταθερά Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ Joules/Kelvin

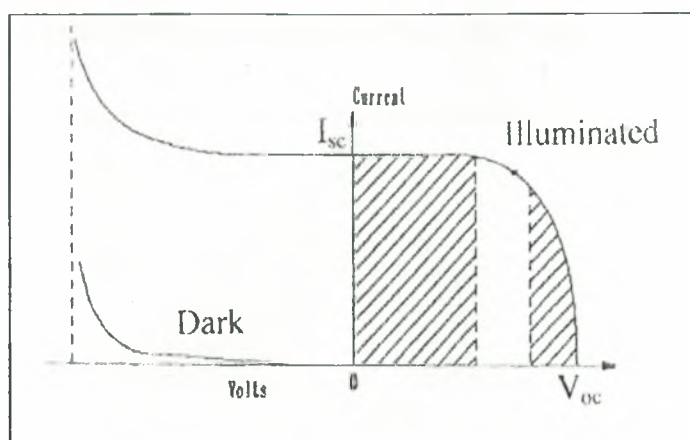
T : η απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin

V_L : η τάση στα άκρα της διόδου από τη πρόσπτωση του φωτός

Η σταθερά KT/Q είναι η απόλυτη θερμοκρασία εκφρασμένη σε τάση $300^\circ K = 0.026$ volt. Στη πραγματικότητα, το φωτόρευμα είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από το ανάστροφο ρεύμα κόρου. Για το λόγο αυτό, η τάση ανοιχτοκύκλωσης είναι πολλαπλάσιο της ποσότητας KT/Q . Υπό συνθήκες συνεχούς ακτινοβολίας, ο λόγος I_Φ/I_0 αποτελεί επαρκή λειτουργία για τη θερμοκρασία της κυψέλης, και η ηλιακή κυψέλη συνήθως εμφανίζει έναν αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή στη τάση ανοιχτοκύκλωσης (Φραγκιαδάκης, 2007).

2.7.2 Χαρακτηριστικές Καμπύλες I-V και P-V

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης γενικά αναπαρίστανται από τη καμπύλη I-V. Η παρακάτω εικόνα 2.7 δείχνει τη I-V χαρακτηριστική ενός φωτοβολταϊκού πανέλου υπό δυο διαφορετικές συνθήκες, υπό σκοτάδι και υπό φως.



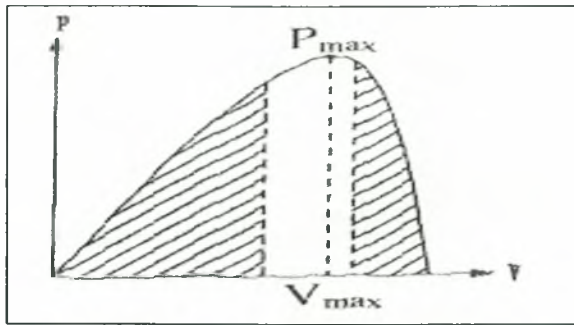
Εικόνα 11: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός φωτοβολταϊκού υπό φως και υπό σκοτάδι (Φραγκιαδάκης, 2007).

Στο πρώτο τεταρτημόριο, η αριστερή κορυφή της καμπύλης I-V υπό μηδενική τάση καλείται ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αυτό είναι το ρεύμα που μπορούμε να μετρήσουμε με τους ακροδέκτες εξόδου βραχυκυκλωμένους (μηδενική τάση). Το κάτω δεξί μέρος της καμπύλης στο μηδενικό ρεύμα καλείται τάση ανοιχτοκύκλωσης. Πρόκειται για την τάση που μετριέται ανοιχτοκυκλώνοντας τους ακροδέκτες εξόδου (μηδενικό ρεύμα). Στην αριστερή γραμμοσκιασμένη περιοχή, η κυψέλη λειτουργεί σαν μια συνεχής πηγή ρεύματος, παράγοντας τάση για να αντιστοιχεί στην αντίσταση φορτίου. Στη δεξιά γραμμοσκιασμένη περιοχή, η ένταση μειώνεται απότομα με μια μικρή άνοδο της τάσης. Σε αυτή τη περιοχή η κυψέλη λειτουργεί σαν μια συνεχή πηγή τάσης με εσωτερική αντίσταση. Κάπου μεταξύ των δυο γραμμοσκιασμένων περιοχών υπάρχει το σημείο γονάτου.

Εάν η τάση επιβάλλεται εξωτερικώς με αντίθετη κατεύθυνση, το ρεύμα διατηρείται σταθερό και απορροφάται ισχύς από τη κυψέλη. Παρόλα αυτά, πέρα από μια συγκεκριμένη αρνητική τάση, η ένωση διασπάται όπως σε μια δίοδο, και η ένταση φθάνει μια υψηλή τιμή. Στο σκοτάδι, το ρεύμα είναι μηδέν για τάση μεγαλύτερη της τάσης διάσπασης η οποία είναι η ίδια όπως και στην περίπτωση με φως. Η ισχύς εξόδου του πανέλου είναι το γινόμενο της τάσης και της έντασης εξόδου και γίνεται μέγιστη για τάση και ένταση που αντιστοιχούν στο σημείο γονάτου.

$$P_m = I_m \cdot V_m \quad (20)$$

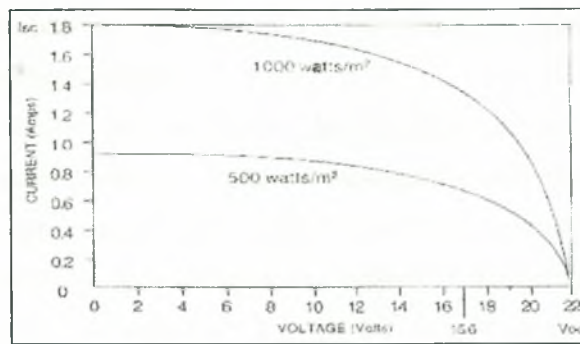
Στην εικόνα 12 παριστάνεται η ισχύς συναρτήσει της τάσης.



Εικόνα 12: Χαρακτηριστική P-V, φωτοβολταϊκού στοιχείου που ακτινοβολείται (Φραγκιαδάκης, 2007).

Παρατηρούμε ότι η κυψέλη παράγει μηδενική ισχύ για μηδενική τάση και ένταση, ενώ παράγει μέγιστη ισχύ για τάση που αντιστοιχεί στο σημείο γονάτου της I-V χαρακτηριστικής. Για το λόγο αυτό τα φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδιάζονται να λειτουργούν κοντά στο σημείο γονάτου, ελαφρώς προς την αριστερή πλευρά. Τα φωτοβολταϊκά πάνελα μοντελοποιούνται ως μια συνεχή πηγή ρεύματος.

Η παρακάτω εικόνα παριστάνει τη χαρακτηριστική ενός 22-watt πάνελου υπό δυο διαφορετικές πυκνότητες ακτινοβολίας, 1000 watt/m² και 500 watt/m². Οι καμπύλες αυτές είναι σε AM1.5 (air mass). Η μηδενική αέρια μάζα (AM0) αντιπροσωπεύει συνθήκες στο διάστημα όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι 1350 watt/m². Η μοναδιαία αέρια μάζα (AM1) αντιπροσωπεύει τις ιδανικές συνθήκες στη γη σε καθαρό αέρα με ξηρό μεσημέρι όταν η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στη γη με τη μικρότερη αντίσταση. Ο αέρας μιας τυπικής ημέρας με υγρασία και μόλυνση είναι AM1.5, το οποίο λαμβάνεται ως τιμή αναφοράς. Η προσπίπτουσα ισχύς σε μια φυσιολογική επιφάνεια μια ηλιόλουστη μέρα με AM1.5 είναι περίπου 1000 watt/m². Μια συννεφιασμένη ημέρα θα είναι χαμηλή. Η ηλιακή πυκνότητα των 500 watt/m² αποτελεί μια διαφορετική κατάσταση αναφοράς για την αναπαράσταση της I-V χαρακτηριστικής (Φραγκιαδάκης, 2007).



Εικόνα 13: Χαρακτηριστική I-V για διαφορετικής έντασης ακτινοβολίας (Φραγκιαδάκης, 2007)

Η απόδοση της φωτομετατροπής μιας φωτοβολταικής κυψέλης ορίζεται ως ακολούθως:

η = ηλεκτρική ισχύς εξόδου/ προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ στη κυψέλη

$$\eta = \frac{P_m}{H \cdot A} = \frac{I_m \cdot V_m}{H \cdot A} \quad (21)$$

όπου

H: ένταση της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ϕ/β στοιχείου

A: το εμβαδόν της επιφάνειας του ϕ/β στοιχείου

Προφανώς όσο υψηλότερη είναι η απόδοση τόσο μεγαλύτερη ισχύ εξόδου παίρνουμε υπό δεδομένη ακτινοβολία.

2.8 Ηλιακά Στοιχεία Πυριτίου

2.8.1 Επιλογή και Συμπεριφορά του Πυριτίου

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητες (έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή διακένου) δεν είναι ιδεώδεις για τη φωτοβολταική μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη ένα πλούσιο παρελθόν 3-4 δεκαετιών σαν το κύριο υλικό των διατάξεων των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. Επομένως οι ιδιότητές του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην

αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής.

Τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απολύτως ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες. π.χ. σε διαστημόπλοια σε τροχιά προς τον πλανήτη Δία με ένταση ακτινοβολίας μόλις 50 W/m^2 και θερμοκρασία $-120 \text{ }^\circ\text{C}$, ή σε άλλα διαστημόπλοια σε τροχιά προς τον Ερμή και την Αφροδίτη με ένταση ακτινοβολίας $2,5 \text{ KW/M}^2$ και θερμοκρασίας $140 \text{ }^\circ\text{C}$, ή σε συστήματα συγκεντρωμένου φωτός, στην επιφάνεια της γης, ισχύος εκατοντάδων ήλιων. Επίσης, σε πλαίσια τοποθετημένα σε κορυφές βουνών εκτεθειμένα σε χιονοθύελλες και ταχύτητες ανέμου πάνω από 100 Km/h , στο έντονο διαβρωτικό περιβάλλον της θαλάσσιας ατμόσφαιρας, σε περιοχές με μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές κλπ. Ενδεικτικό της επιτυχίας των ηλιακών στοιχείων πυριτίου είναι ο εντυπωσιακός ρυθμός της αύξησης της παραγωγής τους. Πριν από είκοσι χρόνια, η ετήσια παραγωγή των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου δεν ξεπερνούσε, σε συνολική ισχύ αιχμής, τα λίγα KWp , και προορίζονταν αποκλειστικά για τηλεπικοινωνιακούς, μετεωρολογικούς και ερευνητικούς δορυφόρους. Σήμερα η ετήσια παραγωγή τους έχει φτάσει τα 10 MWp (αύξηση περίπου 1000 φορές), από τα οποία μόλις τα 150 KWp προορίζονται για δορυφορικές ή άλλες διαστημικές εφαρμογές, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται σε επίγειες φωτοβολταϊκές διατάξεις.

Σύμφωνα με ένα θεωρητικό υπολογισμό, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων πυριτίου μπορεί να φθάσει μέχρι $23,92\%$ για συνθήκες AM1. Ο υπολογισμός έχει γίνει για ηλιακό στοιχείο πάχους $100\mu\text{m}$ με εμπρός τμήμα τύπου ή πάχους $0,2\mu\text{m}$ και ζώνη εξάντλησης πάχους $0,15 \mu\text{m}$. Το μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας θεωρήθηκε $150 \mu\text{m}$ και ο μέσος χρόνος ζωής τους $20 \mu\text{s}$, περίπου. Ένα τέτοιο στοιχείο θα έδινε τάση άνοιχτοκύκλωσης $V_{\text{DC}} = 0,7 \text{ V}$ και πυκνότητα βραχυκυκλωμένου φωτορεύματος $I_{\text{φ}} = 40 \text{ mA/cm}^2$, περίπου. Στις πρακτικές εφαρμογές τα ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου μεγάλης επιφάνειας έχουν απόδοση περίπου $10-12\%$ ή λίγο μεγαλύτερη (Καπλάνης, 2004).

2.8.2 Η διαμόρφωση της διόδου

Συνήθως, η διόδος των ηλιακών στοιχείων πυριτίου διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η εμπρός τους όψη να είναι τύπου n με προσμίξεις ατόμων φωσφόρου, και το πίσω τμήμα να είναι τύπου p με προσμίξεις ατόμων βορίου. Κατασκευάζονται όμως

επίσης στοιχεία με αντίθετη ένωση, δηλαδή εμπρός τύπου p και πίσω τύπου n, κυρίως για διαστημικές εφαρμογές, διότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις ισχυρές ακτινοβολίες. Για τους περισσότερους ημιαγωγούς, ο συντελεστής απορρόφησης έχει μία περίπου σταθερή (και μεγάλη) τιμή για όλα τα φωτόνια που απορροφούν, ενώ για το πυρίτιο αυξάνει αργά με τη μείωση του μήκους κύματος των φωτονίων. Έτσι, όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία, όπως είναι το ηλιακό φως, το μέρος της εκείνο που έχει μικρό σχετικά μήκος κύματος, απορροφάται ολόκληρο σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια. Αν π.χ. το εμπρός τμήμα του στοιχείου είναι τύπου n, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι οπές που δημιουργούνται από το φως να συναντήσουν αμέσως ελεύθερα ηλεκτρόνια (τα οποία αφθονούν στο τμήμα του τύπου n ως φορείς πλειονότητας) και να επανασυνδεθούν, πριν προλάβουν να διαχυθούν προς τη ζώνη εξάντλησης της διόδου.

Για αυτό, το εμπρός τμήμα των ηλιακών στοιχείων πυριτίου κατασκευάζεται σε πολύ λεπτό πάχος (της τάξης του μm) ώστε οι περισσότεροι φορείς, που δημιουργούνται με την απορρόφηση της ακτινοβολίας, να έχουν την ευκαιρία να πλησιάσουν προς τη ζώνη εξάντλησης και να εκτραπούν υπό την επίδραση του πεδίου της. Έτσι, καθώς οι οπές οδηγούνται προς τμήμα τύπου p και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια προς το τμήμα τύπου n, όπου και οι μεν και οι δε είναι φορείς πλειονότητας, η πιθανότητα να μην συναντήσουν αντίθετους φορείς και να μην επανασυνδεθούν (και επομένως να μπορέσουν να συμβάλλουν στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου) είναι μεγάλη. Όσο καθαρότερος είναι ένας ημιαγωγός, τόσο μεγαλύτερο μήκος διάχυσης έχουν οι φορείς του και τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχουν, ως φορείς μειονότητας, να φτάσουν στη ζώνη εξάντλησης της διόδου. Παράλληλα, για την αύξηση της παραπάνω πιθανότητας, επιδιώκεται να αποκτήσει μεγάλο πάχος η ζώνη εξάντλησης της διόδου, που πετυχαίνεται με τη διαμόρφωση του εμπρός τμήματος σε τύπου n+ (δηλαδή με μεγάλη συγκέντρωση δοτών) ενώ στο τμήμα p η συγκέντρωση αποδεκτών είναι σχετικά μικρή. Συνηθισμένες τιμές για τα ηλιακά στοιχεία του εμπορίου είναι $N_D=5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ και $N_A = 10^{16} / \text{cm}^3$ περίπου (Καπλάνης, 2004).

2.9 Χρήσεις και Επιδράσεις

Για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, όπου το ηλεκτρικό δίκτυο είναι περιορισμένο στις αστικές περιοχές και όπου ένα σημαντικό ποσοστό του αγροτικού πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση στις στοιχειώδεις υπηρεσίες ηλεκτρισμού, τα φωτοβολταϊκά θεωρούνται

ευρέως στις μέρες μας ως το καλύτερο και οικονομικότερο μέσο κάλυψης τέτοιου είδους αναγκών. Βασιζόμενα σε ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις μπορούν να παρέχουν τις βασικές ενεργειακές υπηρεσίες σε κάθε άτομο στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Η αντίστοιχη αναλογία των φωτοβολταϊκών υπολογίζεται σε περίπου 15W ανά κεφαλή (ΚΑΠΕ, 2002).

2.9.1 Γενικές χρήσεις και εφαρμογές

Αναλυτικότερα τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται:

1. Σε συστήματα άντλησης για την προμήθευση ύδατος σε χωριά, για άρδρευση της γης ή και ως απόθεμα.
2. Σε συστήματα ψύξης και ιδιαιτέρως για τη προστασία των εμβολίων, του αίματος και άλλων αναλλώσιμων σε υγιεινικά προγράμματα.
3. Στο φωτισμό. Σε δημοτικά κτίρια όπως σχολεία και ιατρικά κέντρα ώστε να επιτρέψουν την εκπαίδευση και τις δραστηριότητες τη νύχτα.
4. Σε σταθμούς φόρτισης μπαταριών. Για επαναφόρτιση μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε ποικίλες συσκευές όπως ραδιόφωνα, τηλεοράσεις και φωτιστικά.
5. Σε συστήματα ηλιακών σπιτιών ώστε να παρέχουν ισχύ για τον φωτισμό του σπιτιού και άλλων συσκευών συνεχούς τάσης (ΚΑΠΕ, 2001).

Παραδείγματα Εφαρμογών Των Φωτοβολταϊκών Στις Αναπτυσσόμενες Χώρες

- Στη γεωργία χρησιμοποιούνται για άντληση νερού, άρδρευση της γης, ηλεκτρικές περιφράξεις για εκτρεφόμενα ζώα
- Σε κοινωνικό επίπεδο βρίσκουν εφαρμογή στην άντληση νερού, σε συστήματα αφαλάτωσης, σε συστήματα καθαρισμού, σε φωτισμό σχολείων και άλλων δημοτικών κτιρίων.
- Σε οικιακό επίπεδο χρησιμοποιούνται στο φωτισμό, καθιστώντας ικανή την μελέτη και τις εσωτερικές δραστηριότητες και γενικά αυξάνοντας το βιοτικό επίπεδο.

- Σε υγειονομικό επίπεδο χρησιμοποιούνται στο φωτισμό θαλάμων, χειρουργείων, κατοικιών προσωπικού. Επίσης στον ιατρικό εξοπλισμό, στην ψύξη εμβολίων, στις τηλεπικοινωνίες (τηλεφωνικά και ασύρματα συστήματα), στην άντληση νερού καθώς και στα φώτα ασφαλείας.
- Σε επίπεδο μικροεπιχειρησιακό χρησιμοποιούνται στα φωτιστικά συστήματα επεκτείνοντας τις ώρες απασχόλησης και αυξάνοντας την παραγωγικότητα. Για την παροχή ισχύς σε μικρούς εξοπλισμούς όπως ραπτικές μηχανές, καταψύκτες, φορτιστές μπαταριών καθών και στο φωτισμό και σε ασύρματα συστήματα σε εστιατόρια, μαγαζιά και άλλες εγκαταστάσεις (ΚΑΠΕ, 2005).

3. ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα διανομής αποτελούν τμήμα των σύγχρονων Συστημάτων Ηλεκτρική Ενέργειας και μέσω αυτών διανέμεται η ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι το μεγάλο πλήθος στοιχείων από το οποίο αποτελούνται. Ως εκ τούτου προκύπτει μια τυποποίηση του τρόπου σχεδιασμού τους και των κατασκευαστικών τους στοιχείων, καθώς πρόκειται για επαναλαμβανόμενες κατασκευές εκτεινόμενες σε όλη τη χώρα. Συνεπώς η κατασκευαστική διαμόρφωση των δικτύων διανομής συνδέεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε πόλης ή περιοχής και γενικότερα ολόκληρης της χώρας. Τα συστήματα διανομής σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν υπό ορισμένους λειτουργικούς περιορισμούς. Το σύστημα καλείται να εξυπηρετεί τις απαιτήσεις τροφοδότησης φορτίου των καταναλωτών, ενώ λειτουργεί μέσα στα αποδεκτά όρια, όπως τα όρια φορτίσεως στοιχείων του συστήματος ή τα όρια τάσεως τροφοδότησης των καταναλωτών. Λόγω όμως γεγονότων, τα οποία είναι αδύνατον να προβλεφθούν, το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε μια έκτακτη κατάσταση όπου μέρος των περιορισμών δεν ικανοποιείται. Τα λειτουργικά όρια μπορούν τα ταξινομηθούν σε όρια κανονικής λειτουργίας και σε όρια έκτακτων καταστάσεων, τα οποία είναι ελαστικότερα αλλά η παραβίασή τους απαιτεί τη λήψη έκτακτων μέτρων.

Παραβίαση ορίων κανονικής λειτουργίας έχουμε όταν η τάση τροφοδότησης κάποιων καταναλωτών τις ώρες μέγιστου φορτίου είναι χαμηλή, ενώ παραβίαση των ορίων έκτακτης καταστάσεως έχουμε όταν μια περιοχή του δικτύου έχει αποκοπεί λόγω βλάβης. Το σύστημα βρίσκεται σε κανονική κατάσταση αν όλα τα φορτία τροφοδοτούνται και τα όρια εκτάκτου καταστάσεως δεν παραβιάζονται. Στην αντίθετη περίπτωση, στο σύστημα βρίσκεται σε έκτακτη κατάσταση και μέρος του δικτύου έχει αποσυνδεθεί για την απομόνωση ενός σφάλματος. Οι δυνατότητες μετάβασης μεταξύ των καταστάσεων αυτών είναι οι εξής:

1) Κανονική κατάσταση → Κανονική κατάσταση.

Όταν το σύστημα βρίσκεται σε κανονική κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή τα όρια εκτάκτου καταστάσεως ικανοποιούνται, τα όρια κανονικής λειτουργίας μπορεί να παραβιάζονται. Εάν αυτό συμβαίνει, η λειτουργία μπορεί να διορθωθεί μέσω της αναδιάταξης του συστήματος, στοχεύοντας στην εύρεση μιας διάταξης λειτουργίας

όπου οι περιορισμοί κανονικής κατάστασης ικανοποιούνται, πχ. με ισοκατανομή του φορτίου των γραμμών.

2) Κανονική κατάσταση→Μεταβατική φάση.

Η μεταβατική φάση προκύπτει όταν εμφανίζεται ένα σφάλμα. Τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης διακόπτονται από τα μέσα προστασίας ώστε να αποφευχθούν καταστροφές στον εξοπλισμό.

3) Μεταβατική φάση→Κανονική κατάσταση.

Εάν το σφάλμα είναι παροδικό, μια ταχεία παροδική απόζευξη της γραμμής από τον αυτόματο διακόπτη ισχύος μπορεί να επαναφέρει το σύστημα στην κανονική κατάσταση.

4) Μεταβατική φάση→Έκτακτη κατάσταση

Ένα μόνιμο σφάλμα επιφέρει τη λειτουργία των μέσων προστασίας και το σύστημα οδηγείται σε έκτακτη κατάσταση όπου η τροφοδότηση κάποιων φορτίων έχει διακοπεί και παραβιάζονται τα αντίστοιχα όρια.

5) Έκτακτη κατάσταση→Κανονική κατάσταση

Το σύστημα διανομής μπορεί να επανέλθει στην κανονική κατάσταση λειτουργίας μετά την αποκατάσταση της λειτουργίας των βλαβέντων στοιχείων και την επανατροφοδότηση της ζώνης σφάλματος.

6) Έκτακτη κατάσταση→Έκτακτη κατάσταση

Μετά τη διακοπή του ρεύματος βραχυκύκλωσης από το σύστημα προστασίας είναι απαραίτητος ο καθορισμός και η απομόνωση της ζώνης του σφάλματος. Έτσι μερική αποκατάσταση της τροφοδότησης είναι εφικτή μέσω της λειτουργίας διακλιπτιών του δικτύου.

Λόγω της πολυπλοκότητας και του μεγάλου πλήθους των στοιχείων τους, η μελέτη της βέλτιστης λειτουργίας και της ανάπτυξής τους γίνεται μέσω Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, μικροεπεξεργασιών και μέσων επικοινωνίας (Κάππος, 2009).

3.2 Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Δικτύων Διανομής

3.2.1 Κανονική Κατάσταση

Τα δίκτυα διανομής ελέγχονται με τους συμβατικούς τρόπους ώστε να λειτουργούν σε κανονική κατάσταση εντός συγκεκριμένων ορίων τάσης στους κόμβους σύνδεσης των

φορτίων, και φορτίσεως των αγωγών, και των μετασηματιστών. Τα τελευταία χρόνια, χάρη στην εξέλιξη τόσο του λογισμικού όσο και του υλικού είναι δυνατόν, εκτός της τήρησης των ορίων αυτών, να επιτυγχάνεται και βελτιστοποίηση της λειτουργίας. Η βέλτιστη λειτουργία υπό κανονικές συνθήκες, καθορίζεται από τις ακόλουθες λειτουργικές παραμέτρους:

- Απώλειες
- Αποκλίσεις της τάσης στα σημεία τροφοδότησης των καταναλωτών
- Αξιοπιστία τροφοδότησης

Τα μέσα που συνήθως χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας των δικτύων διανομής είναι:

- Η αναδιάταξη του δικτύου, δηλαδή η επιλογή της κατάλληλης τοπολογικής διάταξης και συνδεσμολογίας του. Τα δίκτυα διανομής ενώ λειτουργούν ακτινικά, δύναται να μπορούν να διασυνδεθούν. Σκοπός της αναδιάταξης του δικτύου είναι η ο καθορισμός των τομών, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη συνδεσμολογία.
- Ο έλεγχος της ροής άεργου ισχύος και των τάσεων μέσω της εγκατάστασης πυκνωτών αντιστάθμισης και ρυθμιστών τάσης. Εγκαθιστώντας πυκνωτές κοντά στα φορτία του δικτύου, μειώνονται οι ροές άεργου ισχύος και συνεπώς και οι τάσεις και οι απώλειες.
- Η κατάλληλη σχεδίαση της προστασίας του δικτύου. Αφορά κυρίως την επιλογή των μέσων προστασίας και των ρυθμίσεών τους όπως ασφαλειών ηλεκτρονόμων κλπ, στα δίκτυα της ΜΤ (Κάππος, 2009).

3.2.2 Έκτακτη Κατάσταση

Κατά την λειτουργία των δικτύων διανομής συμβαίνουν εξαναγκασμένες (λόγω βλαβών) ή και προγραμματισμένες (για λόγους εργασιών) θέσεις εκτός λειτουργίας κάποιων στοιχείων τους, οι οποίες μπορεί να συνεπάγονται αντίστοιχες διακοπές τροφοδότησης καταναλωτών. Στις περιπτώσεις αυτές η προκύπτουσα έκτακτη κατάσταση πρέπει να αντιμετωπιστεί με ενέργειες ελέγχου για την απομόνωση τμήματος του συστήματος που περιλαμβάνει τα βλαβέντα στοιχεία και την ταχύτερη δυνατή επανατροφοδότηση των καταναλωτών.

Στα ακτινικά δίκτυα, πρακτικά, σε περίπτωση βλάβης η λειτουργία των μέσων προστασίας οδηγεί στην απομόνωση τμήματος του δικτύου. Εάν η συνεργασία των μέσων προστασίας του δικτύου είναι πλήρης, αποκόπτεται το τμήμα που έπεται του πρώτου μέσου προστασίας από τη θέση του σφάλματος προς τους ζυγούς του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ. Πριν τη μετάβαση του δικτύου σε κανονική κατάσταση λειτουργίας (πλήρης επαναφορά), μπορεί να αποκατασταθεί η τροφοδότηση ενός μεγάλου μέρους των καταναλωτών που υπέστησαν διακοπή (μερική επαναφορά). Η διαδικασία μερικής επαναφοράς περιλαμβάνει δυο στάδια:

1. Τον περιορισμό της απομονωμένης περιοχής γύρω από την θέση του σφάλματος (ζώνη του σφάλματος). Συνήθως είναι δυνατή η επανασύνδεση μέρους του τμήματος του δικτύου που αποσυνδέθηκε από τα μέσα προστασίας, σε άλλες γραμμές και η μεταφορά φορτίων από τη ζώνη του σφάλματος.

2. Την επίτευξη κατάλληλης λειτουργίας υγιούς δικτύου (το υπόλοιπο δίκτυο εκτός από τη ζώνη του σφάλματος), ώστε να επανατροφοδοτηθούν κατά το δυνατόν περισσότεροι καταναλωτές. Κατά την προσπάθεια μεταφοράς φορτίων σε άλλες γραμμές είναι όμως πιθανό να προκύψουν υπερφορτίσεις στοιχείων του υγιούς τμήματος του δικτύου. Η τροφοδότηση των καταναλωτών εκτός της ζώνης του σφάλματος μπορεί να επιτευχθεί συνήθως με αναδιάταξη του δικτύου ώστε να ανακατανεμηθεί το φορτίο των στοιχείων του. Εάν όμως η βλάβη είναι σοβαρή, π.χ. σε κλάδο του κορμού, είναι πολλές φορές απαραίτητη εκτός από την αναδιάταξη και η αποκοπή κάποιων επιπρόσθετων φορτίων. Αντίστοιχα ισχύουν και στην περίπτωση απομόνωσης τμήματος του δικτύου για την εκτέλεση εργασιών, με τη βασική διαφορά ότι το προς απομόνωση τμήμα και οι σχετικές ενέργειες μπορούν να προμελετηθούν.

Στην πράξη, οι χειριστές του κέντρου διανομής είναι αυτοί που καλούνται να αποκαταστήσουν την τροφοδότηση των καταναλωτών του δικτύου όσο το δυνατόν συντομότερα. Αυτό προϋποθέτει τον ταχύτερο καθορισμό όλων των αναγκαίων χειρισμών διακοπών ώστε να αποκοπεί η κατάλληλη ζώνη γύρω από το σφάλμα και να αποκατασταθεί η τροφοδότηση σε όσο το δυνατόν περισσότερους από τους υπόλοιπους καταναλωτές (Κάππος, 2009).

3.3 Προγραμματισμός Ανάπτυξης Των Δικτύων Διανομής

Τα δίκτυα διανομής για να μπορέσουν να σχεδιαστούν και στην συνέχεια να υλοποιηθούν καλείται απαραίτητος ο προγραμματισμός της ανάπτυξης αυτών. Όμως το πρόβλημα του προγραμματισμού των δικτύων ΜΤ μπορεί να οριστεί με διαφορετικούς τρόπους :

- Το καθορισμό του τύπου, του μεγέθους, της θέσης, των διαδρομών, των διασυνδέσεων και του χρόνου εγκατάστασης των μελλοντικών πυκνωτών, γραμμών και υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ καθώς και του σχετικού εξοπλισμού.
- Με δεδομένα
 - A) την ανάπτυξη των φορτίων (υπάρχοντων και νέων), όπως αυτή προκύπτει από τις μελέτες πρόβλεψης φορτίου
 - B) τις θέσεις και το μέγεθος των υπάρχοντων και μελλοντικών υποσταθμών διανομής ΜΤ/ΧΤ, όπως προκύπτουν από τις μελέτες ανάπτυξης του δικτύου διανομής ΧΤ.
- Την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος για όλη τη θεωρούμενη περίοδο, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κεφαλαίου και το κόστος λειτουργίας (Κάπρος, 2001).

3.4 Ανάλυση Λειτουργίας Δικτύων Διανομής

Για την ομαλή λειτουργία των δικτύων διανομής τα χαρακτηριστικά των φορτίων που είναι συνδεδεμένα σε αυτό παίζουν σημαντικό ρόλο. Από αυτά ιδιαίτερα σημαντικά είναι τα ακόλουθα δυο χαρακτηριστικά:

1. Η εξάρτησή τους από τη τάση τροφοδότησης.
2. Τη διακύμανση τους κατά τη διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας και του έτους.
Η περιοδικότητα των διακυμάνσεων αυτών είναι απαραίτητη, για τις αναλύσεις φορτίων.

Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΜΤ και ΧΤ, δημόσια και ιδιωτικά λειτουργούν συνήθως «ακτινικά», δηλαδή κάθε καταναλωτής τους τροφοδοτείται από ένα μόνο Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ . Παρότι η βροχοειδής λειτουργία των δικτύων διανομής οδηγεί σε χαμηλότερες πτώσεις τάσης και απώλειες, η ακτινική λειτουργία έχει καθιερωθεί

διεθνώς καθώς οι διατάξεις προστασίας απλοποιούνται, τα επίπεδα σφάλματος είναι χαμηλότερα και γενικότερα το κόστος κατασκευής μειώνεται.

Τόσο στα υπόγεια όσο και στα εναέρια δίκτυα διανομής, υπάρχουν όμως διασυνδεδετικοί κλάδοι μεταξύ διαφορετικών γραμμών ή πλευρικών διακλαδώσεων μιας γραμμής για λόγους αξιοπιστίας και συνέχειας της τροφοδότησης. Επί των διασυνδέσεων αυτών υπάρχουν διακόπτες οι οποίοι σε κανονική κατάσταση λειτουργίας είναι ανοικτοί, ενώ το κλείσιμό τους οδηγεί στη δημιουργία βρόχων. Παρότι η βροχοειδής λειτουργία αποτελεί εξαίρεση, αποτελεί συνάμα απαραίτητη για μελέτες βελτιστοποίησης της λειτουργίας τους. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της μετάβασης από μια διάταξη του δικτύου σε άλλη είναι δυνατή η προσωρινή εμφάνιση βρόχων, ώστε να μην διακοπεί η τροφοδότηση τμημάτων του δικτύου. Στην κατάσταση αυτή τα δίκτυα διανομής μπορούν να χαρακτηριστούν ως “αραιώς βροχοειδή” λόγω του ότι, δεδομένης της εκτάσεώς τους παρουσιάζεται μικρός αριθμός βρόχων (Κάπρος, 2001).

Για την ανάλυση ροής φορτίου στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις μέθοδοι.

- Η Gauss-Seidel
- Η Newton-Raphson (συνήθως στην ταχεία αποζευγμένη διατύπωση)
- Οι μέθοδοι ρευμάτων βρόχων

Οι δυο πρώτες μέθοδοι βασίζονται σε εξισώσεις τάσεων κόμβων, ενώ η τρίτη βασίζεται σε εξισώσεις ρευμάτων βρόχων. Κάθε μια από τις μεθόδους αυτές είναι κατάλληλη για ένα ειδικό τύπο δικτύου.

Η μέθοδος Gauss-Seidel παρουσιάζει προβλήματα σύγκλισης όταν ο αριθμός των κλειστών βρόχων είναι μικρός και υπάρχουν μακριές γραμμές με μεγάλα φορτία στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό η μέθοδος αυτή σπάνια εφαρμόζεται στα δίκτυα διανομής. Η μέθοδος Newton-Raphson στην ταχεία αποζευγμένη διατύπωσή της αντιμετωπίζει προβλήματα σύγκλισης όταν η ωμική αντίσταση των γραμμών είναι μεγαλύτερη από την αντίδρασή τους. Το δεύτερο πρόβλημα της μεθόδου Newton-Raphson σχετίζεται με την αντιστροφή της πλήρους Ιακωβιανής μήτρας. Η μήτρα αυτή πρέπει να επαναυπολογίζεται κάθε φορά που το δίκτυο αναδιατάσσεται (Κάπρος, 2001).

3.5 Σχεδίαση Προστασίας

Η αξιοπιστία των δικτύων διανομής επηρεάζεται καθοριστικά από τη σχεδίαση και λειτουργία της προστασίας τους. Για την προστασία των γραμμών διανομής είναι επαρκής η εγκατάσταση μέσων υπερεντάσεως. Οι βασικοί στόχοι κατά το σχεδιασμό της είναι η ελαχιστοποίηση της διάρκειας ενός σφάλματος και η ελαχιστοποίηση των καταναλωτών που επηρεάζονται από το σφάλμα.

Τα εναέρια δίκτυα διανομής υπόκεινται σε δυο τύπους σφαλμάτων, τα “μεταβατικά ή παροδικά” και τα “μόνιμα σφάλματα”. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος περίπου το 75% έως 90% του συνολικού αριθμού των σφαλμάτων είναι παροδικά. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να απαλείφονται με μικρές διακοπές της τροφοδότησης της γραμμής, από αυτόματους διακόπτες ισχύος και πραγματοποιούν το κύκλο των αποζεύξεων και επαναζεύξεων, για χρονικό διάστημα αρκετό ώστε να αποσβεστεί το τόξο. Η ταχύτητα του διακόπτη ισχύος, οι ρυθμίσεις των Η/Ν του και τα άλλα χαρακτηριστικά του, επιλέγονται ώστε να διακόπτουν το ρεύμα σφάλματος πριν από τη τήξη κάποιας ασφάλειας, η οποία θα μετέτρεπε το παροδικό σφάλμα σε μόνιμο. Μόνιμα σφάλματα είναι αυτά για την αποκατάσταση των οποίων απαιτούνται ειδικές μη-αυτόματες ενέργειες. Το πλήθος των καταναλωτών που επηρεάζονται από το σφάλμα ελαχιστοποιείται μέσω της κατάλληλης επιλογής και τοποθέτησης του εξοπλισμού προστασίας.

Στα υπόγεια δίκτυα σχεδόν όλα τα σφάλματα είναι μόνιμα και αρκεί απλή διαβάθμιση των προστασιών υπερεντάσεως. Παρότι ο αριθμός των σφαλμάτων που εμφανίζονται στα υπόγεια δίκτυα είναι μικρότερος απ’ ότι στα εναέρια, συχνά επηρεάζουν μεγαλύτερο αριθμό καταναλωτών (Κάππος, 2009).

3.5.1 Βασικές Αρχές Σχεδίασης Προστασίας Δικτύων Διανομής

Η βασική αρχή της σχεδίασης της προστασίας ενός εναέριου δικτύου διανομής είναι η επιλογική συνεργασία ή διαβάθμιση των μέσων προστασίας. Η διαβάθμιση των μέσων προστασίας συνίσταται στην διαδικασία επιλογής των μέσων προστασίας από υπερεντάσεις με καθορισμένα χαρακτηριστικά χρόνου-έντασης και των θέσεων εγκατάστασής τους, ώστε να αποκαθιστούν τα πιθανά σφάλματα με συγκεκριμένη σειρά λειτουργίας. Όταν δυο σε σειρά εγκατεστημένα μέτρα προστασίας έχουν χαρακτηριστικά που παρέχουν λειτουργία σύμφωνα με μια καθορισμένη σειρά,

ονομάζονται “συνεργαζόμενα ή διαβαθμισμένα”. Κατάλληλα διαβαθμισμένα μέσα προστασίας βοηθούν:

1. στη μείωση των διακοπών τροφοδότησης λόγω παροδικών σφαλμάτων
2. στη μείωση της έκτατης επίδρασης των σφαλμάτων, ώστε να μειώνεται ο αριθμός των επηρεαζόμενων καταναλωτών
3. στον εντοπισμό του σφάλματος μειώνοντας αντίστοιχα τη διάρκεια αποκοπών φορτίων

Συνεπώς, η διαβάθμιση έγκειται στην επιλογή των μέσων προστασίας και τη ρύθμιση τους ώστε να αναπτυχθούν ζώνες που παρέχουν προστασία από παροδικά σφάλματα και μειώνουν κατά το δυνατό το μέγεθος της επηρεαζόμενης περιοχής εάν ένα σφάλμα είναι μόνιμο (Κάππος, 2009).

3.5.2 Μέσα Προστασίας

3.5.2.1 Εναέρια Δίκτυα

Τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα διανομής συνδέονται με τα εκάστοτε χαρακτηριστικά της λειτουργίας των γραμμών και περιλαμβάνουν:

1. Ασφαλειοαποζεύκτες (A/Z) ταχείας τήξης (τύπου K), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προστασία των Υ/Σ διανομής.
2. Ασφαλειοαποζεύκτες βραδείας τήξης (τύπου T), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προστασία όλων των διακλαδώσεων από τον κορμό της γραμμής.
3. Διακόπτες απομονώσεως (Δ/A), οι οποίοι χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για την προστασία των διακλαδώσεων, όταν δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική διαβάθμιση με τη χρήση A/Z βραδείας τήξης.
4. Αυτόματος διακόπτης ισχύος (Δ/I) με δυνατότητα κυκλου ζεύξεων-αποζεύξεων, ο οποίος τοποθετείται στον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ για την προστασία του κορμού της γραμμής. Η λειτουργία του ελέγχεται από τους εξής ηλεκτρονόμους (H/N) :
 - H/N Στιγμιαίας Λειτουργίας για σφάλματα Φάσεων (ΣΛΦ)
 - H/N Στιγμιαίας Λειτουργίας για σφάλματα Γης (ΣΛΓ)
 - H/N Χρονικής Καθυστέρησης Φάσεων (ΧΚΦ)
 - H/N Χρονικής Καθυστέρησης Γης (ΧΚΓ)

Οι Η/Ν φάσεων εγκαθίστανται στις τρεις φάσεις ενώ οι Η/Ν γης στον ουδέτερο κόμβο των Μ/Σ έντασης (Κάππος, 2009).

3.5.2.2 Υπόγεια Δίκτυα

Η προστασία των υπόγειων δικτύων διανομής είναι σημαντικά απλούστερη, καθώς σχεδόν όλα τα σφάλματα είναι μόνιμα. Για την προστασία τους, επαρκεί η εγκατάσταση ασφαλειών στους Υ/Σ διανομής, η οποία θα είναι φυσικά ανάλογη με την ισχύ των Μ/Σ, καθώς και Δ/Ι ελεγχόμενων από Η/Ν Στιγμιαίας Λειτουργίας στον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ.

3.5.3 Αξιοπιστία

3.5.3.1 Απαιτήσεις Αξιοπιστίας Δικτύων Διανομής

Οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις οφείλουν να παρέχουν συνεχή, καλής ποιότητας τροφοδότηση στους καταναλωτές τους, κάνοντας οικονομική χρήση του συστήματος και του εξοπλισμού τους. Με τον όρο συνεχή τροφοδότηση εννοείται η εξυπηρέτηση των αναγκών των καταναλωτών, συνοδευόμενη από συνθήκες ασφάλειας για το προσωπικό και τον εξοπλισμό. Με τον όρο τροφοδότηση καλής ποιότητας εννοείται η εξυπηρέτηση μέσα σε προκαθορισμένα όρια της τάσης και της συχνότητας.

Η διατήρηση της συνεχούς τροφοδότησης ή αξιοπιστίας τροφοδότησης των καταναλωτών αποτελεί βασικό κριτήριο κατά τη σχεδίαση των δικτύων διανομής. Το κόστος των διακοπών τροφοδότησης προκύπτει κυρίως από τη ζημιά που υφίστανται οι καταναλωτές και όχι από τη μη πώληση της ενέργειας από την ηλεκτρική επιχείρηση. Εξαρτάται δε, από το είδος των καταναλωτών, οικιακοί, βιομηχανικοί, κλπ., από τη διάρκεια των διακοπών και τη συχνότητά τους.

3.5.3.2 Δείκτες Αξιοπιστίας

Ευρέως αποδεκτές διαδικασίες για την καταγραφή των διακοπών τροφοδότησης δεν υπάρχουν. Κάθε ηλεκτρική επιχείρηση διαθέτει περισσότερο ή λιγότερο τους δικούς της κανονισμούς για την καταγραφή των στοιχείων της λειτουργίας της, και εφαρμόζει αντίστοιχες στατιστικές μεθόδους για την επεξεργασία των στοιχείων της. Οι δείκτες

που χρησιμοποιούνται ως μέτρο μέτρησης της αξιοπιστίας (με πιθανές διαφορές στην ορολογία τους) είναι οι ακόλουθοι:

- Συχνότητα διακοπών συστήματος-ΣΔΣ: ορίζεται ως ο μέσος αριθμός των διακοπών στη μονάδα του χρόνου, συνήθως χρησιμοποιείται το 1 έτος.
- Μέση συχνότητα διακοπών καταναλωτών-ΣΔΚ: ορίζεται ως ο μέσος αριθμός των διακοπών ανά επηρεαζόμενο καταναλωτή, στη μονάδα του χρόνου.
- Μέσο διακοπτόμενο φορτίο-ΔΦ: ορίζεται ως η μέση ισχύς (kVA) διακοπτόμενου φορτίου ανά μονάδα συνδεδεμένου φορτίου, στη μονάδα του χρόνου.
- Μη διανεμόμενη ενέργεια συστήματος-ΜΔΕΣ: ορίζεται ως τη ζήτηση ενέργειας που δεν καλύπτεται ετησίως λόγω διακοπών τροφοδότησης. Υπολογίζεται ως το άθροισμα ΜΔΕ όλων των καταναλωτών. Η ΜΔΕ κάθε καταναλωτή υπολογίζεται από το συνολικό αναμενόμενο χρόνο αποκοπής του και τη μέση ζήτηση ισχύος του.
- Μέση μη διανεμόμενη ενέργεια καταναλωτών-ΜΔΕΚ: ορίζεται ως η μέση ζήτηση ενέργειας που δεν καλύπτεται ετησίως λόγω διακοπών τροφοδότησης, ανά επηρεαζόμενο καταναλωτή.
- Μέση διάρκεια διακοπής καταναλωτή-ΔΔΚ: ορίζεται ως η μέση διάρκεια διακοπής τροφοδότησης ανά επηρεαζόμενο καταναλωτή στη μονάδα του χρόνου (Κάππος, 2009).

4. ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

4.1 Εισαγωγή

Καθώς τα διασυνδεδεμένα συστήματα δύναται να ταξινομηθούν ανάλογα με το μέγεθός τους και τη τοποθεσία, ένα μεγάλο διασυνδεδεμένο σύστημα φωτοβολταϊκών συνήθως καλείται σταθμός παραγωγής. Τα συστήματα αυτά τροφοδοτούν το δίκτυο, όπως ακριβώς ένας συμβατικός σταθμός παραγωγής που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ή άνθρακα. Αντίθετα τα μικρότερα συστήματα και διασκορπισμένα σε διάφορες τοποθεσίες, καλούνται διασπαρμένα συστήματα. Ο όρος διασπαρμένη παραγωγή περιλαμβάνει όλα τα είδη μικρών ηλεκτρικών γεννητριών, είτε αυτές είναι τοποθετημένες στο δίκτυο στη πλευρά του καταναλωτή είτε δεν είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Στις περισσότερες περιπτώσεις διασπαρμένης παραγωγής χρησιμοποιούνται οι κλασσικές γεννήτριες ισχύος. Η διασπαρμένη παραγωγή περιλαμβάνει μικρές γεννήτριες, που κυμαίνονται σε ισχύ από 15 έως 10.000 kW. Παραδείγματα τέτοιων αποτελούν: πετρέλαιο, στρόβιλοι καύσης, συνδυασμένου κύκλου στρόβιλοι, κυψέλες καυσίμου καθώς και παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά (Κάππος, 2009).

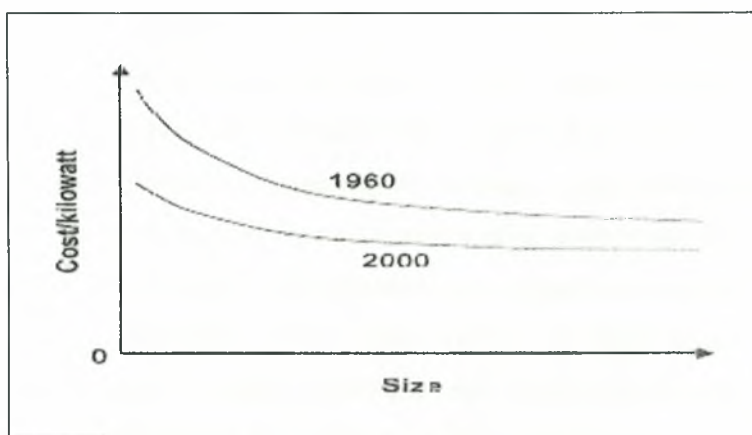
4.2 Γιατί Υπερτερεί η Διασπαρμένη Παραγωγή

Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων διασπαρμένης παραγωγής είναι ότι παρέχουν ηλεκτρισμό στη τοποθεσία όπου είναι περισσότερο απαραίτητος και θα χρησιμοποιηθεί άμεσα. Το γεγονός αυτό μειώνει τις απώλειες μεταφοράς που είναι έντονες κατά τις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Επιπροσθέτως, ο όγκος της ηλεκτρικής ισχύος που χρησιμοποιείται παγκοσμίως παράγεται στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής, όπου η πλειοψηφία αυτών είναι μεταξύ 150,000 και 180,000 kW. Το γεγονός αυτό τους καθιστά ιδιαίτερα μεγάλους τόσο σε φυσικές διαστάσεις όσο και σε απαιτήσεις των εγκαταστάσεων με αποτέλεσμα να κάνει την επιλογή του τόπου εγκατάστασης μια πραγματική πρόκληση.

Επιπλέον, η αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων στους περισσότερους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής είναι της τάξης του 28% με 35% της ενέργειας των καυσίμων τους σε χρήσιμη ηλεκτρική ισχύ. Αντιθέτως οι σύγχρονες διασπαρμένες μονάδες παραγωγής μπορούν να επιτύχουν απόδοση ίση ή που να υπερβαίνει τη μέση

απόδοση των υπαρχόντων κεντρικών σταθμών παραγωγής. Καθώς οι σύγχρονες μονάδες της διασπαρμένης παραγωγής χρησιμοποιούν τελευταίας τεχνολογίας υλικά ενσωματώνοντας προηγμένο σχεδιασμό που ελαχιστοποιεί τη φθορά και την απαιτούμενη συντήρηση και εκτενή υπολογιστικό έλεγχο που μειώνει τη λειτουργική εργασία. Αντιθέτως, οι ήδη υπάρχουσα υποδομή του κεντρικού σταθμού παραγωγής είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από 20 ετών με τη πλειοψηφία αυτής μεγαλύτερη από 50 ετών. Αυτό συνεπάγει ότι διαθέτουν κατώτερη τεχνολογία και συνεπώς χαμηλότερη απόδοση.

Ενώ οι μεγάλες σύγχρονες γεννήτριες έχουν το πλεονέκτημα της οικονομίας καυσίμου σε σχέση με τις μικρές σύγχρονες γεννήτριες, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν συμβάλει στη βελτίωση περισσότερο των μικρότερων γεννητριών (Κάπος, 2009).



Εικόνα 14: Παρότι υπάρχει μια οικονομία κλίμακας του κόστους, το πλεονέκτημα που είχαν οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής περιορίζεται συνεχώς κατά το τελευταίο μισό του 20ου αιώνα (Κάπος, 2009).

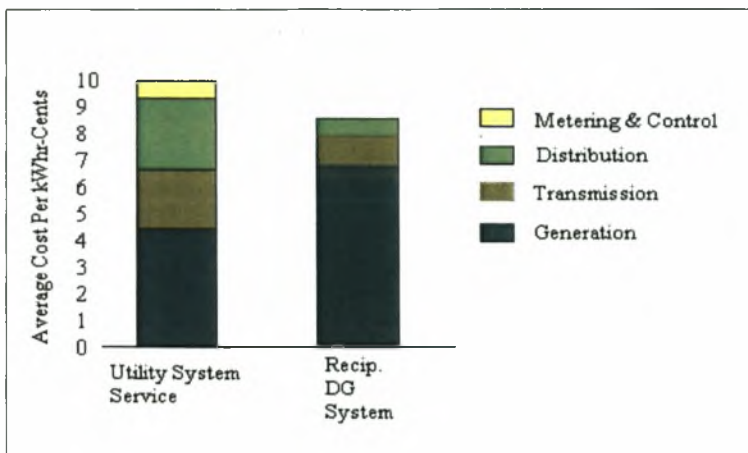
Τέσσερις λόγοι συνέτρεξαν προς αυτή τη κατεύθυνση.

- 1) Η τεχνολογική πρόοδος της μετατροπής καυσίμου συνέβαλε στην οικονομία των μικρότερων μονάδων από τις μεγαλύτερες.
- 2) Τεράστιες βελτιώσεις έχουν λάβει χώρα στη διατήρηση της θερμοκρασίας (μόνωση), ένας παράγοντας που είναι όλο και περισσότερο σημαντικός στην απόδοση όσο μικρότερη είναι η γεννήτρια.

- 3) Αλλαγή στη τιμή καυσίμων. Το κόστος καυσίμων έχει μειωθεί, γεγονός που περιορίζει τη σημαντικότητα των πλεονεκτημάτων της οικονομίας καυσίμου που διαθέτουν οι μεγάλες μηχανές. Ενώ παλιότερα τα καύσιμα αποτελούσαν τη πλειοψηφία του κόστους, και σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι το 80%, σήμερα τα καύσιμα αποτελούν μόνο το 40% του συνολικού κόστους σε όλη τη διάρκεια ζωής πολλών μικρών γεννητριών και όχι πλέον το 55% όπως στις μεγάλες, χαμηλού αρχικού κόστους μονάδες.
- 4) Αυτοματισμός και έλεγχος. Με τα σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα ελέγχου και τις τεχνολογίες καταγραφής, πολλές μονάδες παραγωγής μπορούν να είναι αυτόματες και να αυτολειτουργούν.

4.3 Η Εγγύτητα Σημαντικότερη από την Απόδοση

Οι μονάδες διασπαρμένης παραγωγής αν και δεν είναι οι φθηνότερες ή αυτές με την υψηλότερη απόδοση χρησιμοποιούνται επειδή βρίσκονται κοντά στον καταναλωτή. Για να υπερταίρουν έναντι των υπολοίπων δεν χρειάζεται να είναι οικονομικότερες από τους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής. Αρκεί όμως να είναι οικονομικότερες από τους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής και το σύστημα μεταφοράς και διανομής. Το σύστημα μεταφοράς και διανομής αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κόστος επί του αρχικού κεφαλαίου και ταυτόχρονα είναι υπεύθυνο για τα προβλήματα αξιοπιστίας της εξυπηρέτησης που γίνονται αντιληπτά από τους καταναλωτές. Μια μονάδα διασπαρμένης παραγωγής δεν απαιτεί σύστημα μεταφοράς και διανομής ακριβώς επειδή βρίσκεται ήδη εγκατεστημένη στην περιοχή όπου χρειάζεται η ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 15: Κόστος ανά kW για 3000 ώρες αρδρευτικής υπηρεσίας (Κάππος, 2009).

Από τη παραπάνω εικόνα, φαίνεται ότι η διασπαρμένη παραγωγή είναι πιο αποτελεσματική, όχι επειδή το κόστος παραγωγής της είναι χαμηλότερο (δεν είναι), αλλά γιατί είναι περισσότερο αποδοτική σχετικά με το κόστος σε σχέση με κεντρικούς σταθμούς και τις απαραίτητες βελτιώσεις στα συστήματα μεταφορά και διανομής της ενέργειας.

4.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

4.4.1 Αιολική Ενέργεια

4.4.1.1 Παραγωγή Ενέργειας

Πολλά χρόνια πριν από την ανακάλυψη των μηχανών εσωτερικής και εξωτερικής καύσης, η αιολική ενέργεια αποτελούσε τη μόνη ζωτική μορφή ενέργειας για τα ιστοπλοϊκά, τους μύλους και τις αντλίες νερού. Παρά τις ιδιαιτερότητες του ανέμου, την απρόβλεπτη ένταση και τις ανεμοθύελλες, η ενέργειά του χρησιμοποιήθηκε για πώληση και σε άλλες εφαρμογές. Η αιολική παραγωγή εκμεταλλεύεται την ενέργεια του αέρα για να κινήσει ηλεκτρικές γεννήτριες. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας διάφορα είδη ανεμογεννητριών.

Τα πλεονεκτήματα της αιολικής παραγωγής είναι τα εξής:

- i) δεν υπάρχει κόστος καυσίμου
- ii) δεν ρυπαίνει το περιβάλλον
- iii) υπάρχει γραμμική σχέση της ισχύος έναντι της σχέσης κόστους για μεγάλες εγκαταστάσεις
- iv) αντίθετα με την ηλιακή παραγωγή, η αιολική είναι πιθανή σε 24ωρη βάση

Τα μειονεκτήματά της αιολικής παραγωγής είναι τα εξής:

- i) υψηλά αρχικά κόστη
- ii) μη δυνατότητα πρόβλεψης της παραγωγής
- iii) μη ύπαρξη βιώσιμου συστήματος αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (σε αντίθεση με την ηλιακή)
- iv) ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος γενικά θεωρείται ότι είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο της ηλιακής παραγωγής

Ο άνεμος αποτελεί απλά κίνηση του αέρα. Αέρια κίνηση στα 11.8 m/s φέρει 1kW ενέργειας. Ο άνεμος μπορεί να παράγει πραγματικά καταπληκτικά ποσά ενέργειας. Η αιολική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί δίνεται από τη σχέση (Καλδέλλης, 2005).

$$P_{αερ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_R \cdot c_p \cdot v_w^3 \quad (22)$$

Από τη παραπάνω σχέση παρατηρούμε ότι η αεροδυναμική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου.

Η κινητική ενέργεια της ταχύτητας του αέρα μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητά του, σύμφωνα με τη σχέση

$$E_{κιν} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_w^2 \quad (23)$$

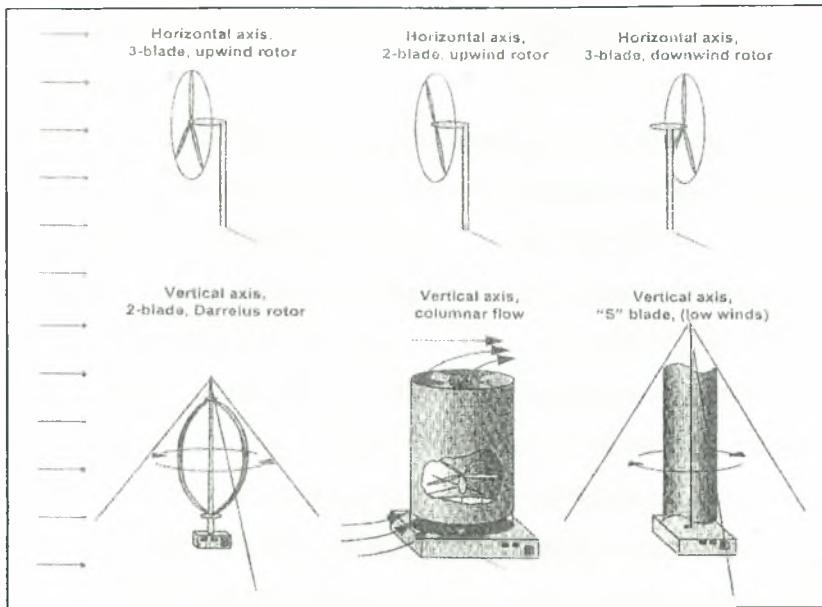
και η μάζα του αέρα που περνάει από κάθε σημείο είναι ανάλογη της ταχύτητας του αέρα, έτσι η μάζα διπλασιάζεται καθώς διπλασιάζεται η ταχύτητα. Για το λόγο αυτό, τελικά, εάν η ταχύτητα του ανέμου διπλασιαστεί, η ενέργεια πολλαπλασιάζεται με

παράγοντα το 8. Για το λόγο αυτό ταχύτητα των 5.9 m/s φέρει μόνο το 1/8 της ενέργειας της αντίστοιχης ταχύτητας των 11.8 m/s.

Τα συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας ουσιαστικά παράγουν την ενέργεια επιβραδύνοντας τον άνεμο και συλλέγοντας τη διαφορά της κινητικής ενέργειας. Ο άνεμος είναι ένα ελαστικό υγρό. Επιβραδύνοντάς τον εντελώς θα σήμαινε ότι καμία ποσότητας μάζας βρίσκεται σε κίνηση διαπερνώντας τα πτερά της γεννήτριας και η ενέργεια που θα συλλεγόταν θα ήταν μηδενική. Για το λόγο αυτό η ενέργεια αποσπάται από τον άνεμο όταν αυτός επιβραδύνεται αλλά όχι όταν ακινητοποιείται. Η μέγιστη ενέργεια που αποσπάται είναι για επιβράδυνση στο 1/3 της ταχύτητάς του, όπου επιτυγχάνεται απόσπαση του 59% της ενέργειάς του.

Μια από τις δυσκολίες στη χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι απολύτως προβλέψιμη, καθιστώντας αδύνατο το γεγονός να βασιστούμε σε αυτή εξολοκλήρου ή να θέσουμε ένα πρόγραμμα παραγωγής ή ένα αυστηρό συμβόλαιο πώλησης ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, ο παραγωγός δύναται να λάβει οποιαδήποτε ποσότητα ενέργειας είναι διαθέσιμη όταν είναι διαθέσιμη.

Γενικά η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου ακολουθεί τη κατανομή Raleigh, ενώ η διανομή της ενέργειας συναρτήσει του ανέμου είναι πολύ κοντά στην κατανομή του Gauss. Το ποσό της διαθέσιμης ενέργειας σε μηνιαία βάση ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία. Περιοχές κοντά στην ακτογραμμή και περιοχές επίπεδες έχουν υψηλότερη διαθεσιμότητα αιολικής ενέργειας. Άλλος σημαντικός παράγοντας στην απόδοση της παραγωγής αιολικής ενέργειας είναι η επιλογή του τύπου και του σχεδιασμού των ανεμογεννητριών. Οι διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών φαίνονται στην εικόνα 16 (Καλδέλλης, 2005).



Εικόνα 16: Μερικοί τύποι ανεμογεννητριών. Οι τρεις επάνω τύποι είναι οι συχνότερα και περισσότερο χρησιμοποιούμενοι (Καλδέλλης, 2005)

Όλοι οι παραπάνω τύποι ανεμογεννητριών παράγουν ενέργεια αφαιρώντας κινητική ενέργεια από τον αέρα, βασικά επιβραδύνοντάς τον. Κάθε τύπος μηχανής έχει πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων υπό ορισμένες συνθήκες ή υπό συγκεκριμένες προοπτικές. Οι ανεμογεννήτριες είναι γεννήτριες είτε σταθερών στροφών ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου είτε μεταβλητών στροφών όπου ο ρυθμός περιστροφής μεταβάλλεται ανάλογα με τη ταχύτητα του ανέμου και/ή με τις ανάγκες της απαιτούμενης ισχύς.

4.4.1.2 Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος

Οι ανεμογεννήτριες γενικά θεωρούνται μια φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία παραγωγής ενέργειας. Φυσικά, δεν παράγουν μόλυνση με τη κλασική μορφή της, και το σημαντικότερο, δεν συμβάλλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Παρόλα αυτά δεν είναι εντελώς ασφαλείς. Οι ανεμογεννήτριες περιστασιακά "πετούν" τα πτερύγιά τους, τα οποία γίνονται πολύ επικίνδυνα για απόσταση ½ μιλίου. Κατά τη διάρκεια ψυχρού καιρού, τα πτερύγια μπορεί να παγώσουν με αποτέλεσμα με το

λιώσιμο των πάγων, αυτοί να εκσφενδονίζονται κατά την περιστροφή με ταχύτητες της τάξης των 200m/h.

Ο θόρυβος αποτελεί ένα ακόμη πρόβλημα για το περιβάλλοντα χώρο. Ο αέρας καθώς περνά από τα πτερύγια παράγει ένα μικρό θόρυβο ο οποίος γίνεται αντιληπτός κοντά στην γεννήτρια. Ο θόρυβος αυτός δεν γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτός εξαιτίας ενός άλλου θορύβου που προκαλείται από την ταλάντωση του κάθε πτερυγίου όταν αυτό περνά μπροστά από τον πύργο. Για μια γεννήτρια των 500kW, σε απόσταση 100 m ο θόρυβος αυτός φθάνει το επίπεδο των 56dB καθιστώντας τον ισοδύναμο με το θόρυβο μιας μοτοσυκλέτας που κινείται με ταχύτητα 60Km/h. Ένα αιολικό πάρκο πέρα από τον προκαλούμενο θόρυβο έχει και σημαντικό οπτικό αντίκτυπο. Ενώ μια ανεμογεννήτρια δεν αποτελεί εγγενώς μια άσχημη συσκευή, παρόλα αυτά δεν είναι φυσικό ούτε ευχάριστο στα μάτια ορισμένων, με αποτέλεσμα να έχει αισθητικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο, ο οποίος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (Καλδέλλης, 2005).

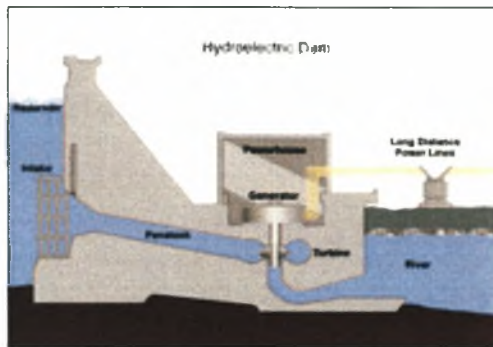
4.4.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια αποδεδειγμένη εφαρμόσιμη τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ τα περισσότερα υδροηλεκτρικά έχουν μια σημαντική υψομετρική διαφορά μεταξύ του ανώτερου και κατώτερου σημείου του νερού, είναι πιθανό να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια σε μικρές ποσότητες με μια μικρή υψομετρική διαφορά της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων και με ροή νερού ανάλογη αυτής πολλών μικρών ποταμών και μεγάλων χειμάρρων. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έχουν αξιολογηθεί εφικτά και οικονομικώς ανταγωνιστικά σε πολλές τοποθεσίες.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τη δυναμική ενέργεια φραγμένου νερού που οδηγεί έναν υδροστρόβιλο και μια γεννήτρια. Στην περίπτωση αυτή, η ενέργεια που επάγεται από το νερό εξαρτάται από τον όγκο και τη υψομετρική διαφορά μεταξύ της πηγής και του σημείου εκροής του νερού. Η υψομετρική αυτή διαφορά καλείται καθαρό ύψος πτώσης. Το ποσό της δυναμικής ενέργειας είναι ανάλογο της κεφαλής.

Ο υδροηλεκτρισμός αντλούμενος από αποθήκευση παράγει ηλεκτρισμό για να καλύψει υψηλές απαιτήσεις μετακινώντας νερό μεταξύ των ρεζερβουάρ και διαφορετικών ανυψώσεων. Σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ηλεκτρισμού, η επιπλέον ικανότητα παραγωγής χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού σε υψηλότερα ρεζερβουάρ.

Όταν υπάρχει υψηλότερη ζήτηση, το νερό απελευθερώνεται πίσω στα χαμηλότερα ρεζερβουάρ μέσω γεννήτριας. Λιγότεροι κοινοί τύποι υδροηλεκτρικών είναι εκείνοι που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του νερού ή μη φραγμένες πηγές όπως τη ροή των ποταμών, καταρράκτες, παλιρροιακή δύναμη (Κάππος, 2009).



Εικόνα 17: Υδροηλεκτρικό φράγμα (Κάππος, 2009)

Τα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής παραγωγής είναι τα εξής:

- i) Οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, παρέχουν καλή 24ωρη ημερήσια παραγωγή.
- ii) παρέχουν το μόνο εμπορικά σημαντικό μέσο για την αποθήκευση ενέργειας του δικτύου.
- iii) βελτιώνουν το συντελεστή φορτίου του συστήματος παραγωγής.
- iv) σε περίπτωση ανάγκης, μπορούν να παραχθούν 360MW ηλεκτρισμού μόλις σε 60 sec, για υδροηλεκτρικά με υψηλά ρεζερβουάρ.
- v) Αποβολή του κόστους καυσίμου. Το λειτουργικό κόστος είναι σχεδόν ανεξάρτητο από τις αυξήσεις του κόστους των ορυκτών καυσίμων.
- vi) Δεν απαιτούνται καύσιμα και συνεπώς εισαγωγές.
- vii) Οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις τείνουν να έχουν μεγαλύτερη οικονομική διάρκεια ζωής.
- viii) Τα λειτουργικά κόστη είναι χαμηλά καθώς οι εγκαταστάσεις είναι αυτοματοποιημένες και διαθέτουν λίγο προσωπικό υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας.
- ix) Δεν συμβάλλουν στις εκπομπές CO₂.

Τα μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής παραγωγής είναι τα εξής:

- i) συμβάλει στην περιβαλλοντική καταστροφή (μείωση του αριθμού του πληθυσμού του σολομού στερώντας δυνατότητα πρόσβασης σε περιοχές).
- ii) Επηρεάζει το περιβάλλον υδατόπτωσης.
- iii) Επειδή οι τουρμπίνες είναι συχνά σε περιοδική λειτουργία, παρατηρούνται ταχείες ή ημερήσιες παλινδρομήσεις του νερού.
- iv) Προβλήματα σε μεγάλα υδροηλεκτρικά μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερος καταστροφικά για τον άνθρωπο (ακόμη και πρόκληση θανάτων) (Κάππος, 2009).

4.4.3 Βιομάζα

Η βιομάζα στη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας, αναφέρεται σε ζωντανά και πρόσφατα νεκρά βιολογικά υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο ή στην βιομηχανική παραγωγή. Συνήθως η βιομάζα αναφέρεται σε φυτικά υλικά για χρήση ως βιοκαύσιμα, αλλά περιλαμβάνει επίσης και φυτικά ή ζωικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ινών, χημικών ή θερμότητας. Η βιομάζα μπορεί επίσης να περιλαμβάνει βιοδιασπώμενα απόβλητα τα οποία δύναται να καούν ως καύσιμο. Περιλαμβάνει οργανικά υλικά τα οποία μετατράπηκαν κατά τις γεωλογικές διαδικασίες σε ουσίες όπως ο άνθρακας ή το πετρέλαιο. Ως μονάδα μέτρησης συνήθως έχει το ξηρό βάρος. Ο όρος βιομάζα είναι χρήσιμος για τα φυτά όπου μερικές εσωτερικές δομές δεν μπορούν πάντα να θεωρηθούν ζωντανοί ιστοί όπως το ξύλο ενός δέντρου. Η βιομάζα αυτή παράχθηκε από φυτά τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε φυτικά υλικά μέσω της φωτοσύνθεσης. Συνεπώς ως πηγές της βιομάζας κατέληξαν να είναι υυλείμματα συγχομιδών, ενεργειακές φυτείες, δημοτικά και βιομηχανικά απόβλητα.

Η βιομάζα αναπτύσσεται σε διάφορα φυτά, συμπεριλαμβανομένων των καλαμπόκι, λεύκα, ιτιά, ζαχαροκάλαμο. Το εκάστοτε φυτό που χρησιμοποιείται δεν είναι συνήθως ιδιαίτερα σημαντικό για το τελικό προϊόν, αλλά επηρεάζει τη διαδικασία των πρώτων υλών. Παρά το γεγονός ότι η βιομάζα είναι ένα ανανεώσιμο καύσιμο, και ορισμένες φορές καλείται ανθρακικά ουδέτερο καύσιμο, η χρήση της μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διαταράσσεται η ισορροπία της ανθρακικής ουδετερότητας, για παράδειγμα με τις

αποψιλώσεις και την αστικοποίηση πράσινων περιοχών. Οι δραστηριότητες αυτές χαρακτηρίζονται ως «διαρροές άνθρακα».

Η βιομάζα είναι μέρος του κύκλου του άνθρακα. Ο άνθρακας της ατμόσφαιρας μετατρέπεται σε βιολογικό υλικό μέσω της φωτοσύνθεσης. Κατά την αποσύνθεση ή την καύση ο άνθρακας επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ή στο έδαφος. Αυτό συμβαίνει σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα και το χρησιμοποιούμενο ως καύσιμο φυτικό υλικό μπορεί να αντικαθίσταται συνεχώς με νέο. Για το λόγο αυτό ένα λογικά σταθερό επίπεδο ατμοσφαιρικού άνθρακα προέρχεται από τη χρήση του ως καύσιμο. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το ποσό του άνθρακα που αποθηκεύεται στη βιομάζα αντιστοιχεί περίπου στο 50% του βάρους της βιομάζας (Κάππος, 2009).

Άλλες χρήσεις ης βιομάζας, εκτός από καύσιμο:

- Κατασκευαστικά υλικά
- Βιοδιασπώμενα πλαστικά και χαρτί (χρησιμοποιώντας ίνες κελουλόζης)

4.4.4 Κυψέλες Καυσίμου

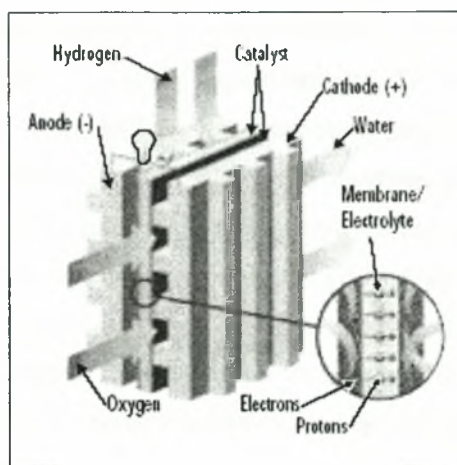
4.4.4.1 Παραγωγή Ενέργειας

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου, και για το λόγο αυτό η έρευνα για τη βελτίωση της απόδοσής της γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξ ορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του νανομέτρου.

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Η πρώτη κυψελίδα φτιάχτηκε από τον Sir William Grove, το 1839. Ωστόσο η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στο διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo ως φθηνότερη λύση από την ηλιακή ενέργεια (Κάππος, 2009).

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάση του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη

ανταλλαγής πρωτονίου (PEM). Μία κυψέλη καυσίμου PEM αποτελείται εν συντομία από τα εξής μέρη:



Εικόνα 18: Κύρια μέρη μιας κυψέλης καυσίμου (Κάππος, 2009)

Δύο ηλεκτρόδια, τα οποία διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη.

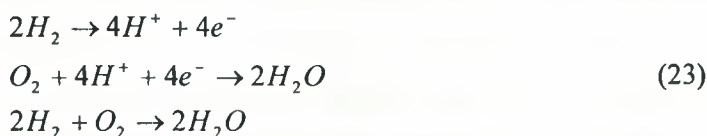
Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.

- Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια.
- Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο.
- Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο για την άνοδο και το καταλύτη διαλέγονται αγώγιμα υλικά.
- Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη

εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του.

Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας. Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί την εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.



Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου 0,7 Volts . Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack).

Τα πλεονεκτήματα των κυψέλων καυσίμου είναι τα εξής:

- i) υψηλότερη απόδοση από άλλες μορφές ορυκτών καυσίμων της διασπαρμένης παραγωγής
- ii) χαμηλή μόλυνση. Οι καλύτερες από αυτές είναι συσκευές μηδενικής μόλυνσης
- iii) παράγουν πολύ χαμηλό θόρυβο και δονήσεις
- iv) εύκολα επαναχρησιμοποιούμενη θερμότητα στην έξοδό τους, επειδή διαθέτουν καλή αναλογία καθαρής θερμότητας
- v) γρήγορη εγκατάσταση

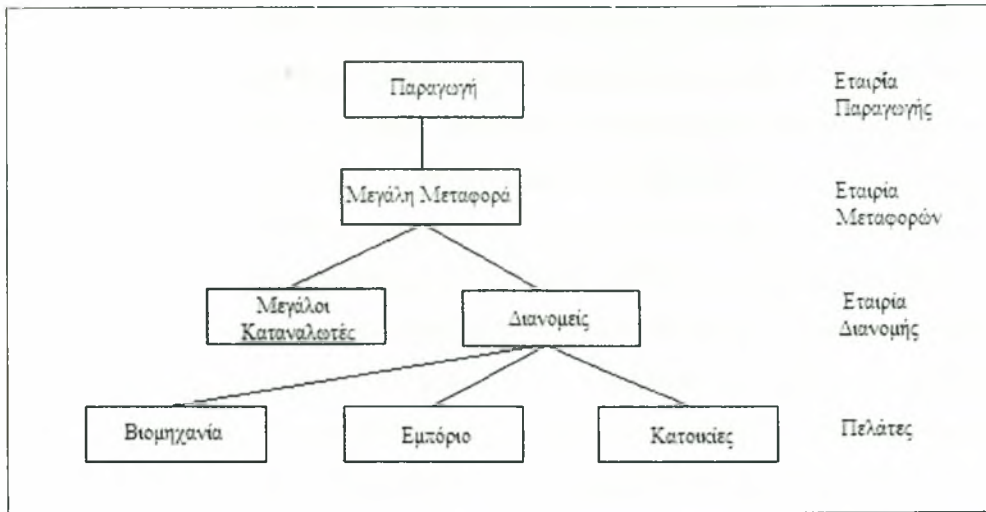
Τα μειονεκτήματα των κυψέλων καυσίμου είναι τα εξής:

- i) υψηλό αρχικό κόστος. Κοστίζουν 2 έως 10 φορές περισσότερο από ότι άλλες μορφές ορυκτών καυσίμων της διασπαρμένης παραγωγής

- ii) απαιτούνται ικανότητες συντήρησης. Εξειδικευμένο προσωπικό συντήρησης υπάρχει ελάχιστο
- iii) ευαισθησία καυσίμων. Πολλές κυψέλες καυσίμου είναι ευαίσθητες σε ακαθαρσίες του καυσίμου

4.4.5 Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι αέριο ορυκτό καύσιμο αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο αλλά συμπεριλαμβάνει και άλλες σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου, διοξειδίου του άνθρακα, άζωτο, ήλιο και σουλφίδια υδρογόνου. Δημιουργήθηκε πριν από πολλά εκατομμύρια έτη στους πυθμένες των θαλασσών από μεγάλες ποσότητες μικροοργανισμών, την απουσία αέρα και υπό την επίδραση βακτηριδίων. Κατά τη διάρκεια γεωλογικών αιώνων το υλικό αυτό βυθίστηκε και καταπλακώθηκε από μεγάλα στρώματα γης. Σήμερα, εντοπίζεται σε πετρελαιοπηγές και σε περιοχές με κοιτάσματα φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο πριν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο πρέπει να κατεργαστεί ώστε να αφαιρεθούν όλα σχεδόν τα άλλα συστατικά του εκτός από το μεθάνιο. Τα παραπροϊόντα αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνουν τα αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο, πεντάνια και υψηλότερους υδρογονάνθρακες μοριακού βάρους, στοιχειώδες θείο, και μερικές φορές ήλιο και άζωτο. Όπως είναι γνωστό, οι καταναλωτές φυσικού αερίου βρίσκονται μακριά από τις πηγές του (Λέφας, 2004). Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν διάφορα συστήματα μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων του σε μεγάλες αποστάσεις και βεβαία μεγάλης κλίμακας διεθνές εμπόριο. Η όλη διαχείριση του φυσικού αερίου μπορούμε να πούμε ότι γίνεται σε τρία τμήματα τα οποία φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα 19: Διαχείριση Φυσικού Αερίου (Λέφας, 2004)

Το μεγαλύτερο ποσοστό του φυσικού αερίου διακινείται με δίκτυα πιεστικών αγωγών. Συνεπώς, η αύξηση της δυνατότητας παροχής επιδιώκεται με αύξηση των πιέσεων. Οι ποσότητες του φυσικού αερίου μετριοούνται σε m^3 για θερμοκρασία 0°C και πίεση 1 atm. Η ακαθάριστη θερμότητα καύσης ενός m^3 φυσικού αερίου είναι περίπου 39 MJ. Τα κυριότερα προβλήματα που τίθενται στο σχεδιασμό των δικτύων είναι:

- αριθμός παραλλήλων αγωγών (ένας ή περισσότεροι)
- επιλογή διαμέτρου αγωγών
- μέγιστη πίεση λειτουργίας
- απόσταση των σταθμών συμπίεσης
- σχέση συμπίεσης των σταθμών
- αποθήκευση αερίου ή εγκατάσταση παραγωγής συμπληρωματικού αερίου για την αντιμετώπιση αιχμών

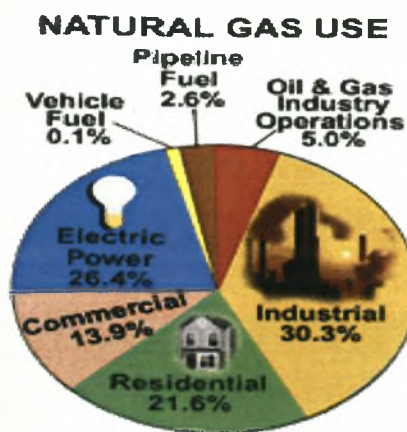
Το φυσικό αέριο αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω της χρήσης αεροστροβίλων και ατμοστροβίλων. Ιδιαίτερα υψηλές αποδόσεις μπορούν να επιτευχθούν μέσω του συνδυασμού αεροστροβίλων και ατμοστροβίλων κατά τον συνδυασμένο κύκλο. Το φυσικό αέριο καίγεται καθαρότερα σε σχέση με τα άλλα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας, και παράγει λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου ανά μονάδα παραχθήσας ενέργειας καθώς και σχεδόν μηδενικά σωματίδια στάχτης. Για μια δεδομένη ποσότητα θερμότητας καίγοντας φυσικό αέριο παράγεται περίπου 30% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα, από ότι εάν καιγόταν πετρέλαιο και 45%

λιγότερο από οτι άνθρακα. Η παραγωγή ενέργειας με χρήση συνδυασμένου κύκλου, είναι συνεπώς η καθαρότερη διαθέσιμη πηγή ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων, και χρησιμοποιείται όποτε το αέριο διατίθεται σε λογική τιμή. Παρόλα αυτά, όπως και τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα, το φυσικό αέριο επίσης επηρεάζει το περιβάλλον όταν παράγεται, αποθηκεύεται και μεταφέρεται. Επειδή αυτό παράγεται κυρίως από μεθάνιο (που αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου), μικρές ποσότητες μεθανίου μπορούν μερικές φορές να διαρρεύσουν προς την ατμόσφαιρα από τα φρεάτια, δεξαμενές αποθήκευσης και αγωγούς. Η βιομηχανία φυσικού αερίου εργάζεται προς αποφυγή οποιουδήποτε τύπου διαρροής. Η εκμετάλλευση και η διάτρηση του φυσικού αερίου πάντα θα έχει έναν αντίκτυπο στους βιότοπους εδάφους και στους θαλάσσιους βιότοπους.

Οι αγωγοί και οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου διαθέτουν πολύ καλό μητρώο ασφάλειας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί ενδεχόμενη διαρροή αερίου μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις. Καθώς το ακατέργαστο φυσικό αέριο δεν έχει οσμή, εταιρίες φυσικού αερίου προσθέτουν σε αυτό δύσοσμες ουσίες ώστε οι άνθρωποι να δύναται να αντιλαμβάνονται τυχόν διαρροή.

Σήμερα στην Αμερική περίπου στο 22% των ενεργειακών καταναλώσεων χρησιμοποιείται φυσικό αέριο. Πάνω από το 50% των σπιτιών το χρησιμοποιεί ως μέσο θέρμανσης. Συγκεκριμένα το 62,5% των νοικοκυριών το χρησιμοποιεί στις σόμπες καυσίμου, στους φούρνους, στους θερμοσίφωνες, στεγνωτήρες ενδυμάτων και σε άλλες οικιακές συσκευές.

Το ακατέργαστο φυσικό αέριο είναι επίσης ένα σημαντικό υλικό για πολλά προϊόντα όπως: μπογιές, λιπάσματα, αντιψυκτικά, πλαστικά, χρωστικές ουσίες, φωτογραφικά φιλμ, φάρμακα και εκρηκτικά. Επίσης από αυτό λαμβάνεται και το προπάνιο. Στο τομέα της βιομηχανίας επίσης χρησιμοποιείται ευρέως. Πέρα της παραγωγής ηλεκτρισμού, χρησιμοποιείται για τη παραγωγή μετάλλου, γυαλιού, χαρτιού, ρουχισμού, τούβλων και πολλών άλλων προϊόντων (Λέφας, 2004). Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι διάφοροι τομείς χρήσης του μαζί με τα αντίστοιχα ποσοστά τους.



Εικόνα 19: Ποσοστιαία κατανομή χρησιμοποίησης του φυσικού αερίου (Λέφας, 2004)

4.4.6 Φωτοβολταϊκή Ενέργεια

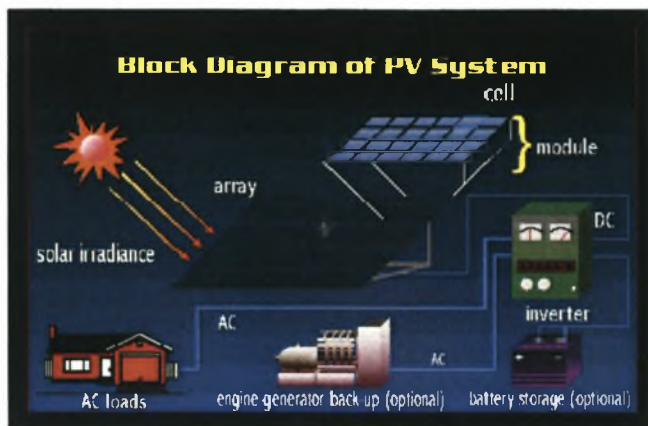
Μέχρι πριν από μερικά χρόνια τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνταν ευρέως για τη παροχή ηλεκτρισμού σε απομονωμένες περιοχές όπου δεν ήταν εφικτή η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το διασυνδεδεμένο σύστημα ή ως εφεδρική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακές αλλά και για βιομηχανικές καταναλώσεις. Η πρόοδος που επιτεύχθηκε τα τελευταία χρόνια στο τομέα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, σε συνδυασμό με το ολόένα και αυξανόμενο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον συνέβαλλαν στη δραματική επιτάχυνση της εξάπλωσης των φωτοβολταϊκών πανέλων. Η εγκατεστημένη παραγωγή αυξάνεται κατά 40% κάθε έτος με πρώτη τη Γερμανία (Hill, 1995).

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι δωρεάν και άφθονη, κάθε λεπτό ο ήλιος λούζει τη γη με ενέργεια ίση με αυτή που καταναλώνει ο παγκόσμιος πληθυσμός σε όλο το έτος, η ηλιακή ενέργεια παραμένει συνήθως ακριβότερη σε σχέση με τις μεγάλες μονάδες παραγωγής εξαιτίας του κόστους των πανέλων παρόλο που το κόστος κατασκευής τους έχει ήδη μειωθεί σημαντικά (Luque, 2003).

Τα ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό. Οι ηλιακές κυψέλες διαθέτουν ειδικά υλικά, ημιαγωγούς, τα οποία παράγουν ηλεκτρισμό κατά την έκθεσή τους στον ήλιο. Τα ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι αθόρυβα και εύκολα στη χρήση. Δεν απαιτούν άλλη μορφή καυσίμου πέρα από τον ήλιο. Επειδή δύναται να μην διαθέτουν κινητά μέρη είναι ανθεκτικά, αξιόπιστα και εύκολα στη συντήρηση (Markvart, 2003).

Οι ηλιακές κυψέλες είναι επίσης γνωστές ως φωτοβολταϊκές κυψέλες και είναι αυτές που παράγουν ηλεκτρισμό. Αυτές συνδέονται με πλήθος άλλα στοιχεία ώστε να δημιουργηθεί το ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής. Πολλά από τα συστήματα

διαθέτουν μπαταρίες, φορτιστές μπαταριών, μια γεννήτρια εφεδρείας, και έναν ελεγκτή ώστε οι καταναλωτές να μπορούν να θέσουν σε λειτουργία τα φορτία. Το διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 20 (Lakervi and Holmes, 1996).



Εικόνα 20: Στοιχεία ενός τυπικού απομονωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος (Lakervi and Holmes, 1996).

Μερικά απομονωμένα συστήματα όπως αυτά για την άντληση νερού, δεν απαιτούν εφεδρική πηγή. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα δεν απαιτούν την ύπαρξη μπαταριών ή γεννήτριας εφεδρείας καθώς χρησιμοποιούν το δίκτυο ως εφεδρεία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα της διασπαρμένης παραγωγής μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο διαμέσου ενός κατάλληλου αντιστροφέα. Αποθήκευση ενέργειας δεν είναι απαραίτητη σε αυτή τη περίπτωση. Τις ηλιόλουστες ημέρες η φωτοβολταϊκή γεννήτρια παράγει ισχύ που τροφοδοτεί μέρος των φορτίων, πχ οικιακές καταναλώσεις, ενώ η επιπλέον ενέργεια παρέχεται στο δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας και των ημερών με χαμηλή ή και καθόλου ηλιοφάνεια, τα φορτία τροφοδοτούνται αποκλειστικά από το δίκτυο. Τα ηλιακά συστήματα μπορούν να ενσωματώσουν αντιστροφεείς ή ελεγκτές ισχύος για τη μετατροπή του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ώστε να χρησιμοποιηθεί στις καταναλώσεις ή στο δίκτυο. Τα ολοκληρωμένα συστήματα συνήθως διαθέτουν αποζεύκτες, ασφάλειες και κύκλωμα γείωσης (Soeren et al, 2005).

Τα πλεονεκτήματα των απομονωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα εξής:

- i) Τα απομονωμένα συστήματα μπορούν να περιορίσουν την ανάγκη δημιουργίας νέων γραμμών σε απομονωμένες περιοχές.
- ii) Για αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές η ηλιακή ενέργεια κοστίζει λιγότερο από οποιοδήποτε άλλο τρόπο παραγωγής ηλεκτρισμού.

- iii) Μπορούν να συνδεθούν στο υπάρχον δίκτυο για να διαθέσουν τη παραγωγή τους σε περιόδους υψηλής ζήτησης.
- iv) Τα πανέλα είναι ευέλικτα, δυνατό να τοποθετηθούν στο έδαφος, σε σκεπές, σε τοίχους, σε παράθυρα.
- v) Χρειάζονται στοιχειώδη συντήρηση.
- vi) Λειτουργούν αθόρυβα και αποτελεσματικά χωρίς να μολύνουν.
- vii) Μπορούν να συνδυαστούν εύκολα με άλλους τύπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- viii) Μπορούν να φορτίζουν μπαταρίες ώστε να διατίθεται συνεχώς ενέργεια.

5. ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή

Καθώς το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνεται συνεχώς, τα διασυνδεδεμένα συστήματα γίνονται ολοένα και πιο ανταγωνιστικά. Επιπλέον, η ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης των καταναλωτών αντανακλάται σε μια προθυμία για επενδύσεις μεγάλων ποσών προκειμένου να διαθέτουν πράσινη ενέργεια. Αυτός ο φαύλος κύκλος, συνδυαζόμενος με την αύξηση ζήτησης ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές, κατέληξε στην ανάπτυξη των επιμέρους στοιχείων που συναποτελούν ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι νέες απαιτήσεις ώθησαν τους κατασκευαστές να αυξήσουν κλιμακωτά τις κατασκευαστικές δυνατότητες και να εκμεταλλευτούν τις οικονομίες κλίμακας για επιπλέον μείωση του κόστους των συστημάτων.

Επιπρόσθετα, με τη μείωση των τιμών η αυξημένη ζήτηση για φωτοβολταϊκά συστήματα έχει οδηγήσει σε σημαντικές προσπάθειες για την βελτίωση της αξιοπιστίας των συνιστάμενων μερών των φωτοβολταϊκών συστημάτων, σχεδιασμού και εγκατάστασης. Συνεπώς η υλοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνεται διαρκώς σε κόστος ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η αξιοπιστία τους.

5.2 Μη Τεχνικά Εμπόδια στα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Παρά το γεγονός ότι πολλά από τα τεχνικά προβλήματα έχουν ήδη επιλυθεί, υπάρχουν ακόμα πέντε εμπόδια που περιορίζουν τη ευρεία διάδοση χρήσης των φωτοβολταϊκών.

Πρόκειται για τα εξής:

- i) το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών πανέλων
- ii) το κόστος των συνιστάμενων επιμέρους μερών τους
- iii) την έλλειψη της συγκεκριμενοποίησης των απαιτήσεων για τα διασυνδεδεμένα
- iv) την έλλειψη εκπαιδευμένου προσωπικού και επιθεωρητών για την εγκατάσταση
- v) τη μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με τρόπο που να εξασφαλίζεται η προσφορά της ενέργειας στο σύστημα (Κάππος, 2009)

5.3 Τεχνική Θεώρηση

Το πρότυπο IEEE 929-2000 έχει αναπτυχθεί και αναφέρεται στα τεχνικά ζητήματα που αφορούν τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Το πρότυπο αυτό, θέτει τα όρια για τις διακυμάνσεις της τάσης, τις διακυμάνσεις της συχνότητας, τη προστασία από νησιδοποίηση, το παράγοντα της ισχύος, τις αρμονικές παραμορφώσεις, την επανασύνδεση ύστερα από πτώση του δικτύου και αποκατάστασής του, την σύνδεση συνεχών με εναλλασσόμενων συστημάτων, τη γείωση και τις αποσυνδέσεις. Πρωταρχική έννοια του προτύπου IEEE 929-2000 είναι η εγγύηση ότι ο αντιστροφέας θα αποσυνδεθεί από το δίκτυο αν το δίκτυο χάσει ισχύ ή ξεπεράσει τα θεσπισμένα όρια της τάσης ή της συχνότητας, ακόμη και αν τα φωτοβολταϊκά είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο.

Όταν αναλογιζόμαστε τη σύνδεση ενός φωτοβολταϊκού στο δίκτυο είναι σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ενός αντιστροφέα και μιας συμβατικής εναλλασσόμενης γεννήτριας. Αρχικά, οι περισσότεροι διασυνδεδεμένοι αντιστροφείς μπορούν να θεωρηθούν ως εξαρτώμενες πηγές ρεύματος, ενώ οι εναλλασσόμενες γεννήτριες εμφανίζονται ως πηγές τάσης. Στην περίπτωση ενός σφάλματος βραχυκύκλωσης, η γεννήτρια μπορεί να δώσει πολύ μεγάλο ρεύμα, περιοριζόμενο μόνο από την ικανότητα του κύριου κινητήρα να διατηρήσει την περιστροφή της γεννήτριας. Κάθε ποσό αποθηκευμένης ενέργειας ως εναλλασσόμενη μπορεί να καταναλωθεί σε ένα μικρό κύκλωμα ως ηλεκτρική ενέργεια. Από την άλλη πλευρά, εάν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα στην έξοδο του αντιστροφέα, λίγο μεγαλύτερο ρεύμα από εκείνο του πλήρους φορτίου θα περάσει από τον αντιστροφέα.

Επειδή ο αντιστροφέας συμπεριφέρεται σαν πηγή ρεύματος είναι ευκολότερο να διασφαλίσουμε ότι ο αντιστροφέας θα πληροί τις προϋποθέσεις για την διασύνδεση. Ο αντιστροφέας μπορεί να αντιληφθεί τη τάση και τη συχνότητα του δικτύου μόνο εάν η τάση και η συχνότητα ανήκουν μέσα στα προβλεπόμενα όρια. Το ίδιο αυτό κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διασφαλιστεί ότι το ρεύμα διαχέεται στην ίδια φάση με τη τάση. Η ευαισθητοποιημένη αυτή διάταξη κυκλωμάτων έχει υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου και μπορεί να παραμείνει συνδεδεμένη στο δίκτυο όλη την ώρα προκειμένου να καταγράφει τη σταθερότητα της τάσης και της συχνότητας του.

Γενικά, οι αντιστροφείς βασίζονται σχεδόν πάντα στην τεχνολογία μετατροπής, ελεγχόμενη από ένα μικροελεγκτή. Τα μη διασυνδεδεμένα δίκτυα δεν χρειάζονται τόσο υψηλής τεχνολογίας διάταξη κυκλωμάτων για να ικανοποιήσουν τις ανησυχίες του

διασυνδεδεμένου δικτύου και μπορούν να βασίζονται σε άλλες τεχνολογίες (Turhan Gonen, 1986).

5.4 Το πρότυπο IEEE 929-2000

5.4.1 Διαταραχές Τάσης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα επίπεδα τάσης και μέγιστου χρόνου διακοπής όπως είναι ταξινομημένα στο πρότυπο IEEE 929-2000. Τα επίπεδα της τάσης βασίζονται στα θεσπισμένα όρια από τον ANSI C84.1 για ονομαστική τάση βάσης 120V. Τα ποσοστά που βρίσκονται εντός παρενθέσεων στο πίνακα 2 είναι ανηγμένα σε άλλες βάσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις για τα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα η τάση βάσης είναι τα 120V. Ο αντιστροφέας πρέπει να έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ακολουθεί ενεργειακά τον αριθμό των κύκλων που παραθέτονται στον πίνακα 2 καθώς εμφανίζονται μεταξύ του πρώτου ορίου διαταραχής.

Ο ψηφιακά ελεγχόμενος αντιστροφέας μπορεί να αισθανθεί το όριο σε πολύ μεγάλο βαθμό δειγματοληψίας. Ο αντιστροφέας θα συνεχίσει να καταγράφει τα όρια όταν η ηλεκτρική ενέργεια αποσυνδεθεί για να επανασυνδεθεί αφού το όριο έχει σταθεροποιηθεί ξανά. Όταν ο αντιστροφέας έχει αποσυνδεθεί πρέπει να παραμείνει εκτός σύνδεσης έως ότου επιβεβαιωθεί ότι το δίκτυο έχει σταθεροποιηθεί για ένα ελάχιστο χρόνο των 5 λεπτών.

Πίνακας 2: Όρια τάσης και οι προτεινόμενοι από το IEEE 929-2000 χρόνοι διακοπής του αντιστροφέα ((Turhan Gonen, 1986).

Τάση	Μέγιστος χρόνος Διακοπής
V<60 (V<50%)	6 κύκλοι
60<V<106 (50%<V<110%)	120 κύκλοι
106<V<132 (88%<V<110%)	Φυσιολογική Λειτουργία
132<V<165 (110%<V<137%)	120 κύκλοι
165<V (137%<V)	2 κύκλοι

Τα παραπάνω στοιχεία αναφέρονται συγκεκριμένα για μικρούς αντιστροφείς αλλά πρέπει να προσαρμοστούν για αντιστροφείς για μεγάλα δίκτυα. Πρέπει να σημειωθεί

οτι οι τιμές της τάσης αναφέρονται στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο, γνωστό και ως σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ) για έναν αντιστροφέα. Εάν ο αντιστροφέας είναι τοποθετημένος σε μερική απόσταση από το ΣΚΣ μπορεί να υπάρξει πτώση τάσης στη γραμμή μεταξύ του αντιστροφέα και του ΣΚΣ. Σε μια τέτοια περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπόψη η έξοδος του αντιστροφέα, καθώς τότε η τάση εξόδου του αντιστροφέα θα είναι υψηλότερη από την τάση του ΣΚΣ.

5.4.2 Διαταραχές Συχνότητας

Το πρότυπο IEEE 929-2000 απαιτεί από τον αντιστροφέα να διακόψει τη λειτουργία του εντός 6 κύκλων εάν η συχνότητα της τάσης της γραμμής πέσει κάτω από τα 59.3Hz ή αυξηθεί πάνω από τα 60.5 Hz. Για μια ακόμη φορά, η ψηφιακή δειγματοληψία επιτρέπει πολύ ακριβείς μετρήσεις της συχνότητας από τον αντιστροφέα, εξάγοντας έναν ακριβή αλγόριθμο διακοπής.

5.4.3 Προστασία από Νησιδοποίηση

Ένα δίκτυο «νησιών» δημιουργείται όταν ένα μέρος του συστήματος που περιλαμβάνει φορτία και πηγές αποκοπεί από το υπόλοιπο του συστήματος. Εάν η πηγή του τμήματος αυτού εξακολουθήσει να το τροφοδοτεί κατά τη διάρκεια όπου το σύστημα είναι σε κατάσταση σφάλματος, το τμήμα αυτό παραμένει ηλεκτροδοτημένο και πολλά ανεπιθύμητα αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν. Ένα πρόβλημα είναι ο πιθανός κίνδυνος για τους εργαζόμενους του δικτύου που μπορεί να εργάζονται προκειμένου να αποκαταστήσουν τη βλάβη του δικτύου. Επίσης, παρουσιάζεται ένα πιθανό πρόβλημα φάσης όταν το δίκτυο επανέλθει, σε περίπτωση που η πηγή του τμήματος αυτού δεν είναι στην ίδια φάση με το δίκτυο. Για αυτούς και για άλλους λόγους είναι σημαντικό ο αντιστροφέας να αποκόπτεται από το δίκτυο, ώστε να μην είναι πιθανό να συμβεί το φαινόμενο της νησιδοποίησης και να παραμένει αποκομμένος έως ότου το δίκτυο επανέλθει σε φυσιολογική λειτουργία.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες ένας απλός αντιστροφέας θα αποκοπεί από το σύστημα σε περίπτωση φαινομένου νησιδοποίησης. Ο λόγος είναι απλά ότι το φορτίο του «νησιού» θα είναι σχεδόν πάντα πολύ μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να τροφοδοτήσει ο αντιστροφέας. Ως αποτέλεσμα, η τελική τάση του αντιστροφέα θα

πέσει κάτω από τα όρια διακοπής ή το ρεύμα του αντιστροφέα θα ξεπεράσει τη θεωρητική τιμή του και ο αυτός θα αποσυνδεθεί από το δίκτυο.

Η μεγαλύτερη ανησυχία σχετικά με το φαινόμενο της νησιδοποίησης ανακύπτει όταν περισσότεροι από ένας αντιστροφείς βρίσκονται σε λειτουργία στη περιοχή του «νησιού». Σε αυτή τη περίπτωση, είναι πιθανό να υποστηρίξουν μια διαδικασία επανατροφοδότησης στην οποία κάθε αντιστροφέας αντιλαμβάνεται τη συνδυασμένη έξοδο των υπολοίπων αντιστροφέων ως την έξοδο του δικτύου. Αυτή η πιθανότητα ενισχύεται υπό τις χειριστές συνθήκες φορτίου. Συνθήκη χειριστού φορτίου συμβαίνει εαν, η «ηλεκτρική νησίδα» δημιουργείται από σφάλμα του δικτύου, η τάση της «νησίδας» δεν μεταβάλλεται γρήγορα σε μια σταθερής κατάστασης τιμή σφάλματος. Αυτό θα συμβεί υπό τις εξής δυο προϋποθέσεις: συντονισμού στη συχνότητα του δικτύου και τα φορτία των κινητήρων της «νησίδας», όπως οι ακονιστές ή λειαντικοί τροχοί, να συνεχίζουν να περιστρέφονται παρότι η ισχύς έχει απομακρυνθεί από τον κινητήρα. Ένας τρόπος υπερπήδησης της συνθήκης χειρότερης φόρτισης και αποκοπής από το φορτίο είναι μια διαδικασία, η οποία αποτελείται από δυο αλγόριθμους, τον SFS (Sandia Frequency Shift) και τον SVS (Sandia Voltage Shift).

Ο SFS είναι ένας αλγόριθμος ελέγχου που παρέχει μιας επιταχυνόμενης συχνότητας μετακίνηση με θετική επανατροφοδότηση. Η συχνότητα του αντιστροφέα ελέγχεται να ολισθαίνει μακριά από τη συχνότητα του δικτύου, εκτός εαν το δίκτυο εμφανίζεται να κλειδώνει στη συχνότητα του αντιστροφέα. Εαν η συχνότητα του δικτύου ή της «νησίδας», όπως μπορεί να τύχει, ξεκινάει να μετακινείται είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, ο αλγόριθμος ελέγχου της συχνότητας του αντιστροφέα προκαλεί τη μετακίνησή της ακόμη πιο γρήγορα και προς την ίδια κατεύθυνση. Εαν υπάρχει τάση στο δίκτυο, τότε σε χρόνο μηδενικής διάσχισης για την τάση του δικτύου, ο κύκλος του αντιστροφέα ρυθμίζεται εκ νέου στη συχνότητα του δικτύου.

Εαν υπάρχει τάση στο δίκτυο, για να κλειδώσει στη συχνότητα του αντιστροφέα ρεύματος, θα συνεχίσει να μετακινείται μακριά από την συχνότητα του δικτύου εως ότου φθάσει το σημείο διακοπής, στο οποίο ο αντιστροφέας αποσυνδέεται ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι η συχνότητά του είναι εκτός της επιτρεπόμενης κλίμακας.

Ο αλγόριθμος SVS είναι ένας όμοιος ασταθής αλγόριθμος ελέγχου που εφαρμόζεται στον αντιστροφέα ρεύματος καθώς ανιχνεύεται η τάση. Όταν η τάση αυξάνεται, το ρεύμα εξόδου αυξάνεται, και όταν η τάση μειώνεται, το ρεύμα εξόδου μειώνεται. Το

όφελος από το βρόγχο επανατροφοδότησης θέτεται έτσι ώστε για ένα 1% διακύμανσης της τάσης του δικτύου, προκύπτει ένα 2% διακύμανση στο ρεύμα του αντιστροφέα.

Ο συνδυασμός των αλγορίθμων ελέγχου SFS και SVS σε έναν αντιστροφέα έχει αποδειχτεί ότι παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο αποσύνδεσης από το δίκτυο όταν πολλαπλοί αντιστροφείς συνδέονται σε συνθήκες χειρίστης περίπτωσης φορτίου. Η πιθανότητα ενός φορτίου «νησίδας» με Q εντός του ορίου διακοπής της συχνότητας του δικτύου θεωρείται να είναι κατ' ουσίαν μηδέν, έτσι οι αλγόριθμοι ελέγχου, συνδυασμένοι με τα όρια διακοπής της συχνότητας και της τάσης παρέχουν αποτελεσματική προστασία στους αντιστροφείς κατά της νησιδοποίησης.

Καθώς η ανιχνευτική κυκλωματική διάταξη των αντιστροφέων δεν αποσυνδέεται από το δίκτυο, όταν το δίκτυο αποκαταστείται ο αντιστροφέας είναι ικανός να παρακολουθεί τη συχνότητα και τη τάση του δικτύου για χρόνο καθορισμένο από το πρότυπο IEEE 929-2000. Ο αντιστροφέας τότε, είτε επανασυνδέεται αμέσως με πλήρη ικανότητα είτε σταδιακά αυξάνει την ικανότητά του σε πλήρη, εξαρτώμενος από τον αλγόριθμο ελέγχου της εξόδου του (Turan Gonen, 1986).

5.4.4 Συντελεστής Ισχύος

Ο αντιστροφέας πρέπει να λειτουργεί με συντελεστή ισχύος μεγαλύτερο του 0.85 επαγωγικό ή χωρητικό. Με την έγκριση του φορέα διαχείρισης του δικτύου, μπορεί να είναι αποδεκτό ο αντιστροφέας να λειτουργεί με συντελεστή ισχύος επαγωγικό, μικρότερο από 0.85 για να αντισταθμίζει το χωρητικό συντελεστή ισχύος του δικτύου. Η κατάσταση αυτή μπορεί εύκολα να παρακολουθηθεί από τον αντιστροφέα, καθώς η τάση και το ρεύμα ανιχνεύονται ήδη για άλλους σκοπούς.

5.4.5 Επανασύνδεση μετά από Σφάλμα Δικτύου και Αποκατάσταση

Το πρότυπο IEEE 929-2000 συνιστά μια καθυστέρηση των 5 λεπτών αφού η ισχύς του δικτύου αποκατασταθεί πριν επανασυνδεθεί ο αντιστροφέας στο δίκτυο. Ο λόγος για την αναμονή είναι η αποφυγή να ξανασυμβεί σύνδεση/αποσύνδεση. Συχνά τα δίκτυα χρησιμοποιούν αυτόματους διακόπτες για να αποκαταστήσουν τη λειτουργία. Μερικά από τα σφάλματα των δικτύων διορθώνονται μόνα τους σε σύντομο χρονικό διάστημα, όμως μερικά άλλα, όπως οι πεσμένες γραμμές από ατύχημα ή καταιγίδες, παραμένουν προβληματικές καθώς ο διακόπτης προσπαθεί να ρυθμίσει εκ νέου το σύστημα για

δεύτερη και για τρίτη φορά. Εάν το σφάλμα παραμείνει, τότε το δίκτυο πρέπει να παραμείνει αποσυνδεδεμένο. Για το λόγο αυτό, είναι επιθυμητό να έχουμε το δίκτυο σε λειτουργία σε κανονικό επίπεδο για επαρκή χρόνο προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερότητα πριν ξανασυνδεθεί ο αντιστροφέας (Turan Gonen, 1986).

5.4.6 Έγχυση συνεχούς σε εναλλασσόμενο σύστημα

Ο αντιστροφέας δε πρέπει να διαχέει συνεχές ρεύμα μέσα στο εναλλασσόμενο σύστημα περισσότερο από το 0.5% του εναλλασσόμενου ρεύματος εξόδου του υπό οποιαδήποτε συνθήκη λειτουργίας του αντιστροφέα. Πρωταρχικός λόγος για να διατηρείται το συνεχές εκτός δικτύου είναι η επίδρασή του στα επαγωγικά φορτία. Με ένα συνδυασμό εφαρμογής εναλλασσόμενου με συνεχούς στα πηνία, αυτά μπορούν να φθάσουν στον κορεσμό καταλήγοντας σε απώλειες υστέρησης πέρα από τα όρια της συσκευής. Η τροποποίηση της σύνδεσης αποτελεί έναν τρόπο για να διαφυλαχθεί το συνεχές από το να συνδεθεί στο δίκτυο, αλλά είναι ακριβή και όχι απαραίτητη. Υπάρχουν και άλλες σχεδιαστικές επιλογές εξίσου αξιόπιστες και λιγότερο δαπανηρές. Επειδή ο αντιστροφέας παρακολουθεί το ρεύμα του, μπορεί να προγραμματιστεί να διακόπτει τη λειτουργία του εάν χρειάζεται να αναπτύξει υπερβολικά μεγάλο συνεχές ρεύμα στην έξοδό του (Turan Gonen, 1986).

5.4.7 Γείωση

Για τις γειώσεις προβλέπεται ότι οι συνδέσεις σε ένα πάνελ ή σε μια συστοιχία αυτών θα πρέπει να είναι διατεταγμένες έτσι ώστε η μετακίνηση ενός πάνελ από ένα κύκλωμα φωτοβολταϊκών σε ένα άλλο φωτοβολταϊκό σύστημα να μην εμποδίζεται από ένα γειωμένο αγωγό. Ένα σύνολο από πάνελ διασυνδεδεμένα σαν σύστημα στα 50V ή λιγότερα, με ή χωρίς σύστημα διόδων και διαθέτοντας μια μονή συσκευή υπερέντασης πρέπει να θεωρούνται ως κύκλωμα μιας πηγής. Επιπλέον συσκευές υπερέντασης που χρησιμοποιούνται για την αποκλειστική προστασία των φωτοβολταϊκών πάνελ δεν πρέπει να θεωρούνται σαν συσκευές υπερέντασης για τους σκοπούς αυτού του τμήματος. Από τα παραπάνω εξάγονται δυο πολύ βασικά σημεία αναφοράς. Αρχικά, ότι ένα κύκλωμα φωτοβολταϊκών πρέπει να αποτελείται από έναν συνδυασμό από παράλληλες σειρές πάνελ, εξασφαλίζοντας ότι η τάση εξόδου του κυκλώματος είναι 50V ή μικρότερη. Η παρατήρηση αυτή απλά σημαίνει ότι όλες οι γειώσεις των

κυκλωμάτων πρέπει να έχουν ένα κοινό σημείο σύνδεσης, παρά να σχηματίζουν βρόχους όλες μαζί, έτσι ώστε αν ένα κύκλωμα μετακινηθεί από την έξοδο του ολικού κυκλώματος, το υπόλοιπο κύκλωμα θα διατηρήσει τις συνδέσεις γείωσής του.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη τάση του συστήματος εμφανίζεται μεταξύ του περισσότερου θετικού και του περισσότερου αρνητικού αγωγού ενός συστήματος. Έτσι για ένα σύστημα με δυο καλώδια το ένα θα πρέπει να γειωθεί και το άλλο θα είναι σε θετική ή σε αρνητική τάση σε σχέση με τη γείωση. Ορισμένοι αντιστροφείς λειτουργούν με είσοδο τριών συρμάτων από την έξοδο του φωτοβολταϊκού κυκλώματος, όπου ο θετικός, αρνητικός και ο ακροδέκτης της γείωσης τροφοδοτούν τον αντιστροφέα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η τάση του συστήματος είναι η τάση μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ακροδέκτη της εξόδου του κυκλώματος των φωτοβολταϊκών (Turan Gonen, 1986).

5.5 Απώλειες

Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα οφείλονται κυρίως στις ακόλουθες αιτίες:

- δυσμενής προσανατολισμός της φωτοβολταϊκής γεννήτριας
- σκίαση και ακαθαρσίες στα φ/β στοιχεία
- κακός συνδυασμός των πανέλων, εξαιτίας των ηλεκτρικών ανομοιογενειών που υπάρχουν στις χαρακτηριστικές καμπύλες τους
- υπερθέρμανση των πανέλων που είναι τοποθετημένα επάνω σε τοίχους λόγω του κακού αερισμού από τη πίσω όψη
- πτώσεις τάσης κατά μήκος των καλωδίων, ασφαλειών και διόδων στη πλευρά του συνεχούς ρεύματος
- ηλεκτρική κατανάλωση των μετρητών, τηλεχειριστηρίων διακοπών και των ρελέ.
- ανεπαρκή συντήρηση
- απώλειες στους αντιστροφείς
- κακός συνδυασμός του μεγέθους της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σε αυτό του αντιστροφέα

6. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

6.1 Μπαταρίες

Η αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αναφέρεται κυρίως για τις εφαρμογές των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων και τα οποία δεν συνδέονται στο δίκτυο. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν αποθήκευση ενέργειας που να αντισταθμίζουν περιόδους χωρίς ή με μη επαρκή ηλιακή ακτινοβολία, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή συννεφιασμένων ημερών. Σε κάθε περίπτωση όπου απαιτείται αποθήκευση ενέργειας, ο κλασικός συσσωρευτής είναι η πιο συμβατική μορφή αποθήκευσης ενέργειας για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα χαρακτηριστικά του συνεχούς ρεύματος που διαθέτει επιτρέπουν την απ'ευθείας σύνδεση μεταξύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και της μπαταρίας, δίχως την ανάγκη για οποιαδήποτε μετατροπή ή μετασχηματισμό της παραγόμενης ενέργειας.

Δυστυχώς στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, η μπαταρία εμφανίζεται να είναι το «αδύναμο σημείο» του συστήματος καθώς η διάρκεια ζωής της είναι συνήθως μια τάξη μεγέθους μικρότερη από εκείνη των υπολοίπων στοιχείων του συστήματος (Φραγκιαδάκης, 2007). Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο συγκριτικός πίνακας 3 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πιο σημαντικών τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται σήμερα (μπαταρίες μολύβδου, νικελίου-καδμίου) σε σύγκριση με εναλλακτικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών (Lorenzo, 1994)

	Lead-acid cell	NiCd cell	Primary cell	Lithium cell	fuel tank
Energy density: in Wh/kg	35	40	95	150	2.000
in Wh/Liter	100	90	210	200	2.500
Power density: in W/kg	100	700	40	70	10.000
in W/Liter	200	1.500	90	90	10.000
Energy efficiency	70-80%	60-70%	-	-	20%
Selfdischarge (in %/month)	5-30%	10-20%	1%	10%	0%
Min. charge time (hours)	3	1	-	3	1min.
Operating temperature	20°C	-40/+50°C	-20/+50°C	150°C	-40/+50°C
Tifetime (cycles)	1.000	1.000	1	200	1.000
can poor management (by user) damage the storage ?	yes	no	no	yes	no
Specific cost (in ECU/kWh)	170	350	350	350	0,3

Από το παραπάνω πίνακα εξάγονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Όσον αφορά τη πυκνότητα της ενέργειας και της ισχύς, καμία από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας δεν είναι ικανές να συγκριθούν με τη συμβατική δεξαμενή καυσίμων ενός αυτοκινήτου. Επίσης η επαναφόρτιση της δεξαμενής καυσίμου είναι εξαιρετικά γρήγορη.
- Σε σύγκριση με τις άλλες παρουσιαζόμενες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, οι κυψέλες λιθίου παρέχουν μια σχετικώς υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, όμως η αναμενόμενη διάρκεια ζωής είναι μικρή.
- Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών τόσο των μπαταριών μολύβδου όσο και αυτών Νικελίου-Καδμίου είναι δυστυχώς σχετικά χαμηλή. Οι 1000 κύκλοι, που δίνονται από τους κατασκευαστές ουσιαστικά αντιστοιχούν σε 3 χρόνια ζωής περίπου (1000/365).

Όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ των μπαταριών μολύβδου και νικελίου-καδμίου λαμβάνουμε τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Η μπαταρία μολύβδου τυπικά παρουσιάζει μια υψηλότερη αποτελεσματικότητα αποθήκευσης από αυτή του νικελίου-καδμίου.
- Η μπαταρία μολύβδου γενικά αντιπροσωπεύει την λιγότερη ακριβή επιλογή.
- Το επιπλέον κόστος για την μπαταρία του νικελίου-καδμίου δικαιολογείται μόνο εάν η μπαταρία πρόκειται να υποβληθεί σε ιδιαίτερα σκληρές συνθήκες λειτουργίας, όπως, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας ή προβλέπονται συχνή υπερφόρτιση και/ή βαθιά εκφόρτιση.

6.1.1 Επιλογή Μπαταρίας Φωτοβολταϊκών

Για την επιλογή μπαταρίας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες χαρακτηριστικές συνθήκες λειτουργίας που προκύπτουν σε ένα τέτοιο σύστημα.

- Πολύ χαμηλό ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης (0.1-0.5 φορές το ονομαστικό ρεύμα της μπαταρίας)
- Πολύ μεγάλη διάρκεια (πολύ αργά) φόρτισης/εκφόρτισης, συνήθως περισσότερο από 20 ώρες.
- Βαθιά εκφόρτιση (70% βάθος εκφόρτισης)

- Ακανόνιστη και ποικίλη φόρτιση και εκφόρτιση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (συνήθως περισσότερο από 1500 κύκλους)
- Χαμηλή αυτοεκφόρτιση της μπαταρίας

Ορισμένες φορές θεωρείται σημαντικό χαρακτηριστικό και η χαμηλή αυτοεκφόρτιση της μπαταρίας. Και αυτό γιατί, αν αναλογιστούμε ότι μια μπαταρία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος λειτουργεί σε καθημερινή βάση και παράγει το λιγότερο, μερική επαναφόρτιση, καθημερινώς μια υψηλή αυτοεκφόρτιση της τάξης του 10% το μήνα επηρεάζει την συνολική ενεργειακή ισορροπία του συστήματος κατά κάτι λιγότερο του 1%. Τα ειδικά χαρακτηριστικά για έναν συσσωρευτή μολύβδου καθορίζονται από τη μια πλευρά, από τη μορφή των ηλεκτροδίων (ειδικότερα του θετικού), και από την άλλη πλευρά από το κράμα του μολύβδου που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρόδια. Συνεπώς, τα ακόλουθα τρία υψηλής προτεραιότητας χαρακτηριστικά, πρέπει να ικανοποιούνται από μια μπαταρία προκειμένου αυτή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

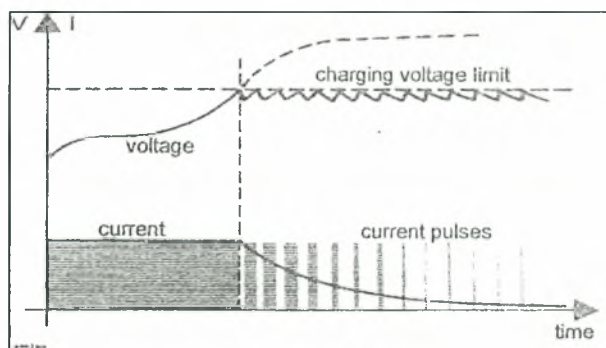
- Υψηλός βαθμός απόδοσης.
- Ικανότητα κύκλων. Βαθειές εκφορτίσεις στις μπαταρίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν μπορούν να αποφευχθούν εντελώς.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Συνίσταται ικανότητα κύκλων μεγαλύτερη των 700 ονομαστικών κύκλων, το οποίο σημαίνει ότι η μπαταρία μπορεί να υποβληθεί σε 2000 κύκλους (5-6 χρόνια λειτουργίας) με μέσο όρο βάθος εκφόρτισης 35%, ενώ συγκριτικά άλλα στοιχεία του συστήματος έχουν διάρκεια ζωής περισσότερη από 10 χρόνια (Φραγκιαδάκης, 2007).

6.1.2 Αυτόματι Διαχειριστές Μπαταρίας

6.1.2.1 Κριτήρια Επιλογής Ελεγκτή Φόρτισης

Ο ελεγκτής φόρτισης γενικά εξυπηρετεί στη προστασία της μπαταρίας από υπερφόρτιση. Ο απλούστερος τύπος (χαμηλής ποιότητας) ελεγκτή φόρτισης είναι τύπος ON/OFF, ο οποίος απλά αποκόπτει τη πηγή ρεύματος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια αμέσως μόλις η τάση της μπαταρίας υπερβεί το μέγιστο όριο φόρτισης τάσης. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια τίθεται σε λειτουργία ξανά μόλις η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από μια ελάχιστη τιμή.

Αντιθέτως, οι συνεχείς ελεγκτές φόρτισης επιτρέπουν το ρεύμα φόρτισης να ελαττώνεται συνεχώς με τρόπο τέτοιο ώστε η υπολοιπόμενη τάση μπαταρίας να διατηρείται σε ένα μέγιστο αποδεκτό επίπεδο, όπως φαίνεται στην εικόνα 21 (Lorenzo, 1994).



Εικόνα 21: Καμπύλη τάσης και ρεύματος κατά τη διάρκεια της φόρτισης (Lorenzo, 1994)

Μια άλλη κατηγορία ελεγκτών φορτίων εκτρέπουν τη πλεονάζουσα ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε ένα δευτερόν φορτίο (ή σε μια δευτερεύουσα μπαταρία), καθώς η μέγιστη τάση φόρτισης της πρωτεύουσας μπαταρίας έχει επιτευχθεί έτσι ώστε η πλεονάζουσα αυτή ενέργεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί να σπαταλιέται. Τα κυριότερα κριτήρια για την επιλογή του ελεγκτή φόρτισης για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι:

- η μέγιστη τάση και το μέγιστο ρεύμα του ελεγκτή φορτίου πρέπει να ταιριάζει με αυτές του φωτοβολταϊκού συστήματος, ειδικότερα η ένταση πρέπει να είναι το λιγότερο ελαφρώς μεγαλύτερη από τη μέγιστη ένταση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.
- Κατά τη διάρκεια της φόρτισης αλλά πριν τη μέγιστη τάση φόρτισης της μπαταρίας, οι απώλειες του ελεγκτή φορτίου πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερες. Αφού επιτευχθεί μέγιστη τάση φόρτισης, οι απώλειες δεν είναι πλέον σημαντικές καθώς η πλεονάζουσα ενέργεια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτως ή αλλιώς.
- Η ισχύς που καταναλώνεται εσωτερικώς από τον ελεγκτή φορτίου πρέπει να παρέχεται από τη πλευρά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, έτσι ώστε κατά τη διάρκεια των περιόδων που δεν συμβαίνει φόρτιση, η μπαταρία να μην εκφορτίζεται από την εσωτερική κατανάλωση του

ελεγκτή φορτίου. Διαφορετικά, η εσωτερική κατανάλωση της συσκευής πρέπει να διατηρείται πολύ χαμηλά ώστε να ελαχιστοποιεί την επίδρασή της στο καθημερινό ισοζύγιο ενέργειας του συστήματος.

- Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η αξιοπιστία. Ο ελεγκτής πρέπει να εξασφαλίζει μια μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς σφάλματα καθώς σε περίπτωση κακής λειτουργίας η μπαταρία θα εκφορτιστεί εντελώς και θα υποστεί ζημιά, ενώ όλο το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πάψει να λειτουργεί.

6.1.2.2 Παρακολούθηση του Σημείου Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point Tracker,MPPT)

Η παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος εξυπηρετεί στο να μεγιστοποιεί την ενέργεια εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας κάνοντάς την να λειτουργεί στο μέγιστο σημείο ισχύος. Η συσκευή που χρησιμοποιείται είναι ένας υψηλής συχνότητας ηλεκτρονικός DC σε DC μετατροπέας που βελτιστοποιεί το ταίριασμα των φωτοβολταϊκών πανέλων με τις μπαταρίες, το DC κινητήρα ή τη DC αντλία. Οι συσκευές αυτές, λαμβάνουν συνεχή είσοδο από τα φωτοβολταϊκά πανέλα και την αλλάζουν σε εναλλασσόμενη μέσω ενός μετασχηματιστή, και έπειτα την μετατρέπουν ξανά σε διαφορετική συνεχή τάση και ένταση για να ταιριάζει ακριβώς με τις μπαταρίες. Λειτουργούν σε πολύ υψηλές ραδιοφωνικές συχνότητες μεταξύ των 20-50 kHz. Το πλεονέκτημα των υψηλής συχνότητας κυκλωμάτων είναι ότι μπορούν να σχεδιαστούν με πολύ υψηλή απόδοση μετασχηματιστών και τα διάφορα στοιχεία, ειδικά οι μετασχηματιστές να είναι πολύ μικροί.

Η παρακολούθηση του μέγιστου σημείου λειτουργίας είναι περισσότερο αποτελεσματική υπό τις εξής συνθήκες:

1. Το χειμώνα ή τις συννεφιασμένες μέρες όπου η επιπλέον ισχύς χρειάζεται περισσότερο.
2. Το κρύο καιρό, καθώς τα ηλιακά πανέλα λειτουργούν καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Περιπτώσεις κακοκαιρίας έχουμε συνήθως το χειμώνα, όπου οι ώρες ηλιοφάνειας είναι περιορισμένες και χρειαζόμαστε περισσότερη ισχύ.
3. Χαμηλή φόρτιση μπαταρίας. Όσο χαμηλότερη είναι η φόρτιση της μπαταρίας τόσο περισσότερο ρεύμα διοχετεύεται σε αυτές από τον ανιχνευτή.

6.1.2.3 Προστασία Βαθιάς Εκφόρτισης

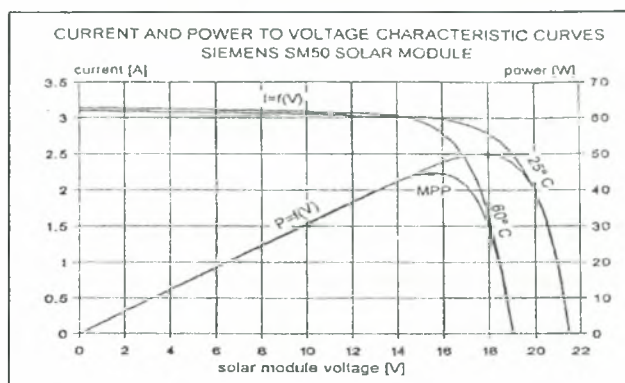
Η απλή αυτή αυτόματη συσκευή εξυπηρετεί στην προστασία της μπαταρίας από την βαθιά εκφόρτιση. Ο απλούστερος τύπος προστασίας βαθιάς εκφόρτισης αποσυνδέει το φορτίο από τη μπαταρία, μόλις η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από το κατώφλι της ελάχιστης τάσης εκφόρτισης. Η συσκευή προστασίας βαθιάς εκφόρτισης έχει αμελητέα εσωτερική κατανάλωση, καθώς διαφορετικά θα είχε αρνητική επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο του φωτοβολταϊκού συστήματος.

6.2 Αντιστροφείς

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

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

είναι εξίσου ενσωματωμένες στον αντιστροφέα ο οποίος αυτομάτως αποσυνδέεται από το σύστημα εάν προκύψουν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (German solar energy society, 2005).



Εικόνα 22: Χαρακτηριστικές καμπύλες εντοπισμού του MPP σε πάνελ S50 SIEMENS (German solar energy society, 2005).

Από τη παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι για τάση από $V=0$ έως $V=V_{MPP}$, το ηλιακό πάνελ συμπεριφέρεται σχεδόν σαν μια ιδανική πηγή έντασης, με την ένταση αυστηρώς ανάλογη στην πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας.

6.2.1 Αρχές Λειτουργίας Αντιστροφέων

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

- η έξοδος του αντιστροφέα λαμβάνεται σα μια ρυθμιζόμενη πηγή ρεύματος. Η αλλαγή με το χρόνο της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ρυθμίζεται έτσι ώστε να αντιστοιχεί στις αλλαγές της προβλεπόμενης τάσης του δικτύου. Εάν η τάση του δικτύου αποκλίνει σημαντικά από την ημιτονοειδή κυματομορφή, αυτή θα ακολουθηθεί από τον αντιστροφέα και θα λειτουργήσει με βάση αυτή.
- Ανεξάρτητα από την κυματομορφή της τάσης του δικτύου, ο αντιστροφέας παρέχει εσωτερικώς ρυθμιζόμενο, ημιτονοειδώς διαμορφωμένο ρεύμα στο δίκτυο, το οποίο ρέει ταυτόχρονα με τη τάση του δικτύου.

- Ο αντιστροφέας επιχειρεί να βελτιώσει τη κυματομορφή της τάσης του δικτύου παρέχοντας ηλεκτρισμό με την κατάλληλη κυματομορφή. Αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα όταν το διασυνδεδεμένο δίκτυο έχει χαμηλότερη ισχύ (μεγαλύτερη σύνθετη αντίσταση) από ότι εκείνα με μεγαλύτερη ισχύ.

6.2.2 Απαιτήσεις προς Ικανοποίηση

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

- i) Αυτόματη έναρξη λειτουργίας το πρωί.

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

- ii) Μερική υψηλή απόδοση φορτίου.

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

- iii) Λειτουργία ορισμένης υπερφόρτισης

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

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

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

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

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

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

vii) Διηλεκτρική δύναμη

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

viii) Ακουστικός θόρυβος

Ο ακουστικός θόρυβος πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

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

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα πρέπει να αναγνωρίζουν τα σφάλματα του δικτύου. Εάν υπάρχουν αποκλίσεις από τη συχνότητα ή τη τάση του δικτύου, ή διακοπή της μιας φάσης, ο αντιστροφέας πρέπει να αποκόπτεται από το δίκτυο

εντός ενός δεδομένου χρονικού πλαισίου. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του εναλλασσόμενου δικτύου.

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

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

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

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

xii) Σήματα συγχρονισμού

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

xiii) Επαρκής ενοργάνωση, απλός χειρισμός από το χρήστη

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

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

6.3 Ηλιακές Κυψέλες

6.3.1 Αξιολόγηση των Σημαντικών Τεχνολογιών για Ηλιακές Κυψέλες

Ένα πλήθος από ημιαγώγιμα υλικά είναι κατάλληλα για την κατασκευή ηλιακών κυψελών, οι οποίες αποτελούν το θεμελιώδες στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Προκειμένου να αξιολογήσουμε τις διάφορες τεχνολογίες κατασκευής, ποικίλα κριτήρια πρέπει να εφαρμοστούν. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- καλή δυνατότητα για υψηλό συντελεστή απόδοσης
- διαθεσιμότητα του υλικού που απαιτείται
- αποδεκτή τιμή για το υλικό
- δυνατότητα για φθηνή παραγωγή
- σταθερότητα των ιδιοτήτων κατά τη διάρκεια των δεκαετιών
- περιβαλλοντικά αβλαβή προϊόντα και διαδικασίες κατασκευής

Οι ήδη εφαρμόσιμες τεχνολογίες ηλιακών κυψελών καθώς και εκείνες που βρίσκονται σε εξέλιξη θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

6.3.2 Ηλιακά Στοιχεία Πυριτίου

Τα πρώτα ηλιακά στοιχεία πυριτίου ήταν από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία είναι τα πιο αποτελεσματικά και τα πιο συμπαγή από τη οικογένεια του πυριτίου, απαιτούν όμως και την περισσότερη ενέργεια για την παραγωγή τους. Για το λόγο αυτό, άλλες ποικιλίες στοιχείων πυριτίου αναπτύχθηκαν. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία είναι, κατά κάτι, λιγότερο αποδοτικά αλλά απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Τα στοιχεία από άμορφο πυρίτιο, απαιτούν ακόμη λιγότερη ενέργεια αλλά τείνουν να παρουσιάζουν προβλήματα σταθερότητας και είναι ακόμη λιγότερο αποδοτικά. Επειδή το άμορφο πυρίτιο έχει ενεργειακό διάκενο μεγαλύτερο από αυτό του καθαρού πυριτίου, διαθέτει μεγαλύτερη απορροφητικότητα από το κρυσταλλικό πυρίτιο με απορρόφηση αιχμής σε μήκος κύματος κοντά στην αιχμή του ηλιακού φάσματος και για αυτό είναι κατάλληλο υλικό για την κατασκευή λεπτού στρώματος στοιχείων. Μια επιπλέον αύξηση της απόδοσης έχει επιτευχθεί για το άμορφο πυρίτιο με χρήση δομών στοιχείων με πολλαπλές ενώσεις. Τα λεπτά στοιχεία πυριτίου

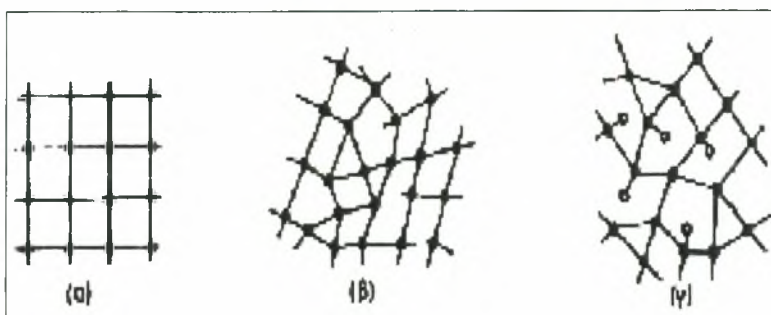
αντιπροσωπεύουν ένα συμβιβασμό μεταξύ των κρυσταλλικών στοιχείων και των στοιχείων άμορφου πυριτίου (Καπλάνης, 2004).

6.3.2.1 Ηλιακά Στοιχεία Άμορφου Πυριτίου (a-Si)

Για να έχει ικανοποιητική συμπεριφορά ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, το πυρίτιο πρέπει να είναι μονοκρυσταλλικό ή έστω πολυκρυσταλλικό αλλά να αποτελείται από κόκκους μεγάλου μεγέθους. Είναι επομένως, καταρχήν παράδοξο ότι το άμορφο πυρίτιο, δηλαδή ένα υλικό με μεγάλη αταξία στη δομή του ώστε να μην υπάρχουν διακριτά όρια κόκκων, θα μπορούσε να ήταν κατάλληλο για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων.

Όπως διαπιστώθηκε, το άμορφο πυρίτιο (συμβολίζεται συνήθως a-Si) είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Π.χ. το ενεργειακό διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται, ανάλογα με τον τρόπο της παρασκευής του, από 1,2 μέχρι 1,6eV περίπου, σε σύγκριση με 1,1eV του κρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα του a-Si για φωτοβολταϊκές εφαρμογές σε ηλιακά στοιχεία είναι ότι ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ξεπερνά το 10^4cm^{-1} , είναι δηλαδή πολύ μεγαλύτερος από του κρυσταλλικού πυριτίου. Ωστε, ως προς την ιδιότητα αυτή, το a-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου και αρκεί ένα λεπτό στρώμα, πάχους λίγων μm, για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων.

Το a-Si παρασκευάζεται με σχετικά ανέξοδες μεθόδους, σε σύγκριση με το κρυσταλλικό Si, π.χ. με συμπύκνωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης αέριων πυριτιούχων ενώσεων. Η άμορφη όμως κατασκευή του, έχει σαν αποτέλεσμα πολλοί από τους χημικούς δεσμούς στο a-Si να είναι ατελείς ή στρεβλωμένοι, που συνεπάγεται μειονεκτικές ηλεκτρικές ιδιότητες για το υλικό. π.χ. οι φορείς του a-Si έχουν μικρή κινητικότητα και μικρό μήκος διάχυσης (Καπλάνης, 2004).



Εικόνα 23: Σχηματική απεικόνιση (α) του κρυσταλλικού πυριτίου, (β) του άμορφου πυριτίου με ατελείς και στρεβλωμένους δεσμούς, (γ) του υδρογονούχου άμορφου πυριτίου με συμπληρωμένους και χαλαρωμένους τους δεσμούς του. Οι μαύροι κύκλοι δείχνουν τις θέσεις των Si και οι άσπροι τις θέσεις των ατόμων H (Καπλάνης, 2004).

Πολύ σημαντική βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του a-Si γίνεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που χαλαρώνουν τον ιστό του σώματος (εικόνα 6.3). Το υδρογονούχο a-Si περιέχει συνήθως 10-40% υδρογόνο. Συμβολίζεται ως a-Si:H. Ανάλογα, και ίσως καλύτερα αποτελέσματα, έχει η προσθήκη ατόμων φθορίου αντί για άτομα υδρογόνου.

Ένα πάνελ κατασκευασμένο από άμορφο πυρίτιο φαίνεται στην εικόνα 24 (ΚΑΠΕ, 2002)



Εικόνα 24: Πάνελ άμορφου πυριτίου (ΚΑΠΕ, 2002)

Συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλιακών στοιχείων άμορφου πυριτίου είναι:

- πολύ λεπτό και επαρκές στρώμα (>1μm)
- ενσωματώνεται εύκολα για το σχηματισμό πανέλων από κατασκευαστικές και δομημένες επαφές
- μόνο οι κυψέλες μονής ένωσης επιτυγχάνουν μέτριες τιμές απόδοσης (max.10%)

- οι τιμές απόδοσης των ηλιακών κυψελών μειώνονται υπό την ηλιακή ακτινοβολία, έτσι τιμές απόδοσης μόνο μεταξύ των 4-6% μπορούν να εγγυηθούν για τα εμπορικά πάνελα σε μακροπρόθεσμη βάση
- οι πιο πρόσφατες εξελίξεις συστημάτων πολλαπλών στρωμάτων φαίνονται υποσχόμενες όσον αφορά τις τιμές απόδοσης και φθοράς τους, αλλά δεν υπάρχει ακόμη πολυετής εμπειρία
- προσδοκίες για μια φθηνή διαδικασία κατασκευής δεν έχουν ακόμη ικανοποιηθεί
- κύριος τομέας εφαρμογών είναι οι εσωτερικοί καταναλωτές

6.3.2.2 Ηλιακά Στοιχεία Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου

Για την παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου από πολυκρυσταλλικό υλικό, το πυρίτιο χρειάζεται να τηχθεί και να επανακρυσταλλωθεί. Αυτό επιτυγχάνεται με βύθισή του στο τήγμα και αργή απομάκρυνσή του από αυτό με περιστροφική κίνηση. Καθώς το πυρίτιο απομακρύνεται από το τήγμα, φθάνει σε ένα βαθμό υψηλότερης καθαρότητας. Για να παραχθούν οι τύπου-n ή τύπου-p κρύσταλλοι, βόριο ή αρσενικό εισάγονται στο τήγμα σε ποσότητες ανάλογες με εκείνες που απαιτούνται για τα επιθυμητά επίπεδα εμπλουτίσης. Στη συνέχεια δημιουργείται η ένωση τύπου pn. Αφού δημιουργηθεί η ένωση pn, το επόμενο βήμα είναι να επικολληθούν οι επαφές στο στοιχείο. Το υλικό της επαφής πρέπει να είναι κατάλληλο για σύνδεση με τα αντίστοιχα καλώδια έτσι ώστε το στοιχείο να μπορεί να ενσωματωθεί στο πάνελ. Η πίσω επαφή καλύπτει ολόκληρο το στοιχείο. Το αλουμίνιο λειτουργεί και ως ένας τύπου-p δότης ο οποίος παράγει μια ισχυρά εμπλουτισμένη περιοχή με οπές που συνδέεται στην επαφή.

Οι κατασκευαστικοί περιορισμοί για την μπροστινή επαφή επιβάλλουν να είναι μικρής ωμικής αντίστασης και να εμφανίζει μικρή αντίσταση σειράς χωρίς να απειλεί την ένωση. Η αντίσταση σειράς της μπροστινής επαφής ενός στοιχείου εξαρτάται από την απόσταση την οποία τα ανιόντα πρέπει να διατρέξουν μέσα στο υλικό ώσπου να φθάσουν στην επαφή καθώς και από την αντίσταση της ίδιας της επαφής. Η μπροστινή επαφή δύναται να κατασκευαστεί με ποικίλους τρόπους. Αφού επικολληθούν οι επαφές στο υλικό, μια αντι-ανακλαστική επίστρωση πρέπει να τοποθετηθεί στο υλικό, συνήθως με εξάτμιση, αφού πρέπει να είναι πολύ λεπτή. Επειδή η αντι-ανακλαστική επίστρωση βελτιστοποιεί τη διάδοση σε ένα μόνο μήκος κύματος, σαγρές επιφάνειες στοιχείων είναι όλο και πιο κοινές για βελτίωση της δέσμευσης του φωτός σε όλο το φάσμα. Τα

στοιχεία έπειτα πρέπει να στηθούν σε συστοιχίες με αλληλοσυνδεδεμένα καλώδια ή λωρίδες μεταλλικού ελάσματος. Τα στοιχεία τότε τοποθετούνται σε μια βάση συστοιχίας και εσωκλείονται σε γυαλί ή κάποιο συνθετικό υλικό. Το συνθετικό υλικό πρέπει να επιλέγεται με κριτήριο τη μεγάλη διάρκεια ζωής παρουσία υπερϊώδους ακτινοβολίας καθώς και πιθανής υποβάθμισης από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Εξαρτώμενη από τις συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος της συστοιχίας, όπως το φύσημα της άμμου, ύπαρξη θάλασσας σε κοντινή απόσταση, όξινη βροχή ή άλλα συστατικά όχι τόσο φιλικά απέναντι στο περιβάλλον, η θωράκιση του πάνελου οφείλει να επιλέγεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τα γδαρσίματα, τον αποχρωματισμό το σπάσιμο ή άλλου είδους καταστροφές που προβλέπονται. Τέλος αφού τα στοιχεία τοποθετηθούν στα πάνελα είναι έτοιμα και αξιόπιστα να παράγουν ηλεκτρισμό για μεγάλο χρονικό διάστημα, περίπου 20 χρόνια. Ένα πάνελ κατασκευασμένο από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο φαίνεται στην εικόνα 25 (ΚΑΠΕ, 2002).



Εικόνα 25: Πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου (ΚΑΠΕ, 2002)

Συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλιακών στοιχείων μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι:

- καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς από όλα τα ηλιακά στοιχεία
- καίρια διαδικασία κατασκευής βασισμένη στη συμβατική τεχνολογία των ημιαγωγών
- καλές τιμές απόδοσης στη παραγωγή σειράς (15-18%)
- πολύ καλές τιμές απόδοσης (>23%) με εξελιγμένη τεχνολογία
- καθ' όλα μη μεταβλητές τιμές απόδοσης των κυψελών κατά τη διάρκεια των δεκαετιών
- απεριόριστη διάθεση των πρώτων υλών

- αβλαβές και περιβαλλοντικά αδρανές υλικό
- παχύ ενεργό στρώμα, απαιτούμενο εξαιτίας του μικρού συντελεστή απορρόφησης, συνεπώς μεγάλες ποσότητες του υλικού απαιτούνται

6.3.2.3 Ηλιακά Στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

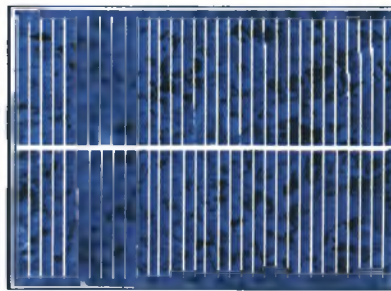
Η διαδικασία παραγωγής του πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι ενεργειακά δαπανηρή. Μεγάλο ποσό ενέργειας δαπανάται όταν οι κρύσταλλοι τεμαχίζονται σε λεπτά φύλλα. Επιπλέον απώλειες προκύπτουν αν θρυμματίζουμε τους κρυστάλλους σε τετράγωνα ώστε να γεμίσουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό του πανέλου με ηλιακά στοιχεία. Το ερώτημα που ανακύπτει είναι εάν μπορεί να επινοηθεί κανένα μέσο ώστε να αυξήσουμε σε ποσότητα τα φύλλα αυτά ή να επιτευχθεί ένας συμβιβασμός στη κατασκευή των φύλλων που να προσεγγίζει το μονοκρυσταλλικό υλικό. Σήμερα, τουλάχιστον τρεις μέθοδοι έχουν ανακαλυφθεί και αναπτυχθεί για την παραγωγή πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η πρώτη μέθοδος αποτελεί ένα συμβιβασμό, περιλαμβάνει τη τήξη του πυριτίου σε μια χοάνη και την ελεγχόμενη ψύξη αυτού. Το αποτέλεσμα είναι ένα μονοκρυσταλλικό υλικό, αφού δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου κόκκοι κρυστάλλου, αλλά το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο που προέκυψε από αυτή την διαδικασία έχει τετραεδρική δομή και πλησιάζει ικανοποιητικά το μονοκρυσταλλικό ώστε να επιτυγχάνεται απόδοση της τάξης του 15%.

Η δεύτερη μέθοδος παραγωγής πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι η EFG (edge-defined film-fed growth). Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει το κύλισμα ενός οκταγωνικού σωλήνα, μήκους 6m και πάχους τοιχωμάτων 330μm εντός λιωμένου πυριτίου. Ο σωλήνας στη συνέχεια τεμαχίζεται με laser κατά μήκος των οκταγωνικών ακμών του σε μεμονωμένα στοιχεία. Η απόδοση των στοιχείων αυτών ανέρχεται στο 14%.

Η τρίτη μέθοδος παραγωγής πολυκρυσταλλικού πυριτίου περιλαμβάνει το κύλισμα μιας ταινίας πυριτίου στο τήγμα. Η δυσκολία σε αυτή τη μέθοδο συνίσταται στον έλεγχο του πλάτους της ταινίας. Για να επιτευχθεί, υψηλής θερμοκρασίας λωρίδες του υλικού χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις άκρες του. Οι λωρίδες αυτές περνάνε μέσα από μια χοάνη λιωμένου πυριτίου σε περιβάλλον Ar μετά την προσθήκη κόκκου κρυστάλλου για να καθορίσουν τη κρυσταλλική δομή της ταινίας. Οι μη αγωγίμες λωρίδες του υλικού έχουν ένα συντελεστή θερμικής διαστολής κοντά σε εκείνο του πυριτίου, έτσι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψύξης, η λωρίδα δε θα επηρεάσει τη

διαδικασία κρυσταλλοποίησης του πυριτίου. Η απόδοση ανέρχεται στο 15,4% για ένα στοιχείο 80cm². Ουσιαστικά οι ίδιες διαδικασίες χρησιμοποιούνται για τα πολυκρυσταλλικά και τα μονοκρυσταλλικά λεπτά φύλλα. Τα πολυκρυσταλλικά πάνελα χαρακτηρίζονται από το ολοκληρωτικό γέμισμά τους από πλήθος στοιχείων. Καθώς τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατηρούν τις βασικές κρυσταλλικές χημικές ιδιότητές τους, το ενεργειακό διάκενο των 1,1 eV οδηγεί στην ανάγκη παχύτερων στοιχείων με επιφάνεια τέτοια ώστε να παρέχει μέγιστη δέσμευση φωτονίων, όπως και στην περίπτωση των μονοκρυσταλλικών στοιχείων. Ένα πάνελ κατασκευασμένο από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο φαίνεται στην εικόνα 26 (ΚΑΠΕ, 2002).



Εικόνα 26: Πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου (ΚΑΠΕ, 2002)

Συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλιακών στοιχείων πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι:

- παρόμοια αξιολόγηση με αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, όμως
- φανερά μικρότερες επιτεύξιμες τιμές απόδοσης
- λιγότερο ακριβό σε μαζική παραγωγή
- διαθέτει το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο στην αγορά

7. ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

7.1 Περιγραφή Οικισμού

Η μελέτη και η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων αφορά παραθαλάσσιο οικισμό, ευρισκόμενο στο δήμο Ραφήνας του νομού Αττικής. Ο οικισμός βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38°, γεωγραφικό μήκος 23.4° και σε υψόμετρο 10m. Πρόκειται για οικισμό που αποτελείται από κατοικίες και διαθέτει πυκνή βλάστηση. Οι κατοικίες εντός του, χρησιμοποιούνται από τους κατόχους τους κυρίως κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών ενώ ορισμένες δύναται να κατοικούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Πανταζοπούλου, 2007).

7.2 Εξοπλισμός

Για την υλοποίηση του σχεδίου χρησιμοποιήθηκαν, φωτοβολταϊκά στοιχεία της εταιρίας Yingli Solar. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα YL165Wp, YL170Wp. Η διασύνδεσή τους στο δίκτυο πραγματοποιήθηκε μέσω αντιστροφών. Οι αντιστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν είναι των εταιριών WURTH SOLERGY και SMA, μοντέλα SolarSTAR a6000 των 3kW και Sunny Boy SWR 1100LV του 1kW, Sunny Boy SWR 700 Medium των 0.6kW, αντίστοιχα.

7.3 Διάταξη Συστοιχιών

Η πρώτη συστοιχία απαρτίζεται από 16 πάνελ των 165W μοντέλου YL165Wp, συνδεδεμένα σε σειρά και έναν αντιστροφέα τύπου SolarSTAR a6000.

Η δεύτερη συστοιχία απαρτίζεται από 5 πάνελ των 170W μοντέλου YL170Wp, συνδεδεμένα σε σειρά και έναν αντιστροφέα τύπου Sunny Boy SWR 700 Medium.

Η τρίτη συστοιχία απαρτίζεται από 4 πάνελ των 170W μοντέλου YL170Wp, συνδεδεμένα σε 2 κλάδους των 2 στοιχείων ο κάθε ένας και μεταξύ τους παράλληλα και ένα αντιστροφέα τύπου Sunny Boy SWR 1100LV.

7.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

7.4.1 Πάνελ

7.4.1.1 Πάνελ YL165Wp

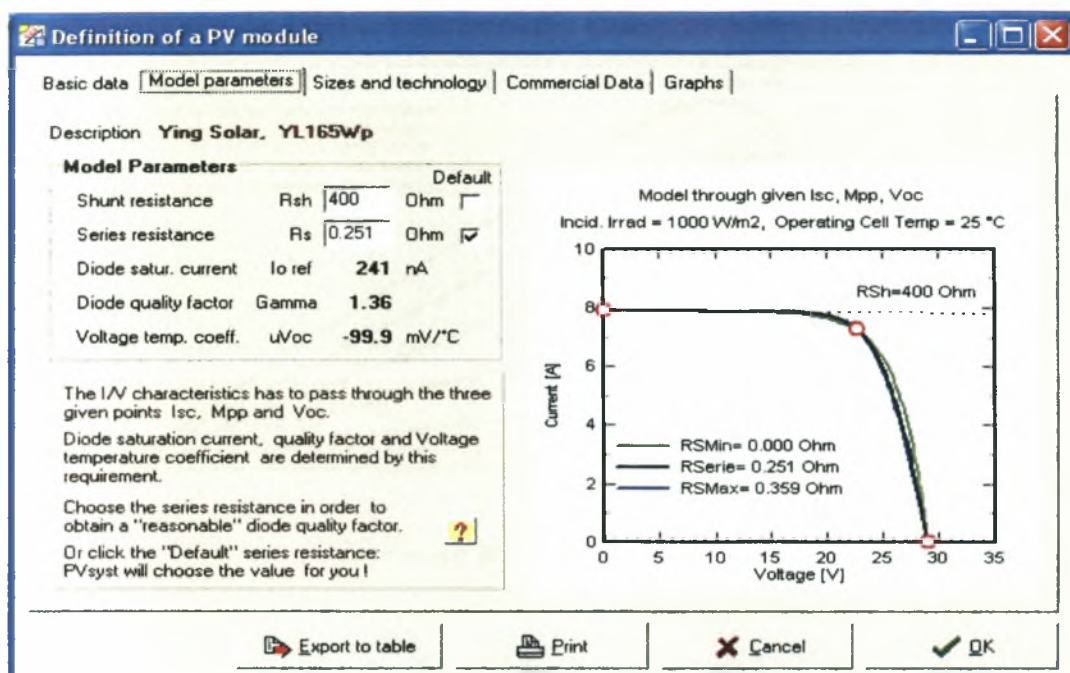
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και η χαρακτηριστική λειτουργίας I-V, των 16 πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου, των 165W που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση της πρώτης συστοιχίας φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες.

The screenshot shows the 'Definition of a PV module' window with the following data:

Category	Parameter	Value	Unit
Basic data	Model	YL165Wp	
	Manufacturer	Ying Solar	
	File name	RAFINA.PAN	
	Data source	Manufacturer	
Nom. power (at STC)	Nom. power	165	Wp
	Tol.	5.0	%
	Technology	Si-poly	
Manufacturer specifications or other Measurements	Reference conditions: GRef	1000	W/m ²
	Reference conditions: TRef	25	°C
	Short circuit current: Isc	7.90	A
	Open circuit Voc	29.00	V
	Temperature coefficient: u ISC	0.00	mA/°C
Max. power point	Current Impp	7.20	A
	Voltage Vmpp	23.00	V
Internal model result tool	Operating conditions: GOper	1000	W/m ²
	Operating conditions: TOper	25	°C
	Maximum power point: Pmpp	165.7	W
	Current Impp	7.27	A
	Voltage Vmpp	22.8	V
	Short circuit current Isc	7.90	A
	Open Voltage Voc	29.0	V
Efficiency	/ cell area	142.0	%
	/ module area	12.78	%

Additional information: A 'Special parameter (especially for thin film technologies)' box is visible with an 'Advanced' button. The bottom of the window contains 'Export to table', 'Print', 'Cancel', and 'OK' buttons.

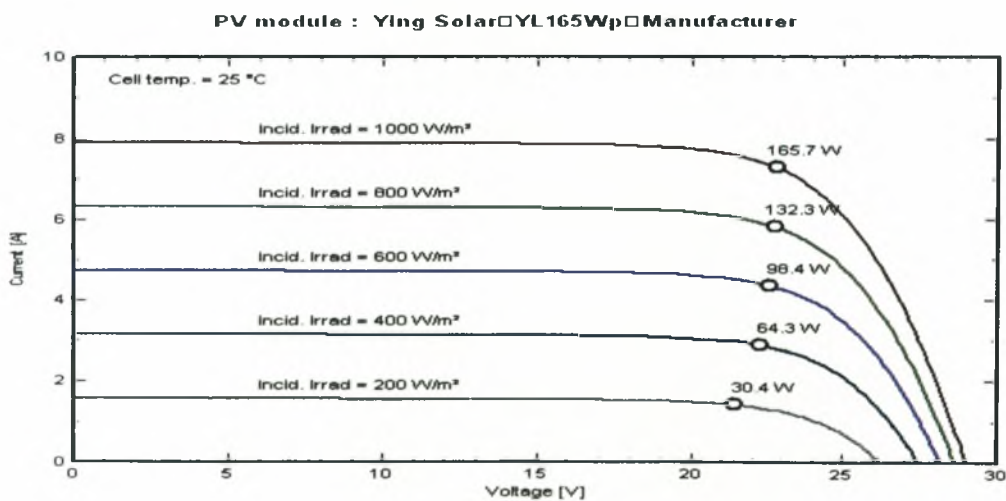
Εικόνα 27: Τεχνικά Χαρακτηριστικά



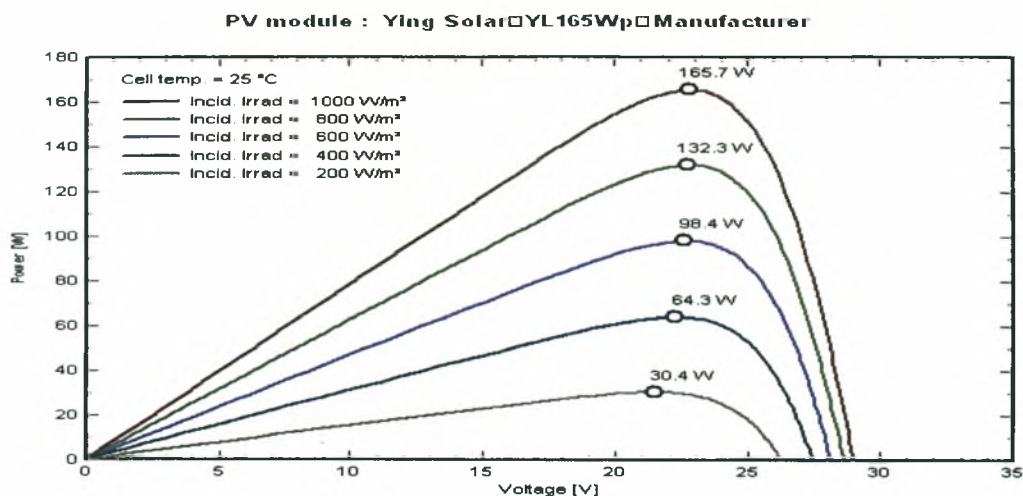
Εικόνα 28: I-V χαρακτηριστική

Χαρακτηριστικές Καμπύλες

Στη συνέχεια δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V καθώς και οι καμπύλες ισχύος συναρτήσει της τάσης για διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας και για θερμοκρασία 25°C. Στις καμπύλες φαίνεται το σημείο μέγιστης ισχύος.



Εικόνα 29: Καμπύλες I-V



Εικόνα 30: Καμπύλες P-V

7.4.1.2 Πάνελ YL170Wp

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και η χαρακτηριστική λειτουργίας I-V, των 9 συνολικά πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου, των 170W που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση της δεύτερης και τρίτης συστοιχίας φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες.

Definition of a PV module

Basic data | Model parameters | Sizes and technology | Commercial Data | Graphs

Model: YL170Wp Manufacturer: Yingli Solar

File name: RAF4.PAN Data source: Manufacturer

Nom. power (at STC): 170 Wp Tol: 5.0 % Technology: Si-poly

Manufacturer specifications or other Measurements

Reference conditions: G_{Ref} 1000 W/m² T_{Ref} 25 °C

Short circuit current: I_{sc} 7.90 A Open circuit Voc 29.00 V

Temperature coefficient: α_{ISC} 2.30 mA/°C

Max. power point: Current I_{mpp} 7.20 A Voltage V_{mpp} 23.00 V

Internal model result tool

Operating conditions: G_{Oper} 1000 W/m² T_{Oper} 25 °C

Maximum power point: P_{mpp} 165.6 W Temper. coeff. -0.46 %/°C

Current I_{mpp} 7.22 A Voltage V_{mpp} 23.0 V

Short circuit current I_{sc} 7.90 A Open Voltage Voc 29.0 V

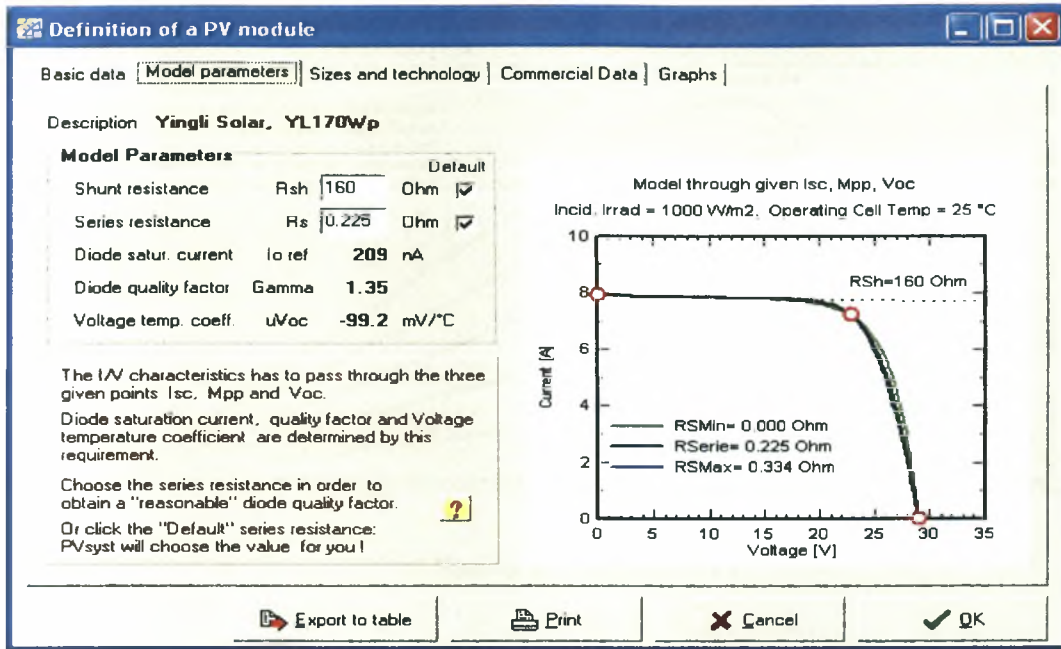
Efficiency / cell area 141.9 % / module area 12.77 %

Special parameter (especially for thin film technologies)

Advanced

Export to table Print Cancel OK

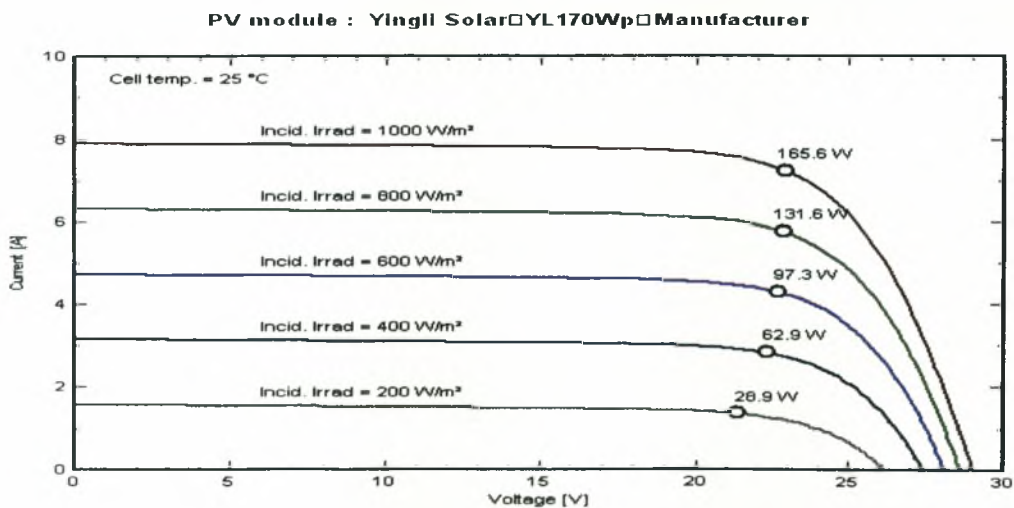
Εικόνα 31: Τεχνικά Χαρακτηριστικά



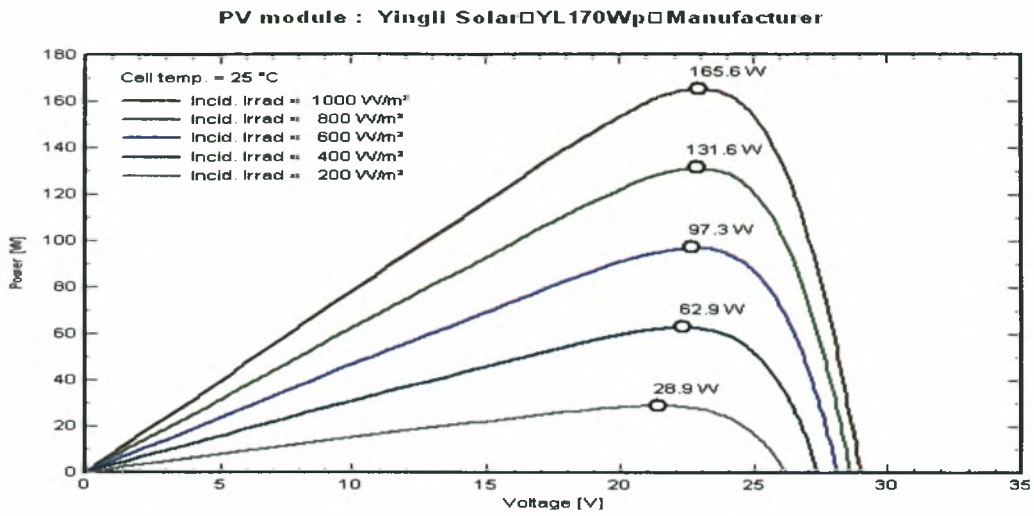
Εικόνα 32: I-V χαρακτηριστική

Χαρακτηριστικές Καμπύλες

Στη συνέχεια δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V καθώς και οι καμπύλες ισχύος συναρτήσει της τάσης για διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας και για θερμοκρασία 25°C. Στις καμπύλες φαίνεται και το σημείο μέγιστης ισχύος.



Εικόνα 33: Καμπύλες I-V

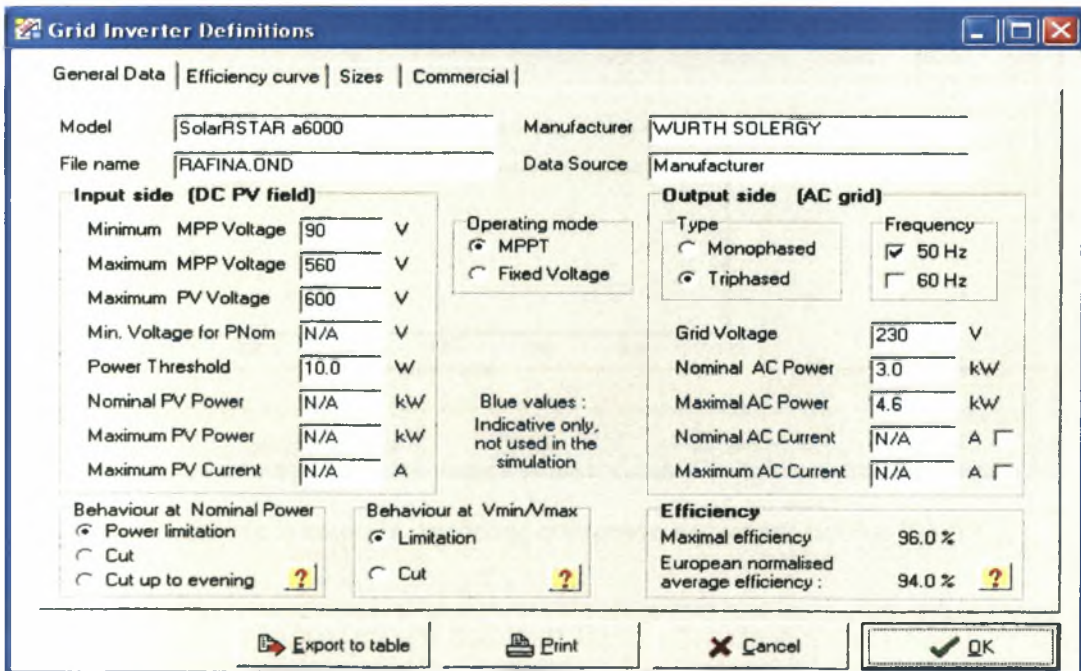


Εικόνα 34: Καμπύλες P-V

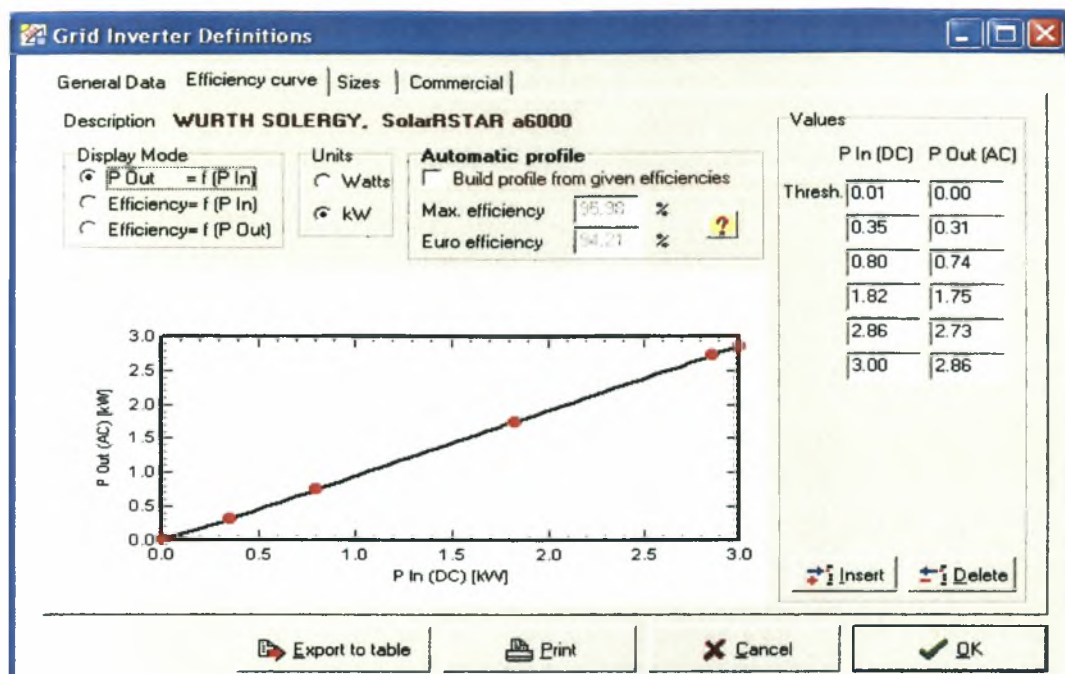
7.4.2 Αντιστροφείς

7.4.2.1 Αντιστροφέας SolarSTAR a6000

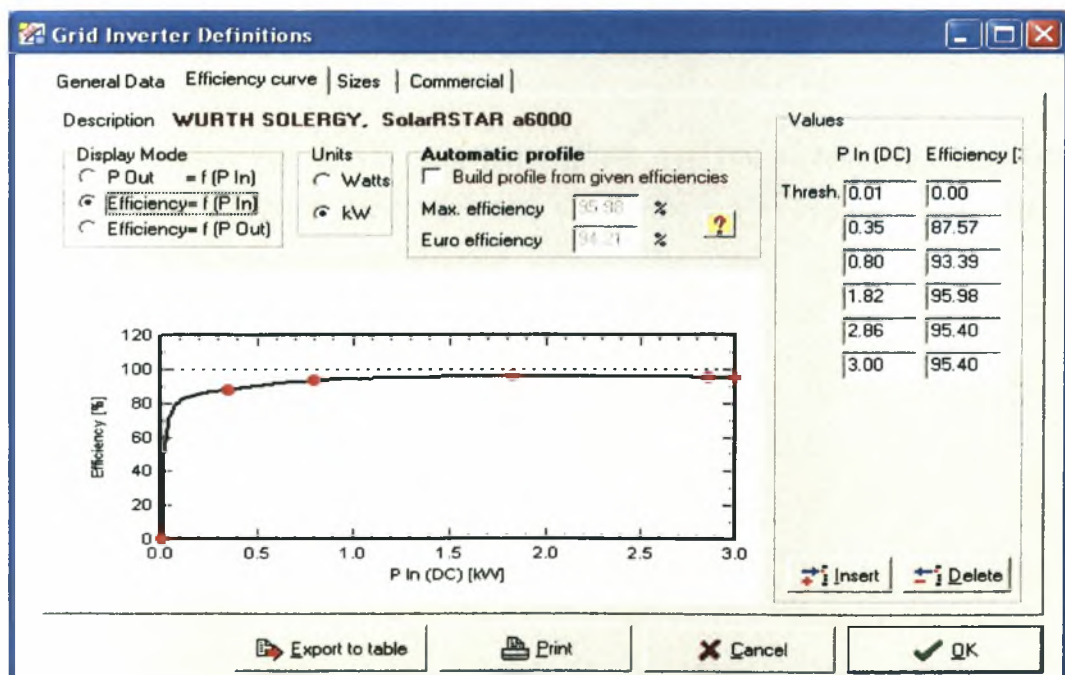
Ο αντιστροφέας αυτός των 3kW χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της πρώτης συστοιχίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καθώς και οι καμπύλες απόδοσής του παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες.



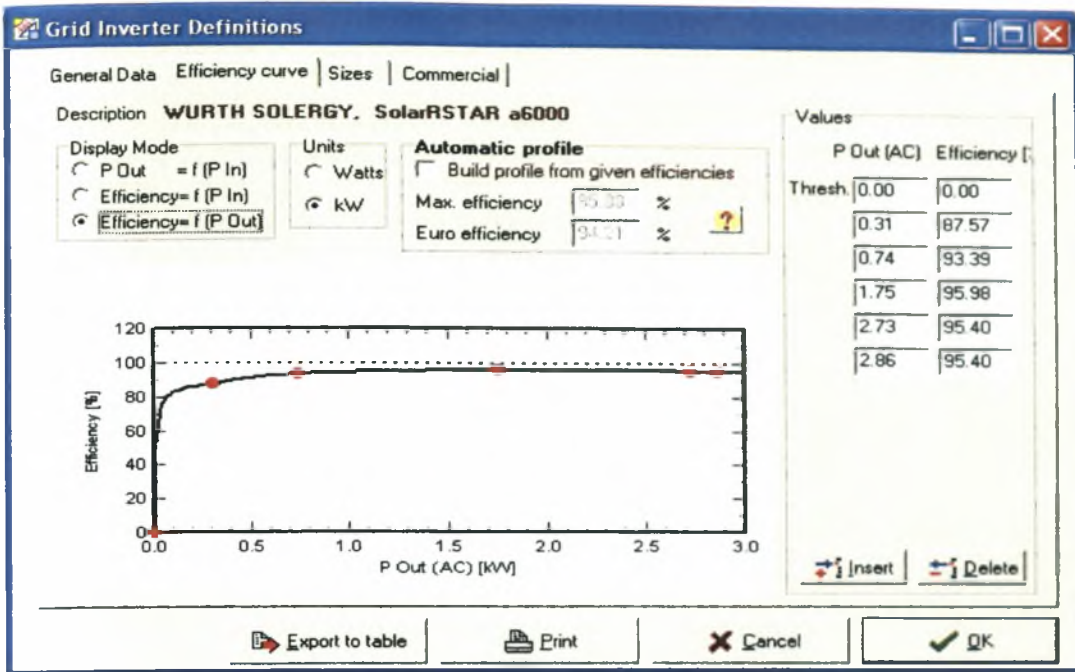
Εικόνα 35: Τεχνικά Χαρακτηριστικά



Εικόνα 36: Καμπύλη Ισχύος εξόδου Pout (AC) συναρτήσει της ισχύος εισόδου Pin (DC)



Εικόνα 37: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εισόδου Pin (DC)



Εικόνα 38: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εξόδου Pout (AC)

7.4.2.2 Αντιστροφέας Sunny Boy SWR 700 Medium

Ο αντιστροφέας των 0.6kW χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της δεύτερης συστοιχίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καθώς και οι καμπύλες απόδοσής του παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες.

Grid Inverter Definitions

General Data | Efficiency curve | Sizes | Commercial |

Model: Sunny Boy SWR 700 Medium Manufacturer: SMA
 File name: SMA_SunnyBoy700M.DND Data Source: Manufacturer

Input side (DC PV field)

Minimum MPP Voltage: 96 V
 Maximum MPP Voltage: 200 V
 Maximum PV Voltage: 200 V
 Min. Voltage for PNom: N/A V
 Power Threshold: 4.0 W
 Nominal PV Power: 0.78 kW
 Maximum PV Power: 0.90 kW
 Maximum PV Current: N/A A

Operating mode:
 MPPT
 Fixed Voltage

Blue values: Indicative only, not used in the simulation

Output side (AC grid)

Type:
 Monophased
 Triphased

Frequency:
 50 Hz
 60 Hz

Grid Voltage: 230 V
 Nominal AC Power: 0.60 kW
 Maximal AC Power: 0.60 kW
 Nominal AC Current: 3.00 A
 Maximum AC Current: 3.50 A

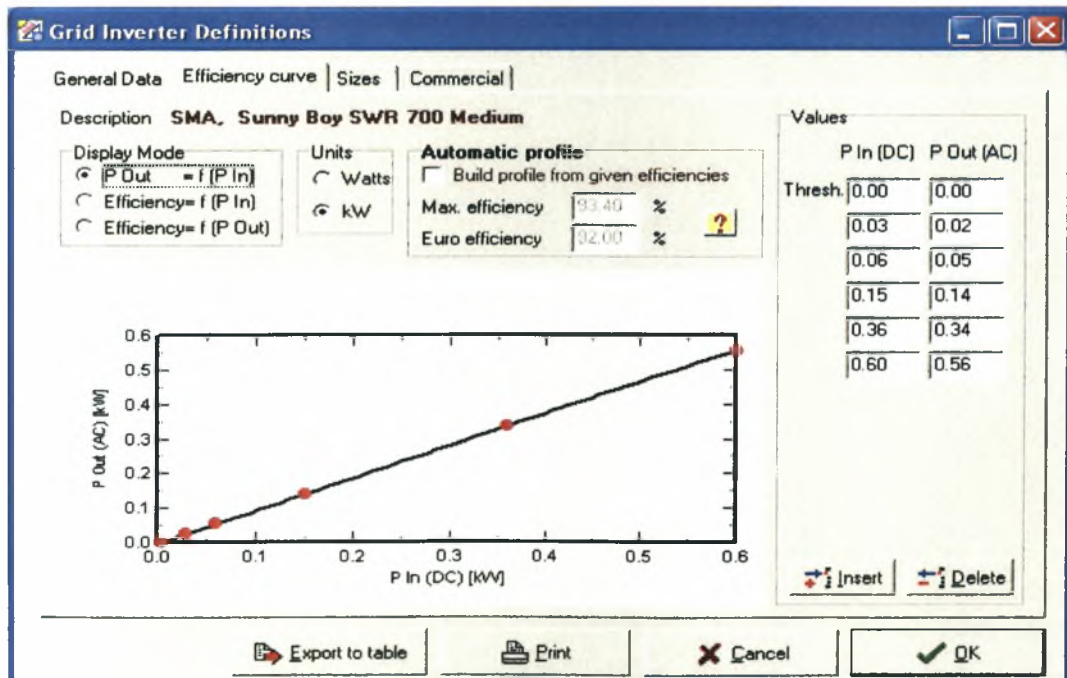
Behaviour at Nominal Power:
 Power limitation
 Cut
 Cut up to evening

Behaviour at Vmin/Vmax:
 Limitation
 Cut

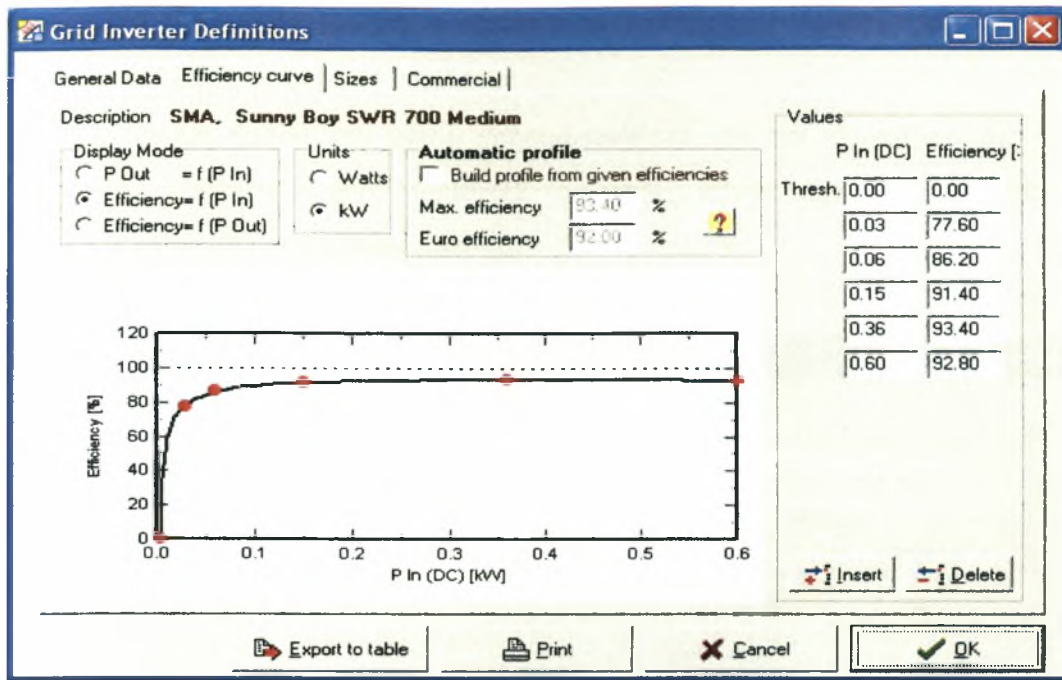
Efficiency:
 Maximal efficiency: 93.4 %
 European normalised average efficiency: 92.0 %

Export to table Print Cancel OK

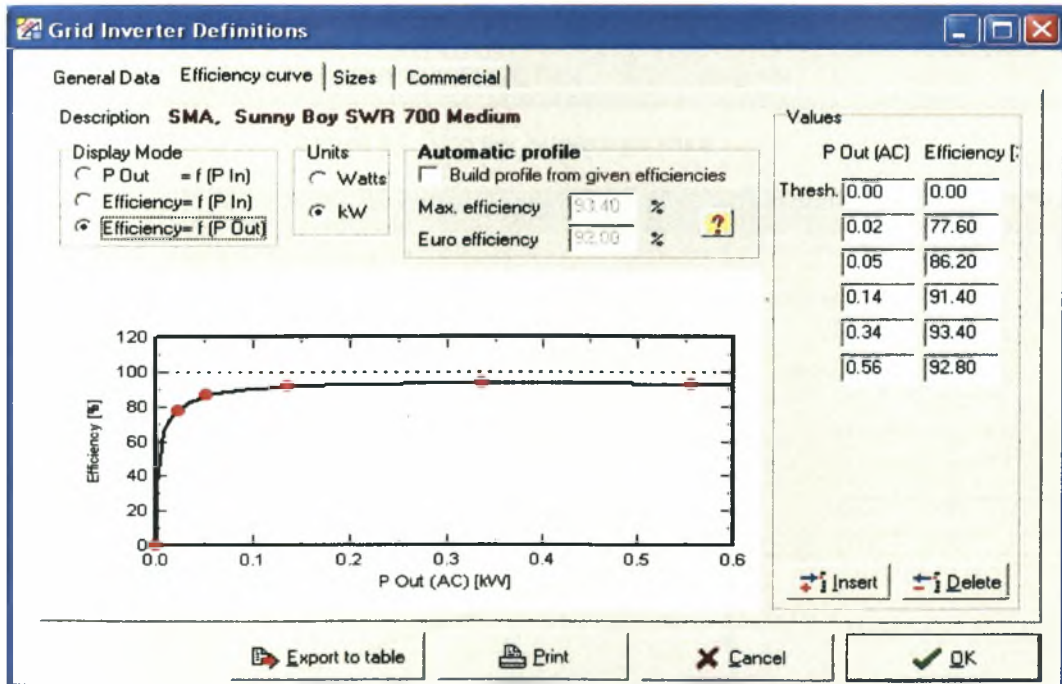
Εικόνα 39: Τεχνικά Χαρακτηριστικά



Εικόνα 40: Καμπύλη Ισχύος εξόδου Pout (AC) συναρτήσει της ισχύος εισόδου Pin (DC)



Εικόνα 41: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εισόδου P_{in} (DC)



Εικόνα 42: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εξόδου P_{out} (AC)

7.4.2.3. Αντιστροφέας Sunny Boy SWR 1100LV

Ο αντιστροφέας αυτού του τύπου χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της τρίτης συστοιχίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καθώς και οι καμπύλες απόδοσής του παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες.

Grid Inverter Definitions

General Data | Efficiency curve | Sizes | Commercial

Model: Sunny Boy SWR 1100LV Manufacturer: SMA
 File name: SMA_SunnyBoy1100LV.DND Data Source: Manufacturer

Input side (DC PV field)

Minimum MPP Voltage	21	V
Maximum MPP Voltage	60	V
Maximum PV Voltage	60	V
Min. Voltage for PNom	N/A	V
Power Threshold	5.0	W
Nominal PV Power	1.1	kW
Maximum PV Power	1.2	kW
Maximum PV Current	N/A	A

Operating mode:
 MPPT
 Fixed Voltage

Blue values :
 Indicative only,
 not used in the
 simulation

Output side (AC grid)

Type	Frequency
<input type="radio"/> Monophased	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz
<input checked="" type="radio"/> Triphased	<input type="checkbox"/> 60 Hz
Grid Voltage	230 V
Nominal AC Power	1.0 kW
Maximal AC Power	1.0 kW
Nominal AC Current	0.0 A
Maximum AC Current	N/A A

Efficiency

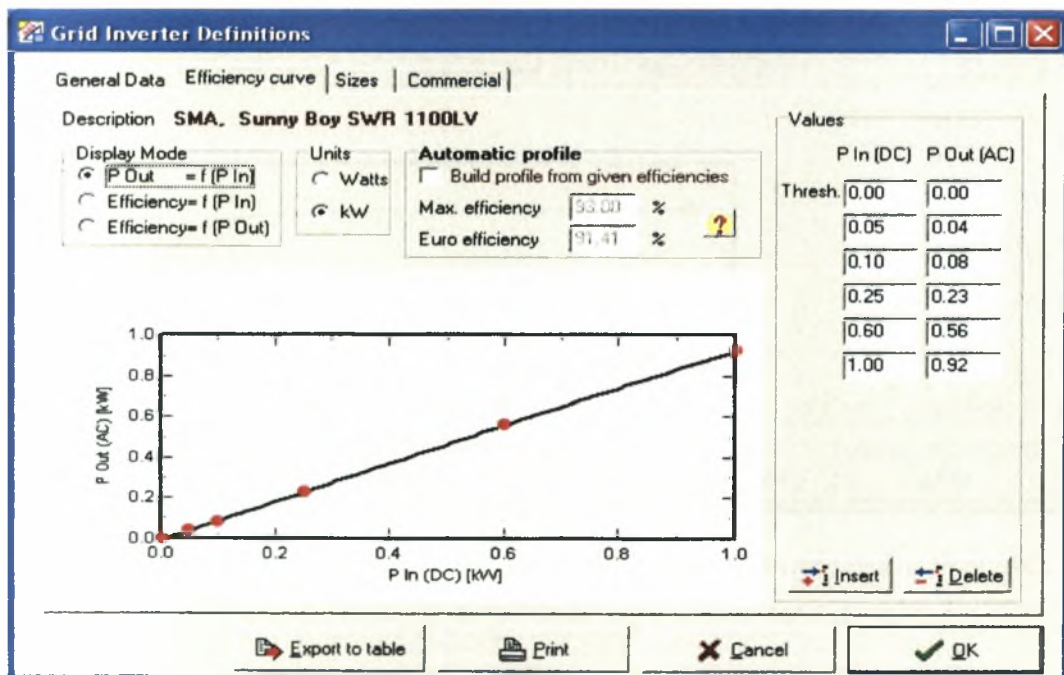
Maximal efficiency	93.0 %
European normalised average efficiency	91.4 %

Behaviour at Nominal Power:
 Power limitation
 Cut
 Cut up to evening

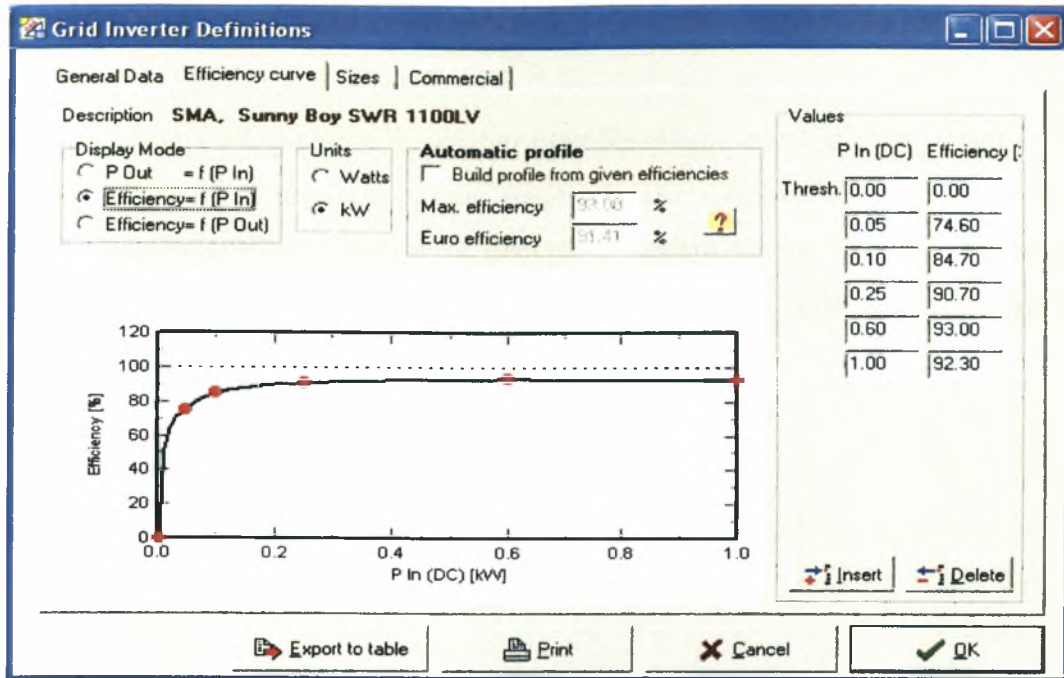
Behaviour at Vmin/Vmax:
 Limitation
 Cut

Buttons: Export to table, Print, Cancel, OK

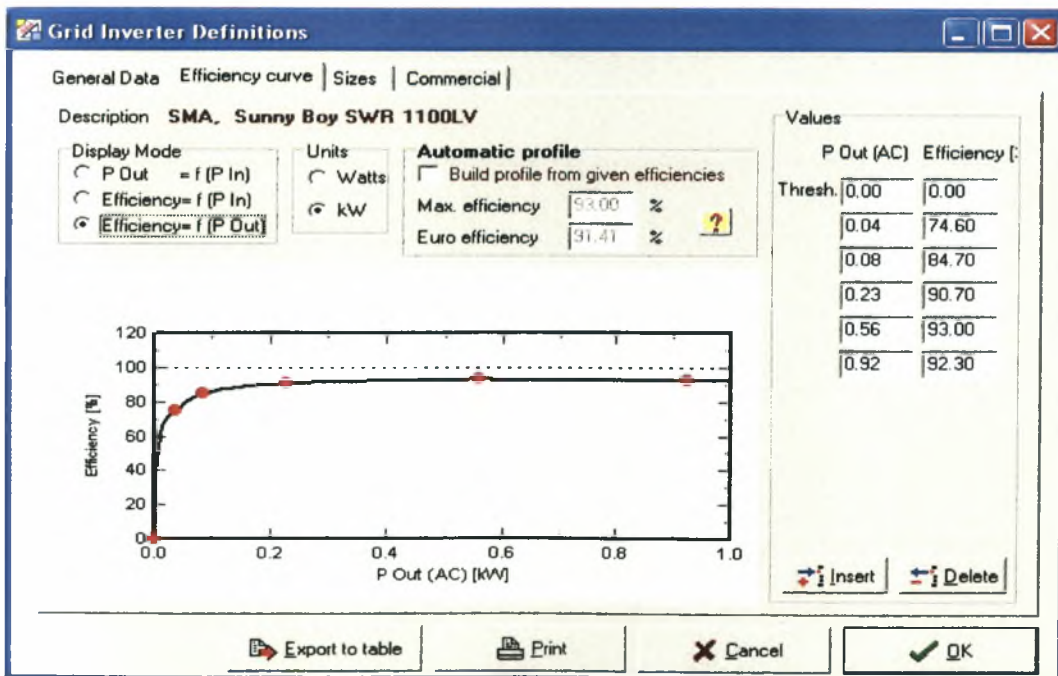
Εικόνα 43: Τεχνικά Χαρακτηριστικά



Εικόνα 44: Καμπύλη Ισχύος εξόδου Pout (AC) συναρτήσει της ισχύος εισόδου Pin (DC)



Εικόνα 45: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εισόδου P_{in} (DC)



Εικόνα 46: Επί της % καμπύλη Απόδοσης συναρτήσει της Ισχύος εξόδου P_{out} (AC)

7.5 Αναφορές

Με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ και των αντιστροφέων, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του οικισμού, και χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα PVSYST 4.1, έγιναν οι ακόλουθες προσομοιώσεις για κάθε μια από τις τρεις συστοιχίες και ελήφθησαν οι ακόλουθες αναφορές (Πανταζοπούλου, 2007, www.pvsyst.com).

7.5.1 Συστοιχία N.1

PVSYS V4.1		Page 1/3	
ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ N.1			
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Meltemi.1		
Geographical Site	Athinal	Country	Greece
Situation	Latitude 38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+2	Altitude	10 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Athinai , synthetic hourly data		
Simulation Variant :	Simulation variant		
	Simulation date	30/09/07 19h20	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 30°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	YL165Wp
		Manufacturer	Yingli Solar
Number of PV modules	In series	16 modules	In parallel 1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	16	Unit Nom. Power 165 Wp
Array global power	Nominal (STC)	2.64 kWp	At operating cond. 2.33 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	327 V	I mpp 7 A
Total area	Module area	20.8 m²	Cell area 7.7 m ²
PV Array loss factors			
Heat Loss Factor	ko (const)	29.0 W/m ² K	kv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper Coll. Temp (800 W/m ² , Tamb=20°C,	wind 1 m/s)		NOCT 45 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	1491.9 mOhm	Loss Fraction 3.0 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction 0.2 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1-bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
System Parameter	System type	Grid-Connected System	
Inverter	Model	SolarSTAR a6000	
	Manufacturer	WURTH SOLERGY	
Inverter Characteristics	Operating Voltage	90-560 V	Unit Nom. Power 3.0 kW AC
User's needs :	Unlimited load (grid)		

ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ N.1

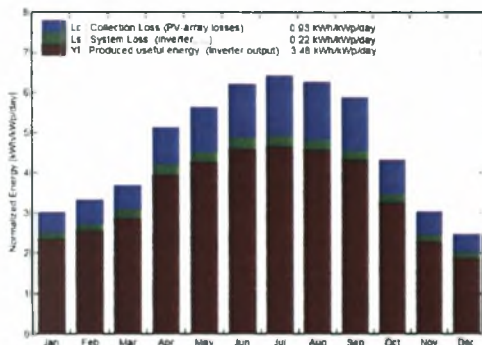
Grid-Connected System: Main results

Project : Meltemi.1
Simulation Variant : Simulation variant

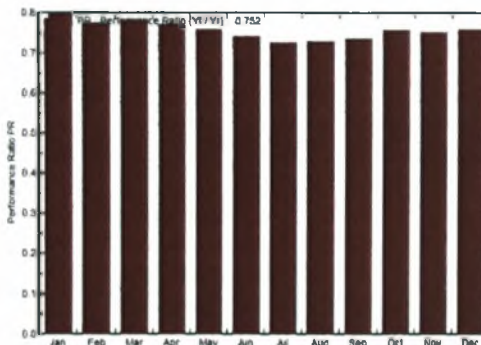
Main system parameters	System type Grid-Connected
PV Field Orientation	tilt 30° azimuth 0°
PV modules	Model YL165Wp Pnom 165 Wp
PV Array	Nb. of modules 16 Pnom total 2.64 kWp
Inverter	Model SolarSTAR a6000 Pnom 3.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)

Main simulation results
 System Production **Produced Energy 3355 kWh/year** Specific 1271 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR **75.2 %**

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 2.64 kWp



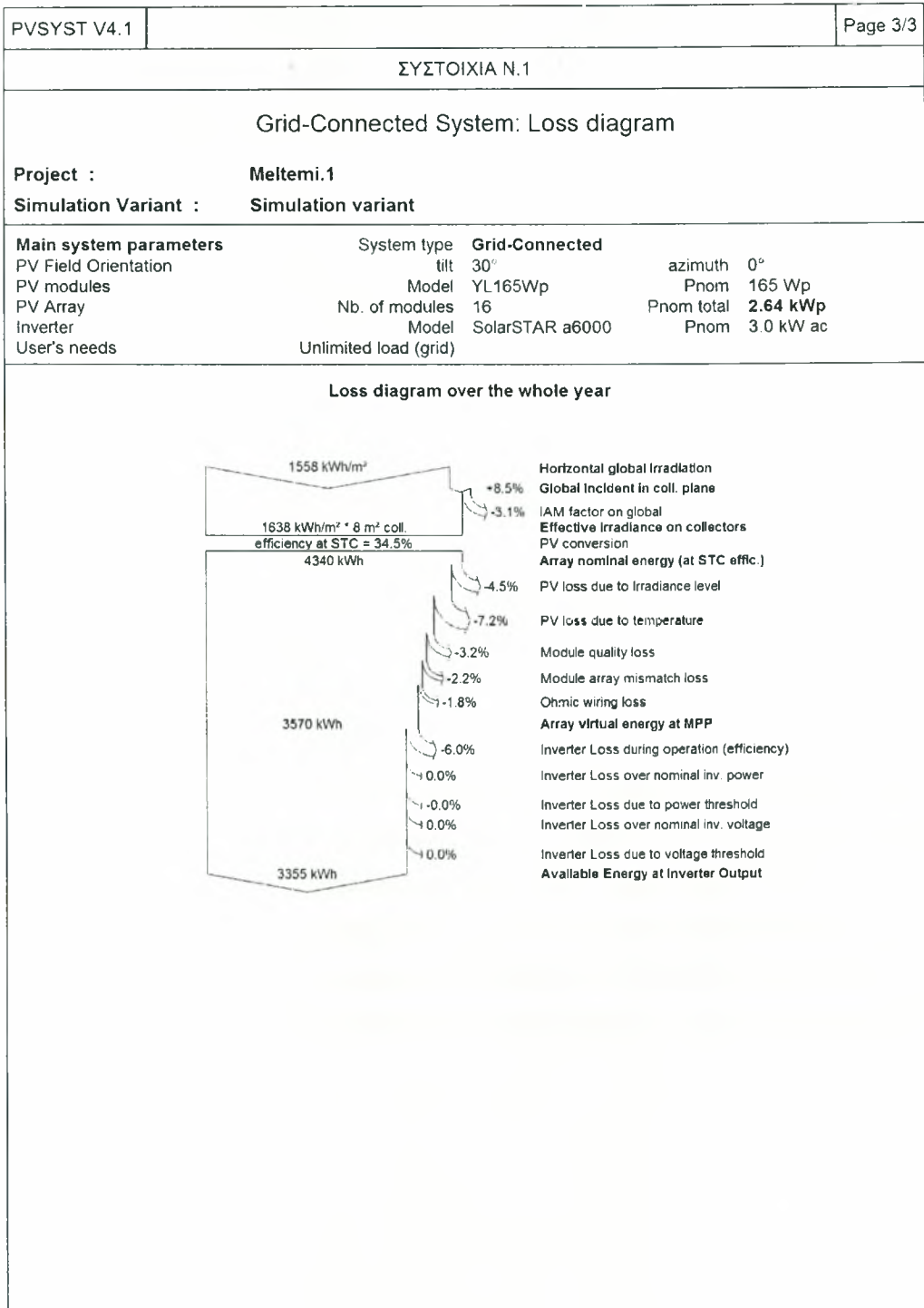
Performance Ratio PR



Simulation variant
 Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	EOutInv kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	86.0	11.60	94.0	91.2	208.5	194.8	10.69	9.99
February	74.0	10.90	93.2	90.4	204.2	190.5	10.58	9.85
March	104.0	11.80	114.7	111.1	252.9	238.1	10.63	9.92
April	147.0	13.90	153.8	149.0	332.8	313.4	10.43	9.82
May	182.0	18.00	174.9	169.0	371.6	350.0	10.24	9.64
June	201.0	22.10	188.5	180.1	387.2	365.0	10.01	9.43
July	213.0	25.60	199.7	192.9	405.1	382.7	9.78	9.24
August	192.0	28.30	194.7	188.8	398.9	375.1	9.62	9.29
September	165.0	24.30	176.7	171.6	363.5	343.9	9.91	9.38
October	106.0	20.50	134.5	130.6	285.8	268.6	10.24	9.62
November	86.0	16.40	91.5	88.7	195.0	181.5	10.27	9.56
December	52.0	13.50	76.9	74.6	166.0	154.0	10.40	9.65
Year	1558.0	17.85	1690.9	1637.9	3569.6	3355.6	10.17	9.58

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



Στην σελίδα 1/3 παρουσιάζονται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του οικισμού:

- γεωγραφικό πλάτος: 38°
- γεωγραφικό μήκος : 23.4°
- υψόμετρο: 10m
- ζώνη ώρας : +2 ώρες

Στη συνέχεια δίνονται οι παράμετροι της εξομοίωσης:

- προσανατολισμός της επιφάνειας του συλλέκτη : 30°
- σκίαση : χωρίς σκίαση
- χαρακτηριστικά της συστοιχίας : 16 πάνελ στη σειρά, $P_N=2.64$ kWp
- απώλειες
- παράμετρος συστήματος : διασυνδεδεμένο
- χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

Στη σελίδα 2/3 παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα της εξομοίωσης :

- παραγόμενη ενέργεια : 3355 kWh/year
- ειδικότερα : 1271 kWh/kWp/year
- βαθμός απόδοσης : 75.2%

Στη συνέχεια ακολουθούν δυο διαγράμματα, όπου στο πρώτο απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή, οι απώλειες του συστήματος και οι απώλειες του συλλέκτη. Στο δεύτερο απεικονίζεται ο βαθμός απόδοσης για κάθε μήνα. Τέλος παρουσιάζονται σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα για κάθε μήνα αλλά και συνολικά στη διάρκεια του έτους, οι διάφορες ακτινοβολίες, η θερμοκρασία και η ενέργεια εξόδου σε διάφορα σημεία του συστήματος. Στη σελίδα 3/3 παρουσιάζεται το διάγραμμα των επιμέρους απωλειών για ολόκληρο το έτος.

7.5.2. Συστοιχία N.2

PVSYST V4.1				Page 1/3
ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ N.2				
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Meltemi.2			
Geographical Site	Athinai	Country	Greece	
Situation	Latitude	38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	10 m
	Albedo	0.20		
Meteo data :	Athinai . synthetic hourly data			
Simulation Variant :	Simulation variant			
	Simulation date	30/09/07 19h12		
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	YL170Wp	
		Manufacturer	Yingli Solar	
Number of PV modules		In series	5 modules	In parallel
Total number of PV modules		Nb. modules	5	Unit Nom. Power
Array global power		Nominal (STC)	850 Wp	At operating cond.
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	102 V	I mpp
Total area		Module area	6.5 m²	Cell area
				2.4 m ²
PV Array loss factors				
Heat Loss Factor	ko (const)	29.0 W/m ² K	kv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (800 W/m ² , Tamb=20°C, wind 1 m/s)			NOCT	45 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	466.7 mOhm	Loss Fraction	3.0 % at STC
Series Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction	0.6 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1-bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
System Parameter	System type	Grid-Connected System		
Inverter	Model	Sunny Boy SWR 700 Medium		
	Manufacturer	SMA		
Inverter Characteristics	Operating Voltage	96-200 V	Unit Nom. Power	0.6 kW AC
User's needs :	Unlimited load (grid)			

ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ N.2

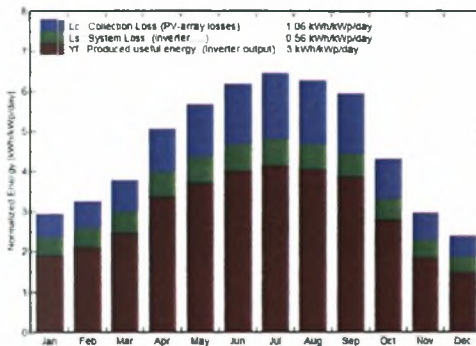
Grid-Connected System: Main results

Project : Meltemi.2
Simulation Variant : Simulation variant

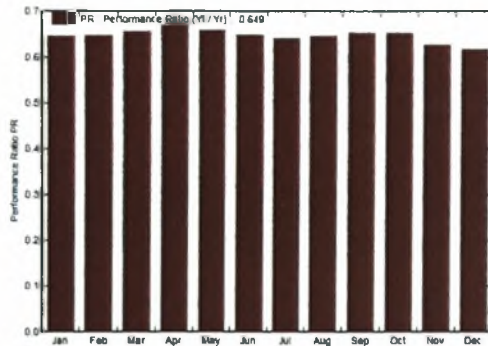
Main system parameters	System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	tilt	30° azimuth 0°
PV modules	Model	YL170Wp Pnom 170 Wp
PV Array	Nb. of modules	5 Pnom total 850 Wp
Inverter	Model	Sunny Boy SWR 700 MeditPnom 600 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)	

Main simulation results
 System Production **Produced Energy 929 kWh/year** Specific 1094 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR **64.9 %**

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 850 Wp



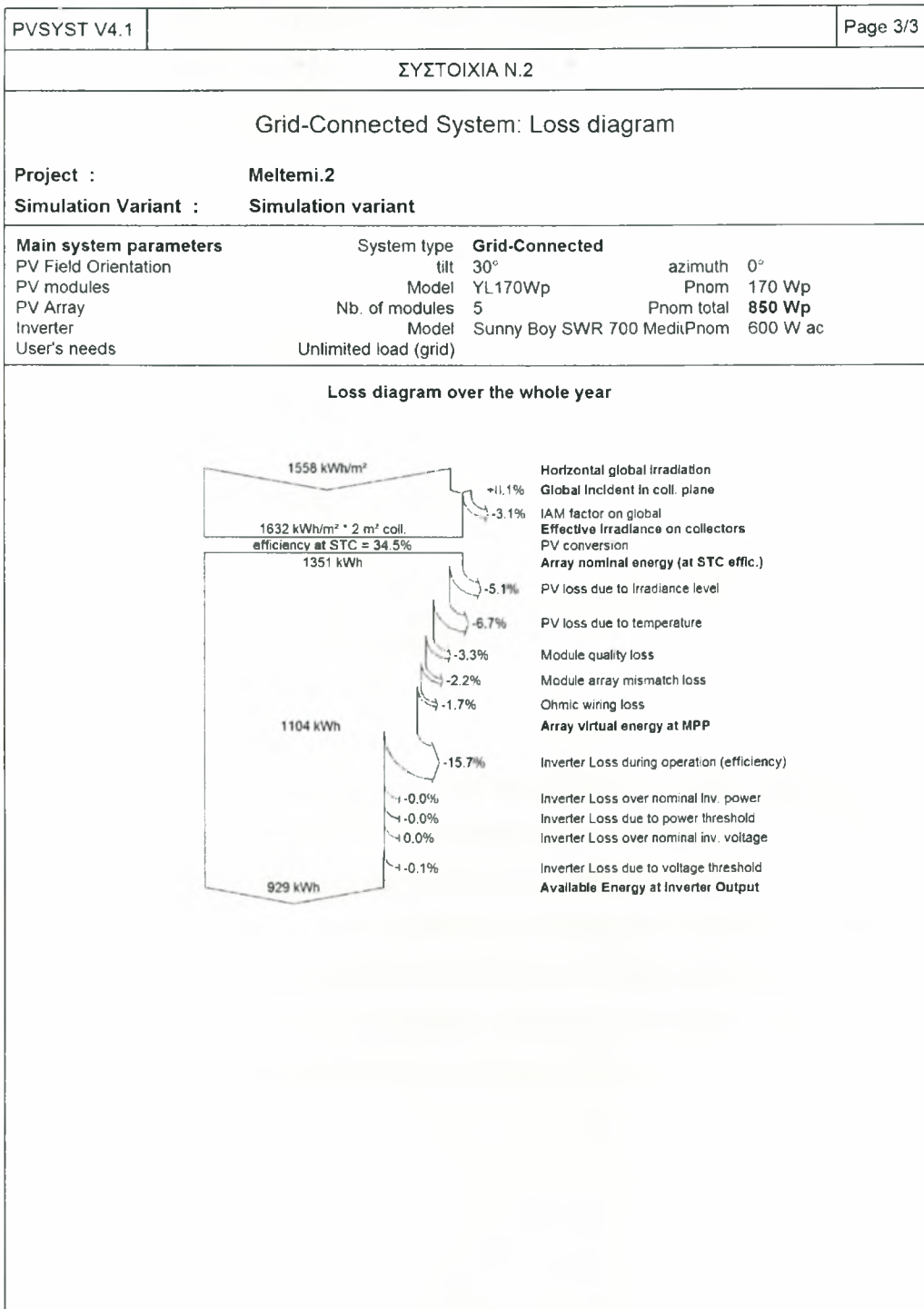
Performance Ratio PR



Simulation variant
 Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobE# kWh/m²	EArray kWh	EOutInv kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.0	11.60	91.7	88.9	62.5	50.4	10.52	8.48
February	74.0	10.90	91.5	88.7	62.2	50.4	10.48	8.49
March	104.0	11.80	117.6	113.9	80.0	65.5	10.49	8.59
April	147.0	13.90	151.9	147.2	102.1	86.6	10.37	8.79
May	182.0	18.00	175.9	170.0	115.7	98.4	10.15	8.63
June	201.0	22.10	185.8	179.4	119.7	102.6	9.93	8.51
July	213.0	25.60	200.4	193.6	126.6	109.2	9.74	8.40
August	192.0	26.30	194.7	188.7	123.4	106.9	9.78	8.47
September	156.0	24.30	178.3	173.2	113.9	98.9	9.85	8.56
October	106.0	20.50	133.6	129.9	88.1	74.1	10.16	8.55
November	66.0	16.40	89.0	86.3	69.2	47.5	10.25	8.22
December	62.0	13.50	74.2	71.9	49.7	39.0	10.33	8.10
Year	1558.0	17.95	1684.7	1631.8	1103.1	829.5	10.10	8.51

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T Amb Ambient Temperature EOutInv Available Energy at inverter Output
 GlobInc Global incident in cell plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
 GlobE# Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area



Στην σελίδα 1/3 παρουσιάζονται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του οικισμού:

- γεωγραφικό πλάτος: 38°
- γεωγραφικό μήκος : 23.4°
- υψόμετρο: 10m
- ζώνη ώρας : +2 ώρες

Στη συνέχεια δίνονται οι παράμετροι της εξομοίωσης:

- προσανατολισμός της επιφάνειας του συλλέκτη : 30°
- σκίαση : χωρίς σκίαση
- χαρακτηριστικά της συστοιχίας : 5 πάνελ στη σειρά, $P_N=0.85$ kWp
- απώλειες
- παράμετρος συστήματος : διασυνδεδεμένο
- χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

Στη σελίδα 2/3 παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα της εξομοίωσης :

- παραγόμενη ενέργεια : 929 kWh/year
- ειδικότερα : 1094 kWh/kWp/year
- βαθμός απόδοσης : 64.9%

Στη συνέχεια, ομοίως ακολουθούν τα δυο διαγράμματα. Το πρώτο περιλαμβάνει τη μηνιαία παραγωγή, τις απώλειες του συστήματος και τις απώλειες του συλλέκτη, ενώ στο δεύτερο απεικονίζεται ο βαθμός απόδοσης για κάθε μήνα. Στο τέλος της αναφοράς παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας για κάθε μήνα αλλά και συνολικά στη διάρκεια του έτους με τις επιμέρους ακτινοβολίες, τη θερμοκρασία και την ενέργεια εξόδου στα διάφορα σημεία του συστήματος. Ομοίως, στη σελίδα 3/3 παρουσιάζεται το διάγραμμα των επιμέρους απωλειών για ολόκληρο το έτος.

7.5.3 Συστοιχία N.3

PVSYST V4.1				Page 1/3
ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ N.3				
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Meltemi.3			
Geographical Site	Athinai	Country	Greece	
Situation	Latitude	38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	10 m
	Albedo	0.20		
Meteo data :	Athinai , synthetic hourly data			
Simulation Variant :	Simulation variant			
	Simulation date	30/09/07 20h00		
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	YL170Wp	
		Manufacturer	Yingli Solar	
Number of PV modules		In series	2 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	4	Unit Nom. Power 170 Wp
Array global power		Nominal (STC)	680 Wp	At operating cond. 585 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	41 V	I mpp 14 A
Total area		Module area	5.2 m²	Cell area 1.9 m ²
PV Array loss factors				
Heat Loss Factor	ko (const)	29.0 W/m ² K	kv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (800 W/m ² , Tamb=20°C, wind 1 m/s)			NOCT	45 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	92.5 mOhm	Loss Fraction	3.0 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction	1.6 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	3.0 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1-bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
System Parameter	System type	Grid-Connected System		
Inverter	Model	Sunny Boy SWR 1100LV		
	Manufacturer	FMA		
Inverter Characteristics	Operating Voltage	24-60 V	Unit Nom. Power	1.0 kW AC
User's needs :	Unlimited load (grid)			

ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ Ν.3

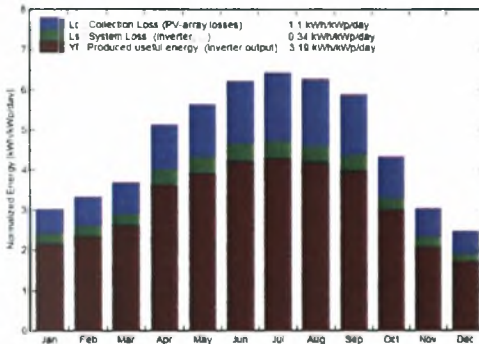
Grid-Connected System: Main results

Project : Meltemi.3
Simulation Variant : Simulation variant

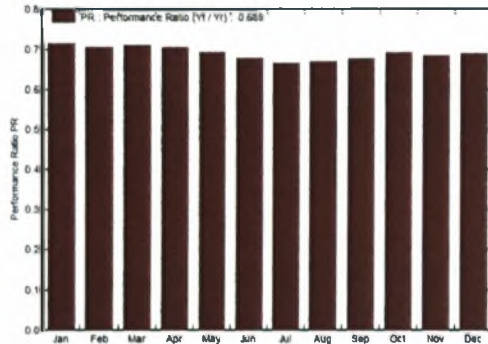
Main system parameters	System type	Grid-Connected
PV Field Orientation	tilt	30° azimuth 0°
PV modules	Model	YL170Wp Pnom 170 Wp
PV Array	Nb. of modules	4 Pnom total 680 Wp
Inverter	Model	Sunny Boy SWR 1100LV Pnom 1.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)	

Main simulation results
 System Production **Produced Energy 791 kWh/year** Specific **1163 kWh/kWp/year**
 Performance Ratio PR **68.8 %**

Normalized productions (per Installed kWp): Nominal power 680 Wp



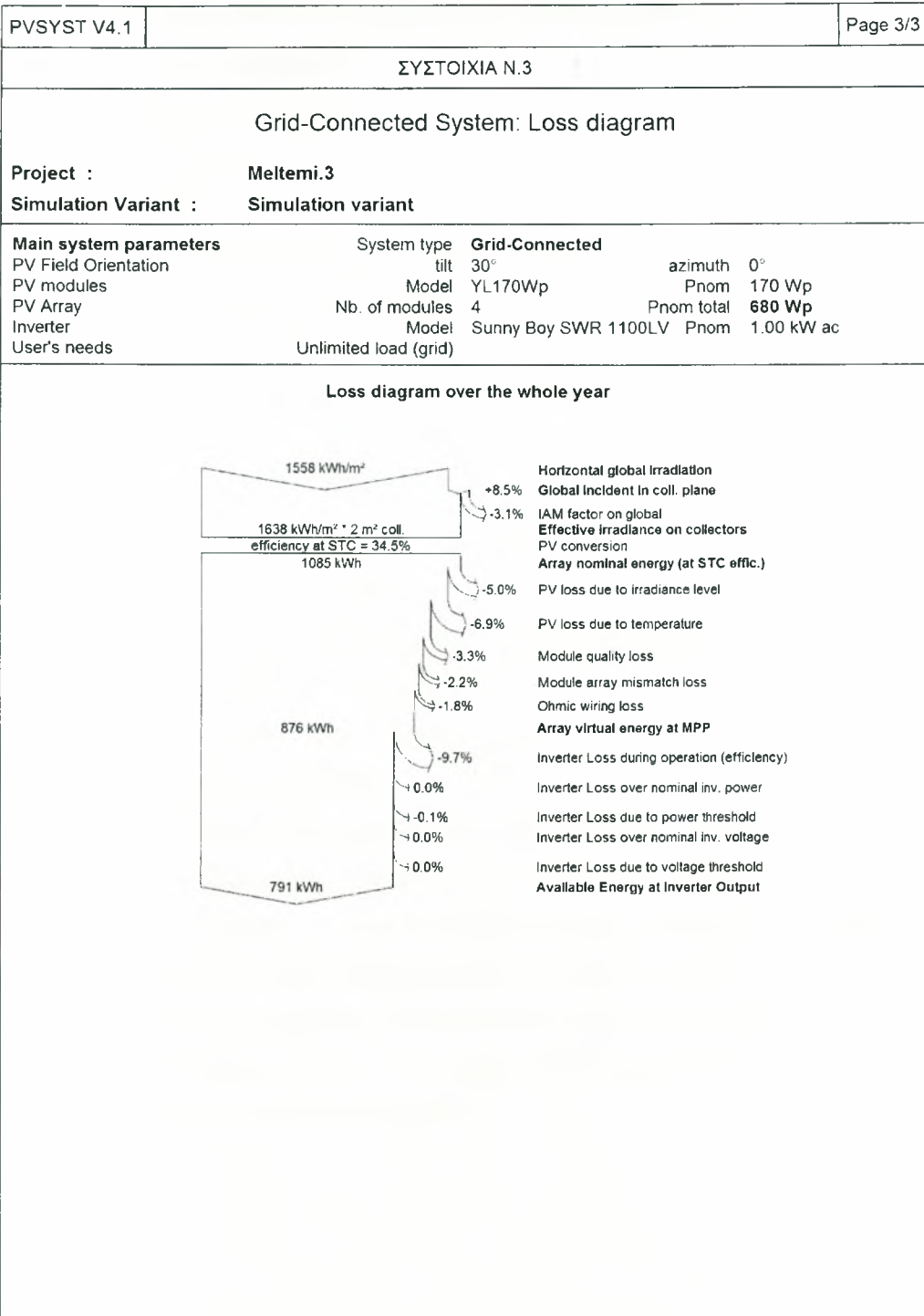
Performance Ratio PR



Simulation variant
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	EOutInv kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	86.0	11.80	94.0	91.2	50.99	45.71	10.48	9.38
February	74.0	10.90	93.2	90.4	49.95	44.89	10.33	9.25
March	104.0	11.80	114.7	111.1	61.83	55.43	10.38	9.32
April	147.0	13.90	153.8	149.0	81.65	73.92	10.23	9.27
May	182.0	18.00	174.9	169.0	91.19	82.54	10.05	9.10
June	201.0	22.10	186.5	180.1	95.02	86.17	9.82	8.91
July	213.0	25.80	199.7	192.9	99.81	90.50	9.82	8.74
August	192.0	26.30	194.7	188.8	97.65	88.71	9.67	8.78
September	165.0	24.30	176.7	171.6	89.38	81.35	9.75	8.88
October	106.0	20.50	134.5	130.6	70.10	63.29	10.05	9.07
November	86.0	16.40	91.5	88.7	47.74	42.62	10.05	8.97
December	52.0	13.50	76.9	74.6	40.56	36.07	10.17	9.04
Year	1558.0	17.95	1690.9	1637.9	876.67	790.98	9.98	9.02

Legends: GlobHor: Horizontal global irradiation EArray: Effective energy at the output of the array
 T Amb: Ambient Temperature EOutInv: Available Energy at Inverter Output
 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



Στην σελίδα 1/3 παρουσιάζονται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του οικισμού:

- γεωγραφικό πλάτος: 38°
- γεωγραφικό μήκος : 23.4°
- υψόμετρο: 10m
- ζώνη ώρας : +2 ώρες

Στη συνέχεια δίνονται οι παράμετροι της εξομοίωσης:

- προσανατολισμός της επιφάνειας του συλλέκτη : 30°
- σκίαση : χωρίς σκίαση
- χαρακτηριστικά της συστοιχίας : 2 παράλληλοι κλάδοι των 2 πάνελ εν σειρά,
 $P_N=0.68 \text{ kWp}$
- απώλειες
- παράμετρος συστήματος : διασυνδεδεμένο
- χαρακτηριστικά των αντιστροφών

Στη σελίδα 2/3 παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα της εξομοίωσης :

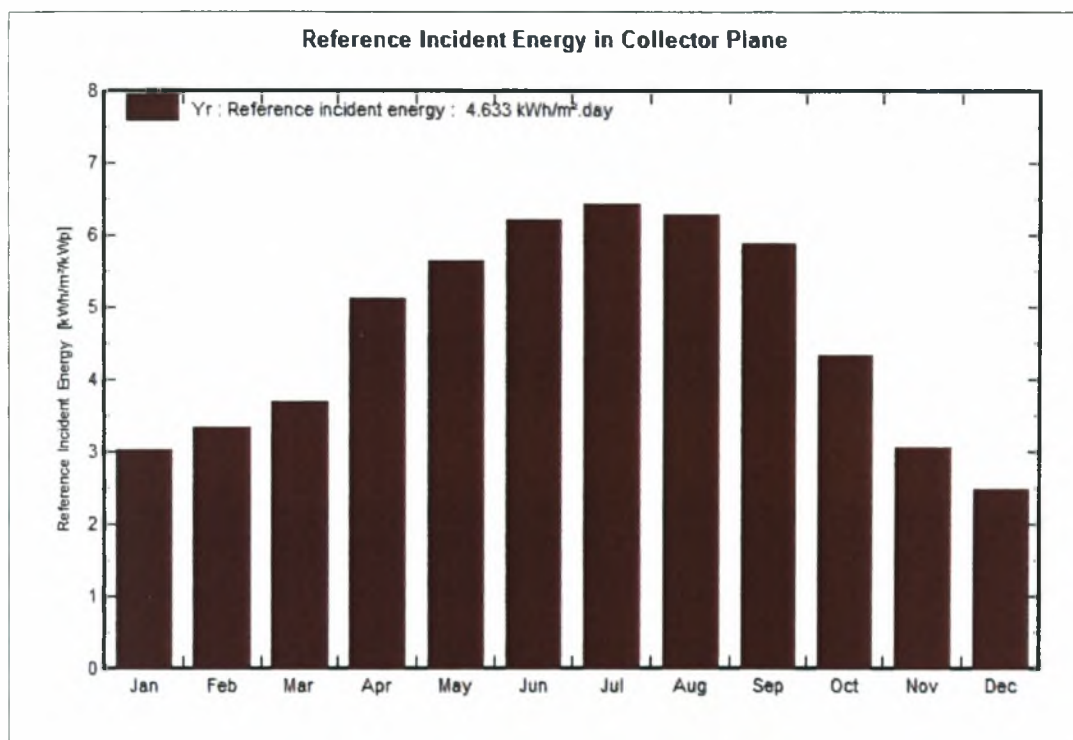
- παραγόμενη ενέργεια : 791 kWh/year
- ειδικότερα : 1163 kWh/kWp/year
- βαθμός απόδοσης : 68.8%

Έπειτα παρουσιάζονται δυο διαγράμματα. Με το πρώτο να απεικονίζει τη μηνιαία παραγωγή, τις απώλειες του συστήματος και τις απώλειες του συλλέκτη και το δεύτερο να απεικονίζει το βαθμό απόδοσης για κάθε μήνα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα για κάθε μήνα αλλά και συνολικά για τη διάρκεια του έτους οι επιμέρους ακτινοβολίες, η θερμοκρασία και η ενέργεια εξόδου στα διάφορα σημεία του συστήματος. Τέλος, στη σελίδα 3/3 παρουσιάζεται το διάγραμμα των επιμέρους απωλειών για ολόκληρο το έτος.

7.6 Αποδόσεις

7.6.1 Συστοιχία N.1

Στο παρακάτω διάγραμμα 1 απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας στη διάρκεια ενός έτους.



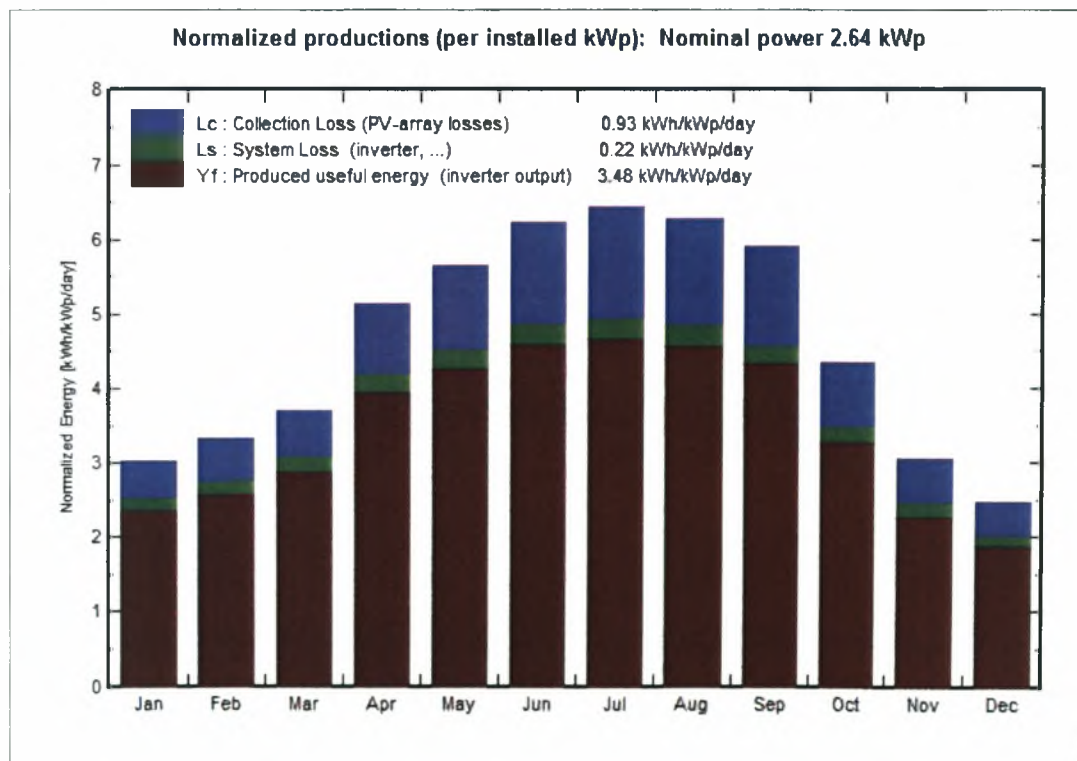
Διάγραμμα 1: Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Από το διάγραμμα παρατηρούμε πως η παραγωγή κατά τους μήνες Νοέβρη, Δεκέμβρη, Ιανουάριο, Φεβρουάριο είναι ιδιαίτερα χαμηλή, και μάλιστα φαίνεται ότι παρουσιάζει ελάχιστο κατά το μήνα Δεκέμβρη. Το γεγονός αυτό είναι απολύτως δικαιολογημένο καθώς ο Δεκέμβρης διαθέτει το μεγαλύτερο αριθμό σε ανήλιες ημέρες, ενώ οι ηλιοφεγγείς ημέρες είναι οι δεύτερες λιγότερες μετά από εκείνες του Ιανουαρίου, [Παράρτημα Γ]. Επιπρόσθετα φαίνεται ότι υπάρχει σταδιακά αύξηση στη παραγόμενη ενέργεια κινούμενοι από το μήνα Μάρτιο προς τον Ιούλιο όπου εκεί παρατηρείται να εμφανίζεται η μέγιστη παραγωγή. Το γεγονός αυτό είναι και το αναμενόμενο, καθώς η ένταση της ακτινοβολίας είναι υψηλότερη σε σχέση με εκείνη των υπολοίπων μηνών. Ταυτόχρονα, ο Ιούλιος εμφανίζει το μεγαλύτερο αριθμό σε ηλιοφεγγείς ημέρες και τον

ελάχιστο δυνατόν σε ανήλιες, [Παράρτημα Γ]. Στη συνέχεια από τον Αύγουστο προς τον Νοέμβρη εμφανίζεται σταδιακή μείωση της παραγωγής. Από τη συνολικά καταγεγραμμένη παραγωγή έχει υπολογιστεί η μέση ημερήσια παραγωγή, η οποία ανέρχεται στις 4.633 kWh/m²/day. Η ειδική παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται σε 1271 kWh/kWp/year και είναι η ενέργεια που παράγει 1 εγκατεστημένο kWp/year.

Επίσης, ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι 75.2%, ο οποίος δεν είναι ιδιαίτερα υψηλός, με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις του να γίνονται αισθητές στην παραγωγή. Ο μέτριος βαθμός απόδοσης οφείλεται στο χαμηλότερο του μεγίστου δυνατού του βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα με τον οποίο δύναται να λειτουργεί, καθώς αυτός δύναται να συνδέεται σε μεγαλύτερης ισχύος συστοιχίες, με αποτέλεσμα στη πρώτη συστοιχία που έχει συνδεθεί να αναγκάζεται να υπολειπεται σε κάποιο βαθμό.

Στο διάγραμμα 2, παρουσιάζεται η κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας μαζί με τις απώλειες του συλλέκτη και του συστήματος συνολικά.



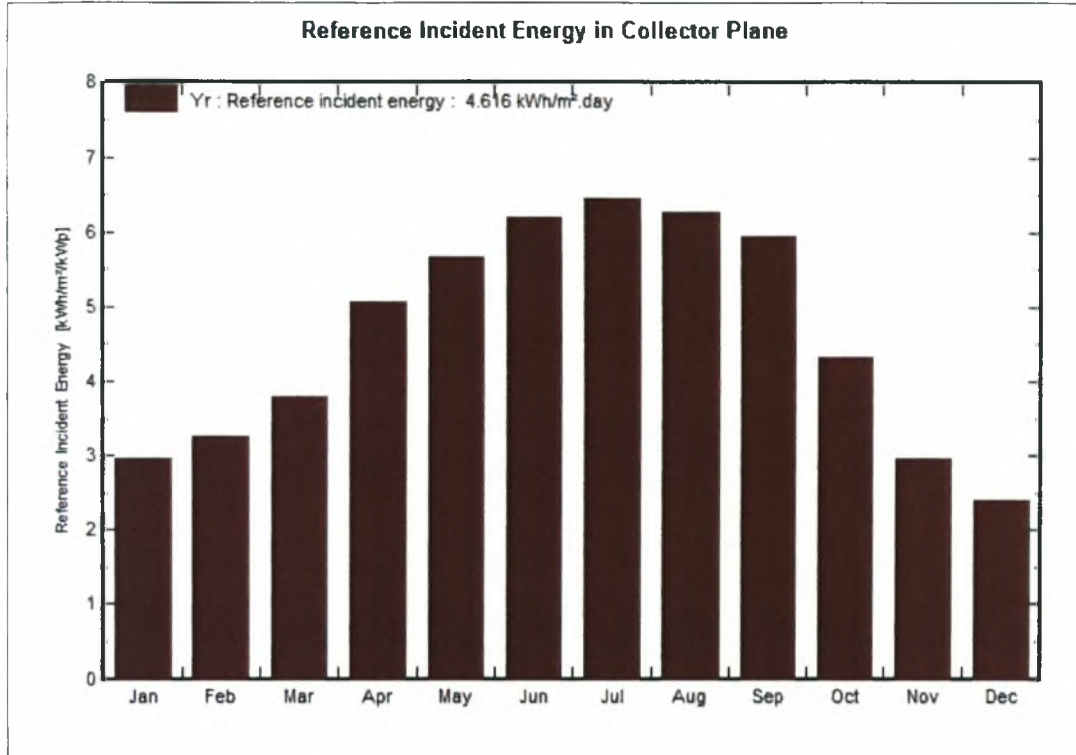
Διάγραμμα 2: Κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας, απώλειες συστήματος και απώλειες συλλέκτη

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια, η οποία ακολουθεί στην κατανομή, αυτή του διαγράμματος 1. Το μέγιστο διακρίνεται το μήνα Ιούλιο, λόγω της υψηλής εντάσεως ακτινοβολίας. Όσον αφορά τη κατανομή των απωλειών στην επιφάνεια του συλλέκτη αλλά και του συστήματος συνολικά, παρατηρείται μια αύξηση αυτών κινούμενοι από τον Ιανουάριο προς τον Ιούλιο και σταδιακή μείωσή τους, ώστε να επανέλθουν στα ίδια χαμηλά επίπεδα κινούμενοι από τον Αύγουστο προς τον Δεκέμβριο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι απώλειες μεταβάλλονται ανάλογα με τη θερμοκρασία, γεγονός που σημαίνει ότι άνοδος της θερμοκρασίας επιφέρει και αντίστοιχη αύξηση των απωλειών. Συνεπώς παρουσιάζονται ελάχιστες απώλειες το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ενώ το μέγιστο εμφανίζεται τον Ιούλιο μαζί με τις αντίστοιχες υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος, παρατηρείται ότι οι απώλειες οφείλονται κατά πολύ μεγαλύτερο ποσοστό σε αυτές που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του συλλέκτη σε αντίθεση με τις συνολικές απώλειες του συστήματος που οφείλονται στις υπόλοιπες διατάξεις. Προκύπτουν για τη συστοιχία τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- ημερήσια ενέργεια εξόδου : 3,48 kWh/kWp/day
- απώλειες συστοιχίας : 0,93 kWh/kWp/day
- απώλειες συστήματος : 0,22 kWh/kWp/day

7.6.2 Συστοιχία N.2

Στο παρακάτω διάγραμμα 3 απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας. Όμοια με τη συστοιχία N.1, παρατηρείται η μέγιστη παραγωγή να εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο όπως και αναμένεται.

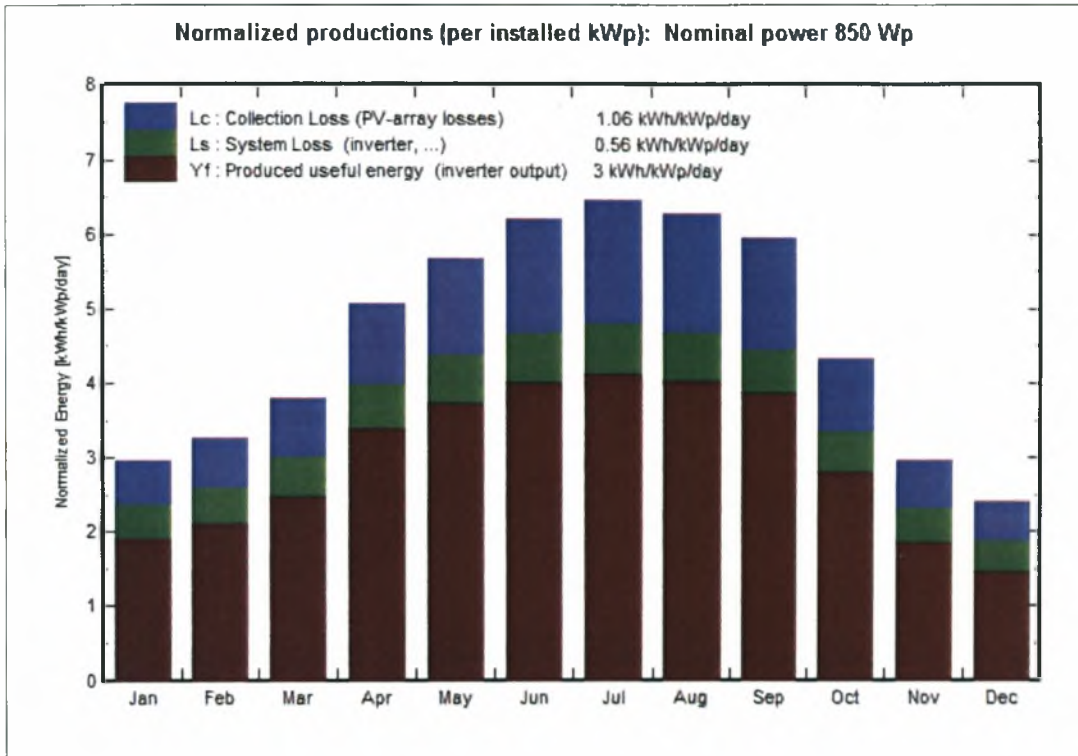


Διάγραμμα 3: Ενέργεια Αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Αντίστοιχα, στο διάγραμμα 4, παρουσιάζεται η κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας μαζί με τις απώλειες του συλλέκτη και του συστήματος συνολικά. Παρατηρείται ότι τα μέγιστα εμφανίζονται το μήνα Ιούλιο. Αυτό συμβαίνει διότι, όσον αφορά τη παραγωγή είναι η μέγιστη λόγω υψηλής εντάσεως ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα, παρατηρείται επίσης, πως και οι απώλειες στην επιφάνεια του συλλέκτη αυξάνονται κατά τους θερινούς μήνες σε σύγκριση με τους υπολοίπους. Συνεπώς παρουσιάζονται ελάχιστες απώλειες το Δεκέμβρη και τον Ιανουάριο όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ενώ το μέγιστο εμφανίζεται τον Ιούλιο μαζί με τις αντίστοιχες υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος οι συνολικές απώλειες του συστήματος ακολουθούν την ίδια κατανομή με αυτές στην επιφάνεια του συλλέκτη, αφού και αυτές εξαρτώνται από τη θερμοκρασία.

Προκύπτουν για τη συστοιχία τα ακόλουθα αποτελέσματα:

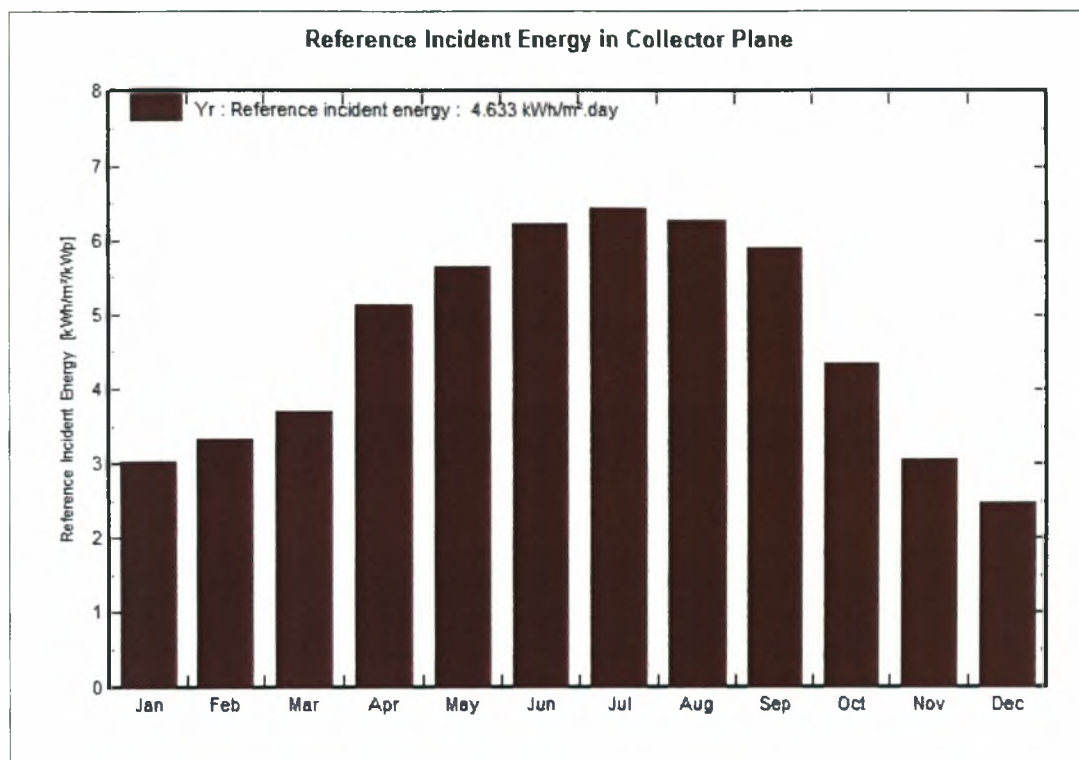
- ημερήσια ενέργεια εξόδου : 3,0 kWh/kWp/day
- απώλειες συστοιχίας : 1,06 kWh/kWp/day
- απώλειες συστήματος : 0,56 kWh/kWp/day



Διάγραμμα 4: Κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας, απώλειες συστήματος και απώλειες συλλέκτη

7.6.3 Συστοιχία N.3

Στο παρακάτω διάγραμμα 5 απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας. Όμοια με τις συστοιχίες N.1 και N.2, παρατηρείται η μέγιστη παραγωγή να εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο όπως και αναμένεται λόγω της υψηλής εντάσεως ακτινοβολίας.



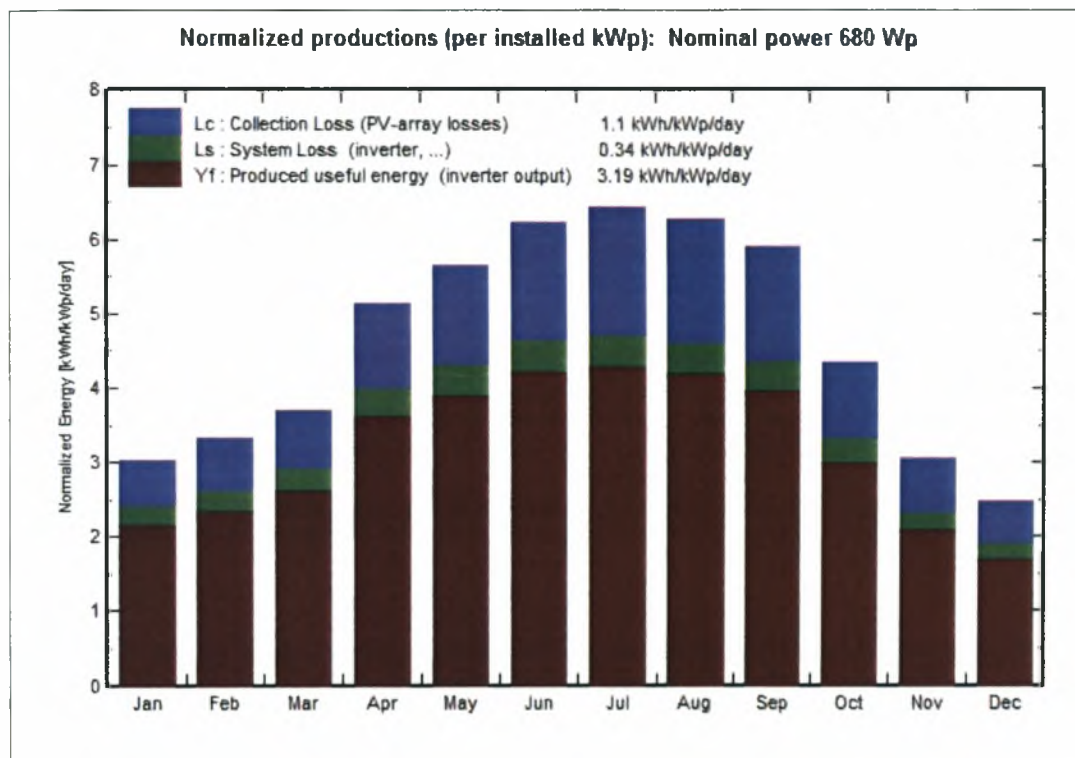
Διάγραμμα 5: Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Αντίστοιχα, για τη συστοιχία N.3 στο διάγραμμα 6, παρουσιάζεται η κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας ανά εγκατεστημένο kWp, μαζί με τις απώλειες του συλλέκτη και του συστήματος συνολικά. Ομοίως, το μήνα Ιούλιο και για τα τρία μετρούμενα μεγέθη εμφανίζεται το μέγιστο, εξαιτίας της υψηλής εντάσεως ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και του αριθμού των ηλιοφεγγών ημερών. Όσον αφορά τις απώλειες στην επιφάνεια του συλλέκτη, οι περισσότερες εμφανίζονται τον Ιούλιο μαζί με τις αντίστοιχες υψηλές θερμοκρασίες καθώς αυτές εξαρτώνται από τις τελευταίες. Συνεπώς παρουσιάζονται ελάχιστες απώλειες το Δεκέμβρη και τον Ιανουάριο όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ενώ αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι συνολικές απώλειες του συστήματος παρουσιάζουν μια σχετική αύξηση τη περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου ακολουθώντας την κατανομή των απωλειών στην επιφάνεια του συλλέκτη. Κάτι τέτοιο

είναι αναμενόμενο καθώς και αυτές μεταβάλλονται ανάλογα με τη θερμοκρασία.

Προκύπτουν για τη συστοιχία τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- ημερήσια ενέργεια εξόδου : 3,19 kWh/kWp/day
- απώλειες συστοιχίας : 1,1 kWh/kWp/day
- απώλειες συστήματος : 0,34 kWh/kWp/day



Διάγραμμα 6: Κανονικοποιημένη παραγωγή ενέργειας, απώλειες συστήματος και απώλειες συλλέκτη

8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ

8.1 Ορισμός Επενδυτικών Σχεδίων

8.1.1 Σχέδιο Επένδυσης

Η ολοκλήρωση ενός σχεδίου επένδυσης τελειώνει με τη λειτουργία μιας νέας παραγωγικής μονάδας ή και την επέκταση μιας υφιστάμενης για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών. Συχνά αντί του όρου σχέδιο επένδυσης χρησιμοποιείται ο όρος επένδυση και η αντίστοιχη δαπάνη για την απόκτησή της χαρακτηρίζεται ως δαπάνη κεφαλαίου. Οι δαπάνες για τη λειτουργία της παραγωγικής μονάδας ονομάζονται δαπάνες εκμετάλλευσης.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός σχεδίου επένδυσης είναι ότι οι ωφέλειες της από την παραγωγή αγαθών ή υπηρεσιών δεν εξαντλούνται μέσα σε μια και μόνη χρονική περίοδο αλλά έχουν διάρκεια. Γενικότερα, κάθε πράξη που έχει ως αποτέλεσμα τη στέρηση ικανοποίησης σημερινών αναγκών, με την ελπίδα αποκόμισης ωφελειών στο μέλλον και μάλιστα για μακρά χρονική περίοδο αποτελεί επένδυση.

Οι οικονομικοί πόροι, οι οποίοι δεσμεύονται για την κατασκευή και λειτουργία της παραγωγικής μονάδας καθώς και μια σειρά από αρνητικές δευτερογενείς επιδράσεις (π.χ. επιδράσεις στο περιβάλλον), συνιστούν το κόστος του σχεδίου επένδυσης. Αντίθετα, τα έσοδα από την πώληση αγαθών καθώς και οι θετικές δευτερογενείς επιδράσεις (π.χ. επιπτώσεις στην τεχνική πρόοδο της χώρας), αποτελούν τις ωφέλειες. Το κόστος και οι ωφέλειες ενός σχεδίου επένδυσης αποτελούν τη βάση για την αξιολόγησή του (Κάπρος, 2001).

8.1.2 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Επένδυσης

Τα κύρια χαρακτηριστικά στοιχεία μιας επένδυσης είναι:

- Η διάρκεια ζωής της επένδυσης, η οποία δεν προσδιορίζεται μόνον από τη φυσική φθορά της αλλά και από την τεχνική πρόοδο και τα τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά μιας μεταγενέστερης επένδυσης.
- Η ροή των οικονομικών πόρων οι οποίοι δεσμεύονται για την κατασκευή και λειτουργία της επένδυσης, εκφράζονται σε χρήματα και περιλαμβάνουν το

κόστος επένδυσης και το κόστος εκμετάλλευσης κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης.

- Η ροή των ωφελειών από τη παραγωγή των αγαθών ή των υπηρεσιών. Οι ωφέλειες εκφράζονται σε χρήματα και περιλαμβάνουν τα έσοδα από την πώληση των αγαθών ή των υπηρεσιών.
- Η ημερομηνία κατασκευής ή πραγματοποίησης της επένδυσης που αποτελεί αντικείμενο επιλογής.

8.2 Εκτίμηση Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ)

Η ΚΤΡ κάθε έτους είναι η διαφορά μεταξύ των εσόδων από τις πωλήσεις ή την εξοικονόμηση κόστους (ταμειακές εισροές) και των πληρωμών για τους διάφορους συντελεστές παραγωγής, τη διάθεση των προϊόντων και της πληρωμής του φόρου εισοδήματος που καταβάλει η επιχείρηση (ταμειακές εκροές). Δηλαδή η ΚΤΡ ενός σχεδίου επένδυσης για κάποιο έτος είναι το άθροισμα του κέρδους μετά τη φορολογία και των κρατήσεων για αποσβέσεις. Ειδικότερα συμβολίζουμε με:

E : τα έσοδα από τις πωλήσεις

$\Lambda\Delta$: τις πληρωμές για τους συντελεστές παραγωγής και τη διάθεση των προϊόντων, δηλαδή τις λειτουργικές δαπάνες.

A : τις αποσβέσεις για την επένδυση.

$\Phi\Sigma$: ο φορολογικός συντελεστής για τον υπολογισμό του φόρου εισοδήματος.

T : οι τόκοι.

Φ : η φορολογία εισοδήματος.

Από τα παραπάνω προκύπτει:

- Το ακαθάριστο λειτουργικό κέρδος :

$$ΑΛΚ = E - \Lambda\Delta \quad (24)$$

- Το καθαρό λειτουργικό κέρδος :

$$ΚΛΚ = ΑΛΚ - A = E - \Lambda\Delta - A \quad (25)$$

- Το καθαρό κέρδος προ φόρων :

$$ΚΚΠΦ = ΚΛΚ - T \quad (26)$$

- Το καθαρό κέρδος μετά από φόρους :

$$ΚΚΜΦ = ΚΚΠΦ - \Phi = ΚΚΠΦ (1 - \Phi\Sigma) \quad (27)$$

8.2.1 Περίπτωση Ύπαρξης Ιδίων και Δανειακών Κεφαλαίων

Στην περίπτωση αυτή, οι ΚΤΡ αυξάνονται κατά το μέγεθος των τόκων και γίνονται :

$$ΚΤΡ = (E - \Lambda\Delta - A - T) * (1 - \Phi\Sigma) + A + T \quad (28)$$

Οι τόκοι υπολογίζονται στις ΚΤΡ αν και είναι χρηματικές εκροές επειδή το δανειακό κεφάλαιο έχει συνεκτιμηθεί στο κόστος της επένδυσης.

8.3 Κριτήρια Αξιολόγησης Επενδυτικών Σχεδίων

Υπάρχουν δυο κατηγορίες κριτηρίων για την αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου, ανάλογα με το αν λαμβάνεται υπόψη ή όχι, η χρονική αξία του χρήματος, δηλαδή η αναγωγή σε παρούσα αξία. Η πρώτη περιλαμβάνει τα ορθολογικά κριτήρια και η δεύτερη τα ατελή.

8.3.1 Ορθολογικά Κριτήρια

8.3.1.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$ΚΠΑ = -K_o + \sum_{t=1}^N \frac{ΚΤΡ_t}{(1+k)^t} \quad (29)$$

Όπου:

K_o : το κόστος της επένδυσης

$ΚΤΡ_t$: οι ΚΤΡ του έτους t εκφρασμένες σε τιμές συγκεκριμένης περιόδου, δηλαδή χωρίς πληθωρισμό

k : το επιτόκιο αναγωγής, δηλαδή η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται χωρίς πληθωρισμό

N : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Στόχος είναι η μεγιστοποίηση της παρούσας αξίας των κερδών. Η αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου είναι η εξής:

- εάν η ΚΠΑ > 0 τότε έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου
- εάν η ΚΠΑ < 0 τότε έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου
- εάν η ΚΠΑ = 0 τότε υπάρχει αδιαφορία του επενδυτή ως προς την επένδυση

8.3.1.2 Κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (EBA) της Επένδυσης (IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, EBA, μιας επένδυσης ορίζεται ως το επιτόκιο αναγωγής $k = EBA$ το οποίο μηδενίζει τη ΚΠΑ και προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$-K_o + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1 + EBA)^t} = 0 \quad (30)$$

Η αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου γίνεται ως εξής:

- εάν η ελάχιστη απόδοση $k < EBA$ τότε έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου
- εάν η ελάχιστη απόδοση $k > EBA$ τότε έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου
- εάν η ελάχιστη απόδοση $k = EBA$ τότε έχουμε αδιαφορία του επενδυτή ως προς την επιλογή του έργου

8.3.2 Ατελή Κριτήρια

Ως ατελή θεωρούνται τα κριτήρια που δεν λαμβάνουν υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος δηλαδή την αναγωγή σε παρούσα αξία.

8.3.2.1 Η Περίοδος Επανάκτησης του Κόστους της Επένδυσης (Payback Period)

Ως περίοδος επανάκτησης της επένδυσης θεωρείται η περίοδος μέσα στην οποία γίνεται η ανάκτηση του κόστους της επένδυσης (K_o) από τις ΚΤΡ. Εάν η περίοδος ανάκτησης είναι μικρότερη από ένα δεδομένο όριο τότε η επένδυση προκρίνεται. Ο παραπάνω ορισμός αφορά την απλή περίοδο αποπληρωμής.

Το ίδιο κριτήριο μπορεί να συμπεριληφθεί στα ορθολογικά κριτήρια εάν χρησιμοποιήσουμε την παρούσα αξία των ΚΤΡ για τον προσδιορισμού της περιόδου

επανάκτησης του κόστους της επένδυσης. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται η έντοκη περίοδος αποπληρωμής.

8.4 Αξιολόγηση της Επένδυσης

Με τον όρο επένδυση ορίζεται η εγκατάσταση των τριών συστοιχιών από φωτοβολταϊκά στοιχεία με σκοπό τη παραγωγή και τη πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.

Θα μελετηθούν πέντε σενάρια:

- στο πρώτο ο επενδυτής δεν λαμβάνει επιδότηση
- στο δεύτερο λαμβάνει επιδότηση 20%
- στο τρίτο λαμβάνει επιδότηση 30%
- στο τέταρτο λαμβάνει επιδότηση 40%
- στο πέμπτο λαμβάνει επιδότηση 50%

Το ποσοστό της επιδότησης αναφέρεται επί του αρχικού κόστους.

8.4.1 Υπολογισμός Μεγεθών

Θεωρώντας ότι το κόστος της μελέτης ανέρχεται σε 3000€, το κόστος αγοράς των πάνελ σε 3,5€/W, το κόστος αγοράς των αντιστροφών σε 1€/W, το κόστος εγκατάστασης σε 1€/W και ότι το κόστος συντήρησης είναι 150€/έτος προκύπτουν οι ακόλουθοι πίνακες για τα κόστη.

Πίνακας 4: Μεταβλητά Κόστη

Μεταβλητά Κόστη			
	€/W	kW	€
Πάνελ	3,50	4,17	14595,00
Αντιστροφείς	1,00	4,60	4600,00
Εγκατάσταση	1,00	4,17	4170,00

Πίνακας 5: Πάγια Κόστη

Πάγια Κόστη	
	€
Μελέτη	3000,00
Συντήρηση	150,00

Με βάση τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι το

- αρχικό κόστος: $K_0 = MK + \text{Μελέτη} = 26.365,00 \text{ €}$
- κόστος συντήρησης/έτος t : $K_t = 150 \text{ €}$

Θεωρούμε ότι:

- η διάρκεια ζωής της επένδυσης είναι $N = 20$ έτη
- η τιμή πώληση είναι $0,45282 \text{ €/kWh}$
- η τιμή πώλησης της kWh αυξάνεται κατά 2% κάθε έτος
- η ετήσια παραγόμενη ενέργεια είναι 5.075 kWh /έτος
- τα Ίδια Κεφάλαια είναι: $IK = 25\% * K_0 = 6.591,25\text{€}$
- το επιτόκιο αναγωγής $k = 8\%$
- ο τόκος δανεισμού, $i = 8\%$
- ο φορολογικός συντελεστής, $\Phi\Sigma = 25\%$

• Υπολογισμός Ετήσιων Εσόδων

Από τα παραπάνω υπολογίζονται τα ετήσια έσοδα για κάθε έτος στη περίοδο του χρόνου ζωής της επένδυσης των 20 ετών, λαμβάνοντας υπόψη την ετήσια παραγωγή, τη τιμή πώλησης της kWh και την ετήσια αύξηση αυτής. Προκύπτει ο πίνακας 6:

Πίνακας 6: Ετήσια Έσοδα

ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ			
ΕΤΟΣ	€/kWh	kWh	€
1	0,45282	5075,00	2298,06
2	0,4618764	5075,00	2344,02
3	0,471113928	5075,00	2390,90
4	0,480536207	5075,00	2438,72
5	0,490146931	5075,00	2487,50
6	0,499949869	5075,00	2537,25
7	0,509948867	5075,00	2587,99
8	0,520147844	5075,00	2639,75
9	0,530550801	5075,00	2692,55
10	0,541161817	5075,00	2746,40
11	0,551985053	5075,00	2801,32
12	0,563024754	5075,00	2857,35
13	0,574285249	5075,00	2914,50
14	0,585770954	5075,00	2972,79
15	0,597486373	5075,00	3032,24
16	0,609436101	5075,00	3092,89
17	0,621624823	5075,00	3154,75
18	0,634057319	5075,00	3217,84
19	0,646738466	5075,00	3282,20
20	0,659673235	5075,00	3347,84

• Υπολογισμός Ετησίων Εξόδων

Για τον υπολογισμό των ετησίων εξόδων λαμβάνεται υπόψη:

- ο δανεισμός $0,75 * K_i$, όπου $K_i = (1 - \text{Επιδότηση}\%) * K_0$
- η ετήσια αποπληρωμή = δανεισμός / N
- οι τόκοι (επί του υπολειπόμενου ποσού κατά το έτος t), $T = 0,08 * (\text{Υπολ. Ποσό Δανεισμού})_t$
- το κόστος συντήρησης = 150 €
- Ετήσια Έξοδα = Κόστος Συντήρησης + T

• Υπολογισμός ΚΤΡ

Για τον υπολογισμό ΚΤΡ λαμβάνονται υπόψη:

- οι αποσβέσεις, $A = K_i / N$
- το αρχικό κόστος, $K_0 = 26.365,00 \text{ €}$

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζονται τα ακόλουθα μεγέθη:

1. Για το σενάριο 1 με επιδότηση 0%.

Πίνακας 7: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 0%

Δανεισμός	19.773,75 €
Ετήσια αποπληρωμή	988,69 €
Απόσβεση	1.318,25 €
C_0	26.365,00 €

Πίνακας 8: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 0%

ΣΕΝΑΡΙΟ 1 - ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ 0%				
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ		ΚΤΡ	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΚΤΡ
	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΤΟΚΟΙ	€	€
1	150,00	1581,90	2336,08	2163,04
2	150,00	1502,81	2350,78	2015,42
3	150,00	1423,71	2366,17	1878,34
4	150,00	1344,62	2382,26	1751,03
5	150,00	1265,52	2399,06	1632,76
6	150,00	1186,43	2416,60	1522,87
7	150,00	1107,33	2434,89	1420,73
8	150,00	1028,24	2453,93	1325,78
9	150,00	949,14	2473,76	1237,49
10	150,00	870,05	2494,37	1155,38
11	150,00	790,95	2515,79	1078,98
12	150,00	711,86	2538,04	1007,89
13	150,00	632,76	2561,13	941,72
14	150,00	553,67	2585,07	880,12
15	150,00	474,57	2609,89	822,75
16	150,00	395,48	2635,60	769,31
17	150,00	316,38	2662,22	719,51
18	150,00	237,29	2689,76	673,11
19	150,00	158,19	2718,26	629,85
20	150,00	79,10	2747,72	589,52

2. Για το σενάριο 2 με επιδότηση 20%.

Πίνακας 9: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 20%

Δανεισμός	15.819,00€
Ετήσια αποπληρωμή	790,95€
Απόσβεση	1.054,6€
$C_{20\%}$	21.092,00€

Πίνακας 10: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 20%

ΣΕΝΑΡΙΟ 2 - ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ 20%				
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ		ΚΤΡ	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΚΤΡ
	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ Σ	ΤΟΚΟΙ	€	€
1	150,00	1265,52	2191,08	2028,77
2	150,00	1202,24	2209,73	1894,49
3	150,00	1138,97	2229,07	1769,51
4	150,00	1075,69	2249,11	1653,17
5	150,00	1012,42	2269,88	1544,84
6	150,00	949,14	2291,37	1443,95
7	150,00	885,86	2313,61	1349,97
8	150,00	822,59	2336,61	1262,40
9	150,00	759,31	2360,39	1180,78
10	150,00	696,04	2384,96	1104,70
11	150,00	632,76	2410,33	1033,75
12	150,00	569,48	2436,53	967,58
13	150,00	506,21	2463,58	905,85
14	150,00	442,93	2491,47	848,25
15	150,00	379,66	2520,25	794,49
16	150,00	316,38	2549,91	744,29
17	150,00	253,10	2580,49	697,43
18	150,00	189,83	2611,99	653,65
19	150,00	126,55	2644,44	612,75
20	150,00	63,28	2677,85	574,53

3. Για το σενάριο 3 με επιδότηση 30%.

Πίνακας 11: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 30%

Δανεισμός	13.841,63€
Ετήσια αποπληρωμή	692,08€
Απόσβεση	922,76€
$C_{30\%}$	18.455,50€

Πίνακας 12: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 30%

ΣΕΝΑΡΙΟ 3 - ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ 30%				
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ		ΚΤΡ	ΑΝΟΙΓΜΕΝΗ ΚΤΡ
	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΤΟΚΟΙ	€	€
1	150,00	1107,33	2118,57	1961,64
2	150,00	1051,96	2139,20	1834,02
3	150,00	996,60	2160,52	1715,09
4	150,00	941,23	2182,54	1604,23
5	150,00	885,86	2205,28	1500,88
6	150,00	830,50	2228,75	1404,49
7	150,00	775,13	2252,97	1314,59
8	150,00	719,76	2277,95	1230,70
9	150,00	664,40	2303,70	1152,42
10	150,00	609,03	2330,25	1079,36
11	150,00	553,67	2357,60	1011,14
12	150,00	498,30	2385,78	947,43
13	150,00	442,93	2414,80	887,92
14	150,00	387,57	2444,68	832,32
15	150,00	332,20	2475,43	780,36
16	150,00	276,83	2507,07	731,79
17	150,00	221,47	2539,62	686,38
18	150,00	166,10	2573,10	643,92
19	150,00	110,73	2607,53	604,20
20	150,00	55,37	2642,92	567,03

4. Για το σενάριο 4 με επιδότηση 40%.

Πίνακας 13: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 40%

Δανεισμός	11.864,25€
Ετήσια αποπληρωμή	593,21€
Απόσβεση	790,95€
C _{40%}	15.819,00€

Πίνακας 14: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 40%

ΣΕΝΑΡΙΟ 4 - ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ 40%				
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ		ΚΤΡ	ΑΝΟΙΓΜΕΝΗ ΚΤΡ
	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΤΟΚΟΙ	€	€
1	150,00	949,14	2046,07	1894,51
2	150,00	901,68	2068,68	1773,56
3	150,00	854,23	2091,97	1660,67
4	150,00	806,77	2115,97	1555,30
5	150,00	759,31	2140,69	1456,92
6	150,00	711,86	2166,14	1365,03
7	150,00	664,40	2192,33	1279,20
8	150,00	616,94	2219,29	1199,01
9	150,00	569,48	2247,02	1124,07
10	150,00	522,03	2275,54	1054,02
11	150,00	474,57	2304,87	988,52
12	150,00	427,11	2335,03	927,27
13	150,00	379,66	2366,02	869,98
14	150,00	332,20	2397,88	816,38
15	150,00	284,74	2430,61	766,23
16	150,00	237,29	2464,22	719,28
17	150,00	189,83	2498,75	675,34
18	150,00	142,37	2534,21	634,18
19	150,00	94,91	2570,61	595,64
20	150,00	47,46	2607,98	559,54

5. Για το σενάριο 5 με επιδότηση 50%.

Πίνακας 15: Υπολογιζόμενα μεγέθη για επιδότηση 50%

Δανεισμός	9.886,88€
Ετήσια αποπληρωμή	494,34€
Απόσβεση	659,13€
C _{50%}	13.182,50€

Πίνακας 16: Υπολογισμός Ετησίων εξόδων, ΚΤΡ και Ανηγμένης ΚΤΡ για επιδότηση 50%

ΣΕΝΑΡΙΟ 5 - ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ 50%				
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ		ΚΤΡ	ΑΝΟΙΓΜΕΝΗ ΚΤΡ
	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΤΟΚΟΙ	€	€
1	150,00	790,95	1973,56	1827,37
2	150,00	751,40	1998,15	1713,09
3	150,00	711,86	2023,42	1606,26
4	150,00	672,31	2049,40	1506,37
5	150,00	632,76	2076,09	1412,95
6	150,00	593,21	2103,52	1325,57
7	150,00	553,67	2131,69	1243,82
8	150,00	514,12	2160,62	1167,32
9	150,00	474,57	2190,33	1095,71
10	150,00	435,02	2220,83	1028,68
11	150,00	395,48	2252,14	965,91
12	150,00	355,93	2284,28	907,12
13	150,00	316,38	2317,25	852,05
14	150,00	276,83	2351,08	800,45
15	150,00	237,29	2385,79	752,10
16	150,00	197,74	2421,38	706,78
17	150,00	158,19	2457,89	664,29
18	150,00	118,64	2495,32	624,45
19	150,00	79,10	2533,70	587,09
20	150,00	39,55	2573,05	552,04

8.4.2 Αποτελέσματα

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων και τις σχέσεις για την ΚΠΑ, τον ΕΒΑ και την Απλή και Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής, υπολογίστηκαν τα ακόλουθα μεγέθη για κάθε ένα σενάριο επιδότησης (Πανταζοπούλου, 2007).

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ	ΚΠΑ (€)	IRR	ΑΠΛΗ ΠΕΡ. ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	ΕΝΤΟΚΗ ΠΕΡ. ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ
0%	-1.990,18	7%	10 έτη και 10 μήνες	>20 έτη
20%	1826,97	9%	9 έτη και 3 μήνες	16 έτη και 9 μήνες
30%	3735,55	11%	8 έτη και 4 μήνες	13 έτη και 11 μήνες
40%	5644,13	13%	7 έτη και 5 μήνες	11 έτη και 6 μήνες
50%	7552,70	15%	6 έτη και 5 μήνες	9 έτη και 3 μήνες

8.4.3 Συμπεράσματα

8.4.3.1 Επένδυση Μηδενικής Επιδότησης

Από τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα αποτελεσμάτων προκύπτει ότι για την περίπτωση μηδενικής επιδότησης η αντίστοιχη ΚΠΑ είναι αρνητική ($KPA < 0$), συνεπώς με βάση το κριτήριο για την ΚΠΑ, η επένδυση δεν είναι συμφέρουσα και δεν προκρίνεται.

Ομοίως και ο ΕΒΑ στην περίπτωση της μηδενικής επιδότησης προκύπτει μικρότερος από το επιτόκιο αναγωγής ($k = 8\% > 7\%$) με αποτέλεσμα η επένδυση και πάλι να μη προκρίνεται και να απορρίπτεται.

Η άτοκη περίοδος αποπληρωμής εμφανίζεται στα 10 έτη και 10 μήνες ενώ η αντίστοιχη έντοκη εμφανίζεται μετά τη πάροδο των 20 ετών, δηλαδή το χρόνο ζωής της επένδυσης. Συνεπώς η επένδυση και πάλι δεν προκρίνεται. Παρά το γεγονός ότι η άτοκη περίοδος αποπληρωμής είναι στα 10 έτη και 10 μήνες, μικρότερη από τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, το κριτήριο αυτό δεν καθιστά την επένδυση συμφέρουσα καθώς το ίδιο ως μέτρο αδυνατεί να αποτυπώσει καθαρά την πραγματικότητα επειδή δεν λαμβάνει υπόψη το διαχρονικό παράγοντα στην αξία των ΚΤΡ.

8.4.3.2 Επένδυση με Επιδότηση 20%

Στη περίπτωση της επιδότησης της επένδυσης με 20% παρατηρείται ότι η ΚΠΑ λαμβάνει θετική τιμή και συνεπώς πληρείται το κριτήριο της ΚΠΑ. Επιπλέον, πληρείται και το κριτήριο του ΕΒΑ ($EBA = 9\% > 8\%$) όπου είναι μεγαλύτερος του επιτοκίου αναγωγής ($k = 8\%$) με αποτέλεσμα να μπορεί να θεωρηθεί ότι η επένδυση προκρίνεται. Η άτοκη περίοδος αποπληρωμής μειώνεται στα 9 έτη και 3 μήνες ενώ η έντοκη περίοδος αποπληρωμής στα 16 έτη και 9 μήνες. Παρόλο τη μείωση της περιόδου αποπληρωμής (τη πτώση της αντίστοιχης έντοκης κάτω από τα 20 έτη) και τη πλήρωση των κριτηρίων, η επένδυση και πάλι δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ιδιαίτερα ελκυστική καθώς η ΚΠΑ αν και θετική κινείται σε χαμηλά επίπεδα τιμών.

8.4.3.3 Επένδυση με Επιδότηση 30%

Στην περίπτωση της επιδοτούμενης επένδυσης σε ποσοστό 30%, η ΚΠΑ εμφανίζεται θετική (ΚΠΑ>0) και ο ΕΒΑ μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής (13% > 8%). Επιπλέον η άτοκη περίοδος αποπληρωμής μειώνεται κατά περίπου 1 έτος φθάνοντας τα 8 έτη και 4 μήνες αλλά και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής μειώνεται ακόμη περισσότερο φθάνοντας τα 13 έτη και 11 μήνες. Συνεπώς με βάση τα αντίστοιχα κριτήρια η επένδυση προκρίνεται και μπορεί να θεωρηθεί περισσότερο συμφέρουσα αν επιδοτείται με 30% καθώς η έντοκη περίοδος αποπληρωμής μειώνεται σχεδόν κατά 3 χρόνια συγκρινόμενη με την ίδια επένδυση επιδοτούμενη όμως κατά το 20%.

8.4.3.4 Επένδυση με Επιδότηση 40%

Στην περίπτωση όπου η επένδυση χρηματοδοτείται με 40% του αρχικού της κόστους, η ΚΠΑ προκύπτει θετική καθώς και ο ΕΒΑ υπολογίζεται μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής (8% < 13%). Επιπλέον η έντοκη περίοδος αποπληρωμής σημειώνει περαιτέρω μείωση φθάνοντας τα 11 έτη και 6 μήνες καθιστώντας την επένδυση ελκυστικότερη και ανταποδοτική. Συνεπώς με βάση τα κριτήρια της ΚΠΑ και του ΕΒΑ η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα και έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου.

8.4.3.5 Επένδυση με Επιδότηση 50%

Στην τελευταία περίπτωση όπου η επένδυση επιδοτείται με 50% του αρχικού κόστους της, τόσο η ΚΠΑ όσο και ο ΕΒΑ παρουσιάζονται θετικοί με αποτέλεσμα να προκύπτει επιλογή του επενδυτικού σχεδίου. Σημειώνεται πως η άτοκη περίοδος αποπληρωμής αγγίζει τα 6 έτη και 5 μήνες ενώ η έντοκη τα 9 έτη και 3 μήνες καθιστώντας την επένδυση ακόμα ελκυστικότερη και συμφέρουσα. Το επενδυτικό σχέδιο προκρίνεται.

8.4.4 Παρατηρήσεις

Από τα συγκεντρωτικά πίνακα 17 εύκολα εξάγεται το συμπέρασμα ότι όσο περισσότερο αυξάνεται το ποσοστό της επιδότησης επί του αρχικού κόστους της επένδυσης τόσο μικρότερη είναι η περίοδος αποπληρωμής (τόσο η έντοκη όσο και η

άτοκη). Αυτό προκύπτει εξαιτίας του γεγονότος ότι η αύξηση της επιδότησης συνεπάγει μικρότερο δανεισμό και επομένως λιγότερους τόκους με αποτέλεσμα το κόστος της επένδυσης να αποπληρώνεται πιο γρήγορα. Στην απουσία των τόκων οφείλεται και το γεγονός ότι η άτοκη περίοδος αποπληρωμής είναι μικρότερη της αντίστοιχης έντοκης. Επειδή τα κύρια χαρακτηριστικά της επένδυσης είναι το αρχικό μεγάλο κόστος της και η μεγάλη διάρκεια ζωής της, προκύπτουν συνεπώς και ανάλογα ποσά δανεισμού με αποτέλεσμα οι αντίστοιχες ΚΤΡ να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα ιδιαίτερα στις περιπτώσεις χαμηλής επιδότησης. Στην περίπτωση που ο επενδυτής θα διέθετει μόνο Ίδια Κεφάλαια τότε θα είχε το πλεονέκτημα να είναι απαλλαγμένος από τις αντίστοιχες δόσεις του δανείου και τους τόκους με αποτέλεσμα οι ΚΤΡ να ήταν υψηλότερες και η επένδυση πιο συμφέρουσα.

Σχετικά με το κριτήριο της άτοκης περιόδου αποπληρωμής, αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνο του για τον καθορισμό της πρόκρισης ή της απόρριψης ενός επενδυτικού σχεδίου καθώς το ίδιο ως μέτρο αδυνατεί να αποτυπώσει καθαρά την πραγματικότητα επειδή δεν λαμβάνει υπόψη το διαχρονικό παράγοντα στην αξία των ΚΤΡ. Βασίζεται στην άποψη ότι 1 € σήμερα έχει την ίδια αξία με 1 € στο μέλλον, όπου στην υπό μελέτη επένδυση η διάρκεια ζωής αυτής είναι τα 20 έτη. Για το λόγω αυτό δεν αποτελεί βασικό κριτήριο αξιολόγησης της επένδυσης και προτιμάται ως πιο κέραιο η έντοκη περίοδος αποπληρωμής στην οποία τα μελλοντικά ποσά ανάγονται στο παρόν προσφέροντας μια πληρέστερη εικόνα για αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου. Το σενάριο πιθανής επιδότησης της τάξης του 50% του αρχικού κόστους της επένδυσης δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα καθώς ο Αναπτυξιακός Νόμος δε προβλέπει τέτοια ποσοστά επιδότησης στο νομό Αττικής (Ζώνη Α). Για αυτή τη ζώνη προβλέπει επιδότηση της τάξης του 20%, ενώ σε περίπτωση μεσαίων επιχειρήσεων επιδότηση 30%. Ποσοστό 40% παρέχεται μόνο στις πολύ μικρές και μικρές επιχειρήσεις εντός του νομού (Πανταζοπούλου, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ & ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

9.1 Νομοθετικό – συνταγματικό πλαίσιο

Το ζήτημα της χρήσης και της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και γενικότερα των Α.Π.Ε. δεν αφορά μόνο την τεχνολογία η οποία είναι κάθε φορά διαθέσιμη από μέρος της έρευνας και εν τέλει της επιστήμης. Πέραν αυτών των απαραίτητων προϋποθέσεων για την ανάπτυξη μίας νέας εφαρμογής της τεχνολογίας είναι αναγκαίες και οι αλλαγές στο θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο ούτως ώστε να μπορέσει η κάθε τεχνολογική πρόοδος να «βρεί» πρόσφορο έδαφος για να μπορέσει να εφαρμοστεί και να αναπτυχθεί.

Το Σύνταγμα δεν περιλαμβάνει, ασφαλώς, κανόνες που αναφέρονται άμεσα στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, εμπεριέχει διατάξεις που σχετίζονται με τις Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, όπως ήδη σημειώθηκε παραπάνω, το άρθρο 24 παρ. 1 Συντ. κατοχυρώνει ρητά την αρχή της αειφορίας. Σύμφωνα, έτσι, με τη διάταξη αυτή *«Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας»*. Είναι εν προκειμένω σαφές ότι η ανωτέρω θεμελιώδης αρχή του «περιβαλλοντικού Συντάγματος», στο μέτρο που περιλαμβάνει την υποχρέωση διασφάλισης του περιβαλλοντικού κεφαλαίου και αποτροπής της εξάντλησης των περιβαλλοντικών αγαθών, εναρμονίζεται απόλυτα με την αξιοποίηση και, μάλιστα, στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, των Α.Π.Ε. Η αξιοποίηση, συνεπώς, των Α.Π.Ε., στο μέτρο που αποτελεί μορφή προστασίας (ή, ακριβέστερα, περιορισμού της βλάβης) του περιβάλλοντος, συνιστά δομικό στοιχείο της αρχής της αειφορίας. Από την άποψη αυτή, η επέκταση της χρήσης των Α.Π.Ε. αποτελεί *λόγο δημοσίου συμφέροντος*, τον οποίο οφείλει η Πολιτεία να επιδιώκει. Ο λόγος αυτός δημοσίου συμφέροντος, είναι δυνατόν να δικαιολογήσει περιορισμούς στην ατομική ελευθερία, ενώ συγχρόνως προσλαμβάνει τον χαρακτήρα «δημόσιας ωφέλειας», η οποία καθιστά επιτρεπτή την απαλλοτρίωση ιδιοκτησιών, σύμφωνα με τους ορισμούς του άρθρου 17 του Συντάγματος.

Επισημαίνεται, ακόμη, ότι η αρχή της αειφορίας που θεσπίζεται στο άρθρο 24 παρ. 1 Συντ. διαμορφώνει το κανονιστικό πλαίσιο, εντός του οποίου διεξάγονται οι συναφείς δικαιικές και αξιακές σταθμίσεις στις περιπτώσεις εκείνες όπου η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. συγκρούεται με ορισμένα περιβαλλοντικά αγαθά, όπως είναι για παράδειγμα η προστασία των δασών ή των οπτικών πόρων. Είναι, έτσι, σαφές ότι η επίλυση της ανωτέρω «ενδοπεριβαλλοντικής» σύγκρουσης προϋποθέτει σειρά επιμέρους αξιακών σταθμίσεων με βασικό γνώμονα την αρχή της αειφορίας² (Παπακωνσταντίνου, 2004)

9.2 Αναδρομή νομοθετικού πλαισίου και ισχύουσα νομοθεσία

Οι πρώτες προσπάθειες για ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών στην Ελλάδα ξεκινούν το 1985 με τον πρώτο νόμο για θέματα ηλεκτροπαραγωγής από εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Μετά η επόμενη ουσιαστική προσπάθεια έγινε το 1994 με το ν. 2244/1994 όπου θεσπίστηκαν ευνοϊκές ρυθμίσεις για τις ΑΠΕ και είχαμε την έντονη εμφάνιση επενδυτικού ενδιαφέροντος και από την πλευρά των ιδιωτών. Η νομική ρύθμιση των Α.Π.Ε., μάλιστα, χαρακτηρίστηκε, όπως συμβαίνει συχνά με διατάξεις οι οποίες αφορούν καινοφανή ζητήματα, από σημαντικές ελλείψεις και αντιφάσεις. Κατά τη διάρκεια, ωστόσο, των ετών που ακολούθησαν σημειώθηκε αξιοσημείωτη πρόοδος. Ειδικότερα, το νομοθετικό πλαίσιο κατέστη σταδιακά πληρέστερο και αποτελεσματικότερο. Για την εξέλιξη αυτή συνέβαλαν οι εξής κυρίως παράγοντες: α) Η συνειδητοποίηση από την Κυβέρνηση του γεγονότος ότι το σημερινό ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, το οποίο βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση του λιγνίτη και του πετρελαίου, συνιστά τροχοπέδη για την οικονομική ανάπτυξη, ενώ υποβαθμίζει ολοένα περισσότερο το φυσικό περιβάλλον. β) Η ανάδειξη και ενίσχυση του κανονιστικού περιεχομένου των συνταγματικών αρχών της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης, οι οποίες επιβάλλουν ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε. Επισημαίνεται, μάλιστα, ότι η αρχή της αειφορίας περιλήφθηκε ήδη ρητά στο συνταγματικό κείμενο (άρθρο 24 παρ. 1 εδ. β' Συντ.). γ) Η τάση απελευθέρωσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η κατάργηση του κρατικού μονοπωλίου στο πεδίο αυτό. δ) Η θέσπιση

² Στις σταθμίσεις αυτές διεισδύουν κριτήρια τα οποία προέρχονται από την αρχή της αναλογικότητας. Ελέγχεται, έτσι, για παράδειγμα το μέγεθος της καταστροφής των δασικών ή οπτικών πόρων που καταστρέφονται για την κατασκευή έργων αξιοποίησης Α.Π.Ε. (λ.χ. αιολικά πάρκα). Η στάθμιση στην περίπτωση αυτή σχετίζεται αφενός με την έκταση και το μέγεθος της καταστροφής των συγκεκριμένων περιβαλλοντικών αγαθών και αφετέρου με το όφελος που προκύπτει για το συνολικότερο περιβαλλοντικό ισοζύγιο η χρήση των Α.Π.Ε. Η υπεροχή, επομένως, της μίας ή της άλλης λύσης συνιστά αποτέλεσμα *in concreto* στάθμισης των διακυβευόμενων συμφερόντων

κανόνων του ενωσιακού και του διεθνούς δικαίου, οι οποίοι επιβάλλουν τη λήψη άμεσων μέτρων για τη μείωση των καταστρεπτικών για το περιβάλλον εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων στοιχείων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στο πλαίσιο αυτό καταγράφεται και η σημαντική ανάπτυξη διεθνών κειμένων που αναφέρονται στην ανάγκη αφενός περιορισμού των σύγχρονων βλαπτικών για το φυσικό περιβάλλον πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης, πυρηνική ενέργεια) και αφετέρου επέκτασης της αξιοποίησης των Α.Π.Ε³. Το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις:

ι) Οι διατάξεις του ν. 2244/1994. Όπως ήδη σημειώθηκε, με το ν. 2244/1994 (ΦΕΚ 168 Α΄) εισάγονται για πρώτη ουσιαστικά φορά ειδικές ρυθμίσεις για την εκμετάλλευση Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, με το άρθρο 3 παρ. 1 του νόμου προβλέπεται ότι «Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού ηλεκτροπαραγωγής απαιτείται άδεια που χορηγείται με απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, ύστερα από αίτηση του ενδιαφερομένου». Εξαιρούνται, ωστόσο, σύμφωνα με την παράγραφο 3 του ανωτέρω άρθρου της υποχρέωσης προς λήψη άδειας εγκατάστασης οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με ισχύ μέχρι 20 KW, καθώς και οι εφεδρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 150 KW. Ακόμη, η ίδια διάταξη ορίζει ότι «τα αιολικά και ηλιακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας νοούνται μόνο ως ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις».

Η παράγραφος 5 του ανωτέρω άρθρου, εξάλλου, προβλέπει: «Για τη λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, για τους οποίους χορηγείται άδεια εγκατάστασης, απαιτείται και άδεια λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, ύστερα από αίτηση του ενδιαφερόμενου και έλεγχο από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, για την τήρηση των όρων εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Αν ο σταθμός συνδέεται με τα δίκτυα της Δ.Ε.Η., η λειτουργία του απαγορεύεται πριν από τη σύναψη της σχετικής σύμβασης».

Επισημαίνεται, τέλος, ότι με το άρθρο 4 του νόμου προβλέφθηκαν κυρώσεις για την παραβίαση των ανωτέρω υποχρεώσεων. Σύμφωνα, έτσι, με τις εν λόγω διατάξεις σε περίπτωση εγκατάστασης ή λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής χωρίς τις αναγκαίες άδειες ή παράβασης των όρων και περιορισμών των αδειών αυτών

³ Για το σχετικό διεθνές και κοινοτικό νομικό πλαίσιο βλ. Π. Πατρώνου/Β. Καραγεώργου/Α. Παπαπετρόπουλου, Διεθνείς και κοινοτικές δεσμεύσεις της Ελλάδας για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στο: www.nomosdhyssis.org.gr (Ιούλιος 2004)

επιβάλλεται στους παραγωγούς πρόστιμο, καθώς και προσωρινή ή οριστική διακοπή της λειτουργίας του σταθμού. Προβλέπεται, ακόμη, η δυνατότητα διακοπής της λειτουργίας του σταθμού, αν διαπιστωθεί κίνδυνος για τη ζωή και την υγεία των εργαζομένων στον σταθμό, την ασφάλεια των εγκαταστάσεων και το περιβάλλον.

ii) Η απόφαση Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας. Με την απόφαση Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας (ΦΕΚ Β' 385) προβλέφθηκαν αφενός οι διαδικασίες και τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και αφετέρου οι γενικοί τεχνικοί και οικονομικοί όροι των συμβάσεων μεταξύ παραγωγών και ΔΕΗ, οι λεπτομέρειες διαμόρφωσης των τιμολογίων καθώς και οι όροι διασύνδεσης.

iii) ν. Οι διατάξεις του ν. 2773/1999. Με το ν. 2773/1999 (ΦΕΚ Α' 286) επιχειρείται η συνολική ρύθμιση της απελευθέρωσης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής από Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, με το άρθρο 2 του νόμου ορίζεται ως «παραγωγός από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» «ο παραγωγός, ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)». Παραγωγή, εξάλλου, από Α.Π.Ε. είναι «η ηλεκτρική ενέργεια η προερχόμενη από: 1. Την εκμετάλλευση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή βιοαερίου. 2... 5. Συνδυασμό των ανωτέρω»

iv) Η απόφαση Δ6/Φ1/2000 του Υπουργού Ανάπτυξης

Με την εν λόγω Υπουργική Απόφαση καθορίζεται εκ νέου η διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση Α.Π.Ε., με βάση τις διατάξεις των νόμων 2244/1994 και 2773/1999. Ρυθμίζεται, ειδικότερα, η διαδικασία υποβολής του σχετικού αιτήματος και των δικαιολογητικών στην αρμόδια Υπηρεσία (άρθρο 3), τα δικαιολογητικά που απαιτούνται (άρθρα 4-5), η διαδικασία της περιβαλλοντικής αδειοδότησης (άρθρο 8), οι όροι για την εγκατάσταση ή επέκταση των σταθμών αυτών (10-12), καθώς και η διαδικασία έκδοσης άδειας λειτουργίας τους (άρθρα 14-18)

v) Οι διατάξεις του ν. 2941/2001

Με τις διατάξεις του άρθρου 2 του ν. 2941/2001 (ΦΕΚ Α'201), επιχειρείται η απλοποίηση των διαδικασιών για την αδειοδότηση των Α.Π.Ε. Όπως, μάλιστα, αναφέρεται στην Εισηγητική Έκθεση του νόμου «είναι γνωστή η ανάγκη ευρείας διεύθυνσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας στα πλαίσια διεθνών δεσμεύσεών της για την προστασία του περιβάλλοντος και

ειδικότερα του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παράλληλα είναι αναγκαία η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού [ώστε] να μην εξαρτάται από τις τιμές του δολαρίου και του πετρελαίου».

vi) Οι διατάξεις του ν. 3175/2003. Με το ν. 3175/2003 (ΦΕΚ Α' 207) τροποποιούνται διατάξεις του ν. 2773/1999 που αφορούν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

vii) Η ΚΥΑ 1726/18.04.2003. Με τις διατάξεις της ΚΥΑ 1726/18.04.2003 (ΦΕΚ Β' 552) ρυθμίζεται η διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων καθώς και έγκρισης επέμβασης ή παραχώρησης δάσους ή δασικής έκτασης στο πλαίσιο της έκδοσης άδειας εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, ορίζονται οι αρμόδιες αδειοδοτούσες υπηρεσίες, καθώς και οι γνωμοδοτούσες υπηρεσίες που συμμετέχουν στη σχετική διαδικασία (άρθρα 2-4). Επίσης, προβλέπονται τα αντικείμενα των γνωμοδοτήσεων αυτών (άρθρο 5), η διαδικασία για την έκδοση έγκρισης επέμβασης (άρθρο 6), οι προθεσμίες εντός των οποίων πρέπει να ενεργούν οι ανωτέρω αρμόδιες υπηρεσίες (άρθρο 7), καθώς και το περιεχόμενο των σχετικών φακέλων (άρθρο 8). Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα στους ιδιοκτήτες αιολικών πάρκων να μεταβάλλουν μέχρι 15% την ισχύ του και να ανατοποθετήσουν τις ανεμογεννήτριες χωρίς να απαιτείται τροποποίηση των περιβαλλοντικών όρων ή της άδειας εγκατάστασης (άρθρο 9).

viii) Ν 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 129 27.6.2006) . Βασικές ρυθμίσεις του νόμου είναι ότι επιτρέπεται σε ιδιώτες η δημιουργία μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά απαιτεί κατά κανόνα άδεια από το Υπουργείο Ανάπτυξης και ότι ο διαχειριστής του δικτύου διανομής ηλεκτρικού ρεύματος είναι υποχρεωμένος να αγοράζει την ενέργεια που παράγουν νόμιμα αδειοδοτημένες μονάδες. Ο νόμος μεταγράφει μεταξύ άλλων και την Οδηγία 2001/77/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Ο 3468 προδιαγράφει τις άδειες (παραγωγής, εγκατάστασης, λειτουργίας, δόμησης) και τις εγκρίσεις (περιβαλλοντικών όρων, εργασιών μικρής κλίμακας από την αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία) που απαιτούνται (ή δεν απαιτούνται) ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας (κατηγορία) και την περιοχή στην οποία δημιουργείται. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι ανεξαρτήτως της κατηγορίας ενός έργου, απαιτείται έγκριση περιβαλλοντικών όρων αν το έργο βρίσκεται σε περιοχή Ramsar, Natura 2000, εθνικούς δρυμούς και αισθητικά δάση.

Ο ίδιος νόμος καθορίζει τις συμβάσεις (αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ) και τις τιμές πώλησης (σε Ευρώ/μεγαβατώρα) της ενέργειας που παράγεται στον ΔΕΣΜΗΕ ή στη ΔΕΗ αντίστοιχα. Σημειώνεται εδώ ότι η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για 10 επιπλέον έτη, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού, εφόσον αυτή υποβάλλεται τρεις τουλάχιστον μήνες πριν από τη λήξη της αρχικής σύμβασης.

Ας σημειωθεί ότι ένα επενδυτικό σχέδιο ΑΠΕ ύψους 100.000 Ευρώ και άνω μπορεί να ενταχθεί στο καθεστώς του αναπτυξιακού Ν. 3299/04 με τις τροποποιήσεις του επενδυτικού Νόμου 3522/2006 και να επωφεληθεί από κρατική ενίσχυση σε ποσοστό έως και 60%. Τέλος, οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που καθορίζονται στον 3468, ισχύουν και για τον ιδιώτη-καταναλωτή της ΔΕΗ: εφόσον εγκαταστήσει στην κατοικία του διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ σύστημα παραγωγής από ΑΠΕ (π.χ. ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ή μια ανεμογεννήτρια), μπορεί να πουλήσει τυχόν πλεόνασμα ενέργειας και να επωφεληθεί και αυτός (Παπακωνσταντίνου 2004).

ix) Νόμος 3734/09, ο οποίος τροποποιεί τον Ενεργειακό Νόμο 3468/06, οι σημαντικότερες διατάξεις του, που αφορούν άμεσα τους ενδιαφερόμενους επενδυτές φωτοβολταϊκών πάρκων, είναι:

1. Δεσμευτικό χρονοδιάγραμμα αξιολόγησης των φακέλων - αιτήσεων για άδειες και εξαιρέσεις αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Το χρονοδιάγραμμα για χορήγηση άδειας παραγωγής από φωτοβολταϊκούς σταθμούς και για έκδοση απόφασης εξαίρεσης προβλέπει την αξιολόγηση και εξαίρεση αντίστοιχα μέχρι: - τις 28/2/2009 για όσες αιτήσεις έχουν υποβληθεί έως και την 31/5/2007 (ήδη διαφαίνεται καθυστέρηση από τη ΡΑΕ), - τις 30/4/2009 για όσες αιτήσεις έχουν υποβληθεί έως και 30/6/2007, και - τις 31/12/2009 για όσες αιτήσεις έχουν υποβληθεί έως 29/2/2008.

2. Νέες τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, με σταδιακή μείωση των τιμών εισόδου στο σύστημα από τον Αύγουστο 2010(πίνακας 2). Οι τιμές αυτές θα είναι εγγυημένες για μια 20ετία (και για τα παλιά συμβόλαια που ήδη ισχύουν) και θα αναπροσαρμόζονται ετησίως με το 25% του πληθωρισμού του προηγούμενου έτους. Οι τιμές αυτές κλειδώνουν με την υπογραφή της σύμβασης αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ (ή τη ΔΕΗ για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά) και στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα επιπλέον 18 μηνών για την υλοποίηση του έργου με χρήση αυτής της τιμής. Αν το έργο καθυστερήσει πάνω από 18 μήνες, θα έχει την τιμή πώλησης που ισχύει τη

στιγμή της έναρξης λειτουργίας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι τιμές παραμένουν σταθερές έως και το 2011.

3. Οι άδειες παραγωγής ή αποφάσεις εξαίρεσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα δεν επιτρέπεται να μεταβιβασθούν πριν την έναρξη λειτουργίας τους. Οι υποψήφιοι επενδυτές που αναμένουν τις άδειες και εξαιρέσεις αδειών παραγωγής θα πρέπει άμεσα να κινηθούν για την έκδοση των υπολοίπων δικαιολογητικών που απαιτούνται για την υποβολή του φακέλου του επενδυτικού τους σχεδίου στις διατάξεις του Αναπτυξιακού Νόμου 3299/04. Τα δικαιολογητικά αυτά είναι η έγκριση περιβαλλοντικών μελετών και οι όροι σύνδεσης από τη ΔΕΗ για εξαιρέσεις και άδειες παραγωγής, ενώ ειδικά για τις άδειες παραγωγής απαιτείται και άδεια εγκατάστασης. Ο Αναπτυξιακός Νόμος προβλέπει ποσοστό επιχορήγησης 40% επί του προϋπολογισμού του έργου, με τουλάχιστον 25% ίδια συμμετοχή και το υπόλοιπο ποσό από τραπεζικό δανεισμό. Οι αιτήσεις για επιχορήγηση συνοδευόμενες από τεchnοοικονομική μελέτη και τα απαραίτητα δικαιολογητικά υποβάλλονται στο Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών.

Πίνακας 18 : Τιμές πώλησης της παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Έτος	Μήνας	Διασυνδεδεμένο		Μη διασυνδεδεμένο	
		> 100kW	<= 100kW	> 100kW	<= 100kW
2009	Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2009	Αύγουστος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010	Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010	Αύγουστος	392,04	441,05	441,05	490,05
2011	Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43	466,03
2011	Αύγουστος	351,01	394,88	394,88	438,76
2012	Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53	417,26
2012	Αύγουστος	314,27	353,56	353,56	392,84
2013	Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23	373,59
2013	Αύγουστος	281,38	316,55	316,55	351,72
2014	Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56	336,18
2014	Αύγουστος	260,97	293,59	293,59	326,22
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά		1,3 x ΜΟΤΣν-1	1,4 x ΜΟΤΣν-1	1,4 x ΜΟΤΣν-1	1,5 x ΜΟΤΣν-1
ΜΟΤΣ (ν-1):	Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1				

Διευκρινίζεται ότι για την χωροθέτηση Φ/Β συστημάτων, ανεξαρτήτως ισχύος, εφαρμόζονται οι κατευθύνσεις του Ειδικού Πλαισίου για τις ΑΠΕ, σύμφωνα με τις οποίες δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση σε περιοχές, οι οποίες είναι χαρακτηρισμένες ως:

- Α) Κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της Παγκόσμιας Πολιτισμικής Κληρονομιάς,
- Β) Περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και του τοπίου,
- Γ) Πυρήνες των Εθνικών Δρυμών,
- Δ) Οικότοποι περιοχών που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο Φύση 2000,
- Ε) Δάση και γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας
- ΣΤ) Περιοχές που υπάγονται σε ειδικό καθεστώς χρήσεων γης, βάσει του οποίου δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

χ)ΚΥΑ 4/6/2009 (ΦΕΚ 1079/Β/04.06.2009).Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων. Υπουργική απόφαση αναφορικά με τους όρους εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, ισχύος μέχρι 10 KW, σε δώματα και στέγες κτιρίων, καθώς και η κοινή υπουργική απόφαση για τα φωτοβολταϊκά στις εκτός σχεδίου περιοχές. Σχετικά με την εγκατάσταση των Φ/Β στα δώματα και στις στέγες των κτηρίων δεν θα απαιτείται οικοδομική άδεια παρά μόνο έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας.

Για την σύνδεση των Φ/Β συστημάτων με τη ΔΕΗ απαιτείται απλώς η προσκόμιση των θεωρημένων από την πολεοδομία σχεδίων (τοπογραφικό, κάτοψη δώματος ή στέγης), καθώς και η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας.

Για την βέλτιστη οργάνωση των δωματίων και των στεγών, παράλληλα με την αισθητική αναβάθμιση των κτηρίων, κωδικοποιούνται όλες οι σχετικές διατάξεις του οικοδομικού και κτιριοδομικού κανονισμού, έτσι ώστε να μην θίγεται η συνολική μορφή των κτηρίων και το άμεσο περιβάλλον τους. Συγκεκριμένα:

-Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου, του φρεατίου ανελκυστήρα και οποιασδήποτε άλλης κατασκευής.

-Σε περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε στέγες, θα πρέπει αυτή να γίνεται εντός του όγκου της στέγης, ακολουθώντας την κλίση τους και να απέχει 0,50 μ. από το περίγραμμα αυτής, ώστε να εξασφαλίζεται η αισθητική εικόνα του κτιρίου.

-Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που τοποθετούνται στο δώμα του κτιρίου θα πρέπει να οριοθετούνται περιμετρικά με σιδηρά συμπαγές μέγιστου ύψους 1,20 μ., για

αισθητικούς λόγους και για την προστασία της εγκατάστασης. Η απόσταση από το στηθαίο του δώματος πρέπει να είναι εσωτερικά αυτού 1,00 μ., για λόγους ασφάλειας. (ΦΕΚ 1079/Β/04.06.2009.)

9.3 Προϋποθέσεις για την εγκατάσταση Φ/Β συστήματος

Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα των Φ/Β συστημάτων έχουν φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες και φυσικά ή νομικά πρόσωπα επιτηδευματίες που κατατάσσονται στις πολύ μικρές επιχειρήσεις και τα οποία έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο θα εγκατασταθεί το Φ/Β σύστημα. Για την περίπτωση Φ/Β συστήματος σε κοινόχρηστο χώρο του κτιρίου, επιτρέπεται η εγκατάσταση ενός και μόνον Φ/Β συστήματος. Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα στην περίπτωση αυτή έχουν μόνον οι κύριοι των οριζόντιων ιδιοκτησιών που εκπροσωπούνται από το διαχειριστή ή έναν εκ των κυρίων των οριζόντιων ιδιοκτησιών μετά από παραχώρηση της χρήσης του κοινόχρηστου ή κοινόκτητου χώρου από τους υψόλοιμους συνιδιοκτήτες. Αναγκαία προϋπόθεση είναι να υπάρχει η σύμφωνη γνώμη όλων των συνιδιοκτητών του κτιρίου, με ευθύνη των ενδιαφερομένων.

Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενεργής παροχής ρεύματος στο όνομα του κυρίου του Φ/Β συστήματος στο κτίριο όπου εγκαθίσταται. Επιπλέον, μέρος των θερμικών αναγκών σε ζεστό νερό της ιδιοκτησίας του κυρίου που εγκαθίστανται το Φ/Β σύστημα πρέπει να καλύπτεται από χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο χώρο που εγκαθίσταται το σύστημα (π.χ. ύπαρξη ηλιακού θερμοσίφωνα, ηλιοθερμικών).

Μετά την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης υποβάλλεται αίτηση Σύμβασης Συμφωνισμού προς τον Προμηθευτή, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει Σύμβαση Προμήθειας στο όνομα του κυρίου του Φ/Β συστήματος. Η διαδικασία πρέπει να έχει ολοκληρωθεί εντός 15 ημερών, από την ημερομηνία παραλαβής του αιτήματος.

Η ενεργοποίηση της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος πραγματοποιείται από την αρμόδια Περιοχή του Δικτύου της ΔΕΗ μετά α) την παραλαβή αντιγράφου της Σύμβασης Συμφωνισμού από τον Προμηθευτή β) την υποβολή Υπεύθυνης Δήλωσης Μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας με τα αναγκαία συνημμένα σε αυτή και γ) την υποβολή Υπεύθυνης Δήλωσης του κυρίου του Φ/Β συστήματος με την οποία θα δεσμεύεται ότι δεν θα προβεί σε οποιαδήποτε τροποποίηση στην εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος.

Η σύμβαση συμψηφισμού που υπογράφεται μεταξύ του Προμηθευτή και του κυρίου του Φ/Β συστήματος έχει διάρκεια ισχύος 25 έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος. Η Σύμβαση Συμψηφισμού λύεται αυτοδικαίως με την παρέλευση του διαστήματος των 25 ετών. Σε περίπτωση που ο κύριος του Φ/Β συστήματος αλλάξει προμηθευτή τότε λύεται η σύμβαση αυτοδικαίως και συνάπτεται νέα σύμβαση συμψηφισμού για το υπολειπόμενο εκ των 25 ετών διάστημα. Τυχόν λύση της Σύμβασης Προμήθειας επιφέρει αυτοδικαίως και τη λύση της Σύμβασης Συμψηφισμού.

Ο Προμηθευτής δύναται να καταγγείλει τη Σύμβαση Συμψηφισμού στην περίπτωση που ο κύριος του Φ/Β συστήματος δεν είναι συνεπής στις υποχρεώσεις του που απορρέουν από τη Σύμβαση Συμψηφισμού, κατόπιν έγγραφης ειδοποίησής του και άπρακτης παρέλευσης προθεσμίας 15 ημερών (περίοδος αποκατάστασης).

Ο κύριος του Φ/Β συστήματος μπορεί να καταγγείλει τη Σύμβαση Συμψηφισμού χωρίς την επίκληση κάποιου σπουδαίου λόγου, κατόπιν υποβολής σχετικού εγγράφου, εντός διαστήματος 15 ημερών από την επίδοση του εγγράφου. Η πίστωση από την παραγόμενη ενέργεια Φ/Β συστήματος εμφανίζεται στο λογαριασμό ρεύματος του κυρίου του Φ/Β συστήματος. Ουσιαστικά ο λογαριασμός ρεύματος επέχει θέση τιμολογίου αγοράς. Το ποσό αυτό της πίστωσης συμψηφίζεται με τις χρεώσεις που προκύπτουν από τη Σύμβαση Προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος με τη ΔΕΗ. Στην περίπτωση που ο συνολικός λογαριασμός ρεύματος είναι πιστωτικός, τότε το ποσό πιστώνεται στον τραπεζικό λογαριασμό του κυρίου του Φ/Β συστήματος στην ημερομηνία λήξης του λογαριασμού ρεύματος. Ως παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β σύστημα θεωρείται η παραγόμενη ενέργεια, μείον της μικρής απορροφούμενης ενέργειας για ίδια κατανάλωση από το inverter τη νύχτα και τυχόν συνοδευτικό εξοπλισμό (πχ. κάμερα, συναγερμός). Για το λόγο αυτό ο μετρητής του Φ/Β συστήματος είναι διπλής εγγραφής (μέτρηση παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β σύστημα - μέτρηση αναρροφούμενης ενέργειας). Η καταμέτρηση της παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β σύστημα πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη καταμέτρηση της παροχής ρεύματος, δηλ. εφαρμόζεται ο ίδιος κύκλος καταμέτρησης με αυτόν της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Στην περίπτωση που δεν καταστεί δυνατή η λήψη ένδειξης κατά την ημερομηνία της προγραμματισμένης καταμέτρησης τότε η εκκαθάριση της παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β σύστημα θα γίνεται στην ημερομηνία της επόμενης ημερομηνίας προγραμματισμένης καταμέτρησης. Η τιμή της παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β σύστημα ορίζεται σε 0,55€/kWh για τις συμβάσεις

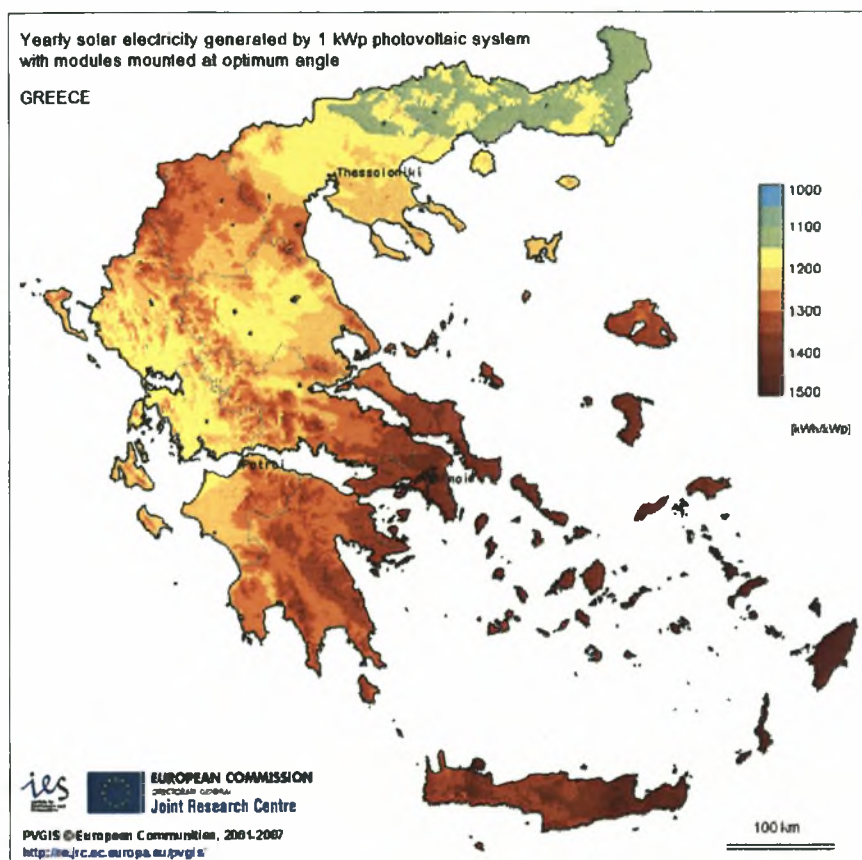
συμψηφισμού που συνάπτονται τα έτη 2009, 2010 και 2011. Η τιμή μειώνεται κατά 5% ετησίως για τις συμβάσεις συμψηφισμού που συνάπτονται το διάστημα 1.1.2012 μέχρι και 31.12.2019. Στην περίπτωση που η ενεργοποίηση της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος γίνει μετά την παρέλευση 6 μηνών από τη σύναψη συμψηφισμού, τότε ως τιμή αναφοράς θα λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στο έτος που πραγματοποιείται η ενεργοποίηση της σύνδεσης του συστήματος. (Charisiou-Kaliantopoulos, 2010, www.dei.gr)

9.4 Επιδοτήσεις βάσει του αναπτυξιακού νόμου

Οι επιδοτήσεις σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ανέρχονται σε 20-40% του συνολικού κόστους της επένδυσης ανάλογα με την περιοχή και το εταιρικό σχήμα που πραγματοποιεί την επένδυση (Πίνακας 19). Σημειώνουμε ότι το ελάχιστο ύψος του προϋπολογισμού μιας επένδυσης πρέπει να είναι 100.000 € προκειμένου να μπορεί να επιδοτηθεί από τον αναπτυξιακό νόμο. Η τροποποίηση του αναπτυξιακού νόμου (Ν.3752/09) προβλέπει ότι όταν ξαναρχίσει η διαδικασία υποβολής αιτήσεων στη ΡΑΕ, τα έργα με ισχύ άνω των 2 MWp δεν θα δικαιούνται επιδότησης από τον αναπτυξιακό. Αντίθετα, δεν υπάρχει όριο για τις αιτήσεις που έχουν υποβληθεί μέχρι τώρα.

Πίνακας 19 : Ποσοστά επιδότησης σύμφωνα με την περιοχή και το μέγεθος της επιχείρησης

Κατηγορία Επιχείρησης	Περιοχή σύμφωνα με τον αναπτυξιακό		
	A	B	Γ
Μεγάλη	20%	30%	40%
Μεσαία	30%	40%	40%
Μικρή	40%	40%	40%
Πολύ Μικρή	40%	40%	40%



Πίνακας 20 : Γεωγραφικές περιοχές για τον Αναπτυξιακό νόμο

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΕΡΙΟΧΕΣ
A	Περιλαμβάνει τους Νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης, πλην των Βιομηχανικών Επιχειρηματικών Περιοχών (Β.Ε.Π.Ε.) και των νησιών των Νομών αυτών που εντάσσονται στην Περιοχή Β'.
B	Περιλαμβάνει τις Βιομηχανικές Επιχειρηματικές Περιοχές (Β.Ε.Π.Ε.) και τα νησιά των Νομών της Γεωγραφικής Ζώνης Α', τους Νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας (Καρδίτσας, Λάρισας, Μαγνησίας, Τρικάλων), τους Νομούς της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδων, Δωδεκανήσου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων (Κέρκυρας, Λευκάδας, Κεφαλληνίας, Ζακύνθου), τους Νομούς της Περιφέρειας Κρήτης (Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου, Χανίων), τους Νομούς της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (Χαλκιδικής, Σερρών, Κιλκίς, Πέλλας, Ημαθίας, Πιερίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (Γρεβενών, Κοζάνης, Φλώρινας, Καστοριάς), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας (Φθιώτιδας, Φωκίδας, Εύβοιας, Βοιωτίας, Ευρυτανίας).
Γ	Περιλαμβάνει τους Νομούς της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας Θράκης (Καβάλας, Δράμας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ηπείρου (Αρτας, Πρέβεζας, Ιωαννίνων, Θεσπρωτίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου (Λέσβου, Χίου, Σάμου), τους Νομούς της Περιφέρειας Πελοποννήσου (Λακωνίας, Μεσσηνίας, Κορινθίας, Αργολίδας, Αρκαδίας), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας (Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Ηλείας).

Πίνακας 21 : Κατηγοριοποίηση του μεγέθους των εταιρειών

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ				
	ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΓΑΛΗ
Εργαζόμενοι	<10	<50	<250	>250
Κύκλος Εργασιών	<2 εκ. €	<10 εκ. €	<50 εκ. €	≥50 εκ. €
Σύνολο Ενεργητικού	<2 εκ. €	<10 εκ. €	<43 εκ. €	≥43 εκ. €

Προϋποθέσεις για υπαγωγή επενδυτικού σχεδίου στον Αναπτυξιακό

- Έγκριση Περιβαλλοντικών όρων
- Άδεια παραγωγής ή εξαίρεση
- Προσφορά Σύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού με το Δίκτυο
- Πιστοποιητικό ISO κατασκευαστή
- Άδεια εγκατάστασης (για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος >150 kWp)

9.5 Διαδικασίες αδειοδότησης

Μετά την ψήφιση του Ν. 3468/06 και τη δημοσίευση σχετικών υπουργικών αποφάσεων, έχουν αλλάξει οι διαδικασίες για την αδειοδότηση και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επιχειρούμε παρακάτω μία σύνοψη των διαδικασιών με βάση την ισχύουσα σήμερα νομοθεσία. Θυμίζουμε έως το 2006, τα μόνα νέα έργα που μπορούν να προχωρήσουν ήταν αυτά με ισχύ κάτω των 20 KWp. Καθοριστική παράμετρος για τις ακολουθούμενες διαδικασίες είναι η ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος. Έτσι, διακρίνουμε τα συστήματα στις εξής κατηγορίες (Πίνακας 22):

Πίνακας 22: Προβλεπόμενες άδειες που απαιτούνται ανάλογα του έργου

Φωτοβολταϊκά συστήματα μικρότερα των 20 κιλοβάτ (kWp)

ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ
<ul style="list-style-type: none"> - Άδεια παραγωγής - Άδεια εγκατάστασης - Άδεια λειτουργίας - Εξαίρεση της ΡΑΕ από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά όπου υφίσταται κορεσμός του δικτύου, ο οποίος διαπιστώνεται με απόφαση της ΡΑΕ - Άδεια δόμησης - Έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον το σύστημα δεν εγκαθίσταται εντός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος 	<ul style="list-style-type: none"> - Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ (στην οποία ζητείται και έγγραφο καταλληλότητας από την Πολεοδομία) - Σύμβαση αγοροπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ (ή ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά)

Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ από 20 έως 150 κιλοβάτ (kWp)

ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ
<ul style="list-style-type: none"> - Άδεια παραγωγής - Άδεια εγκατάστασης - Άδεια λειτουργίας - Άδεια δόμησης 	<ul style="list-style-type: none"> - Εξαίρεση της ΡΑΕ από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής - Έγκριση περιβαλλοντικών όρων - Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ - Σύμβαση αγοροπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ (ή ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά)

Φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη των 150 kWp

ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ
- Άδεια δόμησης Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας οι δομικές κατασκευές όπως τα οικήματα στέγασης του εξοπλισμού ελέγχου και των μετασχηματιστών	- Άδεια παραγωγής - Άδεια εγκατάστασης - Άδεια λειτουργίας - Έγκριση περιβαλλοντικών όρων - Σύμβαση αγοροπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας με ΔΕΣΜΗΕ (ή ΔΕΗ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά)

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος έως 500 κιλοβάτ (kWp) χαρακτηρίζονται ως 'μη οχλούσες δραστηριότητες (οι μεγαλύτερης ισχύος είναι χαμηλής όχλησης) σύμφωνα με την ΚΥΑ της 4-11-2004 (Δ6/Φ1/Οικ.19500). Ως εκ τούτου επιτρέπεται η εγκατάστασή τους σε περιοχές εντός εγκεκριμένων ρυμοτομικών σχεδίων, εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο των 2.000 κατοίκων ή οικισμών προϋφισταμένων του 1923, καθώς και σε εκτός σχεδίου περιοχές.

- Πρέπει να αποφεύγεται η επιλογή οικοπέδων σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών.(ΣΕΦ)

Έπειτα περιγράφεται σε βήματα η διαδικασία σύνδεσης με τη Δ.Ε.Η για ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας μέχρι 100KW:

Βήμα 1: Υποβολή αίτησης σύνδεσης (το ειδικό έντυπο διατίθεται από τη ΔΕΗ) στην τοπική μονάδα της ΔΕΗ (Περιοχή), με επισύναψη των εγγράφων και στοιχείων υπ' αριθ. 1 έως και 10 του εντύπου αίτησης,⁽¹⁾ με ταυτόχρονη κατάθεση ποσού 300 € για σταθμούς άνω των 5 kW και έως και 20 kW, και 500 € για σταθμούς άνω των 20 kW και έως και 100 kW.

Βήμα 2: Έγγραφο διατύπωση της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο των τεχνικών και οικονομικών όρων σύνδεσης.

Βήμα 3: Έγγραφο αποδοχή των όρων σύνδεσης από τον ενδιαφερόμενο με ταυτόχρονη υποβολή αιτήματος κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης.⁽²⁾

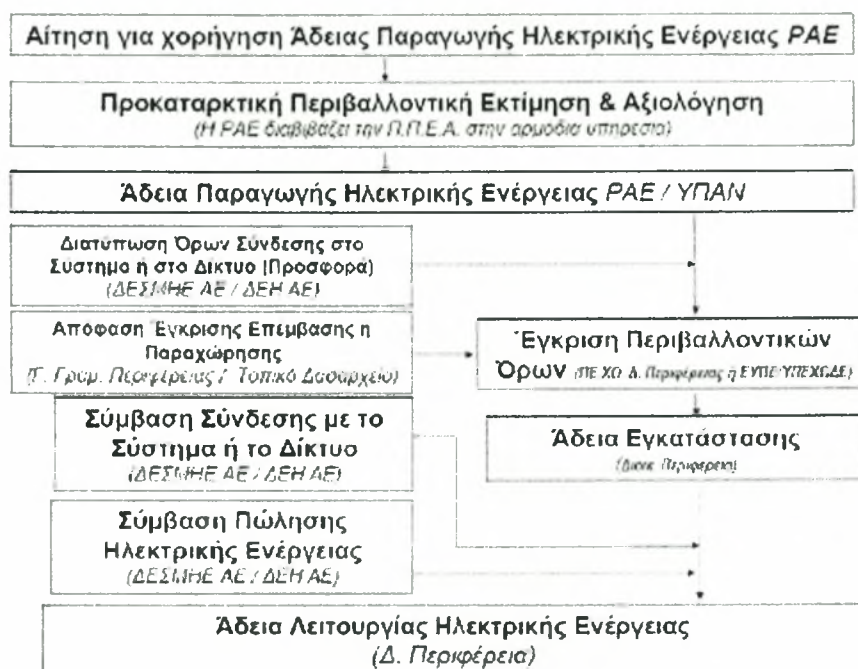
Βήμα 4: Κατάρτιση από τη ΔΕΗ της Σύμβασης Σύνδεσης και τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου να προσέλθει για την υπογραφή της. Καταβολή της προϋπολογιστικής δαπάνης των έργων σύνδεσης ταυτόχρονα με την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης.

Βήμα 5: Έγγραφο αναγγελία της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο της περάτωσης των έργων σύνδεσης.

Βήμα 6: Έγγραφο δήλωση ετοιμότητας της εγκατάστασης από τον ενδιαφερόμενο, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η σύνδεση μετά από έλεγχο της ΔΕΗ, αφού προηγουμένως (ή ταυτόχρονα) υποβάλει πλήρη τα στοιχεία υπ' αριθ. 11 έως και 14 του εντύπου αίτησης⁽³⁾ και έχει υπογράψει συμβόλαιο κατανάλωσης ρεύματος.⁽⁴⁾

Βήμα 7: Τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου από τη ΔΕΗ για τον ορισμό του χρόνου διενέργειας του αναγκαίου ελέγχου της εγκατάστασης, προ της ενεργοποίησης της σύνδεσης, παρουσία του ενδιαφερόμενου ή του εκπροσώπου του.

Βήμα 8: Ενεργοποίηση της σύνδεσης, μετά από την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου (εικ. 47)



Εικόνα 47 : Δομικό διάγραμμα διαδικασίας αδειοδότησης

9.6 Τεχνικές διευκρινήσεις από την Δ.Ε.Η. :

- Σταθμοί ισχύος μέχρι 100 kW συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης, μέσω μονοφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ μέχρι 5 kW και τριφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ άνω των 5 kW και μέχρι τα 100 kW.
- Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας θα πρέπει να είναι οι εξής:

	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Τάση	-20% έως +15% της ονομαστικής	-20% έως +15% της ονομαστικής
Συχνότητα	+/- 0,5 Hz	από 51 Hz έως 47,5 Hz

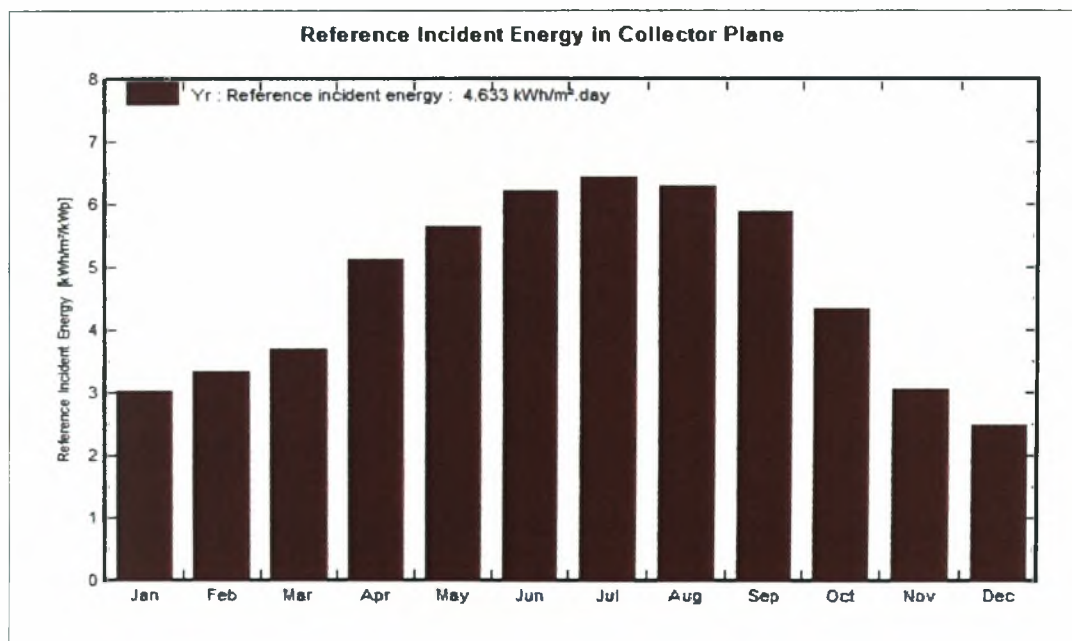
- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του ρεύματος των αντιστροφών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
- Εφόσον οι αντιστροφείς δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5% του ονομαστικού.
- Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο VDE 0126.
- Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφών είτε στα πιστοποιητικά τους.

Παραρτήματα

Για κάθε μια από τις τρεις υλοποιήσιμες συστοιχίες, εξήχθησαν με χρήση του προγράμματος PVSYST 4.1 ορισμένα επιπλέον διαγράμματα για την καλύτερη παρουσίαση και κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Συστοιχία N.1.

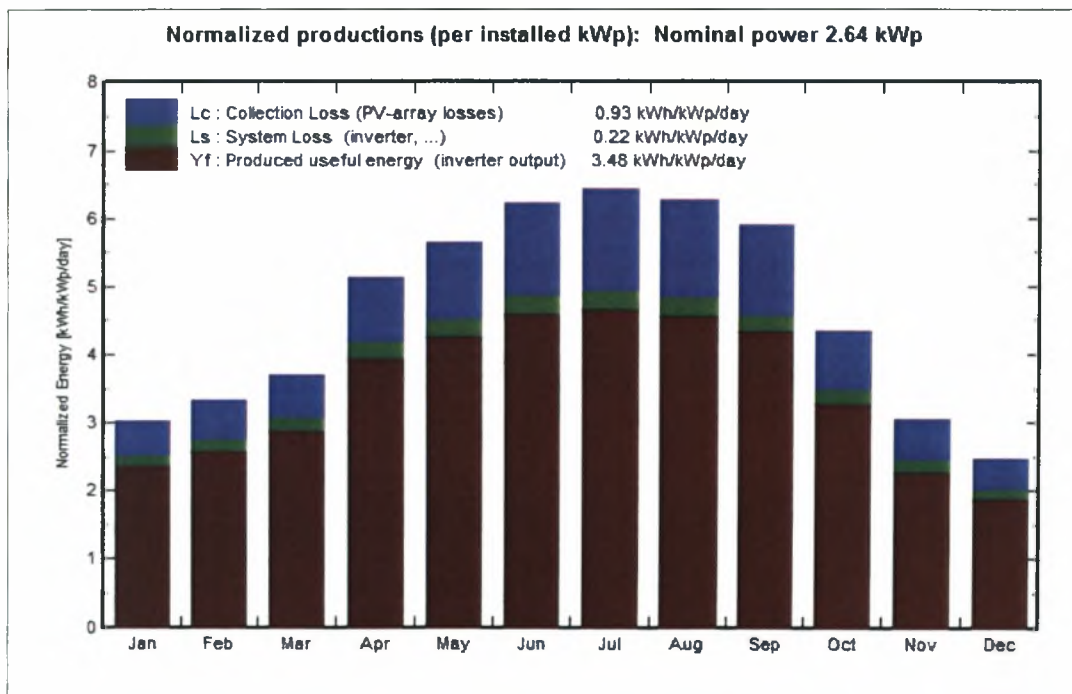
Στο διάγραμμα A.1 απεικονίζεται η ενέργεια αναφοράς στο επίπεδο του συλλέκτη (σε kWh/m²/kWp) κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους για κάθε μήνα χωριστά. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι από τον Οκτώβρη έως και τον Μάρτη μήνα το επίπεδο αυτής βρίσκεται χαμηλά, ενώ κατά τη χρονική περίοδο του Απριλίου έως και τον Σεπτέμβριο βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Το μέγιστο εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο. Το ακόλουθο διάγραμμα εμφανίζει την αναμενόμενη κατανομή καθώς κατά τη διάρκεια της περιόδου Μαΐου με Σεπτεμβρίου ο αριθμός των ηλιοφεγγών ημερών είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των υπολοίπων μηνών. Συγκεκριμένα, ο μέγιστος αυτός αριθμός εμφανίζεται το Ιούλιο όπου προκύπτει και η μέγιστη ενέργεια στην επιφάνεια του συλλέκτη. Η μέση ημερήσια τιμή της ενέργειας αυτής ανέρχεται στις 4633 kWh/m²/kWp.



Διάγραμμα A.1. Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Στο διάγραμμα A.2 απεικονίζεται η ομαλοποιημένη παραγωγή kWh/kWp/day ανά εγκατεστημένο kWp ανά ημέρα, με τα αποτελέσματα να ομαδοποιούνται ανά μήνα για χρονικό διάστημα ενός έτους. Δεδομένου ότι η συστοιχία αποτελείται από 16 φ/β

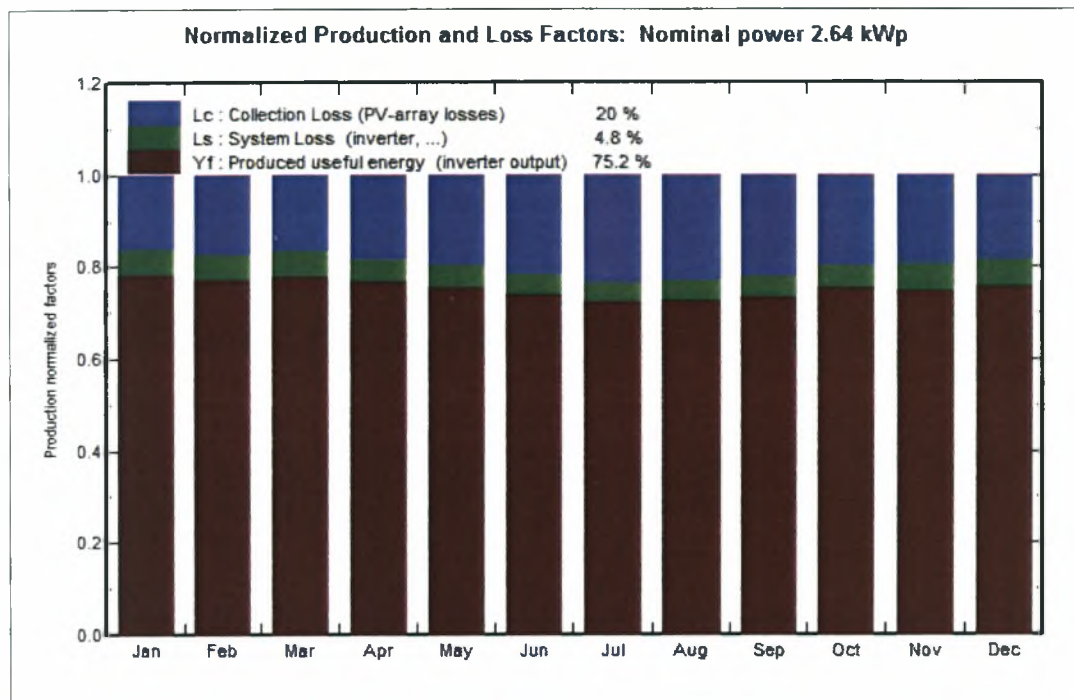
στοιχεία των 165 W, προκύπτει ονομαστική ισχύς 2.64 kWp. Για κάθε μήνα αποτυπώνεται η ωφέλιμη παραγόμενη ενέργεια που λαμβάνεται στην έξοδο του αντιστροφέα, η απώλειες του συστήματος και οι απώλειες του συλλέκτη. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι και τα τρία μεγέθη παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τη περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου, με το μέγιστο να εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο. Όσον αφορά τη παραγόμενη ενέργεια εμφανίζεται μεγαλύτερη κατά τη περίοδο αυτή λόγω της υψηλότερης εντάσεως ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη και του μεγαλύτερου αριθμού ηλιοφεγγών ημερών. Επίσης, παρατηρείται ότι η αύξηση της παραγωγής συνοδεύεται από αντίστοιχη ανάλογη αύξηση των απωλειών του συστήματος και του συλλέκτη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι απώλειες μεταβάλλονται ανάλογα με τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα καθώς αυτή αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες να αυξάνονται έντονα και οι απώλειες κυρίως στην επιφάνεια του συλλέκτη.



Διάγραμμα A.2. Ομαλοποιημένη παραγωγή ανά εγκατεστημένο kWp.

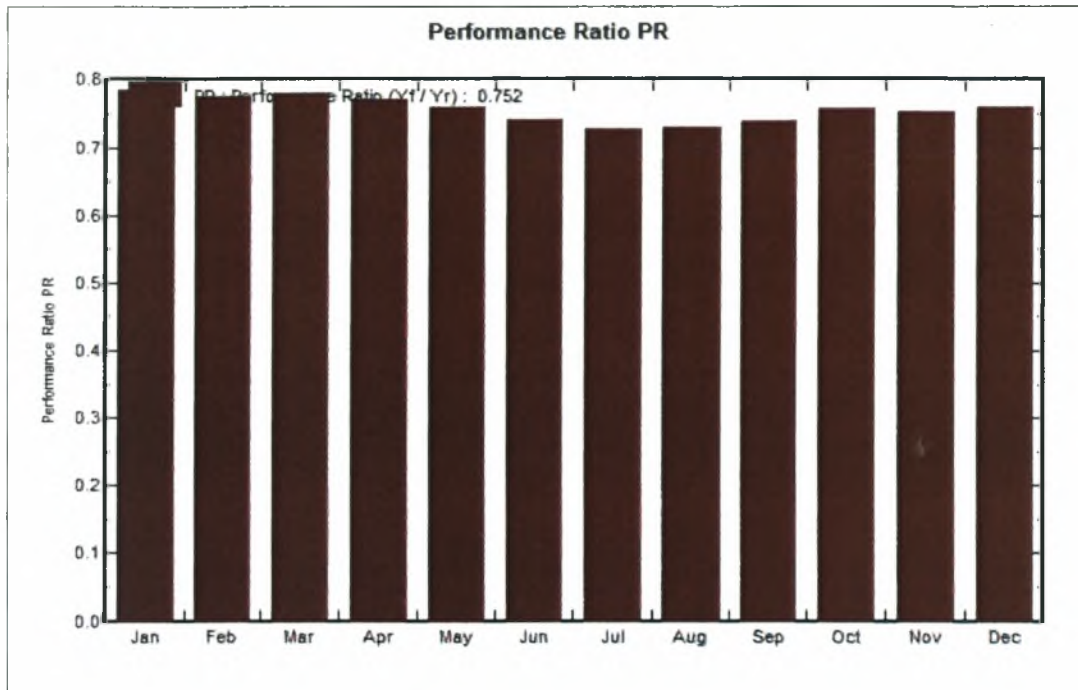
Στο διάγραμμα A.3 απεικονίζεται η κανονικοποιημένη κατανομή της παραγωγής και των απωλειών για ονομαστική ισχύ των 2.64 kWp. Για κάθε μήνα παρουσιάζεται το κανονικοποιημένο % ποσοστό παραγωγής και απωλειών του συστήματος και του συλλέκτη. Παρατηρείται ότι το ποσοστό των απωλειών του συλλέκτη αυξάνεται κατά

τους θερινούς μήνες όπου και υπάρχει αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας και υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο μέσος όρος των κανονικοποιημένων μεγεθών είναι 20% για τις απώλειες του συλλέκτη, 4,8% για τις απώλειες του συστήματος και 75,2% η ωφέλιμη παραγωγή.



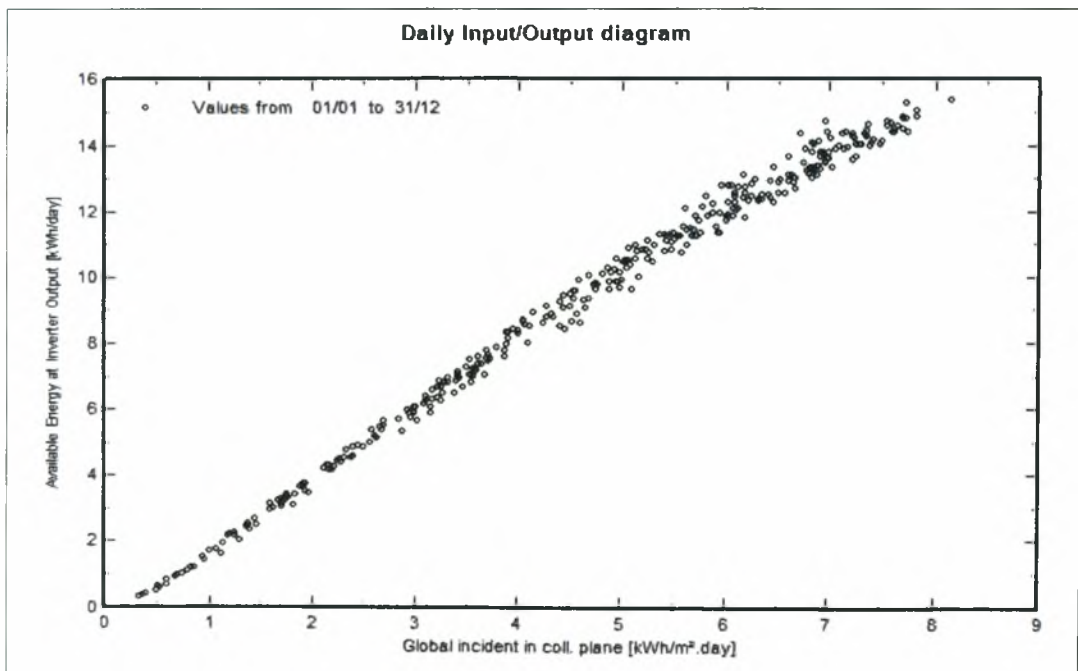
Διάγραμμα Α.3. Κανονικοποιημένη παραγωγή και συντελεστές απωλειών.

Στο διάγραμμα Α.4 απεικονίζεται ο δείκτης απόδοσης (PR) ανά μήνα στη διάρκεια ενός έτους της συστοιχίας των πανέλων. Ο μέσος όρος αυτού, ανέρχεται στο 0.752 ή 75,2%. Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος τους χειμερινούς μήνες, με μέγιστο το μήνα Ιανουάριο, ενώ παρουσιάζει ελάχιστο τον Ιούλιο όπου έχουμε και τη μέγιστη παραγωγή και τις μεγαλύτερες απώλειες λόγω θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό συνάδει με τις απώλειες που εμφανίζονται μειωμένες το ίδιο διάστημα και που παρατηρήθηκαν στο διάγραμμα Α.3. Τα διαγράμματα Α.3 και Α.4 φαίνεται να είναι συμπληρωματικά.



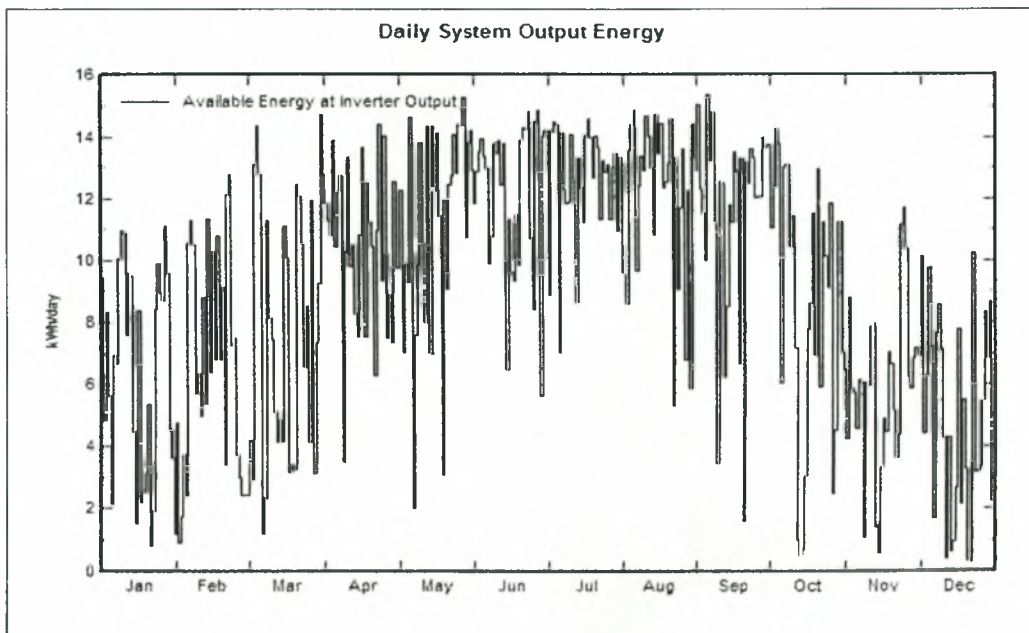
Διάγραμμα A.4. Βαθμός απόδοσης.

Στη συνέχεια, απεικονίζεται το ημερήσιο διάγραμμα της εισόδου ως προς την έξοδο στη διάρκεια ενός έτους. Ως έξοδος λαμβάνεται η ημερήσια ενέργεια εξόδου του αντιστροφέα (σε kWh/day).



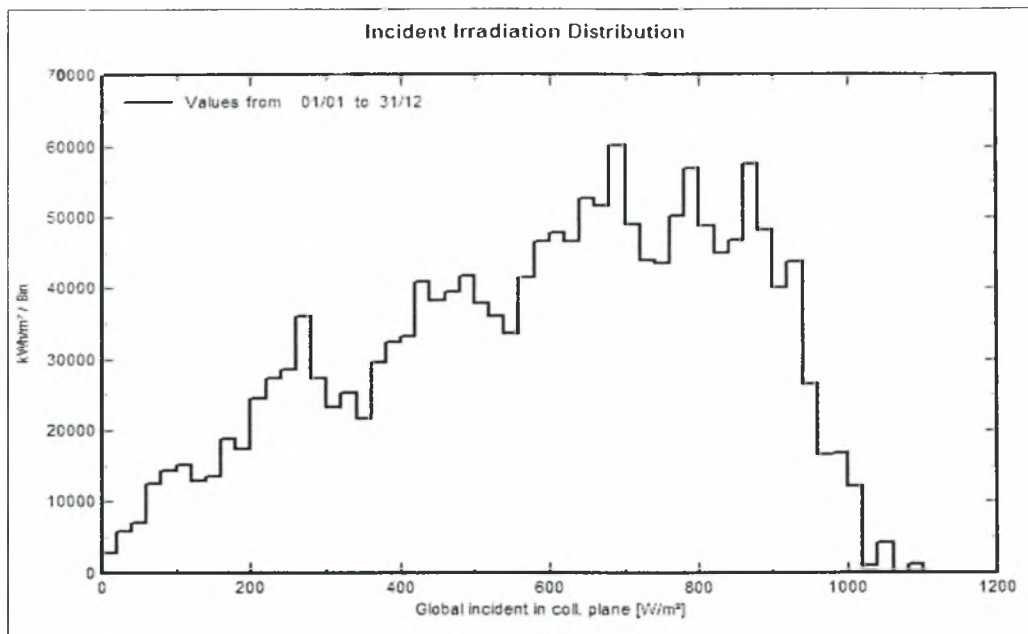
Διάγραμμα A.5. Ημερήσιο διάγραμμα Εισόδου/Εξόδου.

Στο διάγραμμα Α.6 απεικονίζεται η ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος στη διάρκεια του έτους (σε kWh/day). Ως ενέργεια εξόδου του συστήματος λαμβάνεται η έξοδος του αντιστροφέα. Παρατηρείται μεγάλη διακύμανση της ενέργειας εξόδου, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παράγουν κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τη νύχτα παραμένουν ανενεργά. Επίσης, διακρίνεται ένα πλήθος κορυφών κατά τη θερινή περίοδο όπου η ένταση της ακτινοβολίας και η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερες, σε αντίθεση με κάποιες μεμονωμένες κορυφές κατά το υπόλοιπο του έτους όπου πιθανότατα προκύπτουν ηλιοφεγγείς ημέρες και οι οποίες όμως είναι μικρότερης εντάσεως.



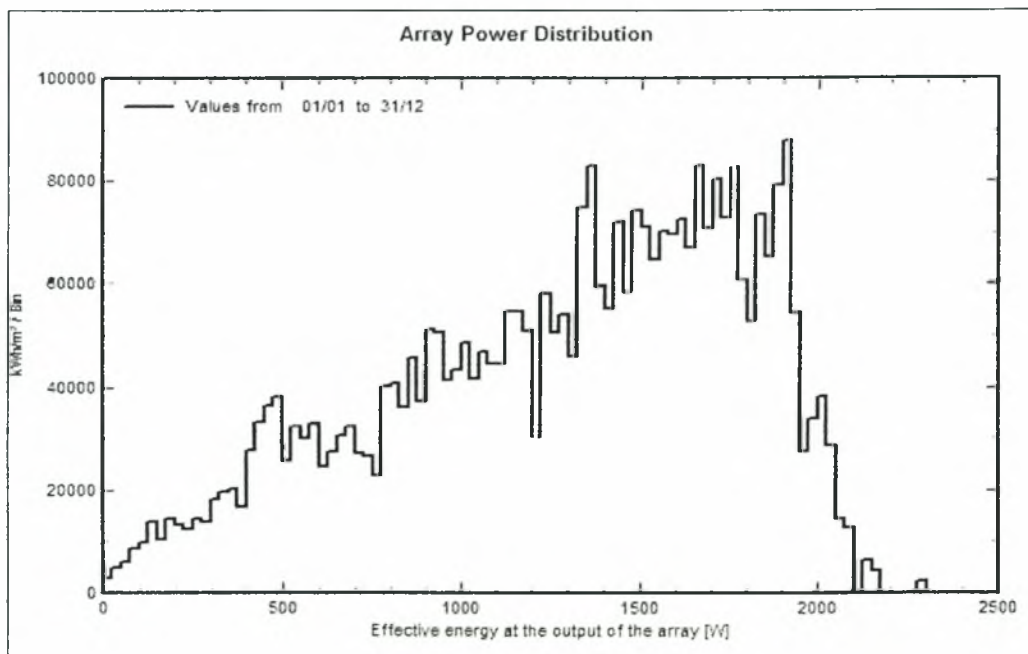
Διάγραμμα Α.6. Ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος.

Στο διάγραμμα Α.7 εικονίζεται η αναμενόμενη κατανομή της ακτινοβολίας στη διάρκεια ενός έτους.



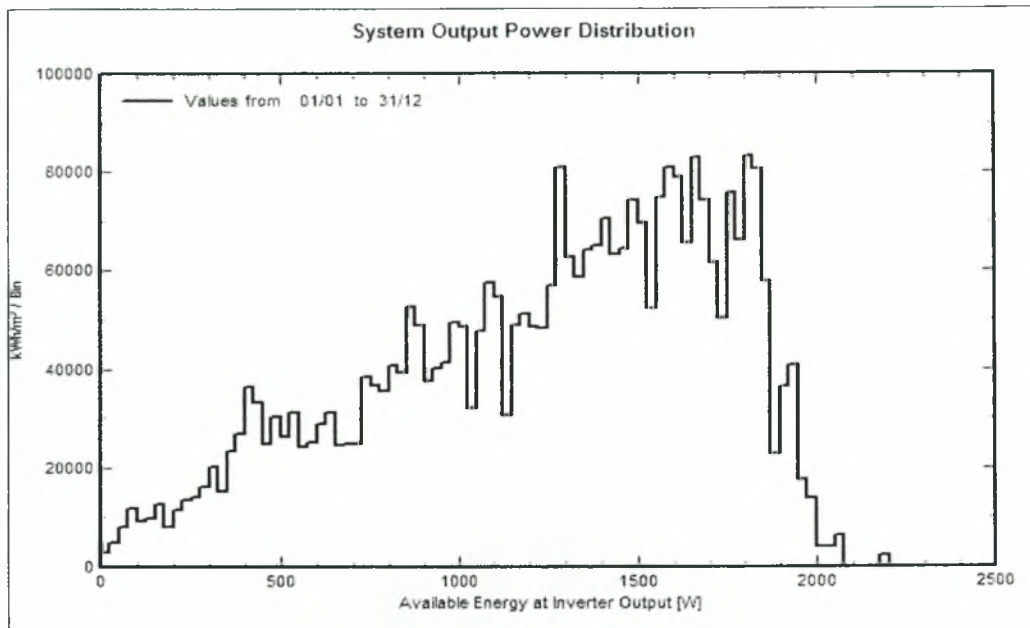
Διάγραμμα Α.7. Κατανομή ακτινοβολίας.

Στο διάγραμμα Α.8 απεικονίζεται η κατανομή ισχύος στην εν σειρά συστοιχία πάνελων. Το διάγραμμα δίνεται συναρτήσει της ωφέλιμης ισχύος στην έξοδο της συστοιχίας.



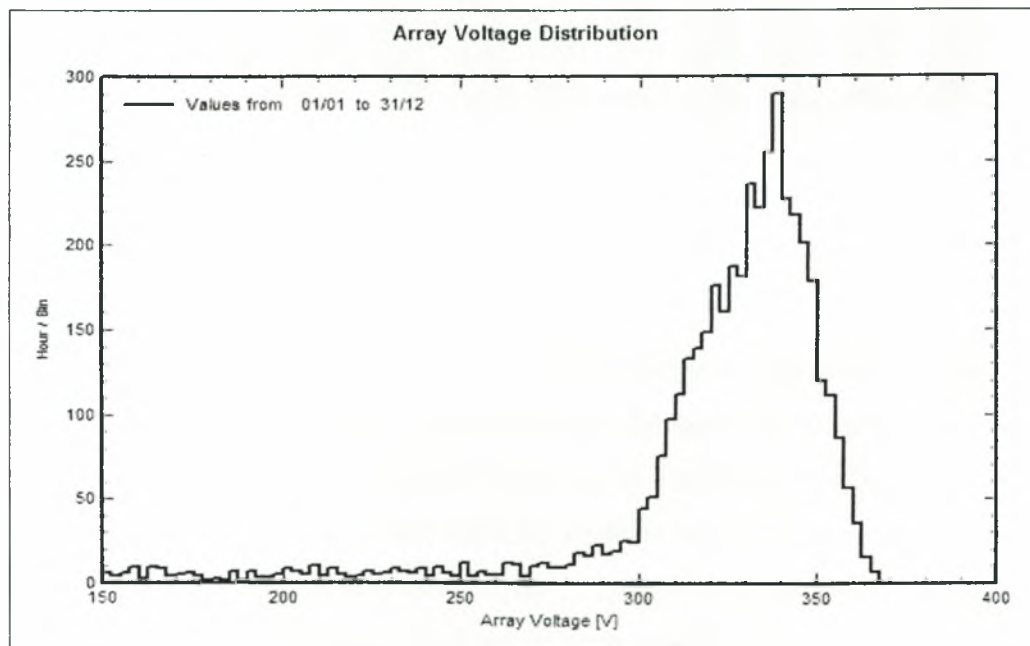
Διάγραμμα Α.8. Κατανομή ισχύος της συστοιχίας Ν.1.

Στο διάγραμμα A.9 απεικονίζεται η κατανομή της ισχύος εξόδου του συστήματος στη διάρκεια του έτους. Ως ενέργεια εξόδου λαμβάνεται η έξοδος του αντιστροφέα.



Διάγραμμα A.9. Κατανομή ισχύος εξόδου του συστήματος.

Στο διάγραμμα A.10 απεικονίζεται η κατανομή της τάσης της συστοιχίας. Παρατηρούμε ότι η αιχμή εμφανίζεται στα 340V.

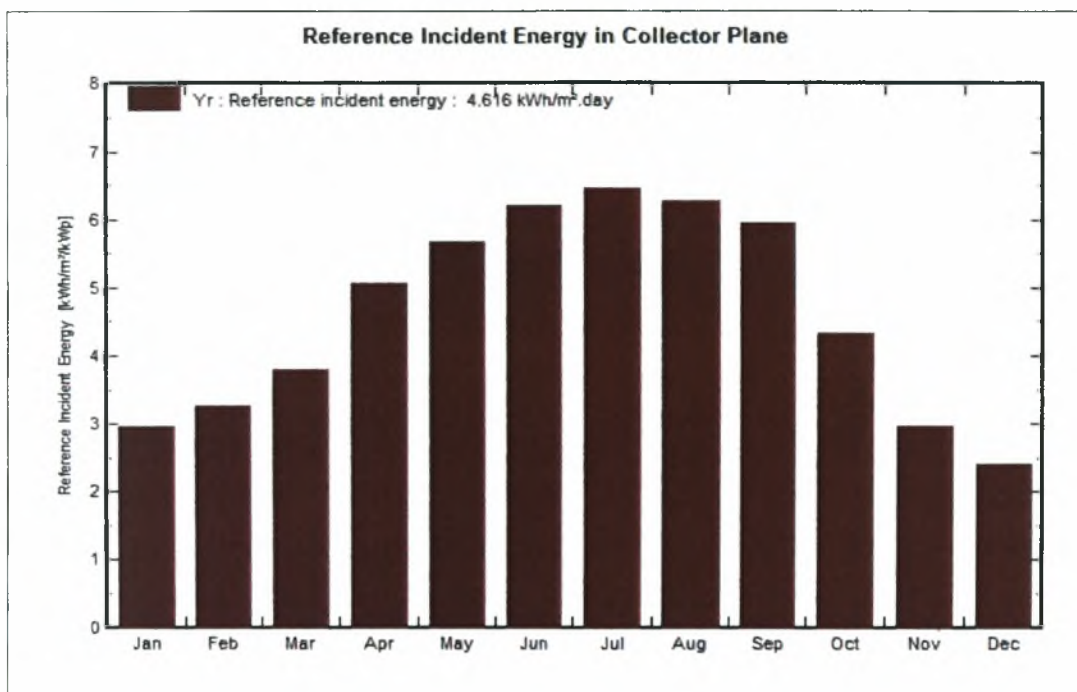


Διάγραμμα 10. Κατανομή της τάσης της συστοιχίας.

Συστοιχία N.2

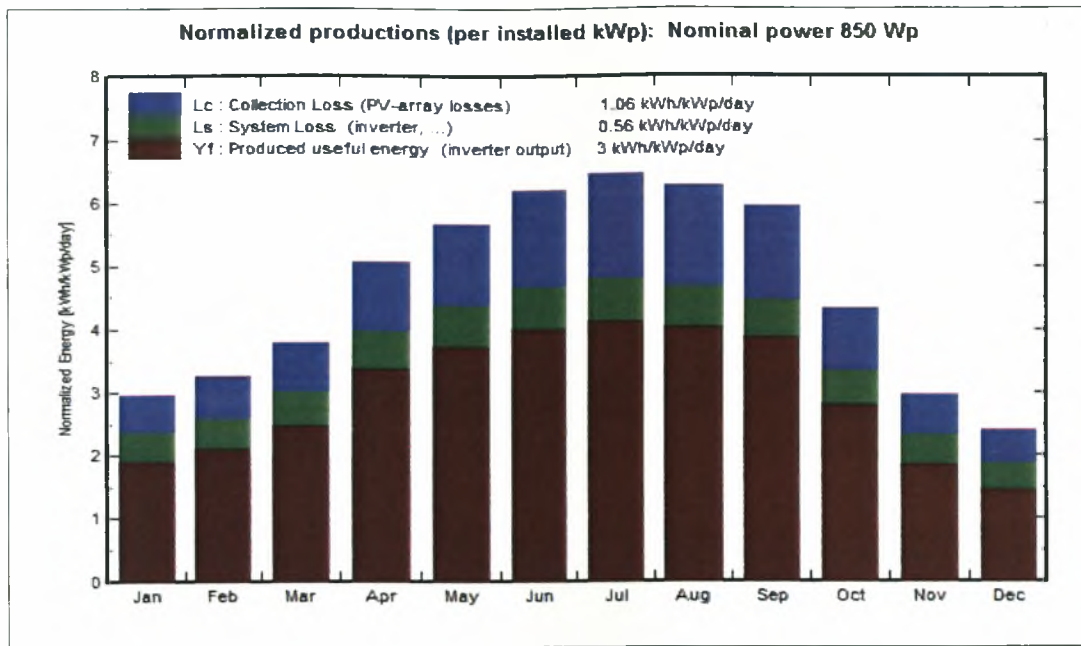
Αντίστοιχα με τα διαγράμματα της συστοιχίας N.1 προκύπτουν και εκείνα της συστοιχίας N.2.

Στο διάγραμμα A.11 απεικονίζεται η ενέργεια αναφοράς στο επίπεδο του συλλέκτη (σε kWh/m²/kWp) κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους για κάθε μήνα χωριστά. Το μέγιστο εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν. Η μέση ημερήσια τιμή της ενέργειας αναφοράς στο επίπεδο του συλλέκτη ανέρχεται στις 4616 kWh/m²/kWp.



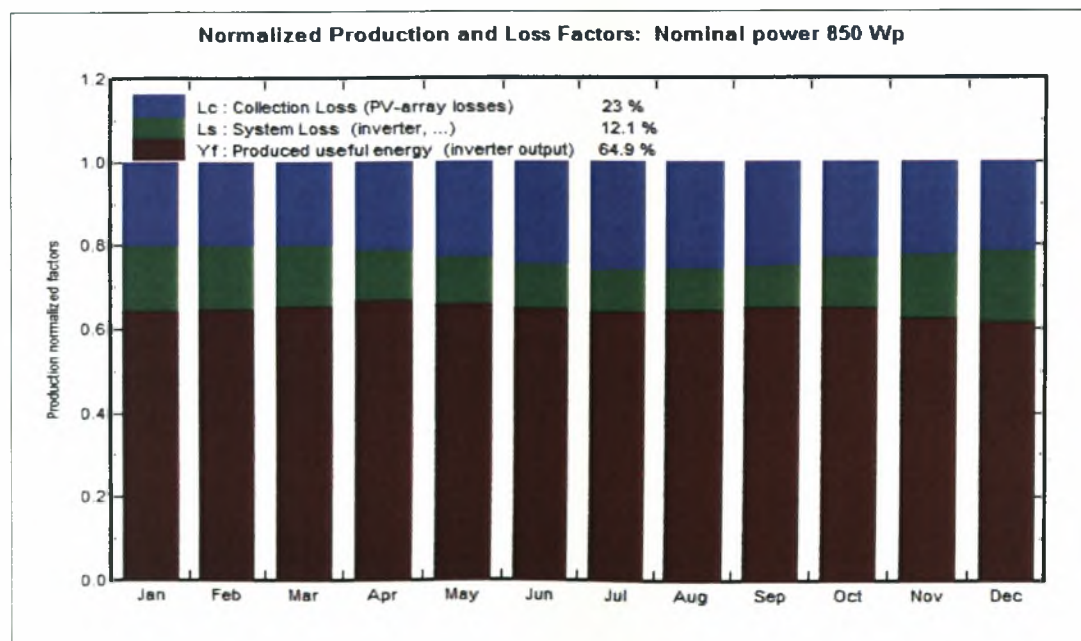
Διάγραμμα A.11. Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη

Στο διάγραμμα A.12 απεικονίζεται η ομαλοποιημένη ημερήσια παραγωγή kWh/kWp/day ανά εγκατεστημένο kWp, με τα αποτελέσματα να ομαδοποιούνται ανά μήνα για χρονικό διάστημα ενός έτους. Όμοια με τη συστοιχία N.1 τα τρία μεγέθη παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τη περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου, με το μέγιστο να εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο. Τη ίδια περίοδο υπάρχει ανάλογη αύξηση των απωλειών του συστήματος και του συλλέκτη οι οποίες οφείλονται στην εξάρτησή τους από τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα καθώς αυτή αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες να αυξάνονται αισθητά.



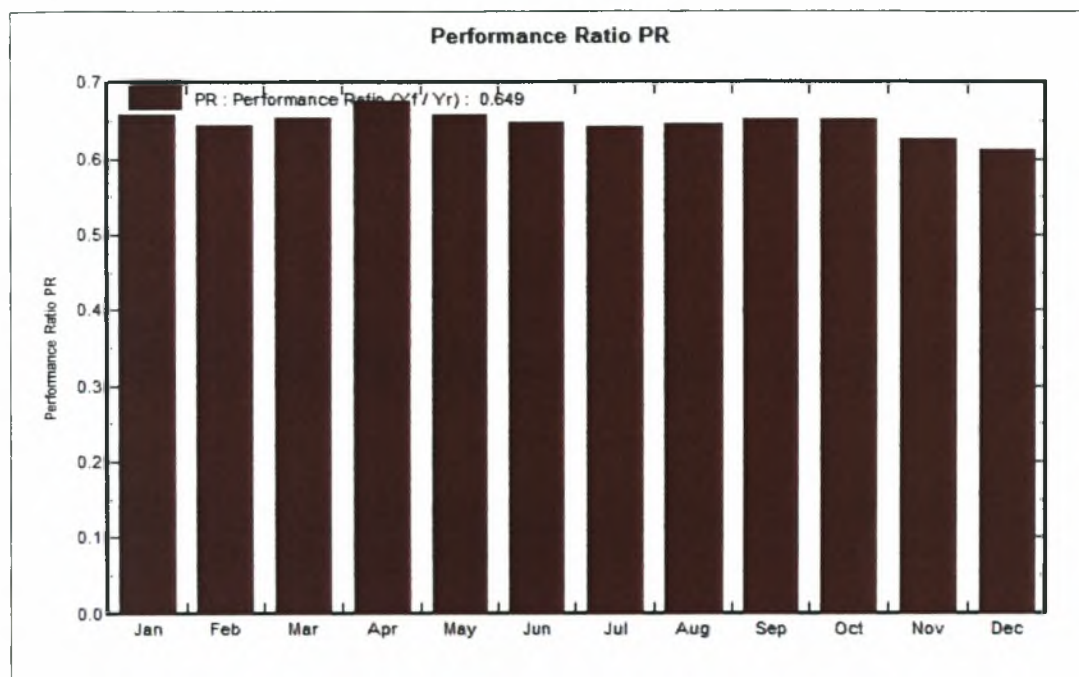
Διάγραμμα Α.12. Ομαλοποιημένη παραγωγή ανά εγκατεστημένο kWp.

Στο διάγραμμα Α.13 απεικονίζεται η κανονικοποιημένη κατανομή της παραγωγής και των απωλειών για ονομαστική ισχύ των 0,85kWp. Ομοίως, το ποσοστό των απωλειών του συλλέκτη αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες λόγω της αύξησης της έντασης της ακτινοβολίας και τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο μέσος όρος των κανονικοποιημένων μεγεθών είναι 23% για τις απώλειες του συλλέκτη, 12,1% για τις απώλειες του συστήματος και 64,9% της ωφέλιμης παραγωγής.



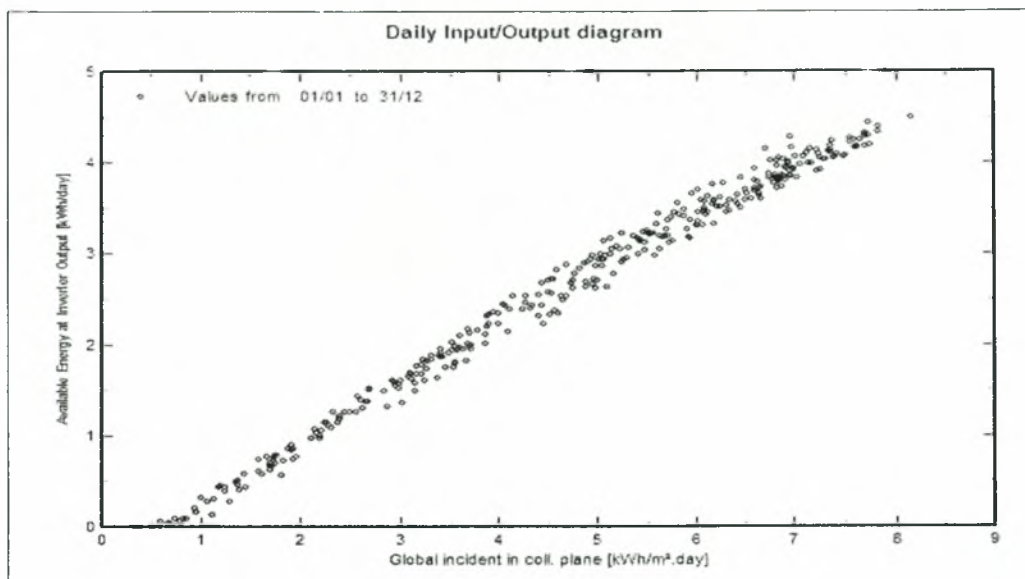
Διάγραμμα Α.13. Κανονικοποιημένη παραγωγή και συντελεστές απωλειών.

Στο διάγραμμα A.14 απεικονίζεται ο δείκτης απόδοσης (PR) ανά μήνα στη διάρκεια ενός έτους της συστοιχίας των πανέλων. Ο μέσος όρος αυτού, ανέρχεται στο 0,649 ή 64,9%. Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος τους χειμερινούς μήνες, με μέγιστο το μήνα Ιανουάριο, και ελάχιστο τον Ιούλιο. Τα διαγράμματα A.13 και A.14 φαίνεται να είναι συμπληρωματικά.



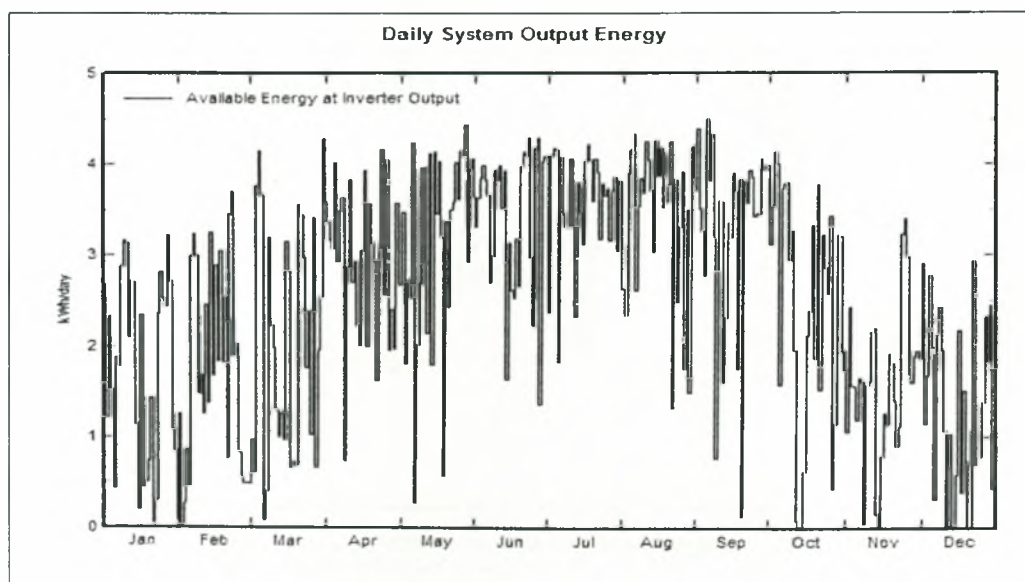
Διάγραμμα A.14. Βαθμός απόδοσης

Στο διάγραμμα A.15 απεικονίζεται το ημερήσιο διάγραμμα της εισόδου ως προς την έξοδο στη διάρκεια ενός έτους. Ως έξοδος λαμβάνεται η ημερήσια ενέργεια εξόδου του αντιστροφέα (σε kWh/day).



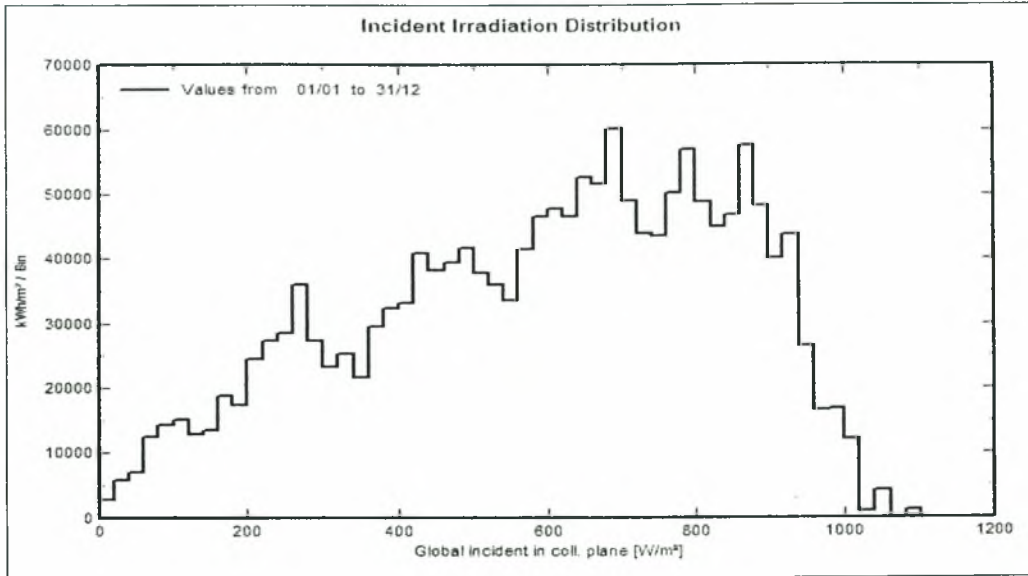
Διάγραμμα Α.15. Ημερήσιο διάγραμμα Εισόδου/Εξόδου.

Στο διάγραμμα Α.16 απεικονίζεται η ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος στη διάρκεια του έτους (σε kWh/day), με ενέργεια εξόδου του συστήματος τηω έξοδο του αντιστροφέα. Παρατηρείται επίσης μεγάλη διακύμανση της ενέργειας εξόδου με πλήθος κορυφών κατά τη θερινή περίοδο όπου η ένταση της ακτινοβολίας και η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερες, σε αντίθεση με κάποιες μεμονωμένες κορυφές κατά το υπόλοιπο του έτους οπου πιθανότατα προκύπτουν ηλιοφεγγείς ημέρες και οι οποίες όμως είναι μικρότερης εντάσεως.



Διάγραμμα A.16. Ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος.

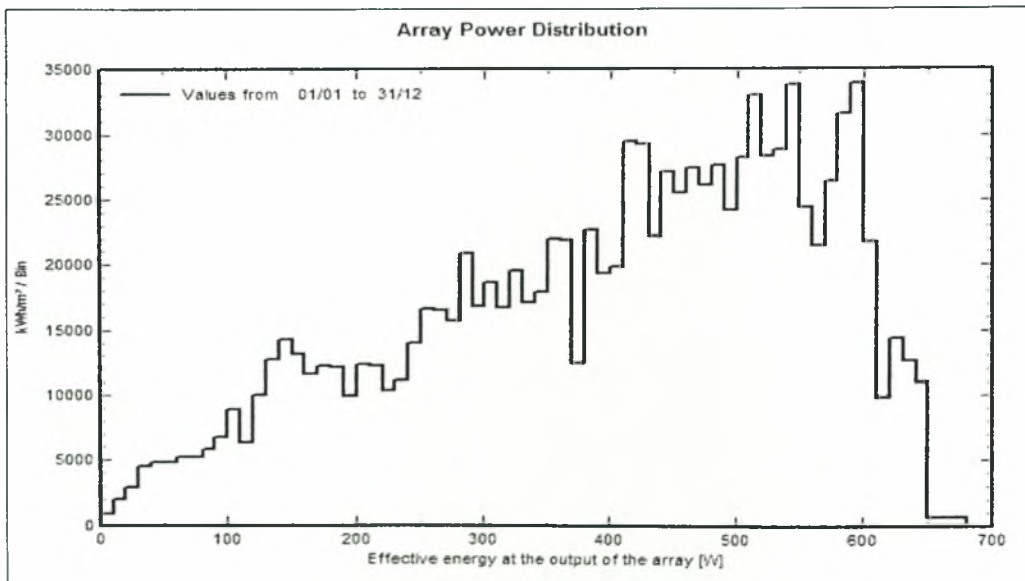
Στο διάγραμμα A.17 εικονίζεται η αναμενόμενη κατανομή της ακτινοβολίας στη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα A.17. Κατανομή ακτινοβολίας.

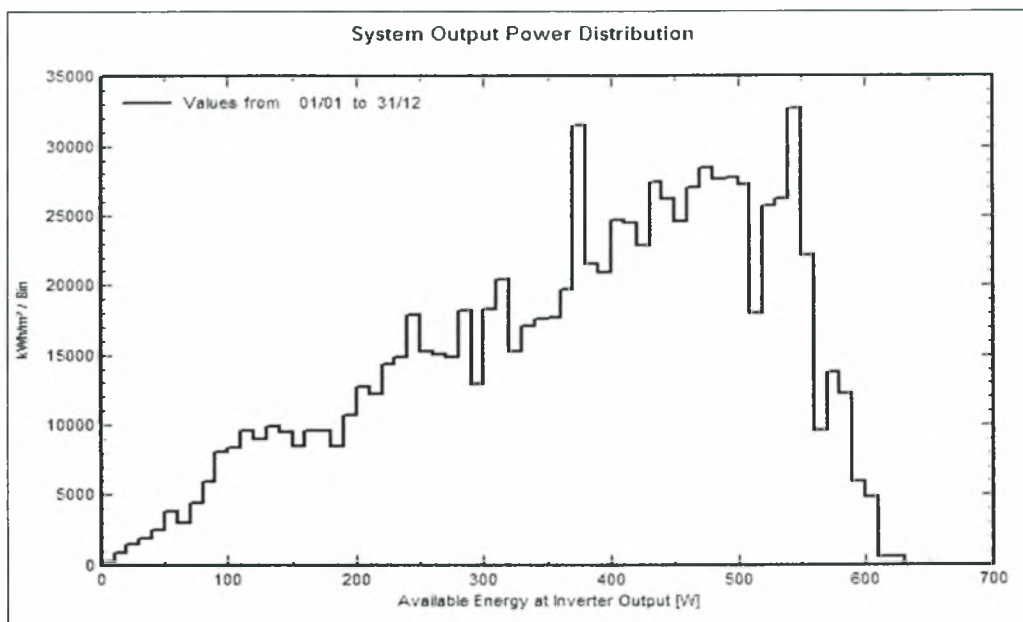
Στο διάγραμμα A.18 απεικονίζεται η κατανομή ισχύος στην εν σειρά συστοιχία πάνελ.

Το διάγραμμα δίνεται συναρτήσει της ωφέλιμης ισχύος στην έξοδο της συστοιχίας.



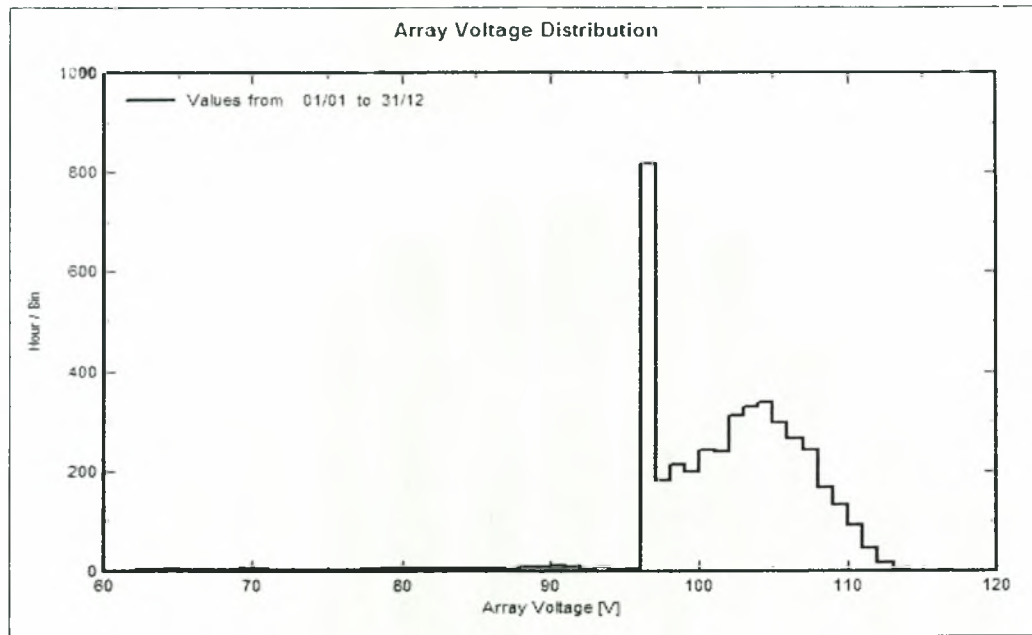
Διάγραμμα A.18. Κατανομή ισχύος της συστοιχίας N.2.

Στο διάγραμμα A.19 απεικονίζεται η κατανομή της ισχύος εξόδου του συστήματος στη διάρκεια του έτους. Ως ενέργεια εξόδου λαμβάνεται η έξοδος του αντιστροφέα.



Διάγραμμα A.19. Κατανομή ισχύος εξόδου του συστήματος.

Στο διάγραμμα A.20 απεικονίζεται η κατανομή της τάσης της συστοιχίας. Παρατηρούμε ότι η αιχμή εμφανίζεται στα 95V.

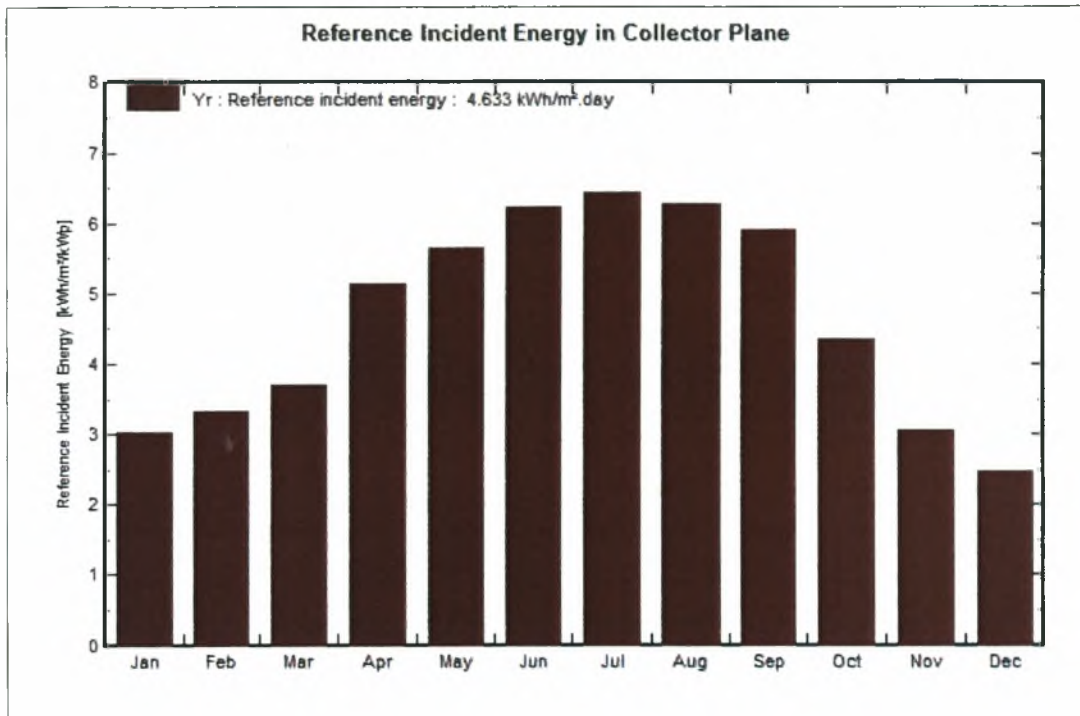


Διάγραμμα A.20. Κατανομή της τάσης της συστοιχίας.

Συστοιχία N.3

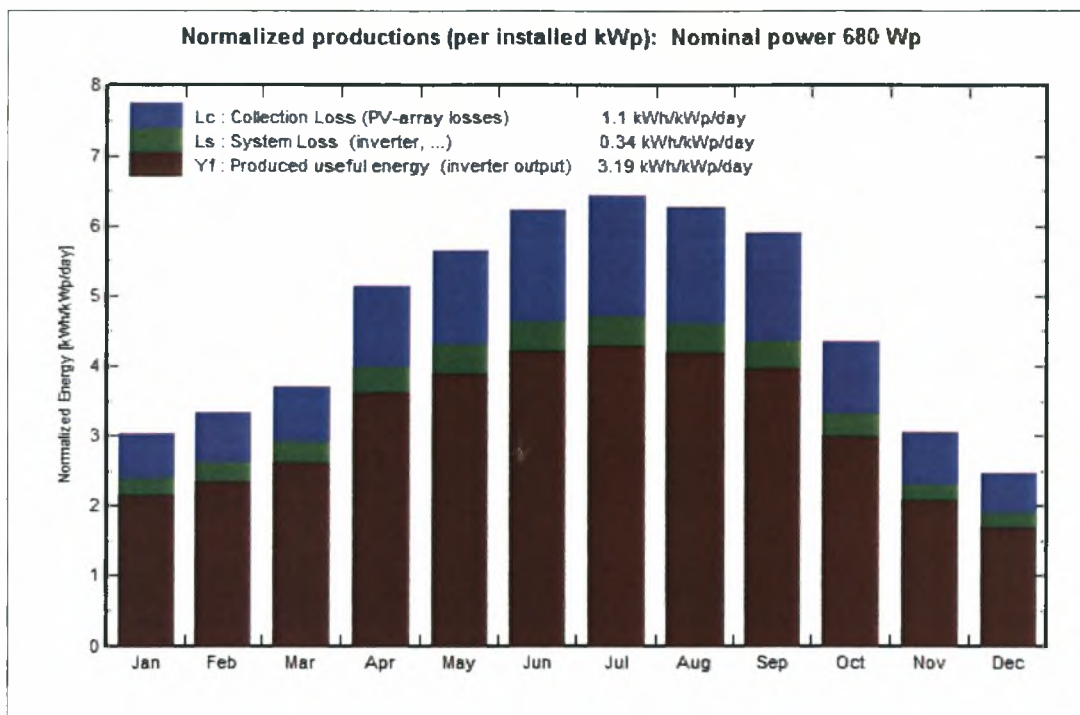
Αντίστοιχα με τα διαγράμματα των συστοιχιών N.1, N.2 προκύπτουν και εκείνα της συστοιχίας N.3.

Στο διάγραμμα A.21 απεικονίζεται η ενέργεια αναφοράς στο επίπεδο του συλλέκτη (σε kWh/m²/kWp) κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους για κάθε μήνα χωριστά. Το μέγιστο εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν. Η μέση ημερήσια τιμή της ενέργειας αναφοράς στο επίπεδο του συλλέκτη ανέρχεται στις 4633 kWh/m²/kWp.



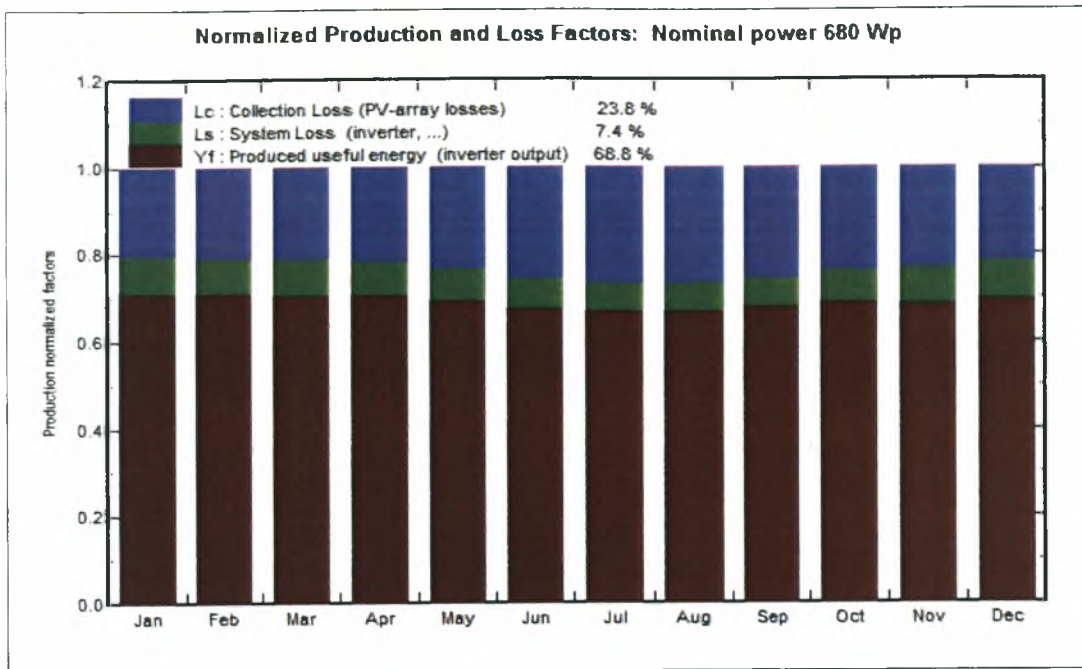
Διάγραμμα A.21. Ενέργεια αναφοράς στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Στο διάγραμμα A.22 απεικονίζεται η ομαλοποιημένη ημερήσια παραγωγή kWh/kWp/day ανά εγκατεστημένο kWp, με τα αποτελέσματα να ομαδοποιούνται ανά μήνα για χρονικό διάστημα ενός έτους. Όμοια με τις συστοιχίες N.1, N.2, τα τρία μεγέθη παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τη περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου, με το μέγιστο να εμφανίζεται τον μήνα Ιούλιο. Τη ίδια περίοδο υπάρχει ανάλογη αύξηση των απωλειών του συστήματος και του συλλέκτη οι οποίες οφείλονται στην εξάρτησή τους από τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα καθώς αυτή αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες να αυξάνονται αισθητά.



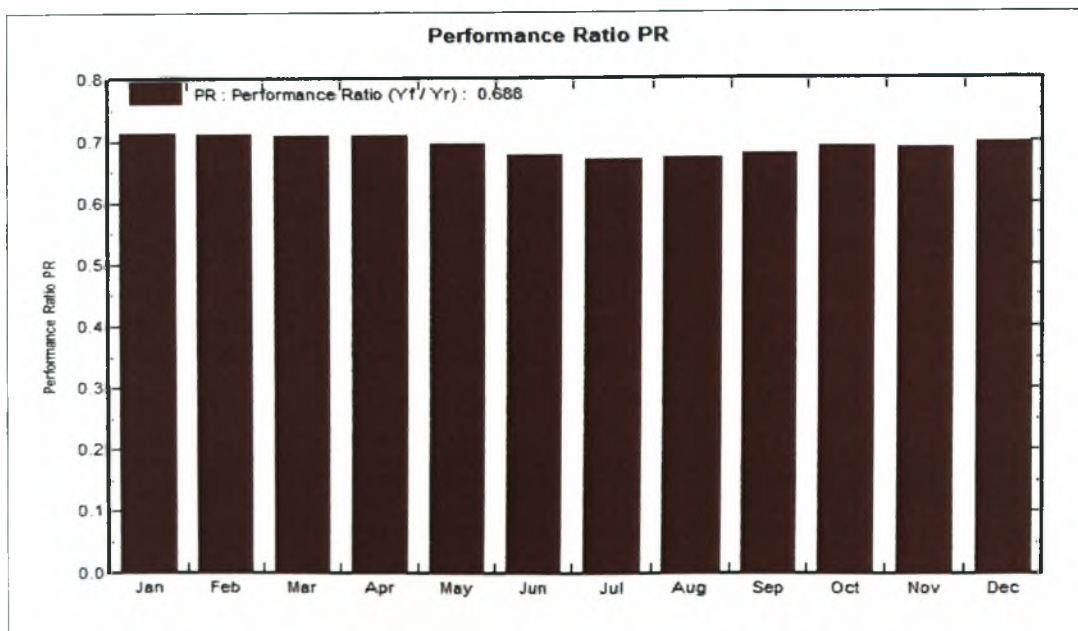
Διάγραμμα A.22. Ομαλοποιημένη παραγωγή ανά εγκατεστημένο kWp.

Στο διάγραμμα A.23 απεικονίζεται η κανονικοποιημένη κατανομή της παραγωγής και των απωλειών για ονομαστική ισχύ των 0,85kWp. Ομοίως, το ποσοστό των απωλειών του συλλέκτη αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες λόγω της αύξησης της έντασης της ακτινοβολίας και τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο μέσος όρος των κανονικοποιημένων μεγεθών είναι 23,8% για τις απώλειες του συλλέκτη, 7,4% για τις απώλειες του συστήματος και 68,8% της ωφέλιμης παραγωγής.



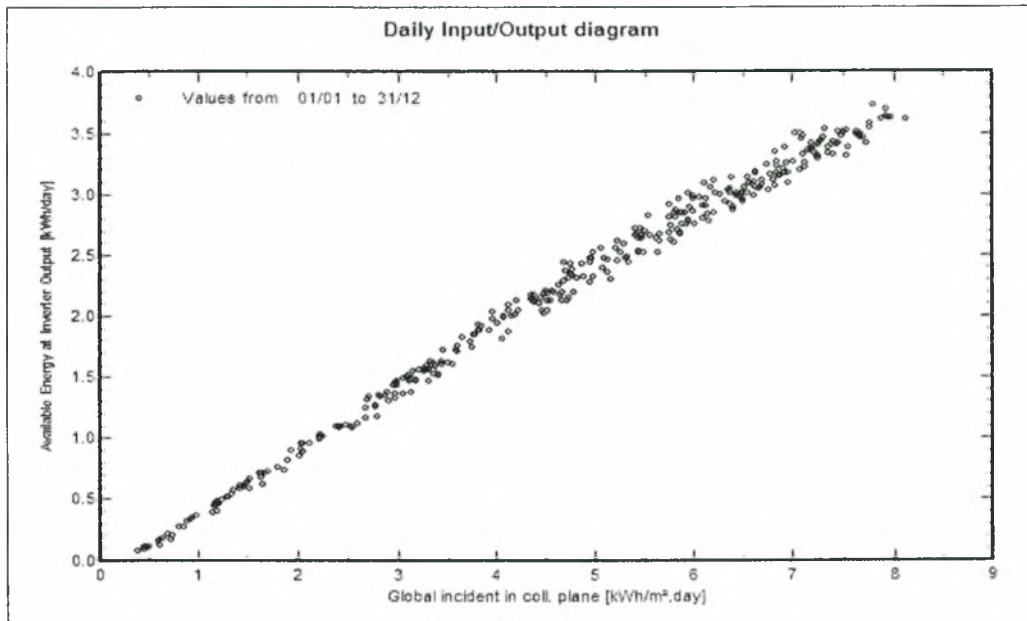
Διάγραμμα A.23. Κανονικοποιημένη παραγωγή και συντελεστές απωλειών.

Στο διάγραμμα A.24 απεικονίζεται ο δείκτης απόδοσης (PR) ανά μήνα στη διάρκεια ενός έτους της συστοιχίας των πάνελ. Ο μέσος όρος αυτού, ανέρχεται στο 0,688 ή 68,8%. Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος τους χειμερινούς μήνες, με μέγιστο το μήνα Ιανουάριο, και ελάχιστο τον Ιούλιο. Τα διαγράμματα A.23 και A.24 φαίνεται να είναι συμπληρωματικά.



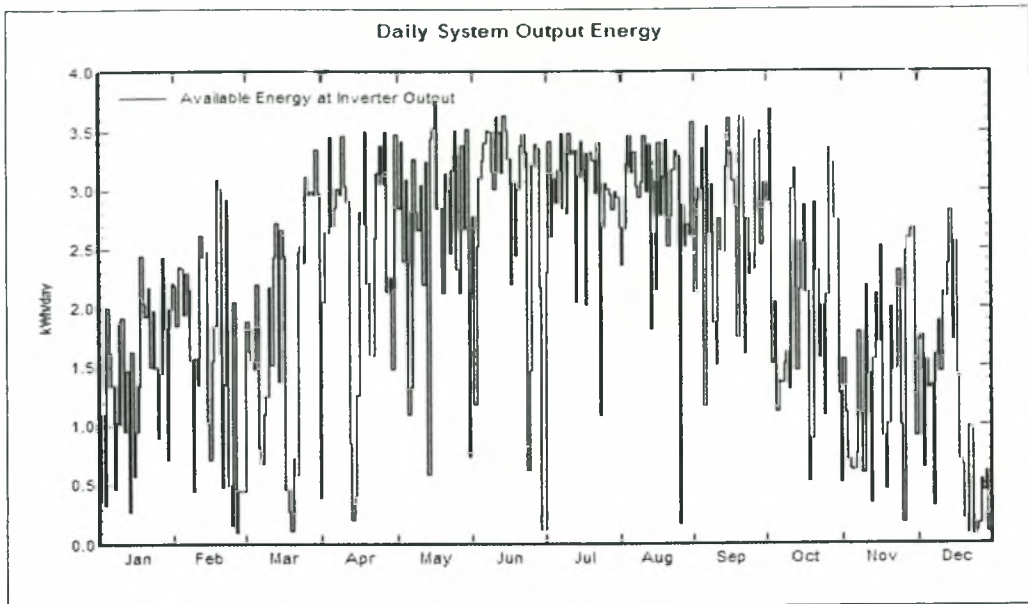
Διάγραμμα A.24. Βαθμός απόδοσης.

Στο διάγραμμα A.25 απεικονίζεται το ημερήσιο διάγραμμα της εισόδου ως προς την έξοδο στη διάρκεια ενός έτους. Ως έξοδος λαμβάνεται η ημερήσια ενέργεια εξόδου του αντιστροφέα (σε kWh/day).



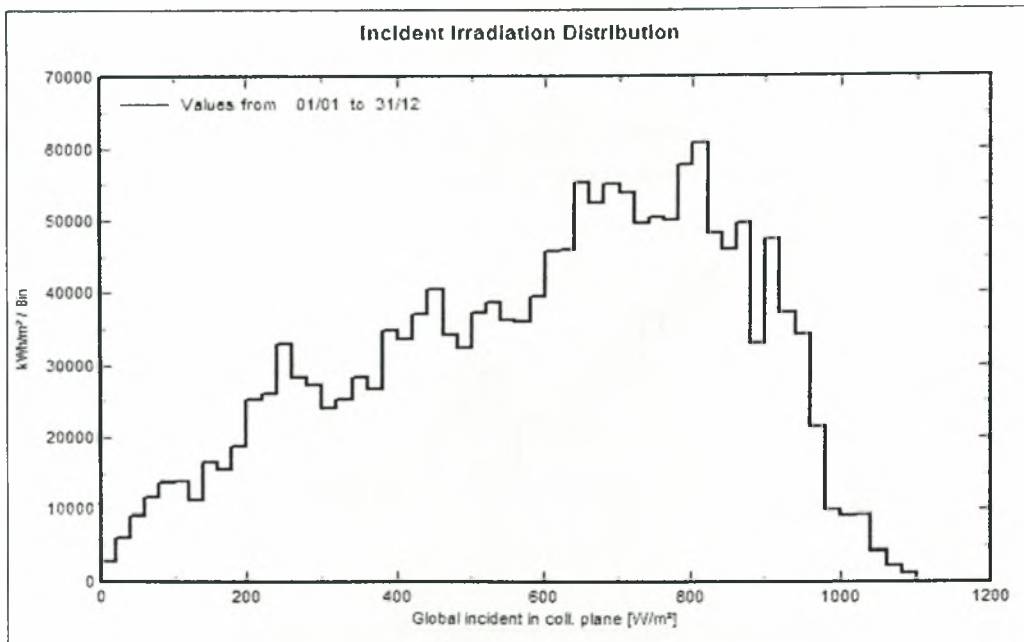
Διάγραμμα A.25. Ημερήσιο διάγραμμα Εισόδου/Εξόδου.

Στο διάγραμμα A.26 απεικονίζεται η ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος στη διάρκεια του έτους (σε kWh/day), με ενέργεια εξόδου του συστήματος στην έξοδο του αντιστροφέα. Παρατηρείται επίσης μεγάλη διακύμανση της ενέργειας εξόδου με πλήθος κορυφών κατά τη θερινή περίοδο όπου η ένταση της ακτινοβολίας και η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερες, σε αντίθεση με κάποιες μεμονωμένες κορυφές κατά το υπόλοιπο του έτους όπου πιθανότατα προκύπτουν ηλιοφεγγείς ημέρες και οι οποίες όμως είναι μικρότερης εντάσεως.



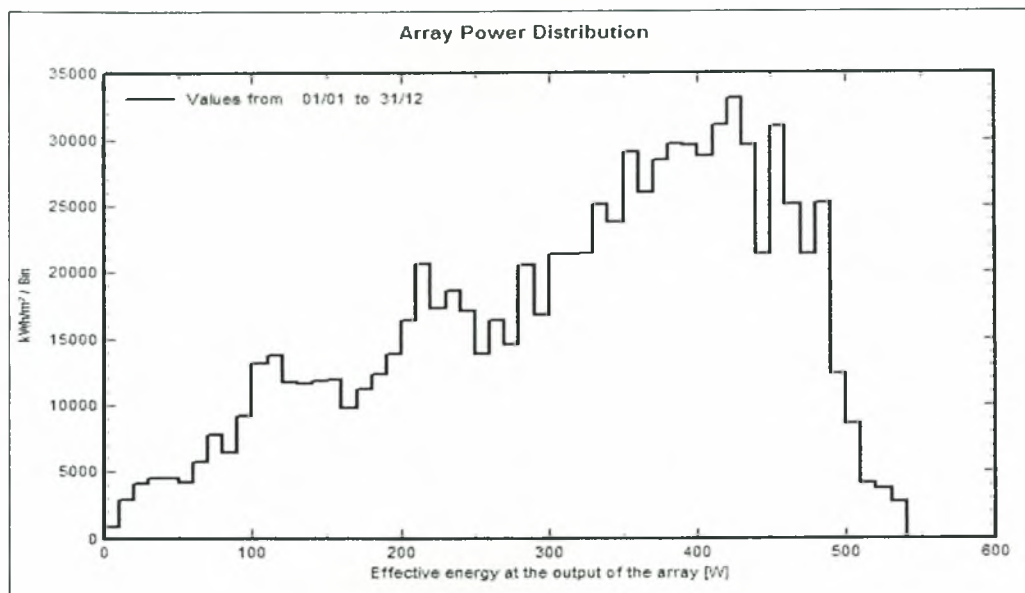
Διάγραμμα A.26. Ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος.

Στο διάγραμμα A.27 εικονίζεται η αναμενόμενη κατανομή της ακτινοβολίας στη διάρκεια ενός έτους.



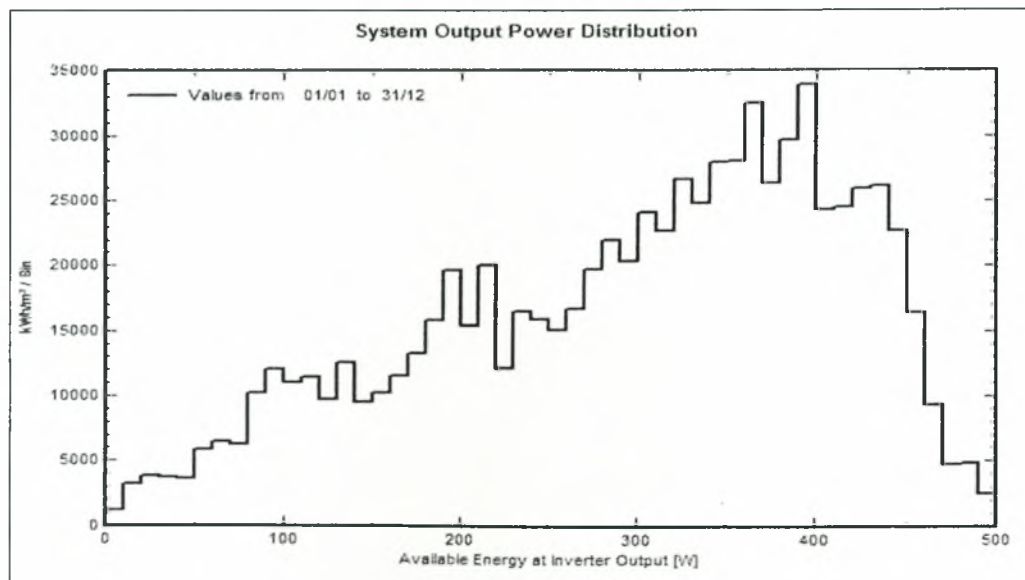
Διάγραμμα A.27. Κατανομή ακτινοβολίας

Στο διάγραμμα A.28 απεικονίζεται η κατανομή ισχύος στην εν σειρά συστοιχία πάνελ. Το διάγραμμα δίνεται συναρτήσει της ωφέλιμης ισχύος στην έξοδο της συστοιχίας.



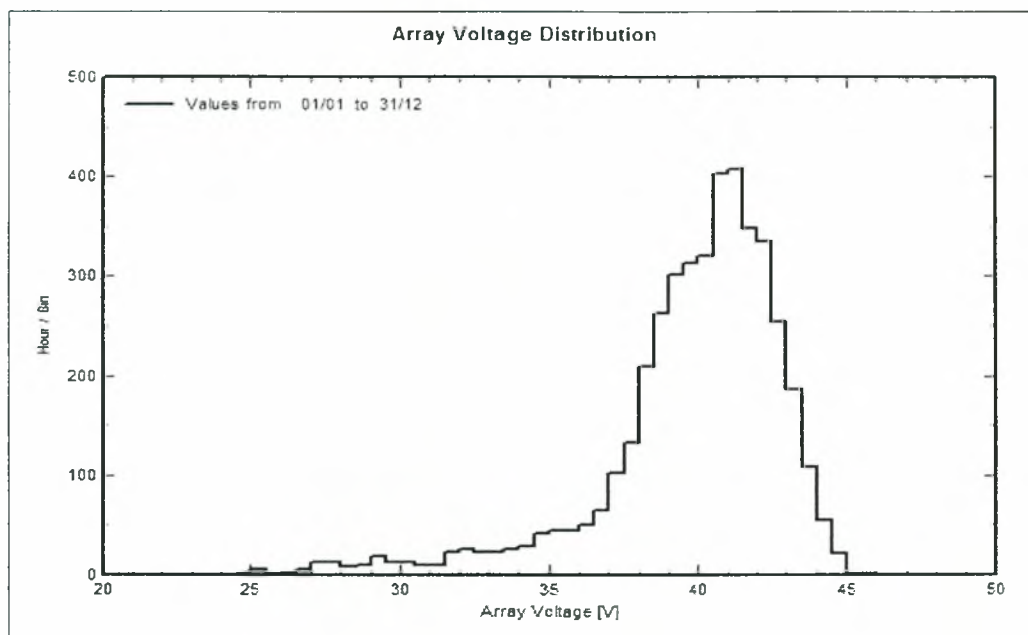
Διάγραμμα A.28. Κατανομή ισχύος της συστοιχίας N.3.

Στο διάγραμμα A.29 απεικονίζεται η κατανομή της ισχύος εξόδου του συστήματος στη διάρκεια του έτους. Ως ενέργεια εξόδου λαμβάνεται η έξοδος του αντιστροφέα.



Διάγραμμα A.29. Κατανομή ισχύος εξόδου του συστήματος.

Στο διάγραμμα A.30 απεικονίζεται η κατανομή της τάσης της συστοιχίας. Παρατηρούμε ότι η αιχμή εμφανίζεται στα 42V.



Διάγραμμα A.30. Κατανομή της τάσης της συστοιχίας.

Πίνακες

Συγκεντρωτικοί πίνακες με τα δεδομένα και τους υπολογισμούς, βάση των οποίων εξήχθησαν τα αποτελέσματα και πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις.

Συστοιχία N.1

**Simulation variant
Meteo and incident energy**

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	WindVel m/s	GlobInc kWh/m ²	DiffInc kWh/m ²	Alb Inc kWh/m ²	DiffS/GI
January	66.0	36.50	11.60	0.0	95.9	40.72	0.884	0.425
February	74.0	43.84	10.90	0.0	93.5	45.55	0.991	0.487
March	104.0	61.26	11.80	0.0	117.2	60.76	1.393	0.519
April	147.0	81.89	13.90	0.0	152.4	79.05	1.969	0.519
May	182.0	85.22	18.00	0.0	174.6	79.81	2.439	0.457
June	201.0	83.15	22.10	0.0	186.3	76.66	2.693	0.411
July	213.0	81.22	25.60	0.0	200.7	75.38	2.854	0.376
August	192.0	72.28	26.30	0.0	195.0	69.43	2.572	0.356
September	155.0	56.42	24.30	0.0	178.7	57.77	2.077	0.323
October	106.0	47.51	20.50	0.0	135.9	50.61	1.420	0.373
November	66.0	40.10	16.40	0.0	89.4	42.71	0.884	0.478
December	52.0	31.77	13.50	0.0	75.1	34.89	0.697	0.465
Year	1558.0	721.16	17.95	0.0	1694.6	713.33	20.874	0.421

Πίνακας Α.1

Simulation variant
Optical factors (Transpos.,IAM,Shadings)

	GlobHor kWh/m ²	GlobInc kWh/m ²	FTransp	FIAMBm	FIAMGI			FIAMShd
January	66.0	95.9	1.453	0.979	0.970			0.970
February	74.0	93.5	1.263	0.980	0.969			0.969
March	104.0	117.2	1.127	0.982	0.969			0.969
April	147.0	152.4	1.037	0.981	0.969			0.969
May	182.0	174.6	0.959	0.978	0.968			0.968
June	201.0	186.3	0.927	0.974	0.966			0.966
July	213.0	200.7	0.942	0.974	0.967			0.967
August	192.0	195.0	1.016	0.978	0.970			0.970
September	155.0	178.7	1.153	0.979	0.971			0.971
October	106.0	135.9	1.282	0.981	0.972			0.972
November	66.0	89.4	1.355	0.980	0.969			0.969
December	52.0	75.1	1.444	0.978	0.968			0.968
Year	1558.0	1694.6	1.088	0.978	0.969			0.969

Πίνακας Α.2

Simulation variant
Detailed System Losses

	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	ModQual kWh _i	MisLoss kWh _i	OhmLoss kWh _i	EArrMPP kWh	InvLoss kWh	EOutInv kWh
January	95.9	93.0	7.49	4.843	3.015	212.7	13.89	198.8
February	93.5	90.6	7.25	4.684	2.966	205.0	14.02	190.9
March	117.2	113.6	9.06	5.857	3.979	257.5	16.94	240.6
April	152.4	147.6	11.64	7.525	5.534	333.4	19.59	313.8
May	174.6	169.0	12.97	8.384	6.725	372.0	21.80	350.2
June	186.3	180.0	13.45	8.697	7.431	386.4	22.14	364.3
July	200.7	194.1	14.19	9.180	8.260	408.5	22.81	385.7
August	195.0	189.1	13.79	8.921	8.296	397.5	21.74	375.8
September	178.7	173.6	12.74	8.238	7.870	367.9	19.96	348.0
October	135.9	132.1	10.01	6.475	5.277	287.1	16.98	270.2
November	89.4	86.7	6.80	4.396	2.673	191.8	13.50	178.3
December	75.1	72.7	5.80	3.746	2.099	162.4	12.20	150.2
Year	1694.6	1642.0	125.19	80.946	64.126	3582.3	215.56	3366.7

Πίνακας Α.3

Συστοιχία Ν.2

Simulation variant
Meteo and incident energy

	GlobHor	DiffHor	T Amb	WindVel	GlobInc	DifSInc	Alb Inc	DifS/GI
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
January	66.0	36.50	11.60	0.0	95.9	40.72	0.884	0.425
February	74.0	43.84	10.90	0.0	93.5	45.55	0.991	0.487
March	104.0	61.26	11.80	0.0	117.2	60.76	1.393	0.519
April	147.0	81.89	13.90	0.0	152.4	79.05	1.969	0.519
May	182.0	85.22	18.00	0.0	174.6	79.81	2.439	0.457
June	201.0	83.15	22.10	0.0	186.3	76.66	2.693	0.411
July	213.0	81.22	25.60	0.0	200.7	75.38	2.854	0.376
August	192.0	72.28	26.30	0.0	195.0	69.43	2.572	0.356
September	155.0	56.42	24.30	0.0	178.7	57.77	2.077	0.323
October	106.0	47.51	20.50	0.0	135.9	50.61	1.420	0.373
November	66.0	40.10	16.40	0.0	89.4	42.71	0.884	0.478
December	52.0	31.77	13.50	0.0	75.1	34.89	0.697	0.465
Year	1558.0	721.16	17.95	0.0	1694.6	713.33	20.874	0.421

Πίνακας Α.4

Simulation variant
Optical factors (Transpos.,IAM,Shadings)

	GlobHor	GlobInc	FTransp	FIAMBm	FIAMGI			FIAMShd
	kWh/m ²	kWh/m ²						
January	66.0	95.9	1.453	0.979	0.970			0.970
February	74.0	93.5	1.263	0.980	0.969			0.969
March	104.0	117.2	1.127	0.982	0.969			0.969
April	147.0	152.4	1.037	0.981	0.969			0.969
May	182.0	174.6	0.959	0.978	0.968			0.968
June	201.0	186.3	0.927	0.974	0.966			0.966
July	213.0	200.7	0.942	0.974	0.967			0.967
August	192.0	195.0	1.016	0.978	0.970			0.970
September	155.0	178.7	1.153	0.979	0.971			0.971
October	106.0	135.9	1.282	0.981	0.972			0.972
November	66.0	89.4	1.355	0.980	0.969			0.969
December	52.0	75.1	1.444	0.978	0.968			0.968
Year	1558.0	1694.6	1.088	0.978	0.969			0.969

Πίνακας Α.5

Simulation variant
Detailed System Losses

	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	ModQual kWh	MisLoss kWh	OhmLoss kWh	EArrMPP kWh	InvLoss kWh	EOutInv kWh
January	95.9	93.0	2.341	1.513	0.940	65.7	11.98	53.7
February	93.5	90.6	2.265	1.464	0.918	63.3	12.19	51.1
March	117.2	113.6	2.835	1.832	1.235	79.6	14.47	65.1
April	152.4	147.6	3.649	2.359	1.726	103.2	15.56	87.6
May	174.6	169.0	4.074	2.634	2.107	115.3	17.50	97.8
June	186.3	180.0	4.235	2.738	2.332	119.9	17.35	102.6
July	200.7	194.1	4.477	2.894	2.582	126.9	17.51	109.4
August	195.0	189.1	4.354	2.815	2.587	123.6	16.64	106.9
September	178.7	173.6	4.021	2.600	2.462	114.4	15.40	99.0
October	135.9	132.1	3.149	2.035	1.654	89.0	13.81	75.2
November	89.4	86.7	2.127	1.374	0.836	59.2	11.70	47.5
December	75.1	72.7	1.809	1.169	0.655	50.1	11.05	39.1
Year	1694.6	1642.0	39.336	25.425	20.033	1110.3	175.17	935.1

Πίνακας Α.6

Συστοιχία Ν.3

Simulation variant
Meteo and incident energy

	GlobHor	DiffHor	T Amb	WindVel	GlobInc	DiffInc	Alb Inc	DiffS/GI
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
January	66.0	40.15	11.60	0.0	91.4	43.58	0.884	0.477
February	74.0	40.75	10.90	0.0	96.8	43.33	0.991	0.448
March	104.0	61.22	11.80	0.0	116.5	60.87	1.393	0.523
April	147.0	73.48	13.90	0.0	153.0	71.12	1.969	0.465
May	182.0	84.05	18.00	0.0	174.9	78.74	2.438	0.450
June	201.0	73.44	22.10	0.0	185.4	67.42	2.693	0.364
July	213.0	81.05	25.60	0.0	200.1	75.10	2.854	0.375
August	192.0	70.92	26.30	0.0	195.2	68.24	2.572	0.350
September	155.0	60.92	24.30	0.0	177.5	61.81	2.077	0.348
October	106.0	52.04	20.50	0.0	134.6	54.58	1.420	0.405
November	66.0	38.03	16.40	0.0	91.8	41.00	0.884	0.447
December	52.0	31.36	13.50	0.0	75.6	34.43	0.697	0.455
Year	1558.0	707.41	17.95	0.0	1692.9	700.21	20.874	0.414

Πίνακας Α.7

Simulation variant
Optical factors (Transpos.,IAM,Shadings)

	GlobHor	GlobInc	FTransp	FIAMBm	FIAMGI			FIAMShd
	kWh/m ²	kWh/m ²						
January	66.0	91.4	1.385	0.940	0.969			0.969
February	74.0	96.8	1.308	0.945	0.970			0.970
March	104.0	116.5	1.120	0.933	0.969			0.969
April	147.0	153.0	1.041	0.938	0.968			0.968
May	182.0	174.9	0.961	0.939	0.967			0.967
June	201.0	185.4	0.923	0.945	0.966			0.966
July	213.0	200.1	0.939	0.945	0.966			0.966
August	192.0	195.2	1.017	0.953	0.970			0.970
September	155.0	177.5	1.145	0.955	0.971			0.971
October	106.0	134.6	1.270	0.950	0.971			0.971
November	66.0	91.8	1.390	0.944	0.970			0.970
December	52.0	75.6	1.454	0.941	0.968			0.968
Year	1558.0	1692.9	1.087	0.945	0.969			0.969

Πίνακας Α.8

Simulation variant
Detailed System Losses

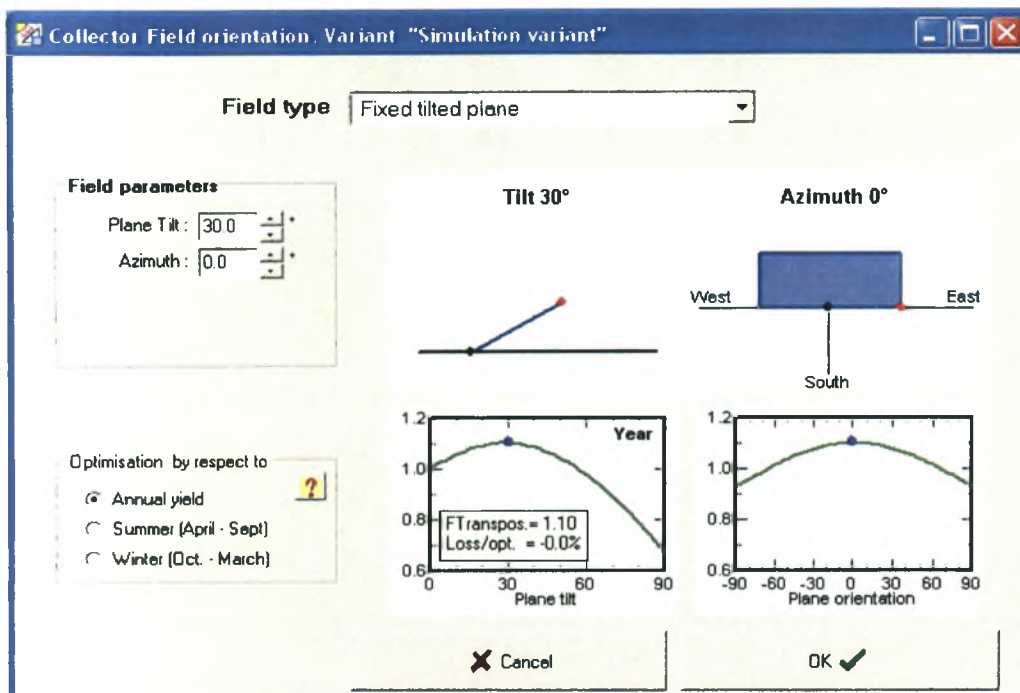
	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	ModQual kWh	MisLoss kWh	OhmLoss kWh	EArrMPP kWh	InvLoss kWh	EOutInv kWh
January	91.4	88.6	1.793	1.158	0.647	49.6	5.299	44.30
February	96.8	93.9	1.875	1.212	0.798	52.1	5.355	46.77
March	116.5	112.8	2.255	1.457	0.961	62.7	6.495	56.16
April	153.0	148.1	2.914	1.883	1.447	81.6	7.843	73.80
May	174.9	169.2	3.260	2.107	1.683	91.3	8.728	82.61
June	185.4	179.2	3.355	2.169	1.916	94.1	8.842	85.27
July	200.1	193.3	3.572	2.309	2.051	100.2	9.264	90.97
August	195.2	189.4	3.483	2.252	2.098	97.9	8.919	88.97
September	177.5	172.4	3.201	2.070	1.904	90.1	8.204	81.86
October	134.6	130.7	2.502	1.617	1.258	69.9	6.829	63.10
November	91.8	89.0	1.741	1.125	0.714	48.1	5.206	42.90
December	75.6	73.2	1.467	0.948	0.536	40.3	4.562	35.78
Year	1692.9	1639.8	31.418	20.308	16.013	878.0	85.546	792.48

Πίνακας Α.9

Παράρτημα Β

Επιλογή Βέλτιστης Κλίσης

Για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ της εκάστοτε συστοιχίας η κλίση αυτών προσδιορίστηκε με τρόπο τέτοιο ώστε να ελαχιστοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι απώλειες. Επειδή βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία (ίδιο γεωγραφικό μήκος και πλάτος) για το λόγο αυτό και οι τρεις συστοιχίες διαθέτουν την ίδια κλίση.



Παράρτημα Γ

Μέσος αριθμός ηλιοφεγγών και ανήλιων ημερών του έτους.

Είδος Ημερών	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι
Ηλιοφεγγείς	3,2	4,3	5,6	7,5	7	11,9
Ανήλιες	3,7	3,1	2,5	1,1	0,5	0
Είδος Ημερών	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ηλιοφεγγείς	21,3	21,6	15,4	8,9	3,8	3,4
Ανήλιες	0	0	0,2	1	2,5	4,1



ΔΕΗ/Περιοχή

Αρ. Αίτησης:
Ημερομηνία:

ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΧΤ

Στοιχεία Παραγωγού	
Όνομα/επωνυμία ενδιαφερόμενου φυσικού/νομικού προσώπου	
Κατοικία/έδρα ενδιαφερομένου φυσικού/νομικού προσώπου	
ΑΦΜ και ΔΟΥ ενδιαφερόμενου φυσικού/νομικού προσώπου	
Εκπρόσωπος επικοινωνίας με τη ΔΕΗ	
Ταχυδρομική και ηλεκτρονική διεύθυνση	
Τηλέφωνο	
Fax	
Στοιχεία Εγκατάστασης	
Είδος Παραγωγού	<input type="checkbox"/> Αυτοπαραγωγός <input type="checkbox"/> Ανεξάρτητος Παραγωγός
Θέση εγκατάστασης (θέση – τοπωνύμιο, δήμος, νομός)	
Διεύθυνση εγκατάστασης	
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (kW)	
Στοιχεία αδειούχου εγκαταστάτη (επωνυμία, ειδικότητα, διεύθυνση, τηλέφωνο)	

Στοιχεία Φωτοβολταϊκών πλαισίων	
Κατασκευαστής, προέλευση	
Τύπος - μοντέλο	
Ονομαστική ισχύς πλαισίου	
Αριθμός πλαισίων	
Πιστοποιήσεις	
Στοιχεία αντιστροφέα (inverter)	
Κατασκευαστής, προέλευση	
Τύπος - Μοντέλο	
Ονομαστική ισχύς εξόδου	
Μέγιστη ισχύς εξόδου	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	
Συντελεστής ισχύος	
Διακύμανση τάσης εξόδου (προεπιλεγμένη και δυνατό εύρος ρύθμισης)	(προεπιλεγμένη)
	(εύρος ρύθμισης)
Διακύμανση συχνότητας εξόδου (προεπιλεγμένη και δυνατό εύρος ρύθμισης)	(προεπιλεγμένη)
	(εύρος ρύθμισης)

Ολική αρμονική παραμόρφωση ρεύματος (THD)	
Έγχυση DC	
Μετασχηματιστής απομόνωσης	Ναι / Όχι
Προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης (Islanding) κατά VDE 0126 ή ισοδύναμης μεθόδου	Ναι / Όχι
Πλήρης περιγραφή τρόπου προστασίας	
Πιστοποιήσεις	
Έγγραφα και στοιχεία που συνοποβάλλονται κατά την αρχική αίτηση	
1. Τεχνικά εγχειρίδια φωτοβολταϊκών στοιχείων	<input type="checkbox"/>
2. Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών	<input type="checkbox"/>
3. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του σταθμού (υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας)	<input type="checkbox"/>
4. Αντίγραφο πρόσφατου λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος (μόνο για την περίπτωση αυτοπαραγωγών)	<input type="checkbox"/>
5. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης της εγκατάστασης και χάρτη ΓΥΣ 1:5000 με απεικόνιση του πολυγώνου του γηπέδου (προκειμένου για οικόπεδα εκτός σχεδίου πόλεως)	<input type="checkbox"/>
6. Τίτλος κυριότητας (συμβολαιογραφική πράξη και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο), ή κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης (σε περίπτωση απλής μίσθωσης, το μισθωτήριο θεωρημένο από τη ΔΟΥ και αντίγραφο του τίτλου κυριότητας του ιδιοκτήτη, στην δε περίπτωση πολλαπλών μισθώσεων στο ίδιο ακίνητο, το μισθωτήριο συμβόλαιο από συμβολαιογράφο συνοδευόμενο από το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο).	<input type="checkbox"/>
7. Έγγραφο εξαίρεσης από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής εκδοθέν από τη ΠΑΕ (για σταθμούς ισχύος άνω των 20 kW)	<input type="checkbox"/>
8. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο αιτών να βεβαιώνει ότι η συγκεκριμένη έκταση βρίσκεται εκτός περιοχών NATURA 2000, εθνικών	<input type="checkbox"/>

δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ υπ' αριθ. 145799/2005 (για οικόπεδα)	
9. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86 στην οποία ο αιτών να δηλώνει ότι όλα τα στοιχεία που υποβάλλει με την αίτησή του είναι αληθή	<input type="checkbox"/>
10. Έγκριση εργασιών από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία της περιοχής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού σταθμού, σύμφωνα με την παράγραφο 9 του Άρθρου 27α του Ν. 3734/2009	<input type="checkbox"/>
Έγγραφα και στοιχεία που θα πρέπει να προσκομιστούν προ της σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο	
11. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ ή μεταξύ Παραγωγού και Διαχειριστή μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά)	<input type="checkbox"/>
12. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένη τεχνική περιγραφή του τρόπου αποφυγής του φαινομένου της νησιδοποίησης και συνημμένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης	<input type="checkbox"/>
13. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για την τάση το +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για την συχνότητα τα +/- 0,5 Hz καθώς επίσης και την πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις : <ul style="list-style-type: none"> - Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα, - Επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από τρία λεπτά. Επίσης θα αναφέρει το χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδοποίησης	<input type="checkbox"/>
14. Αντίγραφο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης (Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων) από την αρμόδια υπηρεσία, για σταθμούς άνω των 20 kW	<input type="checkbox"/>

Βιβλιογραφία**Ελληνική βιβλιογραφία**

Δέρβος Κ.Θ., (2006), «Εισαγωγή στα ημιαγωγίμα υλικά και φωτοβολταικές διατάξεις», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Λέφας Κωνσταντίνος, 2004, «Εισαγωγή στην τεχνολογία του φυσικού αερίου», Εκδόσεις ΦΟΙΒΟΣ, Αθήνα.

Καλδέλλης Κ. Ιωάννης. (2005), «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα

ΚΑΠΕ (2001) «Φωτοβολταική τεχνολογία, εφαρμογές στην Ελλάδα» Εκδόσεις ΚΑΠΕ (<http://www.cres.gr/kape/publications/download.htm>)

ΚΑΠΕ (2002) «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε οικιστικά σύνολα» Εκδόσεις ΚΑΠΕ (<http://www.cres.gr/kape/publications/download.htm>)

ΚΑΠΕ (2005) «Τεχνολογίες εξοικονόμησης σε κτίρια» Εκδόσεις ΚΑΠΕ

Καπλάνης, Σ. (2004) «Μηχανική των φωτοβολταικών συστημάτων», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Κάππος, Μ. (2009) «Φωτοβολταικά, αιολικά, υδροηλεκτρικά», Εκδόσεις Σταμούλης, Πειραιάς.

Κάπρος Π., Κ.Ντελκή «Οικονομική ανάλυση επιχειρήσεων», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
Πανταζοπούλου Σ., Χατζηαργυρίου Ν., 2007, «Ανάλυση διασυνδεδεμένου φωτοβολταικού συστήματος», Ε.Μ.Π., Αθήνα

Φραγκιαδάκης, Ι. (2007), *Φωτοβολταικά συστήματα*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Bates, A. (1990) *Climate in Crisis: The Greenhouse Effect and what we can do*, Book Publishing Company
- Charisiou-Kalliantopoulos V. and Laspidou C., 2010. Design and techno-economic analysis of a photovoltaic system installed on a house in Xanthi, Greece, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Green Chemistry of Environment and Health*, Sept. 27-29, 2010, Mykonos, Greece.
- German Solar Energy Society, «Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers», Εκδόσεις Earthscan Publications Ltd., 2005.
- Hille Georg, «Photovoltaic systems», Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Εκδόσεις Freiburg, Germany, 1995.
- Lakervi E. and Holmes E.J., «Electric distribution network design», 2nd Edition, Εκδόσεις Peter Peregrinus LTD, England, 1996.
- Lee Willis H., Scott G. Walter, «Distributed power generation», Εκδοσεις Marcel Dekker, INC, New York, 2000.
- Lorenzo Eduardo, «Solar electricity engineering of photovoltaic systems», Εκδόσεις Progensa, Spain, 1994.
- Luque, A., Hegedus, S. (2003) *Handbook of photovoltaic science and engineering* John Wiley and Sons, West Sussex, England.
- Markvart, T., Castaner, L. (2003) *Practical handbook of photovoltaic's: Fundamentals and applications*, Part III C, Elsevier Science Ltd., Oxford
- PVSYST Software for photovoltaic systems, University of Geneva, Institute of Environmental Sciences (<http://www.pvsyst.com/5.2/index.php>)
- Soeren B. Kjaer, John K. Pedersen and Frede Blaabjerg (2005) "A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 5, Sep. 2005
- Turan Gonen, «Electric power distribution system engineering», Εκδόσεις McGraw-Hill INC, United States of America, 1986.

Διαδίκτυο

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. <http://www.noa.gr/>

PVGIS: Photovoltaic Geographic Information System (<http://sunbird.jrc.it/pvgis/>).

United Nations Framework Convention on Climate Change
http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

U.S. Energy information administration, independent statistics and analysis
<http://www.eia.doe.gov>

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) www.dei.gr

Κλαδική μελέτη ΕΤΕ, (2008) «Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν αναγκαία αλλά και ελκυστική επένδυση». <http://gre.energyplus.gr/blogentries/view/6>

Παπακωνσταντίνου, Α. (2004) «Το νομικό καθεστώς των ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας»

(<http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=248&lang=1&catid=1>)

Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ)

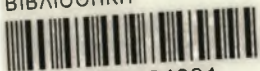
<http://www.helapco.gr/pages/greek/kinitra.html>

Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ) www.ypan.gr

<http://www.sma.de>

<http://www.rae.gr/prices/main.htm>

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104091