

M/K
835



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθανάσιος Κ. Παπακωνσταντίνου

Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Ιωάννης Κ. Καλδέλλης



Αθήνα, Ιανουάριος 2014

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών των συστημάτων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων, καθώς και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την εξέλιξή τους, όπως αυτά αντλούνται από τις κατασκευάστριες εταιρίες.

Στην πρώτη ενότητα (κεφάλαια 1 έως 3) γίνεται μια ανάλυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και της ιστορικής εξέλιξης αυτών. Επίσης γίνεται αναφορά στις αρχές λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Η δεύτερη ενότητα (κεφάλαια 4 έως 8) αναφέρεται στην παρουσίαση των διάφορων συστημάτων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων αλλά και στην εύρεση της καταλληλότερης λύσης για την περίπτωση μας. Τέλος παρουσιάζεται μια συγκριτική μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών των συστημάτων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Λέξεις Κλειδιά: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων, φωτοβολταϊκά συστήματα, ηλιακή ενέργεια, τεχνική αξιολόγηση.

Abstract

The present study aims to analyze the technical characteristics of module support systems, as well as to the extraction of useful conclusions on their evolution, as derived from the manufacturers.

The first section (chapters 1 to 3) is an analysis of photovoltaic systems and the historical development of these. In addition, is made a reference to the operating principles of the photovoltaic effect.

The second section (chapters 4 to 8) refers to the presentation of various module support systems and in finding the most suitable solution for our case. Finally is presented a comparative study of the technical characteristics of module support systems.

Keywords: module support systems, photovoltaic systems, solar energy, technical evaluation.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	5
2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ.....	7
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	9
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	13
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	16
4. ΠΡΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	21
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	21
6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	23
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	27
8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ.....	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33

Εισαγωγή

Με τον όρο φωτοβολταϊκά εννοούμε γενικά, τα συστήματα εκείνα τα οποία χρησιμοποιούνται για την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο όρος “φωτο” προέρχεται από το φως, ενώ το “βολτ” οφείλεται στον *Alessandro Volta* (1745-1827), έναν πρωτοπόρο στη μελέτη του ηλεκτρισμού. Έτσι, “φωτοβολταϊκό” στην κυριολεξία σημαίνει “φωτο-ηλεκτρικό”. Πρακτικά, στην απλούστερή της μορφή μια φωτοβολταϊκή διάταξη είναι μια ηλιακά τροφοδοτούμενη μπαταρία, όπου το μόνο αναλώσιμο είναι το ηλιακό φως που την τροφοδοτεί. Η λειτουργία της είναι φιλική προς το περιβάλλον και, εάν η διάταξη προστατεύεται σωστά από την επίδραση του περιβάλλοντος, κανένα τμήμα δεν υφίσταται φθορά.

Επειδή το φως του ήλιου είναι διαθέσιμο παντού, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις έχουν πολλά πρόσθετα οφέλη που τις καθιστούν εφαρμόσιμες και αποδεκτές από όλους τους κατοίκους του πλανήτη. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πολυσυναρτησιακά, οπότε η ηλεκτροπαραγωγή τους μπορεί τυπικά να προσαρμοστεί σε κάθε εφαρμογή, από καταναλωτικές χρήσεις χαμηλής ισχύος - ρολόγια, μικρούς υπολογιστές χειρός και φορτιστές μικρών μπαταριών - μέχρι σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις, όπως η ηλεκτροπαραγωγή σε κεντρικούς σταθμούς των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού.

Επιπλέον, στα φωτοβολταϊκά συστήματα προσαρμόζονται εύκολα τυχόν προσθήκες ισχύος, σε αντίθεση με τις πιο συμβατικές μεθόδους, όπως αυτές των ορυκτών ή των πυρηνικών καύσιμων, οι οποίες απαιτούν εγκαταστάσεις πολλών MWatt για να είναι οικονομικά εφικτές. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν τόσα πολλά πλεονεκτήματα ώστε, μόλις μειωθεί κατά άλλη μία τάξη μεγέθους το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος τους, η εξάπλωσή τους αναμένεται να είναι ευρύτατη στα τέλη του 21ου αιώνα.¹

1 <http://www.cres.gr>

1. Ιστορική Αναδρομή

"Η ουσία ενός φαινομένου γίνεται καλύτερα αντιληπτή όταν το ερευνούμε από την γένεσή του."

Αριστοτέλης

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν, ο 19χρονος τότε, Γάλλος φυσικός *Alexandre Edmond Becquerel* (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγωγίμο υγρό. Παρατήρησε ότι η ροή αυξανόταν με την έκθεση του υγρού στον ήλιο. Οι σημειώσεις του γύρω από το φαινόμενο, είχαν φανεί πολύ ενδιαφέρουσες στην επιστημονική κοινότητα αλλά χωρίς πρακτική εφαρμογή.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1873 όταν ο *Willoughby Smith* ανακαλύπτει τη φωτοαγωγιμότητα στο σελήνιο. Την ανακάλυψη αυτή προχώρησαν ένα βήμα παρακάτω ο *W.G. Adams* (1836 - 1915) και ο φοιτητής του *R.E. Day* όταν το 1877 παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το στερεό σελήνιο (Se), όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1883 ο Αμερικανός εφευρέτης *Charles Fritts* αναπτύσσει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, χρησιμοποιώντας σελήνιο πάνω σε ένα λεπτό στρώμα χρυσού, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο την πρώτη συσκευή παραγωγής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, με απόδοση 1%.

Την επανάσταση στον χώρο της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών και γενικότερα της φυσικής, έφερε ο *Albert Einstein*, γράφοντας την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, για την οποία και τιμήθηκε με το βραβείο Nobel Φυσικής το 1921.² Η θεωρία αυτή ήταν καθοριστική για τη δημιουργία της κβαντικής θεωρίας, έναν από τους δύο πυλώνες της σύγχρονης φυσικής (παράλληλα με τη γενική θεωρία της σχετικότητας).^{3,4}

Το 1918 ο Πολωνός επιστήμονας *Jan Czochralski* (1885 - 1953) παράγει μια μέθοδο για την ανάπτυξη μονών κρυστάλλων μετάλλου, πάνω στην οποία θα βασιστούν το 1949 οι *Gordon Teal* και *John Little* για την παραγωγή ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού γερμανίου (Ge) και αργότερα του πυριτίου (Si).⁵

Η αρχή των φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως τα ξέρουμε σήμερα, έγινε το 1954 από τους *Gerald L. Pearson*, *Daryl M. Chapin*, και *Calvin S. Fuller* στα εργαστήρια της

² "The Nobel Prize in Physics 1921". Nobel Foundation. Archived from the original on 5 October 2008. Retrieved 6 March 2007.

³ Zahar, Élie (2001), *Poincaré's Philosophy. From Conventionalism to Phenomenology*, Carus Publishing Company, Chapter 2, p.41, ISBN 0-8126-9435-X.

⁴ Whittaker, E. (1955). "Albert Einstein. 1879-1955". *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 1: 37–67. doi:10.1098/rsbm.1955.0005. JSTOR 769242.

⁵ David C. Brock (Spring 2006). "Useless No More: Gordon K. Teal, Germanium, and Single-Crystal Transistors". *Chemical Heritage Newsmagazine* (Chemical Heritage Foundation) 24 (1). Retrieved 2008-01-21.

Bell Labs, οι οποίοι κατασκεύασαν στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.⁶

Μέσα στα επόμενα 6 χρόνια (1955 – 1960) η εταιρεία Hoffman Electronics παράγει τα πρώτα εμπορικά φωτοβολταϊκά στοιχεία με απόδοση 2%, εξελίσσοντας τα σταδιακά, επιτυγχάνοντας εν τέλει απόδοση 14%.

Εν τω μεταξύ, η Αμερική εκτοξεύει το 1958 τον Vanguard 1, τον πρώτο δορυφόρο που τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία όσο βρίσκεται σε τροχιά. Ένα χρόνο αργότερα ακολουθούν οι δορυφόροι Explore VI & VII οι οποίοι μεταφέρουν συνολικά 9.600 φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Στη συνέχεια, το 1963, η Sharp Corporation παράγει ένα «βιώσιμο» φωτοβολταϊκό πλαίσιο από φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου. Από το σημείο αυτό τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπαίνουν με ταχύς ρυθμούς στην καθημερινή μας ζωή, εξοπλίζοντας κτήρια, φάρους, τηλεφωνικούς θαλάμους, οχήματα αλλά και μικρότερα αντικείμενα όπως ρολόγια και φορητές αριθμομηχανές. Βρίσκοντας έτσι εφαρμογή σχεδόν σε οτιδήποτε χρειάζεται ηλεκτρική τροφοδοσία (π.χ. τροφοδότηση ψυγείων, τηλεπικοινωνιακού & ιατρικού εξοπλισμού, άντλησης νερού και φωτισμού).

Οι εμπορικά διαθέσιμες σήμερα ηλιακές κυψέλες πυριτίου μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρισμό το 22% περίπου του προσπίπτοντος σε αυτές ηλιακού φωτός, με κόστος κατά πολύ μικρότερο αυτού που είχαν πριν από τριάντα χρόνια. Τελευταία αναπτύχθηκε μια σειρά μεθόδων για την εφαρμοσμένη παραγωγή ηλιακών κυψελών πυριτίου (άμορφου, μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού), καθώς και κυψελών που κατασκευάζονται από άλλα υλικά με δυνατότητα εμπορικής εκμετάλλευσης, όπως είναι ο δισεληνιούχος ινδικός χαλκός (CuInSe₂), το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), κλπ.

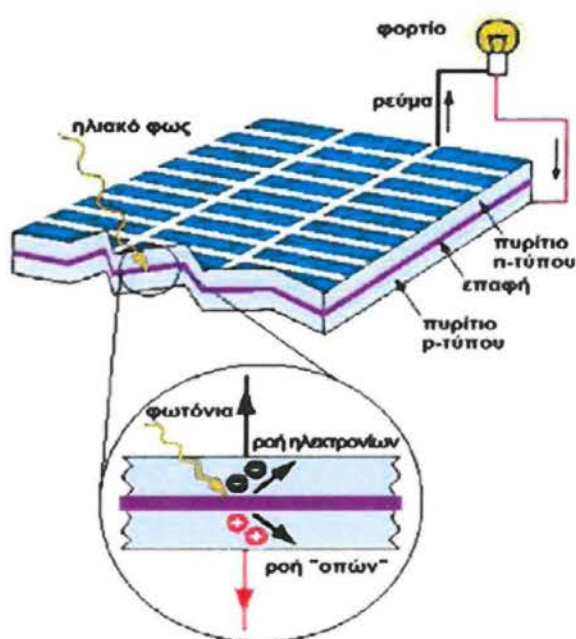
⁶D. M. Chapin, C. S. Fuller, and G. L. Pearson (May 1954). "A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power". *Journal of Applied Physics* 25 (5): 676–677. doi:10.1063/1.1721711.

2. Αρχή Λειτουργίας

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων, δηλαδή η δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δημιουργούμενων πόλων, που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα φυσικά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις.

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης, πρέπει να κατανοηθεί η φύση τόσο του υλικού όσο και του ηλιακού φωτός. Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, συνήθως πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ionίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία (“οπές”) από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή.

Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα, όπως αυτό του σχήματος 2.1, είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.⁷



Σχήμα 2.1: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε στοιχείο πυριτίου

⁷ <http://www.cres.gr>

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια φωτοβολταϊκή συσκευή καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού
- την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία)
- το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως *βαθμός απόδοσης* της κυψέλης.

Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 22% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή, και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10% περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα είναι:

- Θερμοκρασία: 25°C
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας: 1000 W/m²
- Αέρια μάζα: AM 1,5

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με 1.⁸

⁸ <http://www.cres.gr>

3. Ανάλυση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ένα σύνολο από υποσυστήματα τα οποία συνεργάζονται ώστε να επιτελεσθούν όλες οι επιμέρους διεργασίες, από την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας έως την τελική διοχέτευση της ηλεκτρικής ενέργειας για χρήση.

Συστατικά ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Αναπόσπαστο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό πεδίο συλλεκτών το οποίο συνίσταται από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες (φωτοβολταϊκά πλαίσια). Περαιτέρω και ανάλογα με το είδος και τον τρόπο λειτουργίας τους, συστατικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι, ο αντιστροφέας τάσης που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (Inverter), ο ρυθμιστής φόρτισης που ελέγχει την φόρτιση των μπαταριών (Regulator), οι συσσωρευτές (μπαταρίες), η διάταξη ηλιοπαρακολούθησης (Tracker) κλπ. Φυσικά, ως στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος νοούνται και τα συστήματα στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων που βοηθούν στη σωστή εγκατάσταση των πάνελ, οι καλωδιώσεις, τα συστήματα ασφαλείας και διαχείρισης όπως ο μετρητής ενέργειας ο οποίος χρησιμεύει στην μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται.

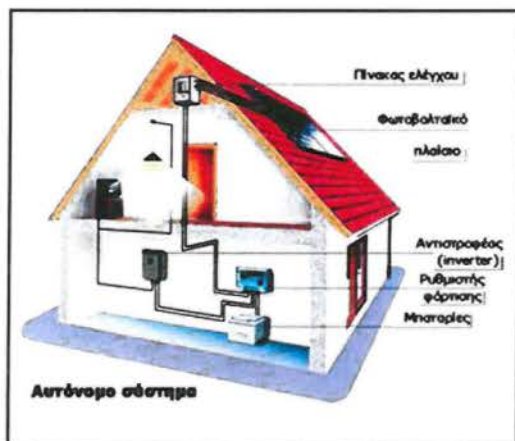
Είδη Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους.

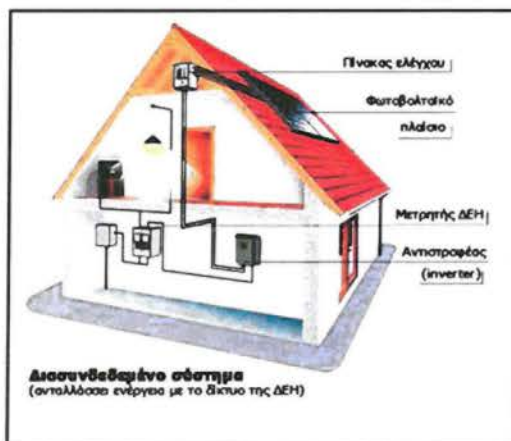
Ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας:

Αυτόνομα Συστήματα. Δεν συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο (Εικόνα 3.1).

Διασυνδεδεμένα Συστήματα. Συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο και εγγέουν την παραγωγή τους σε αυτό (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.1: Αυτόνομο σύστημα



Εικόνα 3.2: Διασυνδεδεμένο σύστημα

Ανάλογα με την εγκατάστασή τους:

Κτηριακά Συστήματα. Αυτά που εγκαθίστανται επί κτηρίων ή ενσωματώνονται σε αυτά (Εικόνα 3.3).

Υπαίθρια Συστήματα. Αυτά που εγκαθίστανται στην ύπαιθρο, σε γήπεδα και χωράφια (Φωτοβολταϊκά Πάρκα) (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.3: Κτηριακό σύστημα



Εικόνα 3.4: Υπαίθριο σύστημα

Ανάλογα με τη θέση τους σε σχέση με την τροχιά του ηλίου:

Σταθερά Συστήματα. Το φωτοβολταϊκό πεδίο διατηρεί σταθερή θέση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (Εικόνα 3.5).

Ηλιοστατικά Συστήματα. Το φωτοβολταϊκό πεδίο τοποθετείται σε κινούμενες βάσεις (Tracker) και προσανατολίζεται διαρκώς στην ιδανικότερη θέση σε σχέση με τον ήλιο (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.5: Σταθερό σύστημα

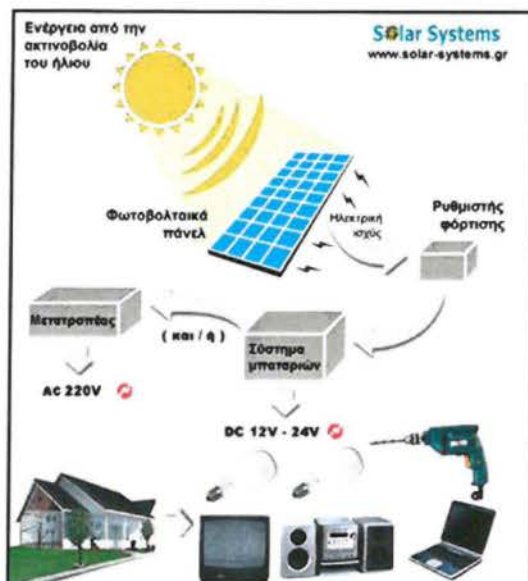


Εικόνα 3.6: Ηλιοστατικό σύστημα

Ανάλογα με την συνύπαρξή τους με άλλη πηγή ενέργειας:

Απλά Συστήματα. Δεν συλλειτουργούν με άλλη πηγή ενέργειας (Εικόνα 3.7).

Υβριδικά Συστήματα. Συλλειτουργούν και με άλλη πηγή ενέργειας - συνήθως με αιολικά συστήματα ή ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη (Εικόνα 3.8).⁹



Εικόνα 3.7: Απλό σύστημα



Εικόνα 3.8: Υβριδικό σύστημα

Επιπλέον θα μπορούσαμε να κάνουμε μια κατηγοριοποίηση ανάλογα με το μέγεθος παραγωγής ενέργειας του εκάστοτε Φ/Β Συστήματος. Έτσι διαμορφώνονται οι ακόλουθες κατηγορίες:

Καταναλωτικά προϊόντα μεγέθους 1 mW – 100 W

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα μεγέθους 100 W – 200 kW

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών.
- Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού.
- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

⁹ <http://www.erdgas.gr/fotovoltaika-systimata.html>

Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα – Οικιακός Τομέας μεγέθους 1,5 kW – 20 kW

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια είναι:

- ❖ Συγχρονισμός ψυκτικών φορτίων κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ από τα Φ/Β.
- ❖ Αποφυγή χρήσης γης για την εγκατάσταση.
- ❖ Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επιτόπου κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας.

Επίσης, οι Φ/Β συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία των κτιρίων, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η οικονομική απόδοση του συστήματος, λόγω αποφυγής κόστους συμβατικών οικοδομικών υλικών.

Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kW έως μερικά MW, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Ενεργειακή ανεξαρτησία.
- Αξιοπιστία και σταθερότητα.
- Είναι εύχρηστα. Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Είναι βαθμιδωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα.
- Δεν εκπέμπουν ρύπους στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.¹⁰

¹⁰ http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm

3.1. Ανάλυση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

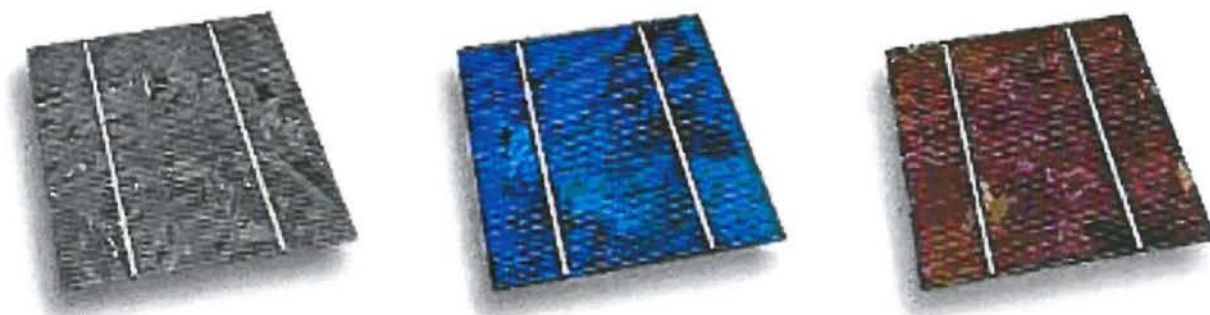
Όπως προαναφέραμε το σημαντικότερο τμήμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Ακόμα και τα πλαίσια αυτά όμως, δεν είναι όλα ίδια μεταξύ τους. Διαφέρουν στον τρόπο κατασκευής, στο κόστος και στην απόδοσή τους, ενώ η κύρια ομοιότητά τους είναι ότι όλα κατασκευάζονται με τη χρήση πυριτίου. Οι κατηγορίες που χωρίζονται είναι δύο καθεμία από τις οποίες έχει δύο υποκατηγορίες:

1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%.
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.

2. Λεπτών Μεμβρανών

- Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 11%.¹¹



Εικόνα 3.9: Αριστερά κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου, στη μέση πολυκρυσταλλικού πυριτίου και δεξιά άμορφου πυριτίου

Στα μονοκρυσταλλικά πλαίσια η εσωτερική κρυσταλλική δομή είναι παντού ομογενής. Τα τυχαία κατανομημένα άτομα του πυριτίου τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να κατασκευάζουν ένα μεγάλο μοναδικό κρύσταλλο πυριτίου. Τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου παρουσιάζουν αυξημένη απόδοση σε σχέση με τους άλλους τρεις τύπους αλλά έχουν την μικρότερη ανοχή στην θερμοκρασία.¹²

Τα μονοκρυσταλλικά δισκία κόβονται σε φέτες (πάχους περίπου 1/3 έως 1/2 mm) από μια μεγάλη μονοκρυσταλλική ράβδο που έχει θερμανθεί περίπου σε 1400°C, η οποία είναι μια πολύ δαπανηρή διεργασία. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει μια σχεδόν τέλεια κρυσταλλική δομή (βλ. σχήμα 3.1.α).¹³

¹¹ <http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά>

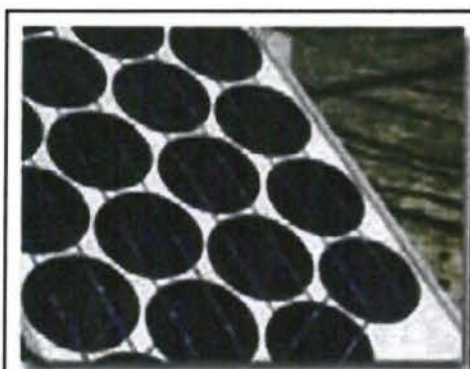
¹² http://www.microsun.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=63&lang=el

¹³ <http://www.cres.gr>

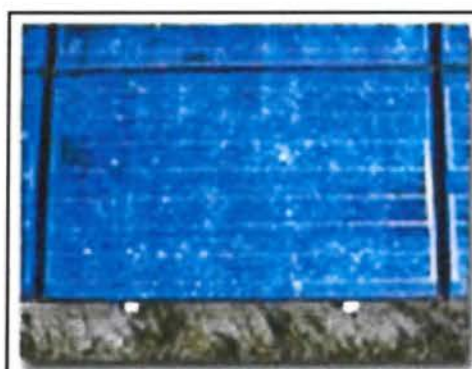
Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι ένα υλικό που δημιουργείται από πολλούς μικρούς κρυστάλλους πυριτίου τυχαία κατανομημένους. Είναι εύκολο να αναγνωρισθεί από το προηγούμενο τύπο από την χαρακτηριστική υφή του που μοιάζει σαν "μεταλλικές φλούδες". Παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο αλλά έχει καλύτερη ανοχή στην θερμοκρασία.¹⁴

Τα πολυκρυσταλλικά δισκία κατασκευάζονται με μια διεργασία χύτευσης, κατά την οποία λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε ένα καλούπι και αφήνεται να στερεοποιηθεί. Κατόπιν τεμαχίζεται σε δισκία (σχήμα 3.1.β). Καθόσον τα πολυκρυσταλλικά δισκία κατασκευάζονται με χύτευση, η παραγωγή τους είναι αρκετά φθηνότερη, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο τα μονοκρυσταλλικά, λόγω ατελειών στην κρυσταλλική δομή που οφείλονται στη διεργασία της χύτευσης.

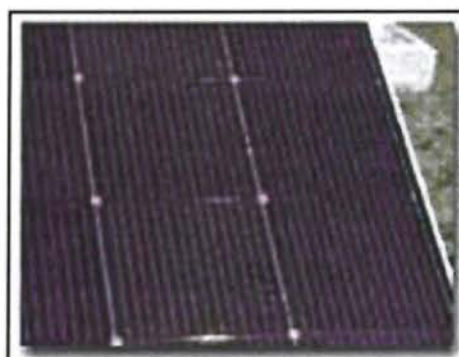
Σχεδόν το ήμισυ του πυριτίου χάνεται ως σκόνη κοπής στις δύο ανωτέρω διεργασίες.¹⁵



Εικόνα 3.10: Μονοκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες σε πλαίσιο



Εικόνα 3.11: Πολυκρυσταλλικό ηλιακό πλαίσιο



Εικόνα 3.12: Ηλιακό πλαίσιο άμορφου πυριτίου

¹⁴ http://www.microsun.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=63&lang=el

¹⁵ <http://www.cres.gr>

Στην περίπτωση του άμορφου πυριτίου τα άτομα δεν ακολουθούν κάποια κρυσταλλική διάταξη. Είναι τυχαία κατανεμημένα στον χώρο. Η ιδιότητες αυτού του υλικού το κάνουν να διαφέρει σε σχέση με τα άλλα δύο υλικά. Παρουσιάζει την μικρότερη απόδοση, αλλά και την μεγαλύτερη ανοχή στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Δεν έχουν την διάρκεια ζωής που παρουσιάζουν τα κρυσταλλικά.¹⁶

Το άμορφο πυρίτιο, μία από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης, παράγεται με την εναπόθεση πυριτίου από ένα αέριο αντιδραστήριο, όπως το σιλάνιο (SiH₄), επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.γ, ή πλαστικού.

Οι υπόλοιπες τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης περιλαμβάνουν το λεπτό πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, κυψέλες δυσεληνιούχου ινδικού χαλκού / θειούχου καδμίου, τελλουριούχου καδμίου / θειούχου καδμίου και αρσενιούχου γαλλίου. Οι κυψέλες αυτού του είδους διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η ευκολότερη απόθεση και συναρμολόγηση, η ικανότητα να εναποτίθενται επάνω σε φθηνά υποστρώματα ή υλικά οικοδομών, η ευκολία για μαζική παραγωγή και η καταλληλότητά τους σε μεγάλες εφαρμογές.¹⁷

Κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ διατίθενται στο εμπόριο σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν.

¹⁶ http://www.microsun.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=63&lang=el

¹⁷ <http://www.cres.gr>

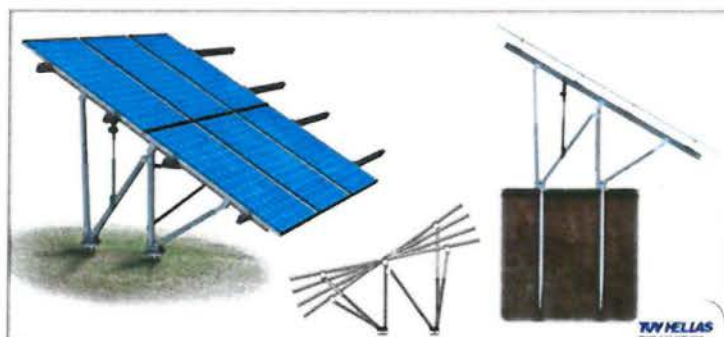
3.2. Ανάλυση Βάσεων Στήριξης

Με τις πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά των ηλιακών κυψελών, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως υλικά κατασκευής της στέγης των κτιρίων. Εντούτοις, οι περισσότερες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων χρειάζονται κάποια βάση για την υποστήριξη και τοποθέτησή τους. Οι βάσεις αυτές μπορεί να είναι από απλές κατασκευές για τη συγκράτηση ενός πλαισίου σε μια στέγη (πιθανώς με μόνιμη κλίση υπό κάποια γωνία), μέχρι σύνθετες διατάξεις παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου σε δύο άξονες. Η πολυπλοκότητα της βάσης στήριξης καθορίζεται από τις ανάγκες του συστήματος και το διαθέσιμο κεφάλαιο.

Οι βάσεις μπορούν να διακριθούν με βάση δύο κριτήρια: ανάλογα με τον τόπο εγκατάστασης και τον τρόπο κίνησής τους.

1. Τόπος εγκατάστασης:

- Υπαίθρια έκταση: Οι βάσεις αυτού του είδους τοποθετούνται σε χωράφια με σκοπό τη δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων.



Εικόνα 3.13: Βάση στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων υπαίθριας εγκατάστασης

- Σκεπή – Στέγη: Τέτοιες βάσεις χρησιμοποιούνται σε επικλινείς οροφές καθώς και σε προσόψεις οικιακών και βιομηχανικών κτηρίων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους.



Εικόνα 3.14: Βάση στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σκεπή



Εικόνα 3.15: Βάση στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε βιομηχανική στέγη

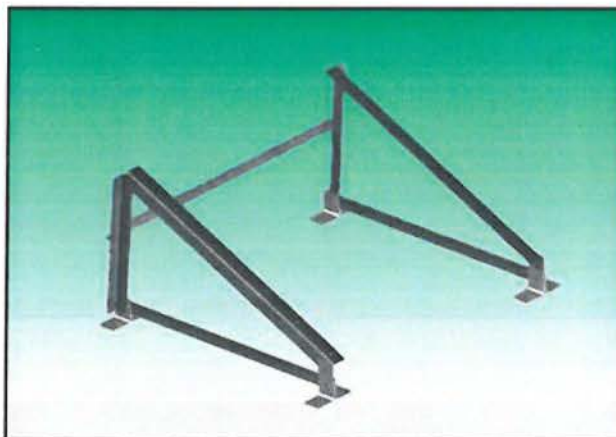
- Ταράτσα – Δώμα: Αυτές οι βάσεις τοποθετούνται όπου υπάρχει επίπεδη επιφάνεια από μπετό, πάνω στο οποίο και στερεώνονται.



Εικόνα 3.16: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε ταράτσα/δώμα

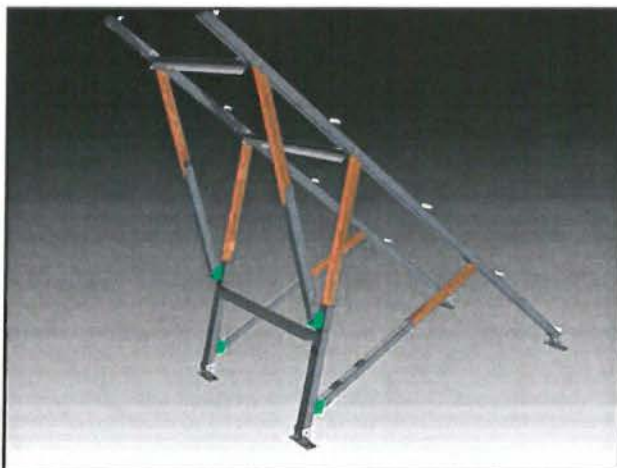
2. Τρόπος μεταβολής κλίσης:

- Σταθερής κλίσης: Η βάση κατασκευάζεται υπό συγκεκριμένη κλίση η οποία παραμένει ίδια για όλη τη διάρκεια ζωής της.



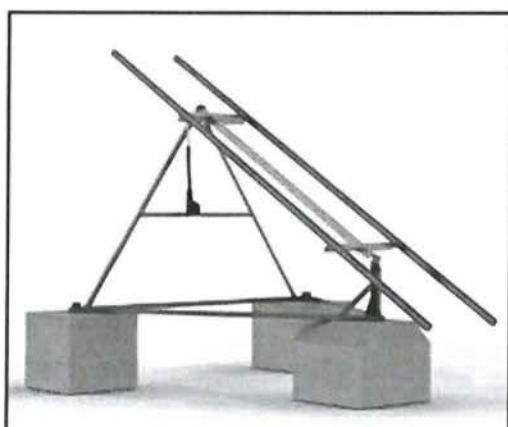
Εικόνα 3.17: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων σταθερής κλίσης

- Χειροκίνητης μεταβολής κλίσης: Η βάση έχει συγκεκριμένο εύρος μοιρών στο οποίο μπορεί να αλλάζει η γωνία κλίσης χειροκίνητα. Αυτό συμβαίνει 2 με 4 φορές ανά έτος για καλύτερη απόδοση του συστήματος.



Εικόνα 3.18: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων χειροκίνητης μεταβολής κλίσης

- Αυτόματης μεταβολής κλίσης (Tracker): Οι βάσεις αυτού του τύπου διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες: Στους μονοαξονικούς Tracker, οι οποίοι κινούνται είτε κατά τον οριζόντιο είτε κατά τον κάθετο άξονα και ακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στους διαξονικούς Tracker, οι οποίοι κινούνται και στους δύο άξονες ταυτόχρονα και αλλάζουν την κλίση τους ανάλογα με την ώρα της ημέρας αλλά και με την εποχή. Αυτές οι βάσεις προσφέρουν τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 3.19: Βάση στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων αυτόματης μεταβολής κλίσης (Tracker) σε έναν άξονα



Εικόνα 3.20: Διαξονικές βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων αυτόματης μεταβολής κλίσης (Tracker)

Σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ του τρόπου μεταβολής κλίσης και του τόπου εγκατάστασης.

Στις υπαίθριες εγκαταστάσεις μπορούν να τοποθετηθούν και τα τρία είδη, βάση του τρόπου κίνησης, βάσεων στήριξης. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του είδους τόπου εγκατάστασης αποτελεί το γεγονός ότι το σύνολο του χώρου είναι πλήρως αξιοποιήσιμο και επιπλέον, δεν μας περιορίζει ούτε ο όγκος αλλά ούτε και το βάρος των βάσεων που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι, τα συχνότερα απαντώμενα συστήματα είναι αυτά με βάσεις σταθερής κλίσης αλλά και με Tracker. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι οι μεν σταθερές βάσεις έχουν το μικρότερο δυνατό κόστος εξαιτίας της απλής κατασκευής τους, οι δε Tracker έχουν την υψηλότερη απόδοση όλων. Οι χειροκίνητες βάσεις λόγω της φυσικής παρουσίας του ανθρώπου που απαιτούν δεν επιλέγονται τόσο συχνά.

Στις στέγες και τις σκεπές το μόνο είδος βάσης που μπορεί να εφαρμοστεί είναι αυτό της σταθερής. Αυτό προκύπτει από τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένες επιφάνειες. Αρχικά, λόγω του επικλινούς επιπέδου αλλά και των δομικών υλικών που τα απαρτίζουν, αποτρέπεται η στήριξη μεγάλων φορτίων βάρους. Επιπλέον, οι συγκεκριμένες τοποθεσίες εγκατάστασης, συνήθως είναι δύσκολα προσβάσιμες στον άνθρωπο γεγονός που κάνει τη συντήρηση πολύ δυσκολότερη. Συνεπώς οι σταθερής κλίσης, βάσεις αποτελούν την μοναδική επιλογή δεδομένου του μικρού όγκου και βάρους καθώς και της μηδαμινής συντήρησης που απαιτούν σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους βάσεων.

Τέλος, οι ταράτσες και τα δώματα παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανά περίπτωση εφαρμογής και για το λόγο αυτό χρειάζονται και εκτενέστερη μελέτη συγκριτικά με τους υπόλοιπους τόπους εφαρμογής. Γενικά, μπορούμε να αναφέρουμε τους εξής σημαντικούς περιορισμούς: το συνολικό ύψος της βάσης (μαζί με τα πάνελ), βάση της Ελληνικής νομοθεσίας, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2 μέτρα, το ποσοστό της επιφάνειας που είναι αξιοποιήσιμη διαφέρει με την εκάστοτε περίπτωση, οι αντοχές σε βάρος της εκάστοτε κατασκευής, ο τρόπος στήριξης της βάσης. Ο συνδυασμός όλων των ανωτέρω συνιστωσών δίνει σαν τελικό αποτέλεσμα την καλύτερη επιλογή βάσης στήριξης για το σύστημα που θα εγκαταστήσουμε. Έτσι, σε αυτόν τον τόπο εγκατάστασης συναντώνται και οι τρεις τρόποι κίνησης μιας και κάθε περίπτωση είναι τελείως ξεχωριστή.

Τεχνικά χαρακτηριστικά των βάσεων στήριξης

Όπως προαναφέραμε για να γίνει η επιλογή της κατάλληλης, για την κάθε περίπτωση, βάσης στήριξης γίνεται μια *οικονομοτεχνική* μελέτη από την οποία προκύπτει η βέλτιστη λύση. Από τεχνικής άποψης, τα στοιχεία που μελετάμε είναι αρχικά ο τόπος εγκατάστασης και οι ιδιαιτερότητές του. Έπειτα, αποφασίζουμε ποιο είδος βάσης ταιριάζει καλύτερα στην περίπτωση μας. Τέλος, οδηγούμαστε σε μία σύγκριση μεταξύ των προϊόντων των διαφόρων εταιριών για να διαλέξουμε το πιο συμβατό. Στην σύγκριση αυτή χρησιμοποιούμε τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά των βάσεων:

- Υλικό κατασκευής
- Αντιδιαβρωτική προστασία
- Διαστάσεις & Βάρος
- Τρόπος έδρασης
- Τρόπος μεταβολής κλίσης
- Εύρος διαφοροποίησης κλίσης
- Στατική επάρκεια

4. Προς επίλυση πρόβλημα

Αναφέρθηκε νωρίτερα ότι κάθε εγκατάσταση είναι διαφορετική και έχει τις δικές τις ιδιαιτερότητες. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται μια μελέτη για να εξετάσουμε ποια είδη βάσεων και πάνελ είναι κατάλληλα για το σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί. Στην προκειμένη περίπτωση εμείς κάναμε τη μελέτη για την επιλογή της κατάλληλης βάσης στήριξης. Τα τεχνικά στοιχεία που μας δόθηκαν ως δεδομένα για τη μελέτη μας είναι τα ακόλουθα:

- Τόπος εγκατάστασης: Ταράτσα (πλάκα από μπετόν)
- Τρόπος στήριξης βάσεων: Ιδανικά χωρίς τρύπημα της επιφάνειας της ταράτσας
- Εύρος διαφοροποίησης κλίσης: Ιδανικά 15~60°
- Διαστάσεις υποστηριζόμενων πάνελ: 1674mm x 992mm

5. Παρουσίαση των τεχνολογιών

Έπειτα από έρευνα αγοράς που πραγματοποιήσαμε σε εταιρίες κατασκευής βάσεων στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ, κυρίως στον Ελλαδικό χώρο αλλά και με μερικά παραδείγματα σε παγκόσμια κλίμακα, καταλήξαμε στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα:

Τεχνική Αξιολόγηση Συστημάτων Στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Εταιρίες κατασκευής βάσεων	Ονομασία Βάσης	Υλικό κατασκευής	Βάρος	Πλήθος πάνελ/βάση	Δυνατότητα διαφοροποίησης κλίσης	Επιλογές διαφοροποίησης κλίσης	Τρόπος έδρασης	Υλικά παρελκόμενων	Στατική Επάρκεια	Αντιδιαβρωτική προστασία	Πιστοποιήσεις Βάσεων	Πιστοποιήσεις Εταιρίας	Εγγύηση	Τιμή βάσης (ανά W)
Alfa Energy www.alfa-press.gr	A1803	Ειδικό κράμα αλουμινίου (6005 T5)	-	12L ή 14P	Χειροκίνητη	16-50°	Πέλμα σκυροδέματος/ Πασσαλόμηξη	Ειδικό κράμα αλουμινίου (6005 T5)	Ευρωκώδικας 1,9 EAK 2000	Ανοδίωση ή ηλεκτροστατική βαφή	TUV Rheinland	TUV ICB ISO 9001:2000 ISO 14001:2004	25 έτη	≈0,14€
Alpha Solar www.alpha-solar.gr	Alpha Solar RF - Δώμα	Δηλασμένο αλουμίνιο (EN AW 6063 T66) / Ανοξειδωτο χάλυβα	-	9	Σταθερή	10-30°	Πέλμα σκυροδέματος	Ανοξειδωτες βίδες	Ευρωκώδικας 1,3,9 EAK	Ανοδίωση	TUV AUSTRIA HELLAS	TUV INTERCERT SAAR ISO 9001:2008	20 έτη	0,12 €
Alumil Solar www.alumilsolar.com	H2300 Flat Roof	Κράμα αλουμινίου (6005 T6)	-	6P - 9L	Σταθερή	10-35°	Μικρή επέμβαση στο δώμα	-	Ευρωκώδικας 1,3,9 EAK 2003	QUALANOD QUALICOAT	TUV NORD HELLAS	TUV NORD HELLAS ISO 9001:2008 ISO 14001:2004 EAOT 1801:2008	25 έτη	0,13-0,15€
Alumino	ΗΛΕΚΤΡΑ II	Αλουμίνιο	66 kg για	12	Σταθερή	15-45°	Πέλμα	Ανοξειδωτες	Ευρωκώδικας 0,9	QUALICOAT	TUV Rheinland	TUV AUSTRIA HELLAS ISO 9001:2008	-	0,10 €
Schuco www.schueco.com/web/grf	MSE 210	Αλουμίνιο			Σταθερή	10°-30°	Πέλμα σκυροδέματος/ Πασσαλόμηξη	Αλουμίνιο	Ευρωκώδικας 1	-	-	-	-	-
Solarbase www.solarbase.gr	Κωδ. 311	Αλουμίνιο / Υψηλής ποιότητας χάλυβας	-	2	Χειροκίνητη	20-30° ανά 5°	Πέλμα σκυροδέματος/ Μηχανικά Αγκύρια	-	Ευρωκώδικας 1,3,9 & EAK 2000	http://www.solarbase.gr/site/pdfs/sb_warranty.pdf	TUV NORD HELLAS	TUV AUSTRIA HELLAS ISO 9001:2008	25 έτη	0,13-0,18€
Solarcube www.solarcube.com	KIVO FR (Double Portrait)	Εν ψυχρό διαμορφωμένος προγαλβανισμένος χάλυβας ή μεταγαλβανισμένος χάλυβας	-	8	Σταθερή	5-30°	Πέλμα σκυροδέματος/ Μηχανικά Αγκύρια	Αλουμίνιο (EN AW-6063 T66)	Ευρωκώδικας 1,3,8	EN 10147 – S320 + Z	-	TUV ISO 9001	20 έτη	-
Σταυρίδης www.clamps.gr	Σταθερή Βάση Με Ρυθμιζόμενη Κλίση (Χειροκίνητος Μηχανισμός)	Χάλυβας S355 / Χάλυβας S275	150kg	12	Χειροκίνητη	0-40° ανά 5°	Πέλμα σκυροδέματος C20/25	-	Ευρωκώδικας 0,1,2,3,7,8	Από τους ίδιους	ΑΠΘ	-	20 έτη	0,28 €

Πίνακας 5.1: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων και στοιχεία αυτών

6. Σύγκριση των τεχνολογιών

Μετά την παρουσίαση των τεχνολογιών που κυκλοφορούν αυτή τη χρονική περίοδο στην αγορά, καλούμαστε να πραγματοποιήσουμε μια συγκριτική μελέτη των βάσεων, αναλύοντας τις παραμέτρους τους. Συγκεκριμένα οι βάσεις που εξετάζονται στη μελέτη μας είναι αυτές των χειροκίνητα μεταβλητών κλίσεων. Η επιλογή αυτή έγινε για τους εξής λόγους:

- Ο τόπος εγκατάστασης είναι ταράτσα και με την κείμενη νομοθεσία της Ελλάδας το ύψος των φωτοβολταϊκών πάνελ δεν μπορεί να ξεπερνά τα 2 μέτρα. Για το λόγο αυτό καθώς και για το μεγάλο βάρος τους, το οποίο είναι πιθανό να επηρεάσει τη στατικότητα του κτηρίου, είμαστε αναγκασμένοι να αποκλείσουμε τις βάσεις με αυτόματη αλλαγή κλίσης (Tracker).
- Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάσαμε τις απαιτήσεις του προβλήματος. Μία από αυτές ήταν η κλίση των φωτοβολταϊκών πάνελ να είναι ιδανικά στο εύρος 15~60°. Για το λόγο αυτό επιλέξαμε μόνο τις βάσεις με μεταβλητή κλίση καθώς αφενός μπορούν να καλύψουν την απαίτηση αυτή και αφετέρου έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τις βάσεις σταθερής κλίσης.

Η σύγκριση, της οποίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3, έγινε με βάση πέντε κριτήρια το καθένα από τα οποία βαθμολογήθηκε σε μία κλίμακα του 5 (όπου το 1 είναι η μικρότερη βαθμολογία και το 5 η μεγαλύτερη). Η τελική βαθμολογία της κάθε βάσης εξάγεται, πολλαπλασιάζοντας την βαθμολογία κάθε κριτηρίου με ένα συντελεστή βαρύτητας, αθροίζοντας τα σε ένα τελικό αποτέλεσμα, το οποίο διαιρείται με το πλήθος των κριτηρίων και εκφράζεται σε επί τις εκατό ποσοστό. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στη σύγκριση αναλύονται ως εξής:

1. Το πρώτο κριτήριο που εξετάστηκε ήταν το υλικό κατασκευής των βάσεων. Τα υλικά συγκεντρώθηκαν στον πίνακα 6.1 και μετά από έρευνα σε παγκόσμιες βάσεις δεδομένων παρουσιάζονται μαζί με τις μηχανικές τους ιδιότητες, βάση των οποίων έγινε και η μεταξύ τους σύγκριση.

Μηχανική Ιδιότητα → Ονομασία Υλικού ↓	Αντοχή σε Εφελκυσμό [Rm] (Mpa)	Σημείο Διαρροής [Rp0,2] (Mpa)	Επιμήκυνση [A] (%)	Σκληρότητα [HB]
Aluminium Alloy EN AW 6005-T5	250-270	200-225	8-10%	85-90
Aluminium Alloy EN AW 6060-T5~T595	140-160	100-120	8%	60
Aluminium Alloy EN AW 6060-T6	170-190	140-150	8%	70
Aluminium Alloy EN AW 6063-T66	245	200	8%	75
Stainless Steel 1.4301	500-700	195	40%	200
Steel S235	360-510	235	26%	-
Steel S275	410-560	275	23%	-
Steel S355	470-630	355	22%	-
Steel S420	520-580	420	19%	-

Πίνακας 6.1: Τα υλικά κατασκευής βάσεων και οι μηχανικές τους ιδιότητες

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα θεωρούμε ότι καλύτερο υλικό για την κατασκευή μας είναι το αλουμίνιο και συγκεκριμένα ο τύπος Aluminium Alloy EN AW 6005-T5 με την μεγαλύτερη αντοχή. Παρόλο που όλοι οι χάλυβες έχουν μεγαλύτερες αντοχές από το καλύτερο αλουμίνιο, έχουν και μεγαλύτερο βάρος και επειδή ο τόπος εγκατάστασης είναι ταράτσα μας ενδιαφέρει πολύ αυτή η διαφορά βάρους μεταξύ των δύο κατηγοριών μετάλλου. Δυστυχώς δεν καταφέραμε να βρούμε στοιχεία για να παρουσιάσουμε με αριθμούς αυτή τη διαφορά βάρους.

2. Το επόμενο κριτήριο αξιολόγησης ήταν η δυνατότητα διαφοροποίησης της κλίσης των πάνελ που έχει η κάθε βάση. Στον πίνακα 6.3 πέραν των επιλογών στις μοίρες που δίνει ο κάθε κατασκευαστής δημιουργήσαμε μια στήλη που φαίνεται το εύρος κλίσης σε μοίρες της κάθε βάσης καθώς και το πλήθος των θέσεων που μπορεί να πάρει μέσα στο εύρος αυτό. Η δημιουργία της στήλης αυτής αποσκοπεί στην καλύτερη και ευκολότερη βαθμολόγηση καθώς και στη διεξαγωγή συμπερασμάτων για το ποια λύση ανταποκρίνεται καλύτερα στο πρόβλημα μας. Για την ορθή βαθμολόγηση των βάσεων, έγινε πρωτίστως έρευνα στην περιοχή της Αθήνας, για το ποια είναι η βέλτιστη κλίση α) για όλο το χρόνο, β) για τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο, γ) για κάθε εποχή καθώς και δ) για μηνιαία αλλαγή κλίσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2. Οι πληροφορίες αυτές προήλθαν από Ελληνικές και παγκόσμιες ιστοσελίδες στο διαδίκτυο, καθώς και από πειραματική έρευνα του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάστηκαν στο 8^ο Συνέδριο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας το 2006 στη Θεσσαλονίκη.

Περίοδος	Ετήσια		Χειμερινή		Καλοκαιρινή			Εαρινή & Φθινοπωρινή				
Κλίση β(°)	31		58		11			35				
Μήνας	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Κλίση β(°)	59	50	39	25	13	6	9	20	36	48	56	61

Πίνακας 6.2: Τιμές βέλτιστης γωνίας κλίσης β των Φ/Β για την περιοχή της Αθήνας

3. Ο τρόπος έδρασης παρότι σαν κριτήριο είναι αρκετά σημαντικό, λόγω του ότι όλες οι βάσεις κάλυπταν τις απαιτήσεις του προβλήματος μας, δεν έχει διαφοροποιήσεις στην βαθμολογία του. Μοναδική εξαίρεση ήταν μία εταιρία, η οποία πήρε μεγαλύτερη βαθμολογία από τις υπόλοιπες λόγω του ότι μας παρείχε δύο επιπλέον τρόπους στήριξης που συμβαδίζουν με τις περιοριστικές παραμέτρους του προβλήματος.

4. Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των βάσεων στήριξης Φ/Β είναι η στατική επάρκεια που δίνει ο εκάστοτε κατασκευαστής. Είναι δηλαδή, τα πρότυπα σύμφωνα με τα οποία έχει κατασκευαστεί η βάση και οι προδιαγραφές που πληροί. Τα πρότυπα αυτά είναι οι Ευρωκώδικες και ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός. Οι Ευρωκώδικες είναι μια σειρά δέκα Ευρωπαϊκών Προτύπων (EN) για το σχεδιασμό των κατασκευών, που αναπτύχθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN). Παρέχουν ένα κοινό για όλη την Ε.Ε. σύνολο μεθόδων για τον υπολογισμό της μηχανικής αντοχής των κατασκευαστικών έργων και των στοιχείων τους.

Συγκεκριμένα τα πρότυπα και η γενική περιγραφή τους είναι:

- ❖ EN 1990: Ευρωκώδικας 0 – Βάσεις σχεδιασμού φερουσών κατασκευών.
- ❖ EN 1991: Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις στις Φέρουσες Κατασκευές.

- ❖ EN 1992: Ευρωκώδικας 2 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από σκυρόδεμα.
- ❖ EN 1993: Ευρωκώδικας 3 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από χάλυβα.
- ❖ EN 1994: Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων φερουσών κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα.
- ❖ EN 1995: Ευρωκώδικας 5 – Σχεδιασμός ξύλινων φερουσών κατασκευών.
- ❖ EN 1996: Ευρωκώδικας 6 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από τοιχοποιία.
- ❖ EN 1997: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός σχεδιασμός.
- ❖ EN 1998: Ευρωκώδικας 8 – Αντισεισμικός σχεδιασμός φερουσών κατασκευών.
- ❖ EN 1999: Ευρωκώδικας 9 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο

Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ή ΕΑΚ είναι το Ελληνικό πρότυπο με το οποίο πρέπει να συμφωνεί μία κατασκευή για να μπορεί να πάρει έγκριση από το κράτος ότι είναι αντισεισμικά ανθεκτική. Είναι με άλλα λόγια ο αντίστοιχος Ευρωκώδικας 8 και πάντοτε ακολουθείται από το έτος αναθεώρησης του κανονισμού π.χ. ΕΑΚ 2000 ή ΕΑΚ 2003.

Στη σύγκριση που πραγματοποιήθηκε, βαθμολογήσαμε την κάθε εταιρία σύμφωνα με το πόσα πρότυπα ακολουθούν οι βάσεις της. Οι ελάχιστοι κανονισμοί με τους οποίους χρειάζεται να συμμορφώνεται κάθε λύση είναι οι εξής: Ευρωκώδικες 0 & 1, Ευρωκώδικας 8 ή ΕΑΚ για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και Ευρωκώδικας 3 ή 9 αναλόγως το υλικό κατασκευής της βάσης. Θετικό στοιχείο βαθμολογίας θεωρείται ο Ευρωκώδικας 2, ο οποίος αναφέρεται στις κατασκευές από σκυρόδεμα, μιας και ο τρόπος έδρασης της βάσης που τελικά θα επιλέξουμε είναι με πέλματα σκυροδέματος.

5. Τελευταίο κριτήριο που λήφθηκε υπόψη στη σύγκριση είναι η πιστοποίηση αντιδιαβρωτικής προστασίας που έχει η κάθε βάση. Στη βαθμολογία που δώσαμε, τον μεγαλύτερο βαθμό τον πήραν οι εταιρίες που είχαν κάποιο πιστοποιητικό ευρωπαϊκώς αναγνωρισμένο. Στη συνέχεια ακολούθησαν οι εταιρίες που μας έδιναν δική τους εγγύηση κατά της διάβρωσης του υλικού τους. Επόμενη σε βαθμολογία έρχεται η εταιρία που αναφέρει απλά τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αντιμετωπίσει την διάβρωση χωρίς όμως να δίνει κάποια πιστοποίηση για το αποτέλεσμα. Τέλος οι εταιρίες που δεν έχουν αντιδιαβρωτική προστασία, ούτε αναφέρουν την ύπαρξη πιστοποιητικών που παρέχουν αξιολογήθηκαν με τη χαμηλότερη βαθμολογία.

Επιφάνεια κατασκευής βάσεων	Ονομασία Βάσης	Δυνατότητα διαφοροποίησης κλίσης	Υλικό κατασκευής	Βαθμολογία 1-5	Επιλογές διαφοροποίησης κλίσης	Εύρος κλίσης (πλήθος θέσεων)	Βαθμολογία 1-5	Τρόπος έδρασης	Βαθμολογία 1-5	Στατική Επάρκεια	Βαθμολογία 1-5	Αντιδιαβρωτική προστασία	Βαθμολογία 1-5
Alfa Energy	A1803	Χειροκίνητη	Ειδικό κράμα αλουμινίου (EN AW 6005-T5)	5	16-50°	34° (-)	5	Πέλμα σκυροδέματος/ Πασσαλόμηξη	3	Ευροκώδικας 1,9 EAK 2000	3	Ανοδίωση ή ηλεκτροστατική βαφή	3
DNA	Τύπος Γ	Χειροκίνητη	Ανοδιωμένο κράμα αλουμινίου εξαιρετικής αντοχής (EN AW 6060-T5)	3	15-35°	20° (-)	3	Τοιμενάνιο πέδιλο και χαλύβιδινες φλάντζες	3	Ευροκώδικας 1,3,8,9 EAK	4	-	1
Europa	Sun 350	Χειροκίνητη	Κράμα αλουμινίου (EN AW 6060-T6)	4	15-30° ανά 5°	15° (4)	2	Πέλμα σκυροδέματος/ Μηχανικά Λγκύρια	3	Ευροκώδικας 1,3,9 EAK 2003	4	QUALICOAT	5
Rama	Ρυθμιζόμενο Σύστημα Στήριξης Αγρού - 12 Panel	Χειροκίνητη	Χάλυβας S235 / Χάλυβας S420	1	15-40° ανά 5°	25° (6)	3	Πέλμα σκυροδέματος/ Πασσαλόμηξη/ Γεώβιδα	3	DIN 1055 Ευροκώδικας 1, 3	3	ISO 14713 ISO 1461	5
Schletter	VarioTop	Χειροκίνητη	Αλουμίνιο / Υψηλής ποιότητας χάλυβας 1.4301	2	10-60° ανά 10°	50° (6)	4	Πέλμα σκυροδέματος / Solar Rack / Solar Cube	5	DIN 1055 Ευροκώδικας 1	2	-	1
Solarbase	Κωδ. 311	Χειροκίνητη	Αλουμίνιο (EN AW 6063-T66) /Υψηλής ποιότητας χάλυβας	5	20-30° ανά 5°	10° (3)	1	Πέλμα σκυροδέματος/ Μηχανικά Λγκύρια	3	Ευροκώδικας 1,3,9 & EAK 2000	4	http://www.solarbase.gr/site/pdf/sb_warranty.pdf	4
Σταυρίδης	Σταθερή Βάση Με Ρυθμιζόμενη Κλίση (Χειροκίνητος Μηχανισμός)	Χειροκίνητη	Χάλυβας S355 / Χάλυβας S275	1	0-40° ανά 5°	40° (9)	5	Πέλμα σκυροδέματος C20/25	3	Ευροκώδικας 0,1,2,3,7,8	5	Από τους ίδιους	4

Υπόμνημα πίνακα 6.3	Βαθμολογία κάτω της βάσης	Βαθμολογία στη βάση	Βαθμολογία άνω της βάσης
---------------------	---------------------------	---------------------	--------------------------

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα σύγκρισης βάσεων Φ/Β

7. Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Έχοντας ολοκληρώσει το στάδιο της σύγκρισης των τεχνολογιών, είμαστε σε θέση να σχολιάσουμε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3 και να ασχοληθούμε με τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η συνολική βαθμολογία της κάθε βάσης προήλθε από το άθροισμα των γινομένων της βαθμολογίας επί του συντελεστή βαρύτητας κάθε κριτηρίου δια το πλήθος των κριτηρίων. Γίνεται, επομένως, αντιληπτό ότι μεταβάλλοντας το συντελεστή βαρύτητας θα πάρουμε και διαφορετικά αποτελέσματα στην σειρά κατάταξης των βάσεων.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ίδιος συντελεστής βαρύτητας για όλα τα κριτήρια, δηλαδή 20%, με σκοπό την εύρεση της σειράς κατάταξης των βάσεων, η οποία μένει ανεπηρέαστη από τη σημαντικότητα των κριτηρίων σύγκρισης. Επειδή όμως, για κάθε περίπτωση εγκατάστασης δεν είναι όλα τα κριτήρια σύγκρισης το ίδιο σημαντικά, ορίσαμε για κάθε κριτήριο ένα πεδίο τιμών που μπορεί να λάβει ο συντελεστής βαρύτητας και που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1. Οι διαφορές στα πεδία τιμών ορίζονται βάση του κατά πόσο σημαντικό αξιολογήθηκε κάθε κριτήριο σε μία εγκατάσταση.

Όπως παρατηρείται και στον παρακάτω πίνακα ως σημαντικότερο κριτήριο προκύπτει η διαφοροποίηση της κλίσης των βάσεων καθώς συνδέεται άμεσα με την ενεργειακή απόδοση ολόκληρης της εγκατάστασης. Το αμέσως επόμενο κριτήριο, είναι το υλικό κατασκευής των βάσεων αφού καθορίζει την ανθεκτικότητα αλλά και το βάρος της κατασκευής. Τέλος, τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν μικρότερο πεδίο και εύρος τιμών μιας και είτε επηρεάζονται μερικώς από τα δύο κύρια κριτήρια, είτε θεωρούνται μικρότερης προτεραιότητας.

Κριτήριο	Υλικό κατασκευής	Επιλογές διαφοροποίησης κλίσης	Τρόπος έδρασης	Στατική επάρκεια	Αντιδιαβρωτική προστασία
Συντελεστής βαρύτητας	15-35%	20-40%	10-25%	10-25%	10-25%

Πίνακας 7.1: Πεδίο τιμών του συντελεστή βαρύτητας των κριτηρίων

Βασιζόμενοι στα παραπάνω πεδία τιμών, δημιουργήσαμε τον πίνακα 7.2 που περιέχει την συνολική βαθμολογία κάθε βάσης, εκφρασμένη σε επί τις εκατό ποσοστό, για διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας κάθε κριτηρίου. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του πίνακα 7.2 ήταν η εξής:

- Επιλογή του κριτηρίου, του οποίου ο συντελεστής βαρύτητας θα μεταβάλλεται.
- Διαφοροποίηση του συντελεστή βαρύτητας κατά 5% αρχίζοντας από τη χαμηλότερη τιμή του πεδίου μέχρι τη μέγιστη.
- Ίσος καταμερισμός του υπόλοιπου ποσοστού, μέχρι το 100%, στα υπόλοιπα κριτήρια.

Ο λόγος δημιουργίας του πίνακα 7.2 είναι για να συγκρίνουμε κατά πόσο αλλάζει η τελική βαθμολογία των βάσεων αναλόγως με το τι είναι σημαντικό στην εκάστοτε εγκατάσταση. Η σύγκριση γίνεται κάθε φορά μεταξύ μιας στήλης με την αντίστοιχη γκρι. Οι γκρι στήλες έχουν όλες τα ίδια αποτελέσματα και αντιπροσωπεύουν τη σειρά κατάταξης των βάσεων έχοντας σε όλα τα κριτήρια τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας, δηλαδή 20%. Οι έγχρωμες στήλες αντιπροσωπεύουν το μέγιστο ποσοστό του συντελεστή βαρύτητας κάθε κριτηρίου.

Συντελεστής Βαρύτητας Τεχνικών Κριτηρίων																							
Εταιρία	Βάση	Υλικό Κατασκευής					Διαφοροποίηση Κλίσης					Τρόπος Έδρασης				Στατική Επάρκεια				Αντιδιαβρωτική Προστασία			
		15%	20%	25%	30%	35%	20%	25%	30%	35%	40%	10%	15%	20%	25%	10%	15%	20%	25%	10%	15%	20%	25%
Alfa Energy	A1803	74,50%	76,00%	77,50%	79,00%	80,50%	76,00%	77,50%	79,00%	80,50%	82,00%	78,00%	77,00%	76,00%	75,00%	78,00%	77,00%	76,00%	75,00%	78,00%	77,00%	76,00%	75,00%
DNA	Τύπος Γ	55,75%	56,00%	56,25%	56,50%	56,75%	56,00%	56,25%	56,50%	56,75%	57,00%	55,50%	55,75%	56,00%	56,25%	53,00%	54,50%	56,00%	57,50%	60,50%	58,25%	56,00%	53,75%
Europa	Sun 350	71,50%	72,00%	72,50%	73,00%	73,50%	72,00%	70,00%	68,00%	66,00%	64,00%	73,50%	72,75%	72,00%	71,25%	71,00%	71,50%	72,00%	72,50%	68,50%	70,25%	72,00%	73,75%
Rama	Ρυθμιζόμενο Σύστημα Στήριξης Αγρού - 12 Panel	62,50%	60,00%	57,50%	55,00%	52,50%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	55,00%	57,50%	60,00%	62,50%
Schletter	VarioTop	57,00%	56,00%	55,00%	54,00%	53,00%	56,00%	57,50%	59,00%	60,50%	62,00%	50,50%	53,25%	56,00%	58,75%	58,00%	57,00%	56,00%	55,00%	60,50%	58,25%	56,00%	53,75%
Solarbase	Κωδ. 311	66,00%	68,00%	70,00%	72,00%	74,00%	68,00%	65,00%	62,00%	59,00%	56,00%	69,00%	68,50%	68,00%	67,50%	66,50%	67,25%	68,00%	68,75%	66,50%	67,25%	68,00%	68,75%
Σταυρίδης	Σταθερή Βάση Με Ρυθμιζόμενη Κλίση	75,25%	72,00%	68,75%	65,50%	62,25%	72,00%	73,75%	75,50%	77,25%	79,00%	73,50%	72,75%	72,00%	71,25%	68,50%	70,25%	72,00%	73,75%	71,00%	71,50%	72,00%	72,50%

Πίνακας 7.2: Συνολική βαθμολογία βάσεων για διάφορους συντελεστές βαρύτητας

Έχοντας παρατηρήσει τον πίνακα 7.2 είμαστε σε θέση να σχολιάσουμε τα αποτελέσματα των βάσεων για κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Στη συνέχεια αναλύεται η σειρά κατάταξης των βάσεων του κοινού συντελεστή βαρύτητας (20%) και συγκρίνεται με τις αντίστοιχες των μέγιστων συντελεστών βαρύτητας κάθε κριτηρίου.

Αναλυτικότερα, η σειρά κατάταξης των βάσεων για τον κοινό συντελεστή βαρύτητας διαμορφώνεται ως εξής για τις τρεις βέλτιστες λύσεις:

1. Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy με ποσοστό 76%.
2. Η βάση Sun 350 από την εταιρία Euroρα καθώς και η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη ισοβαθούν με ποσοστό 72%.
3. Η βάση με Κωδικό 311 της εταιρίας Solarbase με ποσοστό 68%.

Εν συνεχεία όσο αφορά τους μέγιστους συντελεστές βαρύτητας σε κάθε κριτήριο, η κατάταξη των βάσεων για τις τρεις βέλτιστες λύσεις διαμορφώνεται ως εξής:

- ◆ Για το κριτήριο Υλικό κατασκευής προκύπτει:
 1. Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy με ποσοστό 80,50%.
 2. Η βάση με Κωδικό 311 της εταιρίας Solarbase με ποσοστό 74%.
 3. Η βάση Sun 350 από την εταιρία Euroρα με ποσοστό 73,50%.
- ◆ Για το κριτήριο Διαφοροποίηση κλίσης προκύπτει:
 1. Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy με ποσοστό 82%.
 2. Η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη με ποσοστό 79%.
 3. Η βάση Sun 350 από την εταιρία Euroρα με ποσοστό 64%.
- ◆ Για το κριτήριο Τρόπος έδρασης προκύπτει:
 1. Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy με ποσοστό 75%.
 2. Η βάση Sun 350 από την εταιρία Euroρα καθώς και η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη ισοβαθούν με ποσοστό 71,25%.
 3. Η βάση με Κωδικό 311 της εταιρίας Solarbase με ποσοστό 67,50%.
- ◆ Για το κριτήριο Στατική επάρκεια προκύπτει:
 1. Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy με ποσοστό 75%.
 2. Η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη με ποσοστό 73,75%.
 3. Η βάση Sun 350 από την εταιρία Euroρα με ποσοστό 72,50%.
- ◆ Για το κριτήριο Αντιδιαβρωτική προστασία προκύπτει:
 1. Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy με ποσοστό 75%.
 2. Η βάση Sun 350 από την εταιρία Euroρα με ποσοστό 73,75%.
 3. Η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη με ποσοστό 72,50%.

Συγκρίνοντας λοιπόν, τη σειρά κατάταξης των βάσεων, όπως προκύπτει παραπάνω, του συντελεστή βαρύτητας 20% με την αντίστοιχη για το μέγιστο συντελεστή κάθε κριτηρίου συμπεραίνουμε τα ακόλουθα:

- Η βάση A1803 από την εταιρία Alfa Energy εμφανίζεται πρώτη εκτός από τον κοινό συντελεστή βαρύτητας και σε όλους τους μέγιστους συντελεστές βαρύτητας κάθε κριτηρίου.
- Η βάση Sun 350 από την εταιρία Europa στον κοινό συντελεστή βαρύτητας εμφανίζεται δεύτερη σε κατάταξη όπως επίσης και στους μέγιστους συντελεστές των κριτηρίων Τρόπος έδρασης και Αντιδιαβρωτική προστασία. Στα υπόλοιπα τρία κριτήρια καταλαμβάνει την τρίτη θέση της κατάταξης.
- Η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη στον κοινό συντελεστή βαρύτητας ισοβαθμεί στη δεύτερη θέση της κατάταξης. Επίσης, στη δεύτερη θέση βρίσκεται στα κριτήρια Διαφοροποίηση κλίσης, Τρόπος έδρασης και Στατική επάρκεια. Την τρίτη θέση καταλαμβάνει στην Αντιδιαβρωτική προστασία ενώ στο κριτήριο Υλικό κατασκευής δεν εμφανίζεται στις τρεις βέλτιστες λύσεις.
- Η βάση με Κωδικό 311 της εταιρίας Solarbase εμφανίζεται τρίτη στον κοινό συντελεστή βαρύτητας καθώς επίσης και στο κριτήριο Τρόπος έδρασης. Τη δεύτερη θέση καταλαμβάνει στο Υλικό κατασκευής ενώ στα υπόλοιπα τρία κριτήρια δεν εμφανίζεται στις τρεις πρώτες θέσεις.

Συνεπώς βάσει των παραπάνω διαπιστώσεων καταλήγουμε στο γεγονός ότι ανεξάρτητα της τιμής του συντελεστή βαρύτητας, η βάση A1803 της εταιρίας Alfa Energy είναι η βέλτιστη λύση σε όλα τα κριτήρια σύγκρισης. Δεύτερη ακολουθεί η εταιρία Europa με τη βάση Sun 350 και τρίτη η Σταθερή βάση με ρυθμιζόμενη κλίση από την εταιρία Σταυρίδη. Τέλος, στην τέταρτη θέση βρίσκεται η εταιρία Solarbase και η βάση με κωδικό 311.

8. Προτάσεις – Επαλήθευση

Έχοντας εξαγάγει, στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα συμπεράσματα για το προς επίλυση πρόβλημα, θεωρήσαμε αναγκαία την πρόταση μιας προσωπικής βέλτιστης λύσης για τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων, η οποία βασίζεται στην προσωπική μας εκτίμηση για τις τιμές που πρέπει να λάβουν. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε ο πίνακας 8.1 ο οποίος παρουσιάζει την τιμή του συντελεστή βαρύτητας για κάθε κριτήριο όπως αυτή διαμορφώθηκε.

Προσωπική Βέλτιστη Λύση Συντελεστών Βαρύτητας						
Εταιρία	Βάση	Υλικό Κατασκευής	Διαφοροποίηση Κλίσης	Τρόπος Έδρασης	Στατική Επάρκεια	Αντιδιαβρωτική Προστασία
		25%	35%	10%	20%	10%
Alfa Energy	A1803	84%				
Σταυρίδης	Σταθερή Βάση Με Ρυθμιζόμενη Κλίση	74%				
Europa	Sun 350	66%				
Solarbase	Κωδ. 311	62%				
DNA	Τύπος Γ	60%				
Schletter	VarioTop	58%				
Rama	Ρυθμιζόμενο Σύστημα Στήριξης Αγρού - 12 Panel	54%				

Πίνακας 8.1: Προσωπική βέλτιστη λύση του προβλήματος

Όπως προκύπτει, η κατάταξη των βάσεων του παραπάνω πίνακα, ακολουθεί την εξής σειρά: πρώτη έρχεται η εταιρία Alfa Energy με τη βάση A1803, επαληθεύοντας διπλά με τον τρόπο αυτό το συμπέρασμα, στο οποίο καταλήξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ότι αποτελεί δηλαδή τη βέλτιστη λύση. Στη συνέχεια όμως, παρατηρείται διαφοροποίηση στην κατάταξη σε σχέση με αυτή που προέκυψε από την ανάλυση του πίνακα 7.2. Οι εταιρίες της δεύτερης και της τρίτης θέσης ανταλλάσσουν θέσεις μεταξύ τους καθιστώντας την εταιρία Σταυρίδης δεύτερη και την εταιρία Europa τρίτη. Η παραπάνω κατάταξη οφείλεται αρχικά στο γεγονός ότι ως σημαντικότερο κριτήριο με ποσοστό 35% έχει οριστεί η Διαφοροποίηση κλίσης στο οποίο η εταιρία Σταυρίδη παρουσιάζει πολύ καλή βαθμολογία σε αντίθεση με την εταιρία Europa που φέρει πολύ χαμηλή βαθμολογία. Επιπλέον, όσο αφορά το κριτήριο της Στατικής επάρκειας, παρότι οι δύο εταιρίες παρουσιάζουν ελάχιστη διαφορά μεταξύ τους στην βαθμολογία, το ότι ο συντελεστής βαρύτητας φέρει το σημαντικό ποσοστό της τάξης του 20%, αυξάνει την διαφορά τους και καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα.

Βιβλιογραφία

Έντυπη Βιβλιογραφία

- Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2004.
- Κ. Καγκαράκης, «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1992.
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Σεμινάριο «Φωτοβολταϊκές Εφαρμογές», Βιβλιοθήκη Τ.Ε.Ε., Αθήνα, Ιούνιος 1994.
- Α. Γαγλία, Α. Αργυρίου, Σ. Λυκούδης, Κ.Α. Μπαλαράς, «Απόδοση Πειραματικής Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης - Βέλτιστης Κλίση Φωτοβολταϊκών και Ωφέλιμη Ηλιακή Ενέργεια στις Ελληνικές Περιοχές», 8ο Συνέδριο για τις ΑΠΕ, ΙΗΤ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαρτίου 2006.
- E. Calabrò, "An Algorithm to Determine the Optimum Tilt Angle of a Solar Panel from Global Horizontal Solar Radiation", Journal of Renewable Energy, 2013.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- Aalco (Προμηθευτής μετάλλων), Ηνωμένο Βασίλειο,
 1. http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6005~6005A-T5_157.ashx
 2. http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6060-T5~T595_144.ashx
 3. http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel_1.4301-304_34.ashx
- Alfa Energy (Συστήματα αλουμινίου), Ελλάδα, <http://www.alfa-press.gr/el/>
- Alpha Solar (Μεταλλικές κατασκευές), Ελλάδα, <http://www.alpha-solar.gr/index.php?lang=gr>
- ALTEN (Εταιρεία εκμετάλλευσης ενέργειας), Ελλάδα, http://www.alten.gr/fotovoltaiika_systimata_history.html
- Alumil Solar (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Ελλάδα, <http://www.alumilsolar.com/page/>
- Aluminco (Συστήματα αλουμινίου), Ελλάδα, http://www.aluminco.com/Aluminium_Systems_gr.aspx
- Aray Solar (Εταιρία φωτοβολταϊκών), Τσεχία, <http://www.araysolar.com/references/ground-2/>

- ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ (Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια), Ελλάδα,
 1. http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκό_σύστημα
 2. http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκό_φαινόμενο
 3. <http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά>
 4. <http://el.wikipedia.org/wiki/Ευρωκώδικας>
- Deger (Εταιρία κατασκευής ηλιοστατικών συστημάτων), Γερμανία,
<http://www.degerenergie.de/en/>
- DNA (Τεχνολογία περιβάλλοντος, ενέργειας και τηλεπικοινωνιών), Ελλάδα,
<http://www.dnasmart.gr/>
- Econ3 (Ηλεκτρονικό περιοδικό για την οικονομία, την οικολογία και την κατασκευή)
http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=14231338554261
- Econews (Portal περιβαλλοντολογικού ενδιαφέροντος), Ελλάδα,
<http://www.econews.gr/2012/12/10/fotovoltaika-advartia-videofield/>
- ELECNET Solar (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Ελλάδα,
<http://www.elecnetsolar.gr/xrisima/tehnika/tehnica-fotovoltaika-susthmata/>
- Energia (Δικτυακή πύλη για θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος), Ελλάδα,
http://www.energia.gr/article.asp?art_id=32622
- Erdgas e&c (Τεχνική και εμπορική εταιρία στο χώρο της ενέργειας), Ελλάδα,
<http://www.erdgas.gr/fotovoltaika-systimata.html>
- Europa (Συστήματα αλουμινίου), Ελλάδα,
<http://www.profil.gr/>
- European Steel and Alloy Grades (Ηλεκτρονική βάση δεδομένων τεχνικών χαρακτηριστικών των μετάλλων), National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Ουκρανία,
 1. http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1136
 2. http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1149
- Exalco (Συστήματα αλουμινίου), Ελλάδα,
<http://www.exalco.gr/>
- GREEN SYSTEM (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Ελλάδα,
 1. <http://www.fotovoltaika-systems.gr/fotovoltaika-systhma.html>
 2. <http://www.fotovoltaika-systems.gr/fotovoltaika-pleonektimata.html>
- HELAPCO (Hellenic Association of Photovoltaic Companies), Ελλάδα,
<http://helapco.gr/category/tehnologia-fwtovoltaiawn/>

- HELIOSYSTEMS (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Ελλάδα,
 1. <http://www.selasenergy.gr/history.php>
 2. <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>
 3. <http://www.selasenergy.gr/solar-calculator-center.php>
- Hilti (Εμπορική εταιρία στο χώρο των κατασκευών), Liechtenstein,
<http://www.hilti.gr/holgr/>
- Hydro (Παραγωγός Αλουμινίου), Νορβηγία,
<http://www.hydro.com/upload/Subsites/Extrusion%20Deutschland/Technisches%20Datenblatt.pdf>
- K2 systems (Συστήματα στήριξης ηλιακής τεχνολογίας), Ηνωμένο Βασίλειο,
<http://www.k2-systems.uk.com/home.html>
- ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας), Ελλάδα,
 1. http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
 2. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm
- Light Age (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας), Ελλάδα,
<http://www.lightage.gr/content.php?webpageid=9>
- Meca Solar (Εταιρία κατασκευής ηλιοστατικών συστημάτων), Ισπανία,
http://www.mecasolar.com/_bin/index.php
- Mechatron (Εταιρία κατασκευής ηλιοστατικών συστημάτων), Ελλάδα,
<http://www.mechatron.eu/index.php/el/>
- Metaloumin (Συστήματα αλουμινίου), Ελλάδα,
<http://www.metaloumin.gr/index.html>
- Nedal Aluminium (Συστήματα Αλουμινίου), Ολλανδία,
 1. http://www.nedalextrusion.com/files/2013/0678/5546/Data_6005A.pdf
 2. http://www.nedalextrusion.com/files/4013/0678/5548/Data_6060.pdf
- MACS Lab (Εργαστήριο Αναλύσεων), Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής,
<http://www.macslab.com/optosolar.html>
- ΠΡΑΣΙΝΟ ΣΠΙΤΙ & ΚΤΗΡΙΟ (Ηλεκτρονικό περιοδικό), Ελλάδα,
http://www.4green.gr/data/news/preview_news/88687.asp
- Rama (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Ελλάδα,
<http://www.rama.gr>
- Renesola (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Κίνα,
<http://www.renesola.com/>
- Schletter GmbH (Μεταλλικές κατασκευές), Γερμανία,
<http://www.schletter.de/GR/archikn.html>

- Schuco (Ηλιακά συστήματα και κουφώματα), Γερμανία,
<http://www.schueco.com/>
- Solar Systems (Προϊόντα ΑΠΕ), Ελλάδα
 1. http://www.solar-systems.gr/product_2.htm
 2. http://www.solar-systems.gr/product_4.htm
- SOLAR VALUE (Φωτοβολταϊκά έργα), Ελλάδα,
<http://www.solarvalue.gr/web/el/xanthi-giona-3.2mw.html>
- Solarbase (Συστήματα αλουμινίου), Ελλάδα,
<http://www.solarbase.gr/site/>
- Solarcube (Φωτοβολταϊκά συστήματα), Γερμανία,
<http://www.solarcube.com/>
- Σταυρίδης (Μεταλλικές κατασκευές), Ελλάδα,
<http://www.clamps.gr/>
- Tata Steel (Παραγωγός μετάλλων), Ολλανδία,
http://www.tatasteurope.com/file_source/StaticFiles/Business%20Units/CC&I/Products/Sections/Steel%20standard%20EN10025-04.pdf