

Πρόλογος

Η πρώτη παρατήρηση του φωτοβολταϊκού (ΦΒ) φαινομένου έγινε το 1839, από τον πειραματικό Φυσικό Edmund Becquerel, σε ηλεκτρολυτικά υγρά. Πέρασαν περισσότερο από εκατό χρόνια παρατηρήσεων και πειραματικών προσπαθειών για την ανάδειξη της σημασίας και του ρόλου του φαινομένου αυτού και την αξιοποίησή του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 1954, παρασκευάστηκε η πρώτη ΦΒ κυψελίδα κρυσταλλικού Πυριτίου, με επαφή ημιαγωγών, με απόδοση 4,5% και μετά από μερικούς μήνες 6%, από τους D.M. Chapin, C.S. Fuller και G.L. Pearson. Έκτοτε εντατικοποιήθηκαν οι προσπάθειες για δημιουργία ΦΒ στοιχείων υψηλής και σταθερής απόδοσης. Σήμερα, η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα ωριμότητας, που προδιαγράφουν με σιγουριά την ευρεία διείσδυσή τους, μέσα στην τρέχουσα δεκαετία, στο ενεργειακό δυναμικό κάθε χώρας. Ως πηγές ενέργειας έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά την αέναη, αποδοτική και εξαιρετικά ήπια και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, έχει δοθεί ήδη σημαντική βαρύτητα τόσο στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης της τεχνολογίας του βασικού κυττάρου μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, όσο και της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, που συμπληρώνουν μια ολοκληρωμένη ΦΒ εγκατάσταση. Την προηγούμενη δεκαετία, πολλές από τις χώρες αυτές προχώρησαν στην υλοποίηση πιλοτικών προγραμμάτων ΦΒ εφαρμογών μεγάλης κλίμακας, με στόχο την απόκτηση σχετικής τεχνογνωσίας και την προετοιμασία τους για δραστηριοποίηση σε έργα αντίστοιχα μεγάλης κλίμακας.

Στη χώρα μας, παρά το υψηλό ηλιακό δυναμικό, το μη ενθαρρυντικό θεσμικό περιβάλλον για τα φωτοβολταϊκά, σε συνδυασμό με το υψηλό, προς το παρόν, κόστος τους, περιορίζει το ενδιαφέρον των πολιτών για την τεχνολογία αυτή. Πρόσφατα, η προοπτική θέσπισης νέου, ευνοϊκότερου νομοθετικού πλαισίου για τις Α.Π.Ε. και ιδιαίτερος για τα φωτοβολταϊκά, αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον του κοινού, τόσο για αυτοπαραγωγή όσο και για επενδύσεις μεγάλης κλίμακας.

Παράλληλα, οι υψηλοί ρυθμοί εργοστασιακής παραγωγής ΦΒ πλαισίων διεθνώς καθώς και οι αυξανόμενοι ρυθμοί εγκατάστασής τους σε παγκόσμια κλίμακα, ενισχύουν την προοπτική ανάπτυξης νέων επαγγελματικών δραστηριοτήτων στο συγκεκριμένο τομέα. Στα πλαίσια αυτής της προοπτικής, η συμβολή των τριτοβάθμιων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της χώρας μας θα είναι καθοριστική στους τομείς της εκπαίδευσης και της τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης.

Σκοπός του συγγράμματος και οργάνωση της ύλης του

Σκοπός και περίγραμμα ύλης

Κατευθυντήρια γραμμή για τη συγγραφή του βιβλίου αυτού απετέλεσε η επιδίωξη δη-

μιουργίας ενός εκπαιδευτικού βοηθήματος, σε επίπεδο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, το οποίο, αφ' ενός να καλύπτει επαρκώς το θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο της τεχνολογίας των ΦΒ συστημάτων, αφ' ετέρου να παρέχει στον εκπαιδευόμενο τα απαραίτητα εφόδια είτε για επαγγελματική αξιοποίηση είτε για μεταπτυχιακές σπουδές.

Δόθηκε βαρύτητα αφ' ενός στην εννοιολογική θεμελίωση των θεμάτων που αφορούν στην ηλιακή ακτινοβολία, στο μηχανισμό εμφάνισης του ΦΒ φαινομένου και στη λειτουργία των ΦΒ στοιχείων, αφ' ετέρου στη λεπτομερή μελέτη των ΦΒ συστημάτων και στο μεθοδολογικό καθορισμό του κατάλληλου μεγέθους τους, που ολοκληρώνεται με την εξέταση επιλεγμένων παραδειγμάτων τυπικών ΦΒ εφαρμογών. Η διάρθρωση της ύλης ακολουθεί τη μεθοδολογία της προσέγγισης του κύριου στόχου, δηλαδή της μεθοδολογίας υπολογισμού ενός ΦΒ συστήματος, αφού προηγουμένως μελετηθούν τα φαινόμενα, η τεχνολογία και οι φυσικές ποσότητες που αφορούν στο ΦΒ φαινόμενο. Η παρουσίαση των θεμάτων γίνεται με γνώμονα την κριτική αναζήτηση της σημασίας των εννοιών, στα πλαίσια, βεβαίως, του εκπαιδευτικού χαρακτήρα του βιβλίου. Ο ενδιαφερόμενος για περισσότερη ανάλυση και πληροφορία στο αντικείμενο, θα βρει πληθώρα πρόσφατων αναφορών σε κάθε ειδικού ενδιαφέροντος θέμα καθώς και αναφορές σε καταξιωμένα συγγράμματα που περιλαμβάνονται στον πίνακα βιβλιογραφίας.

Σε γενικές γραμμές, παρουσιάζεται αναλυτικά το ΦΒ φαινόμενο, η ερμηνεία του και οι παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνισή του. Εξετάζεται σύντομα η σχετική τεχνολογία παρασκευής της φωτοβολταϊκής κυψελίδας και των ΦΒ πλαισίων. Στη συνέχεια, μελετάται η μεθοδολογία υπολογισμού του μεγέθους ενός ΦΒ συστήματος, αρχικά για συνεχείς αίθριες ημέρες και στη συνέχεια, με δυνατότητα ορισμένων ημερών αυτονομίας, με εφαρμογή της διατήρησης της παρεχόμενης από τον ήλιο ενέργειας. Διατυπώνεται η σχέση εξάρτησης της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΦΒ συστοιχία, με βάση το ηλιακό δυναμικό, τις συνθήκες λειτουργίας και τις δυνατότητες του ΦΒ πλαισίου. Ομοίως, εξετάζεται ο προσδιορισμός των υπολοίπων τμημάτων ενός ΦΒ συστήματος. Η μελέτη ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της μεθοδολογίας υπολογισμού των ΦΒ υβριδικών συστημάτων, αφού προηγουμένως μελετηθεί συνοπτικά η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας.

Αναλυτική παρουσίαση του περιεχομένου των κεφαλαίων

Στην Εισαγωγή περιλαμβάνεται μια γενική παρουσίαση των συμβατικών καθώς και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, στα χαρακτηριστικά, στη σημασία και στην αξιοποίησή τους, από την Αρχαιότητα μέχρι σήμερα.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Εξετάζεται η προέλευσή της, τα χαρακτηριστικά της στην επιφάνεια της γης και η μεταβολή της κατά τη διάρκεια της ημερήσιας κίνησης του ήλιου. Διερευνάται, επίσης, η σημασία του προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη, για τη μεγιστοποίηση της συλλεγόμενης ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και των εποχών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια σύντομη αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο που

αφορά στους ημιαγωγούς, δεδομένου ότι το ΦΒ φαινόμενο εμφανίζεται με έμφαση σ' αυτούς. Ο στόχος είναι να αναδειχθεί η σημασία των χαρακτηριστικών της ύλης που συμβάλουν σ' αυτή την ελπιδοφόρα μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η δίοδος ημιαγωγών, που έφερε την επανάσταση στο χώρο των ηλεκτρονικών, στις αρχές του δεύτερου μισού του 20ου αιώνα, σε συνδυασμό με το φως, δημιούργησε νέα προοπτική για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Το τρίτο κεφάλαιο αφιερώνεται στο φαινόμενο της γένεσης της ηλεκτρικής ενέργειας από το φως που απορροφάται από διάταξη υλικών. Εξετάζονται αναλυτικά όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή ενός ΦΒ στοιχείου κατά τη μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική και διερευνώνται τα όριά της. Θεμελιώνονται οι βασικές έννοιες και η ορολογία της ΦΒ παραγωγής ενέργειας και εξετάζεται η σχέση εξάρτησης της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Παρόμοια αναλυτική εξέταση γίνεται και για τη βιομηχανική μονάδα φωτοβολταϊκής παραγωγής, το ΦΒ πλαίσιο καθώς και τους συνδυασμούς τους σε ΦΒ συστοιχία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η λειτουργία και οι δυνατότητες των ηλεκτρικών συσσωρευτών, δεδομένης της σημασίας τους στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Εξετάζεται, σε συντομία, η λειτουργία και η σημασία των ηλεκτρονικών συσκευών που απαιτούνται σ' ένα ΦΒ σύστημα, προκειμένου να μεταφερθεί, να αποθηκευτεί ή να μετατραπεί η παραγόμενη ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια.

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά στην παρουσίαση της μεθοδολογίας υπολογισμού των υποσυστημάτων ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος. Προηγείται θεωρητική ανάλυση για τον προσδιορισμό των βασικών χαρακτηριστικών τους, δηλαδή της ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας και της χωρητικότητας του συσσωρευτή, με απαίτηση πλήρους κάλυψης του ημερήσιου φορτίου ζήτησης και δυνατότητα αυτονομίας αποθήκευσης ορισμένων ημερών το μήνα. Προσδιορίζονται επίσης οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου και μετατροπής ηλεκτρικών τάσεων και το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, ως βοηθητική ενεργειακή πηγή σε περιόδους αδυναμίας του συστήματος. Το κεφάλαιο συμπληρώνεται με μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα ΦΒ εφαρμογών.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στη μελέτη των ΦΒ υβριδικών συστημάτων. Εξετάζονται οι κύριες μεθοδολογίες προσδιορισμού του μεγέθους των βασικών υποσυστημάτων τους, δηλαδή της ΦΒ συστοιχίας, της ανεμογεννήτριας (ΑΓ) και του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (H/Z), αν περιλαμβάνεται. Για διευκόλυνση της μελέτης τους, προηγείται μια σύντομη αναφορά στην αιολική ενέργεια και σκιαγραφείται η μεθοδολογία υπολογισμού του μεγέθους ανεμογεννήτριας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων σχετικών εφαρμογών. Τα υβριδικά συστήματα παρουσιάζουν μειωμένη στοχαστικότητα σε σχέση με κάθε μια από τις συνδυαζόμενες ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές κι αυτό αποτελεί το βασικό πλεονέκτημά τους. Η εξέταση του ολικού κόστους του υβριδικού συστήματος σ' όλη τη διάρκεια ζωής του, με αναγωγή του σε ολικό κόστος πρώτου έτους εγκατάστασης (μέθοδος υπολογισμού κόστους κύκλου ζωής του συστή-

ματος, LCC), οδηγεί στο βέλτιστο συνδυασμό των συνιστωσών του συστήματος, για την κάλυψη των φορτίων ζήτησης της εφαρμογής.

Κάθε κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σειρά προτεινομένων ερωτήσεων και προβλημάτων, απαραίτητων για την εμπέδωση των θεμάτων του κεφαλαίου. Η προσεκτική επιλογή, εκ μέρους του διδάσκοντα, των θεμάτων που θεωρεί ως σημαντικότερα για τον τελικό σκοπό του μαθήματος, ως μέρους ενός συνολικού προγράμματος σπουδών, θα βοηθήσει ιδιαίτερα στην επιτυχία των στόχων του παρόντος συγγράμματος. Είναι γεγονός, πάντως, ότι η ουσιαστική αφομοίωση και κατανόηση των θεμάτων αυτών απαιτεί και εργαστηριακή εμπέδωσή τους, μέσα από μια σειρά καλά μελετημένων εργαστηριακών ασκήσεων, ώστε ο διδασκόμενος να αποκτήσει και πρακτική εμπειρία επί του αντικειμένου.

Ευχαριστίες

Θέλω να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στους συναδέλφους και φίλους, Παναγιώτη Τζανετάκη, αναπληρωτή καθηγητή του Φυσικού τμήματος του Πανεπιστημίου Κρήτης και Μιχάλη Κτενιαδάκη, Μηχανολόγο-Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, επίκουρο καθηγητή του ΤΕΙ Κρήτης, για την καλοσύνη τους να αφιερώσουν αρκετό απ' τον πολύτιμο χρόνο τους στην ανάγνωση τμημάτων του βιβλίου αυτού και να συμβάλουν, με τις εύστοχες υποδείξεις και παρατηρήσεις τους και την εποικοδομητική κριτική τους, στην ουσιαστική βελτίωση του κειμένου του.

Ιωάννης Φραγκιαδάκης

Σχόλια του συγγραφέα για τη 2η έκδοση του βιβλίου

Στα πλαίσια της προετοιμασίας της δεύτερης έκδοσης του συγγράμματος έγιναν σημαντικές βελτιώσεις στα κείμενα της πρώτης έκδοσης, με σκοπό την ολοκληρωμένη παρουσίασή του. Στην προσπάθεια αυτή, πολύτιμες υπήρξαν οι εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις πολλών συναδέλφων, που μου έκαναν την τιμή να το μελετήσουν με κριτική διάθεση, καθώς και των σπουδαστών που το χρησιμοποίησαν ως διδακτικό βοήθημα. Αισθάνομαι την υποχρέωση να τους ευχαριστήσω εγκάρδιως για τη σημαντική βοήθειά τους. Ιδιαίτερος, θέλω να ευχαριστήσω το συνάδελφο Φώτη Μαυροματάκη, Επίκουρο Καθηγητή του Γ.Τ.Θ.Ε. του ΤΕΙ Κρήτης και τον Δρ. Φυσικό κ. Εμμ. Στρατάκη, Επιστημονικό Συνεργάτη του ΤΕΙ Κρήτης, για τις εύστοχες και ουσιαστικές υποδείξεις τους.

Έχω την ελπίδα, η προσπάθεια αυτή να επιτύχει του στόχου της και η δεύτερη έκδοση του συγγράμματος να ανταποκριθεί πλήρως, τόσο στις επιστημονικές και εκπαιδευτικές απαιτήσεις και ανησυχίες διδασκόντων και σπουδαστών, όσο και στις προσδοκίες εκείνων που θα το αξιοποιήσουν στις επαγγελματικές τους δραστηριότητες, ως πηγή αναφοράς στα θέματα της Φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και των εφαρμογών της.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

Οι συμβατικές και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	1
I. Η ενέργεια ως στόχος και ως προοπτική ανάπτυξης	1
II. Οι πηγές ενέργειας σήμερα	3
III. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	5
IV. Η ενεργειακή πολιτική στη χώρα μας και διεθνώς	10

1ο Κεφάλαιο

Η Ηλιακή ακτινοβολία

1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	15
1.1.1 Η θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	15
1.1.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	21
1.1.2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη της ΗΜ ακτινοβολίας	21
1.1.2.2 Φωτομετρικά μεγέθη	29
1.2 Η ηλιακή ακτινοβολία και η επίδραση της ατμόσφαιρας της γης	31
1.2.1 Ο ήλιος	31
1.2.2 Η ακτινοβολία του ήλιου	31
1.2.3 Η ηλιακή σταθερά	32
1.2.4 Στοιχεία ατμοσφαιρικής Φυσικής	33
1.2.4.1 Τα κύρια αέρια της ατμόσφαιρας και η σημασία τους	35
1.2.4.2 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας	37
1.2.4.3 Η επίδραση της ατμόσφαιρας της γης στη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας	39
1.2.5 Ολική, απευθείας, διάχυτη και διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία. Ορολογία	46
1.3 Όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας και της φασματικής της κατανομής	54
1.4 Η κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο. Οι συντεταγμένες της θέσης του ήλιου σε σύστημα παρατηρητή	58
1.4.1 Χρόνος ανατολής – δύσης ήλιου. Διάρκεια ημερήσιου τόξου	63
1.5 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο	65
1.6 Ηλιοφάνεια	67
1.7 Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος	68

1.8	Εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας	69
1.8.1	Δυνατότητα αξιοποίησης της ΦΒ ενέργειας	71
1.9	Προσανατολισμός του συλλέκτη	73
1.9.1	Στοιχεία προσδιορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη	73
1.9.2	Προσανατολισμός συλλέκτη ως προς τον αληθνή Νότο	75
1.9.2.1	Προσδιορισμός του αληθούς Νότου	75
1.9.2.2	Ο αληθής ηλιακός χρόνος και η Εξίσωση του Χρόνου	76
1.9.2.3	Προσδιορισμός του αληθούς Νότου με βάση τον επίσημο ή πολιτικό χρόνο του τόπου	78
1.9.3	Τρόποι στήριξης των συλλεκτών και προσανατολισμός τους	80
1.9.3.1	Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης. Γωνία κλίσης για βέλτιστη ενεργειακή απολαβή συλλέκτη	80
1.9.3.2	Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη	83
1.9.3.3	Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από ένα ή δύο άξονες	83
1.10	ΦΒ συλλέκτες ειδικής διαμόρφωσης	86
1.10.1	ΦΒ πλαίσια συγκεντρωτικού τύπου	86
1.10.2	Επίπεδα ΦΒ πλαίσια με ανακλαστήρες	88
1.11	Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχιών ΦΒ συγκροτήματος	88
	Ερωτήσεις και προβλήματα	96

2ο Κεφάλαιο

Στοιχεία από τη Φυσική Στερεάς Κατάστασης.

Η επαφή ημιαγωγών τύπου p και n

2.1	Η έννοια της διάχυσης	101
2.2	Το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή της επαφής δύο σωμάτων	104
2.2.1	Ο ρόλος του ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου στη δημιουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου	106
2.3	Ημιαγωγοί. Επαφή p-n ημιαγωγών	107
2.3.1	Η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η θεωρία των ενεργειακών ζωνών των κρυσταλλικών στερεών	107
2.3.2	Διάκριση των υλικών με κριτήριο την αγωγιμότητά τους, σύμφωνα με τη θεωρία ζωνών	112
2.3.3	Στατιστική Fermi σε μέταλλα και ημιαγωγούς	113
2.3.3.1	Μέταλλα	114
2.3.3.2	Ενδογενής ημιαγωγός	116
2.3.3.3	Οι συγκεντρώσεις των φορέων στον ενδογενή ημιαγωγό	117

2.3.4	Ημιαγωγοί πρόσμειξης	119
2.3.5	Επαφή ημιαγωγών p-n	122
2.3.5.1	Η στάθμη Fermi στην επαφή p-n	126
2.3.5.2	Τάξη μεγέθους ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου	127
2.4	Ηλεκτρική συμπεριφορά της επαφής p-n	127
2.4.1	Εφαρμογή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης στην πραγματική επαφή p-n	127
2.4.2	Φορείς πλειονότητας και μειονότητας	129
2.4.3	Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος - τάσης μιας επαφής p-n	133
2.4.4	Τάση διάσπασης επαφής	136
	Ερωτήσεις και προβλήματα	137

3ο Κεφάλαιο

Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

3.1	Απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από την ύλη	143
3.1.1	Φωτοαγωγιμότητα	147
3.1.2	Εύχρηστη μορφή της σχέσης E-λ	148
3.2	Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	149
3.2.1	Οι βασικές προϋποθέσεις δημιουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου	149
3.2.2	Λεπτομέρειες εσωτερικών διεργασιών. Το ηλεκτρικό πεδίο επαφής και ο ρόλος του	149
3.2.3	Τα ηλεκτρικά ρεύματα στο εσωτερικό ενός ΦΒ στοιχείου	152
3.2.4	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ στοιχείου	153
3.2.5	Ισοδύναμο κύκλωμα φωτιζόμενου ΦΒ στοιχείου	155
3.2.6	Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου	157
3.2.7	Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος	158
3.2.8	Καμπύλη φόρτου	159
3.2.9	Το ΦΒ φαινόμενο περιληπτικά	160
3.3	Η τεχνολογία του ΦΒ στοιχείου	161
3.3.1	Τεχνικές δημιουργίας των επαφών p-n ΦΒ στοιχείων	161
3.3.2	Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου	165
3.3.2.1	Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων	167
3.3.2.2	Οργανικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία	168
3.3.3	Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του ΦΒ στοιχείου. Αντιανακλαστική επίστρωση	170
3.4	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ στοιχείου	172
3.4.1	Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου	172
3.4.2	Η καμπύλη I-V ενός ΦΒ στοιχείου	174
3.4.3	Πρότυπες συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείων. Η έννοια της ισχύος αιχμής	175

3.4.4	Εξάρτηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του ΦΒ στοιχείου από την πυκνότητα ισχύος της ΗΜ ακτινοβολίας	176
3.4.5	Παράγων πλήρωσης ΦΒ στοιχείου	177
3.4.6	Η απόδοση του ΦΒ στοιχείου	178
3.4.6.1	Εξάρτηση της ισχύος αιχμής και της απόδοσης του ΦΒ στοιχείου από την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας	180
3.4.6.2	Θεωρητικό όριο της απόδοσης των ΦΒ στοιχείων	181
3.4.6.3	Αναλυτικός προσδιορισμός του ιδανικού ορίου απόδοσης των ΦΒ στοιχείων	182
3.4.7	Επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ στοιχείου	186
3.4.8	ΦΒ στοιχεία ειδικής σχεδίασης, βελτιωμένης απόδοσης	191
3.5	Μείωση κόστους των ΦΒ στοιχείων με την εξέλιξη της τεχνολογίας	192
3.6	Τρόποι σύνδεσης ΦΒ στοιχείων	193
3.7	Το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	195
3.7.1	Κατασκευαστικά στοιχεία	195
3.7.2	Η ονομαστική ισχύς ενός ΦΒ πλαισίου. Συνθήκες κανονικής λειτουργίας	199
3.8	Απόδοση του ΦΒ πλαισίου και παράγοντες που την επηρεάζουν	200
3.8.1	Συντελεστής απόδοσης του ΦΒ πλαισίου	200
3.8.1.1	Αναλυτική παρουσίαση των παραγόντων που επηρεάζουν το συντελεστή απόδοσης	203
3.8.2	Κατανομή θερμοκρασίας σε ΦΒ πλαίσιο	209
3.8.3	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου. Εξάρτησή τους από τη θερμοκρασία κυψελίδας του ΦΒ πλαισίου	210
3.8.4	Πειραματικά αποτελέσματα για την εξάρτηση της μέγιστης ισχύος ΦΒ πλαισίου από τη θερμοκρασία	212
3.8.5	Σημείο λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές πυκνότητες ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας	214
3.9	Προβλήματα σκίασης ή βλάβης ενός ΦΒ στοιχείου του πλαισίου. Διατάξεις προστασίας της λειτουργίας των ΦΒ πλαισίων	215
3.10	Επιμερισμός του κόστους κατασκευής του ΦΒ πλαισίου	217
3.11	Το ΦΒ σύστημα	218
3.11.1	Συντελεστής απόδοσης ΦΒ συστοιχίας	219
3.11.2	Βασική μορφή ενός ΦΒ συστήματος	223
	Ερωτήσεις και προβλήματα	226

4ο Κεφάλαιο

Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και διαχείριση ισχύος σε ΦΒ συστήματα

4.1	Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές	233
4.1.1	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή	233
4.1.2	Συσσωρευτής Μολύβδου - Θεικού οξέος (Pb/H ₂ SO ₄)	235
4.1.3	Χρόνος ζωής συσσωρευτή	239
4.1.4	Προσδιορισμός της κατάστασης φόρτισης συσσωρευτή (State Of Charge, SOC)	240
4.1.5	Εξάρτηση της χωρητικότητας συσσωρευτή από τους κύκλους λειτουργίας του με δεδομένο βάθος εκφόρτισης	242
4.1.6	Επίδραση θερμοκρασίας λειτουργίας στο χρόνο ζωής του συσσωρευτή	243
4.1.6.1	Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Πάγωμα του ηλεκτρολύτη	244
4.1.7	Αναγωγή της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη σε θερμοκρασία αναφοράς	245
4.1.8	Ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή	245
4.1.9	Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή	246
4.1.10	Απόδοση ενέργειας και φορτίου	246
4.1.11	Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή	247
4.1.12	Καμπύλη φόρτου σε ΦΒ σύστημα με και χωρίς συσσωρευτές	247
4.2	Τα ηλεκτρονικά των φωτοβολταϊκών	251
4.2.1	Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή	251
4.2.2	Μετατροπείς (converters) DC-DC, DC-AC και AC-DC	254
	Ερωτήσεις και προβλήματα	260

5ο Κεφάλαιο

Φωτοβολταϊκά συστήματα

5.1	Χαρακτηριστικά, κατηγορίες και σύνθεση των ΦΒ συστημάτων	263
5.1.1	Χαρακτηριστικά των ΦΒ συστημάτων	263
5.1.2	Κατηγορίες και σύνθεση ΦΒ συστημάτων	263
5.2	Αυτόνομα ΦΒ συστήματα	267
5.2.1	Ροή ενέργειας από τη ΦΒ συστοιχία στην κατανάλωση	267
5.2.2	Μελέτη - σχεδιασμός αυτόνομου ΦΒ συστήματος	269
5.2.3	Καθορισμός των υποσυστημάτων ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος. Κάλυψη των ημερησίων ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής	269
5.2.3.1	Συσχέτιση παραγόμενης και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σ' ένα ΦΒ σύστημα	270
5.2.3.2	Ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	271
5.2.3.3	Ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια φορτίων κατανάλωσης	271
5.2.3.4	Ενεργειακό ισοζύγιο ημερησίων παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	271

5.2.3.5	Συντελεστές απωλειών μεταφοράς ενέργειας	273
5.2.3.6	Συντελεστές απόδοσης ΦΒ συστοιχίας - ΦΒ συστήματος	275
5.2.3.7	Λόγος επίδοσης ΦΒ συστοιχίας - ΦΒ συστήματος	275
5.2.3.8	Αποδοτικότητα ΦΒ συστοιχίας - ΦΒ συστήματος	277
5.2.4	Στιγμαίεις και μέσες τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών της ηλιακής ακτινοβολίας και της αποδιδόμενης μέγιστης ισχύος ΦΒ ενέργειας	280
5.2.5	Συσχέτιση της ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας με την παραγόμενη απ' αυτήν ηλεκτρική ισχύ	282
5.2.6	Συσχέτιση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με την ιδανική δυνατότητα μιας ΦΒ συστοιχίας	283
5.2.7	Ισοδύναμοι χρόνοι ηλιοφάνειας και αποδοτικότητας ΦΒ συστοιχίας	289
5.2.8	Υπολογισμός της ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας	291
5.2.8.1	Φωτοβολταϊκό δυναμικό ενός τόπου	292
5.2.9	Υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας της συστοιχίας συσσωρευτών ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος	295
5.2.9.1	Εκτίμηση των οριακών τιμών του βάθους εκφόρτισης συσσωρευτή	297
5.3	Καθορισμός της ΦΒ συστοιχίας	299
5.3.1	Σχεδιασμός - Κριτήρια	299
5.3.2	Οικονομικά στοιχεία	305
5.4	Προσδιορισμός αυτόνομου ΦΒ συστήματος με απαίτηση αυτονομίας ορισμένων ημερών	308
5.4.1	Ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων, η ημερών αυτονομίας	309
5.4.2	Χωρητικότητα συσσωρευτή με βάση την αυτονομία του ΦΒ συστήματος	311
5.4.3	Κόστος ενέργειας αυτόνομου ΦΒ συστήματος σε σχέση με τις ημέρες αυτονομίας	312
5.5	Παραδείγματα υπολογισμού αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση την αυτονομία του συσσωρευτή	315
	Ερωτήσεις και προβλήματα	336

6ο Κεφάλαιο

ΦΒ Υβριδικά Συστήματα

6.1	Αιολική ενέργεια	343
6.1.1	Η ταχύτητα του ανέμου	343
6.1.1.1	Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος πάνω από το έδαφος	349
6.1.1.2	Επίδραση μεμονωμένων εμποδίων στη ροή του ανέμου	351
6.1.2	Ισχύς κινητικής ενέργειας ανέμου	351
6.1.3	Ανεμογεννήτριες	352

6.1.3.1	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια	352
6.1.4	Αιολικά συστήματα	354
6.1.5	Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική	354
6.1.6	Μεθοδολογία καθορισμού της ονομαστικής ισχύος ΑΓ	359
6.1.6.1	Μέσος συντελεστής ισχύος ΑΓ	360
6.1.6.2	Διαδοχικά βήματα προσδιορισμού της ονομαστικής ισχύος ΑΓ. Περίπτωση πλήρους κάλυψης φορτίου	365
6.1.6.3	Αιολικό υβριδικό σύστημα ανεμογεννήτριας και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	368
6.2	ΦΒ υβριδικά συστήματα	367
6.2.1	Βασικά στοιχεία ΦΒ υβριδικού συστήματος	370
6.2.2	Υπολογισμός των συντελεστών ισχύος, με βάση τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης	373
6.2.3	Αναλυτική παρουσίαση των βασικών μεθοδολογιών υπολογισμού ενός ΦΒ υβριδικού συστήματος	376
6.2.3.1	ΦΒ υβριδικό σύστημα με ΑΓ και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας	377
6.2.3.2	ΦΒ υβριδικό σύστημα, ΑΓ και συσσωρευτής σε συνεργασία με συμβατική ενεργειακή πηγή. Μέθοδος ελαχιστοποίησης κόστους κύκλου ζωής του ΦΒ υβριδικού συστήματος	381
	Ερωτήσεις και προβλήματα	391

Παραρτήματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Αναγωγή τιμών πυκνότητας ισχύος και ενεργειακής απολαβής ηλιακής ακτινοβολίας, από οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο	399
--	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Θερμικό πρότυπο ΦΒ πλαισίου	411
-----------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Χάρτες κατανομής απολαβής ηλιακής ακτινοβολίας	416
--	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Τεχνικά στοιχεία ΦΒ συστημάτων	421
--------------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα	423
------------------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

Ορολογία Φωτοβολταϊκής τεχνολογίας	430
------------------------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	439
---------------------	-----

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	441
-----------------------	-----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συμβατικές και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

I. Η ενέργεια ως στόχος και ως προοπτική ανάπτυξης

Η ενέργεια απετέλεσε και αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Σ' όλη την ιστορική του πορεία, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε με εφευρετικότητα τις δυνατότητές που του παρείχε απλόχερα η ίδια η φύση, τη δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών της διαβίωσής του.

Στους πιο πρόσφατους αιώνες, χρησιμοποίησε την ενέργεια από την καύση του άνθρακα και του πετρελαίου και βρήκε τρόπο να την μετατρέψει στην περισσότερο εξευγενισμένη των μορφών της, τον ηλεκτρισμό. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ένας νέος τρόπος παραγωγής ενέργειας ήρθε να δημιουργήσει ελπίδες, για ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος. Η πυρηνική ενέργεια. Πολύ γρήγορα, όμως, δραματικά γεγονότα ήλθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας.

Συνάμα, άρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων.

Όλα τα μηνύματα έδειχναν πια καθαρά, ότι η συνέχιση της πορείας μας στο μέλλον επιβάλλει την αλλαγή της καθημερινής νοοτροπίας μας και την αναθεώρηση των αξιών της ζωής, σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας και των στόχων της τεχνολογικής ανάπτυξης. Είναι πολύ σημαντικό και επιπλέον εξαιρετικά χρήσιμο για την ορθή επιλογή των μέτρων περιβαλλοντικής αποκατά-

στασης, να συνειδητοποιήσουμε το εντυπωσιακά μεγάλο μέγεθος της χρονικής απόκρισης του φυσικού μας κόσμου, σε κλιματικές μεταβολές. Απαιτούνται δεκαετίες για να διαπιστωθούν τα πρώτα ενθαρρυντικά θετικά αποτελέσματα, των όποιων σημερινών διορθωτικών επεμβάσεών μας στο οικολογικό σύστημα. Η αποδοχή των ριζικών αυτών αλλαγών στον τρόπο ζωής μας καθώς και στην τροποποίηση του είδους και του τρόπου παραγωγής ενέργειας και στόχων της τεχνολογίας, είναι η πιο δύσκολη φάση προσαρμογής μας στη νέα κατάσταση. Η ανησυχία και ο σκεπτικισμός των ολίγων οικολόγων, κάποτε, αποτελεί σήμερα καθημερινό προβληματισμό των περισσοτέρων.

Η διάσκεψη στο Ρίο, το καλοκαίρι του 1992, προσδιόρισε το πρόβλημα στις διαστάσεις του, προδιαγράφοντας άμεσες ενέργειες και επεμβάσεις. Τα επιστημονικά στοιχεία για τη σχέση της βιομηχανικής δραστηριότητας με τις αρνητικές κλιματικές αλλαγές, την οικολογική υποβάθμιση και το δυσοίωνα μέλλον του πλανήτη μας, ήταν συντριπτικά. Παρά ταύτα, οι τρόποι αντιμετώπισης και ο έλεγχος εφαρμογής τους δεν βρήκαν όλες τις κυβερνήσεις σύμφωνες. Αιτία; Οι επαγόμενες συνέπειες από τον περιορισμό της δράσης της βιομηχανίας των αναπτυσσόμενων χωρών. Ο στόχος να διατηρηθούν τα επίπεδα ρύπανσης μέχρι το 2000, σ' αυτά του 1990, δεν φαίνεται, σήμερα, να έχει επιτευχθεί. Στην επόμενη, όμοια διάσκεψη, στο Κιότο της Ιαπωνίας, το Δεκέμβριο του 1997, καταβλήθηκε προσπάθεια για μια νέα συμφωνία, βασισμένη σε πιο δραστικά μέτρα, χωρίς τελικά να υπάρξει ομοφωνία.

Πάντως, παρά τις αντιδράσεις των ολίγων, αλλά ισχυρών αυτού του κόσμου, η ευαισθητοποίηση και η κινητοποίηση των πολιτών ολοένα και αυξάνει. Η εκφραζόμενη, ποικιλοτρόπως, πρόθεση αντιμετώπισης του θέματος σε διεθνή κλίμακα, δείχνει ότι συνειδητοποιούμε αργά, αλλά σταθερά, πως η τεχνολογία, ως καρπός ανώτερης πνευματικής εργασίας, πρέπει να έχει στόχο να θεραπεύει και να υπηρετεί τον άνθρωπο, με σεβασμό προς το οικοσύστημα που τον φιλοξενεί. Αυτό το οικοσύστημα, χώρος ανάπτυξης και διαβίωσης όλων των μορφών ζωής, δεν είναι υπόθεση μερικών ανθρώπινων γενεών. Χρειάστηκαν 5 δισεκατομμύρια χρόνια για να εξιδανικευτούν οι κλιματικές συνθήκες στον πλανήτη μας, σε τέτοιο βαθμό, που να συμβάλλουν στη δημιουργία της ζωής.

Είναι γεγονός αδιαμφισβήτητο, η σημαντική συμβολή των πηγών ενέργειας μεγάλης ισχύος στην τεχνολογική πρόοδο, απ' την οποία προέκυψαν πολλά θετικά αποτελέσματα. Μέσα από την ιστορική αναγκαιότητα των συμβατικών καυσίμων ξεπήδησαν νέες και συνεχώς βελτιώνονται παλαιότερες μέθοδοι, εξευγενισμένης παραγωγής ενέργειας, χωρίς πρακτικά οικολογικές επιβαρύνσεις. Ο ήλιος και ο άνεμος θα έχουν τον πρώτο λόγο στις επόμενες δεκαετίες.

II. Οι πηγές ενέργειας σήμερα

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που ο άνθρωπος έχει στη διάθεσή του διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της Γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και σ' αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης. Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο), αναφερόμενα και ως συμβατικά καύσιμα και η χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια.

Οι δεύτερες, έχουν βασική τους προέλευση τον Ήλιο. Η ακτινοβολούμενη απ' τον Ήλιο ενέργεια, που φτάνει στη Γη, εκτός από τη γενικότερη συμβολή της στη δημιουργία, ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίδει ακατάπαυστα ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (Αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (Ενέργεια κυμάτων). Απορροφούμενο από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι:

Το κάρβουνο

Απετέλεσε για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα, την κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από την καύση του ορυκτού άνθρακα.

Το πετρέλαιο

Ήταν γνωστό από την αρχαιότητα, στους Εβραίους και τους Αιγυπτίους. Στη Δύση, γινόταν περιορισμένη χρήση του σε φωτισμό και την ιατρική, μέχρι το τέλος του 15^{ου} αιώνα, οπότε άρχισε η βιομηχανική του εκμετάλλευση. Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20^{ου}, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από δύο πετρελαϊκές κρίσεις (1973 και 1979) και τη διαπίστωση ορατών πλέον επιπτώσεων, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αλλαγής του τρόπου ζωής μας και αναζήτησης λύσεων από το χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλα,

αποκτά ιδιαίτερο νόημα η εφαρμογή αυστηρότερης πολιτικής στον τομέα της ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και το 55%, στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες, το ποσοστό χρήσης πετρελαίου, ως ενεργειακής πηγής, συνεχίζει να αυξάνει, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες υπάρχει τάση μείωσής του, με σταδιακή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματά των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για περίπου 200 χρόνια για το κάρβουνο, 60 χρόνια για το φυσικό αέριο και 50 χρόνια για το πετρέλαιο.

Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του δίδει, ως άμεσα προϊόντα, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η πυρηνική ενέργεια

Από το 1945 και μετά, προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Η Γαλλία είναι από τις χώρες που έδωσαν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη της, χρησιμοποιώντας, κατά την περίοδο της δεκαετίας του 70, το μη πειστικό πια επιχείρημα της παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση, την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόμο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα. Από τα πιο σημαντικά, εκείνο στον πυρηνικό σταθμό του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ), τον Απρίλιο του 1979 και εκείνο στο Τσέρνομπιλ της Ρωσίας, τον Απρίλιο του 1986, τρομοκράτησαν όλο τον κόσμο, ο οποίος συνειδητοποίησε με φρίκη την ανικανότητά του να αντιμετωπίσει ένα ύπουλο και αόρατο εχθρό, που μόνιμα τον απειλεί με αφανισμό.

Η πυρηνική ενέργεια προορίζεται, στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί σήμερα, κυρίως για παραγωγή *ηλεκτρισμού βάσης*, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής ισχύος χωρίς δυνατότητα κάλυψης των διακυμάνσεων ζήτησης. Καλύπτει το 4-5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Η παραγόμενη παγκοσμίως ισχύς σε πυρηνικά εργοστάσια ανέρχεται σε ~360 GW (2005). Στην Ευρώπη ξεπερνά τα 110 GW, με τη Γαλλία στα 63 GW. Το περιορισμένο των κοιτασμάτων του βασικού υλικού (Ουράνιο 235), τα πυρηνικά απόβλητα και η απειλητική πιθανότητα ολοσχερούς καταστροφής του κόσμου μας, είτε από την υποτιθέμενη υπό έλεγχο πυρηνική αντίδραση είτε από την ανεξέλεγκτη διασπορά των πυρηνικών όπλων, βάζουν φρένο στη χρήση της.

Όλες οι μεγάλης πυκνότητας ισχύος συμβατικές πηγές ενέργειας, εκτός από την αδιαμφισβήτητη προσφορά τους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης και τη μεγάλη συμβολή τους στη βελτίωση της διαβίωσης του ανθρώπου, συνδέονται δυστυχώς με πολύ σοβαρές και εμφανώς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, ενισχύεται διεθνώς η άποψη για μερική, σε πρώτη φάση, αντικατάστασή τους με άλλες πηγές ενέργειας, που να μη ρυπαίνουν και να ενσωματώνονται φιλικά στο περιβάλλον, τις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

III. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν κύρια γενεσιουργό αιτία την ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση εκείνη που αφορά στην ενέργεια των παλιρροϊκών κινήσεων που οφείλονται στη βαρυτική δράση, κυρίως της Σελήνης, πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της Γης:

Υδατόπτωση

Είναι ένας από τους πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, με ανανεώσιμη συμπεριφορά. Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή και ταυτόχρονα το μειονέκτημα, σε πολλές περιπτώσεις, η δημιουργία των κατάλληλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, να καταστρέφει εύφορες εκτάσεις, που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Καλύπτει, περίπου, το 7 % της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

Ενέργεια κυμάτων ή παλιρροϊκών κινήσεων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, κυρίως στις βόρειες θάλασσες. Στη Βρετανία της Γαλλίας λειτουργεί από το 1966 σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 240 MW.

Βιομάζα

Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

Γεωθερμική ενέργεια

Αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία, η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών αποδίδεται στην εκλύομενη ενέργεια κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργειά τους

χρησιμοποιείται κυρίως σε θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών, κ.α., ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό που αφορά αποκλειστικά σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανερχόταν παγκοσμίως, το 2003, σε 10 GW. Στη χώρα μας, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται κυρίως σε θερμοκηπιακές μονάδες, σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και σε νησιά του Βορειοανατολικού και Κεντρικού Αιγαίου.

Αιολική ενέργεια

Η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, με χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, βρίσκεται σήμερα σε εντυπωσιακή εξέλιξη. Η παγκοσμίως εγκαταστημένη¹ ονομαστική ισχύς ανεμογεννητριών από 7,6 GW, το 1997, έφτασε τα 59,3 GW το 2005. Στην Ευρώπη, η αντίστοιχη ισχύς ξεπέρασε τα 40 GW. Στον πίνακα αναφέρονται οι χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ ανεμογεννητριών.

Χώρα		Εγκατεστημένη ισχύς ΑΓ στο τέλος του 2005 (GW) (GWEC)
Ευρώπη	Γερμανία	18,43
	Ισπανία	10,03
	Δανία	3,1
	Ιταλία	1,1
	Ολλανδία	1,1
	Ηνωμένο Βασίλειο (UK)	0,9
	Ινδία	4,43
	Ιαπωνία	~1,0
	Κίνα	~1,3
	ΗΠΑ	~9,15

Στη χώρα μας, λειτουργούν αρκετά αιολικά πάρκα, με ισχύ από μερικές εκατοντάδες kW έως μερικά MW, κυρίως διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ. Η συνολική εγκατεστημένη² ισχύς βρίσκεται ακόμη σε χαμηλό επίπεδο, ~525 MW

1. Global Wind Energy Council – GWEC (2005).

2. IEA (International Energy Agency, I.E.A.) – Annual report 2004.

(2005). Η ΔΕΗ έχει εγκαταστήσει στον Ελλαδικό χώρο, 24 MW κι απ' αυτά αρκετά στα νησιά (Κύθνος 5x20 kW, Μύκονος 100 kW, Κάρπαθος 175 kW κ.α.). Τα υπόλοιπα έχουν εγκατασταθεί από άλλους φορείς, κυρίως από την Τοπική Αυτοδιοίκηση και ιδιώτες. Στην Κρήτη, όπου η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων της ΔΕΗ, φθάνει τα 700 MW, λειτουργούν, ήδη, σε αρκετές περιοχές του νησιού μερικά μεγάλα αιολικά πάρκα, συνολικής ισχύος ~ 96 MW (Λασιθί: Μονή Τοπλού (6,6 MW, Μιτάτο (10,2 MW), περιοχή Αχλαδιάς (συνολικά, ~30 MW), Χαντράς (9,9 MW), Ξερολύμη (10,2 MW), Χόνος (συνολικά, ~20 MW) κ.α. μικρότερα. Ηράκλειο: Μεγάλη βρύση (~5 MW), Πρινιάς 3,4 MW)).

Το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, σε πολλά σημεία της χώρας μας βρίσκεται σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση ετησίως τιμή, από 7 έως 11 m/s, το οποίο υπερκαλύπτει την αποδοτική για τις ανεμογεννήτριες, περιοχή ταχυτήτων ανέμου και κατ' επέκταση τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών. Συνεπώς, ο νησιωτικός χώρος αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.

Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο (*photovoltaic cell*) είναι, γενικά³, ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Σήμερα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η βιομηχανική παραγωγή έχει προωθηθεί, είναι αυτά που βασίζονται στη δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρωμάτων σε επαφή. Συνήθως, τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετραγωνής πλάκας, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου.

Όταν το ΦΒ στοιχείο φωτίζεται προκαλείται στο εσωτερικό του ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρρευμα), το οποίο αποδεικνύεται ευθέως ανάλογο της πυκνότητας ισχύος του ηλιακού φωτός, που προσπίπτει στην επιφάνειά του. Η αναπτυσσόμενη σε ένα τυπικό ΦΒ στοιχείο, συνεχής ηλεκτρική τάση ανοικτού κυκλώματος, βρίσκεται στην περιοχή 0,5 ÷ 0,7 V, ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή των 10 ÷ 40 mA/cm², για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 kW/m².

3. Γενικά, η απορρόφηση φωτός στην επαφή (σύμφυση) δύο σωμάτων προκαλεί το ΦΒ φαινόμενο. Περιοριζόμαστε στην αναφορά της επαφής ημιαγωγών τύπων p και n, διότι τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντίστοιχου στοιχείου ανταποκρίνονται σήμερα στις απαιτήσεις μιας βιομηχανικά αξιοποιήσιμης πηγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων αναπτύχθηκε ραγδαία το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, παρ' ότι το ΦΒ φαινόμενο είχε παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα από τον Becquerel, το 1839. Το 1954 ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου Πυριτίου Si, με σχηματισμό επαφής p-n, με διάχυση και με απόδοση 6%, από τους Fuller, Pearson και Charin. Οι αρχικές εμπορικές κατασκευές, πολύ υψηλού κόστους (1000 \$/W_p το 1956), με σχετικά μικρή απόδοση 5-10 %, παρασκευάστηκαν από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si).

Σήμερα οι αποδόσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο, βρίσκονται στα επίπεδα του 22%, για ΦΒ πλαίσια διαστημικών κατασκευών και στο επίπεδο του 13-16% για βιομηχανική-οικιακή χρήση, το δε κόστος των τελευταίων κυμαίνεται περί τα 5 €/W_p (peak Watt, η έννοια αυτή ορίζεται στην § 3.4.3), για εγκαταστάσεις μικρών συστημάτων, μεγέθους μέχρι μερικά kW_p. Στις εγκαταστάσεις σχετικά μεγάλης ισχύος αιχμής, το κόστος αγοράς ΦΒ πλαισίων, ανά W_p, μειώνεται σε συνάρτηση με το μέγεθος του συστήματος. Σε μεγάλα συστήματα, άνω του MW_p, το κόστος αυτό μειώνεται σχεδόν στο ήμισυ του αντίστοιχου των εγκαταστάσεων μικρής ισχύος.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η τάση μείωσης του κόστους βιομηχανικής παραγωγής των ΦΒ στοιχείων, οδήγησε στη χρησιμοποίηση οικονομικότερων μεθόδων παρασκευής του ενεργού υλικού. Οι μέθοδοι αυτές χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία πολύ λεπτών στρωμάτων ή υμενίων υλικού (films), κυρίως πυριτίου, σε επιμελημένα καθαρισμένη επιφάνεια, που επιτρέπει την πρόσφυση του αποτιθέμενου υλικού (άμορφο πυρίτιο, a-Si). Βασίζονται στη μεταφορά και εναπόθεση του υλικού, με τη μορφή ατόμων είτε από στερεό στόχο, με κρούσεις επαρκώς επιταχυνθέντων ιόντων πλάσματος (Sputtering), είτε από λιωμένο υλικό σε συνθήκες υψηλού κενού (Εξαέρωση) είτε κατά τη διάρκεια εκκένωσης αερίου ενώσεως του αποτιθέμενου στοιχείου (Glow Discharge, GD), είτε με καταλυτική θερμική διάσπαση υδρογονούχων ενώσεων πυριτίου (Σιλάνιο).

Οι προσπάθειες μείωσης του κόστους κατασκευής ενός ΦΒ στοιχείου οδήγησαν, τελικά, σε νέες διαφορετικές μεθόδους εναπόθεσης, με πολύ καλά αποτελέσματα. Π.χ. με σχηματισμό ταινιών υλικού, από λειωμένη φάση, παρασκευάστηκαν ΦΒ στοιχεία, με εργαστηριακή απόδοση ~15%. Η επιφάνειά τους εμφανίζει μονοκρυσταλλικότητα κατά περιοχές, το δε υλικό ονομάζεται πολύ-κρυσταλλικό. Το πολυ-κρυσταλλικό πυρίτιο (mc-Si), χρησιμοποιείται για την παρασκευή ΦΒ στοιχείων, που μπορούν να καλύψουν μεγάλη επιφάνεια, με βιομηχανική απόδοση (ΦΒ πλαίσιο) 12-13%, πολύ κοντά στη βιομηχανική απόδοση των ΦΒ στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου. Οι παραπάνω τιμές απόδοσης είναι ενδεικτικές, εξαρτώμενες από το βασικό υλικό και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες της διάταξης.

Πολλά ΦΒ στοιχεία ($33 \div 36$) συνδέονται σε σειρά, ώστε, όταν η διάταξη αυτή φωτίζεται, να προκύπτει συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος (*Open circuit*) $17 \div 22V$. Το πλήθος των ΦΒ στοιχείων επιλέγεται έτσι ώστε να ταιριάζει με την απαιτούμενη τάση φόρτισης ενός κοινού ηλεκτρικού συσσωρευτή μολύβδου-θεικού οξέως (Pb/H_2SO_4), ονομαστικής τάσης 12V, όπως αναλύεται στην § 3.7.

Η ολοκληρωμένη αυτή φωτοβολταϊκή διάταξη ονομάζεται *φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module)*, αποτελεί δε τη βασική μονάδα σύνθεσης μεγαλύτερων συστημάτων, που ονομάζονται συστοιχίες. Χρησιμοποιείται επίσης, σπανιότερα, η ορολογία, *φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Photovoltaic generator)*, όταν αναφερόμαστε στο κύριο τμήμα του ΦΒ σταθμού, το οποίο παράγει τη ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια. Η εμπρός επιφάνεια του πλαισίου προστατεύεται από γυάλινη πλάκα, ενώ η πίσω πλευρά καλύπτεται από υγρομονωτική ουσία, υψηλής αντοχής στο χρόνο.

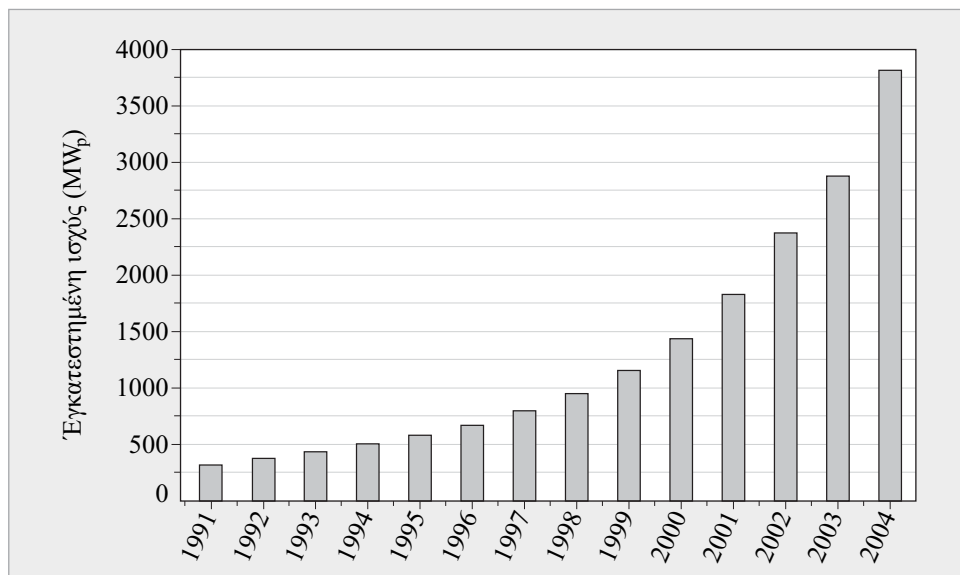
Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει ένα ΦΒ πλαίσιο σε ένα στοιχείο κατανάλωσης, κάτω από δεδομένη πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μέγιστη ισχύ, όταν συνδεθεί στα άκρα του καταναλωτής κατάλληλης αντίστασης. Η μέγιστη ισχύς, σε καθορισμένες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ΦΒ στοιχείου (πρότυπες συνθήκες), αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του και ονομάζεται *ισχύς αιχμής* (§ 3.2.7 και 3.4.3). Στο εμπόριο διατίθενται ΦΒ πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου, σε ευρεία περιοχή τιμών ισχύος αιχμής. Μικρές κατασκευές ΦΒ στοιχείων, μερικών W_p , χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ηλεκτρική ισχύ, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές «τσέπης». Σε εφαρμογές αυτόνομων ή συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ, ΦΒ συστημάτων, χρησιμοποιούνται, συνήθως, ΦΒ πλαίσια ισχύος αιχμής από 30 έως 150 W_p .

Η ΦΒ ενέργεια παγκοσμίως και στην Ελλάδα

Η παγκοσμίως εγκατεστημένη⁴ ισχύς ΦΒ συστημάτων, από 313,5 MW_p , το 1991, έφτασε τα 3,8 GW_p , στο τέλος του 2004 (Σχήμα E1). Απ' αυτά, περίπου 1,06 GW_p αφορούν σε εγκατεστημένη ισχύ στην Ευρώπη, ~0,37 GW_p στις ΗΠΑ και ~1,13 GW_p στην Ιαπωνία. Όπως προκύπτει από το σχήμα E1, η ποσοστιαία ετήσια μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος σε παγκόσμιο επίπεδο, κατά τη χρονική αυτή περίοδο, παρουσίασε ραγδαία αύξηση, από 18,5% το 1992, σε 29,3% το 2002 και έφτασε στο 32,3% το 2004. Με βάση αυτούς τους ετήσιους ρυθμούς διεξόδου των ΦΒ συστημάτων στο ενεργειακό δυναμικό, η εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς τους αναμένεται το 2010, να ξεπεράσει τα 10 GW_p . Μεγάλοι ΦΒ σταθμοί

4. α) A. Zervos, European Renewable Energy Council, Berlin, 19-21 January 2004 (Eurec Agency, Observ'ER). β) Annual Report IEA (International Energy Agency, I.E.A.)-PVPS 2004.

έχουν εγκατασταθεί στις ΗΠΑ (Hesperia, 1 MW, 1982 – Tuscon, 2,4 MW, 2002) και στην Ευρώπη (Ισπανία, 1 MW, 1994 – Ιταλία, Vasto, 1MW, Serre, 3,3 MW, 1994 – Γερμανία, Büstadt 5 MW, Bavaria 6,3 MW)).



Σχήμα Ε1. Παγκοσμίως εγκατεστημένη ισχύς αιχμής (σε MW_p) ΦΒ συστημάτων ανά έτος, στο χρονικό διάστημα από 1991-2004.

Στην Ελλάδα⁵, η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων, με στοιχεία του 2003, προσέγγιζε τα 2 MW_p, ενώ βρισκόταν σε εξέλιξη η εγκατάσταση επιπλέον 1 MW_p. Βρίσκονται διεσπαρμένα σε διάφορες περιοχές, κυρίως νησιωτικές, ιδιαίτερα στην Κρήτη (~800 kW_p)⁶. Μερικά από τα εγκατεστημένα συστήματα αποτελούνται από μικρούς ΦΒ σταθμούς σε συνεργασία με αιολικά συστήματα και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, όπως π.χ. στη νήσο Κύθνο (100 kW_p), στη νήσο Γαύδο (30 kW_p) καθώς και ΦΒ αντλητικά συστήματα σε διάφορα νησιά. Μικρής ισχύος ΦΒ συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε αυτόνομης λειτουργίας φάρους.

Επίσης, έχουν ήδη τεθεί σε δοκιμαστική λειτουργία ΦΒ ψυγεία πρόψυξης γάλακτος, σε κτηνοτροφικές περιοχές (Πρασές Χανίων Κρήτης, 8 kW_p). Μέχρι το 1991, οπότε άρχισε η σταδιακή απόσυρση των εγκαταστάσεών του, βρισκόταν σε

5. α) Annual Report IEA (International Energy Agency, I.E.A.)-PVPS 2004 β) Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).

6. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ) Κρήτης, 1998.

λειτουργία στην Αγία Ρουμέλη, κοντά στα Σφακιά (Νοτιοδυτική Κρήτη), ο πρώτος στην Ευρώπη (1982), πιλοτικός ΦΒ σταθμός με ισχύ 50 kW_p, υπό την ευθύνη της ΔΕΗ.

Η ερευνητική δραστηριότητα διεξάγεται, κυρίως, στα Πανεπιστήμια, ΤΕΙ, ΙΤΕ, Κέντρο Ερευνών Δημόκριτος κ.ά. Στο ΤΕΙ Κρήτης λειτουργεί από το 1992 ένα εξειδικευμένο εργαστήριο, με το συμβολικό όνομα "Φωτοβολταϊκό Πάρκο", που δημιουργήθηκε με κοινή πρόταση του ΤΕΙ Κρήτης και του Πανεπιστημίου Κρήτης. Περιλαμβάνει πλήρεις εργαστηριακές εγκαταστάσεις και ΦΒ πεδίο με ισχύ, περίπου, 7 kW_p και έχει ως κύριους στόχους την εκπαίδευση, την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα της ΦΒ τεχνολογίας και των εφαρμογών της.

IV. Η ενεργειακή πολιτική στη χώρα μας και διεθνώς

Στη χώρα μας, τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ υποστηρίζονται και προωθούνται από πλευράς επίσημης πολιτείας, από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ένα ειδικό τμήμα, της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) του Υπουργείου Βιομηχανίας, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Γραφεία, τη ΔΕΗ, τα Ιδρύματα Τεχνολογίας και Έρευνας, τα Πανεπιστήμια, τα Τεχνολογικά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (ΤΕΙ), την Τοπική Αυτοδιοίκηση κ.α.

Εκτός αυτών, έντονη είναι, ήδη, η δραστηριότητα του ιδιωτικού τομέα, σ' όλο το φάσμα των εφαρμογών των ΑΠΕ, πρωτίστως δε στις ανεμογεννήτριες. Η ανάπτυξη τους ενισχύεται από σχετικά προγράμματα της ΕΕ, η οποία επιχορηγεί όχι μόνο την έρευνα (τώρα πια σε μικρότερο βαθμό) αλλά στηρίζει, ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα, εφαρμογές μεγάλης ισχύος, σε βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία κ.α.. Σημαντικό βήμα προώθησης των ΑΠΕ στη χώρα μας, μέσα στην τελευταία δεκαετία, απετέλεσε η χάραξη συγκεκριμένης ενεργειακής πολιτικής και η θεσμοθέτηση νομοθετικού πλαισίου εγκατάστασης και αξιοποίησής τους.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κυρίως της αιολικής και της ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας, προωθείται και ενισχύεται, με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς, σ' όλο τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Αιτία: τα συσσωρευμένα οικολογικά προβλήματα που δημιούργησε η αλόγιστη χρήση, αφενός των συμβατικών καυσίμων (Ρύπανση περιβάλλοντος), αφετέρου της πυρηνικής ενέργειας (πυρηνικά ατυχήματα). Η κύρια δυσκολία που αντιμετωπίζουν σήμερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προκειμένου να ενσωματωθούν στην καθημερινή ζωή, είναι το σχετικά υψηλό κόστος της παραγόμενης kWh τους, σε σχέση με το κόστος της kWh πετρελαίου. Μεταξύ των δύο κύριων τρόπων παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, αιολικής και φωτοβολταϊκής, η αιολική εμφανίζεται σήμερα οικονομικότερη και άρα περισσότερο προσιτή, κυρίως

με τη μορφή αιολικών πάρκων, συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους, όπως το ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, είναι αθόρυβα και μπορούν να εγκατασταθούν παντού όπου δε σκιάζει, παρουσιάζουν ακόμα υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Η διαφορά κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής κιλοβατώρας από ΑΠΕ και από πετρέλαιο μειώνεται σταδιακά, ώστε σύντομα, μέσα στην επόμενη δεκαετία, να μπορεί να προβλεφθεί μια απ' ευθείας σύγκριση κόστους ενέργειας. Ήδη το κόστος εγκατάστασής τους εμφανίζεται ανταγωνιστικό απέναντι στη συμβατική παραγωγή ενέργειας, σε περιπτώσεις μη συνδεδεμένων με το δίκτυο περιοχών (Απομονωμένοι οικισμοί, νησιά κ.α..).

Σε όλα τα αναπτυγμένα κράτη, προωθούνται, με συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς, ειδικά προγράμματα εφαρμογής της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας σε συγκροτήματα κατοικιών μεγάλης κλίμακας, όπως είναι τα προγράμματα 100.000 στεγών (1999) καθώς και το πιο πρόσφατο και περισσότερο φιλόδοξο, που αφορά σε 1.000.000 στέγες, στη Γερμανία. Ανάλογα προγράμματα εξελίσσονται και στις ΗΠΑ. Στα πλαίσια ενίσχυσης του ρυθμού διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές στο βιομηχανικό τομέα, η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί σχετικά προγράμματα (Επιχειρησιακά Προγράμματα Ενέργειας, ΕΠΕ), με ισχυρά οικονομικά κίνητρα (π.χ. χρηματοδότηση του 30-50% της επένδυσης).

Παρατηρείται λοιπόν, σήμερα, σε παγκόσμια κλίμακα, μια αυξημένη δραστηριοποίηση στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ, που προοιωνίζει την αλματώδη ανάπτυξη και πλήρη ενσωμάτωσή τους στην ενεργειακή παραγωγή, μέσα στην πρώτη εικοσαετία του νέου αιώνα.