

Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗ. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ηλ. Καλδέλλη^{1*}, Γ. Σπυρόπουλος², Γ. Κωφόπουλος¹, Αιμ. Κονδύλη³, Ι.Κ. Καλδέλλης²

⁽¹⁾Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (ΚΠΕ) Ευεργέτουλα-Λέσβου

⁽²⁾Εργ. Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Πειραιά

⁽³⁾Εργαστήριο Αριστοποίησης Παραγωγικών Συστημάτων, ΤΕΙ Πειραιά

Τ.Θ. 41046, 12201 Αθήνα, Τηλ 210-5381237/210-5381467 (FAX)

e-mail: ilkaldelli@sch.gr, www.sealab.gr

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φωτοβολταϊκά, Ηλιακή Ενέργεια, Πειραματική Εγκατάσταση, Περιβαλλοντικά Οφέλη

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: Επιστημονική έρευνα-Εκπαιδευτικό υλικό-Προγράμματα ΚΠΕ

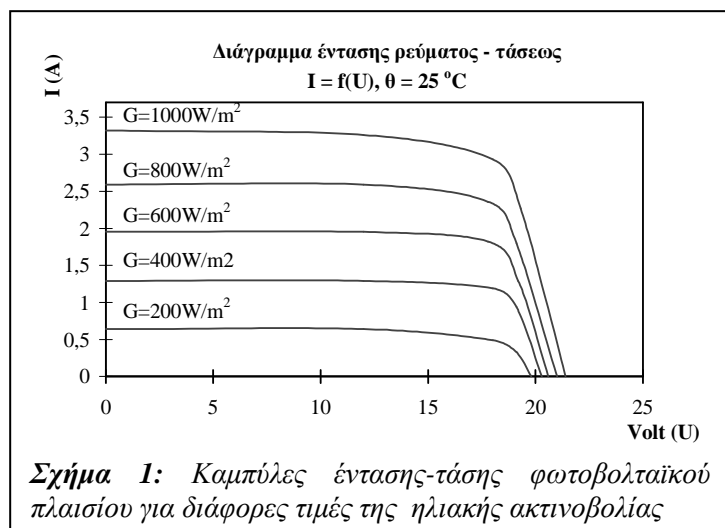
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαρκής υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η αυξανόμενη ανησυχία για την αστάθεια στη διεθνή ενεργειακή αγορά ενθάρρυνε τα τελευταία χρόνια την προσπάθεια της ανθρωπότητας για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοβολταϊκής μετατροπής. Στα πλαίσια αυτά από τις αρχές της νέας χιλιετίας διαμορφώνονται σταδιακά οι κατάλληλες κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την εκτεταμένη ηλεκτροπαραγωγή μέσω αντίστοιχων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Δεδομένης της θετικής περιβαλλοντικής συνεισφοράς των φωτοβολταϊκών, το ΚΠΕ Ευεργέτουλα-Λέσβου σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Πειραιά υλοποιούν κατάλληλα σχεδιασμένη πειραματική εγκατάσταση, που θα συνεισφέρει τόσο στην εκπαίδευση των νέων όσο και στην επιστημονική έρευνα σχετικά με την εφαρμογή των φωτοβολταϊκών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του σύγχρονου ανθρώπου. Παράλληλα, εξετάζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη λειτουργία φωτοβολταϊκών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής σε υποκατάσταση ρυπογόνων θερμικών σταθμών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα και ο φόβος για την εξάντληση των συμβατικών αποθεμάτων ενέργειας οδήγησε τα τελευταία χρόνια στη συστηματική αξιοποίηση των ήπιων ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια καταγράφεται μια έντονη προσπάθεια αξιοποίησης της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας για άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της φωτοβολταϊκής μετατροπής [1,2]. Για το σκοπό αυτό έχουν δοθεί τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και από τη χώρα μας (βλέπε για παράδειγμα το νέο νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Ν.3468/06) ιδιαίτερα ελκυστικά χρηματοοικονομικά κίνητρα, τα οποία περιλαμβάνουν επιδότηση του κόστους αρχικής εγκατάστασης καθώς και εγγυημένη αγορά της ενεργειακής παραγωγής σε προνομιακές τιμές.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη λειτουργία μιας φωτοβολταϊκής μονάδος [3] επιχειρείται με επιτυχία η αξιοποίηση του φυσικού φαινομένου κατά το οποίο παράγεται ηλεκτρική ενέργεια (απελευθερώνονται ηλεκτρόνια) όταν η ηλιακή ενέργεια προσπέσει σε ειδικά διαμορφωμένους ημιαγωγούς, όπως για παράδειγμα οι ημιαγωγοί του πυριτίου [4]. Με τον τρόπο αυτό μέρος του φάσματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (με ενέργεια υψηλότερη από το ενεργειακό



κατώφλι του ημιαγωγού) οδηγεί στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος "I" υπό σταθερή σε μεγάλο βαθμό ηλεκτρική τάση "U", βλέπε σχήμα 1. Η αποδιδόμενη ισχύς "N" προκύπτει ως:

$$N = U \cdot I \quad (1)$$

όπου το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι ευθέως ανάλογο της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ενώ η καταγραφόμενη τάση εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία των πλαισίων.

Για την πειραματική μελέτη του ιδιαίτερα σημαντικού φωτοβολταϊκού φαινομένου και τη σε βάθος γνωριμία με τις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών μονάδων από μαθητές και φοιτητές προτείνεται η εγκατάσταση και πιλοτική λειτουργία μικρής αυτόνομης φωτοβολταϊκής μονάδας, η οποία ταυτόχρονα μπορεί να συνεισφέρει σε ικανοποιητικό βαθμό στην κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων παρακείμενων κτιρίων[5]. Παράλληλα, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην περιγραφή και αξιολόγηση των κυριότερων περιβαλλοντικών ωφελειών από την αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής μετατροπής σε υποκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το λιγνίτη και το πετρέλαιο [6].

Το ΚΠΕ Ευεργέτουλα-Λέσβου βρίσκεται (σχήμα 2) στο ορεινό παραδοσιακό χωριό Ασώματο, σε απόσταση 20km περίπου από τη Μυτιλήνη, πρωτεύουσα της Λέσβου. Το ΚΠΕ στελεχώθηκε και άρχισε τη λειτουργία του τον Οκτώβριο του 2004. Τα προγράμματα που σχεδιάζει το ΚΠΕ Ασωμάτου στοχεύουν στη δημιουργία ενός συνόλου αξιών και ενδιαφερόντων στους μαθητές για ενεργητική συμμετοχή στην προστασία και τη βελτίωση του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια της ποιότητας ζωής και της βιώσιμης ανάπτυξης. Ανάμεσα στις δράσεις του Κέντρου περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης για τα σχολεία Α/θμιας και Β/θμιας Εκπ/σης (που έχουν στόχο την ευαισθητοποίηση των μαθητών), η παραγωγή εκπαιδευτικού ενημερωτικού υλικού, η σύνδεση με τα επιστημονικά Ιδρύματα και οργανώσεις σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο για επιστημονική έρευνα και συνεργασία για παραγωγή εκπαιδευτικών προγραμμάτων, η οργάνωση και η πραγματοποίηση επιμορφωτικών συναντήσεων εκπαιδευτικών στην περιβαλλοντική εκπαίδευση κ.α. Κατά τον περιορισμένο χρόνο λειτουργίας του υλοποίησε σειρά προγραμμάτων για εκπαιδευτικούς και μαθητές Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου, όπως "Το μονοπάτι των εποχών", "Υγροβιότοποι μια εθνική κληρονομιά", "Ευεργέτουλας, Το ποτάμι που ευεργετεί", "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" κ.λπ.



Σχήμα 2: ΚΠΕ Ευεργέτουλα-Λέσβου

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Για την πειραματική μελέτη του φωτοβολταϊκού φαινομένου σχεδιάζεται η εγκατάσταση στο ΚΠΕ Ευεργέτουλα Λέσβου αυτόνομης φωτοβολταϊκής μονάδας, κατ' αντιστοιχία αυτής που ήδη λειτουργεί (βλέπε σχήμα 3) στο Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Πειραιά [7]. Πιο συγκεκριμένα η εγκατάσταση θα αποτελείται από τέσσερα τουλάχιστον φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία θα συνδέονται με κατάλληλο τρόπο (εν σειρά ή/και εν παραλλήλω) ώστε να εξυπηρετούνται τα χαρακτηριστικά του προς κάλυψη ηλεκτρικού φορτίου, σύμφωνα και με τις εκπαιδευτικές ανάγκες του εκάστοτε πειράματος. Αξίζει να σημειωθεί



Σχήμα 3: Πειραματική φωτοβολταϊκή μονάδα

ότι λόγω της σπονδυλωτής φύσης της εγκατάστασης, είναι δυνατή η διαδοχική προσθήκη και νέων φωτοβολταϊκών πλαισίων, ανάλογα με τον εκάστοτε διαθέσιμο προϋπολογισμό. Τέλος, θα δοθεί ιδιαίτερη μέριμνα για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης με τη μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στη συλλεκτική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων [8] στη διάρκεια του έτους.

Ακολουθώντας, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί είτε να διοχετευθεί στην κατανάλωση μέσω κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης, ώστε να καλύπτει υφιστάμενα φορτία συνεχούς ρεύματος (π.χ. ηλεκτρικοί και ηλεκτρονικοί λαμπτήρες, μικρά ψυγεία ή αντλίες πόσιμου ύδατος συνεχούς ρεύματος, κ.λπ.), είτε να μετατραπεί σε μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος επιθυμητής τάσης (π.χ. 220V) και συχνότητας (π.χ. 50Hz) μέσω κατάλληλου μετατροπέα συχνότητας (inverter) και να διοχετευθεί στο δίκτυο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Εφόσον είναι επιθυμητό η περίσσεια ενέργειας διοχετεύεται σε κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών) ώστε να αποδίδεται σε επόμενη χρονική περίοδο υψηλής ζήτησης ή/και περιορισμένης παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αντικαθιστά ενέργεια που παράγεται από εισαγόμενα και ιδιαίτερα ρυπογόνα [9] συμβατικά καύσιμα (π.χ. πετρέλαιο, λιγνίτη κ.λπ.), συμβάλλοντας στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των ενεργειακών εισαγωγών της χώρας μας.

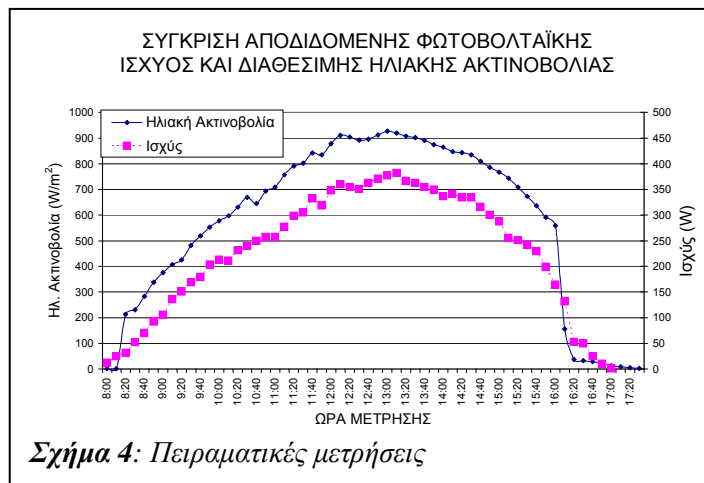
3. Εκπαίδευση-Αποτελέσματα Λειτουργίας της Πειραματικής Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

Όπως προαναφέρθηκε, κατά κύριο λόγο η εγκατάσταση στόχο έχει την εξοικείωση και γνωριμία των μαθητών και των εκπαιδευτικών με θέματα απλών και λειτουργικών εφαρμογών ΑΠΕ. Η προτεινόμενη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση παρέχει τη δυνατότητα εκτέλεσης μιας σειράς πειραμάτων με στόχο την κατανόηση της λειτουργίας αντίστοιχων ενεργειακών σταθμών καθώς και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών ωφελειών από την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων. Πράγματι στα πλαίσια αυτά προτείνεται η εκτέλεση των παρακάτω εκπαιδευτικών πειραμάτων:

ΠΕΙΡΑΜΑ 1 Σε συγκεκριμένη γωνία τοποθέτησης των πλαισίων παράλληλη μέτρηση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος (καταγραφή τάσης-έντασης ρεύματος) και της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας, βλέπε ενδεικτικά σχήμα 4. Σκοπός η κατανόηση της εξάρτησης της αποδιδόμενης ισχύος από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με το επιθυμητό βάθος εξέτασης της εφαρμογής είναι δυνατή ή όχι η στατιστική αξιολόγηση των συλλεχθέντων στοιχείων.

ΠΕΙΡΑΜΑ 2 Μεταβάλλοντας τη γωνία τοποθέτησης των πλαισίων (κρατώντας ορισμένα από αυτά σε σταθερή γωνία αναφοράς) είναι δυνατή η εξέταση της επίδρασης της γωνίας κλίσης της συλλεκτικής επιφάνειας σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην παραγόμενη ενέργεια. Τα αποτελέσματα της μελέτη αυτής μπορούν να εξετασθούν και για τις διαφορετικές εποχές του χρόνου και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη βέλτιστη γωνία τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά τις διάφορες εποχές του χρόνου σε συνάρτηση με την ηλιακή γεωμετρία της περιοχής εγκατάστασης [10].

ΠΕΙΡΑΜΑ 3 Συνδέοντας τα διαθέσιμα φωτοβολταϊκά πλαίσια εν σειρά είναι δυνατή η μελέτη κάλυψης διαφορετικών φορτίων με μεταβαλλόμενη τάση λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτό εξετάζεται η λειτουργία φωτοβολταϊκής συνδεσμολογίας εν σειρά και είναι δυνατή η σύγκριση της πραγματικής καμπύλης λειτουργίας της εγκατάστασης με την αναμενόμενη θεωρητική.



Σχήμα 4: Πειραματικές μετρήσεις

ΠΕΙΡΑΜΑ 4: Συνδέοντας τα διαθέσιμα φωτοβολταϊκά πλαίσια εν παραλλήλω είναι δυνατή η μελέτη κάλυψης διαφορετικών φορτίων με μεταβαλλόμενη ένταση ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό εξετάζεται η λειτουργία φωτοβολταϊκής συνδεσμολογίας εν παραλλήλω και είναι δυνατή η σύγκριση της πραγματικής καμπύλης απόδοσης της εγκατάστασης με αυτήν που προβλέπεται από τη θεωρία [3].

ΠΕΙΡΑΜΑ 5: Μελετώντας τη συμπεριφορά διαφορετικών πλαισίων, τοποθετημένων στην ίδια θέση και με την ίδια γωνία κλίσης αλλά με διαφορετικές συνθήκες καθαριότητας της συλλεκτικής επιφάνειας είναι δυνατή η διερεύνηση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ενεργειακή συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων τόσο σε αστικό όσο και σε μη αστικό περιβάλλον.

ΠΕΙΡΑΜΑ 6: Πειραματικός υπολογισμός της ενεργειακής παραγωγής της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με τη χρήση μετρήσεων και εκτίμηση των αναμενόμενων χρηματικών και περιβαλλοντικών ωφελειών από τη μακρόχρονη λειτουργία μιας ανάλογης εγκατάστασης [10].

Για λόγους συντομίας δεν είναι δυνατή η περαιτέρω ανάπτυξη και άλλων πειραμάτων που μπορούν να υποστηριχθούν από την προτεινόμενη εγκατάσταση, είναι όμως σημαντικό να τονισθεί ότι η ορθολογική αξιοποίησή της συμβάλλει σημαντικά στην ευαισθητοποίηση των νέων πολιτών σε θέματα παραγωγής και διαχείρισης ενεργειακά καθαρών πηγών ενέργειας, καθώς και στην εξοικείωσή τους με νέες φιλικές προς το περιβάλλον ενεργειακές τεχνολογίες [11].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής μετατροπής για την περιβαλλοντικά καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο συντελείται με επιταχυνόμενους ρυθμούς στις περισσότερες χώρες μέλη της Ε.Ε., ενώ πρόσφατα άρχισε μια έντονη κινητικότητα και στην εγχώρια αγορά. Η υπό εγκατάσταση πειραματική μονάδα παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη μελέτη και την κατανόηση της λειτουργίας των σύγχρονων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων κάθε μεγέθους, ενώ παράλληλα υπογραμμίζει τη φιλικότητα της υπό μελέτη διαδικασίας με το περιβάλλον.

Ανακεφαλαιώνοντας, πιστεύουμε ότι σε περίπτωση συστηματικής αξιοποίησης των δυνατοτήτων της πειραματικής εγκατάστασης προκύπτουν ιδιαίτερα σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την αειφορική ανάπτυξη καθώς και με τα αναμενόμενα εθνικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη από την αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής παραγωγής για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας. Παρέχονται παράλληλα και δυνατότητες ευαισθητοποίησης των μαθητών, οι οποίοι είναι οι φορείς των νέων αντιλήψεων και της καινοτομίας για την κοινωνία μας και το μέλλον της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **European Photovoltaic Industry Association, 2006**, "Photovoltaic Energy Barometer", <http://www.epia.org>.
- [2] **Καλδέλλης Ι.Κ., Ιωαννίδης Θ., Καββαδίας Κ., Βλάχου Δ., 2002**, "Ανάλυση Ανταγωνισμού στη Διεθνή Φωτοβολταϊκή Αγορά Ισχύουσα Κατάσταση-Δυνατότητες Εφαρμογής στον Ελλαδικό Χώρο", 7ο Εθνικό Συνέδριο ΙΗΤ, Τόμος Α', σελ.151-158, Νοέμβριος-2002, Πάτρα.
- [3] **Καλδέλλης Ι.Κ., Καββαδίας Κ.Α., 2001**. "Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας", Εκδ. Αθ. Σταμούλης.
- [4] **EUREC, 2006**, "The Future for Renewable Energy 2. Prospects and Directions", ed. James and James, London.
- [5] **Kaldellis El., Xirakis Ef., Kavadias K., Kaldellis J.K., 2005**, "Techno-Economic Evaluation of Autonomous Building Integrated Photovoltaic Systems in Greece", International Conference on "Integration of RES into Buildings", July 2005, Patras, Greece.
- [6] **Καλδέλλης Ι.Κ., 1997**, "Περιβαλλοντικές-Κοινωνικές Επιπτώσεις από τη Χρήση των Ήπιων Μορφών Ενέργειας σε Αντικατάσταση Θερμικών Μονάδων", 5^ο Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μόλυβος-Λέσβου, σελ.299-308.
- [7] **Kaldellis J.K., Kavadias K., Kondili E., Spyropoulos G., 2005**, "Education and Research on Renewable Energy Sources (RES): The Soft Energy Applications Laboratory of TEI of Piraeus", International Conference on "Integration of RES into Buildings", July 2005, Patras, Greece.
- [8] **Kaldellis J.K., Koronakis P., Kavadias K., 2003**, "Energy Balance Analysis of A Stand-Along Photovoltaic System, Including Variable System Reliability Impact", Renewable Energy Journal, Vol.29/7, pp.1161-1180.
- [9] **Kaldellis J.K., Spyropoulos G., Chalvatzis K.J., 2004**, "The Impact of Greek Electricity Generation Sector on the National Air Pollution Problem", Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 13 (7), pp.647-656.

- [10] **Καδέλλης Ι.Κ., Σπυρόπουλος Γ., Καββαδίας Κ.Α., 2007**, "Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας: Ηλιακή Ακτινοβολία-Ηλιακά Θερμικά Συστήματα-Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις", Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη.
- [11] **Kondili E., Kaldellis J. K., 2001**, "A Modern Approach to the Design and Organization of the Environmental Education", International Conference on "Ecological Protection of the Planet Earth I", Vol. II, pp.853-861, Xanthi, Greece.