

Τεχνολογίες Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Γεννητριών Κρυσταλλικού Πυριτίου και Λεπτών Υμενίων και η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά Φωτοβολταϊκών

Σ. Τσελεπής
ΚΑΠΕ

19ο χλμ. Λ. Μαραθώνα, 19009, Πικέρμι, Αττική
Τηλ. 6039900, Fax 6039905, e-mail stslep@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μακροπρόθεσμα μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί έχει την δυνατότητα να ενταχθεί σε όλους τους χώρους. Αυτήν την εποχή βρισκόμαστε σ' ένα σημείο καμπής όσον αφορά την επιλογή της Φ/Β τεχνολογίας που θα οδηγήσει σε χαμηλότερο κόστος παραγωγής ανά Wp, εξασφαλίζοντας συγχρόνως την διαθεσιμότητα πρώτων υλών καθώς θα αυξάνεται η ζήτηση. Η ενδιαφερόμενη Ελληνική επιχείρηση λοιπόν, θα χρειασθεί να επιλέξει την κατάλληλη για εκείνη τεχνολογία φωτοβολταϊκών που θα την βοηθήσει να αναπτυχθεί σε αυτό τον τομέα της ενέργειας. Το παρόν άρθρο προσπαθεί να ρίξει φως στις τάσεις που παρουσιάζονται τα τελευταία χρόνια για την επιλογή φωτοβολταϊκής (Φ/Β) τεχνολογίας για παραγωγή Φ/Β γεννητριών αλλά και στην αγορά που τις οδηγεί.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μακροπρόθεσμα μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί έχει την δυνατότητα να ενταχθεί σε όλους τους χώρους (αυτόνομα συστήματα, κεντρικά συστήματα, Φ/Β ενσωματωμένα στα κτίρια παράγοντας ενέργεια που θα διοχετεύεται στο δίκτυο, κλπ.). Σημαντικότερα πλεονεκτήματα αποτελούν : η δυνατότητα εξεύρεσης αισθητικών λύσεων που δεν επιβαρύνουν ιδιαίτερα το περιβάλλον και η επεκτασιμότητα των Φ/Β συστημάτων. Οι δεσμεύσεις των κρατών μετά το Κυότο για τον περιορισμό των αερίων εκπομπών που προκαλούν την αλλαγή του κλίματος, αλλά και η ανάπτυξη της αγοράς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), λόγω κινήτρων μέσω των Ευρωπαϊκών και Ελληνικών προγραμμάτων καθώς και οι πρωτοβουλίες των πολυεθνικών που δραστηριοποιούνται στις ΑΠΕ, έχουν στόχο να αυξήσουν την ζήτηση με αντίστοιχη μαζικότερη παραγωγή που θα οδηγήσει σε οικονομικότερα προϊόντα λόγω της οικονομίας κλίμακας που θα πετύχουν.



Φωτό 1: Φ/Β συστήματα τοποθετημένα σε όψεις και οροφές κτιρίων.

Αυτές οι δράσεις κάνουν ορατά τα Φ/Β συστήματα σε περισσότερους χρήστες και έχουν φέρει στο προσκήνιο και

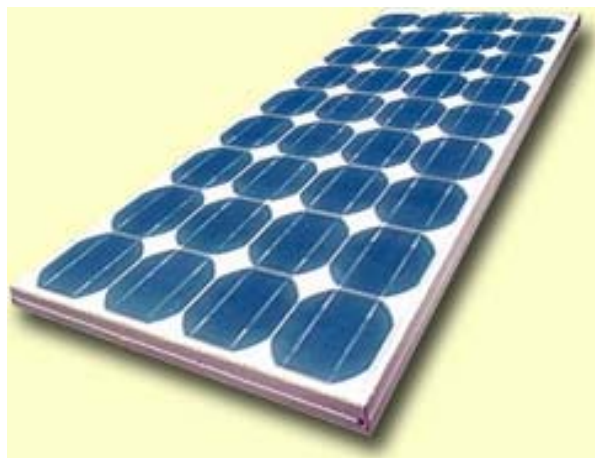
την προοπτική παραγωγής φωτοβολταϊκών γεννητριών στην χώρα μας. Στο 1ο Εθνικό Συνέδριο για τις ΑΠΕ (1998) οι εκτιμήσεις για την εγκατεστημένη ισχύ Φ/Β συστημάτων στον Ελληνικό χώρο, ανέρχονταν σε 30-40 MWp μέχρι το 2005 και σε 150-200 MWp μέχρι το 2010 [1]. Η ανάπτυξη αυτή εκτιμάται ότι θα έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία 400-500 νέων θέσεων εργασίας μέχρι το 2005 και 2500 θέσεις μέχρι το 2010. Εντούτοις, οι αγορές που δημιουργούνται με πολιτικές αποφάσεις δεν μπορούν να διατηρηθούν αν δεν υπάρχει αναγνώριση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας από το κοινό και μια συνεχής μείωση των τιμών. Οι περισσότεροι που γνωρίζουν ή χρησιμοποιούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν καλή εντύπωση για την αξιοπιστία τους, αλλά γενικά υπάρχει έλλειμμα ενημέρωσης του κοινού στην χώρα μας. Επιπλέον, αυτήν την εποχή βρισκόμαστε σ' ένα σημείο καμπής όσον αφορά την επιλογή της Φ/Β τεχνολογίας που θα οδηγήσει σε χαμηλότερο κόστος παραγωγής ανά Wp, εξασφαλίζοντας συγχρόνως την διαθεσιμότητα πρώτων υλών καθώς θα αυξάνεται η ζήτηση. Η ενδιαφερόμενη Ελληνική επιχείρηση λοιπόν, θα χρειασθεί να επιλέξει την κατάλληλη για εκείνη τεχνολογία φωτοβολταϊκών που θα την βοηθήσει να αναπτυχθεί σε αυτό τον τομέα της ενέργειας. Το παρόν άρθρο προσπαθεί να ρίξει φως στις τάσεις που παρουσιάζονται τα τελευταία χρόνια για την επιλογή φωτοβολταϊκής (Φ/Β) τεχνολογίας για παραγωγή Φ/Β γεννητριών [2,3] αλλά και στην αγορά που τις οδηγεί.

2. Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΚΑΙ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ

Μια πρώτη διάκριση στις τεχνολογίες Φ/Β γεννητριών διακρίνεται ανάμεσα στο κρυσταλλικό Πυρίτιο και τα νέα υλικά λεπτών υμενίων (διάταξη ημιαγωγών λεπτών στρωμάτων – Thin films). Η μικρότερη ενεργειακή μονάδα της ηλιακής γεννήτριας ονομάζεται (φωτοβολταϊκό) ηλιακό στοιχείο. Κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια κρυσταλλικού Πυριτίου αποτελείται συνήθως από 30 με 36 ηλιακά στοιχεία, τα οποία είναι εν σειρά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα ηλιακά στοιχεία εγκλείονται με θερμική διεργασία μέσα σε διαφανή ερμητικά σφραγισμένη πολυμερή μεμβράνη και στην εμπρός

Αθήνα, 19 – 21 Μαρτίου 2001

πλευρά προσαρμόζεται ανθεκτικό γυαλί ειδικών προδιαγραφών.



Φωτο 2: Τυπική Φ/Β γεννήτρια Κρυσταλλικού Πυριτίου

Το πάχος της όλης κατασκευής μαζί με το γυαλί δεν ξεπερνά τα 5 χιλιοστά και συνήθως τοποθετείται σε πλαίσιο αλουμινίου για εύκολη τοποθέτηση και για να αποκτήσει μηχανική αντοχή. Η διαδικασία παραγωγής του κρυσταλλικού Πυριτίου έχει πολλά και ενεργοβόρα βήματα, στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα βήματα παραγωγής Φ/Β κρυσταλλικού Πυριτίου.

Βήμα	Περιγραφή διεργασίας
1	Η παρασκευή της πρώτης ύλης που πρέπει να είναι υψηλής καθαρότητας και τώρα προέρχεται από τα υπολείμματα της βιομηχανίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, ενώ στο μέλλον θα πρέπει να παράγεται με διεργασία από μεταλλουργικό Πυρίτιο
2	Η κρυστάλλωση με θερμική διεργασία του Πυριτίου σε κυλινδρικούς μονοκρυσταλλούς ή πολυ-κρυσταλλικές χελώνες ή κατευθείαν σε πολυκρυσταλλικά δισκία Πυριτίου (μέθοδος EFG)
3	Η διαδικασία κοπής των μονοκρυσταλλικών κυλίνδρων και πολυκρυσταλλικών χελωνών σε λεπτά δισκία (φέτες) Πυριτίου. Για την μέθοδο EFG δεν χρειάζεται να γίνει το βήμα αυτό
4	Διαδικασία μετατροπής των δισκίων Πυριτίου σε ηλιακά στοιχεία κατάλληλα για να παράγουν ενέργεια
5	Διαδικασία συναρμολόγησης των φωτοβολταϊκών γεννητριών από τα ηλιακά στοιχεία

Πίνακας 1: Τα βήματα παραγωγής Φ/Β γεννητριών Κρυσταλλικού Πυριτίου.

Η διαδικασία παραγωγής των φωτοβολταϊκών γεννητριών λεπτών υμενίων χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυνατότητα αυτοματισμού της παραγωγής και οικονομία πρώτων υλών λόγω του μικρού πάχους των ενεργών υλικών. Ομοίως τα ηλιακά στοιχεία λεπτών υμενίων εγκλείονται σε ερμητικά

σφραγισμένη συσκευασία για προστασία από την υγρασία. Βασική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι η επίστρωση των υλικών γίνεται καταρχήν σε ολόκληρη την επιφάνεια της ηλιακής γεννήτριας (συνήθως σε κατάλληλα προετοιμασμένη γυάλινη επιφάνεια) και κατόπιν με ακτίνες λέιζερ, αφαιρούνται λεπτές λωρίδες υλικού και δημιουργούνται τα ηλιακά στοιχεία που ύστερα συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους και συνθέτουν την Φ/Β γεννήτρια. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών Φ/Β κρυσταλλικού Πυριτίου και Φ/Β λεπτών υμενίων :

	Κρυσταλλικό Πυρίτιο	Λεπτά Υμενία
Πάχος ηλιακών στοιχείων	200-350 μm	2-10 μm
Χρήση πρώτων υλών για τα ηλιακά στοιχεία	Υψηλή	Χαμηλή
Διαδικασία παραγωγής	Πολλών ξεχωριστών βημάτων. Δυνατότητα βιομηχανικής δραστηριότητας ξεκινώντας κατευθείαν και από τα βήματα 1, 3 ή και 5 (Πίνακας 1)	Ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής (συνήθως)
Αρχική επένδυση εξοπλισμού ολοκληρωμένης γραμμής παραγωγής (>10MWp/έτος)	3-8 Euro/Wp	0,5-3Euro/Wp
Απόδοση Φ/Β γεννητριών	12-16%	4-10%
Συνήθης εγγύηση από τους κατασκευαστές για την ισχύ των Φ/Β γεννητριών	20-25 χρόνια	5-10 χρόνια

Πίνακας 2 : Συγκριτικά στοιχεία ανάμεσα στις Φ/Β γεννήτριες κρυσταλλικού Πυριτίου και λεπτών υμενίων.

Ένα σημαντικό στοιχείο που αφορά όλες τις τεχνολογίες Φ/Β είναι το γεγονός ότι υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της δυναμικότητας παραγωγής χωρίς ο προηγούμενος εξοπλισμός να αχρηστεύεται.

3. Η ΑΓΟΡΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Τα τελευταία χρόνια η ετήσια αύξηση των πωλήσεων Φ/Β παγκοσμίως, ήταν εντυπωσιακή και έφθασε το 38% το 1997 και το 25% το 2000 (Πίνακας 3). Τα τρία τελευταία χρόνια είχαμε διπλασιασμό των πωλήσεων και όλα δείχνουν ότι η τεχνολογία φωτοβολταϊκών εισέρχεται στη φάση της εμπορικής εκμετάλλευσης. Από την άλλη πλευρά, στην Ελλάδα οι πωλήσεις φωτοβολταϊκών, αν εξαιρέσουμε τα επιδεικτικά και ερευνητικά προγράμματα, δεν ξεπερνούν τα 100 kW ετησίως. Τα τελευταία 3 χρόνια, μετά από τρεις διαδοχικές προκηρύξεις του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας (ΚΠΣ-2), και ιδιαίτερα με την 3η προκήρυξη που αφορούσε επενδύσεις επιχειρήσεων σε Φ/Β συστήματα στην Κρήτη, με επιδότηση 70%, το ενδιαφέρον ήταν ζωηρότερο καθώς κατατέθηκαν 45 περίπου αιτήσεις και εγκρίθηκαν 25 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2 MWp και συνολικό

Αθήνα, 19 – 21 Μαρτίου 2001

προϋπολογισμό περίπου 5.2 δις Δρχ. Από αυτά αναμένεται να μην υλοποιηθούν περίπου τα μισά έργα καθώς αντιμετώπισαν προβλήματα στην αδειοδότηση, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις οι επενδυτές θεώρησαν ότι δεν ήταν πλέον συμφέρουσα η επένδυση καθώς μετά την σύνταξη του προϋπολογισμού των έργων, οι τιμές των Φ/Β γεννητριών αυξήθηκαν περίπου 20-25%, κυρίως λόγω της σημαντικής αύξησης της τιμής του δολαρίου.

Στις εμπορικά βιώσιμες εφαρμογές των Φ/Β συστημάτων συγκαταλέγονται οι αυτόνομες εφαρμογές σε απομακρυσμένες από το δίκτυο ηλεκτρισμού περιοχές, όπως σε απομονωμένες κατοικίες, εγκαταστάσεις αναμεταδοτών του ΟΤΕ, εταιριών κινητής τηλεφωνίας και ραδιοφωνικών σταθμών.

Σημαντική εξάπλωση γνωρίζουν στην Ελλάδα τα Φ/Β στην ηλεκτροδότηση φάρων και σημαντήρων στα λιμάνια όλης της χώρας. Η Υπηρεσία Φάρων του Πολεμικού Ναυτικού έχει εγκαταστήσει πάνω από 890 Φ/Β συστήματα σε όλη την Ελλάδα συνολικής ισχύος 64 kWp έχοντας ηλεκτροδοτήσει με Φ/Β σχεδόν όλους τους φάρους.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Ευρώπη	16	17	21,6	21,6	19	27,5	35,8		60,7
ΗΠΑ	17,9	21	25,6	32,4	39	50,5	58,2	77	76
Ιαπωνία	18,3	17	17,5	19,5	21,5	31	47,5		126,9
Υπόλοιποι	6	6	6	7,5	9	13	16,3		22
Σύνολο	58,2	61	70,7	81	88,5	122	157,8	200	285,6
Αύξηση %	7,8	4,8	15,9	14,5	9,2	37,8	29,3	26,5	42,8

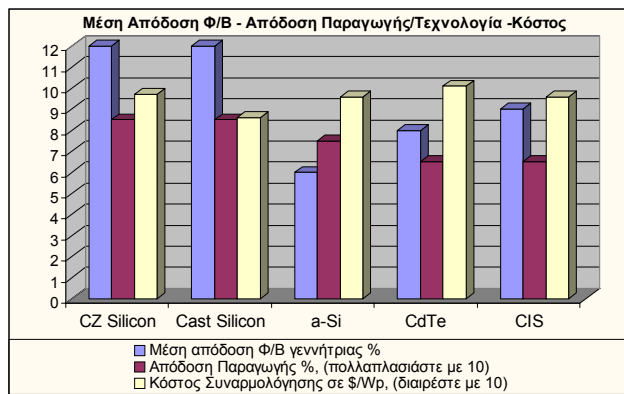
Πίνακας 3 : Η εξέλιξη των πωλήσεων φωτοβολταϊκών παγκοσμίως σε MW [4]

Από στοιχεία του 1998 [4] προκύπτει ότι από τα 157.8 MWp των διακινηθέντων Φ/Β γεννητριών ανά τον κόσμο, το 85.5% αυτών ήταν κρυσταλλικού Πυριτίου (μόνο ή πολύκρυσταλλικό). Ένα ποσοστό 13% αφορούσε Φ/Β γεννήτριες Άμορφου-Πυριτίου, 0.14% CdTe (Τελλουριούχου Καδμίου) και 0.01% CIS (Δισελινιούχου Ινδικού Χαλκού) κλπ. Όπως παρατηρήσαμε στην εισαγωγή, η αγορά στο μεγαλύτερο της μέρος κινείται από προγράμματα που προσφέρουν κίνητρα για την αγορά και εγκατάσταση των Φ/Β συστημάτων. Τα πλέον γνωστά προγράμματα που πρόκειται να ξεκινήσουν σε μικρό χρονικό διάστημα ή ήδη υλοποιούνται είναι : οι 500.000 οροφές και προσόψεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση και 500.000 Φ/Β συστήματα για τον Τρίτο Κόσμο (Λευκή Βίβλος της Ε.Ε.), οι 100.000 οροφές στην Γερμανία, μεγάλα έργα ένταξης φωτοβολταϊκών σε οικισμούς στην Ολλανδία, οι 10.000 οροφές στην Ιταλία, οι 1.000.000 οροφές στις ΗΠΑ και οι 70.000 οροφές στην Ιαπωνία (έληξε το 2000).

Οι μεγάλες επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή Φ/Β γεννητριών, ενώ διατηρούν και επεκτείνουν το δυναμικό παραγωγής τους σε κρυσταλλικό Πυρίτιο, έχουν ήδη επενδύσει σε μια τουλάχιστον από τις τεχνολογίες των

λεπτών υμενίων. Η ωριμότερη τεχνολογία από αυτές είναι του Άμορφου Πυριτίου, η οποία είναι εμπορικό προϊόν εδώ και 10 χρόνια. Οι επόμενες τεχνολογίες Φ/Β που βρίσκονται στα πρώτα βήματα της εμπορικής εκμετάλλευσης των είναι το CdTe και το CIS/CIGS. Τα τελευταία υλικά βρίσκονται στο στάδιο της πιλοτικής γραμμής παραγωγής.

Η πρόοδος όσον αφορά την απόδοση του άμορφου πυριτίου (a-Si) είναι στάσιμη, αλλά έχει αποκτηθεί εμπειρία στην κατασκευή γεννητριών μεγάλης επιφάνειας, οι οποίες είναι συγχρόνως κατάλληλες για ενσωμάτωση σε κτίρια. Το 1997, παρουσιάστηκαν επίσης Φ/Β γεννήτριες Άμορφου Πυριτίου με τρεις επάλλληλες επιστρώσεις (United Solar Systems Corp.) που έχουν φθάσει σε σταθεροποιημένη απόδοση το 7.5%. Η ίδια εταιρία αλλά και μερικές ακόμη παράγουν εύκαμπτες Φ/Β γεννήτριες καθώς και πλακές γεννητριών χωρίς μεταλλικό πλαίσιο έτοιμες για τοποθέτηση στις σκεπές των κτιρίων στην θέση των κεραμιδιών. Για πρώτη φορά, το 1997, η εταιρία Energy Photovoltaics, παρουσίασε Φ/Β γεννήτρια CIS, διαστάσεων 127 X 53 εκ., με ισχύ αιχμής 50 Βατ. Επίσης, το 1998 η Siemens ανακοίνωσε την εμπορική κυκλοφορία Φ/Β γεννητριών CIGS, Δισελινιούχου Ινδικού Χαλκού με προσμίξεις, Γαλλίου και Θείου στην θέση του Ινδίου και Σεληνίου αντίστοιχα με απόδοση 9%.



Διάγραμμα 1: Παρουσίαση της μέσης απόδοσης των Φ/Β γεννητριών, της απόδοσης της γραμμής παραγωγής και του κόστους συναρμολόγησης ανά τεχνολογία Φ/Β.

Το Διάγραμμα 1 παρουσιάζει τη μέση απόδοσης των Φ/Β γεννητριών, την απόδοση της γραμμής παραγωγής και το κόστος συναρμολόγησης Φ/Β γεννητριών ανά τεχνολογία.

Η στροφή των μεγάλων εταιριών πετρελαιοειδών (SHELL, BP-Amoco) στα Φ/Β συστήματα εκτός από την διάθεση παραοσίσεως τους σαν οικολογικά ευαίσθητες επιχειρήσεις, υποδηλώνει με τις συνεχόμενες επενδύσεις στο χώρο ότι έχουν κατανοήσει ότι σε λίγες δεκαετίες η εποχή του πετρελαίου τελειώνει. Συνεπώς, αρχίζουν προοδευτικά να επενδύουν στον χώρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Φ/Β, Αιολικά, Βιομάζα, κλπ.) καθώς και σε νέα καύσιμα, όπως το υδρογόνο. Η SHELL ανακοίνωσε ότι μέχρι το έτος 2050 τουλάχιστον οι μισές επενδύσεις του χαρτοφυλακίου της θα αφορούν τις ΑΠΕ, ενώ προβλέπει ότι μέχρι το 2050 το 50% των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων θα καλύπτονται από ΑΠΕ. Η BP Solar ανακοίνωσε πρόσφατα ότι θα επενδύσει 600 εκατ. USD σε μεγάλο εργοστάσιο παραγωγής Φ/Β γεννητριών ώστε να μειωθεί η τιμή των Φ/Β κατά τέσσερις φορές.

Αθήνα, 19 – 21 Μαρτίου 2001

4. ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Φ/Β

Τα τελευταία δύο χρόνια, πολλές εταιρίες που κατασκευάζουν Φ/Β ανακοίνωσαν αύξηση δυναμικότητας παραγωγής δεκάδων MWp. Μέχρι και το 1997, το εγκατεστημένο ετήσιο δυναμικό παραγωγής κρυσταλλικού Πυριτίου ήταν 163 MWp. Συγκριτικά, για την τεχνολογία λεπτών υμενίων, σχεδόν όλο το δυναμικό παραγωγής Φ/Β αφορούσε το Άμορφο Πυρίτιο και ανέρχεται σε 33.7 MWp και 3 MWp για τα υπόλοιπα (CdTe, CIS και CIGS) [4]. Για το έτος 2000, από τις ανακοινώσεις των εταιριών εκτιμάται ότι το ετήσιο δυναμικό παραγωγής για το κρυσταλλικό Πυρίτιο θα είναι 337 MWp, για το Άμορφο Πυρίτιο θα ανέλθει σε 89 MWp, ενώ συνολικά για τα υπόλοιπα (CdTe, CIS και CIGS) 64 MWp.

		Παγκόσμιο Δυναμικό Παραγωγής Φ/Β το 1997 σε MW	Παγκόσμιο Δυναμικό Παραγωγής Φ/Β το 2000 σε MW (εκτίμηση)
Κρυσταλλικό Πυρίτιο		163	337
Λεπτά Υμένια	Άμορφο Πυρίτιο	33,7	89
	CdTe, CIS,CIGS	3	64
Σύνολο :		199,7	490

Πίνακας 4 : Παγκοσμίως εγκατεστημένο δυναμικό ετήσιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών [4].

Από τα στοιχεία του Πίνακα 4 είναι προφανές ότι οι Φ/Β γεννήτριες κρυσταλλικού Πυριτίου κατέχουν ηγετική θέση στην αγορά Φ/Β και τα τελευταία δυο χρόνια προσετέθη νέα δυναμικότητα παραγωγής 80 MWp και το ίδιο αναμένεται για τα επόμενα χρόνια, σύμφωνα με τις εξαγγελίες των εταιριών, μια αύξηση που επιβάλλεται λόγω της ζήτησης που θα προκύψει από τα νέα προγράμματα ανά τον κόσμο.

5. ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

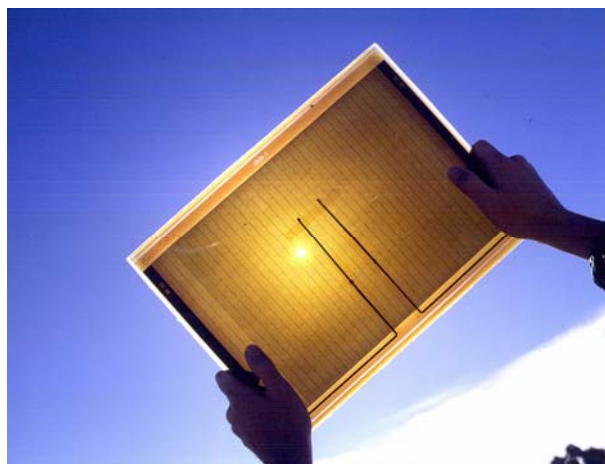
Ένα από άμεσα προβλήματα για την τεχνολογία του κρυσταλλικού Πυριτίου είναι η διαθεσιμότητα υψηλής καθαρότητας Πυριτίου σε λογική τιμή (<15 Euro/kg) για την παραγωγή ηλιακών στοιχείων. Τώρα η πρώτη ύλη για την κατασκευή των ηλιακών στοιχείων κρυσταλλικού Πυριτίου προέρχεται από τους απορριπτόμενους δίσκους και τις άκρες των κυλίνδρων μονο-κρυσταλλικού Πυριτίου από την βιομηχανία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Για να ικανοποιηθεί η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση καθαρού Πυριτίου για φωτοβολταϊκά στοιχεία, αναπτύσσονται διαδικασίες παραγωγής καθαρού Πυριτίου ειδικά για τα φωτοβολταϊκά, όπου οι απαιτήσεις καθαρότητας του Πυριτίου είναι λιγότερο αυστηρές από αυτές για ολοκληρωμένα κυκλώματα. Όσον αφορά την επάρκεια υλικών για τις τεχνολογίες λεπτών υμενίων, εδώ υπάρχει το πλεονέκτημα της χρήσης ελάχιστου υλικού σε σχέση με το κρυσταλλικό Πυρίτιο, αλλά συχνά τα γνωστά αποθέματα των χημικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στο ημιαγώγιμο υλικό και η ετήσια παγκόσμια παραγωγή είναι τέτοια, που όταν η παραγωγή φωτοβολταϊκών γεννητριών φθάσει τα 500MWp τον χρόνο ανά τεχνολογία, η ζήτηση των πρώτων υλών θα είναι τέτοια που είναι πιθανόν να αυξηθούν οι τιμές των. Συνεπώς, σε

αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία η λήψη μέτρων, όπως η ανακύκλωση των υλικών των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Αυτή η πρακτική ενδείκνυται και για λόγους περιβαλλοντικούς καθώς ορισμένα από τα στοιχεία είναι τοξικά (Cd, Te, Se, As). Δεδομένου ότι η παγκόσμια ετήσια αγορά φωτοβολταϊκών αναμένεται να ξεπεράσει πριν το 2005 τα 500MWp είναι κατανοητό ότι τα παραπάνω προβλήματα για τα Φ/Β λεπτών υμενίων θα παρουσιαστούν σ'ένα χρονικό ορίζοντα περίπου των 10 ετών. Όσον αφορά το Άμορφο Πυρίτιο δεν υπάρχουν περιορισμοί διαθεσιμότητας των υλικών για την παραγωγή του.

6. ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Τα φωτο-ηλεκτροχημικά ηλιακά στοιχεία (dye doped Titania solar cell), αποτελούνται από μια γρήγη χρωστική ουσία που απορροφά το φως και ένα ναοκρυσταλλικό υμένιο TiO₂ που μεταφέρει τα ηλεκτρικά φορτία στα ηλεκτρόδια. Στο μεταξύ, νέες μελέτες βρίσκονται σε εξέλιξη για την αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη, ο οποίος προκαλεί ανησυχίες ως προς την σταθερότητα της δομής του. Η εταιρεία Toshiba πρόσφατα ανακοίνωσε την αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη με στερεό πετυχαίνοντας απόδοση 7.3%. Η πρόοδος συνεχίζεται και αναμένεται να γίνει επίσης δυνατή η κατασκευή και ημι-διαφανών φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων για ενσωμάτωση σε κτίρια.

Επίσης, σε ανάπτυξη βρίσκεται η διαδικασία εναπόθεσης λεπτών υμενίων μικρο και πολυ-κρυσταλλικού Πυριτίου σε κεραμικά υποστρώματα, σε μεταλλικό φύλλο, σε γυαλί, και σε γραφίτη, επιχειρώντας την εξεύρεση μεταβατικής λύσης στο μεσοπρόθεσμο πρόβλημα επάρκειας πρώτης ύλης από την βιομηχανία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.



Φωτό 3: Ημι-διαφανής Φ/Β γεννήτρια κατασκευασμένη από λεπτό στρώμα Κρυσταλλικού Πυριτίου πάνω σε γυαλί (UNSW).

Στην κατεύθυνση εξοικονόμησης πρώτης ύλης, αλλά ενδιάμεσα λεπτών υμενίων και κοινού κρυσταλλικού Πυριτίου, βρίσκεται η προσπάθεια της Astropower, που παρουσίασε το 1998 Φ/Β γεννήτρια λεπτού πολυ-κρυσταλλικού Πυριτίου απόδοσης 8.5%. Το υλικό αυτό εναποτίθεται σε φθηνό μεταλλικό υπόστρωμα, έχει πάχος 50 με 100μm, και συνεπώς χρειάζεται λιγότερο υλικό από τα κοινά στοιχεία κρυσταλλικού Πυριτίου, ενώ κατασκευάζεται με τις τεχνικές των Φ/Β λεπτών υμενίων, όπου η αυτοματοποίηση και η μεγάλη ποσότητα υπόσχονται

Αθήνα, 19 – 21 Μαρτίου 2001

μικρότερο κόστος παραγωγής. Ήδη η Astropower πουλάει τα Φ/Β λεπτού πολυ-κρυσταλλικού Si κατά 15% φθηνότερο ανά Wp από τις κοινές γεννήτριες Si που η ίδια διαθέτει. Η προσπάθεια για την αύξηση της απόδοσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας συνεχίζεται και αυτή την στιγμή η απόδοση σε πειραματικό επίπεδο βρίσκεται στα 14.5%.

Οι τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμενίων αναπτύσσονται και υπόσχονται Φ/Β γεννήτριες με κόστος κάτω από 1USD/Wp, αλλά μεσοπρόθεσμα το κρυσταλλικό Πυρίτιο θα παραμείνει η πλέον αξιόπιστη τεχνολογία Φ/Β. Ενδεικτικό της αξιοπιστίας είναι το γεγονός ότι η εγγύηση απόδοσης για Φ/Β γεννήτριες κρυσταλλικού Πυριτίου κυμαίνεται γύρω στα 25 έτη ενώ για τις Φ/Β γεννήτριες λεπτών υμενίων κυμαίνεται στα 10 έτη. Η βελτίωση και ανάπτυξη νέων διαδικασιών παραγωγής λεπτότερων Φ/Β γεννητριών κρυσταλλικού Πυριτίου και η επάρκεια της πρώτης ύλης δείχνουν ότι θα μείνουν για πολλά χρόνια ακόμη στο προσκήνιο.

6. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΠΕ (Η-ΑΠΕ) ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Με την εισαγωγή μιας νέας οδηγίας (Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of electricity from renewable energy sources in the internal electricity market, 2000) στόχος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής είναι η δημιουργία ενός πλαισίου που θα διευκολύνει σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα την σημαντική αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ (RES-E ή Η-ΑΠΕ) στην Ευρώπη. Αυτή η προσπάθεια αποτελεί σημαντικό μέρος των μέτρων που στοχεύουν στην μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπως έχει δεχθεί η Ε.Ε. στο Κυότο.

Κάθε μια από τις χώρες μέλη της Ε.Ε. είναι υποχρεωμένες να λάβουν τα απαραίτητα μέσα ώστε η Η-ΑΠΕ να αναπτυχθεί σύμφωνα με τους ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς στόχους που έχει αναλάβει σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι χώρες μέλη, για τα επόμενα 10 χρόνια, θα πρέπει σε ετήσια βάση να θέτουν και να επιτυγχάνουν τον στόχο για την εσωτερική τους κατανάλωση Η-ΑΠΕ. Οι στόχοι πρέπει να είναι συμβατοί με αυτούς που περιγράφονται στην Λευκή Βίβλο για τις ΑΠΕ και ιδιαίτερα με τον Ευρωπαϊκό στόχο του 22.1% Η-ΑΠΕ σαν ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης των χωρών της Ε.Ε. το 2010. Όσον αφορά την Ελλάδα το ποσοστό αυτό είναι 20.1% για το 2010. Σε σύγκριση με τα στοιχεία της EUROSTAT για το 1997, η Ελλάδα καταναλώνει Η-ΑΠΕ σε ποσοστό 8.6% (περιλαμβανομένων και των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών [ΜΥΗΣ]) ενώ χωρίς τους ΜΥΗΣ το ποσοστό είναι 0.4%. Δεδομένου ότι το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό για ΜΗΥΣ είναι περιορισμένο, υπάρχει η ανάγκη για την ανάπτυξη άλλων ΑΠΕ στην Ελλάδα και μάλιστα οι νέες μονάδες θα πρέπει να παράγουν μέχρι το 2010 περίπου το 15% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε σχέση με τα τρέχοντα μέτρα υποστήριξης της Η-ΑΠΕ που λειτουργούν αυτόνομα στις χώρες μέλη, η Ε.Ε. αποφάσισε ότι δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για να υιοθετηθεί ένα εναρμονισμένο πλαίσιο υποστήριξης Η-ΑΠΕ στην Ε.Ε. που θα ορίζει την τιμή για Η-ΑΠΕ μέσω πανευρωπαϊκών διαγωνισμών ανάμεσα σε παραγωγούς Η-ΑΠΕ. Εντούτοις, η Ε.Ε. πιστεύει ότι αυτός πρέπει να είναι ο στόχος, εφόσον η εφαρμογή του πλαισίου υποστήριξης των τιμών της Η-ΑΠΕ, σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα, θα μειώσει τις τιμές της Η-ΑΠΕ και θα αυξήσει την διείσδυση της Η-ΑΠΕ στην ευρωπαϊκή αγορά. Επιπλέον, με προοπτική να δημιουργηθεί θεμιτός

ανταγωνισμός στην ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρισμού είναι απαραίτητο η Ε.Ε. με κάθε επιφύλαξη όσον αφορά τις υποχρεώσεις της στο άρθρο 88(1) της Ευρωπαϊκής Συνθήκης, πρέπει να αξιολογήσει τα σχέδια υποστήριξης όλων των πηγών παραγωγής ηλεκτρισμού.

Η οδηγία θέτει την υποχρέωση στην Ε.Ε. να παρακολουθεί την εφαρμογή πλαισίων υποστήριξης για Η-ΑΠΕ αλλά και για συμβατικές ενεργειακές πηγές σε χώρες μέλη, ώστε μέσα σε 5 χρόνια από την εφαρμογή της οδηγίας αυτής να παρουσιάσει μια έκθεση με τις εμπειρίες πάνω στα θέματα αυτά. Τότε, εάν είναι απαραίτητο και υπό το φως των συμπερασμάτων η Ε.Ε. θα προτείνει ένα Ευρωπαϊκό πλαίσιο για την υποστήριξη της Η-ΑΠΕ βασισμένο σε αρχές ήδη προσδιορισμένες σ' αυτή την οδηγία.

Για να εξασφαλισθεί ότι η συναλλαγή Η-ΑΠΕ θα γίνει αξιόπιστη και πρακτικά δυνατή, η οδηγία απαιτεί οι χώρες μέλη να εισάγουν ένα σύστημα για την πιστοποίηση της προέλευσης της Η-ΑΠΕ.

Η οδηγία επίσης προβλέπει μια σειρά συνοδευτικών μέτρων με σκοπό να εξισώσει τον ανταγωνισμό και να διευκολύνει την διείσδυση της Η-ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρισμού και ιδιαίτερα όσον αφορά διοικητικές διαδικασίες και θέματα σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ενας από τους μηχανισμούς που προτείνεται για την άμεση υποστήριξη του Η-ΑΠΕ είναι τα Πράσινα Πιστοποιητικά. Αυτά αποτελούνται από δυο ξεχωριστές συνιστώσες που συνθέτουν την συνολική τους αξία. Πρώτον, την ηλεκτρική ενέργεια, που η τιμή της εξαρτάται από την απελευθερωμένη αγορά. Δεύτερον, το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ΑΠΕ, συνεπώς το περιβαλλοντικό όφελος που αντιστοιχεί. Η δεύτερη συνιστώσα έχει μια τελείως ξεχωριστή τιμή στην αγορά. Έτσι, χειρίζεται κανείς το περιβαλλοντικό όφελος χωρίς να επεμβαίνει στην αγορά ηλεκτρισμού.

Για να χρηματοδοτηθεί το επιπλέον κόστος (περιβαλλοντικό) για την παραγωγή του Η-ΑΠΕ και να εξασφαλισθεί η παραγωγή ικανοποιητικών ποσοτήτων Η-ΑΠΕ, υποχρεώνονται όλοι οι καταναλωτές να αγοράζουν ένα αριθμό πράσινων πιστοποιητικών από ηλεκτρική ενέργεια που παρήχθη από ΑΠΕ, σύμφωνα με προκαθορισμένο ποσοστό της συνολικής τους κατανάλωσης/παραγωγής. Εφόσον οι καταναλωτές/παραγωγοί επιθυμούν να αγοράσουν όσον το δυνατόν φθηνότερα, θα αναπτυχθεί μια δευτερεύουσα αγορά Πράσινων Πιστοποιητικών, όπου οι παραγωγοί Η-ΑΠΕ θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους (ανά τεχνολογία ΑΠΕ) για την πώλησή των. Οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας θα έχουν την επιλογή να παράγουν ένα ποσοστό Η-ΑΠΕ ή να το αγοράζουν υπό την μορφή Πράσινων Πιστοποιητικών από παραγωγούς Η-ΑΠΕ με υπερπαραγωγή. Το πλεονέκτημα απέναντι στους μειοδοτικούς διαγωνισμούς είναι ότι πετυχαίνει μια συνεχή πίεση στους παραγωγούς για μείωση των τιμών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2, το κόστος αρχικής επένδυσης σε γραμμή παραγωγής Φ/Β είναι σημαντικό. Για να προχωρήσει λοιπόν μια επιχείρηση σε επένδυση, ακόμη και με την βοήθεια της επιχορήγησης κάποιου προγράμματος, θα πρέπει να διαγράφεται κάποια αγορά Φ/Β, η οποία θα απορροφήσει τα προϊόντα της τουλάχιστον για 10 χρόνια, ώστε να αποσβεσθεί η επένδυση και να υπάρχει κέρδος. Οι Ευρωπαϊκοί στόχοι για την προώθηση των φωτοβολταϊκών (Λευκή Βίβλος) έχουν ανακοινωθεί (500.000 Φ/Β συστήματα κλπ.) και έχουν ένα χρονικό ορίζοντα εφαρμογής 10 ετών.

Αθήνα, 19 – 21 Μαρτίου 2001

Από μια πρώτη προσέγγιση, σύμφωνα με τον πληθυσμό της Ελλάδας, μπορούμε να πούμε ότι στην χώρα μας αναλογούν περίπου 15.000 συστήματα. Αν υποθέσουμε ότι η μέση εγκατεστημένη ισχύς θα είναι 2 kWp, τότε στα επόμενα 10 χρόνια είναι πιθανόν να τοποθετηθούν στην χώρα μας 30 MWp φωτοβολταϊκών από ένα τέτοιο πρόγραμμα.

Ένα μεγάλο κεφάλαιο για την βελτίωση της διείσδυσης των Φ/Β συστημάτων, και γενικώς των ΑΠΕ, είναι το νομικό πλαίσιο. Δηλαδή, οι διαδικασίες αδειοδότησης των Φ/Β συστημάτων, η συμφωνία αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ (στα μη-διασυνδεδεμένα νησιά) ή πλέον από τον Διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς στο ηπειρωτικό σύστημα. Το υπάρχον νομικό πλαίσιο καθορίζεται από τον Νόμο 2244/94 και τις σχετικές υπουργικές αποφάσεις [5]. Πρόσφατα, ψηφίστηκε ο νόμος για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (2773/99, 22 Δεκ. 1999) με διατάξεις που τροποποιούν το καθεστώς της τιμολόγησης της απορροφώμενης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον 2244/94 καθώς και διατάξεις που αφορούν την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού και την κατά προτεραιότητα απορρόφηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ. Οι τροποποιήσεις στο καθεστώς τιμολόγησης της απορροφώμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν προσφέρουν κανένα άλλο κίνητρο για επένδυση.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε τα τελευταία χρόνια από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας έδειξε ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης του νομικού πλαισίου, ιδιαίτερα όσον αφορά την γραφειοκρατία και τα εμπόδια λόγω αμφιλεγόμενων και μη ορθολογικών διαδικασιών. Τα προβλήματα έχουν καταγραφεί και υπάρχουν συγκεκριμένες προτάσεις [6] για την βελτίωση του νομικού πλαισίου.

Δεδομένου ότι οι Ελληνικές επιχειρήσεις ξεκινούν με καθυστέρηση την κούρσα της φωτοβολταϊκής αγοράς και χωρίς προηγούμενη γνώση πάνω στις τεχνολογίες, θα ήταν προτιμότερο να συνάψουν κοινή επιχείρηση ή να αγοράσουν ετοιμοπαράδοτη γραμμή παραγωγής μιας τεχνολογίας φωτοβολταϊκών που θα έχει τον ευρύτερο δυνατό ορίζοντα εκμετάλλευσης, ενώ θα πρέπει να συνοδεύεται με την ευχέρεια αναβάθμισης της μονάδας παραγωγής, καθώς με το χρόνο συνήθως βελτιώνεται η διαδικασία παραγωγής από τους κατόχους της τεχνολογίας. Το δυναμικό παραγωγής της μονάδας εξαρτάται από το μέγεθος της αγοράς που στοχεύει η επιχείρηση, αλλά θα πρέπει να είναι τέτοιο που να εξασφαλίζει ένα ανταγωνιστικό κόστος παραγωγής των Φ/Β γεννητριών, το οποίο έχει επίσης σχέση με την επιλεγόμενη τεχνολογία και υλικά. Επίσης δεν πρέπει να παραμεληθεί η ανάγκη για πιστοποίηση των προϊόντων και της διαδικασίας παραγωγής. Η πιστοποίηση σύμφωνα με διεθνώς αποδεκτά πρότυπα θα αποδειχθεί ευεργετική για τον επενδυτή, την βιομηχανία Φ/Β αλλά και για τον πελάτη, γιατί είναι το εργαλείο που θωρακίζει την ποιότητα και επιτρέπει το άνοιγμα της αγοράς χωρίς περιπέτειες.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Α. Ζερβός, «Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα», Πρακτικά Συνεδρίου : «Η εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Εθνικές Προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή Στρατηγική», 30 Νοεμ. – 2 Δεκ. 1998, Αθήνα, σελ. 2-8.
2. Πρακτικά του 2ου Παγκόσμιου Συνεδρίου Φωτοβολταϊκής Μετατροπής της Ηλιακής Ενέργειας, 6-10 Ιουλίου 1998, Βιέννη Αυστρία.
3. Πρακτικά του 14ου Ευρωπαϊκού Συνεδρίου Ηλιακών Φωτοβολταϊκών, Βαρκελώνη, Ισπανία, 30 Ιουνίου – 4 Ιουλίου 1997.
4. Photovoltaic Insider's Report, Φεβρουάριος 1999, σελίδες 1 και 6.
5. Σ. Τσελεπής, "PV support and promotion mechanisms in Greece", Πρακτικά 2ου Παγκόσμιου Συνεδρίου Φωτοβολταϊκών, Βιέννη, Ιούλιος 1998, σελ. 3352-3355.
6. Συμπεράσματα του Συνεδρίου, Πρακτικά Συνεδρίου : «Η εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Εθνικές Προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή Στρατηγική», 30 Νοεμ. – 2 Δεκ. 1998, Αθήνα, σελ. 306-309.