

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟ Π.Μ.Σ.
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ**



**ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΛΟΦΟ ΞΕΝΙΑ**

ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΑΣ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟ Π.Μ.Σ.
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ**



**ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΛΟΦΟ ΞΕΝΙΑ**

ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΑΣ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι μέχρι το 2020 ένα ποσοστό τουλάχιστον 20% της καταναλισκόμενης στις χώρες μέλη ενέργειας, να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική, η ηλιακή η γεωθερμία. Στο πλαίσιο αυτό ψηφίστηκαν στην Ελλάδα μια σειρά από Νόμους όπως για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Νόμος 3468/2006 ΦΕΚ 129Α 27/06/2006) και ο Αναπτυξιακός Νόμος (Επενδυτικός Νόμος 3299/2004 ΦΕΚ 261 Α' - 23/12/2004 όπως τροποποιήθηκε από τον 3522/2006 ΦΕΚ 276 Α 22/12/2006).

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην μελέτη της παραγωγής ενέργειας από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, με πρακτική εφαρμογή στα ΝΑ και ΝΔ κομμάτια της στέγης του κτιρίου Κεντρικής Διοίκησης στον Λόφο Ξενία. Χωρίζεται στα ακόλουθα τέσσερα κεφάλαια:

1. Κεφάλαιο 1. Αποτελεί μία εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και την κατάσταση τους στην Ελλάδα.
2. Κεφάλαιο 2. Γίνεται βιβλιογραφική στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, και πιο συγκεκριμένα στην αρχή λειτουργίας των φ/β συστημάτων, στα υλικά κατασκευής τους, στις αποδόσεις αυτών των υλικών, στους διάφορους τύπους των φ/β πλαισίων, στις ηλεκτρικές τους ιδιότητες.
3. Κεφάλαιο 3. Γίνεται αναφορά στα μετεωρολογικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή στις στέγες του κτιρίου Κεντρικής Διοίκησης και στην επεξεργασία στην οποία αυτά επιβλήθηκαν. Επίσης καθορίζονται τα μοντέλα των φ/β συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν.
4. Κεφάλαιο 4. Γίνεται οικονομοτεχνική ανάλυση των φ/β συστημάτων, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης, αλλά και για την φ/β τεχνολογία γενικότερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΣΤΕΓΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΛΟΦΟ ΞΕΝΙΑ

Θέμα της παρούσας εργασίας είναι οι εξελίξεις στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων τόσο από τεχνολογική όσο και από οικονομική σκοπιά. Εξετάζεται επίσης η περίπτωση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών επί της στέγης του κτιρίου της Κεντρικής Διοίκησης στον λόφο Ξενία.

ABSTRACT

Techno-Economical study of on roof photovoltaic system at Central Building Xenia Hill.

Subject of present thesis are the developments at the sector of photovoltaic systems from a technological and economical point of view. Installation of on roof photovoltaic system at the central building Xenia Hill being examined.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.).....	1
1.2 ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	3
1.3 Φωτοβολταϊκά.....	3
Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική έρευνα.....	5
2.1 Παγκόσμια αγορά φ/β συστημάτων.....	5
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φ/β.....	6
2.3 Απόδοση φ/β πλαισίων.....	7
2.4 Επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης στην απόδοση του φ/β στοιχείου.....	8
2.5 Αγωγοί, ημιαγωγοί και μονωτές.....	10
2.6 Διέγερση των φ/β στοιχείων από το ηλιακό φάσμα.....	12
2.7 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β.....	13
2.7.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.....	14
2.7.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λωρίδας (ribbon).....	16
2.7.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.....	17
2.7.3 Κρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λεπτού υμενίου (Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells C-SiTFE).....	18
2.7.3.1 Το πυρίτιο ως υπόστρωμα.....	20
2.7.3.1.1 Υπόστρωμα μονοκρυσταλλικού πυριτίου.....	20
2.7.3.1.2 Υπόστρωμα πολυκρυσταλλικού πυριτίου.....	21
2.7.3.1.3 Πυρίτιο ως στρώμα-φράγμα.....	21
2.7.3.2 Μη πυριτικά υποστρώματα.....	21
2.7.3.2.1 Απόθεση του πυριτίου στο υπόστρωμα σε χαμηλή θερμοκρασία.....	22
2.7.3.2.2 Απόθεση του πυριτίου στο υπόστρωμα σε υψηλή θερμοκρασία.....	23
2.7.4 Άμορφο Πυρίτιο.....	23

2.7.5 Στοιχεία Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe ₂ ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS).....	27
2.7.6 Στοιχεία Τελουριούχου Κάδμιου (CdTe).....	28
2.7.7 Στοιχεία Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs).	28
2.8 Γενική σύγκριση υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β.....	29
2.9 Τάσεις στις έρευνα για την ανάπτυξη νέων συστημάτων.	31
2.10 Μελλοντική εξέλιξη στην αγορά των φ/β.	32
2.11 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β.	34
2.12 Κλίση φ/β πλαισίων και συστήματα έδρασης.	37
2.13 Χρήσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων	38
2.13.1 Αυτόνομα Συστήματα.....	38
2.13.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα	40
Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία και δεδομένα.	42
3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα	42
3.2 Δεδομένα εγκατάστασης.	46
Κεφάλαιο 4. Οικονομική ανάλυση συστημάτων.	50
4.1 Προϋποθέσεις οικονομικής ανάλυσης.....	50
4.2 Μεθοδολογία οικονομικής ανάλυσης.....	51
4.3 Κόστη αρχικής επένδυσης	51
4.4 Οικονομική ανάλυση.	52
4.4.1 CONERGY C175M	53
4.4.2 SHARP NT-R5E3E	54
4.4.3 SHARP NE-Q7E3E.....	55
4.4.5 FIRST SOLAR FS 65.....	56
4.5 Χρόνοι αποπληρωμής.	56
4.6 Συμπεράσματα από την ανάλυση.	57
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	59
Βιβλιογραφία.....	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.

Διάγραμμα 1:Εξέλιξη διεθνούς αγοράς φ/β και συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα.	5
Διάγραμμα 2: Τυπική καμπύλη μεταβολής απόδοσης φ/β στοιχείων πυριτίου.	9
Σχήμα 1: Δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου.	12
Διάγραμμα 3: Ανάλυση αγοράς φωτοβολταϊκών ανά κατηγορία τεχνολογίας για το 2001.	14
Σχήμα 2: Παραγωγική αλυσίδα μονοκρυσταλλικού πυριτίου.	15
Σχήμα 3: Παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε μορφή λωρίδας.	17
Σχήμα 4: Μορφή πολυκρυσταλλικού πυριτίου.	17
Διάγραμμα 4: Πρόβλεψη εξέλιξης αποδόσεων Mc-Si και CZ-Si.....	18
Σχήμα 5: Βασικά στοιχεία κυψέλης c-SiTFC.	19
Σχήμα 6: Διαστρωμάτωση άμορφου πυριτίου.....	24
Σχήμα 7: Συνδυασμός κρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου.....	26
Σχήμα 8. Δομή ενός τυπικού CdTe φ/β στοιχείου.	28
Διάγραμμα 5: Καμπύλη αποδοτικότητας σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο.	30
Διάγραμμα 6. Θέσεις εργασίας ανά εκατομμύριο \$ για διάφορες αγορές.....	33
Διάγραμμα 7:Συγκριτική εκτίμηση κόστους παραγωγής kWh.	33
Σχήμα 9: Μέρη συστοιχίας (στοιχείο, πλαίσιο, συστοιχία).....	35
Σχήμα 10: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού.	35
Διάγραμμα 8: Καμπύλες λειτουργίας τυπικού φωτοβολταϊκού.....	37
Διάγραμμα 9. Βέλτιστη γωνία (θ) φ/β πλαισίων ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου.	38
Σχήμα 11: Στοιχεία τυπικού αυτόνομου φ/β συστήματος.	39
Σχήμα 12: Στοιχεία διασυνδεδεμένου συστήματος.....	41
Διάγραμμα 10. Διάγραμμα ροής επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων.	45
Διάγραμμα 11 Παραγόμενη ενέργεια ανά μήνα για κάθε σύστημα.....	49
Σχήμα 13: Σύστημα στήριξης επί στέγης Sun Top III (Conergy).	52
Διάγραμμα 12. Οικονομικά αποτελέσματα με επιδότηση και αναπτυξιακό.	58
Διάγραμμα 13. Απόδοση κεφαλαίου στο τέλος της εικοσαετίας.	58
Σχήμα 14. Εφαρμογές φ/β σε αστικό περιβάλλον.	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.

Πίνακας 1. Κατάσταση των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα.	3
Πίνακας 2. Φόρμα επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων.....	44
Πίνακας 3: Δεδομένα των ΝΑ και ΝΔ στεγών κτιρίου Κεντρικής Διοίκησης.....	46
Πίνακας 4. Ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο σε μηνιαία βάση (KWh/m ²).	46
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά φ/β στοιχείων.....	47
Πίνακας 6: Αριθμός φ/β στοιχείων και συνολική ισχύς.	47
Πίνακας 7: Τύποι inverter που θα χρησιμοποιηθούν.	48
Πίνακας 8: Ενέργεια που θα παραχθεί (kWh).	48
Πίνακας 9: Κόστος αρχικής επένδυσης (€).	51
Πίνακας 10: Οικονομική ανάλυση Conergy C175M.	53
Πίνακας 11: Οικονομική ανάλυση Sharp NT-R5E3E.....	54
Πίνακας 12: Οικονομική ανάλυση Sharp NE-Q7E3E.	55
Πίνακας 13: Οικονομική ανάλυση First Solar FS65.....	56
Πίνακας 14: Χρόνοι αποπληρωμής.....	57
Πίνακας 15. Κόστος παραγόμενης kWh από διάφορες Α.Π.Ε.	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα εγγενή πλεονεκτήματα των ΑΠΕ και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή απεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Πραγματικά, σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων

(άνθρακας και πετρέλαιο). Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Οι μορφές που έχουν οι ΑΠΕ είναι αρκετές, οι σημαντικότερες από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω [1]:

1. Αιολική Ενέργεια: η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή και σε ηλεκτρική ενέργεια.
2. Υδραυλική Ενέργεια: αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.
3. Βιομάζα: είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.
4. Ηλιακή Ενέργεια: αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται και τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε:
 - i. Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.
 - ii. Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα: αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
 - iii. Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.
5. Γεωθερμική Ενέργεια: η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

6. Αστικά Απορρίμματα: η αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους.

1.2 ΑΠΕ στην Ελλάδα.

Τα παρακάτω στοιχεία προέρχονται από τον Ελληνικό Σύνδεσμο Ηλεκτροπαραγωγών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας [2] και αφορούν την κατάσταση των ΑΠΕ στην χώρα:

Πίνακας 1. Κατάσταση των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα.

Εγκατεστημένη ισχύς	763.500 kW.
Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια κατά την περίοδο 1989-2006	7.750.208.998 kWh
Παραγωγή ενέργειας το 2007	3.527.590.000 kWh
Μείωση εκπομπών CO ₂ το 2007	3.248.900.000 kg
Μείωση εκπομπών SO ₂ το 2007	59.270.000 kg
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγή ΑΠΕ	896.010.000 kg ισοδυνάμου πετρελαίου

1.3 Φωτοβολταϊκά.

Το 1839 ο Edmond Becquerel δημοσίευσε μία εργασία όπου περιέγραφε πειράματα που έκανε με μπαταρία υγρού ηλεκτρολύτη, κατά τα οποία διαπίστωσε ότι η τάση του συσσωρευτή αύξανε όταν οι πλάκες από άργυρο εκτίθενταν στο ηλιακό φως [3]. Το 1877 οι Adams και Day δημοσίευσαν την πρώτη μελέτη για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σ' ένα υλικό που ονομάζεται σελήνιο (selenium). Μερικά χρόνια αργότερα, το 1883, ο Charles Edgar Fritts κατασκεύασε τη πρώτη φωτοβολταϊκή κυψέλη από σελήνιο, η οποία έμοιαζε μ' αυτές που κατασκευάζονται σήμερα από πυρίτιο. Πολύ αργότερα, τη δεκαετία του '50, οι επιστήμονες των Εργαστηρίων Bell δημιούργησαν το πρώτο σύγχρονο φωτοβολταϊκό (Φ/Β), ενώ τέσσερα χρόνια αργότερα τα Φ/Β εφαρμόστηκαν σε δορυφόρους. Το 1960 έγινε η πρώτη εφαρμογή των

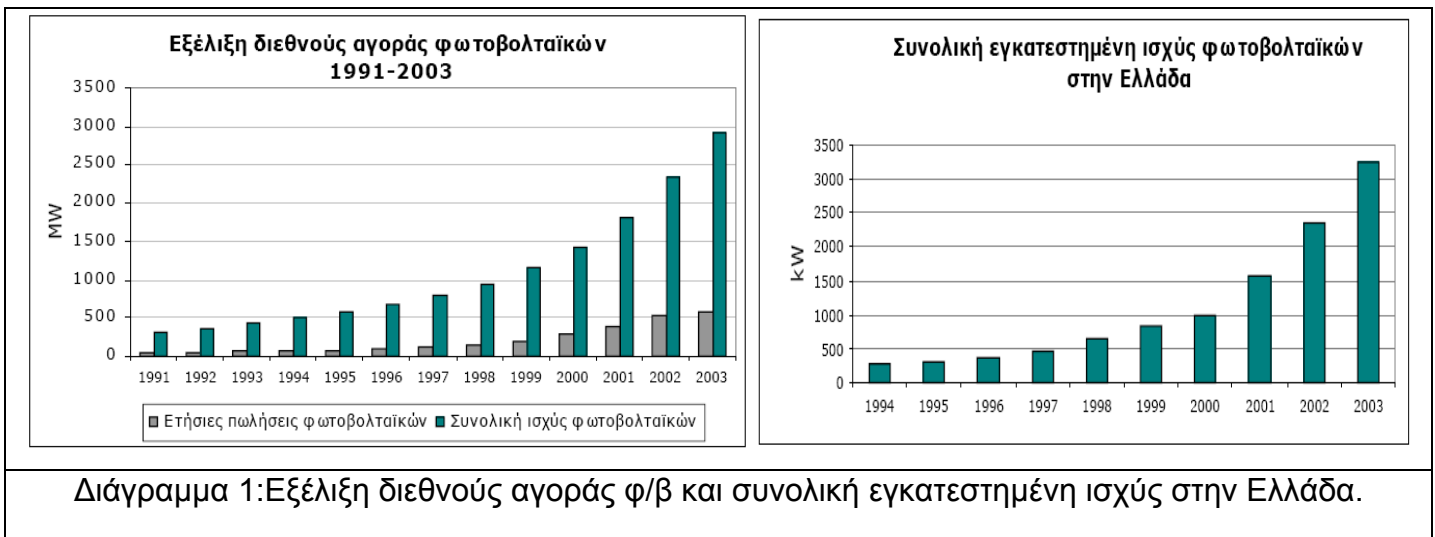
φωτοβολταϊκών σ' ένα αυτοκίνητο που κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Από τότε μέχρι σήμερα υπάρχει μια συνεχής ανάπτυξη, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η απόδοση τους και να διευρύνεται η εφαρμογή τους. Τα επόμενα χρόνια τα φωτοβολταϊκά θα γνωρίσουν μεγάλη άνθηση και η βιομηχανία τους θα είναι μια από τις μεγαλύτερες και ισχυρότερες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική έρευνα

2.1 Παγκόσμια αγορά φ/β συστημάτων.

Στα διαγράμματα του σχήματος 1 φαίνεται η εξέλιξη της αγοράς φωτοβολταϊκών τόσο στην Ελλάδα όσο και στο λοιπό κόσμο. Πρωτοπόροι στην εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι η Ιαπωνία, οι Η.Π.Α. και η Γερμανία. Οι χώρες αυτές τόσο με προσπάθεια ευαισθητοποίησης των πολιτών όσο και με μέτρα ενίσχυσης της απόκτησης τέτοιων συστημάτων, έχουν καταφέρει να εγκατεστημένη ισχύς να είναι πολύ μεγάλη και συγκρίσιμη με την ισχύ από συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Το παράδειγμα τους ακολούθησαν και άλλες χώρες, στις οποίες λαμβάνονται επίσης μέτρα ενίσχυσης για την χρήση τέτοιων συστημάτων. Στην Ελλάδα η κατάσταση για την ώρα είναι λίγο διαφορετική. Η χρήση των φωτοβολταϊκών γίνεται σε περιορισμένο βαθμό και αν αναλογιστεί κανείς το ηλιακό δυναμικό που διαθέτουμε τότε συνειδητοποιεί ότι παραμένει ανεκμετάλλευτη μια σημαντική πηγή ενέργειας, τη στιγμή που η Ελλάδα σαν χώρα έχει δεσμευθεί να παράγει το 20% της συνολικής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020.



Διάγραμμα 1: Εξέλιξη διεθνούς αγοράς φ/β και συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα.

Πηγή: Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών

Μέχρι το 1997 η παγκόσμια κατασκευαστική βιομηχανία των φωτοβολταϊκών παρουσίαζε ρυθμούς ανάπτυξης της τάξης του 10 με 15 % ετησίως [4]. Τη περίοδο 1997 - 2003 οπότε και εφαρμόστηκαν τα μέτρα ενίσχυσης για τη χρήση τους (προγράμματα ηλιακών στεγών σε Η.Π.Α και Γερμανία), ο ρυθμός αυτό έγινε μεγαλύτερος από 25 % .

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φ/β.

3

Η μεγάλη άνοδος στην παγκόσμια αγορά των φ/β, πηγάζει κυρίως από την συνειδητοποίηση των συγκριτικών τους πλεονεκτημάτων. Βασικότερα από αυτά είναι:

1. Ανεξάντλητη πηγή ελεύθερα διαθέσιμης ενέργειας.
2. Άφθονη πρώτη ύλη κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων.
3. Μεγάλη διάρκεια ζωής.
4. Δεν υπάρχει σημαντική απαίτηση συντήρησης άρα και χαμηλό κόστος λειτουργίας.
5. Ευκολία εγκατάστασης και λειτουργίας.
6. Δεν προκαλούν ρύπανση.
7. Έλλειψη παραπροϊόντων.
8. Άριστη λύση για ηλεκτροδότηση μακριά από δίκτυα.
9. Απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.
10. Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες.
11. Εξομάλυνση της ζήτησης αιχμής και αποφυγή διακοπών σε παροχή ρεύματος, κυρίως στα νησιά.
12. Αθόρυβη λειτουργία.

Ανάλογα με τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν και μειονεκτήματα που η σημαντικότητα τους πολλές φορές δρα ανασταλτικά στη χρήση τους. Ορισμένα από αυτά είναι:

1. Το μεγάλο κόστος κτήσης τους, τ' οποίο αυξάνεται σημαντικά σ' εφαρμογές όπου απαιτούνται συσσωρευτές (μπαταρίες).
2. Η μεγάλη έκταση που δεσμεύεται για τη τοποθέτηση τους λόγω του μικρού βαθμού απόδοσης
3. Δεν υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της παραγωγής ανάλογα με τη ζήτηση.

Την μικρή αποδοτικότητα που εξακολουθούν να έχουν τα φ/β συστήματα, περιγράφει με παραστατικότητα ο Miles [5], λέγοντας ότι αν τεθεί ο στόχος όλες οι χώρες να καλύψουν τις τρέχουσες ανάγκες τους σε ενέργεια από φ/β συστήματα με ένα βαθμό απόδοσης 15%, τότε θα έπρεπε η Αυστραλία να καλυφθεί στο 0,2% της έκτασης της με φ/β, το Ηνωμένο Βασίλειο 11% και τέλος το Βέλγιο 24%.

2.3 Απόδοση φ/β πλαισίων

Η απόδοση του η φ/β στοιχείου, μπορεί να οριστεί ως το ποσοστό εκείνο της προσπίπτουσας στο στοιχείο ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις:

$$\eta = \frac{P_m}{E * F} \quad (1) \quad P_m = V_m * I_m \quad (2)$$

όπου P_m η μέγιστη ισχύς του στοιχείου, V_m η τάση μέγιστης ισχύος, I_m η ένταση μέγιστης ισχύος, E η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και F το εμβαδόν του στοιχείου [6].

Ο βαθμός απόδοσης των φ/β στοιχείων, μεταβάλλεται με την θερμοκρασία και την ρύπανση της ατμόσφαιρας στην οποία είναι εγκατεστημένα. Αν ληφθούν και αυτοί οι παράγοντες υπόψη, τότε η σχέση (1) γίνεται:

$$\eta = \frac{P_{\phi}}{E * F * \sigma_{\theta} * \sigma_p} \quad (3)$$

όπου P_{ϕ} είναι η ισχύς που αποδίδει το φ/β στοιχείο, σ_{θ} είναι ένας αδιάστατος συντελεστής που έχει σχέση με την θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου και ο οποίος δίνεται από τον κατασκευαστή, σ_p είναι αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με την ρύπανση του περιβάλλοντος και παίρνει τιμές $\sigma_p=1$ για περιβάλλον χωρίς ρύπανση, $\sigma_p=0,9$ για περιβάλλον με μέτρια επίπεδα ρύπανσης και τέλος $\sigma_p=0,8$ για έντονα ρυπασμένο περιβάλλον.

Εργαστηριακά, οι αποδόσεις των φ/β στοιχείων έχει συμφωνηθεί να μετρούνται υπό συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες καθορίζονται από διεθνή σύμβαση. Συγκεκριμένα κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων θα πρέπει η ακτινοβολία να είναι 1000W/m^2 , η μάζα αέρα 1.5 (AM 1.5) και η θερμοκρασία στην επιφάνεια του στοιχείου να είναι 25°C [7].

2.4 Επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης στην απόδοση του φ/β στοιχείου.

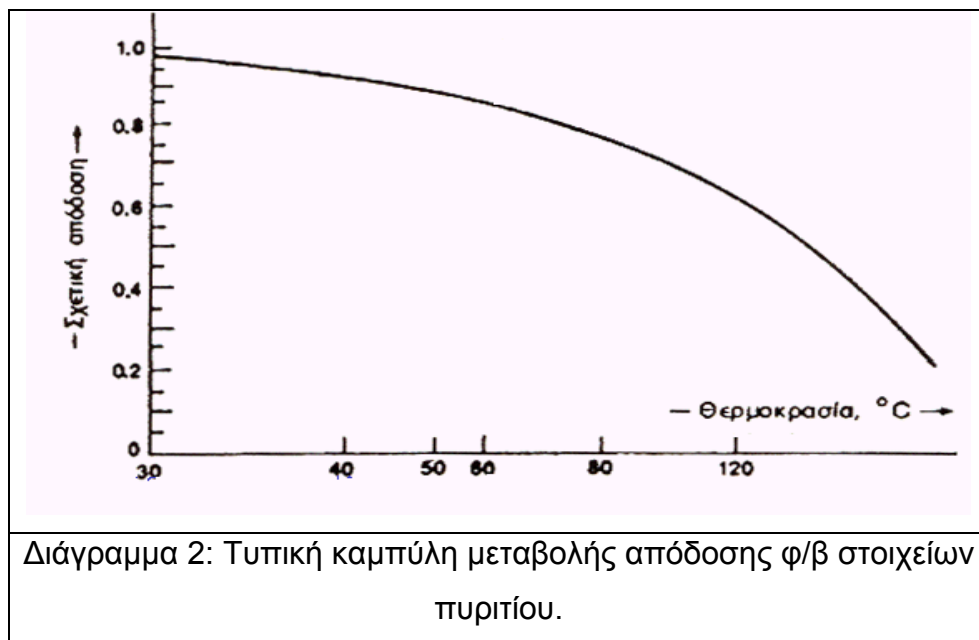
Έχει μετρηθεί ότι κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30 °C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου [8-9]. Ως μέσος όρος στους υπολογισμούς, λαμβάνεται συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30°C. Για τη διόρθωση αυτού του σφάλματος, χρησιμοποιείται ο αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} που αναφέρθηκε ανωτέρω.

Σε συμβατική θερμοκρασία ο σ_{θ} είναι ίσος με την μονάδα. Για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Π.χ. στην Αθήνα,

τον μήνα Ιούλιο που έχουμε μέση θερμοκρασία του αέρα, στις φωτεινές ώρες της ημέρας, σχεδόν 30 °C η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του Φ/β πλαισίου θα είναι περίπου:

$$\sigma_{\theta} = 1.00 - (60 - 20) * 0.005 = 0.8 \quad (4)$$

Την ίδια περίπου τιμή βρίσκουμε και αν χρησιμοποιήσουμε το λογαριθμικό διάγραμμα του σχήματος 2.



Για την αντιμετώπιση αυτής της μείωσης στην απόδοση των φ/β στοιχείων έχουν κατασκευαστεί διάφορα συστήματα ψύξης. Ενδεικτικά αναφέρεται η προσαγωγή κρύου αέρα στο πίσω μέρος του στοιχείου [10] και η εμφάνιση μιας νέας μορφής φ/β στοιχείων, των θερμοφωτοβολταϊκών, τα οποία συνδυάζουν την προθέρμανση του αέρα και την παραγωγή του ζεστού νερού με την κλασσική ηλεκτρική λειτουργία [11].

Η απόδοση του φ/β στοιχείων ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, μπορεί να επηρεαστεί επίσης από την ρύπανση της ατμόσφαιρας, η οποία έχει σαν

αποτέλεσμα την επικάθιση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από την θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας με απορρυπαντικό [12].

2.5 Αγωγοί, ημιαγωγοί και μονωτές.

Η τεχνολογία των ηλιακών κυττάρων, είναι μία διάταξη ηλεκτρικής μετατροπής που είναι ικανή να μετατρέψει την ηλιακή ενέργεια (βομβαρδισμό φωτονίων) σε ηλεκτρική ενέργεια, παράγοντας μια ροή ηλεκτρονίων όταν είναι συνδεδεμένη με συσκευή φόρτισης. Το φ/β φαινόμενο είναι πολύ εντονότερο στα μέταλλα που είναι αγωγοί, ενώ πραγματοποιείται δυσκολότερα σε υλικά που χαρακτηρίζονται ως μονωτές. Κάτι τέτοιο συμβαίνει γιατί το ενεργειακό διάκενο που χωρίζει την ζώνη σθένους από τη ζώνη αγωγιμότητας, είναι πολύ μικρότερο στους αγωγούς από ότι στους μονωτές. Έτσι, τα ηλεκτρόνια των αγωγών απελευθερώνονται με την ελάχιστη ενέργεια, ενώ αυτά των μονωτών απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενδιάμεση κατάσταση περιγράφεται από υλικά γνωστά ως ημιαγωγοί, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή φ/β κυττάρων [13].

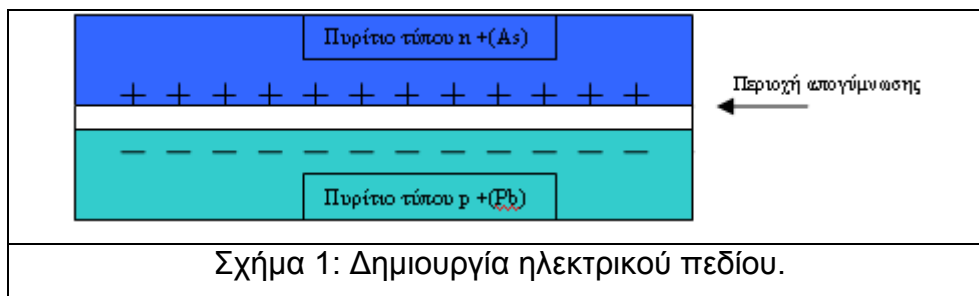
Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e^-) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνητό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n).

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As). Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.



Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» της επαφής p . Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο της ϕ/β κυψέλης και η βάση της ϕ/β τεχνολογίας.

2.6 Διέγερση των ϕ/β στοιχείων από το ηλιακό φάσμα.

Σύμφωνα με τη θεωρία της κβαντομηχανικής το ηλιακό φάσμα μπορεί να προσεγγιστεί από ένα μέλαν σώμα 5900K που οδηγεί σε ένα πολύ ευρύ φάσμα ακτινοβολίας από το υπεριώδες έως το υπέρυθρο, με αποτέλεσμα μόνο ένα μέρος του μήκους κύματος να έχει ενέργεια εντός του εύρους του φάσματος δυναμικού του ημιαγωγού και είναι ικανό να διεγείρει τα ηλεκτρόνια του. Ένα ποσοστό της τάξης του 24% των φωτονίων που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα έχουν λιγότερη ενέργεια από αυτή που απαιτείται για να διεγερθούν τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού και να προκαλέσουν την ροή ρεύματος, ενώ αντίστοιχα ένα 32% των φωτονίων είναι υπέρ-ενεργητικά (κατέχουν περισσότερη ενέργεια από αυτή που χρειάζονται τα ηλεκτρόνια, στην κυψέλη του φωτοβολταϊκού, για να προκαλέσουν την ροή ρεύματος), με αποτέλεσμα η περίσσεια ενέργεια να εκλύεται στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου με την μορφή θερμότητας [14].

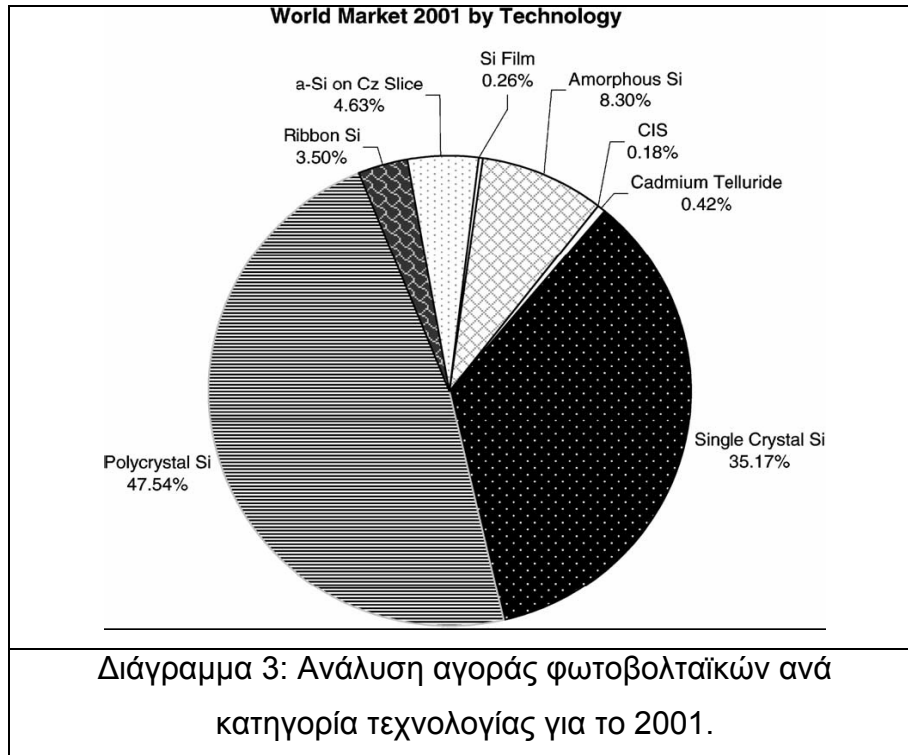
Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη ϕ/β κυψέλης περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p . Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το

θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό διάκενο αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον υπάρχει μια περίσσεια ηλεκτρονίων, η οποία μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετηθεί μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται.

2.7 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β.

Το πιο συνηθισμένο υλικό κατασκευής είναι το πυρίτιο, το οποίο χρησιμοποιείται σε τρεις τύπους, ενώ σημαντική έρευνα γίνεται σε άλλες τρεις τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων. Κυρίαρχα μοντέλα λοιπόν στην αγορά είναι τα:

1. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.
2. Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.
3. Το κρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λεπτού υμενίου (thin film).
4. Το άμορφο και ναοκρυσταλλικό πυρίτιο.
5. Χαλκού-ινδίου-δισεληνίου $CuInSe_2$ ή CIS
6. Καδμίου-τελλουρίου (CdTe).
7. Γαλλίου-Αρσενίου (GaAs).

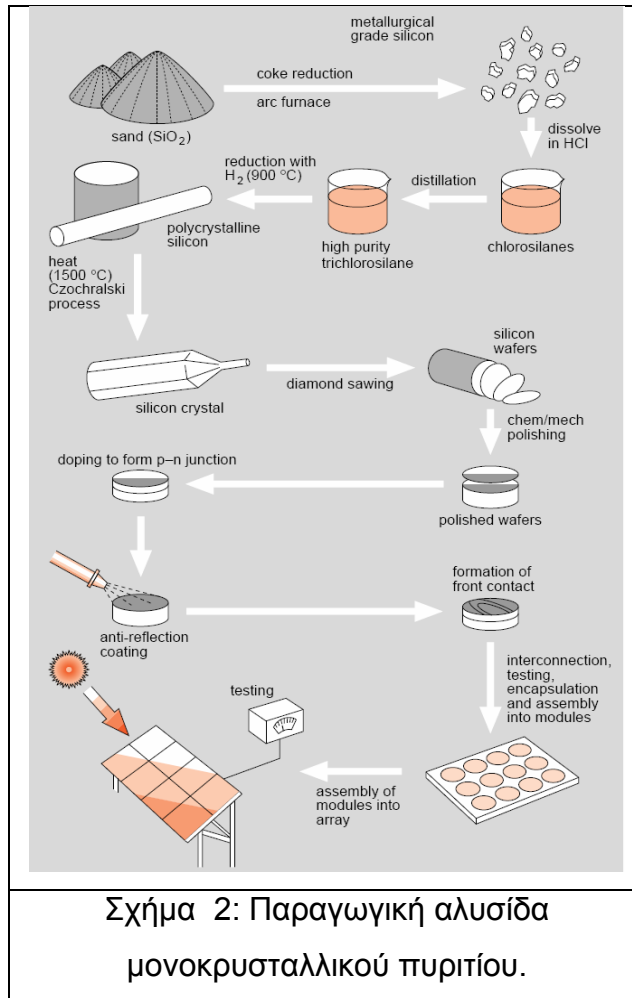


Πηγή: Goetzberger et al, 2003 [15]

2.7.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Κατασκευάζεται με τη μέθοδο Czochralski, η οποία είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και ενεργειοβόρα [16]. Η διαδικασία παραγωγής είναι η ακόλουθη [7] :

Πυριτική άμμος → Μεταλλουργικό πυρίτιο → Τριχλωροσιλάνια → Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο υψηλής καθαρότητας → Κρυσταλλικό πυρίτιο → Λεπτά ημιαγωγικά στοιχεία.



Πηγή: (Godfrey Boyle, 1996).

Τα στοιχεία αυτά έχουν πάχος μεταξύ 200 και 400 μm . Ανάλογα με τις απαιτήσεις, κάποιες φορές οι κύλινδροι αυτοί κόβονται κατάλληλα έτσι ώστε ν' αποκτήσουν γωνίες και να γίνεται μέγιστη επιφανειακή εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Για να επιτευχθεί καλύτερος βαθμός απόδοσης, κατασκευάζονται στοιχεία, η μορφή των οποίων έχει σχήμα πυραμίδας. Με τον τρόπο αυτό η δέσμευση ηλιακής ενέργειας είναι μεγαλύτερη. Εργαστηριακά, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που έχει επιτευχθεί είναι 24% [17].

Σε φ/β στοιχεία από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, τα οποία έχουν κατασκευαστεί με την μέθοδο Czochralski (CZ), όταν φθάνουν σε αποδόσεις μεγαλύτερες του 15%, εμφανίζεται τάση μείωσης αυτής δέκα ώρες μετά την

αρχική τους έκθεση στον ήλιο. Η παράμετρος αυτή, η προέλευση της οποίας δεν ήταν μέχρι πρόσφατα γνωστή, έχει γίνει σημαντική λόγω της ανόδου της αποδοτικότητας των ηλιακών κυττάρων. Το ίδιο φαινόμενο, δεν παρουσιάζεται σε στοιχεία κατασκευασμένα με την μέθοδο Float Zone (FZ), αλλά εξακολουθεί να προτιμάται η μέθοδος Czochralski για οικονομικούς λόγους. Μετά βέβαια την ραγδαία υποβάθμιση (εκθετικά) της απόδοσης της κυψέλης, αυτή τελικά σταθεροποιείται σε μία τιμή για το υπόλοιπο της λειτουργικής ζωής. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα ανόπτησης των κυψελών που έχουν περάσει στην φάση της μειωμένης απόδοσης, μέσω της υποβολής τους σε θερμοκρασία 200°C σε περιβάλλον δωματίου [18].

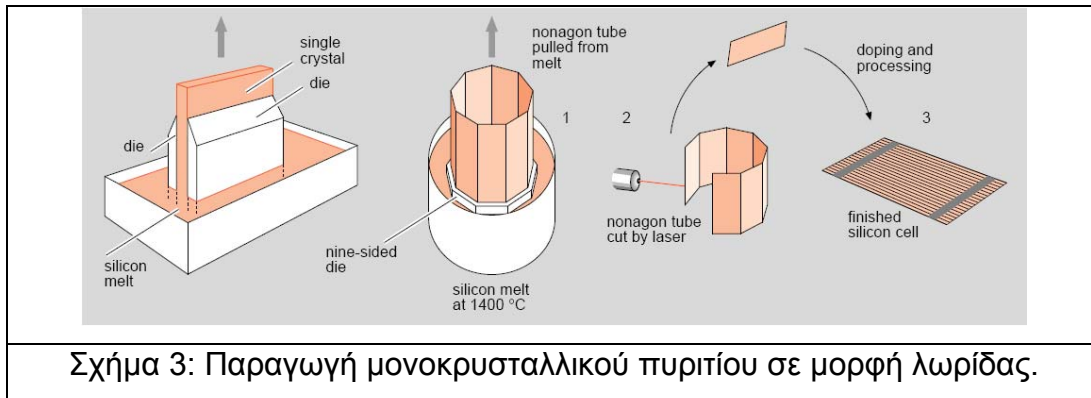
Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί μια σειρά από τύπους κυψελών c-Si, στους οποίους το φαινόμενο της μείωσης της απόδοσης δεν παρουσιάζεται [15].

1. Επιχρισμένη με βόριο κυψέλη FZ c-Si τύπου p χωρίς την παρουσία οξυγόνου ή άλλων επιμολυντών.
2. Επιχρισμένη με φώσφορο κυψέλη FZ c-Si τύπου n, στην οποία σκόπιμα επιτρέπεται ποσότητα οξυγόνου ($[O_i]=4,2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^3$).
3. Επιχρισμένη με φώσφορο κυψέλη CZ c-Si τύπου n δεν παρουσιάζει καμία υποβάθμιση.

2.7.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λωρίδας (ribbon).

Μια ιδιαίτερη μορφή μονοκρυσταλλικού πυριτίου, είναι τα στοιχεία σε μορφή λωρίδας (ribbon). Αυτά κατασκευάζονται με διέλαση εν θερμώ από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο μέσα από κατάλληλες μήτρες οπότε και προκύπτει σωλήνας εννιαγωνικής μορφής. Αυτός στη συνέχεια κόβεται σε σταθερό μήκος ενώ ταυτόχρονα με ακτίνα laser διαχωρίζονται και οι εννιά λωρίδες από τις οποίες και κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, για τα οποία μέγιστος βαθμός απόδοσης που έχει επιτευχθεί είναι 14,8%. Στόχος αυτής της

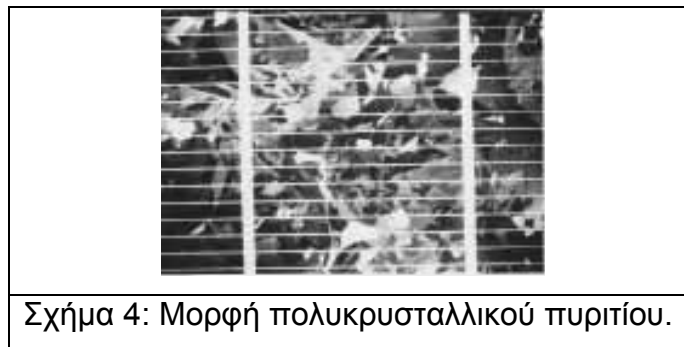
τεχνολογίας είναι η μείωση του κόστους, μέσω της αποφυγής της δαπανηρής διαδικασίας τεμαχισμού του πυριτίου και συνάμα ο περιορισμός της ποσότητας της πρώτης ύλης.



Σχήμα 3: Παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε μορφή λωρίδας.

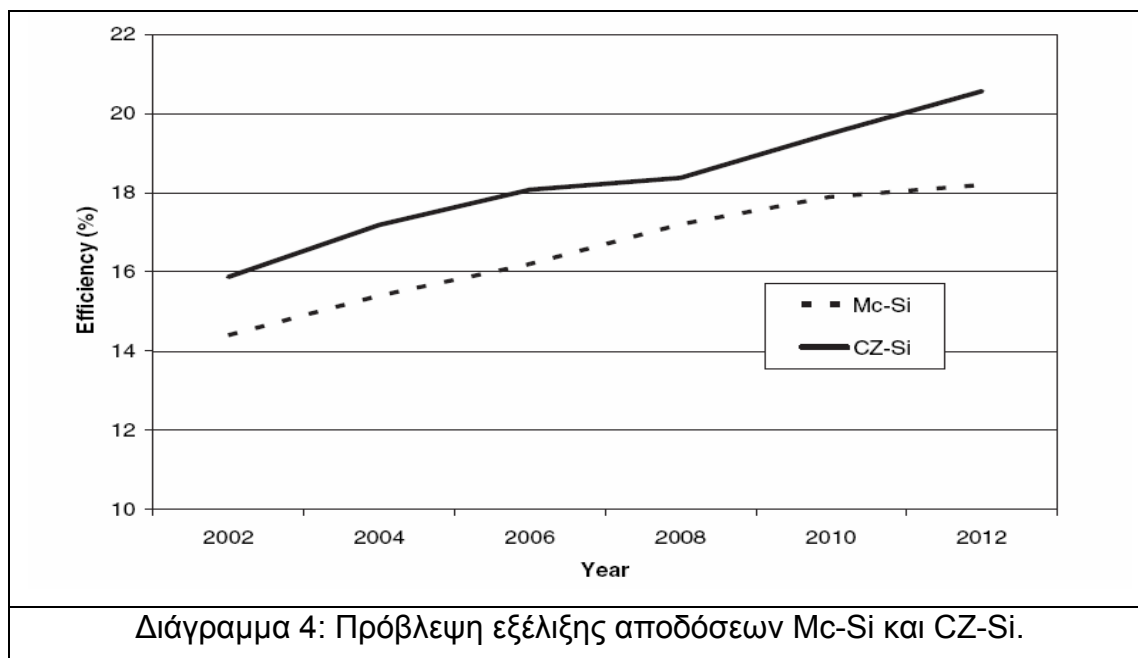
2.7.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Χρησιμοποιείται αντί του μονοκρυσταλλικού πυριτίου λόγω του οικονομικότερου τρόπου παραγωγής του. Είναι κοκκώδους μορφής, ενώ το μέγεθος του κόκκου παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Σαν υλικό είναι πολύ ανθεκτικό και γι' αυτό οι κόκκοι κόβονται στο ένα τρίτο του πάχους των μονοκρυσταλλικών. Οι κόκκοι αυτοί μπορούν να μορφοποιούνται σε πολύγωνα έτσι ώστε να περιορίζεται η ανεκμετάλλευτη επιφάνεια στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Μπορούν επίσης να παρασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία σε λωρίδες, οι οποίες βγαίνουν σ' αυτή τη μορφή απ' ευθείας από τη μήτρα, χωρίς επεξεργασία. Συνήθως το χρώμα τους έχει μπλε απόχρωση .



Σχήμα 4: Μορφή πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Στο διάγραμμα 4 δίνετε ένα συγκριτικό γράφημα εξέλιξης των αποδόσεων για τους δύο κυριότερους τύπους κρυσταλλικού πυριτίου.



Πηγή: Swanson, 2006 [19]

2.7.3 Κρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λεπτού υμενίου (Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells C-SiTFE).

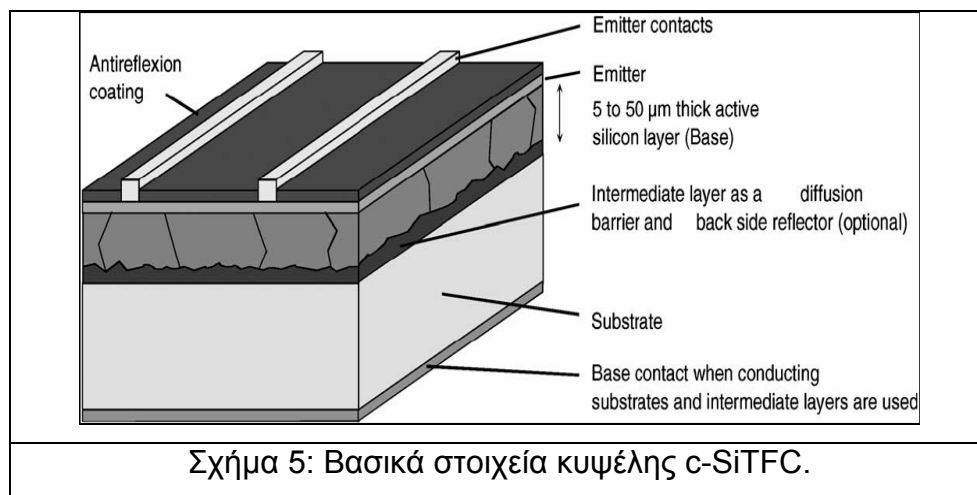
Οι πρώτες σκέψεις σχετικά με λεπτότερα στοιχεία πυριτίου έγιναν από τους Wolf [20] και Lofersky [21] κατά την διάρκεια έρευνας τους για τις ιδανικές παραμέτρους επίτευξης υψηλών αποδόσεων. Επισήμαναν ότι με μειωμένο πάχος, η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται λόγω του μειωμένου βαθμού κορεσμού του υλικού σε ρεύμα, αποτέλεσμα ενός μειωμένου γεωμετρικού παράγοντα. Σήμερα, στόχος της έρευνα που γίνεται στον τομέα αυτό, είναι η ανάπτυξη τεχνολογίας η οποία θα μπορεί να δώσει οικονομικά μοντέλα παραγωγής.

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των c-SiTFE είναι ότι απαιτείται κάποιο υπόστρωμα ως μηχανική υποστήριξη λόγω του μειωμένου πάχους του ενεργού στρώματος πυριτίου (χαρακτηριστικά 5 –50 χιλ). Το υπόστρωμα αυτό

αποτελείται είτε από το χαμηλής ποιότητας πυρίτιο (native substrate), είτε από άλλα υλικά όπως γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης (foreign substrate). Η επιλογή του υλικού του υποστρώματος καθορίζει τη μέγιστη θερμοκρασία κατά την επεξεργασία των στοιχείων και επομένως, σχεδόν όλες οι περιπτώσεις μπορούν να καταταγούν σε μια από τις δύο ακόλουθες κατηγορίες:

1. Υψηλής θερμοκρασίας προσέγγισης.
2. Χαμηλής θερμοκρασίας προσέγγισης.

Οι κρίσιμότερες απαιτήσεις σχετικά με το υπόστρωμα είναι το χαμηλό κόστος, η θερμική σταθερότητα, συμβατός συντελεστής θερμικής διαστολής, μηχανική σταθερότητα και λειότητα επιφάνειας [22].



Σαν μια απαρίθμηση των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί ως υποστρώματα, μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

1. Γυαλί
2. Γραφίτης
3. Cz-Si
4. Fz-Si
5. mc-Si

6. Διάφορα μέταλλα
7. Υαλώδεις άνθρακα.

Τα ποσοστά απόδοσης για όλα τα παραπάνω υποστρώματα ποικίλουν παρουσιάζοντας ένα μέγιστο βαθμό 24,7% για υπόστρωμα Fz-Si [23].

2.7.3.1 Το πυρίτιο ως υπόστρωμα.

Τα χαμηλού κόστους υποστρώματα πυριτίου έχουν το πλεονέκτημα της ίδιας θερμικής συμπεριφοράς και της θερμικής σταθερότητας. Ένα μειονέκτημα είναι ότι τα μακρού μήκους κύματα δεν απορροφούνται.

Υπάρχουν δύο κύριες πρακτικές για την ανάπτυξη των στρωμάτων πυριτίου σε υπόστρωμα πυριτίου. Η πρώτη είναι να αναπτυχθούν στρώματα κρυσταλλικού πυριτίου πάνω σε κορδέλες πυριτίου υψηλής απόδοσης ή σε βελτιωμένο μεταλλουργικά πυρίτιο (MG-Si). Μια άλλη πρακτική είναι να χρησιμοποιηθεί ένα στρώμα-φράγμα (συνηθέστερα SiO₂) ώστε να αποτρέπεται η διάχυση ακαθαρσιών από το υπόστρωμα στο ενεργό στρώμα. Με αυτή την πρακτική παράγονται μεγέθη κόκκων πολύ μικρότερα από εκείνα της πρώτης πρακτικής. Η επανακρυσταλλοποίηση χρησιμοποιείται συχνά για να υπερνικήσει αυτό το εμπόδιο, ανεβάζοντας όμως το κόστος της επεξεργασίας.

2.7.3.1.1 Υπόστρωμα μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Η συμβολή των εντόνως επιχρισμένων μονοκρυσταλλικών υποστρωμάτων, στην αποδοτικότητα κυψελών thin film, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πάχος του ενεργού στρώματος [24]. Έτσι, για πάχος ενεργού στρώματος 20μm, υποστρώματα με επίχρισμα $6 \cdot 10^{18}/\text{cm}^3$ μπορούν να συμβάλουν κατά 4% στο ρεύμα βραχυκυκλώματος, ενώ για πάχος λιγότερο από 10 μm, η συμβολή μπορεί να είναι πάνω από 10%. Τελικά για μια κυψέλη thin

film καλής ποιότητας με μπροστινό μέτωπο ουδέτερο , η ικανότητα διάχυσης των ηλεκτρονίων στο υπόστρωμα είναι σημαντική.

2.7.3.1.2 Υπόστρωμα πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Στις κυψέλες mc-Si τα όρια των κόκκων είναι παρόντα αλλά οι κόκκοι είναι μεγάλοι και τα επίπεδα ακαθαρσιών δεν είναι τόσο υψηλά όσο στο μεταλλουργικό πυρίτιο. Το κόστος βέβαια χρήσης του υψηλής ποιότητας πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι πάρα πολύ μεγάλο, γεγονός που καθιστά ανέφικτη την εμπορική χρησιμοποίησή του.

2.7.3.1.3 Πυρίτιο ως στρώμα-φράγμα.

Η όλη ιδέα είναι ότι εάν μεταξύ του ενεργού στρώματος και του χαμηλού κόστους υποστρώματος, παρεμβληθεί ένα στρώμα φραγμός, η διάχυση ακαθαρσιών από το υπόστρωμα στο ενεργό στρώμα είναι δυνατόν να μειωθεί. Σαν τέτοιο υλικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το SiO₂.

2.7.3.2 Μη πυριτικά υποστρώματα.

Τα γυαλί είναι πιθανώς το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο σαν υπόστρωμα σε αυτή την κατηγορία κυψελών. Η απόθεση του κρυσταλλικού πυριτίου σε υπόστρωμα στις χαμηλές θερμοκρασίες έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να μειώσει την ένταση στο πυρίτιο λόγω θερμικών διαστολών αλλά και μη διάχυσης ακαθαρσιών στο ενεργό στρώμα. Για να γίνει εφικτή η επιτυχής εμπορική εφαρμογή, ένα μικρού κόστους υπόστρωμα, ένα υψηλό ρυθμός απόθεσης κατά την διαδικασία της κατασκευής και μια μεθοδολογία η οποία να μπορεί να μεταφερθεί σε παραγωγή μεγάλης κλίμακας, είναι προαπαιτούμενα.

2.7.3.2.1 Απόθεση του πυριτίου στο υπόστρωμα σε χαμηλή θερμοκρασία.

Το γυαλί είναι πολύ καλό υλικό για χρήση ως υπόστρωμα, αφού συνδυάζει χαρακτηριστικά όπως το χαμηλό κόστος, η δημιουργία διαφανούς στρώματος, η ηλεκτρική μόνωση, η χημική σταθερότητα, η αντοχή στις μετεωρολογικές μεταβολές και τέλος η εύκολη ανακύκλωση. Στην περίπτωση όμως του γυαλιού, η απόθεση του ενεργού στρώματος πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασίες έως 600°C (χαμηλή θερμοκρασία) [25]. Το κυριότερο μειονεκτήματα της απόθεσης σε χαμηλή θερμοκρασία είναι ότι οδηγεί σε μικρό μέγεθος κόκκων και επομένως σε χαμηλότερης ποιότητας υλικό, ενώ και ο ρυθμός απόθεσης, παράγοντας κρίσιμος κατά την φάση της κατασκευής, είναι μειωμένος.

Άλλα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υποστρώματα με την απόθεση να γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία είναι:

1. Γυαλί επενδεδυμένο με μέταλλο.
2. Γυαλί επενδεδυμένο με διοξείδιο του κασσίτερου (SnO_2).
3. Υποστρώματα μετάλλων όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο οποίος έχει το πλεονέκτημα της ηλεκτρικής επαφής με το πυρίτιο.
4. Το διοξείδιο του κασσίτερου (SnO_2) είναι ένας διαφανής αγωγός και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στο υπόστρωμα σαν επίστρωμα.

Ο χαλαζίας (SiO_2) χρησιμοποιείται συχνά ως επιφάνεια απόθεσης, σαν ενδιάμεσο μεταξύ του ενεργού πυριτίου και του υποστρώματος γυαλιού. Επιτρέπει την κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες, μετά όμως την ολοκλήρωση του σταδίου της απόθεσης, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του παραγόμενου υλικού. Ο χαλαζίας περιέχει γενικά λιγότερες ακαθαρσίες από το γυαλί και έχει πολύ μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από το πυρίτιο. Άλλα υποστρώματα που έχουν ερευνηθεί είναι το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO) και το μολυβδαίνιο (Mo).

2.7.3.2.2 Απόθεση του πυριτίου στο υπόστρωμα σε υψηλή θερμοκρασία.

Η απόθεση του πυριτίου υπό υψηλή θερμοκρασία σε μη πυριτικά υποστρώματα τείνει να οδηγήσει σε μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων και ρυθμούς ανάπτυξης αυτών, λόγω της μεγαλύτερης επιφανειακής κινητικότητας των προσροφημένων ατόμων.

Σε αυτή την περίπτωση, η θερμοκρασία είναι ο περιοριστικός παράγοντας κατά την επιλογή του υποστρώματος. Αν είναι επιθυμητή η απόθεση του πυριτίου υπό υψηλή θερμοκρασία, πρέπει το υπόστρωμα που θα επιλεγεί να έχει παραπλήσιο συντελεστή θερμικής διαστολής με το πυρίτιο, χαμηλά ποσοστά ακαθαρσιών και βέβαια χαμηλό κόστος. Όπως και στην περίπτωση απόθεσης υπό χαμηλή θερμοκρασία, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένα στρώμα-φραγμός το οποίο θα προστατεύει το στρώμα ενεργού πυριτίου από τυχόν ακαθαρσίες που υπάρχουν στο υπόστρωμα. Υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η αλουμίνα, ο γραφίτης, ο μουλίτης ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), ο υαλώδης άνθρακας, το πυράντοχο γυαλί [26].

2.7.4 Άμορφο Πυρίτιο.

Οι πρώτες δημοσιεύσεις για το άμορφο πυρίτιο ($\alpha\text{-Si}$) εμφανίστηκαν κατά το τέλος της δεκαετίας του '60. Η οπτική εμφάνιση των κυττάρων αυτής της κατηγορίας, τα καθιστά ελκυστικά για εφαρμογή σε προσόψεις κτιρίων.

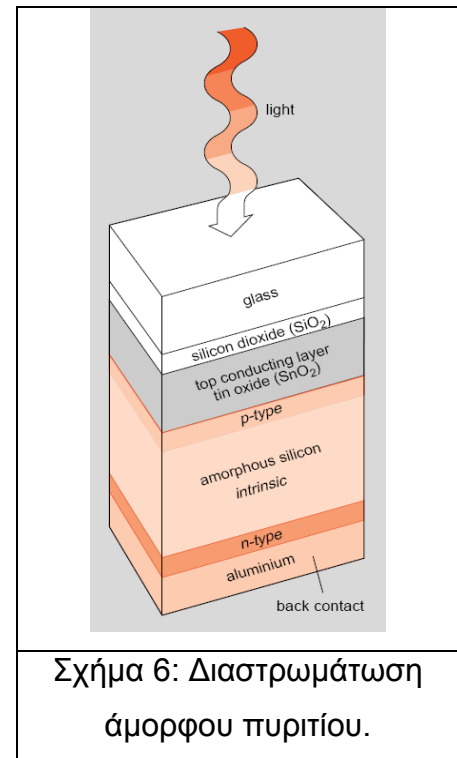
Σ' αυτή τη μορφή τα άτομα είναι πολύ λιγότερο διατεταγμένα σε σχέση με αυτά της κρυσταλλικής μορφής. Επίσης δεν είναι πλήρως συνδεδεμένα με τα γειτονικά τους, με αποτέλεσμα να εκπέμπουν το επιπλέον ηλεκτρόνιο που προέρχεται από πρόσμιξη με άλλα υλικά, το υδρογόνο, μαζί με μικρή ποσότητα από πρόσμικτο (π.χ. βόριο). Όλο αυτό αποσυντίθεται ηλεκτρικά και καθιζάνει υπό τη μορφή πολύ λεπτού στρώματος άμορφου πυριτίου πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα. Το υδρογόνο έχει την ιδιότητα να παρέχει τα επιπλέον ηλεκτρόνια

που απαιτούνται, ενώ το πρόσμικτο έχει το ρόλο να βελτιώνει την αγωγιμότητα του στοιχείου.

Τα στοιχεία άμορφου πυριτίου δεν έχουν την γνωστή αρχιτεκτονική p – n αλλά την p- i – n. Η διαστρωμάτωση της από πάνω προς τα κάτω είναι:

1. Ένα στρώμα από διοξείδιο του πυριτίου
2. Ένα πολύ λεπτό στρώμα από θετικό τύπο άμορφου πυριτίου
3. Ένα παχύτερο στρώμα άμορφου πυριτίου χωρίς πρόσμικτα.
4. Ένα πολύ λεπτό στρώμα από αρνητικό τύπο άμορφου πυριτίου

Μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε σχέση με τους άλλους δυο τύπους, 40 φορές περισσότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρά στρώματα, περίπου 1 μm , όταν τα κρυσταλλικά ξεκινούν από τα 200 μm . Μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε φθηνά υποστρώματα, όπως σίδηρο, γυαλί και πλαστικό. Σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος παραγωγής τους, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από άμορφο πυρίτιο καθίστανται σημαντικά φθηνότερα από τα προηγούμενα.



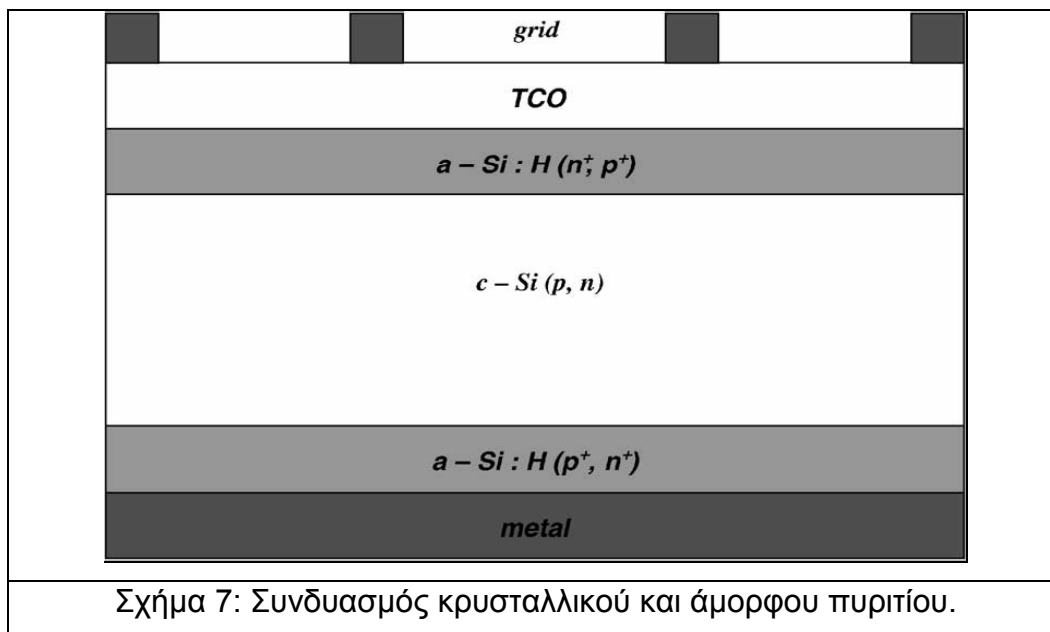
Φαίνεται ότι το άμορφο πυρίτιο, έχει φθάσει στο στάδιο όπου περαιτέρω βελτίωση του ίδιου του υλικού δεν είναι πολύ πιθανή. Τελειοποιήσεις αναμένονται πλέον να στηριχθούν σε βελτιώσεις των ίδιων των συσκευών. Μία γενική στρατηγική για την βελτίωση της αποδοτικότητας, είναι να γίνει επαλληλία της δομής δύο ή ακόμα και τριών κυττάρων. Η απόθεση των ενεργών στρωμάτων γίνεται σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, έχει το πλεονέκτημα ότι τα προηγούμενα

στρώματα δεν επηρεάζονται από τα επόμενα βήματα απόθεσης. Η εισαγωγή της επαλληλίας αυτής στρωμάτων, οδηγεί σε μία τελική κυψέλη η οποία μπορεί να εκμεταλλευθεί σε αποδοτικότερο βαθμό το ηλιακό φάσμα και η οποία έχει βελτιωμένη αποδοτικότητα.

Γενικά, η πρόοδος στην ανάπτυξη του άμορφου πυριτίου σχετίζεται με την έρευνα στις ακόλουθες περιοχές [15]:

1. Πρόοδος στην γνώση του υλικού και των θεμάτων σταθερότητας.
2. Βελτίωση της διαδικασίας μέσα από την διάλυση ποσοτήτων υδρογόνου στο σιλάνιο.
3. Κατανόηση των δομικών ιδιοτήτων που αποκτά το υλικό στα σημεία επαφής μεταξύ άμορφης και κρυσταλλικής κατάστασης, αποκαλούμενη πρωτοκρυσταλλική.
4. Βελτιστοποίηση της σχεδίασης των κυττάρων με την εισαγωγή π.χ. στρωμάτων φραγμού, κραμάτων και 'διεγερτικών' συστατικών, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα εξέλιξη είναι ο συνδυασμός κρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου, όπου η απορρόφηση του φωτός εξακολουθεί να γίνεται στο κρυσταλλικό στρώμα. Το τελευταίο, έρχεται σε επαφή και από τις δύο πλευρές με το άμορφο πυριτίου [27]. Στο σχήμα παρουσιάζεται η αρχή της όλης δομής.



Οι μεγαλύτερες αποδόσεις σε αυτήν την κατηγορία, της τάξης 20,7%, έχουν καταγραφεί στα εργαστήρια της Ιαπωνικής εταιρείας Sanyo, από κύτταρο Cz πυριτίου τύπου η εμβαδού 101 cm² [15]. Χρησιμοποίηση αυτής της τεχνικής μπορεί να έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Δυνατότητα επίτευξης υψηλής αποδοτικότητας.
2. Χαμηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας; Όλα τα βήματα επεξεργασίας πραγματοποιούνται κάτω από τους 200 °C.
3. Μειωμένο κόστος τεχνολογίας.

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου τύπου thin film, εξαρτάται έντονα από την μέθοδο κατασκευής. Για παράδειγμα ένα μη κορυφαίας ποιότητας υλικό, το οποίο θα υποστεί μία καλά μελετημένη και δουλεμένη επεξεργασία, καταλήγει να δίνει καλύτερες αποδόσεις από ένα κορυφαίο σε ποιότητα υλικό με μια στοιχειώδη όμως επεξεργασία [28].

Από την άλλη πλευρά, σημαντικό μειονέκτημα των άμορφων φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η μικρή απόδοση που έχουν. Οι τιμές της περιορίζουν τις δυνατότητες χρήσης τους σε εφαρμογές μικρότερων απαιτήσεων.

Ακόμα πιο σοβαρό μειονέκτημα είναι ότι μετά την έκθεση τους στον ήλιο για κάποιους μήνες, η απόδοση τους πέφτει σε σχέση με την αρχική, περίπου κατά 3%.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου, κατείχαν το 2001 ποσοστό μικρότερο του 10% της παγκόσμιας αγοράς, προβλέπεται όμως να έχουν σημαντική ανάπτυξη την επόμενη 25-ετία [29].

2.7.5 Στοιχεία Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS).

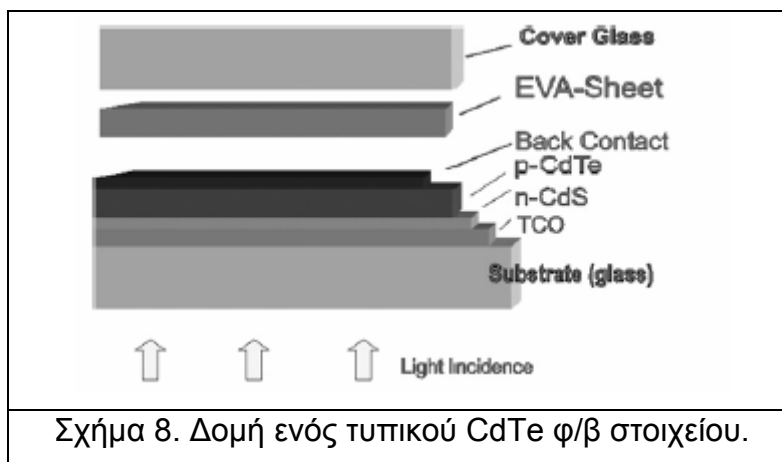
Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 19,5% (Miles 2006) η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Είναι ευαίσθητος στο ερυθρό και στο υπέρυθρο τμήμα του ηλιακού φάσματος, τ' οποίο δεν απορροφάται από το άμορφο πυρίτιο. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο [30].

Κατά την διαδικασία παραγωγής των στοιχείων αυτής της κατηγορίας, καταναλώνονται οι εξής πόροι [31]:

1. Γυαλί 24,96 kg/m².
2. Νερό 1,25 kg/m².
3. Mo+Cu+In+Ga+Se+CdS+ZnO+CuSn 70g/m².
4. Ηλεκτρική ενέργεια 24,3kWh/m².

2.7.6 Στοιχεία Τελουριούχου Κάδμιου (CdTe).

Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16% (εργαστήρια NREL [5]). Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



Πηγή: Raugei et al, 2007 [31].

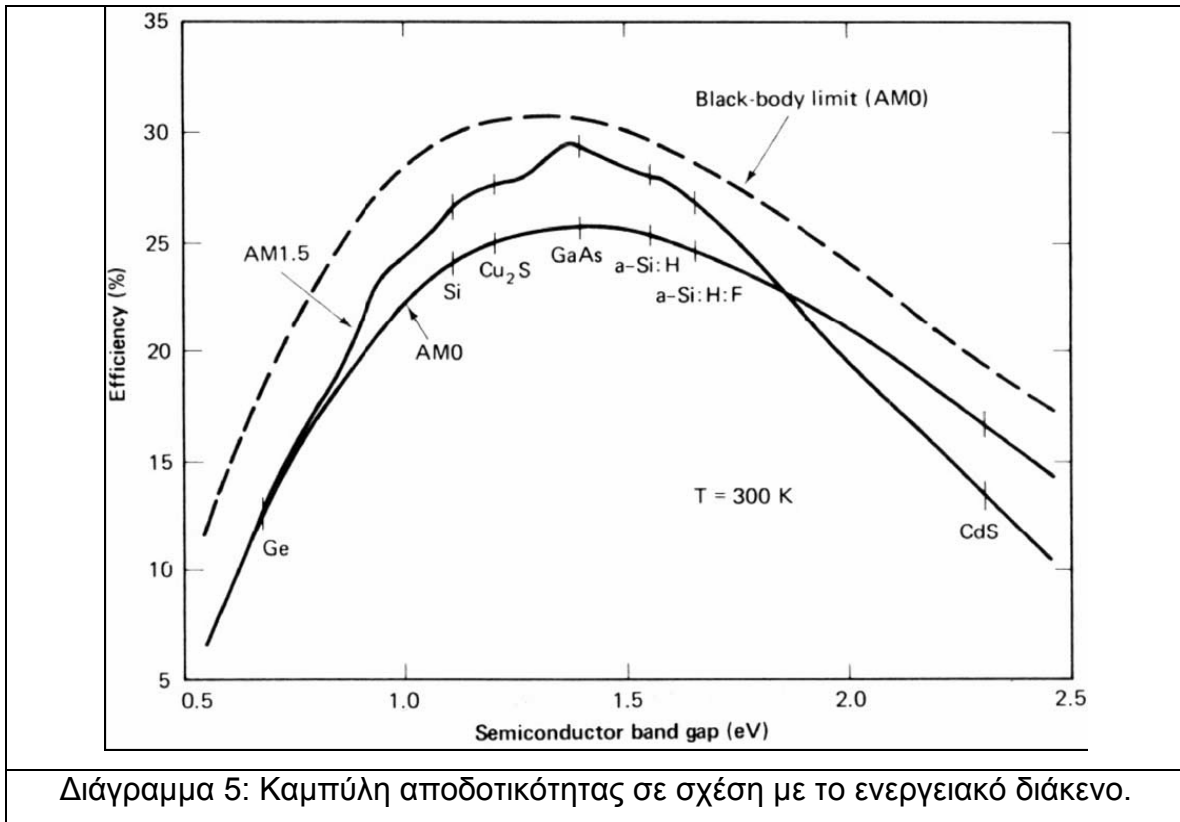
2.7.7 Στοιχεία Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs).

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι

ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων GaInP/GaAs/Ge (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 32% (Miles, 2006). Επίσης είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση του σε εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι αντέχει σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός το οποίο μαζί με την υψηλή του απόδοση το κάνει ιδανικό για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

2.8 Γενική σύγκριση υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β.

Στο διάγραμμα 5 δίνεται η καμπύλη της αποδοτικότητας διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των φ/β στοιχείων σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο τους. Σε αυτό παρατηρείται ότι το πυρίτιο δεν βρίσκεται στον μέγιστο βαθμό απόδοσης αλλά σχετικά κοντά. Επίσης το πυρίτιο είναι ένας έμμεσος ημιαγωγός, πράγμα που σημαίνει ότι η απορρόφηση του φωτός πολύ πιο αδύνατη από ότι σε έναν άμεσο ημιαγωγό, γεγονός που έχει σοβαρές συνέπειες στις ποσότητες των υλικών που είναι απαραίτητες για την επίτευξη των ίδιων ποσοστών απορρόφησης. Για παράδειγμα για μια μέτρια απορρόφηση 90% απαιτείται μόνο 1 μm GaAs (ένας άμεσος ημιαγωγός), ενώ απαιτούνται 100 μm Si. Παρόλες όμως αυτές τις ατέλειες του πυριτίου, αυτό κυριαρχεί στην αγορά κυρίως λόγω του γεγονότος ότι η τεχνολογία είχε ήδη αναπτυχθεί ιδιαίτερα πριν από την εμφάνιση και την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, μέσω του κλάδου της μικροηλεκτρονικής [32].



Διάγραμμα 5: Καμπύλη αποδοτικότητας σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο.

Προκειμένου να μεγαλώσει το εύρος ενέργειας των φωτονίων των οποίων η ενέργεια είναι δυνατόν να απορροφηθεί, έχουν σχεδιασθεί φ/β στοιχεία πολλαπλών ενώσεων, τα οποία αποτελούνται από δύο ή περισσότερα ενεργά υλικά. Η απορρόφηση σε αυτά γίνεται σε περισσότερες της μίας φάσεις. Τα φωτόνια μικρού μήκους κύματος απορροφούνται στην στρώση μεγάλου ενεργειακού διάκενου με αποτέλεσμα μια υψηλή τάση εξόδου. Αντίθετα τα φωτόνια μεγαλύτερου μήκους κύματος, απορροφούνται στην στρώση μικρού ενεργειακού διάκενου. Οι κυψέλες που κατασκευάζονται σήμερα περικλείουν μόνο δύο ή τρεις το πολύ στρώσεις, παρόλο που εδώ και χρόνια έχει δειχτεί ότι άπειρες στρώσεις είναι θεωρητικά δυνατές [21].

2.9 Τάσεις στις έρευνα για την ανάπτυξη νέων συστημάτων.

Η έρευνα που είναι σε εξέλιξη έχει στόχο την εύρεση νέων υλικών, τέτοιων που θα δίνουν μεγάλες αποδόσεις. Τα ζητούμενα χαρακτηριστικά πιθανών νέων υλικών, πρέπει να είναι:

1. Ενεργειακό διάκενο μεταξύ 1,1 και 1,7 eV.
2. Άμεση δομή ζωνών.
3. Εύκολα διαθέσιμα, μη τοξικά υλικά.
4. Διαδικασία παραγωγής μη εξεζητημένη, κατάλληλη για μαζική παραγωγή.
5. Υψηλή απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.
6. Μακροπρόθεσμη σταθερότητα.

Υλικό που να ικανοποιεί όλες αυτές τις απαιτήσεις δεν έχει βρεθεί ακόμα. Έτσι, τρία σενάρια για την μελλοντική εξέλιξη της τεχνολογίας μπορούν να προβλεφθούν:

1. Συνεχής κυριαρχία των μονοκρυσταλλικών ή πολύκρυσταλλικών τεχνολογιών.
2. Νέα τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου μέσου πάχους.
3. Κάποια σημαντική ανακάλυψη που θα οδηγήσει στην μαζική παραγωγή των τεχνολογιών thin film όπως a-Si ή CIS ή CdTe.

Πάντως σύμφωνα με την EPIA (European Photovoltaic Industry Association) η υπάρχουσα τεχνολογία θα παραμείνει στο προσκήνιο για άλλα 15 χρόνια τουλάχιστον, ενώ τα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα θα χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό και κυρίως στον κτιριακό τομέα. Σε μακροπρόθεσμη κλίμακα νέες τεχνολογίες και νέες κατηγορίες υλικών είναι δυνατό να υπάρξουν, όπως η χρήση οργανικών μορίων ή τα δίδυμα φ/β στοιχεία.

Τα μοντέλα τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου κυριάρχησαν στην αγορά φωτοβολταϊκών συστημάτων εδώ και 30 χρόνια, από τότε δηλαδή που η τεχνολογία άρχισε να βρίσκει εφαρμογές εκτός των διαστημικών αποστολών και στη γη. Ένας πολύ βασικός λόγος ήταν ότι το κόστος κατασκευής τους κατάφερε μέσα από συνεχή μειώσεις, να διατηρηθεί σε επίπεδα που δεν επέτρεπαν σε νέες τεχνολογίες να έρθουν στο προσκήνιο [19]. Η τάση αυτή όμως είναι πολύ πιθανό να αναστραφεί τα επόμενα χρόνια, εξαιτίας της έλλειψης της πρώτης ύλης (πυρίτιο) κατασκευής. Σύμφωνα με τον Dhere [33], η παρατηρούμενη ετήσια ανάπτυξη του κλάδου κατά 35%, θα οδηγήσει γρήγορα την παραγωγή του 1 GW κατά το 2004, σε επίπεδα 3-4 GW σε μερικά χρόνια, παραγωγή όμως αδύνατο να εξυπηρετηθεί λόγω της έλλειψης πυριτίου που θα παρουσιαστεί.

Στόχος της έρευνας στον τομέα των φωτοβολταϊκών τα επόμενα δέκα χρόνια, θα είναι η ανάπτυξη τεχνολογίας της οποίας το κόστος παραγωγής θα είναι λιγότερο από \$0.50/W και ο βαθμός απόδοσης τουλάχιστον 10%. Μια τέτοια εξέλιξη θα καθιστούσε εφικτό το εγκατεστημένο σύστημα να κυμανθεί στα επίπεδα του \$1.00/W, τιμή ακόμα και σήμερα ανταγωνιστική των ορυκτών καυσίμων [19].

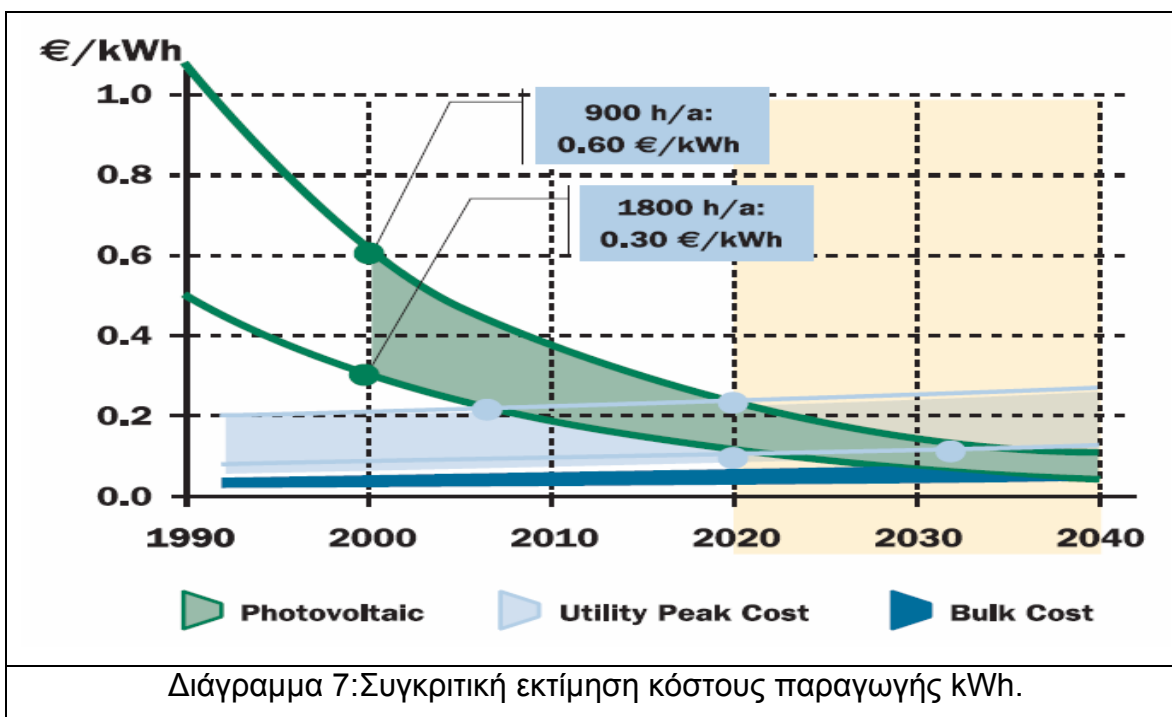
2.10 Μελλοντική εξέλιξη στην αγορά των φ/β.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, μέχρι το 2030, ο κλάδος των φ/β θα έχει εξελιχθεί σε έναν μεγάλο τομέα της οικονομικής και βιομηχανικής δραστηριότητας, τόσο παγκοσμίως όσο και στην Ευρώπη. Η πρόβλεψη είναι ότι θα υπάρχει μία ισχυρή ευρωπαϊκή βιομηχανία φ/β με σημαντικές εξαγωγές, ενώ μία εκτιμώμενη ετήσια ευρωπαϊκή παραγωγή της τάξης των 20-40 GW θα δημιουργήσει έναν αριθμό θέσεων εργασίας σε όλη την Ε.Ε. της τάξης των 200.000 με 400.000, πολλές από τις οποίες θα αφορούν παροχή υπηρεσιών εγκατάστασης φ/β.



Πηγή: Ψωμάς, 2003 [34].

Προβλέψεις, στην εξέλιξη της τιμής της παραγόμενης kWh (διάγραμμα 7), πάλι από την Ευρωπαϊκή επιτροπή (αναφορά) , δείχνουν ότι ως το 2030 τα φ/β συστήματα θα είναι ανταγωνιστικά από οικονομική σκοπιά προς τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.

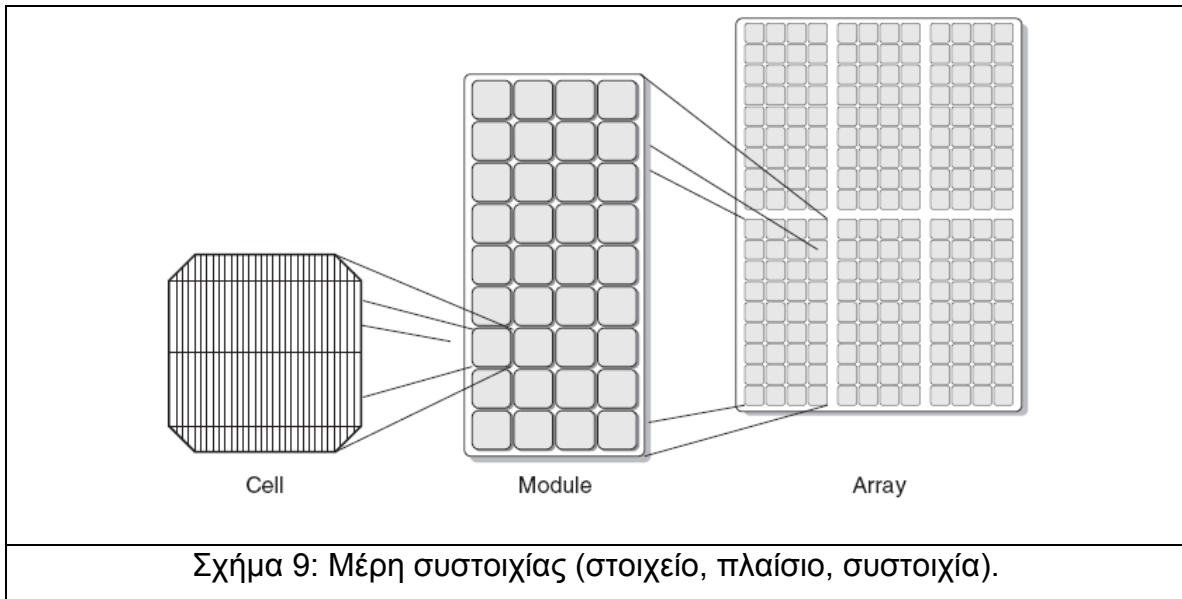


Πηγή: European Commission [35].

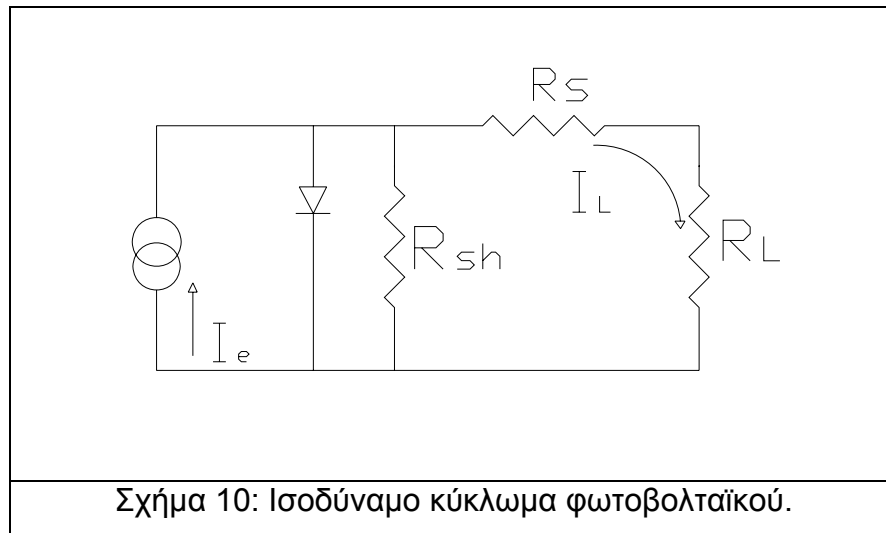
Ο χρόνος ζωής ενός φωτοβολταϊκού είναι αρκετά μεγάλος. Υπάρχουν μονάδες που λειτουργούν 30 και 40 χρόνια. Οι εταιρείες παραγωγής δίνουν συνήθως μια εγγύηση καλής λειτουργίας που είναι περίπου της τάξης των 25 χρόνων, εγγύηση την οποία πρώτη φαίνεται πως εισήγαγε η Siemens τον Ιούνιο του 1997 [17]. Καλή λειτουργία σημαίνει ότι η μονάδα δεν θα λειτουργεί σε λιγότερο από το 80% της αρχικής της απόδοσης, για συνθήκες που ήδη καθορίζονται.

2.11 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β.

Κάθε φ/β στοιχείο πυριτίου, παράγει ηλεκτρική ισχύ μερικών εκατοντάδων mWatt υπό τάση 0,4-0,8 V όταν η ένταση του είναι περίπου 2,5 A [6]. Η ισχύς αυτή είναι πολύ μικρή για οποιαδήποτε πρακτική χρήση, οπότε για την επίτευξη ικανοποιητικότερων τιμών ισχύος τα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά και παράλληλα, έτσι ώστε να δώσουν τις κατάλληλες τιμές τάσης και έντασης. Η σύνδεση σε σειρά δίνει αποτέλεσμα μεγαλύτερης έντασης με σταθερή την τάση, ενώ η παράλληλη σύνδεση δίνει μεγαλύτερη τάση στ' άκρα του κυκλώματος τη στιγμή που η ένταση παραμένει σταθερή. Για να παραχθεί το ρεύμα με τα χαρακτηριστικά που πρέπει, 36 στοιχεία συνδέονται σε σειρά και παράλληλα και δίνουν το φ/β πλαίσιο, ενώ και πάλι τα πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα σε κατάλληλους αριθμούς για να δώσουν τις επιθυμητές τάση και ένταση, σχηματίζοντας τελικά την φ/β συστοιχία. Πρέπει να σημειωθεί όμως εδώ, ότι όλα τα φ/β πλαίσια που ενώνονται για να σχηματίσουν μία συστοιχία, πρέπει να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας.



Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα των φωτοβολταϊκών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



όπου R_{sh} η παράλληλη αντίσταση, R_s η αντίσταση σειράς, R_L η αντίσταση φορτίου, I_L το ρεύμα φορτίου.

Η παράλληλη αντίσταση δεν έχει πρακτική επίδραση στην απόδοση του φωτοβολταϊκού. Το ρεύμα φορτίου I_L , διαρρέει και την αντίσταση σειράς R_s με αποτέλεσμα να εμφανίζονται απώλειες ισχύος ακόμα και για μικρές τιμές της αντίστασης, οι οποίες συμβάλουν σημαντικά στην άνοδο της θερμοκρασίας. Λόγω της εσωτερικής αντίστασης υπάρχουν απώλειες, οι οποίες μετατρέπονται σε θερμότητα που επιδρά αρνητικά στην απόδοση. Η αποδιδόμενη ισχύς από το φ/β στοιχείο δίνεται από την σχέση:

$$P_o = R_L \times I_L^2 \quad (5)$$

Στο Σχήμα φαίνονται οι καμπύλες έντασης – τάσης και ισχύος – τάσης που χαρακτηρίζουν τη γενική λειτουργία των φωτοβολταϊκών κυψελών, για σταθερή θερμοκρασία και προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Αντίστοιχα είναι και τα διαγράμματα λειτουργίας των ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στις καμπύλες αυτές δίνονται τα παρακάτω στοιχεία:

1. Η μέγιστη ισχύς του στοιχείου P_m .
2. Την τάση μέγιστης ισχύος V_m .
3. Την ένταση μέγιστης ισχύος I_m .
4. Την τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} .
5. Την ένταση βραχυκυκλώματος I_{sc} .

Η μέγιστη τάση και ένταση, είναι η αντίστοιχα η τάση και η ένταση που αντιστοιχούν στην μέγιστη ισχύ. Αυτή αντιστοιχεί στο σημείο της καμπύλης του διαγράμματος τάσης και έντασης, το οποίο μεγιστοποιεί το υποκείμενο ορθογώνιο.

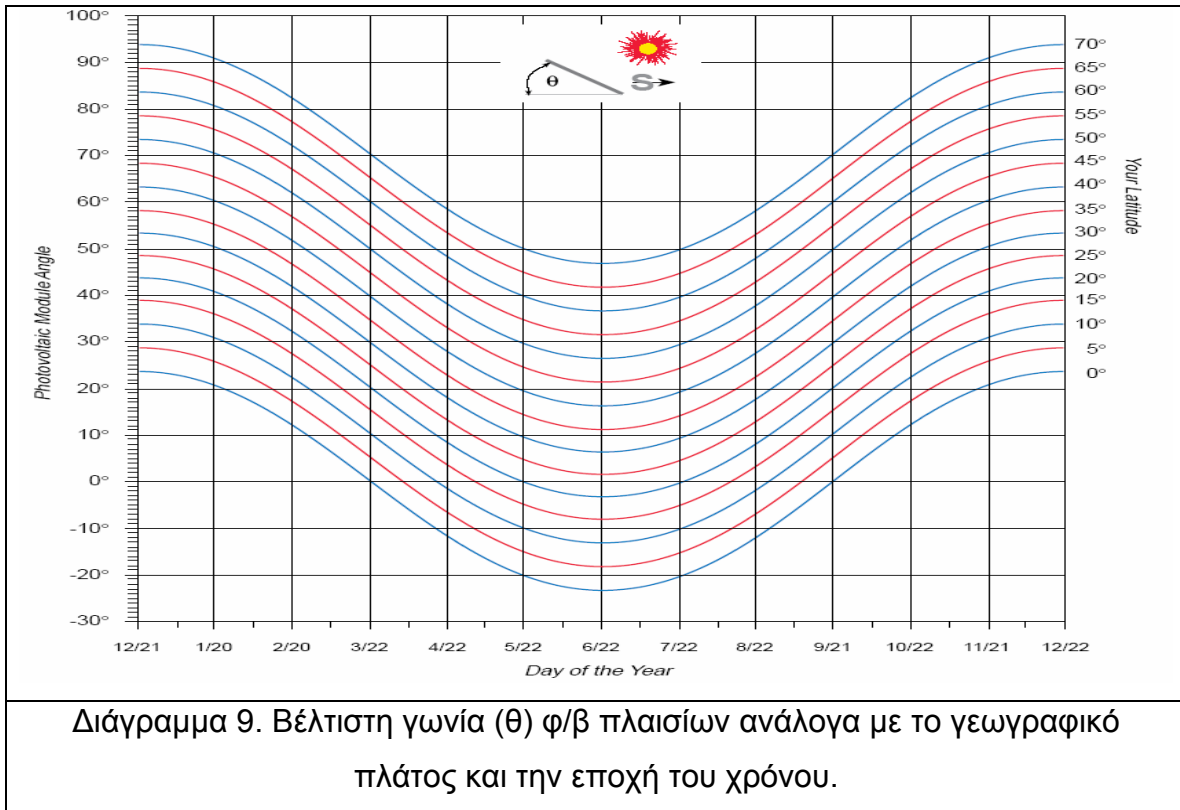
Κάθε σύστημα έχει τις δικές του χαρακτηριστικές καμπύλες οι οποίες δίνονται από τον κατασκευαστή.



2.12 Κλίση φ/β πλαισίων και συστήματα έδρασης.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια τους. Μεγαλύτερη τιμή της σημαίνει και καλύτερη απόδοση του στοιχείου. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει ανάλογα με τη θέση του ήλιου, να έχουν κατάλληλη κλίση ώστε να προσπίπτουν όσο γίνεται πιο κάθετα οι ακτίνες του ήλιου ώστε να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, το καλοκαίρι, που ο ήλιος βρίσκεται ψηλά, τα στοιχεία πρέπει να έχουν μικρή έως μηδενική κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Αντίθετα, το χειμώνα, που ο ήλιος είναι χαμηλά, η κλίση πρέπει να είναι μεγάλη. Σ' εφαρμογές που δεν είναι δυνατή μεταβολή της κλίσης των πανέλων, βέλτιστη θεωρείται η μέση τιμή των βέλτιστων μηνιαίων κλίσεων. Όμως σ' εφαρμογές που επιτρέπεται η μεταβολή της κλίσης, αυτό μπορεί να γίνει

είτε χειρονακτικά είτε αυτόματα, με σύγχρονα συστήματα που παρακολουθούν την πορεία του ήλιου.



Πηγή: Perez, 1993 [36].

2.13 Χρήσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων

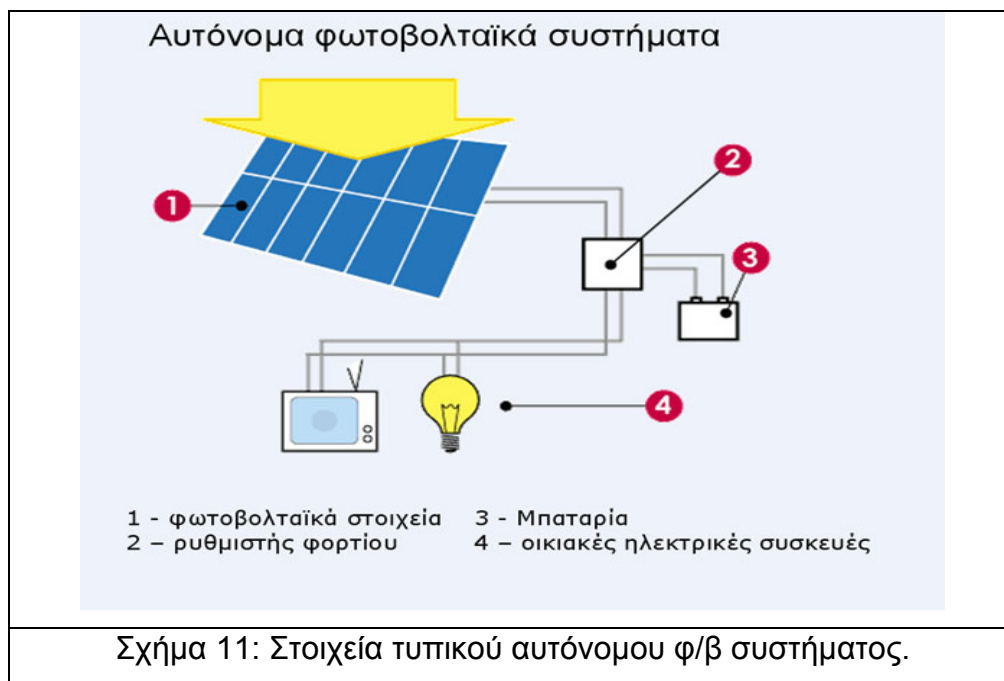
Τα συστήματα φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούμε χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, τα αυτόνομα και τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ισχύος.

2.13.1 Αυτόνομα Συστήματα

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα στα οποία η παραγωγή ρεύματος γίνεται αποκλειστικά απ' αυτά, χωρίς όμως αυτή να διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο αλλά να καταναλώνεται τοπικά. Κάποιες φορές συνδυάζονται με συσσωρευτές για την αποθήκευση της ενέργειας, όταν αυτή δεν καταναλίσκεται άμεσα. Στην περίπτωση όπου γίνεται άμεση εκμετάλλευση δεν

απαιτούνται μπαταρίες (π.χ. σε ηλεκτροδότηση αντλιών ύδρευσης). Τα συστήματα αυτά αποτέλεσαν σημαντική λύση στο πρόβλημα ηλεκτροδότησης εγκαταστάσεων σε απομακρυσμένες και δύσβατες περιοχές όπου ήταν αδύνατο να φθάσει το ηλεκτρικό δίκτυο [37] . Εφαρμογές αυτών είναι:

1. Σπίτια, κτηνοτροφικές και αγροτικές μονάδες, πυροφυλάκια κ.α.
2. Κεραίες και φάροι.
3. Τηλεφωνικοί θάλαμοι.
4. Στύλοι φωτισμού και σημάνσεως.
5. Φωτισμός στάσεων μέσω μεταφοράς.
6. Συστήματα ασφαλείας.



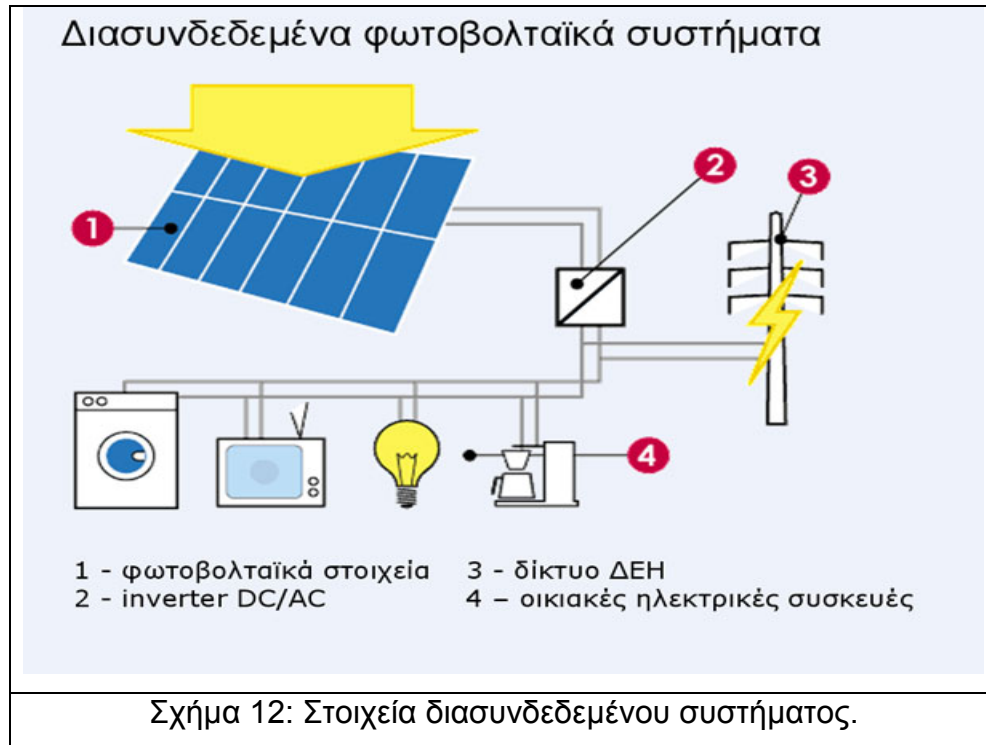
Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος, όπως άλλωστε κάθε Φ/β εγκατάστασης, είναι η Φ/β γεννήτρια, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως, το σύστημα περιλαμβάνει επίσης, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και το βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσειας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να

χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη, διατάξεις για ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, άλλες διατάξεις προστασίας και ελέγχου και συχνά μια βοηθητική γεννήτρια, συνήθως ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, που να λειτουργεί με καύση βενζίνης ή πετρελαίου για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστάσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων κλπ).

Το μέγεθος της αγοράς αυτής, μπορεί να εκτιμηθεί αν συνεκτιμηθεί το γεγονός ότι σήμερα περίπου 2 δισεκατομμύριο άτομα είναι χωρίς πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια [15].

2.13.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα

Στη περίπτωση αυτή τα συστήματα είναι διασυνδεδεμένα με το υπάρχον δίκτυο ισχύος της κάθε περιοχής. Με τον τρόπο αυτό διοχετεύεται είτε το σύνολο της παραγωγής, αν πρόκειται καθαρά για παραγωγική μονάδα, είτε μέρος αυτής, αν περισσεύει από άλλες δραστηριότητες (π.χ. από κατοικίες). Πέρα από την εξοικονόμηση καυσίμου στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, έχουν σπουδαία προσφορά στη συντήρηση και διατήρηση των δικτύων. Ο λόγος είναι ότι περιορίζεται το μοντέλο του κεντρικού σταθμού με δίκτυα που μεταφέρουν την ενέργεια μακριά, άρα χρήση ειδικών διατάξεων για την σωστή μεταφορά, ως και αντικατάσταση των δικτύων όταν φτάνουν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Πέρα από τον κεντρικό σταθμό, το νέο μοντέλο έχει και μικρότερους οι οποίοι συνεισφέρουν στη παραγωγή και τροφοδοτούν τις πιο απομακρυσμένες περιοχές χωρίς ν' απαιτούνται μεγάλων διαστάσεων καλώδια. Είναι φθηνότερα από τα αυτόνομα, αφού δεν υπάρχουν οι συσσωρευτές και οι συσκευές που τους συνοδεύουν π.χ. οι ρυθμιστές φόρτισης.



Σε πολλές εφαρμογές τα φωτοβολταϊκά συνδυάζονται και με άλλες συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε και ονομάζονται υβριδικά. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται παράλληλα με κάποιο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή κάποια ανεμογεννήτρια. Ο λόγος είναι για να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη παροχή ρεύματος, ακόμα και τις ημέρες με πλήρως νεφοσκεπή ουρανό. Στις μέρες μας, όπου έχουν αναπτυχθεί οι μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες, κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος ο συνδυασμός αυτός, αφού στατιστικά δεν υπάρχουν ημέρες κατά τη διάρκεια του χρόνου όπου επικρατεί άπνοια και συνεφιά ταυτόχρονα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία και δεδομένα.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, θα υπολογιστεί η οικονομική βιωσιμότητα της επικάλυψης της ΝΑ και ΝΔ στέγης του κτιρίου Κεντρικής Διοίκησης στον λόφο Ξενία, με φ/β και η μεταπώληση του παραγόμενου ρεύματος στον διαχειριστή δικτύου.

3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

Αρχικά, προκειμένου να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα του όλου εγχειρήματος, απαιτείται η επεξεργασία των διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων. Τα πρωτογενή μετεωρολογικά που χρησιμοποιήθηκαν, είναι ωριαίες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην περιοχή του Πολυχνίτου, συλλέχθηκαν κατά την περίοδο 01/04/1993 έως 31/03/1994 από το Εργαστήριο Διαχείρισης Ενέργειας του τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν και τροποποιήθηκαν, για να δώσουν ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο της στέγης της Κεντρικής Διοίκησης. Στην στέγη αυτή, ενδιαφέρον για τοποθέτηση φ/β παρουσιάζουν τα ΝΑ και ΝΔ τμήμα της. Για την επεξεργασία των δεδομένων σε ωριαία βάση, χρησιμοποιήθηκαν τύποι και μέθοδος των Duffie & Beckman [38].

Συγκεκριμένα υπολογίσθηκαν τα παρακάτω μεγέθη.

1. Ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Παίρνει τιμές $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$ που δίνονται από τον τύπο $\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot (284 + \nu) / 365)$, όπου ν είναι ο αύξων αριθμός της αντίστοιχης μέρας του έτους.
2. Ωριαία γωνία ω είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού, οφειλόμενη στην περιστροφή της γης περί το άξονα της. Λαμβάνει θετικές τιμές το πρωί και αρνητικές το απόγευμα και δίνεται από την

σχέση $\omega=360*(12-X)/24$ αν X είναι η στιγμή της ημέρας εκφρασμένη σε ώρες και από την σχέση $\omega=360*(43.200-X)/86.400$ αν X είναι η στιγμή της ημέρας εκφρασμένη σε δευτερόλεπτα. Η ωριαία γωνία ω υπολογίζεται για τις ώρες μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου.

3. Η γωνία πρόσπτωσης θ , είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην άμεση ακτινοβολία σε ένα επίπεδο και την κάθετο στο ίδιο επίπεδο.
4. Η ωριαία ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας I_o .
5. Ο συντελεστής αιθριότητας K_t , που είναι ο λόγος της ωριαίας ακτινοβολίας στα όρια της ατμόσφαιρας I_o προς την μετρούμενη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.
6. Ο γεωμετρικός παράγοντας R_b , ο οποίος δίνει τον λόγο της διάχυτης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την διάχυτη σε οριζόντιο.
7. Τελικά υπολογίζεται η ακτινοβολία σε κεκλιμένο υπό γωνία β ως προς το οριζόντιο επίπεδο και στραμμένο κατά γωνία γ ως προς τον νοτιά από τον τύπο:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_p \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (6)$$

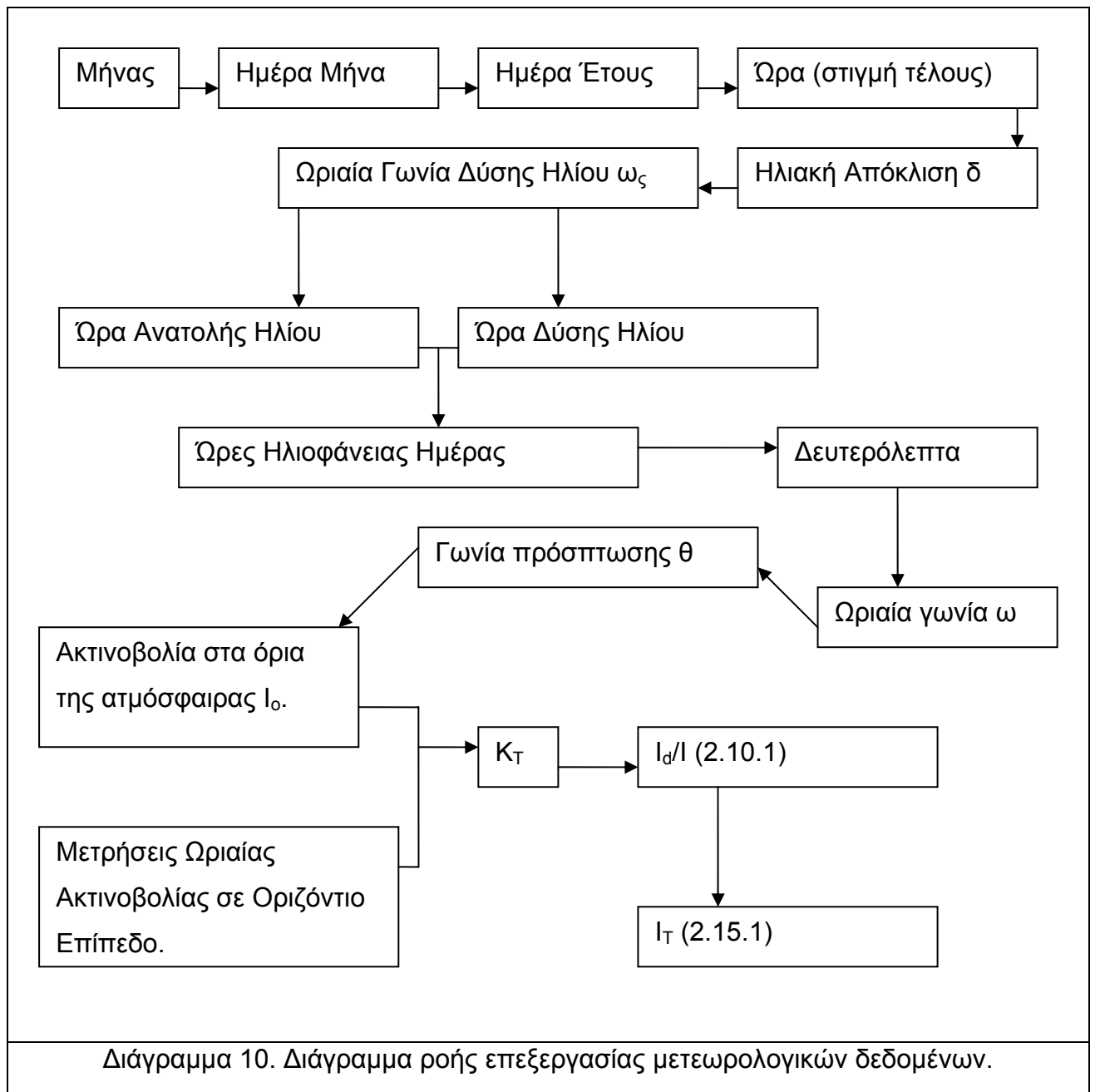
όπου I_b είναι η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, I_d η άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο και p_g είναι ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους (εξισώσεις από Duffie & Beckman [38]).

Στον πίνακα 2 δίνεται ένα μικρό τμήμα της επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων.

Πίνακας 2. Φόρμα επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων.

ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ	ΗΜΕΡΑ ΕΤΟΥΣ	ΩΡΑ (στιγμή τέλους)	ΗΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ δ	Ωριαία γωνία ω	ω _s	acos(-tan(φ-β)*tanδ)	ω _{ζmin}	R _b	Ωρα ανατολής ηλίου	Ωρα δύσης ηλίου	Ωρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα	Ωρες για τους υπολογισμούς	Δευτερόλεπτα ημέρας	θ	I _o Wh/m ²	Ωριαία απινοβολία σε οριζόντιο I Wh/m ²	Ωριαίος συντελεστής αιθριότητας K _T	Ωριαίος K _T για τις ορθές ώρες	I _d /I (2.10.1 METCALF)	I _b /I=1-I _d	I _T (2.15.1) (Wh/m ²)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	1	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	2	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	3	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	4	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	5	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	6	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	7	-23,01	-69,87	69,87	80,11	69,87	1,63	7,34	16,66	9,32	7,34	26.431,51	81,54	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	8	-23,01	-60,00	69,87	80,11	69,87	3,78	7,34	16,66	9,32	8,00	28.800,00	73,74	34,16	1,00	0,03	0,03	1,00	0,00	0,99
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	9	-23,01	-45,00	69,87	80,11	69,87	1,97	7,34	16,66	9,32	9,00	32.400,00	62,82	262,71	18,00	0,07	0,07	0,99	0,01	17,80
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	10	-23,01	-30,00	69,87	80,11	69,87	1,65	7,34	16,66	9,32	10,00	36.000,00	53,67	446,67	88,00	0,20	0,20	0,98	0,02	87,51
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	11	-23,01	-15,00	69,87	80,11	69,87	1,55	7,34	16,66	9,32	11,00	39.600,00	47,34	576,76	215,00	0,37	0,37	0,88	0,12	226,26
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	12	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	12,00	43.200,00	45,03	644,09	148,00	0,23	0,23	0,98	0,02	147,11
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	13	-23,01	15,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	13,00	46.800,00	47,34	644,09	182,00	0,28	0,28	0,96	0,04	182,76
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	14	-23,01	30,00	69,87	80,11	69,87	1,55	7,34	16,66	9,32	14,00	50.400,00	53,67	576,76	206,00	0,36	0,36	0,90	0,10	214,58
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	15	-23,01	45,00	69,87	80,11	69,87	1,65	7,34	16,66	9,32	15,00	54.000,00	62,82	446,67	149,00	0,33	0,33	0,92	0,08	154,32
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	16	-23,01	60,00	69,87	80,11	69,87	1,97	7,34	16,66	9,32	16,00	57.600,00	73,74	262,71	107,00	0,41	0,41	0,83	0,17	123,29
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	17	-23,01	69,87	69,87	80,11	69,87	3,78	7,34	16,66	9,32	16,66	59.968,49	81,54	34,16	23,00	0,67	0,67	0,29	0,71	68,43
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	18	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,63	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	19	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	20	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	21	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	22	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	23	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1	1	24	-23,01	0,00	69,87	80,11	69,87	1,51	7,34	16,66	9,32	0,00	0,00	45,03	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00

Στο διάγραμμα 10 δίνεται σχηματικά η πορεία που ακολουθήθηκε κατά τους υπολογισμούς.



3.2 Δεδομένα εγκατάστασης.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα χαρακτηριστικά κάθε κομματιού και τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετεωρολογικών για κάθε ένα από αυτά.

Πίνακας 3: Δεδομένα των ΝΑ και ΝΔ στεγών κτιρίου Κεντρικής Διοίκησης.

	ΝΔ	ΝΑ
Εμβαδόν τμήματος (m ²)	152,35	78,1
Αζιμούθιο	50°	-40°
Κλίση στέγης	16,8°	16,8°
Ακτινοβολία στο κεκλιμένο (KWh/m ²)	1.783,79	1.837,50

Σε μηνιαία βάση η προσπίπτουσα στο κεκλιμένο επίπεδο ακτινοβολία, για κάθε ένα από τα δύο εξεταζόμενα τμήματα της στέγης δίνεται στο πίνακα 3.

Πίνακας 4. Ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο σε μηνιαία βάση (KWh/m²).

ΜΗΝΑΣ	ΝΔ ΠΛΕΥΡΑ	ΝΑ ΠΛΕΥΡΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	67,42	67,93
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	86,64	86,84
ΜΑΡΤΙΟΣ	128,30	128,71
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	171,98	174,80
ΜΑΪΟΣ	216,96	216,56
ΙΟΥΝΙΟΣ	227,63	228,53
ΙΟΥΛΙΟΣ	234,27	234,07
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	217,46	219,98
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	171,78	175,70
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	124,28	127,90
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	79,30	81,21
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	57,76	59,47
ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ	1.783,79	1.801,70

Προκειμένου να γίνει μία σύγκριση των λύσεων που προσφέρουν οι διαφορετικές τεχνολογίες, επιλέχθηκαν τα παρακάτω φ/β στοιχεία.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά φ/β στοιχείων.

	Τεχνολογία	Απόδοση (%)	Επιφάνεια (m ²)	Τιμή (€)	Ισχύς (W _p)
Sharp NT-R5E3E	mono-Si	13,49	1,301	966,59	175
Conergy C175M	mono-Si	13,47	1,301	965,76	175
Sharp NE-QE7E3E	poly-Si	12,86	1,301	922,40	167
First Solar FS65	CdTe	9,03	0,720	241,17	65

Οι ως άνω τιμές, είναι τιμές που ελήφθησαν από καταλόγους λιανικής πώλησης των εταιρειών εμπορίας και εγκατάστασης φ/β συστημάτων. Κατά την εγκατάσταση όμως του μελετώμενου συστήματος είναι δυνατόν να επιτευχθούν τιμές χονδρικής πώλησης 25-30% μειωμένες.

Με βάση τα εμβαδά των στεγών και των φ/β στοιχείων, λαμβάνονται ο αριθμός των στοιχείων που θα τοποθετηθούν σε κάθε μια από αυτές και εν συνεχεία η συνολική ισχύς του συστήματος που θα εγκατασταθεί.

Πίνακας 6: Αριθμός φ/β στοιχείων και συνολική ισχύς.

	NA		NΔ	
	Αριθμός φ/β	Ισχύς (W _p)	Αριθμός φ/β	Ισχύς (W _p)
Sharp NTR5E3E	102	17850	48	8925
Conergy C175M	102	17850	48	8925
Sharp NE-QE7E3E	102	17034	48	8016
First Solar FS65	176	11440	88	5720

Στην περίπτωση επιλογής καθ' ενός από τα ως άνω φ/β, θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι inverter.

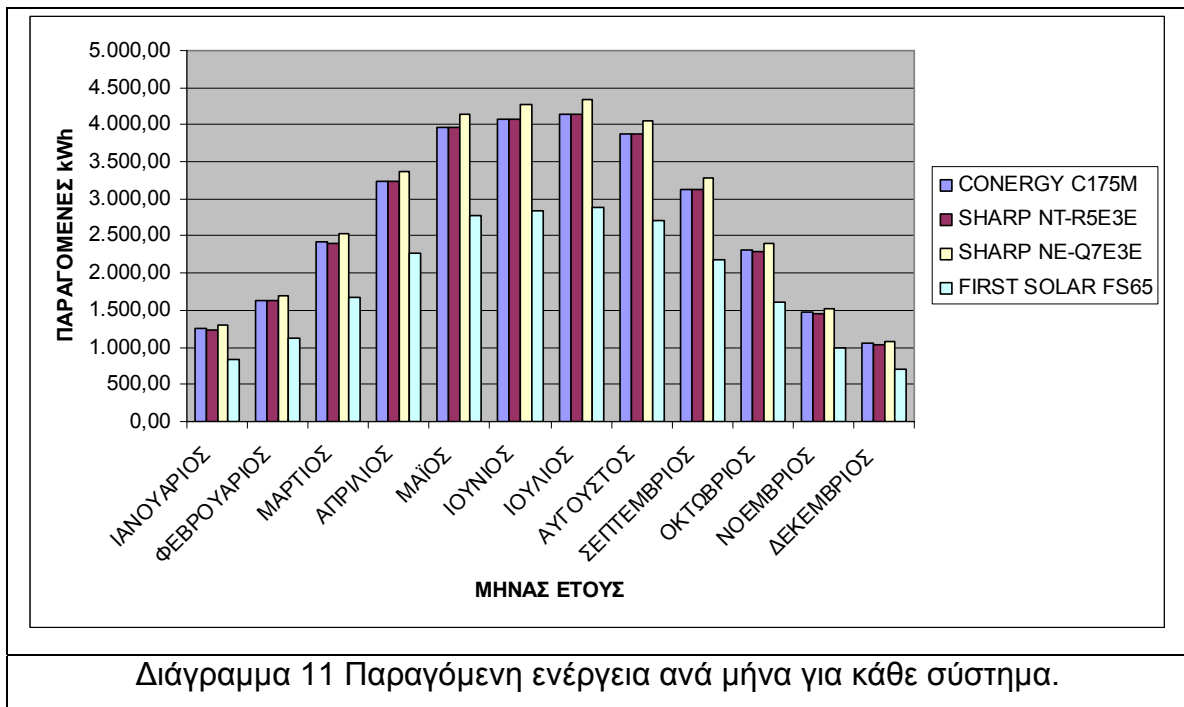
Πίνακας 7: Τύποι inverter που θα χρησιμοποιηθούν.

	NA	NA
Sharp NTR5E3E	2 SMA Sunny Mini Central 6000 + 1 SMA Sunny Boy SWR 2100 TL	2 SMA Sunny Boy SWR 3800 U
Conergy C175M	2 SMA Sunny Mini Central 6000 + 1 SMA Sunny Boy SWR 2100 TL	2 SMA Sunny Boy SWR 3800 U
Sharp NE-QE7E3E	2 SMA Sunny Boy SWR 5000 TI Str + 1 SMA Sunny Boy 4200 TL	2 SMA Sunny Boy SWR 3800 U
First Solar FS65	3 SMA Sunny Boy SWR 4200 TL	1 SMA Sunny Boy SWR 5000

Αυτά τα συστήματα, αν εγκατασταθούν στην στέγη του κτιρίου διοίκησης, θα δίνουν σε ετήσια βάση τις ακόλουθες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 8: Ενέργεια που θα παραχθεί (kWh).

	CONERGY C175M	SHARP NT- R5E3E	SHARP NE- Q7E3E	FIRST SOLAR FS65
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1.255,07	1.240,48	1.300,06	841,08
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1.635,66	1.624,39	1.703,39	1.125,36
ΜΑΡΤΙΟΣ	2.420,99	2.411,83	2.527,46	1.681,35
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	3.233,38	3.229,86	3.377,69	2.267,42
ΜΑΪΟΣ	3.962,26	3.962,16	4.142,69	2.773,70
ΙΟΥΝΙΟΣ	4.077,88	4.080,00	4.262,94	2.841,93
ΙΟΥΛΙΟΣ	4.149,33	4.150,54	4.340,33	2.884,70
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	3.884,57	3.885,78	4.060,47	2.701,25
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	3.134,97	3.134,87	3.274,44	2.186,72
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	2.307,07	2.301,44	2.405,69	1.602,55
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1.469,92	1.458,65	1.524,97	1.001,58
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1.055,92	1.042,14	1.089,94	697,07
ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ	32.587,03	32.522,12	34.010,06	22.604,71



Οι παραγόμενες kWh ανά εγκατεστημένο kWp, διαμορφώνονται ως εξής.

1. Conergy C175M: 1.217 kWh/kWp.
2. Sharp NTR5E3E: 1.215 kWh/kWp.
3. Sharp NE-QE7E3E: 1.358 kWh/kWp.
4. First Solar FS65: 1.317 kWh/kWp.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

Κεφάλαιο 4. Οικονομική ανάλυση συστημάτων.

4.1 Προϋποθέσεις οικονομικής ανάλυσης.

Για την ακόλουθη οικονομική ανάλυση και τον έλεγχο βιωσιμότητας της όλης επένδυσης, θα θεωρηθεί ότι έχουν εξασφαλιστεί η συμμετοχή στα δύο βασικά κίνητρα που δίνει η πολιτεία για την παραγωγή ενέργειας από φ/β. Συγκεκριμένα:

1. Συμμετοχή στον Αναπτυξιακό Νόμο (Επενδυτικός Νόμος 3299/2004 ΦΕΚ 261 Α' - 23/12/2004 όπως τροποποιήθηκε από τον 3522/2006 ΦΕΚ 276 Α 22/12/2006). Συγκεκριμένα στο άρθρο 37, αναφέρεται ότι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα στον Νομό Λέσβου, επιδοτούνται κατά ένα ποσοστό που μπορεί να φθάσει έως και 40% της αρχικής επένδυσης.
2. Εξασφάλιση σύμβασης με τον διαχειριστή δικτύου (ΔΕΣΜΗΕ –Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας για το διασυνδεδεμένο δίκτυο, ΔΕΗ για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά του Νομού Λέσβου) για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή πώλησης εξασφαλίζεται από τον νέο νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Νόμος 3468/2006 ΦΕΚ 129Α 27/06/2006). Για την Λέσβο και για ένα σύστημα της δυναμικότητας κάτω των 100 kWp, η τιμή που καθορίζει ο νόμος είναι 0,50€ ανά παραγόμενη kWh. Η τιμή αυτή αναπροσαρμόζεται με βάση το μέσο ποσοστό αναπροσαρμογής των τιμολογίων της ΔΕΗ Α.Ε. που εγκρίνεται κάθε φορά από τον Υπουργό Ανάπτυξης, ενώ αν δεν υπάρξει μεταβολή των τιμολογίων της ΔΕΗ, οι ανωτέρω τιμές αναπροσαρμόζονται ετησίως κατά ποσοστό ίσο προς το 80% του δείκτη τιμών καταναλωτή, όπως ανακοινώνεται από την Τράπεζα της Ελλάδος. Η διάρκεια της σύμβασης με τον διαχειριστή δικτύου έχει σύμφωνα με τον ως άνω νόμο, εξασφαλισμένη για τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα διάρκεια, ίση με είκοσι έτη.
3. Μέσο ποσοστό έκπτωσης επί των λιανικών τιμών 25%.

4.2 Μεθοδολογία οικονομικής ανάλυσης.

Θεωρώντας σαν βάση υπολογισμού των χρηματοροών την χρονιά πραγματοποίησης της επένδυσης, και επιτόκιο υπολογισμού $\epsilon\%$, έχουμε τις παρακάτω χρηματοροές, για το έτος βάση.

1. Αρχική επένδυση, έστω X το έτος πραγματοποίησης.
2. Έσοδα από την πώληση του ρεύματος Y κατ' έτος, υπολογισμένα στο έτος βάση γίνονται: $Y/(1+\epsilon)^v$, όπου v ο αριθμός του έτους μετά την πραγματοποίηση της επένδυσης.
3. Ετήσια έξοδα συντήρησης Z κατά το έτος βάση, αποπληθωρισμένα στο έτος βάση για κάθε χρόνο λειτουργίας της εγκατάστασης γίνονται: $[Z(1+\pi)^v]$, όπου π ο μέσος ετήσιος προυπολογιζόμενος πληθωρισμός.

4.3 Κόστη αρχικής επένδυσης

Πίνακας 9: Κόστος αρχικής επένδυσης (€).

	Φ/Β	INVERTER	Λοιπά έξοδα	Σύνολο	Σύνολο μετά έκπτωση
Conergy C175M	144.864,00	13.825,67	10.000,00	166.689,67	125.017,25
Sharp NTR5E3E	144.988,50	13.825,67	10.000,00	168.814,17	126.610,63
Sharp NE-QE7E3E	138.360,00	15.449,36	10.000,00	163.809,36	122.857,02
First Solar FS65	63.688,68	13.589,09	15.000,00	92.277,77	69.208,33

Στα λοιπά έξοδα, έχει περιληφθεί και το κόστος για την αγορά και τοποθέτηση των βάσεων στήριξης των φ/β πλαισίων. Το κόστος αυτό δεν μπορεί να προϋπολογισθεί με ακρίβεια αφού οι εταιρείες δίνουν την προσφορά τους κατ' απαίτηση σε κάθε παραγγελία. Σε γενικές γραμμές το κόστος των συστημάτων στήριξης είναι μεγάλο και μπορεί να φθάσει ως και το 9% του κόστους της αρχικής

επένδυσης (στοιχεία από Conergy Ε.Π.Ε) στην περίπτωση συστημάτων που ακολουθούν την πορεία του ήλιου. Για το αντικείμενο της μελέτης, όπου είναι απαραίτητες απλούστερες βάσεις στήριξης επί της κεκλιμένης οροφής, έγινε εκτίμηση κόστους 10.000€ για τα κρυσταλλικά μοντέλα και 15.000€ για το μοντέλο thin film (FS 65).



Σχήμα 13: Σύστημα στήριξης επί στέγης Sun Top III (Conergy).

4.4 Οικονομική ανάλυση.

Στους ακόλουθους πίνακες δίνονται τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης με προοπτική εικοσαετίας. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν:

1. Μέσος πληθωρισμός εικοσαετίας 3%.
2. Μέσο επιτόκιο απόδοσης κεφαλαίου 4%.
3. Η τιμή της kWh αναπροσαρμόζεται κατά ένα ποσοστό 80% του ετήσιου πληθωρισμού κατ' έτος.
4. Έξοδα συντήρησης 1000€ κατ' έτος, υπολογισμένα κατά το έτος πραγματοποίησης της επένδυσης.

4.4.1 CONERGY C175M

Πίνακας 10: Οικονομική ανάλυση Conergy C175M.

CONERGY C175M						
ΕΤΗ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ kWh	ΤΙΜΗ kWh	ΕΣΟΔΑ	ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
					-125.017,25	125.017,25
0	32.587	0,50	16.293,52	1.000,00	-59.716,84	125.017,25
1	32.587	0,51	16.042,85	1.030,00	-44.703,99	126.231,01
2	32.587	0,52	15.796,03	1.060,90	-29.968,86	127.456,55
3	32.587	0,54	15.553,02	1.092,73	-15.508,57	128.694,00
4	32.587	0,55	15.313,74	1.125,51	-1.320,34	129.943,45
5	32.587	0,56	15.078,14	1.159,27	12.598,53	131.205,04
6	32.587	0,58	14.846,17	1.194,05	26.250,65	132.478,87
7	32.587	0,59	14.617,77	1.229,87	39.638,55	133.765,08
8	32.587	0,60	14.392,88	1.266,77	52.764,66	135.063,77
9	32.587	0,62	14.171,45	1.304,77	65.631,34	136.375,07
10	32.587	0,63	13.953,43	1.343,92	78.240,85	137.699,10
11	32.587	0,65	13.738,76	1.384,23	90.595,38	139.035,98
12	32.587	0,66	13.527,40	1.425,76	102.697,01	140.385,84
13	32.587	0,68	13.319,28	1.468,53	114.547,76	141.748,81
14	32.587	0,70	13.114,37	1.512,59	126.149,54	143.125,02
15	32.587	0,71	12.912,61	1.557,97	137.504,18	144.514,58
16	32.587	0,73	12.713,95	1.604,71	148.613,43	145.917,63
17	32.587	0,75	12.518,36	1.652,85	159.478,94	147.334,31
18	32.587	0,77	12.325,77	1.702,43	170.102,27	148.764,74
19	32.587	0,78	12.136,14	1.753,51	180.484,90	150.209,06

4.4.2 SHARP NT-R5E3E

Πίνακας 11: Οικονομική ανάλυση Sharp NT-R5E3E.

SHARP NT-R5E3E						
ΕΤΗ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ kWh	ΤΙΜΗ kWh	ΕΣΟΔΑ	ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
					-126.610,63	126.610,63
0	32.522	0,50	16.261,06	1.000,00	-60.705,32	126.610,63
1	32.522	0,51	16.010,89	1.030,00	-45.724,43	127.839,86
2	32.522	0,52	15.764,57	1.060,90	-31.020,76	129.081,02
3	32.522	0,54	15.522,04	1.092,73	-16.591,45	130.334,24
4	32.522	0,55	15.283,24	1.125,51	-2.433,72	131.599,62
5	32.522	0,56	15.048,11	1.159,27	11.455,11	132.877,28
6	32.522	0,58	14.816,60	1.194,05	25.077,66	134.167,35
7	32.522	0,59	14.588,65	1.229,87	38.436,44	135.469,95
8	32.522	0,60	14.364,21	1.266,77	51.533,88	136.785,19
9	32.522	0,62	14.143,22	1.304,77	64.372,33	138.113,20
10	32.522	0,63	13.925,64	1.343,92	76.954,05	139.454,11
11	32.522	0,65	13.711,40	1.384,23	89.281,21	140.808,03
12	32.522	0,66	13.500,45	1.425,76	101.355,90	142.175,10
13	32.522	0,68	13.292,75	1.468,53	113.180,12	143.555,44
14	32.522	0,70	13.088,25	1.512,59	124.755,78	144.949,18
15	32.522	0,71	12.886,89	1.557,97	136.084,70	146.356,46
16	32.522	0,73	12.688,63	1.604,71	147.168,62	147.777,39
17	32.522	0,75	12.493,42	1.652,85	158.009,19	149.212,13
18	32.522	0,77	12.301,21	1.702,43	168.607,97	150.660,79
19	32.522	0,78	12.111,96	1.753,51	178.966,43	152.123,51

4.4.3 SHARP NE-Q7E3E

Πίνακας 12: Οικονομική ανάλυση Sharp NE-Q7E3E.

SHARP NE-Q7E3E						
ΕΤΗ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ kWh	ΤΙΜΗ kWh	ΕΣΟΔΑ	ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
					-122.857,02	122.857,02
0	34.010	0,50	17.005,03	1.000,00	-57.709,18	122.857,02
1	34.010	0,51	16.743,41	1.030,00	-41.995,77	124.049,81
2	34.010	0,52	16.485,82	1.060,90	-26.570,84	125.254,17
3	34.010	0,54	16.232,20	1.092,73	-11.431,38	126.470,23
4	34.010	0,55	15.982,47	1.125,51	3.425,58	127.698,10
5	34.010	0,56	15.736,58	1.159,27	18.002,89	128.937,89
6	34.010	0,58	15.494,48	1.194,05	32.303,33	130.189,71
7	34.010	0,59	15.256,11	1.229,87	46.329,56	131.453,69
8	34.010	0,60	15.021,40	1.266,77	60.084,19	132.729,94
9	34.010	0,62	14.790,30	1.304,77	73.569,71	134.018,58
10	34.010	0,63	14.562,76	1.343,92	86.788,55	135.319,73
11	34.010	0,65	14.338,71	1.384,23	99.743,03	136.633,51
12	34.010	0,66	14.118,12	1.425,76	112.435,39	137.960,05
13	34.010	0,68	13.900,92	1.468,53	124.867,77	139.299,47
14	34.010	0,70	13.687,06	1.512,59	137.042,24	140.651,89
15	34.010	0,71	13.476,49	1.557,97	148.960,76	142.017,45
16	34.010	0,73	13.269,16	1.604,71	160.625,21	143.396,26
17	34.010	0,75	13.065,01	1.652,85	172.037,37	144.788,45
18	34.010	0,77	12.864,01	1.702,43	183.198,95	146.194,17
19	34.010	0,78	12.666,11	1.753,51	194.111,55	147.613,53

4.4.5 FIRST SOLAR FS 65

Πίνακας 13: Οικονομική ανάλυση First Solar FS65.

FIRST SOLAR FS 65						
ΕΤΗ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ kWh	ΤΙΜΗ kWh	ΕΣΟΔΑ	ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
0					-69.208,33	69.208,33
0	22.605	0,50	11.302,36	1.000,00	-31.222,64	69.208,33
1	22.605	0,51	11.128,47	1.030,00	-21.124,17	69.880,26
2	22.605	0,52	10.957,27	1.060,90	-11.227,81	70.558,70
3	22.605	0,54	10.788,69	1.092,73	-1.531,84	71.243,74
4	22.605	0,55	10.622,71	1.125,51	7.965,36	71.935,43
5	22.605	0,56	10.459,29	1.159,27	17.265,38	72.633,83
6	22.605	0,58	10.298,37	1.194,05	26.369,70	73.339,01
7	22.605	0,59	10.139,94	1.229,87	35.279,76	74.051,04
8	22.605	0,60	9.983,94	1.266,77	43.996,93	74.769,98
9	22.605	0,62	9.830,34	1.304,77	52.522,49	75.495,91
10	22.605	0,63	9.679,10	1.343,92	60.857,68	76.228,88
11	22.605	0,65	9.530,19	1.384,23	69.003,64	76.968,96
12	22.605	0,66	9.383,58	1.425,76	76.961,46	77.716,23
13	22.605	0,68	9.239,21	1.468,53	84.732,13	78.470,76
14	22.605	0,70	9.097,07	1.512,59	92.316,62	79.232,61
15	22.605	0,71	8.957,12	1.557,97	99.715,76	80.001,86
16	22.605	0,73	8.819,31	1.604,71	106.930,37	80.778,58
17	22.605	0,75	8.683,63	1.652,85	113.961,16	81.562,84
18	22.605	0,77	8.550,04	1.702,43	120.808,76	82.354,71
19	22.605	0,78	8.418,50	1.753,51	127.473,76	83.154,27

4.5 Χρόνοι αποπληρωμής.

Εκείνο που έχει ενδιαφέρον είναι να εξεταστεί ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης εγκατάστασης των φ/β στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Υπαγωγή στον αναπτυξιακό νόμο και επιδότηση παραγωγής 0,50€/kWh.
2. Μη ένταξη στον αναπτυξιακό νόμο, επιδότηση όμως παραγωγής 0,50€/kWh.
3. Μη ένταξη στον αναπτυξιακό νόμο και μη επιδότηση παραγωγής 0,50€/kWh.

Στην περίπτωση αυτή αναφέρεται η τιμή που θα έπρεπε να έχει η kWh του

δικτύου, ώστε με την παραγωγή ενέργειας από τα φ/β, η επένδυση να αποσβένεται σε είκοσι ακριβώς χρόνια.

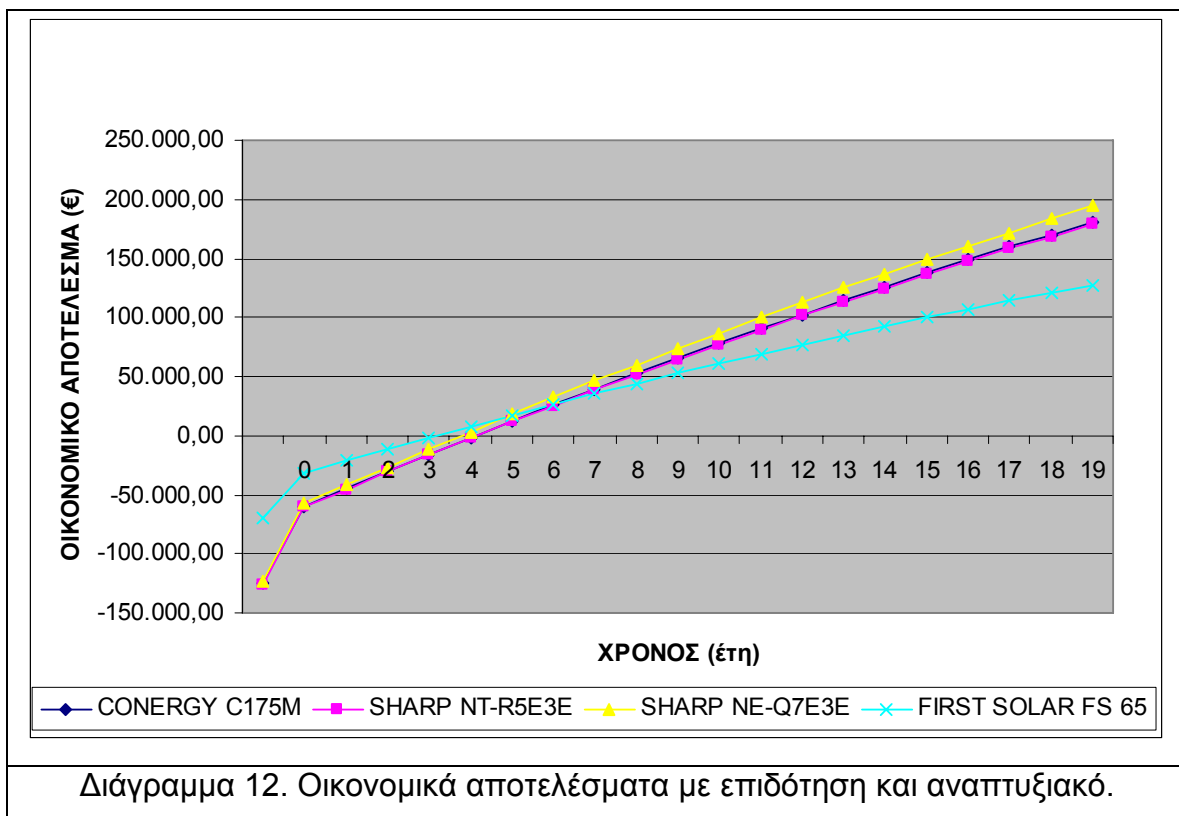
Πίνακας 14: Χρόνοι αποπληρωμής.

	Αναπτυξιακός+ Επιδότηση	Επιδότηση	Χωρίς κίνητρα.
Conergy C175M	5 χρόνια + 3 μήνες	8 χρόνια+9 μήνες	0,256 €/kWh
Sharp NT-R5E3E	5 χρόνια + 4 μήνες	8 χρόνια+11μήνες	0,259 €/kWh
Sharp NEQE7E3E	4 χρόνια + 9 μήνες	8 χρόνια+4 μήνες	0,241 €/kWh
First Solar FS65	4 χρόνια + 4 μήνες	7 χρόνια+3 μήνες	0,233 €/kWh

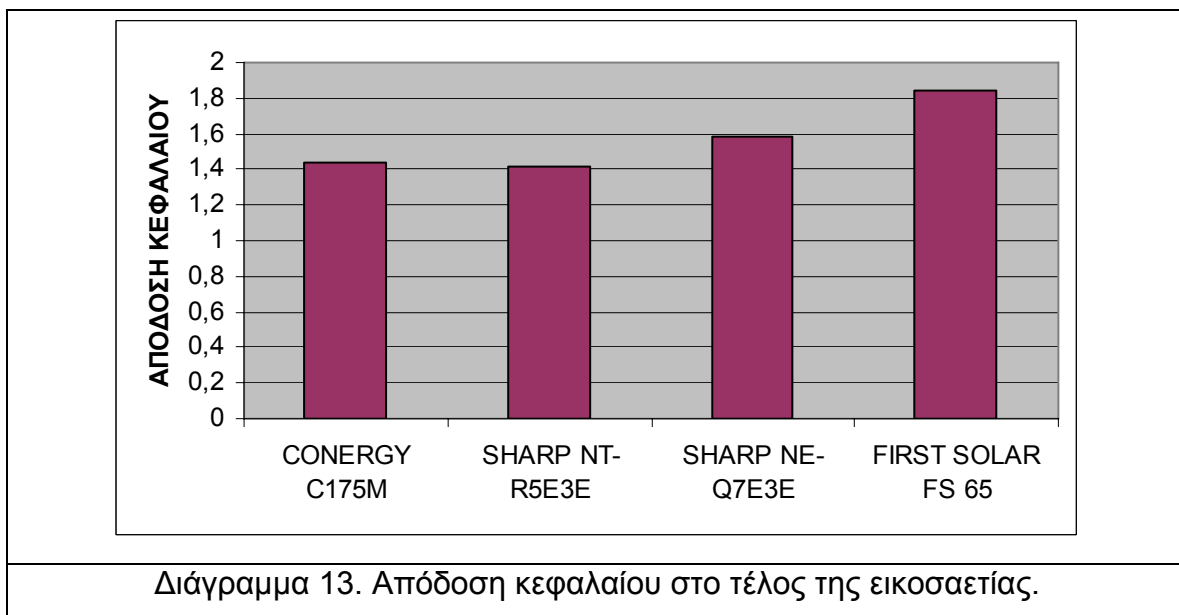
4.6 Συμπεράσματα από την ανάλυση.

Στο διάγραμμα 12 φαίνεται η οικονομική εξέλιξη της επένδυσης, για κάθε ένα από τα τέσσερα εξεταζόμενα συστήματα. Στο διάγραμμα αυτό διακρίνεται η σχεδόν πανομοιότυπη οικονομική συμπεριφορά των τριών κρυσταλλικών πλαισίων αλλά και η εντελώς ξεχωριστή συμπεριφορά του πλαισίου thin film. Μπορούν να εξαχθούν λοιπόν κάποια συμπεράσματα και οικονομικά κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας.

1. Αν είναι επιθυμητή η ελάττωση του αρχικού κόστους επένδυσης, τότε προτιμητέα θα πρέπει να είναι η τεχνολογία thin film.
2. Επίσης η τεχνολογία αυτή θα πρέπει να προτιμάται στην περίπτωση που καθοριστικό κριτήριο είναι ο χρόνος αποπληρωμής.
3. Εφόσον θεωρηθεί σημαντικό κριτήριο, η μεγιστοποίηση του ετήσιου εισοδήματος από την πώληση του ρεύματος που παράγεται από τα φ/β, τότε θα πρέπει να προτιμηθεί κάποια κρυσταλλική τεχνολογία.
4. Επίσης, αν είναι επιθυμητή η μεγιστοποίηση των κερδών στο τέλος της εικοσαετίας, θα πρέπει να επιλεγεί και πάλι κρυσταλλική τεχνολογία.
5. Αν όμως είναι επιθυμητή η μέγιστη απόδοση των κεφαλαίων στο τέλος της εικοσαετίας, τότε από την ανάλυση προκύπτει ότι το πλαίσιο τύπου thin film υπερτερεί των άλλων (διάγραμμα 13).



Διάγραμμα 12. Οικονομικά αποτελέσματα με επιδότηση και αναπτυξιακό.



Διάγραμμα 13. Απόδοση κεφαλαίου στο τέλος της εικοσαετίας.

Επίσης από τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης για κάθε τεχνολογία, φαίνεται ότι ένα σύστημα φ/β έχει εγγυημένη απόδοση μεγαλύτερη από κάθε τραπεζική για το διάστημα της εικοσαετίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

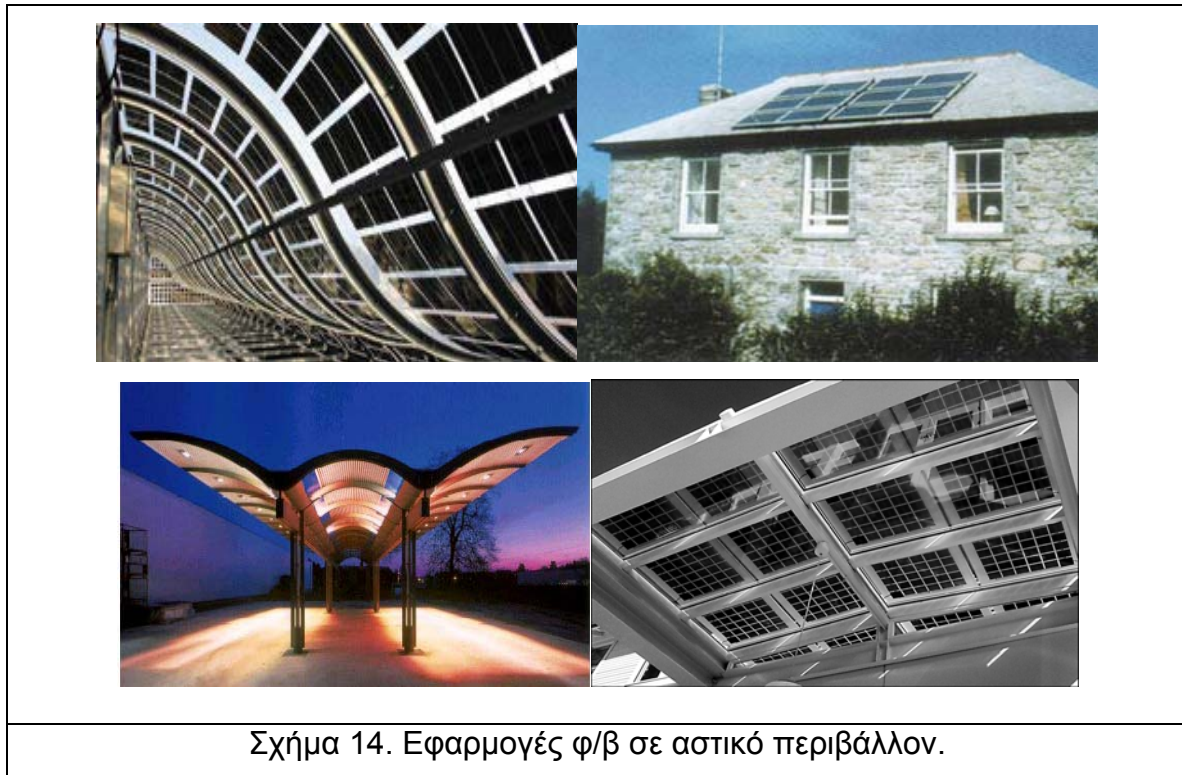
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Σημαντικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τον ακόλουθο πίνακα, ο οποίος παρουσιάζει το κόστος παραγωγής της kWh από διάφορα συστήματα Α.Π.Ε. [35].

Πίνακας 15. Κόστος παραγόμενης kWh από διάφορες Α.Π.Ε.

	Κόστος (€/kWh)
Υδροηλεκτρική ενέργεια	0,02-0,08
Βιοκαύσιμα	0,05-0,06
Αιολική ενέργεια	0,04-0,12
Γεωθερμικά πεδία	0,02-0,10
Ενέργεια κυμάτων	0,08-0,15
Ηλιακή θερμική ενέργεια	0,12-0,18
Φωτοβολταϊκά συστήματα	0,25-0,65

Από τον πίνακα αυτόν γίνεται φανερό ότι ακόμα και σε σύγκριση με άλλες μορφές Α.Π.Ε. τα φ/β συστήματα εξακολουθούν να είναι σημαντικά ακριβότερα. Έχουν όμως δύο συγκριτικά πλεονεκτήματα. Πρώτα την ικανοποιητική ηλιοφάνεια σε ένα μεγάλο μέρος του πλανήτη, γεγονός που τα καθιστά εφαρμόσιμα σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, σε αντίθεση με άλλες Α.Π.Ε. όπως η ενέργεια από γεωθερμικά πεδία που προϋποθέτει την ύπαρξη ενός τέτοιου. Το δεύτερο είναι ότι μπορούν να προσαρμοσθούν σε εξαιρετικό βαθμό στο αστικό περιβάλλον σε όψεις κτιρίων, στέγες κλπ. Την ιδιότητα αυτή δεν έχει η αιολική ενέργεια, αφού η παρουσία ανεμογεννητριών από κάποιο αριθμό και πάνω τις καθιστά οχλούσες.



Σχήμα 14. Εφαρμογές φ/β σε αστικό περιβάλλον.

Το είδος των φ/β συστήματα που ενσωματώνονται στο αστικό περιβάλλον, αποτελούν τα πιο οικονομικά διασυνδεδεμένα φ/β συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί μηδενίζουν βασικές πηγές εξόδων [39]:

1. Μηδενίζεται το κόστος απόκτησης γης και κατάλληλης διαμόρφωσης της (χωματουργικές εργασίες, κατασκευή περίφραξης, συστήματα παρακολούθησης).
2. Αποφεύγεται ένα ενδεχόμενο σημαντικό κόστος σύνδεσης με το δίκτυο.
3. Λόγω του γεγονότος ότι η ενέργεια παράγεται κοντά στον τόπο κατανάλωσης της, αποφεύγονται σημαντικές απώλειες κατά την μεταφορά, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εγκατάστασης σε εμπορικά κτήρια όπου η αιχμή της ζήτησης και της παραγόμενης ενέργειας, συμπίπτουν.
4. Τέλος, αν γίνει πρόβλεψη κατά τον σχεδιασμό, τα φ/β μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δομικά στοιχεία, αποφεύγοντας το κόστος απόκτησης αυτών.

Σύμφωνα με τις εταιρείες εμπορίας φ/β συστημάτων, ο κλάδος αυτός, δηλαδή τα αστικώς ενταγμένα συστήματα, θα αποτελέσουν στο μέλλον τον κύριο όγκο της αγοράς, όταν θα κοπάσει η σημερινή 'φρενίτιδα' κατασκευής μεγάλων πάρκων λόγω της ύπαρξης των σημαντικών επιδοτήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία.

- [1]. Καπλάνης Ν. Σ., Περιβάλλον & ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Εκδόσεις Ιων, 2003.
- [2]. Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, www.hellasres.gr, τελευταία επίσκεψη 13/10/2007.
- [3]. Spanggaard Holger, Krebs Frederik C., A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics, Solar Energy Materials & Solar Cells 83, 125–146, 2004.
- [4]. Epia roadmap (www.epia.org/documents/Roadmap_EPIA.pdf)
- [5]. Miles R.W., Photovoltaic solar cells: Choice of materials and production methods, Vacuum 80, 1090–1097, 2006.
- [6]. Μαλαμής Βασίλης, Αυτόνομες Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας Μικρού & Μεσαίου Μεγέθους, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999.
- [7]. Godfrey Boyle, Renewable Energy: Power for a Sustainable future, Oxford University Press, 1996.
- [8]. Taine J., Petit J. P, Heat Transfer. Pub. Prentice Hall, 1st Edition, 1993.
- [9]. Katz A. E., Faiman D., Tuladhar M. S., Kroon M. J., Wienk M. M., Fromherz T. Padinger F., Brabecb J. C., Sariciftci S. N., Temperature Dependence For The Photovoltaic Device Parameters Of Polymer-Fullerene Solar Cells Under Operating Conditions, Journal Of Applied Physics Volume 90, Number 10, 2001.
- [10]. Royme Anja, Dey J. Christopher, Mills R. David, Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review, Solar Energy Materials & Solar Cells 86, 451–483, 2005.

- [11]. Assoa, Y.B., Menezo, C., Fraisse, G., Yezou, R., Brau, J., Study of a new concept of photovoltaic-thermal hybrid collector, *Solar Energy* 81 (9), pp. 1132-1143, 2007.
- [12]. Close Josie, Air pollution and its ramifications for BIPV applications: A spectral analysis of Hong Kong's solar radiation 1999, *World Renewable Energy Congress VI*, 2583-2586, 2000.
- [13]. Νομικός Α., Ο οικολογικός δρόμος της ενέργειας, *Τεχνική εκλογή*, 413, Μάιος 2001.
- [14]. Μπαταγιάννης Π.Κ., Gibbons C., Θερμική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων, μέθοδοι εκτόνωσης της θερμότητας, *Πρακτικά Έβδομου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας (Πάτρα 2002)*.
- [15]. Goetzberger Adolf, Hebling Christopher, Schock Hans-Werner, Photovoltaic materials, history, status and outlook, *Materials Science and Engineering R* 40, 1–46, 2003.
- [16]. Messenger A. Roger, Ventre Jerry, *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC Press, 2004.
- [17]. Green A. Martin, *Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years*, *Progress In Photovoltaics: Research And Applications*, 13, 447–455, 2005.
- [18]. Glunz S.W., Rein S., Warta W., Knobloch J., Wettling W., Degradation of carrier lifetime in Cz silicon solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 65, 219-229, 2001.
- [19]. Swanson M. Richard, *A Vision for Crystalline Silicon Photovoltaics*, *Progress In Photovoltaics: Research And Applications*, 14, 443–453, 2006.

- [20]. Wolf M., Proceedings of the 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, 1980, p. 674, in Goetzberger et al, 2003.
- [21]. Loferski J.J., 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference Record, IEEE, New York, 648-654, 1982, in Partain 1995.
- [22]. Bergmann R. B., Crystalline Si thin-film solar cells: a review, Applied Physics A: Materials Science & Processing 69, 187–194, 1999.
- [23]. Zhao Jianhua, Wang Aihua, Green A. Martin, 24.5% Efficiency Silicon PERT Cells on MCZ Substrates and 24.7% Efficiency PERL Cells on FZ Substrates, Progress In Photovoltaics: Research And Applications, 7, 471-474, 1999.
- [24]. Arch J.K., Brendel R., Werner J.H., Contribution of silicon substrates to the efficiencies of silicon thin layer solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells 45, 309-322, 1997.
- [25]. Bergmann R. B., Kohler J., Dassow R., Zaczek C., Werner J. H., Nucleation and Growth of Crystalline Silicon Films on Glass for Solar Cells, Physica Status solidi (A) Applied Research 166 (2), 587-602, 1998.
- [26]. Catchpole R. Kylie, McCann J. Michelle, Weber J. Klaus, Blakers W. Andrew, A review of thin-film crystalline silicon for solar cell applications. Part 2: Foreign substrates, Solar Energy Materials & Solar Cells 68, 173-215, 2001.
- [27]. Fantoni A, Vigranenko Y., Fernandes M., Schwarz R., Vieira M., Influence of the band offset on the performance of photodevices based on the c-Si_a-Si:H heterostructure, Thin Solid Films 383, 314-317, 2001.
- [28]. McCann J. Michelle, Catchpole R. Kylie, Weber J. Klaus, Blakers W. Andrew, A review of thin-film crystalline silicon for solar cell applications. Part 1: Native substrates, Solar Energy Materials & Solar Cells 68, 135-171, 2001.

- [29]. Yang Jeffrey, Banerjee Arindam, Guha Subhendu, Amorphous silicon based photovoltaics—from earth to the “final frontier”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 78, 597–612, 2003.
- [30]. Partain D. Larry, *Solar cells and their applications*, John Wiley & Sons Inc, 1995.
- [31]. Raugei Marco, Bargigli Silvia, Ulgiati Sergio, Life cycle assessment and energy pay-back time of advanced photovoltaic modules: CdTe and CIS compared to poly-Si, *Energy* 32, 1310–1318, 2007.
- [32]. Goetzberger Adolf, Hebling Christopher, *Photovoltaic materials, past, present, future*, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 62, 1-19, 2000.
- [33]. Dhere G., Neelkanth, Present status and future prospects of CIGSS thin film solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90, 2181–2190, 2006.
- [34]. Στέλιος Ψωμάς, Ενέργεια, περιβάλλον και επιχειρηματικότητα: Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο, Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, 2003.
- [35]. European Commission, *A Vision For Photovoltaic Technology*, EUR 21242.
- [36]. Perez Richard, Coleman Sam, PV Module Angles, *Home Power* 36, August / September 1993.
- [37]. Davidson Joel, *The new solar electric home: the photovoltaics how-to handbook*, aatec Publications, 1995.
- [38]. Duffie A. John, Beckman A. William, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons Inc, 1980.
- [39]. Oliver M., Jackson T., Energy and economic evaluation of building-integrated Photovoltaics, *Energy* 26, 431–439, 2001.