

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΠΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Αλέξανδρος Ζαχαρίου, Χρήστος Πρωτογερόπουλος

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 19^ο χλμ. Α. Μαραθώνος, 190 09 Πικέρμι Αττικής

Τηλ.: (01)6039900, FAX: (01)6039905, eMail: azachar@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων. Το ενδιαφέρον για τις εφαρμογές επικεντρώνεται στον Ελλαδικό χώρο και αναφέρονται οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα. Επίσης περιγράφεται ο ρόλος του ΚΑΠΕ στο χώρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Οι δραστηριότητες του Τμήματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων αφορούν στην ενίσχυση των ερευνητικών δραστηριοτήτων και την ανάπτυξη προϊόντων σχετικών με την τεχνολογία, καθώς και την υποστήριξη της Ελληνικής βιοτεχνίας και βιομηχανίας στο χώρο των Φ/Β. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με τη συμμετοχή σε έργα της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την έρευνα, ανάπτυξη και επίδειξη της Φ/Β τεχνολογίας.

Λέξεις-κλειδιά: Φωτοβολταϊκά, τεχνολογία, διάδοση

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαμόρφωση των σύγχρονων αναγκών έχουν επιβάλλει παγκοσμίως μια ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Η σταδιακή εξάντληση όμως των κοιτασμάτων φυσικών καυσίμων σε συνδυασμό με τις μη αναστρέψιμες περιβαλλοντικές συνέπειες της εκτεταμένης χρήσης τους, οδήγησαν σε μια έντονη προσπάθεια για την ορθολογική χρήση και παραγωγή ενέργειας από περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες. Μια από αυτές είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, που μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρισμό. Η πρόσφατη πρόοδος της τεχνολογίας των ημιαγωγών και των ηλεκτρονικών ισχύος, επιτρέπει την αποδοτική και οικονομικά βιώσιμη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε σημείο που σε ορισμένες εφαρμογές γίνεται ανταγωνιστική της συμβατικής παραγωγής. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, όπου οι συνθήκες δεν επιτρέπουν ή καθιστούν οικονομικά ασύμφορη τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, η παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα ή από άλλες ανανεώσιμες πηγές έχει πολλά πλεονεκτήματα.

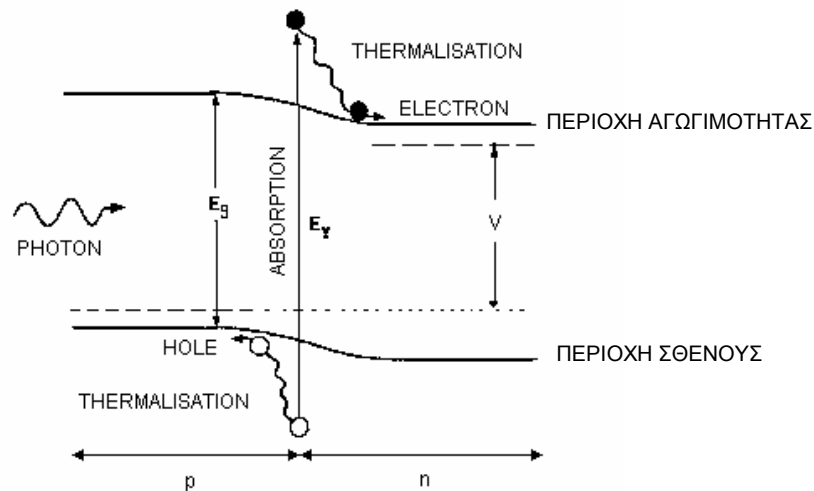
Ο ρόλος του ΚΑΠΕ και του Τμήματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων είναι να ενισχύσει την έρευνα και την ανάπτυξη της τεχνολογίας στην Ελλάδα, να προωθήσει τις εφαρμογές Φ/Β συστημάτων και να δημιουργήσει κίνητρα για την ευρύτερη εξάπλωση των Φ/Β στον Ελλαδικό χώρο αλλά και στην Ευρώπη.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο πρωτοανακαλύφθηκε το 1839, αλλά οι πρώτες εφαρμογές έγιναν δυνατές μετά την ανακάλυψη των ημιαγωγών, το 1954. Όταν κάποια ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός ημιαγώγιμου υλικού, π.χ. πυρίτιο (Si), γάλλιο-αρσενικό (GaAs) κλπ., έχει ενέργεια (E_γ) που ισούται ή ξεπερνά το ενεργειακό κενό (E_g), χαρακτηριστικό του υλικού, τότε αυτή απορροφάται από τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην

περιοχή σθένους του ημιαγωγού. Η ενέργεια που αποκτούν τους επιτρέπει να μεταπηδήσουν στην περιοχή αγωγιμότητας, αφήνοντας πίσω μια θετικά φορτισμένη οπή με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού (βλ. Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Ενεργειακό διάγραμμα ημιαγωγού κατάλληλου για χρήση σε Φ/Β εφαρμογές.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από ημιαγωγικά υλικά, σε τέτοια διάταξη ώστε τα ζεύγη ηλεκτρονίων και οπών, δηλ. αρνητικών και θετικών φορτίων, που δημιουργούνται από την προσπίπτουσα σε αυτά ακτινοβολία, να κινούνται υπό την επίρεια ενός εγγενούς ηλεκτρικού πεδίου προς αντίθετες κατευθύνσεις δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό στη συνέχεια συλλέγεται με ηλεκτρικές επαφές στις πάνω και κάτω επιφάνειες των στοιχείων, είτε για να οδηγηθεί σε κάποιο εξωτερικό κύκλωμα, τροφοδοτώντας φορτία, είτε για αποθήκευση σε συσσωρευτές.

Η καταλληλότητα ενός ημιαγωγού για χρήση σε φωτοβολταϊκά στοιχεία εξαρτάται από το ενεργειακό κενό μεταξύ των περιοχών σθένους και αγωγιμότητας. Το εύρος του ενεργειακού κενού καθορίζει τη διαφορά δυναμικού (τάση) που θα δημιουργηθεί, ενώ όσο μικρότερο είναι το κενό τόσο περισσότερα είναι τα ζεύγη φορτίων που μπορούν να δημιουργηθούν και άρα η ένταση του παραγόμενου ρεύματος. Το ζητούμενο είναι, το γινόμενο αυτών των δύο μεγεθών (τάση και ρεύμα), δηλαδή η ισχύς, να είναι το μέγιστο δυνατό. Σε συνδυασμό με το ενεργειακό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, ο πιο κατάλληλος ημιαγωγός για παραγωγή ρεύματος από τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας είναι το γάλλιο-αρσενικό με θεωρητική δυνατότητα απόδοσης μέχρι 31% περίπου [1]. Εντούτοις, το πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται είναι το πυρίτιο, λόγω του χαμηλού του κόστους και της προχωρημένης τεχνολογίας που το συνοδεύει, η οποία οφείλεται στην ευρεία χρήση του στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών. Η απόδοσή του μπορεί θεωρητικά να φτάσει κοντά στο 28% αλλά αυτή τη στιγμή δεν έχει ξεπεραστεί το 25% σε εργαστηριακό επίπεδο [2], [3]. Η αδυναμία επίτευξης υψηλότερης απόδοσης οφείλεται σε απώλειες λόγω αντανάκλασης, σκίασης από τις ηλεκτρικές επαφές, ελλειπούς απορρόφησης της ακτινοβολίας από τον ημιαγωγό, απώλεια φορτίων πριν τη συλλογή τους και το θεμελιώδες θερμοδυναμικό όριο μετατροπής ενέργειας. Σε ερευνητικό επίπεδο γίνεται μια προσπάθεια μείωσης των απωλειών με διάφορες τεχνικές [3] ενώ εξετάζονται και συνδυασμοί υλικών που έχουν θεωρητικά δυνατότητα απόδοσης πάνω από 50% [1], [4], [5].

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η βασική δομική μονάδα κάθε Φ/Β συστήματος. Ομάδες στοιχείων, συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ώστε να δίνουν την επιθυμητή τάση εξόδου,

διαμορφώνουν Φ/Β πλαίσια που επίσης μπορούν να συνδεθούν για να αποτελέσουν μια Φ/Β συστοιχία. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια ενός έτους καταφθάνουν 1730kWh/m^2) απαιτεί μεγάλη επιφάνεια Φ/Β συστοιχιών για την κάλυψη ακόμα και οικιακών αναγκών. Σε επίπεδο Φ/Β πλαισίου, υπό STC (Standard Test Conditions), η απόδοση μιας σύγχρονης εμπορικής Φ/Β γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου είναι της τάξης του 13%. Σημειώνεται ότι οι συνθήκες STC αναφέρονται σε ένταση ακτινοβολίας 1000W/m^2 , θερμοκρασία 25°C και αέρια μάζα $AM=1.5$ ως προς την κατανομή φάσματος. Λόγω της σχετικά χαμηλής ειδικής ισχύος των Φ/Β πλαισίων εξετάζονται επίσης τεχνικές συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, με παραβολικά κάτοπτρα ή άλλες μεθόδους, ώστε η συνολική επιφάνεια να είναι μικρότερη [6].

2.2 Περιφερειακά Φ/Β συστήματος

Επειδή η ηλιακή ενέργεια που φτάνει σε ένα συγκεκριμένο τόπο στη γη έχει έντονες διακυμάνσεις λόγω του 24ωρου κύκλου και των καιρικών συνθηκών, η ουσιαστική εκμετάλλευσή της μπορεί να γίνει μόνο με τη χρήση κάποιου συστήματος αποθήκευσης.

Ο πιο κοινός τρόπος αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας είναι οι συσσωρευτές ή μπαταρίες. Κατά τη φόρτιση η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική και διοχετεύεται πάλι σε μορφή ηλεκτρικού ρεύματος όταν υπάρχει ζήτηση (εκφόρτιση). Για την αποδοτικότερη λειτουργία των συσσωρευτών απαιτείται ειδική σχεδίαση για αντοχή σε κύκλους βαθιάς εκφόρτισης. Συνήθως, σε Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές μολύβδου-οξέως, κλειστού ή ανοιχτού τύπου. Εξετάζονται και άλλοι τύποι συσσωρευτών με μεγάλη διάρκεια ζωής, μειωμένες ανάγκες συντήρησης και χαμηλότερο κόστος [7].

Οι συσσωρευτές συνδυάζονται με έναν ελεγκτή φόρτισης που σκοπό έχει τη διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτισης για τη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος. Οι απώλειες ενέργειας που οφείλονται στη διαδικασία φόρτισης/εκφόρτισης συσσωρευτών είναι συνήθως γύρω στο 10%.

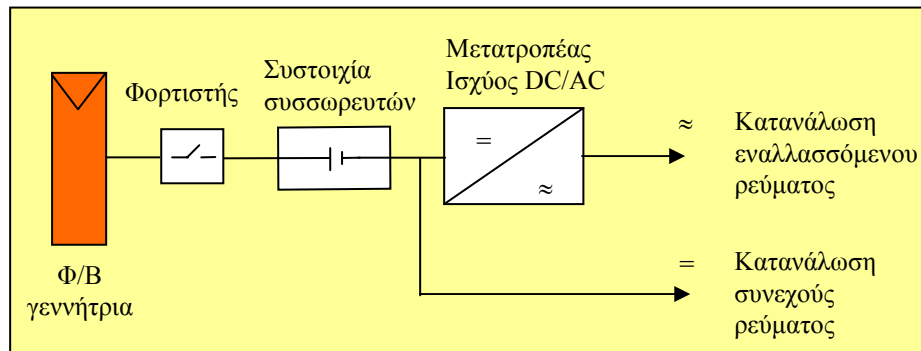
Η ηλιακή ενέργεια μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε μορφή δυναμικής ενέργειας με την άντληση νερού σε κάποια δεξαμενή ή με την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού που κατόπιν χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κινητήρες εσωτερικής καύσεως ή κυψελίδες καυσίμου (fuel cells).

Το ρεύμα που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχές. Τα περισσότερα φορτία που χρησιμοποιούνται σήμερα, λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, οπότε απαιτείται η μετατροπή του παραγόμενου ρεύματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μετατροπέων ισχύος (αντιστροφέας). Κατά τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, ανάλογα με την ποιότητα της παραγόμενης κυματομορφής η απώλεια ηλεκτρικού ρεύματος κυμαίνεται από 5 έως 10%.

2.3 Τύποι Φ/Β συστημάτων

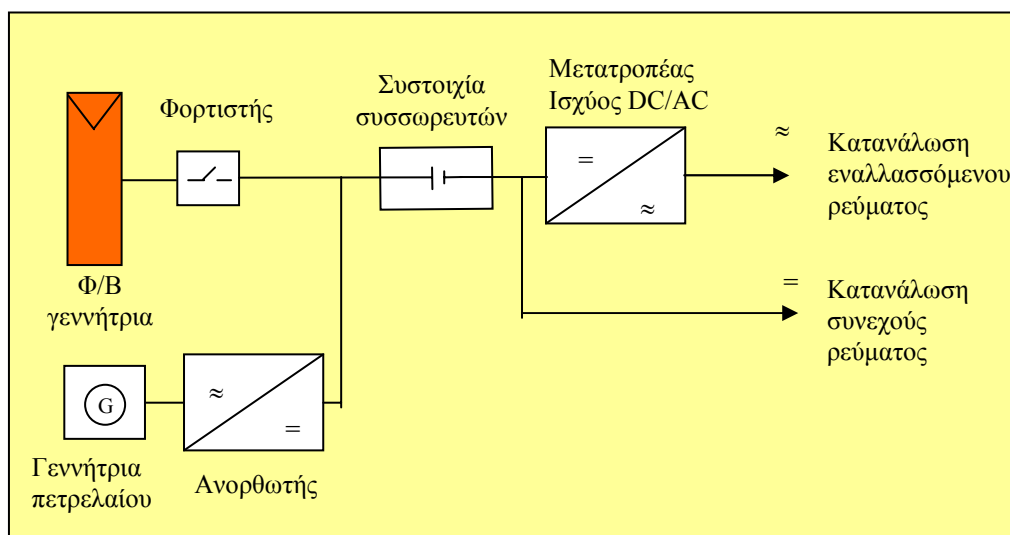
Υπάρχουν διάφοροι τύποι Φ/Β συστημάτων, ανάλογα με τις ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν και τον τόπο της εγκατάστασης. Σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει άλλη παροχή ρεύματος το σύστημα πρέπει να είναι αυτόνομο. Η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στους συσσωρευτές κι από εκεί οδηγείται στην κατανάλωση, είτε απευθείας ως συνεχές ρεύμα είτε μέσω ενός αντιστροφέα ως εναλλασσόμενο. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται απλουστευμένη η τοπολογία αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Η διαστασιολόγηση (επιφάνεια συστοιχιών, χωρητικότητα συσσωρευτών κλπ.) πρέπει να γίνεται με προσοχή και βάσει στατιστικών στοιχείων μετεωρολογικών συνθηκών της περιοχής και καλή γνώση της ημερήσιας καμπύλης ζήτησης φορτίου της εφαρμογής, ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες ακόμα και στη χειρότερη περίπτωση περιορισμένης ηλιοφάνειας, χωρίς να γίνονται υπερβολές που αυξάνουν αδικαιολόγητα το κόστος.



Σχήμα 2: Διάγραμμα αυτόνομου Φ/Β συστήματος

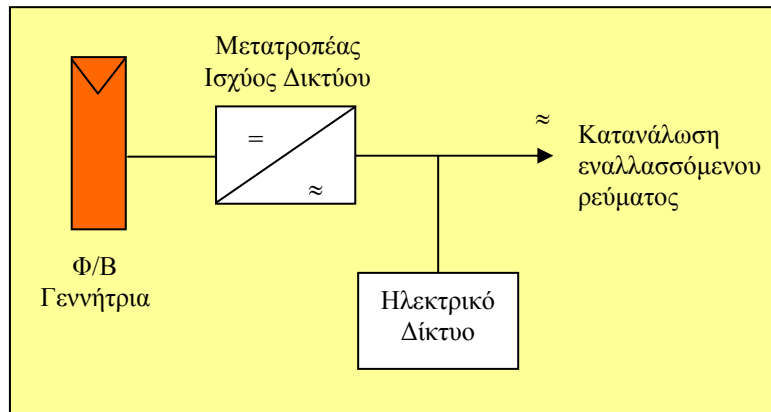
Όταν οι συνθήκες δεν επιτρέπουν την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μόνο με τη χρήση Φ/Β γεννητριών ή υπάρχει υψηλό δυναμικό άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, βιομάζα κλπ.) τότε υπάρχει η δυνατότητα να συνδυαστούν κι άλλες πηγές, συμβατικές ή μη, για τη βελτιστοποίηση του συστήματος και ελαχιστοποίηση του κόστους ή απλά ως δικλείδες ασφαλείας. Ένα τέτοιο σύστημα είναι αυτόνομο υβριδικό (βλ. Σχήμα 3). Στα αυτόνομα συστήματα απαιτείται καλή διαχείριση των φορτίων σε σχέση με τη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών. Βάση αυτής της λογικής, είναι επιθυμητό να καταπονείται κατά το δυνατόν λιγότερο η συστοιχία μπαταριών σε βαθμούς εκφόρτισης που έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο χρόνο ζωής τους αλλά και να ελαχιστοποιείται η χρήση συμβατικών πηγών, π.χ. ντιζελογεννήτριες.



Σχήμα 3: Διάγραμμα υβριδικού συστήματος (Φ/Β-συμβατική γεννήτρια).

Τέλος, σε περιοχές όπου υπάρχει δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού, μπορεί αυτό να ενισχυθεί με την προσθήκη διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, το παραγόμενο ρεύμα τροφοδοτεί κατευθείαν την κατανάλωση, ενώ η τυχόν περίσσεια ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο μέσω κατάλληλου μετατροπέα ισχύος δικτύου. Όταν η παραγωγή ρεύματος από τα Φ/Β δεν καλύπτει τη ζήτηση τότε αυτή συμπληρώνεται από το

δίκτυο. Στο διασυνδεδεμένο σύστημα δεν χρειάζονται συσσωρευτές και η διαστασιολόγηση είναι ανεξάρτητη των αναγκών ή των συνθηκών εφόσον ανά πάσα στιγμή η επιπλέον ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από το δίκτυο, (βλ. Σχήμα 4). Επιπλέον, η επεκτασιμότητα των Φ/Β συστημάτων παρέχει τη δυνατότητα αύξησης της παραγωγής της ηλιακής ενέργειας, εύκολα, οποιαδήποτε στιγμή στο μέλλον. Το σύστημα αυτό είναι το πιο απλό στο σχεδιασμό και κατασκευή αλλά και το πιο οικονομικό εφόσον αποφεύγεται το κόστος των συσσωρευτών που είναι ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής επένδυσης. Προϋποθέτει όμως σύνδεση με κάποιο υπάρχον δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Το μόνο μειονέκτημά του είναι ότι σε περίπτωση διακοπής της παροχής του δικτύου, το παραγόμενο από τον ήλιο ρεύμα μένει ανεκμετάλλευτο.



Σχήμα 3: Διάγραμμα διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

Τυπικές εφαρμογές Φ/Β συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

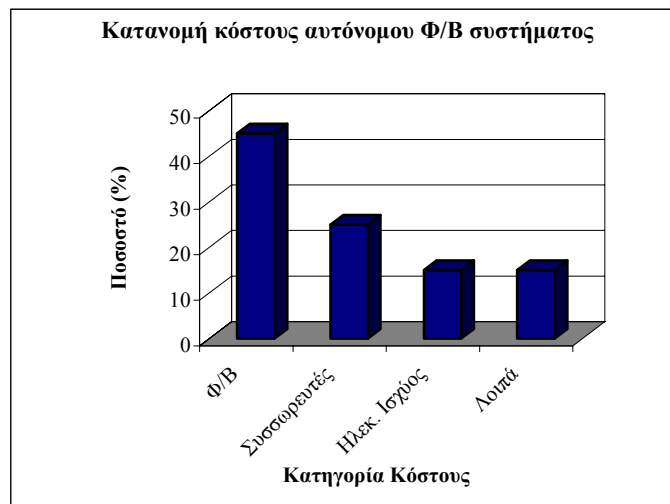
- ηλεκτροδότηση οικιών, τουριστικών εγκαταστάσεων, οικισμών, Ιερών Μονών κλπ.
- αφαλάτωση νερού
- αγροτικές εφαρμογές (άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη προϊόντων κλπ.)
- τηλεπικοινωνίες
- φαρικά συστήματα Πολεμικού Ναυτικού και άλλα συστήματα εκτάκτου ανάγκης
- μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα σε πόλεις (π.χ. ηλεκτροδότηση τηλεφωνικών θαλάμων, παρκομέτρων, στάσεων λεωφορείων, φωτιστικών σωμάτων κλπ.)
- διασυνδεδεμένα κεντρικά φωτοβολταϊκά συστήματα με το δίκτυο της ΔΕΗ
- φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα σε στέγες, προσόψεις κτιρίων και άλλων κατασκευών εξωτερικών χώρων, διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ

Η εμπειρία από τη λειτουργία Φ/Β συστημάτων έχει δείξει την αξιοπιστία τους και τη δυνατότητα μακροχρόνιας λειτουργίας με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Οι μοναδικές ανάγκες συντήρησης των συστημάτων αφορούν κυρίως τους συσσωρευτές, που ανάλογα με τον τύπο τους απαιτούν περιοδική προσθήκη νερού και αντικατάσταση μετά από 4-7 χρόνια ανάλογα με τον τόπο και την αναγκαιότητα της εφαρμογής. Για παράδειγμα, στους φάρους ναυσιπλοΐας, η αντικατάσταση των μπαταριών γίνεται υποχρεωτικά πριν συμπληρωθούν τα 4 χρόνια λόγω της επιβολής για συνεχή και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος. Επίσης, ένας περιοδικός έλεγχος είναι απαραίτητος για την αποφυγή σκίασης των συστοιχιών από φυτά ή δέντρα, βανδαλισμούς και στοιχειώδη καθαρισμό.

2.4 Κόστος

Σήμερα στην Ελλάδα, το συνολικό κόστος για την εγκατάσταση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος κυμαίνεται από 2,8 έως 3,7 εκ. δραχμές περίπου, ανά εγκατεστημένο kW_p, ενώ το διασυνδεδεμένο κοστίζει από 2,2 έως 2,6 εκ. δραχμές ανά εγκατεστημένο kW_p. Πρέπει να επισημανθεί ότι το κόστος εξαρτάται από τον τόπο της εγκατάστασης και τις δυσκολίες που παρουσιάζονται για τη μεταφορά των απαιτούμενων υλικών, μειώνεται δε αυξανόμενου του μεγέθους της εγκατάστασης.

Το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους ενός αυτόνομου συστήματος οφείλεται στην αγορά των Φ/Β συστοιχιών (45%) ενώ το 25% της επένδυσης αφορά τους συσσωρευτές. Το υπόλοιπο κόστος αφορά τα ηλεκτρονικά του συστήματος και άλλα έξοδα όπως υποστηρικτικές κατασκευές, αντικεραυνική προστασία και άλλες εργασίες, βλ. Σχήμα 5.



Σχήμα 5: Κατανομή κόστους σε αυτόνομο Φ/Β σύστημα.

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην αισθητική των Φ/Β συστημάτων και στην αρμονική ένταξή τους στον περιβάλλοντα χώρο. Ειδικά στην Ευρώπη και στον υπόλοιπο αναπτυγμένο κόσμο, όπου η διαθέσιμη επιφάνεια για εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων είναι περιορισμένη και αρκετά ακριβή, η ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Υπάρχει πληθώρα τεχνικών με τις οποίες Φ/Β πλαίσια μπορούν να ενσωματωθούν σε υπάρχουσες κατασκευές όπως κεραμοσκεπές, ταρατσες, προσόψεις κτιρίων κ.ά. ή σε νεοσχεδιασμένες, αντικαθιστώντας δομικά υλικά (σκίαστρα, υαλοπίνακες, ηχοπετάσματα κλπ). Η ενσωμάτωση με ταυτόχρονη αντικατάσταση δομικών υλικών μειώνει σημαντικά το συνολικό κόστος της κατασκευής, ενώ το αποτέλεσμα είναι αισθητικά αρμονικό και βοηθάει στη διάδοση της τεχνολογίας των Φ/Β και την αποδοχή τους από το ευρύ κοινό.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

3.1 Κίνητρα, νομοθεσία

Η Ελλάδα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για Φ/Β εφαρμογές καθώς όλες οι προϋποθέσεις είναι αρκετά ευνοϊκές, δηλ.:

- Υψηλό ηλιακό δυναμικό (δυνατότητα ετήσιας παραγωγής ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας 1100-1400kWh/kW_p)
- Πλήθος απομονωμένων περιοχών χωρίς σύνδεση με το δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδος

- Περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές με ενεργειακές ανάγκες όπου η χρήση συμβατικών πηγών είναι απαγορευτική
- Ταύτιση των περιόδων υψηλής ζήτησης ενέργειας και αφθονίας ηλιακής ενέργειας, κυρίως λόγω των αναγκών σε συστήματα δροσισμού/ψύξης
- Έντονο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επιβάλλει τη στροφή σε ήπιες μορφές ενέργειας

Εκτός από τον νόμο 2244/94 και τον Αναπτυξιακό Νόμο 2601/98 που υποστηρίζουν και ενισχύουν τις Φ/Β εφαρμογές στην Ελλάδα, κίνητρα παρέχονται και από ορισμένα προγράμματα χρηματοδότησης. Το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ) που συγχρηματοδοτείται από την Ελληνική Κυβέρνηση και την Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω του Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης, αποτελεί τη σημαντικότερη εθνική επιχορήγηση για τη διάδοση των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα της χώρας. Οι επιχορηγήσεις ανέρχονται συνήθως στο 40% και αφορούν επενδύσεις άνω των 20εκ. δραχμών για Φ/Β συστήματα, σε διάφορες προκηρύξεις των τελευταίων ετών. Ποσοστό επιχορήγησης 70% για Φ/Β και κεντρικά ηλιακά συστήματα δόθηκε στην έκτακτη προκήρυξη του ΕΠΕ II το καλοκαίρι του 1999, που αφορούσε επενδυτικές δραστηριότητες στην Κρήτη. Τέλος, ο Νόμος 2364/95 παρέχει κίνητρα σε ιδιώτες με τη φοροαπαλλαγή του 75% της δαπάνης που αφορά στην αγορά και εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ και φυσικού αερίου.

Επιπλέον, υπάρχουν Ευρωπαϊκά Προγράμματα Χρηματοδότησης ΑΠΕ στα πλαίσια του 5ου Προγράμματος Πλαισίου Δράσεων Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης και Επίδειξης για την περίοδο 1998-2002, που παρέχουν το 35-50% επιλέξιμων δαπανών έργων που αφορούν στη Φ/Β τεχνολογία. Τα έργα αυτά μπορεί να έχουν ερευνητικό ή επιδεικτικό χαρακτήρα ή ακόμα ένα συνδυασμό και των δύο.

Τα παραπάνω μέτρα αφορούν στην έκπτωση του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Ο Νόμος 2244/94 προβλέπει ότι η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη να αγοράζει την ενέργεια ανεξάρτητων παραγωγών ή διασυνδεδεμένων αυτοπαραγωγών. Όμως, η τιμή αγοράς είναι παρόμοια με την τιμή πώλησης της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Κατά συνέπεια, τα έσοδα από την πώληση Φ/Β ενέργειας εξαρτώνται από την εκάστοτε τιμή συμβατικά παραγόμενης ενέργειας και άρα η απόσβεση ενός Φ/Β συστήματος υψηλού αρχικού κόστους εγκατάστασης γίνεται μετά την πάροδο αρκετών δεκαετιών. Οικονομικό όφελος λοιπόν, χωρίς επιδότηση, υπάρχει μόνο σε απομακρυσμένα αυτόνομα συστήματα. Αντίθετα, σε χώρες του εξωτερικού, όπως η Γερμανία, η Ισπανία κ.ά., η τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι έως και 7 φορές υψηλότερη, με αποτέλεσμα η απόσβεση του αρχικού κόστους να γίνεται πιο αποδοτική. Βέβαια, δεν πρέπει κανείς να παραβλέψει τα δευτερογενή οφέλη τέτοιου είδους επενδύσεων, όπως διαφήμιση, οικολογικός συμβολισμός, αποφυγή κόστους συμβατικών υλικών (κεραμίδια, τζάμια κλπ.) κ.ά.

3.2 Υπάρχουσες εφαρμογές

Παρά την έλλειψη Εθνικού Προγράμματος για τα Φ/Β, υπάρχει ένας αξιοσημείωτος αριθμός εγκαταστάσεων στην Ελλάδα [8], όπως φαίνεται στον Πίνακα I.

Όπως φαίνεται, οι περισσότερες εγκαταστάσεις ανήκουν στη ΔΕΗ, τον ΟΤΕ και το Πολεμικό Ναυτικό ενώ αρκετές είναι αυτές που έχουν γίνει από ιδιώτες επενδυτές. Οι βασικότεροι λόγοι έλλειψης ενδιαφέροντος ιδιωτών είναι το υψηλό κόστος της επένδυσης που απαιτείται, η έλλειψη άμεσων κινήτρων και η περιορισμένη πληροφόρηση σχετικά με την τεχνολογία και τις υπάρχουσες δυνατότητες.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: Εγκαταστάσεις Φ/Β Συστημάτων στην Ελλάδα

Περιοχή	Τύπος	Μονάδες	Συνολική Ισχύς (kW _p)	Ιδιοκτησία
Άγιον Όρος	Υβριδικό	1	45	Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρα
Άγιον Όρος	Υβριδικό	1	15	Ιερά Μονή Μεγίστης Λαύρας
Άγιον Όρος	Αυτόνομο	24	47,5	ΟΤΕ
Άγιον Όρος	Αυτόνομο	1	6,8	COSMOTE
Αιγαίο	Αυτόνομο	80	62	ΔΕΗ
Αντικύθηρα	Αυτόνομο	13	33,4	ΟΤΕ
Αντικύθηρα	Αυτόνομο	1	27,6	ΔΕΗ
Άργος	Αυτόνομο	1	5	RESPECT SA
Αρκαδία	Αυτόνομο	1	2	ΟΤΕ
Αρκοί	Υβριδικό	1	27,5	ΔΕΗ
Βάρη	Διασυνδεδεμένο	1	5,5	BP
Γαύδος	Αυτόνομο	1	20,8	ΔΕΗ
Δονούσα	Αυτόνομο	1	18	Γεωργικό Πανεπιστήμιο
Εύβοια	Αυτόνομο	1	2,4	ΟΤΕ
Θεσσαλονίκη	Διασυνδεδεμένο	1	6,5	ΗΛΠΡΑ Α.Ε.
Καλάβρυτα	Αυτόνομο	1	2,5	ΟΤΕ
Κρήτη	Αυτόνομο	1	6,4	Ξενοδοχειακό συγκρότημα Ελούντα
Κύθνος	Υβριδικό	1	100	ΔΕΗ
Λέσβος	Διασυνδεδεμένο	1	8	ΔΕΗ
Πάρος	Διασυνδεδεμένο	1	10	Χάρμη Α.Ε.
Πικέρμι	Υβριδικό	2	5,4	ΚΑΠΕ
Πικέρμι	Διασυνδεδεμένο	1	4,8	ΚΑΠΕ
Σίφνος	Διασυνδεδεμένο	1	60	ΔΕΗ
Σποράδες	Αυτόνομο	2	5	ΔΕΗ
Φάροι ναυσιπλοΐας	Αυτόνομο	886	63,5	Πολεμικό Ναυτικό
Σύνολο:		1026	590,6	

4. ΚΑΠΕ – ΤΜΗΜΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) είναι το Εθνικό Κέντρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ) και την Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΕ). Με το Νόμο 2244/94 ("Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας"), το ΚΑΠΕ ορίστηκε ως το Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς δραστηριότητάς του. Το ΚΑΠΕ ιδρύθηκε το Σεπτέμβριο του 1987 με το Προεδρικό Διάταγμα 375/87, είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου, εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης - Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ), και έχει οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια. Ο κύριος σκοπός του είναι η προώθηση των εφαρμογών ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΕ σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

4.2 Εργαστηριακή υποδομή

Η εργαστηριακή υποδομή του Τμήματος Φ/Β συστημάτων του ΚΑΠΕ περιλαμβάνει:

- εργαστήριο δοκιμών συσσωρευτών κατά διεθνή πρότυπα ή συγκεκριμένες διεργασίες
- σύστημα παρακολούθησης ηλίου και φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος 4,5kW_p
- φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος 4,8kW_p διασυνδεδεμένη με το δίκτυο της ΔΕΗ (Σχήμα 6)
- εργαστήριο ηλεκτρονικών συστημάτων και ηλεκτρονικών ισχύος
- εργαστήριο κατασκευής και δοκιμών φωτοβολταϊκών πλαισίων
- περιβαλλοντικοί θάλαμοι για δοκιμές ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών
- σταθμός μέτρησης και συλλογής δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας
- σύστημα δοκιμών λειτουργίας υβριδικών συστημάτων
- πειραματική μονάδα αφαλάτωσης νερού, τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης
- εγκατάσταση δοκιμών και μετρήσεων ειδικών αντλιών για φωτοβολταϊκές εφαρμογές
- εγκατάσταση μετρήσεων αυτόνομων φωτιστικών συστημάτων εξωτερικού χώρου
- ηλεκτρικό αυτοκίνητο



Σχήμα 6: Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα ενσωματωμένο στο σκίαστρο του χώρου στάθμευσης των εγκαταστάσεων του ΚΑΠΕ.

4.3 Δραστηριότητες

Οι δραστηριότητες του Τμήματος Φ/Β Συστημάτων του ΚΑΠΕ επικεντρώνονται στην ενίσχυση των ερευνητικών δραστηριοτήτων και την ανάπτυξη προϊόντων σχετικών με την τεχνολογία των Φ/Β. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με τη συμμετοχή σε έργα της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την έρευνα, ανάπτυξη και επίδειξη της Φ/Β τεχνολογίας. Ακόμα, γίνεται σχεδιασμός και εγκατάσταση πρωτότυπων πειραματικών συστημάτων σε διάφορες Φ/Β εφαρμογές (π.χ. συστήματα υβριδικά, αφαλάτωσης, αντλητικά, διασυνδεδεμένα κλπ.), ενώ αναπτύσσονται μετρητικές συσκευές, συστήματα ελέγχου και λογισμικά προγράμματα για αυτά τα συστήματα. Επίσης, δημιουργείται η υποδομή εργαστηρίων σχετικών με τη Φ/Β τεχνολογία, σε συνεργασία με την τοπική και την Ευρωπαϊκή βιομηχανία και έτσι ενισχύεται η εδραίωση της Ελληνικής βιομηχανίας και βιοτεχνίας Φ/Β σε διεθνές επίπεδο.

Επιπλέον, υπάρχει συνεργασία με Δημόσιους και Ιδιωτικούς Οργανισμούς σε Εθνικό και Διεθνές επίπεδο για την προώθηση των Φ/Β (π.χ. ΥΠΕΧΩΔΕ, Υπουργείο Μεταφορών & Επικοινωνιών, Υπηρεσία Φάρων Πολεμικού Ναυτικού, ΕΛΟΤ κλπ.) και γίνεται παρακολούθηση έργων Φ/Β εγκαταστάσεων στα πλαίσια Εθνικών Προγραμμάτων. Σε συνεργασία με αρμόδιους κρατικούς φορείς, γίνεται επεξεργασία και προώθηση νομοθεσίας και κινήτρων, προκειμένου να δημιουργηθεί ευνοϊκό κλίμα για τα Φ/Β στην αγορά.

Τέλος, με τη συμμετοχή σε διεθνείς εκθέσεις και συνέδρια εκπροσωπούνται ελληνικές εταιρείες και φορείς σχετικοί με τη Φ/Β τεχνολογία ενώ γίνεται ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών με άλλα ερευνητικά κέντρα της Ευρώπης αλλά και του υπόλοιπου κόσμου.

Το τμήμα Φ/Β συστημάτων του ΚΑΠΕ συμμετέχει αυτή τη στιγμή σε έργα Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων συνολικού προϋπολογισμού 7.643.175 EURO (προϋπολογισμός ΚΑΠΕ 1.437.177 EURO) που αφορούν:

- Δοκιμή και βελτιστοποίηση εξελιγμένων μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές
- Προοδευτική διεύθυνση των Φ/Β σε δίκτυα νησιών
- Επεκτάσιμους αυτόνομους Φ/Β σταθμούς για αποκεντρωμένο εξηλεκτρισμό
- Εγκατάσταση νέου τύπου Φ/Β συστήματος στη νήσο Σίφνο
- Ένταξη Φ/Β γεννητριών σε κτίρια στην Ισπανία
- Ανάπτυξη συστήματος ενεργειακής διαχείρισης σε ξενοδοχεία
- Φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού δρόμων

Με τη συμμετοχή του Τμήματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων του ΚΑΠΕ στα παραπάνω έργα επιτυγχάνεται η αξιοποίηση των εργαστηρίων του ΚΑΠΕ, η ανάπτυξη λογισμικού και συστημάτων ελέγχου για Φ/Β συστήματα ενώ δημιουργείται η προοπτική παραγωγής ηλεκτρονικών ισχύος με τεχνογνωσία του ΚΑΠΕ. Επίσης, γίνεται σχεδιασμός συστημάτων με τυπικές εφαρμογές σε νησιωτικά δίκτυα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον Ελληνικό χώρο. Η απόκτηση εμπειρίας στο σχεδιασμό, εγκατάσταση και αξιολόγηση Φ/Β σταθμών, η εξοικείωση με την ενσωμάτωση της Φ/Β τεχνολογίας σε κτίρια και η εμπειρία στην έντυπη διάδοση των αποτελεσμάτων, είναι πολύτιμη. Τέλος, η στενή συνεργασία με εταιρείες, ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που δραστηριοποιούνται στο χώρο των Φ/Β, ενισχύουν την ανάπτυξη και διάδοση της τεχνολογίας και τεχνογνωσίας που αναπτύσσεται στην Ελλάδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 1 Henry, C. H. (1980) "Limiting Efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells", **J. Appl. Phys.**, vol. 51, p. 4494.
- 2 Green, M. A. and Emery, K. (1994) "Solar cell efficiency tables", **Progress in Photovoltaics, Research and Applications**, Vol. 2, pp. 231-234.
- 3 Green, M. A., Zhao, J., Wang, A. (1998) "23% Module and other silicon solar cell advances", **2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion**, Vienna, Austria, 1187-1192.
- 4 Chiang, P. K. et al (1996) "Experimental results of GaInP₂/GaAs/Ge triple junction cell development for space power systems", **25th IEEE PVSC**, Washington DC, USA.
- 5 Zachariou, A., Barnham, K. W. J., Griffin, P., Nelson, J. (1996) "A new approach to p-doping and the observation of efficiency enhancement in InP/InGaAs Quantum Well Solar Cells", **25th IEEE PVSC**, Washington DC, USA, 113-116.
- 6 Sala, G. et al (1998) "480 kW_{peak} EUCLIDESTM concentrator power plant using parabolic troughs", **2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion**, Vienna, Austria, 1963-1968.
- 7 Ruddell, A. et al (2000) "Development of a VRLA battery with improved separators and a charge controller for low cost photovoltaic and wind powered installations", **16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**, Glasgow, UK.
- 8 ΚΑΠΕ (1998) «Η Αγορά των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα», **THERMIE STR 938-96-HE/IT**.