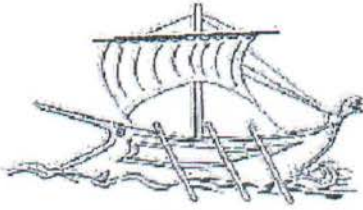


H/Γ
599



Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

***Κάλυψη ενεργειακών αναγκών κατοικίας από
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας***



Πτυχιακή Εργασία

Αντώνιος Αποστολάκης (Α.Μ. 7448)

Επιβλέπων καθηγητής

Παντελής Μαλατέστας

Αθήνα Σεπτέμβριος 2011

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κατάλογος Εικόνων.....	6
1 Εισαγωγή	7
2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	10
2.1 Γενικά στοιχεία.....	10
2.1.1 Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	12
2.2 Φωτοβολταϊκά.....	16
2.2.1 Γενικά στοιχεία και λειτουργία.....	16
2.2.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β και παραγωγή ηλεκτρισμού.....	23
2.2.1.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα.....	23
2.2.1.2 Η καμπύλη I-V	24
2.2.1.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου	26
2.2.1.4 Απόδοση και παραγωγή ενέργειας.....	27
2.2.2 Παραγωγή θερμότητας	28
2.2.3 Συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας από φωτοβολταϊκά στοιχεία 30	
2.2.3.1 Τομείς και χαρακτηριστικά εφαρμογής μεθόδων συμπαραγωγής.....	33
2.3 Υβριδικά συστήματα.....	36
2.3.1 Γενική παρουσίαση υβριδικών συστημάτων	36
2.3.2 Απόδοση υβριδικών συστημάτων και μεγέθη μέτρησης εξοικονόμησης ενέργειας	39
3 Στοιχεία νομοθεσίας	49
3.1 Άδεια εγκατάστασης.....	49
3.1.1 Επιτρεπτοί χώροι εγκατάστασης	49
3.1.2 Φορείς έκδοσης	50
3.1.3 Παράταση ισχύος άδειας εγκατάστασης.....	51

3.1.4	Εξαιρέσεις.....	52
3.2	Άδεια λειτουργίας	53
3.2.1	Φορείς έκδοσης	53
3.2.2	Διάρκεια ισχύος.....	53
3.2.3	Εξαιρέσεις.....	54
3.3	Κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων παράγωγης ενεργείας με εκμετάλλευση της ηλιακής Ενεργείας.....	55
3.3.1	Κατάταξη Φ/Β συστημάτων σε κατηγορίες με χωροθετικά κριτήρια	57
4	Ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για τυπική οικογενειακή κατοικία	59
4.1	Ηλεκτρικές ανάγκες	59
4.2	Θερμικές ανάγκες.....	61
5	Μελέτη κάλυψης αναγκών μέσω ΑΠΕ	62
5.1	Χρήση φωτοβολταϊκών.....	62
5.1.1	Ημερήσια απόδοση και ισχύς φβ	63
5.1.2	Παραγόμενη ενέργεια από τα φβ πλαίσια	65
5.2	Υποστήριξη από άλλες μορφές	66
5.2.1	Υποστήριξη από κινητήρα	66
5.2.1.1	Έξοδος του συστήματος	70
5.2.2	Υποστήριξη από θερμοσιφωνικό συλλέκτη	71
5.2.2.1	Παραγόμενη ενέργεια.....	73
5.3	Σύνοψη κάλυψης ενεργειακών αναγκών	73
5.4	Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω χρήσης παθητικών συστημάτων.....	75
5.4.1	Παθητικά συστήματα φωτισμού	75
5.4.2	Παθητικά συστήματα θέρμανσης.....	76
6	Παρουσίαση απόδοσης προτεινόμενης λύσης	78
6.1	Τρόπος υπολογισμού κόστους	78
6.2	Μελέτη απόδοσης	82
7	Επίλογος - Συμπεράσματα.....	87

7.1	Σύνοψη εργασίας.....	87
7.2	Μελλοντικές έρευνες.....	88
7.3	Μέλλον των ΑΠΕ.....	89
	Βιβλιογραφία.....	91

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Παράδειγμα μεταβάσεων της ισχύος φωτοβολταϊκής γεννήτριας.....	18
Εικόνα 2: Απλό ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου	23
Εικόνα 3: Πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου	24
Εικόνα 4: Η καμπύλη $I - V$ ενός Φ/Β στοιχείου	26
Εικόνα 5: (α) Συμβατικός σταθμός και (β) Σταθμός συμπαραγωγής.....	40
Εικόνα 6: Συνδυασμός συμπαραγωγής και ξεχωριστής παραγωγής ενέργειας	44
Εικόνα 7: Μηνιαία ενεργειακή συμπεριφορά και απόδοση των φβ (Πηγή: Μακρής, 2009) .	63
Εικόνα 8: Ισχύς και απόδοσης του συστήματος (Πηγή: Μακρής, 2009)	64
Εικόνα 9: Συμπεριφορά συστήματος σε μικρή κατανάλωση (Πηγή: Μακρής, 2009)	65
Εικόνα 10: Συμπεριφορά συστήματος σε μικρή κατανάλωση (Πηγή: Μακρής, 2009)	66

1 Εισαγωγή

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι βασισμένες στο πετρέλαιο, τον άνθρακα και το φυσικό αέριο έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικοί οδηγοί της οικονομικής προόδου αλλά συγχρόνως και της καταστροφής του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

Καταρρακτώδες βροχές, παρατεταμένοι καύσωνες και πυρκαγιές είναι μερικά από τα φαινόμενα που προκύπτουν από τη μεγάλη συγκέντρωση των φυσικών αερίων που συμβάλουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Η αλλαγή των κλιματικών συνθηκών του πλανήτη ως συνέπεια της αλόγιστης χρήσης των ενεργειακών πόρων αναμένεται να είναι σημαντική, αφού εκτιμήσεις της επιστημονικής κοινότητας προβλέπουν αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη έως και 3.5 °C μέχρι το 2100 (Μακρής, 2009).

Η Ευρώπη συμβάλει κατά 14% στο σύνολο των ετήσιων εκπομπών CO₂ ενώ η Ασία κατά 25% και η Βόρεια Αμερική 29%. Οι εκπομπές του CO₂, του κατ' εξοχήν υπεύθυνου αερίου για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (80%) προέρχονται από τον ευρύτερο ενεργειακό τομέα (πρωτογενή παραγωγή). Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και ιδιαίτερα του πετρελαίου συμβάλει κατά 50% στις ετήσιες συνολικές εκπομπές του CO₂ στην Ε.Ε. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού ευθύνεται για το 30% των εκπομπών του CO₂ ενώ ο οικιακός τομέας συμμετέχει με ποσοστό που αγγίζει το 14%. Παράλληλα η συμμετοχή του ενεργειακού τομέα στις εκπομπές άλλων αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου όπως CH₄ και N₂O είναι σχετικά μικρή με 17% και 7% αντίστοιχα (Μακρής, 2009).

Στο παραπάνω πλαίσιο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης ορυκτών πόρων αλλά συγχρόνως και η αύξηση ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα στην εύρεση άλλων ενεργειακών λύσεων με ιδιαίτερη κατεύθυνση προς τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Οι δυνατότητες των ΑΠΕ είναι σημαντικές δεδομένου ότι μπορούν να εξυπηρετήσουν μέρος της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια και περιορισμό των συμβατικών ενεργειακών πηγών για παροχή θερμότητας, μηχανικού έργου ή άλλων ενεργειακών μορφών. Οι ανανεώσιμες πηγές όπως η βιομάζα, η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και γεωθερμική ενέργεια μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους.

Η μετάβαση στα ενεργειακά συστήματα βασισμένα σε ανανεώσιμες πηγές, φαίνεται όλο και περισσότερο πιθανή, καθώς το κόστος των συστημάτων αυτών μειώνεται σημαντικά με τη πάροδο του χρόνου σε αντίθεση με την τιμή του πετρελαίου που τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει μία άνοδο. Γίνεται έτσι σαφές ότι η μελλοντική ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα θα βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στις ανανεώσιμες πηγές και σε μικρότερο βαθμό στο φυσικό αέριο, στο πετρέλαιο και στον άνθρακα (Μακρής, 2009).

Έχοντας τα παραπάνω υπόψη, στην εργασία αυτή θα γίνει καταρχήν μια εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και η απόδοση και η παραγωγή ενέργειας τέτοια συστήματα, όπως και η παραγωγή θερμότητας και ο συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επιπλέον, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στα υβριδικά συστήματα, στην απόδοση υβριδικών συστημάτων και στα μεγέθη μέτρησης εξοικονόμησης ενέργειας, και θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα στοιχεία νομοθεσίας, και

λεπτομέρειες αναφορικά με την άδεια εγκατάστασης, την άδεια λειτουργίας και κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων παράγωγης ενέργειας με εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Εν συνεχεία, θα γίνει αναφορά στις ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για μια τυπική οικογενειακή κατοικία, ενώ θα μελετηθεί το ποσοστό κάλυψης σε ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για δύο σπίτια με διαφορετικές ημερήσιες καταναλώσεις βάσει της ενέργειας που παράγει το προτεινόμενο σύστημα.

2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.1 Γενικά στοιχεία

Μορφές Α.Π.Ε. θεωρούνται η βιοενέργεια-βιομάζα, η ηλιακή, η αιολική ενέργεια κ.λπ. Η εκμετάλλευση τους αποτελεί ένα από τα βασικά μέσα για την αποφυγή της ενεργειακής εξάρτησης από τις συμβατικές μορφές ενέργειας και την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Όλες οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης ενέργειας προκαλούν, σε ορισμένο βαθμό, περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μία σειρά περιβαλλοντικών κριτηρίων και κατευθυντήριων γραμμών περιγράφει ποια τεχνολογία θεωρείται σημαντική ως προς τις προοπτικές αειφορίας, ποια τεχνολογία, δηλαδή, χαρακτηρίζεται ως αειφόρος τεχνολογία. Τα κριτήρια της αειφορίας μπορούν να περιγραφούν ως εξής (<http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=353&lang=1&atpid=1>) :

- Η αποφυγή χρήσης καυσίμων που εξαντλούνται,
- Η αποδοτική μετατροπή και χρήση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, ως προσωρινό μέτρο, για το χρονικό διάστημα που απαιτείται έως ότου υπάρξει πλήρης εκμετάλλευση των Α.Π.Ε.,
- Ο σχεδιασμός τεχνολογίας και συστημάτων ενεργειακής μετατροπής, έτσι ώστε να χρησιμοποιούν με αποδοτικό τρόπο την ενέργεια,
- Η αντιστοίχιση ενεργειακής μετατροπής και επιλέξιμων καυσίμων με τις ανάγκες του τελικού χρήστη,

- Η ελαχιστοποίηση των τοπικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών τεχνολογιών και ο συμψηφισμός των όποιων τοπικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τα ευρύτερα περιβαλλοντικά οφέλη σε παγκόσμια κλίμακα που συνεπάγονται οι τεχνολογίες αυτές,

- Η αποφυγή απόσπασης, από τις φυσικές ενεργειακές ροές, ποσότητας ενέργειας μεγαλύτερης από αυτή που χρειάζονται τα τοπικά οικοσυστήματα, Α.Π.Ε. – Οι εναλλακτικές τεχνολογίες για ένα αειφόρο μέλλον

- Ο συνυπολογισμός στον ενεργειακό σχεδιασμό των απόψεων των τοπικών πληθυσμών σχετικά με τις χρήσεις γης και τις επιπτώσεις στα αισθητικά στοιχεία του τοπίου,

- Η ανάπτυξη τεχνολογιών, οι οποίες θα διασφαλίζουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν θα υπερβαίνουν την ενεργειακή φέρουσα ικανότητα του πλανήτη, δεδομένου ότι υπάρχουν τεχνικά όρια ακόμη και στην απόσπαση ενέργειας από τις φυσικές ενεργειακές ροές,

- Η συνεκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους των διάφορων ενεργειακών επιλογών μαζί με τα καθαρά οικονομικά κόστη, και

- Η παρακολούθηση εκπομπών άνθρακα της κάθε ενεργειακής επιλογής, καθώς και άλλων αερίων, μέσα από πλήρη ανάλυση του ενεργειακού κύκλου ζωής (Περιβάλλον 2008). Οι περισσότερες ενεργειακές πηγές προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο. Τα ορυκτά καύσιμα είναι απλά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια, παγιδευμένη στο υπέδαφος για χιλιάδες χρόνια με τη μορφή γαιάνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου. Εντούτοις, μόλις τα σχετικά αποθέματα των πηγών αυτών εξαντληθούν, δεν αντικαθίστανται και χάνονται για πάντα. Αντιθέτως, οι περισσότερες Α.Π.Ε. βασίζονται σε συνεχόμενες ηλιακές εισροές, οι οποίες

δημιουργούν ανεξάντλητες φυσικές ενεργειακές ροές παρέχοντας άμεση θέρμανση, δημιουργώντας ανέμους ή κύματα, υδάτινες ροές σε ποταμούς και λίμνες ή αποθηκευόμενες βραχυπρόθεσμα σε φυτικούς ιστούς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως καύσιμο με τη μορφή της βιομάζας.

2.1.1 Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Κατά τη διάρκεια των 2 τελευταίων δεκαετιών, ο όρος αειφόρος ή βιώσιμη ανάπτυξη χρησιμοποιείται ευρύτατα, για να αναδείξει τις παραπάνω ανησυχίες. Έτσι, η προσοχή δεν εστιάζεται μόνο στα υλικά επίπεδα κατάχρησης των πόρων και στη μόλυνση του περιβάλλοντος αλλά και στις ανθρώπινες ανάγκες με προεκτάσεις στον τρόπο ζωής, στην ποιότητα ζωής, στα αδιέξοδα αναπτυξιακά πρότυπα καθώς και σε θέματα παγκόσμιων ανισοτήτων και αναδιανομής. Επιβάλλεται, συνεπώς, η παραγωγή και κατανάλωση «πράσινων» προϊόντων και η υιοθέτηση καθαρότερων διαδικασιών παραγωγής μέσα από ευρεία εφαρμογή εναλλακτικών τεχνολογιών.

Σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις, για να μην εκφυλισθούν οι εναλλακτικές αυτές τεχνολογίες σε απλές «τεχνικές επιδιορθώσεις» (technical fixes), η αποτελεσματική αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων προϋποθέτει την περικοπή κατά 95%, περίπου, τόσο των επιπέδων μόλυνσης όσο και της παγκόσμιας χρήσης ενεργειακών και υλικών πόρων. (Appenzeller 2004) Με τον όρο Ηλιακή Ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας.

(<http://www.greekmoney.gr/permalink/18271.txt>). Κάθε ημέρα, η Γη δέχεται τόση ποσότητα ηλιακής ενέργειας όση χρειάζεται για να καλυφθούν οι παγκόσμιες ανάγκες για ένα χρόνο. Έχει υπολογιστεί ότι κατά τη διάρκεια 1 χρόνου, το 0,0047% της ηλιακής ενέργειας θα ήταν αρκετό για να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Είναι εμφανές ότι η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ελάχιστο ποσοστό της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας (ICAP 2009 / www.ypeka.gr).

Η τεχνολογία που την εκμεταλλεύεται αξιοποιεί τόσο τη θερμότητα όσο και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα/φωτόνια που εκπέμπει ο ήλιος. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε αέρα, νερό ή κάποιο άλλο ρευστό. Ένα τυπικό ενεργητικό ηλιακό σύστημα αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι τοποθετούνται σε ευήλια σημεία με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30ο–60ο ως προς τον ορίζοντα, για μεγιστοποίηση της συλλεγόμενης ακτινοβολίας, από το δοχείο αποθήκευσης θερμότητας, την αντλία και τις σωληνώσεις. Οι συμβατικοί ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από αγώγιμα μέταλλα, όπως ο χαλκός ή το αλουμίνιο και από γυαλί.

Το πρόβλημα ρύπανσης κατά τη διαδικασία κατασκευής του συστήματος αντιμετωπίζει, σε μεγάλο βαθμό, η καινοτομική κατασκευή ηλιακού συλλέκτη από πολυμερές υλικό (ειδικού τύπου πολυουρεθάνη ενισχυμένη με πυκνές ίνες-ύφασμα), το οποίο είναι πλήρως ανακυκλώσιμο Α.Π.Ε. – Οι εναλλακτικές τεχνολογίες για ένα αειφόρο μέλλον και υπερτερεί έναντι των συμβατικών υλικών σε κόστος συντήρησης, βάρος και αντιδιαβρωτική αντοχή, χωρίς να εκπέμπει πάλι στο περιβάλλον τη χαμηλής θερμοκρασίας αποθηκευμένη θερμότητα. Υπολογίζεται ότι η χρήση των κεντρικών ηλιακών συστημάτων μειώνει τα ετήσια οικιακά έξοδα θέρμανσης στο μισό, ενώ στην Ελλάδα αποτρέπει την εκπομπή περισσότερων από 1,5 τόνων CO₂ κάθε χρόνο. Επιπλέον, η ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας δημιουργεί θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο και

συντελεί στην αναθέρμανση των τοπικών οικονομιών. Μεγάλης κλίμακας ενεργητικά ηλιακά συστήματα δοκιμάζονται σε όλο τον κόσμο με τη μορφή γιγάντιων κοίλων κατόπτρων/παραβολοειδών πιάτων, που συγκεντρώνουν την ηλιακή θερμότητα, ακολουθώντας την πορεία του ήλιου στον ουράνιο θόλο και εστιάζοντας τις ακτίνες του, ώστε να δημιουργήσουν ατμό ή θερμό αέρα και να παραχθεί έτσι ηλεκτρισμός. (Καρύτσας & Μενδρινός 2004).

Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική. (www.ypeka.gr) Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από πολλά συνδεδεμένα μεταξύ τους Φ/Β κύτταρα. Η λειτουργία των κυττάρων αυτών βασίζεται στη μεταφορά Α.Π.Ε. – Οι εναλλακτικές τεχνολογίες για ένα αειφόρο μέλλον ενέργειας από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτουν στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού από κρυστάλλους πυριτίου (Si), ο οποίος χαρακτηρίζεται από δύο περιοχές: μία p-τύπου (πλούσια σε οπές) και μία n-τύπου (πλούσια σε ηλεκτρόνια), στη διεπιφάνεια των οποίων αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Με αυτό το τρόπο εμφανίζεται διαφορά δυναμικού (τάσης) στα άκρα του συστήματος και στη συνέχεια κυκλοφορία των φορτίων (ηλεκτρικό ρεύμα), όταν γίνει σύνδεση με εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Σήμερα, οι κρύσταλλοι πυριτίου είναι ακριβοί στην σύνθεσή τους, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι ασύμφορη οικονομικά σε σχέση με την αντίστοιχη που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Σχετικά πρόσφατα, διάφοροι κατασκευαστές βρήκαν τρόπους να παράγουν πιο οικονομικά ηλιακά κύτταρα με χρήση νέων υλικών, όπως εξαιρετικά λεπτών στρώσεων (films) άμορφου πυριτίου ή οργανικών πολυμερών ή ολιγομερών υλικών, ώστε να απαιτείται λιγότερο ημιαγωγίμο υλικό και να είναι σημαντικά φθηνότερα, ενώ άλλα υλικά επιτυγχάνουν από 15% έως 25% αποδοτικότητα μετατροπής. Το υψηλό τους κόστος συνεχίζει να μειώνεται, ενώ σύντομα τα Φ/Β κύτταρα θα αντικαθιστούν την

κάλυψη οροφών ή προσόψεων, συμψηφίζοντας το κόστος κατασκευής τους με αυτό των υλικών κατασκευής συμβατικών οροφών, στεγών ή τοίχων. Τα Φ/Β συστήματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους σε:

- καταναλωτικά προϊόντα (έως 100W), τα οποία χρησιμοποιούνται σε περιοχές μη συνδεδεμένες με το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού, όπως σε τροχόσπιτα, αγροικίες κ.λπ. για φωτισμό, ψύξη κ.ά.,

- αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (από 100W έως 200KWp), τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για κατοικίες ή οικισμούς μη συνδεδεμένους στο δίκτυο -όπου χρειάζεται και η σύνδεση ενός συσσωρευτή για αποθήκευση της ενέργειας σε περιπτώσεις χαμηλής ηλιοφάνειας- ή υποστηρίζουν δραστηριότητες όπως αφαλάτωση/ άντληση/καθαρισμός νερού, φωτισμός δημόσιων εξωτερικών χώρων, δηλαδή δρόμων/ πάρκων/αεροδρομίων, συστήματα τηλεπικοινωνιών ή σηματοδότησης κ.ά.,

- συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο (από 200KWp και άνω), τα οποία τροφοδοτούν κατοικίες ή άλλα κτίρια και όπου η πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται (πωλείται) στο δίκτυο ή συστήματα που τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο. (Ευθυμιόπουλος & Μοδινός 2002 / www.ypeka.gr / ICAP 2009)

2.2 Φωτοβολταϊκά

2.2.1 Γενικά στοιχεία και λειτουργία

Όπως αναφέρεται στην εργασία του Παναγιώτου (2007), το φως του ήλιου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τα φωτοβολταϊκά ή ηλιακά κύτταρα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (PV) είναι συσκευές ημιαγωγών, συνήθως φτιαγμένες από πυρίτιο, οι οποίες δεν περιέχουν κανένα υγρό, διαβρωτική χημική ουσία ή κινούμενο μέρος. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με χρήση του φωτός, απαιτούν λίγη συντήρηση, δεν μολύνουν και λειτουργούν σιωπηλά, κάνοντας τη φωτοβολταϊκή ενέργεια την καθαρότερη και ασφαλέστερη μέθοδο ηλεκτρικής παραγωγής.

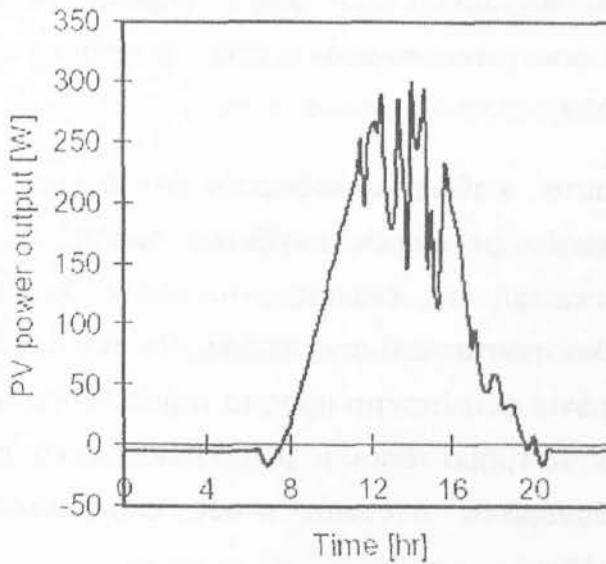
Αυτό που κάνουν τα συστήματα αυτά, είναι ουσιαστικά να μετατρέπουν ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας άμεσα σε ηλεκτρική. Το πυρίτιο, το δεύτερο αφθονότερο στοιχείο στον φλοιό της γης, είναι το ίδιο υλικό ημιαγωγών που χρησιμοποιείται στους υπολογιστές. Όταν το πυρίτιο συνδυάζεται με ένα ή περισσότερα υλικά, παρουσιάζει ηλεκτρικές ιδιότητες στο φως του ηλίου. Τα ηλεκτρόνια διεγείρονται από το φως και κινούνται μέσω του πυριτίου. Αυτό είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκή επίδραση και οδηγεί στην άμεση παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικής ενέργειας (DC).

Η φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο. Εξάλλου, τα πλεονεκτήματά της είναι πολλά:

- είναι συνολικά μη ρυπαντικό,
- δε χρειάζεται βοήθεια από μηχανές,
- δεν απαιτεί πολλή συντήρηση.

Επιπλέον, εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής παραγωγής είναι ότι δεν απαιτεί μια εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας για να λειτουργήσει, σε αντίθεση με τους κοινούς σταθμούς ηλεκτρικής παραγωγής. Οι ηλιογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε σπίτι ή επιχείρηση ή σχολείο, και να παράγουν ισχύ ήσυχα και ακίνδυνα.

Από την άλλη μεριά, όπως σε όλες τις τεχνολογίες, έτσι και εδώ υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του (ηλιακή ακτινοβολία) δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απότομες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις. Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και με μία πιο αυστηρή ορολογία, ροή ακτινοβολίας που ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε kW/m^2 . Επίσης στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον, ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται δύο παραδείγματα των μεταβολών της ισχύος που παράγει μία φωτοβολταϊκή γεννήτρια κατά τη διάρκεια της μέρας (Παναγιώτου, 2007).



Εικόνα 1: Παράδειγμα μεταβάσεων της ισχύος φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Πέρα από τα μειονεκτήματα αυτά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται πλέον σε μεγάλο βαθμό. Η λειτουργία τους βασίζεται στο λεγόμενο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Με βάση και τους ορισμούς που δίνονται από τον ίδιο ερευνητή, ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζεται η άμεση μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια σε ατομικό επίπεδο. Μερικά υλικά έχουν την ιδιότητα γνωστή ως φωτοηλεκτρική επίδραση με την οποία απορροφώντας φωτόνια από το φως απελευθερώνουν ηλεκτρόνια. Όταν αυτά τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται, δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα και έτσι ηλεκτρική ενέργεια.

Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία όπως απεικονίζεται στο σχήμα. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη

δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας (Παναγιώτου, 2007).

Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ηλεκτροστατικού της πεδίου. Με τον τρόπο αυτό, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου.

Η εκδήλωση της τάσης αυτής ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάταξη αποτελεί μια πηγή ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα I_{ϕ} , που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Η πυκνότητα του φωτορεύματος δίνεται από τη σχέση (Παναγιώτου, 2007):

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda$$

όπου e , είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο και λ_g , το μέγιστο χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος ακτινοβολίας στον ημιαγωγό. $S(\lambda)$ είναι η φασματική απόκριση που ορίζεται ως το πλήθος των φορέων

που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου σε σχέση με τη φωτονική ροή $\Phi(\lambda)$, δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι $\lambda+d\lambda$. $R(\lambda)$ είναι ο δείκτης ανάκλασης της επιφάνειας του στοιχείου.

Αναφορικά με την λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος, βασίζεται στο γεγονός ότι το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας ημιαγωγός), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Σ' αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας (Παναγιώτου, 2007).

Από τα στοιχεία τα κυριότερα ημιαγωγίμα υλικά είναι το Γερμάνιο (Ge), το Πυρίτιο (Si) και το Σελήνιο (Se). Από αυτά το πιο σημαντικό είναι το πυρίτιο, γιατί βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στη φύση. Από ηλεκτρικής απόψεως τα διάφορα σώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τους αγωγούς, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Οι ημιαγωγοί σε κατάλληλες συνθήκες εκδηλώνουν τις ιδιότητες των άλλων δύο κατηγοριών και μπορούν να λειτουργήσουν ως αγωγοί ή ως μονωτές.

Στους αγωγούς του ηλεκτρισμού τα ηλεκτρόνια σθένους είναι πολύ ευκίνητα και σε αυτήν την ευκινησία οφείλονται οι αγωγίμες ιδιότητες του υλικού. Αντίθετα στους μονωτές τα ηλεκτρόνια σθένους είναι πολύ ισχυρά συνδεδεμένα με τον πυρήνα και εδώ οφείλονται οι μονωτικές τους ιδιότητες. Στους ημιαγωγούς τα ηλεκτρόνια σθένους συνδέονται σχετικά χαλαρά με τον πυρήνα, χωρίς να έχουν την ευκινησία των ηλεκτρονίων των αγωγών. Αν όμως, ένα ηλεκτρόνιο πάρει με κάποιον τρόπο πρόσθετη ενέργεια, τότε μπορεί να σπάσει τους δεσμούς του με τον πυρήνα και να φύγει απ' αυτόν. Η θέση από την οποία φεύγει το ηλεκτρόνιο είναι περιοχή με ηλεκτρονικό έλλειμμα, παρουσιάζει θετικό φορτίο ίσο με αυτό του ηλεκτρονίου και ονομάζεται *οπή*. Την πρόσθετη ενέργεια που πρέπει να πάρουν τα ηλεκτρόνια, για να φύγουν από το άτομο, μπορούμε να την προσφέρουμε με θερμότητα ή με φωτισμό.

Το φως αποτελείται από μικρά σωματίδια, που λέγονται *φωτόνια* και τα οποία μεταφέρουν ενέργεια. Φωτίζοντας τον ημιαγωγό, κάποια από τα φωτόνια συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια σθένους και μεταβιβάζουν σε αυτά όλη τους την ενέργεια. Αν, λοιπόν, φωτίσουμε έναν κρύσταλλο πυριτίου, στο εσωτερικό του θα "δούμε" κάποια ηλεκτρόνια να εγκαταλείπουν τα αντίστοιχα άτομα και να προσκολλώνται σε άλλα. Στον κρύσταλλο θα υπάρχουν άτομα με 9 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα, που θα είναι αρνητικά φορτισμένα, και άτομα με 7 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα ή, ισοδύναμη πρόταση, με μια οπή στην εξωτερική στοιβάδα, που θα είναι θετικά φορτισμένα. Στο μεταξύ ελευθερώνονται κι άλλα ηλεκτρόνια που προσκολλώνται σε άτομα ή καταλαμβάνουν τη θέση μιας οπής που χάνεται.

Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια άτακτη μετακίνηση ηλεκτρονίων και οπών, η οποία όμως δεν ισοδυναμεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κατευθυνόμενη και προς συγκεκριμένη φορά μετακίνηση ηλεκτρονίων ή οπών. Την

κατευθυνόμενη κίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών την πετυχαίνουμε με τους ημιαγωγούς πρόσμιξης.

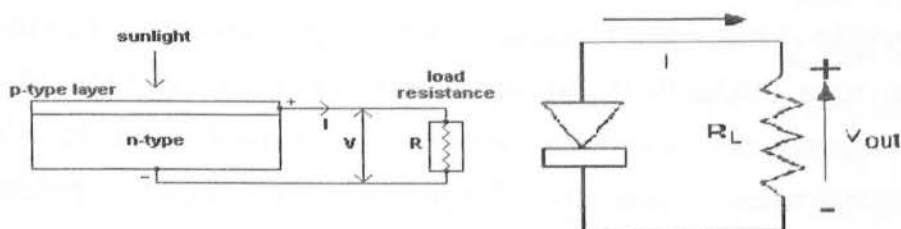
Οι πιο κοινές συσκευές PV χρησιμοποιούν μια σύνδεση-single junction (επαφή p-n), για να δημιουργήσουν το ηλεκτρικό πεδίο στον ημιαγωγό. Σε ένα τέτοιο κύτταρο, μόνο τα φωτόνια των οποίων ενέργεια είναι ίση ή μεγαλύτερο από το ενεργειακό διάκενο του υλικού μπορούν να ελευθερώσουν ένα ηλεκτρόνιο. Με άλλα λόγια, η φωτοβολταϊκή ικανότητα αυτών των κυττάρων περιορίζεται στη μερίδα του φάσματος του ήλιου του οποίου η ενέργεια είναι πάνω από το ενεργειακό διάκενο του απορροφώντος υλικού, και τα χαμηλά ενεργειακά φωτόνια δεν χρησιμοποιούνται.

Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί αυτός ο περιορισμός είναι να χρησιμοποιηθούν δύο (ή περισσότερα) διαφορετικά κύτταρα, με περισσότερα από ένα ενεργειακά διακένα και περισσότερες από μια επαφές p-n (multijunction). Οι συσκευές Multijunction μπορούν να επιτύχουν μια υψηλότερη συνολική αποδοτικότητα μετατροπής επειδή μπορούν να εκμεταλευτούν μεγαλύτερο φάσμα του φωτός και να το μετατρέψουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια συσκευή multijunction είναι ένας σωρός μεμονωμένων κυττάρων όπου κατεβαίνοντας προς τα κάτω το διάκενο (E_g) μικραίνει. Το κορυφαίο κύτταρο συλλαμβάνει τα υψηλής ενέργειας φωτόνια και περνά το υπόλοιπο των φωτονίων για να απορροφηθεί από τα κύτταρα χαμηλότερου διακένου. Τέτοια κύτταρα έχουν φθάσει σε αποδοτικότητες περίπου 35% κάτω από το συγκεντρωμένο φως του ήλιου. Άλλα υλικά που μελετώνται για τις συσκευές multijunction είναι το amorphous silicon και το copper indium diselenide (Παναγιώτου, 2007).

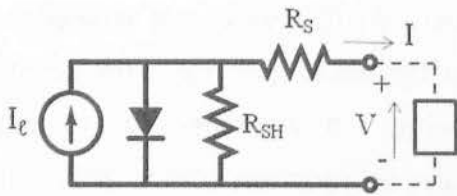
2.2.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β και παραγωγή ηλεκτρισμού

2.2.1.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε συνοπτικά το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Εν συντομία, αυτό περιγράφεται από τις δύο εικόνες που ακολουθούν. Όπως φαίνεται, το ισοδύναμο κύκλωμα περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος (I_L) σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του Φ/Β στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει, αφενός, την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του Φ/Β στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη, στα άκρα της διόδου, αφετέρου, την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο (Καρακυριάκου, 2009).



Εικόνα 2: Απλό ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου



Εικόνα 3: Πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου

Αναφορικά με την παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση διαρροής, R_{sh} , αυτή συνδέεται με τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n. Αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Η τιμή της σε πολύ καλής απόδοσης Φ/Β στοιχείων είναι μεγαλύτερη των $10^3 \Omega$.

Όσον αφορά στην σειριακή αντίσταση, R_s , είναι η αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή κατά τη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα της διόδου και στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους. Άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της R_s είναι η δραστική ελάττωση της αντίστοιχης μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Τυπικές τιμές της R_s , για καλής ποιότητας Φ/Β στοιχεία, βρίσκονται στο εύρος $0,1 \Omega$ έως $0,3 \Omega$ (Καρακυριάκου, 2009).

2.2.1.2 Η καμπύλη I-V

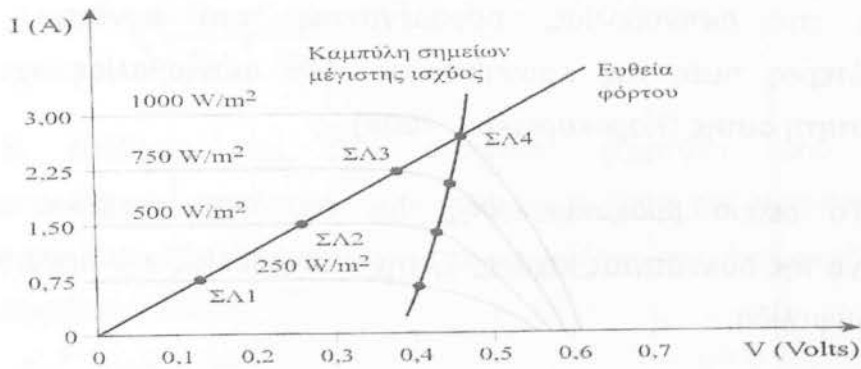
Για τον έλεγχο της αποδοτικής λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου αλλά και για τον σχεδιασμό των ηλεκτρονικών που συνδυάζονται μ' αυτό, πρέπει να προσδιορισθούν τα σημεία μέγιστης ισχύος, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου.

Γενικότερη επιδίωξη είναι το σημείο λειτουργίας του στοιχείου σε κάθε διαφορετική κατάσταση, που θα προκύψει π.χ. από μεταβολή της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας, να αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος, P_m , για τη δεδομένη κατάσταση (όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα, για την καμπύλη I-V, με $E = 1 \text{ kW/m}^2$).

Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς αποδίδεται στην αντίσταση μόνο για ορισμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Σε διαφορετικές τιμές αποδίδεται ισχύς μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη ισχύ. Στην εικόνα που ακολουθεί, τα σημεία ΣΛ1, ΣΛ2, ΣΛ3 και ΣΛ4 αποτελούν τα τέσσερα σημεία λειτουργίας, αντίστοιχα των τεσσάρων τιμών έντασης της ακτινοβολίας. Μόνο το ΣΛ4 συμπίπτει με το ΣΜΙ της I-V, που αντιστοιχεί σε πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, $E = 1 \text{ kW/m}^2$, όπως προαναφέρθηκε (Καρακυριάκου, 2009).

Στις υπόλοιπες καμπύλες I-V, τα δύο σημεία δεν συμπίπτουν. Για να συμβεί κάτι τέτοιο, πρέπει να αλλάξει η ωμική αντίσταση, έτσι ώστε η νέα ευθεία φόρτου, να περνά από το αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος της νέας καμπύλης I-V. Οι τιμές ρεύματος – τάσης, στο σημείο μέγιστης ισχύος, συμβολίζονται με I_m και V_m . Η μέγιστη ισχύς, που μπορεί να δώσει το Φ/Β στοιχείο, υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας E , ισούται με (Καρακυριάκου, 2009):

$$P_m = I_m \cdot V_m$$



Εικόνα 4: Η καμπύλη $I - V$ ενός Φ/B στοιχείου

2.2.1.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται σε ένα εργαστηριακά παρασκευασμένο Φ/B στοιχείο καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό προϊόν, είναι η ενεργειακή απόδοση, η , ο παράγων πλήρωσης, FF , το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, V_{oc} , σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού, πυκνότητα ισχύος και φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, και θερμοκρασία του στοιχείου. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του Φ/B στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} καθορίζεται, αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής $p-n$, όπως το βασικό υλικό, τη συγκέντρωση των προσμείξεων και τη θερμοκρασία, και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αρχικά αυξάνει, καθώς αυξάνει και η πυκνότητα

ισχύος της ακτινοβολίας, παραμένοντας, στη συνέχεια, για μεγαλύτερες τιμές της προσπίπτουσας ΗΜ ακτινοβολίας σχεδόν ανεξάρτητη αυτής (Καρακυριάκου, 2009).

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , του Φ/Β στοιχείου είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος, E , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα.

Ο Παράγων Πλήρωσης FF (Fill Factor) περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του Φ/Β στοιχείου, ως πηγή σταθερού ρεύματος, και οι τιμές του καθορίζονται από το υλικό του Φ/Β στοιχείου και τις συνθήκες. Κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του FF , τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος, στην περιοχή τάσεων, $0 - V_{oc}$. Τυπικές τιμές 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζουν Φ/β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση, αντίστοιχα. Δίνεται από τη σχέση:

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

2.2.1.4 Απόδοση και παραγωγή ενέργειας

Πάνω στην επιφάνεια ενός Φ/Β στοιχείου εμβαδού S , προσπίπτει ισχύς ΗΜ ακτινοβολίας:

$$P_m = E \cdot S$$

όπου, E , η πυκνότητα ισχύος της.

Το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος P_m , που αποδίδεται από το Φ/Β στοιχείο, στο αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος, προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας, P_{in} , καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής (energy conversion efficiency), η_c , του Φ/Β στοιχείου:

$$n_c = \frac{P_m}{P_m} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_m} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_m}$$

Η απόδοση του Φ/Β στοιχείου εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό, αυξάνεται με αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας και μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας (Καρακυριάκου, 2009).

2.2.2 Παραγωγή θερμότητας

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας (για θέρμανση και ψύξη υγρών και χώρων) και ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή θερμότητας, κατά κανόνα, επιτυγχάνεται με χρήση ηλιακών θερμικών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε θερμότητα και τα οποία διακρίνονται σε ενεργητικά και παθητικά, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή θερμότητας αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό χρειάζεται να επιτευχθούν σχετικά μεγάλη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια μικρή περιοχή ή σε ένα σημείο της συλλεκτικής επιφάνειας.

Η συγκέντρωση της ακτινοβολίας γίνεται με τη χρήση ειδικών κάτοπτρων. Τα τελευταία χρόνια τα ηλιοθερμικά συστήματα με τις διαθέσιμες τεχνολογίες των παραβολικών κάτοπτρων (κοίλων), των ηλιακών πύργων ισχύος και των ηλιακών δίσκων αποτελούν συστήματα ικανά να συμβάλουν ουσιαστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο.

Και στις τρεις πιο πάνω τεχνολογίες, η ηλιακή ενέργεια συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένο σημείο από το οποίο διέρχεται

κάποιο θερμαντικό μέσο (νερό, λάδι, κ.τ.λ.), το οποίο θερμαίνεται παράγοντας ατμό, που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή μέσω ατμογεννητριών.

Τα παραβολικά κάτοπτρα σε μορφή σκάφης κατά κανόνα χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν το ηλιακό φως σε έναν διαφανή σωλήνα που διατρέχει κάθε σκάφη. Η σκάφη περιστρέφεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να διατηρεί την εστίαση του κατόπτρου, ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου. Το υγρό (λάδι) που κυκλοφορεί μέσα στον σωλήνα θερμαίνεται και δημιουργεί ατμό μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας.

Ο ατμός, με τη σειρά του, τροφοδοτεί έναν ατμοστρόβιλο, ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια παρέχεται άμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά το περίσσειμά της είτε αποθηκεύεται με τη μορφή θερμότητας για να συνεχίζεται η παροχή και τη νύχτα, είτε διοχετεύεται σε παραπλήσια μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

Από την άλλη μεριά, οι παραβολικοί δίσκοι χρησιμοποιούν ένα σύνολο καθρεφτών για την ανάκλαση και συγκέντρωση του ηλιακού φωτός στο δέκτη έτσι ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία για την αποδοτική μετατροπή της θερμότητας σε έργο. Αυτό απαιτεί ο δίσκος να ακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες.

Η συγκεντρωμένη ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη και μεταφέρεται σε μια μηχανή (συνήθως μηχανή Stirling) μετατρέποντας άμεσα τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρισμό ([http://www.cyprus.gov.cy/moa/Agriculture.nsf/All/9280C74F6AE0A571C22578F6001C3D11/\\$file/MP2011.131.01.01.pdf?OpenElement](http://www.cyprus.gov.cy/moa/Agriculture.nsf/All/9280C74F6AE0A571C22578F6001C3D11/$file/MP2011.131.01.01.pdf?OpenElement))

2.2.3 Συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας από φωτοβολταϊκά στοιχεία

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά της από κοινού παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Υπό τον όρο Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Combined Heat and Power, CHP) περιλαμβάνονται όλες εκείνες οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις οποίες όμως γίνεται και παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ή αξιοποιήσιμης θερμικής ενέργειας από την ίδια ενεργειακή πηγή. Με την συμπαγωγή, η ενέργεια που παρέχεται σε ένα σταθμό για την παραγωγή ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται πιο αποδοτικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού και ωφέλιμης θερμότητας. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης της συμπαγωγής δεν εξαρτάται από την κλίμακα του σταθμού κι έτσι μπορεί να εφαρμοστεί σε τοπική κλίμακα, για να καλύψει τις ανάγκες συγκεκριμένων φορτίων. Η κεντρική και πλέον βασική αρχή της συμπαγωγής είναι ότι, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα πολλά οφέλη που προκύπτουν από αυτή, τα συστήματα συμπαγωγής πρέπει να βασίζονται στη ζήτηση θερμότητας της εφαρμογής. Θεωρείται ως μία μέθοδος παραγωγής ενέργειας ελκυστική τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική άποψη (Καρακυριάκου, 2009).

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας τη χημική ενέργεια των υδρογονανθράκων ή την ενέργεια σχάσης κάποιου πυρηνικού καυσίμου εμφανίζουν σημαντικές απώλειες δεδομένου ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου χάνονται υπό τη μορφή χλιαρού ύδατος σε πύργους ψύξης,

ποταμούς ή θάλασσες. Συνεπώς, μόνο το 1/3 της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (Καρακυριάκου, 2009).

Με την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας, η απόδοση μιας εγκατάστασης συμπαραγωγής μπορεί να φθάσει ή και να ξεπεράσει το 90%. Ως εκ τούτου η συμπαραγωγή προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται μεταξύ 15 έως 40%, σε σύγκριση με τη διάθεση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς και λέβητες, αντίστοιχα. Επομένως, η μετατροπή του σχεδιασμού και της λειτουργίας ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε σταθμό συμπαραγωγής βελτιώνει τη χρήση της εκλυόμενης ενέργειας του καυσίμου (Καρακυριάκου, 2009).

Η θερμότητα θα πρέπει να παρέχεται σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία ώστε να χρησιμοποιηθεί για εμπορική ή οικιακή θέρμανση, για παροχή ζεστού νερού ή για την παροχή ατμού σε βιομηχανικές εφαρμογές (Καρακυριάκου, 2009).

Με άλλα λόγια, μπορούμε να πούμε πως υπάρχουν δύο γενικοί τομείς χρήσης της συμπαραγωγής. Ο πρώτος είναι ο τομέας των βιομηχανικών εφαρμογών και του τριτογενή τομέα - νοσοκομεία, ξενοδοχεία, μεγάλα κτίρια, αθλητικά κέντρα, κλπ. - (CHP for industry - CHP/BIO), όπου οι παραπάνω τιμές θερμοκρασίας καλύπτονται μέσω εκτονούμενου ατμού ή απομαστεύσεων ατμοστροβίλων (ή από ατμό παρεχόμενο από λέβητα που χρησιμοποιεί τα καυσαέρια ενός αεριοστροβίλου για τη θέρμανση του ύδατος). Ο δεύτερος, είναι ο τομέας της τηλεθέρμανσης (CHP for district heating - CHP/TΘ) που περιλαμβάνει την κατασκευή δικτύων μεταφοράς και παροχής ύδατος, σε θερμοκρασίες 80 - 150°, για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών μιας αστικής περιοχής, ενώ συγχρόνως καλύπτεται και το ηλεκτρικό φορτίο.

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και τα οφέλη όσον αφορά στην Εθνική Οικονομία είναι αυτά που ακολουθούν. Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί η αυξημένη απόδοση της μετατροπής και χρήσης της ενέργειας. Η συμπαραγωγή είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής αλλά και παραγωγής θερμότητας.

Επιπλέον, η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί συμπαραγωγής σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν ως κύριο καύσιμο χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο.

Φυσικά, ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα είναι και οι σαφώς μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον. Επιτυγχάνεται μείωση του εκπεμπόμενου CO₂, του σημαντικότερου αερίου στο οποίο οφείλεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα, επιτυγχάνεται και σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων και παροχή πρόσθετης ανταγωνιστικότητας στη βιομηχανία, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές.

Πέραν των ανωτέρω, είναι επίσης σαφές ότι η βελτιωμένη, τοπική και γενική, ασφάλεια παροχής μπορεί να μειώσει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/και θερμική ενέργεια. Επιπρόσθετα, η μειωμένη ανάγκη καυσίμων που παρέχει η συμπαραγωγή, μειώνει την εξάρτηση από εισαγωγές – μία κεφαλαιώδη πρόκληση για το ενεργειακό μέλλον της Ελλάδας αλλά και της Ευρώπης. Παράλληλα, αναπτύσσεται η ευκαιρία να αυξηθεί η ποικιλία των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού στην ηλεκτροπαραγωγή. Η συμπαραγωγή

παρέχει ένα από τα σημαντικότερα μέσα για την προώθηση της απελευθέρωσης στις ενεργειακές αγορές.

Τέλος, δεν πρέπει να ξεχνάμε τις αυξημένες ευκαιρίες απασχόλησης, αφού, από μελέτες που έχουν εκπονηθεί, συνάγεται ότι η ανάπτυξη των συστημάτων συμπαραγωγής δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας (Καρακυριάκου, 2009).

2.2.3.1 Τομείς και χαρακτηριστικά εφαρμογής μεθόδων συμπαραγωγής

Η οικονομική κλίμακα για ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή είναι σημαντικό να είναι βιώσιμη. Οι μικρές διατάξεις (CHP/ΤΘ) είναι «φτωχοί» μετατροπείς του εισερχόμενου καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μεγάλες μονάδες (CHP/ΤΘ) είναι περισσότερο ελκυστικές γιατί μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγάλους σταθμούς ισχύος, οι οποίοι αποδίδουν σημαντικά ενεργειακά αποθέματα και παράγουν τόσο θερμότητα όσο και ηλεκτρική ενέργεια, με μεγαλύτερη οικονομία. Οι μονάδες μεγάλης κλίμακας μπορούν να παράγουν θερμότητα στο χώρο του σταθμού ισχύος με κόστος που μπορεί να είναι και το μισό του κόστους μιας κοινής μονάδας. Το κόστος μεταφοράς και διανομής αποτελούν τελικά τους παράγοντες που αυξάνουν το κόστος της θέρμανσης για τον καταναλωτή, και καθιστούν ακόμα και τις μεγάλες διατάξεις (CHP /ΤΘ) οριακά οικονομικές σε πολλές περιπτώσεις (Καρακυριάκου, 2009).

Μια μονάδα (CHP/ΤΘ) για εφαρμογές στο εσωτερικό μιας μεγάλης πόλης, με τη χρήση μεσαίων/μεγάλων αεριοστροβίλων είναι μια ελκυστική οικονομική πρόταση για τους εθνικούς φυσικούς πόρους σε σύγκριση με εναλλακτικούς τρόπους θέρμανσης, αν ληφθούν υπόψη τα χαμηλότερα προεξοφλητικά επιτόκια (π.χ. 5%)

και οι υψηλότερες τιμές καυσίμου. Οι μεσαίες/μεγάλες μονάδες (200 – 600MW) είναι περισσότερο οικονομικές και εξοικονομούν περισσότερη ενέργεια από ότι οι μικρές μονάδες παρόλο που μπορεί να είναι οικονομική η θέρμανση μικρών εγκαταστάσεων από τοπικούς σταθμούς ισχύος σε ορισμένες συνθήκες.

Η εγκατάσταση μιας μεσαίας/μεγάλης μονάδας (CHP/ΤΘ) που εξυπηρετεί περιοχές με υψηλή πυκνότητα φορτίου θέρμανσης σε πόλεις φαίνεται μια ελκυστική εναλλακτική λύση από άποψη οικονομίας και εξοικονόμησης ενέργειας σε σύγκριση με άλλες αναπτυγμένες μορφές θέρμανσης. Στην απουσία του φυσικού αερίου και του πετρελαίου σε μια μακροπρόθεσμη μελέτη άλλες λύσεις θέρμανσης όπως ηλεκτρική ενέργεια (εκτός αιχμής) ή ΥΦΑ (υποκατάστατο φυσικού αερίου) θα κυριαρχούσαν σε μία μεγάλη αγορά εκτός των περιοχών με υψηλή πυκνότητα φορτίου θέρμανσης.

Οι κρίσιμοι παράγοντες που καθορίζουν την επιτυχία και βιωσιμότητα ενός δικτύου τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή, είναι:

1. η πυκνότητα δόμησης
2. το προεξοφλητικό επιτόκιο
3. η τιμή του καυσίμου
4. το μέγεθος του δικτύου

Επιπλέον, οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού ενός δικτύου τηλεθέρμανσης εμφανίστηκαν ως επιπρόσθετες καιρίες παράμετροι με την πάροδο του χρόνου. Η διανομή του φορτίου θέρμανσης σε μια πόλη αποδείχθηκε σημαντική, όπως και η μέση πυκνότητα δόμησης.

Η τοποθέτηση μιας μονάδας (CHP/BIO) δεν είναι τόσο σαφής όσο στην περίπτωση της (CHP/ΤΘ). Είναι δύσκολο να γενικευθεί, αφού η κατάλληλη επιλογή της εγκατάστασης ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή. Γενικά, όμως, η περίπτωση της (CHP/BIO) είναι συνηθέστερη.

Όσον αφορά στις αρχές της Θερμοδυναμικής, η επιλογή του τύπου εγκατάστασης (CHP/BIO) εξαρτάται κατά πολύ, όχι μόνο από το λόγο ηλεκτρισμού – θερμότητας, αλλά και από το μέγεθος των απαιτήσεων σε θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια ξεχωριστά. Η διακύμανση στη ζήτηση, καθημερινά και εποχιακά, είναι επίσης σημαντική, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η παράλληλη εγκατάσταση όμοιων μηχανών επιτρέπει στη συνολική εγκατάσταση να ακολουθήσει τη μείωση στη ζήτηση του φορτίου, θέτοντας εκτός λειτουργίας μία ή περισσότερες μηχανές.

Οι κρίσιμες παράμετροι επιλογής και σχεδιασμού μιας μονάδας (CHP/BIO) δεν είναι μόνο θερμοδυναμικές. Η πυκνότητα της δόμησης, προφανώς, δεν είναι σχετική, αλλά το προεξοφλητικό επιτόκιο, η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης και η κλιμάκωση των τιμών καυσίμων είναι σημαντικές, όπως και για την περίπτωση των μονάδων (CHP/ΤΘ). Σημαντικές επίσης θεωρούνται και οι τιμές πώλησης (ή επαναγοράς) της ηλεκτρικής ενέργειας όπως επίσης οποιεσδήποτε τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στις τιμές των καυσίμων (Δούκα, 2008).

2.3 Υβριδικά συστήματα

2.3.1 Γενική παρουσίαση υβριδικών συστημάτων

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τα υβριδικά συστήματα. Ας θεωρήσουμε τον ακόλουθο:

Υβριδικό σύστημα καλείται ένα σύνολο από μονάδες που συνεργάζονται μεταξύ τους προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες ή/και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Κατά κύριο λόγο, τα υβριδικά συστήματα είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, αλλά μπορούν επίσης να δουλεύουν και ανεξάρτητα από αυτό, τροφοδοτώντας ξεχωριστούς αποδέκτες από ένα ή περισσότερα σπίτια/αγροικίες, μικρές βιομηχανικές ζώνες έως και μεγάλες τοπικές κοινωνίες. Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο υβριδικά συστήματα επιτρέπουν στο πλεόνασμα ενέργειας να επιστρέφει πίσω στο δίκτυο, όταν η ποσότητα που παράγεται είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση των καταναλωτών σε συνδυασμό με τα τοπικά αποθηκευτικά συστήματα. Προφανώς, ο κύριος σκοπός που εξυπηρετούν τα υβριδικά συστήματα είναι να προμηθεύουν με ενέργεια απομονωμένες, μη συνδεδεμένες με το δίκτυο περιοχές όπου το κόστος σύνδεσης και διανομής σε τόσο μακρινές αποστάσεις είναι πολύ υψηλό.

Σίγουρα, τα υβριδικά συστήματα είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την αύξηση της διαθεσιμότητας ενέργειας, χρησιμοποιώντας διαφορετικές πρωταρχικές πηγές, κατάλληλα συστήματα αποθήκευσης καθώς και προηγμένα ηλεκτρονικά ισχύος για έλεγχο και επιτήρηση των διαδικασιών.

Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής.

Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά. Απαραίτητη γνώση για την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι η ζήτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα όπως και τα γεωγραφικά και τοπολογικά πλεονεκτήματα, οπότε πρέπει να καταμετρηθεί η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος και άλλες πιθανές πηγές σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η καταμέτρηση θα αποτελέσει την βάση για τον σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτει σε όσον το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος τις ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα της εγκατάστασης ή της κοινότητας.

Τα υβριδικά συστήματα απευθύνονται σε μεγαλύτερες οικιακές ή επαγγελματικές εφαρμογές. Το H/Z, συνήθως ενεργοποιείται αυτόματα σε έκτακτες περιπτώσεις για να υποβοηθήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα. Αν το υβριδικό σύστημα είναι σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο, τότε το κεντρικό δίκτυο χρησιμοποιείται ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση ανάγκης. Κυρίως χρησιμοποιούνται για την αδιάλειπτη λειτουργία στρατηγικής σημασίας ηλεκτρικών φορτίων ή ευαίσθητων φορτίων, σε περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει προβλήματα.

Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται μια ταχύτατη εξάπλωση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο, Αυτές οι πηγές είναι Φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν ως βάση τους τον ήλιο, τον άνεμο, τη βιομάζα Κ.α., χωρίζονται δε, σε δύο κατηγορίες: τις ελεγχόμενες και τις μη-

ελεγχόμενες. Με τον όρο ελεγχόμενες πηγές ενέργειας είναι αυτές που παρέχουν την δυνατότητα ελέγχου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ο άνθρακας. Είναι προφανές ότι η παραγωγή ενέργειας από μη-ελεγχόμενες πηγές είναι απρόβλεπτη και ανεξάρτητη από την ανθρώπινη δράση. Ο ήλιος και άνεμος είναι μη-ελεγχόμενες πηγές.

Έτσι ενώ, η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να μπορεί να παραχθεί ακριβώς τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε, η προϋπόθεση αυτή δεν πληρείται από τον ήλιο και τον άνεμο. Για το λόγο αυτό, θεωρείται επιβεβλημένη η κατασκευή ειδικών υβριδικών συστημάτων για την αποφυγή ελλειμμάτων ενέργειας, με τη χρήση όλου του διαθέσιμου ηλιακού και αιολικού δυναμικού. Ουσιαστικά αυτό συμβαίνει, με τον συνδυασμό δύο ή και περισσότερων πηγών ενέργειας με επιπρόσθετα στοιχεία ελέγχου. Η μία, τουλάχιστον, εκ των πηγών είναι αναγκαίο να είναι ελεγχόμενη.

Οι επιστήμονες και οι κατασκευαστές αναζητούν τρόπους για να συνδυάσουν τεχνολογίες, έτσι ώστε να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του εξοπλισμού παραγωγής. Ακολουθούν χαρακτηριστικά παραδείγματα υβριδικών συστημάτων:

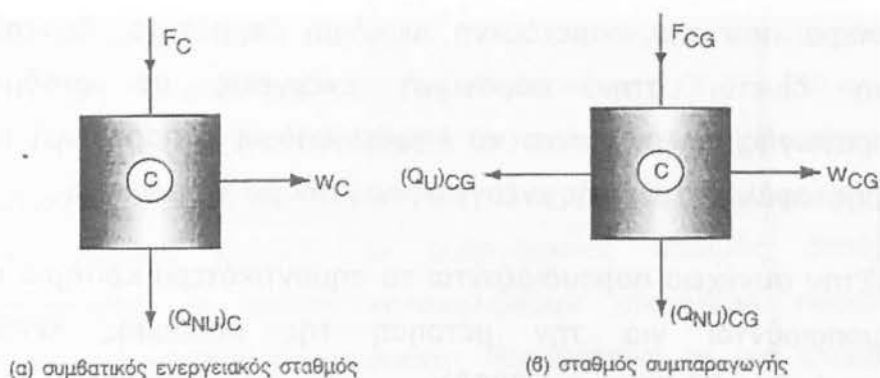
1. κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλο
2. ανεμογεννήτριες με συσσωρευτές και εφεδρική ντιζελογεννήτρια

Τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν δύο ή και παραπάνω πηγές ενέργειας με σκοπό να επιτυγχάνεται μια ισορροπία μεταξύ δυνατών και αδύναμων σημείων αυτών. Έτσι, πολλά τέτοια συστήματα είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμα, άλλα υπό ανάπτυξη κι άλλα δεν είναι υλοποιήσιμα.

2.3.2 Απόδοση υβριδικών συστημάτων και μεγέθη μέτρησης εξοικονόμησης ενέργειας

Σύμφωνα με την έρευνα της Καρακυριάκου (2009), η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι σημαντική. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα ενός συμβατικού σταθμού ενέργειας (c) ο οποίος χρησιμοποιώντας την ενέργεια ενός καυσίμου F_c παράγει έργο W_c και αποβάλλει θερμότητα $(Q_{Nu})_c$ σε ένα ψυχροδοχείο. Προκειμένου να επιτευχθεί η αποδοτικότερη παραγωγή ενέργειας πρέπει να επιδιωχθεί ελαχιστοποίηση του εισαγόμενου καυσίμου για την παραγωγή συγκεκριμένου έργου έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος καυσίμου έναντι του κόστους της ενέργειας που πωλείται ενώ παράλληλα πρέπει να εκτιμηθεί και να ισολογισθεί το κεφαλαιακό κόστος με το κέρδος από την εξοικονόμηση καυσίμου.

Στην ίδια εικόνα, παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα ενός σταθμού συμπαραγωγής στον οποίο καταναλώνεται συνολική ενέργεια F_{CG} , παράγεται έργο W_{CG} και επιπλέον ωφέλιμη θερμική ενέργεια $(Q_U)_{CG}$, ενώ αποβάλλεται θερμότητα $(Q_{Nu})_{CG}$. Αποτέλεσμα είναι η μελέτη να μην βασίζεται μόνο στην υψηλή θερμική απόδοση καθώς η κοστολόγηση του W_{CG} είναι υψηλότερη από αυτή της $(Q_U)_{CG}$.



Εικόνα 5: (α) Συμβατικός σταθμός και (β) Σταθμός συμπαραγωγής

Οι στόχοι της θερμοδυναμικής μελέτης των συμβατικών σταθμών παραγωγής είναι ο καθορισμός της απόδοσης του σταθμού, δηλαδή η αποδοτικότερη παραγωγή ενέργειας (συνήθως ηλεκτρικής ή θερμικής) από την καύση του καυσίμου. Όσον αφορά, ωστόσο, τους σταθμούς συμπαραγωγής, καθώς αυτοί καλύπτουν ταυτόχρονα ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο, η συνολική απόδοση δεν αποτελεί πλέον επαρκές κριτήριο της λειτουργίας του σταθμού, εφόσον και τα δύο προϊόντα έχουν κάποια αξία (Καρακυριάκου, 2009).

Εν αντιθέσει με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας όπου επιχειρείται η παροχή ισχύος με τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση, στους σταθμούς συμπαραγωγής η ανάγκη για υψηλότερη απόδοση δεν εμφανίζεται τόσο επιτακτική. Άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη, όπως ο συντελεστής διάθεσης ενέργειας ή ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου, αποδεικνύονται πιο χρήσιμα. Τα μεγέθη αυτά στηρίζονται στο γεγονός ότι στη συμπαραγωγή παίζουν ταυτόχρονα σημαντικό ρόλο η θερμοδυναμική και η οικονομική διάσταση. Η ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου ότι παράγεται με μεγαλύτερη δυσκολία, εκτιμάται

υψηλότερα από την παρεχόμενη ωφέλιμη θερμότητα. Συνεπώς, έμφαση δίνεται στην παραγωγή ενέργειας σε σταθμούς συμπαραγωγής, αλλά, πρέπει να ληφθεί υπόψη η παραγωγή μίας δεύτερης ωφέλιμης μορφής ενέργειας που μπορεί να πωληθεί.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα σημαντικότερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της απόδοσης τέτοιων εγκαταστάσεων (Μπότσαρης, 2003):

Energy Utilization Factor – EUF

Το πρώτο κριτήριο βασίζεται στον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, που αφορά μόνο στην ποσοτική πλευρά της ενέργειας. Αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που χρησιμοποιήθηκε από τους Porter και Mastanaiaha και ονομάζεται συντελεστής διάθεσης της ενέργειας (ΣΔΕ ή EUF). Καθορίζεται από τον τύπο:

$$EUF = \frac{W + Q_u}{F}$$

Όπου, με Q_u και με W συμβολίζεται αντίστοιχα η ωφέλιμη θερμότητα, που καλύπτει τις απαιτήσεις του θερμικού φορτίου, και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής, ενώ με F το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου.

Ο Συντελεστής Διάθεσης Ενέργειας δεν αποτελεί επαρκές λειτουργικό κριτήριο του σταθμού, καθώς η παραγωγή έργου είναι δύσκολη και ενεργοβόρος διαδικασία, σε αντίθεση με την παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας η οποία είναι ένα πιο υποβαθμισμένο και φθηνό προϊόν.

'Value weighted' EUF

Μία πιο ρεαλιστική έκφραση του ΣΔΕ περιλαμβάνει τη διαφορά αξίας μεταξύ ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αυτό οδήγησε στην εισαγωγή του κοστολογημένου συντελεστή διάθεσης ενέργειας, όπου

συνήθως θεωρείται ότι ο λόγος της τιμής της ωφέλιμης θερμότητας προς τη τιμή της ηλεκτρικής ισχύος είναι ίσος με 1/3 ($Y_H / Y_E = 1/3$). Αυτός ο λόγος τιμών αντικατοπτρίζει το παρόν οικονομικό καθεστώς, στο οποίο η παραγωγή θερμότητας πραγματοποιείται κυρίως από λέβητες άμεσης καύσης. Ο αυξανόμενος αριθμός σταθμών συμπαραγωγής, οι οποίοι καταναλώνουν μικρότερη ποσότητα καυσίμου ανά μονάδα παραγόμενης θερμότητας, σε μια ελεύθερη αγορά θα επέφερε ως αποτέλεσμα διαφορετική τιμή αυτού του λόγου τιμών (Καρακυριάκου, 2009).

Αν η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι Y_E (€/kWh), η τιμή πώλησης της θερμότητας Y_H (€/kWh) και η τιμή αγοράς του καυσίμου φ (€/kWh), τότε ο κοστολογημένος ΣΔΕ δίνεται από:

$$(EUF)_{vw} = \frac{Y_E W + Y_H Q_U}{\varphi F} = \frac{Y_E}{\varphi} \left[\frac{W}{F} + \frac{Y_H}{Y_E} * \frac{Q_U}{F} \right] = \left(\frac{Y_E}{\varphi} \right) n_{eq}$$

όπου το μέγεθος $n_{eq} = \left[\frac{W}{F} + \frac{Y_H}{Y_E} \frac{Q_U}{F} \right]$ αναφέρεται ως ισοδύναμη απόδοση.

Artificial Thermal Efficiency

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό μέγεθος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι μία τεχνητή θερμική απόδοση n_a , στον υπολογισμό της οποίας θεωρείται ότι η ενέργεια του παρεχόμενου καυσίμου μειώνεται κατά την ενέργεια που θα απαιτούνταν στην παραγωγή θερμότητας Q σε ένα συμβατικό σταθμό - λέβητα, απόδοσης $(n_B)_H$, δηλαδή κατά $(Q_U / (n_B)_H)$. Η τεχνητή απόδοση n_a δίνεται από τη σχέση:

$$n_a = \frac{W}{F - (Q_U / (n_B)_H)} = \frac{(n_0)_{CG}}{1 - \left[\frac{Q_U}{(n_B)_H F} \right]}$$

Όπου με $(n_0)_{CG}$ συμβολίζεται η συνολική απόδοση του σταθμού συμπαραγωγής.

Fuel Energy Savings Ratio – FESR

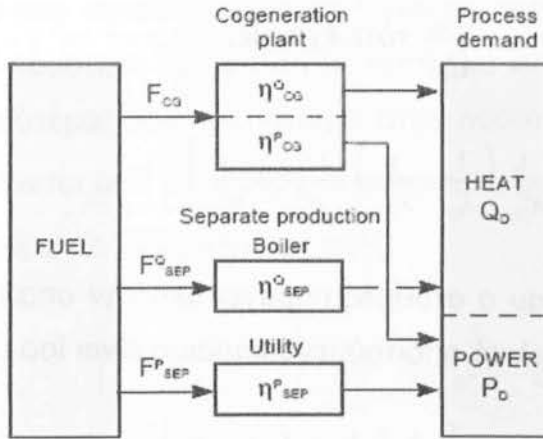
Το επόμενο κριτήριο αφορά στην εξοικονόμηση καυσίμου, και βασίζεται στην κατανάλωση καυσίμου από τον σταθμό. Η ζήτηση θερμότητας και ισχύος σε μια βιομηχανία μπορεί να ικανοποιηθεί είτε από έναν σταθμό συμπαραγωγής, είτε από ξεχωριστούς συμβατικούς σταθμούς, είτε από τον συνδυασμό τους, εάν ο σταθμός συμπαραγωγής δεν μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση της θερμότητας ή της ισχύος, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.

Η θερμική απόδοση συμβολίζεται με η^Q και είναι ο λόγος της παραγόμενης θερμότητας προς το συνολικό καύσιμο που καταναλώνεται, ενώ η ηλεκτρική απόδοση, η^E είναι ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς το συνολικό καύσιμο που καταναλώνεται από έναν σταθμό. Παρόλο που η θερμική απόδοση δεν αντικατοπτρίζει την ποιότητα της παραγόμενης θερμότητας, είναι κατάλληλη για σύγκριση, αν όλοι οι συγκρινόμενοι σταθμοί παράγουν θερμότητα της ίδιας ποιότητας. Η γενική έκφραση για την συνολική κατανάλωση καυσίμου είναι η ακόλουθη :

$$F_{TOTAL} = (F_{SEP}^Q + F_{SEP}^E) + F_{CG}$$

Όπου, F_{TOTAL} η συνολική κατανάλωση καυσίμου, F_{SEP}^Q η κατανάλωση καυσίμου για παραγωγή θερμότητας από τον λέβητα και

F_{SEP}^E η κατανάλωση καυσίμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την συμβατική μονάδα ενώ F_{CG} είναι η κατανάλωση καυσίμου από την μονάδα CHP.



Εικόνα 6: Συνδυασμός συμπαραγωγής και ξεχωριστής παραγωγής ενέργειας

Οι πρώτοι δύο όροι δείχνουν την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται από τους συμβατικούς σταθμούς προκειμένου να ανταποκριθούν στη ζήτηση, αν ο σταθμός συμπαραγωγής δεν μπορεί να παράγει όλη την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας και ισχύος. Η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται από το σταθμό συμπαραγωγής μπορεί να εκφραστεί είτε ως ο λόγος της παραγόμενης θερμότητας προς τη θερμική απόδοση, είτε ως ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς την ηλεκτρική απόδοση. Εισάγοντας τη θερμική και την ηλεκτρική απόδοση τόσο για το σταθμό συμπαραγωγής όσο και για τους συμβατικούς σταθμούς, καθώς και δύο λόγους θερμότητας προς ισχύ, ένα για το σταθμό συμπαραγωγής λ_{CG} και ένα για τη ζήτηση, λ_D , η προηγούμενη έκφραση του συνολικού καυσίμου που καταναλώνεται παίρνει την ακόλουθη μορφή

$$F_{TOTAL} = \frac{P_D - P_{CG}}{n_{SEP}^P} + \frac{Q_D - Q_{CG}}{n_{SEP}^Q} + \frac{Q_{CG}}{n_{CG}^Q} = \frac{1}{n_{SEP}^P} \left[\frac{1}{\lambda_D} Q_D - \frac{1}{\lambda_{CG}} Q_{CG} \right] + \frac{Q_D - Q_{CG}}{n_{SEP}^Q} + \frac{Q_{CG}}{n_{CG}^Q}$$

Αν θεωρήσουμε ότι $y = \frac{Q_{CG}}{Q_D}$ τότε έχουμε:

$$F_{TOTAL} = Q_D \left[\frac{1}{n_{SEP}^P} \left(\frac{1}{\lambda_D} - \frac{y}{\lambda_{CG}} \right) + \frac{1-y}{n_{SEP}^Q} + \frac{y}{n_{CG}^Q} \right]$$

Στην περίπτωση που ο σταθμός παράγει όλη την απαιτούμενη θερμότητα, $y=1$, το συνολικό απαιτούμενο καύσιμο είναι ίσο με:

$$F_{TOTAL} = Q_D \left[\frac{1}{n_{SEP}^P} \left(\frac{1}{\lambda_D} - \frac{1}{\lambda_{CG}} \right) + \frac{y}{n_{CG}^Q} \right]$$

Η συνολική κατανάλωση καυσίμου μπορεί να συγκριθεί με τη συνθήκη αναφοράς, όπου οι απαιτούμενες ποσότητες θερμότητας και ισχύος παράγονται ξεχωριστά. Μία έκφραση του σχετικού συντελεστή κατανάλωσης μπορεί να οριστεί ως:

$$\Phi = \frac{F_{TOTAL}}{F_{REF}} = \frac{\frac{1}{n_{SEP}^P} \left(\frac{1}{\lambda_D} - \frac{1}{\lambda_{CG}} \right) + \frac{1}{n_{CG}^Q}}{\frac{1}{n_{REF}^P \lambda_D} + \frac{1}{n_{REF}^Q}}$$

Ο σχετικός συντελεστής κατανάλωσης μπορεί να αποτιμήσει οποιονδήποτε συνδυασμό συμπαραγωγής και ξεχωριστής παραγωγής θερμότητας και ισχύος (π.χ. όταν $\lambda_D \neq \lambda_{CG}$). Είναι επίσης ενδιαφέρον να πραγματοποιηθεί σύγκριση ενός σταθμού συμπαραγωγής με ένα σχήμα αναφοράς ξεχωριστής παραγωγής στην περίπτωση που και τα δύο παράγουν την ίδια ποσότητα θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά στην κατανάλωση καυσίμου αντιστοιχεί στην εξοικονόμηση του σταθμού συμπαραγωγής (Καρακυριάκου, 2009):

$$\Delta F = (F_{SEP}^Q + F_{SEP}^P) - F_{CG}$$

Ο πρώτος όρος είναι το άθροισμα της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται από τον λέβητα αναφοράς F_{SEP}^Q και της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται από μια εγκατάσταση προκειμένου να παραχθεί ποσότητα ισχύος ίση με αυτή του σταθμού συμπαραγωγής, F_{SEP}^P . Ο δεύτερος όρος αντιστοιχεί στην ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται από το σταθμό συμπαραγωγής, F_{CG} . Η προηγούμενη σχέση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\Delta F = \left(F_{SEP}^Q + \frac{n_{CG}^P}{n_{SEP}^P} F_{CG} \right) - F_{CG} = Q_D \left[\frac{1}{n_{SEP}^Q} + \frac{1}{n_{CG}^Q} \left(\frac{n_{CG}^P}{n_{SEP}^P} - 1 \right) \right]$$

Δεδομένου ότι λαμβάνεται υπόψη η απόλυτη τιμή της ΔF , ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου ορίζεται ως ο λόγος της εξοικονόμησης καυσίμου προς την κατανάλωση των συμβατικών σταθμών παραγωγής:

$$FESR = \frac{\Delta F}{F_{SEP}^Q + F_{SEP}^P} = \left(\frac{1}{n_{SEP}^Q} + \frac{1}{n_{CG}^Q} \left(\frac{n_{CG}^P}{n_{SEP}^P} - 1 \right) \right) / \left(\frac{1}{n_{SEP}^Q} + \frac{n_{CG}^P}{n_{SEP}^Q n_{SEP}^P} \right)$$

$$FESR = 1 - \frac{n_{SEP}^Q n_{SEP}^P}{n_{CG}^Q n_{SEP}^P + n_{SEP}^Q n_{CG}^P}$$

Στην περίπτωση που $F_{TOTAL} = F_{CG}$, η σχέση μεταξύ των συντελεστών FESR και Φ είναι απλά:

$$FESR = \frac{F_{REF} - F_{CG}}{F_{REF}} = 1 - \frac{F_{CG}}{F_{REF}} = 1 - \Phi$$

Η οριακή συνθήκη που αφορά σε μηδενική εξοικονόμηση καυσίμου μπορεί να υπολογιστεί από την έκφραση του FESR:

$$\frac{n_{CG}^P}{n_{SEP}^P} + \frac{n_{CG}^O}{n_{SEP}^O} = 1$$

Το μέγεθος αυτό φαίνεται πως είναι το πιο χρήσιμο, ως λειτουργικό κριτήριο των σταθμών συμπαραγωγής από όσα έχουν περιγραφεί, αφού συνδέεται άμεσα με την οικονομική εκτίμηση των σταθμών συμπαραγωγής (Καρακυριάκου, 2009).

Incremental Heat Rate – IHR_{CG}

Οι Porter και Mastanaiah χρησιμοποιούν και εισάγουν ως λειτουργικό κριτήριο της θερμοδυναμικής και οικονομικής ανάλυσης των σταθμών συμπαραγωγής το χαρακτηριστικό θερμοδυναμικό μέγεθος που καλείται αυξητικός ρυθμός θερμότητας (IHR)_{CG}.

Θεωρείται σταθμός συμπαραγωγής, παροχής ηλεκτρικής ενέργειας W_{CG} και ωφέλιμης θερμότητας $(Q_U)_{CG}$. Η ενέργεια του παρεχόμενου καυσίμου είναι F_{CG} , και παρέχεται σε μία εγκατάσταση λέβητα απόδοσης $(n_B)_{CG}$ ή στο θάλαμο καύσης μιας εγκατάστασης ανοιχτού κυκλώματος (αεριοστροβίλου ή κινητήρα ντίζελ / αερίου), με κατάλληλη απόδοση καύσης, επίσης λαμβανόμενης ως $(n_B)_{CG}$. Με $(Q_U)_{CG}$, συμβολίζεται η τελικά ωφέλιμη αποβαλλόμενη θερμότητα.

Ο αυξητικός ρυθμός θερμότητας εισάγεται κατά τον καθορισμό του F_{CG} , το οποίο θεωρητικά λαμβάνεται ως το άθροισμα της ενέργειας του καυσίμου που θα παρέχονταν στον λέβητα απόδοσης $(n_B)_{CG}$ για να καλυφθεί το θερμικό φορτίο, συν αυτής που θα χρησιμοποιούνταν στην παραγωγή ηλεκτρισμού με αυξητικό ρυθμό θερμότητας $(IHR)_{CG}$.

Συνεπώς, ο αυξητικός ρυθμός θερμότητας προκύπτει ίσος με:

$$(IHR)_{CG} = \frac{F_{CG}}{W_{CG}} \frac{(Q_U)_{CG}}{(n_B)_{CG} W_{CG}} = \frac{1}{(n_0)_{CG}} \frac{\lambda_{CG}}{(n_B)_{CG}}$$

Αν $(n_B)_{CG} \cong (n_B)_H$, ισχύει ο απλούστερος ορισμός του $(IHR)_{CG}$ ως ο τεχνητός ρυθμός θερμότητας του σταθμού συμπαραγωγής, δηλαδή:

$$(IHR)_{CG} = \frac{1}{n_a}$$

Όπου n_a είναι η τεχνητή απόδοση (Καρακυριάκου, 2009).

3 Στοιχεία νομοθεσίας

3.1 Άδεια εγκατάστασης

3.1.1 Επιτρεπτοί χώροι εγκατάστασης

Με βάση το Άρθρο 7 του νόμου 3468/2006 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καθορίζονται οι χώροι στους οποίους οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Ω.Ε. καθώς και κάθε έργο που συνδέεται με την κατασκευή και τη λειτουργία τους, συμπεριλαμβανομένων των έργων οδοποιίας πρόσβασης και των έργων σύνδεσής τους με το Σύστημα ή το Δίκτυο, επιτρέπεται να εγκαθίστανται και να λειτουργούν. Πιο συγκεκριμένα οι χώροι αυτοί είναι:

α) Σε γήπεδο ή σε χώρο, επί των οποίων ο αιτών έχει το δικαίωμα νόμιμης χρήσης.

β) Σε δάση ή δασικές εκτάσεις, εφόσον έχει επιτραπεί, επ' αυτών, η εκτέλεση έργων σύμφωνα με τα άρθρα 45 και 58 του ν. 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α'), όπως ισχύει, ή το άρθρο 13 του ν. 1734/1987 (ΦΕΚ 189 Α'), όπως ισχύει.

γ) Σε αιγιαλό, παραλία, θάλασσα ή σε πυθμένα της, εφόσον έχει παραχωρηθεί το δικαίωμα χρήσης τους σύμφωνα με το άρθρο 14 του ν. 2971/2001 (ΦΕΚ 285 Α'), όπως ισχύει.

3.1.2 Φορείς έκδοσης

Με βάση το Άρθρο 8 (παράγραφοι 1,2) του νόμου 3468/2006 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αρμόδιοι φορείς για την έκδοση άδειας εγκατάστασης είναι:

Για την εγκατάσταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Ω.Ε., απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός, για όλα τα έργα που κατατάσσονται στη 2η υποκατηγορία της Α' Κατηγορίας και στην 3η ή 4η υποκατηγορία της Β' Κατηγορίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α'), όπως ισχύει, και τις κανονιστικές πράξεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αφορούν τη δεύτερη υποκατηγορία της Α' κατηγορίας και την τρίτη υποκατηγορία της Β' κατηγορίας. Η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, από τον ενδιαφερόμενο, της σχετικής αίτησης με τα δικαιολογητικά που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 10 του νόμου 3468/2006. Αν ο αρμόδιος Γενικός Γραμματέας Περιφέρειας δεν εκδώσει την άδεια εγκατάστασης εντός της προθεσμίας που ορίζεται στο προηγούμενο εδάφιο, για την έκδοση αυτής καθίσταται αρμόδιος ο Υπουργός Ανάπτυξης, προς τον οποίο ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει την αίτηση με το συνοδευτικό της φάκελο και την απόφαση Ε.Ω.Ο. (Εγκριση Περιβαλλοντικών Όρων) ή επικυρωμένα αντίγραφα αυτών. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει την άδεια εγκατάστασης εντός τριάντα (30) ημερών από την παραλαβή των ανωτέρω εγγράφων. Για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης παρέχεται στον Υπουργό Ανάπτυξης, από το ΚΑ.Ω.Ε., γραμματειακή, τεχνική και επιστημονική υποστήριξη, αντί αμοιβής, η οποία καθορίζεται με κοινή απόφαση των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών και Ανάπτυξης.

Η άδεια εγκατάστασης σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.π.Ε., ο οποίος εντάσσεται στα έργα που κατατάσσονται στην 1 η υποκατηγορία της Α' Κατηγορίας, καθώς και για όλα τα έργα Α.π.Ε. που κατασκευάζονται σε προστατευόμενες περιοχές RAMSAR³, Natura 20004, εθνικούς δρυμούς⁵ και αισθητικά δάση⁶, ανεξάρτητα από την κατηγορία των έργων αυτών, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του ν. 1650/1986 και τις κανονιστικές αποφάσεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του, εκδίδεται με κοινή απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης και του, κατά περίπτωση, αρμόδιου Υπουργού, σύμφωνα με τη διαδικασία και εντός της προθεσμίας των τριάντα (30) ημερών.

Για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.π.Ε., οι οποίοι συνδέονται με το Σύστημα, το Δίκτυο ή το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, τηρούνται υποχρεωτικά και όσα επιπλέον προβλέπονται στους Κώδικες Διαχείρισης για τη σύνδεση σταθμών.

Περίληψη της άδειας εγκατάστασης δημοσιεύεται, με ευθύνη του κατόχου της, σε μία τουλάχιστον ημερήσια εφημερίδα που εκδίδεται στην Αθήνα και σε μία τοπική εφημερίδα της περιφέρειας, στα όρια της οποίας πρόκειται να εγκατασταθεί ο σταθμός.

3.1.3 Παράταση ισχύος άδειας εγκατάστασης

Σύμφωνα με την παράγραφο 4 του άρθρου 8 του νόμου 3468/2006 η άδεια εγκατάστασης ισχύει για δύο (2) έτη και μπορεί να παρατείνεται, κατά ανώτατο όριο, για ίσο χρόνο, μετά από αίτηση του κατόχου της, εφόσον:

α) κατά τη λήξη της διετίας έχει εκτελεσθεί έργο, οι δαπάνες του οποίου καλύπτουν το 50% της επένδυσης ή

β) δεν έχει γίνει έναρξη εκτέλεσης του έργου για λόγους που, αποδεδειγμένα, δεν οφείλονται σε παράλειψη ή σε οποιασδήποτε μορφής υπαιτιότητα του κατόχου της άδειας εγκατάστασης, με την προϋπόθεση ότι έχουν συναφθεί οι αναγκαίες συμβάσεις για την προμήθεια του εξοπλισμού ο οποίος απαιτείται για την υλοποίηση του έργου. Η σύναψη συμβάσεων κατά το προηγούμενο εδάφιο δεν απαιτείται αν υφίσταται δικαστική αναστολή εκτέλεσης της άδειας εγκατάστασης.

3.1.4 Εξαιρέσεις

Για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής κατά τα οριζόμενα στο άρθρο 4 του νόμου 3468/2006 και όπως αναλύονται στην ενότητα 2.1 όπου παρουσιάζεται η άδεια παραγωγής και οι διαδικασίες που απαιτούνται για την έκδοσή της, δεν απαιτείται η λήψη άδειας εγκατάστασης. Για τους σταθμούς αυτούς απαιτείται, σε κάθε περίπτωση, η περιβαλλοντική αδειοδότηση, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία. Ένα πρότυπο έντυπο υποβολής αίτησης εξαίρεσης από τη λήψη άδειας εγκατάστασης δεν βρέθηκε στην Ελλάδα αλλά δίνεται στο παράρτημα 2.2.1 ένα ενδεικτικό έντυπο για την Κύπρο.

3.2 Άδεια λειτουργίας

3.2.1 Φορείς έκδοσης

Για τη λειτουργία σταθμών παραγωγής από Απ.Ε., απαιτείται και άδεια λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το ΚΑπ.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

3.2.2 Διάρκεια ισχύος

Η άδεια λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Απ.Ε ισχύει για είκοσι (20) τουλάχιστον έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα. Η χορήγηση της άδειας λειτουργίας δεν απαλλάσσει τον κάτοχό της από την υποχρέωση εφοδιασμού ή ανανέωσης της ισχύος άλλων αδειών που απαιτούνται από σχετικές διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας.

Αν μεταβιβασθεί η κυριότητα του σταθμού, ο νέος κύριος υποκαθίσταται, έναντι του Διαχειριστή του Συστήματος ή του Δικτύου, στα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις του δικαιιοπάροχου

του. Αν μεταβιβασθεί η κυριότητα του σταθμού, στο νέο κύριο μεταβιβάζεται και η άδεια παραγωγής, μετά από γνώμη της Ρ.ΑΕ .. Μετά τη μεταβίβαση αυτή τροποποιείται, με απόφαση του αρμόδιου οργάνου, η άδεια λειτουργίας στο όνομα του νέου κυρίου του σταθμού.

3.2.3 Εξαιρέσεις

Για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Απ.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής κατά τα οριζόμενα στο άρθρο 4 του νόμου 3468/2006, δεν απαιτείται η λήψη άδειας λειτουργίας. Για τους σταθμούς αυτούς απαιτείται, σε κάθε περίπτωση, η περιβαλλοντική αδειοδότηση, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.

3.3 Κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων παράγωγης ενέργειας με εκμετάλλευση της ηλιακής Ενέργειας

Σύμφωνα με το Άρθρο 17 του Δ' κεφαλαίου του ειδικού πλαισίου χωροθέτησης ορίζονται τα Κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας ως εξής:

1. Ως περιοχές προτεραιότητας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (Φωτοβολταϊκά συστήματα) μπορεί ενδεικτικά να θεωρηθούν οι γυμνές και άγονες περιοχές σε χαμηλό υψόμετρο της ηπειρωτικής και της νησιωτικής χώρας, κατά προτίμηση αθέατες από πολυσύχναστους χώρους, και με δυνατότητες διασύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα.

2. Ως ζώνες αποκλεισμού για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή ζώνες στις οποίες πρέπει να αποκλείεται η εγκατάστασή τους, ορίζονται οι εξής κατηγορίες περιοχών:

α. Τα κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς και τα άλλα μνημεία μείζονος σημασίας της παρ. 5 ββ) του άρθρου 50 του ν.3028/2002, καθώς και οι οριοθετημένες αρχαιολογικές ζώνες προστασίας Α που έχουν καθορισθεί κατά τις διατάξεις του άρθρου 91 του ν. 1892/1991 ή καθορίζονται κατά τις διατάξεις του ν. 3028/2002.

β. Οι περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και του τοπίου

που καθορίζονται κατά τις διατάξεις των άρθρων 19 παρ. 1 και 2 και 21 του ν.1650/1986.

γ. Οι πυρήνες των Εθνικών Δρυμών, τα κηρυγμένα μνημεία της φύσης και τα αισθητικά δάση που δεν περιλαμβάνονται στις περιοχές της προηγούμενης περιπτώσεως β' .

δ. Οι οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της Επικράτειας που έχουν ενταχθεί στον κατάλογο των τόπων κοινοτικής σημασίας του δικτύου NATURA 2000 σύμφωνα με την απόφαση 2006/613/ΕΚ της Επιτροπής (ΕΕ L 259 της 21.9.2006, σ. 1).

ε. Οι πολυσύχναστοι χώροι, στους οποίους η αντανάκλαση του φωτός από τις εγκαταστάσεις μπορεί να αποτελεί σημαντική όχληση, όπως αυτοί θα αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του έργου.

στ. Οι γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας

Οι αποστάσεις εγκατάστασης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας από τις ζώνες αποκλεισμού της παραγράφου 2 και οι ειδικότεροι όροι χωροθέτησης των συνοδευτικών τους έργων πρέπει να καθορίζονται, κατά περίπτωση, στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, σύμφωνα με τα γενικά κριτήρια της νομοθεσίας και τους τυχόν ειδικούς κανονισμούς υ954 και πρότυπα που έχουν θεσμοθετηθεί για ορισμένες κατηγορίες συνοδευτικών έργων (πχ. γραμμές μεταφοράς).

3.3.1 Κατάταξη Φ/Β συστημάτων σε κατηγορίες με χωροθετικά κριτήρια

Στο σημείο αυτό λοιπόν πρέπει να τονίσουμε ότι με βάση την κοινή υπουργική απόφαση Αριθμ. Οικ. 145799 γίνεται κατάταξη των ιδιωτικών και δημόσιων έργων σε κατηγορίες. Από το Άρθρο 2 λοιπόν της εν λόγω υπουργικής απόφασης και συγκεκριμένα τον πίνακα 2 του άρθρου κατηγοριοποιείται η ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα.

Έτσι:

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ > 2 MW ανήκουν στην 2^η Υποκατηγορία της Πρώτης Κατηγορίας.

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ 20 KW - 2 MW και τα οποία βρίσκονται εκτός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, κατατάσσονται στην 3^η Υποκατηγορία της Δεύτερης Κατηγορίας

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ < 2 MW εφόσον βρίσκονται εντός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος κατατάσσονται στην 3^η Υποκατηγορία της Δεύτερης Κατηγορίας.

Τα υπόλοιπα συστήματα που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρισμού όπως είναι τα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα κατατάσσονται σύμφωνα με την απόφαση Αριθμ. Η.Ω. 15393/2332 ως εξής:

- Ηλεκτροπαραγωγή > 40 MW κατατάσσεται στην πρώτη

Υποκατηγορία της Πρώτης Κατηγορίας,

- Ηλεκτροπαραγωγή 5-40 MW στη δεύτερη Υποκατηγορία της Πρώτης Κατηγορίας και

- Ηλεκτροπαραγωγή <5 MW στην Τρίτη Υποκατηγορία της Δεύτερης Κατηγορίας. Η κατηγοριοποίηση φαίνεται καλύτερα στον παρακάτω πίνακα 2.4.5.1

Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι οι μονάδες αναφέρονται σε εγκατεστημένη ισχύ και επίσης, αν η Υποκατηγορία των συνοδών έργων (π.χ. οδοποιία), εφόσον είναι ανώτερη, συμπαρασύρει την Υποκατηγορία του κυρίως έργου, που σημαίνει ότι για παράδειγμα αν είχαμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με ισχύ ;::: 2 MW τότε αυτό θα κατατασσόταν στην 2^η Υποκατηγορία της Πρώτης Κατηγορίας. Αν όμως ένα σύνοδο έργο του όπως για παράδειγμα η οδοποιία ανήκε στην 3^η Υποκατηγορία της Δεύτερης Κατηγορίας, δηλαδή ήταν ανώτερης οδοποιίας τότε όλο το έργο (Δηλαδή και το φωτοβολταϊκό σύστημα) κατατάσσεται στην 3^η Υποκατηγορία της Δεύτερης Κατηγορίας.

Όπως διευκρινίστηκε με Εγκύκλιο του Υ.ΠΕ.χΩ.ΔΕ προς την Ρ.Α.Ε. στις 5 Σεπτεμβρίου του 2006 για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος μικρότερης των 20 kWe, εφόσον αυτοί βρίσκονται εκτός περιοχών NATURA 2000, Εθνικών Δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥ.Α. υπ' αριθμ. οικ. 145799/2005 δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση. Άρα για τα έργα αυτά δεν έχει νόημα να καταταχθούν σε κάποια Υποκατηγορία.

4 Ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για τυπική οικογενειακή κατοικία

4.1 Ηλεκτρικές ανάγκες

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μια οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ισχύς κάθε συσκευής και οι ώρες λειτουργίας της κατά τη διάρκεια του μήνα. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η μέση κατανάλωση της ενέργειας για την εξυπηρέτηση των βασικών αναγκών σε ένα σπίτι (Μακρής, 2009).

Στην πρώτη περίπτωση (σπίτι No1) υποθέτουμε ότι λειτουργούν όλες οι συσκευές που φαίνονται στον πίνακα 3. Έτσι, υπολογίζεται ότι η κατανάλωση το φθινόπωρο και την άνοιξη είναι 327.7 kWh, καλοκαίρι είναι 413.00 kWh και το χειμώνα 416.4 kWh. Συνεπώς, η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση του σπιτιού No1 είναι 4454.4 kWh, που αντιστοιχεί σε μέση ημερήσια κατανάλωση ίση με 12.20 kWh.

Στη δεύτερη περίπτωση (σπίτι No2) εξετάζεται η υπόθεση βάσει της οποίας το σπίτι No2 έχει περίπου 50% μικρότερη κατανάλωση από το σπίτι No1. Αυτό μπορεί να γίνει με περιορισμό στη χρήση ορισμένων συσκευών όπως είναι η συσκευή κλιματισμού, το πλυντήριο πιάτων καθώς και η αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό και θέρμανση. Με τον τρόπο αυτό στο σπίτι No2 η κατανάλωση θα είναι, για τους χειμερινούς μήνες 208.20 kWh το μήνα και για τους ανοιξιάτικους και φθινοπωρινούς μήνες 163.5 kWh το μήνα. Έτσι η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση του σπιτιού No2 θα είναι 2230.20 kWh, που αντιστοιχεί σε μέση ημερήσια κατανάλωση ίση με 6.11 kWh. Αυτή είναι μια οικονομική

κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να θεωρηθεί λογική καθώς προσεγγίζει το μέσο όρο οικιακής κατανάλωσης.

Ηλεκτρική συσκευή	Ισχύς (kW)	Ώρες λειτουργίας την ημέρα	Κατανάλωση ανά μήνα (kWh)
Ψυγείο	0.32	24 (ρεύμα 40% το χρόνο)	92.20
Έγχρωμη τηλεόραση	0.20	6	36.00
Πλυντήριο	0.50	0.5	7.50
Ηλεκτρική σκούπα	0.65	0.12	2.30
Φρυγανιέρα	1.00	0.1	3.00
Συσκευή κλιματισμού	0.86	10 (10 μέρες το μήνα το καλοκαίρι)	86.00
Ηλεκτρικός φούρνος	2.60	0.5 (ρεύμα 25% το χρόνο)	9.80
Mixer	0.15	0.10	0.50
Εξαεριστήρας κουζ.	0.20	1.00	6.00
Ηλεκτρ. σίδερο	1.1	0.3 (ρεύμα 50% του χρόνου)	5.00

Ηλεκτρ. κουζίνα	3.7	0.4	54.4
Θερμαντήρας νερού με πετρέλαιο-ηλ. κατανάλωση	0.77	8 (μόνο το χειμώνα)	89.00
Πλυντήριο πιάτων	1.20	1	36.00
Φωτισμός			75.00

4.2 Θερμικές ανάγκες

Για τις θερμικές ανάγκες μιας οικίας σε ζεστό νερό με χρήση ηλιακών συλλεκτών υποθέσαμε ότι η οικογένεια αποτελείται από τέσσερα μέλη, με ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού 40lt ανά άτομο. Επιπλέον έγινε η υπόθεση ότι καθημερινά η μέση θερμοκρασία του νερού στο δοχείο αποθήκευσης του ηλιακού συλλέκτη αυξάνεται από τους 30oC στους 60oC, δηλαδή μεταβολή κατά $\Delta T=30oC$ (Μακρής, 2009).

Σύμφωνα με τις παραπάνω υποθέσεις υπολογίστηκε ότι η απαιτούμενη ενέργεια για την ανύψωση 160lt κατά 30oC είναι ίση με 19857 kJ ή 5.52 kWh. Βάσει αυτού οι ετήσιες θερμικές ανάγκες μιας τετραμελούς οικογένειας είναι 2014.8 kWh.

Ένα τέτοιο ποσό ενέργειας, κατά κανόνα μπορεί να καλυφθεί από έναν θερμοσιφωνικό συλλέκτη διαθέσιμο στην αγορά.

5 Μελέτη κάλυψης αναγκών μέσω ΑΠΕ

5.1 Χρήση φωτοβολταϊκών

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τον βαθμό στον οποίο η χρήση των φωτοβολταϊκών είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες του σπιτιού.

Αρχικά, αναφορικά με την ενεργειακή έξοδο της απόδοσης των φβ, αυτή θεωρείται πως είναι ευθέως ανάλογη της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέγιστη ισχύς ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πλαισίου σε συνθήκες πραγματικής λειτουργίας αγγίζει την τιμή 170 W, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει μία διαφορά του 12% σε σχέση με την τυπική ονομαστική μέγιστη ισχύ εξόδου των φβ πλαισίων που είναι 216 W.

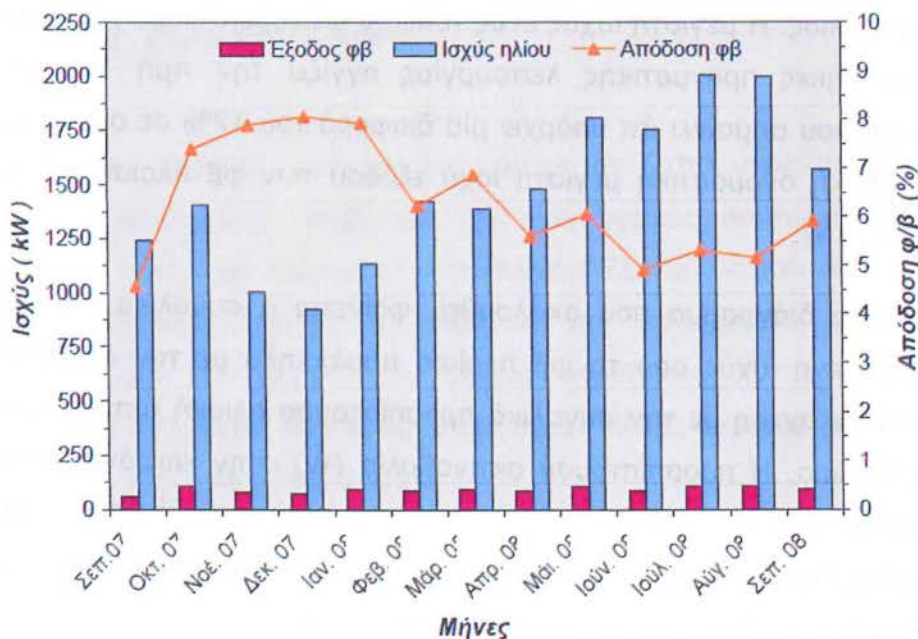
Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η συνολικά μηνιαία παραγόμενη ισχύς από τα φβ πλαίσια παράλληλα με την απόδοση αυτών σε σχέση με την συνολικά προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα πλαίσια. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία (W) στην επιφάνεια των πλαισίων είναι δυνατόν να υπολογιστεί από την ένδειξη του πυρανομέτρου ($W m^{-2}$) πολλαπλασιασμένη επί την επιφάνεια των φ/β ενώ η απόδοση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n = \frac{P_{out}}{G \cdot A_a}$$

όπου n η απόδοση των φ/β πλαισίων, $P_{out}(W)$ η ενεργειακή έξοδος των φ/β, $G(W m^{-2})$ η ηλιακή ακτινοβολία και $A_a (m^2)$ η συνολική επιφάνεια των φβ. Να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός τόσο της ενεργειακής εξόδου όσο και της απόδοσης των φβ πλαισίων

πραγματοποιείται με βάση το σύστημα φβ-ρυθμιστή φόρτισης-μπαταρία. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να διακόψει την παραγωγή ενέργειας όταν η μπαταρία φορτίζεται πλήρως. Έτσι ορισμένες από τις παρουσιαζόμενες τιμές είναι λίγο μικρότερες από εκείνες που θα προέκυπταν αν θεωρηθεί η λειτουργία μόνο των φβ πλαισίων.

Από το ίδιο διάγραμμα φαίνεται η χαμηλή παραγωγή ενέργειας που παρουσιάζουν τα φβ πλαίσια σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία από τον ήλιο γεγονός που αντικατοπτρίζεται και από την απόδοση των πλαισίων που έχει μέση τιμή 6.29 %.

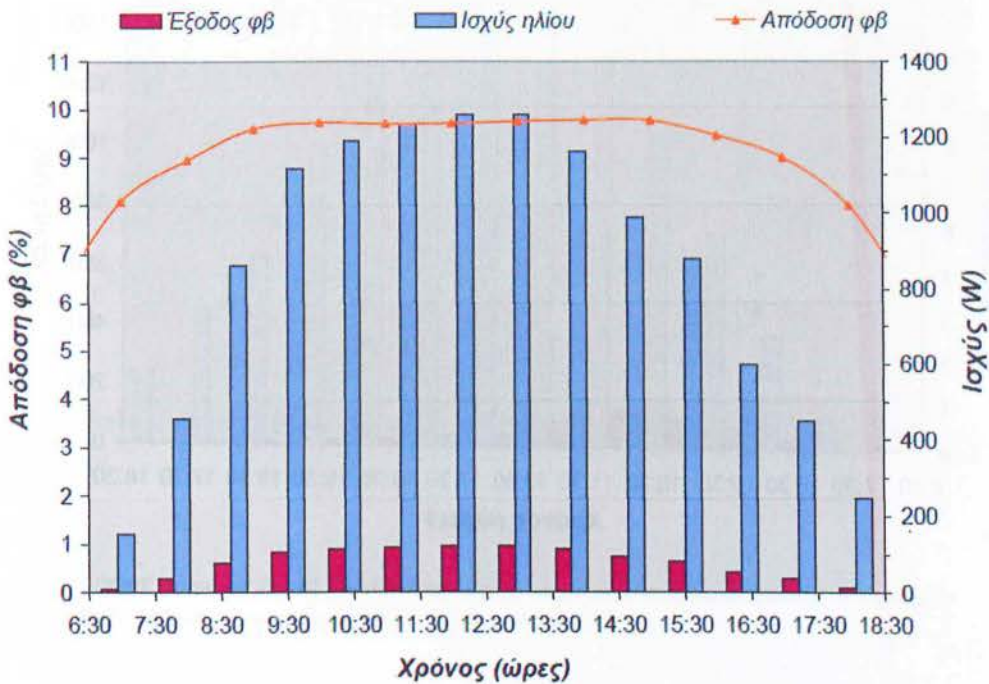


Εικόνα 7: Μηνιαία ενεργειακή συμπεριφορά και απόδοση των φβ (Πηγή: Μακρής, 2009)

5.1.1 Ημερήσια απόδοση και ισχύς φβ

Παρακάτω παρατίθενται δύο ημερήσιες εικόνες της ενεργειακής συμπεριφοράς των φβ πλαισίων σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Στην 1^η εικόνα, φαίνεται η μεταβολή της παραγόμενης

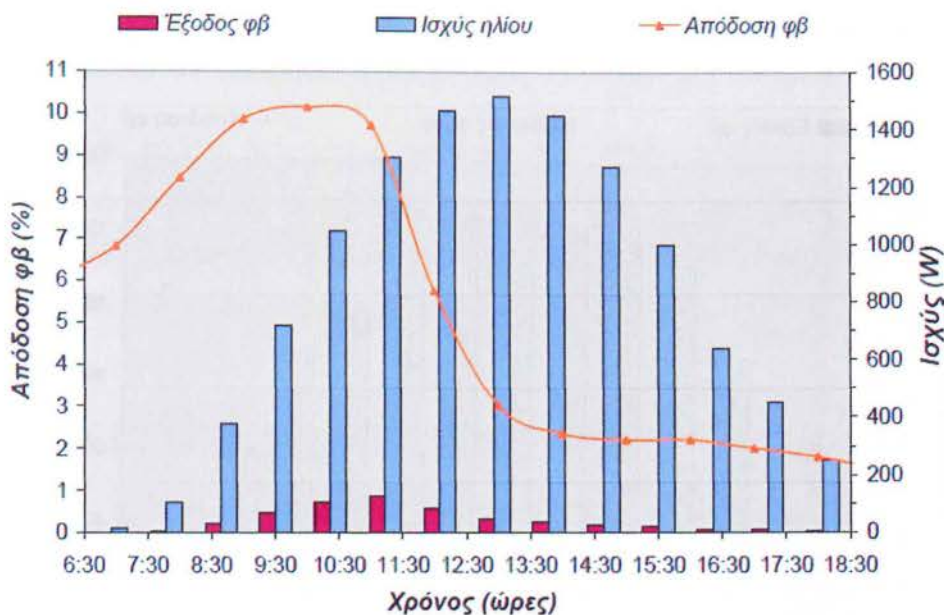
ισχύς και απόδοσης του συστήματος στη διάρκεια μιας ενδεικτικής ημέρας με πολύ καλή προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Όπως είναι φανερό η παραγόμενη ισχύς αυξάνεται με την πάροδο της ώρας και μεγιστοποιείται στις 12:00 όταν ο ήλιος βρίσκεται στην μέγιστη για την περιοχή θέση του.



Εικόνα 8: Ισχύς και απόδοσης του συστήματος (Πηγή: Μακρής, 2009)

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η συμπεριφορά του συστήματος στην περίπτωση η κατανάλωση είναι πολύ μικρή. Για να ληφθούν τα αποτελέσματα αυτά, αρχικά απαιτείται η εκφόρτιση της μπαταρίας και κατόπιν η μείωση του φορτίου κατανάλωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην αρχή της ημέρας τα φβ πλαίσια να αρχίσουν την παραγωγή ενέργειας μέχρι έως ότου φορτιστεί η μπαταρία και στη συνέχεια να επεμβαίνει ο ρυθμιστής φόρτισης μειώνοντας στο ελάχιστο την παραγωγή. Η επέμβαση του ρυθμιστή φόρτισης

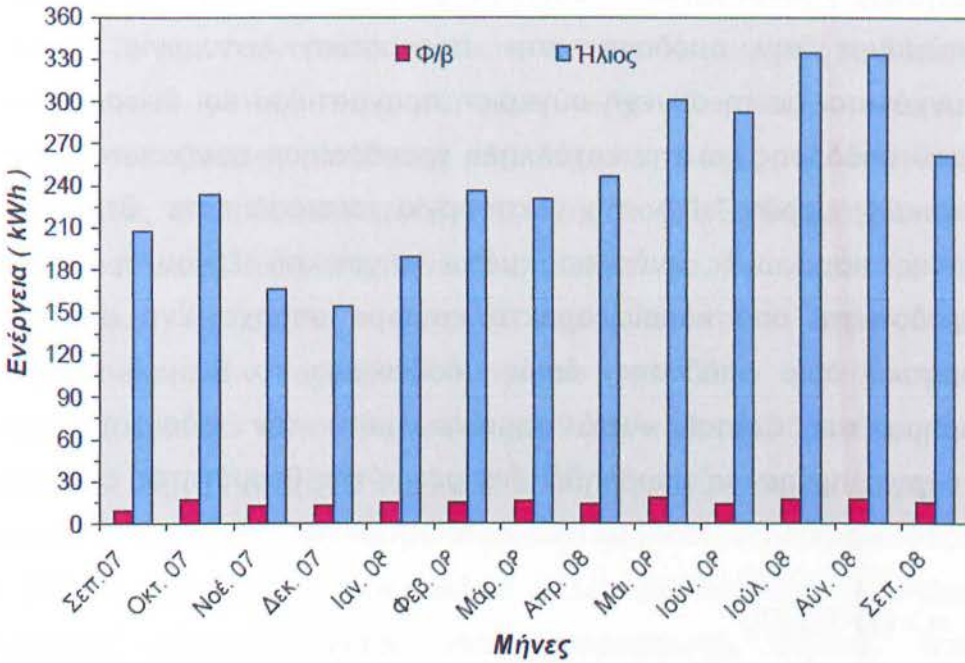
πραγματοποιείται με σκοπό την προστασία της μπαταρίας από φαινόμενα υπερφόρτισης.



Εικόνα 9: Συμπεριφορά συστήματος σε μικρή κατανάλωση (Πηγή: Μακρής, 2009)

5.1.2 Παραγόμενη ενέργεια από τα φβ πλαίσια

Η συνολική ενέργεια που παράγεται από τα φβ πλαίσια σε σύνολο 396 ημερών είναι 194.60 kWh ενώ η αντίστοιχα το ποσό ενέργειας που δέχεται, κατά μέσο όρο, η επιφάνεια των φ/β ήταν 3187.87 kWh. Επιπλέον, η μέση απόδοση μετατροπής το παραπάνω χρονικό διάστημα είναι 6.1%. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η παραγόμενη από τα φβ και η προσπίπτουσα από τον ήλιο ενέργεια για κάθε μήνα.



Εικόνα 10: Συμπεριφορά συστήματος σε μικρή κατανάλωση (Πηγή: Μακρής, 2009)

5.2 Υποστήριξη από άλλες μορφές

5.2.1 Υποστήριξη από κινητήρα

Γενικά, για κάθε μηχανή παραγωγής ενέργειας η γνώση του θεωρητικού βαθμού απόδοσης, δηλαδή του μέγιστου ποσοστού της ισχύος εισόδου αυτής, το οποίο μπορεί θεωρητικά να μετατραπεί σε ωφέλιμη ισχύ στην έξοδό της, είναι σημαντική. Κατά την εξέταση του θεωρητικού βαθμού απόδοσης κάθε ενεργειακής μηχανής, θεωρούμε ότι αυτή λειτουργεί με «ιδανικό» τρόπο, ακολουθώντας πιστά τους νόμους της θερμοδυναμικής. Αυτό σημαίνει πως η εν λόγω μηχανή είναι «ιδεατή», λειτουργεί δηλαδή χωρίς απώλειες προς το περιβάλλον.

Η διαδικασία αυτή μας βοηθάει να αξιολογήσουμε τις μέγιστες,

θεωρητικά, δυνατότητες παραγωγής ισχύος, έτσι ώστε να βελτιώσουμε την απόδοση στην πραγματική λειτουργία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συνεχή σύγκριση πραγματικού και θεωρητικού βαθμού απόδοσης και την κατάλληλη τροποποίηση των εσωτερικών μηχανικών μερών. Για την λειτουργία οποιασδήποτε θερμικής μηχανής παραγωγής ενέργειας μέσω μηχανικού έργου η οποία τροφοδοτείται από κάποιο ορυκτό καύσιμο υπάρχει ένα μέγιστο θεωρητικά όριο απόδοσης, όπως υποδεικνύει το θερμοδυναμικό θεώρημα του Carnot. Αυτό σημαίνει, κατά την «ιδανική» της λειτουργία πρέπει να αποβληθεί ένα μέρος της θερμότητας εισόδου προς το περιβάλλον. Μαθηματικά, αυτό γράφεται:

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1$$

όπου T_1 : θερμοκρασία θερμής δεξαμενής

και T_2 : θερμοκρασία Ψυχρής δεξαμενής

Αυτό συνεπάγεται, ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσής της δεν μπορεί να γίνει ποτέ ίσος με 1 (δηλαδή ίσος με 100%).

Αντίθετα, στην περίπτωση μιας «ιδανικής» κυψέλης καυσίμου, ο θεωρητικός βαθμός απόδοσής της θερμοκρασιακά δεν περιορίζεται από ανώτατα όρια και μπορεί να γίνει ίσος με τη μονάδα, αφού δεν υφίσταται θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.

Στην πράξη, ο βαθμός απόδοσης δεν προκύπτει ποτέ τόσο μεγάλος, μιας και εμφανίζονται πάντοτε κάποιες απώλειες ισχύος, κυρίως περιφερειακές.

Παραδείγματος χάριν, ας θεωρήσουμε ένα πραγματικό μεταφορικό όχημα υδρογόνου το οποίο τροφοδοτείται από κυψέλες υδρογόνου (έστω PEMFC). Ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρικής ισχύος των κυψελών φτάνει το 80% περίπου. Όμως, κατά τη μετατροπή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, στα

διάφορα εσωτερικά μέρη του οχήματος, αναμένεται να μειωθεί αρκετά. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές τριβές που αναπτύσσουν μεταξύ τους τα μέρη αυτά. Επιπλέον, μικρότερη μείωση του βαθμού απόδοσης παρατηρείται λόγω της απαγωγής θερμότητας από το εσωτερικό του οχήματος, εξαιτίας της μικρής θερμοκρασιακής διαφοράς που παρουσιάζει με το εξωτερικό του περιβάλλον. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα περισσότερα οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου που έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα δεν καταναλώνουν απευθείας καθαρό υδρογόνο αλλά ορισμένα υδρογονούχα καύσιμα, τα οποία απαιτούν ένα αναμορφωτή καυσίμου (reformer) για να μετατραπούν σε καθαρό υδρογόνο. Έτσι ο βαθμός απόδοσης θα μειωθεί κι άλλο, εξαιτίας της ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανάται στον αναμορφωτή. Τελικά, όπως αποδεικνύεται στην πράξη, ο συνολικός βαθμός απόδοσης του οχήματος δεν μπορεί να υπερβεί το 25 με 35% περίπου.

Στην πράξη, μία τέτοια PEM συστοιχία καυσίμου χρησιμοποιεί μια μεμβράνη πολυμερούς ως ηλεκτρολύτη. Με έναν τέτοιο στερεό ηλεκτρολύτη πολυμερούς, η απώλεια ηλεκτρολύτη δεν είναι σημαντική σε ότι αφορά τη ζωή της συστοιχίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι 75 ο C και η διαδικασία που λαμβάνει χώρα έχει διασαφηνιστεί πλήρως στο 20 κεφάλαιο και την υποενότητα των κυψελών PEM.

Στο συγκεκριμένο σύστημα, ο αέρας χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό, η πίεση που επικρατεί στην κυψέλη είναι η ατμοσφαιρική κι η θερμοκρασία αγγίζει τους 70 ο C. Η πυκνότητα ρεύματος έχει επιλεγεί στα 400 mA/cm². Αυτό οδηγεί στη χρήση 90 κυψελών καυσίμου προς το σχηματισμό της συστοιχίας. Σε ατμοσφαιρική πίεση, η εξίσωση του Nernst αναφέρεται στην ηλεκτρική συμπεριφορά της κυψέλης; καυσίμου:

$$V_0 = E_0 + (RT/2F) \cdot \ln[(x_{H_2} x_{O_2})^{0.5} / x_{H_2O}]$$

Όπου:

V_a : η ανάστροφη τάση ανοιχτού κυκλώματος για την κυψέλη (V)

E_0 : πρότυπη ανάστροφη τάση κυψέλης (V)

X_j : τα moles κάθε ουσίας (g mole)

Η τάση της κυψέλης υπό φορτίο επηρεάζεται από ωμικές απώλειες, την πόλωση ανόδου και καθόδου και την θερμοκρασία. Θεωρώντας αμελητέες την απώλειες πόλωσης, η τάση του κελιού υπό φορτίο είναι:

$$V = V_0 - iAR - b \cdot \log(iA)$$

Όπου:

i : η πυκνότητα ρεύματος

A : η επιφάνεια της κυψέλης;

R : η ωμική αντίσταση

b : η κλίση Tafel (V)

Η κλίση Tafel οφείλει το ονομά της στο Γερμανό χημικό Julius Tafel που διατύπωσε την ομώνυμη εξίσωση για τον ρυθμό μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Η κλίση Tafel μετράται πειραματικά, μπορεί όμως να υπολογιστεί και θεωρητικά υποθέτοντας μεταφορά ενός μόνο ηλεκτρονίου όπου:

$$kT/e < b$$

όπου το b ορίζεται ως $b = kT/ea$

με:

k : η σταθερά του Boltzmann

T : η απόλυτη θερμοκρασία

e : το φορτίο του ηλεκτρονίου

a : συντελεστής μεταφοράς, με τιμή μεταξύ του 0 και του 1.

5.2.1.1 Έξοδος του συστήματος

Η έξοδος συστήματος κατά τη διάρκεια του έτους ποικίλει από μια εποχή σε άλλη. Παράλληλα, σημειώνεται πως η ισχύς εξόδου της κυψέλης καυσίμου είναι ανεξάρτητη από τις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας. Στον πίνακα που ακολουθεί ταξινομούνται οι τιμές του I_m (A), ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα, η ποσότητα του H_2 , και η ισχύς στην έξοδο της κυψέλης P_{fc} .

Πίνακας: Οι ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα, και η ισχύς στην έξοδο P_{fc}

	I_m (A)	Sun hours/day	P_{fc} (kW/day)
Summer	22.786	10	11.299
Autumn	19.77	8	7.842
Winter	16.997	6	5.058
Spring	20.705	10	10.278

5.2.2 Υποστήριξη από θερμοσιφωνικό συλλέκτη

Η μελέτη των ηλιακών συσκευών έχει ως στόχο την αξιολόγηση της λειτουργίας τους και τον καθορισμό της συνολικής τους αποδοτικότητα σε σχέση με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας εγκατάστασης και τις κλιματολογικές συνθήκες. Οι βασικοί παράμετροι που υπολογίζονται κατά τη διάρκεια της πειραματικής μελέτης είναι η ημερήσια απόδοση λειτουργίας και οι θερμικές απώλειες της συσκευής τόσο κατά τη διάρκεια της μέρας όσο και της νύχτας.

Όταν η συσκευή λειτουργεί ως συλλέκτης, τότε χρησιμοποιείται συνήθως η μέθοδος του προσδιορισμού της στιγμιαίας απόδοσής του. Στη εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε μια άλλη μέθοδος, με την οποία προσεγγίζεται η μέση ημερήσια απόδοση, υπολογίζοντας τη θερμότητα που προσέλαβε το νερό από τις μέσες τιμές της αρχικής και τελικής θερμοκρασίας του κατά τη διάρκεια 12ωρης λειτουργίας της συσκευής.

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας απόδοσης n_d στη διάρκεια της 12ωρης ημερήσιας λειτουργίας του συλλέκτη λαμβάνονται οι τιμές της αρχικής και της τελικής θερμοκρασίας του νερού ($T_{i,m}$, $T_{f,m}$, αντίστοιχα), η μάζα του νερού M_w (kg), η ειδική θερμότητα του νερού $C_{p,w}$ ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$), η μάζα του δοχείου M_T (kg), η ειδική θερμότητα του δοχείου $C_{p,T}$ ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$), και το χρονικό διάστημα $\Delta t = 12\text{h} = 43200 \text{ sec}$. Από τα παραπάνω και θεωρώντας ότι στη διάρκεια του 12ωρου η μέση θερμοκρασία του νερού είναι ίση με τη θερμοκρασία του δοχείου αποθήκευσης είναι δυνατός ο υπολογισμός της θερμότητας του νερού Q_w και της θερμότητας του άδειου δοχείου Q_T από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Q_w = M_w C_{p,w} (T_{f,m} - T_{i,m})$$

$$Q_f = M_f C_{p,f} (T_{f,m} - T_{i,m})$$

Η μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας G_m στο χρονικό διάστημα Δt υπολογίζεται από την ολοκλήρωση:

$$G_m = \frac{\int_{t_i}^{t_f} [G(t) dt]}{t_f - t_i}$$

Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια Q_R στην επιφάνεια ανοίγματος A_a της συσκευής για το χρονικό διάστημα Δt προσδιορίζεται από την ολοκλήρωση της μετρούμενης έντασης G :

$$Q_R = A_a \int_{t_i}^{t_f} G(t) dt = A_a G_m \Delta t$$

Τελικά η μέση ημερήσια απόδοση του θερμοσιφωνικού συλλέκτη υπολογίζεται σύμφωνα με τον ορισμό από τη σχέση:

$$n_d = \frac{Q_w + Q_f}{Q_R} = \frac{(M_w C_{p,w} + M_f C_{p,f}) \cdot (T_{f,m} - T_{i,m})}{G_m A_a \Delta t}$$

5.2.2.1 Παραγόμενη ενέργεια

Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από το θερμοσιφωνικό συλλέκτη αποτελεί μια πιο πολύπλοκη διαδικασία καθώς εξαρτάται από την μέση θερμοκρασία του νερού εντός του δοχείου τα επίπεδα ακτινοβολίας της περιοχής εγκατάστασης. Για το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται ότι 1 m² ηλιακού συλλέκτη μπορεί να αποδώσει μέγιστη ισχύ 700 W.

Στη παρούσα εργασία, για το υπολογισμό της ωφέλιμης ενέργειας θεωρήσαμε ως μέση θερμοκρασία λειτουργίας την τιμή $T_{Mean} = 40^{\circ}\text{C}$. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία αυτή καθώς και την εξίσωση της απόδοσης υπολογίστηκε ότι η συνολική ενέργεια που μπορεί να συγκεντρωθεί από σύστημα είναι 1686.04 kWh ενώ το σύστημα αντίστοιχα δέχεται ενέργεια από τον ήλιο ίση με 3120.58 kWh.

5.3 Σύνοψη κάλυψης ενεργειακών αναγκών

Όπως ήδη αναφέραμε, στην πρώτη περίπτωση σπιτιού υποθέτουμε ότι λειτουργούν όλες οι συσκευές και η κατανάλωση το φθινόπωρο και την άνοιξη είναι 327.7 kWh, καλοκαίρι είναι 413.00 kWh και το χειμώνα 416.4 kWh. Συνεπώς, η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση του σπιτιού Νο1 είναι 4454.4 kWh, που αντιστοιχεί σε μέση ημερήσια κατανάλωση ίση με 12.20 kWh.

Από την άλλη μεριά, σύμφωνα με την μελέτη που παρουσιάστηκε η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της εγκατάστασης είναι 194,6 kWh ή 0.533 kWh/d. Από την άλλη μεριά, η υποστήριξη του συστήματος με τη μηχανή παρέχει κατά μέσο όρο 8.62KWh ανά μέρα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική διάταξη μπορεί να καλύψει αθροιστικά 9,153 KWh ημερησίως, δηλαδή το 75,02% των ετήσιων ηλεκτρικών αναγκών του σπιτιού Νο1.

Στη δεύτερη περίπτωση που εξετάζεται, η οποία βασίζεται σε περιορισμό στη χρήση ορισμένων συσκευών όπως είναι η συσκευή κλιματισμού, το πλυντήριο πιάτων καθώς και η αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό και θέρμανση, η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση του σπιτιού είναι 2230.20 kWh, που αντιστοιχεί σε μέση ημερήσια κατανάλωση ίση με 6.11 kWh. Αυτή είναι μια οικονομική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να θεωρηθεί λογική καθώς προσεγγίζει το μέσο όρο οικιακής κατανάλωσης. Σε αυτήν την περίπτωση, η προτεινόμενη λύση μπορεί να καλύψει το σύνολο των αναγκών του σπιτιού.

Αναφορικά με τις θερμικές ανάγκες σε ζεστό νερό με χρήση ηλιακών συλλεκτών, και με βάση την υπόθεση ότι η οικογένεια αποτελείται από τέσσερα μέλη, με ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού 40lt ανά άτομο, υπολογίστηκε ότι η απαιτούμενη ενέργεια για την ανύψωση 160lt κατά 30oC είναι ίση με 19857 kJ ή 5.52 kWh. Βάσει αυτού οι ετήσιες θερμικές ανάγκες μιας τετραμελούς οικογένειας είναι 2014.8 kWh. Αυτό το ποσό ενέργειας, όπως φαίνεται από τα παραπάνω δεδομένα μπορεί να καλυφθεί από το θερμοσιφωνικό συλλέκτη της πειραματικής διάταξης. Αυτό το γεγονός δεν αποτελεί έκπληξη καθώς ο θερμοσιφωνικός συλλέκτης που μελετήσαμε αποτελεί εμπορικό μοντέλο που προορίζεται για εφαρμογές σε κατοικίες.

5.4 Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω χρήσης παθητικών συστημάτων

5.4.1 Παθητικά συστήματα φωτισμού

Τα παθητικά συστήματα φωτισμού αναφέρονται σε τεχνικές φωτισμού κτηρίων και χώρων με βάση το φυσικό φως. Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους.

Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης».

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

1. Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
2. Ανοίγματα οροφής
3. Αίθρια
4. Φωταγωγοί

Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (<http://buildinggreen.eu>).

Για φωτισμό, όπως είδαμε καταναλώνονται κατά μέσο όρο 75 KWh ανά μήνα, οπότε με τη χρήση τέτοιων στοιχείων, είναι δυνατό να εξοικονομηθούν ακόμα περισσότερα ποσά ενέργειας.

5.4.2 Παθητικά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού. Συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο.

Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και περιλαμβάνουν, παραδείγματος χάριν, ηλιακούς τοίχους, οι οποίοι έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία, τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος Trombe – Michel (<http://buildinggreen.eu>).

Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο (<http://buildinggreen.eu>).

6 Παρουσίαση απόδοσης προτεινόμενης λύσης

6.1 Τρόπος υπολογισμού κόστους

Για τη μελέτη της απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος, θα γίνει πρώτα μια μικρή αναφορά στους παράγοντες που συμβάλλουν στην κερδοφορία και στη βιωσιμότητα των φωτοβολταϊκών επενδύσεων στην Ελλάδα. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι κάτωθι:

Επίπεδο εγγυημένου τιμολογίου

Στην Ελλάδα, το επίπεδο της στήριξης είναι πολύ υψηλό. Το τιμολόγιο εγγυημένων τιμών είναι πολύ υψηλά και λογικά θα έπρεπε ήδη να είχαν οδηγήσει σε μια άνθηση της αγοράς φωτοβολταϊκών. Οι εγγυημένες τιμές είναι υψηλότερες από ότι στην Ισπανία, αλλά εγγυημένες μόνο για 20 χρόνια.

Επιπλέον, τουλάχιστον μέχρι τον Ιανουάριο του 2010 παρέχονταν στήριξη από τον εθνικό και κοινοτικό προϋπολογισμό με επιδοτήσεις στο κόστος εγκατάστασης. Σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες, οι επιδοτήσεις ενδεχομένως να μη δίνονται πλέον.

Διάρκεια εγγυημένου τιμολογίου

Η εγγυημένη τιμή πώλησης ενέργειας (feed-in tariff) είναι εξασφαλισμένη για 20 χρόνια (25 χρόνια για πολύ μικρές εγκαταστάσεις μέχρι 10 kW επί σκεπών).

Ηλιακή πηγή

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι, κατά μέσο όρο, παρόμοια με την ακτινοβολία στην Ισπανία. Στην Ελλάδα, ανέρχεται σε $1500 \pm 200 \text{ kWh/m}^2$ ετησίως κατά μέσο όρο. Η ειδική ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών κυμαίνεται από 1000 kWh/kW στο Βορρά έως 1350 kWh/kW στον Νότο, κατά μέσο όρο, για συστήματα χωρίς δυνατότητα μετακινούμενης βάσης και ηλιακής παρακολούθησης (solar tracking).

Άλλοι παράγοντες

Υπάρχουν δύο επιπλέον λόγοι που κάνουν συμφέρουσα την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα. Ο πρώτος είναι ότι η χώρα περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό των νησιών που δεν είναι συνδεδεμένα με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Μέχρι σήμερα, οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια για τα νησιά αυτά ως επί το πλείστον καλύπτονται από πετρέλαιο, με αποτέλεσμα υψηλό κόστος λειτουργίας και ρύπανση του περιβάλλοντος. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η σημαντική τουριστική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού προσφέρει μια πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ ενεργειακής ζήτησης και η φωτοβολταϊκής ηλεκτροπαραγωγής.

Αντίστοιχα, θα πρέπει να γίνει και μια αναφορά στους παράγοντες ρίσκου μιας τέτοιας επένδυσης. Ο πρώτος παράγοντας ρίσκου είναι η σταθερότητα φωτοβολταϊκής πολιτικής. Η ελληνική νομοθεσία αλλάζει αρκετά συχνά τους όρους και τις προϋποθέσεις στήριξης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά. Η εμπειρία σε πρόωθηση φωτοβολταϊκών είναι πολύ μικρή, και όχι ιδιαίτερα

επιτυχής. Εξαιτίας και των δημοσιονομικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η χώρα, η κατάσταση γενικά δε θεωρείται ως πολύ σταθερή.

Λόγω των έντονων δημοσιονομικών προβλημάτων υπάρχει ανησυχία στους επενδυτές ότι εάν το κράτος βρεθεί σε κατάσταση αδυναμίας πληρωμών θα μπορούσε δυνητικά να αναστείλει ή να μειώσει τις εγγυημένες τιμές και προς τους παραγωγούς ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Ένα τέτοιο σενάριο θεωρείται ακραίο και μάλλον απίθανο, αν πραγματοποιηθεί ωστόσο θα βλάψει σημαντικά τον κλάδο και μπορεί να καταστήσει όλες τις μέχρι σήμερα επενδύσεις ζημιογόνες.

Αν και κάτι τέτοιο θεωρείται απίθανο θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη σύμβαση που υπογράφεται για την διασφάλιση την εγγυημένης τιμής για 20 χρόνια, αναφέρεται ρητά ότι σε περίπτωση πολέμου ή καταστροφής ή εθνικής ανάγκης ο διαχειριστής του δικτύου δύναται να αναστείλει τις πληρωμές προς τους παραγωγούς.

Ένας ακόμα παράγοντας ρίσκου είναι το ανώτατο όριο επιδοτούμενων εγκαταστάσεων. Στην Ελλάδα δεν έχει τεθεί ανώτατο όριο στον αριθμό των εγκαταστάσεων που μπορούν να επιδοτηθούν μέσω των εγγυημένων τιμών. Ο υπουργός περιβάλλοντος ωστόσο αναμένεται να θέσει μελλοντικούς στόχους για συμμετοχή κάθε τεχνολογίας ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα της χώρας. Επιπλέον η πολύ γραφειοκρατική διαδικασία και οι καθυστερήσεις, στην πράξη περιορίζουν τον αριθμό των επιδοτούμενων εγκαταστάσεων.

Ακόμα, σημαντικός παράγοντας είναι και οι διοικητικές διαδικασίες. Η διοικητική διαδικασία είναι πολύ περίπλοκη και χρονοβόρα, ειδικά για τις επενδύσεις άνω του 1 MW, όπου απαιτούνται επιπλέον άδειες. Οι χρονοβόρες διαδικασίες προκαλούνται μεταξύ άλλων από την έλλειψη συντονισμού

μεταξύ των υπουργείων που εμπλέκονται στις διαδικασίες για τις άδειες.

Αναφορικά με όλους τους παραπάνω παράγοντες, μπορούμε να πούμε πως η οικονομική επένδυση της απόδοσης σε φωτοβολταϊκά έχει πολύ ευνοϊκούς όρους στην Ελλάδα. Το εγγυημένο τιμολόγιο είναι πολύ ικανοποιητικό επειδή έχει υψηλές εγγυημένες τιμές, ενώ τα επίπεδα απόδοσης για τους επενδυτές είναι πολύ ικανοποιητικά, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία είναι περίπου 50% μεγαλύτερη από ότι σε άλλες, δυτικές χώρες.

Ένας σημαντικός παράγοντας είναι και η διάρκεια των εγγυημένων τιμολογίων. Το εγγυημένο τιμολόγιο ισχύει για 20 χρόνια στην Ελλάδα (με εξαίρεση πολύ μικρά συστήματα). Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ υψηλή απόδοση των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα θα περίμενε κανείς να υπάρχει έντονα ανεπτυγμένη αγορά στη χώρα, κάτι που δεν ισχύει.

Όμως η ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής αγοράς φαίνεται να σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με παράγοντες που αφορούν τον κίνδυνο (ρίσκο) της επένδυσης. Η εφαρμογή ενός εγγυημένου τιμολογίου για τα φωτοβολταϊκά σίγουρα συμβάλλει στην εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας, ωστόσο πέρα από ένα ορισμένο σημείο, το επίπεδο ανάπτυξης της αγοράς δεν αυξάνεται αναλογικά με το επίπεδο των εφικτών αποδόσεων, αλλά είναι πολύ ευαίσθητο σε επενδυτικούς φραγμούς, όπως η εμφάνιση διοικητικών εμποδίων, η πρόσβαση στο δίκτυο και ο κίνδυνος των αλλαγών στην εφαρμοζόμενη πολιτική προώθησης.

Η Ελλάδα αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις σε αυτόν τον τομέα. Απότομες και αιφνιδιαστικές αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο ή αβεβαιότητα για το μελλοντικό κανονιστικό πλαίσιο απωθούν τους

επενδυτές, καθώς και τις τράπεζες-χρηματοδότες. Όσον αφορά την Ελλάδα, φαίνεται πόσο κρίσιμος είναι ο ρόλος των διοικητικών διαδικασιών για την ανάπτυξη της αγοράς φωτοβολταϊκών. Είναι σημαντικός ο εξορθολογισμός των διαφόρων πτυχών της αδειοδοτικής διαδικασίας (συμπεριλαμβανομένων των οικοδομικών αδειών, περιβαλλοντικών αδειών, επιχορηγήσεων κλπ). Μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις πρέπει να υπόκεινται σε απλουστευμένες διαδικασίες, και ο αριθμός των εμπλεκόμενων αρχών θα πρέπει να διατηρείται μικρός.

6.2 Μελέτη απόδοσης

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα για την απόδοση που μπορεί να έχει μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, σύμφωνα με το νόμο του Ιανουαρίου 2009. Για να αξιολογηθούν οι επενδύσεις με βάση το νόμο Ιανουαρίου 2009 έγιναν οι παρακάτω υποθέσεις

Αρχική επενδυτική δαπάνη

Περιλαμβάνει τα ίδια κεφάλαια που δεσμεύονται στην επένδυση και αποτελούν το 25% του συνολικού επενδυτικού κόστους. Το συνολικό επενδυτικό κόστος περιλαμβάνει εκτός από τα ίδια κεφάλαια, τα δανειακά κεφάλαια και την επιδότηση της επένδυσης. Υποθέσεις: α) παρέχεται η μέγιστη δυνατή επιδότηση του επενδυτικού κόστους ανά περιοχή μέσω του αναπτυξιακού νόμου σύμφωνα με τις διατάξεις που ίσχυαν μέχρι τον Ιανουάριο του 2010, καθώς δεν έχουν γίνει ακόμη γνωστές οι νέες διατάξεις. β) δανεισμός διάρκειας 10 ετών με επιτόκιο 7%, γ) σταδιακή μείωση του επενδυτικού κόστους από το μέσο επίπεδο των περίπου 5.700 €/kW.

Έσοδα από πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας

Υπολογίζονται ως το γινόμενο της ποσότητας παραγωγής επί την εγγυημένη τιμή πώλησης. Η ποσότητα παραγωγής εκτιμήθηκε για κάθε περιφέρεια ως ο σταθμισμένος μέσος όρος ετήσιας παραγωγής φωτοβολταϊκών σταθερής βάσης (με συντελεστή 2/3) και φωτοβολταϊκών περιστρεφόμενης βάσης με 2 άξονες (με συντελεστή 1/3). Τα στοιχεία παραγωγής αφορούν σε φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου με 14% συντελεστή απωλειών και βέλτιστη κλίση και βέλτιστο προσανατολισμό. Έχει προβλεφθεί α) αύξηση της εγγυημένης τιμής κατά το 25% του πληθωρισμού του προηγούμενου έτους, και β) μείωση της μέσης ποσότητας παραγωγής κατά 0,8% ετησίως λόγω απωλειών απόδοσης.

Αποπληρωμή δανειακού κεφαλαίου

Περιλαμβάνει τις πληρωμές που καταβάλλονται σε εξαμηνιαία βάση για την αποπληρωμή των τόκων και των δανειακών κεφαλαίων.

Πληρωμή τόκων

Περιλαμβάνει τις πληρωμές που καταβάλλονται σε εξαμηνιαία βάση για την αποπληρωμή των τόκων των δανειακών κεφαλαίων.

Κόστος Συντήρησης

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης υπολογίζεται

ετησίως σε ποσοστό 1 % του συνολικού επενδυτικού κόστους.

Αποσβέσεις

Υποτίθεται συντελεστής απόσβεσης 5% του επενδυτικού κόστους ανά έτος.

Φόρος εισοδήματος

Επιβάλλεται στα συνολικά έσοδα αφού αφαιρεθούν οι τόκοι, οι αποσβέσεις και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Ο Συντελεστής είναι 25%.

Η ταμειακή ροή ανά έτος υπολογίζεται ως εξής.

Χρηματική Ροή= -Αρχική Επενδυτική Δαπάνη + Έσοδα από πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας -Αποπληρωμή δανειακού κεφαλαίου -Πληρωμή τόκων -Κόστος Συντήρησης Φόρος Εισοδήματος.

Στη συνέχεια η ταμειακή ροή ανάγεται σε τιμές έτους βάσης αφού αποπληθωριστεί με επιτόκιο 2% ανά έτος. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν διαφέρουν ανάλογα με την περιοχή, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας: Αποδόσεις των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά ανά την Ελλάδα (Maniatis, 2009)

Περιοχή/Ζώνη	Εσωτερικός Βαθμός	
	>100kW	<=100kW
Βόρειο Αιγαίο	21.9%	30.5%
Νότιο Αιγαίο	19.1%	27.6%
Κρήτη	17.8%	26.1%
Πελοπόννησος	16.8%	25.1%
Δυτική Ελλάδα	15.0%	22.9%
Ήπειρος	14.7%	22.6%
Ανατολική	14.1%	21.9%
Δυτική Μακεδονία	12.7%	20.4%
Κεντρική Ελλάδα	12.1%	19.6%
Κεντρική Μακεδονία	11.5%	19.0%
Θεσσαλία	10.9%	18.3%
Ιόνια Νησιά	10.9%	18.2%
Αττική	10.2%	17.4%
Διασυνδεδεμένο	13.5%	21.2%
Μη Διασυνδεδεμένο	20.2%	28.7%

Όπως φαίνεται από τον πίνακα στα νησιά του Αιγαίου και στην Κρήτη (μη διασυνδεδεμένο σύστημα), μπορούν οι επενδυτές να επιτύχουν υψηλότερο Ε.Β.Α. από την υπόλοιπη Ελλάδα, ανεξάρτητα από το μέγεθος ισχύος της επένδυσης. Ακόμη, μικρότερης ισχύος φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν μεγαλύτερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης λόγω υψηλότερων εγγυημένων τιμών. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει και το ποσοστό της επιδότησης, καθώς στην Αττική, όπου η ηλιακή ακτινοβολία και η δυνητική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη συγκριτικά με άλλες περιοχές, λόγω χαμηλής επιδότησης προκύπτει συνολικά χαμηλότερος Ε.Β.Α. για την επένδυση.

Τα παραπάνω αποτελέσματα ισχύουν ωστόσο μόνο στην περίπτωση που η σύμβαση της εγγυημένης τιμής με το διαχειριστή του δικτύου υπογραφεί μέχρι τον Αύγουστο του 2010. Από εκεί και έπειτα ο Ε.Β.Α. αποκλιμακώνεται.

Κάθε εξάμηνο υπάρχει αποκλιμάκωση εγγυημένων τιμών αλλά και μείωση επενδυτικού κόστους (περίπου 2,5%) με βάση υποδείγματα τεχνολογικής εκμάθησης (ενώ οι υπόλοιποι παράγοντες θεωρούνται αμετάβλητοι). Ο E.B.A. είναι φθίνων μέχρι τον Ιανουάριο του 2015. Όταν η εγγυημένη τιμή συνδέεται με την οριακή τιμή του συστήματος με μια προσαύξηση της τάξης του 30% έως 50%, ο E.B.A. μηδενίζεται. Αυτό συμβαίνει επειδή με τον αναμενόμενο ρυθμό μείωσης του επενδυτικού κόστους, οι εγγυημένες τιμές μετά το 2015 - εφόσον η μέση οριακή τιμή συστήματος κινηθεί όπως εκτιμάται- δεν καλύπτουν το επενδυτικό κόστος. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι και πριν το 2015, ο E.B.A. ενδέχεται να μην ξεπερνά το κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου (περίπου 10-12%).

7 Επίλογος - Συμπεράσματα

7.1 Σύνοψη εργασίας

Η μελέτη της απόδοσης εγκαταστάσεων που εκμεταλλεύονται το ηλιακό δυναμικό, σε συνδυασμό με υποστηρικτικές τεχνικές με σκοπό την παραγωγή ενέργειας ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες ενός σπιτιού είναι το κύριο ερευνητικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στόχος ήταν συνδυασμένη χρήση φβ, γεννητριών και θερμικού συλλέκτη με σκοπό την αύξηση της συνολικής αποδοτικότητας μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, γενικά στοιχεία για τη λειτουργία τους, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους και την παραγωγή ηλεκτρισμού. Επίσης, μελετήθηκε η απόδοση και παραγωγή ενέργειας από τέτοια συστήματα, όπως και η παραγωγή θερμότητας και ο συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας από φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Επιπλέον, έγινε μια σύντομη αναφορά στα υβριδικά συστήματα, στην απόδοση υβριδικών συστημάτων και στα μεγέθη μέτρησης εξοικονόμησης ενέργειας. Παράλληλα, παρουσιάστηκαν τα σημαντικότερα στοιχεία νομοθεσίας, και λεπτομέρειες αναφορικά με την άδεια εγκατάστασης, την άδεια λειτουργίας και κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων παράγωγης ενέργειας με εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Αναφορικά με την μελέτη, παρουσιάστηκαν καταρχήν οι ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για τυπική οικογενειακή κατοικία, και στη συνέχεια μελετήθηκε το ποσοστό κάλυψης σε ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για δύο σπίτια με διαφορετικές ημερήσιες καταναλώσεις βάσει της ενέργειας που παράγει το προτεινόμενο

σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ότι για το πρώτο σπίτι με μέση ημερήσια κατανάλωση 12.20 kWh το ποσοστό κάλυψης σε ηλεκτρικές ανάγκες μπορεί να αγγίξει το 75% ενώ για το δεύτερο σπίτι με ημερήσια κατανάλωση 7kWh, το οποίο προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα, οι ενεργειακές απαιτήσεις καλύπτονται πλήρως. Παράλληλα διαπιστώθηκε ότι οι θερμικές ανάγκες μιας τετραμελούς οικογένειας θα μπορούσαν να καλυφθούν από έναν θερμοσιφωνικό συλλέκτη όμοιο με αυτόν της εγκατάστασης.

7.2 Μελλοντικές έρευνες

Είναι γεγονός αδιαμφισβήτητο, πως οι επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά ήταν και παραμένουν επικερδείς. Σήμερα το κόστος της ενέργειας που προέρχεται από φωτοβολταϊκά είναι αρκετά υψηλότερο από το κόστος της ενέργειας που παράγεται από συμβατικές πηγές ενέργειας, ωστόσο έχει παρατηρηθεί μια ραγδαία αποκλιμάκωση του κόστους. Επιπλέον, αν και η εγγυημένη τιμή που παρέχεται στους επενδυτές αποκλιμακώνεται χρόνο με το χρόνο, ανάλογη αποκλιμάκωση παρατηρείται και στο επενδυτικό κόστος, με αποτέλεσμα η απόδοση της επένδυσης να παραμένει σταθερή. Η απόδοση μιας επένδυσης φωτοβολταϊκών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η ηλιοφάνεια και οι εγγυημένες τιμές που παρέχει κάθε κράτος. Στην Ελλάδα επικρατούν ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες και οι εγγυημένες τιμές είναι υψηλές με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα η απόδοση της επένδυσης. Το κέρδος αυτό βέβαια αντισταθμίζεται ωστόσο από τις πολύ απλές διαδικασίες που επικρατούν σε άλλες χώρες όσον αφορά τις επενδύσεις σε

φωτοβολταϊκά, σε αντίθεση με τις δαιδαλώδεις διαδικασίες που απαιτούνται στην Ελλάδα.

Μελλοντικές έρευνες πάνω στο ιδιαίτερα σημαντικό αυτό αντικείμενο, μπορούν να περιλαμβάνουν περαιτέρω ανάλυση των διαδικασιών που απαιτούνται για την πλήρη υποστήριξη των ενεργειακών αναγκών ενός σπιτιού από την συνδυαστική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και την αποτύπωση της ευρύτερης τάσης προς την στροφή προς εναλλακτικές πηγές, ιδιαίτερα στην περίοδο αυτή της οικονομικής κρίσης.

7.3 Μέλλον των ΑΠΕ

Όπως όλα δείχνουν, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς και τείνουν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην κοινωνία μας, τόσο σε επίπεδο οικονομικής επένδυσης όσο και σε επίπεδο οικιακής χρήσης για την κάλυψη των εκάστοτε ενεργειακών αναγκών.

Πιο συγκεκριμένα, στο μέλλον αναμένεται η κύρια δύναμη προώθησης των φωτοβολταϊκών παραδείγματος χάριν να είναι οι συνεχείς μειώσεις του κόστους παραγωγής που θα προκύπτουν μέσω της τεχνολογικής εξέλιξης, αλλά και της μαζικής παραγωγής των φωτοβολταϊκών.

Πέραν αυτού, και ξεφεύγοντας από τα στενά όρια της Ελλάδας, νέα ώθηση στην συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πολύ πιθανό να δώσει η διάδοση και εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών σε περιοχές με εξαιρετική ηλιοφάνεια, όπως η Καλιφόρνια, η Σαχάρα, η Αυστραλία, η Δυτική Κίνα, και άλλες περιοχές όπου τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά μπορούν να παράγουν ακόμη και

διπλάσια ενέργεια σε σχέση με φωτοβολταϊκά εγκατεστημένα σε χώρες όπως η Γερμανία για παράδειγμα.

Τέλος, σημαντικές εξελίξεις αναμένονται με τη βελτίωση διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών, όπως αυτά των λεπτών επιστρώσεων (thin film) που έχουν μεν μικρότερη απόδοση, αλλά και χαμηλότερο επενδυτικό κόστος από τα φωτοβολταϊκά πυριτίου.

Βιβλιογραφία

Δούκα Γεωργία, «Εφαρμογές, Χαρτογράφηση και Πιθανοτική Προσομοίωση των Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας», Διπλωματική εργασία, Αθήνα, 2008

Δρ. Παντελής Ν. Μπότσαρης, «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού – Θερμότητας», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2003

Ευθυμίουπουλος & Μοδινός 2002. Παγκοσμιοποίηση και Περιβάλλον, Ελληνικά Γράμματα-Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών

Μακρής (2009), Συνδυασμένη Χρήση Ηλιακής Και Αιολικής Ενεργείας Για Την Κάλυψη Ενεργειακών Αναγκών Των Κτιρίων, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών

Παναγιώτου (2007), Φωτοβολταϊκά συστήματα, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

Καρακυριάκου (2009), Βέλτιστος Προγραμματισμός Λειτουργίας Υβριδικού Συστήματος Φωτοβολταϊκών και Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας με Βάση την Ανάλυση Διακύμανσης του Ηλεκτρικού Φορτίου. Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

Danchev, S, Maniatis, G, Tsakanikas, A, 2009. "Returns on investment in electricity producing photovoltaic systems under de-escalating feed-in tariffs: The case of Greece

<http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=353&lang=1&catid=1>

<http://www.greekmoney.gr/permalink/18271.txt>

www.ypeka.gr

[http://www.cyprus.gov.cy/moa/Agriculture.nsf/All/9280C74F6AE0A571C22578F6001C3D11/\\$file/MP2011.131.01.01.pdf?OpenElement](http://www.cyprus.gov.cy/moa/Agriculture.nsf/All/9280C74F6AE0A571C22578F6001C3D11/$file/MP2011.131.01.01.pdf?OpenElement)

<http://buildinggreen.eu>