



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΓΕΩΡΓΙΑΛΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος των υποσυστημάτων των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα υποσυστήματα αυτά είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ο ρυθμιστής φόρτισης, ο μετατροπέας και ο συσσωρευτής.

Για κάθε κατασκευάστρια εταιρία φωτοβολταϊκών πλαισίων εξετάζεται η χρηματοοικονομική εφικτότητα των μοντέλων της σε τρεις διαφορετικές εγκαταστάσεις: συνδεδεμένη σε δίκτυο, αυτόνομη, και αντλητική εγκατάσταση.

Η χρηματοοικονομική εφικτότητα εξετάζεται με το λογισμικό RETScreen και υπολογίζονται οι σημαντικότεροι χρηματοοικονομικοί δείκτες: εσωτερικός βαθμός απόδοσης (E.B.A.), διάρκεια απλής επανείσπραξης (Δ.Α.Ε.), χρόνος μέχρι την πρώτη καθαρή θετική ταμειακή ροή (Χ.Μ.Π.Κ.Θ.Τ.Ρ), και καθαρή παρούσα αξία (Κ.Π.Α.)

ABSTRACT

This diploma thesis presents the technical characteristics and the cost of the subsystems of photovoltaics systems. These subsystems are the photovoltaic module, the controller, the inverter and the battery.

For each manufacturer, the financial feasibility of the modules is examined in three different projects: on grid, off grid and water pumping.

Financial feasibility is examined with RETScreen software that calculates the critical financial indicators for each project: the internal rate of return (I.R.R.), the simple payback, the year to year positive cash flow and the net present value (N.P.V.)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Η διεθνής αγορά	1
1.2	Κόστος φωτοβολταϊκών συστημάτων	4
1.3	Η ελληνική αγορά	4
1.4	Δομή της εργασίας	5
1.5	Βιβλιογραφία	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1	Εισαγωγή	7
2.2	Ημιαγωγοί και οι ιδιότητες τους	7
2.3	Ημιαγωγοί προσμείξεων	9
2.4	Ηλιακά στοιχεία και φωτοβολταϊκό φαινόμενο	11
2.4.1	Προσομοίωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων	14
2.5	Κριτήρια επιλογής ημιαγωγών για ηλιακές φωτοβολταϊκές εφαρμογές	15
2.6	Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων	15
2.6.1	Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου	16
2.6.2	Παρόν και μέλλον των φωτοβολταϊκών στοιχείων	18
2.7	Συνδυασμένες διατάξεις ηλιακών στοιχείων	18
2.8	Τμήματα φ/β συστήματος	19
2.8.1	Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο	19
2.8.2	Φωτοβολταϊκά πάνελ και συστοιχίες	22
2.8.3	Φωτοβολταϊκά πάρκα	23
2.8.4	Φωτοβολταϊκή γεννήτρια	23
2.9	Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις	23
2.9.1	Συνδεσμολογία φ/β συστοιχιών	23
2.9.2	Μετατροπέας ac-dc	25
2.9.3	Μετατροπέας dc-ac	25
2.9.4	Σύστημα συσσώρευσης	25
2.9.5	Γενική διάταξη φ/β εγκαταστάσεων	26
2.9.6	Αξιοπιστία φ/β πλαισίων	27
2.10	Διάκριση των φ/β εγκαταστάσεων και εφαρμογές	29
2.10.1	Τύποι φ/β εγκαταστάσεων	29

2.10.2. Εφαρμογές	29
2.11 Βιβλιογραφία	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή	31
3.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια	31
3.3 Ρυθμιστές φόρτισης	44
3.4 Μετατροπείς	45
3.5 Συσσωρευτές	47
3.6 Βιβλιογραφία	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen

4.1 Εισαγωγή	53
4.2 Γενική παρουσίαση του RETScreen	53
4.3 Το ενεργειακό μοντέλο	54
4.3.1 Χαρακτηριστικά του συστήματος και της πηγής ισχύος	54
4.3.2 Επιμέρους χαρακτηριστικά	55
4.3.3 Χαρακτηριστικά του συστήματος συσσώρευσης ενέργειας	55
4.3.4 Χαρακτηριστικά του φ/β πλαισίου	55
4.3.5 Χαρακτηριστικά της επιπλέον γεννήτριας	56
4.3.6 Εκτιμήσεις επιμέρους χαρακτηριστικών	56
4.4 Ηλιακή παραγωγή και φορτίο του συστήματος	56
4.4.1 Χαρακτηριστικά εξεταζόμενης τοποθεσίας και προσανατολισμού του φ/β πλαισίου	56
4.4.2 Μηνιαία χαρακτηριστικά εξεταζόμενης περιόδου	56
4.4.3 Χαρακτηριστικά φορτίου των εφαρμογών	57
4.4.3.1 Περίπτωση φ/β συστήματος άντλησης νερού	57
4.5 Το φύλλο ανάλυσης κόστους	58
4.5.1 Αρχικά κόστη	58
4.5.2 Ετήσια κόστη	59
4.5.3 Περιοδικά κόστη	59
4.6 Χρηματοοικονομική ανάλυση	60
4.6.1 Ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο	60

4.6.2	Χρηματοοικονομικές παράμετροι	60
4.6.3	Κόστη επενδύσεων	61
4.6.4	Χρηματοοικονομική εφικτότητα	61
4.7	Βιβλιογραφία	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ

5.1	Εισαγωγή	63
5.2	Παρουσίαση της εγκατάστασης	63
5.3	Υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	64
5.4	Χρηματοοικονομική ανάλυση	67
5.5	Συμπεράσματα	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

6.1	Εισαγωγή	73
6.2	Παρουσίαση της εγκατάστασης	73
6.3	Υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	74
6.4	Χρηματοοικονομική ανάλυση	77
6.5	Συμπεράσματα	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

7.1	Εισαγωγή	83
7.2	Παρουσίαση της εγκατάστασης	83
7.3	Υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	84
7.4	Χρηματοοικονομική ανάλυση	86
7.5	Συμπεράσματα	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

91

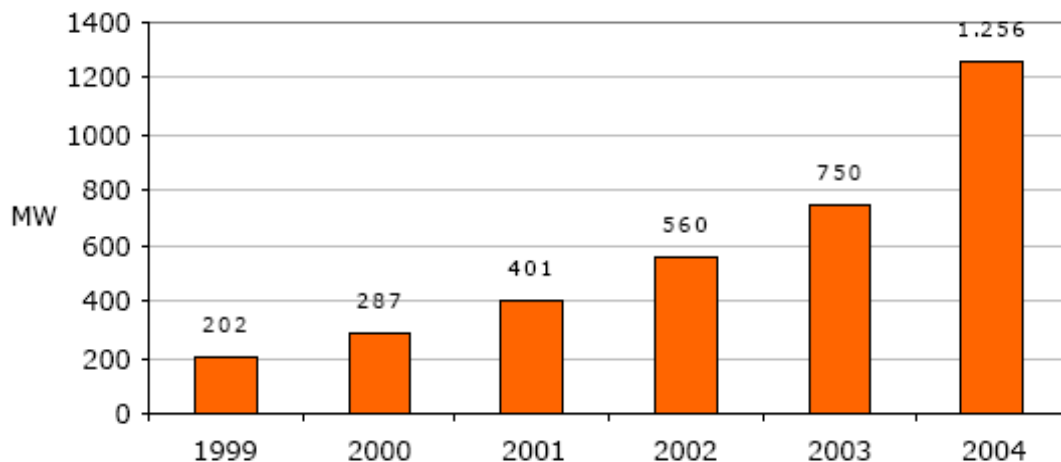
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΓΟΡΑ

Με πρωτόγνωρους ρυθμούς ανάπτυξης κινείται η διεθνής αγορά φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια, κυρίως χάρη στα προγράμματα τριών χωρών που αποτελούν το βαρόμετρο για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής: της Ιαπωνίας, της Γερμανίας και των ΗΠΑ. Νέοι δυναμικοί παίκτες, όπως η Κίνα και η Ισπανία μπαίνουν δυναμικά στο παιχνίδι, με νέες παραγωγικές μονάδες και γενναία μέτρα στήριξης και ενθάρρυνσης του ηλιακού ηλεκτρισμού. Παρόλο που οι εκτιμήσεις διαφόρων φορέων αποκλίνουν μεταξύ τους, όλες συμφωνούν στους εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια.

Έτσι, σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του περιοδικού PHOTON International η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών έφτασε το 2004 τα 1.256 μεγαβάτ (MW), μια αύξηση 67% σε σχέση με το 2003, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Σύμφωνα με άλλη έρευνα το 2004, εγκαταστάθηκαν 927 MW διεθνώς (αύξηση 62% σε σχέση με το 2003) [1.1]. Η ετήσια έκθεση του Paul Maycock από την άλλη (η οποία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Renewable Energy World τον Αύγουστο του 2005) αναφέρει συνολική παραγωγή 1.195 MW (αύξηση 57% σε σχέση με το 2003) και εγκατάσταση 955 MW. Ειδικά για τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά, η μέση ετήσια αύξηση την πενταετία 2000-2004 ήταν 61%, ενώ για τα αυτόνομα συστήματα 17%, σύμφωνα με έκθεση του Worldwatch Institute για λογαριασμό των Ηνωμένων Εθνών [1.2].

Παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων



Σχήμα 1.1: Παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων το έτος 2004.

Σε ότι αφορά την παραγωγή, η Ιαπωνία κρατά πάντα τα σκήπτρα με 48% της παγκόσμιας αγοράς, ενώ οι ΗΠΑ βρίσκονται πλέον στην τρίτη θέση (μετά την ΕΕ) με 11% έναντι μεριδίου 26% μια μόλις πενταετία πριν. Στην κορυφή από πλευράς εταιριών βρίσκεται πάντα η Sharp (με 25,8% της παγκόσμιας παραγωγής) και ακολουθούν η Kyocera και η BP Solar με 8,3% και 6,8% αντίστοιχα.

Στα εγκατεστημένα συστήματα, η Γερμανία άρχισε να θερίζει τους καρπούς από την πετυχημένη και γενναία ενίσχυση της ηλιακής κιλοβατώρας, περνώντας στην πρώτη θέση που χρόνια τώρα κατείχε η Ιαπωνία. Το 2004, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στη Γερμανία παρουσίασε μια εκρηκτική αύξηση περίπου 140%, αφού, σύμφωνα με την έκθεση Marketbuzz 2005, εγκαταστάθηκαν στη χώρα αυτή 366 MW. Ακολούθησε η Ιαπωνία με 277 MW. Με άλλα λόγια, το 69% των συστημάτων διεθνώς εγκαταστάθηκαν σε δύο μόλις χώρες. Όχι τυχαία βέβαια, αφού και οι δύο αυτές χώρες έχουν σαφή, ξεκάθαρη και επιθετική πολιτική ανάπτυξης της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών. Τα στοιχεία όμως για τη Γερμανία αμφισβητούνται έντονα, μιας και εκτιμήσεις του Photon International κάνουν λόγο για εγκατάσταση 593-770 MW στη χώρα αυτή το 2004!

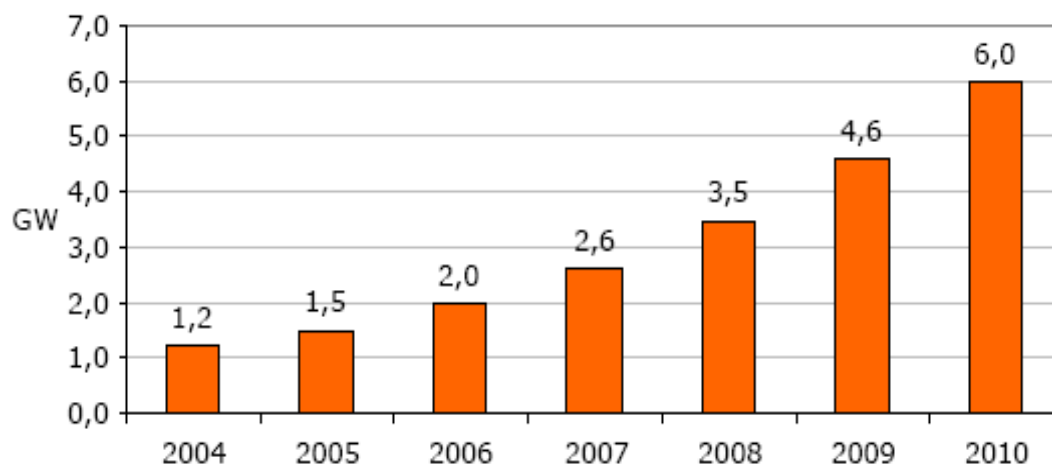
Ενώ η ζήτηση εκτινάσσεται λόγω των εξαιρετικά πετυχημένων προγραμμάτων της Γερμανίας και της Ιαπωνίας κυρίως, η παραγωγή προσπαθεί να ακολουθήσει, απαντώντας με δημιουργία νέων μονάδων. Είναι χαρακτηριστικό, ότι αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει στη διεθνή αγορά στοκ φωτοβολταϊκών λόγω της μεγάλης ζήτησης. Όλες οι εκτιμήσεις στην αγορά συντείνουν στο ότι η προσφορά δεν πρόκειται να ισοσκελίσει τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση τουλάχιστον ως το 2008.

Οι εξελίξεις αυτές δεν είναι συγκυριακό γεγονός. Εκτιμάται ότι το 2010, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών θα ξεπεράσει διεθνώς τα 10.000 MW. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται τόσο στους σημερινούς ρυθμούς ανάπτυξης, όσο και στους στόχους που έχουν θέσει κατά καιρούς διάφορες κυβερνήσεις. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της Καλιφόρνια, όπου, παρά τις παλινδρομήσεις, εξετάζεται σοβαρά η εγκατάσταση ενός εκατομμυρίου φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια την περίοδο 2008-2017.

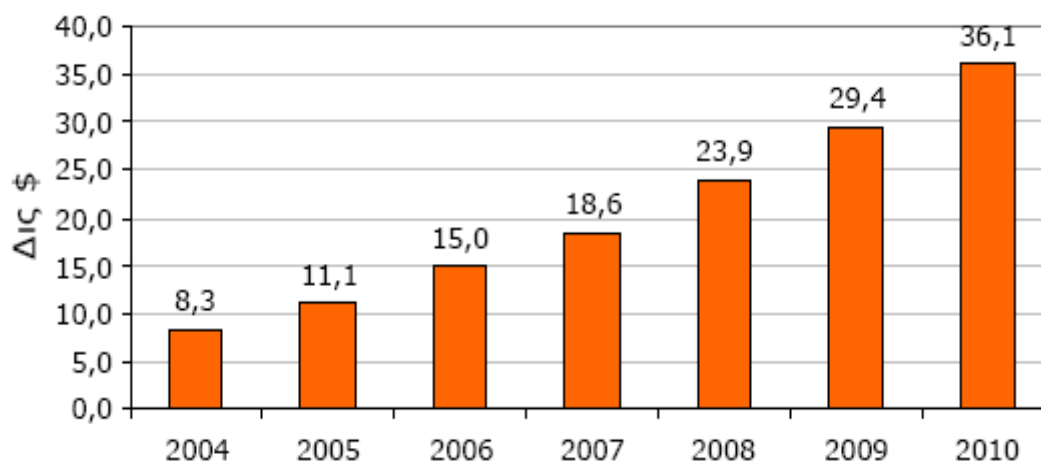
Την ίδια ώρα, νέοι δυναμικοί παίκτες εισέρχονται στο παιχνίδι. Η Κίνα σχεδιάζει την εγκατάσταση 450 MW ως το 2010 και συνολικά 8.000 MW ως το 2020. Η Κορέα από την πλευρά της ανακοίνωσε την πρόθεσή της να εγκαταστήσει 1.300 MW ως το 2011.

Η έκθεση Marketbuzz 2005 εκτιμά πως η παγκόσμια ετήσια ζήτηση θα φτάσει τα 3.200 MW το 2010, ενώ ο κύκλος εργασιών της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών θα εκτιναχθεί από 6,5 δις δολάρια το 2004 στα 18,5 δις δολάρια το 2010. Άλλη έκθεση που παρουσιάστηκε από την εταιρία Clean Edge, εκτιμά τον κύκλο εργασιών της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών για το 2004 στα 7,2 δις δολάρια και προβλέπει εκτίναξη στα 39,2 δις δολάρια το 2014.

Σύμφωνα με μελέτη που έγινε για λογαριασμό της Credit Lyonnais Securities Asia (CLSA) και ολοκληρώθηκε στις αρχές του καλοκαιριού του 2005, μέσα σε 10 μόνο μήνες, οι τιμές των μετοχών των εταιριών φωτοβολταϊκών εκτινάχθηκαν κατά 133%, τα δε κέρδη προ φόρων κατά 85%. Η παραγωγή το 2005 αναμένεται να φτάσει το 1,5 GW (από 1,15 GW το 2004), ο κύκλος εργασιών να είναι 11,1 δις \$ (από 8,3 δις \$ το 2004) και τα κέρδη προ φόρων να είναι 2,3 δις \$ (από 1,2 δις \$ το 2004). Για το 2010, τα αντίστοιχα μεγέθη αναμένεται να είναι 6 GW παραγωγή, 36,1 δις \$ τζίρος και 6,4 δις \$ κέρδη προ φόρων. Με άλλα λόγια, αναμένεται τετραπλασιασμός της παραγωγής και τριπλασιασμός του τζίρου και των κερδών την ερχόμενη πενταετία όπως φαίνεται και στα Σχήματα 1.2 και 1.3.



Σχήμα 1.2: Παραγωγή φωτοβολταϊκών 2004-2010 .

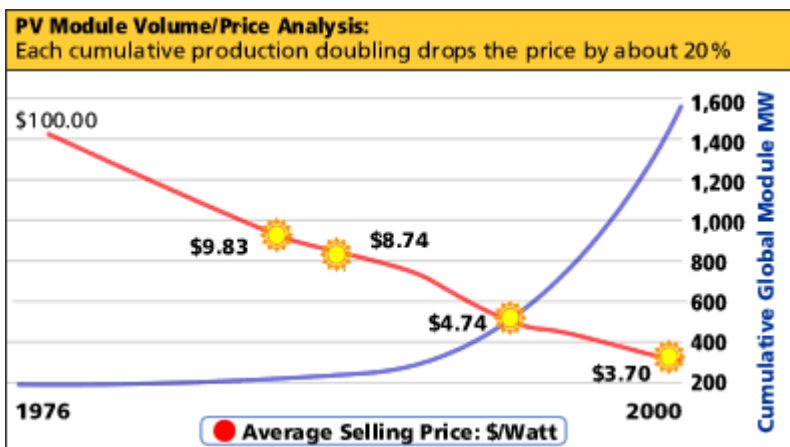


Σχήμα 1.3: Κύκλος εργασιών βιομηχανίας φωτοβολταϊκών 2004-2010.

Εκτιμήσεις της επιστημονικής κοινότητας και της αγοράς, κάνουν λόγο για εντυπωσιακή μακρόπνοη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στις δεκαετίες που έρχονται. Πρόσφατες εκτιμήσεις του EREC (European Renewable Energy Council, 2004), κάνουν λόγο για εγκατάσταση 35.000 MW φωτοβολταϊκών μόνο στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως το 2020. Την αναγκαιότητα αυτή συμμερίζεται και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία πρόσφατα αύξησε τα κονδύλια για έρευνα στα φωτοβολταϊκά προκειμένου να μπορέσει η ΕΕ να ανταγωνιστεί την πρωτοπόρο Ιαπωνία. Στο σενάριο αυτό του EREC, τα φωτοβολταϊκά γίνονται συν τω χρόνω η σημαντικότερη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας σε ό,τι αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή, καλύπτοντας μερίδιο, μεταξύ των ΑΠΕ, 15% το 2030 και 31% το 2040, ξεπερνώντας τα κυρίαρχα σήμερα αιολικά. Αντίστοιχους ρυθμούς ανάπτυξης αναμένει και η ίδια η βιομηχανία φωτοβολταϊκών.

1.2 ΚΟΣΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σε ότι αφορά το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, αυτό ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή και την ωριμότητα της αγοράς. Ιστορικά, το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων μειώνεται κατά 4-5% ετησίως την τελευταία εικοσαετία. Κάθε φορά που διπλασιάζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, έχουμε μείωση του κόστους κατά 18% [experience curve]. Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται παραστατικά αυτή τη μείωση.



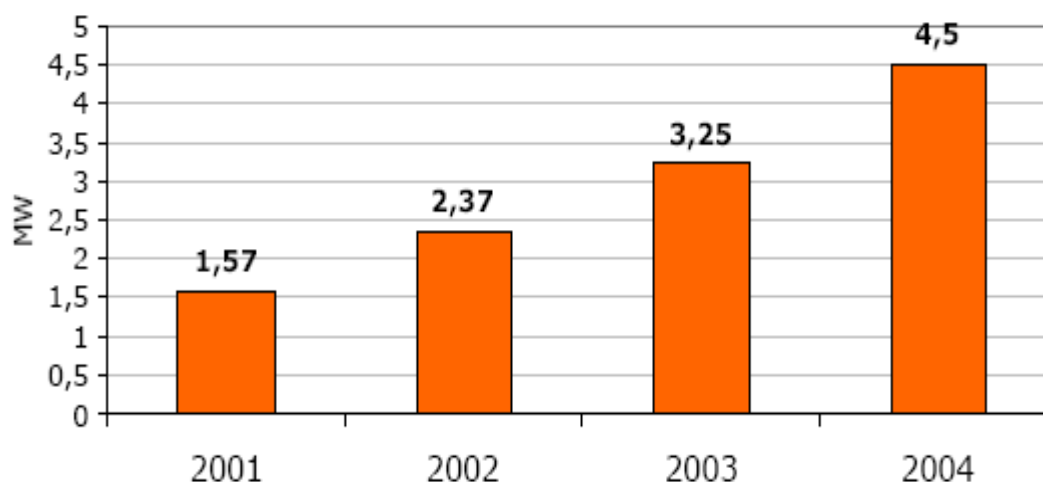
Σχήμα 1.4: Μείωση κόστους φωτοβολταϊκών πλαισίων [1.1].

Το 2005 ήταν η πρώτη χρονιά κατά την οποία ανεστράφη αυτή η πτωτική τάση. Η έλλειψη στοκ στην αγορά οδήγησε σε μία, πρόσκαιρη απ' ό,τι φαίνεται, αύξηση των τιμών, κάτι που εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί έως ότου η αγορά βρει ξανά το βηματισμό της.

1.3 Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

Ενώ η διεθνής αγορά γνωρίζει μια πραγματική κοσμογονία, η ελληνική αγορά επιζεί χάρη κυρίως στα εγκεκριμένα εδώ και μια τριετία προγράμματα του ΕΠΑΝ (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα του ΥΠΑΝ), που αφορούν πρωτίστως τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Το 2004 εγκαταστάθηκαν συνολικά 1,3 MW περίπου, εκ των οποίων το 55% αφορούσε τις τηλεπικοινωνίες. Έτσι, σύμφωνα με στοιχεία του Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ), η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα ήταν στα τέλη του 2004 περί τα 4,5 MW, εκ των οποίων τα τρία τέταρτα είναι αυτόνομα συστήματα και το ένα τέταρτο διασυνδεδεμένα στο δίκτυο της ΔΕΗ, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5.

Η ελληνική αγορά παρουσιάζει σήμερα όλα τα χαρακτηριστικά μιας αναδυόμενης αγοράς. Προς το παρόν, στο χώρο κινούνται λίγες μικρές εταιρίες οι οποίες (με εξαίρεση τα πρόσφατα προγράμματα στις τηλεπικοινωνίες) εγκαθιστούν λίγες εκατοντάδες κιλοβάτ ετησίως (κυρίως σε αυτόνομα συστήματα). Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι οι ώριμες αγορές στρέφονται κυρίως στα διασυνδεδεμένα συστήματα και η ανάπτυξή τους προϋποθέτει ένα γενναίο καθεστώς ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας [1.1].



Σχήμα 1.5: Εξέλιξη αγοράς φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Μεταξύ άλλων παρουσιάζονται τα βασικά μέρη μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης καθώς και κάποιοι χρηματοοικονομικοί δείκτες που θα χρειαστούν για την αξιολόγηση των εγκαταστάσεων αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος των υποσυστημάτων των φωτοβολταϊκών συστημάτων που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό RETScreen που θα χρησιμοποιηθεί για τη σχεδίαση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Στο πέμπτο, έκτο και έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σχεδίαση, σύμφωνα με το λογισμικό RETScreen, αυτόνομων, συνδεδεμένων σε δίκτυο και αντλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων αντίστοιχα.

1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1.1] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (Σ.Ε.Φ.) www.helapco.gr

[1.2] Worldwide Institute www.worldwatch.org

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

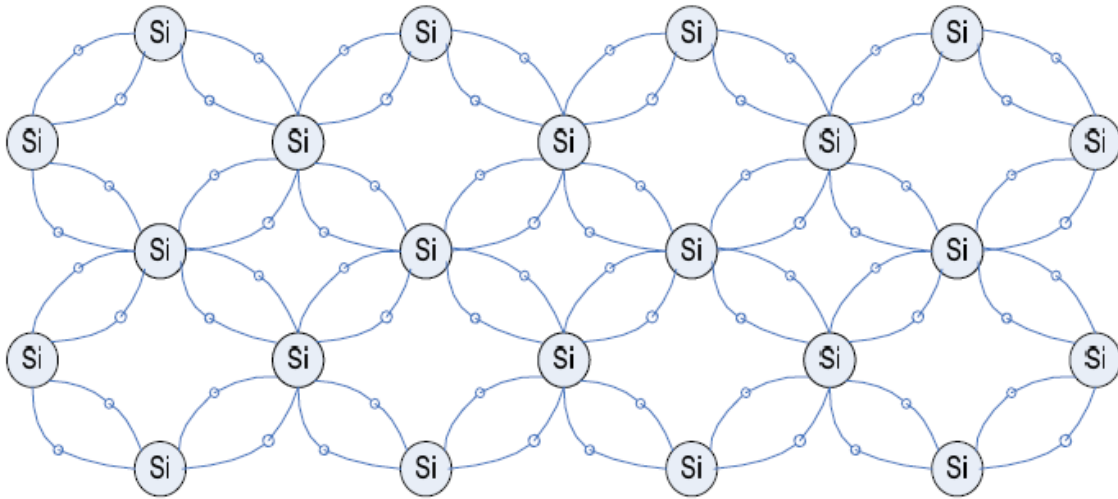
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φωτοβολταϊκά (φ/β) συστήματα είναι συστήματα ειδικά διαμορφωμένων και διασυνδεδεμένων διατάξεων, που επιτυγχάνουν τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική. Η διαδικασία μετατροπής βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο λαμβάνει χώρα όταν ηλιακή ακτινοβολία πέσει στην επιφάνεια του υλικού του φ/β συστήματος.

2.2 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ

Δεν είναι όλα τα υλικά κατάλληλα για την κατασκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα υλικά που επιλέγονται έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Τέτοια υλικά είναι οι ημιαγωγοί, δηλαδή σώματα με ηλεκτρική αγωγιμότητα που κατατάσσεται ανάμεσα στους αγωγούς (μέταλλα) και στους μονωτές (π.χ. πολυμερή και κεραμικά υλικά). Οι κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τετρασθενή στοιχεία (έχουν δηλαδή τέσσερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα), όπως π.χ. το πυρίτιο (Si), το γερμάνιο (Ge) ή χημικές ενώσεις όπως το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) και το θειούχο κάδμιο (CdS), με τετραεδρική κρυσταλλική δομή.

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο στοιχείο, όχι μόνο για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά και σε ευρέως διαδεδομένες ηλεκτρονικές εφαρμογές, είναι το πυρίτιο. Στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, το πυρίτιο είναι υποβαθμισμένο ενεργειακά. Π.χ. σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν, κάθε άτομο πυριτίου είναι ενωμένο με τέσσερα γειτονικά άτομα, ενώ κάθε χημικός δεσμός αποτελείται από 2 ηλεκτρόνια. Συνεπώς, κάθε ηλεκτρόνιο σθένους είναι δεσμευμένο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και άρα το σώμα συμπεριφέρεται ως μονωτής. Αυτό, όμως, δε συμβαίνει στην περίπτωση που οι ημιαγωγοί απορροφήσουν αξιόλογη ενέργεια (με μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας). Η απορροφόμενη ενέργεια αυτή, κατανέμεται στα άτομα του σώματος και είναι ικανή να προκαλέσει την απελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Όσα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται, απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν, και γίνονται ευκίνητοι φορείς ηλεκτρισμού, προσδίδοντας έτσι μια αξιόλογη αγωγιμότητα στον ημιαγωγό, για αυτό και ονομάζονται *ηλεκτρόνια αγωγιμότητας*. Αυτή η απελευθέρωση και απομάκρυνση μερικών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς τους, δεν προκαλεί την απώλεια συνοχής των ατόμων τους και άρα δεν προκαλεί την κατάρρευση του κρυσταλλικού πλέγματός τους. Ένα μέρος τέτοιου κρυσταλλικού πλέγματος, στο επίπεδο, φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



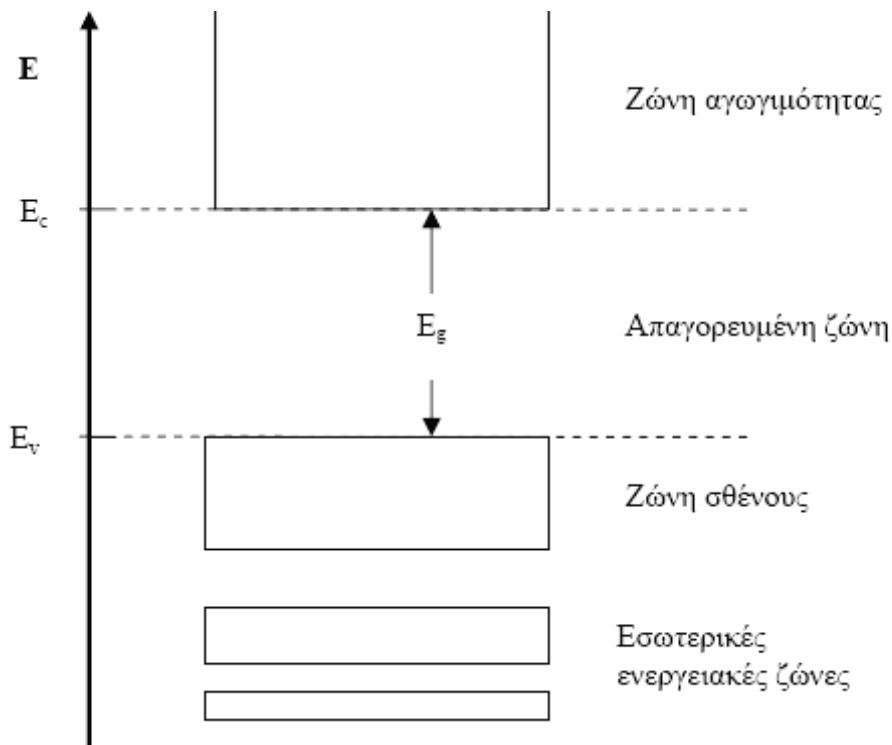
Σχήμα 2.1: Παράσταση κρυσταλλικού πλέγματος πυριτίου (Si) στο επίπεδο. Οι μικροί κύκλοι αναπαριστούν ηλεκτρόνια.

Έχει παρατηρηθεί ότι φωτόνια που προσπίπτουν στο υλικό πυριτίου με ενέργεια μεγαλύτερη από 1,08 eV, είναι ικανά να απορροφηθούν και να προκαλέσουν τη διέγερση κάποιων ηλεκτρονίων. Αρχικά, λοιπόν, φαίνεται ότι είναι δυνατόν να απορροφηθεί όλη σχεδόν η ηλιακή ακτινοβολία και να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό (απελευθέρωση ηλεκτρονίων). Όμως, τελικά, ένα φωτόνιο, μπορεί να ενεργοποιήσει ένα μόνο ηλεκτρόνιο. Τα φωτόνια διαπερνούν το σώμα για όσο διαρκεί η έκθεσή του στην ηλιακή ακτινοβολία και κατά τη διάρκεια αυτή κάποια από αυτά θα απορροφηθούν και θα ενεργοποιήσουν, τελικά, κάποια ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα των ατόμων. Όσα φωτόνια ενεργοποιήσουν ηλεκτρόνια με την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια και έχουν περίσσεια ενέργειας, θα τη μετατρέψουν σε θερμότητα μέσα στο υλικό, με αποτέλεσμα να ανέβει η θερμοκρασία του.

Τα ελεύθερα, πλέον, ηλεκτρόνια περιφέρονται άτακτα μέσα στο σώμα, για όσο διάστημα έχουν υψηλή κινητική ενέργεια, αφήνοντας κενή τη θέση την οποία κατείχαν. Το κενό που δημιουργείται ονομάζεται «οπή». Είναι ευνόητο ότι όταν απελευθερωθούν πολλά ηλεκτρόνια, θα δημιουργηθούν και πολλές, αντίστοιχα, οπές. Μια οπή είναι δυνατόν να μετακινηθεί, αφού δε προκαλεί καμία ενεργειακή διαφορά στο άτομο. Δηλαδή, ένα ηλεκτρόνιο με πλήρη δεσμό, γειτονικό μιας οπής, μπορεί να καταλάβει τη θέση της οπής, αφήνοντας παράλληλα κενή τη θέση που κατείχε πριν. Εάν κατά την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων παρατηρηθεί μια σημαντική μείωση στην ενέργειά τους, καταλαμβάνουν μια κενή θέση κάποιου ατελούς δεσμού που ίσως συναντήσουν στο δρόμο τους. Τότε, προφανώς, σταματά το φαινόμενο μετακίνησης της οπής, αφού παύει να υφίσταται.

Τα ηλεκτρόνια σθένους σε έναν ημιαγωγό σχηματίζουν τους δεσμούς. Επίσης, αυτά μπορούν να μετακινηθούν μόνο προς τις γειτονικές τους οπές ή να ανταλλάξουν τη θέση τους με άλλα ηλεκτρόνια σθένους, γειτονικών δεσμών. Οι ενεργειακές τους στάθμες διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους και αν αποτυπωθούν σε ένα διάγραμμα τιμών ενέργειας, σχηματίζουν τις λεγόμενες ενεργειακές ζώνες. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας την ενεργειακή ζώνη αγωγιμότητας ή ζώνη αγωγής. Μεταξύ των δύο αυτών ζωνών, υπάρχει μια απόσταση, μια διαφορά ενέργειας δηλαδή, μεταξύ του λιγότερου ενεργού ελεύθερου ηλεκτρονίου και του περισσότερου ενεργού δεσμευμένου ηλεκτρονίου σθένους. Η διαφορά αυτή ονομάζεται ενεργειακό διάκενο ή ενεργειακό χάσμα και εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους για να μετατραπεί αυτό σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, δημιουργώντας μian

οπή. Οι τιμές της ενέργειας των ηλεκτρονίων σε κάθε σώμα, περικλείονται μέσα στα όρια των ζωνών ενέργειας. Αυτό σημαίνει πως σε ένα απολύτως καθαρό σώμα, χωρίς προσμείξεις, δεν υπάρχουν ηλεκτρονικές στάθμες στο διάκενο ανάμεσα στις προαναφερθείσες ζώνες, αποτελώντας έτσι μian απαγορευμένη περιοχή για τα ηλεκτρόνια.

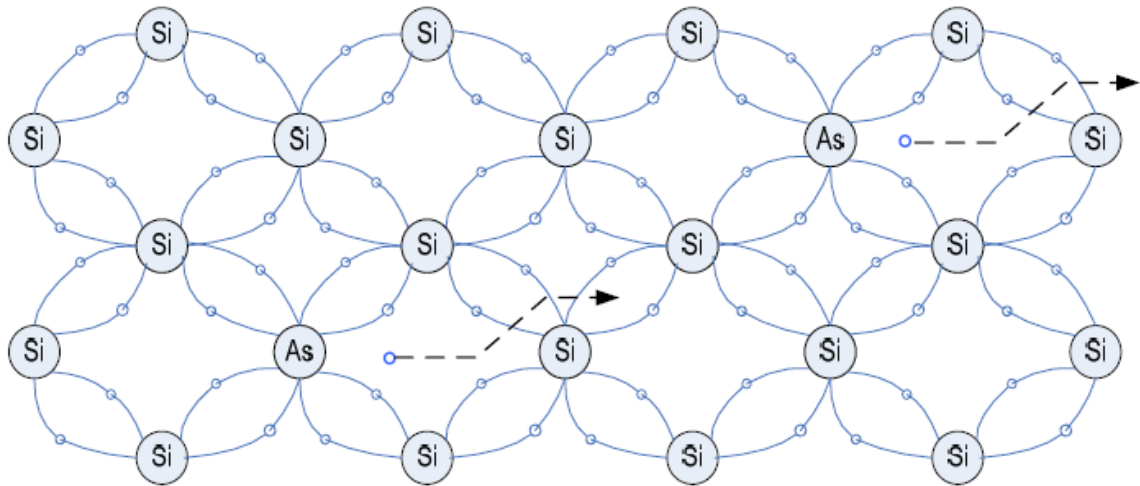


Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ενεργειακών ζωνών στους ημιαγωγούς. E_c : ενέργεια στον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας, E_v : ενέργεια κορυφής της ζώνης σθένους, E_g : ενεργειακό διάκενο (χάσμα).

Στην περίπτωση κατά την οποία στα ηλεκτρόνια των δεσμών προσφερθεί ένα ποσό ενέργειας μικρότερο από το ενεργειακό διάκενο, δεν μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Εάν όμως η προσφερόμενη ενέργεια είναι ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο, τότε κάθε ηλεκτρόνιο απορροφά την απαιτούμενη ενέργεια και διεγείρεται προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας μια οπή στη ζώνη σθένους. Η περίσσεια της ενέργειας μεταφέρεται ως κινητική ενέργεια στα ελεύθερα ηλεκτρόνια, η οποία γίνεται αντιληπτή από την άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος [2.1].

2.3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΕΙΞΕΩΝ

Οι ημιαγωγοί προσμείξεων δεν είναι τίποτα άλλο εκτός από ημιαγωγούς στο κρυσταλλικό πλέγμα των οποίων έχει γίνει πρόσμειξη (νόθευση) μιας μικρής ποσότητας από κάποιο άλλο υλικό. Υλικά προσμείξεων για ημιαγωγούς είναι τα πεντασθενή στοιχεία, όπως π.χ. το αρσενικό (As), του οποίου ο όγκος των ατόμων δε διαφέρει σημαντικά από αυτόν των ατόμων του πυριτίου.



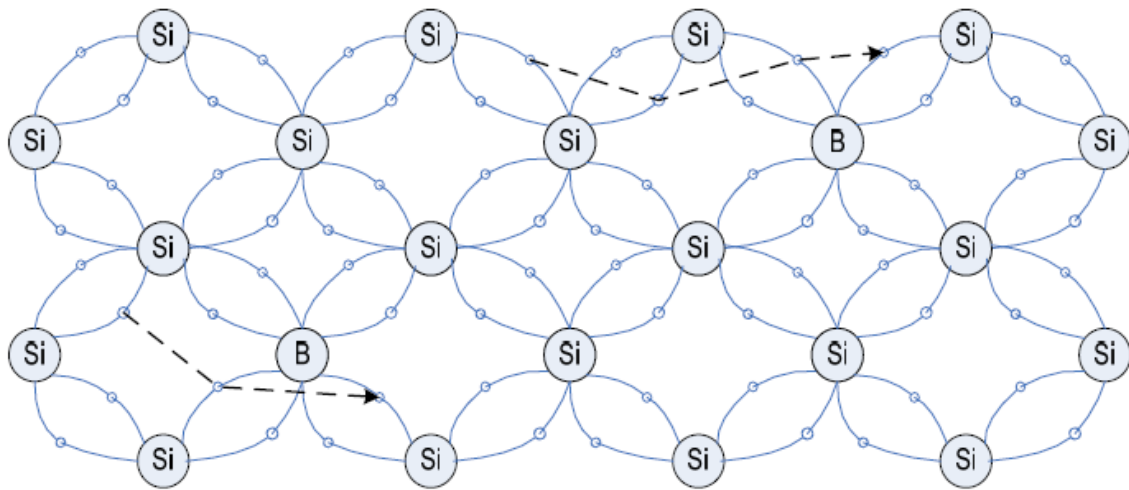
Σχήμα 2.3: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με πρόσμειξη μικρής ποσότητας αρσενικού (As). Δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται πυρίτιο τύπου n.

Σε αυτή την περίπτωση, τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια θα ενωθούν με τα ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο θα συγκρατείται χαλαρά, άρα με λίγη ενέργεια είναι ικανό να διαφύγει και να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Τότε το άτομο του As μετατρέπεται σε θετικό ιόν (As^+), αφού υπερτερούν τα θετικά φορτία του πυρήνα του. Γενικά, ένα πεντασθενές άτομο μέσα σε περιβάλλον τετρασθενών ατόμων, συμπεριφέρεται σαν δότης ηλεκτρονίων. Ημιαγωγοί όπου υπερτερούν οι δότες, άρα οι κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα ελεύθερα (και αρνητικά φορτισμένα) ηλεκτρόνια, ονομάζονται *τύπου n*, από την αγγλική λέξη negative.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με την πρόσμειξη τρισθενών ατόμων σε πλεγματικές θέσεις του πυριτίου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το στοιχείο βόριο (B). Ένα κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με πρόσμειξη βορίου, φαίνεται στο Σχήμα 2.4.

Σε έναν ημιαγωγό αυτό του συνδυασμού, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς, αφού τα τρία ηλεκτρόνια σθένους των ατόμων βορίου επαρκούν για δέσμευση με τρία αντίστοιχα ηλεκτρόνια των ατόμων πυριτίου.

Με απορρόφηση μικρής ποσότητας ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο με πλήρη δεσμό, μπορεί να μετακινηθεί προς μια κενή γειτονική θέση, αφήνοντας κενή τη θέση που κατείχε προηγουμένως, δημιουργώντας μια οπή. Τότε όμως, το άτομο του βορίου συμπληρώνει τέσσερις δεσμούς και φορτίζεται αρνητικά, μετατρέπόμενο σε αρνητικό ιόν (B^-). Γενικά, ένα τρισθενές άτομο ευρισκόμενο σε περιβάλλον τετρασθενών ατόμων, συμπεριφέρεται ως δέκτης ηλεκτρονίων. Όταν σε έναν ημιαγωγό υπερτερούν τα άτομα-αποδέκτες, η αγωγιμότητά τους οφείλεται στις οπές που δημιουργούνται (και οι οποίες θεωρούνται θετικά φορτισμένες), τότε αυτοί ονομάζονται *τύπου p*, από την αγγλική λέξη positive [2.1].



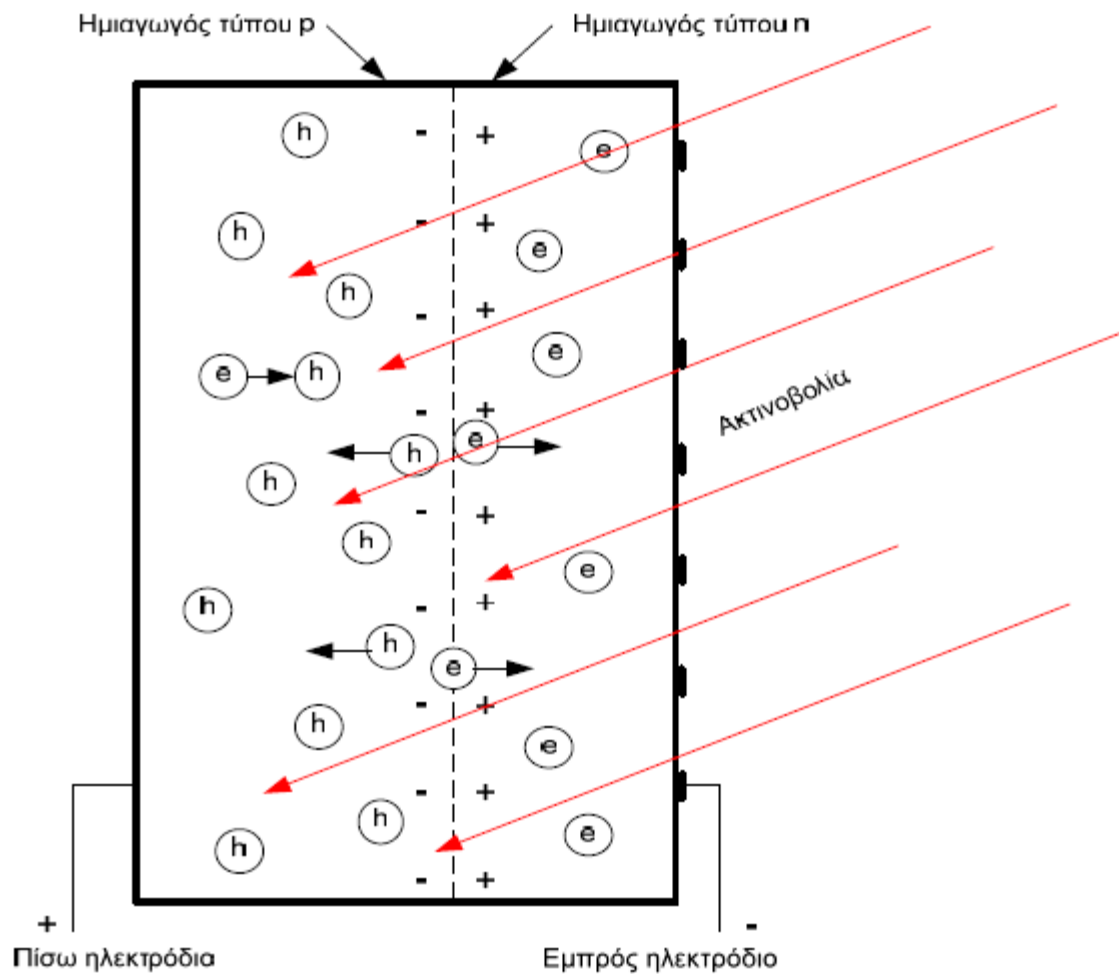
Σχήμα 2.4: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με πρόσμειξη βορίου (B). Μετακίνηση ηλεκτρονίων σθένους για την κάλυψη οπών. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται πυρίτιο τύπου p.

2.4 ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Η παραπάνω περιγραφή των ημιαγωγών και των μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα σε αυτούς, θα βοηθήσει στην κατανόηση της λειτουργίας του ηλιακού στοιχείου ή ηλιακού κυττάρου. Το ηλιακό στοιχείο είναι η μικρότερη βασική λειτουργική μονάδα που απαρτίζει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (για αυτό και η παραβολή με το «κύτταρο» των οργανισμών).

Τα ηλιακά στοιχεία είναι ενώσεις ημιαγωγών τύπου p και n, υπό μορφή λεπτών δίσκων. Η ένωση p-n συνεπώς, εκτείνεται σε όλη την έκταση του δίσκου αυτού. Όταν πραγματοποιηθεί αυτή η επαφή, ένα μέρος των οπών του ημιαγωγού τύπου p διαχέεται προς τον ημιαγωγό τύπου n (όπου οι οπές είναι λιγότερες) και ταυτόχρονα ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού τύπου n διαχέονται προς τον αντίστοιχο τύπου p (όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι λιγότερα). Με τον τρόπο αυτό, διαταράσσεται η ισορροπία που επικρατούσε στους ημιαγωγούς πριν την επαφή, ενώ μετά από αυτήν, η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας πραγματοποιείται με επανασυνδέσεις των φορέων (μετακινήσεις οπών και ελεύθερων ηλεκτρονίων), ώστε τελικά να ικανοποιείται ο νόμος δράσης των μαζών (αντίστοιχα προς τους όρους της χημικής ισορροπίας).

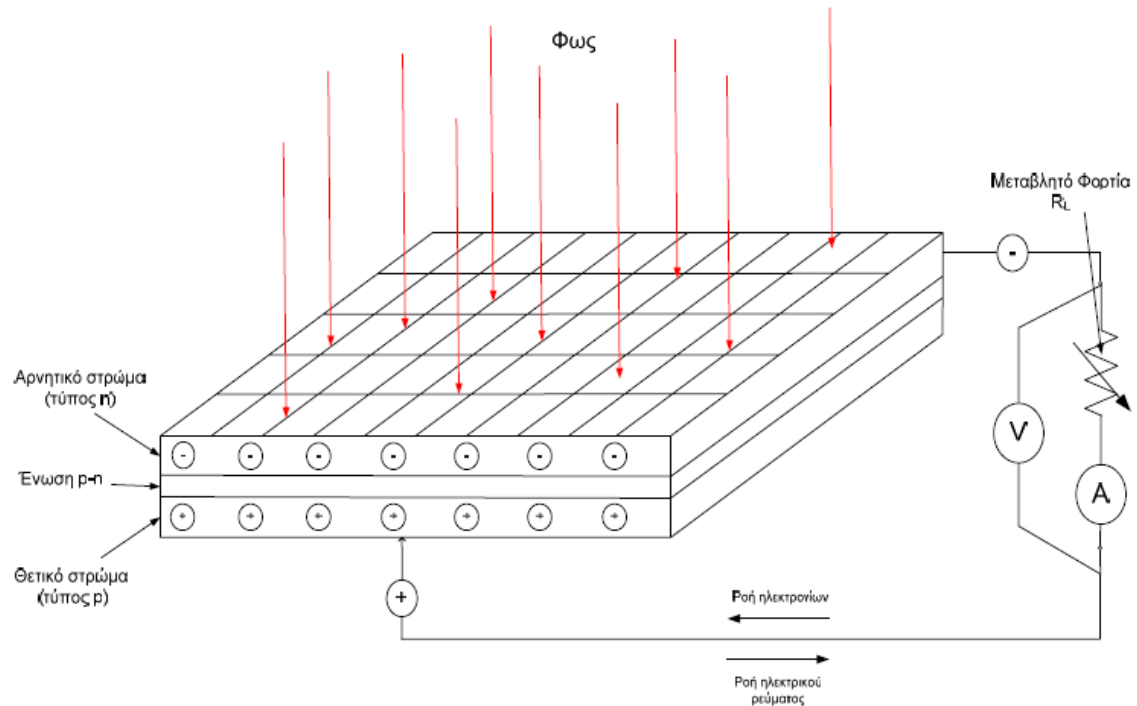
Η διαδικασία αυτή αποτυπώνεται γραφικά στο Σχήμα 2.5, όπου βλέπουμε την ακτινοβολία να προσπίπτει στο εμπρός μέρος του ηλιακού στοιχείου (που ουσιαστικά είναι μια δίοδος, λόγω των ηλεκτροδίων), τύπου n. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια με συγκεκριμένη μάζα το καθένα, τα οποία κινούνται με πολύ υψηλές ταχύτητες. Η ενέργεια που έχει κάθε φωτόνιο είναι ίση με το γινόμενο της μάζας του επί την ταχύτητα του. Όταν ένα φωτόνιο συγκρούεται με ένα άλλο άτομο, μπορεί να συσχετισθεί με τα ηλεκτρόνια και να απορροφηθεί. Εκλύεται έτσι ενέργεια, η οποία μπορεί να προστεθεί στο άτομο και να απελευθερώσει ένα από τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας του. Αυτό μπορεί να συμβεί και για άλλα εξωτερικά ηλεκτρόνια, τα οποία είναι ελεύθερα να κινηθούν, παράγοντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Έχει, όμως, σημασία να διακρίνουμε την ενεργειακή στάθμη των φωτονίων που προέρχονται από την ίδια πηγή, τον ήλιο, και φθάνουν στα φ/β συστήματα με την ίδια ταχύτητα, καθώς σε όλα τα φωτόνια υπάρχουν διαφορές στη μάζα τους, άρα και στην ενέργεια που μεταφέρουν.



Σχήμα 2.5: Ο μηχανισμός εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε επαφή p-n (e είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και h οι οπές).

Κάθε φωτόνιο μπορεί να διεγείρει ένα μόνο ηλεκτρόνιο σθένους. Ο μηχανισμός αυτός περιγράφηκε στην § 2.1 με το παράδειγμα του πυριτίου.

Όσο διαρκεί η ακτινοβολία του ηλιακού στοιχείου, δημιουργείται μια περίσσεια από οπές και ελεύθερα ηλεκτρόνια, που δεν αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Εάν δεν υπάρξει επανασύνδεση μεταξύ τους, μπορεί να βρεθούν στο ηλεκτροστατικό πεδίο που δημιουργείται στα όρια επαφής των ημιαγωγών (βλ. Σχήματα 2.4 και 2.5). Μπορεί με τον τρόπο αυτό τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να εκτραπούν προς το τμήμα τύπου n και οπές να εκτραπούν προς το τμήμα τύπου p, οπότε και δημιουργείται μια τάση μεταξύ των ακροδεκτών των δύο τμημάτων της διόδου. Η εκδήλωση αυτής της τάσης ανάμεσα στις δύο όψεις του ακτινοβολούμενου σώματος, ονομάζεται *φωτοβολταϊκό φαινόμενο* και αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου (ο αρνητικός πόλος μιας πηγής συνδέεται με το τμήμα τύπου n και ο θετικός με το τμήμα τύπου p). Ορθή πόλωση έχουμε και στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.6: Σχηματική απόδοση της λειτουργίας του ηλιακού στοιχείου.

Συμπερασματικά, η διάταξη του ηλιακού στοιχείου αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, για όσο διατηρείται η πρόσπτωση ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια αυτής, με την εμφάνιση συνεχούς τάσης μεταξύ των ακροδεκτών του και τη δημιουργία ρεύματος, έντασης ανάλογης της εμφανιζόμενης τάσης. Άρα, η ισχύς που αποδίδει το ηλιακό στοιχείο, είναι ανάλογη της έντασης της ακτινοβολίας που δέχεται.

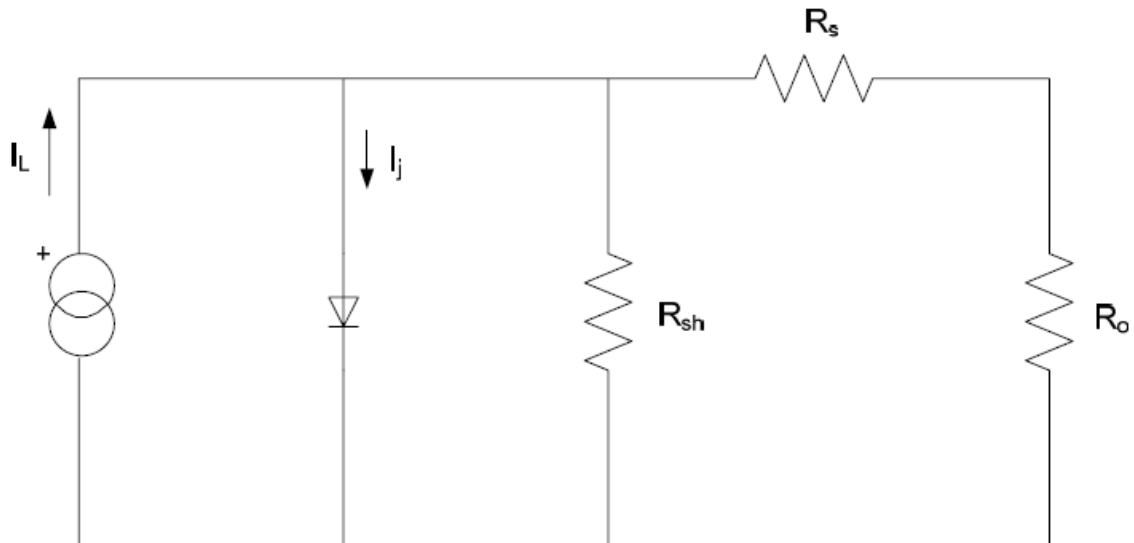
Συνεπώς, είναι αναγκαίο να ορισθεί ένα μέγεθος που θα αξιολογεί την απόδοση του ηλιακού στοιχείου, με βάση το ποσό ενέργειας που απορροφά από την ακτινοβολία που δέχεται και το μέρος αυτής που μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Το μέγεθος αυτό είναι ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου, που ορίζεται ως το επί τοις εκατό ποσοστό μετατροπής της ενέργειας που εισέρχεται στο κύτταρο σε ηλεκτρική ισχύ στην έξοδό του. Δηλαδή :

$$\text{Βαθμός Απόδοσης} = \frac{\text{Ηλεκτρική Ισχύς Εξόδου}}{\text{Οπτική Ισχύς Εξόδου}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ηλιακό στοιχείο δεν εκμεταλλεύεται καμία χημική αντίδραση για την πραγματοποίηση μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική. Κατά συνέπεια, δεν υφίσταται κάποια μεταβολή στη σύστασή του. Αυτό σημαίνει πως εξαιτίας αυτού του φαινομένου, η διάρκεια ζωής του ηλιακού στοιχείου είναι πολύ μεγάλη, θεωρητικά άπειρη. Πρακτικά όμως δε συμβαίνει αυτό. Το ηλιακό στοιχείο χρειάζεται μια υποτυπώδη συντήρηση ώστε να λειτουργεί κανονικά και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η λειτουργία του είναι εντελώς αθόρυβη και δε μολύνει το περιβάλλον [2.1].

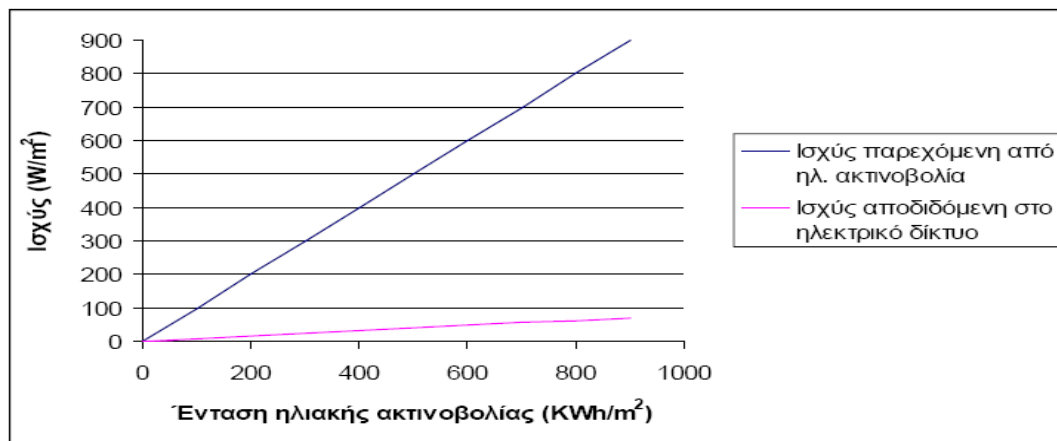
2.4.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ο τρόπος με τον οποίο ένα φ/β στοιχείο μπορεί να προσομοιωθεί είναι μέσω ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, το οποίο παρίσταται στο Σχήμα 2.7 .



Σχήμα 2.7: Ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου.

Στο σχήμα αυτό, η γεννήτρια παράγει φωτορεύμα I_L με φορά όπως αυτή του Σχήματος 2.7. Η αντίσταση R_{SH} οφείλεται στις επιφανειακές διαρροές πάνω στο στοιχείο, σε διάχυση φορέων κατά μήκος των επαφών ή ορίων των κρυσταλλινών (οφείλονται στη μικροδομή του δηλαδή). Η αντίσταση R_s οφείλεται στις ωμικές αντιστάσεις των επαφών, τις αντιστάσεις της περιοχής της βάσης και στην αντίσταση της πάνω περιοχής του στοιχείου. Η αντίσταση R_o είναι η αντίσταση του φορτίου που είναι συνδεδεμένο στο κύκλωμα. Με βάση το κύκλωμα αυτό, μπορεί να χαραχθεί η γραφική παράσταση της ισχύος εξόδου του στοιχείου ως συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το αποτέλεσμα αυτής της παράστασης φαίνεται στο Σχήμα 2.8, όπου παρατηρούμε ότι η ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών στοιχείων αποτελεί ένα μικρό κλάσμα της παρεχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και είναι περίπου ευθεία, ενώ η κλίση της εξαρτάται από το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου [2.1].



Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστική εξόδου φ/β στοιχείου.

2.5 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΗΛΙΑΚΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Με βάση τα παραπάνω, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια αξιολόγηση των ημιαγωγών, όσον αφορά την καταλληλότητά τους για χρήση ηλιακών φωτοβολταϊκών εφαρμογών, όπως η κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Ένα κριτήριο βάση του οποίου θα μπορούσε να γίνει αυτή η αξιολόγηση, είναι το μέρος της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που αξιοποιείται από αυτά. Έχει αποδειχθεί πως ένας ημιαγωγός «εκμεταλλεύεται» ποσό ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, όσο είναι και το ενεργειακό διάκενό του E_g , ενώ η υπόλοιπη μετατρέπεται σε θερμότητα. Θεωρητικά, μέγιστες αποδόσεις 25% (μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας), επιτυγχάνονται για στοιχεία ημιαγωγών με ενεργειακό διάκενο περίπου 1,5 eV. Άλλο σημαντικό κριτήριο είναι το είδος του ενεργειακού διακένου, δηλαδή εάν είναι άμεσο (το ελεύθερο ηλεκτρόνιο σθένους και η οπή έχουν ίδιες ορμές) ή έμμεσο (το ελεύθερο ηλεκτρόνιο σθένους και η οπή έχουν διαφορετικές ορμές και απαιτείται η παρεμβολή και κάποιου άλλου σωματιδίου για την επανασύνδεση). Σε ημιαγωγούς με άμεσο ενεργειακό διάκενο η επανασύνδεση ηλεκτρονίων και οπών πραγματοποιείται πιο εύκολα, αφού τα φωτόνια απορροφούνται πιο εύκολα σε αυτούς, οπότε και το στοιχείο δεν επιβάλλεται να έχει μεγάλο πάχος (εξοικονόμηση υλικού) [2.1].

Άλλα κριτήρια, που επίσης λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή ημιαγωγών ή και άλλων υλικών, για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων, είναι το κόστος παραγωγής τους, η συμπεριφορά τους (σταθερότητά) υπό την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, όπως υγρασία και θερμότητα, η τοξικότητα των διάφορων συστατικών, οι φυσικές ιδιότητές τους, η διάρκεια ζωής τους κ.λ.π.

2.6 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το υλικό που έχει, μέχρι στιγμής, χρησιμοποιηθεί κατά κόρον, είναι το πυρίτιο, το οποίο έχει ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Αυτό μάλλον οφείλεται στην ευρεία χρήση του πυριτίου σε εφαρμογές της ηλεκτρονικής. Ακόμα, το πυρίτιο κυκλοφορούσε σε μεγάλες ποσότητες στην αγορά και με πολύ καλή χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος φωτοβολταϊκού στοιχείου, είναι αυτός του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, που αποτελείται από καθαρό πυρίτιο σε μορφή λεπτών δίσκων με ομοιόμορφο μπλε σκούρο χρώμα. Άλλος τύπος είναι του πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με τρόπο κατασκευής όμοιο με των μονοκρυσταλλικών, με τη διαφορά, όμως, ότι τα πρώτα έχουν χαμηλότερο κόστος παραγωγής και, όχι σημαντικά, μικρότερο βαθμό απόδοσης. Η επιφάνειά του εμφανίζει μια τυχαία διάταξη κρυστάλλων («μωσαϊκό»), σχετικά ανοικτού μπλε χρώματος. Τέλος, άλλοι δύο τύποι στοιχείων πυριτίου, είναι του πυριτίου σε μορφή ταινίας, με επικάλυψη πρισματικής μορφής, όχι πολύ διαδεδομένη εμπορικά, και του άμορφου πυριτίου. Αν και το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγάλη ατέλεια στην κρυσταλλική δομή του, εντούτοις χρησιμοποιείται στην κατασκευή ηλιακών στοιχείων, αφού έχει μεγαλύτερο ενεργειακό διάκενο από ό,τι το κρυσταλλικό και διαθέτει κατά πολύ

μεγαλύτερο βαθμό απορρόφησης της ακτινοβολίας. Ακόμα, παρασκευάζεται με μεθόδους πολύ χαμηλού κόστους, διαφορετικών από αυτές της κατασκευής του κρυσταλλικού, ενώ συμπεριφέρεται σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, με τη δυνατότητα της εύκολης βελτίωσης των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του. Παρόλα αυτά, γίνονται προσπάθειες για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσής του, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι αυτή μειώνεται με το χρόνο για εφαρμογές υψηλής ισχύος. Αντίθετα για μικρής ισχύος εφαρμογές βρίσκει ευρεία εφαρμογή. Η επιφάνεια ηλιακών στοιχείων από άμορφο πυρίτιο, έχει ομοιόμορφους σκούρους χρωματισμούς [2.2].

Ωστόσο, έγιναν εργαστηριακές μελέτες και με άλλα υλικά, οι οποίες έχουν δώσει θετικά αποτελέσματα για το θειούχο κάδμιο (CdS), λόγω χαμηλού κόστους, και το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs), λόγω μεγάλης απόδοσης. Όμως, η απόδοση του ηλιακού κυττάρου από CdS ήταν πολύ χαμηλή (<10%) και σε συνδυασμό με τα προβλήματα σταθερότητας που εμφάνιζε, συνέτειναν στη διακοπή των ερευνητικών προσπαθειών με επίκεντρο το υλικό αυτό, παρόλο που παρουσιάζει μεγάλο ενεργειακό διάκενο (2,45 eV). Το GaAs από την άλλη μεριά, παρουσιάζει ενεργειακό διάκενο ίσο με 1,43 eV, μέσα δηλαδή στην βέλτιστη περιοχή τιμών για την φωτοβολταϊκή μετατροπή και έχει θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Αρνητικό σημείο είναι η διαφορά κόστους από το πυρίτιο, που είναι φθηνότερο. Η μεγάλη σχετικά τιμή του ενεργειακού διακένου εξασφαλίζει αρκετά μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας και καλή συμπεριφορά στις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό λόγω του ότι τα ηλιακά στοιχεία υπερθερμαίνονται λόγω της έντονης ακτινοβολίας που δέχονται. Ωστόσο, όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία, τόσο η απόδοση του GaAs πέφτει (το ίδιο συμβαίνει και για το πυρίτιο και το CdS, σε πιο έντονο βαθμό). Έχουν, όμως, δοκιμασθεί ηλιακά στοιχεία ετεροενώσεων (επαφή δύο διαφορετικών υλικών) με ημιαγωγίμα κράματα του συστήματος $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ($0 < x < 1$) με απόδοση πολύ κοντά στο θεωρητικό μέγιστο βαθμό απόδοσης (26-27%). Ας σημειωθεί ότι έχουν πραγματοποιηθεί εργαστηριακά πειράματα με στοιχεία από φωσφορούχο ίνδιο (InP) και ετεροενώσεως, μονοκρυσταλλικής δομής του τελευταίου με CdS (InP/CdS), με σχετικά χαμηλή απόδοση όμως. Τέλος, όταν έχουμε ένα υλικό μεταξύ μιας μεταλλικής επιφάνειας και ενός ημιαγωγού, π.χ. οξειδίου του τιτανίου, η ένωση ονομάζεται MIS. Αν όμως έχουμε οξείδιο του τιτανίου μεταξύ δύο ημιαγωγών, τότε έχουμε ένωση SIS [2.3].

2.6.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Τα ηλιακά στοιχεία έχουν διαστρωματώσεις κομματιών υλικού πυριτίου, πάχους περί τα 3 mm περίπου, ενώ η διάμετρος τους φθάνει τα 10-15 cm.

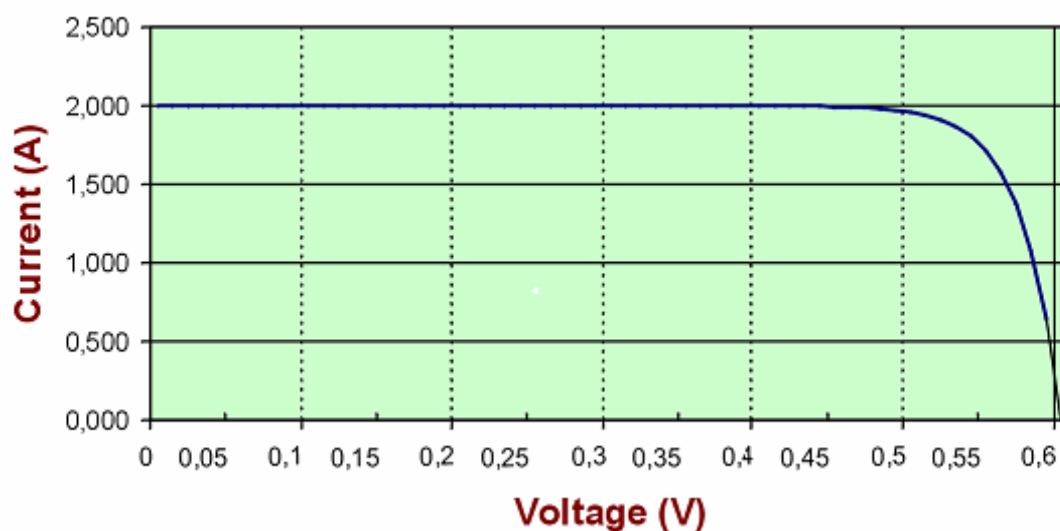
Η χαρακτηριστική έντασης-τάσης του ηλιακού στοιχείου πυριτίου φαίνεται στο Σχήμα 2.9, από όπου παρατηρείται ότι αν αυξηθεί η τάση πάνω από 0,52 V, τότε μειώνεται η ένταση του ρεύματος.

Στο Σχήμα 2.10 φαίνεται η μεταβολή ισχύος που αποδίδει ένα ηλιακό κύτταρο σε σχέση με τη τάση του. Μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό ότι αυξανόμενης της τάσης, μέχρι περίπου τα 0,52 V, η αποδιδόμενη ισχύς αυξάνει σχεδόν γραμμικά, ενώ μετά τα 0,52 V η απόδοση μειώνεται πολύ απότομα. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, η τάση του ηλιακού στοιχείου ελαττώνεται. Το ίδιο συμβαίνει και για την απόδοση του ηλιακού στοιχείου, δηλαδή όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, τόσο μειώνεται η απόδοσή του [2.4]. Με βάση αυτή την παρατήρηση, προκύπτει ότι εάν γνωρίζουμε την ισχύ εξόδου ενός φ/β στοιχείου σε μια

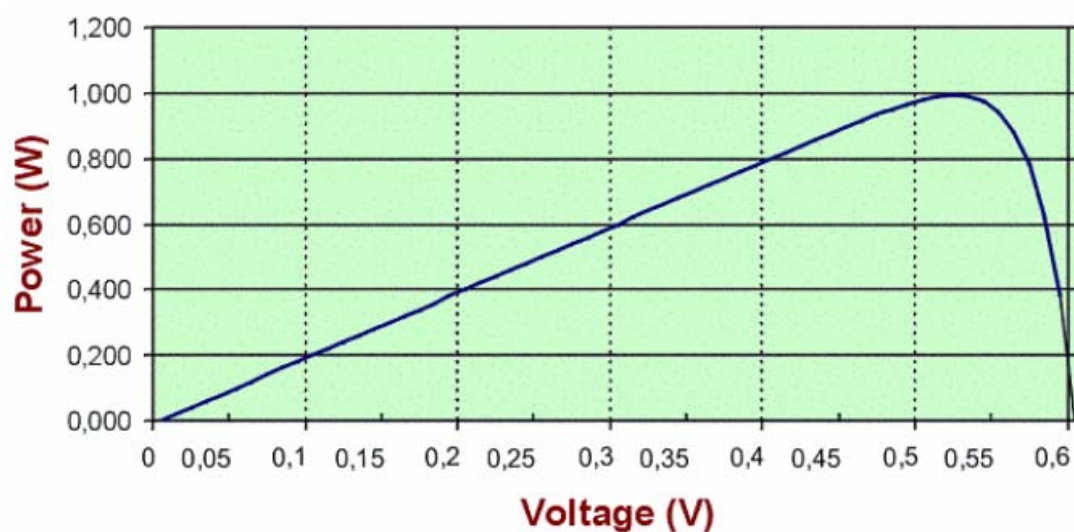
θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} , τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ εξόδου σε μια άλλη θερμοκρασία T_a από την ακόλουθη σχέση [2.5]:

$$P_a = P_{ref} \cdot \left[1 + \beta \cdot (T_{ref} - T_a) \right] \quad (2.2)$$

όπου P_{ref} η ισχύς εξόδου (W) στη θερμοκρασία T_{ref} και P_a η ισχύς εξόδου (W) στη θερμοκρασία T_a .



Σχήμα 2.9: Χαρακτηριστική έντασης-τάσης σε ηλιακό στοιχείο Si.



Σχήμα 2.10: Το γράφημα ισχύος-τάσης για ένα ηλιακό στοιχείο Si.

Η ισχύς εξόδου των φ/β στοιχείων επηρεάζεται από την έκταση που καταλαμβάνουν. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνει το εμβαδό ενός φ/β στοιχείου, η τάση παραμένει σταθερή, ενώ το ρεύμα αυξάνει με γραμμικό τρόπο. Τέλος, η κλίση που προσδίδεται στα ηλιακά στοιχεία, μπορεί να επιφέρει αύξηση της ισχύος του στοιχείου, όταν είναι τέτοια ώστε στην επιφάνειά του να προσπίπτει η μέγιστη δυνατή ηλιακή ενέργεια (για μια χρονική περίοδο). Στο βόρειο ημισφαίριο για παράδειγμα, ο προσανατολισμός της επιφάνειας αυτής πρέπει να είναι νότιος.

2.6.2 ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το ενδιαφέρον για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι δεδομένο. Παρόλο που στη δεκαετία του 1980 σημειώθηκε, παροδικά, μια μείωση του ενδιαφέροντος αυτού, σήμερα οι έρευνες για τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών των φ/β στοιχείων συνεχίζεται με αμείωτη ένταση. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι μόνο η παραγωγή ενέργειας μέσω φ/β συστημάτων αυξήθηκε κατά 44% μέσα σε ένα χρόνο, από το 1999 έως το 2000. Όλο αυτό το διάστημα, κυρίαρχο υλικό στις φ/β εγκαταστάσεις ήταν το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο [2.2].

Πίνακας 2.1: Παραγόμενη ενέργεια ανά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, το έτος 2000.

Υλικό φ/β εγκατάστασης	Φορτία MWp	Ποσοστό % επί της συνολικής παραγωγής
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	102.7	41.7
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	103.9	42.2
Λεπτά φιλμ (όλοι οι τύποι)	24.5	10

2.7 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

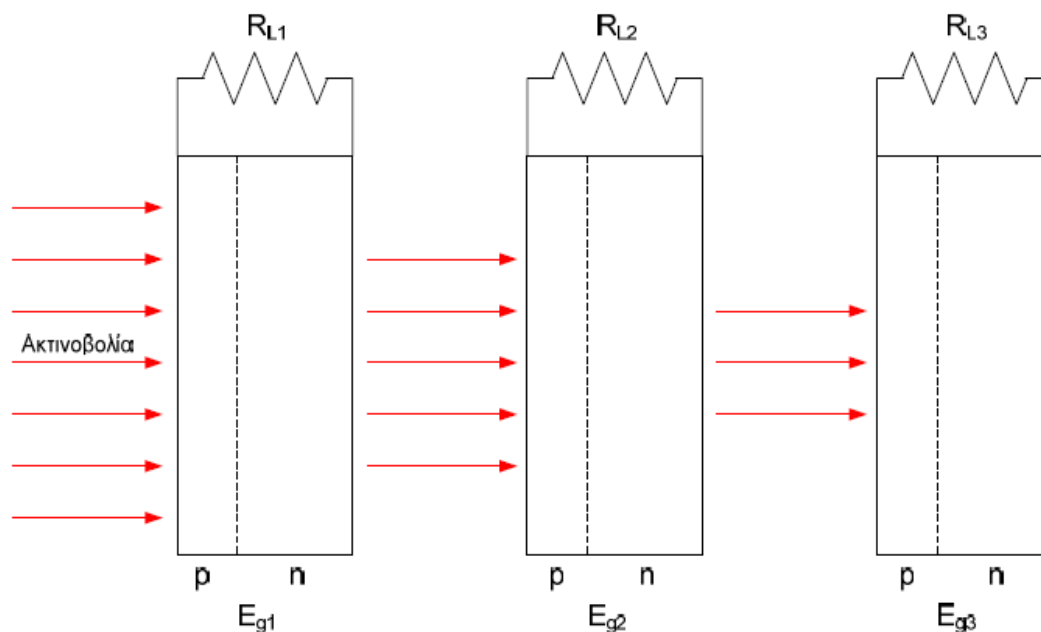
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία ως πηγή ενέργειας. Η ενεργειακή αυτή πηγή, όμως, χαρακτηρίζεται από ένα σημαντικό μειονέκτημα: τη μικρή απόδοσή της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες (μεγάλη δαπάνη) για τη συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας ακτινοβολίας, που θα οδηγήσει στην παραγωγή αντίστοιχης ποσότητας ηλεκτρικής ισχύος. Έως τώρα έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, όπως η κατασκευή περιστρεφόμενων διατάξεων ηλιακών στοιχείων που θα παρακολουθούν την πορεία του ήλιου συνεχώς. Μια τέτοια κατασκευή έχει μεγάλη πολυπλοκότητα και επιβαρύνει ανάλογα τον προϋπολογισμό της. Ένας άλλος τρόπος που προτάθηκε, είναι η συγκέντρωση της ακτινοβολίας μέσω φακών ή κατόπτρων προς τα ηλιακά στοιχεία. Ίσως με τον τρόπο αυτό να απαιτείται τεχνητή ψύξη των στοιχείων, ωστόσο η απαγόμενη θερμότητα να μπορεί να αξιοποιηθεί σε παράπλευρες χρήσεις, όπως θέρμανση νερού ή χώρων και βιομηχανικές εφαρμογές, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό μια πιο αποδοτική και σε μεγαλύτερο βαθμό εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στην περιγραφή των ημιαγώγιμων υλικών, από τα οποία κατασκευάζονται και τα ηλιακά στοιχεία, αναφέρθηκε ότι αυτά επιτυγχάνουν το μέγιστο θεωρητικό βαθμό απόδοσης για μια βέλτιστη περιοχή τιμών του ενεργειακού τους διακένου. Ωστόσο, με τη χρήση *συνδυασμένων διατάξεων* ηλιακών στοιχείων, είναι δυνατόν να βελτιωθεί ο βαθμός απόδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Μια τέτοια συνδυασμένη διάταξη είναι η τοποθέτηση πολλών στοιχείων στη σειρά, με βαθμιαία μειούμενο ενεργειακό διάκενο. Έτσι, η ακτινοβολία διαπερνά τα στοιχεία αυτά και απορροφάται διαδοχικά (πρώτα απορροφώνται τα φωτόνια υψηλής ενέργειας, μετά τα επόμενα κτλ.). Οι διατάξεις αυτές εκμεταλλεύονται σχεδόν ολόκληρο το χρωματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας και για αυτό ονομάζονται και «στοιχεία ουράνιου τόξου» [2.1].

2.8. ΤΜΗΜΑΤΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο σημείο αυτό θα ξεκινήσει η περιγραφή των τμημάτων που απαρτίζουν ένα φ/β σύστημα και ο τρόπος με τον οποίο αυτά διασυνδέονται μεταξύ τους. Αρχικά θα περιγραφεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Πολλά πλαίσια μαζί συγκροτούν τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία αποτελεί βασικό τμήμα κάθε φ/β εγκατάστασης.



Σχήμα 2.11: Παράσταση συνδυασμένης διάταξης τριών φ/β στοιχείων, με ενεργειακά διακένα $E_{g1} > E_{g2} > E_{g3}$ Η ακτινοβολία απορροφάται διαδοχικά

2.8.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το ηλιακό στοιχείο αναπτύσσει πολύ μικρή τάση και παράγει πολύ μικρή ηλεκτρική ισχύ. Μια τυπική τάση που αναπτύσσεται σε ένα μόνο ηλιακό στοιχείο και για κανονική ακτινοβολία, είναι περίπου 0,5 V, ενώ η παραγόμενη ισχύς δεν υπερβαίνει τα 0,4 W. Ο τρόπος για να αυξηθεί η τάση και η ισχύς από ηλιακά στοιχεία, είναι αυτά να τοποθετηθούν πολλά μαζί (ανά 10 έως 50 περίπου) με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Τα στοιχεία στην περίπτωση αυτή συνδέονται στη σειρά, συγκροτώντας μια διάταξη που ονομάζεται *φωτοβολταϊκό*

πλαίσιο. Το πλήθος των στοιχείων που απαρτίζουν κάθε πλαίσιο, εξαρτάται από την επιθυμητή τάση που πρέπει να επιτευχθεί. Τα πλαίσια κατασκευάζονται σε μορφή διαδοχικών στρώσεων από σειρές στοιχείων, τα οποία συγκολλούνται σε ένα ανθεκτικό φύλλο μετάλλου (συνήθως αλουμίνιο) ή ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί το πίσω μέρος του πλαισίου. Το μπροστινό μέρος καλύπτεται από προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή (διαφανούς) πλαστικού. Το εμπρός και πίσω μέρος συγκρατούνται στεγανά και μόνιμα μεταξύ τους, ενώ περιμετρικά συσφίγγονται με ένα μεταλλικό περίβλημα. Το πλαίσιο είναι η δομική φωτοβολταϊκή μονάδα, που θα χρησιμεύσει ως συλλέκτης της ακτινοβολίας. Το κόστος κατασκευής σε σχέση με το ηλιακό στοιχείο, είναι μεγαλύτερο.

Κάθε πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του χαρακτηριστικά, που εξαρτώνται από αντίστοιχα μεγέθη των ηλιακών στοιχείων που το αποτελούν. Για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός πλαισίου, χρησιμοποιείται, κατά τρόπο αντίστοιχο με την περίπτωση ενός ηλιακού στοιχείου, ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το πλαίσιο (P_{π} σε W) προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του S (σε m^2). Ωστόσο, ο παραπάνω λόγος θα είναι, προφανώς, ίσος με το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει το φ/β πλαίσιο E (σε kWh) για ένα χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που αυτό δέχεται για το ίδιο χρονικό διάστημα. Έτσι λοιπόν:

$$n_{\pi} = \frac{P_{\pi}}{H \cdot S} = \frac{E}{\Pi \cdot S} \quad (2.3)$$

όπου H (σε W/m^2) είναι η πυκνότητα ηλεκτρικής ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανείας και Π (σε kWh/m^2) είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του πλαισίου.

Η τιμή του n_{π} εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (n), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου σ_{κ} . Ο τελευταίος ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων του πλαισίου, δηλαδή της συνολικής επιφάνειας του χρησιμοποιούμενου ημιαγωγού όπου πραγματοποιείται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του πλαισίου. Από τα παραπάνω, εύκολα συνάγεται ότι [2.1]:

$$n_{\pi} = n \cdot \sigma_{\kappa} \quad (2.4)$$

Σε ό,τι αφορά το σ_{κ} , αυτό εξαρτάται από το σχήμα και την πυκνότητα (άρα τρόπο) της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων. Πρακτικά, κυμαίνεται από 0,78 έως και 0,98 (για τα μεγάλου κόστους ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία).

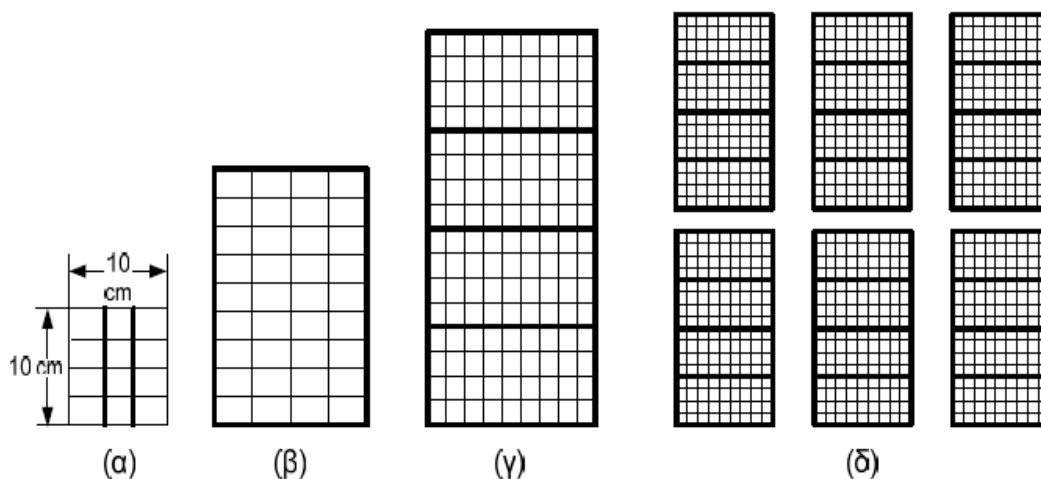
Στη συνέχεια παρατίθεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 2.2 ο οποίος περιέχει τα χρησιμοποιούμενα υλικά για την κατασκευή φωτοβολταϊκών πλαισίων και τους βαθμούς απόδοσης, οι οποίοι έχουν επιτευχθεί (μέχρι τις μέρες μας) [2.6].

Πίνακας 2.2: Χρησιμοποιούμενα υλικά και αποδόσεις φ/β πλαισίων.

Τύπος χρησιμοποιούμενου υλικού	Τυπική απόδοση φ/β πλαισίου [%]	Μέγιστη καταγραφείσα απόδοση φ/β πλαισίου [%]	Μέγιστη καταγραφείσα εργαστηριακή απόδοση φ/β πλαισίου [%]
Μονοκρυσταλικό πυρίτιο	12-15	22.7	24.7
Πολυκρυσταλικό πυρίτιο	11-14	15.3	19.8
Άμορφο πυρίτιο	5-7	-	12.7
CdTe	-	10.5	16.0
CIGS	-	12.1	18.2

Θα περιγραφεί στη συνέχεια ένα μέγεθος το οποίο εξυπηρετεί στην υποκατάσταση μερικών κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του πλαισίου, τα οποία δεν είναι διαθέσιμα. Το μέγεθος αυτό είναι η ενδεικτική ισχύς αιχμής (P_a , σε kWp), η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ, όταν το φ/β πλαίσιο επιφάνειας S (σε m^2) δεχθεί ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος ενός ηλίου, δηλαδή $H = 1$ ήλιος². Πολύ συχνά, οι μονάδες ισχύος, που περιγράφουν την ισχύ αιχμής ενός ηλιακού στοιχείου ή ενός φ/β πλαισίου ή μιας φ/β εγκατάστασης, ονομάζονται αντίστοιχα «βατ αιχμής» και συμβολίζονται ως Wp, το οποίο εκφράζει συνδυασμένα το κόστος του φ/β πλαισίου και την απόδοσή του. Από τον τύπο (2.2) έχουμε ότι:

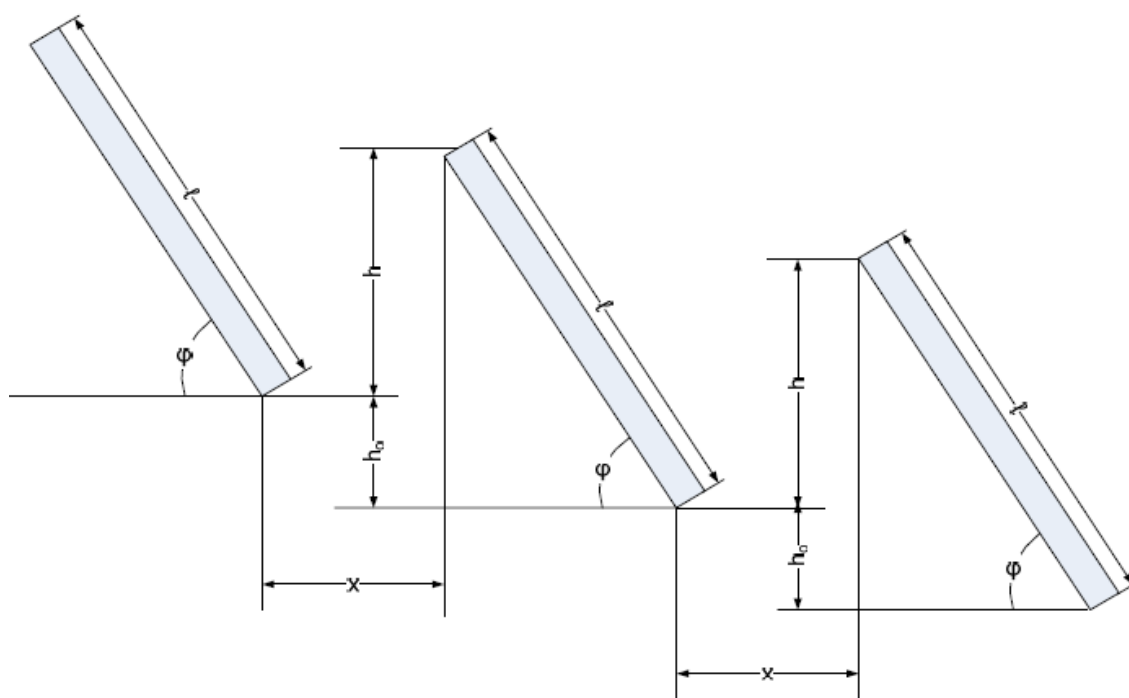
$$P_a = 1(kW / m^2) \cdot S \cdot n_p \quad (2.5)$$



Σχήμα 2.12: (α) Φ/β στοιχείο (β) Ένα Φ/β πλαίσιο με 32 φ/β στοιχεία (γ) Φ/β συστοιχία με 4 πλαίσια (4x32 στοιχεία) (δ) Φ/β συγκρότημα με 24 πλαίσια (24x4x32 στοιχεία). Περιέχεται σε κοινό πλαίσιο στήριξης.

2.8.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

Τα φωτοβολταϊκά πάνελα αποτελούν προκατασκευασμένες μονάδες, έτοιμες για εγκατάσταση. Αποτελούνται από πολλά χωριστά πλαίσια, συνδεδεμένα το ένα δίπλα στο άλλο, σε ενιαία κατασκευή, και διαθέτουν κοινή ηλεκτρική σύνδεση. Ο τρόπος σύνδεσης των πλαισίων σε ένα πάνελο, είναι τέτοιος ώστε να μην υπάρχουν μόνο συνδέσεις στη σειρά, αλλά και παράλληλες. Το γεγονός αυτό αυξάνει την αξιοπιστία του πάνελου, αφού εάν πάθει βλάβη, η ισχύς που θα παράγει το σύστημα δε θα μηδενισθεί, όπως εάν οι συνδέσεις ήταν όλες στη σειρά. Σε αρκετές εφαρμογές, οι απαιτήσεις είναι τέτοιες ώστε να χρειαστεί η χρησιμοποίηση μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας, δηλαδή μιας ομάδας περισσότερων συνενωμένων φ/β πλαισίων ή πάνελων και με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση. Σε μια τέτοια περίπτωση, η σύνδεση των επιμέρους πλαισίων ή πάνελων, εν σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή τάση στην έξοδο της συστοιχίας. Στο Σχήμα 2.14 φαίνεται η γενική διάταξη των φ/β πάνελων και τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη.



Σχήμα 2.13: Γενική διάταξη συστοιχιών φωτοβολταϊκών πάνελων. Διακρίνονται η γωνία κλίσης των πάνελων φ και το πλάτος των πάνελων l .

Έχουν εντοπισθεί δύο κύριοι τύποι προβλημάτων κατά τη σύνδεση των φ/β πάνελων: το πρόβλημα *σφάλματος (mismatch)* και το πρόβλημα *ζεστού σημείου (Hot spot)*. Ο πρώτος τύπος προβλήματος συνίσταται στο γεγονός ότι η σύνδεση των φ/β στοιχείων δεν αποδίδει ισχύ ίση με το άθροισμα ισχύος των στοιχείων. Αυτό μπορεί να συμβεί διότι το ρεύμα που διαρρέει την κατασκευή, δε μπορεί να υπερβεί σε ένταση την ένταση ρεύματος

του πιο αδύνατου ηλιακού στοιχείου. Οι συνέπειες του προβλήματος αυτού, αποτελούν αιτίες εμφάνισης του προβλήματος «ζεστού σημείου». Δηλαδή, η απώλεια ισχύος που παρατηρείται στο πρόβλημα «σφάλματος», διοχετεύεται από τα πιο ισχυρά στοιχεία στα πιο αδύναμα, με αποτέλεσμα τότε το ράγισμα των φ/β στοιχείων, φαινόμενο που ονομάζεται πρόβλημα «ζεστού σημείου». Το πρόβλημα ζεστού σημείου αντιμετωπίζεται προστατεύοντας τα πιο αδύναμα φ/β στοιχεία. Αυτό μπορεί να γίνει συνδέοντας διόδους παράλληλα με ομάδα αδύναμων στοιχείων, συνήθως ανά 15. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται, εν μέρει, και το πρόβλημα «σφάλματος». Ωστόσο, το τελευταίο μπορεί να αντιμετωπισθεί με την ταξινόμηση των φ/β στοιχείων σε ομάδες με όμοιο κύκλωμα βραχυκύκλωσης και παράλληλης σύνδεσης των ομάδων αυτών [2.1].

2.8.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ

Πολλές φορές οι απαιτήσεις σε ισχύ (π.χ. πάνω από 20 kWp) από μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση φθάνουν σε τέτοια επίπεδα, ώστε είναι αναγκαίο να συνενωθούν πολλές φ/β συστοιχίες μαζί για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το σύνολο αυτών των συνενωμένων συστοιχιών, ονομάζεται υποσυγκρότημα συστοιχιών, ενώ όλα τα υποσυγκροτήματα μαζί συνθέτουν το συγκρότημα συστοιχιών ή το φ/β πάρκο της φ/β εγκατάστασης. Σε κάθε τέτοια εγκατάσταση, τα φ/β πλαίσια, πανέλα ή συστοιχίες, τοποθετούνται σπονδυλωτά και με τρόπο ώστε να μη σκιάζονται αμοιβαία μεταξύ τους, αλλά ούτε και από τα γύρω εμπόδια (δένδρα, βουνά, κτίρια κλπ).

Γενικά, ένα φ/β πάρκο διαιρείται σε επιμέρους, παράλληλα συνδεδεμένες, μονάδες. Μέσω των μετατροπέων και άλλων κατάλληλων διατάξεων, το ρεύμα διαρρέει το σύστημα ή οδεύει στους συσσωρευτές. Όλες οι λειτουργίες στο ηλιακό πάρκο ελέγχονται από μια μονάδα ελέγχου.

2.8.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Η φ/β γεννήτρια αποτελεί το βασικό χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φωτοβολταϊκής εφαρμογής. Καλείται έτσι διότι είναι η μονάδα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, μέσω των ηλιακών στοιχείων που περιλαμβάνει. Μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο πλαίσιο ή ένα πανέλο. Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, ωστόσο, αποτελείται από ομάδες περισσότερων φ/β πλαισίων ή πανέλων, δηλαδή από φ/β συστοιχίες.

2.9 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Στη συνέχεια θα περιγραφεί η συνολική φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, δηλαδή θα εξετασθούν οι επιμέρους συσκευές που τυχόν υπάρχουν στην εγκατάσταση.

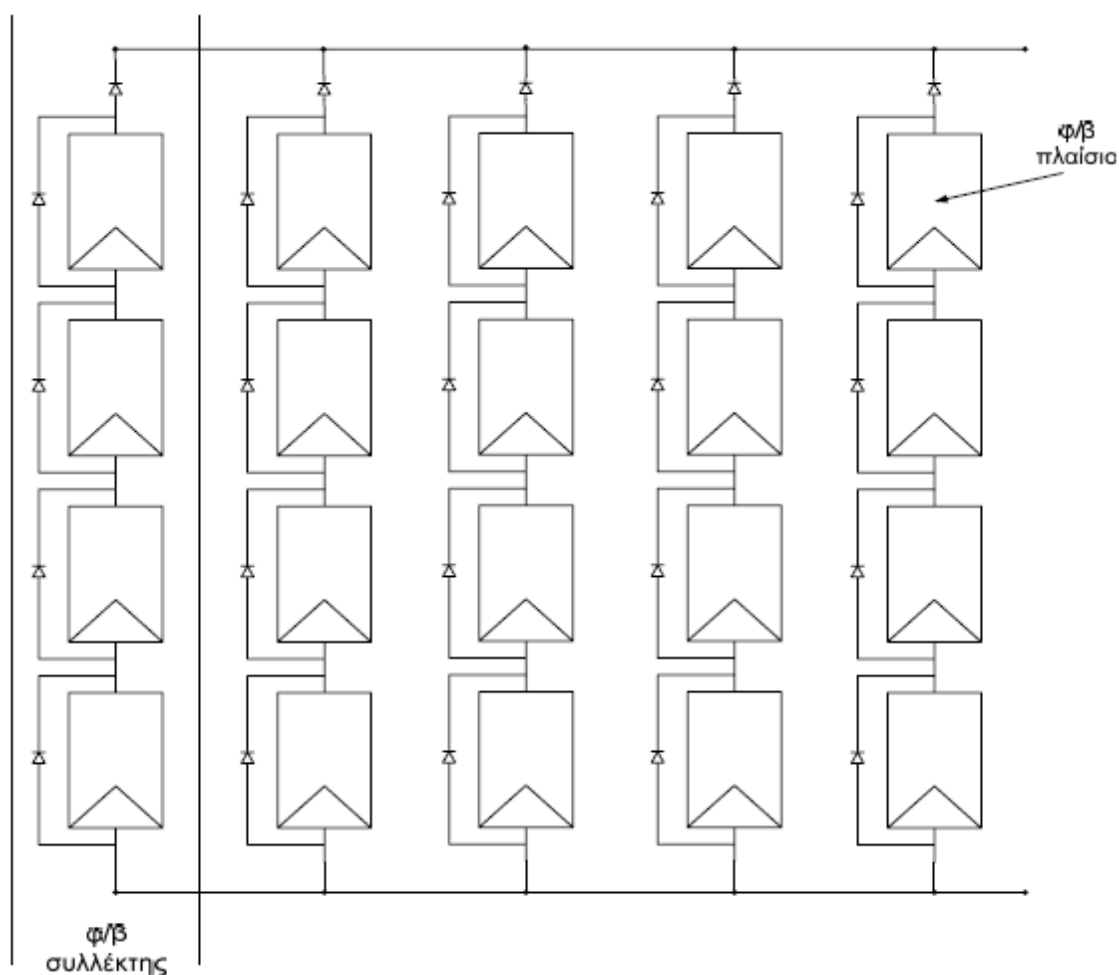
2.9.1 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιασθούν παρακάτω μερικοί τρόποι διαφορετικών συνδέσεων μεταξύ φ/β πλαισίων, με στόχο την επίτευξη διαφορετικών επιθυμητών τιμών τάσεων. Η ηλεκτρική τάση που παράγεται από τα πλαίσια, είναι συνεχής.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σύνδεσης των συστατικών στοιχείων μιας φ/β γεννήτριας. Αυτοί αποτελούνται από συνδυασμούς παράλληλης και σε σειρά σύνδεσης των στοιχείων αυτών, κατά τρόπο ώστε η παραγόμενη τάση να είναι σύμφωνη με τις δοθείσες απαιτήσεις (π.χ. σύνδεση της γεννήτριας με φορτίο που έχει ονομαστική τάση λειτουργίας V volts). Φυσικά, τα χαρακτηριστικά που θα διακρίνουν τη γεννήτρια, είναι συνάρτηση των ονομαστικών χαρακτηριστικών των στοιχείων που την αποτελούν.

Στο Σχήμα 2.14 παρουσιάζεται σαν παράδειγμα μιας φ/β γεννήτριας, αποτελούμενης από 5 φ/β συλλέκτες, κάθε ένας από τους οποίους αποτελείται από 4 φ/β πλαίσια. Τα 4 πλαίσια του συλλέκτη είναι συνδεδεμένα στη σειρά, ενώ οι συλλέκτες συνδέονται παράλληλα. Ακόμα, όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα, παράλληλα σε κάθε πλαίσιο συνδέεται και μια διόδος, η οποία εξασφαλίζει τη συνεχή ροή του ρεύματος, ακόμα και στη περίπτωση που ένα από τα πλαίσια υποστεί βλάβη, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία της γεννήτριας [2.1].

Τέλος, διακρίνονται οι συνδέσεις διόδων σε σειρά με κάθε συλλέκτη, διασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την αποφυγή κυκλοφορίας εσωτερικών ρευμάτων μεταξύ των συλλεκτών, ειδικά στην περίπτωση βλάβης ενός πλαισίου.



Σχήμα 2.14: Παράδειγμα συνδεσμολογίας φ/β συστοιχιών σε φ/β γεννήτρια

2.9.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC-DC

Ο μετατροπέας DC-DC αποτελεί τμήμα της φ/β εγκατάστασης. Χαρακτηριστικά του μετατροπέα αυτού είναι το μεγάλο εύρος τάσης από τη μεριά σύνδεσης με τη φ/β γεννήτρια και το μικρό από τη μεριά σύνδεσης με το σύστημα συσσώρευσης της ενέργειας (βλ. παρακάτω) ή το δίκτυο κατανάλωσης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και η πρώτη ομαλοποίηση της τάσης συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τη γεννήτρια. Οι διακυμάνσεις της παραγόμενης τάσης, οφείλονται κυρίως στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη). Οι διακυμάνσεις, ακόμα, της αποδιδόμενης από την φ/β γεννήτριας ισχύος, χωρίς τα κατάλληλα μέτρα, οδηγούν σε λειτουργία της πέραν του σημείου μέγιστης απόδοσης ισχύος (maximum-power-point). Οι απώλειες που σχετίζονται με τη δυσλειτουργία αυτή μπορούν να αντιμετωπισθούν με τη χρήση συστήματος που εντοπίζει το σημείο λειτουργίας με τη μέγιστη απόδοση ισχύος. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως Maximum Power Point Tracker (MPPT).

2.9.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC-AC

Ο μετατροπέας DC-AC μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Η ύπαρξη του μετατροπέα DC-AC είναι αναγκαία, διότι μια φ/β γεννήτρια παράγει απευθείας συνεχή τάση, που εισέρχεται άμεσα στον μετατροπέα αυτό, ενώ πολλές συσκευές που προορίζονται να χρησιμοποιήσουν το ρεύμα αυτό, λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση, ειδικά οικιακές συσκευές. Έχει δυνατότητα για αυτόνομη λειτουργία, ενώ η απόδοσή του εξαρτάται συνήθως από το φορτίο, με μέγιστη απόδοση κοντά στην ονομαστική απόδοση, με τιμές από 75 έως 95%. Ένας αυτόνομος εναλλάκτης επιτρέπει στην ισχύ και το φορτίο του να ακολουθούν τις απαιτήσεις του καταναλωτή. Ένας εναλλάκτης με εξάρτηση από το σύστημα που εξυπηρετεί, διαμορφώνει την τάση του σύμφωνα με τη τάση της συσκευής που είναι συνδεδεμένη και ρυθμίζει την ισχύ και το φορτίο του ανάλογα με την παρεχόμενη ηλιακή ισχύ. Βασικοί παράμετροί του, είναι το αποδεκτό εύρος τάσεων εισόδου DC (από τη φ/β γεννήτρια) και η μέση (επιθυμητή) τάση εξόδου AC.

2.9.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, παρουσιάζεται συχνά η ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η πηγή (γεννήτρια) δεν δύναται να παράγει ενέργεια (π.χ. τη νύκτα).

Η αποθήκευση γίνεται σε συσσωρευτές (μπαταρίες), οι οποίες είναι από συνδυασμό μόλυβδου-θεικού οξέος και σπανιότερα από συνδυασμό νικελίου-καδμίου. Όταν η πηγή παράγει ενέργεια και μέρος αυτής αποθηκεύεται στις μπαταρίες, έχουμε τη φόρτιση τους, ενώ όταν χρησιμοποιείται η αποθηκευμένη ενέργεια έχουμε την εκφόρτιση των μπαταριών. Οι μπαταρίες μόλυβδου δεν πρέπει να εκφορτίζονται τελείως, αλλά μέχρι ενός σημείου, που εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας. Αντίθετα, οι μπαταρίες NiCd μπορούν να εκφορτίζονται εντελώς, χωρίς να κινδυνεύουν να καταστραφούν ή να πάθουν βλάβη.

Να σημειωθεί ότι πριν τις μπαταρίες τοποθετείται ένας ρυθμιστής φόρτισης, ο οποίος διασφαλίζει την ασφαλή φόρτιση των μπαταριών, φροντίζοντας για τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που θα φθάνουν οι τελευταίες, χωρίς να υπάρξει κίνδυνος καταστροφής τους. Η τάση αυτή εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας και τη θερμοκρασία της. Ωστόσο,

έλεγχος πρέπει να γίνεται και για την ελάχιστη τάση αποσύνδεσης του φορτίου από τη μπαταρία, ώστε να μην υπερφορτιστεί, αλλά και για την τάση επανασύνδεσης του φορτίου, κάθε φορά που αποσυνδέεται αναγκαστικά.

Γενικά, όταν πρόκειται να προστεθεί κάποιο φορτίο σε σύστημα με συσσωρευτές, αυτό πρέπει να προσαρμόζεται στη χωρητικότητα του συστήματος συσσώρευσης. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας θεωρητικά είναι ίση με το γινόμενο της σταθερής έντασης εκφόρτισης (I_{disc} , σε A) επί το χρόνο εκφόρτισης t (σε h). Δηλαδή:

$$C = I_{disc} \cdot t \quad (A \cdot h) \quad (2.6)$$

Ακόμα, εάν U (σε V) είναι η ονομαστική τάση της μπαταρίας, τότε η ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας E (σε $W \cdot h$), υπό μορφή χημικής ενέργειας, είναι:

$$E = U \cdot C \quad (2.7)$$

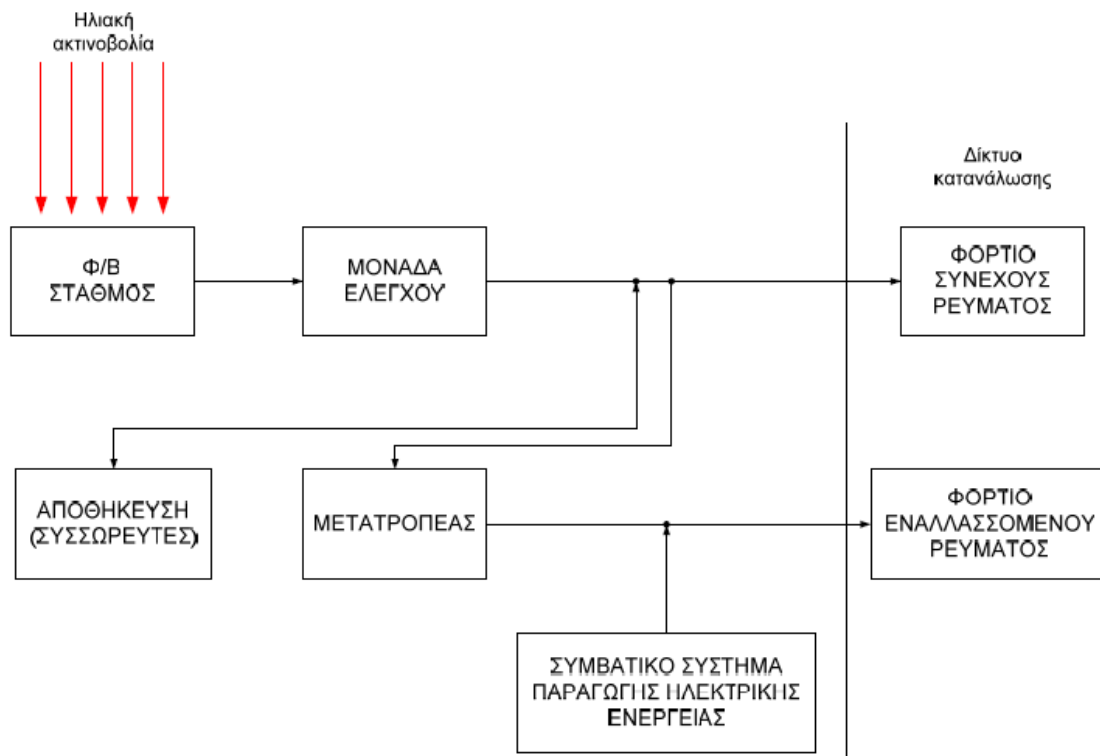
Τέλος, τα βασικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν το σύστημα συσσώρευσης, για να χρησιμοποιείται σωστά μια φ/β διάταξη, είναι τα ακόλουθα:

1. η δυνατότητα αποθήκευσης
2. η επάρκεια αποθήκευσης
3. η κατάσταση της φόρτισης
4. οι διαδικασίες λειτουργίας και
5. η συντήρηση

Πρέπει να τηρούνται οι οδηγίες προστασίας και συντήρησης του συστήματος. Πρέπει να πραγματοποιείται τακτικά συμπλήρωση των μπαταριών με υγρό μπαταρίας. Η μη σωστή συντήρηση επιφέρει βλάβες στο σύστημα και ελαττώνει τη διάρκεια ζωής του.

2.9.5 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Η φ/β εγκατάσταση απαρτίζεται από τα συστατικά μέρη που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Ο γενικός τρόπος διασύνδεσής τους, φαίνεται στο Σχήμα 2.15 [2.1]. Το σχήμα αυτό αναπαριστά μια τυπική διάταξη. Σε μια πραγματική εφαρμογή, ωστόσο, κάποιο στοιχείο ή θα διαφοροποιούνται ή θα παραλείπονται. Για παράδειγμα, η εγκατάσταση μπορεί να τροφοδοτεί μόνο ένα είδος από τα αναπαριστώμενα φορτία ή μπορεί να μη διαθέτει σύστημα συσσώρευσης ενέργειας.



Σχήμα 2.15: Γενική διάταξη μιας φ/β εγκατάστασης

2.9.6 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Τα φ/β στοιχεία γενικά αποτελούν μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλη χρονική διάρκεια. Αν και δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση, είναι ικανά να παράγουν ενέργεια για τουλάχιστον 10-15 χρόνια. Τα φ/β συστήματα δε διαθέτουν μηχανικά μέρη τα οποία στρέφονται και άρα δε φθείρονται εύκολα. Επίσης, τα φ/β πλαίσια είναι συμπαγή ηλεκτρονικά στοιχεία, γεγονός που τα καθιστά ανθεκτικά στη πάροδο του χρόνου. Θα μπορούσε, ωστόσο, να ισχυρισθεί κανείς πως είναι δυνατόν να υπάρξουν προβλήματα. Ειδικά για τις πρώτες γενιές φ/β πλαισίων τα προβλήματα αυτά αφορούσαν διαρροές, βλάβες διόδων, το χρωματισμό της διαφανούς επίστρωσης και τη πτώση του βαθμού απόδοσης λόγω της συνεχούς χρήσης. Τα προβλήματα αυτά, όμως, με τη συνεχή βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των φ/β πλαισίων, δεν επιδρούν σημαντικά στην αξιοπιστία των τελευταίων.

Πριν ξεκινήσει η καταγραφή των πιο κοινών προβλημάτων στα φ/β πλαίσια, ας σημειωθεί πως είναι λογικό να υποτεθεί πως ένας σωστός σχεδιασμός της όλης διαδικασίας εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να οδηγήσει πρακτικά σε μείωση της πιθανότητας εμφάνισης συγκεκριμένων προβλημάτων. Ωστόσο, και πάλι είναι δυνατόν να παρατηρηθούν προβλήματα κατά τη λειτουργία των συστημάτων αυτών. Παρακάτω θα περιγραφούν τα συχνότερα προβλήματα που απαντώνται στα φ/β συστήματα, τα οποία τελικά χαρακτηρίζουν την αξιοπιστία τους.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες αξιοπιστίας σχετικά με την εγκατάσταση και λειτουργία των φ/β συστημάτων. Ειδικά σε χώρες όπου η χρήση τέτοιων συστημάτων βρίσκει ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή, όπως Ιαπωνία και Γερμανία, διεξάγονται συχνά τέτοιες έρευνες. Αν ληφθούν υπόψη τα στοιχεία που

προκύπτουν από τις έρευνες αυτές, είναι δυνατό να λάβει κανείς μια εικόνα για το ποια είναι τα συχνότερα εμφανιζόμενα προβλήματα που συναντούν οι χρήστες φ/β συστημάτων.

Συγκεκριμένα, μια μελέτη που διεξήχθη στη Γερμανία για τα έτη 1993-1997, κατέδειξε ότι τα περισσότερα προβλήματα που σχετίζονται με συστήματα που εγκαθίστανται σε οροφές κτιρίων, αφορούσαν πιο συχνά στις ηλεκτρονικές μονάδες μετατροπής ισχύος (μετατροπέας) του συστήματος. Πολλά προβλήματα εμφάνιζε και η ηλιακή γεννήτρια του συστήματος, ενώ σημαντικό ποσοστό προβλημάτων αναλογούσε και σε άλλες περιπτώσεις βλαβών. Η διαχρονική μελέτη των προβλημάτων αυτών καταλήγει στο συμπέρασμα ότι για την περίπτωση που μελετάται, ο ρυθμός εμφάνισης προβλημάτων μειώθηκε κατά 5,5%. Παρόμοιες έρευνες στην Ιαπωνία, που αφορούσαν εφαρμογές σε κατοικησίμες περιοχές, κατέληξαν σε ίδια περίπου αποτελέσματα. Και πάλι τα περισσότερα προβλήματα οφείλονταν σε σφάλμα του μετατροπέα. Στην περίπτωση αυτή όμως, τα προβλήματα της ηλιακής γεννήτριας ήταν πολύ λιγότερα. Και στην περίπτωση της Ιαπωνίας τα προβλήματα αυτά οδηγήθηκαν σε μείωση του ρυθμού εμφάνισης τους κατά 4%. Και στη χώρα μας, το πιο κοινό πρόβλημα που εμφανίζεται στα φ/β συστήματα, εντοπίζεται στους μετατροπείς. Γενικότερα, το 66% των αναφερόμενων προβλημάτων σχετίζεται με τους μετατροπείς, αλλά τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μια μείωση αυτών των προβλημάτων [2.6].

Ένα μέρος του συστήματος που θα μπορέσει να υποστεί προβλήματα, είναι οι τυχόν συσσωρευτές που αυτό διαθέτει. Όπως, όμως περιγράφηκε πριν, το σύστημα διαθέτει τους κατάλληλους ηλεκτρονικούς μηχανισμούς που ελέγχουν και επιτρέπουν την ασφαλή φόρτιση και λειτουργία των συσσωρευτών, όπως οι ρυθμιστές φόρτισης και οι ελεγκτές εκφόρτισης. Οι συχνότερες βλάβες στο σύστημα συσσωρευτών οφείλονται στους μηχανισμούς αυτούς. Φυσικά, ακόμη και υπάρχει κάποια τέτοια βλάβη, το σύστημα συνεχίζει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για την αποφυγή προβλημάτων από βλάβες σε συστήματα εγκατεστημένα σε απομακρυσμένες περιοχές, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται πολύπλοκες μονάδες, γιατί τότε αυξάνεται η πιθανότητα βλάβης. Ακόμα, οι μετατροπείς και οι ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου που το συνοδεύουν, πρέπει να διαθέτουν υψηλό βαθμό αυτοπροστασίας, πρέπει να έχει ληφθεί μέριμνα για την ύπαρξη εναλλακτικής μεθόδου λειτουργίας για όσο υπάρχει βλάβη στο σύστημα [2.6]. Τέλος να σημειωθεί πως ο τρόπος λειτουργίας είναι καλό να είναι κατανοητός στους χρήστες, έτσι ώστε να είναι σε θέση να κατανοούν τυχόν προβλήματα στη λειτουργία τους και να τα επισημαίνουν.

Κατά τη λειτουργία των φ/β συστημάτων, έχουν εντοπισθεί κάποιες κοινές αιτίες που οδηγούν σε μειωμένη απόδοση λειτουργίας τους. Οι τέσσερις κύριες τέτοιες αιτίες είναι η δυσλειτουργία των μετατροπέων, η επισκίαση της φ/β γεννήτριας από δένδρα, κτίρια κ.ά., τάση λειτουργίας κάτω από την ονομαστική τάση του συστήματος και προβλήματα κατά την εγκατάσταση σε συνεχές ρεύμα. Τα περισσότερα κοινά προβλήματα που εντοπίστηκαν μέσω ερευνών κατά διάρκεια λειτουργίας των φ/β συστημάτων, είναι οι διαβρώσεις και δυσλειτουργίες σε διάφορα τμήματα της εγκατάστασης (καλώδια, συνδέσεις κ.ά.), η ρύπανση της επιφάνειας των φ/β πλαισίων, ειδικά στα προστατευτικά πλαίσια που τα περιβάλλουν, από σκόνη, υδρατμούς κ.ά., οι προβληματικές ασφάλειες των διόδων ή και προβληματικές διόδοι, τα ελαττωματικά πλαίσια (σπασμένα τζάμια, αποχρωματισμός, ανοικτά κυκλώματα) και οι προβληματικές ηλεκτρονικές συσκευές προστασίας από υψηλές τάσεις [2.6].

Ακόμα, όμως, έρευνες απέδειξαν ότι εντοπίζονται προβλήματα ακόμη και κατά την εγκατάσταση φ/β συστημάτων. Τα πιο συχνά από αυτά είναι το γεγονός ότι η θερμότητα

στις διόδους δε διασκορπίζεται, προκαλώντας προβλήματα (60% των περιπτώσεων), η μη ικανοποιητική σύνδεση των καλωδίων στις διάφορες συνδέσεις (24% των περιπτώσεων), οι χαλαρές τελικές συνδέσεις (5% των περιπτώσεων), ενώ σημειώθηκαν και περιπτώσεις που αφορούν σπασμένους πίνακες κυκλωμάτων και μη σφραγισμένες είσοδοι καλωδίων στο πάνω μέρος των κουτιών όπου πραγματοποιούνται οι ενώσεις [2.6].

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως τα τμήματα των φ/β συστημάτων επηρεάζονται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στον τόπο της εγκατάστασης τους. Ειδικότερα, έχουν επισημανθεί προβλήματα έπειτα από σφοδρές καταιγίδες, θυελλώδεις ανέμους ή υπερβολικό ψύχος, ειδικά σε περιοχές ορεινές ή του αρκτικού κύκλου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη βαρύτητα στη στήριξη των συστημάτων, ώστε να ανταπεξέρχονται σε τέτοιες καταστάσεις. Επίσης, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η τοποθέτηση των διαφόρων τμημάτων να πραγματοποιείται σε μέρη όπου δεν υπάρχει κίνδυνος να πάθουν ζημιά από κλαδιά δένδρων ή υπάρχει ο κίνδυνος κατολισθήσεων [2.6].

2.10. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.10.1. ΤΥΠΟΙ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν σύστημα συσσώρευσης για την κάλυψη μέρους των αναγκών τους, δεν είναι απαραίτητο να συνδεθούν με ο κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού. Για το λόγο αυτό ονομάζονται και αυτόνομα φ/β συστήματα. Υπάρχουν επίσης συστήματα τα οποία για να καλύψουν τις ανάγκες τους π.χ. τη νύκτα, συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού και αντλούν από εκεί την αναγκαία ποσότητα ενέργειας. Ωστόσο, εάν δεν υπάρχει σύστημα συσσώρευσης, τότε το τυχόν πλεόνασμα παραγόμενης ενέργειας, διατίθεται στο κεντρικό δίκτυο.

2.10.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η φ/β τεχνολογία βρίσκει εφαρμογή μέσω τεσσάρων κυρίως κατηγοριών συστημάτων [2.7].

- Η πρώτη κατηγορία συστημάτων είναι τα μη συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, προορισμένα για οικιακές χρήσεις (*Off-grid domestic*). Για παράδειγμα, προσφέρουν ενέργεια για φωτισμό σπιτιών, συντήρηση τροφίμων και για άλλες χαμηλού ενεργειακού φορτίου ανάγκες. Είναι συνηθισμένη λύση σε αναπτυσσόμενες περιοχές και σε οικισμούς μακριά από το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- Η δεύτερη κατηγορία αφορά συστήματα επίσης μη συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο (*Off-grid non-domestic*), αλλά αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε μια σειρά από εφαρμογές, όπως τηλεπικοινωνίες, άντληση νερών με ηλιακές αντλίες, βοηθήματα πλοήγησης σκαφών, καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων κ.ά.
- Τρίτη κατηγορία, σχετικά καινούρια, αποτελούν τα συστήματα που είναι καταναμεμένα και συνδεδεμένα στο δίκτυο (*Οπά οσηγεοϊεά distributed*). Αυτά προσφέρουν ενέργεια σε κτίρια και βρίσκουν εφαρμογή στο περιβάλλον οικοδόμησης κτιρίων. Σχεδιάζονται για να προσφέρουν ενέργεια σε κατοικήσιμες περιοχές, βιομηχανικά και εμπορικά κτίρια, ενώ το τυπικό μέγεθος τους είναι από 0,4 έως 100 kW. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι όταν η παραγωγή ενέργειας υπερβεί τις ανάγκες, το πλεόνασμα περνά στο κεντρικό δίκτυο. Πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών

είναι ότι είναι εγκατεστημένα κοντά στο σημείο χρήσης, άρα οι απώλειες διανομής της ενέργειας ελαχιστοποιούνται, επίσης δεν απαιτείται επιπλέον έκταση για την εγκατάστασή τους, το ότι τα ίδια τα φ/β πλαίσια μπορεί να αποτελούν μέρος της οροφής ή ενός τοίχου ενός κτιρίου.

- Η τέταρτη κατηγορία συστημάτων είναι τα κεντροποιημένα (μη κατανεμημένα), συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο (Οηά οσηηεοϊέα centralized). Τα συστήματα αυτά εγκαθίστανται κυρίως για δύο σκοπούς. Πρώτον ως εναλλακτικές πηγές ενέργειας έναντι των συμβατικών κεντροποιημένων πηγών ή, δεύτερον, για την ενίσχυση του συστήματος διανομής της ενέργειας. Η χρησιμότητα τέτοιων συστημάτων μελετάται ακόμα και σήμερα με την εγκατάσταση συστημάτων επίδειξης σε πολλές χώρες.

Αρχικά τα φ/β στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν σε διαστημικές εφαρμογές, σε υπολογιστές τσέπης και ρολόγια χειρός. Σε τέτοιες εφαρμογές, η αποδιδόμενη ισχύς των φ/β συστημάτων ήταν μικρή. Μετέπειτα, η χρήση των φ/β συστημάτων άρχισε για εφαρμογές μεγαλύτερων απαιτήσεων.

Η χρήση των φ/β συστημάτων για διαστημικές εφαρμογές, βρίσκει όλο και περισσότερη απήχηση και λόγω της εξέλιξης της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, αλλά και λόγω των ειδικών συνθηκών που επικρατούν στο διάστημα. Ακόμα, τα φ/β συστήματα χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μικρών οικισμών, απομονωμένων από το κεντρικό δίκτυο, αλλά και για την ηλεκτροδότηση μεμονωμένων οικιών. Εδώ αξίζει να αναφερθούν οι εφαρμογές που έχουν τα συστήματα αυτά σε αγροτικές περιοχές. Επίσης, υπάρχουν και εφαρμογές που αφορούν την άντληση νερού με ηλιακές αντλίες, την αφαλάτωση νερού, αγροτικά τηλέφωνα, το άλεσμα δημητριακών, την ψύξη γάλακτος, μηχανές αρμέγματος, άρδευση καλλιεργειών και ιχθυοτροφία [2.7].

Επίσης, χρησιμοποιούνται για το φωτισμό δρόμων και για την ψύξη εμβολίων σε περιοχές που τα χρειάζονται. Αναφορικά, φ/β συστήματα, μικρής ισχύος, χρησιμοποιούνται ακόμα και σε υπολογιστές τσέπης, σε ρολόγια, σε ραδιόφωνα, σε φορτιστές μπαταριών βαρκών, σε τροχόσπιτα. Για μεγαλύτερων απαιτήσεων εφαρμογές, ανάλογα φ/β συστήματα χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, για σήμανση ακτών, ποταμών, βουνών, τούνελ, σε μετεωρολογικούς σταθμούς, σε φορητές γεννήτριες.

2.11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] Κ. Καγκαράκης, "*Φωτοβολταϊκή τεχνολογία*" Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
- [2.2] T. M. Bruton, "*General trends about photovoltaics based on crystalline silicon*", www.sciencedirect.com, Solar Materials and Solar cells, Vol. 72, Issues 1-4, pp 3-10,.
- [2.3] <http://www.pvresources.com/en/solarcells.php>
- [2.4] Μ. Μακάριος, "*Σχεδιασμός μικρών αυτόνομων συστημάτων παραγωγής με φωτοβολταϊκά συστήματα*", Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 1996.
- [2.5] <http://www.pv.unsw.edu.au>, "*Key center for Photovoltaic Engineering UNSW – Thin Film Solar Cells*"
- [2.6] www.iea-pvps.org, "*Literature survey and analysis of non-technical problems for the introduction of building integrated photovoltaic systems*", Task VII, Report IEAPVPS
- [2.7] www.iea-pvps.org, "*TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS – Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2002*", Report IEA-PVPS

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια πρώτη παρουσίαση των υποσυστημάτων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Διακρίνονται τέσσερα είδη υποσυστημάτων :

1. Φωτοβολταϊκό πλαίσιο
2. Ρυθμιστής φόρτισης
3. Μετατροπέας
4. Συσσωρευτής

Για κάθε ένα από αυτά παρουσιάζεται ο κατασκευαστής, τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και το κόστος.

3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι κατασκευαστές τους. Τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι η ονομαστική ισχύς, η τάση στη μέγιστη ισχύ, το ρεύμα στη μέγιστη ισχύ, η τάση ανοιχτοκύκλωσης, το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η απόδοση. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.1: Κατασκευαστές φ/β πλαισίων.

Aleo solar	[3.1]
Alfa solar	[3.2]
Alpha solar	[3.3]
Ammini Group	[3.4]
Asun energy	[3.5]
Atersa	[3.6]
Beijing Doray	[3.7]
Beijing Link Photovoltaik	[3.8]
Beijing Solar	[3.9]
Beijing Time-Valiant	[3.10]
Bisol	[3.11]
Bp Solar	[3.12]

Πίνακας 3.1: Κατασκευαστές φ/β πλαισίων (συνέχεια).

Canadian Solar	[3.13]
Canrom's Solar	[3.14]
Central Electronic Ltd	[3.15]
Changzhou Kindersolar	[3.16]
Chinalight Solar	[3.17]
Conergy	[3.18]
CSG Solar	[3.19]
Cuantum solar	[3.20]
Danish Solar	[3.21]
Day4 Energy	[3.22]
DongYing Guangfu	[3.23]
ECO Energy	[3.24]
Electro Solar	[3.25]
Elettrosunnio	[3.26]
Energetica	[3.27]
Energo tech	[3.28]
E.P.V	[3.29]
Enfoton	[3.30]
Era Solar	[3.31]
Ersol	[3.32]
Ertex Solar	[3.33]
ESL Solar	[3.34]
Etasolar	[3.35]
Feida	[3.36]
Fitcraft	[3.37]
Fortop Solar	[3.38]
Foshan Shude Solar	[3.39]
Free Energy	[3.40]
GB Sol	[3.41]
General Electric	[3.42]
Global Service	[3.43]
Global Solar	[3.44]
Gruposolar	[3.45]
GSS	[3.46]
Guanghi Solar	[3.47]
Heckert bxt	[3.48]
Helios Tech	[3.49]
Hope Intustry	[3.50]
IBC Solar	[3.51]
IVF-Ensol	[3.52]
Isofoton	[3.53]
Jiacheng Solar	[3.54]
Jiangsu Shunfeng	[3.55]
Jiangsu Tianbao	[3.56]
Jiawei Industries	[3.57]
JSCN Kvazar	[3.58]
Jumao Photonics	[3.59]

Πίνακας 3.1: Κατασκευαστές φ/β πλαισίων (συνέχεια).

Kaneka	[3.60]
KD Solar	[3.61]
Korax	[3.62]
Kyocera	[3.63]
Maharashi Solar	[3.64]
Mitsubishi	[3.65]
Naps	[3.66]
New Tomorrow	[3.67]
Ningbo Solar Energy	[3.68]
Pevafersa	[3.69]
Photon Solar Energy	[3.70]
Photwatt	[3.71]
Prim-Sola Energy	[3.72]
PSE	[3.73]
PST	[3.74]
Pubsolar	[3.75]
PV Enterpraise	[3.76]
PVT-Austria	[3.77]
Qixin	[3.78]
Razastan Electronics	[3.79]
Raloss Energy	[3.80]
Rixin	[3.81]
S.E. Project	[3.82]
Sanyo	[3.83]
Scheuten Solar	[3.84]
Schott Solar	[3.85]
Shanghai New Energy	[3.86]
Shanghai Solar Energy	[3.87]
Shangghai ST Solar	[3.88]
Sharp	[3.89]
Shenyu Solar	[3.90]
Shenzhen Topray Solar	[3.91]
Shurjo Energy	[3.92]
Signet Solar	[3.93]
Siliken	[3.94]
Solar Power Ind	[3.95]
Solar Swiss	[3.96]
Solar World	[3.97]
Solarday	[3.98]
Solar Fabrik	[3.99]
Solaria Energia	[3.100]
Solartec SA	[3.101]
Solartec SRO	[3.102]
Solartron	[3.103]
Solarwatt	[3.104]
Solar Wind Europe	[3.105]
Salon AG	[3.106]

Πίνακας 3.1: Κατασκευαστές φ/β πλαισίων (συνέχεια).

Soltech	[3.107]
SP Solar	[3.109]
Sunlink PV	[3.110]
Sunoasis	[3.111]
Sunpower	[3.112]
Sunrise Solartech	[3.113]
Sunset Solar	[3.114]
Suntech Solar	[3.115]
Sunware	[3.116]
Sunway	[3.117]
Symphony Energy	[3.118]
Tenesol	[3.119]
Terra solar	[3.120]
Tianwei Yingli Solar	[3.121]
Titan Energy Systems	[3.122]
Topsola Green Energy	[3.123]
Trina Solar	[3.124]
Ulica Solar	[3.125]
Uni-Solar	[3.126]
Webel Solar	[3.127]
Wehai Blue Star	[3.128]
Wurth Solar	[3.129]
Xinhonghua Solar	[3.130]
XL Telecom & Energy	[3.131]
Yuhuan Sinosola	[3.132]
Yunnan Tianda	[3.133]
zhongkexin electronics	[3.134]
Zytech	[3.135]

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς P_{dc} (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{OC} (V)	Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} (A)	Απόδοση (%)	Κόστος (€/W)
Aleo solar	s 17	190	24.6		30.6	8.44	13.6	4.67
	s 03	170	35.6		43.8	5.15	13.2	5.25
Alfa solar	180PQ6L	205	25.6	7.99	33.32	8.56	16.3	4.577
	120P6	135	17.27	7.82	21.97	8.35	16.3	4.793

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων (συνέχεια).

Κατασκευ- αστής	Μοντέλο	Ονομα- στική ισχύς P_{dc} (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο- κύκλωσης V_{oc} (V)	Ρεύμα βραχυ- κύκλωσης I_{sc} (A)	Από- δοση (%)	Κόστος (€/W)
Alpha solar	PV 170W	170	35	4.86	44	5.36	13.3	5.55
	PV 165W	165	34.8	4.74	43.8	5.26	12.9	5.55
	PV 55W	55	17.3	3.18	21.17	3.47	12.3	5.55
Ammini Group	ASM 12075A	75			>21	>3.3	13.4	7.1
	ASM 12050A	50			>21	>5	12.3	7.1
Asun energy	ASM 210	210	29.2	7.2	36.6	7.79	12.88	5.8
	ASM 120	120	17.2	7	21.9	7.72	11.98	6.1
	ASM 060	60	17.8	3.3	22.1	3.9	12.19	6.25
Atersa	A-222	222	29.84	7.44	37.2	7.96	13.2	5.85
	A-170	170	35.8	4.75	43.95	5.1	13	5.95
	A-65	65	16.3	2.1	20.55	2.35	12.2	6
Beijing Doray	DR 200D	200	-	-	35.9	5.79	12.5	7.1
	DR 95D	95	-	-	17.38	5.06	11.7	7.15
	DR 50D	50	-	-	17.8	2.81	11.1	7.2
Beijing Link Photovoltaik	LKSB200GT-2	200	26.3	7.61	32.9	8.21	13	7.2
	LKSB85T-1	85	17.4	5.02	21.7	5.34	12.8	7.2
	LKSB50T	50	17.4	2.65	21.7	3.31	12	7.2
Beijing Solar	m 150	150	17.5	8.57	-	-	13	7.2
	m 80	80	17.5	4.57	-	-	12.8	7.2
	m 50	50	17.5	2.9	-	-	12	7.2
Beijing Time- Valiant	TH 160	160	35.6	4.5	43.6	5.8	13.8	6.925
	TH 110	110	17.5	6.9	22	7.8	13.5	6.925
	TH 50	50	17.5	2.9	22	3.2	12	6.95
Bisol	215 Wp	210	28.2	7.45	36.5	8.15	12.9	6
Bp Solar	Bp 7180	180	36.2	5	44.8	5.4	14.3	6.26
	Bp 3125	125	17.6	7.1	22.1	7.54	12.4	6.27
	Bp 350	50	17.3	2.89	21.8	3.17	11.1	6.25
Canadian Solar	CS6P-230	230	46.75	4.92	58.08	5.4	17.3	6
	CS6P-220	220	46.37	4.74	57.89	4.97	14.3	6
	CS6D-60	60	17.2	3.49	21.6	3.79	11.5	6
Canrom's Solar	C-75	75	21	4.4	21	4.8	12.9	5.43
	C-50	50	-	-	20.5	2.8	11	5.84
Central Electronic Ltd	PM 160	160	35	4.6	43	5	13.2	5.8
	PM 80	80	17.5	4.6	21.5	5	13.2	5.8
	PM 50	50	17	2.95	21.4	3.3	11.1	6

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων (συνέχεια).

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς P_{dc} (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{oc} (V)	Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} (A)	Απόδοση (%)	Κόστος (€/W)
Changzhou Kindersolar	KD 180L	180	35	5.14	43	5.81	13.6	5.9
	CD 90	90	17.5	5.14	21.5	5.81	12.9	6.2
	CD 50	50	17.5	2.86	21.5	2.23	11.1	6.5
Chinalight Solar	CLS-210	210	27.2	7.75	32.5	8.39	13.4	5.5
	CLS-120	120	17	7.05	21.5	7.45	12.4	5.5
	CLS-50	50	17.1	2.92	21.8	3.42	11.3	5.5
Conergy	E 220P	220	28.3	7.71	36.51	8.32	13.3	5.62
	C 125PI	125	17.5	7.3	21.7	8.14	12.8	5.62
	Q 50PI	50	16.5	3.04	20	3.47	12.5	5.5
CSG Solar	CSG 100	105	63	1.6	83	1.8	13.5	6.12
	CSG 80	90	56	1.5	80	1.8	13	6.12
	CSG 80	75	56	1.5	80	1.8	11.5	6.12
Cuantum solar	Sunport-72M	280	35.38	7.93	47.12	8.67	14	5.92
Danish Solar	HEM 185	185	36	5.1	44.5	5.5	13	4.92
Day4 Energy	48MC	190	24	7.92	29.7	8.3	14.7	4.3
	36MC	145	18.24	7.95	22.57	8.3	13	4.7
DongYing Guangfu	GW080D6	130	18.36	7.08	22.31	7.99	13.3	6
	GW080D6	110	17.52	6.28	21.75	6.83	13	6.5
ECO Energy	156series	280	35	8.1	43	9.2	13.6	6.125
	125series	165	35	4.71	43	5.11	13.2	6.59
Electro Solar	ES 225	225	29.52	7.54	36.18	8.05	13.7	4.92
	ES 125	125	34.6	3.59	43.2	3.81	13.2	5.3
	ES 60	60	17.4	3.39	21.6	3.58	11.5	6.15
Elettrosunnio	ES 85	85	18	4.72	21.9	5.05	13	6
	ES 425	42.5	9	4.72	10.95	5.05	11.3	6.5
Energetica	E 2000	240	29.57	8.02	36.84	8.77	14.96	5.12
	E 134B	134	19.4	6.91	24.3	7.43	13.4	5.5
	E 55M	55	17.17	2.97	21.38	3.3	12.3	6.75
Energo tech	A-130	130	17.2	7.54	21.3	8.1	13.5	6
	A-85	85	17.3	4.9	21.3	7.7	12.7	6.34
	A-55	55	17	0.59	21	0.62	11.7	6.75
E.P.V	EPV-42	60	42	0.94	45	1.18	11.7	6.7
Enfoton	60E9M	250	30.71	8.14	36.9	8.85	14	5.1
	36E6	135	18.2	7.44	21.9	7.99	13.4	5.98

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων(συνέχεια).

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς P_{dc} (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο-κύκλωσης V_{oc} (V)	Ρεύμα βραχυ-κύκλωσης I_{sc} (A)	Απόδοση (%)	Κόστος (€/W)
Era Solar	ESPSC260	260	35.4	7.32	-	-	13.9	4.95
	ESPSC120	120	17.4	6.9	-	-	12.4	5
	ESPSC 60	60	17.2	3.5	-	-	11.7	5.5
Ersol	M 235	235	28.24	8.25	36.74	9.1	14	4.85
	IO P170	170	23.25	7.3	29.5	8.01	13.2	5.15
Ertex Solar	VSG 580	580	79.11	7.33	98.73	7.81	14	5.12
	EFL 115	115	11.87	7.33	14.81	7.81	12.9	5.2
ESL Solar	SP 180	180	-	-	27	6.65	13.8	5.5
	ESL 90	90	-	-	33.6	2.67	13.4	6.2
	ESL 55	55			16.8	2.67	11.3	6.7
Etasolar	ETA-L160	160	35	4.57	44	5.1	13.7	5.15
	ETA-L140	140	31.9	4.39	42	4.8	13.4	5.95
	ETA-L70	70	16.3	4.3	21	4.9	11.3	6.75
Feida	FD 280	300	35.2	8.5	43.6	9.18	14	5.132
	FDR 175	175	37.584	4.79	44.76	5.16	13.3	5.72
	FDP 50	50	17.28	2.89	21.74	3.03	11.2	6.3
Fitcraft	FCP 195	195	22.3	8.76	26.1	9.8	14	5.22
	FCP 145	145	46.8	3.1	55	3.87	13	5.8
	FCP 50	49	18.9	2.58	21.7	3.1	11.1	6.23
Fortop Solar	FT-165D	165	36	4.78	22	5.35	13.9	5.36
	FT-90D	90	18	5	22	5.6	13	5.52
	FT-55D	55	17	3.12	21	3.5	11.1	6.2
Foshan Shude Solar	TC 210	210	17.2	6.1	34.4	12.2	13.5	5.78
	TC 160	160	17.2	4.65	34.4	9.3	13.2	6
	TC 50	50	17.2	4.36	-	-	11	6.5
Free Energy	FEE 20	19	16	1.18	22.8	1.45	11.2	5.81
GP Sol	GP sol-120	120	16.5	7.4	20	8.1	14	5.12
	GB sol 115	115	17.4	6.6	22	7.7	14	5.56
	GP sol-60	60	18	3.4	22	3.8	12	5.85
General Electric	GEPV 200	200	26.3	7.6	32.9	8.1	14	4.95
	GEPV 85	85	18.4	4.8	22	5.2	13	5.1
	GEPV 66	66	9	7.4	10.9	8.2	11	5.3
Global Service	156M54	220	27	8.18	33.5	8.8	14.7	5.12
	103M72	135	35.65	3.79	42.48	4.07	15	5.5
	103M56	60	17.65	3.4	21.24	4	14.6	5.75

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων (συνέχεια).

Κατασκευ- αστής	Μοντέλο	Ονομα- στική ισχύς P_{dc} (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο- κύκλωσης V_{oc} (V)	Ρεύμα βραχυ- κύκλωσης I_{sc} (A)	Από- δοση (%)	Κόστος (€/W)
Global Solar	GSE 120	120	37	3.24	52	4.1	14	5.2
	GSE 60	60	17.5	3.5	25	4.5	11.5	5.46
Gruposolar	GS 60156	233	29.1	8.01	36.8	8.61	14	4.95
GSS	ZRE 237	237	29.76	7.97	36.78	8.66	13.9	5.12
	ZRE 187	187	36.5	5.12	44.86	5.45	13.6	5.25
Guanghi Solar	GHDC 270	270	34.8	7.76	42.48	8.48	13.8	4.6
	GHDC 175	175	34.8	5.03	42.48	5.42	13.6	4.6
	GHDC 10	10	17.4	0.59	21.5	0.65	11.5	4.6
Heckert bxt	HS-PXL	215	27	7.96	34.1	8.45	13.6	3.1
	HS-ML	145	18.5	7.84	22.7	8.25	13.2	3.15
Helios Tech	HT 230	230	30.6	7.5	37.5	8.1	13.6	4.75
	HTD 120	120	16.3	7.4	20	7.9	13.2	4.75
Hope Intustry	HBM-210	210	28.8	7.29	35.6	8.06	13.4	4.8
	HBM-160	160	34.2	4.68	44	5.8	13.3	4.8
	HBM-50	50	17.2	2.93	21.3	3.62	11	4.8
IBC Solar	IBC-225	225	30.5	7.38	37.3	8.05	14	4.1
	IBC-120TE	120	18	6.7	21.7	7.75	13.4	4.25
IVF-Ensol	Ensol-180	180	35.6	5.1	44.5	5.5	14.2	3.95
	Ensol-160	160	35.4	4.52	43.7	5.05	14	3.95
Isofoton	IS 200	200	46.08	4.35	57.6	4.45	13.9	4.833
	IS 150	150	34.6	4.35	43.2	4.7	13.7	4.85
Jiacheng Solar	JCSM240	240	48.2	5.01	55.98	5.18	13.4	5.12
	JCSM180	180	36	5	44.8	5.3	13.2	5.15
	JCSM50	50	17.5	2.86	22.35	3.47	11.3	5.2
Jiangsu Shunfeng	SF 180S	180	34.4	5.23	43.2	5.7	13.8	5.18
	SF 160S	160	34.4	4.65	43.2	5	13.3	5.2
Jiangsu Tianbao	TBMM-180	180	36.7	4.9	45	5.3	13.5	5.15
	TBMM-160	160	35.5	4.5	43.5	5	13.2	5.18
Jiawei Industries	JW-120	120	16.9	7.1	21	7.7	13.6	5.12
	JW-100	110	16.7	6.6	20.7	7.5	13.3	5.15
	JW-30	30	17	1.75	21	1.9	11.3	5.2
JSCN Kvazar	KV-160	160	34.2	4.7	43.7	5.11	15.2	5.14
	KV-120	120	16.8	3.62	21.2	4.6	13.9	5.23
	KV-50	50	2.9	16.85	21.5	3.24	13.6	6.3
Jumao Photonics	JM-160	160	36	4.5	44	4.9	13.9	5
	JM-80W	80	18	4.5	22	4.9	13	5.095
	JM-50	50	17.3	2.9	21.7	3.2	11.3	5.1

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων (συνέχεια).

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς P _{dc} (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο-κύκλωσης V _{oc} (V)	Ρεύμα βραχυ-κύκλωσης I _{sc} (A)	Απόδοση (%)	Κόστος (€/W)
Kaneka	T-EC120	120	67	1.8	91.8	2.38	13.5	4.95
	G-EA060	60	67	0.9	91.8	1.19	11.4	5
KD Solar	KDS 200	200	25.4	7.89	32.3	8.43	14	5.16
	KDS 125	125	17.8	7.04	22.1	7.66	13.4	5.2
Korax	KS-240	240	31.97	7.51	37.38	8.06	14.2	4.85
	KS-160	160	17.5	9.14	21.6	9.7	13.8	4.9
Kyocera	KC-200GH	200	26.3	7.61	32.9	8.21	14.3	4.497
	KC-130GT	130	17.6	7.39	21.9	8.02	13.5	4.524
	KC-50T	54	17.4	3.11	21.7	3.31	12.2	4.873
Maharashi Solar	MOM-150	150	33	4.57	42	5.3	13.5	5.1
	MOM-120	120	17	7.32	21	7.6	13.2	5.15
	MOM-50	50	16.4	3.05	21	3.6	11.1	5.25
Mitsubishi	TD190	190	24.7	7.71	30.8	8.23	13.7	4.269
	MF120	120	17.6	6.84	22	7.36	11.9	4.5
Naps	NP130GK	130	17.3	7.5	22.1	8.1	13.1	4.97
New Tomorrow	NTP-160	160	26	5.77	32.56	6.81	13.2	5.25
	NTP-110	110	17.28	6.37	21.6	6.81	13	5.28
	NTP-50	50	17.28	2.9	21.6	3.36	11.1	5.3
Ningbo Solar Energy	TPB-175	175	35.4	4.95	43.8	5.26	13.7	4.56
	TPB-140	140	34	4.12	42.4	4.56	11	4.6
	TDB-50	50	17.1	2.92	21.6	3.26	11.3	4.62
Pevafersa	-	180	35.3	5.1	43.4	5.4	13.5	4.98
Photon Solar Energy	PM0110	110	32	3.35	40	3.8	13.4	5.12
	PM0090	90	32	2.7	40	3.1	13.2	5.18
	PM0050	50	16	3.4	20	3.47	11.1	5.2
Photowatt	PW6-230	230	34.9	6.6	43.6	7.2	12.3	4.127
	PW1650	175	35	5	43.4	5.3	13.1	4.127
	PW500	50	17.2	2.9	21.6	3.1	10.8	5.6
Prim-Sola Energy	BN-180L	180	35	5.14	43	5.81	13.4	4.9
	BN-165L	165	35	4.72	43	5.19	13	5
	BN-50M	50	17.5	2.86	21.5	3.23	11	5.1
PSE	KPEM170	170	35.1	4.58	44.3	5.44	13.6	4.85
	KPEM80	80	17.4	4.59	22.1	4.85	13.2	4.96
PST	PST236GT	236	29.45	8	36.85	8.65	14.2	4.68
Pubsolar	GYS185C1	185	36.5	5.1	43	5.4	12.8	4.87
	GYS150C	150	34	4.4	43	4.9	12.4	5
	GYS50D						10.6	5.06

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων (συνέχεια).

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς Pdc (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο-κύκλωσης Voc (V)	Ρεύμα βραχυ-κύκλωσης Isc (A)	Απόδοση (%)	Κόστος (€/W)
PV Enterprise	MTF1-220	220	29.2	7.54	36.6	8.1	13.9	4.75
	150WP	150	17.6	8.52	21.6	9.44	12.9	4.82
	55WP	55	17.2	2.9	20	3.4	11	4.98
PVT-Austria	PVT255	255	30.9	8.25	37.1	9	14	5.03
	PVT-150	150	16.6	9.05	19.6	9.7	13.3	5.14
	PVT-50	50	16.4	3.1	20	3.5	10.6	5.65
Qixin	QXC200	200	29.4	6.82	36	8	12.8	4.87
	QXC160	160	34.4	4.65	43.2	5	12.3	4.85
	QXC50	50	17.2	2.9	21.6	3.2	10.5	5.02
Razastan Electronics	50W36	50	17	2.94	21.5	3.4	11	5.12
Raloss Energy	SR180S	180	23.7	7.17	-	-	13.5	4.98
	SR160S	160	23.7	7.17	-	-	12.2	5.05
	SR50S	50	17.5	4.54	-	-	10.8	5.1
Rixin	MBFQ100	100	17				12.6	5
	MBF72A	72	17				12.2	5.075
	MBF54	54	17				10.5	5.12
S.E. Project	SEM220	220	30.01	6.9	37	7.8	13.9	5.75
	SEM150	150	34.9	4.3	43	4.6	12.8	5.98
	SEM 50	50	16.64	3.11	20.24	3.32	11.6	7.54
Sanyo	HIP-215	215	42	5.13	51.6	5.61	17.2	5.31
	HIP-63S1	63	18.1	3.49	22.6	3.75	13.5	5.848
Scheuten Solar	200-P5 S+	230	47.5	4.48	58.8	5.14	14	5.08
	150-P5 S	160	35	4.47	43.9	5	13	5.12
Schott Solar	ASE-275	283	58.2	4.87	72.3	5.33	13.5	4.537
	ASE-165	165	36	4.58	43.8	5.18	11.8	4.779
	ASI-F-32	32.2	16.8	1.92	22.8	2.5	11.5	5.068
Shanghai New Energy	SST 265	280	35.5	7.89	44	8.68	14.5	4.87
	SST-170	160	34.9	4.72	43.4	5.2	12.54	4.9
Shanghai Solar Energy	S-180C	180	36	5	45	5.5	12.3	4.92
	S-165DJ-C	165	36.5	4.78	44	5.35	12.2	5.04
	S-50D	50	17	2.95	21.5	3.25	11	5.12
Shangghai ST Solar	ST-210W	210	42	5	53	5	12.7	4.97
	ST-160W	160	34	4.71	43	5.23	12	5.06
	ST-50S	50	17.5	3.03	-	-	10.8	5.18

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων(συνέχεια).

Κατασκευ- αστής	Μοντέλο	Ονομα- στική ισχύς Pdc (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο- κύκλωσης V _{OC} (V)	Ρεύμα βραχυ- κύκλωσης I _{SC} (A)	Από- δοση (%)	Κόστος (€/W)
Sharp	ND-208U	208	28.71	7.25	36.3	7.99	12.8	4.97
	ND-167U	167	22.97	7.27	29.04	8.02	12.7	5.06
	ND-62RU	62	8.6	7.2	10.8	8	12	5.18
Shenyu Solar	SHY-240	240	34.4	6.98	43.2	7.7	12.4	4.82
	SHY-160	160	35.4	4.65	43.2	5	12	4.98
	SHY-50	50	17.2	2.9	21.6	3.2	11.3	5.12
Shenzhen Topray Solar	TPS-105	180	35.2	5.1	43.4	5.5	12.9	4.72
	TPS-105	110	35.2	3.12	43.2	33	12.2	4.9
	TPS-105	50	17.2	2.91	21.5	3.2	11.6	5.16
Shurjo Energy	SE 200	200	28.3	7.05	32.9	8.21	12.5	4.87
	SE 130	130	18.75	6.97	21.92	8.17	12.3	4.92
	SE 25TFC	25	18.4	1.4	28	2	11.2	5.18
Signet Solar	-	180	-	1.1	196	1.4	12.4	4.93
	-	90	-	1.1	96	1.4	12.2	5.06
Siliken	SLK60P6L	233	29.9	7.8	37.2	8.34	12.8	5.03
	SLK36P6L	133	18	7.39	22.3	7.92	12.3	5.12
Solar Power Ind	SPI-M100	100	17	5.9	22	6.9	12.4	5.035
	SPI-M050	50	17	3	22	3.5	11	5.14
Solar Swiss	150WP	150	33.7	4.45	43.5	4.9	12.6	5.085
Solar World	SW 225	225	29.5	7.36	36.8	8.15	14.7	5.85
	SW 170	170	35.5	4.68	44	5.1	14.1	6
Solarday	PX60	230	29	7.93	37.7	8.54	13.8	5.12
Solar Fabrik	SF 200A	220	28.6	7.7	36.4	8.15	13.9	4.97
	SF 150	165	36	4.59	44.3	5.07	12.2	5.045
Solaria Energia	S6M230	230	30.2	7.62	37.2	8.01	14.3	5.22
Solartec SA	KS 80	80	17.4	4.6	21.7	5.01	12.2	5.14
	KS50S	50	17.4	2.87	21.7	3.13	11.4	5.32
Solartec SRO	SG 72-180	180	36	5	44.4	5.25	12.8	5.175
	SG 72-150	150	35.2	4.26	43.2	4.72	13.2	4.98
Solartron	SP 125	125	17.3	7.23	21.1	8.02	12.3	5.08
	SP 80	80	17.1	4.67	21.3	5.3	12	5.18
	SP 55	55	17.9	2.91	21	3.14	12	5.425
Solarwatt	M-230	250	48.3	5.18	59.4	5.65	14	4.85
	M-135	135	27.5	5.01	33.8	5.49	13.2	5.075

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων(συνέχεια).

Κατασκευ- αστής	Μοντέλο	Ονομα- στική ισχύς Pdc (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο- κύκλωσης V _{OC} (V)	Ρεύμα βραχυ- κύκλωσης I _{SC} (A)	Από- δοση (%)	Κόστος (€/W)
Solar Wind Europe	MSW 120	120	34	3.53	43.4	4.1	13.5	5.12
	MSW 80	80	17	4.71	21.6	5.54	13	5.175
	MSW 50	50	17.4	2.87	21.6	3.23	11.2	5.57
Salon AG	M 230	240	29.7	8.1	36.7	8.8	14.63	4.58
	P 180	170	23	7.4	30	8.1	12.34	4.98
Soltech	P-SOL	160	34.4	4.65	43.2	5.03	13.5	5.045
	P-SOL	110	35.2	3.12	43.2	3.2	13.3	5.12
	P-SOL	50	17.2	2.9	21.6	3.2	13.8	5.67
Solterra SA	SOL 180H	180	37.2	4.8	44.4	5.2	13.4	5.087
	SOL 155H	155	34.2	4.5	43.4	5.2	12.8	5.145
SP Solar	SP-165	165	36	4.78	5.35	44	13.4	5.065
	S-125D	125	17.5	7.15	29.2	8.2	12.6	5.185
	S-50D	50	17	2.95	21.5	3.25	11.3	5.58
Sunlink PV	SL-190-18	210	27	7.78	33.6	8.44	14.1	5.12
	SL-110-12	130	17.2	7.56	21.6	8.27	13.2	5.215
	SL-55-12	55	17.2	3.2	21.6	3.64	11	5.68
Sunoasis	REW-110S	160	17.4	4.6	21.3	5.12	14.5	5.1
	REW-120S	120	17.4	4.88	21.3	4.88	15.1	5.22
	REW-50S	50	17.8	3.37	60	3.6	15	5.82
Sunpower	SPSM-190	190	25.7	7.4	32.6	7.98	13.4	7.35
	SPSM-170	170	35.6	4.78	44.2	5.15	13.2	7.85
	SPSM-20	20	17.3	1.16	21.3	1.24	11.5	8
Sunrise Solartech	SRM-185	185	36	5.14	43.2	5.76	12.8	2.6
	SRM-90D	90	18	5	22	5.6	12.22	3.12
	SRM-20D	20	17.3	1.16	21.3	1.24	10.7	4.05
Sunset Solar	AS170	170	35.2	4.82	44.1	5.35	13.5	6.7
	AS130	130	17.2	7.6	21.4	8.2	13	6.74
	SM30L	30	17.2	0.58	20.8	0.64	11.2	9.54
Suntech Solar	STR280S	280	35.2	7.95	44.8	7.95	14.4	5.15
	STP165S	165	34.8	4.47	43.6	5.04	14.1	5.45
	STP060S	60	17.6	3.41	17.6	3.84	12.7	5.653
Sunware	SW-3266	70	-	1.6	48	1.7	13.2	10.745
Sunway	SM230	240	48.9	4.91	59.5	5.2	14.1	4.98
	SM170	170	22.8	7.45	29.3	8.28	13.7	5.15
Symphony Energy	SE-S250	225	30.7	8.14	37	8.87	15.6	5.21
	SE-S91	91	18.4	4.94	22	5.33	14.1	5.15

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων(συνέχεια).

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομαστική ισχύς Pdc (W)	Τάση στη μέγιστη ισχύ (V)	Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (A)	Τάση ανοιχτο-κύκλωσης V _{OC} (V)	Ρεύμα βραχυ-κύκλωσης I _{SC} (A)	Απόδοση (%)	Κόστος (€/W)
Tenesol	TE2200	240	30.3	8	37	8.2	13.9	5.34
	TE1300	140	18.2	7.7	22.4	8	13.2	5.68
	TE505	50	17.6	2.8	21.7	3.1	11.4	6.05
Terra solar	TS20	20	44.7	0.44	62.2	0.55	11.2	6.25
Tianwei Yingli Solar	210(29)	210	29	7.2	36.6	8	14	3.853
	170(23)	170	23	7.2	29	7.9	13.6	4.058
	50(17)	50	17.5	2.85	21.5	3.15	11.23	5.18
Titan Energy Systems	Titan-300	300	48	6.25	57.6	6.82	16.9	4.654
	SI-165	165	27	6.11	32.29	7.12	13.8	4.654
	TF 12/12	14.2	16.8	0.714	22.5	0.966	11	4.654
Topsola Green Energy	TSM60	230	29	7.93	36.6	8.37	13.9	5.16
	TSM48	175	23	7.6	29.3	8.29	13.2	5.32
	TSM-50M	50	17.3	3.18	21.7	3.52	11	5.78
Trina Solar	TSM-180D	180	37.5	4.95	44.5	5.4	14.5	4.1
	TSM-160D	160	34.9	4.6	42.8	5.15	12.5	4.044
Ulica Solar	UL-190M	190	40	4.75	50.4	5.18	12.8	5.32
Uni-Solar	ES-62T	62	15	4.1	21	5.1	12.3	6.371
Webel Solar	W2000R	150	16.7	8.99	21	10.1	12.8	5.4
	W1000	120	16.7	7.19	21	7.94	12.2	5.75
	W50C	50	16.7	3.6	21	3.95	10.8	6.12
Wehai Blue Star	A-si	27	36.5	0.75	49	1.03	10	6.32
Wurth Solar	WSG0025	80	120	0.67	160	0.72	12.4	5.72
	WSK0021	55	12	3.33	22	3.56	11	6.1
Xinhonghua Solar	XHH380	380	72	5.43	86	6	13.9	2.7
	XHH170	170	36	4.72	43	5.1	13.1	2.6
	XHH50	50	18	2.87	21.6	3.16	10.9	2.7
XL Telecom & Energy	-	280	37.44	7.47	44.71	7.97	13.8	4.92
	-	140	18.6	7.55	22.35	7.95	12.5	5.23
Yuhuan Sinosola	GP300	300	60.6	4.95	72.72	5.45	14	3.85
	GP130	130	36	3.61	43.2	3.97	13.12	3.4
	GP50	50	17.8	2.8	21.4	4.27	10.8	3.4
Yunnan Tianda	TD170	170	34.6	4.91	43.8	5.35	12.36	5.25
zhongkexin electronics	ZKX6220	220	28.5	7.75	36.1	8.14	13.5	5.02
	ZKX6120	120	17.2	6.94	21.6	7.21	12.5	5.36
	ZKX5 50	50	17.2	2.89	21.8	3.42	11	5.98
Zytech	ZT 180	180	35.65	5.05	44.28	5.6	15	6.32

3.3 ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και το κόστος των ρυθμιστών φόρτισης που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι κατασκευαστές. Τα κρίσιμα χαρακτηριστικά των ρυθμιστών είναι η τάση του συστήματος και η μέγιστη ένταση φόρτισης. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.3: Κατασκευαστές ρυθμιστών φόρτισης

Κατασκευαστής	
Steca	[3.136]
Outback	[3.137]
Phocos	[3.138]
Conergy	[3.18]
Xantrex	[3.140]

Πίνακας 3.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος ρυθμιστών φόρτισης

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Τάση συστήματος (V)	Μέγιστη τάση φόρτισης (A)	Τιμή (€)
Steca	Solsum 5.0	12/24	5	26
	Solsum 6.6	12/24	6	27
	Solsum 8.8	12/24	8	36
	PR0606N	12/24	6	80
	PR1010N	12/24	10	90
	PR1010	12/24	10	96
	PR1515	12/24	15	114
	PR2020	12/24	20	132
	PR3030	12/24	30	156
	ALPHA	12/24	8	55
	GAMMA	12/24	12	65
	SIGMA	12/24	20	85
	OMEGA	12/24	30	107
	TAROM 235	12/24	35	228
	TAROM 245	12/24	45	264
	TAROM 440	12/24	40	310
Outback	Mx60	12/24/36/48/60	60	758
Phocos	CM 04	12	4	20
	PL 20	12/24/48	20	266
	PL 40	12/24/48	40/7	338,51
	PL 60	12/24/48	60/30	530.60
Conergy	SCC 5 eco	12/24	5	27.93
	SCC 10 eco	12/24	10	33.56
	SCC 15 eco	12/24	15	40.08
	SCC 20 eco	12/24	20	50.37
	SCC 10 version	12/24	10	46.30
	SCC 20 version	12/24	20	63.67
	SCC 40	12/24	40	88.85

Πίνακας 3.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος ρυθμιστών φόρτισης (συνέχεια)

	C-35	12/24	35	157.97
Xantrex	C-40	12/24/48	40	210.62
	C-60	12/24	60	263.28

3.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Στη ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι τιμές των μετατροπέων που διατίθενται στη παγκόσμια αγορά. Διακρίνονται δυο είδη μετατροπέων: οι μετατροπείς για αυτόνομα και διασυνδεδεμένα συστήματα, στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται οι κατασκευαστές των μετατροπέων. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6 και 3.7.

Πίνακας 3.5: Κατασκευαστές μετατροπέων.

Κατασκευαστής	
Fronius	[3.141]
Outback	[3.137]
Studer	[3.142]
Tripp lite	[3.143]
Cotek	[3.144]
Conergy	[3.139]
Xantrex	[3.140]
SMA	[3.145]
Siemens	[3.146]
Philips	[3.147]

Πίνακας 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος αυτόνομων μετατροπέων

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση εισόδου (V)	Τάση εξόδου (V)	Τιμή (€)
Fronius	550RI	550	24	230	563
	550I	550	12	230	504
	900RI	900	24	230	736
	IS 30	2400	24	230	2400
Outback	FX 2012	2000	12	230	2398
	FX 2024	2000	24	230	2398
	FX2348	2300	48	230	2398
	VFX 2612	2600	48	230	2778
	VFX 3024	3000	24	230	2778

Πίνακας 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος αυτόνομων μετατροπέων (συνέχεια)

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση εισόδου (V)	Τάση εξόδου (V)	Τιμή (€)
Studer	C1600-12	1300	12	230	1981
	C2600	2300	24	230	2248
	HPC 4400	4000	24	230	3978
	HPC 6000	5000	48	230	4630
	HPC 8000	7000	48	230	5689
Tripp Lite	APS X 3636	3600	36	230	1660
	APSX 2424	2400	24	230	1300
	APS X 2012	2000	12	230	1060
	APS X 1250	1250	12	230	680
	APS X 750	750	12	230	540
	PV INT 375	375	12	230	102
Cotek	SK 3000-12	3000	12	230	1440
	SK 3000-24	3000	24	230	1440
	SK 2000-12	2000	12	230	980
	SK 2000-24	2000	24	230	980
	SK 1500-12	1500	12	230	710
	SK 1500-24	1500	24	230	710
	SK 1000-12	1000	12	230	516
	SK 1000-24	1000	24	230	516
	SK 350-12	350	12	230	180
	S 300-24	300	24	230	176
Conergy	MIC 350-12	350	12	230	240
	MIC 350-24	350	24	230	240
	MIC 700-12	700	12	230	428
	MIC 700-24	700	24	230	428
	MIC 1000-12	1000	12	230	513
	MIC 1000-24	1000	24	230	513
	MIC 1500-12	1500	12	230	736
	MIC 1500-24	1500	24	230	736
Xantrex	SW 3024 E	3000	24	230	5022
	SW 3048 E	3000	48	230	5021
	SW 4548 E	4500	48	230	5995
	DR 1512 E	1500	12	230	1379
	DR 1524	1500	24	230	1379
	DR 2424	2400	24	230	1783
	Xpower 150	150	12	230	58
	Xpower 500	500	12	230	236
SMA	SI 3324	3300	24	230	3490
	SI 4248	4200	24	230	3966
	SI 4500	4500	48	230	6982
	SI 5048	5000	48	230	4681

Πίνακας 3.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος συνδεδεμένων μετατροπέων

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση εισόδου (V)	Τάση εξόδου (V)	Τιμή (€)
Fronius	IG 15	2000	150-400	-	1640
	IG 30	2500-3600	150-400	-	1893
	IG 40	3500-5500	150-400	-	2785
	IG 60HV	4600-6700	150-400	-	3100
	IG 300	24000-31000	210-420	-	16952
	IG 400	32000-42000	210-420	-	20686
	IG 500	40000-52000	210-240	-	25246
Siemens	SOLAR 100	100000	450-750	-	54000
Philips	300-T	300	45-135	230	390
	500-T	300	45-230	230	504
	2000 Master-M	2000	80-400	230	2096
Conergy	WR 1700	1700			1515
	WR 4600	4600			2733
	IGP 280K	280000			83933
	IGP 5000	5000			2966
SMA	SUNNY BOY 700	700			1051
	SUNNY BOY 1700	1700			1446
	SUNNY BOY 2500	2500			1907
	SUNNY mini central 8000 TL	8000			3925

3.5 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Στη ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι τιμές των συσσωρευτών που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζονται οι κατασκευαστές. Τα κρίσιμα στοιχεία των συσσωρευτών είναι η τάση και η χωρητικότητα. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στον Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.8: Κατασκευαστές συσσωρευτών.

Κατασκευαστής	
Banner	[3.148]
Delco	[3.149]
Exide	[3.150]
Effecta	[3.151]
Winner MF	[3.152]

Πίνακας 3.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά και κόστος συσσωρευτών

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Τάση (V)	Χωρητικότητα (Ah)	Τιμή (€)
Banner	Solar 230	12	230	387
	Solar 100	12	100	174
Delco	Delphi 2000	12	115	293
	Delphi M27MF	12	105	222
Exide	OpzS 380	2	267/370	265
	OpzS 550	2	391/540	302
	OpzS 660	2	468/645	353
	OpzS 765	2	545/750	394
	OpzS 985	2	700/970	432
	OpzS1650	2	1174/1620	695
	OpzS 1990	2	1411/1950	804
Effecta	BTL 12-33	12	33	85
	BTL 12-45	12	45	116
	BTL 12-55	12	55	143
	BTL 12-80	12	80	199
	BTL 12-100	12	100	223
	BTL 12-120	12	120	264
	BTL 12-150	12	150	331
	BTL 12-200	12	200	427
	BTG 12-33D	12	33	110
	BTG 12-40D	12	40	145
	BTG 12-80D	12	80	258
	BTG 12-100D	12	100	289
	BTG 12-120SD	12	120	336
	BTG 12-150D	12	150	430
Winner MF	12V / 55Ah	12	55	108,20 €
	12V / 75Ah	12	75	148,19 €
	12V / 100Ah	12	100	203,57 €
	12V / 135Ah	12	135	311,78 €
	12V / 210Ah	12	210	363,13 €

3.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] www.aleo-solar.de
- [3.2] www.alfasolar.de
- [3.3] www.alpha.com
- [3.4] www.ammini.com
- [3.5] www.asunenergy.com
- [3.6] www.atersa.com
- [3.7] www.doray.com.cn
- [3.8] www.pvlink.com
- [3.9] www.bjsolar.com
- [3.10] www.time-valiant.com
- [3.11] www.bisol.si

- [3.12] www.bp.com
- [3.13] www.csisolar.com
- [3.14] www.canrom.com
- [3.15] www.celindia.co.in
- [3.16] www.kindersolar.com
- [3.17] www.chinalightsolar.com
- [3.18] www.conergy.gr
- [3.19] www.csgsolar.com
- [3.20] www.cuantumsolar.com
- [3.21] www.dansksolenergi.dk/indexuk.php
- [3.22] www.day4.de
- [3.23] www.dygfdl.com
- [3.24] www.eco-energychina.com
- [3.25] www.electrosolar.it
- [3.26] www.elettrosun.it
- [3.27] www.energetica-pv.com
- [3.28] www.energotech.gr
- [3.29] www.epv.net
- [3.30] www.enfotonsolar.com
- [3.31] www.erasolartech.com
- [3.32] www.ersol.de
- [3.33] www.ertex-solar.at
- [3.34] www.eslsolar.com
- [3.35] www.etasolar.com
- [3.36] www.feidapv.com
- [3.37] www.fitcraft.cz
- [3.38] www.fortop.net
- [3.39] www.gmzgsolar.com
- [3.40] www.freeenergyeurope.com
- [3.41] www.gb-sol.co.uk
- [3.42] www.gepower.com/prod_serv/products/solar
- [3.43] www.photovoltaicosumisura.it/english
- [3.44] www.globalsolar.com
- [3.45] www.gruposolar.es
- [3.46] www.zre-ot.de
- [3.47] www.china-solar.com
- [3.48] www.heckert-solar.com
- [3.49] www.heliotechnology.info/EN
- [3.50] www.hopeed.com

- [3.51] www.abc-solar.gr
- [3.52] www.ifv-ensol.com
- [3.53] www.isofoton.com
- [3.54] www.jcsolar.com
- [3.55] www.sf-pv.com
- [3.56] www.tianbao-pv.com
- [3.57] www.solarchina.com
- [3.58] www.kvazar.com
- [3.59] www.solargenerator.com
- [3.60] www.pv.kaneka.co.jp
- [3.61] www.kdsolar.com
- [3.62] www.korax.hu/solar
- [3.63] www.kyocerasolar.com
- [3.64] www.maharishisolar.com
- [3.65] www.global.mitsubishielectric.com
- [3.66] www.napssystems.com
- [3.67] www.sourcesolar.com
- [3.68] www.nbsolar.com
- [3.69] www.pevaferesa.com/en
- [3.70] www.photonsolar.com
- [3.71] www.photowatt.com
- [3.72] www.prim-sola.com
- [3.73] www.psec.co.kr
- [3.74] www.pstsolar.com
- [3.75] www.pubsolar.com
- [3.76] www.pv-enterprise.com
- [3.77] www.pvt-austria.at
- [3.78] www.nbqxsolar.com
- [3.79] www.reiljp.com
- [3.80] www.raloss.com
- [3.81] www.rixinsolar.com
- [3.82] www.se-project.it
- [3.83] www.sanyo.co.jp/clean/solar
- [3.84] www.scheutensolar.de
- [3.85] www.rweschottsolar.com
- [3.86] www.eastsunever.cn
- [3.87] www.ssec-china.com
- [3.88] www.st-solar.com
- [3.89] www.sharppusa.com/solar

- [3.90] www.czshy.com
- [3.91] www.topraysolar.com
- [3.92] www.shurjo-energy.com
- [3.93] www.signetsolar.de/index.htm
- [3.94] www.siliken.com
- [3.95] www.solarpowerindustries.com
- [3.96] www.solar-swiss.ch
- [3.97] www.solarworld.de
- [3.98] www.solarday.it
- [3.99] www.solar-fabrik.de
- [3.100] www.solariaenergia.com
- [3.101] www.solartec.com.ar
- [3.102] www.solartec.cz
- [3.103] www.solartron.co.th
- [3.104] www.solarwatt.de
- [3.105] www.solar-windeurope.com
- [3.106] www.solonag.com
- [3.107] www.soltechpv.com/a
- [3.109] www.solterra.ch
- [3.110] www.sp-solar.com
- [3.111] www.sunlink-pv.cn
- [3.112] www.sunoasis.com.cn
- [3.113] www.wxsunpower.com
- [3.114] www.srsolartech.com
- [3.115] www.sunset-solar.de
- [3.116] www.suntech-power.cn
- [3.117] www.sunware.de
- [3.118] www.sunways.de
- [3.119] www.symphonyenergy.com
- [3.120] www.tenesol.com
- [3.121] www.terrasolar.com
- [3.122] www.yinglisolar.com
- [3.123] www.titan-energy.com
- [3.124] www.topsola.com
- [3.125] www.trinasolar.com
- [3.126] www.ulsolar.com.cn
- [3.127] www.uni-solar.com
- [3.128] www.webelsolar.com
- [3.129] www.bstrpv.com

- [3.130] www.wuerth-solar.de
- [3.131] www.china-solarpower.com
- [3.132] www.xltelecom.net
- [3.133] www.sinosola.com
- [3.134] www.ynsolar.cn
- [3.135] www.zhongkexin.com.cn
- [3.105] www.zytech.es
- [3.136] www.stecasolar.com
- [3.137] www.outbackpower.com
- [3.138] www.phocos.com
- [3.139] www.conergy.gr
- [3.140] www.xantrex.com
- [3.141] www.fronius.com
- [3.142]
- [3.143] www.tripplite.com
- [3.144] www.cotek.com.tw
- [3.145] www.sma-america.com
- [3.146] www.siemens.gr
- [3.147] www.philips.com
- [3.148] www.bannerbatterien.com
- [3.149] www.acdelco.com
- [3.150] www.exide.com
- [3.151] www.effecta.se
- [3.152] www.winnerbattery.net

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RETScreen

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιαστεί ένα λογισμικό για την αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων που αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β σταθμούς. Το όνομα του λογισμικού αυτού είναι RETScreen και διακινείται ελεύθερα μέσω του διαδικτύου [4.1]. Στη συνέχεια θα γίνει μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού αυτού, καθώς και η περιγραφή του τρόπου με τον οποίο ο(οι) ενδιαφερόμενος(οι) χρήστης(ες) εισάγει(ουν) τα απαραίτητα στοιχεία στο λογισμικό [4.3].

4.2 ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ RETScreen

Η φωτοβολταϊκή εφαρμογή RETScreen, είναι ένα λογισμικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού ανά τον κόσμο. Τα αποτελέσματα που παράγει είναι εύκολα προσιτά στο χρήστη και σχετίζονται με την αποτίμηση της παραγωγής ενέργειας, του κόστους των απαιτούμενων εγκαταστάσεων και τη μείωση των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στην εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Όλα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν για τρεις βασικές κατηγορίες φ/β συστημάτων: συνδεδεμένων στο κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού, μη συνδεδεμένων με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού και συστήματα άντλησης νερού. Ειδικότερα, για τα συνδεδεμένα συστήματα, το λογισμικό μπορεί να εφαρμοστεί και για τα κεντροποιημένα και τα απομονωμένα συστήματα, ενώ για τα μη συνδεδεμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση τόσο των αυτόνομων (με χρήση μπαταριών) συστημάτων, όσο και για τα υβριδικά συστήματα (διαθέτουν και άλλη γεννήτρια εκτός από την ηλιακή).

Η αρχική σελίδα του λογισμικού, αποτελεί μια εισαγωγή στο περιβάλλον του, όπου περιγράφονται σύντομα οι δυνατότητες και οι λειτουργίες που αυτό παρέχει. Ακόμα, υπάρχουν παραπομπές σε διάφορες διαδικτυακές τοποθεσίες για τη λήψη περισσότερων πληροφοριών. Στην ίδια σελίδα υπάρχουν και οι διασυνδέσεις με τα υπόλοιπα μέρη του λογισμικού, τα οποία στην ουσία αποτελούνται από ειδικά μορφοποιημένα φύλλα του πακέτου Excel της Microsoft.

Το κύριο μέρος του λογισμικού αποτελείται από πέντε λογιστικά φύλλα. Αυτά είναι τα ακόλουθα: 1) το Ενεργειακό Μοντέλο, 2) η Ηλιακή Παραγωγή και το Φορτίο του Συστήματος, 3) η Ανάλυση Κόστους, 4) η Ανάλυση Κόστους Μείωσης των Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (με το οποίο δε θα ασχοληθούμε) και 5) η Χρηματοοικονομική Ανάλυση.

Παρακάτω θα περιγραφούν σύντομα όλες οι λειτουργίες που προσφέρει το λογισμικό. Ανάλογα με τον τύπο του μελετώμενου συστήματος, προσφέρονται και οι ανάλογες λειτουργίες. Για παράδειγμα, άλλη αντιμετώπιση υπάρχει για σύστημα μη συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και άλλη προκειμένου για συνδεδεμένο σύστημα. Στη συνέχεια θα περιγραφούν αναλυτικά όλες οι λειτουργίες που προσφέρονται για μη συνδεδεμένο σύστημα, αφού είναι και η πιο γενική περίπτωση. Οι διαφορές από το συνδεδεμένο σύστημα είναι ότι:

- α) Δεν χρειάζεται μέσο αποθήκευσης (μπαταρίες) της παραγόμενης ενέργειας, αφού η ενέργεια διατίθεται απευθείας στο δίκτυο.
- β) Δεν καθορίζεται από το λογισμικό το μέγεθος της φ/β συστοιχίας, αλλά από το χρήστη, ενώ η ενέργεια που προσφέρεται στο δίκτυο θεωρείται ίση με την ονομαστική ισχύ της συστοιχίας.
- γ) Λαμβάνονται υπόψη το γεγονός ότι η ενέργεια που προσφέρεται στο δίκτυο είναι μειωμένη κατά τις απώλειες που παρατηρούνται στο μετατροπέα. Για το λόγο αυτό απαιτείται η γνώση του βαθμού απόδοσης του μετατροπέα και ο ρυθμός απορρόφησης της φ/β ενέργειας από το δίκτυο.

Στην περίπτωση που πρόκειται για εφαρμογή άντλησης νερού, είναι λογικό να υπεισέρχονται κάποιες διαφορές σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις συστημάτων. Οι διαφορές αυτές αφορούν στις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται. Για τη χρηματοοικονομική ανάλυση, οι εξισώσεις είναι οι ίδιες. Η σημαντικότερη διαφορά εδώ είναι ότι η απαιτούμενη ενέργεια από το σύστημα, αποτιμάται σε υδραυλική απαιτούμενη ενέργεια, μετρούμενη σε Joule. Υπάρχουν ειδικές εξισώσεις για τον υπολογισμό αυτής της ποσότητας ενέργειας, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη και διάφορες παραμέτρους, όπως το συντελεστή απωλειών λόγω τριβής στις σωληνώσεις. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται, με βάση το βαθμό απόδοσης της αντλίας, καταλήγουν στη μετατροπή της απαιτούμενης ενέργειας σε υδραυλική ενέργεια, μέσω κατάλληλων εξισώσεων, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα.

Γενικότερα, το λογισμικό προσφέρει ικανοποιητική βοήθεια σε ότι αφορά τις απαιτούμενες πληροφορίες εισόδου και καθοδηγεί το χρήστη με τρόπο ώστε κάθε φορά να του επισημαίνονται τα στοιχεία που πρέπει να εισάγει.

4.3 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το ενεργειακό μοντέλο και ο τρόπος συμπλήρωσής του. Μόλις ο χρήστης εισέλθει στο φύλλο αυτό, του ζητείται να συμπληρώσει κάποια στοιχεία σχετικά με την εξεταζόμενη εφαρμογή. Αυτά είναι: η ονομασία και τοποθεσία εφαρμογής, ο πλησιέστερος σταθμός καιρικών δεδομένων της περιοχής, το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας (από -90° έως 90°), η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για κεκλιμένη επιφάνεια (σε MWh/m^2), η ετήσια μέση θερμοκρασία της περιοχής (σε $^\circ\text{C}$, από -20 έως 30). Το λογισμικό στο σημείο εκείνο υπολογίζει την απαιτούμενη ενέργεια για τις εφαρμογές DC και AC ρεύματος για τους εξεταζόμενους μήνες (σε MWh). Εάν πρόκειται για σύστημα άντλησης νερού, υπολογίζεται επιπλέον η απαίτηση νερού για τη χρονική περίοδο που εξετάζεται. Οι εξεταζόμενοι μήνες καθορίζονται στο φύλλο Ηλιακής Παραγωγής και Φορτίου του Συστήματος (βλ. παρακάτω). Η απαίτηση σε ενέργεια για εφαρμογές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος καθορίζεται από τη χρήση του συγκεκριμένου συστήματος και το εκάστοτε απαιτούμενο φορτίο και υπολογίζεται στο φύλλο SR&SL.

4.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Στο ίδιο λογιστικό φύλλο, ζητείται η περιγραφή των χαρακτηριστικών του υπό εγκατάσταση συστήματος. Αρχικά καθορίζεται ο τύπος του συστήματος, δηλαδή εάν είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό σύστημα παροχής ηλεκτρισμού (on-grid), μη συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο (off-grid) ή σύστημα άντλησης νερού (water pumping). Ο τύπος καθορίζεται στο φύλλο Ηλιακής Παραγωγής και Φορτίου του Συστήματος. Ακόμη, ζητείται να δηλωθεί εάν το σύστημα θα διαθέτει επιπλέον γεννήτρια παραγωγής ενέργειας, πέρα από την ηλιακή και τις μπαταρίες. Επιπλέον, ζητείται να καθοριστεί ο τύπος της βασικής πηγής ενέργειας του συστήματος (γεννήτρια, θερμοηλεκτρική

γεννήτρια, επέκταση δικτύου, μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή άλλος τύπος) και ο τύπος του καυσίμου που αυτή χρησιμοποιεί (φυσικό αέριο, προπάνιο, πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη ή άλλος τύπος). Τέλος, ο χρήστης καλείται να εισάγει την ακριβή κατανάλωση της βασικής πηγής, σε lt/kWh .

4.3.2 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στη συνέχεια εκτιμάται και προτείνεται η χωρητικότητα, σε KW, του μετατροπέα από DC σε AC. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας την υπολογιζόμενη αιχμή του φορτίου, η οποία πραγματοποιείται στο φύλλο Ηλιακής Παραγωγής και Φορτίου του Συστήματος. Αιχμή φορτίου θεωρείται το άθροισμα όλων των φορτίων του ίδιου τύπου (π.χ. AC). Έπειτα, ο χρήστης καλείται να εισάγει τη χωρητικότητα του μετατροπέα, την απόδοσή του και τις απώλειες ενέργειας. Στην περίπτωση που περιγράφεται φ/β σύστημα άντλησης νερού, τα χαρακτηριστικά που ζητούνται επιπλέον είναι ο τύπος της χρησιμοποιούμενης αντλίας (AC ή DC) και η απόδοσή της. Εάν δε χρησιμοποιείται επιπλέον πηγή παραγωγής ενέργειας, οι αντίστοιχες πληροφορίες παραλείπονται.

4.3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ακολουθεί η περιγραφή των χαρακτηριστικών των μπαταριών που θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα. Ο χρήστης θα περιγράψει τις απαιτήσεις του επιλέγοντας μια από τις επιλογές που του παρέχει το λογισμικό. Έτσι, δίδονται οι ημέρες αυτονομίας που επιθυμεί ο χρήστης για τις μπαταρίες (έως 15), η ονομαστική τάση λειτουργίας της μπαταρίας (σε V), η απόδοση της μπαταρίας, η μέγιστη στάθμη εκφόρτισης, ο έλεγχος της θερμοκρασίας της μπαταρίας (εδώ παρέχονται τρεις επιλογές: περιβάλλοντος, σταθερή, και ελάχιστη) και η ελάχιστη θερμοκρασία της μπαταρίας (σε $^{\circ}\text{C}$) και η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας (σε Ah). Το λογισμικό εκτιμά εδώ τη μέση υποβάθμιση της μπαταρίας λόγω θερμοκρασίας και την προτεινόμενη ονομαστική χωρητικότητα των μπαταριών (σε Ah). Στην περίπτωση ενός φ/β άντλησης νερού, οι πληροφορίες που αφορούν το σύστημα συσσώρευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, παραλείπονται.

4.3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Στο επόμενο τμήμα του λογισμικού ακολουθεί η περιγραφή του φ/β πλαισίου για το σύστημα που μελετάται. Ο χρήστης επιλέγει τον τύπο των ηλιακών κυττάρων (μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, άμορφο πυρίτιο, CdTe, CIS ή άλλος τύπος). Συμπληρώνεται και η κατασκευάστρια εταιρεία του φ/β πλαισίου, χωρίς καμία επίπτωση στους υπολογισμούς. Ακολουθώντας, δίνεται η ονομαστική απόδοση του πλαισίου, η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών κυττάρων (σε $^{\circ}\text{C}$), ο θερμοκρασιακός συντελεστής του πλαισίου (σε $\%/^{\circ}\text{C}$), ο ελεγκτής του πλαισίου (προσφέρονται δύο επιλογές: ανιχνευτές μέγιστου σημείου λειτουργίας και αναρρίχησης). Ακόμη, συμπληρώνονται οι τυχόν ενεργειακές απώλειες του φ/β πλαισίου. Στο σημείο αυτό το λογισμικό εκτιμά την προτεινόμενη ονομαστική ισχύ του πλαισίου (σε kWp). Επίσης, συμπληρώνεται η ονομαστική ισχύς του πλαισίου (σε kWp) και το εμβαδόν του (σε m^2). Η περιγραφή είναι ίδια και στην περίπτωση αντλητικού συστήματος.

4.3.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά της επιπλέον πηγής ενέργειας του συστήματος. Εδώ συμπληρώνονται η απόδοση του φορτιστή από AC σε DC ρεύμα η χωρητικότητα αυτής της πηγής (σε kW), ο τύπος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και η ακριβής κατανάλωση καυσίμου από την πηγή (σε lt/kWh). Το λογισμικό εκτιμά και προτείνει τη χωρητικότητα που πρέπει να έχει η επιπλέον πηγή ενέργειας, σε (kW). Εάν πρόκειται για σύστημα άντλησης νερού, οι πληροφορίες που ζητούνται εδώ περιορίζονται στις απώλειες ισχύος του συστήματος.

4.3.6 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Στη συνέχεια, λαμβάνουν χώρα μια σειρά από εκτιμήσεις. Για την περίοδο που εξετάζεται (σε μήνες), υπολογίζονται η ισοδύναμη DC απαιτούμενη ενέργεια (σε MWh), η παραγόμενη ενέργεια από την επιπλέον πηγή ενέργειας, όταν προέρχεται από πετρέλαιο (σε MWh), η ισοδύναμη DC ενέργεια που δεν επιτυγχάνεται (σε MWh), το ακριβές ποσό ενέργειας που αποφέρει η φ/β εγκατάσταση (σε kWh/m²), ο συνολικός βαθμός απόδοσης της φ/β εγκατάστασης και τέλος η προσφορά ανανεώσιμης ενέργειας από το σύστημα (σε MWh ή kWh).

4.4 ΗΛΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Στο τμήμα αυτό του φύλλου Ηλιακής Παραγωγής και Φορτίου του Συστήματος, καθορίζονται τα γεωγραφικά στοιχεία της τοποθεσίας της εγκατάστασης και ο προσανατολισμός της τελευταίας. Έτσι λοιπόν ζητείται, χωρίς επίπτωση στους υπολογισμούς, ο πλησιέστερος σταθμός παροχής μετεωρολογικών δεδομένων, το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (σε μοίρες, με βόρειο προσανατολισμό), καθορίζεται η δυνατότητα κίνησης του φ/β πλαισίου, και εάν υπάρχει, καθορίζεται σε πόσους άξονες πραγματοποιείται η κίνηση αυτή, καθορίζεται η κλίση του φ/β πλαισίου (σε μοίρες) και τελικά καθορίζεται το αζιμούθιο του φ/β πλαισίου (σε μοίρες, από 0° έως 180°).

4.4.2 ΜΗΝΙΑΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

Στο τμήμα αυτό του φύλλου Ηλιακής Παραγωγής και Φορτίου του Συστήματος, ζητούνται πληροφορίες σχετικά με την εξεταζόμενη περίοδο. Η είσοδος των δεδομένων πραγματοποιείται για κάθε μήνα που περιλαμβάνεται στην περίοδο αυτή. Έτσι, για κάθε μήνα του έτους που περιλαμβάνεται στην εξεταζόμενη περίοδο, ο χρήστης σημειώνει με «1» στο αντίστοιχο κελί και μηδέν για όποιον μήνα είναι εκτός της συγκεκριμένης περιόδου. Τα στοιχεία που ζητούνται, είναι η μηνιαία μέση ημερήσια ακτινοβολία που φθάνει σε οριζόντια επιφάνεια (σε kWh/m²/day) για την περιοχή που επελέγει και για τον αντίστοιχο μήνα εντός της εξεταζόμενης περιόδου και η αντίστοιχη μέση μηνιαία θερμοκρασία (σε °C). Με βάση τα δεδομένα αυτά, υπολογίζονται η μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία που φθάνει στο επίπεδο του φ/β πλαισίου (σε kWh/m²/d) και το μηνιαίο ηλιακό κλάσμα (σε ποσοστό %). Ακόμα, υπολογίζονται η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (σε MWh/m²), η ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο (σε MWh/m²) και η μέση θερμοκρασία (σε °C). Τα παραπάνω υπολογίζονται τόσο σε ετήσια βάση, όσο και για την εξεταζόμενη περίοδο.

4.4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Στην τελευταία ενότητα του φύλλου Ηλιακής Παραγωγής και Φορτίου του Συστήματος, υπολογίζονται τα απαιτούμενα ενεργειακά φορτία και των δύο τύπων (AC και DC) για το σύστημα. Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται ο καθορισμός του τύπου του συστήματος (εάν θα είναι συνδεδεμένο ή όχι στο κεντρικό δίκτυο). Ο χρήστης καλείται να δώσει μια περιγραφή για την εφαρμογή που απαιτεί τα φορτία αυτά (χωρίς επίπτωση στους υπολογισμούς) και μετέπειτα να καθορίσει τον τύπο του φορτίου (AC ή DC) που απαιτεί η κάθε εφαρμογή. Στη συνέχεια δίδονται πληροφορίες για τη σχέση μεταξύ ηλιακής ακτινοβολίας και φορτίου. Οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι:

- Η συσκευή/εφαρμογή που καταναλώνει ενέργεια, λειτουργεί για όσο υπάρχει ηλιακή ενέργεια να το τροφοδοτεί, χωρίς την παρεμβολή μπαταριών (ο χρήστης επιλέγει την ένδειξη «*Positive*»).
- Η συσκευή/εφαρμογή που καταναλώνει ενέργεια, έχει την ίδια τιμή κατανάλωσης φορτίου (σταθερό φορτίο) για όλη την ημέρα, κάτι που απαιτεί μπαταρίες (ο χρήστης επιλέγει την ένδειξη «*Zero*»).
- Η συσκευή/εφαρμογή που καταναλώνει ενέργεια, καταναλώνει ενέργεια, αφού αυτή πρώτα αποθηκευτεί. Αφορά και διακοπτόμενη κατανάλωση φορτίου, π.χ. ψυγείο (ο χρήστης επιλέγει την ένδειξη «*Negative*»).

Ακόμη, για κάθε εφαρμογή συμπληρώνεται το φορτίο που αυτή καταναλώνει (σε kW), η χρησιμοποίησή της σε ώρες ανά ημέρα (h/d) και η χρησιμοποίησή της σε ημέρες ανά εβδομάδα (d/wk). Τέλος, υπολογίζονται οι απαιτήσεις σε ενεργειακό φορτίο και για τους δύο τύπους (AC και DC) σε kWh για ημερήσια και ετήσια βάση, ενώ υπολογίζεται και η ετήσια αιχμή φορτίου για τον AC τύπο (σε kW).

4.4.3.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

Αξίζει να σημειωθεί πως τα στοιχεία που απαιτούνται για τη συμπλήρωση του φύλλου, είναι σχεδόν ίδια για την περίπτωση μη συνδεδεμένου με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού συστήματος με αυτό ενός συστήματος που είναι συνδεδεμένο με το τελευταίο. Ειδικά στην περίπτωση του συνδεδεμένου συστήματος, απαιτούνται λιγότερες πληροφορίες γενικά, αφού π.χ. δε χρειάζεται να δοθούν πληροφορίες για το σύστημα συσσώρευσης του φ/β συστήματος (μπαταρίες), λόγω του γεγονότος ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν αποθηκεύεται αλλά διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

Στην περίπτωση, όμως, που το περιγραφόμενο φ/β σύστημα προορίζεται για άντληση νερού, υπάρχουν μερικές σημαντικές διαφορές. Οι διαφορές εντοπίζονται στην ενότητα περιγραφής των χαρακτηριστικών του φορτίου. Και σε αυτή τη περίπτωση, όμως, ζητείται προαιρετικά από το χρήστη να δοθεί μια περιγραφή χρήσης του περιγραφόμενου συστήματος άντλησης νερού (π.χ. άρδευση φάρμας, για πότισμα ζώων κλπ). Έπειτα ζητείται ο χαρακτηρισμός του συστήματος (μέσω προσφερόμενων επιλογών), π.χ. για χρήση σε εσωτερικούς χώρους, για άρδευση, για κοπάδια ή άλλη χρήση. Ζητείται έπειτα η μονάδα μέτρησης των μονάδων που θα καταναλώσουν το νερό (π.χ. κατά κεφαλή, κατά άτομο κλπ) και ο αριθμός των μονάδων αυτών. Στη συνέχεια ζητείται η κατανάλωση νερού που πραγματοποιεί κάθε μονάδα, μαζί με τις ανάλογες μονάδες μέτρησης της κατανάλωσης νερού. Στο τέλος, το λογισμικό υπολογίζει την ημερήσια απαίτηση νερού από κάθε εφαρμογή.

Ακολούθως, ο χρήστης καλείται να εισάγει μια σειρά από χαρακτηριστικά για το σύστημα. Αυτά αφορούν την αναρροφητική στάθμη (m), το κατέβασμα της στάθμης του νερού (m), την στάθμη εκκένωσης (m), την στάθμη πίεσης (m) και τις απώλειες λόγω

τριβών (%). Τελικά υπολογίζονται η ημερήσια απαίτηση νερού (σε m^3/day) και το ισοδύναμο ποσό της απαιτούμενης ενέργειας (ημερήσιο και ετήσιο).

4.5 ΤΟ ΦΥΛΛΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Στο φύλλο αυτό πραγματοποιείται η ανάλυση κόστους που σχετίζεται με την εγκατάσταση του μελετώμενου φ/β συστήματος. Αρχικά επιλέγεται ο τύπος του έργου της φ/β εγκατάστασης, ως τυπικός ή ειδικός. Έπειτα επιλέγονται οι ισοτιμίες στις οποίες θα αναφέρονται τα διάφορα κόστη που αναλύονται, καθώς επίσης και τυχόν επιπρόσθετες αναφορές από το χρήστη (π.χ. δεύτερη ισοτιμία κ.ά.). Η κοστολόγηση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα για την πραγματοποίηση του έργου οργανώνονται σε τρεις ενότητες:

- 1) Αρχικά κόστη
- 2) Ετήσια κόστη
- 3) Περιοδικά κόστη

4.5.1 ΑΡΧΙΚΑ ΚΟΣΤΗ

Η ενότητα με τα αρχικά κόστη του έργου αποτελείται από πέντε υποενότητες. Στην πρώτη υποενότητα συμπληρώνονται τα αρχικά κόστη επένδυσης. Πρώτα εισάγονται τα κόστη που πηγάζουν από τη μελέτη σκοπιμότητας του έργου. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν μελέτη της τοποθεσίας εγκατάστασης, του βασικού σχεδιασμού, της ετοιμασίας αναφορών σχετικά με το έργο και τις διάφορες μετακινήσεις των υπευθύνων για διαπραγματεύσεις κτλ. Για παράδειγμα, αν οι διαδικασίες αυτές κοστολογούνται με βάση τις ώρες ενασχόλησης, τότε δίπλα στην κάθε μία από αυτές τις διαδικασίες συμπληρώνεται ο αριθμός των αντίστοιχων ωρών ενασχόλησης και το κόστος για κάθε ώρα ενασχόλησης. Στην ίδια ενότητα συμπληρώνονται και τυχόν διάφορα άλλα έξοδα, καθώς και τα πιθανά κέρδη που θα υπάρξουν. Ας σημειωθεί πως υπάρχει η δυνατότητα σε κάποια δραστηριότητα να χαρακτηριστεί ως πίστωση (credit) ή κόστος (cost), ώστε να γίνουν σωστά οι συνολικοί υπολογισμοί κόστους. Στο τέλος της υποενότητας υπολογίζεται το συνολικό κόστος των διαδικασιών.

Στη δεύτερη υποενότητα διαδικασιών, περιλαμβάνονται οι διαδικασίες ανάπτυξης του έργου. Συγκεκριμένα, στην κατηγορία αυτή έχουμε τα κόστη από αδειοδοτήσεις και εγκρίσεις αιτήσεων, τη συνολική διαχείριση του έργου και πιθανές μετακινήσεις των υπευθύνων για τη διεκπεραίωση τέτοιων διαδικασιών. Και πάλι συμπληρώνεται ο τρόπος κοστολόγησης (π.χ. ανά ώρα ενασχόλησης) και το μοναδιαίο κόστος ενασχόλησης με την κάθε δραστηριότητα. Προβλέπεται και χώρος για τη συμπλήρωση τυχόν έκτακτων εξόδων που αφορούν τις δραστηριότητες αυτές. Στο τέλος λαμβάνονται και εδώ υπόψη τα πιθανά κέρδη, τα οποία λαμβάνονται με κατάλληλο τρόπο υπόψη στους υπολογισμούς του τελικού κόστους αυτών των δραστηριοτήτων.

Η τρίτη υποενότητα διαδικασιών περιλαμβάνει τα κόστη κατασκευής του έργου. Τα κόστη αυτά αφορούν το σχεδιασμό του φ/β συστήματος, το σχεδιασμό της συνολικής υποδομής του συστήματος, την υποδομή των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, τα κόστη διεκπεραίωσης γραφειοκρατικών δραστηριοτήτων και συμβολαίων και την επίβλεψη του έργου. Και εδώ προβλέπεται χώρος για τη συμπλήρωση έκτακτων εξόδων σχετικά με τις δραστηριότητες αυτές και τα πιθανά κέρδη που προκύπτουν από αυτές, ώστε τελικά να υπολογισθεί κατάλληλα το συνολικό τους κόστος.

Στην τέταρτη υποενότητα διαδικασιών, λαμβάνονται υπόψη τα έξοδα που οφείλονται στην απόκτηση του απαραίτητου φ/β εξοπλισμού για την ολοκλήρωση του έργου. Τέτοια έξοδα αποτελούν η κατασκευή στηρικτικής υποδομής των φ/β πλαισίων (σε m^2), η αγορά μετατροπέα και βοηθητικής πηγής ενέργειας (συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά τους, δηλαδή εδώ σε kW ενέργειας προερχόμενης από AC ρεύμα και kW αντίστοιχα), η απόκτηση μπαταριών για τη συσσώρευση ενέργειας (σε kWh), η απόκτηση λοιπού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (π.χ. η ονομαστική ισχύς των φ/β πλαισίων) και η εγκατάσταση του συστήματος και η μεταφορά του εξοπλισμού. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη τα πιθανά κέρδη από τη χρήση της βοηθητικής γεννήτριας ενέργειας για τον υπολογισμό του τελικού κόστους των δραστηριοτήτων αυτών.

Στην πέμπτη υποενότητα προβλέπεται η συμπλήρωση διάφορων εξόδων που δεν εμπίπτουν σε καμία από τις παραπάνω τέσσερις διαδικασίες, καθώς και τυχόν αποκλίσεις από τις εκτιμήσεις των εξόδων που περιγράφηκαν πριν, ως ποσοστό του συνολικού κόστους όλων αυτών των δραστηριοτήτων.

Αθροίζοντας τα συνολικά κόστη των πέντε υποενότητων, προκύπτει το συνολικό αρχικό κόστος του έργου.

4.5.2 ΕΤΗΣΙΑ ΚΟΣΤΗ

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα ετήσια κόστη (κέρδη) που προκύπτουν από την εφαρμογή του έργου.

Στην πρώτη υποενότητα δραστηριοτήτων περιλαμβάνονται οι ασφαλίσεις για το έργο, οι φόροι και παρόμοια έξοδα καθώς και η μισθοδοσία των απασχολούμενων. Ακόμα, λαμβάνονται υπόψη τυχόν αποκλίσεις από τα διάφορα έξοδα, ως ποσοστό επί των συνολικών εξόδων, οι οποίες περιλαμβάνονται στο συνολικό υπολογισμό, μαζί με τα προσδοκώμενα κέρδη.

Στη δεύτερη υποενότητα, περιλαμβάνονται τα έξοδα από τη χρησιμοποίηση καυσίμου στην επιπλέον γεννήτρια. Τα έξοδα αυτά προέρχονται από το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιείται πετρέλαιο, η μονάδα μέτρησης του καταναλούμενου καυσίμου είναι σε λίτρα («L»). Ο χρήστης εισάγει το μοναδιαίο κόστος για την κάθε μονάδα κατανάλωσης καυσίμου και έτσι υπολογίζεται το συνολικό κόστος του καυσίμου, μαζί με τα πιθανά έξοδα που προκύπτουν από τη μεταφορά του καυσίμου.

4.5.3 ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΚΟΣΤΗ

Στην ενότητα αυτή, υπολογίζονται τα περιοδικά κόστη (κέρδη) του έργου. Τέτοια έξοδα αναφέρονται στην περιοδική αντικατάσταση των μπαταριών. Ακόμα, λαμβάνονται υπόψη τα έξοδα ή/και τα κέρδη από τη χρησιμοποίηση της επιπλέον γεννήτριας.

Ας σημειωθεί πως με τον υπολογισμό όλων των επιμέρους παραμέτρων κόστους, δίπλα στο σημείο όπου αναγράφεται το σύνολο κάθε υποενότητας δραστηριοτήτων, αναγράφεται και το σχετικό κόστος τους, δηλαδή, το ποσοστό % του κόστους που αναλογεί στην κάθε υποενότητα ως προς το συνολικό κόστος.

4.6 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στο φύλλο αυτό συνοψίζονται όλοι οι προηγούμενοι υπολογισμοί (του ενεργειακού μοντέλου, της ηλιακής παραγωγής και του φορτίου του συστήματος, της ανάλυσης του κόστους μείωσης εκπομπής αερίων θερμοκηπίου), ενώ πραγματοποιούνται και μερικοί νέοι υπολογισμοί, όπως π.χ. εάν το έργο συμφέρει από οικονομικής πλευράς. Το φύλλο της χρηματοοικονομικής ανάλυσης χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες:

- 1) Ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο
- 2) Χρηματοοικονομική παράμετροι
- 3) Κόστη επενδύσεων
- 4) Χρηματοοικονομική αξιολόγηση

4.6.1 ΕΤΗΣΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Στο ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο επαναλαμβάνονται πληροφορίες από το πρώτο φύλλο (δηλαδή το ενεργειακό μοντέλο), και αφορούν την τοποθεσία όπου γίνεται η εφαρμογή και το είδος της εφαρμογής (on-grid ή off-grid), την ποσότητα της αποδιδόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (σε MWh), τη χωρητικότητα της επιπλέον γεννήτριας (σε kW), την ονομαστική ισχύ της φ/β συστοιχίας (σε kWp), την ισοδύναμη ενεργειακή DC απαίτηση (σε MWh), την επιθυμία ή μη του χρήστη για ανάλυση εκπομπής αερίων θερμοκηπίου και το είδος του καυσίμου που υποκαθίσταται. Εάν ο χρήστης στο φύλλο ανάλυσης κόστους μείωσης εκπομπής αερίων θερμοκηπίου έδωσε καταφατική απάντηση για τη χρήση αυτού του φύλλου, τότε στην υποενότητα αυτή εμφανίζονται επιπλέον η καθαρή μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και η καθαρή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για διάρκεια ίση με τη χρονική διάρκεια πίστωσης για τη μείωση εκπομπής αερίων θερμοκηπίου.

4.6.2 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Στην υποενότητα αυτή, εξετάζονται διάφορες χρηματοοικονομικές παράμετροι που υπεισέρχονται στο πρόβλημα. Τέτοια παράμετρος είναι τα έξοδα που αποφεύγονται εξαιτίας της ελάττωσης χρήσης υγρών ή αερίων καυσίμων. Η παράμετρος αυτή μετράται σε πίστωση χρηματικών μονάδων ανά λίτρο καυσίμου που εξοικονομείται (π.χ. σε €/lt). Ακόμα, ο χρήστης εισάγει το κέρδος (σε €/kWh) για κάθε kWh που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης, εισάγονται και πληροφορίες όπως ο ρυθμός αύξησης του ενεργειακού κόστους (σε %), ο πληθωρισμός (σε %), το επιτόκιο προεξόφλησης (σε %) και ο κύκλος ζωής του επενδυτικού έργου (σε έτη).

Εάν υπάρχει κάποιο κέρδος ή πιστώσεις από την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τότε απαιτούνται και νέα στοιχεία. Αυτά είναι ο χρόνος παραγωγής (σε έτη) ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ο ρυθμός αύξησης (σε %) των κερδών από την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, το κέρδος σε χρηματικές μονάδες ανά τόνο CO₂ που δεν εκπέμπεται από την εγκατάσταση, η διάρκεια (σε έτη) εφαρμογής της πολιτικής μείωσης των αερίων θερμοκηπίου και ο ρυθμός αύξησης των κερδών από την εφαρμογή πολιτικής μείωσης των αερίων θερμοκηπίου. Ακόμα, ο χρήστης καλείται να εισάγει (εάν υπάρχουν) το μοναδιαίο κόστος (σε €/kWh) που αποφεύχθηκε για την υπερπαραγωγή ενέργειας. Επίσης δίνεται (εάν υπάρχει) και το ετήσιο μοναδιαίο κόστος (σε €/kW-yr) για κάθε μονάδα χωρητικότητας του

συστήματος που συνεισφέρει στην εξυπηρέτηση αιχμής του φορτίου στην περιοχή όπου εγκαθίσταται το φ/β σύστημα (ισχύει για διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας φ/β συστήματα).

Ας σημειωθεί πως σε αυτή την υποενότητα ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει (εάν υπάρχει) η αναλογία δανεισμού ως προς τα συνολικά αρχικά κόστη (debt ratio), σε %, και, εάν το επιθυμεί, να πραγματοποιηθεί η ανάλυση της φορολόγησης των εσόδων. Εάν υπάρχει επιτόκιο υπερημερίας, τότε ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει και το επιτόκιο ανατοκισμού των οφειλών (σε %) και τον ορίζοντα εξόφλησης των οφειλών (σε έτη). Εάν ο χρήστης επιλέξει να υπάρξει ανάλυση της φορολόγησης των εσόδων, τότε καλείται να δώσει επιπλέον στοιχεία, τα οποία είναι το ποσοστό % της φορολόγησης επί των εισοδημάτων, εάν υπάρχουν απώλειες κατά την πρόοδο του έργου, η μέθοδος λογιστικής απόσβεσης που θα ακολουθηθεί, το ποσοστό % της φορολογικής βάσης και το ποσοστό (%) απόσβεσης. Ανάλογα με τα στοιχεία που θα δώσει ο χρήστης, υπολογίζεται και τυπώνεται η περίοδος, σε έτη, για την λογιστική απόσβεση.

Τέλος, ο χρήστης ενημερώνει με ένα «ναι» ή «όχι» για το αν υπάρχει περίοδος χάριτος για τη φορολόγηση των εσόδων από το έργο. Ανάλογα με την απάντηση, συμπληρώνεται και η διάρκεια αυτής της περιόδου, σε έτη.

4.6.3 ΚΟΣΤΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

Σε αυτή την ενότητα συνοψίζονται μερικές πληροφορίες που αφορούν το έργο και υπολογίζονται μερικές καινούριες. Έτσι, παρουσιάζονται περιληπτικά τα αρχικά κόστη του έργου που είχαν υπολογιστεί στο φύλλο Ανάλυσης Κόστους. Στο σημείο αυτό ο χρήστης εισάγει το ποσό (εάν υπάρχει) για δωρεές ή κίνητρα, σε χρηματικές μονάδες.

Στη συνέχεια συνοψίζονται τα υπολογισθέντα περιοδικά κόστη του έργου, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο φύλλο Ανάλυσης Κόστους. Το καινούριο εδώ είναι πως προτείνονται τα χρονοδιαγράμματα για το πότε, μέσα στο χρόνο ζωής του επενδυτικού έργου, πρέπει να λαμβάνουν χώρα οι δραστηριότητες που επιφέρουν τα περιοδικά αυτά κόστη. Για παράδειγμα, η αλλαγή μπαταριών στην εγκατάσταση πρέπει π.χ. να γίνεται κάθε δέκα χρόνια, δηλαδή στις χρονιές 10 και 20 από το ξεκίνημα λειτουργίας του έργου, όταν ο χρόνος ζωής του έργου είναι είκοσι χρόνια. Τέτοιο χρονοδιάγραμμα προτείνεται και για την επιθεώρηση της επιπλέον γεννήτριας, όπου είναι δυνατόν να έχουμε και κέρδη από την πρόληψη ζημιών (οπότε το χρονοδιάγραμμα αναφέρεται στο κάθε πότε θα έχουμε εξοικονόμηση χρημάτων από τη δραστηριότητα αυτή). Επίσης, συνοψίζονται και τα ετήσια κόστη, όπως έχουν υπολογιστεί.

Ακολουθούν τα ετήσια έσοδα και η τυχόν εξοικονόμηση χρημάτων από διάφορες δραστηριότητες. Εδώ συνοψίζονται τα ποσά που εξοικονομούνται από τη χρησιμοποίηση ενέργειας από ΑΠΕ, από την εξοικονόμηση εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος, τα έσοδα από την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ και τα έσοδα από τη μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

4.6.4 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται κάποιες παράμετροι, οι οποίες σχετίζονται με χρηματοοικονομικούς υπολογισμούς, καταδεικνύοντας κάποια χαρακτηριστικά για τη βιωσιμότητα του έργου. Αρχικά, εφαρμόζεται η μέθοδος του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (E.B.A) στα δεδομένα χωρίς πρώτα να έχει εφαρμοσθεί φορολόγηση των οικονομικών στοιχείων του έργου. Η μέθοδος E.B.A εφαρμόζεται στη συνέχεια και στα οικονομικά στοιχεία μετά τη φορολόγησή τους.

Ακολουθώντας, εφαρμόζεται η μέθοδος της απλής επανείσπραξης για το επενδυτικό έργο, κατά την οποία υπολογίζεται σε πόσα έτη ο επενδυτής θα εισπράξει πίσω το ποσό της επένδυσής του για το έργο. Έπειτα υπολογίζεται η πιθανή χρονιά, μετά την έναρξη λειτουργίας του έργου, οπότε ο επενδυτής θα λάβει θετική ταμειακή ροή (κέρδος). Ακόμη, εφαρμόζεται το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ), σύμφωνα με το οποίο συγκρίνεται η παρούσα αξία των προβλεπόμενων καθαρών ταμειακών ροών προερχόμενες από το επενδυτικό έργο με την αρχική του δαπάνη [4.2], με τη σύγκριση να πραγματοποιείται στο χρόνο μηδέν (δηλαδή τη στιγμή που ο επενδυτής πραγματοποιεί τη σύγκριση). Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ετήσιες εξοικονομήσεις που επιτυγχάνονται για τη διάρκεια ζωής του έργου, δηλαδή ποίο ποσό θα εξοικονομείται κάθε έτος λειτουργίας του έργου. Εδώ υπολογίζεται ο δείκτης αποδοτικότητας, ο οποίος υπολογίζεται ως ο λόγος της ΚΠΑ του έργου προς τα συνολικά αρχικά κόστη.

Ο χρήστης έπειτα καλείται να απαντήσει εάν επιθυμεί τον υπολογισμό του κόστους για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή και του κόστους που συνεπάγεται η δραστηριότητα μείωσης εκπομπής των αερίων θερμοκηπίου. Ανάλογα με την απάντηση που θα δώσει ο χρήστης, αλλά και σε συνάρτηση με την απάντηση που έδωσε ο ίδιος στο φύλλο Ανάλυσης Εκπομπής Αερίων Θερμοκηπίου, υπολογίζεται το κόστος για τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου. Στη συνέχεια υπολογίζεται το χρέος που προκύπτει για το έργο, ως ακολούθως:

$$(\text{αρχικά κόστη}) - (\text{αρχικά κόστη} \cdot \text{προεξοφλητικό επιτόκιο})$$

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται οι ετήσιες δόσεις αποπληρωμής του χρέους αυτού, για τη διάρκεια αποπληρωμής του χρέους, όπως έχει οριστεί πιο πριν (βλ. § 5.6.2). Τέλος, υπολογίζεται το κόστος παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, σε χρηματικές μονάδες ανά χρησιμοποιούμενη μονάδα καυσίμου. Ας σημειωθεί πως στο φύλλο αυτό, εμφανίζεται ένας πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις ετήσιες ταμειακές ροές για το έργο, για όλη τη διάρκεια ζωής του. Επιπλέον, στο τέλος του φύλλου, εμφανίζεται ένα γράφημα στο οποίο απεικονίζονται οι ταμειακές ροές του έργου ανά έτος [4.2].

4.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[4.1] <http://retscreen.gc.ca>

[4.2] Κ. Ζοπουνίδης, “*Βασικές Αρχές Χρηματοοικονομικού Μάνατζεμντ*”, Πανεστημιακές παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (ΜΑΙΧ), Χανιά 2000.

[4.3] Β. Σταμπολίδης, “*Αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα*”, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί η περίπτωση εγκατάστασης ενός φ/β συστήματος το οποίο είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο διανομής, είναι κεντροποιημένο και δε διαθέτει σύστημα συσσώρευσης (μπαταρία) για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το φ/β σύστημα επιλέχθηκε να έχει έξοδο μεγαλύτερη ή ίση των 80 kW_p. Στη μελέτη που θα γίνει θα υπολογισθούν για κάθε κατασκευάστρια εταιρία το ακριβές ποσό ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση καθώς και οι παρακάτω χρηματοοικονομικοί δείκτες ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και η αξιολόγηση των εταιριών:

1. Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (E.B.A.).
2. Διάρκεια απλής επανείσπραξης (Δ.Α.Ε.).
3. Χρόνος μέχρι την πρώτη καθαρή θετική ταμειακή ροή (Χ.Μ.Π.Κ.Θ.Τ.Ρ.).
4. Καθαρά παρούσα αξία (Κ.Π.Α.).
5. Δείκτης αποδοτικότητας (Δ.Α.).

5.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η τοποθεσία της εγκατάστασης βρίσκεται στο Τορόντο του Καναδά και έχει απεριόριστη ακτινοβολία από τον ήλιο. Η φ/β συστοιχία μπορεί να προσανατολιστεί προς το νότο και η κλίση της έχει επιλεγεί έτσι ώστε να επιτευχθεί μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φ/β πλαίσια θα τροφοδοτούν με την έξοδό τους το δίκτυο μέσω ενός εναλλάκτη.

Τα δεδομένα μεγέθη της εγκατάστασης συνοψίζονται στον Πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1 Δεδομένα της εγκατάστασης

Περιγραφή μεγέθους	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης
Χωρητικότητα εναλλάκτη	$Inv_{capacity} = 72$	kWp
Μέση αποδοτικότητα του εναλλάκτη	$n_{inv} = 90$	%
Απώλειες ισχύος στο σύστημα	$P_{losses} = 0$	%
Γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εφαρμογής της μελέτης	$\varphi = 43,7$	°
Κλίση φ/β πλαισίου	$\beta = 30$	°
Απαιτούμενη έξοδο του συστήματος	≥ 80	kWp

Τα τυπικά χρηματοοικονομικά μεγέθη για την ανάλυση, δίνονται ως εξής: πληθωρισμός 2,5%, κλιμάκωση κόστους ενέργειας 5,0%, ικανότητα δανεισμού 60%, εξοφλητικό επιτόκιο χρέους 8,5%, προεξοφλητικό επιτόκιο 9,0% και προθεσμία εξόφλησης χρέους 10 χρόνια. Τέλος, η διάρκεια ζωής του επενδυτικού έργου ορίζεται στα 25 χρόνια.

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, σε kWh, καθώς και ο αριθμός των απαιτούμενων φ/β πλαισίων για το εκάστοτε μοντέλο κάθε κατασκευάστριας εταιρίας:

Πίνακας 5.2 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Aleo solar / s 17	422	97540
Alfa solar / 180PQ6L	391	97510
Alpha / PV 170	471	97322
Asun / ASM 210	381	97334
Atersa / A-222	361	97494
Beijing Doray / DR 200D	400	97322
Beijing solar / m 150	534	97443
Bisol / 215 Wp	373	97559
Bp / 7180	445	97443
Canadian / CS6P-230	350	97370
CEL / PM 160	500	97322
Chinalight / CLS-210	382	97334
Conergy / E 220P	364	97419
CSG / CSG 105	762	97334
Cuquantum / Sunport-72M	286	97322
Danish / HEM 210	381	97334
Day4Energy / 48 MC	422	97540
DongYing / GW080D6	616	97419
ECO / 156 series	286	97419
Electro / ES 225	356	97443
Energetica / E 2000	349	97516
Energotech / A-130	616	97419
Enfoton / 60E9M	320	97322
Era / ESPSC260	308	97419
Ersol / M235	341	97486
Ertex / VSG 580	138	97370
ESL / SP 180	445	97443
Etasolar / ETA-L160	500	97322
Feida / FD 280	286	97419
Fitcraft / FCP 195	411	97498

Πίνακας 5.2 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια)

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Fortop / Ft-165D	485	97352
Foshan / TC 210	381	97334
G. E. / GEPV 200	400	97322
Global Service / 156M54	364	97419
Global Solar / GSE 120	667	97370
GP / GP sol-120	667	97370
Gruposolar GS 60156	344	97506
GSS / ZRE 237	338	97450
Guanghi / GHDC 270	297	97553
Heckert / HS-PXL	373	97559
Helios / HT 230	348	97370
Hope / HBM 210	381	97334
IBC / IBC-225	356	97443
Isosfoton / IS 200	400	97322
IVF / Ensol-180	445	97443
Jiacheng / JCSM 240	334	97516
Jiangsu / SF 180S	445	97443
Jiangsu Tianbao / TBMM180	445	97443
Jiawei / JW-120	667	97370
JSCN / KV-160	500	97322
Jumao / JM-160	500	97322
KD / KDS 200	400	97322
Korax / KS-240	334	97516
Kyocera / KC-200GH	400	97322
Link-pv / LKSB200GT-2	400	97322
Maharashi / MOM-150	534	97443
Mistubishi / TD 190	422	97540
Naps / NP130GK	616	97419
New energy / SST 265	286	97419
New Tomorrow / NTP-160	500	97322
Ningbo / TPB-175	458	97504
Pevafersa	445	97443
Photon / PM0110	728	97419
Photowatt / PW6-230	348	97370
Prim-sola / BN-180L	445	97443
PSE / KPEM 170	471	97407
PST / PST 236GT	339	97326
Pubsolar / Gys185C1	433	97449
PV Ent. / MTF1-220	364	97419
PVT / PVT 225	314	97407
Qixin / QXC 200	400	97322
Raloss / SR180S	445	97443

Πίνακας 5.2 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια)

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Rixin / MBFQ 100	800	97322
Sanyo / HIP-215	373	97559
Scheuten / 200-P5 S+	348	97370
Schott / ASE-275	283	97430
SE project / SEM 220	364	97419
Sharp / ND-208 U	385	97419
Shenyu / SHY-240	334	97516
Shurjo / SE 200	400	97322
Signet / 180 Wp	445	97443
Siliken / SLK60P6L	344	97506
Solar energy / S-180C	445	97443
Solar Fabrik / SF 200A	364	97419
Solar Power / SPI-M100	800	97322
Solar Swiss / 150WP	534	97443
Solar wind / MSW 120	667	97370
Solar world / SW 225	356	97443
Solarday / PX 60	348	97370
Solaria Energia / S6M230	348	97370
Solartec SRO / SG 72-180	445	97443
Solartron / M-230	640	97322
Solarwatt / M-230	320	97322
Solon / M 230	334	97516
Soltech / P-SOL	500	97322
Solterra / SOL 180H	445	97443
SP / SP-165	485	97352
ST solar / ST-210	320	97322
Sunlink / SL-190-18	381	97334
Sunoasis / REW-110S	500	97322
Sunpower / SPSM-190	422	97540
Sunrise / SRM-185	433	97449
Sunset / AS 170	471	97407
Suntech / STR 280S	286	97419
Sunway / SM 230	334	97516
Symphony / SE-S250	320	97322
Tenesol / TE 2200	334	97516
Time-valiant / TH 160	500	97322
Titan / 300	267	97443
Topray / TPS-105	445	97443
Topsola / TSM 60	348	97370
Trina / Tsm-180D	433	97449
Ulica / UL-190M	422	97540

Πίνακας 5.2 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια)

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Uni-solar / ES-62T	1291	97373
Webel / W2000R	485	97352
Wurth / WSG 0025	1000	97332
Xinhonghua / XHH 380	211	97540
XL / 280	286	97419
Yingli / 210(29)	364	97419
Yuhuan Sinasola / GP 300	267	97443
Yunnan Tianda / TD170	471	97407
Zhongkexin / ZKX 6220	364	97419
Zytech / ZT 180	445	97443

5.4 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει χρηματοοικονομική ανάλυση της κάθε εγκατάστασης με βάση τους πέντε χρηματοοικονομικούς δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι χρηματοοικονομικοί αυτοί δείκτες υπολογίζονται από το λογισμικό RETScreen και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Χρηματοοικονομικοί δείκτες

Μοντέλο	E.B.A (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	X.M.Π.		Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			K.Θ.Τ.Ρ. (έτη)	K.Π.Α (€)		
Aleo solar / s 17	19,16	8,95	8,13	591621,00	741359,00	0,80
Alfa solar / 180PQ6L	19,72	8,74	7,77	609197,82	723126,80	0,84
Alpha / PV 170	17,07	9,87	9,65	515590,16	815367,39	0,63
Asun / ASM 210	16,51	10,15	10,15	492916,37	838511,69	0,59
Atersa / A-222	16,46	10,18	10,09	491418,92	842254,70	0,58
Beijing Doray / DR 200D	14,20	11,49	11,09	383111,96	949609,50	0,40
Beijing solar / m 150	14,64	11,21	10,88	406656,89	927437,15	0,44
Bisol / 215 Wp	16,13	10,35	10,22	477826,73	856921,48	0,56
Bp / 7180	15,79	10,53	10,36	461879,79	871478,99	0,53
Canadian / CS6P-230	16,51	10,15	10,07	493028,70	838903,69	0,59
CEL / PM 160	16,55	10,13	10,05	494393,92	836845,86	0,59
Chinalight / CLS-210	17,19	9,81	9,55	520286,24	810777,40	0,64
Conergy / E 220P	16,17	10,32	10,20	478933,93	853860,55	0,56
CSG / CSG 105	15,96	10,44	10,29	469342,43	862399,51	0,54
Cuquantum / Sunport-72M	16,40	10,21	10,11	488034,95	843289,50	0,58
Danish / HEM 210	18,44	9,25	8,60	566468,37	763980,37	0,74
Day4Energy / 48 MC	20,31	8,52	7,43	626932,88	705577,13	0,89
DongYing / GW080D6	16,17	10,32	10,20	478933,93	853860,55	0,56
ECO / 156 series	15,97	10,43	10,29	469937,80	862976,47	0,54

Πίνακας 5.3 Χρηματοοικονομικοί δείκτες

Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			(έτη)				
Electro / ES 225	18,54	9,20	8,53		570557,65	761354,11	0,75
Energetica / E 2000	18,22	9,34	8,76		559605,54	773463,69	0,72
Energotech / A-130	16,19	10,31	10,19		479858,23	852923,94	0,56
Enfoton / 60E9M	18,15	9,37	8,81		556009,88	774409,50	0,72
Era / ESPSC260	18,50	9,22	8,56		568755,16	762843,39	0,75
Ersol / M235	18,76	9,12	8,38		577992,04	754410,86	0,77
Ertex / VSG 580	18,10	9,39	8,85		554713,54	776397,54	0,71
ESL / SP 180	17,24	9,79	9,51		522856,73	809690,15	0,65
Etasolar / ETA-L160	18,00	9,44	8,93		550568,47	779923,37	0,71
Feida / FD 280	18,08	9,40	8,87		554079,36	777714,59	0,71
Fitcraft / FCP 195	17,88	9,49	9,02		547358,02	785621,37	0,70
Fortop / Ft-165D	17,50	9,60	9,30		534251,00	796880,00	0,67
Foshan / TC 210	16,62	10,09	10,02		497530,68	833835,94	0,60
G. E. / GEPV 200	18,50	9,22	8,56		568444,32	761809,50	0,75
Global Service / 156M54	18,18	9,36	8,79		557897,53	773845,58	0,72
Global Solar / GSE 120	17,92	9,47	8,99		548078,52	783120,90	0,70
GP / GP sol-120	18,10	9,39	8,85		554713,54	776397,54	0,71
Gruposolar GS 60156	18,51	9,22	8,55		569845,09	762952,92	0,75
GSS / ZRE 237	18,09	9,40	8,85		554883,59	777338,03	0,71
Guanghi / GHDC 270	19,37	8,87	8,00		598417,70	734640,58	0,81
Heckert / HS-PXL	24,15	7,36	5,75		722227,49	609266,61	1,19
Helios / HT 230	18,95	9,04	8,26		583658,10	747067,59	0,78
Hope / HBM 210	18,79	9,10	8,36		578320,88	751970,05	0,77
IBC / IBC-225	20,79	8,35	7,18		639915,78	691072,50	0,93
Isosfoton / IS 200	18,78	9,11	8,37		577717,20	752413,15	0,77
IVF / Ensol-180	21,27	8,19	6,94		653200,77	677610,62	0,96
Jiacheng / JCSM 240	18,04	9,42	8,90		553141,70	780013,60	0,71
Jiangsu / SF 180S	17,94	9,46	8,97		549416,69	782776,55	0,70
Jiangsu Tianbao / TBMM180	17,98	9,45	8,95		550570,14	781607,75	0,70
Jiawei / JW-120	18,05	9,41	8,89		552971,15	778163,13	0,71
JSCN / KV-160	18,19	9,36	8,79		557368,64	773032,66	0,72
Jumao / JM-160	18,37	9,28	8,65		563873,53	766441,15	0,74
KD / KDS 200	18,01	9,43	8,92		551036,11	779449,50	0,71
Korax / KS-240	18,78	9,10	8,37		579060,65	753749,54	0,77
Kyocera / KC-200GH	19,70	8,74	7,79		607263,40	722473,56	0,84
Link-pv / LKSB200GT-2	14,09	11,56	11,14		377372,99	955424,88	0,39
Maharashi / MOM-150	18,09	9,40	8,86		554720,13	777402,50	0,71
Mistubishi / TD 190	20,26	8,54	7,46		625382,98	707147,67	0,88
Naps / NP130GK	18,34	9,29	8,67		563449,94	768219,24	0,73

Πίνακας 5.3 Χρηματοοικονομικοί δείκτες

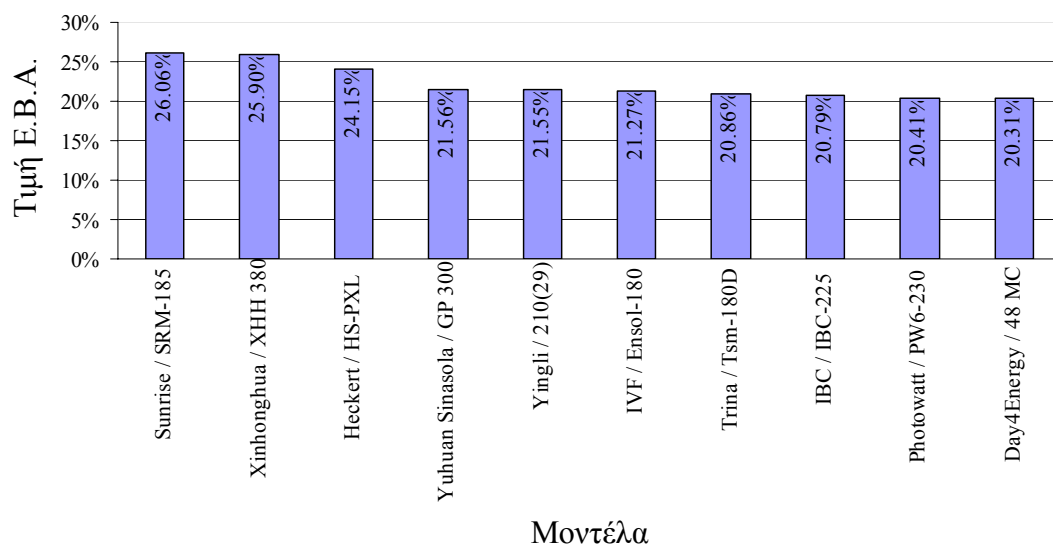
Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			(έτη)				
New energy / SST 265	18,76	9,11	8,38		577745,08	753733,77	0,77
New Tomorrow/NTP160	17,71	9,57	9,15		539986,86	790645,86	0,68
Ningbo / TPB-175	19,46	8,84	7,94		600917,78	731432,78	0,82
Pevafersa	18,37	9,28	8,65		564680,12	767309,90	0,74
Photon / PM0110	18,03	9,42	8,90		552421,19	779394,83	0,71
Photowatt / PW6-230	20,41	8,48	7,38		628882,87	701240,66	0,90
Prim-sola / BN-180L	18,55	9,20	8,52		570861,29	761046,43	0,75
PSE / KPEM 170	18,70	9,10	8,40		575643,00	755695,00	0,76
PST / PST 236GT	19,20	8,90	8,10		591698,00	738313,00	0,80
Pubsolar / Gys185C1	18,54	9,20	8,53		570493,99	761502,93	0,75
PV Ent. / MTF1-220	19,00	9,00	8,20		585391,00	746027,00	0,78
PVT / PVT 225	18,30	9,30	8,70		562452,00	769062,00	0,75
Qixin / QXC 200	18,53	9,21	8,53		569524,94	760714,50	0,75
Raloss / SR180S	18,40	9,30	8,60		564680,00	767310,00	0,74
Rixin / MBFQ 100	18,20	9,35	8,78		557720,44	772676,17	0,72
Sanyo / HIP-215	17,98	9,45	8,94		551368,93	782400,10	0,70
Scheuten / 200-P5 S+	18,20	9,35	8,78		558031,04	773035,86	0,72
Schott / ASE-275	19,49	8,83	7,92		601343,29	729973,10	0,82
SE project / SEM 220	16,73	10,04	9,96		502371,83	830110,59	0,61
Sharp / ND-208 U	20,03	8,62	7,59		617893,30	713050,99	0,87
Shenyu / SHY-240	18,60	9,18	8,49		573061,39	759828,68	0,75
Shurjo / SE 200	18,49	9,23	8,57		567970,63	762289,50	0,75
Signet / 180 Wp	18,34	9,29	8,67		563376,12	768631,26	0,73
Siliken / SLK60P6L	18,16	9,37	8,80		557639,15	775321,38	0,72
Solar energy / S-180C	18,34	9,29	8,67		563661,93	768341,65	0,73
Solar Fabrik / SF 200A	18,45	9,24	8,60		567095,58	764525,07	0,74
Solar Power / SPI-M100	18,09	9,40	8,86		553919,28	776527,94	0,71
Solar Swiss / 150WP	18,00	9,44	8,92		551573,60	780590,93	0,71
Solar wind / MSW 120	18,04	9,42	8,89		552519,42	778620,87	0,71
Solar world / SW 225	16,61	10,10	10,03		497489,11	835395,54	0,60
Solarday / PX 60	18,08	9,40	8,87		553854,97	777267,54	0,71
Solaria Energia/ S6M230	17,91	9,48	9,00		547662,59	783542,37	0,70
Solartec SRO/SG 72-180	18,33	9,29	8,68		563282,82	768725,81	0,73
Solartron / M-230	18,03	9,42	8,90		551970,98	778502,18	0,71
Solarwatt / M-230	18,75	9,12	8,39		576733,95	753409,50	0,77
Solon / M 230	19,53	8,81	7,90		603206,66	729282,04	0,83
Soltech / P-SOL	18,21	9,34	8,76		558376,16	772011,72	0,72
Solterra / SOL 180H	18,11	9,39	8,84		555340,32	776774,06	0,71
SP / SP-165	18,16	9,37	8,81		556486,57	774347,99	0,72

Πίνακας 5.3 Χρηματοοικονομικοί δείκτες

Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			(έτη)	(έτη)			
ST solar / ST-210	18,28	9,32	8,72		560725,37	769631,23	0,73
Sunlink / SL-190-18	18,11	9,39	8,84		554862,35	775740,92	0,72
Sunoasis / REW-110S	18,20	9,35	8,77		558051,66	772340,53	0,72
Sunpower / SPSM-190	13,90	11,69	11,24		368047,22	967909,76	0,38
Sunrise / SRM-185	26,06	6,90	5,15		758915,49	570572,66	1,33
Sunset / AS 170	14,86	11,07	10,78		417799,54	915640,32	0,46
Suntech / STR 280S	18,08	9,40	8,86		554232,15	777559,77	0,71
Sunway / SM 230	18,46	9,24	8,59		567972,81	764985,02	0,74
Symphony / SE-S250	18,06	9,41	8,88		552964,28	777495,65	0,71
Tenesol / TE 2200	17,60	9,62	9,23		537097,78	796271,14	0,67
Time-valiant / TH 160	14,59	11,24	10,90		403866,06	928579,07	0,43
Titan / 300	19,57	8,79	7,87		604107,12	727357,94	0,83
Topray / TPS-105	18,93	9,05	8,27		583400,49	748340,27	0,78
Topsola / TSM 60	18,00	9,44	8,93		550969,83	780191,09	0,71
Trina / Tsm-180D	20,86	8,33	7,15		642010,72	689033,97	0,93
Ulica / UL-190M	17,51	9,66	9,30		533798,92	799951,14	0,67
Uni-solar / ES-62T	15,34	10,79	10,55		441100,16	891557,36	0,49
Webel / W2000R	17,33	9,75	9,44		525806,91	805436,13	0,65
Wurth / WSG 0025	16,30	10,30	10,20		482053,00	849351,00	0,57
Xinhonghua / XHH 380	25,90	6,93	5,19		756612,44	574170,93	1,32
XL / 280	18,56	9,20	8,52		570811,95	760759,21	0,75
Yingli / 210(29)	21,55	8,10	6,81		660209,71	670171,15	0,99
Yuhuan Sinasola / GP 300	21,56	8,10	6,80		660665,75	670046,25	0,99
Yunnan Tianda / TD170	17,60	9,62	9,23		536335,34	795526,26	0,67
Zhongkexin / ZKX 6220	18,28	9,32	8,72		561177,81	770521,62	0,73
Zytech / ZT 180	15,73	10,56	10,38		459608,41	873780,60	0,53

5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κρισιμότερος χρηματοοικονομικός δείκτης για την αξιολόγηση της κάθε εγκατάστασης θεωρείται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης. Σύμφωνα με αυτό το δεδομένο κατασκευάζεται το Σχήμα 5.1 με τα δέκα καλύτερα μοντέλα.



Σχήμα 5.1 : Μοντέλα με το μεγαλύτερο Ε.Β.Α

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστεί η περίπτωση εγκατάστασης ενός απομονωμένου φ/β συστήματος με σύστημα συσσώρευσης (μπαταρία). Στην εγκατάσταση θα υπάρχει επίσης και μια γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί ντίζελ. Το φ/β σύστημα επιλέχθηκε να έχει έξοδο μεγαλύτερη ή ίση με 3 kW_p. Ομοίως με το 5 κεφάλαιο στη μελέτη που θα γίνει θα υπολογισθούν για κάθε κατασκευάστρια εταιρία το ακριβές ποσό ενέργειας που αποφέρει η εγκατάσταση καθώς και οι παρακάτω χρηματοοικονομικοί δείκτες ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και η αξιολόγηση των εταιριών:

1. Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (E.B.A.).
2. Διάρκεια απλής επανείσπραξης (Δ.Α.Ε.).
3. Χρόνος μέχρι την πρώτη καθαρή θετική ταμειακή ροή (Χ.Μ.Π.Κ.Θ.Τ.Ρ.).
4. Καθαρά παρούσα αξία (Κ.Π.Α.).
5. Δείκτης αποδοτικότητας (Δ.Α.).

6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η τοποθεσία της εγκατάστασης βρίσκεται στο Λαμπραντορ κοντά στο λιμάνι Γκους του Καναδά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Δεδομένα της εγκατάστασης.

Περιγραφή μεγέθους	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης
Χαρακτηριστικά του συστήματος συσσώρευσης.		
Ημέρες αυτονομίας που απαιτούνται	Batt _{autonomy} =5,5	Ημέρες
Ονομαστική τάση μπαταρίας	Batt _{voltage} = 48	Volts
Απόδοση μπαταρίας	n _{batt} = 80	%
Μέγιστη τάση αποφόρτισης	Batt _{DOD} = 70	%
Απόδοση ελεγκτή φόρτισης	n _{charger-DC} =95	%
Ελάχιστη θερμοκρασία μπαταρίας	Batt _{temp} = 25	°C
Ονομαστική χωρητικότητα μπαταρίας	Batt _{capacity nom} =3.379	Ah

Πίνακας 6.1: Δεδομένα της εγκατάστασης (συνέχεια).

Χαρακτηριστικά γεννήτριας.		
Απόδοση φορτιστή (από AC σε DC)	$n_{\text{charger-AC}}=90$	%
Χωρητικότητα γεννήτριας	$\text{Gen}_{\text{capacity}} = 20$	kW
Τύπος χρησιμοποιούμενου καυσίμου	Ντίζελ	
Κατανάλωση καυσίμου	$K_{\text{gen fuel}}=0.4$	L/kWh
Χαρακτηριστικά εξεταζόμενης περιοχής.		
Γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εφαρμογής της μελέτης	$\varphi = 53,3$	°
Κλίση φ/β πλαισίου	$\beta = 50$	°

Τα τυπικά χρηματοοικονομικά μεγέθη για την ανάλυση, δίνονται ως εξής: πληθωρισμός 2,5%, κλιμάκωση κόστους ενέργειας 5,0%, ικανότητα δανεισμού 60%, εξοφλητικό επιτόκιο χρέους 8,5%, προεξοφλητικό επιτόκιο 9,0% και προθεσμία εξόφλησης χρέους 10 χρόνια. Η εγκατάσταση πληρώνει φόρο εισοδήματος με φορολογικό συντελεστή 42,6 %. Ο φ/β εξοπλισμός αποσβένεται λογιστικά με τη μέθοδο της αναλογικής απόσβεσης με συντελεστή 30%. Τέλος η διάρκεια ζωής του επενδυτικού έργου ορίζεται στα 25 χρόνια.

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, σε kWh, καθώς και ο αριθμός των απαιτούμενων φ/β πλαισίων για το εκάστοτε μοντέλο κάθε κατασκευάστριας εταιρίας:

Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Aleo solar / s 03	18	3642
Alfa solar / 180PQ6L-205	15	3659
Alpha / PV 165W	19	3725
Ammini / ASM 12075A	41	3659
Asun / ASM210PCA0G100	26	3709
Atersa / A-170	18	3642
Beijing solar / m80-12C	38	3620
Bisol / 215 Wp	14	3585
Bp / BP 3125	25	3714
Canadian / CS6P-220	14	3665
Canrom's / C-75	41	3659

Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια).

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
CEL / PM 80	39	3709
Chinalight / CLS-120M	26	3709
Conergy / C 125PI	25	3714
CSG / CSG 90W	34	3642
Danish / HEM 85	36	3642
Day4Energy / 36MC 145W	21	3626
DongYing / 110W	28	3665
Doray / DR 95D	33	3725
ECO / 165W	19	3725
Electro / ES 125	24	3576
Elettrosunio / ES 85	36	3642
Energetica / E-134B	23	3665
Energotech / A-85	36	3642
Enfoton / 36E6-135F	23	3692
EPV / EPV-42	68	3642
Era / ESPSC120	25	3576
Ersol / IO-P170	18	3642
Ertex / EFL 115	27	3692
ESL / ESL 103x103-72	34	3642
Etasolar / ETA-L140MA	22	3665
Feida / FDR175W-24	18	3742
Fitcraft / FCP 145	21	3626
Fortop / Ft-90D	34	3642
Foshan / TC 160	19	3620
G. E. / GEPV-085	36	3642
Global Service / EOS 103M72	24	3576
Global Solar / gse-120	25	3576
GP / GP SOL115	27	3692
GSS / ZER187GEF-72M	17	3774
Guanghi / GHDC-S175D	18	3742
Heckert / HS-PLX-195	16	3709
Helios / HT-190	26	3709
Hope / HBM-160	19	3620
IBC / IBC-120TE	26	3709
Isosfoton / IS 200	20	3576
IVF / ensol-160	19	3620
Jiacheng / JCSM180D	17	3642
Jiangsu / SF 160S	19	3620
Jiangsu Tianbao / TBMM160	19	3620

Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια).

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Jiawei / JW-100	28	3665
JSCN / KV-150	26	3709
Jumao / JM-80W	38	3620
Kaneka / T-EC120	25	3576
KD / KDS 125	25	3714
Kindersola / KD 180L	25	3714
Korax / KS-160	19	3620
Kyocera / KC-175GT	24	3709
Link-pv / LKSB85T-1	36	3642
Maharashi / MOM120	26	3709
Mistubishi / PV-TE120MF5N	26	3709
New energy / STT 160	19	3620
New Tomorrow / NTP-110	28	3665
Ningbo / TPB140	22	3665
Photon / PM0090	34	3642
Photowatt / 1650-175W-24V	18	3742
Prim-sola / BN-165L	19	3720
PSE / KPEM-S080	39	3709
PST / PST 200Wp	15	3576
Pubsolar / GYS-150D	20	3576
PV Ent. / MTF1-220	20	3576
PVT / PVT 150	21	3742
Qixin / QXC 200	19	3620
Raloss / SR160S155M	19	3620
Rixin / MBF72A	42	3603
Sachott / ASE-165	19	3725
Scheuten / 150P5-S	19	3620
SE project / SEM 170M	22	3665
Shanghai solar energy/S-165DJ-C	19	3725
Sharp / ND-167U1F	18	3576
Shenyu / SHY160	19	3620
Shurjo / SE 200	24	3709
Signet / 90 Wp	34	3642
Siliken / SLK36P6L-133Wp	23	3641
Solar Fabrik / SF 150-165W	19	3725
Solar Power / SPI-M100	30	3576
Solar Swiss / 150WP	30	3576
Solar wind / MSW-80	38	3620

Πίνακας 6.2: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια).

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Solar world / SW 170	18	3642
Solartec SA / KS 80	38	3620
Solartec SRO / SG 72-170	21	3742
Solartron / SP 80	38	3620
Solarwatt / M-230	23	3692
Solon / P170	18	3642
Soltech / M-SOL110Wp	28	3665
Solterra / SOL 155H	20	3687
SP / S-125D	25	3714
ST solar / ST-160	19	3620
Sunlink / SL 110-130W	24	3709
Sunoasis / REW120S	26	3709
Sunpower / SPSM-190	26	3709
Sunrise / SRM-160D	34	3642
Sunset / AS 130	24	3709
Suntech / STR 280S	18	3642
Sunware / SW-3266	44	3665
Sunway / SM170UA12	18	3642
Symphony / SM-S91	34	3680
Tenesol / TE 1300	22	3665
Time-valiant / TH110P	28	3665
Titan / SI 165	19	3725
Topray / TPS-105	28	3665
Topsola / TSM48-156	18	3642
Trina / Tsm-180D	19	3620
Uni-solar / ES-62T	49	3618
Webel / W2000R	26	3709
Wurth / WSG0025 E080	38	3620
Xinhonghua / XHH 380	18	3642
XL / 280	22	3665
Yingli / YL170	18	3642
Yuhuan sinosola / GP 130D	24	3709
Zhongkexin / ZKX 175	26	3709

6.4 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει χρηματοοικονομική ανάλυση της κάθε εγκατάστασης με βάση τους πέντε χρηματοοικονομικούς δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι χρηματοοικονομικοί αυτοί δείκτες υπολογίζονται από το λογισμικό RETScreen και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.3: Χρηματοοικονομικοί δείκτες.

Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			(έτη)	Κ.Π.Α (€)		
Aleo solar / s 03	97,34	1,61	0,98	186379,13	47775,29	3,90
Alfa solar / 180PQ6L-205	101,64	1,54	0,95	187700,99	45756,84	4,10
Alpha / PV 165W	93,86	1,66	1,02	185661,40	49632,29	3,74
Ammini / ASM 12075A	86,38	1,81	1,10	182738,44	53850,21	3,39
Asun / ASM210PCA0G100	90,31	1,73	1,06	184392,20	51564,99	3,58
Atersa / A-170	92,87	1,68	1,03	184965,62	50080,56	3,69
Beijing solar / m80-12C	87,53	1,78	1,09	182997,96	53106,38	3,45
Bisol / 215 Wp	93,87	1,66	1,02	185045,01	49492,93	3,74
Bp / BP 3125	89,49	1,75	1,07	184128,45	52040,88	3,54
Canadian / CS6P-220	92,82	1,68	1,03	185049,59	50126,76	3,69
Canrom's / C-75	148,61	1,04	0,66	196694,44	31089,53	6,33
CEL / PM 80	92,76	1,68	1,03	185227,28	50203,08	3,69
Chinalight / CLS-120M	94,15	1,66	1,02	185682,63	49460,45	3,75
Conergy / C 125PI	93,55	1,67	1,02	185512,27	49784,03	3,73
CSG / CSG 90W	91,87	1,70	1,04	184630,70	50626,77	3,65
Danish / HEM 85	95,27	1,64	1,00	185741,53	48815,13	3,80
Day4Energy / 36MC145W	101,22	1,54	0,95	187434,80	45916,20	4,08
DongYing / 110W	89,33	1,75	1,07	183850,10	52082,99	3,53
Doray / DR 95D	84,22	1,85	1,13	182191,28	55291,67	3,30
ECO / 165W	87,95	1,78	1,08	183620,83	52960,24	3,47
Electro / ES 125	98,19	1,59	0,98	186334,23	47298,68	3,94
Elettrosunio / ES 85	92,57	1,69	1,03	184867,11	50241,21	3,68
Energetica / E-134B	95,46	1,64	1,00	185901,37	48737,60	3,81
Energotech / A-85	90,45	1,73	1,06	184143,59	51421,20	3,58
Enfoton / 36E6-135F	92,06	1,70	1,04	184918,46	50569,47	3,66
EPV / EPV-42	87,91	1,78	1,09	183235,47	52902,23	3,46
Era / ESPSC120	99,67	1,57	0,96	186767,09	46592,73	4,01
Ersol / IO-P170	97,99	1,59	0,98	186576,13	47453,99	3,93
Ertex / EFL 115	96,64	1,62	0,99	186390,99	48167,93	3,87
ESL / ESL 103x103-72	91,60	1,71	1,04	184540,95	50773,14	3,63
Etasolar / ETA-L140MA	92,70	1,69	1,03	185009,03	50192,90	3,69
Feida / FDR175W-24	92,75	1,68	1,03	185372,57	50240,54	3,69
Fitcraft / FCP 145	94,05	1,66	1,02	185278,32	49433,17	3,75
Fortop / Ft-90D	95,50	1,64	1,00	185812,76	48698,97	3,82
Foshan / TC 160	93,05	1,68	1,03	184926,82	49960,62	3,70
G. E. / GEPV-085	98,21	1,59	0,98	186640,20	47349,51	3,94

Πίνακας 6.3: Χρηματοοικονομικοί δείκτες (συνέχεια).

Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Λ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ. (έτη)		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Λ.Α
Global Service / EOS 103M72	97,58	1,60	0,98		186153,42	47593,55	3,91
Global Solar / gse-120	99,26	1,57	0,97		186647,82	46787,25	3,99
GP / GP SOL115	94,92	1,65	1,01		185853,97	49043,75	3,79
GSS / ZER187GEF-72M	95,34	1,64	1,00		186353,88	48905,27	3,81
Guanghi / GHDC-S175D	100,29	1,56	0,96		187694,42	46453,85	4,04
Heckert / HS-PLX-195	112,36	1,39	0,86		190633,70	41385,81	4,61
Helios / HT-190	99,56	1,57	0,96		187336,43	46763,28	4,01
Hope / HBM-160	100,81	1,55	0,95		187292,20	46102,95	4,06
IBC / IBC-120TE	103,28	1,51	0,93		188374,86	45069,71	4,18
Isosfoton / IS 200	101,47	1,54	0,95		187278,51	45758,66	4,09
IVF / ensol-160	107,49	1,45	0,90		189066,20	43209,75	4,38
Jiacheng / JCSM180D	97,99	1,59	0,98		186576,13	47453,99	3,93
Jiangsu / SF 160S	98,11	1,59	0,98		186509,32	47379,75	3,94
Jiangsu Tianbao / TBMM160	98,18	1,59	0,98		186531,74	47343,18	3,94
Jiawei / JW-100	97,67	1,60	0,98		186578,72	47632,92	3,92
JSCN / KV-150	96,39	1,62	0,99		186389,41	48307,77	3,86
Jumao / JM-80W	98,63	1,58	0,97		186663,88	47127,67	3,96
Kaneka / T-EC120	100,67	1,55	0,96		187054,04	46124,75	4,06
KD / KDS 125	96,55	1,62	0,99		186462,86	48233,73	3,87
Kindersola / KD 180L	96,55	1,62	0,99		186462,86	48233,73	
Korax / KS-160	100,40	1,56	0,96		187176,46	46291,72	4,04
Kyocera / KC-175GT	101,33	1,54	0,95		187841,13	45940,17	4,09
Link-pv / LKSB85T-1	85,86	1,82	1,11		182467,49	54154,73	3,37
Maharashi / MOM120	96,86	1,61	0,99		186532,95	48073,68	3,88
Mistubishi / PV-TE120MF5N	100,44	1,56	0,96		187589,25	46350,96	4,05
New energy / STT 160	99,65	1,57	0,96		186962,70	46640,33	4,01
New Tomorro/ NTP-110	96,65	1,62	0,99		186269,32	48137,51	3,87
Ningbo / TPB140	99,79	1,57	0,96		187201,74	46616,85	4,02
Photon / PM0090	97,80	1,60	0,98		186517,03	47550,38	3,92
Photowatt/1650-175W 24V	103,44	1,51	0,93		188568,31	45028,64	4,19
Prim-sola / BN-165L	97,55	1,60	0,98		19016,67	47741,44	0,40
PSE / KPEM-S080	98,13	1,59	0,98		186914,60	47451,24	3,94
PST / PST 200Wp	99,47	1,57	0,97		186709,16	46687,21	4,00
Pubsolar / GYS-150D	99,67	1,57	0,96		186767,09	46592,73	4,01
PV Ent. / MTF1-220	101,21	1,54	0,95		187205,31	45878,04	4,08

Πίνακας 6.3: Χρηματοοικονομικοί δείκτες (συνέχεια).

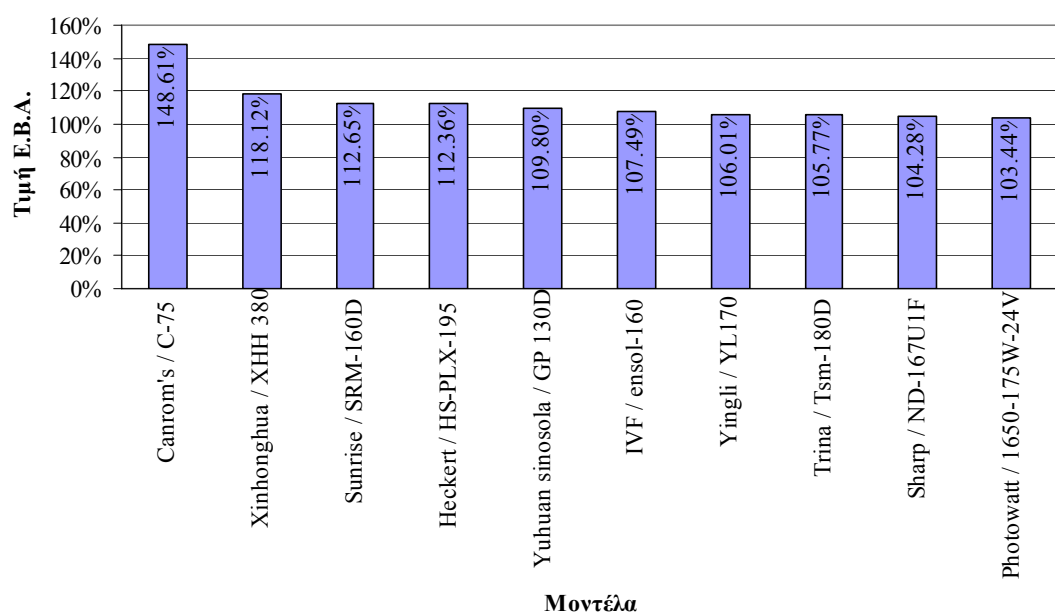
Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			Κ.Π.Α (€)	(έτη)		
PVT / PVT 150	96,43	1,62	0,99	186548,83	48322,19	3,86
Qixin / QXC 200	99,83	1,56	0,96	187014,88	46555,23	4,02
Raloss / SR160S155M	98,42	1,59	0,98	186603,87	47225,54	3,95
Rixin / MBF72A	98,57	1,58	0,97	186566,55	47139,78	3,96
Sachott / ASE-165	97,93	1,60	0,98	186931,86	47560,32	3,93
Scheuten / 150P5-S	98,46	1,59	0,97	186614,95	47207,47	3,95
SE project / SEM 170M	92,21	1,69	1,04	184845,50	50459,61	3,66
Shanghai solar energy / S-165DJ-C	96,69	1,62	0,99	186556,12	48173,12	3,87
Sharp / ND-167U1F	104,28	1,50	0,92	188041,03	44515,07	4,22
Shenyu / SHY160	98,75	1,58	0,97	186700,77	47067,51	3,97
Shurjo / SE 200	97,84	1,60	0,98	186827,93	47592,59	3,93
Signet / 90 Wp	97,97	1,59	0,98	186569,94	47464,09	3,93
Siliken / SLK36P6L- 133Wp	97,63	1,60	0,98	186462,38	47630,36	3,91
Solar Fabrik / SF 150- 165W	96,66	1,62	0,99	186546,02	48189,57	3,87
Solar Power / SPI- M100	99,45%	1,57	0,97	186705,12	46693,79	4,00
Solar Swiss / 150WP	99,23	1,57	0,97	186640,00	46800,00	3,99
Solar wind / MSW-80	98,10	1,59	0,98	186507,31	47383,03	3,94
Solar world / SW 170	93,11	1,68	1,03	185044,46	49951,99	3,70
Solartec SA / KS 80	97,83	1,60	0,98	186427,72	47512,82	3,92
Solartec SRO /SG 72- 170	95,91	1,63	1,00	186388,50	48583,66	3,84
Solartron / SP 80	97,44	1,60	0,98	186309,33	47705,91	3,91
Solarwatt / M-230	97,64	1,60	0,98	186693,71	47674,24	3,92
Solon / P170	98,60	1,58	0,97	186755,03	47162,23	3,96
Soltech / M- SOL110Wp	97,87	1,60	0,98	186638,21	47535,90	3,93
Solterra / SOL 155H	97,04	1,61	0,99	186486,48	47966,43	3,89
SP / S-125D	96,19	1,62	1,00	186350,04	48417,72	3,85
ST solar / ST-160	98,68	1,58	0,97	186679,04	47102,95	3,96
Sunlink / SL 110-130W	96,44	1,62	0,99	186402,38	48286,62	3,86
Sunoasis / REW120S	97,34	1,61	0,98	186679,55	47834,57	3,90
Sunpower / SPSM-190	82,82	1,89	1,15	181256,89	56129,09	3,23
Sunrise / SRM-160D	112,65	1,38	0,86	190395,88	41224,40	4,62
Sunset / AS 130	87,51	1,79	1,09	183384,31	53208,75	3,45
Suntech / STR 280S	96,51	1,62	0,99	186128,01	48184,84	3,86
Sunware / SW-3266	70,51	2,21	1,34	175467,07	65754,78	2,67
Sunway / SM170UA12	98,27	1,59	0,98	186657,84	47320,73	3,94
Symphony / SM-S91	97,83	1,60	0,98	186696,19	47569,50	3,92

Πίνακας 6.3: Χρηματοοικονομικοί δείκτες (συνέχεια).

Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			(έτη)				
Tenesol / TE 1300	94,24	1,66	1,02		185510,80	49374,57	3,76
Time-valiant / TH110P	87,25	1,79	1,09		183092,08	53319,23	3,43
Titan / SI 165	100,30	1,56	0,96		187622,93	46433,26	4,04
Topray / TPS-105	98,59	1,58	0,97		186852,67	47186,14	3,96
Topsola / TSM48-156	96,88	1,61	0,99		186241,22	48000,20	3,88
Trina / Tsm-180D	105,77	1,48	0,91		188630,58	43920,20	4,29
Uni-solar / ES-62T	90,46	1,73	1,06		184041,06	51386,87	3,58
Webel / W2000R	92,50	1,69	1,03		185140,61	50344,42	3,68
Würth / WSG0025 E080	94,30	1,66	1,01		185331,35	49300,88	3,76
Xinhonghua / XHH 380	118,12	1,32	0,82		191582,78	39288,71	4,88
XL / 280	96,68	1,62	0,99		186276,95	48125,07	3,87
Yingli / YL170	106,01	1,47	0,91		188793,32	43838,00	4,31
Yuhuan sinosola/GP130D	109,80	1,42	0,88		190034,29	42363,38	4,49
Zhongkexin / ZKX 175	95,09	1,64	1,01		185983,29	48970,11	3,80

6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κρισιμότερος χρηματοοικονομικός δείκτης για την αξιολόγηση της κάθε εγκατάστασης θεωρείται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης. Σύμφωνα με αυτό το δεδομένο κατασκευάζεται το Σχήμα 6.1 με τα δέκα καλύτερα μοντέλα.



Σχήμα 6.1: Μοντέλα με το μεγαλύτερο Ε.Β.Α.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστεί η περίπτωση εγκατάστασης ενός αντλητικού φ/β συστήματος χωρίς σύστημα συσσώρευσης (μπαταρία). Στην εγκατάσταση θα υπάρχει επίσης και μια γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί βενζίνη με κατανάλωση 0,0001988 L/L . Το φ/β σύστημα επιλέχθηκε να έχει έξοδο μεγαλύτερη η ίση με 50W_p. Ομοίως με το 5 κεφάλαιο στη μελέτη που θα γίνει θα υπολογισθούν για κάθε κατασκευάστρια εταιρία το ακριβές ποσό ενέργειας που αποφέρει η εγκατάσταση καθώς και οι παρακάτω χρηματοοικονομικοί δείκτες ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση και η αξιολόγηση των εταιριών:

1. Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (E.B.A.).
2. Διάρκεια απλής επανείσπραξης (Δ.Α.Ε.).
3. Χρόνος μέχρι την πρώτη καθαρή θετική ταμειακή ροή (Χ.Μ.Π.Κ.Θ.Τ.Ρ.).
4. Καθαρά παρούσα αξία (Κ.Π.Α.).
5. Δείκτης αποδοτικότητας (Δ.Α.).

7.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το αντλούμενο νερό θα προέρχεται από μια δεξαμενή από την οποία θα διοχετεύεται σε μία υδρορροή. Η εξεταζόμενη τοποθεσία βρίσκεται 100 χλμ βορειανατολικά του Τορόντο του Οντάριο, στον Καναδά. Το αντλητικό σύστημα θα παρέχει νερό στα είκοσι ζώα, από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο.

Στο σύστημα θα χρησιμοποιηθεί μια αντλία διαφράγματος 12 VDC, με 13 Lpm μέγιστη ροή. Η στάθμη αναρρόφησης εκτιμάται στο 1 μέτρο, η στάθμη αποφόρτισης στα 7 μέτρα και οι απώλειες λόγω τριβής στο 10%. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι ~10%. Η αντλία χρειάζεται επιδιόρθωση κάθε 5 έτη. Το νερό θα διοχετεύεται σε μια εφεδρική δεξαμενή μέσω πλαστικών σωλήνων 13 mm, συνολικού μήκους 100 m. Η κύρια δεξαμενή αποθήκευσης του νερού, διαθέτει μια βαλβίδα ελέγχου της στάθμης η οποία δημιουργεί πίεση αναστροφής στην αντλία. Με τη σειρά της αυτή η βαλβίδα ενεργοποιεί το διακόπτη πίεσης της αντλίας και έτσι αποτρέπεται η υπερχείλιση της δεξαμενής. Για να εξασφαλιστεί μία περισσότερο αποδοτική άντληση νερού (ώρες ανά ημέρα), θα εγκατασταθεί ένας γραμμικός ενισχυτής ρεύματος, με απόδοση 95%. Το όλο σύστημα άντλησης νερού είναι τύπου άμεσης άντλησης, χωρίς σύστημα συσσώρευσης.

Τα τυπικά χρηματοοικονομικά μεγέθη για την ανάλυση, δίνονται ως εξής: πληθωρισμός 2,5%, κλιμάκωση κόστους ενέργειας 5,0%, ικανότητα δανεισμού 30%, εξοφλητικό επιτόκιο χρέους 8,5%, προεξοφλητικό επιτόκιο 9% και προθεσμία εξόφλησης χρέους 10 έτη. Η αντλία που θα εγκατασταθεί είναι συνεχούς ρεύματος Το σύστημα αυτό προβλέπεται να διαρκέσει 25 έτη.

7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, σε kWh, καθώς και ο αριθμός των απαιτούμενων φ/β πλαισίων για το εκάστοτε μοντέλο κάθε κατασκευάστριας εταιρίας:

Πίνακας 7.1: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Alpha / PV 55W	1	3
Ammini / ASM 12050A	1	3
Asun / ASM 060	1	3
Atersa / A-65	1	3
Beijing solar / m50	1	3
Bp / BP 350	1	3
Canadian / CS6D-60	1	3
Canrom's / C-50	1	3
CEL / PM 50	1	3
Chinalight / CLS-50	1	3
Conergy / Q 50PI	1	3
CSG / CSG 80W	1	3
Doray / DR 50D	1	3
Electro / ES 60	1	3
Elettrosunio / ES 425	1	3
Energetica / E-55M	1	3
Energotech / A-55	1	3
EPV / EPV-42	1	3
Era / ESPSC 60	1	3
ESL / ESL 55	1	3
Etasolar / ETA-L70	1	3
Feida / FDR50	1	3
Fitcraft / FCP 50	1	3
Fortop / Ft-55D	1	3
Foshan / TC 50	1	3
Free energy / FEE 20	3	3
G. E. / GEPV-66	1	3
Global Service / 103M56	1	3
Global Solar / GSE-60	1	3
GP / GP SOL60	1	3
Guanghi / GHDC-10	5	3
Hope / HBM-50	1	3
Jiacheng / JCSM50	1	3

Πίνακας 7.1: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια).

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Jiawei / JW-30	2	3
JSCN / KV-50	1	3
Jumao / JM-50W	1	3
Kaneka / G-EA060	1	3
Kindersola / CD 50	1	3
Kyocera / KC-50T	1	3
Link-pv / LKSB50T	1	3
Maharashi / MOM-50	1	3
New Tomorrow / NTP-50	1	3
Ningbo / TPB50	1	3
Photon / PM0050	1	3
Photowatt / PW 500	1	3
Prim-sola / BN-50M	1	3
Pubsolar / GYS-50D	1	3
PV Ent. / 50Wp	1	3
PVT / PVT 50	1	3
Qixin / QXC 50	1	3
Raloss / SR50S	1	3
Razastan / 50W36	1	3
Rixin / MBF54	1	3
Sanyo / HIP-215	1	3
Schott / ASI-F-32	2	3
SE project / SEM 50	1	3
Shanghai solar energy/S-50D	1	3
Sharp / ND-62RU	1	3
Shenyu / SHY160	1	3
Shurjo / SE 25TFC	2	3
Solar Power / SPI-M050	1	3
Solar wind / MSW 50	1	3
Solartec SA / KS50S	1	3
Solartron / SP 55	1	3
Soltech / M-SOL 50W	1	3
SP / S-50D	1	3
ST solar / ST-50S	1	3
Sunlink / SL-55-12	1	3
Sunoasis / REW-50S	1	3
Sunpower / SPSM-20	3	3
Sunrise / SRM-20D	3	3
Sunset / SM30L	2	3

Πίνακας 7.1: Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (συνέχεια).

Μοντέλο	Αριθμός πλαισίων	kWh
Suntech / STP060S	1	3
Tenesol / TE505	1	3
Terra / TS 20	3	3
Time-valiant / TH50	1	3
Titan / TF 12/12	4	3
Topray / TPS-105	1	3
Topsola / TSM-50M	1	3
Uni-solar / ES-62T	1	3
Webel / W50C	1	3
Wehai / A-si	2	3
Wurth / WSK0021	1	3
Xinhonghua / XHH50	1	3
Yingli / 50(17)	1	3
Yuhuan Sinosola / GP50	1	3
Zhongkexin / ZKX5 50	1	3

7.4 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει χρηματοοικονομική ανάλυση της κάθε εγκατάστασης με βάση τους πέντε χρηματοοικονομικούς δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι χρηματοοικονομικοί αυτοί δείκτες υπολογίζονται από το λογισμικό RETScreen και παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2: Χρηματοοικονομικοί δείκτες

Μοντέλο	Ε.Β.Α. (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.			
			(έτη)	Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
Alpha / PV 55W	74,79	1,85	1,37	3075,54	556,68	5,52
Ammini / ASM 12050A	72,57	1,91	1,41	3064,00	566,00	5,41
Asun / ASM 060	60,98	2,25	1,68	2965,51	667,44	4,44
Atersa / A-65	56,05	2,43	1,84	2910,76	722,56	4,03
Beijing solar / m50	72,88	1,90	1,40	3066,74	564,03	5,44
Bp / BP 350	77,43	1,79	1,32	3097,98	532,59	5,82
Canadian / CS6D-60	61,88	2,22	1,66	2974,54	658,35	4,52
Canrom's / C-50	79,90	1,74	1,28	3113,56	516,91	6,02
CEL / PM 50	79,39	1,75	1,29	3110,40	520,09	5,98
Chinalight / CLS-50	83,90	1,66	1,22	3136,82	493,50	6,36
Conergy / Q 50PI	85,45	1,63	1,20	3145,25	485,00	6,49
CSG / CSG 80W	45,44	2,96	2,28	2754,91	879,43	3,13
Doray / DR 50D	70,74	1,95	1,45	3050,79	580,09	5,26

Πίνακας 7.2: Χρηματοοικονομικοί δείκτες (συνέχεια).

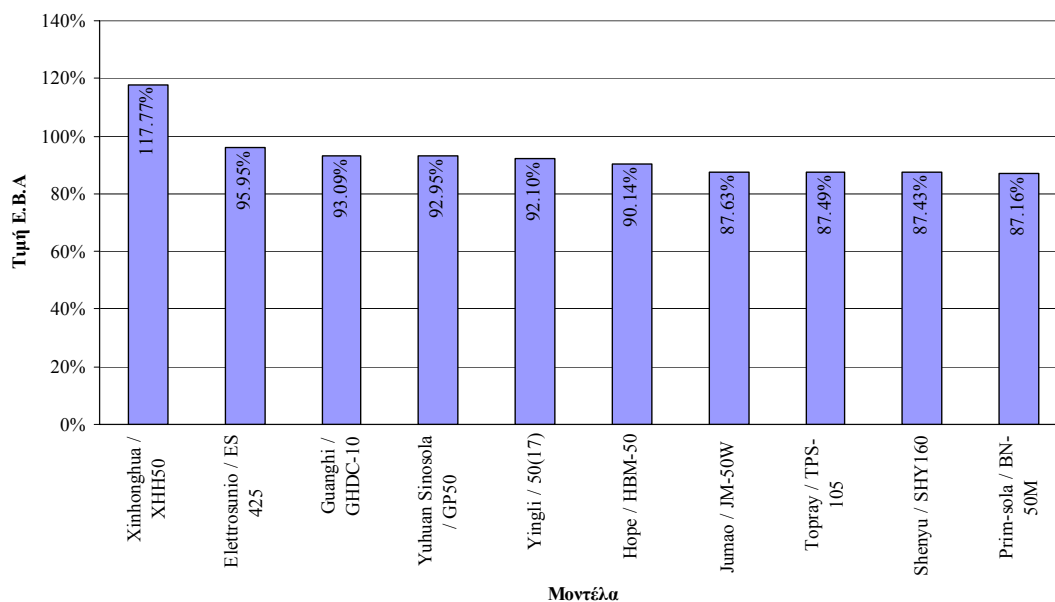
Μοντέλο	Ε.Β.Α (%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ. (έτη)		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
Electro / ES 60	60,99	2,25	1,68		2965,60	667,35	4,44
Elettrosunio / ES 425	95,95	1,46	1,06		3188,68	433,47	7,36
Energetica / E-55M	65,65	2,10	1,56		3009,98	622,68	4,83
Energotech / A-55	65,14	2,11	1,57		3005,42	627,27	4,79
EPV / EPV-42	58,10	2,35	1,77		2934,59	698,56	4,20
Era / ESPSC 60	65,22	2,11	1,57		3006,12	626,56	4,80
ESL / ESL 55	74,34	1,86	1,38		3077,21	553,50	5,56
Etasolar / ETA-L70	46,86	2,88	2,21		2779,79	854,39	3,25
Feida / FDR50	77,17	1,80	1,32		3096,29	534,29	5,80
Fitcraft / FCP 50	79,84	1,74	1,28		3112,27	517,16	6,02
Fortop / Ft-55D	68,03	2,03	1,50		3030,42	602,10	5,03
Foshan / TC 50	75,43	1,84	1,36		3084,75	545,91	5,65
Free energy / FEE 20	76,67	1,81	1,33		3094,32	537,78	5,75
G. E. / GEPV-66	57,78	2,36	1,78		2930,98	702,20	4,17
Global Service / 103M56	65,82	2,09	1,56		3011,46	621,19	4,85
Global Solar / GSE-60	65,29	2,11	1,57		3006,73	625,95	4,80
GP / GP SOL60	63,24	2,17	1,62		2987,80	645,00	4,63
Guanghi / GHDC-10	93,09	1,51	1,10		3183,05	446,96	7,12
Hope / HBM-50	90,14	1,55	1,13		3169,19	460,91	6,88
Jiacheng / JCSM50	86,67	1,61	1,18		3151,72	478,50	6,59
Jiawei / JW-30	66,84	2,06	1,53		3020,39	612,19	4,93
JSCN / KV-50	79,64	1,75	1,28		3111,95	518,53	6,00
Jumao / JM-50W	87,63	1,59	1,17		3156,68	473,50	6,67
Kaneka / G-EA060	68,37	2,02	1,50		3033,24	599,26	5,06
Kindersola / CD 50	75,55	1,84	1,35		3085,56	545,09	5,66
Kyocera / KC-50T	81,53	1,71	1,25		3124,63	507,27	6,16
Link-pv / LKSB50T	71,63	1,93	1,43		3057,50	573,33	5,33
Maharashi / MOM-50	85,89	1,63	1,19		3147,65	482,59	6,52
New Tomorrow / NTP- 50	76,47	1,81	1,34		3093,01	539,10	5,74
Ningbo / TPB50	82,67	1,69	1,24		3131,20	500,66	6,25
Photon / PM0050	86,36	1,62	1,18		3150,13	480,09	6,56
Photowatt / PW 500	82,30	1,69	1,24		3127,78	502,59	6,22
Prim-sola / BN-50M	87,16	1,60	1,17		3154,29	475,91	6,63
Pubsolar / GYS-50D	86,89	1,61	1,18		3152,86	477,34	6,61
PV Ent. / 50Wp	76,95	1,80	1,33		3096,19	535,90	5,78
PVT / PVT 50	81,58	1,71	1,25		3123,56	506,84	6,16
Qixin / QXC 50	87,10	1,60	1,17		3153,96	476,24	6,62
Raloss / SR50S	86,84	1,61	1,18		3152,61	477,59	6,60
Razastan / 50W36	86,97	1,61	1,17		3153,29	476,91	6,61

Πίνακας 7.2: Χρηματοοικονομικοί δείκτες (συνέχεια).

Μοντέλο	Ε.Β.Α(%)	Δ.Α.Ε (έτη)	Χ.Μ.Π. Κ.Θ.Τ.Ρ.		Κ.Π.Α (€)	Σ.Α.Ε. (€)	Δ.Α
			(έτη)	(έτη)			
Rixin / MBF54	77,10	1,80	1,33		3097,14	534,94	5,79
Sanyo / HIP-215	64,43	2,13	1,59		2998,96	633,77	4,73
Schott / ASI-F-32	61,66	2,22	1,66		2972,37	660,54	4,50
SE project / SEM 50	69,09	2,00	1,48		3037,76	593,21	5,12
Shanghai solar energy/S-50D	86,97	1,61	1,17		3153,29	476,91	6,61
Sharp / ND-62RU	63,10	2,18	1,63		2986,43	646,38	4,62
Shenyu / SHY160	87,43	1,60	1,17		3155,69	474,50	6,65
Shurjo / SE 25TFC	86,71	1,61	1,18		3151,93	478,29	6,59
Solar Power / SPI- M050	86,78	1,61	1,18		3152,30	477,91	6,60
Solar wind / MSW 50	83,14	1,68	1,23		3132,55	497,79	6,29
Solartec SA / KS50S	85,68	1,63	1,19		3146,53	483,72	6,50
Solartron / SP 55	74,58	1,86	1,37		3080,15	552,04	5,58
Soltech / M-SOL 50W	85,27	1,64	1,20		3144,30	485,96	6,47
SP / S-50D	83,19	1,68	1,23		3132,84	497,50	6,30
ST solar / ST-50S	63,29	2,17	1,62		2988,26	644,54	4,64
Sunlink / SL-55-12	71,51	1,93	1,43		3057,94	574,40	5,32
Sunoasis / REW-50S	83,91	1,66	1,22		3136,85	493,46	6,36
Sunpower / SPSM-20	51,77	2,62	1,99		2855,33	778,35	3,67
Sunrise / SRM-20D	74,99	1,85	1,36		3083,03	549,15	5,61
Sunset / SM30L	45,76	2,94	2,26		2760,76	873,54	3,16
Suntech / STP060S	65,10	2,11	1,57		3005,02	627,67	4,79
Tenesol /TE505	79,37	1,75	1,29		3110,27	520,22	5,98
Terra / TS 20	60,15	2,28	1,71		2956,87	676,14	4,37
Time-valiant / TH50	73,32	1,89	1,39		3069,92	560,83	5,47
Titan / TF 12/12	76,16	1,82	1,34		3090,98	541,14	5,71
Topray / TPS-105	87,49	1,60	1,17		3155,98	474,21	6,66
Topsola / TSM-50M	85,98	1,62	1,19		3146,25	481,91	6,53
Uni-solar / ES-62T	57,05	2,39	1,80		2922,62	710,61	4,11
Webel / W50C	82,74	1,68	1,23		3128,43	499,85	6,26
Wehai / A-si	67,70	2,04	1,51		3027,66	604,88	5,01
Wurth / WSK0021	68,59	2,01	1,49		3034,99	597,50	5,08
Xinhonghua / XHH50	117,77	1,20	0,87		3272,67	356,74	9,17
Yingli / 50(17)	92,10	1,52	1,11		3176,64	451,33	7,04
Yuhuan Sinosola / GP50	92,95	1,51	1,10		3182,42	447,59	7,11
Zhongkexin / ZKX5 50	79,42	1,75	1,29		3110,58	519,91	5,98

7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κρισιμότερος χρηματοοικονομικός δείκτης για την αξιολόγηση της κάθε εγκατάστασης θεωρείται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης. Σύμφωνα με αυτό το δεδομένο κατασκευάζεται το Σχήμα 7.1 με τα δέκα καλύτερα μοντέλα.



Σχήμα 7.1 : Μοντέλα με το μεγαλύτερο Ε.Β.Α

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι κατασκευάστριες εταιρίες φ/β συστημάτων καθώς και τα προϊόντα τους. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν το κόστος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων, των ρυθμιστών τάσεως, των μετατροπέων και των συσσωρευτών. Στη συνέχεια έγινε, με τη χρήση του λογισμικού RETScreen, αξιολόγηση και σύγκριση των φ/β πλαισίων σε τρεις διαφορετικές εγκαταστάσεις: συνδεδεμένη σε δίκτυο, αυτόνομη και άντλησης υδάτων.

Σε ότι αφορά την εξέλιξη της παραγωγής και εγκατάστασης φ/β συστημάτων, διαπιστώθηκε ότι κυρίαρχη θέση στην παραγωγή κατέχουν η Ιαπωνία, οι Η.Π.Α. και η Γερμανία, με την Ιαπωνία να βρίσκεται στην πρώτη θέση παγκοσμίως, ενώ στην εγκατάσταση την πρώτη θέση, από το 2004, κατέχει η Γερμανία με την Ιαπωνία να ακολουθεί. Οι τιμές των φ/β στοιχείων ακολουθούν συνεχώς πτωτική πορεία, από το 1991 έως και σήμερα, ωστόσο και οι σημερινές τους τιμές παραμένουν υψηλές. Η πρόοδος που σημειώνεται στον τομέα της βελτίωσης της απόδοσης των φ/β στοιχείων είναι σημαντική, ενώ το ερευνητικό ενδιαφέρον πάνω στο θέμα αυτό είναι έντονο. Ήδη η έρευνα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη φ/β στοιχείων τρίτης γενιάς, παρουσιάζοντας πληθώρα νέων τεχνολογιών που υλοποιήθηκαν σε ερευνητικά εργαστήρια.

Η αξιολόγηση των φ/β πλαισίων έγινε λαμβάνοντας υπόψιν κλασσικά κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης, όπως τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης, την καθαρή παρούσα αξία, την απλή επανείσπραξη, το χρόνο μέχρι την πρώτη θετική ταμειακή ροή που θα παρουσιάσει το έργο και το δείκτη αποδοτικότητας. Για την σύγκριση των φ/β πλαισίων χρησιμοποιήθηκε το πιο κρίσιμο κριτήριο, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης.

Στην συνδεδεμένη σε δίκτυο εγκατάσταση, σύμφωνα με τους χρηματοοικονομικούς δείκτες που αναφέρθηκαν, τα φ/β πλαίσια που κρίνονται ως καλύτερα είναι τα: Sunpower / SPSM-190, Link-pv / LKSB200GT-2, Beijing Doray / DR 200D, Time-valiant / TH 160, Beijing solar / m 150, Sunset / AS 170, Uni-solar / ES-62T, Zytech / ZT 180, Bp / 7180, CSG / CSG 105.

Στην αυτόνομη εγκατάσταση, καλύτερα φ/β πλαίσια κρίνονται τα: Canrom's / C-75, Xinhonghua / XHH 380, Sunrise / SRM-160D, Heckert / HS-PLX-195, Yuhuan sinosola / GP 130D, IVF / ensol-160, Yingli / YL170, Trina / Tsm-180D, Sharp / ND-167U1F, Photowatt / 1650-175W-24V.

Και τέλος, στην αντλητική εγκατάσταση καλύτερα φ/β πλαίσια κρίνονται τα: Xinhonghua / XHH50, Elettrosunio / ES 425, Guanghi / GHDC-10, Yuhuan Sinosola / GP50, Yingli / 50(17), Hope / HBM-50, Jumao / JM-50W, Topray / TPS-105, Shenyu / SHY160, Prim-sola / BN-50M.

Είναι φανερό ότι τα καλύτερα πλαίσια και στις τρεις εγκαταστάσεις προέρχονται κυρίως από κατασκευάστριες εταιρίες της Ιαπωνίας. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η Ιαπωνία κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην αγορά των φ/β προϊόντων.

Τέλος, οι εταιρίες με το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς, Sharp, Kyocera, Bp Solar, δε βρίσκονται σε υψηλές θέσεις, σύμφωνα με τους χρηματοοικονομικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν. Οι εταιρίες αυτές είναι λίγο ακριβότερες αλλά παρέχουν περισσότερες εγγυήσεις στα προϊόντα τους καθώς και καλύτερη τεχνολογική υποστήριξη. Επιπλέον έχουν αντιπροσώπους σε όλες σχεδόν τις χώρες κάνοντας την προμήθεια των προϊόντων τους ευκολότερη και οικονομικότερη.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή επηρεάζονται από το κόστος των φ/β καθώς και από το φ/β δυναμικό των περιοχών των μελετούμενων εγκαταστάσεων. Ειδικότερα όσον αφορά το κόστος των φ/β, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές τιμοκαταλόγου που δίνουν οι εταιρίες φ/β στο διαδίκτυο, γνωρίζοντας ότι σε μία πραγματική εγκατάσταση, όταν μία εταιρία φ/β θα υποβάλει γραπτή προσφορά, τότε είναι βέβαιο ότι θα προσφέρει τα προϊόντα της με έκπτωση, δηλαδή σε μικρότερη τιμή από την τιμή τιμοκαταλόγου. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής είναι στατικά, καθώς συγκρίνουν φ/β διαφορετικών εταιριών χρησιμοποιώντας ως αφετηρία το κόστος των φ/β τη χρονική περίοδο που εκπονήθηκε η διπλωματική αυτή εργασία. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής δίνουν μία ένδειξη, όμως σε μία πραγματική φ/β εγκατάσταση, η οικονομοτεχνική μελέτη θα πρέπει να γίνει από την αρχή, χρησιμοποιώντας κατάλληλα εργαλεία, όπως το λογισμικό RETScreen, που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή.