

Η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά και οι τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών και Διασπαρμένη παραγωγή μέσω εγκαταστάσεων σε κτίρια

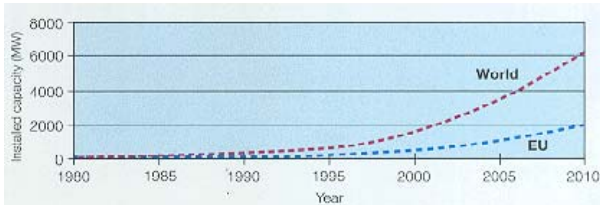
Σ. Τσελεπής
ΚΑΠΕ

19ο γλμ. Λ. Μαραθώνα, 19009, Πικέρμι, Αττική
Τηλ. 210 6603369, Fax 210 6603318, e-mail stslep@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΙΣΗΓΗΣΗΣ: Η εργασία παρουσιάζει την τρέχουσα κατάσταση της αγοράς Φωτοβολταϊκών, τις σημαντικότερες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών (Φ/Β) καθώς και την δυναμική σημαντική συμμετοχή τους στην διασπαρμένη παραγωγή στην Ευρώπη μέσω των εγκαταστάσεων σε κτίρια. Σημαντική πρόοδος σημειώθηκε στην ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β, ιδιαίτερα στην Ιαπωνία, Γερμανία και ΗΠΑ με αποτέλεσμα να παραχθούν το 2004 περίπου 1000 MWp Φ/Β στοιχείων έναντι 765 MWp το 2003, δηλ. μια αύξηση 31%. Η ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια (BIPV) σαν διασπαρμένες μονάδες παραγωγής στις ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες θα έχει σημαντική ενεργειακή συμβολή, δεδομένου ότι τα ηλιακά Φ/Β αποτελούν τη κυριότερη τεχνολογία ανανεώσιμων που μπορεί να ενταχθεί ευρέως στις πόλεις χωρίς κανένα πρόβλημα μέχρι βαθμό διείσδυσης περίπου 25 με 30% του μέγιστου φορτίου του συστήματος, χωρίς να δημιουργούν προβλήματα συνεργασίας και ασφάλειας με το ηλεκτρικό σύστημα. Η διάδοση των Φ/Β συστημάτων αντικαθιστά ή αναβάλλει την επέκταση συμβατικών κεντρικών σταθμών παραγωγής με θετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον. Επιπλέον, ιδιαίτερη αξία έχει η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τα Φ/Β όταν συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης, όπως κατά τις καλοκαιρινές αιχμές λόγω χρήσης κλιματιστικών. Άλλες θετικές επιπτώσεις είναι ο σύντομος χρόνος ένταξης μονάδων Φ/Β στο δίκτυο, η βελτίωση της ποιότητας ισχύος, η μείωση των απωλειών μεταφοράς, παράγοντας κοντά στους χρήστες, και η αύξηση της αξιοπιστίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εφαρμογές Φ/Β συστημάτων έχουν οδηγήσει την παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ από 375 MWp το 1995 σε περίπου 3700 MWp το 2004. Η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β μέχρι το 2010 αναμένεται να ανέλθει σε 6300MWp, εκ των οποίων τα 2000 MWp θα βρίσκονται στην Ευρώπη (σχήμα 1) [1]. Στην παγκόσμια αγορά, πάνω από το 90% των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο, αν και έχουν προσδιορισθεί και άλλα κατάλληλα υλικά, μερικά από τα οποία ήδη πωλούνται εμπορικά (CIGS, CdTe).



Σχήμα 1: Η διείσδυση της Φ/Β τεχνολογίας στην ΕΕ και παγκοσμίως [1].

Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μακροπρόθεσμα μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί έχουν την δυνατότητα να ενταχθούν σε όλους τους χώρους (αυτόνομα συστήματα, κεντρικά συστήματα, Φ/Β ενσωματωμένα στα κτίρια (BIPV) 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 αντιστοιχη μαζικότερη παραγωγή που θα οδηγήσει σε οικονομικότερα προϊόντα λόγω της οικονομίας κλίμακας που θα πετύχουν. Οι

διασπαρμένες ενεργειακές μονάδες ακόμη και όταν δεν αποτελούν δομικό στοιχείο του κτιρίου προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένου του σύντομου χρόνου εγκατάστασης και λειτουργίας.

Τα Φ/Β συστήματα είναι αξιόπιστα και φιλικά προς το περιβάλλον. Επιπλέον, αν και το κόστος παραγωγής έχει μειωθεί και η απόδοση έχει βελτιωθεί φθάνοντας για τα πλέον προηγμένα στοιχεία κρυσταλλικού πυρίτιου, σε εργαστηριακό επίπεδο, απόδοση μεγαλύτερη από 24%, ενώ τα εμπορικά Φ/Β στοιχεία έχουν απόδοση που κυμαίνεται από 11 έως 18% [2].

Πίνακας 1: Εξέλιξη της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στις χώρες της Ε.Ε. για το 2000 και το 2003.

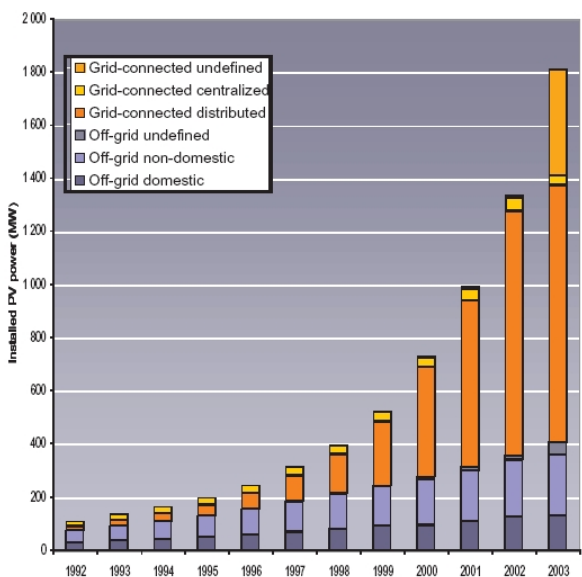
Χώρα	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις χώρες της Ε.Ε (σε MWp)					
	Διασυνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο		Αυτόνομα		Σύνολο	
Χώρα \ Έτος	2000	2003	2000	2003	2000	2003
Γερμανία	100	375	13,8	22,6	113,8	397,6
Ιταλία	9	14,34	13	11,69	22	26,03
Ολλανδία	8,7	43,69	4,1	4,93	12,8	48,62
Ισπανία	2,9	13,2	9,2	14,06	12,1	27,26
Γαλλία	0,6	4,39	10,7	17,32	11,3	21,71
Αυστρία	3,2	14,66	1,7	2,17	4,9	16,83
Σουηδία	0,1	0,17	2,7	3,4	2,8	3,57
Φιλανδία	0,1	0,16	2,5	3,24	2,6	3,4
Μ. Βρετανία	1,5	4,91	0,4	0,62	1,9	5,53
Δανία	1,3	1,68	0,2	0,22	1,5	1,9
Πορτογαλία	0,3	0,4	0,7	1,67	1	2,07
Ελλάς	0,2	1,11	0,7	2,14	0,9	3,25
Βέλγιο	0,1	1,06	0,1	0	0,2	1,06
Πολωνία	-	0	-	0,12	-	0,12
Λουξεμβούργο	-	3,5	-	0	-	3,5
Σύνολο Ε.Ε.	128	478,27	59,8	84,18	187,8	562,45

Η αγορά για τις εφαρμογές Φ/Β συστημάτων συμπεριλαμβάνει:

- καταναλωτικά προϊόντα, π.χ. αριθμομηχανές, ρολόγια κλπ.
- αυτόνομα συστήματα για απομονωμένες περιοχές
- Φ/Β ενσωματωμένα σε κτίρια, συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο
- μεγάλης κλίμακας Φ/Β μονάδες συνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο για την παραγωγή ηλεκτρισμού

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς ανά χώρα της Ε.Ε. και ανά εφαρμογή, συνδεδεμένη στο δίκτυο ή σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα για τα έτη 2000 και 2003 [3].

Είναι προφανές ότι η γερμανική αγορά Φ/Β είναι η μεγαλύτερη στην Ευρώπη με 130 MWp το 2003 και δεύτερη παγκοσμίως μετά την Ιαπωνία (με 220 MWp το 2003) ενώ σε 1 με 2 χρόνια αναμένεται να την ξεπεράσει. Τα προγράμματα επιχορήγησης του κόστους επένδυσης Φ/Β συστημάτων και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β που εφαρμόζονται ακόμα στις τελευταίες δύο χώρες έχουν οδηγήσει σε μια μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ τα τελευταία 5 χρόνια. Οι δύο τελευταίες χώρες με την ηγετική τους στάση έχουν δώσει ένα παράδειγμα για το πώς οι νέες τεχνολογίες μπορούν να προωθηθούν και να εφαρμοστούν αποτελεσματικά ενώ η εθνική βιομηχανία τους επωφελείται αναπτύσσοντας καινοτόμα και αξιόπιστα προϊόντων που εξάγονται σε άλλες αγορές.



Σχήμα 2: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις χώρες όπου συμμετέχουν στον IEA από το 1992 μέχρι 2003 και ανά κατηγορία εφαρμογής [4].

Η ετήσια αύξηση των πωλήσεων Φ/Β παγκοσμίως, ήταν εντυπωσιακή και κυμαίνεται μεταξύ 30 και 38% (Σχήμα 2) [4]. Τα τρία τελευταία χρόνια είχαμε διπλασιασμό των πωλήσεων και όλα δείχνουν ότι η τεχνολογία φωτοβολταϊκών εισέρχεται στη φάση της εμπορικής εκμετάλλευσης. Από τις παραπάνω εφαρμογές, τα καταναλωτικά προϊόντα και τα αυτόνομα συστήματα είναι εφαρμογές που είναι οικονομικά βιώσιμες ενώ οι υπόλοιπες βασίζονται σε προγράμματα στήριξης της αρχικής επένδυσης και της αποδοόμενης στο ηλεκτρικό δίκτυο ενέργειας. Δύο είναι οι αγορές που προσφέρονται για ιδιαίτερη ανάπτυξη στο μέλλον:

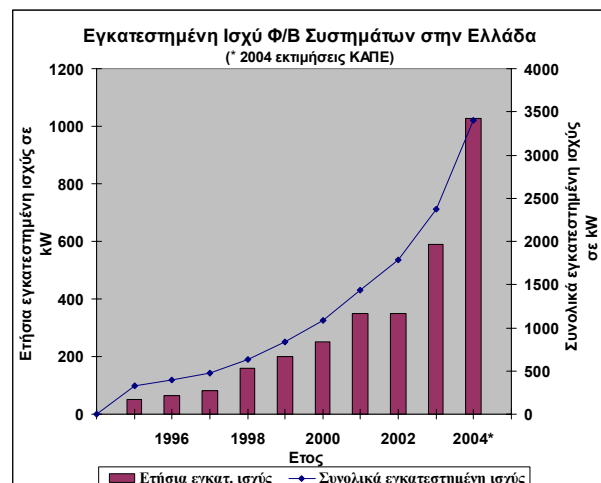
- τα αυτόνομα συστήματα τα οποία θα έχουν μια σημαντική συμβολή στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των αναπτυσσόμενων χωρών, παρέχοντας ηλεκτρική

ενέργεια για τα σπίτια, τα σχολεία, τα κέντρα υγείας, τις επικοινωνίες, την άντληση και τον καθαρισμό ύδατος. Η ενσωμάτωσή των Φ/Β σε ασθενή δίκτυα θα συνεισφέρει στην αύξηση της αξιοπιστίας των. Όσο για τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα στην Ευρώπη, θα χρησιμοποιούνται ευρέως για την ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων τηλεπικοινωνιακών σταθμών, την καθοδική προστασία, την επεξεργασία ύδατος και τη διανομή, και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις απομονωμένες αγροτικές κατοικίες. Η αγορά αυτή υπολογίζεται σε 100MWp με 200MWp μέχρι το 2010.

- Φ/Β ενσωματωμένα σε κτίρια συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο με κύρια έμφαση στις αγορές των ανεπτυγμένων χωρών της Ευρώπης, τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία. Αυξανόμενη είναι η αναγνώριση του πολύτιμου ρόλου που μπορεί να παίξει η χρήση ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας στη μείωση της ρύπανσης και ειδικότερα στην σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι είναι η κυριότερη τεχνολογία ανανεώσιμων που μπορεί να ενσωματωθεί ευρέως στις πόλεις.

2. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αν εξαιρέσουμε τα επιδεικτικά και ερευνητικά προγράμματα, δεν ξεπερνούν τα 100 με 150 kW ετησίως.



Σχήμα 3: Η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στην Ελλάδα από το 1995 μέχρι το 2004.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στην Ελλάδα σύμφωνα με τα στοιχεία και τις εκτιμήσεις του ΚΑΠΕ. Σημειώνεται η σημαντική αύξηση τα δύο τελευταία χρόνια λόγω των υλοποιούμενων έργων του Ε.Π.Αν, ως επί το πλείστον αυτόνομα Φ/Β υβριδικά συστήματα που τροφοδοτούν σταθμούς βάσης των εταιριών κινητής τηλεφωνίας.

Τα προηγούμενα χρόνια (1998-2001), 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 προϋπολογισμό περίπου 5.2 δις Δρχ. Τελικά, υλοποιήθηκαν 10 έργα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 770 kWp. Τα έργα που δεν υλοποιήθηκαν 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.

Πρόσφατα μεγάλη διείσδυση γνώρισαν χάρη στο πρόγραμμα Ε.Π.Αν του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης τα αυτόνομα υβριδικά Φ/Β συστήματα σε απομονωμένους σταθμούς βάσης των εταιριών κινητής τηλεφωνίας. Τα τελευταία 2 χρόνια εγκαταστάθηκαν περίπου 160 τέτοια συστήματα με συνολική ισχύ Φ/Β 1.2 MWp, ενώ απομένουν προς εγκατάσταση 80 Φ/Β υβριδικά συστήματα με ισχύ Φ/Β περίπου 1 MWp. Οι σταθμοί λειτουργούσαν ως πρόσφατα με σήμερα με γεννήτριες και βρίσκονταν σε απομακρυσμένες επαρχιακές και αγροτικές περιοχές της χώρας. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης ενέργειας ήταν η αξιοσημείωτη μείωση του χρόνου λειτουργίας της γεννήτριας με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου (με αντίστοιχο περιβαλλοντικό όφελος) δεδομένου ότι αντικαθίσταται η καύση ντίζελ από φωτοβολταϊκή ενέργεια. Παράλληλα, υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία και αξιοπιστία στην παροχή ενέργειας στους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς με αυξημένη αυτονομία λόγω της μεγάλης μείωσης στην κατανάλωση καυσίμου.

Σημαντική εξάπλωση γνώρισαν επίσης 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 1000 μικρά Φ/Β συστήματα σε όλη την Ελλάδα συνολικής ισχύος πάνω από 60 kWp έχοντας ηλεκτροδοτήσει με Φ/Β σχεδόν όλους τους φάρους.

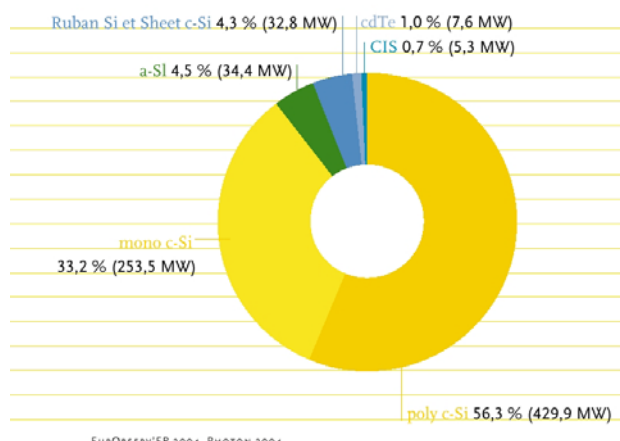
Αυτές οι δράσεις κάνουν ορατά τα Φ/Β συστήματα σε περισσότερους χρήστες και έχουν φέρει στο προσκήνιο και την προοπτική παραγωγής φωτοβολταϊκών γεννητριών στην χώρα μας. Εντούτοις, οι αγορές που δημιουργούνται με πολιτικές αποφάσεις δεν μπορούν να διατηρηθούν αν δεν υπάρχει αναγνώριση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας από το κοινό και μια συνεχής μείωση των τιμών.

3. Ο ΗΓΕΤΗΣ - ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ

Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού Πυριτίου αποτελούν περίπου το 93,8% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών για το 2003 (σχήμα 4) [3]. Το υπόλοιπο της αγοράς καλύπτεται από τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμενίων, όπως το άμορφο-Πυρίτιο (a-Si), το Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe) και το Δισελινιούχο Ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (CIGS). Ακόμα κι αν η τεχνολογία Φ/Β στοιχείων κρυσταλλικού Πυριτίου έχει έναν υψηλό βαθμό ωριμότητας, αναμένονται περαιτέρω βελτιώσεις στην απόδοση και στην τεχνολογία παραγωγής των. 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 15 χρόνια. Οι επόμενες τεχνολογίες Φ/Β που βρίσκονται στα πρώτα βήματα της εμπορικής εκμετάλλευσης των είναι το CdTe και το CIGS.

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. Η στροφή

των μεγάλων εταιριών πετρελαιοειδών (SHELL, BP Solar) στα Φ/Β συστήματα εκτός από την διάθεση παρουσίασης 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 με την μεγαλύτερη συνεισφορά από Φ/Β.



Σχήμα 4: Μερίδιο αγοράς των διάφορων τεχνολογιών Φ/Β στοιχείων για το 2003 (συνολικά 764 MWp) [3].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν γίνει μια εμπορική τεχνολογία και με την εκτιμώμενη εγκατάσταση περίπου 1000 MWp το 2004 και μία μέση τιμή 7 Ευρώ/Wp παρουσιάζουν παγκοσμίως ένα συνολικό κύκλο εργασιών 7 Δις Ευρώ. Το ποσό αυτό συναγωνίζεται τον αντίστοιχο κύκλο εργασιών των αιολικών συστημάτων. Οι πωλήσεις αυξάνουν τα τελευταία χρόνια με ρυθμό πάνω από 30% και το κόστος των Φ/Β γεννητριών μειώνεται στο μισό κάθε 10 χρόνια. Οι ρυθμοί αυτοί αναμένεται να διατηρηθούν για τα επόμενα χρόνια και οι κατασκευαστές των Φ/Β γεννητριών ήδη έχουν κατασκευάσει εργοστάσια παραγωγής δυναμικότητας άνω των 100MW, απαραίτητα για την μείωση του κόστους παραγωγής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η Sharp, η μεγαλύτερη κατασκευάστρια εταιρία Φ/Β στοιχείων στον κόσμο, ανακοίνωσε τον Δεκέμβριο 2004 ότι η ετήσια δυναμικότητα παραγωγής της θα ανέλθει από τα 315 στα 400 MWp με επιπλέον επένδυση 48 εκατ. Δολαρίων. Η νέα γραμμή παραγωγής τέθηκε σε λειτουργία στις αρχές του 2005. Τα Φ/Β λεπτών υμενίων κατέχουν ένα μικρό μέρος της αγοράς (<7% το 2003) και δεν αναμένεται σύντομα να κερδίσουν μεγαλύτερο μέρος λόγω χαμηλότερης ισχύος ανά επιφάνεια, χρόνου ζωής, οικολογικών θεμάτων και διαθεσιμότητας πρώτων υλών για το CdTe και το CIGS.

Με τους τρέχοντες ρυθμούς αύξησης της παραγωγής Φ/Β τα προβλήματα με τις ελλείψεις κατάλληλου Si έχουν ήδη εμφανιστεί και εκδηλώθηκαν με ελαφρά αύξηση των τιμών των Φ/Β γεννητριών και μεγάλο χρόνο αναμονής για την παράδοσή τους. 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. Η βιομηχανία Φ/Β κρυσταλλικού Πυριτίου χρησιμοποιεί τώρα περίπου το 7% της παγκόσμιας παραγωγής πυριτίου. Το πρόβλημα δεν είναι τόσο η διαθεσιμότητα, καθώς φαίνεται ότι οι βιομηχανίες παραγωγής πυριτίου ηλεκτρονικής ποιότητας για την βιομηχανία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μπορούν να ανταποκριθούν αλλά είναι η τιμή αγοράς που δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20 €/kg. Η αξία του υλικού εκτός προδιαγραφών που δεν χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έχει αυξηθεί τελευταία πάνω από τα 25 €/kg λόγω της μεγάλης ζήτησης. Τα Φ/Β στοιχεία παράγονται με μια απόδοση υλικού μεταξύ 10 και 14 κιλά ανά kWp. Συνεπώς, η πρώτη ύλη συμβάλλει περίπου κατά 0.35 €/Wp στο κόστος των Φ/Β στοιχείων [5].

Η κατασκευή λοιπόν των Φ/Β στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου βασίζεται στην κοπή δισκίων (wafers) από χελώνη ή μονοκρυστάλλο πυριτίου και έχει αποδειχθεί ότι είναι μια τεχνολογία που δεν θα ξεπεραστεί σύντομα καθώς εξελίσσεται και βελτιώνεται συνέχεια.

Για να λυθεί το πρόβλημα επάρκειας των υλικών οι ακόλουθες επιλογές πρέπει να προωθηθούν:

- χρήση λεπτότερων δισκίων πυριτίου (wafer) υψηλότερης απόδοσης για να επιτευχθεί καλύτερη εκμετάλλευση του υλικού. Ο στόχος πρέπει να είναι περίπου 7 κιλά Si ανά kWp που θα οδηγήσει σε κόστος Φ/Β στοιχείων που δεν θα υπερβαίνει τα 0.20 €/Wp.
- ανάπτυξη και υιοθέτηση τεχνολογίας παραγωγής Φ/Β στοιχείων όπου δεν απαιτείται το κόψιμο (πριόνισμα) των στοιχείων από χελώνη (ingot).
- επένδυση σε τεχνολογία παραγωγής πρώτης ύλης πυριτίου κατάλληλου για φωτοβολταϊκά στοιχεία
- ανάπτυξη τεχνολογίας λεπτών υμενίων κρυσταλλικού πυριτίου
- ανάπτυξη συγκεντρωτικών συστημάτων

4. Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ - ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Οι Φ/Β γεννήτριες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως αρχιτεκτονικά στοιχεία επένδυσης των κτιρίων (Φωτό 1 και 2) και με αυτόν τον τρόπο συμβάλλουν εκτός των άλλων στην υποκατάσταση μέρους του κόστους των δομικών υλικών, ειδικά στα εμπορικά κτίρια με την ακριβή επένδυση, με συνέπεια την μείωση του καθαυτού κόστους του Φ/Β συστήματος. Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο Φ/Β συστήματα παράγουν αρίστης ποιότητας ηλεκτρική ενέργεια κοντά στο σημείο κατανάλωσης, αποφεύγοντας τις απώλειες μεταφοράς και διανομής. Η τεχνολογία ήδη έχει εφαρμοστεί επιτυχώς, συνήθως με επιχορήγηση ενώ ο στόχος μετά από 10 με 20 χρόνια είναι τα Φ/Β συστήματα να είναι εμπορικά βιώσιμα χωρίς επιδοτήσεις.

Ένα πλήρες Φ/Β σύστημα συμπεριλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα άλλων εξαρτημάτων, π.χ. καλώδια, μπαταρίες και μετατροπείς ισχύος. Τα εξαρτήματα αυτά "balance of Systems" - (BOS) παρέχουν την απαραίτητη διεπαφή μεταξύ των Φ/Β

γεννητριών και το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής ή άλλης συγκεκριμένης εφαρμογής.



Φωτό 1: Η ηλιακή γειτονιά στην πόλη Kiyomino της Ιαπωνίας με εγκαταστάσεις 237 kWp σε κατοικίες μιάς γειτονιάς.

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενη αναγνώριση του πολύτιμου ρόλου που μπορεί να παίξει η χρήση ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας στη μείωση της ρύπανσης και ειδικότερα στην σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η τεχνολογία Φ/Β συστημάτων είναι τώρα διαθέσιμη για το βιομηχανικό, εμπορικό και οικιακό καταναλωτή. Τα συστήματα BIPV αναμένεται να είναι η πρώτη οικονομικά αποδοτική εφαρμογή των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων στον ανεπτυγμένο κόσμο. Η παγκόσμια αγορά για τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα αυξάνεται γρήγορα λόγω κυρίως επιτυχημένων προγραμμάτων προώθησης. Δύο είναι οι κυριότερες εφαρμογές που αναπτύσσονται:

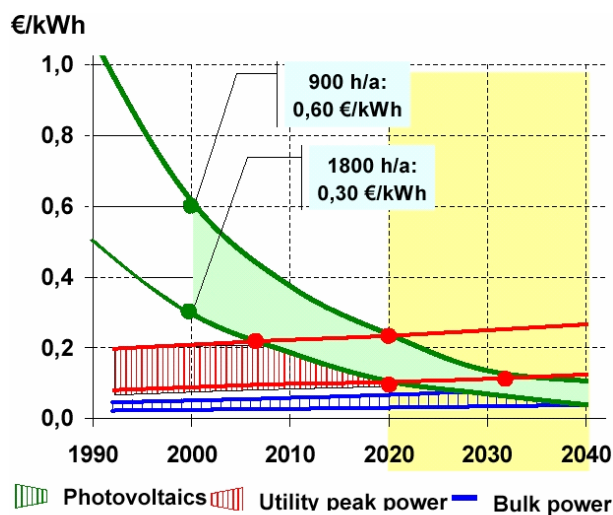
- για τον οικιακό τομέα (μέχρι 10 kWp) και
- για τον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα (>10 kWp).



Φωτό 2: Φ/Β συστήματα τοποθετημένα σε όψεις και οροφές κτιρίων.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η εκτιμώμενη εξέλιξη του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συνδεδεμένα στο δίκτυο για δυο τοποθεσίες με ηλιακό δυναμικό 1800 ώρες/έτος (συνθήκες Νότιας Ευρώπης) και 900 ώρες/έτος (συνθήκες βόρειας Ευρώπης). Το τρέχον

κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β στο δίκτυο κυμαίνεται χωρίς επιδότηση από 0,6 έως 0,3 €/kWh ανάλογα με την τοποθεσία. Το κόστος παραγωγής τις ώρες αιχμής ζήτησης ηλ. ενέργειας για τα Ευρωπαϊκά δίκτυα κυμαίνεται (κόκκινη περιοχή) από 0.07-0,2 €/kWh (το 2005) ενώ οι μονάδες βάσης παράγουν ηλ. ενέργεια με κόστος κάτω από 0,05 €/kWh. Συνεπώς τα Φ/Β που συνδέονται στο δίκτυο στην νότιο Ευρώπη μετά το 2015 θα μπορούν να είναι ανταγωνιστικά των μονάδων παραγωγής ηλ. ενέργειας αιχμής. Επιπλέον, η ημερήσια κατανομή παραγωγής από Φ/Β είναι τέτοια που συμπίπτει με τις αιχμές ζήτησης στη μέση της ημέρας οι οποίες επιδυνώνονται το καλοκαίρι λόγω χρήσης κλιματιστικών. Σε μελέτη που έγινε πρόσφατα για το ηλεκτρικό σύστημα των 6 πολιτειών της Νέας Αγγλίας, στις ΗΠΑ, βασισμένη σε ιστορικά στοιχεία κόστους παραγωγής του 2002 κατέληξαν ότι η διείσδυση στο δίκτυο 1 GWp Φ/Β θα μείωνε λόγω αφαίρεσης (ξυρίσματος) των αιχμών την μέση ετήσια τιμή κόστους παραγωγής ηλ. ενέργειας από 2 έως 5 % [6].



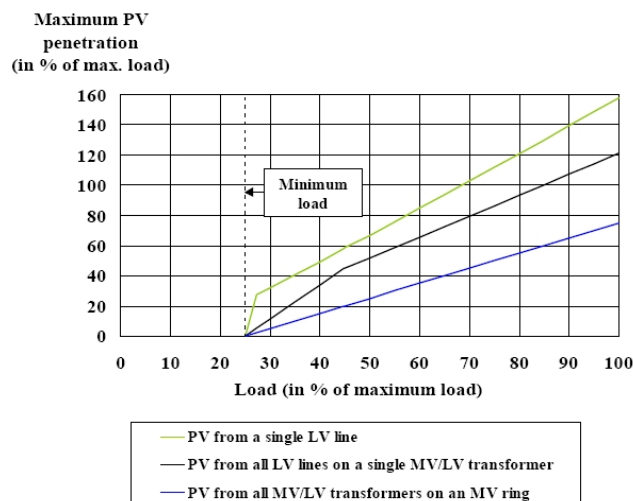
Source: RWE Energie AG and RSS GmbH

Σχήμα 4: Εκτιμώμενη εξέλιξη των τιμών κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συναρτήσει των συμβατικών μεθόδων παραγωγής [7].

Η χρήση των διασπαρμένων ενεργειακών πόρων (DER) και ειδικά η ηλεκτρική ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές, είναι μια επιλογή που όλο και περισσότερο ακολουθείται προκειμένου να αντικατασταθούν ή να μην επεκταθούν οι μεγάλοι συμβατικοί κεντρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με στόχο την μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι διασπαρμένες ενεργειακές μονάδες προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένων του σύντομου χρόνου εγκατάστασης και λειτουργίας λόγω μικρότερων μεγεθών, ενώ μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση της ζήτησης και ειδικά όταν η ηλεκτρική παραγωγή από Φ/Β συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης, βελτίωση της ποιότητας ισχύος, την μείωση των απωλειών μεταφοράς παράγοντας κοντά στους χρήστες και την αύξηση της αξιοπιστίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία ταιριάζει πλήρως στις απαιτήσεις των διασπαρμένων ενεργειακών συστημάτων και είναι σημαντικά ωριμότερη από άλλα εξελισσόμενα διασπαρμένα ενεργειακά συστήματα, όπως τους μικρο-αεροστρόβιλους και τις ενεργειακές κυψέλες. Η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι κοινές ηλεκτρονικές μονάδες ισχύος για διάφορες τεχνολογίες διασπαρμένης παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε

μεγαλύτερους όγκους παραγωγής, οι οποίοι με την σειρά τους θα οδηγήσουν σε αξιόπιστα και οικονομικά αποδοτικά προϊόντα.

Όπως έχει αποδειχθεί από μελέτη [8] υπάρχει μεγάλη δυνατότητα διείσδυσης των Φ/Β συστημάτων και άλλων μονάδων διάσπαρτης παραγωγής στο ηλεκτρικό σύστημα καθώς κατ'ελάχιστο είναι δυνατόν να συνεισφέρουν το 25% του ελάχιστου φορτίου τις ώρες λειτουργίας των χωρίς να δημιουργείται κάποιο πρόβλημα. (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Ποσοστό διείσδυσης Φ/Β σε σχέση με το φορτίο ζήτησης σε γραμμές της χαμηλής τάσης.

Για διείσδυσεις πάνω από 25%, για να αποφεύγονται οι υπερτάσεις στη γραμμή που είναι συνδεδεμένα τα Φ/Β θα μπορούσε να εφαρμοσθεί περιορισμός στην παραγωγή των. Ένα τέτοιο μέτρο δεν εκτιμάται ότι προσθέτει σημαντικό κόστος στα ηλεκτρονικά ισχύος αλλά ίσως δημιουργήσει προβλήματα στην λειτουργία των μετατροπέων όταν παρουσιάζονται διαταραχές της τάσης στο δίκτυο. Η ιδέα αυτή (droop control) ήδη εφαρμόζεται σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα με 100% διείσδυση, αλλά με βάση την απόκλιση της συχνότητας λειτουργίας του δικτύου από τα 50 Hz [9]. Μια εναλλακτική λύση είναι η αλλαγή του λόγου υπο-πολλαπλασιασμού (ρύθμιση τάσης στις επαφές του μετασχηματιστή τάσης) στην είσοδο των μετασχηματιστών Μέσης προς Χαμηλή τάση ώστε να υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης διείσδυσης Φ/Β σε περιόδους όπου συστηματικά εμφανίζεται χαμηλή ζήτηση όταν υπάρχει μεγάλη παραγωγή από Φ/Β. Αυτό στην Ελλάδα θα μπορούσε να συμβεί τον Αύγουστο στις αστικές περιοχές όταν οι κάτοικοι βρίσκονται σε διακοπές ή και σε τουριστικές περιοχές εκτός εποχής διακοπών. Οι δαπάνες για την υλοποίηση αυτού του μέτρου είναι μάλλον μικρές.

Για την διασύνδεση των διάσπαρτων μονάδων παραγωγής σημαντική είναι η ανάπτυξη προτύπων για αποτελεσματική και ασφαλή ενσωμάτωση των μονάδων στο δίκτυο. Τα πρότυπα που υπάρχουν (εγκεκριμένα και μη) και διέπουν τις προδιαγραφές σχετικά με την λειτουργία, δοκιμή, ασφάλιστικά μέτρα και συντήρηση στο σημείο σύνδεσης είναι:

- IEEE 929-2000 Recommended practice for utility interface of PV systems.
- IEEE P1547 Draft10. Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems.

Υπάρχουν και άλλα πρότυπα που αφορούν στην ανταλλαγή πληροφορίας για λόγους επιτήρησης και ελέγχου των

μονάδων διάσπαρτης παραγωγής στα ηλεκτρικά δίκτυα και είναι τα εξής:

- IEEE P1614 (τόρα P1547.3) Guide for monitoring, information exchange and control of distributed resources interconnected with EPS.
- IEC 61400-25 Wind turbine generator systems. Part 25: Communication for monitoring and control of wind power plants.
- IEC 61850. Communication networks and systems in substations.

Όσον αφορά την διασύνδεση μικρών Φ/Β μονάδων μέχρι 10kWp το πρότυπο IEEE 929-2000 περιέχει συμβουλές για τον παραλληλισμό τους στο δίκτυο και αφορά μόνο των μετατροπέα ισχύος καθώς είναι η συσκευή που πρέπει να διαθέτει τις απαραίτητες λειτουργίες και προστασίες. Συνεπώς, το πρότυπο είναι ανεξάρτητο από την πηγή ενέργειας η οποία θα μπορούσε να είναι Φ/Β, μπαταρίες, ενεργειακές κυψέλες κλπ. Το πρότυπο καλύπτει κυρίως θέματα ποιότητας ισχύος, ασφάλειας και προστασίας. Οι οδηγίες ποιότητας ισχύος είναι σημαντικές για τον διαχειριστή του δικτύου ώστε να έχει την διαβεβαίωση ότι η εξάπλωση των Φ/Β συστημάτων δεν θα έχει αρνητικές συνέπειες στους πελάτες της. Οι καταστάσεις λειτουργίας εκτός των προσδιορισμένων ορίων πρέπει να προκαλούν την διακοπή μεταφοράς ενέργειας στο δίκτυο από το σύστημα μέχρι αυτές να επανέλθουν στα κανονικά όρια. Μια από τις ανησυχίες των εταιριών ηλεκτρισμού είναι η πιθανότητα δημιουργίας ενεργοποιημένης νησίδας (Islanding) μετά από κάποιο σφάλμα και διακοπή στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι κάποια γραμμή είναι ηλεκτροφόρος ενώ δεν θα έπρεπε να είναι. Η νησίδες αποτελούν κίνδυνο για τους τεχνικούς που θεωρούν ότι η γραμμή δεν είναι ηλεκτροφόρος μετά από κάποια διακοπή. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι η πιθανότητα δημιουργίας είναι εξαιρετικά μικρή και όταν συμβαίνει συνήθως δεν διαρκεί πάνω από 60 δευτερόλεπτα, ένα χρονικό διάστημα κατά την διάρκεια του οποίου δεν προλαβαίνει να επέμβει κάποιος τεχνικός.

Τα εμπόδια στη διαδεδομένη χρήση των Φ/Β στη διασπαρμένη παραγωγή (DG) είναι κοινά σε μεγάλο βαθμό με άλλες τεχνολογίες που συνδέονται στο δίκτυο μέσω μετατροπέων ισχύος (inverter), όπως [1]:

1. Συγκεκριμένα τεχνικά προβλήματα σχετικά με τα παρελκόμενα (όπως οι αντιστροφείς ισχύος) και την σύνθεση ολοκληρωμένων συστημάτων
 2. η έλλειψη τυποποιημένων προσεγγίσεων για την διασύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο
 3. έλλειψη συνειδητοποίησης και εμπειρίας με την τεχνολογία από τους δυνητικούς χρήστες
 4. ιστορικές αντιλήψεις για την τεχνολογία που μπορεί να είναι αρνητικές και υποκειμενικές
 5. έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων σχετικά με την απόδοση σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και τις πραγματικές δαπάνες στον χρόνο ζωής του συστήματος
 6. έλλειψη της ποιοτικά εγγυημένης εγκατάστασης και διαχείρισης του συστήματος
 7. κατανόηση των κινήτρων για την εγκατάσταση Φ/Β που έχουν υψηλότερη αξιολογία.
- Η ενσωμάτωση πολλών μικρών μονάδων διασπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις υπάρχουσες δομές εφοδιασμού επιτάσσει την χρήση νέων τεχνολογικών λύσεων. Οι βελτιωμένες διαδικασίες διαχείρισης της ενέργειας και οι προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών είναι απαραίτητες για να υποστηρίξουν μια αξιόπιστη, οικονομική και ασφαλή λειτουργία όλων των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Η κύρια προσοχή εστιάζεται στις νέες προσεγγίσεις στην τεχνολογία συστημάτων σχετικά με την διασπαρμένη

παραγωγή, τη σταθερότητα και την ποιότητα του ηλεκτρισμού, την αξιοπιστία παροχής ηλεκτρισμού, τον προγραμματισμό ανάπτυξης του δικτύου, θέματα ασφάλειας και επικοινωνίας δεδομένων και μέθοδοι πρόγνωσης της ζήτησης και της παραγωγής ισχύος (βλέπε στο διαδίκτυο αποτελέσματα του προγράμματος της E.E. DISPOWER, www.dispower.org για τις τελευταίες εξελίξεις).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σημαντική αύξηση της παραγωγής και εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β λόγω των επιτυχημένων προγραμμάτων προώθησης από ορισμένες χώρες βοηθάει στην μείωση των τιμών και στην περαιτέρω εξάπλωση της τεχνολογίας. Η ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια (BIPV) σαν διασπαρμένες μονάδες παραγωγής θα έχει σημαντική ενεργειακή συμβολή στο μέλλον, δεδομένου ότι τα ηλιακά Φ/Β αποτελούν τη κυριότερη τεχνολογία ανανεώσιμων που μπορεί να ενταχθεί ευρέως στις πόλεις με βαθμό διείσδυσης πάνω από 25% του ελάχιστου φορτίου του συστήματος, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα ποιότητας και ασφάλειας με το ηλεκτρικό σύστημα. Η διάδοση των Φ/Β συστημάτων αντικαθιστά ή αναβάλλει την επέκταση συμβατικών κεντρικών σταθμών παραγωγής με αποτέλεσμα με θετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον. Επιπλέον, ιδιαίτερη αξία έχει η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τα Φ/Β όταν συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης, όπως κατά τις καλοκαιρινές αιχμές λόγω χρήσης κλιματιστικών. Άλλες θετικές επιπτώσεις είναι η βελτίωση της ποιότητας ισχύος, η μείωση των απωλειών μεταφοράς, παράγοντας κοντά στους χρήστες, και η αύξηση της αξιοπιστίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/html/pvotech.html
2. Photon International, May 2003 issue and information collected during the 3rd World PV Conference and Exhibition, Osaka, Japan, May 11-18, 2003.
3. Euroserv'ER, SYSTÈMES SOLAIRES, PHOTOVOLTAIC BAROMETER, April 2003 and 2004.
4. Report IEA PVPS Task 1, T1-13:2004, «Trends in photovoltaic applications, Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2003», September 2004.
5. PHOTOVOLTAICS, An Energy Resource for the European Union", Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001, EUR 20015, ISBN 92-894-1754-4.
6. Kate Martin, Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology, Photon International, "Power by the hour", December 2004, page 38-41.
7. Winfried Hoffmann, RWE Schott Solar, "3GW cumulative PV installations as goal in EU Whitebook assured by cost effective feed-in law", IEA-PVPS Conference, Osaka Japan, May 19-20, 2003.
8. Report IEA PVPS T5-10: 2002, Impacts of Power Penetration from Photovoltaic Power Systems in Distribution Networks February 2002, Prepared by: Arne Faaborg POVLSEN ELSAM A/S.
9. Thomas Degner, Philipp Taylor, Dave Rollinson, Aristomenis Neris, Stathis Tselepis, "Interconnection of solar powered mini-grids - a case study Kythnos island, Greece". Visual presentation 7BV 3.40 at the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, 7.-11, June 2004.