



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

## «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ»

Φώτης Μαυροματάκης

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΦΟΙΤΩΝ

### «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Το πρόγραμμα συνδιοργανώνεται από:

Το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Η ΠΡΑΞΗ ΥΛΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ (ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ – ΕΚΤ) ΚΑΙ ΑΠΟ ΕΘΝΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΕΣΠΑ 2007-2013

**Στοιχεία επικοινωνίας**

*Εισηγητής:* Φώτης Μαυροματάκης

*Εργαστήριο* Ενεργειακών και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

*Ίδρυμα:* Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Laboratory for Energy and Photovoltaic Systems (LEPS)

*Τηλ:* 2810379212

*Fax:* 2810379222

*Email:* fotis@staff.teicrete.gr

**Περιεχόμενα**

Κεφάλαιο 1. Συστήματα στήριξης .....2

    1.1 Κατηγορίες συστημάτων στήριξης .....2

    1.2 Ενεργειακή συμπεριφορά .....7

## Κεφάλαιο 1. Συστήματα στήριξης

### 1.1 Κατηγορίες συστημάτων στήριξης

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή ένα σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα κτίριο, σε ένα δώμα, σε ένα πρόβολο αλλά μπορεί να τοποθετηθεί και σε ένα ανοικτό χώρο (γήπεδο). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η στήριξη σχετίζεται με σταθερό προσανατολισμό (αζιμούθιο) και κλίση. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιδιώκεται αύξηση της ενεργειακής παραγωγής και αυτό συνεπάγεται κατασκευή που έχει τη δυνατότητα κίνησης.

Γενικά τα συστήματα στήριξης διακρίνονται σε

- Σταθερής κλίσης
- Εποχικής Ρύθμισης
- Ενός άξονα (κατακόρυφου, κεκλιμένου)
- Δύο αξόνων

Στα συστήματα σταθερής στήριξης τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται με συγκεκριμένο προσανατολισμό και επιλεγμένη κλίση που γενικά δεν μπορούν να μεταβληθούν. Οι βάσεις είναι μεταλλικές χωρίς να αποκλείονται και πλαστικές για ιδιαίτερες περιπτώσεις. Η Εικ. 1 δείχνει ένα σύστημα σταθερής στήριξης σε δώμα όπου έχει αποφευχθεί η τρώση της μόνωσης.



Εικ. 1. Σύστημα σταθερής στήριξης με μεταλλική κατασκευή.

Σε αυτά τα συστήματα συνήθως η γωνία πρόσπτωσης κατά την ανατολή ή τη δύση μπορεί να ξεπερνά τις ενενήντα μοίρες και ελαχιστοποιείται κατά τη διάρκεια του ηλιακού μεσημεριού. Τα κινούμενα συστήματα έχουν ως κύριο στόχο τη μείωση της γωνίας πρόσπτωσης και κατά συνέπεια την αύξηση της εισερχόμενης πυκνότητας ισχύος.

Στα συστήματα εποχικής ρύθμισης τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται με συγκεκριμένο προσανατολισμό και επιλεγμένη κλίση όπου όμως δίνεται η δυνατότητα μεταβολής της μέσα στο έτος. Η μεταβολή (αλλαγή κλίσης) πραγματοποιείται δύο φορές, συνήθως στις ισημερίες. Έτσι κατά τη χειμερινή περίοδο η κλίση είναι αυξημένη (21/09-21/03) ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο (21/03-21/09) η κλίση είναι μικρότερη για να μειωθεί η γωνία πρόσπτωσης όταν το ύψος του ήλιου παίρνει μεγάλες τιμές ώστε να αυξηθεί η ενεργειακή απολαβή και κατά συνέπεια και η ενεργειακή παραγωγή. Η Εικ. 2 δείχνει ένα σύστημα εποχικής ρύθμισης της κλίσης του Εργαστηρίου Ενεργειακών και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.



Εικ. 2: Σύστημα εποχικής ρύθμισης της κλίσης στο Τ.Ε.Ι. Κρήτης (LEPS)

Γενικά, τα συστήματα που έχουν τη δυνατότητα κίνησης χρησιμοποιούν αλγόριθμους υπολογισμού της γωνιακής θέσης του ήλιου με υψηλή ακρίβεια. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της γωνίας πρόσπτωσης ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Υπενθυμίζεται ότι η εισερχόμενη πυκνότητα ισχύος που δέχεται το σύστημα είναι κατά κύριο λόγο ανάλογη του συνημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης. Στα συστήματα ενός άξονα η κατασκευή που φέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από ένα άξονα. Ο άξονας περιστροφής μπορεί να είναι κατακόρυφος (αζιμουθιακό σύστημα), οριζόντιος με ή χωρίς κλίση ενώ



ο προσανατολισμός του άξονα μπορεί να είναι στη διεύθυνση Βορά-Νότου ή Ανατολής-Δύσης. Σε ένα αζιμουθιακό σύστημα η κλίση παραμένει σταθερή ενώ το αζιμούθιο του συστήματος είναι τυπικά ίσο με το αζιμούθιο του ήλιου. Στην πράξη η αζιμουθιακή κίνηση πραγματοποιείται ανά χρονικά διαστήματα μερικών λεπτών που καθορίζονται από τον κατασκευαστή (π.χ. 15 λεπτά). Σε αυτά τα συστήματα ο πολικός ιχνηλάτης ή πολικό ηλιοτρόπιο είναι ένα σύστημα ενός άξονα προσανατολισμένου στη διεύθυνση Βορά-Νότου με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Η γεωμετρία αυτή έχει ως αποτέλεσμα ο ήλιος να είναι ακριβώς κάθετος (γωνία πρόσπτωσης ίση με το μηδέν) δύο φορές το χρόνο, κατά το ηλιακό μεσημέρι στις ισημερίες. Η Εικ. 3 δείχνει ένα τροποποιημένο σύστημα πολικού ιχνηλάτη του Εργαστηρίου Ενεργειακών και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων (LEPS) που έχει ως σκοπό τη μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του υπό κλίσεις διαφορετικές από αυτή του γεωγραφικού πλάτους.



Εικ. 3: Τροποποιημένος πολικός ιχνηλάτης του Εργαστηρίου Ενεργειακών και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων (LEPS)

Τα συστήματα δύο αξόνων παρέχουν τυπικά τη δυνατότητα συνεχούς κίνησης με αποτέλεσμα οι ηλιακές ακτίνες να είναι συνεχώς κάθετες στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων (νόμος του Lambert). Έτσι η γωνία πρόσπτωσης είναι μηδέν (μοίρες) και το συνημίτονο της γίνεται μονάδα. Τα συστήματα αυτά δίνουν τη μέγιστη δυνατή ενεργειακή απολαβή. Ο ένας άξονας κίνησης καλύπτει την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου ενώ ο δεύτερος άξονας καλύπτει την κίνηση του καθ' ύψος. Βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων κίνησης είναι η αυξημένη παραγωγή ενέργειας σε σχέση με ένα

σύστημα σταθερής στήριξης ενώ στα μειονεκτήματα τους συγκαταλέγονται το αυξημένο κόστος, η συντήρηση και η πιθανή αντικατάσταση εξοπλισμού. Επίσης, η συνολική κατασκευή πρέπει να είναι ιδιαίτερα ανθεκτική σε ισχυρούς ανέμους λόγω της μεγάλης επιφάνειας που προσφέρουν. Σε αρκετές περιπτώσεις προτιμούνται συστήματα ενός άξονα λόγω της απλούστερης κατασκευής όπου συνήθως η κλίση ρυθμίζεται χειροκίνητα.

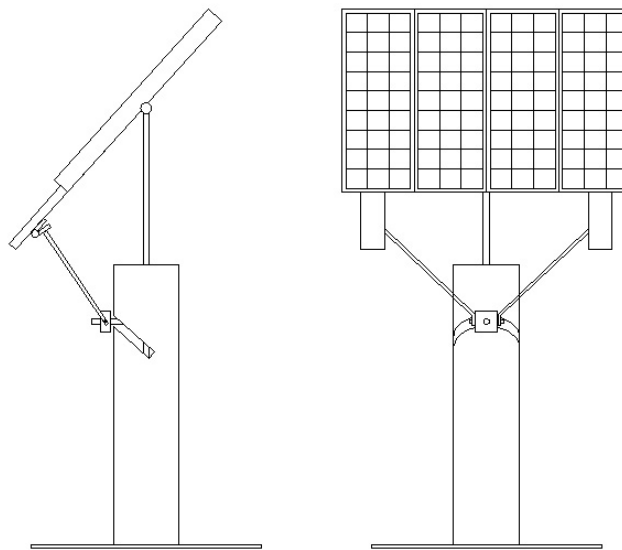


Εικ. 4: Εμπορικός ιχνηλάτης δύο αξόνων με σύστημα ελέγχου και αντικεραυνική προστασία.

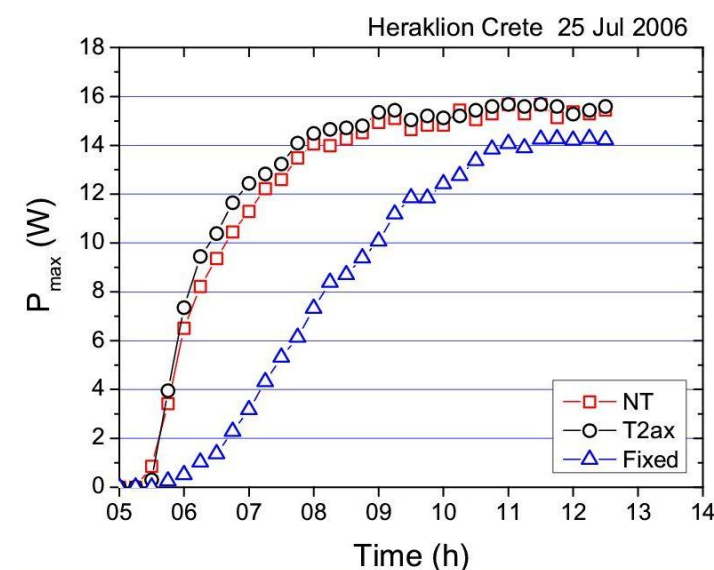
Πλέον των συστημάτων που χρησιμοποιούν αλγόριθμο για την παρακολούθηση του ήλιου, υπάρχουν και παθητικά συστήματα που λειτουργούν ικανοποιητικά κατά τη διάρκεια ηλιοφανών ημερών και εγκαθίστανται σε μικρής ισχύος συστήματα. Η τοποθέτηση δύο κυλίνδρων με ρευστό στις δύο πλευρές του ΦΒ συστήματος οδηγεί σε διαφορετική θέρμανση τους όταν δεν είναι ευθυγραμμισμένο με τον ήλιο. Η διαφορά πίεσης οδηγεί το σύστημα να προσανατολίζεται σε τέτοια θέση ώστε οι ηλιακές ακτίνες να προσπίπτουν κάθετα στα ΦΒ πλαίσια. Είναι σαφές ότι σε τέτοιες περιπτώσεις το κέντρο βάρους της κατασκευής πρέπει να είναι καλά υπολογισμένο ώστε οι ροπές να οφείλονται μόνο στη διαφορά μεταξύ των δύο κυλίνδρων.

Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου ο ομότιμος Καθηγητής του ΤΕΙ Κρήτης Ι. Φραγκιαδάκης ανέπτυξε ένα καινοτόμο ηλιοτρόπιο με ένα άξονα, του οποίου η ενεργειακή συμπεριφορά είναι πολύ καλή σε σχέση με ένα ηλιοτρόπιο δύο αξόνων. Το καινοτομικό χαρακτηριστικό του είναι η δυνατότητά του να κινηθεί σε δύο διευθύνσεις παρά το γεγονός ότι

χρησιμοποιεί ένα μόνο κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό της αζιμουθιακής κίνησης με κίνηση του κοινού σημείου των βραχιόνων, που συγκρατούν το συλλέκτη, κατά μήκος καμπύλου ανοίγματος-οδηγού στην επιφάνεια του εξωτερικού κυλίνδρου της διάταξης (Εικ. 5). Επιπλέον, αυτός ο τρόπος κατασκευής προσφέρει στη διάταξη ιδιαίτερη ανθεκτικότητα σε ισχυρούς ανέμους. Μετρήσεις έδειξαν ότι η ενεργειακή συμπεριφορά ενός ΦΒ συστήματος είναι εφάμιλλη ενός συστήματος που φέρει δύο ανεξάρτητους άξονες κίνησης (Εικ. 6). Τα στοιχεία του Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας από τον Οργανισμό Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας είναι 1005380/15-12-2006 και δίπλωμα τροποποίησης 1006107/2008.



Εικ. 5: Καινοτόμο ηλιοτρόπιο ενός άξονα



Εικ. 6: Μεγίστη ισχύς ΦΒ πλαισίου σε σχέση με πλαίσιο σταθερής κλίσης καθώς και με πλαίσιο τοποθετημένο σε σύστημα δύο αξόνων.

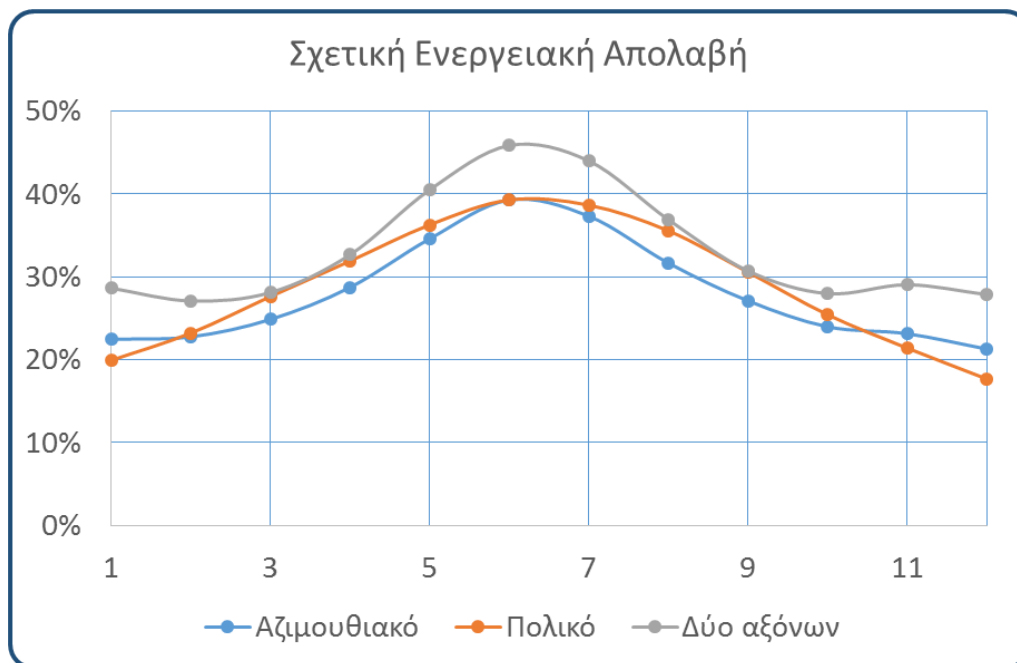


## 1.2 Ενεργειακή συμπεριφορά

Η αύξηση της ενεργειακής απολαβής συνεπάγεται και αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ένα ιχνηλάτη που φέρει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Ο πίνακας 1 δείχνει τη μέση ημερήσια μηνιαία ενεργειακή απολαβή σε kWh/m<sup>2</sup> από ένα σταθερό, αζιμουθιακό, πολικό και ένα σύστημα δύο αξόνων για μια περιοχή στο Ηράκλειο Κρήτης.

**Πίνακας 1**

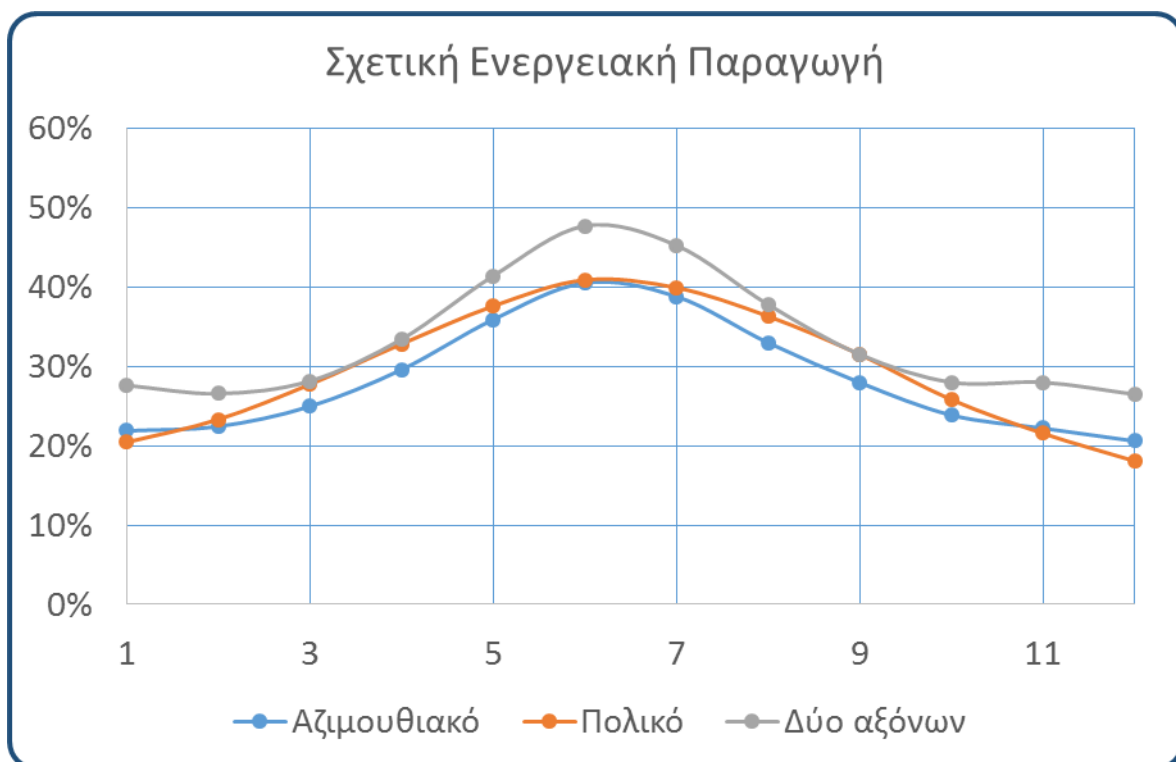
Μήνας	Ενεργειακή απολαβή			
	Σταθερό	Αζιμουθιακό	Πολικό	Δύο αξόνων
Ιανουάριος	3.56	4.36	4.27	4.58
Φεβρουάριος	4.39	5.39	5.41	5.58
Μάρτιος	6.15	7.68	7.85	7.88
Απρίλιος	6.61	8.51	8.72	8.77
Μάιος	7.11	9.57	9.69	9.99
Ιούνιος	7.61	10.60	10.60	11.10
Ιούλιος	7.50	10.30	10.40	10.80
Αύγουστος	7.45	9.81	10.10	10.20
Σεπτέμβριος	6.93	8.81	9.05	9.06
Οκτώβριος	5.50	6.82	6.90	7.04
Νοέμβριος	4.06	5.00	4.93	5.24
Δεκέμβριος	3.05	3.70	3.59	3.90



Η Εικ. 7 δείχνει τη σχετική μεταβολή στην ενεργειακή απολαβή σε συστήματα με κίνηση ενός ή δύο αξόνων. Οι διαφορές αυξάνονται κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη ενώ σημαντικά αυξημένη είναι και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ο πίνακας 2 δείχνει τη μέση ημερήσια μηνιαία ενεργειακή παραγωγή σε kWh από ένα σταθερό, αζιμουθιακό, πολικό και ένα σύστημα δύο αξόνων ονομαστικής ισχύος 1 kW για μια περιοχή στο Ηράκλειο Κρήτης.

Πίνακας 2	Ηλεκτρική παραγωγή (kWh)			
	Σταθερό	Αζιμουθιακό	Πολικό	Δύο αξόνων
Μήνας				
Ιανουάριος	2.79	3.40	3.36	3.56
Φεβρουάριος	3.39	4.15	4.18	4.29
Μάρτιος	4.69	5.86	5.99	6.01
Απρίλιος	4.97	6.44	6.60	6.63
Μάιος	5.27	7.16	7.25	7.45
Ιούνιος	5.58	7.84	7.86	8.24
Ιούλιος	5.44	7.55	7.61	7.90
Αύγουστος	5.40	7.18	7.36	7.44
Σεπτέμβριος	5.08	6.50	6.68	6.68
Οκτώβριος	4.11	5.09	5.17	5.26
Νοέμβριος	3.11	3.80	3.78	3.98
Δεκέμβριος	2.38	2.87	2.81	3.01



Η Εικ. 8 δείχνει τη σχετική μεταβολή στην ενεργειακή παραγωγή από συστήματα με κίνηση ενός ή δύο αξόνων. Οι διαφορές αυξάνονται κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη ενώ σημαντικά αυξημένη είναι και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.