

# ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΣΕΧΙΑ

V. Poulek<sup>1</sup>, M. Libra<sup>2</sup>, I. Γράβαλος<sup>3</sup>, Θ. Γιαλαμάς<sup>3</sup>, Δ. Μόσχου<sup>4</sup>,  
Π. Ξυραδάκης<sup>3</sup>, Δ. Κατέρης<sup>4</sup>, Ζ. Τσιρόπουλος<sup>3</sup>, Θ. Λέλλης<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Poulek Solar Ltd., Velvarska 9, 16000 Prague 6, Czech Republic

<sup>2</sup>Czech University of Life Sciences Prague, 16521 Prague 6, Czech Republic

<sup>3</sup>Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, ΤΕΙ Λάρισας, 41100 Λάρισα

<sup>4</sup>Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,  
Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη

[gravalos@teilar.gr](mailto:gravalos@teilar.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει τα αποτελέσματα από την αποτίμηση της παραγόμενης ενέργειας δύο διαφορετικών τύπων Φ/Β συστημάτων: (α) ενός άξονα με μηχανισμό παρακολούθησης του ήλιου και χρήση ανακλαστήρων και (β) σταθερής στήριξης, τα οποία εγκαταστάθηκαν σε Λάρισα (Ελλάδα) και Πράγα (Τσεχία). Η παραγόμενη ενέργεια των Φ/Β συστημάτων μετρήθηκε σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση κάτω από τις μεταβλητές κλιματολογικές συνθήκες των δύο περιοχών. Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας του συστήματος παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου που μετρήθηκε στην περιοχή της Πράγας ήταν 37.6% υψηλότερη σε σχέση με εκείνη του συστήματος σταθερής στήριξης. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουμε με βάση τα πρώτα αποτελέσματα των δοκιμών που διενεργούνται στις κλιματολογικές συνθήκες της Λάρισας.

*Λέξεις κλειδιά:* ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκό σύστημα, ηλιακός ιχνηλάτης

## A STUDY ON EVALUATION OF PRODUCING ENERGY ON PV SYSTEMS INSTALLED IN GREECE AND CZECH REPUBLIC

V. Poulek<sup>1</sup>, M. Libra<sup>2</sup>, I. Gravalos<sup>3</sup>, Th. Gialamas<sup>3</sup>, D. Moschou<sup>4</sup>,  
P. Xyradakis<sup>3</sup>, D. Kateris<sup>4</sup>, Z. Tsiropoulos<sup>3</sup>, Th. Lellis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Poulek Solar, Ltd., Velvarska 9, 16000 Prague 6, Czech Republic

<sup>2</sup>Czech University of Life Sciences Prague, 16521 Prague 6, Czech Republic

<sup>3</sup>Department of Biosystems Engineering, TEI of Larissa, Greece

<sup>4</sup>Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,  
Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

The objective of this paper is to present the results of the produced energy evaluation by two different types of PV systems: (a) one-axle sun tracking system with reflecting mirrors and (b) a fixed system, which have been installed in Larissa (Greece) and Prague (Czech Republic). The measured produced energy of the PV systems has been further evaluated at daily, monthly and annual basis under different climatological conditions of these areas. The average annual produced energy of a sun tracking system measured in Prague was 37.6% higher in comparison to a fixed system. According to the tests that were provided in the area of Larissa, we concluded to the same results.

*Key words:* solar energy, photovoltaic system, sun tracker

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναλίσκόμενη ενέργεια πάνω στη γη αυξάνεται εκθετικά. Εάν η τάση αυτή συνεχιστεί, εκτιμάται ότι σε 100 χρόνια θα προσεγγίσει τις  $10^{17}$  kWh ανά έτος. Επομένως, η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι καθοριστικής σημασίας για την αντιμετώπιση των οξυμένων ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη μας (Quaschnig, 2003; Gueymard, 2004). Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν αρμονικά σε οποιοδήποτε περιβάλλον, αστικό και μη (Novotný et al., 2009). Σήμερα η Ελλάδα, στον τομέα των Φ/Β, υπολείπεται των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Salas and Olias, 2009).

Ανάλογα με τον τρόπο στήριξης των Φ/Β συλλεκτών και τον προσανατολισμό τους διακρίνονται: α) σταθερής στήριξης, β) εποχιακά ρυθμιζόμενης, και γ) συνεχούς παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου (sun tracking systems) (Klotz, 1995). Επίσης, τα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου διακρίνονται σε: α) παθητικά και β) ενεργητικά (Abdallah, 2004; Agee et al., 2007).

Τα παθητικά συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου βασίζονται στη θερμική διαστολή/συστολή ενός ρευστού μέσου (συνήθως οργανικού ρευστού) ή ενός κράματος. Το είδος αυτού του ηλιακού ιχνηλάτη αποτελείται από ένα ζεύγος ενεργοποιητών, που λειτουργούν ο ένας ενάντια στον άλλο και διορθώνουν τη θέση των συλλεκτών ως προς τον ήλιο. Οι Clifford και Eastwood (2004) παρουσίασαν έναν παθητικό ηλιακό ιχνηλάτη, ο οποίος ενσωματώνει δύο διμεταλλικά στοιχεία κατασκευασμένα από αλουμίνιο και χάλυβα, και τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα ξύλινο πλαίσιο, διατεταγμένα συμμετρικά από την κάθε πλευρά ενός κεντρικού κάθετου άξονα. Ο Roulek (1994) ανέπτυξε έναν παθητικό ηλιακό ιχνηλάτη ενός άξονα, ο οποίος βασίζεται σε ενεργοποιητές κραμάτων μνήμης (NiTi).

Οι ενεργητικοί ηλιακοί ιχνηλάτες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής: α) σε αυτούς που βασίζονται σε μικροεπεξεργαστές και οπτο-ηλεκτρονικούς αισθητήρες, β) σε αυτούς που ελέγχονται από PC με βάση την ημερομηνία και το χρόνο, γ) σε αυτούς που βασίζονται σε φωτοστοιχεία διπλής όψευς (φωτομετρικές διατάξεις), και δ) σε συνδυασμούς των τριών προηγούμενων συστημάτων. Πρόκειται για συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, με υψηλή ακρίβεια, που προορίζονται κυρίως για συγκεντρωτικά Φ/Β συστήματα (concentrator PV systems). Αυτοί οι ιχνηλάτες είναι σύνθετοι, υψηλού κόστους αγοράς, και μικρότερης αξιοπιστίας. Οι Abdallah και Nijmeh (2004), Mamlook et al. (2006) σχεδίασαν και κατασκεύασαν ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου, δύο-αξόνων, το οποίο ελέγχεται από έναν PLC. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο μαθηματικό προσδιορισμό της θέσης των συλλεκτών πάνω στην επιφάνεια της γης από δύο γωνίες: τη γωνία κλίσης των συλλεκτών, και τη γωνία αζιμουθίου. Από τη συγκριτική ενεργειακή μελέτη που διεξήγαγαν μεταξύ του ηλιακού ιχνηλάτη και ενός Φ/Β συστήματος σταθερής στήριξης με γωνία κλίσης  $32^\circ$  κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι ο ηλιακός ιχνηλάτης των δύο-αξόνων έδωσε μια αύξηση στη συνολική ημερήσια παραγωγή της τάξεως του 41.34%. Παρόμοια συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από τους Zogbi και Laplaze (1984), Kalogirou (1996), Zeroual et al. (1998), Aiuchi et al. (2006), Huang και Sun (2007), Canada et al. (2007), Abu-Khader et al. (2008).

Μία φωτομετρική διάταξη αποτελούμενη από δύο βοηθητικά Φ/Β πλαίσια, συνδεδεμένα άμεσα με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος και κατάλληλα προσαρμοσμένα στον άξονα περιστροφής, μπορούν ταυτόχρονα να ανιχνεύουν τη θέση του ήλιου και να το τροφοδοτούν με ηλεκτρική ισχύ τον ηλιακό ιχνηλάτη. Οι Roulek και Libra (2000) περιέγραψαν έναν πολύ απλό και αξιόπιστο ηλιακό ιχνηλάτη για

διαστημικές και επίγειες εφαρμογές. Η αρχή λειτουργίας αυτού του ηλιακού ιχνηλάτη δε βασίζεται σε υψηλούς κόστους δομικά στοιχεία, όπως συσσωρευτές και ηλεκτρονικές διατάξεις οδήγησης. Ένα βοηθητικό Φ/Β πλαίσιο διπλής όψευς επιτρέπει την παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου από οποιαδήποτε θέση (γωνία ανίχνευσης 360°). Η επιφάνεια του βοηθητικού Φ/Β πλαισίου είναι περίπου το 1% της συνολικής επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών. Επίσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ιχνηλάτης που ακολουθεί τον ήλιο με μία απόκλιση  $\pm 5^\circ$ , δεν παρουσιάζει καμία μείωση της συλλεγόμενης ενέργειας. Το σύστημα αυτό συλλέγει περίπου το 95% της ενέργειας ενός ιδανικού ηλιακού ιχνηλάτη.

Η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους, που δίνουν μία πλήρη εικόνα για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδό του, προς την προσπίπτουσα σε αυτό ηλιακή ενέργεια, κάτω από τις εκπεφρασμένες κλιματολογικές περιστάσεις και μεταβλητές καιρικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος μπορεί να είναι τυποποιημένη κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ενός εργαστηρίου (Standard Test Conditions) όπου έχουμε σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, μάζα και θερμοκρασία του αέρα, όμως κάτω από συνθήκες πραγματικής ηλιακής ακτινοβολίας και με μεταβολές στη μάζα και στη θερμοκρασία του αέρα, η απόδοση στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πολύ μικρότερη από το  $1 \text{ kW/m}^2$  (Makrides et al., 2007). Επομένως, η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος σε συνθήκες πεδίου δεν είναι μια σταθερή παράμετρος.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αποτίμηση της παραγόμενης ενέργειας από διαφορετικού τύπου Φ/Β συστήματα, στις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε Ελλάδα και Τσεχία.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δύο διαφορετικοί τύποι Φ/Β συστημάτων εγκαταστάθηκαν σε Λάρισα (Ελλάδα) και Πράγα (Τσεχία) (Σχήματα 1 & 2) για να μελετηθεί η παραγωγή ενέργειας κάτω από τα διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και τις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες των δύο αυτών περιοχών. Η παρακολούθηση της παραγόμενης ενέργειας των δύο Φ/Β συστημάτων άρχισε από την περιοχή της Πράγας τον Οκτώβριο του 2009 και συνεχίζεται πλέον και στην περιοχή της Λάρισας από τον Δεκέμβριο του 2010. Στο πρόγραμμα αυτό συμμετέχουν: α) Faculty of Engineering-Czech University of Life Sciences Prague, β) Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων-Τ.Ε.Ι. Λάρισας, γ) Poulek Solar Ltd, και δ) Όμιλος Επιχειρήσεων ΒΙΟΚΑΡΠΙΕΤ.



Σχήμα 1. Φ/Β συστήματα εγκατεστημένα στον προαύλιο χώρου του Ομίλου επιχειρήσεων ΒΙΟΚΑΡΠΙΕΤ στην περιοχή της Λάρισας (Ελλάδα)



Σχήμα 2. Φ/Β συστήματα εγκατεστημένα στο Czech University of Life Sciences Prague (Τσεχία)

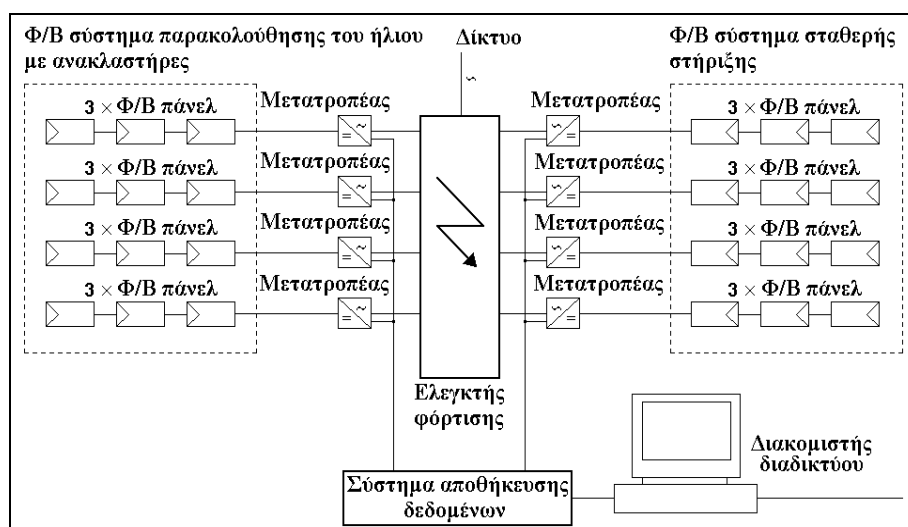
Πρόκειται για (α) ένα Φ/Β σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου με φωτομετρικό μηχανισμό, ενός άξονα και ανακλαστήρες διατεταγμένους σε σχήμα τριγώνου στο μέσον του συστήματος (TRAXLE™) και (β) ένα σύστημα σταθερής στήριξης. Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου TRAXLE™ έχει αναπτυχθεί από την Poulek Solar Ltd σε συνεργασία με το Czech University of Life Sciences Prague και προστατεύεται από διεθνές δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (Poulek, 2000). Η διάταξη των ανακλαστήρων σε σχήμα τριγώνου στο μέσον του Φ/Β συστήματος αυξάνουν τη συνολική πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός στα Φ/Β πλαίσια, αλλά σε επίπεδα που δεν επηρεάζεται η αποδοτικότητα των Φ/Β στοιχείων (συντελεστής συγκέντρωσης  $c=1.6-1.7$ ).

Ο μηχανισμός παρακολούθησης του Φ/Β συστήματος TRAXLE™ είναι απλός και περιλαμβάνει ένα μικρό πλαίσιο, στις δύο όψεις του οποίου έχουν τοποθετηθεί αντιστοίχως ΦΒ στοιχεία (φωτομετρική διάταξη). Η όψη που είναι προσανατολισμένη προς τη δύση θεωρείται κύρια, ενώ η όψη που βλέπει προς την ανατολή θεωρείται δευτερεύουσα. Το πλαίσιο αυτό είναι στερεωμένο επί του κοίλου άξονα περιστροφής, σχηματίζοντας γωνία κλίσης  $\beta=15-20^\circ$  ως προς το κάθετο επίπεδο, με κατεύθυνση την ανατολή του ήλιου. Τα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου είναι αντι-παράλληλα συνδεδεμένα με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος, με δυνατότητα αναστροφής της φοράς του, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με τη βοήθεια ενός ατέρμονα κοχλία με τον κοίλο άξονα περιστροφής. Η γωνία  $\beta$  επιλέχθηκε με σκοπό: α) η δύναμη του ηλεκτροκινητήρα να είναι μικρότερη της απαιτούμενης δύναμης προσανατολισμού της συσκευής, όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία προσπτώσεως  $\varphi \geq 90^\circ - \beta$  και β) η δύναμη του ηλεκτροκινητήρα να είναι μεγαλύτερη της απαιτούμενης δύναμης προσανατολισμού της συσκευής, όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία προσπτώσεως  $\varphi \leq 90^\circ - \beta$ . Επομένως, τα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου, επί των οποίων η ακτινοβολία προσπίπτει

υπό γωνία  $\varphi \geq 90^\circ - \beta$ , παράγουν ισχυρότερο σήμα σε σχέση με εκείνα της αντίθετης όψευς, με αποτέλεσμα να περιστρέφεται ο ηλεκτροκινητήρας προς την κατεύθυνση που η προσπίπτουσα γωνία  $\varphi$  αυξάνει. Πριν την ανατολή του ήλιου, το σύστημα παρακολούθησης είναι προσανατολισμένο προς τη δύση, δηλαδή στη θέση που ολοκληρώθηκε η λειτουργία παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου το απόγευμα της προηγούμενης ημέρας. Με την ανατολή του ήλιου, αρχίζει η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει επί των ΦΒ στοιχείων της μίας πλευράς του πλαισίου, που είναι προσανατολισμένη στην ανατολή. Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει αμέσως τα ΦΒ πάνελ προς την ανατολή του ήλιου έως ότου  $\varphi = 90^\circ - \beta$ . Στη συνέχεια, καθώς ο ήλιος μετακινείται επί του ουράνιου θόλου με κατεύθυνση τη δύση αρχίζει η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει επί της κύριας όψης του πλαισίου. Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει βαθμιαία το ΦΒ πλαίσιο προς τη δύση ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου. Το εύρος αυτόματης περιστροφής των ΦΒ πάνελ είναι περίπου  $120^\circ$ . Μεγαλύτερο εύρος παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου δεν έχει πρακτικά καμία σημασία όσον αφορά τη μεγιστοποίηση της ημερήσιας συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας. Επομένως, πρόκειται για ένα μηχανισμό παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, ο οποίος είναι ευφυής ως ιδέα σύλληψης, απλός στην κατασκευή, ενεργειακά αυτόνομος, χαμηλού κόστους και αξιόπιστος στη λειτουργία του.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν Φ/Β πάνελ από μονοκρυσταλλικές, πολυ-κρυσταλλικές κυψέλες και κυψέλες άμορφου πυριτίου, από διαφορετικούς κατασκευαστές (Kyocera, Sanyo, Canadian Solar, Trina Solar, κ.ά.) με διαφορετικά ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά.

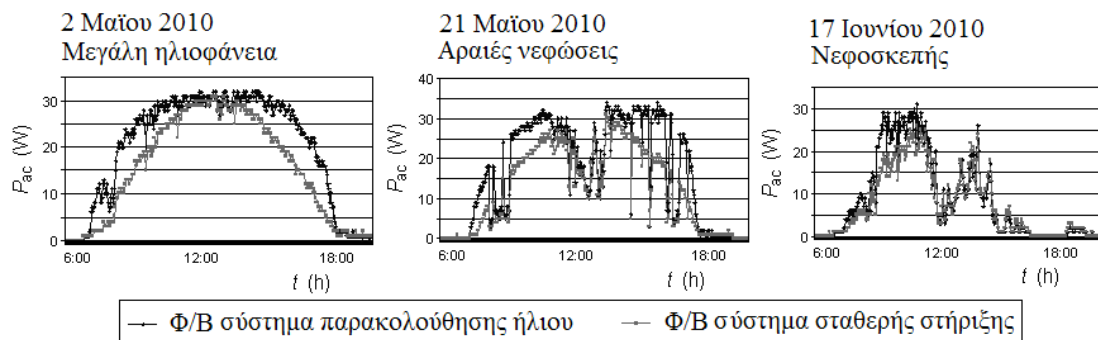
Τόσο το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου όσο και το σύστημα σταθερής στήριξης ήταν συνδεδεμένα στο δίκτυο με τη βοήθεια μετατροπέων συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα (inverters) και έναν ελεγκτή φόρτισης. Για κάθε τρία πάνελ αντιστοιχούσε ένας μετατροπέας, ώστε να επιτύχουμε βελτιστοποίηση της απόδοσης των δύο Φ/Β συστημάτων. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετατροπείς Sunny Boy 700/1100U της εταιρείας SMA Solar Technology AG. Τέλος, με τη βοήθεια της συσκευής Sunny WebBox και του λογισμικού Sunny Portal της ίδιας εταιρείας τα δεδομένα ήταν προσιτά μέσω διαδικτύου και στις δύο ερευνητικές ομάδες σε Ελλάδα και Τσεχία. Το γραμμικό ηλεκτρολογικό διάγραμμα αυτής της συνδεσμολογίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



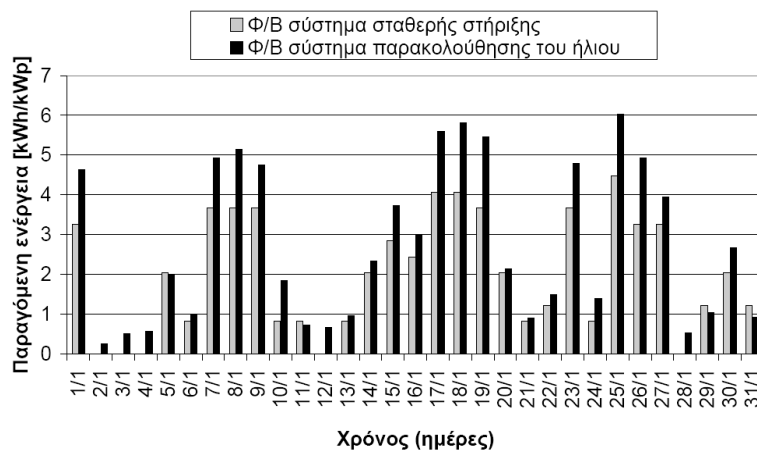
Σχήμα 3. Γραμμικό ηλεκτρολογικό διάγραμμα σύνδεσης των δύο Φ/Β συστημάτων με το δίκτυο και το σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 4 παρατίθενται καμπύλες ημερήσιας μεταβολής της παραγόμενης ισχύος από τους δύο τύπους Φ/Β συστημάτων, κάτω από διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας στην περιοχή της Πράγας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από δύο συστήματα μικρής ισχύος, οι συλλέκτες των οποίων ήταν από φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου με μέγιστη ισχύ  $P_p=40$  W. Είναι προφανές ότι την ημέρα με τη μεγάλη ηλιοφάνεια, η παραγωγή ενέργειας του Φ/Β συστήματος παρακολούθησης του ήλιου ήταν υψηλότερη περίπου κατά 30% σε σχέση με εκείνη του συστήματος σταθερής στήριξης. Αντιθέτως, στις 17 Ιουνίου όπου υπήρχαν έντονες νεφώσεις δεν παρατηρείται ουσιαστικά καμία διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους Φ/Β συστημάτων. Στο σχήμα 5 παρατίθεται το διάγραμμα σύγκρισης της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων για τον Ιανουάριο του 2011 στην περιοχή της Λάρισας, όπου χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από δύο συστήματα μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος των  $P_p=2.82$  kW, οι συλλέκτες των οποίων ήταν από κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Επίσης, από το διάγραμμα αυτό επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι τα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου παράγουν περισσότερη ενέργεια μόνο τις ημέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια. Η παραγωγή ενέργειας του συστήματος παρακολούθησης του ήλιου ήταν υψηλότερη κατά 31.8% σε σύγκριση με το σύστημα σταθερής στήριξης. Στην περιοχή της Πράγας, η αντίστοιχη αύξηση στην παραγωγή ενέργειας του Φ/Β συστήματος παρακολούθησης του ήλιου σε σχέση με το σύστημα σταθερής στήριξης ήταν 26.2% τον Ιανουάριο του 2010.

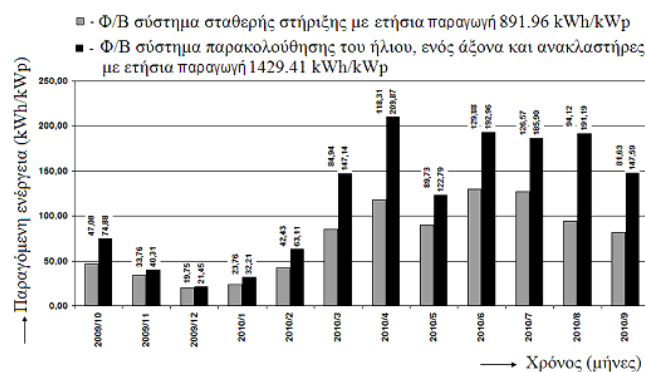


Σχήμα 4. Καμπύλες ημερήσιας μεταβολής της παραγόμενης ισχύος κάτω από διαφορετικά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Πράγας



Σχήμα 5. Διάγραμμα σύγκρισης της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων τον Ιανουάριο 2011 στην περιοχή της Λάρισας

Στο σχήμα 6 παρατίθεται το ιστόγραμμα σύγκρισης της μηνιαίας παραγόμενης ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων στην Πράγα. Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου έδωσε μία ετήσια παραγωγή της τάξεως των 1429.41 kWh/kWp, ενώ το σύστημα σταθερής στήριξης έδωσε 891.96 kWh/kWp, πρόκειται για μία διαφορά του 37.6% υπέρ του πρώτου Φ/Β συστήματος. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι τους χειμερινούς μήνες με τη μικρότερη ηλιοφάνεια αυτή η διαφορά γίνεται συγκριτικά κατά πολύ μικρότερη. Η μικρότερη διαφορά μηνιαίας παραγωγής παρατηρήθηκε το Δεκέμβριο του 2009. Αντιθέτως, οι μεγαλύτερες διαφορές μηνιαίας παραγωγής παρατηρήθηκαν τον Απρίλιο και τον Αύγουστο του 2010, που ήταν της τάξεως του 43.6% και 50.8% αντιστοίχως. Στη Λάρισα, το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου έδωσε αυξημένη παραγωγή κατά 31.8%, 34.3%, 42.9% και 57.6% τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο αντιστοίχως. Είναι φανερό με βάση τα πρώτα αποτελέσματα, ότι το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου είναι εξίσου παραγωγικό στις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδας.



Σχήμα 6. Διάγραμμα σύγκρισης της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας μεταξύ των δύο τύπων Φ/Β συστημάτων στην περιοχή της Πράγας

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το Φ/Β σύστημα παρακολούθησης του ήλιου προσανατολίζει με αυτόματο τρόπο τους συλλέκτες σε σχέση με την τροχιά του ήλιου, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη συλλογή της ηλιακής ενέργειας.
- Σύμφωνα με μετρήσεις πεδίου στην Τσεχία, που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στο Φ/Β σύστημα παρακολούθησης του ήλιου και σε ένα άλλο σταθερής στήριξης, προέκυψε ότι η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από το πρώτο σύστημα ήταν κατά 37.6% υψηλότερη σε σχέση με το δεύτερο. Με βάση τα πρώτα αποτελέσματα που βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου στη Λάρισα αναμένεται η παραγωγή του Φ/Β συστήματος παρακολούθησης του ήλιου να είναι ακόμη υψηλότερη.
- Το υπό μελέτη Φ/Β σύστημα παρακολούθησης του ήλιου παρουσιάζει και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η απλότητα στην κατασκευή, η αξιόπιστη λειτουργία και το σχετικά χαμηλό κόστος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές στη γεωργία, όπως για παράδειγμα στα απομακρυσμένα συστήματα άντλησης νερού.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Quaschnig, V., 2003. *Technology fundamentals: The sun as an energy resource*. Renewable Energy World, 6(5): 90-93.
- Gueymard, C.A., 2004. *The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models*. Solar Energy, 76: 423-453.

- Novotný, R., Libra, M., Poulek, V., Gravalos, I. and Mares, J., 2009. *Electric energy production in the small on-grid PV system*. Proceedings of International Scientific Conference on Physics - Research and Education, Nitra, Slovakia, pp. 1-7.
- Salas, V. and Olias, E., 2009. *Overview of the photovoltaic technology status and perspective in Spain*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: 1049-1057.
- Klotz, F.H., 1995. *PV systems with V-trough concentration and passive tracking concept and economic potential in Europe*. Proceedings of 13th European PV Solar Energy Conference, Nice, France, pp.1060-1063.
- Abdallah, S., 2004. *The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate PV*. Energy Conversion and Management, 45: 1671-1679.
- Agee, J.T., Obok-Opok, A. and Lazzer, M.D., 2007. *Solar tracker technologies: market trends and field applications*. Advanced Materials Research, 18(19): 339-344.
- Clifford, M.J. and Eastwood, D., 2004. *Design of a novel passive solar tracker*. Solar Energy, 77: 269-280.
- Poulek, V., 1994. *Testing the new solar tracker with shape memory alloy actuators*. Proceedings of the 24th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp.1131-1133.
- Abdallah, S. and Nijmeh, S., 2004. *Two axes sun tracking system with PLC control*. Energy Conversion and Management, 45: 1931-1939.
- Mamlook, R., Nijmeh, S. and Abdallah, S.M., 2006. *A programmable logic controller to control two axis sun tracking system*. Information Technology Journal, 5(6): 1083-1087.
- Zogbi, R. and Laplaze, D., 1984. *Design and construction of a sun tracker*. Solar Energy, 33(3/4): 369-372.
- Kalogirou, S.A., 1996. *Design and construction of a one-axis sun-tracking*. Solar Energy, 57(6): 465-469.
- Zeroual, A., Raoufi, M., Ankrim, M. and Wilkinson, A.J., 1998. *Design and construction of a closed loop sun-tracker with microprocessor management*. Solar Energy, 19(4): 263-274.
- Aiuchi, K., Yoshida, K., Onozaki, M., Katayama, Y., Nakamura, M. and Nakamura, K., 2006. *Sensor-controlled heliostat with an equatorial mount*. Solar Energy, 80: 1089-1097.
- Huang, B.J. and Sun, F.S., 2007. *Feasibility study of one-axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector*. Energy Conversion and Management, 48: 1273-1280.
- Canada, J., Utrillas, M.P., Lozano, J.A.M., Pedros, R., Amo, J.L.G. and Maj, A., 2007. *Design of a sun tracker for the automatic measurement of spectral irradiance and construction of an irradiance database in the 330-1100 nm range*. Renewable Energy, 32: 2053-2068.
- Abu-Khader, M.M., Badran, O.O. and Abdallah, S., 2008. *Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12: 864-873.
- Poulek, V. and Libra, M., 2000. *A very simple solar tracker for space and terrestrial applications*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 60: 99-103.
- Makrides, G., Zinsser, B., Georghiou, G.E. and Werner, J., 2007. *Temperature Behaviour of Different Photovoltaic Systems Installed in Cyprus and Germany*. Proceedings of PVSEC-17 Conference, Fukuoka, Japan, pp. 385-386.
- Poulek, V., 2000. *Apparatus for orientation of solar radiation collectors*. United States Patent No 6,089,224.