



Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος



ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΣΙΦΝΑΙΟΥ ΧΑΡΑ

**Επιβλέπων Καθηγητής
Εμμανουήλ Καραπιδάκης**

**Χανιά
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2007**

Ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου και τα αδέρφια μου για την πολύτιμη βοήθεια τους, την υπομονή την συμπαράσταση και την αγάπη που μου έδειξαν ώστε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία και να αποκτήσω το πτυχίο μου..

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	σελ.
<u>Κεφάλαιο 1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας</u>	
1.1. Ηλιακή ενέργεια	10
1.1.1. Ιστορική αναδρομή στην ηλιακή ενέργεια	10
1.1.2. Τα πρώτα πειράματα με την ηλιακή ενέργεια	10
1.1.3. Η αφθονία της ηλιακής ενέργειας	11
1.1.4. Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας	12
1.1.5. Παθητικά ηλιακά συστήματα	12
1.1.6. Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	14
1.1.7. Ηλιακοί Συλλέκτες	14
1.1.8. Ηλιακοί θερμοσίφωνες	15
1.1.9. Φωτοβολταϊκή ενέργεια	16
1.1.10. Πλεονεκτήματα Φ/Β Συστημάτων	19
1.1.10.1. Μειονεκτήματα των Φ/Β	19
1.1.10.2. Ηλιακή ενέργεια και περιβάλλον	19
1.1.10.3. Κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας	20
1.1.10.4. Κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ενεργητικών και παθητικών συστημάτων ηλιακής ενέργειας	20
1.2. Αιολική ενέργεια	20
1.2.1. Διαθεσιμότητα αιολικής ενέργειας	20
1.2.2. Παγκόσμια χρήση αιολικής ενέργειας	21
1.2.3. Είδη Ανεμογεννητριών	21
1.2.4. Αιολικό Πάρκο	24

1.2.5. Αιολική ενέργεια και περιβάλλον	24
1.3 Βιοχημική Ενέργεια (βιομάζα)	24
1.3.1 Βιομάζα	24
1.3.2 Χρήσεις - Αποδέκτες	25
I. Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας	
II. Συμπαγωγή Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας	
1.4. Βιομετατροπή	25
1.5. Γεωθερμική ενέργεια	26
1.5.1. Μελλοντικές τεχνολογίες : μετατροπή ωκεάνιας θερμικής ενέργειας	27
1.6 Υδραυλική Ενέργεια	27
1.7. Παλιρροιακή ενέργεια	28
1.8. Υδροηλεκτρική ενέργεια	29
1.9. Κύρια παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα	29
1.9.1. Η καταστροφή της βιοποικιλότητας	29
1.9.2. Η καταστροφή των δασών	30
1.9.3. Η τρύπα του όζοντος	32
1.9.4. Το Όζον	32
1.9.5. Όξινη βροχή	32
1.9.6. Το πρόβλημα της ραδιενέργειας	32
1.9.7. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	33
1.9.8. Ορθολογική χρήση ενέργειας	34
<u>Κεφάλαιο 2. Η ηλιακή ενέργεια.</u>	
2.1 Το ηλιακό φάσμα.	35
2.2. Οι συμβατικές ηλιακές ακτινοβολίες.	36
2.3 Η ακτινοβολία του «ενός ηλίου».	38

2.4	Ηλιακή γεωμετρία	39
2.5.	Ο προσανατολισμός του συλλέκτη.	42
2.6.	Η ιδανική κλίση των συλλεκτών.	43
2.7.	Ροή και ένταση της ακτινοβολίας	46
2.8	Η Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας	47

Κεφάλαιο 3. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή

3.1.	Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.	50
3.2	Η απορροφητικότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων.	51
3.3	Η δημιουργία του φωτορεύματος	53
3.4	Ο συντελεστής πλήρωσης	57
3.5.	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων- Δεύτερη προσέγγιση	59
3.6	Η αποδοτική λειτουργία των φ/β στοιχείων- Σταθερές αξίες.	60
3.7	Η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων- Μεταβαλλόμενες συνθήκες.	62
3.8	Αξιολόγηση των ημιαγωγών για ηλιακές φωτοβολταϊκές εφαρμογές	64

Κεφάλαια 4. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

4.1	Ηλιακά στοιχεία πυριτίου.	66
4.1.1	Η επιλογή και η συμπεριφορά του πυριτίου	66
4.1.2	Η παρασκευή του ηλιακού στοιχείου	67
4.1.3	Η διαμόρφωση της διόδου	69
4.1.4	Ανταγωνιστικά μεγέθη	70

4.1.5	Άμορφο πυρίτιο	72
4.2	Ηλιακά στοιχεία θειούχου καδμίου.	73
4.3	Ηλιακά στοιχεία αρσενικούχου γαλλίου.	74
4.4	Συνδυασμένες διατάξεις ηλιακών στοιχείων.	76

Κεφάλαιο 5. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

5.1	Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο	78
5.2	Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου.	80
5.3	Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης.	81
5.4	Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού πλαισίου.	83
5.5	Φωτοβολταϊκά πάνελα και συστοιχίες.	84
5.6	Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα.	87

Κεφάλαιο 6. Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

6.1.	Η συγκρότηση του συστήματος.	89
6.2	Ο προκαταρκτικός και ο λεπτομερειακός σχεδιασμός.	90
6.3	Βασικές επιλογές και προϋποθέσεις	92
6.4	Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις.	93
6.5	Η ηλιακή ενέργεια.	95
6.6	Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων.	96
6.7	Η συνδεσμολογία των συστοιχιών.	98
6.8	Οι αποθηκευτικές μονάδες.	99
6.8.1	Η ανάγκη για αποθήκευση	99
6.8.2	Οι συσσωρευτές μολύβδου	100
6.8.3	Η χωρητικότητα των συσσωρευτών	102

6.8.4. Δομή, διάρκεια ζωής και κόστος **104**

6.9 Ρυθμιστές, μετατροπείς και αναστροφείς, **105**

Κεφάλαιο 7.Οικονομική ανάλυση.

7.1. Γενικά **108**

7.2. Παρούσα αξία. **109**

7.3. Χρόνος απόσβεσης **111**

7.4. Συνολικό κόστος συστημάτων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. **112**

7.5. Κόστος δανειοδότησης. **113**

7.6 Διαχρονικό κόστος. **113**

Κεφάλαιο 8. Μελέτες περιπτώσεων τεχνικό-οικονομικών σχεδιασμών.

8.1 Περίπτωση 1 **114**

8.1.1. Αντικείμενο **114**

8.1.2. Συμπληρωματικές πληροφορίες **114**

8.1.3. Γενική πορεία του σχεδιασμού **115**

8.1.4. Η χρονική περίοδος **115**

8.1.5. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις **115**

α. Κατοικίες

β. Κοινοτικός φωτισμός

γ. Αντλίες

δ. Ψυκτική εγκατάσταση

ε. Αναμεταδότης

8.1.6. Η ηλιακή ενέργεια **118**

8.1.7. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια **118**

α. Η κλίση των συλλεκτών

β. Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής	
γ. Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαισίων	
δ. Η έκταση του φ/β πάρκου	
8.1.8. Οι συσσωρευτές	122
8.1.9. Διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου	122
8.1.10. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	123
8.1.11. Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων	124
8.1.12. Οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης	125
8.1. 13. Συγκρίσεις	125
8.1.14. Προϋπολογισμός κόστους	127
8.2. Περίπτωση 2	127
8.2.1. Αντικείμενο	127
8.2.2. Χρονική περίοδος	127
8.2.3. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις	127
8.2.4. Η ηλιακή ενέργεια	128
8.2.5. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια	128
8.2.6. Οι συσσωρευτές	131
8.2.7. Διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου	131
8.2.8. Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων	132
8.2.9. Προϋπολογισμός κόστους	133
<u>Εισαγωγή</u>	
8.3. Περίπτωση 3	136
8.3.1 Αντικείμενο.	136
8.3.2. Συμπληρωματικές πληροφορίες.	136

8.3.3. Χρονική περίοδος	137
8.3.4. Η ηλιακή ενέργεια	137
8.3.5. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια.	137
α. Η κλίση των συλλεκτών.	
β. Η απαιτούμενη ισχύ αιχμής.	
γ. Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαίσιο.	
δ. Η έκταση του φ/β πάρκου.	
8.3.6. Οι συσσωρευτές.	141
8.3.7 Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων και προϋπολογισμός του κόστους	142
α. Φ/Β γεννήτριες	
β. Αντιστροφέας ισχύος	
γ. Βάση στήριξης φ/β γεννητριών.	
8.3.8. Οικονομικά	143
8.3.9. Περιβαλλοντικά	143
8.3.10. Έτερα	143

Κεφάλαιο 1

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1. Ηλιακή ενέργεια

1.1.1. Ιστορική αναδρομή στην ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια, είναι η ενέργεια που μεταδίδεται στη γη από τον ήλιο. Έχει δημιουργήσει άμεσα ή έμμεσα όλα τα ενεργειακά αποθέματα στη γη, από την εποχή του σχηματισμού του πλανήτη. Η ανάλυση έχει δείξει, ότι οι περισσότερες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα, προέρχονται από τον ήλιο, εκτός από την πυρηνική ενέργεια και τις παλίρροιας. Η σημασία του ήλιου στις ανθρώπινες προσπάθειες, δεν μπορεί να παραβλεφθεί. Μία μελέτη των Δυτικών ή Ανατολικών φιλοσοφιών αποκαλύπτει πολλούς μύθους και θρύλους που αποδεικνύουν την υποχρέωση του ανθρώπου στο ήλιο, ο οποίος παρέχει χρήσιμη θερμότητα και τον απαιτούμενο μηχανισμό παραγωγής των καλλιεργειών. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται επί χιλιάδες χρόνια για την αποξήρανση της τροφής, ως καύσιμο και για την εξαγωγή του αλατιού. Με το χρόνο, αναπτύχθηκε η αρχιτεκτονική έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται τον ήλιο για θέρμανση ή να τον αποφεύγει για ψύξη.

1.1.2. Τα πρώτα πειράματα με την ηλιακή ενέργεια

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας δεν περιορίστηκε μόνο στη θέρμανση και στην ψύξη των κτιρίων. Τα πρώτα πειράματα με την ενέργεια αυτή, βοήθησαν σε πολλές επιστημονικές ανακαλύψεις και εφευρέσεις. Για παράδειγμα, το 1774, ο Βρετανός χημικός Joseph Priestley ανακάλυψε ότι συγκεντρωμένες ηλιακές ακτίνες πάνω σε οξείδιο του υδραργύρου, προκαλούσαν την απελευθέρωση κάποιου αερίου. Ο Priestley διαπίστωσε, ότι η φλόγα των κεριών ήταν λαμπρότερη όταν περιβαλλόταν από το αέριο αυτό. Γι' αυτό, νόμιζε ότι το αέριο αυτό ήταν αέρας μεγαλύτερης τελειότητας. Με παρόμοια πειράματα συγκεντρωμένου ηλιακού φωτός από οπτικούς φακούς, ο Γάλλος χημικός Antoine Lavoisier ανακάλυψε ορθά, ότι το αέριο αυτό ήταν το οξυγόνο.

Το 1872, κατασκευάστηκε στη Χιλή ένα αποστακτήριο, για την παραγωγή ποσίμου ύδατος από αλμυρό νερό. Κατά το πείραμα αυτό, τοποθετήθηκαν πάνω από το αλμυρό νερό κεκλιμένες γυάλινες οροφές. Η ηλιακή ενέργεια διαπερνούσε το γυαλί και ανέβαζε τη θερμοκρασία του αλμυρού νερού. Αυτό, προκαλούσε την εξάτμιση του νερού και τη συμπύκνωση των παραγόμενων υδρατμών κάτω από το γυαλί. Το συμπυκνωμένο αυτό νερό, έρεε με τη βοήθεια καναλιών προς κάποιες συλλεκτικές λεκάνες. Η εγκατάσταση αυτή, μπορούσε να παρέχει στον πληθυσμό της περιοχής, περί τα 6.000 γαλόνια ποσίμου νερού ημερησίως.

Παρά τα ιστορικά στοιχεία της επιτυχούς χρήσης της ηλιακής ενέργειας σε πολλές εφαρμογές, ακόμη δεν έχει διαδοθεί ευρέως. Αυτό, οφείλεται μερικώς στη διακοπόμενη φύση της ενεργειακής αυτής πηγής (ηλιοφάνεια υπάρχει μόνο για κάποιο διάστημα της ημέρας) και μερικώς στην προτίμηση για τις ευκολίες που παρέχει η χρήση καυσίμων υδρογονανθράκων, στην ικανοποίηση των βιομηχανικών και οικονομικών απαιτήσεων. Πάντως, η ηλιακή ενέργεια υπόσχεται ακόμη πολλά. Για πολλούς επιστήμονες, η χρήση της ηλιακής ενέργειας τανταλίζεται, επειδή είναι άφθονη, καθαρή και ελεύθερη σε αυτούς που επιλέξουν να την εκμεταλλευτούν.

1.1.3. Η αφθονία της ηλιακής ενέργειας

Οι ερευνητές του υπουργείου ενέργειας των ΗΠΑ έχουν καταγράψει την ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας. Σε παγκόσμια κλίμακα, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που καταφθάνει στη γη μέσα σε μία περίοδο δύο εβδομάδων, είναι ισοδύναμη με την ενέργεια όλων των αποθεμάτων φυσικών καυσίμων υδρογονανθράκων (γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου). Το συνολικό ποσόν ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη γήινη ατμόσφαιρα μέσα σε ένα χρόνο, ισούται περίπου με 35.000 φορές την ενέργεια που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα ετησίως. Στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας, η μέση ένταση της ηλιακής ενέργειας είναι 1.36 KWatts ανά τετραγωνικό μέτρο (μετρούμενη στο κάθετο προς αυτήν επίπεδο). Ο αριθμός αυτός, είναι γνωστός ως ηλιακή σταθερή, και λαμβάνει τη μέγιστη αυτή τιμή όταν ο ήλιος είναι κατακόρυφος στον ουρανό.

Στις άλλες περιόδους της ημέρας, η λαμβανόμενη ενέργεια εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών πάνω στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας. Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη λαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια, είναι το γεωγραφικό πλάτος, η χρονική στιγμή της ημέρας και η εποχή του χρόνου. Σημειώσατε επίσης, ότι για το μισό περίπου χρονικό διάστημα, η γη δεν λαμβάνει απευθείας ηλιακή ενέργεια.

Φανταστείτε, ότι η σημερινή τεχνολογία μπορούσε να συλλάβει την ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας. Τότε, δεν θα υπήρχε πρόβλημα εξάντλησης των ενεργειακών πηγών. Οι χώρες δεν θα ήταν η μία όμηρος στην άλλη που κατέχει αποθέματα φυσικών καυσίμων υδρογονανθράκων. Αυτή η αφθονία ενέργειας, θα μπορούσε να επιτρέψει τον περισσότερο ισότιμο ανταγωνισμό των αναπτυσσόμενων και βιομηχανικών χωρών στην παγκόσμια αγορά. Υπενθυμίζεται, ότι η χρήση φθηνών ενεργειακών πηγών, αποτελεί απαίτηση της παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών. Η μεγάλη αυτή ποσότητα ενέργειας δεν μπορεί βέβαια να κατανοηθεί εύκολα, αλλά ενισχύει την έννοια ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία πραγματικά ανεξάντλητη πηγή.

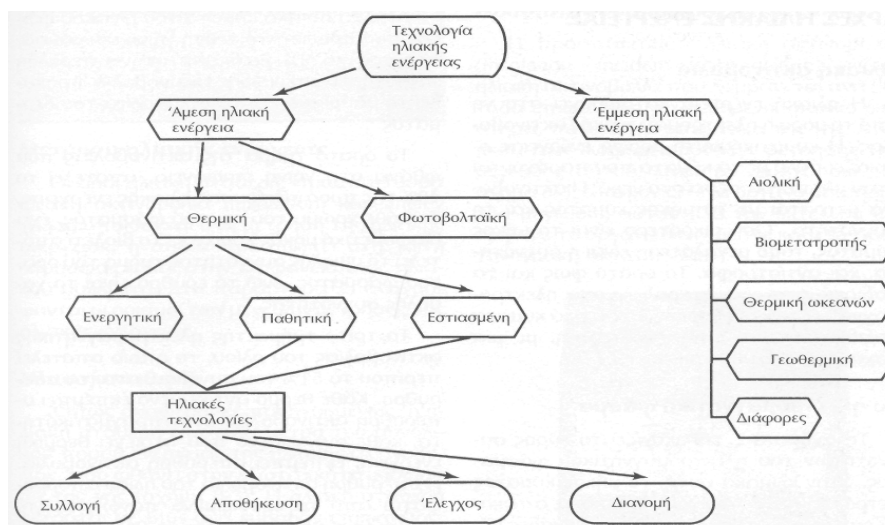
Το μεγαλύτερο ποσόν της ενέργειας αυτής, δεν μπορεί να συλλεχθεί. Καθώς διαχέεται μέσα στην ατμόσφαιρα, ανακλάται πίσω στο διάστημα ή απορροφάται από τα φυτά και τις υδάτινες μάζες. Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες αυτές, ο ήλιος εξακολουθεί να παρέχει τεράστια αποθέματα ενέργειας. Για παράδειγμα, περίπου το 13% της ηλιακής ενέργειας στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας, φθάνει στο έδαφος. Υποθέσατε, ότι η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με βαθμό

απόδοσης 20%. Τότε θα ήταν δυνατό να τροφοδοτηθούν όλες οι ηλεκτρικές ανάγκες μίας χώρας. Πρακτικά, φανταστείτε ότι εάν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ολόκληρη η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην οροφή κάποιας κατοικίας, τότε θα τροφοδοτούνταν όλες οι ηλεκτρικές ανάγκες του σπιτιού.

1.1.4. Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας

Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε θερμικά και σε φωτοβολταϊκά. Τα θερμικά συστήματα, μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε θερμική ενέργεια, για χρήση στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε διάφορες εφαρμογές.

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα, μπορούν να υποδιαιρεθούν σε ενεργητικά, παθητικά και συστήματα εστίασης. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι αυτά που χρησιμοποιούν αντλίες, ανεμιστήρες και εξωτερικές ενεργειακές πηγές για τη μεταφορά της συλλεγόμενης θερμότητας. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δεν χρησιμοποιούν αντλίες, ανεμιστήρες, κτλ, αλλά φυσικά ρεύματα μεταφοράς της θερμότητας. Τα συστήματα εστίασης, συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία.



ΕΙΚΟΝΑ: 1 Θερμική ηλιακή ενέργεια

1.1.5. Παθητικά ηλιακά συστήματα.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας για τη θέρμανση εσωτερικών χώρων καθώς και για το φυσικό φωτισμό χώρων.

Οι αρχές λειτουργίας των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι απλές. Βασίζονται στην εκμετάλλευση των φυσικών φαινομένων μετάδοσης της θερμότητας και του φωτός που παρατηρούνται από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε διαφανείς επιφάνειες τις οποίες διαπερνά. Η Ηλιακή Ενέργεια απορροφάται απευθείας από το κτίριο και παγιδεύεται μέσα σε αυτό. Έτσι μειώνεται η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση των χώρων του κτιρίου. Τέτοια συστήματα

χρησιμοποιούν κυρίως αέρα, για να μεταφέρουν και να κυκλοφορήσουν τη συλλεχθείσα ενέργεια. Αυτό συνήθως γίνεται χωρίς τη χρήση ανεμιστήρων ή αντλιών.

Όλοι έχουμε παρατηρήσει πόσο ζεστός γίνεται ο εσωτερικός χώρος ενός αυτοκινήτου με κλειστά τζάμια, όταν αυτό δέχεται τις ακτίνες του ήλιου. Παρόλο που έξω από το αυτοκίνητο μπορεί να έχει καύσωνα, μέσα είναι αδύνατο να καθίσουμε ή ακόμα και να αναπνεύσουμε αφού η θερμοκρασία του μπορεί να έχει φθάσει και τους 70°C! Αυτό λέγεται φαινόμενο του Θερμοκηπίου και είναι το φαινόμενο στο οποίο κυρίως στηρίζεται η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην ιδιότητα του γυαλιού (εδώ: τζάμι του αυτοκινήτου) να επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά, όταν αυτή μετατραπεί σε θερμική μέσα στο αυτοκίνητο, να μην την αφήνει να βγει. Το όνομα του φαινομένου το δανειστήκαμε από τα γνωστά θερμοκήπια, όπου σκοπό έχουν την αύξηση της θερμοκρασίας τους, ώστε να επιτευχθεί η γρήγορη ανάπτυξη των φυτών που καλλιεργούνται μέσα σε αυτά.

Άρα, λοιπόν, εάν μπορούσαμε να αποθηκεύσουμε την πολύ σημαντική ποσότητα ενέργειας που προσπίπτει και εγκλωβίζεται σε ένα χώρο, τότε έχουμε φτιάξει ένα παθητικό ηλιακό σύστημα. Λαμβάνοντας υπόψη την ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) του κάθε δομικού υλικού, επιλέγουμε τα υλικά του χώρου με τέτοιο τρόπο, ώστε να πετύχουμε τη μέγιστη δυνατή αποθήκευση θερμότητας. Η μετάδοση της θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του εξωτερικού περιβάλλοντος γίνεται μέσα από τα δομικά υλικά κατασκευής του κελύφους του κτιρίου. Η θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή, ρέει μέσα στα δομικά υλικά (από τις μεγαλύτερες προς τις μικρότερες θερμοκρασίες), με μεταφορά (φυσική ή εξαναγκασμένη) και με ακτινοβολία.

Με την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας (υπό μορφή θερμικής) από το δομικό υλικό του κτιρίου αυξάνεται η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειάς του. Παρουσιάζεται με αυτόν τον τρόπο μία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς του υλικού, με αποτέλεσμα τη μετάδοση της θερμότητας από την υψηλή θερμοκρασία προς τη χαμηλή. Η μετάδοση γίνεται μέσω του υλικού με αγωγή. Σημειώνεται ότι οι σκουρόχρωμες επιφάνειες έχουν μικρό συντελεστή ανάκλασης, ενώ οι ανοιχτόχρωμες σχετικά υψηλότερο.

Η απόδοση θερμότητας από τον τοίχο προς τον εσωτερικό αέρα γίνεται με φυσική μεταφορά θερμότητας. Ο θερμός αέρας, αφού είναι πιο ελαφρύς, αρχίζει να κινείται προς τα επάνω δημιουργώντας έτσι μια φυσική κυκλοφορία του αέρα. Για να καταλάβετε τι σημαίνει αυτό, κρεμάστε μία κόλλα χαρτί πάνω από ένα ζεστό καλοριφέρ και θα την δείτε να κινείται! Ο κρύος αέρας τώρα που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια απάγει πάλι τη διαθέσιμη θερμότητα και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται συνεχώς.

Κάθε επιφάνεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία που έχει, ακτινοβολεί θερμότητα. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της, τόσο περισσότερη θερμότητα ακτινοβολεί

προς κάθε κατεύθυνση. Εάν θελήσουμε να εφαρμόσουμε τις παραπάνω αρχές, για να θερμάνουμε ένα χώρο, τότε μπορούμε να το πετύχουμε με τους δύο επόμενους τρόπους:

Με ένα παθητικό ηλιακό σύστημα **άμεσου** ηλιακού κέρδους.

Με ένα παθητικό ηλιακό σύστημα **έμμεσου** ηλιακού κέρδους.

1.1.6. Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Η Ελλάδα έχει το πλεονέκτημα να είναι η πιο ηλιόλουστη χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδος είναι αξιόλογο και προσφέρεται για κάθε είδους εφαρμογή (ενεργητικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά συστήματα). Η επιφάνεια εγκατεστημένων συλλεκτών στη χώρα μας ανέρχεται περίπου σε 2.000.000 m². Με δεδομένο ότι 1 m² συλλέκτη μπορεί να εξοικονομήσει 500 kWh το χρόνο, είναι φανερό ότι η χρήση ΕΗΣ συμβάλλει αποφασιστικά στη μείωση των εκπομπών CO₂ και των άλλων ρύπων. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι 4,6 kWh/m². Περισσότερα στοιχεία παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα (ΕΗΣ), σε αντίθεση με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, δε στηρίζονται στα φυσικά φαινόμενα μετάδοσης της θερμότητας αλλά σε συνδυασμό συστημάτων και μηχανημάτων. Ένα ΕΗΣ δεν αποτελεί μέρος του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού ενός κτιρίου, όπως τα παθητικά ηλιακά που προτείνουν συγκεκριμένες κτιριακές αρχιτεκτονικές, και έτσι μπορεί (με κάποιες μικρές αλλαγές) να τοποθετηθεί και εκ των υστέρων, αφού δηλαδή έχει κατασκευασθεί το κτίριο. Ένα τέτοιο σύστημα θέρμανσης είναι περισσότερο αξιόπιστο. Οι βασικές λειτουργίες ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι οι ακόλουθες:

- Συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και παγίδευση της θερμικής.
- Αποθήκευση της θερμικής ενέργειας.
- Χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ή και της απευθείας συλλεγόμενης θερμικής ενέργειας, όπου και όποτε ζητηθεί στο κτίριο.

Τα ΕΗΣ μπορούν να σχεδιαστούν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε συνδυασμό με άλλους τρόπους θέρμανσης να είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα εντελώς αυτοδύναμο θερμικά κτίριο, όπως αυτό συμβαίνει σε πρότυπα κτίρια του Ηλιακού Χωριού στη Λυκόβρυση Αττικής.

1.1.7. Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι εκείνες οι συσκευές που συλλέγουν και παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια. Όπως είδαμε στα παθητικά ηλιακά που χρησιμοποιούν γυαλί μπροστά από τον τοίχο (τοίχος Trombe), το γυαλί έχει την ιδιότητα να αφήνει την ηλιακή ακτινοβολία (μικρό μήκος κύματος) να το διαπερνά, αλλά και την "μαγική" ιδιότητα να μην αφήνει τη θερμική ακτινοβολία (μεγάλο μήκος κύματος) που

εκπέμπουν οι σκούρες επιφάνειες που απορρόφησαν την ηλιακή, να το διαπεράσει και να βγει πάλι έξω. Ακριβώς το ίδιο γεγονός εκμεταλλευόμαστε και στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, κατασκευάζοντας τους ηλιακούς συλλέκτες με κατάλληλο τρόπο. Υπάρχουν τρία είδη ηλιακών συλλεκτών:

- Επίπεδοι Συλλέκτες.
- Συλλέκτες κενού.
- Συγκεντρωτικοί συλλέκτες.

Σε έναν **επίπεδο ηλιακό συλλέκτη** η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τη γυάλινη επιφάνεια και προσπίπτει στη σκούρα, τραχιά και απορροφητική επιφάνεια, όπου και απορροφάται. Όταν εκπέμπεται από αυτήν υπό μορφή θερμικής ακτινοβολίας τότε δεν μπορεί να διαπεράσει το γυαλί. Όπως γνωρίζουμε, το νερό είναι το υλικό με τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα. Αυτό το εκμεταλλευόμαστε με το να τοποθετήσουμε κάτω από την απορροφητική επιφάνεια σωλήνες, μέσα στους οποίους κυλά νερό ή κάποιο άλλο ρευστό. Τέλος, το σύστημα μας θερμομονώνεται, ώστε να μην έχουμε απώλειες και χάσουμε ό,τι αποθηκεύσαμε.

Ένας **συλλέκτης κενού** αποτελείται από ειδικούς σωλήνες τοποθετημένους παράλληλα. Ο κάθε σωλήνας περιέχει μέσα του έναν άλλο, ενώ ανάμεσα τους υπάρχει κενό. Ο εξωτερικός σωλήνας είναι γυάλινος, ώστε να επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο εσωτερικός σωλήνας έχει μαύρη, τραχιά επιφάνεια και απορροφά την ακτινοβολία. Το κενό ανάμεσα τους προσφέρει πολύτιμες υπηρεσίες: Δεν υπάρχει μεταφορά θερμότητας μέσω ρευμάτων προς τα έξω (λόγω μηδενικής αγωγής), αφού δεν υπάρχει αέρας, ενώ λειτουργεί και εδώ το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η θερμότητα απάγεται και εδώ με νερό ή άλλο ρευστό που ρέει μέσα τον εσωτερικό σωλήνα. Γενικά πρόκειται για έναν τύπο συλλεκτών με μεγάλη απόδοση. Χρησιμοποιείται περισσότερο στη Βόρεια Ευρώπη, όπου οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι χαμηλές. Μπορεί να επιτύχει θερμοκρασίες άνω των 100°C.

Οι **συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες**, όπως δείχνει και το όνομα τους, συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα μικρό μέρος, το οποίο και θερμαίνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Οι συλλέκτες αυτοί είτε έχουν σχήμα ομπρέλας και επικεντρώνουν τις ακτίνες τους στον άξονα της ομπρέλας, όπου και περνά ρευστό, είτε σχήμα κεραμιδιού, όπου οι ακτίνες επικεντρώνονται σε σωλήνα παράλληλο σε αυτό. Οι συλλέκτες αυτοί έχουν πολύ μεγάλο βαθμό απόδοσης όταν έχουμε άμεση ακτινοβολία. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να υπάρχει σύστημα με σερβομηχανισμό που θα στρέφει τον συλλέκτη προς τον ήλιο συνεχώς σαν ηλιοτρόπιο. Κινούμενα μέρη όμως, όπως σε κάθε σύστημα που έχει τέτοια, σημαίνει συντήρηση. Αυτό και μόνο καθιστά τα συστήματα αυτά ακατάλληλα για οικιακή χρήση.

1.1.8. Ηλιακοί θερμοσίφωνες

Πρόκειται για τα πιο διαδεδομένα ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η Ελλάδα έχει αναπτύξει σοβαρή βιομηχανία παραγωγής ηλιακών θερμοσίφωνων και μάλιστα

είναι από τις πρώτες χώρες παγκοσμίως. Στα συστήματα αυτά ο ηλιακός συλλέκτης θερμαίνει είτε άμεσα είτε έμμεσα το νερό χρήσης.

Επειδή είναι συνήθως προτιμότερο το νερό που χρησιμοποιούμε να μην έρχεται σε άμεση επαφή με τον ηλιακό συλλέκτη, γι' αυτό επιλέγουμε τον έμμεσο τρόπο θέρμανσης, που γίνεται με τους εναλλάκτες. Ένας εναλλάκτης είναι συνήθως ένας σπειροειδής σωλήνας μέσα στο δοχείο παροχής νερού. Καθώς το ζεστό από τους συλλέκτες υγρό διέρχεται δια του εναλλάκτη, μεταφέρεται η θερμότητα στο νερό του δοχείου που είναι προς χρήση. Έτσι, το υγρό που θερμαίνεται στους συλλέκτες δεν έρχεται σε επαφή με το νερό που χρησιμοποιούμε.

1.1.9. Φωτοβολταϊκή ενέργεια

Η ανάγκη κάλυψης των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια στους διαστημικούς σταθμούς ήταν η αφορμή για την έρευνα και ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, της τεχνολογίας δηλαδή που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.

Η ανακάλυψη του φαινομένου έγινε το 19ο αιώνα. Οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη του φαινομένου της Φ/Β μετατροπής είναι:

1839 - Becquerel:

Παρατήρηση του Φ/Β φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt, Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες.

1937 - Fischer & Godden:

Κατασκευή Φ/Β κυττάρου από PbS.

1941 - Ohl:

Κατασκευή του πρώτου Φ/Β κυττάρου από Si.

1954 - Fuller:

Κατασκευή Φ/Β κυττάρου από Si με σχηματισμό ένωσης p-n-p με διάχυση προσμίξεων και απόδοση 6%.

1956 - Εταιρεία Hoffmann:

Εμπορική παραγωγή Φ/Β κυττάρων.

1958:

Εκτόξευση αμερικανικού δορυφόρου, εξοπλισμένου με 6 μικρά στοιχεία Si ισχύος 5mW, ως βοηθητική ενεργειακή πηγή.

1958:

Εκτόξευση σοβιετικού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδοσία από Φ/Β στοιχεία.

1972 - Lindmayer & Wronski:

Κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου Si με απόδοση 14%.

1977 - Kameth:

Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs με απόδοση 16%.

1984 - Ιαπωνία: Έναρξη βιομηχανικής παραγωγής Φ/Β κυττάρων (στοιχείων) από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%.

Φωτοβολταϊκό (Φ/Β) Κύτταρο είναι το στοιχείο που μετατρέπει μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Είναι ένα ημιαγώγιμο στοιχείο, μια (κρυσταλλο)δίοδος. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία (υπό μορφή φωτονίων) προσπίπτει στην επιφάνεια

ενός Φ/Β κυττάρου, διεγείρει τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού και τους δίνει τόση ενέργεια, όση χρειάζονται, για να απελευθερωθούν από το άτομο. Μπορούν να βρουν μια άλλη κενή θέση και να την καταλάβουν, μέχρι να επαναληφθεί η διαδικασία. Εάν είχαμε δύο μεταλλικές επαφές στο επάνω και κάτω μέρος του κυττάρου, τότε μπορούμε να συλλάβουμε τα κινούμενα ηλεκτρόνια Αυτό σημαίνει ροή ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση. Μα αυτό ακριβώς δεν είναι ηλεκτρικό ρεύμα; Αυτό ακριβώς το ρεύμα το χρησιμοποιούμε, για να τροφοδοτήσουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο, όπως για παράδειγμα ένα λαμπτήρα.

Όπως και οι μπαταρίες, το ηλιακό κύτταρο είναι αθόρυβο στη λειτουργία του. Σε αντίθεση με τις μπαταρίες, το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά τη διαδικασία της ενεργειακής μετατροπής και δεν επιβαρύνει το περιβάλλον, γιατί μέσα του δεν εξελίσσεται καμία χημική αντίδραση. Εξαιτίας του ότι η τάση στα άκρα των ακροδεκτών εξαρτάται απόλυτα από την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας, και το ρεύμα που διαρρέει το κύτταρο εξαρτάται από αυτή. Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα παραπάνω είναι ότι η ισχύς που αποδίδει το ηλιακό κύτταρο μεταβάλλεται σε μια ευρεία περιοχή, που είναι ανάλογη της ακτινοβολούμενης έντασης φωτισμού. Ως βαθμό απόδοσης ενός ηλιακού κυττάρου, θεωρούμε το επί τοις εκατό ποσοστό της φωτεινής ισχύος εισόδου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ εξόδου.

Τα σημερινά αποδεκτά ηλιακά κύτταρα της αγοράς έχουν βαθμό απόδοσης μεταξύ του 10% και του 20%. Στο εργαστήριο έχει επιτευχθεί βαθμός απόδοσης 25% για ηλιακά κύτταρα GaAs. Αναμένεται ότι η μέγιστη απόδοση για τις εμπορικές συσκευές πυριτίου θα συνεχίσει να αυξάνεται ελαφρά και στο μέλλον θα φθάσει το 17% έως 20% από 13% έως 15% που είναι σήμερα. Στην πράξη δύο ή περισσότερες βαθμίδες (στρώσεις) μπορούν να διαταχθούν η μια πίσω από την άλλη.

Κάθε βαθμίδα κατασκευάζεται για ειδική φασματική περιοχή της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτά ονομάζονται κύτταρα πολλών βαθμίδων (multi-junction cells). Για κύτταρα δύο βαθμίδων η μέγιστη θεωρητική απόδοση είναι 35%. Θεωρητικά για άπειρο αριθμό βαθμίδων ο βαθμός απόδοσης μπορεί να φθάσει το 54%. Όπως φαίνεται, η πρόοδος του ηλιακού κυττάρου στον τομέα του βαθμού απόδοσης είναι σχετικά μικρή. Ένα σημερινό τυπικό εμπορικό μοντέλο δεν έχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης από μία καλή διαστημική συσκευή του τέλους της δεκαετίας του '60. Παρ' όλα αυτά για τους ειδικούς των φωτοβολταϊκών κυττάρων το ζήτημα της βελτίωσης του βαθμού απόδοσης αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση.

Στη σημερινή αγορά των ηλιακών κυττάρων και συστημάτων χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικοί τύποι ημιαγωγικών υλικών: το κρυσταλλικό πυρίτιο, το άμορφο πυρίτιο και μετά το 1986 τα CuInSe_2 και CdTe . Το κρυσταλλικό πυρίτιο είναι το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία ημιαγωγών. Λόγω του ότι υπάρχει μαζική παραγωγή για το κρυσταλλικό πυρίτιο, καθώς επίσης και λόγω της εξαιρετικής σταθερότητας που εμφανίζει, πράγμα που εξασφαλίζει μεγάλη διάρκεια ζωής στο ηλιακό κύτταρο, κατέκτησε τα 3/4 της αγοράς.

Παράλληλα με το κρυσταλλικό πυρίτιο επεκτάθηκε τα τελευταία χρόνια και η χρήση του άμορφου πυριτίου. Το άμορφο πυρίτιο κατέκτησε την αγορά των μικρών εφαρμογών, όπως ρολογιών, υπολογιστικών μηχανών τσέπης, όπου χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά, και μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται κρυσταλλική σλικόνη ή CdTe. Εξαιτίας όμως του μικρού βαθμού μετατροπής και των άλυτων προβλημάτων της μακροχρόνιας σταθερότητας, δε χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερες εφαρμογές.

Το ηλιακό κύτταρο είναι σχετικά μικρό σε διαστάσεις, περίπου 10cm x 10cm, και παράγει επίσης χαμηλή τάση. Η τάση που παράγει το Φ/Β μεταβάλλεται ελάχιστα με την ένταση της ακτινοβολίας, σε αντίθεση με το παραγόμενο ρεύμα, το οποίο είναι ανάλογο της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν αυξάνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνεται και το ρεύμα που παράγεται από το Φ/Β κύτταρο.

Τα Φ/Β κύτταρα είναι σκούρα στο χρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απορροφούν μεγαλύτερα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας και να αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας όμως, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τάσης που δημιουργείται στα άκρα του Φ/Β κυττάρου. Πάνω από τους 25°C για κάθε ένα παραπάνω βαθμό υπάρχει αντίστοιχη μείωση της απόδοσης κατά 0,4%. Για να εξασφαλίσουμε τις επιθυμητές τιμές τάσης και ρεύματος, τοποθετούμε αντίστοιχα πολλά Φ/Β κύτταρα σε σειρά και παράλληλα. Για παράδειγμα, εάν ένα Φ/Β στοιχείο έχει τάση 0,6V και συνδέσω 20 τέτοια στοιχεία σε σειρά, τότε η δημιουργούμενη τάση στα άκρα είναι 12V.

Οι συνδέσεις των κυττάρων μεταξύ τους γίνονται πίσω από μία γυάλινη επιφάνεια, πάνω στην οποία τοποθετούνται τα κύτταρα. Η γυάλινη πλάκα ενισχύεται με ένα πλαίσιο από αλουμίνιο ή από ευγενή χάλυβα που βελτιώνει τη σταθερότητα της. Αυτό λέγεται ηλιακή γεννήτρια ή Φ/Β πλαίσιο. Το συνηθέστερο μέγεθος μιας ηλιακής γεννήτριας κυμαίνεται μεταξύ του 0.25 έως 1 m². Για μεγαλύτερη ισχύ χρειαζόμαστε περισσότερες ηλιακές γεννήτριες συνδεδεμένες μεταξύ τους. Πολλά τέτοια σε σειρά ή παράλληλα μας κάνουν μια Φ/Β συστοιχία. Πολλές τέτοιες μαζί διαμορφώνουν ένα Φ/Β πάρκο ή Φ/Β σύστημα.

Γενικά, τα Φ/Β Συστήματα εμφανίζονται σε τρεις διαφορετικού τύπου εφαρμογές:

1.Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα

Τέτοιου είδους Φ/Β συστήματα είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και όπου είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου σε περίπτωση που χρησιμοποιούνταν μία γεννήτρια ντίζελ. Τα συστήματα αυτά απαιτούν μπαταρίες για την εξασφάλιση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις νυκτερινές ώρες ή σε μέρες συννεφιάς.

2.Φ/Β Συστήματα Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο

Τα συστήματα αυτά βρίσκονται εγκατεστημένα κοντά σε ήδη υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και παρέχουν την ηλεκτρική τους ισχύ σε αυτό.

3.Φ/Β σε Υβριδικά Συστήματα

Τα Υβριδικά συστήματα αποτελούνται από διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ανανεώσιμες και συμβατικές.

1.1.10. Πλεονεκτήματα Φ/Β Συστημάτων

- 1.Παράγουν "δωρεάν" ηλεκτρική ενέργεια από τον Ήλιο.
- 2.Δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ισχύ αθόρυβα.
- 3.Δε ρυπαίνουν το περιβάλλον με αέρια ή με άλλα κατάλοιπα.
- 4.Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.
- 5.Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές.
- 6.Δεν καταναλώνουν καύσιμο.
- 7.Μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- 8.Λειτουργούν χωρίς προβλήματα κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.
- 9.Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο.

1.1.10.1. Μειονεκτήματα των Φ/Β

- 1.Υψηλό κόστος των Φ/Β Κυττάρων αλλά και των μπαταριών, των μετατροπέων και των φορτιστών.
- 2.Απαιτήση χρήσης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάσταση τους λόγω της μικρής απόδοσης.
- 3.Συνεπώς, η εφαρμογή και η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική για όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες, άρα και για την Ελλάδα μας που έχει πλούσια ηλιοφάνεια. Αλλά ακόμα και για τις βιομηχανικές χώρες, τα Φ/Β συστήματα αποτελούν το κλειδί για την παραγωγή αποκεντρωμένης ενέργειας.

1.1.10.2. Κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη της ηλιακής ενέργειας

Οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας, εμφανίζουν πολλά οφέλη συγκριτικά με τα παραδοσιακά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί ήδη έναν αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο εξοικονόμησης των περιορισμένων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το κατά κεφαλή κόστος για ηλιακά θερμαινόμενο νερό, είναι κατά μέσο όρο 25% χαμηλότερο συγκριτικά με το θερμαινόμενο νερό από ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη, βρίσκεται σε αφθονία και η ηλιακή τεχνολογία ζημιώνει ελάχιστα το περιβάλλον. Η χρήση των τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ή στην παραγωγή βλαβερών για το περιβάλλον υποπροϊόντων.

1.1.10.3. Κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ενεργητικών και παθητικών συστημάτων ηλιακής ενέργειας

Η κατασκευή του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στα συστήματα ηλιακής ενέργειας, πιθανόν να απαιτεί την ενέργεια που προέρχεται από την καύση υδρογονανθράκων ή την πυρηνική ενέργεια. Από την άποψη αυτή, η τεχνολογία ηλιακής ενέργειας απαιτεί για την κατασκευή και εγκατάσταση, την εξάντληση ορισμένων μη-ανανεώσιμων αποθεμάτων. Επίσης, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιούν υγρά, τα οποία είναι τοξικά και απαιτούν περιοδική αντικατάσταση (προκαλούν διάβρωση και ρύπανση). Οι ουσίες αυτές, όπως και άλλα επικίνδυνα απόβλητα, θα πρέπει να απορρίπτονται με κατάλληλο τρόπο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος, του ανθρώπου και των άλλων ειδών.

1.1.10.4. Κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων ενέργειας

Επαναλαμβάνουμε, ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού από τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν ρυπαίνει τον αέρα, ενώ η κατασκευή ηλιακών στοιχείων πυριτίου αποδίδει πολύ λίγα απόβλητα. Ωστόσο, υπολογίζεται ότι το 97% του περιβαλλοντικού κινδύνου που προέρχεται από τα συστήματα αυτά, οφείλεται στην κατασκευή τους. Στην κατασκευαστική διαδικασία τέτοιων στοιχείων, ιδιαίτερα των νεότερης τεχνολογίας, τα χρησιμοποιούμενα υλικά μπορεί να είναι τοξικά. Το πρόβλημα βρίσκεται στην ανάπτυξη υλικών όπως το αρσενιούχο γάλλιο και το θειούχο κάδμιο. Η κατασκευή τέτοιων στοιχείων, παράγει ορισμένα τοξικά απόβλητα, τα οποία θα πρέπει να χειρίζονται προσεκτικά και να απορρίπτονται με ασφαλή τρόπο.

1.2. Αιολική ενέργεια

1.2.1. Διαθεσιμότητα αιολικής ενέργειας

Ο άνεμος παράγεται από την ηλιακή ενέργεια. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στις διάφορες περιοχές της γης, η ατμόσφαιρα θερμαίνεται ανομοιόμορφα. Επειδή ο θερμός αέρας είναι ελαφρύτερος από το ψυχρό, ανέρχεται ψηλότερα δημιουργώντας αέρια ρεύματα. Σε παγκόσμια κλίμακα, τα ρεύματα αέρα συνίστανται σε ψυχρά πολικά ρεύματα κατευθυνόμενα προς τις τροπικές περιοχές, τα οποία παίρνουν τη θέση του θερμότερου αέρα που ανέρχεται και κατευθύνεται προς τους πόλους. Ακόμη και με αυτή τη φυσική ροή, αναπτύσσονται σταθεροί άνεμοι.

Από την ηλιακή ενέργεια που καταφθάνει στη γη, μόνον το 2% μετατρέπεται σε ανέμους. Ακόμη όμως και το μικρό αυτό ποσοστό, περιέχει περισσότερη ενέργεια από αυτήν που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα μέσα σε ένα χρόνο. Από το 2%, γύρω το 30% παράγεται κάτω από το ύψος των 3.120 ft (936 m) της ατμόσφαιρας, πράγμα το οποίο επιτρέπει την εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής. Στις ΗΠΑ, η διαθέσιμη

αιολική ενέργεια είναι 9 φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ποσότητα χρησιμοποιούμενης ενέργειας.

1.2.2. Παγκόσμια χρήση αιολικής ενέργειας

Μέσα στα τελευταία 15 χρόνια, έχει σημειωθεί τεράστια πρόοδος στην τεχνολογία μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Αυτά τα τεχνολογικά επιτεύγματα, έχουν διαδώσει την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα. Το σχήμα 9-1, απεικονίζει μία δυναμική αύξηση της αιολικής ενέργειας από το 1981 με πρόβλεψη μέχρι το 2005. Όπως φαίνεται στο σχήμα 9-1, στις αρχές του 21ου αιώνα η αιολική ενέργεια θα παράγει περισσότερα από 17.700 MWatts παγκοσμίως. Αυτή η αύξηση, αναμένεται να είναι συγκεντρωμένη περισσότερο στις ΗΠΑ (Καλιφόρνια) και στην Ευρώπη, καθώς οι κυβερνήσεις ενθαρρύνουν τις επενδύσεις στην ενεργειακή αυτή πηγή.

Το δυναμικό παραγωγής ηλεκτρισμού από την αιολική ενέργεια, είναι τεράστιο. Στην Ευρώπη, η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει όλες τις ηλεκτρικές ανάγκες της ηπείρου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) προάγει την αιολική ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων. Το πρόγραμμα της ΕΕ προβλέπει την παραγωγή 8.000 MWatts ηλεκτρισμού από την αιολική ενέργεια, μέχρι το έτος 2005. Αυτό, θα καλύψει περίπου το 1% των ηλεκτρικών αναγκών της περιοχής.

Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από άνεμο, κατέχεται από τη Δανία. Στη χώρα αυτή, οι ανεμογεννήτριες είναι διανεμημένες παντού και παρέχουν το 3 % των ηλεκτρικών της αναγκών. Άλλες χώρες που προωθούν τη χρήση αιολικής ενέργειας, είναι η Γερμανία, η Ολλανδία και οι ΗΠΑ.

1.2.3. Είδη Ανεμογεννητριών

Υπάρχουν πολλά είδη ανεμογεννητριών, τα οποία κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

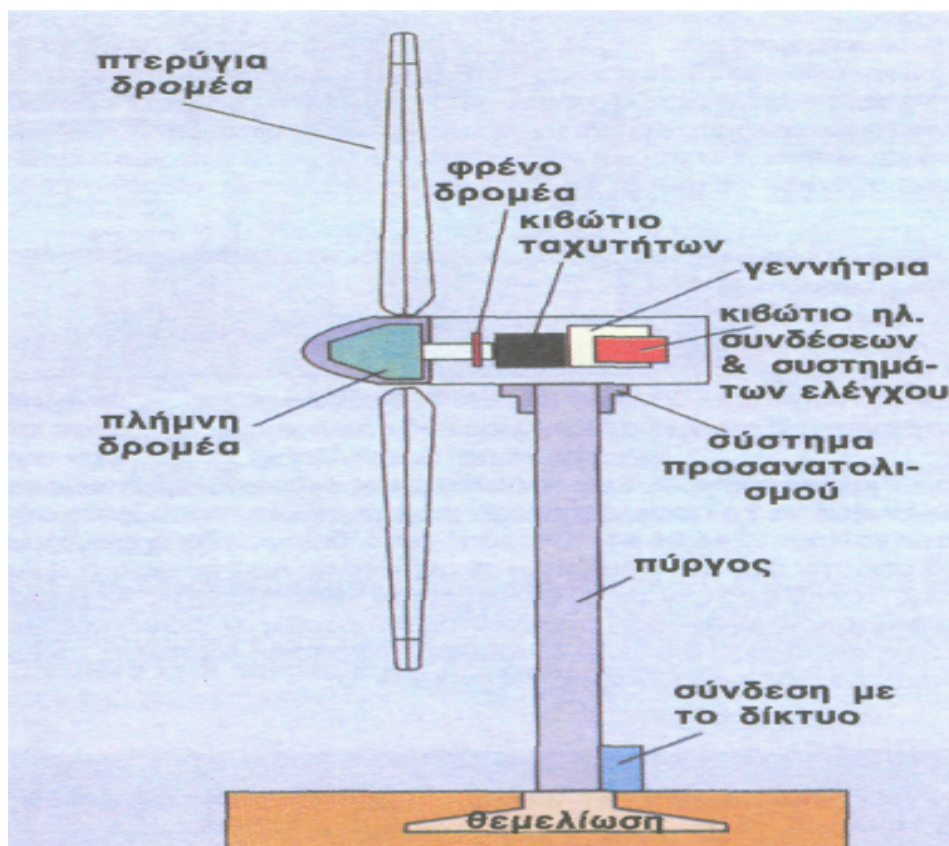
1. Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα: Σ' αυτό τον τύπο μηχανής, ο άξονας, για να μπορεί να περιστρέφεται, πρέπει να βρίσκεται παράλληλα προς τον άνεμο.

Η μηχανή αποτελείται από:

α. Το δρομέα (στρεφόμενο μέρος της μηχανής), το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας και μπορεί να φέρει μία (μονόπτερος) δύο ή τρεις πτέρυγες. Στον μονόπτερο τύπο υπάρχει ειδική κατασκευή με βάρος τοποθετημένο σε θέση εκ διαμέτρου αντίθετη του πτερυγίου για την εξισορρόπηση της ζυγοστάθμισης του πτερυγίου. Η περιστροφή των πτερυγίων ενός δρομέα οριζοντίου άξονα οφείλεται στη συνδυασμένη δύναμη της άνωσης και της πίεσης που ασκείται, όταν οι μάζες του αέρα προσπίπτουν στα πτερύγια. Για τη μέγιστη αξιοποίηση αυτής της δύναμης απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, στη μορφή των πτερυγίων, στη στρέψη τους ως προς τον άξονα στήριξης τους (κλίση) και στην ελικοειδή διάταξη τους (βήμα). Τα πτερύγια συνήθως κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα.

β. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής (ταχύτητα με συγκεκριμένο αριθμό στροφών) της ανεμογεννήτριας. Με το σύστημα μετάδοσης δίνεται η κίνηση από το δρομέα (χαμηλές στροφές), στην ηλεκτρογεννήτρια (υψηλές στροφές). Στις Α/Γ οριζοντίου άξονα η ηλεκτρογεννήτρια και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, τοποθετούνται μέσα σε άτρακτο σε μεγάλο ύψος από το έδαφος.

γ. την ηλεκτρογεννήτρια. Είναι σύγχρονος εναλλακτήρας, δηλαδή μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος με 4 ή 6 πόλους. Συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) μέσω ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου. Η ηλεκτρογεννήτρια μπορεί να είναι και μηχανή συνεχούς ρεύματος (DC).



ΕΙΚΟΝΑ: 2

Μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες παράγουν συνεχή τάση τροφοδοσίας και χρησιμοποιούνται για ηλεκτροδότηση σκαφών και μικρών κατοικιών. Σε μεγάλες Α/Γ, που η παραγόμενη από αυτές τάση πρόκειται να παραλληλιστεί με το δίκτυο, η ηλεκτρογεννήτρια είναι μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

δ. το δισκόφρενο, το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα και αποτελεί το σύστημα πέδησης της Α/Γ.

ε. το σύστημα προσανατολισμού, το οποίο αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου. Το σύστημα προσανατολισμού βρίσκεται τοποθετημένο μεταξύ της ατράκτου και του πύργου στερέωσης.

στ. τον πύργο μέσα στον οποίο στερεώνεται η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως μεταλλικός, σωληνωτός ή δικτυωτός και σπινίως από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν), ενώ το ύψος του είναι τέτοιο, ώστε ο αέρας που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας να έχει ομαλή ροή και όχι τυρβώδη. Έτσι, μειώνεται ο θόρυβος στο ελάχιστο.

ζ. τον ηλεκτρικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου που είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Ο πίνακας ελέγχου ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.

2. Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα: Αυτός ο τύπος φέρει πτερύγια που στηρίζονται και στρέφονται σε κατακόρυφο σταθερό άξονα. Πλεονεκτήματα τους είναι ότι δε χρειάζονται μηχανισμό ή κάποιο σύστημα, για να στραφούν προς το μέτωπο του ανέμου, και έχουν απλούστερη μηχανικά κατασκευή.

Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι δεν μπορεί να περιστρέφεται μόνος του (αντίθετα με ό,τι συμβαίνει με τον κινητήρα οριζοντίου άξονα) και, για να αρχίσει να γυρίζει, πρέπει να υποστηρίζεται από κατάλληλο ηλεκτρικό κινητήρα. Αυτός ο τύπος έχει να επιδείξει μηχανές περισσότερο ερευνητικού ενδιαφέροντος παρά εμπορικού ανταγωνισμού.

Σήμερα, στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα σε ποσοστό πάνω από 90%. Και οι δύο προαναφερόμενοι τύποι, εκτός από τον πύργο, το δρομέα, τα πτερύγια και τη γεννήτρια διαθέτουν και τις ακόλουθες μονάδες:

- Ρυθμιστή τάσης, με τον οποίο επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση σε συγκεκριμένα όρια της παραγόμενης τάσης.

- Συσσωρευτές (μπαταρίες) για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση που οι γεννήτριες υποστηρίζουν αυτόνομα τα φορτία και δεν είναι παραλληλισμένες με το δίκτυο.

- Μετατροπέα DC-AC, για Α/Γ που παράγουν συνεχή τάση. Είναι ηλεκτρονική διάταξη, που μετατρέπει τη συνεχή τάση που παράγει η Α/Γ σε εναλλασσόμενη. Η εναλλασσόμενη τάση κατόπιν οδηγείται σε μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης, για να αποκτήσει εκείνη την τιμή, που θα της επιτρέψει να παραλληλιστεί με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τέλος η παραγόμενη από την Α/Γ ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με καλώδια (γραμμή μεταφοράς).

•Μετατροπέα AC-DC, για Α/Γ που παράγουν εναλλασσόμενη τάση και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται να αποταμιευθεί σε συσσωρευτές.

1.2.4. Αιολικό Πάρκο

Η περιοχή στην οποία εγκαθίστανται και λειτουργούν συστοιχίες από πολλές ανεμογεννήτριες ονομάζεται αιολικό πάρκο. Είναι συγκεκριμένες περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό. Ο σχεδιασμός των αιολικών πάρκων γίνεται με τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η αρμονικότερη συνύπαρξη εγκατάστασης.

1.2.5. Αιολική ενέργεια και περιβάλλον

Αν και η χρήση της αιολικής ενέργειας αποτελεί μία από τις καθαρότερες ενεργειακές επιλογές, παρουσιάζει όμως μερικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μία από τις κριτικές είναι η αισθητική. Για ορισμένους, τα αιολικά πάρκα δεν παρουσιάζουν ευχάριστη εμφάνιση, ιδιαίτερα όταν τοποθετούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές ή φυσικά τοπία. Επίσης, η αιολική ενέργεια παράγει θόρυβο που μπορεί να ενοχλεί ορισμένους. Ωστόσο, τα αιολικά πάρκα παράγουν χαμηλότερο επίπεδο θορύβου από τους δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας. Ένα περιβαλλοντικό θέμα, μπορεί να είναι ο θάνατος των πουλιών από τα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Είναι πολύ συνηθισμένος ένας αριθμός 20 μέχρι 30 θανάτων πουλιών ετησίως, για κάθε αιολικό πάρκο. Έρευνα που διεξάγεται στον τομέα αυτό, είναι πιθανό να εξαλείψει το πρόβλημα αυτό.

Υπάρχουν ακόμη τρία θέματα σχετικά με τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας: ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, χρήση εδάφους και καταστροφικές βλάβες. Στο παρελθόν, οι ανεμογεννήτριες έχουν προκαλέσει παρεμβολές σε τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, μικροκυμματικά και ναυτιλιακά συστήματα. Επειδή, οι νεότερες σχεδιάσεις δεν χρησιμοποιούν μεταλλικά πτερύγια, το πρόβλημα αυτό έχει ελαττωθεί. Σχετικά με τη χρήση του εδάφους, τα περισσότερα αιολικά πάρκα απαιτούν λιγότερα από 80 στρέμματα ανά MWatt παραγόμενης ισχύος. Ο χώρος όμως κάτω από τις ανεμογεννήτριες, μπορεί να εξακολουθήσει να χρησιμοποιείται για γεωργικές ή άλλες χρήσεις. Τέλος, η καταστροφικές βλάβες (πτώση πτερυγίων στο έδαφος), είναι σχετικά σπάνιες αν και όχι αμελητέες.

1.3 Βιοχημική Ενέργεια (βιομάζα)

1.3.1 Βιομάζα

Μια από τις ανερχόμενες και περισσότερο αξιοποιήσιμες, τώρα τελευταία ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η βιομάζα. Με τον όρο βιομάζα υποδηλώνονται τα παραπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, και δασικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα τα οποία προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών, τα αστικά λύματα και σκουπίδια, οι φυσικές ύλες που προέρχονται, είτε από

φυσικά οικοσυστήματα (π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση), είτε από τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου.

1.3.2 Χρήσεις - Αποδέκτες

I. Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

Η Παραγωγή Θερμότητας από Βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την κάλυψη αναγκών βιομηχανιών, βιοτεχνιών, μικρών και μεγάλων επιχειρήσεων που απαιτούν θερμικά φορτία για την παραγωγική τους διαδικασία. Ακόμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση κτιρίων και κατοικιών με τη δημιουργία ενός μικρού δικτύου τηλεθέρμανσης. Για παράδειγμα η καύση απορριμμάτων πουλερικών σε πτηνοτροφικές μονάδες με κατάλληλες διαδικασίες θα μπορούσε όχι μόνο να καλύψει θερμαντικές τους ανάγκες αλλά και να μειώσει τους συνολικούς ρύπους του πτηνοτροφείου προς το περιβάλλον με χρόνο απόσβεσης περίπου 3 χρόνια

II. Συμπαγωγή Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας.

Η Ηλεκτρική Ενέργεια που παράγεται από Βιομάζα μπορεί να καλύψει ίδιες ανάγκες του παραγωγού και το πλεόνασμα της ενέργειας (αν υπάρχει) να πωληθεί στη Δ.Ε.Η. Ένα παράδειγμα συμπαγωγής είναι το εργοστάσιο Βιολογικού καθαρισμού στα Γιάννενα. Στο εργοστάσιο αυτό το παραγόμενο Βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του εργοστασίου και θερμικής ενέργειας για τη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού των λημμάτων. Το πλεόνασμα του Βιοαερίου καίγεται για να μην απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα λόγω της βλαβερότητας του για το περιβάλλον.(Μεθάνιο)

1.4. Βιομετατροπή

Η βιομετατροπή, είναι η τεχνολογία παραγωγής χρήσιμης ενέργειας από οργανικά υλικά, όπως είναι τα ζωικά και φυτικά απόβλητα. Οποιαδήποτε οργανικό υλικό (από τα άγλη μέχρι το ξύλο), ζωντανό ή νεκρό σε αποσύνθεση, μαζί με διάφορους τύπους βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων, περιέχουν χημική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Τα υλικά αυτά, αναφέρονται ως βιομάζα. Η βιομετατροπή παραλαμβάνει τα χημικά απόβλητα και οργανικά υλικά, και τα μετατρέπει σε θερμική ενέργεια.

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τεχνικές βιομετατροπής επί αιώνες, κυρίως την καύση του ξύλου. Το ξύλο ήταν η πρώτη ενεργειακή που χρησιμοποίησε η ανθρωπότητα για την επιβίωση της. Στην πραγματικότητα, η καύση του ξύλου ήταν η κυρίαρχη μορφή ενέργειας μέχρι τα τέλη του περασμένου αιώνα. Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, άρχισαν να εξελίσσονται οι τεχνικές διαδικασίες εκμετάλλευσης των φυσικών καυσίμων υδρογονανθράκων.

Ενώ τα καύσιμα βιομάζας αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό της παγκόσμιας χρησιμοποιούμενης ενέργειας (12και 15%), παραμένουν όμως η κύρια ενεργειακή πηγή για το μισό περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού. Σύμφωνα με την παγκόσμια τράπεζα, οι αναπτυσσόμενες χώρες της Ασίας και της Αφρικής αποτελούν κύριους χρήστες ενέργειας βιομάζας. Περί το 65% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στην Ασία και το 90% στην Αφρική, έχει τη μορφή βιομάζας.

Στις βιομηχανικές κοινωνίες, η βιομάζα θεωρείται μία βιώσιμη ενεργειακή πηγή. Αυτό συμβαίνει, επειδή η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε αέρια, υγρά ή στερεά καύσιμα, ή να καεί απευθείας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Επίσης, η καύση της βιομάζας δεν παράγει επί πλέον διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, επειδή το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται κατά την καύση αντισταθμίζεται από τη σύλληψη του διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

1.5. Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται μία μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια, είναι η θερμότητα που βρίσκεται κάτω από τον εξωτερικό φλοιό της γης. Είναι αποτέλεσμα του αρχικού σχηματισμού του πλανήτη, πριν από 5 δισεκατομμύρια χρόνια, και του ηλιακού πεδίου βαρύτητας που έπαιξε κάποιο ρόλο στο σχηματισμό αυτό. Πηγές γεωθερμικής ενέργειας είναι και τα ραδιενεργά στοιχεία, όπως το ουράνιο και το θόριο, τα οποία έχουν συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια της ιστορίας της γης. Άλλες πηγές θερμικής ενέργειας είναι η παραγόμενη θερμότητα από τη συμπίεση των εσωτερικών στρωμάτων της γης και τη βύθιση των βαρέων μετάλλων προς τον πυρήνα. Τα γεωθερμικά αποθέματα, θεωρούνται ανεξάντλητες πηγές ενέργειας. Για το λόγο αυτό, και επειδή η γεωθερμική ενέργεια δεν μπορεί να ταξινομηθεί σε κάποια από τις κατηγορίες που αναφέρονται στο βιβλίο αυτό, παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Πριν από την παρουσίαση της γεωθερμικής ενέργειας, είναι απαραίτητη η γνώση της δομής των στρωμάτων της γης:

1. Ο εξωτερικός φλοιός που περιβάλλει τη γη (λιθόσφαιρα).
2. Ο μανδύας, το εσωτερικό τμήμα που αποτελείται από πετρώματα, μέταλλα, υγρά και αέρια.
3. Ο πυρήνας, που αποτελείται από λιωμένα υλικά.

Η θερμοκρασία είναι υψηλότερη σε σημεία πλησίον του πυρήνα της γης. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας, λέγεται κανονική θερμική διαβάθμιση. Η κανονική θερμική διαβάθμιση υπολογίζεται περίπου 100°F (37,4°C), για κάθε μίλι προς τον πυρήνα της γης. Για την παραγωγή ατμού 400 (150) μέχρι 500°F (187°C) που απαιτείται για τη λειτουργία των ατμοστρόβιλων, οι γεωτρήσεις θα πρέπει να έχουν βάθος 3 έως 5 μίλια. Στο σχήμα 9-31, απεικονίζεται ο τυπικός εξοπλισμός των γεωθερμικών γεωτρήσεων. Ωστόσο, οι γεωθερμικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, βρίσκονται σε περιοχές

ρηγμάτων του εξωτερικού φλοιού της γης. Αυτό σημαίνει, ότι το βάθος των γεωτρήσεων είναι πολύ μικρότερο.

1.5.1. Μελλοντικές τεχνολογίες : μετατροπή ωκεάνιας θερμικής ενέργειας

Η ωκεάνια θερμική ενέργεια, αποτελεί σημαντικό απόθεμα για μελλοντική χρήση. Κατά τη μετατροπή της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας, εκτελείται εκμετάλλευση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των θερμών επιφανειακών νερών και των ψυχρών βαθύτερων νερών. Επειδή οι ωκεανοί θερμαίνονται από τον ήλιο, η ωκεάνια θερμική ενέργεια θεωρείται έμμεση ηλιακή ενέργεια.

Κατά τη μετατροπή της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια εξάγεται από τον ωκεανό και χρησιμοποιείται για τη λειτουργία κάποιας στροβιλογεννήτριας. Αυτό, δεν αποτελεί νέα ιδέα. Κατά τη δεκαετία του 1820, ο Γάλλος φυσικός Sadi Carnot είχε αποδείξει ότι μπορούσε να εξαχθεί μηχανική ενέργεια, από τη ροή θερμότητας μεταξύ μίας θερμότερης και μίας ψυχρότερης περιοχής.

1.6 Υδραυλική Ενέργεια

Προέρχεται από την εκμετάλλευση των υδάτων των ποταμών. Η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν παράγει βλαβερά αέρια και κατά συνέπεια έχει αισθητά μικρότερη επίδραση στην ατμόσφαιρα. Το μέχρι σήμερα αναξιοποίητο υδροηλεκτρικό δυναμικό της ηπειρωτικής κυρίως Ελλάδος, θα μπορούσε να καλύψει σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Σε αρκετές περιοχές της Ηπείρου μπορούν να κατασκευαστούν από ιδιώτες μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια από τις αναξιοποίητες πλουτοπαραγωγικές πηγές της Ηπείρου αποτελεί το τεράστιο υδάτινο δυναμικό το οποίο σύμφωνα με συντηρητικές εκτιμήσεις φαίνεται να πλησιάζει το 30% του συνολικού "φρέσκου" νερού της Ελλάδας. Όλοι οι ποταμοί της Ηπείρου έχουν τις πηγές τους στην οροσειρά της Πίνδου. Η οροσειρά της Πίνδου έχει σημαντικές βροχοπτώσεις και εδαφολογία τέτοια ώστε να μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το υδάτινο δυναμικό από μεγάλες υψομετρικές διαφορές ενώ από την άλλη πλευρά το έδαφος της οροσειράς είναι τέτοιο που ευνοεί τη δημιουργία τεχνητών λιμνών και δεξαμενών ύδατος.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι ενώ η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται τη στιγμή που απαιτείται από τους καταναλωτές το νερό το οποίο αποταμιεύεται σε ταμιευτήρες για μελλοντική χρήση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων, σαν απόθεμα νερού, εμπλουτισμό λιμνών, αθλητικά γεγονότα, τουρισμό κ.λ.π. Παράλληλα το κύριο κριτήριο για την κατασκευή ή όχι ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου δεν είναι μόνο η δυνατότητα παραγωγής φτηνής και καθαρής για το περιβάλλον ενέργειας αλλά η σωστότερη, οικολογική επέμβαση στη φύση για διατήρηση της φύσης της περιοχής και τη σωστή Περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.

Οι μέχρι τώρα έρευνες έδειξαν ότι στην Ήπειρο μπορούν να δημιουργηθούν μέχρι 18 μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια καθώς επίσης μέχρι και 50 περίπου μικρά, που μπορούν να παράγουν 5,000 GWh περίπου ετησίως. Η παραγωγή αυτή ενέργειας αντιστοιχεί στο 25% του αξιοποιήσιμου υδάτινου δυναμικού της χώρας και στο 15% της καταναλισκόμενης ισχύος στην Ελλάδα ανά έτος.

1.7. Παλιρροιακή ενέργεια

Η παλιρροιακή ενέργεια ή ωκεάνια ενέργεια όπως μερικές φορές λέγεται, αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας. Οι παλίρροιες προκαλούνται από τη βαρυτική έλξη του ήλιου και της σελήνης, καθώς και από την περιστροφή της γης. Καθώς κινούνται αυτά τα ουράνια σώματα, προκαλούν παλιρροιακούς κύκλους σε ολόκληρο τον κόσμο. Αυτό, προκαλεί την άνοδο και την κάθοδο της επιφάνειας της θάλασσας σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, ανάλογα με το πλήθος των αλληλεπιδρώντων κύκλων.

Για παράδειγμα, υπάρχει ο κύκλος της μισής ημέρας, ως αποτέλεσμα της περιστροφής της γης μέσα στη βαρυτική έλξη της σελήνης. Ο κύκλος αυτός, έχει περίοδο περί τις 12.42 ώρες μεταξύ δύο διαδοχικών πλημμυρίδων (μέγιστου επιπέδου νερών). Ένας άλλος κύκλος, ο λεγόμενος κύκλος των 14 ημερών, είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των βαρυτικών πεδίων του ήλιου και της σελήνης, και παρέχουν παλίρροιες συζυγίας και τετραγωνισμού (υψηλότερη ρηχία και χαμηλότερη πλήμμη). Ένας άλλος κύκλος, ο λεγόμενος ημι-ετήσιος, επηρεάζεται από την κλίση της τροχιάς της σελήνης. Σε αυτόν τον κύκλο οφείλεται το διάστημα των 178 ημερών, μεταξύ των μεγαλύτερων παλιρροιών το Μάρτιο και το Σεπτέμβριο.

Επειδή οι παλίρροιες συμβαίνουν σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, η κίνηση των νερών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια των παλιρροιών είναι η κινητική ενέργεια του νερού που κατευθύνεται από την πλημμυρίδα προς τη ρηχία. Επομένως, η παλιρροιακή ενέργεια είναι παρόμοια με την υδροηλεκτρική ενέργεια των υδατοπτώσεων.

Στα παλιρροιακά συστήματα ενέργειας, κατασκευάζεται ένα φράγμα στην είσοδο του παλιρροιακού κόλπου. Τα συστήματα αυτά, είναι εξοπλισμένα με υδατοφράκτες και πύλες στροβίλων. Οι υδατοφράκτες, επιτρέπουν την είσοδο του νερού στο φράγμα, κατά την πλημμυρίδα. Όταν το νερό φθάσει το μέγιστο επίπεδο, οι υδατοφράκτες κλείνουν. Μετά από έξι περίπου ώρες έχει περάσει η πλημμυρίδα και το νερό διέρχεται μέσω των πυλών του στροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς, με διαστήματα περίπου 12 ωρών. Η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται από το πλήθος των εγκατεστημένων στροβίλων και της ποσότητας του νερού που εκρέει από την παλιρροιακή λεκάνη.

1.8. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροενέργεια αποτελεί μία από τις παλαιότερες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την επιβίωσή του. Αναφορές για τη χρήση υδροενέργειας, υπάρχουν από τον Έλληνα ποιητή Αντίπατρο, σύμφωνα με τον οποίο οι υδρόμυλοι είχαν μειώσει την εργασία των γυναικών, οι οποίες μέχρι τότε άλεθαν τα δημητριακά με τα χέρια.

Οι υδρόμυλοι χρησιμοποιούνταν στον Ελληνικό πολιτισμό, περίπου 50 χρόνια πριν από τη Χρυσή Εποχή. Αν και δεν υπάρχουν γραπτά που απεικονίζουν την ανάπτυξη του, πιθανότατα είχε τις ρίζες του στον υδροτροχό (μεγάλος τροχός με κουβαδάκια στην περιφέρεια). Ο τροχός αυτός βρισκόταν στη ροή ενός ποταμού, και στρεφόταν από ανθρώπους ή από ζώα, για τη συλλογή νερού. Όταν τα κουβαδάκια έφθαναν στο πάνω μέρος της τροχιάς, άδειαζαν το νερό σε κάποια δεξαμενή για μετέπειτα χρήση. Προσθέτοντας κάποια φτερωτή, ο τροχός μπορούσε να στρέφει μόνος του, από τη ροή του νερού.

Η επόμενη βελτίωση του υδροτροχού, ήταν η τοποθέτηση ενός γραναζιού για την περιστροφή κάποιας μύλοπετρας. Τα πρώτα γρανάζια χρησιμοποιούσαν στρογγυλεμένα ξύλινα δόντια. Με τις βελτιώσεις αυτές, ο υδρόμυλος διαδόθηκε πολύ γρήγορα σε ολόκληρο το Δυτικό πολιτισμό. Αργότερα, στη Ρωμαϊκή εποχή, χρησιμοποιούνταν σε πολλές εφαρμογές, πχ άλεσμα δημητριακών, σφυρηλάτηση μετάλλων, κοπή ξύλων και μαρμάρων. Έχοντας αποδείξει την αξία του στη μείωση της ανθρώπινης εργασίας, ο υδροτροχός διαδόθηκε σε μεγάλη κλίμακα παγκοσμίως. Το 16ο μΧ αιώνα, οι υδροτροχοί χρησιμοποιούνταν στην υφαντουργία, κοπή ξυλείας και εξόρυξη μεταλλευμάτων. Ο φυσικός και συγγραφέας George Bauer, έγραψε για την εφαρμογή της υδροενέργειας στη λειτουργία μηχανικών εργαλείων. Μηχανήματα που λειτουργούσαν με την υδροενέργεια, μπορούσαν να εφαρμοστούν σχεδόν οπουδήποτε.

Επίσης, ο Bauer περιέγραψε τη χρήση των υδρόμυλων στην εξόρυξη και στη μεταλλουργία. Οι υδροτροχοί χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού, ανύψωση υλικών, αερισμό ορυχείων, θρυμματισμό μεταλλευμάτων και λειτουργία φυσητήρων κλιβάνων χύτευσης. Η βασική σχεδίαση των υδροτροχών, είχε παραμείνει η βία από την εποχή των Αρχαίων Ελλήνων και Ρωμαίων. Με εξαίρεση την προσθήκη διαφόρων εξαρτημάτων, η βασική σχεδίαση παρέμεινε η ίδια μέχρι την εμφάνιση του υδροστροβίλου.

1.9. Κύρια παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα.

1.9.1. Η καταστροφή της βιοποικιλότητας

Ίσως ακούγεται αστειό, αλλά δεν ξέρουμε ακριβώς πόσα είδη ζώων και φυτών υπάρχουν. Το λιγότερο είναι 5 με 10 εκατομμύρια. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι φτάνουν μέχρι τα 100 εκατομμύρια. Προς το παρόν, 1.050.000 είδη φυτών και

1.500.000 ζώων έχουν καταγραφεί. Τι μας χρειάζονται τόσα είδη; Οι λόγοι είναι τρεις:

Πρώτον, η φύση είναι ένα κλειστό σύστημα. Κάθε είδος έχει τη δική του σημασία και η εξαφάνισή του μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες ακόμη και στη δική μας ζωή.

Δεύτερον, πολλά είδη ζώων και φυτών είναι πολύ χρήσιμα στην Ιατρική, στη Βιολογία, στη Βιομηχανία, στη Γεωργία.

Τρίτον, και σημαντικότερον, είναι ένας λόγος ηθικής. Η χλωρίδα και η πανίδα της Γης μας δεν είναι μόνο ωραία. Είναι μοναδική. Έχουμε την υποχρέωση, αν θέλουμε πράγματι να θεωρούμαστε ανώτερα και έξυπνα πλάσματα, να την προστατεύσουμε και να την κληροδοτήσουμε στις επόμενες γενιές.

1.9.2. Η καταστροφή των δασών

Η φωτιά που βλέπετε προκλήθηκε ηθελημένα σε δάσος του Αμαζονίου. Θα καίει ανεξέλεγκτη για εβδομάδες, καταστρέφοντας το δάσος ώστε οι εκτάσεις αυτές να καλλιεργηθούν, εκτάσεις, όμως, που δεν είναι εύφορες και θα χρειαστούν τόνους χημικών λιπασμάτων για να δώσουν σοδειά.

Έτσι για ένα αβέβαιο κέρδος, ένας σπάνιος πόρος οξυγόνου χάνεται, χιλιάδες οργανισμοί εξαφανίζονται, σημαντικές ποσότητες πόσιμου νερού καταλήγουν στη θάλασσα και επιβαρύνεται το περιβάλλον με χημικά. Κάθε χρόνο καταστρέφεται δάσος συνολικής έκτασης 50 φορές η έκταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



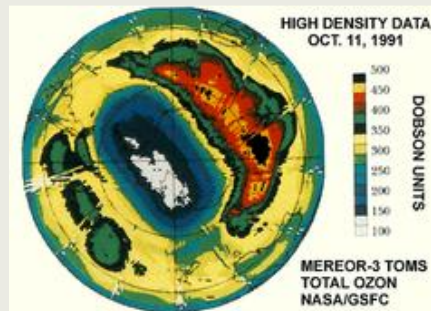
ΕΙΚΟΝΑ: 3

Φωτιά καταστρέφει τροπικό δάσος στη Βραζιλία έτσι ώστε να καθαριστεί από τα δέντρα και να χρησιμοποιηθεί για γεωργικές καλλιέργειες .

1.9.3. Η τρύπα του όζοντος

Το στρατοσφαιρικό όζον καταστρέφεται από τον άνθρωπο με ρυθμό 1% το χρόνο. Αιτία αυτής της καταστροφής είναι η παραγωγή των τετραχλωρανθράκων (CFC) και των οξειδίων του αζώτου (NOx). Η πιο δραματική μείωση του όζοντος παρατηρείται κάθε χρόνο πάνω από το Νότιο Πόλο (Ανταρκτική) από το Σεπτέμβριο μέχρι το Νοέμβριο. Η μείωση του όζοντος φτάνει τοπικά μέχρι και το 50%. Αυτή η μείωση του όζοντος ονομάζεται "τρύπα του όζοντος". Σήμερα, στον

πλανήτη υπάρχουν και άλλες περιοχές όπου η μείωση του στρώματος του όζοντος μπορεί να δημιουργήσει μια νέα τρύπα.

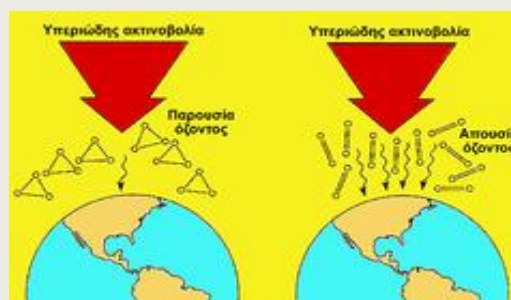


ΕΙΚΟΝΑ:4

Μια εικόνα, από υπολογιστή, του νοτίου ημισφαιρίου που αποκαλύπτει την τρύπα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική. Οι περιοχές που καλύπτονται από το βυσσίνο καθώς και το σκούρο μωβ στο κέντρο της τρύπας απεικονίζουν το χαμηλότερο ποσό του όζοντος που μετρήθηκε.

1.9.4. Το Οζον

Το όζον (O_3) παράγεται από το οξυγόνο το οποίο διασπάται από την ηλιακή ακτινοβολία. Σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα γύρω από την επιφάνεια της Γης, στο ύψος των 25km, στην περιοχή της στρατόσφαιρας. Η σημασία του για τη ζωή στον πλανήτη μας είναι τεράστια γιατί το όζον απορροφά την, επικίνδυνη για άνθρωπο, υπεριώδη ακτινοβολία. Αν δεν υπήρχε το όζον θα πεθαίναμε από καρκίνο του δέρματος. Αξίζει να τονίσουμε ότι όζον υπάρχει και στην τροπόσφαιρα, το τροποσφαιρικό όζον. Αλλά αυτό το όζον είναι βλαβερό για τον άνθρωπο (είναι καυστικό) και θεωρείται αέριος ρύπος.



ΕΙΚΟΝΑ: 5 Το όζον

Αριστερά: Το όζον απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία, αποτελώντας μία αποτελεσματική ασπίδα για τη γη.

Δεξιά: Όταν απουσιάζει το όζον περισσότερη υψηλής ενέργειας υπεριώδης ακτινοβολία, διαπερνώντας την ατμόσφαιρα, φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου είναι βλαβερή για τους ζώντες οργανισμούς.

1.9.5. Ώξινη βροχή

Ένας άλλος σημαντικός αέριος ρύπος είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2). Το διοξείδιο του θείου παράγεται από τον άνθρωπο με την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο (S) όπως είναι η βενζίνη που χρησιμοποιούμε στα αυτοκίνητά μας. Το διοξείδιο του θείου μετατρέπεται στην ατμόσφαιρα σε θειικό οξύ (H_2SO_4) το οποίο πέφτει μαζί με τη βροχή προκαλώντας φοβερές καταστροφές. Βασικά του θύματα είναι τα φυτά, τα οποία "καίγονται" και καταστρέφονται. Επίσης προκαλεί σημαντική καταστροφή στα μνημεία. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πόσο σημαντικό είναι το πρόβλημα για μια χώρα σαν την Ελλάδα, όπου υπάρχουν χιλιάδες αρχαίων μνημείων.



ΕΙΚΟΝΑ: 6

Το μεγαλύτερο μέρος της επιγραφής αυτής της ταφόπετρας, σκαλισμένης στα 1817, έχει διαβρωθεί από όξινα αποθέματα.

1.9.6. Το πρόβλημα της ραδιενέργειας

Τα επικίνδυνα αποτελέσματα της ραδιενέργειας είναι δύο ειδών:



ΕΙΚΟΝΑ:7

Στο σχήμα φαίνεται πως απλώθηκε το ραδιενεργό σύννεφο πάνω από την Ευρώπη μετά από το ατύχημα στο Chernobyl. Αυτές οι ουσίες πρόκειται να μειωθούν στο μισό μετά από μια χρονική περίοδο που κυμαίνεται από 6.600 έως 2.130.000 χρόνια, και πρόκειται να σκοτώσουν 5.000 έως 75.000 ανθρώπους.

Πρώτον, ο άμεσος κίνδυνος από τη ραδιενέργεια μετά από κάποια ατύχημα.

Δεύτερον, το πρόβλημα της αποθήκευσης των ραδιενεργών καταλοίπων. Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας παράγει υλικά που θέλουν χιλιάδες χρόνια για να "διαλυθούν". Μέχρι τότε πρέπει να αποθηκευτούν σε μέρος υψίστης ασφαλείας με υψηλό κόστος. Όμως, κανείς δε θέλει μια τέτοια αποθήκη δίπλα στο σπίτι του.

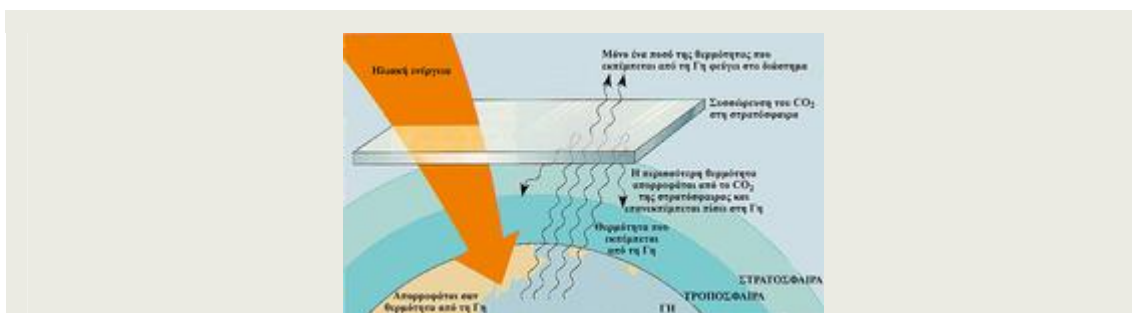
Προς το παρόν, πολλές πλούσιες χώρες "λύνουν" το πρόβλημα με το να αδειάζουν τα πυρηνικά τους απόβλητα είτε στους ωκεανούς είτε σε φτωχές χώρες του Τρίτου Κόσμου, αδιαφορώντας για τις συνέπειες.

1.9.7. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η Γη μας, καθώς θερμαίνεται από τον Ήλιο, εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία. Φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται η απορρόφηση αυτής της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας να αυξάνεται. Κανονικά τμήμα αυτής της ακτινοβολίας θα έφευγε στο διάστημα. Τώρα, όμως, απορροφάται από διάφορα αέρια τα οποία παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τέτοια αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και οι τετραχλωράνθρακες (CFC).

Η συνεχής καταστροφή των δασών, τα οποία μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα σε οξυγόνο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του CO_2 στην ατμόσφαιρα. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται από τους κινητήρες των διαφόρων οχημάτων. Οι τετραχλωράνθρακες χρησιμοποιούνται σαν προωθητικά αέρια στα διάφορα σπρέι και αεροζόλ, στα ψυγεία, στους πυροσβεστήρες. Οι τετραχλωράνθρακες είναι πολύ καταστροφικοί για το όζον.

Τα αποτελέσματα της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Το πιθανότερο σενάριο αναφέρει ότι οι πάγοι στους πόλους θα λιώσουν με αποτέλεσμα να ανέβει η επιφάνεια της θάλασσας. Περιοχές όπως η Ολλανδία και η Βενετία κινδυνεύουν να χαθούν για πάντα κάτω από τα νερά της θάλασσας σαν νέες Ατλαντίδες.



ΕΙΚΟΝΑ:8

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται πως το διοξείδιο του άνθρακα και το φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβάλουν στη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μας.

1.9.8. Ορθολογική χρήση ενέργειας

Ορθολογική Χρήση Ενέργειας σημαίνει περιορισμός της σπατάλης ενέργειας χωρίς όμως να περιορίζονται και οι ανέσεις του ανθρώπου. Η αλήθεια είναι ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις με την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου αυξάνονται. Χαρακτηριστικό είναι ότι στην Ελλάδα του 1950 η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση αντιστοιχούσε σε 70 kwh ανά άτομο και σήμερα, 50 χρόνια μετά εκτιμάται σε 4000 kwh ανά άτομο. Ορθολογική Χρήση Ενέργειας σημαίνει επίσης και διαχείριση της ενέργειας με τρόπους και μεθόδους που σέβονται και προστατεύουν το Περιβάλλον. Είναι γνωστό ότι τόσο κατά την παραγωγή (καύση συμβατικών καυσίμων, πυρηνική ενέργεια κλπ) όσο και κατά τη χρήση της ενέργειας (ρυπαίνουσες βιομηχανίες, αστικά νέφη, κεντρικές θερμάνσεις κατοικιών, κλιματιστικά, φωτισμός, μεταφορές κλπ) δημιουργούνται προβλήματα που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του περιβάλλοντος (αύξηση CO₂, Φαινόμενο Θερμοκηπίου, Όξινη Βροχή, Τρόπα του Όζοντος κλπ).

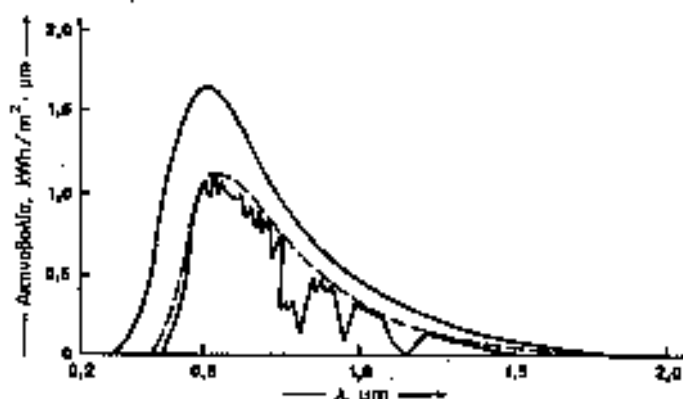
Κεφάλαιο 2

Ηλιακή ενέργεια

2.1 Το ηλιακό φάσμα

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου 5800 K, όση είναι, κατά μέσο, η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του ήλιου. Η προσέγγιση αυτή είναι επαρκής για τη μελέτη των εφαρμογών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως π.χ. η θέρμανση νερού («ηλιακοί θερμοσίφωνες»), Στις περιπτώσεις αυτές ενδιαφέρει συνήθως η συνολική θερμική ισχύς της ακτινοβολίας και ο μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας π.χ. στους ηλιακούς συλλέκτες του «θερμοσίφωνα» ή τους θερμοσυσσωρευτικούς τοίχους του κτιρίου κλπ. Δεν είναι όμως το ίδιο και για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας αφού αυτή καθορίζεται από τη λεπτομερειακή φωτονική σύσταση της ακτινοβολίας. Άλλωστε, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι κατασκευασμένα από ημιαγωγούς, και η δυνατότητα της απορρόφησης των φωτονίων της ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό εξαρτάται ουσιαστικά από τη σύγκριση της τιμής της ενέργειας τους, σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Στο τέλος της εργασίας βρίσκεται το διάγραμμα 5, στο οποίο παρουσιάζονται οι διάφορες περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Εκτός από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ο ήλιος εκπέμπει και μια ασθενή σωματιδιακή ακτινοβολία, που αποτελείται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια, και ονομάζεται **ηλιακός άνεμος**. Σε περιπτώσεις ηλιακών εκρήξεων η ένταση του ηλιακού ανέμου αυξάνει σημαντικά και μπορεί να φτάσει π.χ. τα 10^8 πρωτόνια ανά cm^2 και 560, στην απόσταση που βρίσκεται η γη.



Σχήμα 2.1. Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μέλανος σώματος θερμοκρασίας 5800 K (εξωτερική συνεχής γραμμή), το φάσμα της ίδιας πηγής ύστερα από απορροφήσεις από το όζον και από σκεδάσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (ασυνεχής γραμμή), και το πραγματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε συνθήκες μέτριας υγρασίας (εσωτερική συνεχής γραμμή).

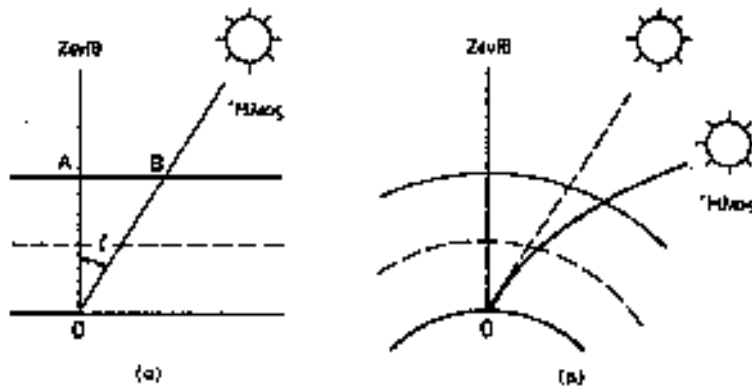
Η ανάγκη για τη λεπτομερειακή εξέταση της φασματικής σύστασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές γίνεται φανερή στο **(Σχήμα 2.1)**, που δείχνει τη μεγάλη διαφοροποίηση του πραγματικού φάσματος του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της γης, σε σχέση με την προσέγγιση που αναφέρθηκε παραπάνω. Βλέπουμε ότι το ηλιακό φως αποκτά τελικά μία πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, που οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει.

Ενδεικτική, άλλωστε της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία είναι η εξάρτηση της έντασης της από το υψόμετρο της τοποθεσίας της γης, που δέχεται την ακτινοβολία. Έτσι, έχει μετρηθεί ότι ενώ στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει μέχρι περίπου $900-1000 \text{ W/m}^2$, η τιμή της αυξάνεται κατά περίπου 7 W/m^2 για κάθε 100 m ύψους της τοποθεσίας, επειδή μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

Το όζον, που είναι άφθονο στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, απορροφά έντονα την υπεριώδη ακτινοβολία, και ειδικότερα στην περιοχή $0,2-0,35 \mu\text{m}$, το μοριακό οξυγόνο απορροφά κυρίως στην περιοχή του ερυθρού (π.χ. $0,63$ και $0,69 \mu\text{m}$), το διοξείδιο του άνθρακα στο υπέρυθρο ($2,7$ και $4,3 \mu\text{m}$) και οι υδρατμοί στο ερυθρό και στο υπέρυθρο. Επίσης, από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, συνήθως λιγότερο από το 60% είναι άμεση, σε μορφή δέσμης ακτίνων, που μπορούν π.χ. να εστιαστούν με κάτοπτρα ή φακούς. Η υπόλοιπη είναι διάχυτη, διότι έχει προηγουμένως σκεδαστεί και ανακλαστεί στα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα σ' αυτήν.

2.2. Οι συμβατικές ηλιακές ακτινοβολίες

Η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες, και κυρίως τη θέση του ήλιου στον ουρανό και την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα μέχρι τη στάθμη της θάλασσας, που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου, χαρακτηρίζεται από μία κλίμακα **μάζας αέρα AM** (air mass, ονομάζεται επίσης οπτική αέρια μάζα) βαθμολογημένης με την τέμνουσα (το αντίστροφο του συνημίτονου) της **ζενιθιακής απόστασης** (ζ). Λέγοντας ζενιθιακή απόσταση εννοούμε τη γωνία ανάμεσα στη θέση του ήλιου και στην κατακόρυφο **(Σχήμα 2.2)**.



Σχήμα 2.2. Η εξάρτηση της κλίμακας μάζας αέρα (AM) από τη θέση του ήλιου, (α) Απλοποιημένη απεικόνιση, με την ατμόσφαιρα να έχει επίπεδη ανάπτυξη σε άπειρη έκταση. Εξ ορισμού είναι $AM = OB/OA = 1 / \sin \gamma$ (β) Η πραγματική διαμόρφωση της γήινης ατμόσφαιρας, με τα στρώματα της να οριζονται από σφαιρικές επιφάνειες, και η αντίστοιχη ατμοσφαιρική διάθλαση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της μέσα από τα στρώματα αυτά.

Δηλαδή η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει ουσιαστικά πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της. Ως $AM1$ συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως $AM1,5$ συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45° από το ζενίθ, ως $AM2$ με τον ήλιο σε γωνία 60° κ.λ.π. Το μηδέν της κλίμακας ($AM0$) συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο. Στον πίνακα 4.1 γράφονται οι πυκνότητες της ισχύος και η μέση ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορη πρότυπες συνθήκες στην κλίμακα μάζας αέρα. Πάντως, η παραπάνω προτυποποίηση δεν είναι πάρα πολύ αυστηρή. Έτσι π.χ. εκτός από τις τιμές του πίνακα, η $AM0$ αναφέρεται επίσης ως 1353 W/m^2 , ή $AM2$ ως 740 W/m^2 κ.λ.π.

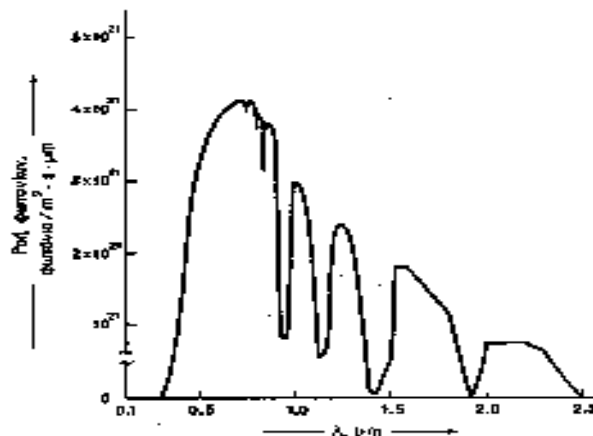
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass)

Τύπη μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς	Μέση ενέργεια των φωτονίων
$AM0$	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα.	1350 W/m^2	1,48 eV
$AM1$	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	1060	1,32
$AM2$	Απόσταση του ήλιου 80° από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880	1,38
$AM3$	Απόσταση του ήλιου $70,5^\circ$ από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	750	1,21

Ο άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας της διαμόρφωσης των μετεωρολογικών συνθηκών, δηλαδή η ατμοσφαιρική υγρασία, χαρακτηρίζεται από το ύψος w της στήλης του νερού που σχηματίζεται από την υποθετική συμπίκνωση του συνόλου των υδρατμών της ατμόσφαιρας, στον συγκεκριμένο τόπο και χρόνο. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας συγκεντρώνεται στη φασματική περιοχή του κυανού και του πράσινου, και ειδικότερα σε μήκη κύματος από 0,45 μέχρι 0,6 μm , που αντιστοιχεί σε φωτόνια ενέργειας περίπου 2,1 -2,8 eV. Για την αντιστοιχία μήκους κύματος και ενέργειας των φωτονίων, υπενθυμίζεται ότι από τη σχέση $\nu=c/\lambda$ που συνδέει τη συχνότητα ν και το μήκος κύματος λ μιας ακτινοβολίας με την ταχύτητα του φωτός c , βρίσκουμε ότι η ενέργεια του φωτονίου $h\nu$, σε eV, συνδέεται με το αντίστοιχο μήκος της ακτινοβολίας λ , σε μm , με τη σχέση $h\nu = 1,238/\lambda$.

2.3 Η ακτινοβολία του «ενός ηλίου»

Το (Σχήμα 2.3.) δείχνει τη ροή των φωτονίων που αντιστοιχεί στα διάφορα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας AM1,5, όταν φτάνει στη γη, στη στάθμη της θάλασσας. Η καμπύλη έχει βγει υπολογιστικά, δηλαδή έχουν αφαιρεθεί από το διαστημικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας τα φωτόνια που εκτιμήθηκε ότι απορροφούνται ή σκεδάζονται από το όζον, τους υδρατμούς και τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 2.3. Η συμβατική φωτονική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες AM 1,5

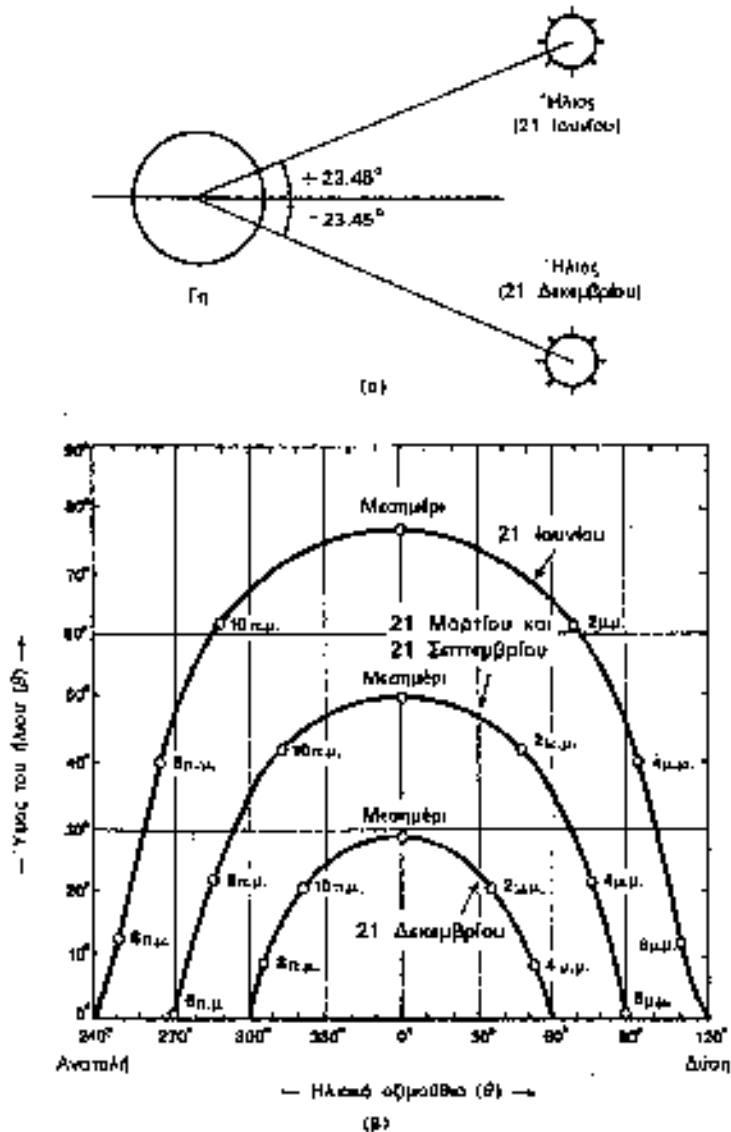
Η ηλιακή ακτινοβολία AM1,5 έχει πυκνότητα 935 W/m^2 και αποτελεί χονδρικά μια αρκετά αντιπροσωπευτική προσέγγιση της μέσης μέγιστης ισχύος που περίπου δέχεται σε επιφάνεια κάθετη προς την ακτινοβολία και στις ευνοϊκότερες δυνατές συνθήκες αιχμής (καλοκαίρι, μεσημέρι, καθαρός ουρανός κ.λ.π.) ένα μεγάλο μέρος από τις περισσότερο κατοικημένες και αναπτυγμένες περιοχές της γης. Στο τέλος της εργασίας παρατίθεται ένας χάρτης (Διάγραμμα 1) με τη μέση ένταση της ηλιακής ενέργειας που δέχονται οι διάφορες περιοχές της γης. Για απλοποίηση, η παραπάνω πυκνότητα ισχύος στρογγυλεύεται στα 1000W/m^2 , ονομάζεται συμβατικά **ακτινοβολία ενός ήλιου** (ή ενός πλήρους ήλιου) και παίρνεται συχνά σαν βάση σύγκρισης της ακτινοβολίας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται επίσης για την αναφορά της **ισχύος αιχμής** των φωτοβολταϊκών διατάξεων, καθώς και για την πυκνότητα της ακτινοβολίας στις

συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα. Επί παραδείγματι η συγκεντρωμένη δέση ηλιακής ακτινοβολίας με πυκνότητα ισχύος $1000\text{kW}/\text{m}^2$ ονομάζεται «100 ήλιο».

Οι συνθήκες AM0 και AM2 χρησιμοποιούνται συχνά ως πρότυπες για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των ηλιακών στοιχείων που προορίζονται για διαστημικές και επίγειες εφαρμογές, αντίστοιχα. Για αντικειμενικές συγκρίσεις είναι απαραίτητο να γίνεται σαφής αναφορά των συνθηκών διεξαγωγής των μετρήσεων, διότι οι ιδιότητες των ηλιακών στοιχείων, και γενικότερα η απόδοση τους, επηρεάζονται σημαντικά από τη μορφή της ακτινοβολίας που δέχονται. Π.χ. από τις δύο παραπάνω συνθήκες, η AM2 δίνει μεγαλύτερη απόδοση στα ηλιακά στοιχεία πυριτίου από όσο η AM0, διότι ένα μεγάλο μέρος από τα φωτόνια από την υπεριώδη και την υπέρυθρο περιοχή της ακτινοβολίας, που όπως δείχθηκε στο σχήμα 2.1, έχουν αφαιρεθεί από την AM2, έχουν σχετικά μικρή μόνο συμβολή ή είναι εντελώς άχρηστα για φωτοβολταϊκή μετατροπή με πυρίτιο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου ενώ η ενέργεια των περισσότερων φωτονίων της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι μικρότερη από αυτό. Επομένως, στην πρώτη περίπτωση, ένα μικρό μόνο μέρος της ενέργειας των φωτονίων αξιοποιείται για τη δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Επίσης, στη δεύτερη περίπτωση, δηλαδή για το μεγαλύτερο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, η ενέργεια των φωτονίων δεν επαρκεί για τη διέγερση των ηλεκτρονίων σθένους του πυριτίου και τη μεταφορά τους στη ζώνη αγωγιμότητας. Έτσι, η απόδοση ενός κοινού ηλιακού στοιχείου πυριτίου καλής ποιότητας, μπορεί να είναι 16% σε συνθήκες AM2, ενώ σε συνθήκες AM0 δεν ξεπερνά το 11,5%.

2.4 Ηλιακή γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, σε αιωρούμενα σωματίδια και σε άλλα συστατικά. Επίσης, επηρεάζονται σε αξιολογικό βαθμό και από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση κλπ.



Σχήμα 2.4. Η μεταβολή της απόκλισης και η επίδραση της στην τροχιά του ήλιου στον ουρανό, (α) Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο, (β) Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στον ουρανό στη διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες, σε τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος βόρειο 38° , όπως της Αθήνας. Οι ενδείξεις του μεσημεριού και των ωρών της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της **απόκλισης (δ)**, δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού (**Σχήμα 2.4**). Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι ότι οι κυκλικές τροχιές του διαγράφονται βορειότερα

στον ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ τον χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα, διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε έναν τόπο, είναι η θεωρητική **ηλιοφάνεια**, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει τον μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των **ηλιοφεγγών** ημερών, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται καθόλου από σύννεφα, καθώς και των **ανήλιων** ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας. Για παράδειγμα, στον (πίνακα 2.2.)δίνονται οι τιμές για τα χαρακτηριστικά ορισμένων εποχών στην Αθήνα, και είναι φανερές οι μεγάλες διαφορές μεταξύ τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 Ενδεικτικά μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά στην Αθήνα.

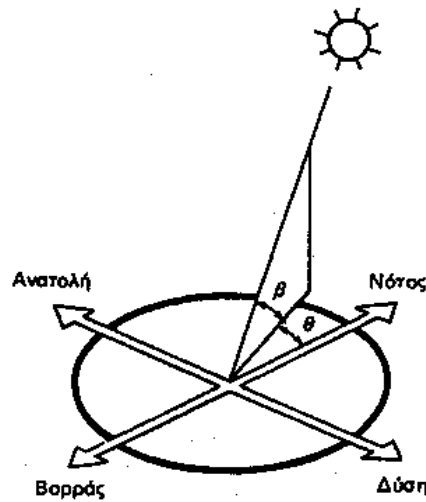
α) Ύψος του ήλιου, θεωρητική ηλιοφάνεια και μέση θερμοκρασία του αέρα στις φυτικές ώρες της ημέρας.			
Ημερομηνία	Ύψος του ήλιου το μεσημέρι	Θεωρητική ηλιοφάνεια	Μέση θερμοκρασία
21 Μαρτίου (ισορινή ισημερία)	51,08°	11,9 ώρες	13° C
21 Ιουλίου (θερινό ηλιοστάσιο)	75,25°	14,8 ώρες	25° C
21 Σεπτεμβρίου (φθινοπωρινή ισημερία)	51,08°	11,9 ώρες	23° C
21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο)	26,35°	9,5 ώρες	11° C

β) Μέσος αριθμός ηλιοφεγγών και ανήλιων ημερών και οι ώρες της μέσης πραγματικής ηλιοφάνειας στους διάφορους μήνες του έτους.												
Είδος ημερών	Γ	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ηλιοφεγγές	3,2	4,3	5,8	7,5	7,0	11,9	21,3	21,6	15,4	8,9	3,8	3,4
Ανήλιες	3,7	3,1	2,5	1,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,2	1,0	2,5	4,1
Ηλιοφάνεια (ώρες)	123	139	180	233	303	335	373	357	277	211	162	127

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες: το ύψος και το αζιμούθιο. Το **ύψος** του ήλιου (β) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα (**Σχήμα 2.5.**). Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που όπως είδαμε ονομάζεται **ζενιθιακή απόσταση** (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *senit* που σημαίνει ευθεία οδός.

Η δεύτερη χαρακτηριστική γωνία του ήλιου, το ηλιακό **αζιμούθιο** (θ), είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Ο όρος προέρχεται από την αραβική έκφραση *as summut*, που σημαίνει κατεύθυνση. Προς

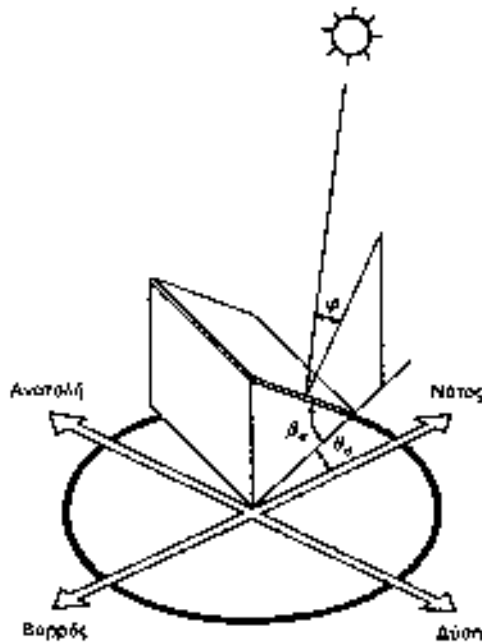
τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς, καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.



Σχήμα 2.5. Οι γωνίες του ύψους (β) και του αζιμούθιου που περιγράφουν κάθε στιγμή τη θέση του Ηλίου.

2.5.Ο προσανατολισμός του συλλέκτη.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία (Σχήμα 2.6.). Η κλίση του συλλέκτη (β_{σ}) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον οριζοντα. Δείχνει πόσο γέρνει ο συλλέκτης και μπορεί να πάρει τιμές από 0 μέχρι 180°. Για γωνίες $\beta_{\sigma} > 90^{\circ}$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω.



Σχήμα 2.6. Η κλίση (β_{σ}) και η αζιμούθια γωνία (θ_{σ}) που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (θ_{σ}) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω από οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^{\circ}$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^{\circ}$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς τον βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς τον νότο και η γωνία $+90^{\circ}$ προς τη δύση.

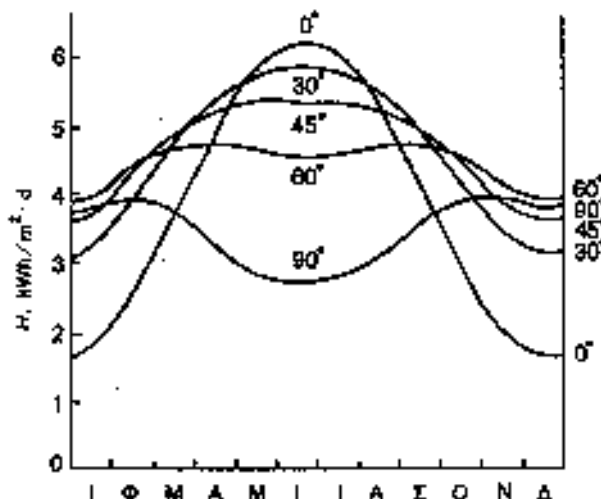
Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε έναν επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνειά του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (φ) είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνειά του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.

2.6. Η ιδανική κλίση των συλλεκτών.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας με τη σχέση:

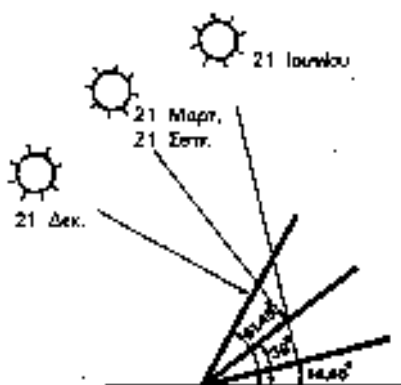
$$\cos\varphi = \sin\beta_{\sigma}\sin\theta_{\sigma} + \cos\beta_{\sigma}\cos\theta_{\sigma} \quad (2.1)$$

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφική παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7. Παράδειγμα της εξάρτησης της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας H , που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια κατά τη διάρκεια των διαφόρων μηνών του έτους, σε συνάρτηση με την κλίση της. Το παράδειγμα είναι για τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 45° και αφορά σε κλίσεις του ηλιακού συλλέκτη (β_σ) ίσες με 0° (οριζόντιο επίπεδο), 30° , 45° , 60° , και 90° (κατακόρυφο επίπεδο).

Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο (σχήμα 2.8) δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικότερες ημερομηνίες του έτους.



Σχήμα 2.8. Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στο θερινό (21 Ιουνίου) και το χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο και στην εαρινή (21 Μαρτίου) και τη φθινοπωρινή (21 Σεπτεμβρίου) ισημερία, σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 38° , όπως η Αθήνα. Τα ύψη του ήλιου που ακονίζονται αφορούν στα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3. Γεωγραφικό πλάτος (κατά προσέγγιση) διαφόρων ελληνικών πόλεων και περιοχών.

Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφ. πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα	41° 30'
Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Ζέφυρος, Δράμα, Καβάλα, Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καταριά, Πηλείαδα, Κοζάνη, Νέφυρα, Βέροια, Κατερίνη, Βεσσαυρούλη, Πολίγυρος, Σαμοθράκη	40° 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Αιτάκιωρο, Κασσάνορα, Λύμιος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μήτσαβα, Τρίκαλα, Κορίνθο, Λάρισα, Βόλος	39° 30'
Λευκάδα, Πράβιζα, Άρτα, Κορνητός, Λομία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλονιά, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφισσα, Λεβαντιά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αρκαυιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσία, Αθήνα, Ραφήνα, Κόρινθος, Άνδρος, Ίοκρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σόρος, Πάτρας	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάτρας, Νέος Κόσμος, Κως	37°
Ρύθειο, Μήλας, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελλόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κόσμος, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακίων, Γερσίτσα, Αν. Νικόλαος Κρήτης, Κόπρος	35°

Επίσης, στον (πίνακα 2.3) δίνονται τα γεωγραφικά πλάτη διαφόρων ελληνικών περιοχών, για την επιλογή της σωστής κλίσης του ηλιακού συλλέκτη. Υπάρχουν και εφαρμογές, όπου κρίνεται σκόπιμη η αναπροσαρμογή της κλίσης του συλλέκτη δύο ή περισσότερες φορές στη διάρκεια του έτους, ώστε να παρακολουθεί κάπως την απόκλιση του ήλιου,

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυσης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10-15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Στον (πίνακα 2.4) δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4. Παραδείγματα τιμών του συντελεστή ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός με σκοτεινόχρωμο χώμα	0,08
Πράσινος αγρός	0,15
Βραχώδης επιφάνεια	0,20
Επιφάνεια παλακού τσιμέντου	0,24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου ή χρωματισμένη με σκουρό χρώμα	0,30
Χιόνι	0,80

2.7. Ροή και ένταση της ακτινοβολίας.

Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα τροφοδοτείται με ηλιακή ενέργεια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ένα βασικό όμως μειονέκτημα του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απρόβλεπτες και απότομες διακυμάνσεις. Είναι λοιπόν χρήσιμο να εξετάσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες πώς μεταβάλλεται χρονικά η ενέργεια που δέχεται ένας ηλιακός συλλέκτης.

Αρχικά, πρέπει να γίνει μια διευκρίνηση ως προς την ορολογία. Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται συνήθως **ένταση** της ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς να συγκεκριμενοποιείται η έννοια της λέξης. Η «ένταση» είναι ένας πολύ γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος ή την αποτελεσματικότητα διαφόρων φαινομένων. Π.χ. μιλάμε για ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, του ηλεκτροστατικού πεδίου, του ήχου, του ανέμου, της βροχής κ.λ.π. Σε αυστηρότερη ορολογία, το μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποσότητα της ενέργειας, την οποία μεταφέρει σε έναν τόπο μια ακτινοβολία που μεταδίδεται προς μια κατεύθυνση στο χώρο, ονομάζεται **ροή ακτινοβολίας** (H). Ορίζεται, συγκεκριμένα, ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας, τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας εκφράζεται συνήθως σε kW/m^2 .

Ο όρος «ροή ακτινοβολίας» έχει έννοια όταν πρόκειται μόνο για ακτινοβολία που αποτελείται από δέσμη παράλληλων ακτίνων. Όταν όμως η ακτινοβολία είναι διάχυτη και διαδίδεται προς διάφορες κατευθύνσεις, όπως συμβαίνει συχνά με ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, τότε ως μέτρο του ποσού της ενέργειας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα μιας επιφάνειας, χρησιμοποιείται περισσότερο ο γενικότερος όρος **ένταση ακτινοβολίας**. Συνώνυμη, για οποιαδήποτε χρήση, είναι η **πυκνότητα ισχύος** της ακτινοβολίας.

Με τον ίδιο όρο, «ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας», χαρακτηρίζεται και η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται μια επιφάνεια σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Π.χ. στον σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιείται συχνά ως μετεωρολογικό δεδομένο η μέση ηλιακή ενέργεια ανά

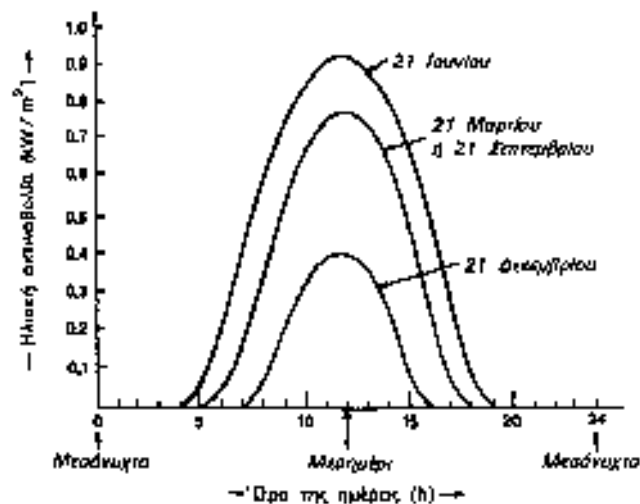
τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας και ανά ημέρα, και εκφράζεται συνήθως σε $\text{kW}/\text{m}^2 \text{ day}$.

Μια ανάλογη ασάφεια στη φωτοβολταϊκή ορολογία υπάρχει και σε άλλες γλώσσες. Π.χ. στα αγγλικά οι όροι *solar irradiance*, *intensity of radiation*, *insolation* (στην Αμερική), *solar power*, *solar radiation* χρησιμοποιούνται σχεδόν αδιάκριτα για να χαρακτηρίσουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ως πυκνότητα ισχύος ή ως πυκνότητα ενέργειας.

Συχνά, δεν μας ενδιαφέρει τόσο η συνολική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, όσο η κατανομή της μέσα στο ηλιακό φάσμα. Ως *φασματική ροή ακτινοβολίας* (H_λ) ορίζεται το ποσό της ενέργειας με μήκη κύματος μεταξύ λ και $\lambda + d\lambda$, που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας.

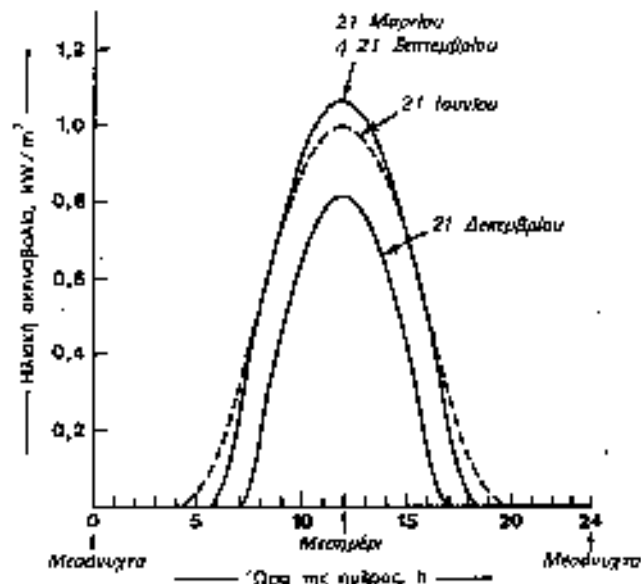
2.8 Η Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο (Σχήμα 2.9) δείχνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της μέγιστης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. Π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12.25' τον χειμώνα, και 13.25' το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα.



Σχήμα 2.9. Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια των φωτεινών ωρών τριών χαρακτηριστικών ημερομηνιών, με εντελώς καθαρό ουρανό. Οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές.

Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτίνων να γίνεται περισσότερο κάθετα (**Σχήμα 2.10**). Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει πάρα πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή 1 kW/m^2 αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση.

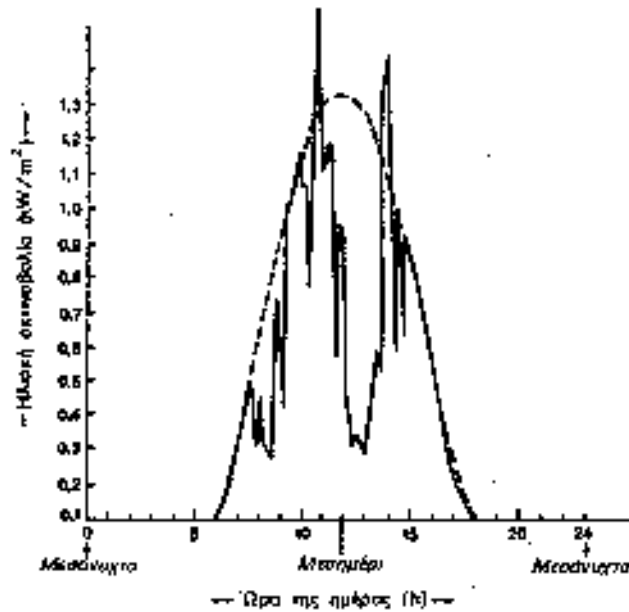


Σχήμα 2.10. Η διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις γεωγραφικές, εποχικές και κλιματικές συνθήκες του παραδείγματος του σχήματος 3.9, αλλά με τον ηλιακό συλλέκτη σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως δείχνεται στο (**Σχήμα 2.11**). Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης, το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης, καταγράφεται σαν μια πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και η συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχες ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Στις επιφάνειες, όμως, π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου), διότι όπως δείχθηκε στο (Σχήμα 2.8.), τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.



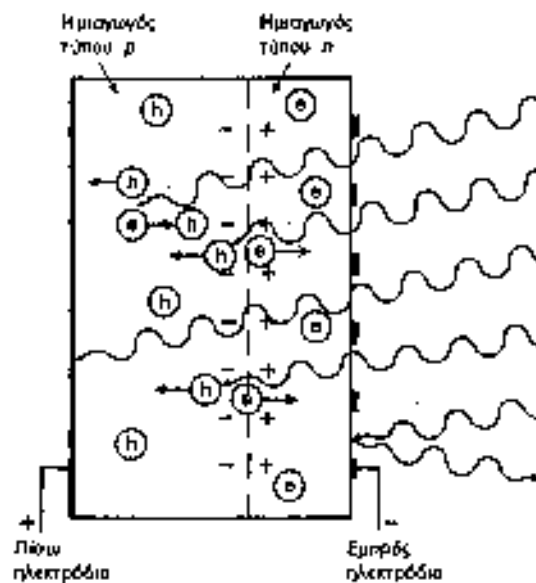
Σχήμα 2.11. Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη διακύμανση με εντελώς καθαρό ουρανό.

Κεφάλαιο 3.

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή.

3.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Τα ηλιακά στοιχεία είναι διόδους ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. 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 (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα απ' τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. 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 ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού της πεδίου (Σχήμα 3.1.).



Σχήμα 3.1. Ο μηχανισμός της εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο. Τα φωτόνια της ακτινοβολίας, που δέχεται το στοιχείο στην εμπρός του όψη, τύπου n στο παράδειγμα του σχήματος, παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, e^-) ή προς τα πίσω (οι οπές, h^+), δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου. Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και εξαφανίζονται. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου, ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο.

Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου η και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου ρ , με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων ρ και η μιας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων ειδών. Π.χ. από διόδους ετεροενώσεων p-n διαφορετικών ημιαγωγών ή από διόδους Σότκν που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.

3.2 Η απορροφητικότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

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 ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι, η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει, όπως είδαμε, στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται, σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα. Όπως θα αναλυθεί όμως παρακάτω, η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιδρά αρνητικά στην απόδοσή τους.

Η ενέργεια ενός φωτονίου E συνδέεται με τη συχνότητα της ακτινοβολίας ν και με το μήκος κύματος λ με τις σχέσεις:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.1)$$

όπου h είναι η σταθερά όρασης του Planck ($h = 6,3 \cdot 10^{-34}$ Js) και c είναι η ταχύτητα του φωτός ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Επομένως, αν το ενεργειακό διάκενο είναι σε μονάδες

ηλεκτρονιοβόλτ (eV) και το μήκος κύματος σε μικρόμετρα (μm), τότε το μέγιστο χρησιμοποιήσιμο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό, ενεργειακού διακενου E_g , θα είναι:

$$\lambda_g = \frac{1,238}{E_g} \quad (3.2)$$

Ας θεωρήσουμε τώρα ότι στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού διεισδύει μια μονοχρωματική δέσμη ακτινοβολίας από όμοια φωτόνια ενέργειας $h\nu$, που έχει ροή (ή ένταση ή πυκνότητα ισχύος - είδαμε ότι η ορολογία είναι ανεκτική) ίση με H μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας. Η ροή των φωτονίων (ϕ), δηλαδή το πλήθος των φωτονίων ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, θα είναι:

$$\phi = \frac{H}{h\nu} = \frac{H\lambda}{hc} \quad (3.3)$$

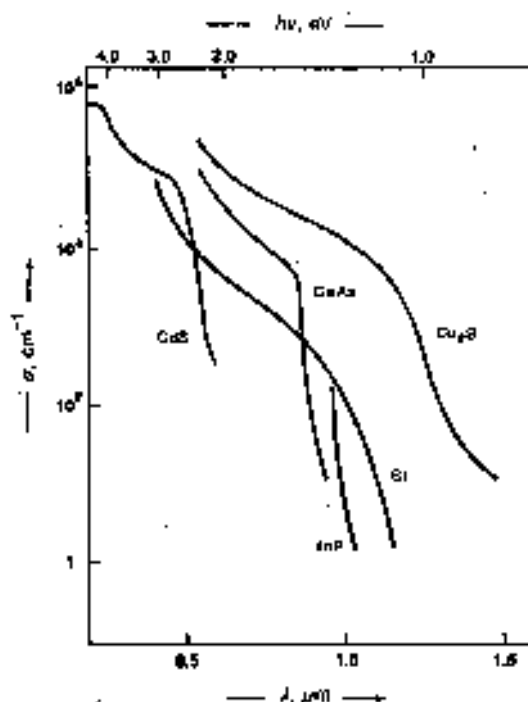
Βλέπουμε όπως άλλωστε είναι αυτονόητο, ότι, για σταθερή ένταση H , η ροή ϕ είναι αντίστροφα ανάλογα με την ενέργεια των φωτονίων $h\nu$, που είναι το ίδιο, αυξάνει γραμμικά με το λ .

Ας συμβολίσουμε, στη συνέχεια με Φ_0 την αρχική τιμή της ροής των φωτονίων στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού, με χ την απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσα στον ημιαγωγό, αρχίζοντας από την επιφάνειά του, και με $\phi(\chi)$ την τιμή της ροής των φωτονίων (δηλαδή το πλήθος των φωτονίων που δεν έχουν ακόμα απορροφηθεί) στο βάθος αυτό. Η ευκολία με την οποία πραγματοποιείται η απορρόφηση των φωτονίων, που είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα για τη χρησιμοποίηση του ημιαγωγού ως υλικού κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα δίνεται από τον ρυθμό της μεταβολής της ϕ με την αύξηση της απόστασης που διανύει η ακτινοβολία. Ο ρυθμός αυτός έχει αρνητική τιμή, αφού η Φ μειώνεται με την αύξηση του χ , και είναι προφανώς ανάλογος με τη συγκεκριμένη τιμή της ϕ στο βάθος χ , δηλαδή με τη $\phi(\chi)$. Θα ισχύει επομένως η σχέση:

$$\frac{-d\phi}{dx} = \sigma\phi(x) \quad (3.4)$$

και η σταθερά της αναλογίας σ , που δίνεται σε αντίστροφες μονάδες μήκους, ονομάζεται **συντελεστής απορρόφησης** της υπόψη ακτινοβολίας.

Όπως δείχνεται και στο **(σχήμα 3.2.)**, η τιμή του συντελεστή απορρόφησης μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, μηδενίζεται όταν το λ υπερβαίνει το λ_g του ημιαγωγού, αφού για αυτά τα μήκη κύματος δεν πραγματοποιείται καμιά απορρόφηση φωτονίων. Αντίθετα, παίρνει μεγάλες τιμές προς την πλευρά των μικρών μηκών κύματος, που σημαίνει ότι η απορρόφηση πρακτικά όλων των αντίστοιχων φωτονίων γίνεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του ημιαγωγού.



Σχήμα 3.2. Η μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης (α) σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (λ) ή την ενέργεια των φωτονίων ($h\nu$) της ακτινοβολίας, για τους κυριότερους ημιαγωγούς των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

3.3 Η δημιουργία του φωτορεύματος

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτορεύμα I_{ϕ} , που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Ας υποθέσουμε ότι έχουν εξασφαλιστεί οι δύο βασικές προϋποθέσεις για ένα καλό φωτοβολταϊκό στοιχείο, δηλαδή η ένωση $p-n$ να βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση από την όψη του στοιχείου και η μέση διάρκεια ζωής των φορέων μειονότητας στον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο, να είναι αρκετά μεγάλη. Τότε, για την πυκνότητα του φωτορεύματος, ισχύει ικανοποιητικά η σχέση:

$$I_{\phi} = e g (L_n + L_p) \quad (3.5)$$

όπου e είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο, g είναι ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας (πλήθος ζευγών ηλεκτρονίων - οπών ανά μονάδα χρόνου και μονάδα όγκου του ημιαγωγού), και L_n , L_p είναι τα μέσα μήκη διάχυσης των ηλεκτρονίων και των οπών, αντίστοιχα.

Ένα χρήσιμο μέγεθος για τον υπολογισμό του φωτορεύματος είναι η **φασματική απόκριση B** που ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, σε σχέση με τη φωτονική ροή ϕ , δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά

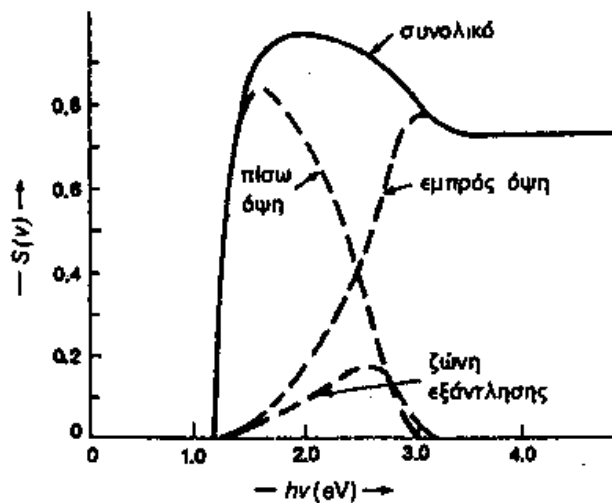
μονάδα επιφάνειας και χρόνου. Για ακτινοβολία μήκους κύματος λ , η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ θα είναι:

$$S(\lambda) = \frac{I_{\phi}(\lambda)}{e \Phi(\lambda)} \quad (3.6)$$

όπου $\phi(\lambda)$ είναι το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι $\lambda + d\lambda$, και επομένως το συνολικό φωτόρευμα του στοιχείου, όταν δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία, θα είναι:

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_0} S(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda \quad (3.7)$$

Η τιμή της φασματικής απόκρισης, και συνεπώς του φωτορεύματος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού, το πλήθος των Επανασυνδέσεων των φορέων κλπ. Στο (Σχήμα 3.3.) δείχνεται η μεταβολή της φασματικής απόκρισης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου του εμπορίου, σε συνάρτηση με την ενέργεια των Φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται.



Σχήμα 3.3. Η μεταβολή της φασματικής απόκρισης $S(\nu)$ σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας, στις 3 περιοχές ενός φωτοβολταϊκού ηλιακού στοιχείου πυριτίου: εμπρός όψη τύπου η, ζώνη εξάντλησης, και πίσω όψη τύπου ρ.

Όταν το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου δεν είναι αμελητέο, η παραπάνω σχέση γράφεται :

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_0} S(\lambda) [1 - R(\lambda)] \Phi(\lambda) d\lambda \quad (3.8)$$

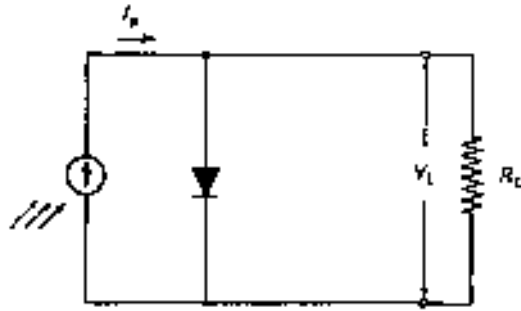
όπου $R(\lambda)$ είναι ο δείκτης ανάκλασης για την ακτινοβολία μήκους κύματος λ .

Για να προχωρήσουμε σε μία πρώτη εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορούμε να το θεωρήσουμε ότι αποτελεί μία πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο, και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του **(Σχήματος 3.4.)**

Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μια ισορροπία όταν η τάση, που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα. Δηλαδή, σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα ισχύει η σχέση:

$$I_{\phi} = I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{\gamma k T} \right) - 1 \right] \quad (3.9)$$

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left(\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1 \right) \quad (3.10)$$



Σχήμα 3.4. Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Κατά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η τιμή του I_ϕ είναι πολύ μεγαλύτερη από του I_o και επομένως η παραπάνω σχέση μπορεί να απλοποιηθεί στη:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \frac{I_\phi}{I_o} \quad (3.11)$$

που δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος σε συνάρτηση με το φωτόρευμα, δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Από τις σχέσεις για το I_o , που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούμε να βρούμε την εξάρτηση της v_{oc} από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο E_g , η ενδογενής συγκέντρωση των φορέων n_i , οι συγκεντρώσεις των προσμίξεων N_A και N_o κλπ. Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα I_{sc} (από την αγγλική έκφραση short-circuit current) θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα:

$$I_{sc} = I_\phi \quad (3.12)$$

Όταν όμως το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης R_L (από την αγγλική έκφραση load resistance), το ρεύμα θα πάρει μία μικρότερη τιμή I_L που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης:

$$I_L = I_\phi - I_o \left[\exp\left(\frac{e I_L R_L}{\gamma k T}\right) - 1 \right] \quad (3.13)$$

Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης (δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος) για την οποία η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο θα γίνεται μεγίστη. Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση V_m , δίνεται:

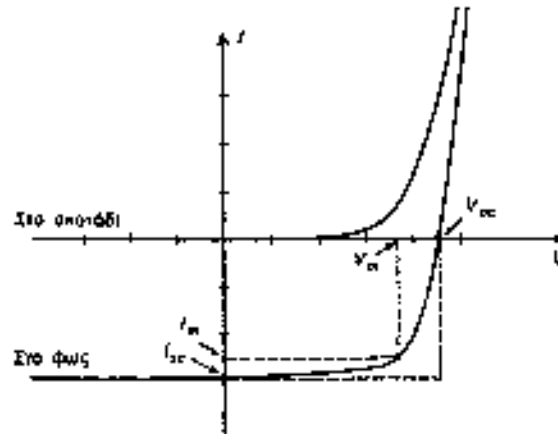
$$\frac{I_\phi}{I_o} + 1 = \left(1 + \frac{e V_m}{\gamma k T} \right) \exp\left(\frac{e V_m}{\gamma k T}\right) \quad (3.14)$$

3.4 Ο συντελεστής πλήρωσης.

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος $P_m = I_m \cdot V_m$ προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης και της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης $I_{sc} \cdot V_{oc}$ ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, ονομάζεται *συντελεστής πλήρωσης* FF (από την αγγλική έκφραση fill factor). Δηλαδή:

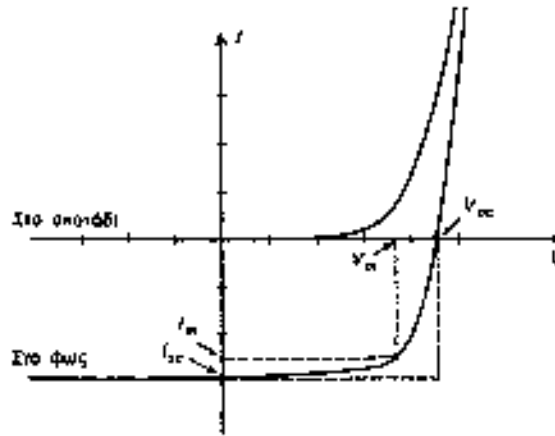
$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (3.15)$$

Στο διάγραμμα του (Σχήματος 3.5), ο FF δίνεται από το λόγο του εμβαδού του μέγιστου ορθογώνιου που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη $I-V$ του στοιχείου, σε συνθήκες ακτινοβολίας, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές I_{sc} και V_{oc}



Σχήμα 3.5. Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I) - τάσης (V) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως. Διακρίνονται τα δυο ορθογώνια που ο λόγος των Εμβαδών τους καθορίζει την τιμή του συντελεστή πλήρωσης. Στο διάγραμμα, δεν δείχνεται το ανάστροφο ρεύμα κόρου, λόγω της ασήμαντα μικρής τιμής του, σε σύγκριση με το φωτόρευμα του στοιχείου

Στο διάγραμμα του (Σχήματος 3.6.), ο FF δίνεται από το λόγο του εμβαδού του μέγιστου ορθογωνίου που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη $I-V$ του στοιχείου, σε συνθήκες ακτινοβολήσης, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές I_{sc} και V_{oc}



Σχήμα 3.6. Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I) - τάσης (V) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως. Διακρίνονται τα δυο ορθογώνια που ο λόγος των Εμβαδών τους καθορίζει την τιμή του συντελεστή πλήρωσης. Στο διάγραμμα, δεν δείχνεται το ανάστροφο ρεύμα κόρου, λόγω της ασήμαντα μικρής τιμής του, σε σύγκριση με το φωτόρρευμα του στοιχείου.

Οι τρεις παραπάνω παράμετροι, δηλαδή ο FF , η I_{sc} και η V_{oc} είναι τα κυριότερα μεγέθη για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους. Επιστρέφοντας στον συντελεστή απόδοσης των στοιχείων η που αναφέραμε στην αρχή, μπορούμε τώρα να τον ορίσουμε με τη σχέση:

$$\eta = \frac{P_m}{H \times A} = \frac{I_m \times C_m}{H \times A} = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{H \times A} \quad (3.16)$$

όπου H είναι η ένταση (πυκνότητα της ισχύος) της ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, εμβαδού A . Όπως βλέπουμε, για την πραγματοποίηση αυξημένων αποδόσεων, επιδιώκεται οι τιμές των FF , I_{sc} και V_{oc} να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες. Προφανώς θα ισχύει και η σχέση:

$$\eta = \frac{\phi(E_g) V_m}{\phi E_m} \quad (3.17)$$

όπου $\phi(E_g)$ είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, ϕ είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο, και E_m είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας.

Στην ηλιακή ακτινοβολία, περίπου τα $2/3$ των φωτονίων έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου (περίπου $1,1 \text{ eV}$). Επίσης, η V_m των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου ίσο με το $1/3$ της E_m

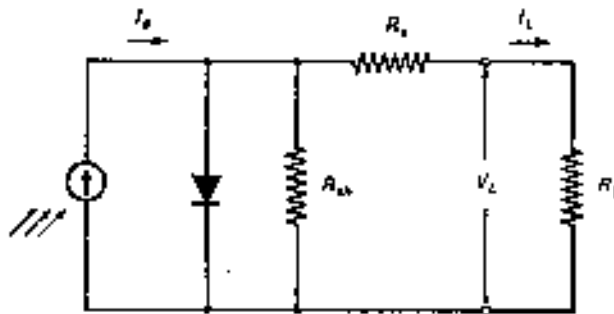
της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως βρίσκουμε πρόχειρα ότι η θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου:

$$\eta = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = 22\%$$

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση της ακτινοβολίας. Δηλαδή, μια δέσμη ακτινοβολίας θα προκαλέσει σε ένα στοιχείο την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με μια άλλη δέσμη ίσης ισχύος αλλά πλουσιότερη σε φωτόνια με ευνοϊκότερη ενέργεια για τον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο.

3.5. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων-Δεύτερη προσέγγιση

Το ισοδύναμο κύκλωμα περιγράφει ιδανικές συνθήκες, που δεν υπάρχουν στα πραγματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Μια σωστότερη προσέγγιση αποτελεί το ισοδύναμο κύκλωμα του (Σχήματος 3.7) διότι περιέχει και τις αναπόφευκτες αντιστάσεις R_s (από την αγγλική έκφραση series resistance) που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Ακόμα, επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού λόγω επίσης αναπόφευκτων κατασκευαστικών ελαττωμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} (από την αγγλική έκφραση shunt resistance).



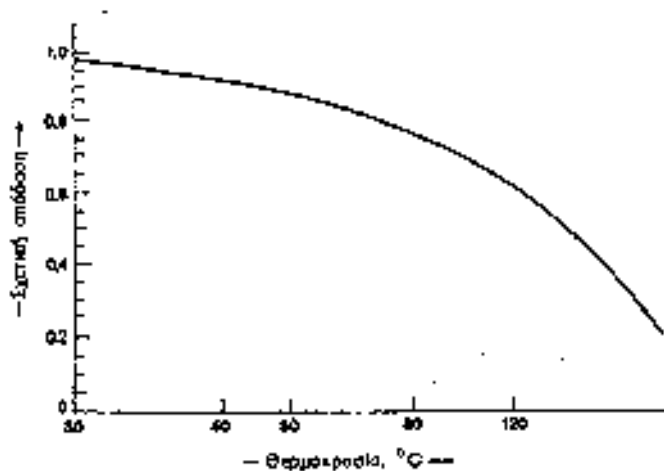
Σχήμα 3.7. Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις σειράς R_s , καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις R_{sh}

Συνήθως, στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου η R_s είναι μικρότερη από 5 Ω και η R_{sh} είναι μεγαλύτερη από 500 Ω . Πάντως επηρεάζουν αισθητά την τιμή της τάσης V_L και του ρεύματος I_L που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος R_L , με αποτέλεσμα την αντιστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση:

$$I_L \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V_L - I_L R_s)}{kT} \right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{sh}} \quad (3.18.)$$

Εκτός από τις αντιστάσεις R_s και R_{sh} , ένας άλλος παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία τους. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και του FF.

Παράλληλα, μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.8. Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταγμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20° C. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τιμημένων είναι λογαριθμική

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία (π.χ. 20° C) είναι η , η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία Θ θα είναι:

$$\eta_{\theta} = \eta \times \sigma_{\theta} \quad (3.19)$$

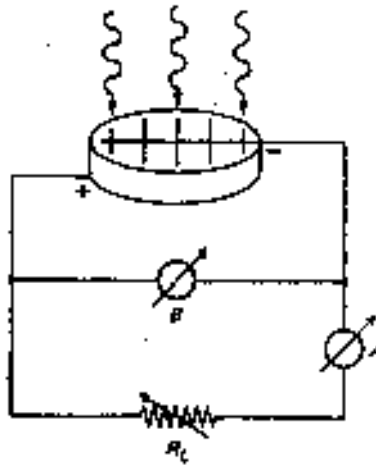
όπου σ_{θ} είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία ο σ_{θ} είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.

3.6 Η αποδοτική λειτουργία των φ/β στοιχείων- Σταθερές αξίες.

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές (συσσωρευτές, ξηρά στοιχεία, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγη, μεγάλα δίκτυα διανομής), οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται

ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παράμενα σταθερή.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ας εξετάσουμε τη συμπεριφορά του όταν οι πόλοι του συνδεθούν με ένα κύκλωμα που περιέχει μια μεταβλητή αντίσταση (Σχήμα 3.9).

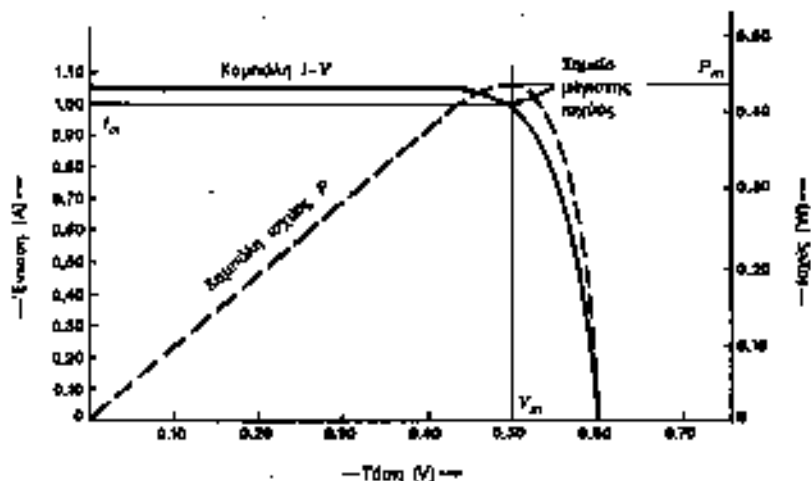


Σχήμα 3.9. Πειραματική διάταξη, με ένα βολτόμετρο (B), ένα αμπερόμετρο (A) και μια μεταβλητή αντίσταση (R_L , για τη μελέτη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Είδαμε παραπάνω ότι όταν η τιμή της αντίστασης είναι μηδέν, δηλαδή στη βραχυκυκλωμένη κατάσταση, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} , ενώ η τάση θα μηδενιστεί. Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση, μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος αλλά η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή V_{oc} . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο ($P=I/V$) είναι μηδέν, αφού αντιστοίχα είναι μηδενική η τάση, στην πρώτη περίπτωση, και η ένταση του ρεύματος στη δεύτερη.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, όπως δείχνεται στο (σχήμα 3.10).

Παράλληλα, μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m . Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ζεύγος αυτό καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος των τιμών V_{oc} και I_{sc} , τον συντελεστή απόδοσης του στοιχείου η . Επομένως, από πρακτική άποψη, είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς.

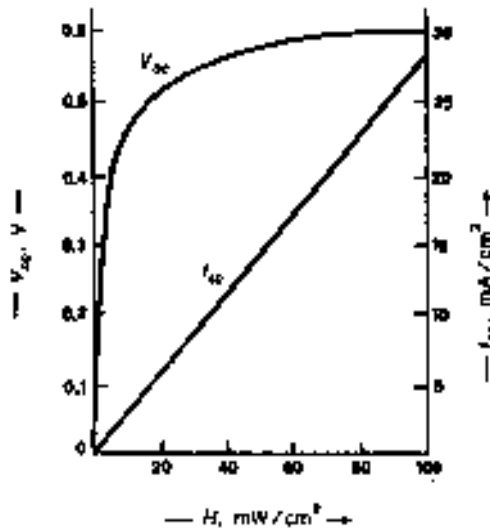


Σχήμα 3.10. Η συνεχής καμπύλη δείχνει ένα παράδειγμα της μεταβολής της τάσης (V) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος (I) που παράγει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου, σε συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν (όπου $V=0$) μέχρι άπειρη (όπου $I=0$). Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο (η κλίμακα της ισχύος είναι στον δεξιό άξονα του διαγράμματος). V_m και I_m είναι η τάση και η ένταση που αντιστοιχούν στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ P_m .

3.7 Η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων-Μεταβαλλόμενες συνθήκες.

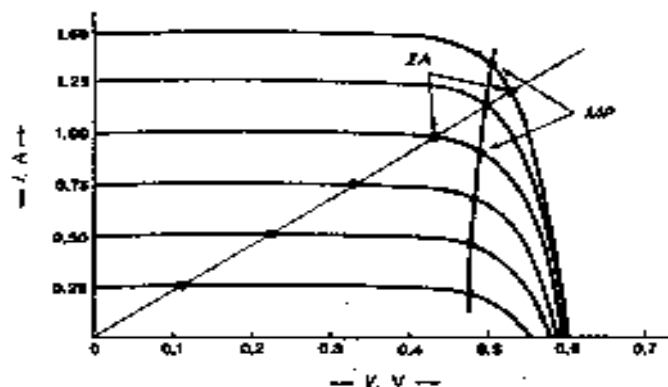
Τα παραπάνω αφορούν σε συνθήκες σταθερής ισχύος της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και σταθερής θερμοκρασίας του. Βλέπουμε όμως στο (Σχήμα 3.10), ότι η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος από το μηδέν (για το σκοτάδι) μέχρι τις μέγιστες τιμές τους, για τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι θα δημιουργείται πρόβλημα για τη διατήρηση της βελτιστοποίησης της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο κατά τη διάρκεια της ημέρας και των εποχών του έτους. Αυτό αντιμετωπίζεται συχνά στις εφαρμογές με τη χρησιμοποίηση ρυθμιστικών διατάξεων που φέρνουν συνεχώς την τάση και την ένταση του στοιχείου, στο ευνοϊκό ζεύγος τιμών, για τις συγκεκριμένες κάθε στιγμή συνθήκες.



Σχήμα 3.11. Η μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης (V_{oc}) και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος (I_{sc}) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πορτίου σε συνάρτηση με την ισχύ της ακτινοβολίας (H), που δέχεται ανά μονάδα της επιφάνειας του.

Στο **(Σχήμα 3.11)** βλέπουμε ότι για διαφορετικές πυκνότητες της ακτινοβολίας, σχηματίζεται μια οικογένεια μετατοπισμένων καμπυλών έντασης-τάσης. Είναι φανερό ότι π.χ. για την ακτινοβολία που δίνει $I_{sc} = 1,25 \text{ A}$ έχουμε περίπου $I_m = 1,1 \text{ A}$ και $V_m = 0,5 \text{ V}$, και επομένως η κατάλληλη αντίσταση του κυκλώματος για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο του παραδείγματος είναι $R_L = V_m/I_m = 0,5/1,1 = 0,455 \Omega$. Η αντίσταση όμως αυτή βλέπουμε ότι είναι εντελώς ακατάλληλη για όλες τις άλλες συνθήκες ακτινοβολίας, αφού η ευθεία με κλίση $0,455 \Omega$ τέμνει τις αντίστοιχες καμπύλες $I - V$ σε σημείο διαφορετικό από το σημείο της μέγιστης ισχύος.



Σχήμα 3.12. Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας ($\Sigma\Lambda$) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πορτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της καμπύλης έντασης (I) -τάσης (V), για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος.

Πάντως, σε κάθε περίπτωση, λόγω της πολύ μικρής τιμής του ανάστροφου ρεύματος κόρου I_0 η ένταση του ρεύματος που παρέχει στο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι πρακτικά ανάλογη προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται,

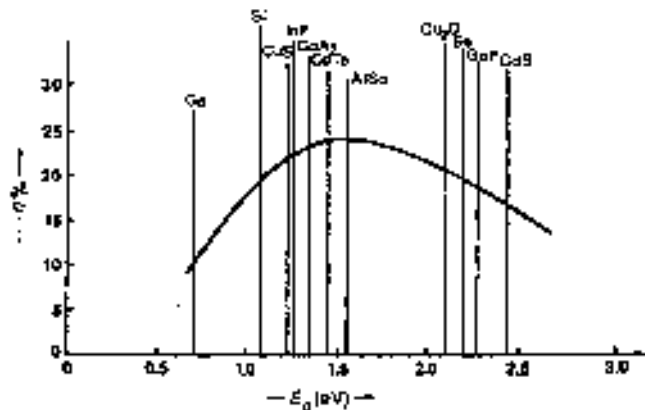
δηλαδή προς το γινόμενο της έντασης (της πυκνότητας της ισχύος) της ακτινοβολίας επί το εμβαδόν της επιφάνειάς του. Επίσης, από τις διάφορες καμπύλες I-V βλέπουμε ότι, με τη μεταβολή της αντίστασης του κυκλώματος, η ένταση του ρεύματος παραμένει περίπου σταθερή για το μεγαλύτερο τμήμα του διαγράμματος, ενώ μεταβάλλεται ουσιαστικά η τάση. Δηλαδή, το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται, σε μεγάλο βαθμό, σαν πηγή περίπου σταθερού ρεύματος, με την προϋπόθεση ότι παραμένει σταθερή η πυκνότητα της ακτινοβολίας.

Τελικά η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από 3 μεταβλητούς παράγοντες: την ένταση της ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία του στοιχείου και την αντίσταση του κυκλώματος. Προφανώς, στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδιώκεται οι παράγοντες αυτοί να παίρνουν ευνοϊκές τιμές, ώστε να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς, όσο επιτρέπει ο συντελεστής απόδοσης των στοιχείων.

3.8 Αξιολόγηση των ημιαγωγών για ηλιακές φωτοβολταϊκές εφαρμογές.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας ημιαγωγός μπορεί να απορροφήσει μόνο τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο. Και μάλιστα, από τα φωτόνια αυτά αξιοποιείται φωτοβολταϊκά το μέρος μόνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια μετατρέπεται σε συνήθως ανεπιθύμητη θερμότητα. Επομένως, η τιμή του ενεργειακού διακένου των ημιαγωγών είναι ένα από τα κυριότερα κριτήρια που καθορίζουν την καταλληλότητα τους για να χρησιμοποιηθούν ως υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στο (Σχήμα 3.13) βλέπουμε λοιπόν ότι οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας (περίπου 25%) μπορούν να πραγματοποιηθούν σε φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1,5 eV.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό κριτήριο είναι το είδος του ενεργειακού διακένου του ημιαγωγού, δηλαδή αν είναι άμεσο ή έμμεσο. Τα φωτόνια απορροφούνται ευκολότερα στους ημιαγωγούς άμεσου ενεργειακού διακένου και έτσι το φωτοβολταϊκό στοιχείο δεν χρειάζεται να έχει μεγάλο πάχος, με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει μεγάλη εξοικονόμηση υλικού.



Σχήμα 3.13. Η θεωρητική απόδοση (η) των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο (E_g) του ημι αγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένα. Άλλοι θεωρητικοί υπολογισμοί δίνουν ελαφρά διαφορετικές τιμές για την απόδοση των ίδιων στοιχείων.

Π.χ. στο αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), που είναι ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για να απορροφηθεί το 80% των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο (1,43 eV) αρκεί στρώμα πάχους 1 μm, ενώ αντίστοιχα στο πυρίτιο (Si) χρειάζεται στρώμα πάχους περίπου 100 μm. Αυτό άλλωστε δείχθηκε και στο **(Σχήμα 3.13)**, όπου είναι φανερό ότι ο συντελεστής απορρόφησης στο GaAs, για τα φωτόνια που μας ενδιαφέρουν, είναι περίπου 10 ή περισσότερες φορές μεγαλύτερος από του Si.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Οι μεγαλύτερες αποδόσεις φωτοβολταϊκής μετατροπής (πάνω από 10%), που έχουν πραγματοποιηθεί με ηλιακά στοιχεία, σε εργαστηριακές συνθήκες.

Υλικό	Τύπος στοιχείων	Μέγιστη απόδοση σε ακτινοβολία AMf
n - Ga _{0,9} Al _{0,1} As / p - GaAs	ομοένωση - ετεροδομή	24%
GaAs	ομοένωση	22%
n - AlAs / p - GaAs	ετεροένωση	18,5%
Si (μονοκρυσταλλικό)	ομοένωση	18%
Si (πολυκρυσταλλικό)	ομοένωση	18%
Au / Si ₃ N ₄ / p - Si	Σόλκυ	10%
p - Cu ₂ S / n - CdS	ετεροένωση	10%

Άλλα σημαντικά κριτήρια για την αξιολόγηση των ημιαγωγών, αλλά και των υπολοίπων υλικών κατασκευής των ηλιακών στοιχείων, είναι το κόστος της παραγωγής τους, η σταθερότητα τους στην επίδραση των εξωτερικών συνθηκών, και κυρίως της υγρασίας και της θερμότητας, η τοξικότητα των διαφόρων συστατικών, το ειδικό τους βάρος κ.λ.π.

Όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο, από τα πολλά ημιαγωγικά υλικά που έχουν ως τώρα μελετηθεί για ηλιακή φωτοβολταϊκή μετατροπή, μεγάλη εφαρμογή έχει βρει μόνο το πυρίτιο, αν και άλλοι ημιαγωγοί έχουν δώσει καλύτερες αποδόσεις **(πίνακας 3.1.)**. Πολύ σημαντικές προοπτικές για σύντομη ανάπτυξη έχουν επίσης το θειούχο κάδμιο (CdS) λόγω χαμηλού κόστους, και το αρσενιούχο γάλλιο (GaAs) λόγω μεγάλης απόδοσης. Πάντως η ερευνητική αναζήτηση συνεχίζεται έντονη με στόχο την ανακάλυψη και άλλων υλικών, ίσως οργανικής σύστασης, που ενδεχομένως να συνδυάζουν χαμηλό κόστος, εύκολη εφαρμογή και αξιολογή απόδοση.

Κεφάλαια 4.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

4.1 Ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

4.1.1 Η επιλογή και η συμπεριφορά του πυριτίου

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκονο 1,1 eV. Αν και οι δυο αυτές ιδιότητες (έμμεσο και σχετικό μικρή τιμή διακένου) δεν είναι ιδεώδεις για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή άλλο μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη ένα πλούσιο παρελθόν 3-4 δεκαετιών σαν το κύριο υλικό των διατάξεων των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. Επομένως οι ιδιότητες του είναι καλό μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με τη χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία.

Επίσης, τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απολύτως ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες εφαρμογές. Π.χ. σε διαστημόπλοια σε τροχιά προς τον πλανήτη Δία με ένταση ακτινοβολίας μόλις 50 W/m² και θερμοκρασία -120° C, ή σε άλλα διαστημόπλοια σε τροχιά προς τον Ερμή και την Αφροδίτη με ένταση ακτινοβολίας 2,5 kW/m² και θερμοκρασία 140°C ή σε συστήματα συγκεντρωμένου φωτός, στην επιφάνεια της γης, ισχύος εκατοντάδων ήλιων. Επίσης, σε πλαίσια τοποθετημένα σε κορυφές βουνών εκτεθειμένα σε χιονοθύελλες και ταχύτητες ανέμου πάνω από 100 km/h στο έντονο διαβρωτικό περιβάλλον της θαλάσσιας ατμόσφαιρας, σε περιοχές με μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές κλπ. Ενδεικτικό της επιτυχίας των ηλιακών στοιχείων πυριτίου είναι ο εντυπωσιακός ρυθμός της αύξησης της παραγωγής τους. Πριν από είκοσι χρόνια, η ετήσια παραγωγή των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου δεν ξεπερνούσε, σε συνολική ισχύ αιχμής, τα λίγα kW_p, και προορίζονταν αποκλειστικά για τηλεπικοινωνιακούς, μετεωρολογικούς και ερευνητικούς δορυφόρους. Σήμερα η ετήσια παραγωγή τους έχει φτάσει τα 10 MW_p (αύξηση περίπου 1000 φορές), από τα οποία μόλις τα 150 kW_p προορίζονται για δορυφορικές ή άλλες διαστημικές εφαρμογές, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται σε επίγειες φωτοβολταϊκές διατάξεις.

Σύμφωνα με έναν θεωρητικό υπολογισμό, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων πυριτίου μπορεί να φθάσει μέχρι 23,92% για συνθήκες AM1. Ο υπολογισμός έχει γίνει για ηλιακό στοιχείο πάχους 100 μm με εμπρός τμήμα τύπου η πάχους 0,2 μm και ζώνη εξάντλησης πάχους 0,15μm. Το μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας θεωρήθηκε 150μm και ο μέσος χρόνος ζωής τους 20 μs, περίπου. Ένα τέτοιο στοιχείο

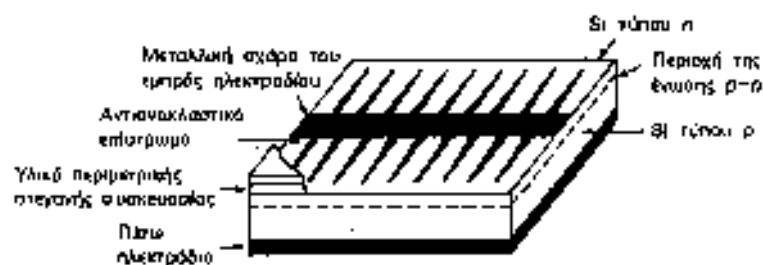
θα έδινε ανοιχτό-κυκλωμένη τάση $V_{oc} = 0,7V$ και πυκνότητα βραχυκυκλωμένου φωτορεύματος $I_{\phi} = 40 \text{ mA/cm}^2$ περίπου.

Πειραματικά, η μεγαλύτερη απόδοση ηλιακού στοιχείου πυριτίου σε συνθήκες AM1 μετρήθηκε εργαστηριακά 19%, με απώλειες ανάκλασης 3% και συντελεστή πλήρωσης 0,77. Στις πρακτικές εφαρμογές, τα ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου μεγάλης επιφάνειας έχουν απόδοση περίπου 10%-12% ή λίγο μεγαλύτερη.

4.1.2 Η παρασκευή του ηλιακού στοιχείου

Για να έχει το πυρίτιο, αλλά και κάθε άλλος κρυσταλλικός ημιαγωγός, ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές (π.χ. μεγάλη κινητικότητα, μεγάλο μήκος διάχυσης και μεγάλο χρόνο ζωής των φορέων - κυρίως των φορέων μειονότητας - πριν από την επανασύνδεση τους) πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Η πρώτη φάση του καθαρισμού του πυριτίου γίνεται με την ανάτση και στη συνέχεια τη μετατροπή του «μεταλλουργικού» πυριτίου σε αέριο τριχλωροσιλάνιο (SiHCl_3) που αποχωρίζεται από τις διάφορες προσμίξεις με κλασματική απόσταξη. Το «μεταλλουργικό» πυρίτιο έχει καθαρότητα περίπου 99,6%, που είναι πολύ καλή για τις συνηθισμένες τεχνικές χρήσεις, αλλά εντελώς ανεπαρκής για ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Στη συνέχεια, το τριχλωροσιλάνιο ανάγεται με υδρογόνο και συμπυκνώνεται πυρίτιο ποιότητας «ημιαγωγού» ή «ηλεκτρονικής», που τήκεται και ανά κρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα, π.χ. της τάξης του 99,999999%, σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή, διαμέτρου περίπου 10 cm. Από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι, πάχους περίπου 0,5 mm, οι οποίοι λειαινούνται με επιμέλεια για την απομάκρυνση των ελαττωμάτων της κοπής και στη συνέχεια διαμορφώνονται σε διόδους p-n με επίταξη, διάχυση ή εμφύτευση προσμίξεων. Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δίσκου, η αλληλοσύνδεση των έτοιμων πια στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφάνειας τους με ένα αντανάκλαστικό επίστρωμα για τη μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Σχηματική απεικόνιση της τομής ενός συσκευασμένου ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου. Το παράδειγμα αφορά σε στοιχείο πυριτίου τύπου n / p

Το ηλεκτρόδιο της εμπρός όψης του ηλιακού στοιχείου αποτελείται από ένα αραιό μεταλλικό δικτυωτό πλέγμα, σε σχήμα σχάρας, ώστε να αφήνει ελεύθερο το

μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας για να δέχεται το φως. Το πλέγμα είναι συνήθως από κράματα αργύρου και καλύπτει περίπου το 15% της επιφάνειας του στοιχείου. Το ηλεκτρόδιο του πίσω τμήματος του δίσκου, όπου δεν υπάρχει πρόβλημα κάλυψης, αφού δεν δέχεται ακτινοβολία, αποτελείται συνήθως από ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου, σε όλο το πλάτος του στοιχείου. Υπάρχουν, όμως και εξαιρέσεις σε διατάξεις συνδυασμένων ηλιακών στοιχείων.

Κανονικά, περίπου το 30% της ηλιακής ακτινοβολίας, που πέφτει σε μια επιφάνεια πυριτίου, ανακλάται πάλι προς το περιβάλλον. Για να μειωθεί η μεγάλη αυτή απώλεια, επικαλύπτονται τα ηλιακά στοιχεία με ένα στρώμα από κατάλληλα αντανάκλαστικά υλικά (π.χ. SiO , Al_2O_3 , TiO_2 , Ta_2O_5 , Si_3N_4 , που περιορίζουν την ανάκλαση περίπου στο 5%.

Η επίδραση της υγρασίας του περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσει πρόωρη φθορά στα ηλιακά στοιχεία, και κυρίως στις ηλεκτρικές τους συνδέσεις. Γι' αυτό, τα συναρμολογημένα στοιχεία καλύπτονται συνήθως με ένα λεπτό γυαλί, που επικολλάται πάνω τους με τη βοήθεια ενός διαφανούς πλαστικού φύλλου, στεγανοποιούνται με μια περιμετρική ελαστική ταινία και το σύνολο συγκρατείται ισχυρά και μόνιμα με τη βοήθεια μιας άλλης περιμετρικής ταινίας, μεταλλικής, συνήθως από αλουμίνιο.

Η δαπάνη για τα πρόσθετα αυτά υλικά και εργασίες, πέρα από το κόστος παραγωγής των ηλιακών στοιχείων, είναι μία σημαντική επιβάρυνση για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σύμφωνα με μια εκτίμηση, το κόστος του εξοπλισμού μιας βιομηχανικής εγκατάστασης για την παραγωγή και τον έλεγχο πλαισίων με ηλιακά στοιχεία πυριτίου, με ετήσια δυναμικότητα ισχύος αιχμής 150 kW_p , που φαίνεται ότι αποτελεί το μικρότερο οικονομικό μέγεθος βιομηχανικής μονάδας, υπολογίζεται σε \$ 185.000. Η εγκατάσταση αυτή θα απασχολεί 20 εργαζόμενους και η ετήσια δαπάνη για την προμήθεια των έτοιμων ηλιακών στοιχείων από άλλον κατασκευαστή θα είναι \$ 700.000 περίπου. Επίσης, θα απαιτούνται περίπου άλλα \$ 120.000 ετησίως για την προμήθεια των υλικών συναρμολόγησης των πλαισίων.

Η τεχνολογία που περιγράφηκε παραπάνω ήταν μέχρι πρόσφατα η μοναδική βιομηχανική μέθοδος κατασκευής ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων, και εξακολουθεί να εφαρμόζεται από πολλούς κατασκευαστές. Είναι μία διαδικασία πολύ ενεργοβόρα και δαπανηρή, με αποτέλεσμα το κόστος του δίσκου να φτάνει περίπου τα \$ 350 ανά m^2 , και το πλήρες ηλιακό πλαίσιο τα \$ 1.000 ανά m^2 . Τα τελευταία όμως χρόνια άρχισε να αναπτύσσεται παραγωγικά η κατασκευή ηλιακών στοιχείων από φθηνότερα υλικά και με απλούστερες μεθόδους, που αναμένεται ότι θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους.

Το πρώτο βήμα προήλθε από τη διαπίστωση ότι, σε αντίθεση προς άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές, για την κατασκευή καλών ηλιακών στοιχείων δεν απαιτείται να είναι το πυρίτιο μονοκρυσταλλικό. Ικανοποιητικές αποδόσεις δίνουν και τα ηλιακά στοιχεία από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, με την προϋπόθεση ότι το

μέγεθος των κόκκων του θα είναι αρκετά μεγάλο, της τάξης του 1 mm, ώστε να εκτείνονται σε ολόκληρο το πάχος του δίσκου.

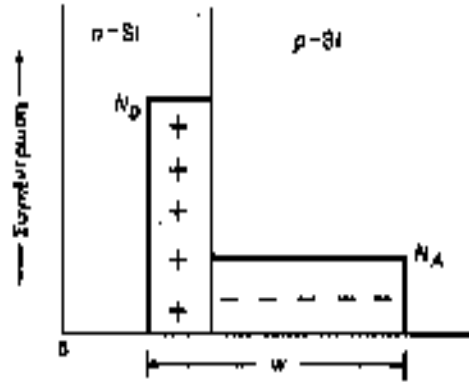
4.1.3 Η διαμόρφωση της διόδου

Συνήθως, η διόδος των ηλιακών στοιχείων πυριτίου διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η εμπρός τους όψη να είναι τύπου n με προσμίξεις ατόμων φωσφόρου, και το πίσω τμήμα να είναι τύπου p με προσμίξεις ατόμων βορίου. Κατασκευάζονται όμως επίσης στοιχεία με αντίθετη ένωση, δηλαδή εμπρός τύπου p και πίσω τύπου n κυρίως για διαστημικές εφαρμογές, διότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις ισχυρές ακτινοβολίες.

Στο διάγραμμα του σχήματος 5.2 είδαμε ότι, για τους περισσότερους ημιαγωγούς, ο συντελεστής απορρόφησης έχει μια περίπου σταθερή (και μεγάλη) τιμή για όλα τα φωτόνια που απορροφούν, ενώ για το πυρίτιο αυξάνει αργά με τη μείωση του μήκους κύματος των φωτονίων. Έτσι, όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία, όπως είναι το ηλιακό φως, το μέρος της εκείνο που έχει μικρό σχετικά μήκος κύματος, απορροφάται ολόκληρο σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια. Αν, π.χ. το εμπρός τμήμα του στοιχείου είναι τύπου n, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι οπές που δημιουργούνται από το φως να συναντήσουν αμέσως ελεύθερα ηλεκτρόνια (τα οποία αφθονούν στο τμήμα τύπου n ως φορείς πλειονότητας) και να επανασυνδεθούν, πριν προλάβουν να διαχυθούν προς τη ζώνη εξάντλησης της διόδου. Γι' αυτό, το εμπρός τμήμα των ηλιακών στοιχείων πυριτίου κατασκευάζεται σε πολύ λεπτό πάχος (της τάξης του μm) ώστε οι περισσότεροι φορείς, που δημιουργούνται με την απορρόφηση της ακτινοβολίας, να έχουν την ευκαιρία να πλησιάσουν προς τη ζώνη εξάντλησης και να εκτραπούν υπό την επίδραση του πεδίου της. Έτσι, καθώς οι οπές οδηγούνται προς το τμήμα τύπου p και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια προς το τμήμα τύπου n, όπου και οι μν και τα δε είναι φορείς πλειονότητας, η πιθανότητα να μη συναντήσουν αντίθετους φορείς και να μην επανασυνδεθούν (και επομένως να μπορέσουν να συμβάλλουν στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου) είναι μεγάλη. Όσο καθαρότερος είναι ένας ημιαγωγός, τόσο μεγαλύτερο μήκος διάχυσης έχουν οι φορείς του και τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχουν, ως φορείς μειονότητας, να φτάσουν στη ζώνη εξάντλησης της διόδου.

Παράλληλα, για την αύξηση της παραπάνω πιθανότητας, επιδιώκεται να αποκτήσει μεγάλο πάχος η ζώνη εξάντλησης της διόδου, που πετυχαίνεται με τη διαμόρφωση του εμπρός τμήματος σε τύπου n^* (δηλαδή με μεγάλη συγκέντρωση δοτών) ενώ στο τμήμα τύπου p η συγκέντρωση αποδεκτών είναι σχετικά μικρή (**Σχήμα 4.2**).

Συνηθισμένες τιμές για τα ηλιακά στοιχεία του εμπορίου είναι $N_0 = 5 \times 10^{19}$ ανά cm^3 και $N_A = 10^{16}$ ανά cm^3 περί-που. Όπως δείχνεται στο σχήμα, το μεγαλύτερο μέρος της ζώνης εξάντλησης της διόδου εκτείνεται προς το τμήμα τύπου p.



Απόσταση από την εμπρός όψη

Σχήμα 4.2. Τα φορτία των διεγερμένων προσμίξεων στην ένωση p-n ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου ποριτίου τύπου n^+/p . Με w συμβολίζεται το πάχος της ζώνης εξάντλησης της διόδου.

4.1.4 Ανταγωνιστικά μεγέθη

Ο επιτυχημένος σχεδιασμός ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου προϋποθέτει τη μελέτη και επιλογή των βέλτιστων μεγεθών για πολλές παραμέτρους που επιδρούν ανταγωνιστικά στην απόδοση του. Π.χ.. όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πάχος του εμπρός τμήματος του στοιχείου πρέπει να είναι πολύ λεπτό, δηλαδή να μην ξεπερνά το μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας ώστε να έχουν μεγάλη πιθανότητα να φτάσουν στην περιοχή της ζώνης εξάντλησης της διόδου. Αυτό, σε ένα στοιχείο n^+/p (δηλαδή με εμπρός τμήμα τύπου n^+ και πίσω τμήμα τύπου p) βοηθά στη διάσωση των οπών που δημιουργήσε το φως στο εμπρός τμήμα του, δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τους φορείς μειονότητας του πίσω τμήματος. Συγκεκριμένα, όσα φωτόνια απορροφούνται βαθύτερα στο τμήμα p του στοιχείου, δημιουργούν επίσης ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών, με φορείς μειονότητας τώρα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Πάλι, όμως, η ζώνη εξάντλησης δεν πρέπει, κατά μέσο όρο, να απέχει από την περιοχή αυτή περισσότερο από το μήκος διάχυσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Επομένως, η απόσταση της ζώνης εξάντλησης από την εμπρός όψη του στοιχείου καθορίζεται από τον βέλτιστο συνδυασμό των τιμών του μήκους διάχυσης των φορέων και του συντελεστή απορρόφησης του ημιαγωγού.

Επίσης, για να παράγεται μεγάλη ανοιχτό κύκλω μένη τάση V_{oc} (που συνεπάγεται μεγάλη απόδοση) πρέπει το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο στην ένωση p-n του στοιχείου να είναι ισχυρό. Δηλαδή πρέπει να υπάρχει σχετικά μεγάλη συγκέντρωση προσμίξεων αποδεκτών στο τμήμα τύπου p και δοτών στο τμήμα n . Οι μεγάλες, όμως συγκεντρώσεις προσμίξεων μειώνουν τον χρόνο ζωής των φορέων μειονότητας και προκαλούν πρόωρες επανασυνδέσεις, μειώνοντας έτσι την ένταση του φωτορεύματος, με άμεση πάλι (και ανάλογη) δυσμενή επίδραση στην απόδοση του στοιχείου.

Μία σχετικά πρόσφατη επινόηση, που έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για την παρεμπόδιση των πολλών επανασυνδέσεων των φορέων, είναι η ανάπτυξη ενός

κατάλληλου πεδίου στο πίσω τμήμα του στοιχείου, γνωστού με την ονομασία BSF (back surface field, πεδίο της πίσω επιφάνειας). Συγκεκριμένα, σε ένα στοιχείο π.χ. n^+/ρ , δημιουργείται στην ακραία ζώνη του τμήματος τύπου ρ που εφάπτεται με το πίσω ηλεκτρόδιο, μία στενή περιοχή τύπου ρ^+ , με αυξημένη συγκέντρωση αποδεκτών. Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια (φορείς μειονότητας) που δημιουργήσε η ακτινοβολία στο τμήμα τύπου ρ , εμποδίζονται με την παρεμβολή της περιοχής ρ^+ να διαχυθούν προς το πίσω ηλεκτρόδιο και να επανασυνδεθούν. Αντίθετα, εκτρέπονται πάλι προς τα εμπρός, προς τη ζώνη εξάντλησης της διόδου. Στα ηλιακά στοιχεία πυριτίου BSF, που μπορούν να είναι τύπου $n^+/\rho/\rho$ ή τύπου $\rho^+/\rho/n^+$, η πίσω περιοχή της αυξημένης συγκέντρωσης προσμίξεων είναι πολύ λεπτή. Π.χ. σε ένα στοιχείο $n^+/\rho/\rho^+$ συνολικού πάχους 250 μm , το πάχος της περιοχής τύπου ρ^+ (με 10^{18} αποδέκτες ανά cm^3 δεν ξεπερνά το 0,5 μm .

Ένα άλλο προφανές αντικείμενο συμβιβαστικής επιλογής στον σχεδιασμό των ηλιακών στοιχείων είναι οι διαστάσεις της μεταλλικής σχάρας που αποτελεί το εμπρός τους ηλεκτρόδιο. Ένα σχετικά μεγάλο πλάτος και μια πυκνή διάταξη των γραμμών του πλέγματος της σχάρας είναι καταρχήν πλεονεκτικό διότι συνεπάγεται μικρή μόνον αντίσταση για τη συλλογή των φορέων του ρεύματος, δηλαδή μικρή R_s και επομένως μικρή απώλεια από την ηλεκτρική ισχύ που παράγει το στοιχείο. Συγχρόνως, όμως, αυτό απαιτεί σχετικά μεγάλη κάλυψη της εμπρός όψης του στοιχείου από το αδιαφανές μεταλλικό υλικό του ηλεκτροδίου, που σημαίνει μείωση της ωφέλιμης επιφάνειας υποδοχής της ακτινοβολίας και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Συνήθως επιλέγεται, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, ένα αρκετά πολύπλοκο σχήμα για το εμπρός ηλεκτρόδιο, με κεντρικούς αγωγούς και πλευρικά δάκτυλα, ώστε να συμβιβάζονται ικανοποιητικά οι δύο παραπάνω ανταγωνιστικές επιπτώσεις. Όπως δείχθηκε στο σχήμα 6.1, το πλάτος των πλευρικών δακτύλων αυξάνει συνεχώς, στη διαδρομή τους από την περίμετρο προς τον κεντρικό αγωγό του εμπρός ηλεκτροδίου, καθώς συλλέγονται οι φορείς και αυξάνει η ένταση του ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η αντίσταση των δακτύλων παράλληλα με την αύξηση του ρεύματος και επομένως δεν μεγαλώνουν οι απώλειες της ηλεκτρικής ισχύος ($P=I^2R$) που παράγει το ηλιακό στοιχείο. Άλλοι κατασκευαστές διαμορφώνουν διαφορετικά το εμπρός ηλεκτρόδιο του ηλιακού στοιχείου, με τον σκοπό πάντα να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες της ηλεκτρικής ισχύος. Π.χ. έχουν κατασκευαστεί πλέγματα με ορθογωνική, κυκλική ή ακτινωτή μορφή.

Στην περίπτωση πλέγματος με μ ισοκατανομημένους αγωγούς, η τιμή της αντίστασης στην όψη του στοιχείου δίνεται αρκετά ικανοποιητικά από τη σχέση:

$$R_s = R'_s / 8\mu^2 \quad (4.1)$$

όπου R'_s είναι εδώ η αντίσταση φύλλου του ημιαγωγού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο. Π.χ. σε ένα συνηθισμένο ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου τύπου n^+/ρ , με αντίσταση φύλλου $R'_s=50\Omega/$ και με πλέγμα

ηλεκτροδίου από 6 αγωγούς, η αντίσταση σειράς στην εμπρός όψη του είναι περίπου:

$$R_s = 50/8 \times 6^2 = 0,27 \Omega \quad (4.2)$$

4.1.5 Άμορφο πυρίτιο

Είδαμε παραπάνω ότι για να έχει ικανοποιητική συμπεριφορά ως υλικό κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων, το πυρίτιο πρέπει να είναι μονοκρυσταλλικό ή, έστω, πολυκρυσταλλικό αλλά να αποτελείται από κόκκους μεγάλου μεγέθους. Είναι επομένως καταρχήν παράδοξο ότι το άμορφο πυρίτιο, δηλαδή ένα υλικό με τόσο μεγάλη αταξία στη δομή του ώστε να μην υπάρχουν διακριτά όρια κόκκων, θα μπορούσε να ήταν κατάλληλο για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων.

Όπως, όμως, διαπιστώθηκε το άμορφο πυρίτιο (συμβολίζεται συνήθως α-Si) είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Π.χ. το ενεργειακό διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται, ανάλογα με τον τρόπο της παρασκευής του, από 1,2 μέχρι 1,6 eV περίπου, σε σύγκριση με το 1,1 eV του κρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα του α-Si για φωτοβολταϊκές εφαρμογές σε ηλιακά στοιχεία είναι ότι ο συντελεστής απορρόφησης της ακτινοβολίας ξεπερνά το 10⁴, είναι δηλαδή πολύ μεγαλύτερος από του κρυσταλλικού πυριτίου. Ωστε, ως προς την ιδιότητα αυτή, το α-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου και αρκεί ένα λεπτό στρώμα, πάχους λίγων μm, για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων.

Το α-Si παρασκευάζεται με σχετικά ανέξοδες μεθόδους, σε σύγκριση με το κρυσταλλικό Si, π.χ. με συμπύκνωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης αέριων πυριτιούχων ενώσεων. Η άμορφη όμως κατασκευή του, έχει σαν αποτέλεσμα πολλοί από τους χημικούς δεσμούς στο α-Si να είναι ατελείς ή στρεβλωμένοι, που συνεπάγεται μειονεκτικές ηλεκτρικές ιδιότητες για το υλικό. Π.χ. οι φορείς του α-Si έχουν μικρή κινητικότητα και μικρό μήκος διάχυσης.

Πολύ σημαντική βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του α-Si γίνεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που αποτελούν τέρματα για τους ατελείς δεσμούς και χαλαρώνουν τον ιστό του σώματος (**Σχήμα 4.3**). Το υδρογονούχο α-Si περιέχει συνήθως 10-40% υδρογόνο, σε ατομική αναλογία, και είναι με τη γενική έννοια, ένα άμορφο κράμα πυριτίου και υδρογόνου. Συμβολίζεται συχνά ως α-Si: H. Ανάλογα, και ίσως καλύτερα αποτελέσματα, έχει η προσθήκη ατόμων φθορίου αντί για άτομα υδρογόνου.



Σχήμα 4.3. Σχηματική απεικόνιση (α) του κρυσταλλικού πυριτίου, (β) του άμορφου πυριτίου με ατελείς και στρεβλωμένους δεσμούς, (γ) του υδρογονούχου άμορφου πυριτίου με συμπληρωμένους και χαλαρωμένους τους δεσμούς του. Οι μαύροι κύκλοι δείχνουν τις θέσεις των ατόμων Si και οι άσπροι τις θέσεις των ατόμων H.

Η εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων από α-Si :H έχει ήδη αρχίσει από το 1983, κυρίως στην Ιαπωνία, σε μορφή διόδων Σότκου με απόθεση του πυριτίου πάνω σε λεπτά φύλλα από ανοξειδωτο χάλυβα. Η απόδοση τους είναι περίπου 5%, αλλά πιστεύεται ότι με τις κατάλληλες βελτιώσεις η απόδοση των ηλιακών στοιχείων άμορφου πυριτίου θα φθάσει μελλοντικά το 15%. Παράλληλα, από αρκετό καιρό εξετάζεται ερευνητικά η δυνατότητα κατασκευής φτηνών ηλιακών στοιχείων κρυσταλλικού ή άμορφου πυριτίου με διάφορες νέες τεχνολογίες, όπως ο σχηματισμός του πυριτίου σε μορφή μεμβράνης που επιπλέει η τραβιέται κατευθείαν από το τήγμα, η απόθεση πάνω σε κεραμικά υποστρώματα ή σε γραφίτη κ.λ.π.

4.2 Ηλιακά στοιχεία θειούχου καδμίου.

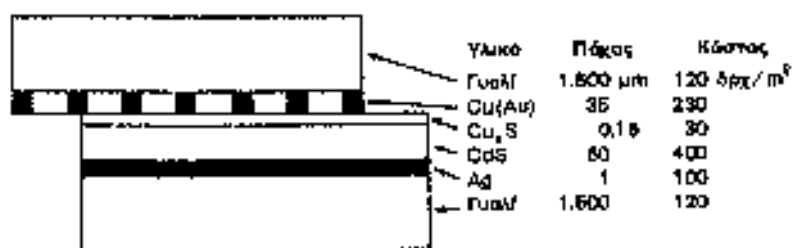
Το θειούχο κάδμιο (CdS) είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο και σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο ($E_g = 2,45 \text{ eV}$), που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές οπτοηλεκτρονικές εφαρμογές, όπως για την κατασκευή φωτοκυττάρων, ενισχυτών φωτός, φωσφοριστών, ανιχνευτών ακτινοβολίας κ.λ.π. Το CdS συμπεριφέρεται συνήθως σαν ημιαγωγός τύπου n. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη ξένων ατόμων-δοτών.

Παλαιότερα, είχε θεωρηθεί ότι η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων από CdS, με εμπρός ηλεκτρόδιο από χαλκό, οφειλόνταν αποκλειστικά στο CdS, γι' αυτό επικράτησε η ονομασία του ως στοιχεία θειούχου καδμίου. Σήμερα, είναι γνωστό ότι οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος του CdS και ενός λεπτού στρώματος θειούχου χαλκού, που σχηματίζεται με την επίδραση του CdS στον Cu, από τον οποίο, όπως είπαμε, είναι κατασκευασμένο το εμπρός ηλεκτρόδιο. Η σύσταση του στρώματος αυτού αποδίδεται συνήθως με τον χημικό τύπο Cu_2S , αλλά σωστότερο είναι να γράφεται Cu_xS , όπου το x κυμαίνεται από 1,96 μέχρι 1,99. Το Cu_xS είναι επίσης ημιαγωγός, με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,2 eV, και έχει χαρακτήρα τύπου p. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές, χωρίς την προσθήκη προσμίξεων.

Το ενεργειακό διάκενο του Cu_xS είναι αρκετά ευνοϊκό για την απορρόφηση των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει όμως πολύ μικρό μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας, περίπου 50nm, και επομένως το πάχος του στρώματος του

πρέπει να είναι αντίστοιχα μικρό π.χ. να μην ξεπερνά τα 150 nm (δηλαδή 015μm). Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε, το ενεργειακό διάκενο του CdS είναι σχετικά μεγάλο, και έτσι στο στρώμα του η απορρόφηση φωτονίων είναι μικρή. Το αποτέλεσμα είναι ότι η πυκνότητα του παραγομένου φωτορεύματος στα ηλιακά στοιχεία Cu_xS/CdS , δηλαδή τα ampères του ρεύματος ανά μονάδα επιφάνειας του στοιχείου, είναι μικρή, η μισή περίπου σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

Οι παραγόμενες σήμερα ποσότητες ηλιακών στοιχείων Cu_xS/CdS είναι ακόμη μικρές, αλλά πιστεύεται ότι υπάρχουν σημαντικές μελλοντικές προοπτικές διότι μπορούν να κατασκευασθούν από σχετικά φτηνά υλικά και με απλές μεθόδους. Το (Σχήμα 4.4.) δείχνει μία τέτοια διάταξη, με κόστος υλικών περίπου 1.000 δρχ. ανά m^2 που είναι πραγματικά ασήμαντο σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.



Σχήμα 4.4. Διαστάσεις και κόστος των συστατικών ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου Cu_xS/CdS . Η οχάρα του εμπρός ηλεκτροδίου είναι από επιχάλκωμένο χρυσό. Το πίσω ηλεκτρόδιο είναι από άργυρο. Το εμπρός γυαλί και ηλεκτρόδιο δείχνονται μετατοπισμένα για να γίνει εμφανέστερη η δομή του στοιχείου.

Τα ηλιακά στοιχεία Cu_xS/CdS έχουν αρκετά ικανοποιητική απόδοση, περίπου 10%, αλλά υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις για τη σταθερότητα τους, ιδίως στην επίδραση της υγρασίας. Δεν πιστεύεται δηλαδή ότι εξασφαλίζουν την πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 20 χρόνια) που αναμένεται για τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

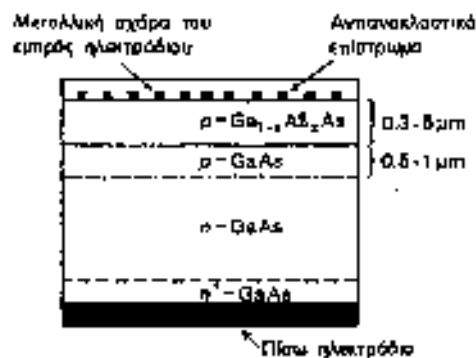
4.3 Ηλιακά στοιχεία αρσενικούχο γαλλίου.

Το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV. Όπως δείχθηκε στο σχήμα 5.12 η τιμή αυτή είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, με θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Επιπλέον, το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ερευνητική προσπάθεια που έχει αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία είναι έντονη και πιστεύεται ότι σύντομα το αρσενικούχο γάλλιο θα βρει σημαντικές εφαρμογές, κυρίως στα ηλιακά στοιχεία

συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, αν και το κόστος του είναι μεγαλύτερο από το πυρίτιο, περίπου πενταπλάσιο. Στα συγκεντρωτικά όμως φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανά μονάδα επιφανείας ηλιακού στοιχείου είναι αρκετά μεγάλη, αφού δέχονται αυξημένη πυκνότητα ακτινοβολίας, και επομένως δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία το κόστος του ηλιακού στοιχείου.

Το σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο του GaAs έχει σαν αποτέλεσμα την καλή του συμπεριφορά στις κάπως υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό είναι μια ιδιότητα με ιδιαίτερη επίσης σπουδαιότητα για τα συγκεντρωτικά συστήματα, όπου τα ηλιακά στοιχεία συχνά υπερθερμαίνονται από την ισχυρή ακτινοβολία που δέχονται. Συγκεκριμένα, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200°C. Η αντίστοιχη μείωση στα ηλιακά στοιχεία Si παρατηρείται ήδη στους 120°C, ενώ για τα περισσότερο ευαίσθητα στοιχεία CdS στους 80°C.

Τις μεγαλύτερες αποδόσεις, από τα ηλιακά στοιχεία GaAs, έχουν δώσει τα στοιχεία ετεροενώσεων με ημιαγωγία κράματα του συστήματος $Ga_{1-x}Al_xAs$ όπου το x παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 (Σχήμα 4.5). Σε πειραματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία της μορφής αυτής μετρήθηκαν αποδόσεις περίπου 24% που είναι πολύ κοντά στο θεωρητικό τους μέγιστο (26-27%).



Σχήμα 4.5. Σχηματική απεικόνιση ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου $Ga_{i-x}Al_xAs/GaAs$. Χαρακτηρίζεται συνήθως ως στοιχείο ετεροένωσης, στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για ομοένωση p-GaAs/n-GaAs, αφού και τα δύο τμήματα της ένωσης είναι από GaAs, με ετεροδομή $Ga_{i-x}Al_xAs/GaAs$ στο τμήμα p.

Εκτός από το GaAs, εξετάζονται και άλλες ημιαγωγίμες χημικές ενώσεις του τύπου III-V, δηλαδή χημικές ενώσεις τρισθενών και πεντασθενών ατόμων, ως υποψήφια υλικά κατασκευής ηλιακών στοιχείων. Πολύ ενδιαφέρον από την άποψη αυτή είναι το φωσφορούχο ίνδιο (InP). Έχει άμεσο ενεργειακό διάκενο 1,35eV, δηλαδή, όπως και στο GaAs, υπάρχει μικρή μόνον απόκλιση ως προς τη βέλτιστη τιμή του ενεργειακού διακένου. Η απόκλιση όμως αυτή δεν έχει μεγάλη σημασία για επίγειες φωτοβολταϊκές εφαρμογές, διότι έτσι και αλλιώς στην ενδιάμεση περιοχή (γύρω από το 0,91 - 0,92 μm) το σύνολο σχεδόν των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την ατμοσφαιρική υγρασία και δεν φτάνει μέχρι την επιφάνεια του στοιχείου.

Επίσης, το InP έχει πολύ καλή προσαρμογή διαστάσεων στο κρυσταλλικό πλέγμα με το CdS, και πιστεύεται ότι μπορεί να υποκαταστήσει με επιτυχία τον θειούχο χαλκό στο στοιχείο ετεροένωσης Cu_xS/CdS . Ερευνητικά, έχουν ήδη κατασκευαστεί ηλιακά στοιχεία ετεροένωσης InP/CdS, μονοκρυσταλλικής δομής, με απόδοση 15% σε συνθήκες AM1, ενώ όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απόδοση των στοιχείων Cu_xS/CdS φτάνει σήμερα μέχρι μόνον 10%, περίπου.

4.4 Συνδυασμένες διατάξεις ηλιακών στοιχείων.

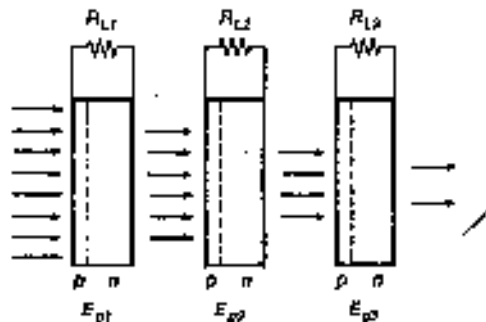
Ένα βασικό μειονέκτημα της ηλιακής ακτινοβολίας, ως ενεργειακής πηγής, είναι η μικρή πυκνότητα της ισχύος της, που έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες από δαπανηρά ηλιακά στοιχεία για την παραγωγή μιας αξιόλογης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Μία μέθοδος για τη μερική αντιμετώπιση του προβλήματος, με αναπόφευκτη όμως αύξηση της πολυπλοκότητας της φωτοβολταϊκής διάταξης, είναι π.χ. η τοποθέτηση των ηλιακών στοιχείων σε κινητά πλαίσια που περιστρέφονται και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου, ώστε να δέχονται κάθετα (και επομένως στην πυκνότερη μορφή της), τη δέση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ριζικότερη λύση είναι η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα, και η εστίαση της πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Στην περίπτωση αυτή, ιδίως εάν η συγκέντρωση είναι αρκετά μεγάλη, π.χ. περισσότερο από 10 ήλιους, μπορεί να απαιτείται τεχνητή ψύξη των ηλιακών στοιχείων, διότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αύξηση της θερμοκρασίας τους συνεπάγεται ανάλογη μείωση της απόδοσης τους. Πάντως, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιείται η επαγόμενη θερμότητα π.χ. για θέρμανση νερού ή χώρων ή σε βιομηχανικές εφαρμογές, και έτσι να γίνεται πληρέστερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Υπολογίζεται ότι μ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η παράλληλη μετατροπή του 10% της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια και άλλου 40% σε χρήσιμη θερμική ενέργεια.

Μία άλλη πρόταση, ισπανικής επινόησης, είναι η υποδοχή της ακτινοβολίας και στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου, έχοντας διαμορφώσει και τα δύο ηλεκτρόδια του σε σχήμα σχάρας. Η εμπρός όψη του στοιχείου αντικρίζει κατευθείαν τον ήλιο, ενώ η πίσω όψη του δέχεται το φως που ανακλάται σε κάτοπτρο ή συνηθέστερα, που διαχέεται σε μία λευκή επιφάνεια κάτω από τη διάταξη. Σε ηλιακά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου δύο όψεων τύπου $n^+/p/p^+$ ή $p^+/n/n^+$ μετρήθηκε ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι περίπου 50% μεγαλύτερη, σε σύγκριση με όμοια στοιχεία μιας όψης. Σε ένα φωτοβολταϊκό σταθμό κοντά στη Μαδρίτη λειτουργεί με επιτυχία από το 1985 μία διάταξη στοιχείων δύο όψεων συνολικής ισχύος 40kW_p.

Είδαμε παραπάνω ότι η μέγιστη θεωρητική απόδοση ενός ηλιακού στοιχείου, κατασκευασμένου από ημιαγωγό με το βέλτιστο ενεργειακό διάκενο, δεν μπορεί να ξεπεράσει το 25% περίπου, ένα όριο που επιβάλλεται αναγκαστικά από την αντιστοιχία ανάμεσα στην ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας και στο ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Ο βαθμός της φωτοβολταϊκής αξιοποίησης όμως της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη συνδυασμένη

χρησιμοποίηση ηλιακών στοιχείων διαφορετικών ενεργειακών διακένων. Ο ένας τρόπος είναι να αναλύεται η ηλιακή ακτινοβολία με την βοήθεια πρισμάτων ή φίλτρων, και στη συνέχεια οι χωριστές φασματικές δέσμες να κατευθύνονται σε διαφορετικά φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από ημιαγωγούς με το κατάλληλο ενεργειακό διάκενο για την κάθε δέση. Σε μία πειραματική διάταξη, η συγκεντρωμένη ακτινοβολία 165 ήλιων αναλύθηκε σε δύο δέσμες με ενέργειες φωτονίων κάτω και πάνω από 1,7 eV που κατευθύνθηκαν αντίστοιχα σε ένα στοιχείο πυριτίου ($E_g = 1,1$) και σε ένα στοιχείο ετεροένωσης AlAs/G ($E_g = 1,7\text{eV}$) Η θεωρητική απόδοση της διάταξης υπολογίστηκε 31 % και μετρήθηκε πειραματικά 28,5%. Από το ποσοστό αυτό, το 11% οφείλεται στο στοιχείο Si και το υπόλοιπο 17,4% στο στοιχείο της ετεροένωσης.

Ο άλλος τρόπος είναι η τοποθέτηση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων στη σειρά, το ένα πίσω από το άλλο, με βαθμιαία μειούμενο ενεργειακό διάκενο (**Σχήμα 4.6.**) Τα σχετικά μικρής ενέργειας φωτόνια, που διέρχονται άθικτα από το ένα στοιχείο, απορροφούνται στα επόμενα στοιχεία περιορίζοντας τη θερμική μετατροπή στο ελάχιστο. Π.χ. με τη χρησιμοποίηση τριών στοιχείων, ενεργειακού διακένου 1,75 eV, 1,1 eV και 0,7eV, υπολογίζεται ότι η απόδοση της διάταξης θα φθάνει το 35% σε συνθήκες AMO. Με πολυπλοκότερη διάταξη, π.χ. με τη χρησιμοποίηση 24 διαδοχικών στοιχείων με ενεργειακά διακένα από 0,8 eV μέχρι 3,2 eV, ανά 0,1 eV, η απόδοση μετατροπής συγκεντρωμένης ακτινοβολίας 1000 ήλιων φτάνει θεωρητικά το 65%. Οι συνδυασμένες αυτές φωτοβολταϊκές διατάξεις, που εκμεταλλεύονται ολόκληρο σχεδόν το χρωματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζονται χαρακτηριστικά «στοιχεία ουράνιου τόξου».



Σχήμα 4.6. Συνδυασμένη διάταξη 3 ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων, κατασκευασμένων από ημιαγωγούς διαφορετικού ενεργειακού διακένου ($E_{g1} > E_{g2} > E_{g3} = 0$) με διαδοχική διέλευση και βαθμιαία απορρόφηση της ακτινοβολίας.

Κεφάλαιο 5.

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

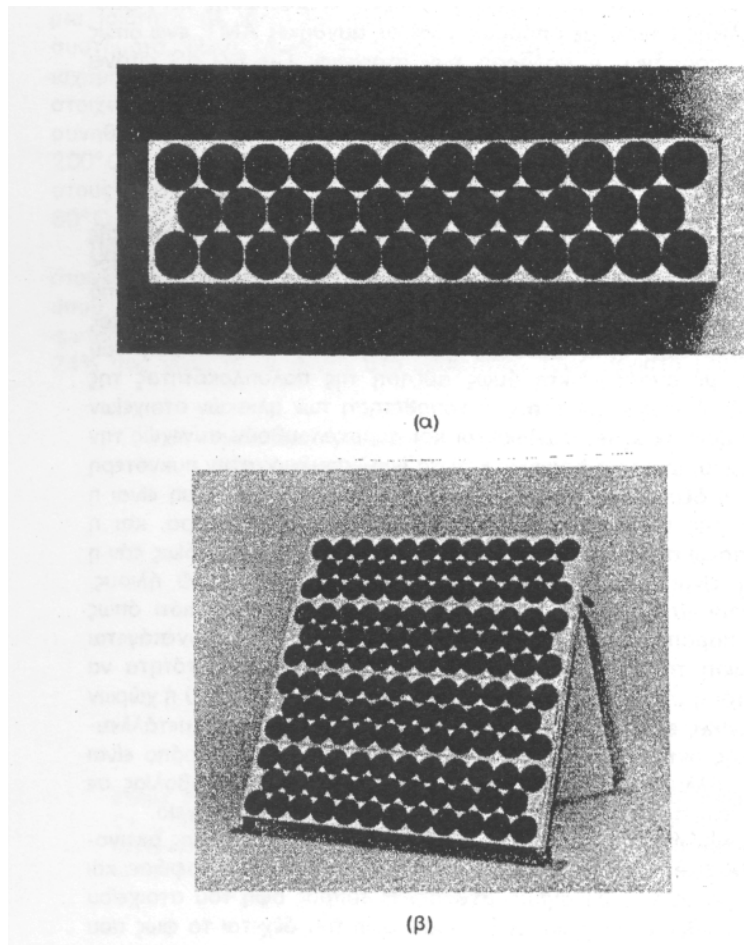
5.1 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Το βασικό και χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η **φ/β γεννήτρια**, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φ/β ηλιακά στοιχεία. Και εδώ, όπως είδαμε ότι συμβαίνει γενικότερα στη φ/β ορολογία χρησιμοποιούνται και άλλες ονομασίες, όπως ηλιακή μπαταρία, ηλιακή ηλεκτρογεννήτρια κλπ.

Η τάση όμως και η ισχύς των φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, στο σχήμα 5.9 είδαμε ότι η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φ/β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5V περίπου και ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μέχρι μόλις 0,4W περίπου. Γι' αυτό, τα φ/β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φ/β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ενιαίο πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης. Π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει τάση περίπου 15-20V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες, για τη φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου (**Σχήμα 5.1**).

Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα σε μορφή σάντουιτς. Δηλαδή, τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού.

Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το **φ /β πλαίσιο (module)**, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φ/β γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των φ/β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν (**πίνακας 5.1**).



Σχήμα 5.1. (α) Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο του εμπορίου, αποτελούμενο από 35 ηλιακά

στοιχεία σε σύνδεση στη σειρά. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά σε συμβατική ακτινοβολία

$1000\text{W}/\text{m}^2$ και θερμοκρασία 20°C είναι: Ισχύς αιχμής $P_a = 40\text{W}$ με τάση $V_m = 17,3\text{V}$ και

ένταση ρεύματος $I_m = 2,31\text{A}$. Επίσης, ανοιχτοκυκλωμένη τάση $V_{oc} = 21,0\text{V}$ και

βραχυκυκλωμένη ένταση ρεύματος $I_{sc} = 2,6\text{A}$, Στη θερμοκρασία 20°C , ο συντελεστής απόδοσης

του πλαισίου είναι $\eta_{\pi} = 0,76\%$. Έχει διαστάσεις $122\text{ cm} \times 30,5\text{ cm}$, εμβαδόν επιφάνειας

$S = 0,37\text{m}^2$ περίπου, και βάρος $5,7\text{kg}$. (β) Τέσσερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που είναι ενωμένα

σε κοινή συσκευασία και σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος αιχμής 160W και

διαστάσεων $122\text{ cm} \times 122\text{ cm}$.

Τα φ/β πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχύεις. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από περίπου 4V μέχρι 22V , και ένταση ρεύματος από περίπου $0,5\text{A}$ μέχρι $2,5\text{A}$. Πριν βγουν στο εμπόριο, τα φ/β πλαίσια υποβάλλονται συνήθως σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με θερμικές και

μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και σε δοκιμασία 5ήμερης συνεχούς παραμονής σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 95% και θερμοκρασίας 95° C, για να ελεγχθεί η στεγανότητα τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Παράδειγμα της διαμόρφωσης του κόστους των συνηθισμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων του εμπορίου.

Υλικά και εργασίες	Κόστος ανά μονάδα επιφάνειας του φ/β πλαισίου
	110,00 €/m ²
Ηλιακά στοιχεία	3,00 €/m ²
	2,00 €/m ²
Εμπρός φύλλο από γυαλί	6,00 €/m ²
	2,50 €/m ²
Πλαστικό συγκολλητικό φύλλο του γυαλιού	1,50 €/m ²
	15,00 €/m ²
Πλάτη και περιμετρική ταινία από αλουμίνιο	
Στεγανωτική ταινία από ελαστικό σιλικόνης	
Ηλεκτρικές συνδέσεις και προστατευτική διόδος	
Εργατικά συναρμολόγησης, ελέγχου και συσκευασίας	
Σύνολο	140 €/m²

5.2 Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Το κάθε φ/β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κλπ.), που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, όμοια με τη σχέση (5.1), ο συντελεστής απόδοσης του φ/β πλαισίου (η_{π}) εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φ/β πλαίσιο (P_n), προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του S. Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E που παράγει το φ/β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή :

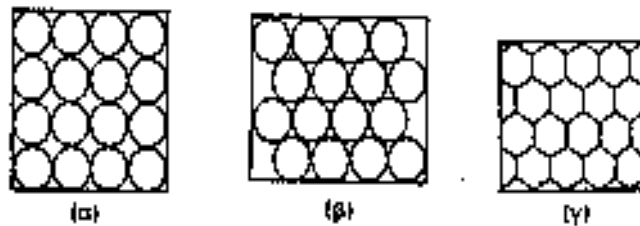
$$\eta_{\pi} = \frac{P_{\pi}(\text{W})}{H(\text{W}/\text{m}^2) \times S(\text{m}^2)} = \frac{E(\text{kWh})}{I(\text{kWh}/\text{m}^2) \times S(\text{m}^2)} \quad (5.1)$$

όπου Π είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του φ/β πλαισίου.

Η τιμή του η_{π} , είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνον από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (η), αλλά και από τον **συντελεστή κάλυψης** του πλαισίου (σ_{κ}), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Βρίσκουμε εύκολα ότι θα ισχύει η σχέση:

$$\eta_{\pi} = \eta \times \sigma_{\kappa} \quad (5.2)$$

Η τιμή του σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78, για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες στοιχημένες σειρές, και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0,98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία (**Σχήμα 5.2**).



Σχήμα 5.2. Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης είναι περίπου 0,78 για την περίπτωση (α), 0,88 για την περίπτωση (β), και 0,98 για τα εξαγωνικά στοιχεία της περίπτωσης (γ).

5.3 Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης.

Η απόδοση των φ/β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φ/β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία, συνήθως 20° C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι αφενός, και κυρίως, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30°C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο, στους υπολογισμούς μας, παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30°C.

Είδαμε ότι για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_θ , με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα ϕ/β πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των ϕ/β πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο $\eta_n \times \sigma_\theta$.

Στη συμβατική θερμοκρασία ο σ_θ είναι ίσος με τη μονάδα, και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Π.χ. στην Αθήνα, τον μήνα Ιούλιο, που έχουμε μέση θερμοκρασία του αέρα, στις φωτεινές ώρες της ημέρας, σχεδόν 30° C, η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του ϕ/β πλαισίου θα είναι περίπου 60° C και επομένως η τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης του ϕ/β πλαισίου θα είναι περίπου:

$$\sigma_\theta = 1,00 - (60 - 20) \times 0,005 = 0,8$$

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των ϕ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των ϕ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να τη ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των ϕ/β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη.

Όταν η ϕ/β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα ϕ/β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου **συντελεστή καθαρότητας** (σ_p), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο ϕ/β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια του είναι εντελώς καθαρή.

Η τιμή του σ_p είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του ϕ/β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Έτσι, όποτε είναι απαραίτητο, ως συντελεστή απόδοσης των ϕ/β πλαισίων για τους υπολογισμούς μας, παίρνουμε το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης η_π που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία σ_θ και για τη ρύπανση σ_p .

Δηλαδή, η σχέση (5.1) παίρνει τη γενικότερη μορφή:

$$E = \Pi \times S \times \eta_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho} \quad (5.3)$$

Για παράδειγμα ας πάρουμε ένα φ /β πλαίσιο του εμπορίου, όπως του (σχήματος 5.1,) με επιφάνεια διαστάσεων $S = 121,9\text{cm} \times 30,5\text{cm} = 0,37\text{m}^2$, με ενδεικτικό συντελεστή απόδοσης $\eta_{\pi}=0,76\%$, τοποθετημένο στην Αθήνα με κλίση 20° , και ας υποθέσουμε ότι η ρύπανση της επιφανείας του είναι ασήμαντη, δηλαδή $\sigma_{\rho} = 1,00$. Η μέση ηλεκτρική ενέργεια E που θα παράγει το φ/β πλαίσιο σε μια ημέρα π.χ., του Ιουλίου, που αντιστοιχεί μέση ηλιακή ακτινοβολία $\Pi = 6,70\text{kWh}/\text{m}^2 \times d$, και μέση θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος 30°C , θα είναι, σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$E \approx \Pi \times S \times \eta_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}$$

$$= 6,70 \times 0,37 \times \frac{0,76}{100} \times 0,80 \times 1,00 = 0,20 \text{ kWh/d}$$

5.4 Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Συχνά, δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων κλπ.), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής (P_a), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το φ/β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ηλίου, δηλαδή $1 \text{ kW}/\text{m}^2$.

Οι μονάδες ισχύος, που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός φ/β πλαισίου, μιας ολόκληρης φ/β εγκατάστασης ή και ενός ηλιακού στοιχείου, ονομάζονται συχνά βατ αιχμής (W_p , peak watts) και κιλοβάτ αιχμής (kW_p). Δηλαδή, χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός (άλλωστε ουσιαστικά είναι το ίδιο πράγμα), όπως για το μέτρο της επιφάνειας των φ/β στοιχείων που γνωρίσαμε προηγουμένως. Από τη σχέση (7.1) είναι φανερό ότι:

$$P_a(\text{kW}_p) = 1 (\text{kW}/\text{m}^2) \times S(\text{m}^2) \times \eta_{\pi} \quad (5.4)$$

και, επομένως, βρίσκουμε εύκολα ότι σωστά ο κατασκευαστής του φ/β πλαισίου του παραδείγματος μας το χαρακτηρίζει με ισχύ αιχμής $40 W_p$, κάνοντας και ένα ανεκτό στρογγύλεμα προς τα πάνω, για προφανείς εμπορικούς λόγους.

Στην περίπτωση, λοιπόν, που γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής P_a , για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του φ/β πλαισίου, αντί για την παραπάνω σχέση χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη σχέση:

$$E(\text{kWh/d}) = I_T(\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}) \times \frac{P_a(\text{kW}_p)}{I(\text{kW/m}^2)} \times \sigma_\theta \times \sigma_p \quad (5.5)$$

Πάντως, ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι για να έχουμε την πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς ενός φ/β πλαισίου, χρειάζονται οι τιμές των παρακάτω 9 τεχνικών χαρακτηριστικών του, όπως περίπου είχαμε δει και για τα ηλιακά στοιχεία:

1. Ισχύς αιχμής (P_a), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
2. Ανοιχτοκυκλωμένη τάση (V_{oc}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
3. Βραχυκυκλωμένη ένταση ρεύματος (I_{sc}), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
4. Τάση (V_m), στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
5. Ένταση ρεύματος (I_m), στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
6. Συντελεστής πλήρωσης (FF), που ορίζεται ως ο λόγος του γινομένου $V_m \times I_m$ προς το γινόμενο $V_{oc} \times I_{sc}$
7. Συντελεστής απόδοσης (η_p), σε συμβατική θερμοκρασία και συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης (σ_θ).
8. Συντελεστής κάλυψης (σ_k).
9. Διηλεκτρική αντοχή, δηλαδή η ελάχιστη τάση που προκαλεί ηλεκτρική διάσπαση ανάμεσα στα ηλιακά στοιχεία και στο μεταλλικό περίβλημα του φ/β πλαισίου.

5.5 Φωτοβολταϊκά πανέλα και συστοιχίες.

Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το **φ/β πανέλο** (panel). Όπως και το πλαίσιο, έχει επίσης συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση στη φ/β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πανέλο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο), που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους.

Ο αριθμός των πλαισίων ενός πανέλου είναι τόσος, ώστε οι διαστάσεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο για τη μεταφορά και την τοποθέτηση του στη φ/β εγκατάσταση. Π.χ. το πανέλο του **(σχήματος 5.1)** αποτελείται από 4 φ/β πλαίσια και έχει συνολικές διαστάσεις 122cm x 122cm και συνολικό βάρος περίπου 23kg. Δηλαδή μπορεί να μεταφερθεί εύκολα από έναν τεχνίτη.

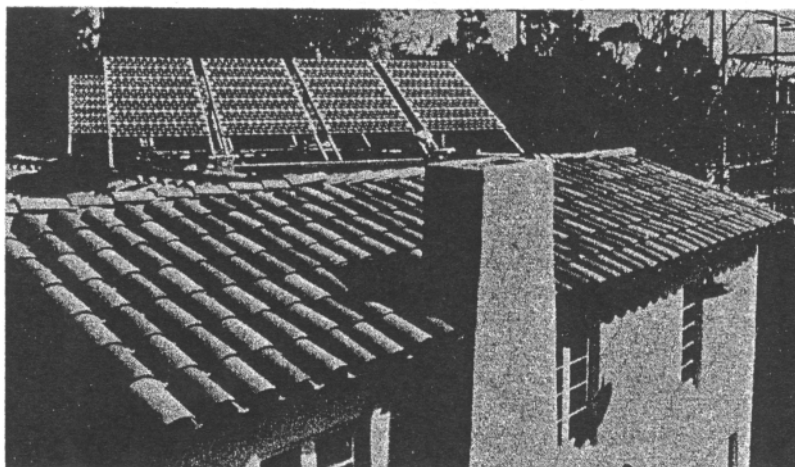
Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φ/β συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και στα πανέλα ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πανέλα, να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Έτσι, αν ένα φ/β στοιχείο σκιαστεί (π.χ. από ένα περαστικό πουλί ή από τις ακαθαρσίες που μπορεί να αφήσει) ή αν πάθει βλάβη (π.χ. μια διακοπή στους

ηλεκτρικούς αγωγούς) δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα, όπως θα συνέβαινε αν όλα τα φ/β στοιχεία ήταν σε σύνδεση στη σειρά.

Η φ/β γεννήτρια μιας μικρής φ/β εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από 1 μόνο πλαίσιο ή πανέλο. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων φ/β πλαισίων (ή πανέλων), τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης, π.χ. ξύλινα ή μεταλλικά κριώματα, και ονομάζονται φ/β συστοιχίας (arrays). Η σύνδεση των φ/β πλαισίων, στη σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μιας φ/β γεννήτριας δεν μεταβάλλει την ισχύ της, αφού η όποια αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος που παράγει.

Στις μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις, π.χ. συνολικής ισχύος αιχμής πάνω από 20kW_p , πολλές φ/β συστοιχίες σχηματίζουν ένα **υποσυγκρότημα συστοιχιών** (array subfield) και το σύνολο των υποσυγκροτημάτων αποτελεί το **συγκρότημα συστοιχιών** (array field) ή το **φ/β πάρκο** του φ/β σταθμού. Εδώ, ειδικότερα, θα ασχοληθούμε με τις συνηθισμένες φ/β εγκαταστάσεις που αποτελούνται από σταθερούς επίπεδους συλλέκτες και δέχονται φυσικό ηλιακό φως, δηλαδή χωρίς τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας (**Σχήμα 5.3.**).

Βλέπουμε ότι κάθε φ/β εγκατάσταση έχει σπονδυλωτή συγκρότηση από φ/β πλαίσια, πανέλα ή συστοιχίες, που το πλήθος τους (και η συνολική επιφάνειά τους) καθορίζεται από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που επιδιώκεται να παραχθεί. Η δομή αυτή επιτρέπει την εύκολη επέκταση των φ/β εγκαταστάσεων, με την προσθήκη νέων συλλεκτών, για την αντιμετώπιση των αναγκών που θα προέλθουν από ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης.



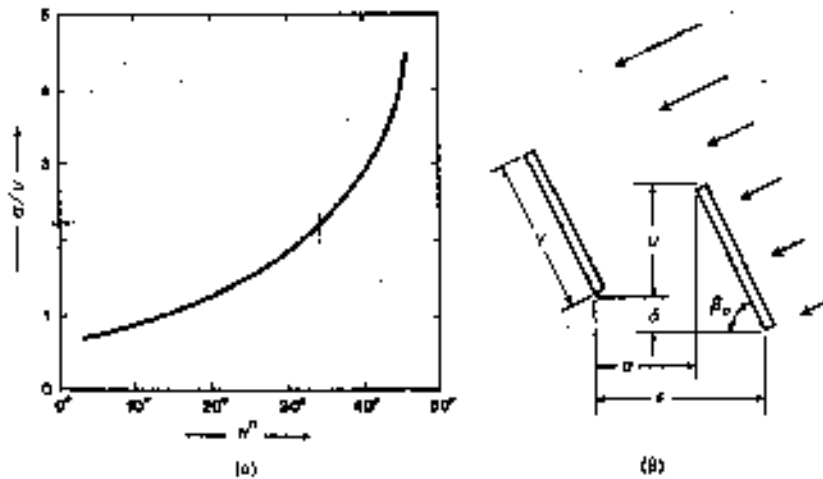
Σχήμα 5.3. Παράδειγμα τοποθέτησης μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας στη στέγη ενός σπιτιού με κλίση 32° και προσανατολισμό προς τον Νότο. Αποτελείται από 56 φωτοβολταϊκά πλαίσια κατανομημένα σε 8 πανέλα των 7 πλαισίων, με συνολική ισχύαιχμής $2,24\text{kW}_p$. Το καλοκαίρι, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση της φωτογραφίας έχει μηνιαία ηλεκτρική παραγωγή περίπου 260kWh , που συνήθως επαρκεί για την κατανάλωση μιας μέσης οικογένειας.

Η τοποθέτηση των φ/β πλαισίων και των φ/β πανέλων, μόνων τους ή σε συστοιχίες, γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους και κριώματα, σε γήπεδα και πλαγιές λόφων ή σε άλλους ελεύθερους χώρους, με τρόπο που να μη σκιάζονται από τα γύρω δέντρα, κτίρια, βουνά κλπ. Κάθε φ/β πλαίσιο πρέπει να έχει ανοικτό οριζοντα. Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος π° , η προϋπόθεση του ανοικτού οριζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β_E) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων, ικανοποιεί μέσα σε μια αζιμούθια γωνία από -60° μέχρι $+60^{\circ}$ προς το Νότο, τη σχέση:

$\beta_E \leq 48^{\circ} - \pi^{\circ}$	(5.6)
-----------------------------------------	-------

Π.χ.. στην Αθήνα, που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38° , η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις 10° .

Ειδικότερα, το διάγραμμα του **(σχήματος 5.4)** μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις φ/β συστοιχίες, ώστε η μία σειρά να μη σκιάζει αισθητά την επόμενη. Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές (σ) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη (υ).



Σχήμα 5.4. α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης σ ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας προς την επικάλυψη του ύψους του ν , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ϕ , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, β) Η έννοια των μηκών α , β , γ , δ και ϵ , και της γωνίας της κλίσης β_σ , για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες.

Αν γ είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του συλλέκτη, δηλαδή του ϕ/β πλαισίου ή του πανέλου), β είναι η κλίση του, και δ είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών, τότε το ν δίνεται προφανώς από τη σχέση:

$$\nu = \gamma \eta \mu \beta_\sigma - \delta \quad (5.7)$$

Στη συνέχεια, βρίσκουμε με τη βοήθεια του διαγράμματος την αντίστοιχη τιμή του σ , και από τη σχέση:

$$\epsilon = \alpha + \gamma \sigma \eta \nu \beta_\sigma \quad (5.8)$$

υπολογίζουμε το ϵ , δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών.

5.6 Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Πέρα από τις διάφορες διορθώσεις, που αναφέραμε παραπάνω ότι παίρνουμε συνήθως υπόψη στον υπολογισμό της επιφάνειας των ϕ/β συλλεκτών (θερμοκρασίας, ρυπαρότητας), πρέπει επίσης να προνοήσουμε για τις μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα ϕ/β πλαίσια στις ϕ/β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του ϕ/β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κλπ.). Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες, απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Στο Διάγραμμα 3, που βρίσκεται στο τέλος της εργασίας, δίδεται ένα ποσοτικό παράδειγμα της παραγωγής, της ροής και των απωλειών της ενέργειας σε μια ϕ/β εγκατάσταση.

Εξάλλου η τιμή του συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αφορά στις συνθήκες τάσης-έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φ/β συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση, και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης π.χ. περίπου του 20% ως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο. Τέλος, λόγω της φθοράς στα φ/β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% ως 2% για κάθε έτος.

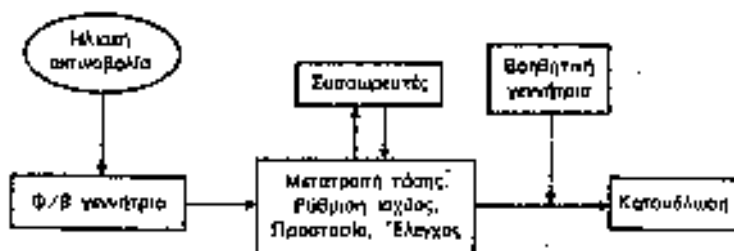
Κεφάλαιο 6.

Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

6.1. Η συγκρότηση του συστήματος.

Η συνηθέστερη, αλλά και ίσως η πληρέστερη, εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η κατασκευή **αυτόνομων φωτοβολταϊκών (φ /β) συστημάτων**. Δηλαδή εγκαταστάσεων που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου φ/β συστήματος, όπως άλλωστε κάθε φ/β εγκατάσταση, είναι η **φ/β γεννήτρια**, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 6.1. Παράδειγμα γενικού διαγράμματος ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Συνήθως, όπως δείχνει το (Σχήμα 6.1), το σύστημα περιλαμβάνει επίσης, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και τον βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, **συσσωρευτές** για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη, διατάξεις για τη **ρύθμιση** και τη **μετατροπή της τάσης** και τη **ρύθμιση της ισχύος** της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, άλλες διατάξεις **προστασίας** και **ελέγχου** και, συχνά, μια **βοηθητική γεννήτρια**, συνήθως ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που να λειτουργεί με καύση βενζίνης ή πετρελαίου ντίζελ, για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστάσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων, επικουρική λειτουργία σε απρόβλεπτα μεγάλες περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας κλπ).

Στο τέλος της εργασίας δίνεται Ένα λεπτομερέστερο γενικό διάγραμμα φ/β συστήματος (Διάγραμμα 2), καθώς και ένα διάγραμμα ροής της ενέργειας ενός άλλου συστήματος (Διάγραμμα 3), όπου ένα μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

διοχετεύεται κατευθείαν στην κατανάλωση, ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύεται προηγουμένως σε συσσωρευτές.

Ο συμπληρωματικός εξοπλισμός των φ/β συστημάτων, πέρα από τη φ/β γεννήτρια ονομάζεται συνήθως BOS, από τα αρχικά της αγγλικής έκφρασης balance of the system (υπόλοιπα του συστήματος). Στον (πίνακα 6.1) δείχνεται πώς περίπου συμβάλουν τα διάφορα μέρη που συγκροτούν ένα αυτόνομο φ/β σύστημα, στη συνολική διαμόρφωση του κόστους του. Δεν αναγράφονται οι δαπάνες για την αγορά και την διαμόρφωση της απαιτούμενης εδαφικής έκτασης, και για την οικοδόμηση του κτιρίου τοποθέτησης των συσσωρευτών κλπ., καθώς και τα διάφορα μεταφορικά, εργατικά και χρηματοοικονομικά έξοδα, διότι κυμαίνονται πολύ, ανάλογα με την περίπτωση.

Επίσης, δεν αναφέρεται η δαπάνη για την εκτέλεση της μελέτης. Σύμφωνα με τους κανονισμούς που ισχύουν, η αμοιβή για την προμελέτη, με τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και την εκτίμηση του κόστους της εγκατάστασης, είναι περίπου το 1,75% μέχρι 2,5% της συνολικής δαπάνης, ανάλογα και με το τελικό ύψος της. Ένα πρόσθετο ποσοστό περίπου 2,4% προβλέπεται για την αμοιβή της πλήρους μελέτης και του ελέγχου των προσφορών για την κατασκευή του έργου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Παράδειγμα της διαμόρφωσης του κόστους ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Παράγοντας κόστους	Συμβολή στο συνολικό κόστος
Φ/β πλαίσια ή πάνελ για τη φ/β γεννήτρια	65%
Στηρίγματα των φ/β συλλεκτών και ηλεκτρικές καλωδιώσεις των φ/β στοιχείων	5%
Συσσωρευτές αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας	15%
Διατάξεις ρυθμίσεων τάσης και ισχύος, μετατροπής τάσης, προστασίας, ελέγχου κλπ.	12%
Βοηθητική γεννήτρια	3%

6.2 Ο προκαταρκτικός και ο λεπτομερειακός σχεδιασμός.

Η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου φ/β συστήματος στοχεύει στον βέλτιστο συσχετισμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχονται οι συλλέκτες του. Δηλαδή, επιδιώκεται η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα συνεπάγονταν ο υπερσχεδιασμός του συστήματος, π.χ. με συλλέκτες και συσσωρευτές μεγαλύτερου μεγέθους από το απολύτως απαραίτητο.

Για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου φ/β συστήματος απαιτείται, και συνήθως επαρκεί, η ύπαρξη μιας καλής εκτίμησης της ζήτησης που πρέπει να ικανοποιησω (π.χ. η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση τους διάφορους μήνες

του έτους, οι πιθανές αιχμές ισχύος κλπ.) και μιας αξιόπιστης πληροφόρησης σχετικά με την ένταση και τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Περιοχή (π.χ. η μέση ημερήσια ένταση της ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας, τα διαστήματα συνεχούς συννεφιάς κλπ.). Ένα παράδειγμα-οδηγός του προκαταρκτικού σχεδιασμού, δίνεται στον **(πίνακα 6.2)**.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2. Παράδειγμα υποδείγματος των διαδοχικών βημάτων για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.
2. Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα.
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία, στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για την βέλτιστη κλίση των συλλεκτών.
4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των φ/β συλλεκτών και εύρεση του αντίστοιχου πλήθους και της κατάλληλης συνδεσμολογίας των τυποποιημένων φ/β πλαισίων ή πανέλων.
5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς.
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου, και της ισχύος της βοηθητικής ενεργειακής πηγής.

Για την πλήρη, όμως οικονομικοτεχνική μελέτη, με λεπτομερειακό σχεδιασμό του συστήματος και συγκριτική αξιολόγηση με άλλες εναλλακτικές ενεργειακές πηγές (δηλαδή, αντί για την εγκατάσταση φ/β γεννήτριας, την επιλογή ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ή μιας ανεμογεννήτριας ή την τοποθέτηση εναέριας ή υποβρύχιας γραμμής μεταφοράς για τη σύνδεση με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας κλπ.), χρειάζονται πολλά άλλα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Π.χ. η εκτίμηση για ενδεχόμενες μελλοντικές επεκτάσεις της εγκατάστασης, η απαιτούμενη αξιοπιστία του συστήματος, ο λεπτομερής υπολογισμός των ηλεκτρικών απωλειών, το κόστος των φ/β πλαισίων και πανέλων και οι δαπάνες για την κατασκευή των στηριγμάτων τους στο έδαφος ή πάνω στη στέγη ενός σπιτιού, οι δαπάνες διαμόρφωσης του χώρου και προστασίας των συλλεκτών από ανέμους, χαλάζι, κεραυνούς ή και βανδαλισμούς.

Επίσης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά, το μέγεθος και το κόστος των άλλων συστατικών του συστήματος (συσσωρευτές, διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, βοηθητική γεννήτρια) και ο καθορισμός των απαιτούμενων ανταλλακτικών. Για τη συγκριτική αξιολόγηση χρειάζεται το κόστος και η αξιοπιστία των εναλλακτικών λύσεων, οι δαπάνες συντήρησης των εγκαταστάσεων, το κόστος προμήθειας και μεταφοράς πετρελαίου κλπ.

Σε αυτή την εργασία, θα ασχοληθούμε κυρίως με τον προκαταρκτικό σχεδιασμό των αυτόνομων φ/β συστημάτων, που μας εισάγει στον προβληματισμό και τη μελέτη των φ/β εγκαταστάσεων και δίνει μια καλή εικόνα των δυνατοτήτων τους.

6.3 Βασικές επιλογές και προϋποθέσεις

Στον σχεδιασμό ενός αυτόνομου φ/β συστήματος πρέπει να έχουν γίνει από πριν ορισμένες βασικές επιλογές, όπως αν η φ/β γεννήτρια και οι συσσωρευτές θα πρέπει να καλύπτουν, πλήρως τις αιχμές της ζήτησης ισχύος, αν θα υπάρχει ιεράρχηση στην ικανοποίηση των καταναλώσεων, αν το ρεύμα που θα παρέχει το σύστημα θα είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο και σε ποια τάση κλπ. Κυρίως, θα πρέπει να έχει καθοριστεί η εποχή του έτους, στη ζήτηση της οποίας να ανταποκρίνεται αξιόπιστα το σύστημα.

Η αξιοπιστία ενός συστήματος μετράται με την πιθανότητα να λειτουργεί χωρίς προβλήματα επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα Π.χ. στα μεγάλα ηλεκτρικά δίκτυα είναι συνήθως αποδεκτή η πιθανότητα να παρουσιάζουν αδυναμία τροφοδότησης της κατανάλωσης, για διάφορες αιτίες, επί 1 ή 2 ημέρες σε διάστημα 10 ετών. Δηλαδή, στο εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών και στα μεγέθη των άλλων συστατικών και διατάξεων του συστήματος (κυρίως στη χωρητικότητα των συσσωρευτών) δίνονται τέτοιες τιμές, ώστε σε συνδυασμό με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη συγκεκριμένη εποχή, να καλύπτονται ικανοποιητικά οι αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις.

Οι αιτίες για αναξιόπιστη συμπεριφορά του συστήματος μπορούν να έχουν φυσική προέλευση, όπως π.χ. το υπερβολικό πλήθος διαδοχικών συννεφιασμένων ημερών και η προσβολή της φ/β γεννήτριας από κεραυνό, ή να οφείλονται σε κακό σχεδιασμό, που π.χ. μπορεί να στηρίχτηκε σε εσφαλμένα μετεωρολογικά δεδομένα, κακή εκτίμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κλπ.

Στην περίπτωση, που το σύστημα σχεδιάζεται για να λειτουργεί ολόκληρη τη διάρκεια του έτους, τα μεγέθη των συλλεκτών και των άλλων συστατικών και διατάξεων προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία (Δεκέμβριος ή Ιανουάριος) και ακολουθεί διερεύνηση για τον έλεγχο της επάρκειάς τους στους υπόλοιπους μήνες του έτους. Π.χ.. αν πρόκειται να τροφοδοτηθεί μια κατοικία, θα πρέπει να εξεταστεί αν η αυξημένη φωτοβολταϊκή ηλεκτρική παραγωγή το καλοκαίρι, λόγω της ισχυρότερης ηλιακής ακτινοβολίας, καλύπτει την ενδεχομένως αυξημένη κατανάλωση, λόγω της συχνότερης λειτουργίας του ηλεκτρικού ψυγείου ή της πρόσθετης λειτουργίας ενός κλιματιστικού μηχανήματος.

Η εγκατάσταση των αυτόνομων φ/β συστημάτων γίνεται συνήθως σε απομονωμένες Περιοχές, που δεν υπάρχει ιδιαίτερα ειδικευμένο τεχνικό προσωπικό για να τα λειτουργήσει και να τα συντηρήσει, ούτε εύκολη πρόσβαση σε οργανωμένα επισκευαστικά κέντρα με αποθέματα ανταλλακτικών, εξειδικευμένα

μηχανουργία κλπ., για την αντιμετώπιση ενδεχομένων βλαβών. Επομένως, στο σχεδιασμό πρέπει να έχει ληφθεί μέριμνα ώστε η λειτουργία των συστημάτων να είναι απλή ή εντελώς αυτοματοποιημένη και επίσης να έχουν εξασφαλιστεί τουλάχιστον οι παρακάτω προϋποθέσεις για την ελαχιστοποίηση του χρόνου μέχρι την επισκευή μιας βλάβης και την αποκατάσταση της καλής λειτουργίας του συστήματος.

1. Εύκολος εντοπισμός της αιτίας της ελαττωματικής λειτουργίας και του σημείου που έχει εκδηλωθεί η βλάβη.
2. Εύκολη και ασφαλής πρόσβαση στις θέσεις που πρέπει να γίνει επέμβαση για επισκευή.
3. Τα ανταλλακτικά να είναι σε σχετικά μικρές διαστάσεις και βάρη (π.χ. μέχρι 40kg), ώστε να μπορούν να μεταφερθούν και να τοποθετηθούν από έναν άνθρωπο, χωρίς άλλα τεχνικά μέσα.
4. Τα διάφορα εξαρτήματα να είναι τυποποιημένων μεγεθών, ώστε να βρίσκονται εύκολα στην αγορά.

6.4 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις.

Ο σχεδιασμός ξεκινά με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Ένα αυτόνομο φ/β σύστημα μπορεί να τροφοδοτεί μία μόνο κατανάλωση ή περισσότερες. Παραδείγματα της πρώτης περίπτωσης είναι ένας φάρος ή ένας τηλεπικοινωνιακός αναμεταδότης. Της δεύτερης, μια κατοικία ή ένας ολόκληρος οικισμός.

Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος της λειτουργίας τους στη διάρκεια ενός 24ώρου (**Πίνακας 6.3**) Στον ακόλουθο πίνακα περιέχονται ενδεικτικές τιμές για τις ισχύεις και τις καταναλώσεις διαφόρων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, συνηθισμένης χρήσης.

Ενδεικτικές τιμές για την ισχύ και την περίπου μέση μηνιαία κατανάλωση διαφόρων συνηθισμένων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών.

Ηλεκτρική συσκευή	Ισχύς W	Μηνιαία ηλεκτρ. κατανάλωση kWh	Ηλεκτρική συσκευή	Ισχύς W	Μηνιαία ηλεκτρ. κατανάλωση kWh
Αναμεικτός τρoφών μαξeρi	350	1,0	Ελεγκτeρά ροδών	600	0,0
Αναμεικτός	100	4,0	Γεωμετρικός υπολογιστής	60	0,0
Απορροφητήρας παυθνος	250	8,0	Ραδιόφωνο	70	0,0
Θησαυρο (αυτοματι)	30	1,0	Ραδιοελατηνι	75	1,0
Γραφομηχανη	60	5,0	Ραδιο	2	1,0
Καταμικτeς τρoφών	400	100,0	Σιδερα ανδραματoς	1000	8,0
Καυσηρας τeτρe-καλου	280	15,0	Σαοιμα	000	5,0
Κλιματισια παρo-φου (απο κoν-τιρανερ)	1800	100,0	Σαομαδoφoνος	480	2,0
Καλλικητρι	50	1,0	Σιδερα	2000	100,0
Κουβερτα	190	10,0	Στερωτηρας μαλλιν	400	1,0
Καυζιμα	0000	120,0	Στερωτηρας σαλιαν	5000	90,0
Λαμπα φωτισιαοι (αυτοματιοι)	75	0,0	Σιδερα	800	5,0
Μαγειρi οφωνα	100	1,0	Τηλεδραση απε-ρoυρη	80	10,0
Μiδn καυζιμας	500	15,0	Τηλεδραση ελεκτρικη	100	20,0
Μαγειρα κουθνος	30	0,5	Τοστιερα	1000	5,0
Ευρωπαικi μηχανη	15	0,1	Τριανδιν	280	4,0
Οδοατoβουρτα	10	0,1	Φαρινος μακαμαδ-καυ	1500	15,0
Ποσoπeδo	300	1,0	Φαρινο	1800	0,0
Παοιμα ανδραματo-νoς απηρατoμα	190	10,0	Φαρινομαρα	1600	0,0
Πλυνηρας ααθιμα	1000	30,0	Ψαγεια με αυτoματι οδοατoμα	380	180,0
			Ψαγεια γαρις αυτo-ματι	250	0,0

Ηλεκτρική συσκευή	Ισχύς W	Μηνιαία ηλεκτρ. κατανάλωση kWh	Ηλεκτρική συσκευή	Ισχύς W	Μηνιαία ηλεκτρ. κατανάλωση kWh
Αναμεικτός τρoφών μαξeρi	350	1,0	Ελεγκτeρά ροδών	600	0,0
Αναμεικτός	100	4,0	Γεωμετρικός υπολογιστής	60	0,0
Απορροφητήρας παυθνος	250	8,0	Ραδιόφωνο	70	0,0
Θησαυρο (αυτοματι)	30	1,0	Ραδιοελατηνι	75	1,0
Γραφομηχανη	60	5,0	Ραδιο	2	1,0
Καταμικτeς τρoφών	400	100,0	Σιδερα ανδραματoς	1000	8,0
Καυσηρας τeτρe-καλου	280	15,0	Σαοιμα	000	5,0
Κλιματισια παρo-φου (απο κoν-τιρανερ)	1800	100,0	Σαομαδoφoνος	480	2,0
Καλλικητρι	50	1,0	Σιδερα	2000	100,0
Κουβερτα	190	10,0	Στερωτηρας μαλλιν	400	1,0
Καυζιμα	0000	120,0	Στερωτηρας σαλιαν	5000	90,0
Λαμπα φωτισιαοι (αυτοματιοι)	75	0,0	Σιδερα	800	5,0
Μαγειρi οφωνα	100	1,0	Τηλεδραση απε-ρoυρη	80	10,0
Μiδn καυζιμας	500	15,0	Τηλεδραση ελεκτρικη	100	20,0
Μαγειρα κουθνος	30	0,5	Τοστιερα	1000	5,0
Ευρωπαικi μηχανη	15	0,1	Τριανδιν	280	4,0
Οδοατoβουρτα	10	0,1	Φαρινος μακαμαδ-καυ	1500	15,0
Ποσoπeδo	300	1,0	Φαρινο	1800	0,0
Παοιμα ανδραματo-νoς απηρατoμα	190	10,0	Φαρινομαρα	1600	0,0
Πλυνηρας ααθιμα	1000	30,0	Ψαγεια με αυτoματι οδοατoμα	380	180,0
			Ψαγεια γαρις αυτo-ματι	250	0,0

Επίσης, συχνά είναι χρήσιμο να καταγράφεται η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών, ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σκόπιμο να γίνεται προγραμματισμένη κατανομή και ιεράρχηση της ζήτησης από τις διάφορες συσκευές, για την αποφυγή υπερβολικών αιχμών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 Παράδειγμα των ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων σε μια κατοικία με μία οικογένεια.

Συσκευή	Ισχύς	Ώρες λειτουργίας	Ηλεκτρική κατανάλωση
Φώτα	1,0 kW	3,0 h	3,0 kWh
Ψυγείο	0,3 kW	9,0 h	2,7 kWh
Τηλεόραση	0,2 kW	4,0 h	0,8 kWh
Ηλεκτρική σκούπα	0,6 kW	0,5 h	0,3 kWh
Στεγνωτήρας μαλλιών	0,4 kW	0,5 h	0,2 kWh
Φριγανιέρα	1,5 kW	0,2 h	0,3 kWh
Πλυντήριο ρούχων	3,5 kW	0,2 h	0,7 kWh
Σύνολο	7,5 kW		8,0 kWh

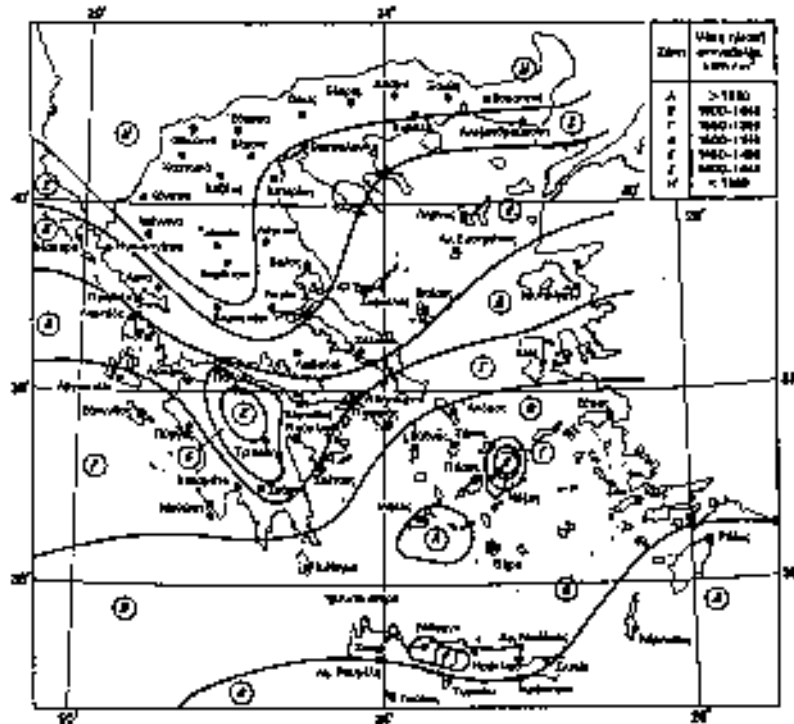
Πάντως, η πείρα έχει δείξει ότι είναι παράλογη η χρησιμοποίηση φ/β γεννητριών για την τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση. Έτσι αποφεύγεται π.χ. το μαγείρεμα με ηλεκτρικές κουζίνες, η θέρμανση χώρων με ηλεκτρικά καλοριφέρ ή αερόθερμα, η θέρμανση νερού με ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες κλπ. Για τις ανάγκες αυτές είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται άλλες συσκευές, όπως κουζίνες και θερμάστρες υγραερίου ή πετρελαίου, ηλιακοί θερμοσίφωνες κλπ.

6.5 Η ηλιακή ενέργεια.

Στη συνέχεια βρίσκουμε σε πίνακες, χάρτες ή διαγράμματα, τη μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας, στη συγκεκριμένη τοποθεσία και στην επιλεγμένη χρονική περίοδο. Για παράδειγμα, στον χάρτη του σχήματος 8.2 δίνονται οι μέσες τιμές της ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Στο τέλος της εργασίας δίνονται λεπτομερέστερες πληροφορίες για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες ελληνικές περιοχές, στους πίνακες 3α-3ε.

Αν δεν υπάρχουν τιμές για την τοποθεσία ή τη χρονική περίοδο που μας ενδιαφέρει, καταφεύγουμε αναγκαστικά σε προσεγγιστικό υπολογισμό με τη βοήθεια των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας σε γειτονικές ή όμοιες τοποθεσίες. Επίσης, η σωστή κλίση του συλλέκτη μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της σχέσης (4.1), που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της Ηλιακής Γεωμετρίας, από πίνακες, ή από διαγράμματα όπως των σχημάτων 4.7 και 4.8. Στην Ελλάδα, χονδρικά, η κλίση των συλλεκτών β_0 είναι συνήθως περίπου 45° . Όταν ενδιαφέρει περισσότερο η φ/β παραγωγή των θερινών μηνών, επιλέγεται μικρότερη κλίση, μέχρι περίπου 20° .

Αντίθετα, για τις χειμερινές εφαρμογές, η βέλτιστη κλίση των συλλεκτών μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου 60° , αλλά το κέρδος σε σύγκριση με την κλίση 45° είναι μικρό.



Σχήμα 6.2. Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες Περιοχές της Ελλάδας. Όπως δείχνεται στον ένθετο πίνακα η ζώνη A δέχεται πάνω από 1650 kWh/m², η ζώνη B από 1600 μέχρι 1649 kWh/m² κλπ.

6.6 Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τώρα μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό του πιο καίριου μεγέθους, που αναζητάμε για τον σχεδιασμό ενός φ/β συστήματος. Δηλαδή το απαιτούμενο πλήθος των φ/β πλαισίων ή πανέλων.

Η πρώτη σκέψη θα ήταν να βρούμε το συνολικό εμβαδόν των ηλιακών στοιχείων, που θα μας δώσουν τη ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Είναι φανερό ότι η ηλεκτρική ενέργεια E που παράγει ένα πλήθος φ/β στοιχείων, με συντελεστή απόδοσης η και συνολική επιφάνεια A m² όταν δεχτεί μια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας Π kWh/m², είναι:

$$E = \Pi \times A \times \eta \quad (6.1)$$

και επομένως, όταν τα άλλα μεγέθη είναι γνωστά ή έχουν εκτιμηθεί, μπορούμε να βρούμε την απαιτούμενη συνολική επιφάνεια των φ/β στοιχείων:

$$A = \frac{E}{\Pi \times \eta} \quad (m^2) \quad (6.2)$$

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ότι οι τιμές του **(πίνακα 8.3)** αφορούν στη μέση ημερήσια χειμερινή ηλεκτρική κατανάλωση μιας αστικής κατοικίας στη Ρόδο. Για την Περίπτωση συλλέκτη από φ/β στοιχεία πυριτίου του εμπορίου, με μέσο συντελεστή απόδοσης 12%, τοποθετημένα στη Ρόδο με κλίση 45°, όπου τον Ιανουάριο αντιστοιχεί μέση ημερήσια ηλεκτρική ακτινοβολία 3,32 kWh/m², βρίσκουμε ότι η επιφάνεια των φ/β στοιχείων που απαιτούνται για την κάλυψη της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης των 8 kWh είναι:

$$A = \frac{8 \text{ kWh/d}}{3,32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d} \times 0,12} = 20,08 \text{ m}^2$$

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, θα μπορούσαμε να είχαμε κάνει τη θερμοκρασιακή διόρθωση της απόδοσης. Στη Ρόδο, τον Ιανουάριο, η μέση θερμοκρασία του αέρα στη διάρκεια της ημέρας είναι 12,6°C, που αντιστοιχεί σε μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων περίπου 1 2,6 + 30 = 42,6°C. Επομένως η τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης είναι:

$$\sigma_{\theta} = 1,00 - (42,6 - 20) \times 0,005 = 0,89$$

και, υποθέτοντας ότι η ρύπανση είναι ασήμαντη ($\sigma_p = 1,00$), βρίσκουμε αντίστοιχη επιφάνεια:

$$A = \frac{8}{3,32 \times 0,12 \times 0,89} = 22,56 \text{ m}^2$$

Τα αποτελέσματα όμως αυτά είναι, ουσιαστικά, χωρίς πρακτική αξία διότι όταν αναζητήσουμε στη βιομηχανία ή στο εμπόριο τα απαιτούμενα φ/β πλαίσια για τη συστοιχία της εγκατάστασης μας, βλέπουμε ότι συνήθως οι κατασκευαστές τους δεν επιθυμούν ή δεν ενδιαφέρονται να ανακοινώσουν αναλυτικά τον μέσο συντελεστή απόδοσης και τη συνολική επιφάνεια των ηλιακών στοιχείων του κάθε φ/β πλαισίου, ούτε τον συντελεστή κάλυψης του. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τις περισσότερες φορές τα μόνα χαρακτηριστικά που δίνονται είναι η επιφάνεια (S) και η απόδοση (η_{π}) του φ/β πλαισίου ή η ισχύς αιχμής (P_a).

Έτσι, στην πρώτη περίπτωση εφαρμόζουμε τη σχέση (7.3), και παίρνοντας σαν παράδειγμα διαθέσιμου φ/β πλαισίου εκείνο του σχήματος 7.1 ($S = 0,37\text{m}^2$, $\eta_{\pi} = 10,76\%$, $P_a = 40\text{W}_p$), βρίσκουμε την ιδανικά απαιτούμενη ολική επιφάνεια των φ/β πλαισίων:

$$S_{\omega} = \frac{E}{\eta_{\pi} \times \sigma_p \times \sigma_{\theta}} = \frac{8}{3,32 \times 0,1076 \times 0,89 \times 1,00} = 25,16 \text{ m}^2$$

Εδώ μπορούμε να κάνουμε μια διασταύρωση των αποτελεσμάτων. Αν οι παραπάνω τιμές είναι συμβιβαστές, θα πρέπει να καταλήγουν σε συντελεστή κάλυψης του φ/β πλαισίου που να επιβεβαιώνεται από όσα αναφέρονται στο **(Σχήμα 6.2)**. Πράγματι, βρίσκουμε:

$$\sigma_x = \frac{A}{S_{\text{ολ}}} = \frac{22,56}{25,16} = 0,9$$

που συμφωνεί ικανοποιητικά με την αναμενόμενη τιμή για πυκνή τοποθέτηση κυκλικών ηλιακών στοιχείων, τη διάταξη δηλαδή του φ/β πλαισίου του παραδείγματος μας.

Υποθέτοντας, στη συνέχεια, ότι οι πρόσθετες ηλεκτρικές απώλειες στο σύστημα (συσσωρευτές, μετατροπείς ισχύος και τάσης κλπ.) είναι περίπου το 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ότι ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος από την έξοδο της φ/β γεννήτριας μέχρι την έξοδο προς την κατανάλωση είναι $a = 0,7$, βρίσκουμε ότι η τελικά απαιτούμενη επιφάνεια φ/β πλαισίων είναι:

$$S'_{\text{ολ}} = \frac{S_{\text{ολ}}}{a} = \frac{25,16}{0,7} = 35,94 \text{ m}^2$$

Το φ/β πλαίσιο του παραδείγματος μας έχει εμβαδόν επιφάνειας $0,37 \text{ m}^2$. Επομένως θα χρειαστούμε:

$$\frac{35,94}{0,37} \approx 98 \text{ φ/β πλαίσια}$$

Στη δεύτερη περίπτωση, όταν γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής του φ/β πλαισίου (στο παράδειγμα $P_a = 40 \text{ W}_p$), εφαρμόζουμε τη σχέση (7.5) και βρίσκουμε ότι, υπολογίζοντας και τις πρόσθετες ηλεκτρικές απώλειες με $a=0,7$, χρειαζόμαστε συνολική ισχύ αιχμής ίση με:

$$P'_a = \frac{P_a}{a} = \frac{40}{0,7} = 57,14 \text{ kW}_p = 5714 \text{ W}_p$$

που αντιστοιχεί σε:

$$\frac{5714}{40} \approx 143 \text{ φ/β πλαίσια}$$

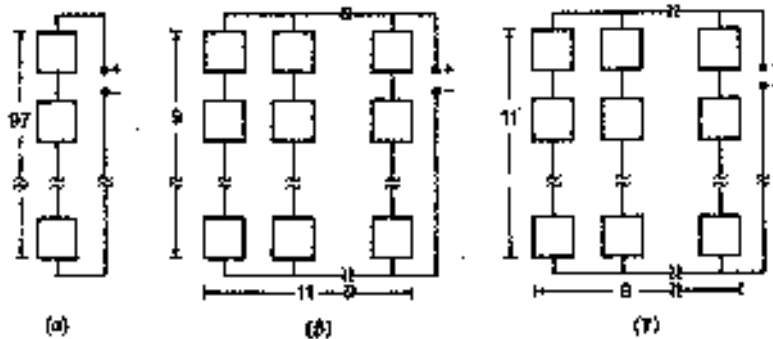
δηλαδή περίπου καταλήγουμε πάλι σε 98 φ/β πλαίσια.

6.7Η συνδεσμολογία των συστοιχιών.

Τα φ/β πλαίσια του παραδείγματος μας δίνουν τάση περίπου 17V. Αν θέλουμε να φορτίσουν συνηθισμένους συσσωρευτές των 12 V, τότε όλα τα φ/β πλαίσια θα συνδεθούν παράλληλα ώστε η φ/β συστοιχία να δίνει επίσης τάση περίπου 17V, που

είναι αρκετά κατάλληλη για τη φόρτιση συσσωρευτών ονομαστικής τάσης 12 V. Έχουμε όμως τη δυνατότητα, με κατάλληλη διάταξη και σύνδεση, να παράγουμε υψηλότερη τάση για τη φόρτιση συσσωρευτών ή για την τροφοδότηση της κατανάλωσης. Π.χ. προσθέτουμε ένα ακόμα φ/β πλαίσιο στη συστοιχία, ώστε το σύνολο του να φτάσει τα 99, και τα μοιράζουμε σε 33 παράλληλους κλάδους με 3 πλαίσια στη σειρά σε κάθε κλάδο: Τότε, η συστοιχία θα δίνει τάση περίπου $3 \times 17 = 51$ V, Επίσης μπορούμε να σχηματίσουμε 11 παράλληλους κλάδους με 9 πλαίσια στη σειρά σε κάθε κλάδο, και να πάρουμε τάση περίπου $9 \times 17 = 153$ V, ή να σχηματίσουμε 9 παράλληλους κλάδους με 11 πλαίσια στη σειρά σε κάθε κλάδο και να πάρουμε τάση περίπου $11 \times 17 = 187$ V (Σχήμα 6.3).

Ακόμη, π.χ. μπορούμε με μικρή δαπάνη να αυξήσουμε τα φ/β πλαίσια σε 100, που είναι ένας περισσότερο εύχρηστος αριθμός για κατανομή σε ομάδες, ώστε να έχουμε μια μεγαλύτερη δυνατότητα επιλογής για την παραγόμενη τάση.



Σχήμα 6.3. Διαφορετικές συνδεσμολογίες των φωτοβολταϊκών πλαισίων για την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης (α) 17 V, (β) 153 V, και (γ) 187 V.

6.8 Οι αποθηκευτικές μονάδες.

6.8.1 Η ανάγκη για αποθήκευση

Όπως είδαμε παραπάνω, ο καθορισμός του εμβαδού της επιφάνειας των φ/β συλλεκτών στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι συλλέκτες στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο λειτουργίας του (π.χ. ένα θερινό ή χειμερινό μήνα, μια εποχή του έτους ή και ολόκληρο το έτος).

Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες. Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, εννοούμε κυρίως τις νυχτερινές ώρες, τις συννεφιασμένες ημέρες και τις χρονικές αιχμές της κατανάλωσης.

Τα φ/β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης διοχετεύουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος.

Όμως, τα απομονωμένα αυτόνομα φ/β συστήματα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα ενεργειακής ανταλλαγής. Επομένως, χρειάζεται να αποθηκεύουν μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της φ/β γεννήτριας. Ως προς την άλλη απαίτηση, δηλαδή την απαλλαγή του συστήματος από την περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα από τη ζήτηση της κατανάλωσης και τη δυνατότητα της αποθήκευσης, αυτή αναγκαστικά αντιμετωπίζεται με τη διοχέτευση της στη γη ή σε ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείται να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις, και κυρίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και τον βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως, από τα αυτόνομα φ/β συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν μια αυτοδυναμία τουλάχιστον 3 ως 10 ημερών περίπου.

Σε ειδικές περιπτώσεις, η φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορεί, με νέα μετατροπή, να αποθηκευθεί σε μη ηλεκτρική μορφή. Π.χ. να κινήσει ηλεκτρικές αντλίες που μεταφέρουν νερό σε υπερυψωμένες δεξαμενές, από όπου στη συνέχεια, με την πτώση του νερού, παράγεται πάλι ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.

Επίσης μπορεί να ηλεκτρολύσει νερό και να παράγει υδρογόνο, το οποίο αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια και χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως καύσιμο σε μικρούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συνήθως, όμως, η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα φ/β συστήματα γίνεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές.

6.8.2 Οι συσσωρευτές μολύβδου

Υπάρχουν διάφορων τύπων ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες), ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους. Π.χ.. συσσωρευτές νικελίου-καδμίου ή αργύρου-ψευδαργύρου. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οικονομικότεροι για χρησιμοποίηση σε φ/β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου, Τα ηλεκτρόδιά τους είναι πλάκες από κράματα μολύβδου, π.χ. Pb-Sb ή Pb-Ca, βυθισμένες σε διάλυμα θειικού οξέος. Είναι δηλαδή όμοιοι με τους συνηθισμένους συσσωρευτές των αυτοκινήτων, αν και εκείνοι κατασκευάζονται από φτηνότερο κράμα μολύβδου και αυτοεκφορτίζονται σε σχετικά γρήγορο ρυθμό.

Υπενθυμίζεται ότι η λειτουργία των συσσωρευτών μολύβδου στηρίζεται σε μια αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, που περιγράφεται από την αμφίδρομη αντίδραση:



Συγκεκριμένα, οι συσσωρευτές αποτελούνται από κυψελίδες, δηλαδή ζεύγη μονωμένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος. Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μόλυβδο (PbSO_4 ή ακριβέστερα $\text{Pb}^{2+}\text{SO}_4^{2-}$). Κατά το στάδιο της φόρτισης, διασπάται ο θεικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου (PbO_2 ή ακριβέστερα Pb^4O^{2-} στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα, κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb^{2+} και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα;



ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων ο Pb^{4+} ανάγεται προς Pb^{2+} παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα:



Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα Pb^{2+} , ενώνονται με θειικά ιόντα (SO_4^{2-} από το διάλυμα και ξανασχηματίζουν τον θεικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες των κυψελίδων. Έτσι, καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες. Με τη φόρτιση όμως που επακολουθεί, τα θειικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα, όπως δείχνει η αμφίδρομη αντίδραση, και η περικτικότητα του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.

Κάθε φορτισμένη κυψελίδα των συσσωρευτών μολύβδου, δηλαδή κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων, δίνει τάση περίπου 2,0 V. Για την πλήρη, όμως, φόρτιση κάθε κυψελίδας χρειάζεται να γίνει τροφοδότηση με τάση περίπου 2,4V. Στη συνέχεια, η τροφοδότηση του συσσωρευτή πρέπει να διακοπεί, διότι η υπερφόρτιση των κυψελίδων προκαλεί τη θέρμανση του διαλύματος του θεικού οξέος, την εξάτμιση του νερού του και τελικά την επιτάχυνση της φθοράς του συσσωρευτή. Επίσης προκαλεί την ηλεκτρόλυση του διαλύματος με έκλυση υδρογόνου και οξυγόνου.

Αυτό, εκτός από την απώλεια του υγρού, δημιουργεί κινδύνους και για την ασφάλεια της εγκατάστασης. Αν ο χώρος που βρίσκεται ο συσσωρευτής δεν έχει καλό αερισμό, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μίγμα με τον αέρα, που με έναν τυχαίο σπινθήρα θα προξενήσει ατύχημα.

Συνήθως, οι συσσωρευτές περιέχουν πολλές κυψελίδες στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση. Π.χ. ένας συσσωρευτής μολύβδου με 6 κυψελίδες δίνει τάση περίπου 12 V και για τη φόρτιση του χρειάζεται τάση $6 \times 2,4$ V και επί πλέον 0,75 V για την πτώση τάσης στην προστατευτική δίοδο που υπάρχει συνήθως μεταξύ συσσωρευτού και φ/β γεννήτριας, ώστε να μη διοχετεύεται ρεύμα από τον συσσωρευτή προς τα ηλιακά στοιχεία. Δηλαδή απαιτείται συνολική τάση φόρτισης 15,15V. Πάντως, συχνά στα φ/β συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές με πολλές δεκάδες κυψελίδες στη σειρά, ώστε να δίνουν αρκετά υψηλή τάση. Π.χ. συνηθισμένοι είναι οι συσσωρευτές με 100 ως 150 κυψελίδες, που δίνουν τάση συνεχούς ρεύματος 200 ως 300 V.

6.8.3 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών

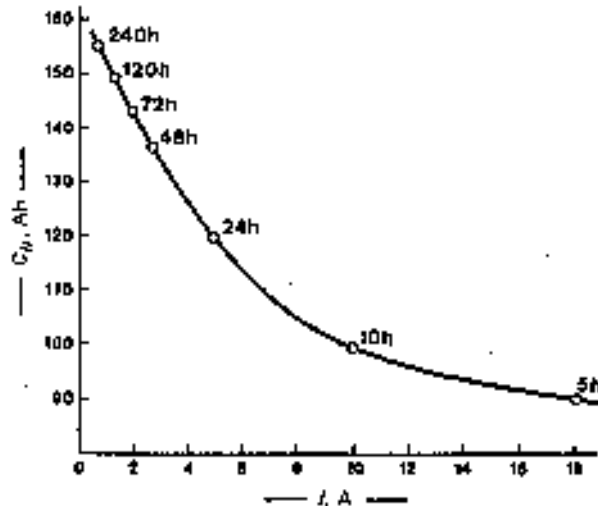
Το φορτίο που αποθηκεύει, δηλαδή η **χωρητικότητα** ενός συσσωρευτή, μετράται συνήθως σε αμπερώρια (Ah), που είναι, σε ιδανικές συνθήκες, το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος I , που δίνει ο συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτιστεί, ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση. Προφανώς, πιο χρήσιμο μέγεθος είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευθεί σε ένα συσσωρευτή, η οποία όμως εξαρτάται από την τάση που δίνει ο συσσωρευτής. Έτσι, ένας συσσωρευτής χωρητικότητας π.χ. $C=100\text{Ah}$, που δίνει μέση τάση π.χ. $V=12$ V, έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ίσης με:

$$100\text{Ah} \times 12\text{V} = 1200\text{Wh} = 1,2\text{kWh}$$

Με τη χρήση, η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών, σχηματισμού επικαθήσεων κλπ. Συνήθως, ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του πέσει κάτω από το 80% περίπου της αρχικής τιμής. Επίσης, δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2 ως 5% της χωρητικότητάς τους τον μήνα. Ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ ($P=V \cdot I$) με την οποία γίνεται η εκφόρτισή τους, δηλαδή από την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς την κατανάλωση. Όπως δείχνεται στο παράδειγμα του **(Σχήματος 6.4)**, ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100Ah θα εξαντληθεί σε 10 ώρες αν η ένταση του ρεύματος εκφόρτισης είναι 10A, ενώ αν η ένταση είναι π.χ. 18A ο ίδιος συσσωρευτής θα εξαντληθεί σε 5 ώρες και η χωρητικότητά του θα πέσει στα 90 Ah.

Αντίθετα, με μικρότερους ρυθμούς εκφόρτισης, βλέπουμε ότι η χωρητικότητά του συσσωρευτή αυξάνει σημαντικά. Επίσης, η χωρητικότητά αυξάνει με τη θερμοκρασία του συσσωρευτή. Συγχρόνως, όμως, επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια της ζωής του.



Σχήμα 6.4. Η εξάρτηση της χωρητικότητας C_N ενός συσσωρευτή μολύβδου του εμπορίου, από την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης I . Ο συσσωρευτής του παραδειγματος έχει ονομαστική χωρητικότητα 100 Ah για ένταση ρεύματος 10A και εξάντληση σε 10 ώρες, που παίρνεται συνήθως ως συμβατικό, χρονικό διάστημα εκφόρτισης των συσσωρευτών για τον χαρακτηρισμό της χωρητικότητας τους.

Εκτός από τη θερμοκρασία, η διάρκεια της χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης και από το βάθος κάθε εκφόρτισης. Ανάλογα με τον τύπο τους, οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν συνήθως μέχρι 500 ως 1500 κύκλους φορτίσεων-εκφορτίσεων. Στους φτηνότερους τύπους, το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10%.

Δηλαδή με την εκφόρτιση προσφέρεται μόνο το 10% της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ για το υπόλοιπο 90% δεν επιδιώκεται η ανάκτηση, ώστε να αποφευχθεί η πρόωρη καταστροφή του συσσωρευτή. Σε ειδικούς στεγανούς τύπους με ηλεκτρόδια από κράματα Pb-Ca, το βάθος εκφόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι 80%. Πάντως, στις μικρότερες και λιγότερο απαιτητικές από τις φ/β εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται συχνά κοινοί συσσωρευτές αυτοκινήτων, με επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης μέχρι 10%.

Επομένως, σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας C_N , η ενεργός, αξιοποιήσιμη χωρητικότητα C είναι:

$$C = \beta \times C_N \quad (6.3)$$

και η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευτεί και να ανακτηθεί, σε ιδανικές συνθήκες, σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι:

$$E = C \times V = \beta \times C_N \times V \quad (6.4)$$

όπου β είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή. Για παράδειγμα, αν ο συσσωρευτής του διαγράμματος του (Σχήματος 6.4) έχει βάθος

εκφόρτισης 60% και τάση 12V, βρίσκουμε ότι για χρόνο εκφόρτισης π.χ. 24 ωρών (που αντιστοιχεί ονομαστική χωρητικότητα 120Ah), θα είναι:

$$E = \beta \times C_N \times V = 0,6 \times 120 \times 12 = 864 \text{ Wh}$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου α , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από τη φ/β γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης, είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E , η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_ϕ ίση με:

$$E_\phi = \frac{E}{\alpha} \quad (6.5.)$$

και, σύμφωνα με τη σχέση (6.4), η ονομαστική του χωρητικότητα να είναι:

$$C_N = \frac{E_\phi}{\beta \times V} = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V}$$

Δηλαδή, για ανάκτηση ενέργειας 864Wh, στο παραπάνω παράδειγμα, η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή δεν αρκεί, στις πρακτικές συνθήκες, να είναι 120Ah, αλλά πρέπει να γίνει:

$$C_N = \frac{864}{0,85 \times 0,6 \times 12} = 141,2 \text{ Ah}$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ P επί μ συνεχείς ημέρες, η ενεργός του χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

$$C = \frac{24 \mu \times P}{\alpha \times V}$$

6.8.4. Δομή, διάρκεια ζωής και κόστος

Στις σχετικά μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις, οι διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να έχουν αρκετά σημαντική χωρητικότητα και σχηματίζονται από ομάδες μεγάλου πλήθους συσσωρευτών. Δηλαδή, η δομή τους είναι σπονδυλωτή, αφού οι ομάδες αυτές αποτελούνται συνήθως από ανεξάρτητους συσσωρευτές.

Έτσι, η συνολική χωρητικότητα της διάταξης μπορεί αργότερα να προσαρμοστεί εύκολα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, με την πάροδο του χρόνου και την ενδεχόμενη εξέλιξη της κατανάλωσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των συσσωρευτών. Όπως είδαμε, από σπονδυλωτή επίσης συγκρότηση χαρακτηρίζονται και οι φ/β γεννήτριες, με αντίστοιχη ελαστικότητα

προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες ανάγκες, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των φ/β πλαισίων. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί επίσης να γίνει σχετικά εύκολα η διόρθωση σφαλμάτων σχεδιασμού, που θα οφείλονταν σε λαθεμένες εκτιμήσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης ή της ηλιακής ακτινοβολίας.

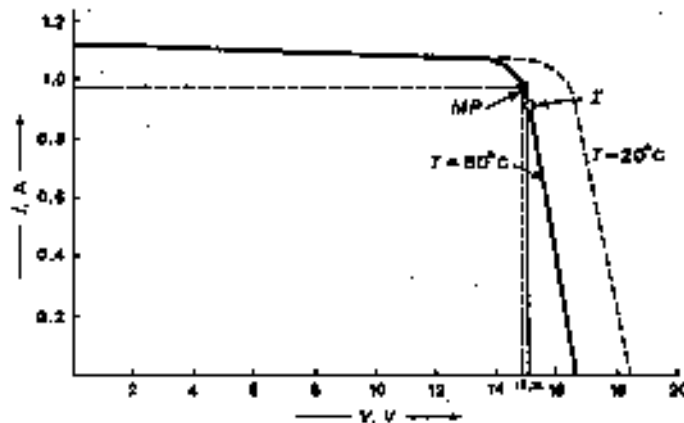
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι συσσωρευτές μολύβδου δεν ξεπερνούν συνήθως τους 500 ως 1500 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης. Βλέπουμε λοιπόν ότι αν υποθέσουμε ότι καθημερινά γίνεται ένας τουλάχιστον κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης για την αντιμετώπιση των νυκτερινών καταναλώσεων ενός φ/β συστήματος, θα πρέπει να γίνεται αντικατάσταση των συσσωρευτών αρκετά συχνά, περίπου κάθε 2 ως 5 χρόνια. Αντίθετα, η διάρκεια ζωής των φ/β πλαισίων και των άλλων μερών του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη, πάνω από 20-30 χρόνια.

Λόγω της κατασκευής τους, οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλο βάρος και κόστος. Ανάλογα με τον τύπο τους, η χωρητικότητα ενέργειας των συσσωρευτών μολύβδου είναι περίπου 20Wh ανά kg, και το κόστος τους είναι περίπου 60€. ανά kWh χωρητικότητας. Γι' αυτό, άλλωστε, είναι συχνά οικονομικότερο να μην επιδιώκεται η πλήρης ικανοποίηση των καταναλώσεων του συστήματος με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας της φ/β γεννήτριας, αλλά να προτιμάται η τοποθέτηση μιας βοηθητικής ενεργειακής πηγής, συνήθως ενός μικρού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ντίζελ, για την αντιμετώπιση των αιχμών της ζήτησης. Έτσι, γίνεται σημαντική μείωση της απαιτούμενης χωρητικότητας των συσσωρευτών, αλλά επίσης και της ισχύος της φ/β γεννήτριας του συστήματος.

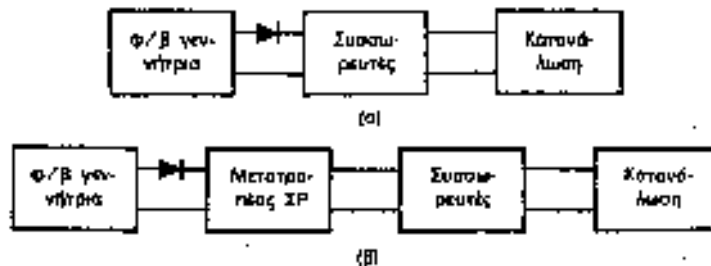
6.9 Ρυθμιστές, μετατροπείς και αναστροφείς.

Η καλή λειτουργία και η αυξημένη απόδοση των φ/β συστημάτων υποβοηθείται συχνά με τη χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως ηλεκτρονικών ισχύος, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η φ/β γεννήτρια. Π.χ. στο σχήμα 8.5 δείχνεται η χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-έντασης ενός φ/β πλαισίου του εμπορίου, όταν τα ηλιακά στοιχεία του έχουν θερμοκρασία 60°C (δηλαδή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος περίπου 30°C), Για τη φόρτιση συσσωρευτών 12V στους οποίους όπως είδαμε η κατάλληλη τάση φόρτισης είναι 15,15 V, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, παράλληλα ή στη σειρά με το φ/β πλαίσιο, ένας ρυθμιστής τάσης, που να διατηρεί την τάση εξόδου του φ/β πλαισίου στην επιθυμητή τιμή.

Επίσης, η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει την τάση που δίνει η φ/β γεννήτρια, που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης (Σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.5. Παράδειγμα της καμπύλης τάσης (V) έντασης (I) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου του εμπορίου στη θερμοκρασία 60°C (συνεχής γραμμή) και στη συμβατική θερμοκρασία 20°C (ασυνεχής γραμμή), και επιλογή του κατάλληλου σημείου της Σ για τη φόρτιση κοινών συσσωρευτών 12 V, που είναι όμως διαφορετικό από το σημείο της μέγιστης ισχύος MP.



Σχήμα 6.6. Απλοποιημένα διαγράμματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (α) χωρίς ρυθμιστή τάσης, (β) με ρυθμιστή για τη φόρτιση των συσσωρευτών στη βέλτιστη τάση. Και στις δύο περιπτώσεις προβλέπεται η τοποθέτηση μιας προστατευτικής διόδου για την αποφυγή της εκφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας αν μειωθεί σημαντικά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στη φ/β γεννήτρια διοχετεύεται από τον ρυθμιστή προς κατάλληλες αντιστάσεις ή προς τη γη, και έτσι προστατεύονται οι συσσωρευτές από τους κινδύνους της υπερφόρτισης.

Εκτός από το ρυθμιστή τάσης, τα φ/β συστήματα μπορούν να περιέχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως είναι οι ρυθμιστές ισχύος, γνωστοί με τη συντομογραφία MPPT (από την αγγλική έκφραση maximum power point trackers, δηλαδή διατάξεις παρακολούθησης του σημείου της μέγιστης ισχύος). Ο προορισμός τους είναι να επιδιώκουν τη λειτουργία της φ/β γεννήτριας στο σημείο της καμπύλης τάσης - έντασης που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόδοση, όσο επιτρέπει ο συντελεστής πλήρωσης (FF).

Στη συνέχεια, με τον μετατροπέα τάσης, η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας μετατρέπεται στην απαιτούμενη για τη φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Πάντως, το κόστος των διατάξεων αυτών είναι σημαντικό, και έτσι, συνήθως παραλείπονται στα σχετικά μικρής ισχύος φ/β συστήματα.

Τέλος, στην έξοδο των φ/β συστημάτων παρεμβάλλεται συχνά ένας αναστροφέας, που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της φ/β γέννητριας και των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο, αν αυτό εξυπηρετεί καλύτερα το δίκτυο της τοπικής κατανάλωσης. Κύρια κίνητρα για την προτίμηση της βναλλασσόμενης τάσης, και την τοποθέτηση μεταλλακτών και μετασχηματιστών, είναι ότι οι ηλεκτρικές συσκευές του εμπορίου είναι συνήθως κατασκευασμένες για εναλλασσόμενο ρεύμα και έχουν μικρότερο κόστος από τις αντίστοιχες του συνεχούς ρεύματος I. Επίσης, η ανύψωση της τάσης, που γίνεται συγχρόνως με τη μετατροπή της από συνεχή σε εναλλασσόμενη, συνεπάγεται μείωση των απωλειών στους αγωγούς του δικτύου. Σημειώνεται, πάντως, ότι και η λειτουργία των παραπάνω διατάξεων συνοδεύεται με συχνά αξιόλογες απώλειες. Π.χ.. ο συντελεστής απόδοσης των διαφόρων ηλεκτρονικών ισχύος που αναφέραμε είναι συνήθως περίπου 90-95%, εφόσον λειτουργούν κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, αλλά γίνεται πολύ μικρότερος όταν η ισχύς είναι μειωμένη.

Κεφάλαιο 7.

Οικονομική ανάλυση.

7.1. Γενικά

Οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμων μορφών ενέργειας είναι εγκαταστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Το όλο κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης επηρεάζεται από :

1. Το αρχικό κόστος της όλης εγκατάστασης.
2. Το κόστος του κεφαλαίου επένδυσης.
3. Το λειτουργικό κόστος.
4. Το χρόνο ζωής της εγκατάστασης.

- Το αρχικό κόστος της εγκατάστασης αποτελείται βασικά από :

Το κόστος των σχετικών μετρήσεων.

Το κόστος αγοράς της περιοχής που θα γίνει η εγκατάσταση.

Το κόστος της μελέτης.

Το κόστος αγοράς του όλου εξοπλισμού.

Το κόστος μεταφοράς του εξοπλισμού.

Το κόστος εγκατάστασης.

- Το κόστος εγκατάστασης επηρεάζεται κυρίως από :

Το είδος της ανανεώσιμης μορφής ενέργειας (π.χ. Αιολική, ηλιακή, κ.λ.π.).

Την ωφέλιμη εγκατεστημένη ισχύ.

Το δυναμικό της ανανεώσιμης μορφής ενέργειας στην περιοχή της εγκατάστασης.

Το κόστος του κεφαλαίου επένδυσης έχει σχέση με τους τόκους και την επιθυμητή απόσβεση αυτού. Το κόστος αυτό επηρεάζεται κυρίως από το επιτόκιο αναγωγής κατά το χρόνο της εγκατάστασης.

- Το κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει :

Τη μισθοδοσία του προσωπικού.

Το κόστος συντήρησης

Το τελευταίο εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος, τον τρόπο σχεδίασης και τα ιδιαίτερα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της όλης εγκατάστασης.

Στο ετήσιο κόστος λειτουργίας περιλαμβάνονται επίσης η ετήσια πληρωμή σχετικών δανείων, το κόστος της εφεδρικής συμβατικής ενέργειας, τα ασφαλιστρα

και το κόστος της ενέργειας που απαιτείται γ ια τη λειτουργία της όλης εγκατάστασης.

Το λειτουργικό κόστος των. συστημάτων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας είναι γενικά χαμηλό, ενώ το αρχικό Κόστος αγοράς και εγκατάστασης αυτών είναι υψηλό σε σύγκριση με τα αντίστοιχα των συμβατικών καυσίμων.

Αντίθετα προς τα παραπάνω κόστη υπάρχει και το αρνητικό κόστος που προέρχεται από σχετικές φοροαπαλλαγές.

Στην πράξη όλα τα κόστη μιας εγκατάστασης ανανεώσιμης μορφής ενέργειας θα πρέπει να ανάγονται σε παρούσες αξίες για μ ία αντικειμενική σύγκριση αυτών. Επίσης ο χρόνος ζωής και ο χρόνος απόσβεσης του κόστους των παραπάνω εγκαταστάσεων επιδρούν ουσιαστικά στην επιλογή αυτών.

7.2. Παρούσα αξία.

Ένα χρηματικό ποσό αξίζει περισσότερο σήμερα παρά μετά από ορισμένα χρόνια στο μέλλον. Αυτό είναι προφανές, αν λάβει υπόψη του κανείς, ότι σήμερα ένα χρηματικό ποσό μπορεί να επενδυθεί εντόκως και να δώσει μελλοντικά ένα μεγαλύτερο ποσό. Αντίθετα ένα μελλοντικό ποσό κοστίζει λιγότερο σήμερα. Έτσι για μια σύγκριση χρηματικών αξιών θα πρέπει να υπολογίζονται οι παρούσες αξίες αυτών.

Η παρούσα αξία ενός κεφαλαίου δίνεται από τη σχέση:

$$K_a = \frac{K_x}{(1+\varepsilon)^v} \quad (7.1.)$$

όπου:

K_a = Αρχικό κεφάλαιο ή παρούσα αξία του κεφαλαίου K_x .

K_x = Μελλοντικό ή διαχρονικό κεφάλαιο.

ε = Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία ή ρυθμός απόσβεσης ή επιτόκιο δανεισμού κεφαλαίου (%).

v = Έτη διαχρονικού κεφαλαίου.

Αν είναι γνωστός ο ετήσιος ρυθμός πληθωρισμού και το αντίστοιχο κεφάλαιο στο τέλος του πρώτου χρόνου, τότε το διαχρονικό κεφάλαιο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_x = K_{x_1} (1+i)^{v-1} \quad (7.2.)$$

όπου:

K_{x1} = Το κεφάλαιο στο τέλος του πρώτου χρόνου.

= Ετήσιος ρυθμός πληθωρισμού ή πληθωρισμός (%).

Το κεφάλαιο K_x όπως δίνεται από τη σχέση (7.2) έχει παρούσα αξία ($K_{xπ}$), που δίνεται από τη σχέση:

$$K_{xπ} = \frac{K_{x_1} (1+i)^{v-1}}{(1+\varepsilon)^v} \quad (7.3.)$$

Η σχέση (7.3) δίνει την παρούσα αξία μιας μελλοντικής γενικά δαπάνης. Για όλα τα έτη του διαχρονικού κεφαλαίου έχουμε παρούσα αξία ($K_{xπ0}$):

$$K_{xπ0} = K_{x_1} \sum_{j=1}^v \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+\varepsilon)^j} = K_{x_1} \Sigma_{\pi} \quad (7.4.)$$

όπου:

Σ_{π} = Συντελεστής παρούσας αξίας.

Ο συντελεστής Σ_{π} δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma_{\pi} = \sum_{j=1}^v \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+\varepsilon)^j} = \begin{cases} \frac{1}{\varepsilon-1} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+\varepsilon} \right)^v \right] & \text{για } i \neq \varepsilon \\ \frac{v}{1+i} & \text{για } i = \varepsilon \end{cases}$$

(7.5.)

Στην πράξη οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμων μορφών ενέργειας συνεργάζονται συνήθως με αντίστοιχες συμβατικών μορφών ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή η ανάλυση κέρδους κύκλου ζωής της εγκατάστασης εξαρτάται από την καθαρή παρούσα αξία.

Λέγοντας καθαρή παρούσα αξία εννοούμε τη διαφορά της παρούσας αξίας του κόστους κύκλου ζωής μιας εγκατάστασης συμβατικού καυσίμου και μιας αντίστοιχης μικτής ανανεώσιμης μορφής ενέργειας και συμβατικού καυσίμου.

Η καθαρή παρούσα αξία δίνεται από τη σχέση (7.4.) αν η ποσότητα K_{x_1} εκφράζει την παραπάνω διαφορά κόστους.

Η επιλογή ενός συστήματος σ

την πράξη γίνεται με βάση την παραπάνω καθαρή παρούσα αξία. Το σύστημα με την μεγαλύτερη ή τη μικρότερη καθαρή παρούσα αξία είναι τι περισσότερο αποδεκτό από πλευράς κόστους.

7.3. Χρόνος απόσβεσης

Ο χρόνος απόσβεσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να γίνει απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης μιας εγκατάστασης ανανεώσιμης μορφής ενέργειας. Η απόσβεση αυτή χαρακτηρίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & \text{ή} \\ & \sum_{j=1}^{V_{\alpha}} K_{1k}(1+i_k)^{j-1} = K_{0\alpha} \\ & K_{1k} \cdot \sum_{\pi}(V_{\alpha}, i_k, \epsilon = 0) = K_{0\alpha} \end{aligned}$$

(7.6.)

Όπου:

K_{1k} = Το κέρδος του πρώτου χρόνου από εξοικονόμηση καυσίμου.

i_k = 0 ετήσιος ρυθμός πληθωρισμού του καυσίμου (%).

$K_{0\alpha}$ = Το ολικό αρχικό κόστος του συστήματος.

V_{α} = Έτη απόσβεσης.

$\sum_{\pi}(V_{\alpha}, i_k, \epsilon = 0)$ = Συντελεστής παρούσας αξίας.

Το κέρδος καυσίμου του πρώτου χρόνου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$K_{1k} = \Pi_k E \cdot K_{\alpha\mu}$$

(7.7.)

Όπου :

Π_k = Ετήσιο ποσοστό κάλυψης του φορτίου με ανανεώσιμη μορφή ενέργειας (%).

E = Ετήσιο φορτίο (π.χ. Gζ).

$K_{\alpha\mu}$ = Κόστος καυσίμου ανά μονάδα φορτίου αυτού για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας (π.χ. €/Gζ)

Αν το επιτόκιο $\epsilon \neq 0$, τότε ισχύει η σχέση :

$$\begin{aligned} & \text{ή} \\ & \sum_{j=1}^{V_{\alpha}} K_{1k} \frac{(1+i_k)^{j-1}}{(1+\epsilon)^j} = K_{0\alpha} \\ & K_{1k} \cdot \sum_{\pi}(V_{\alpha}, i_k, \epsilon) = K_{0\alpha} \end{aligned}$$

(7.8.)

Αν λάβουμε υπόψη τις σχέσεις 7.5. και 7.10. θα έχουμε αντίστοιχα :

$$\frac{K_{0\alpha}}{K_{1\kappa}} = \frac{1}{\varepsilon - i\kappa} \left[1 - \left(\frac{1+i\kappa}{1+\varepsilon} \right)^{V_\alpha} \right]$$

ή

(7.9.)

$$\ln \frac{K_{1\kappa}}{K_{0\alpha}(\varepsilon - i\kappa)} = V_\alpha \ln \left(\frac{1+i\kappa}{1+\varepsilon} \right)$$

(7.10.)

$$\dots \quad \ln K_{1\kappa} - \ln K_{0\alpha}(\varepsilon - i\kappa)$$

ή

$$\frac{\ln K_{1\kappa} - \ln K_{0\alpha}(\varepsilon - i\kappa)}{i\kappa} = \ln \left(\frac{1+i\kappa}{1+\varepsilon} \right)$$

(7.11.)

Αν ληφθεί υπόψη η δεύτερη περίπτωση της σχέσης (7.5.), θα έχουμε από τη σχέση (7.10.)

$$\frac{K_{0\alpha}}{K_{1\kappa}} = \frac{V_\alpha}{1+i\kappa}$$

$$V_\alpha = \frac{K_{0\alpha}}{K_{1\kappa}} (1+i\kappa)$$

(7.12.)

7.4. Συνολικό κόστος συστημάτων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

$$K_0 = K_1 P + K_2$$

(7.13.)

Το συνολικό κόστος μιας εγκατάστασης ανανεώσιμης μορφής ενέργειας δίνεται από τη σχέση :

όπου:

K_0 = Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης σε δραχμές.

K_1 = Μοναδιαίο κόστος της εγκατάστασης σε €/KW ή €/Kcal/h ή €/Kcal/h*m²

P = Η παραγόμενη ισχύς της εγκατάστασης σε KW ή Kcal/h ή Kcal/h*m²

K_2 = Κόστος εγκατάστασης ανεξάρτητο της παραγόμενης ισχύος αυτού σε δραχμές.

Οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμων μορφών ενέργειας μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην εθνική οικονομία μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή το παραπάνω συνολικό κόστος αποτελείται από το δραχμικό μέρος και το αντίστοιχο συναλλαγματικό και δίνεται από τη σχέση:

$$K_{οε} = K_{\delta} + K_{\sigma\kappa}(1+S)A \quad (7.14.)$$

όπου:

$K_{οε}$ = Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης εθνικής οικονομίας, σε €.

K_{δ} = Το κόστος της εγκατάστασης σε €.

$K_{\sigma\kappa}$ = Το συναλλαγματικό κόστος της εγκατάστασης σε €.

S = (%) επιβάρυνση της τιμής του δολαρίου γνωστή σαν σκιώδης τιμή δολαρίου.

A = Αντιστοιχία €-δολαρίου σε € / δολάριο.

7.5. Κόστος δανειοδότησης.

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης ανανεώσιμης μορφής ενέργειας περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων και το κεφάλαιο, που πληρώνεται ετησίως για την εξόφληση σχετικών δανείων.

Αν θεωρήσουμε ετήσιες ισόποσες δόσεις εξόφλησης του δανείου, τότε το κεφάλαιο κάθε μιας από αυτές δίνεται από τη σχέση:

$$K_{\Delta} = K_{\text{ΟΔ}} \frac{\varepsilon(1+\varepsilon)^{\nu}}{(1+\varepsilon)^{\nu}-1} \quad (7.15.)$$

όπου :

K_{Δ} = Ετήσια δόση εξόφλησης δανείου σε ευρώ.

$K_{\text{ΟΔ}}$ = Το ολικό κεφάλαιο του δανείου σε ευρώ.

ε = Το ετήσιο καθαρό επιτόκιο δανειοδότησης (%).

ν = Χρονική περίοδος δανειοδότησης σε έτη.

7.6 Διαχρονικό κόστος.

Στο ετήσιο λειτουργικό κόστος εκτός από την ετήσια πληρωμή των σχετικών δανείων, που έχει ήδη αναφερθεί, περιλαμβάνονται το κόστος εφεδρικής συμβατικής ενέργειας, τα ασφάλιστρα, το κόστος της ενέργειας της λειτουργίας της όλης εγκατάστασης και το κόστος της συντήρησης.

Τα παραπάνω κόστη εκφράζονται σε σταθερές τιμές αναφερόμενα σε κάποιο χρόνο.

$$K_{\chi} = K_a(1+r)^{\nu} \quad (7.16.)$$

Ο γενικός πληθωρισμός θεωρείται μηδενικός. Στην περίπτωση που η μεταβολή των παραμέτρων του κόστους δεν συμφωνεί με το γενικό πληθωρισμό, τότε το αντίστοιχο κόστος καλείται διαχρονικό κόστος και δίνεται από τη σχέση:

όπου:

K_{χ} = Το διαχρονικό κόστος σε ευρώ.

K_a = Το αρχικό κόστος ή κόστος αφετηρίας σε ευρώ.

Γ = Πληθωρισμός πάνω από το γενικό πληθωρισμό (%).

ν = Χρονική περίοδος διαχρονικού κόστους σε έτη.

Κεφάλαιο 8

Μελέτες περιπτώσεων τεχνικό-οικονομικών σχεδιασμών

8.1 Περίπτωση 1

8.1.1. Αντικείμενο

Προκαταρκτικός σχεδιασμός ενός αυτόνομου φ/β συστήματος για την ηλεκτροδότηση και την ανάπτυξη των οικιακών, κοινοτικών, παραγωγικών και άλλων δραστηριοτήτων ενός υποθετικού απομονωμένου χωριού σε ένα νησί του Κεντρικού Αιγαίου.

8.1.2. Συμπληρωματικές πληροφορίες

Το χωριό έχει 60 μόνιμους κατοίκους που μένουν σε 15 κατοικίες και ασχολούνται, σε όλη τη διάρκεια του έτους, με γεωργικές καλλιέργειες, κτηνοτροφία και αλιεία. Για τον φωτισμό των δρόμων του χωριού και για τους φανούς της προβλήτας χρειάζονται 20 λάμπες των 50W. Για την ύδρευση των κατοικιών του χωριού, την άρδευση των χωραφιών και το πότισμα των ζώων χρειάζονται 2 αντλίες, ισχύος η καθεμιά 2,5kW. Για τη συντήρηση των αλιευμάτων και των ευαίσθητων τροφίμων χρειάζεται ένας ψυκτικός θάλαμος χωρητικότητας 50m³ με ψυκτικά μηχανήματα ισχύος 5 kW.

Τους θερινούς μήνες (Ιούνιος-Σεπτέμβριος) υπάρχει μια μικρή τουριστική κίνηση, με αποτέλεσμα να διπλασιάζεται το πλήθος των σπιτιών που κατοικούνται.

Σε ένα ύψωμα, κοντά στο χωριό, θα εγκατασταθεί ένας τηλεπικοινωνιακός αναμεταδότης, που θα εξυπηρετεί τον γενικότερο θαλάσσιο και νησιωτικό χώρο της περιοχής. Η απορροφούμενη συνολική ισχύς προβλέπεται ότι θα είναι 1,5kW από τα οποία τα 0,25kW για τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις, 0,5 kW για 4 ραδιοφωνικά προγράμματα διαμόρφωσης συχνότητας (FM), και 0,75kW για 2 τηλεοπτικά κανάλια.

Το δίκτυο διανομής για την τροφοδότηση όλων των καταναλώσεων (κατοικίες, κοινοτικές φωτισμός, αντλίες, ψυκτική εγκατάσταση, αναμεταδότης) είναι εναλλασσόμενο τριφασικό 220/380V, 50Hz. Για τη φ/β γεννήτρια θα χρησιμοποιηθούν φ/β πλαίσια ισχύος αιχμής 40W_p. Η τοποθέτηση των φ/β συλλεκτών θα γίνει σε μια επίπεδη οριζόντια αγροτική περιοχή, στην οποία επικρατούν μέτριοι άνεμοι που μεταφέρουν αξιόλογη ποσότητα σκόνης.

Το σύστημα πρέπει να έχει υψηλή αξιοπιστία, κυρίως για να αποφεύγονται οι

διακοπές παροχής ισχύος προς τον αναμεταδότη και τον ψυκτικό θάλαμο.

8.1.3. Γενική πορεία του σχεδιασμού

Θα ακολουθήσουμε τα διαδοχικά βήματα του υποδείγματος του πίνακα 8.2. Δηλαδή, κατά σειρά, θα επιλέξουμε τη χρονική περίοδο της απαιτούμενης αξιόπιστης λειτουργίας του συστήματος, θα εκτιμήσουμε το μέγεθος της ηλεκτρικής κατανάλωσης, θα υπολογίσουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, θα βρούμε ποιο είναι το αναγκαίο πλήθος των φ/β πλαισίων για τη συγκρότηση της φ/β γεννήτριας, θα καθορίσουμε τη χωρητικότητα των συσσωρευτών και θα υποδείξουμε τις απαιτούμενες διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου του συστήματος, καθώς και την ισχύ της βοηθητικής ενεργειακής πηγής, για την ικανοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος και την αντιμετώπιση ανώμαλων συνθηκών. Οι υπολογισμοί μας θα στηριχτούν στα τεχνικά στοιχεία που μας δόθηκαν και σε άλλες γνωστές πληροφορίες ή παραδοχές που δικαιολογούνται από την κοινή λογική. Στις περιπτώσεις που απαιτείται, θα κάνουμε διάκριση ανάμεσα στις χειμερινές και στις θερινές συνθήκες.

8.1.4. Η χρονική περίοδος

Είναι φανερό ότι το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα σε όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες των μονίμων κατοίκων του χωριού, να αποφεύγονται οι ζημιές στην αλιευτική, κτηνοτροφική και γεωργική παραγωγή και να εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία του αναμεταδότη.

8.1.5. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

α. Κατοικίες

Θεωρούμε ότι η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση, ανά κατοικία, είναι 4 kWh. Δηλαδή, ότι είναι το μισό από την κατανάλωση του παραδείγματος του πίνακα 8.3. που αφορά σε αστική κατοικία, όπου η οικογένεια έχει συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια νυκτερινής δραστηριότητας και χρησιμοποιεί περισσότερο ηλεκτρικό εξοπλισμό από όσο μια μέση οικογένεια αγροτών, ψαράδων ή κτηνοτρόφων, ανεξάρτητα από το ύψος του εισοδήματος της. Ως προς τις καταναλώσεις, ισχύει και εδώ η προϋπόθεση ότι δεν θα χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια για το μαγείρεμα, τη θέρμανση νερού και τη θέρμανση χώρων.

β. Κοινοτικός φωτισμός

20 λάμπες των 50W του κοινοτικού και λιμενικού φωτισμού, συνολικής ισχύος $20 \times 50 \text{ W} = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$, θα λειτουργούν επί 14 ώρες τις νύχτες του χειμώνα και επί 10 ώρες τις νύχτες του καλοκαιριού.

γ. Αντλίες

2 ηλεκτρικές αντλίες νερού, συνολικής ισχύος $2 \times 2,5 \text{ kW} = 5 \text{ kW}$, θα λειτουργούν 2 ώρες τις ημέρες του χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι, λόγω των μεγαλύτερων καταναλώσεων νερού από τον αυξημένο πληθυσμό και τα ποτίσματα στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες θα λειτουργούν 12 ώρες την ημέρα.

δ. Ψυκτική εγκατάσταση

Για τη διατήρηση της ψύξης του ψυκτικού θαλάμου, τα μηχανήματα ισχύος 5kW θα λειτουργούν το 10% του χρόνου τους χειμερινούς μήνες και το 50% τους θερινούς.

ε. Αναμεταδότης

Η ενίσχυση και αναμετάδοση των τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων με απορρόφηση ισχύος 0,25kW θα γίνεται στη διάρκεια ολόκληρου του 24ωρου, των ραδιοφωνικών προγραμμάτων FM με απορρόφηση ισχύος 0,5 kW επί 16 ώρες την ημέρα και των τηλεοπτικών με απορρόφηση ισχύος 0,75kW επί 8 ώρες την ημέρα.

Οι εκτιμήσεις των παραπάνω ημερήσιων χειμερινών και θερινών καταναλώσεων μεταφέρονται στον (πίνακα 8.1) και αθροίζονται. Βρίσκουμε ότι η συνολική μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι 116kWh τον χειμώνα και 270kWh το καλοκαίρι.

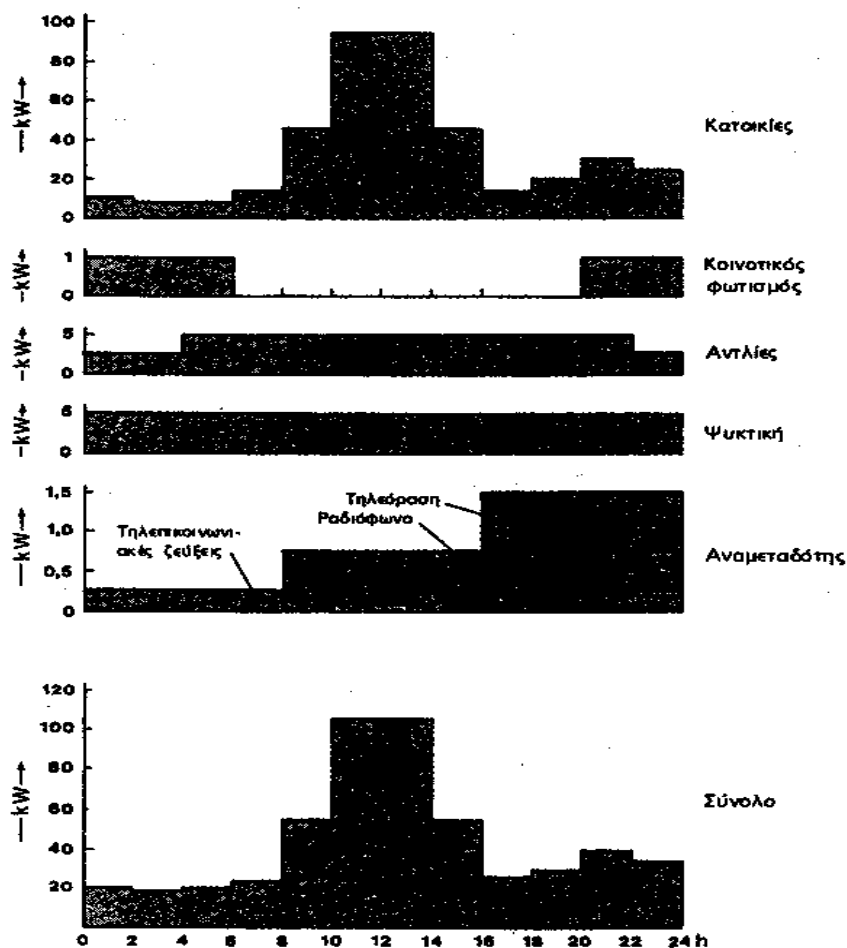
ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1 Εκτίμηση των μέσων ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων που θα τροφοδοτεί το σύστημα.

Κατανάλωση	Χειμώνας	Καλοκαίρι
α. Κατοικίες	$15 \times 4 \text{ kWh} = 60 \text{ kWh}$	$30 \times 4 \text{ kWh} = 120 \text{ kWh}$
β. Κοιν. φωτισμός	$1 \text{ kW} \times 14 \text{ h} = 14 \text{ kWh}$	$1 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 10 \text{ kWh}$
γ. Αντλίες	$5 \text{ kWh} \times 2 \text{ h} = 10 \text{ kWh}$	$5 \text{ kWh} \times 12 \text{ h} = 60 \text{ kWh}$
δ. Ψυκτική	$0,1 \times 5 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 12 \text{ kWh}$	$0,5 \times 5 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 60 \text{ kWh}$
ε. Αναμεταδότης	$0,25 \text{ kWh} \times 24 \text{ h}$ $+ 0,5 \text{ kW} \times 16 \text{ h}$ $+ 0,75 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 20 \text{ kWh}$	$0,25 \text{ kWh} \times 24 \text{ h}$ $+ 0,5 \text{ kW} \times 16 \text{ h}$ $+ 0,75 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 20 \text{ kWh}$
Σύνολο	116 kWh	270 kWh

Για την εκτίμηση της μέγιστης ισχύος που ενδέχεται να ζητηθεί να τροφοδοτήσει το σύστημα θεωρούμε, όπως και για την κατανάλωση, ότι οι κατοικίες έχουν ηλεκτρικό εξοπλισμό με τη μισή ισχύ σε σχέση με της αστικής κατοικίας του πίνακα 6.3., δηλαδή συνολική ισχύ 3,75kW.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2. Καταγραφή της μέγιστης ισχύος που απορροφούν οι διάφοροι καταναλωτές. Μεαστερίσκο σημειώνονται οι καταναλώσεις πρώτης προτεραιότητας

Κατανάλωση	Μέγιστη ισχύς
α. Καταικίες	$30 \times 3,75 \text{ kW} = 112,5 \text{ kW}$
β. Κοινοτικός φωτισμός	$20 \times 0,05 \text{ kW} = 1,0 \text{ kW}$
γ. Αντλίες	$2 \times 2,5 \text{ kW} = 5,0 \text{ kW}$
δ. Ψυκτική εγκατάσταση*	5,0 kW
ε. Αναμεταδότης*	1,5 kW
Σύνολο	128,0 kW



ΣΧΗΜΑ 8.1 Εκτίμηση της πιθανής μέγιστης ζήτησης ισχύος στις επιμέρους καταναλώσεις και στο σύνολο του συστήματος, κατά τη διάρκεια ενός θερινού 24ώρου. Προφανώς, η κλίμακα της ισχύος δεν είναι η ίδια σε όλα τα ιστογράμματα.

Στον (πίνακα 8.2).συγκεντρώνουμε και αθροίζουμε τις επί μέρους ισχύς και βρίσκουμε σύνολο 125kW. Προτεραιότητα θεωρείται ότι έχει ο αναμεταδότης, διότι εξυπηρετεί την ευρύτερη θαλάσσια και νησιωτική περιοχή, και ακολουθούν κατά σειρά η ψυκτική εγκατάσταση, οι κατοικίες, οι αντλίες και ο κοινοτικός φωτισμός. Λόγω της χαμηλής προτεραιότητας των αντλιών, υποτίθεται ότι θα γίνει ενημέρωση των κατοίκων ώστε να διατηρούν σε δεξαμενές την αναγκαία ποσότητα νερού της ημερήσιας κατανάλωσης.

Συνήθως, για να αποκτήσουμε μια εικόνα της πιθανής κατανομής της μέγιστης ζήτησης ισχύος, σχεδιάζουμε ιστογράμματα (όπως π.χ. του Σχήματος 8.1.) για τις διάφορες ξεχωριστές και τις συνολικές καταναλώσεις του συστήματος στη διάρκεια ενός 24ώρου.

8.1.6. Η ηλιακή ενέργεια

Το νησί που θα εγκατασταθεί το φ/β σύστημα βρίσκεται ανάμεσα σε 3 νησιωτικές, δηλαδή όμοιες, τοποθεσίες (Λέσβο, Λήμνο και Σκύρο) με γνωστά μετεωρολογικά στοιχεία που περιέχονται στους πίνακες 1 στο τέλος της εργασίας. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στο υπόψη νησί θα είναι ο μέσος όρος των τιμών των 3 γειτονικών τοποθεσιών, που το περιβάλλουν, και με τη βοήθεια των αντίστοιχων πινάκων βρίσκουμε τις τιμές του (πίνακα 8.3.)

Δεν θεωρούμε σκόπιμο να εξετάσουμε και να περιλάβουμε στον πίνακα και κλίσεις μικρότερες από 30°, διότι στις περιπτώσεις αυτές η συγκράτηση της σκόνης πάνω στην του συλλέκτη, και επομένως η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, γίνεται σημαντική.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3. Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²), για διαφορετικές κλίσεις του συλλέκτη, και η μέση θερμοκρασία του αέρα (°C) στη διάρκεια των φωτεινών ωρών της ημέρας.

	Ιαν.	Φεβρ.	Μάρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιουλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
Κλίση 30°	2,22	2,94	3,74	4,82	5,74	6,19	6,42	6,37	5,54	4,12	3,00	2,30
Κλίση 45°	2,38	3,09	3,73	4,58	5,20	5,50	5,74	5,83	5,47	4,30	3,27	2,54
Κλίση 60°	2,45	3,07	3,56	4,11	4,45	4,59	4,82	5,20	5,10	4,28	3,35	2,65
Θερμοκρασία	10,1	10,8	12,1	17,0	20,7	25,0	27,3	27,0	23,5	19,2	15,4	11,9

8.1.7. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

α. Η κλίση των συλλεκτών

Παρατηρούμε στον (πίνακα 8.3)., ότι η κλίση 30° πλεονεκτεί επί 7 μήνες (Μάρτης μέχρι Σεπτέμβρης), η κλίση 60° πλεονεκτεί επί 3 μήνες (Ιανουάριος, Νοέμβρης και

Δεκέμβρης), ενώ η κλίση 45° πλεονεκτεί επί 2 μόνο μήνες (Φεβρουάριος και Οκτώβρης), και το πλεονέκτημα του είναι ασήμαντο σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές της κλίσης 60° τους ίδιους μήνες. Επομένως, επιλέγουμε την κλίση 30° για τους μήνες από Μάρτη μέχρι Σεπτέμβρη, και την κλίση 60° για τους μήνες από Οκτώβρη μέχρι Φεβρουάριο, Προβλέπουμε, δηλαδή, μια κατάλληλη κατασκευή στήριξης των φ/β συλλεκτών, π.χ. με αρθρωτά στηρίγματα, που να είναι εύκολη, με έναν απλό χειροκίνητο μηχανισμό, η αλλαγή από τη μια κλίση στην άλλη, δύο φορές τον χρόνο.

β. Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής

Από τον (πίνακα 8.3) βλέπουμε ότι τη μικρότερη μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έχει για τους χειμερινούς μήνες ο Ιανουάριος με 2,45 kWh, και για τους θερινούς μήνες με την αυξημένη ηλεκτρική κατανάλωση (Ιούνιος-Σεπτέμβρης) την έχει ο Σεπτέμβρης με 5,54kWh.

Η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι 10,1°C τον Ιανουάριο και 23,5°C τον Σεπτέμβρη. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων θα είναι περίπου 30° C περισσότερο, καταλήγουμε στους περίπου 40°C τον Ιανουάριο και 53.5°C τον Σεπτέμβρη, και από το διάγραμμα του σχήματος 5.7 βρίσκουμε τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης 0,93 και 0,87 περίπου. Εκτιμάμε, πάντως, ότι είμαστε συντηρητικοί στις παραδοχές μας, διότι οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή, θα εμποδίζουν κάπως την υπερθέρμανση των ηλιακών στοιχείων.

Ως προς τη ρύπανση των φ/β συλλεκτών, προβλέπουμε ότι, λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται περιοδική επιθεώρηση και ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους, και δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή 0,9 όλες τις εποχές του έτους.

Εφαρμόζουμε για να υπολογίσουμε την ιδανικά απαιτούμενη ισχύ αιχμής της φ/β εγκατάστασης:

$$P_{\alpha} (kW_p) = E (kWh/d) \times 1 (kW/m^2) / \Pi (kWh/m^2) \times \sigma_{\theta} \times \sigma_p$$

και βρίσκουμε για τον Ιανουάριο, δηλαδή για τους χειμερινούς μήνες, την τιμή:

$$P_{\alpha\chi} = (116 \times 1) / (2,45 \times 0,93 \times 0,9) = 56,6 kW_p$$

και για τον Σεπτέμβρη, δηλαδή για τους θερινούς μήνες, την τιμή:

$$P_{\alpha\theta} = (270 \times 1) / (5,54 \times 0,87 \times 0,9) = 62,2 kW_p$$

που την επιλέγουμε, ως μεγαλύτερη από τις δύο.

Παρατηρούμε ότι οι απαιτούμενες ισχύς για τον χειμώνα και το καλοκαίρι περίπου συμπίπτουν. Άλλωστε, θα έπρεπε να το περιμένουμε ότι οι αυξημένες θερινές ηλεκτρικές καταναλώσεις θα αντισταθμίζονταν κατά μεγάλο ποσοστό από την αυξημένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την ίδια εποχή.

Στη συνέχεια προχωράμε σε μια εκτίμηση των απωλειών του συστήματος. Καταρχήν, επειδή η φ/β εγκατάσταση είναι αρκετά μεγάλης ισχύος και υψηλού βαθμού αξιοποίησης, δικαιολογείται να εξοπλιστεί με τις απαραίτητες διατάξεις ρύθμισης της ισχύος και της τάσης, που θα εξασφαλίσουν σταθερή λειτουργία και υψηλή τελική απόδοση του συστήματος. Έτσι, παίρνοντας ως συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 90% για τον μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και τη διάταξη MPPT, 90% για τον αναστροφέα Σ.Ρ./Ε.Ρ. και τον ενδεχόμενο μετασχηματιστή μαζί, και 5% για τις απώλειες στους αγωγούς του δικτύου, καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης:

$$\alpha = 0,85 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,95 = 0,65$$

Επομένως, η ελάχιστη ισχύς αιχμής της φ/β γεννήτριας πρέπει να είναι:

$$P' = P_{\alpha\theta} / \alpha = 62,6 / 0,65 = 95,69 \text{ kW}_p$$

γ. Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαισίων

Τα διαθέσιμα φ/β πλαίσια έχουν ισχύ αιχμής 40 W_p και παράγουν τάση $17,3 \text{ V}$. Το πλήθος τους, επομένως, για τη συγκρότηση της φ/β γεννήτριας, συνολικής ισχύος αιχμής 95.690 W_p , θα είναι:

$$95.690 / 40 = 2.393 \text{ } \varphi/\beta \text{ πλαίσια.}$$

Αν ως τάση εξόδου της γεννήτριας θεωρήσουμε ότι θα έχουμε π.χ. 250 V , που είναι μια συνηθισμένη τιμή για τις φ/β εγκαταστάσεις, βλέπουμε ότι ο κάθε κλάδος στις φ/β συστοιχίες θα πρέπει να αποτελείται από:

$$250 / 17,3 \text{ V} = 15 \text{ } \varphi/\beta \text{ πλαίσια.}$$

και επομένως η φ/β γεννήτρια θα αποτελείται από:

$$2.393 / 15 = 160 \text{ παράλληλους κλάδους.}$$

Τελικά, λοιπόν, η φ/β γεννήτρια θα δίνει τάση:

$$15 \times 17,3 \text{ V} = 259,5 \text{ V}$$

και το συνολικό πλήθος των φ/β πλαισίων για τον σχηματισμό των 160 κλάδων θα είναι:

$$15 \times 160 = 2400 \text{ } \varphi/\beta \text{ πλαίσια}$$

που ανεβάζει την ονομαστική αιχμή της φ/β γεννήτριας σε:

$$40 \times 2400 = 96000W_p = 96 \text{ kW}_p$$

Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των φ/β πλασιών, που βρήκαμε, θα πρέπει για τον καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας τους, να κατανεμηθεί σε υποσυγκροτήματα συστοιχιών.

δ. Η έκταση του φ/β πάρκου

Στη συνέχεια προχωράμε στον υπολογισμό του απαιτούμενου εμβαδού για την έκταση της γης που θα τοποθετηθούν οι ηλιακοί συλλέκτες.

Τα φ/β πανέλα που θα χρησιμοποιηθούν αποτελούνται από 4 φ/β πλαίσια και το πλάτος τους είναι $\gamma = 122\text{cm}$. Το ίδιο πλάτος θα έχουν και τα στηρίγματα τους. Η δυσμενέστερη περίπτωση κλίσης των συλλεκτών, από την άποψη της αλληλοσκίασης τους, είναι η περισσότερο όρθια τοποθέτηση, δηλαδή η γωνία $\beta_0 = 60^\circ$. Το ύψος της κατασκευής στήριξης στο οριζόντιο φ/β πάρκο, όπου το δ της σχέσης(7.7.) έχει μηδενική τιμή, θα είναι:

$$u = \gamma \mu \beta_0 = 122 \eta \mu 60^\circ = 105,7 \text{ cm}$$

Το γεωγραφικό πλάτος του Αγ. Ευστράτιου είναι περίπου $39,5^\circ$, όπου δίνει αντίστοιχη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης προς το ύψος της στήριξης περίπου $\alpha/u = 2,8$. Δηλαδή:

$$\alpha = 2,8u = 2,8 \times 105,7 = 296 \text{ cm}$$

η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση ανάμεσα από τις σειρές των φ/β συστοιχιών είναι:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \sigma \nu \beta_0 = 296 + 122 \sigma \nu 60^\circ = 357 \text{ cm}$$

Αφού το κάθε φ/β πανέλο των 4 πλασιών έχει διαστάσεις $122 \text{ cm} \times 122 \text{ cm}$ και η φ/β γεννήτρια αποτελείται από:

$$2400 / 4 = 600 \text{ } \varphi/\beta \text{ πανέλα}$$

η συνολική τους επιφάνεια θα είναι:

$$600 \times 1,22 \times 1,22 = 900 \text{ m}^2$$

και η οριζόντια προβολή τους S_0 θα είναι:

$$S_0 = 900 \text{ m}^2 \chi \sigma \nu 60^\circ = 450 \text{ m}^2$$

Επομένως, το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης S_E που θα χρειαστεί για την ανάπτυξη των φ/β συλλεκτών θα ισούται με:

$$S_{\varepsilon} = (\varepsilon / \gamma \sigma \nu \beta_{\sigma}) \times S_0 = (357 / 122 \sigma \nu 60^{\circ}) \times 450 = 2633,6 \text{ m}^2$$

που το στρογγυλεύουμε σε περίπου 3000m², ώστε να υπάρχει μια περιμετρική ελεύθερη ζώνη, καθώς και αρκετές οδοί πρόσβασης προς τους φ/β συλλέκτες, ανάμεσα στις σειρές των συστοιχιών, για την άνετη επιθεώρηση και συντήρηση τους.

8.1.8. Οι συσσωρευτές

Θεωρούμε ότι οι συσσωρευτές του συστήματος θα έχουν τάση $V = 200 \text{ V}$, που συνδυάζεται ικανοποιητικά με την τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας, παίρνοντας υπόψη τις απώλειες και την απαιτούμενη αυξημένη τάση φόρτισης. Επίσης, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών θα είναι $\beta = 80\%$, ο συντελεστής απόδοσης $\sigma = 85\%$, και ότι θα πρέπει να αποθηκεύουν επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις μέσες καταναλώσεις τουλάχιστον 6 διαδοχικών χειμερινών ή 3 διαδοχικών θερινών ημερών. Δηλαδή, στην πρώτη περίπτωση να έχουν ικανότητα αποθήκευσης:

$$E_{\chi} = 6 \times 116 \text{ kWh} = 696 \text{ kWh}$$

και στη δεύτερη περίπτωση:

$$E_{\theta} = 3 \times 270 \text{ kWh} = 810 \text{ kWh}$$

Επιλέγουμε τη μεγαλύτερη από τις παραπάνω τιμές και από τη σχέση (6.6) βρίσκουμε ότι η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών θα πρέπει να είναι:

$$C_N = E / (\alpha \times \beta \times V) = (810 \times 10^3 \text{ Wh}) / (0,85 \times 0,8 \times 200 \text{ V}) = 5956 \text{ Ah}$$

Στη συνέχεια, από τη σχέση (6.7) βρίσκουμε ότι η ισχύς που μπορούν να δίνουν οι συσσωρευτές μας επί το παραπάνω μέγιστο διάστημα των 6 διαδοχικών ημερών είναι περίπου:

$$P = (\beta \times C_N \times V) / 24 \times \mu = (0,8 \times 5956 \times 200) / 24 \times 6 = 6,6 \text{ kW}$$

Όπως βλέπουμε στον πίνακα 10.2. σε περίπτωση ταυτόχρονης ζήτησης, η διαθέσιμη ισχύς των 6,6 kW επαρκεί για την τροφοδότηση του αναμεταδότη και της ψυκτικής εγκατάστασης, που χαρακτηρίστηκαν ως καταναλώσεις πρώτης προτεραιότητας.

8.1.9. Διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σύστημα θα έχει μετατροπέα συνεχούς ρεύματος, διάταξη MPPT, αναστροφέα Σ.Ρ./Ε.Ρ. και ενδεχομένως μετασχηματιστή, αν ο αναστροφέας δεν δίνει το απαιτούμενο τριφασικό ρεύμα 220/380V, 50Hz. Επίσης, θα έχει έναν αυτόματο επιλογέα της κατανομής του φορτίου, ώστε αν χρειαστεί,

να επιβάλλεται μια ιεράρχηση της τροφοδότησης των καταναλώσεων με την προκαθορισμένη σειρά προτεραιότητας: (1) Αναμεταδότης, (2) Ψυκτική εγκατάσταση, (3) Κατοικίες, (4) Αντλίες νερού, (5) Κοινοτικός φωτισμός. Οι συνολικές ισχύς των παραπάνω διατάξεων θα είναι αντίστοιχες με τη μέγιστη ισχύ του συστήματος, που ουσιαστικά συμπίπτει με την ισχύ αιχμής του (96kW). Θα είναι όμως κατανεμημένες σε περισσότερα μικρότερα μεγέθη, ώστε να συνδέεται κάθε φορά ο απαιτούμενος αριθμός τους για την κάλυψη της εκάστοτε πραγματικής ισχύος, και έτσι να λειτουργούν όσο το δυνατό πιο κοντά στην ονομαστική τους ισχύ και να έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης. Θα χρησιμοποιηθούν 4 μετατροπείς συνεχούς ρεύματος των 25kW και 2 αναστροφείς Σ.Ρ/Ε.Ρ.. των 50kW. Το (Σχήμα 8.2) δείχνει ένα γενικό διάγραμμα του συστήματος από τη φ/β γεννήτρια μέχρι την έξοδο προς τις καταναλώσεις.



Σχήμα 8.2 Γενικό διάγραμμα και ροή της ενέργειας στο φωτοβολταϊκό σύστημα του παραδείγματος σχεδιασμού.

8.1.10. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής, για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη του συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συννεφιάς κλπ. Συνήθως, για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που καίνε πετρέλαιο ντίζελ ή βενζίνη και μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα ή και παράλληλα με τη φ/β γεννήτρια. Η ισχύς του ζεύγους πρέπει να επαρκεί για την ηλεκτροδότηση των καταναλώσεων πρώτης προτεραιότητας, καθώς και για τη φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος, διαμέσου ενός ανορθωτή, μέσα σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, π.χ. σε δύο 24ωρα. Για την ικανοποίηση της πρώτης απαίτησης, χρειάζεται ισχύς 1,5kW για τον αναμεταδότη και 5,0 kW για τη ψυκτική εγκατάσταση. Για τη δεύτερη απαίτηση βρίσκουμε πάλι από τη σχέση (8.7) την τιμή:

$$P = (\beta \times C_N \times V) / 24 \times \mu = (0,8 \times 5956 \times 200) / 24 \times 2 = 20 \text{ kW}$$

Επομένως, το βοηθητικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος θα πρέπει να έχει τουλάχιστον ισχύ:

$$1,5 + 5,0 + 20 = 26,5 \text{ kW}$$

που τη στρογγυλεύουμε στα 30kW.

8.1.11. Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων

Με την επιλογή της ισχύος του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους συμπληρώθηκαν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του αυτόνομου φ/β συστήματος, τα κυριότερα αποτελέσματα του οποίου συγκεντρώθηκαν στον (πίνακα 8.4.)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4. Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Ισχύς αιχμής της φ/β γεννήτριας	98 kW _p
Πλήθος φ/β πλασιών, ισχύος αιχμής 40kW _p	2400
Κλίση των συλλεκτών	30°/60°
Τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας	259,5 V
Χωρητικότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών	810 kWh
Θεωρητική χωρητικότητα των συσσωρευτών	5856 Ah
Τάση εξόδου των συσσωρευτών	200 V
Ισχύς των μετατροπέων Σ.Ρ.	4×26 kW
Ισχύς των αναστροφών Σ.Ρ./Ε.Ρ.	2×50 kW
Ισχύς του βοηθητικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	30 kW
Εμβαδική έκταση για τις φ/β συστοιχίες	3000/6000 m ²

Στην περίπτωση όπου ενδεχομένως η ηλιακή ακτινοβολία, με τη δοσμένη επιφάνεια συλλεκτών, δεν καλύπτει την κατανάλωση θα πρέπει να αυξηθεί κατάλληλα το πλήθος των φ/β πλασιών. Επίσης, θα ήταν ίσως σκόπιμη μια λεπτομερέστερη εκτίμηση των διαφόρων απωλειών του συστήματος, από τη φ/β γεννήτρια μέχρι τους καταναλωτές.

Ως προς τις μελλοντικές εξελίξεις, μπορούμε να προβλέψουμε ότι η ηλεκτροδότηση του χωριού θα οδηγήσει σύντομα στη βελτίωση των όρων ζωής των κατοίκων, την αύξηση του πληθυσμού και την ενεργοποίηση των διαφόρων δραστηριοτήτων, που συνεπάγονται αντίστοιχη αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης.

Αν θεωρήσουμε ως ενδεχόμενο τον διπλασιασμό της ισχύος της φ/β εγκατάστασης, θα υποδείξουμε να κρατηθεί ελεύθερος χώρος γης, δίπλα στις φ/β συστοιχίες, όμοιας έκτασης (δηλαδή 3000m²) για τη μελλοντική επέκταση της φ/β γεννήτριας. Επίσης, ανάλογοι χώροι θα πρέπει να υπάρχουν και στο κτίριο της φ/β εγκατάστασης, για την τοποθέτηση των πρόσθετων συσσωρευτών, των διατάξεων ρύθμισης της ισχύος κλπ.

8.1.12. Οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης

Ακολουθούν ορισμένες οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης για την καλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος:

- α. Καθαρισμός των επιφανειών των συλλεκτών μια φορά το μήνα.
- β. Αναπροσαρμογή της κλίσης των συλλεκτών δύο φορές τον χρόνο (Μάρτη και Οκτώβριο).
- γ. Έλεγχος και ενδεχόμενη συμπλήρωση της στάθμης του ηλεκτρολύτη (θειικό οξύ) στους συσσωρευτές κάθε 3 μήνες.
- δ. Δοκιμαστική λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, κάθε βδομάδα

8.1. 13. Συγκρίσεις

Θα εξετάσουμε αν το αριθμητικό αποτέλεσμα του τεχνικού σχεδιασμού είναι ρεαλιστικό και πραγματοποιήσιμο, ώστε να ελέγξουμε έμμεσα αν έχουμε κάνει κάποιο χοντρό λάθος, ή και να αποφύγουμε να προχωρήσουμε στη διατύπωση μιας παράλογης πρότασης.

Έτσι, στον (πίνακα 8.5) έχουμε συγκεντρώσει τα κύρια γνωστά χαρακτηριστικά 7 φ/β εγκαταστάσεων, περίπου όμοιων με το σύστημα που μελετάμε. Συγκεκριμένα, κατά σειρά μεγέθους, η καθεμιά από τις φ/β εγκαταστάσεις του πίνακα έχει το παραπάνω αντικείμενο:

(1) Ηλεκτροδότηση του μικρού χωριού Vester στη Δανία, με μεταβαλλόμενο πληθυσμό σε αγροικίες και παραθεριστικές κατοικίες.

Συμμετοχή κατά περίπου 17% στην ηλεκτροδότηση της Κύθνου στις Κυκλάδες, (2000 κάτοικοι), σε συνδυασμό με ένα τοπικό ηλεκτροπαραγωγό σταθμό ντίζελ ισχύος 650kW, και 5 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 100kW. Δηλαδή το φ/β σύστημα της Κύθνου δεν είναι αυτόνομο.

Ηλεκτροδότηση ενός μικρού οικισμού στην πολιτεία Γιούτα των Η.Π.Α., με 5 κατοικίες και έναν ξενώνα.

(2) Ηλεκτροδότηση του μικρού νησιού Alicudi κοντά στη Σικελία, με 120 μόνιμους κατοίκους σε 50 κατοικίες, και μερικές εκατοντάδες παραθεριστές το καλοκαίρι.

(3) Ηλεκτροδότηση του χωριού Αγία Ρούμελη στη Νότια Κρήτη, με 34 κατοικίες, 7 μικρά ξενοδοχεία και 8 μικρά καταστήματα.

(4) Ηλεκτροδότηση του μικρού χωριού Rondulínu στην Κορσική, με 7 κατοικίες τον χειμώνα και 16 το καλοκαίρι, μια στάνη με αιγοπρόβατα, ένα μικρό μηχανουργείο και μια αντλία νερού.

(7) Ηλεκτροδότηση του εντελώς απομονωμένου χωριού Kaw στη Γαλλική Γουιάνα (Νότια Αμερική), με 70 κατοίκους που ασχολούνται με τη γεωργία, το ψάρεμα και το κνήγι.

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα, διαπιστώνουμε με αρκετή ικανοποίηση ότι, ανάλογα με τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της κάθε περίπτωσης, τα αποτελέσματα

μας , που αναγράφονται στη στήλη (8), είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τα συγκρινόμενα συστήματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5 Σύγκριση της ισχύος αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, της χωρητικότητας αποθήκευσης των συσσωρευτών, και της αναγωγής τους ως προς την ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση του υπό μελέτη συστήματος, με τα αντίστοιχα μεγέθη 7 φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Συγκρινόμενα μεγέθη	(1) Δανία	(2) Κόστος	(3) Γαλλία	(4) Σκελία	(5) Κρήτη	(6) Κόρυμφ	(7) Γαλιάνο	(8) Το σύστημα μας
Ισχύς αιχμής της φ/β γεννήτριας, kW _p	100	100	100	76	50	44	35	98
Συσσωρευτές Ονομαστική χωρητικότητα, Ah Χωρητικότητα αποθήκευσης, kWh	4000 1000	2400 800	3500 750	800	1500 380	3000 540	1500 410	5968 810
Μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση Χαμηρική, kWh/d Θερκή, kWh/d Μέση επίησιο, kWh/d	— — 410	— — 472	— — 394	— — 278	84 179 —	53 108 —	46 108 —	116 270 —
Αναγωγή ανά μονάδα ημερήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης (kWh/d)								
α) Της ισχύος αιχμής, $\frac{kWh}{kW_p/d}$	0,24	0,21	0,25	0,27	0,28	0,41	0,32	0,36
β) Της χωρητ. των συσσωρευτών, $\frac{kWh}{kWh/d}$	2,4	1,3	1,8	2,2	2,0	5,0	3,8	3,0

8.1.14. Προϋπολογισμός κόστους

Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός του φ/β συστήματος μας δίνει τα αναγκαία τεχνικά στοιχεία για να προχωρήσουμε σε έναν χονδρικό προϋπολογισμό κόστους, ώστε να έχουμε μια πρώτη εικόνα της απαιτούμενης δαπάνης για την πραγματοποίηση της υπόψη φ/β εγκατάστασης. Θεωρούμε, καταρχήν, ότι ισχύουν οι παρακάτω τιμές μονάδας για τον κάθε παράγοντα κόστους της εγκατάστασης.

1. φ/β πάνελα με συντελεστή κάλυψης $\sigma_k = 0,9:150€/m^2$.
Επομένως το κόστος του κάθε χρησιμοποιούμενου πάνελου, στην περίπτωση μας, είναι $1,22 m \times 1,22m \times 150€/m^2 = 225€$.
2. Αρθρωτή κατασκευή στήριξης των πινέλων, μαζί με τις καλωδιώσεις των συστοιχιών και την αντικεραυνική προστασία: $15€/m^2$.
3. Συσσωρευτές: $60€/kWh$ χωρητικότητας.
4. Ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος (μετατροπείς, MPPT, αναστροφείς κλπ.) συνολικά, για τα υπόψη μεγέθη: $300€/kW$.
5. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ντιζελ, για τα υπόψη μεγέθη: $150€/ kW$.
Εδαφική έκταση: $1000€/στρέμα$, δηλαδή $1€/m^2$.

Κτίριο για τη στέγαση των συσσωρευτών και των ηλεκτρονικών διατάξεων ισχύος, δαπάνες διαμόρφωσης και περιφράξης της έκτασης, και συμπληρωματικός εξοπλισμός (πίνακας χειρισμών, όργανα μετρήσεων, συνεργείο συντήρησης κλπ.), συνολικά: **272.400€**.

Μεταφέρουμε τις τιμές μονάδας και τα αντίστοιχα μεγέθη στον πίνακα 8.6. και βρίσκουμε το συνολικό προϋπολογιζόμενο κόστος της εγκατάστασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6. Προϋπολογισμός του κόστους της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Α/Α	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ(€)	ΣΥΝΟΛΟ(€)
1	Φ/Β ΠΑΝΕΛΑ	600	225	135.000,00
2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	900m ²	15 €/m ²	13.500,00
3	ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ	810kWh	60€/kWh	48.600,00
4	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ	96kW	300€/kW	28.800,00
5	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ	30kW	150€/kW	4.500,00
6	ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ	6000m ²	1€	6.000,00
7	ΚΤΙΡΙΟ κλπ			36.000,00
8	ΣΥΝΟΛΟ			272.400,00

8.2. Περίπτωση 2

8.2.1. Αντικείμενο

Προκαταρκτικός σχεδιασμός ενός αυτόνομου φ/β συστήματος για την ηλεκτροδότηση οικίας στην Κρήτη.

8.2.2. Χρονική περίοδος

Το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

8.2.3. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις.

Οι ηλεκτρικές συσκευές, οι καταναλώσεις αυτών, ο χρόνος χρήσης τους και η συνολική ισχύς παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΣΥΣΚΕΥΗ	WATT (W)	ΩΡΕΣ (h)	ΣΥΝΟΛΟ (Wh)
ΨΥΓΕΙΟ	100	10	1000
ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	60	5	300
VIDEO	30	2	60
ΣΤΕΡΕΟ	25	5	125
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	100	6	600
ΗΛ. ΣΚΟΥΠΑ	500	1	500
ΗΛ. ΣΙΔΕΡΟ			320

ΦΟΡΤ. ΚΙΝΗΤΟΥ			5
ΠΙΕΣΤΙΚΟ			600
ΣΥΝΟΛΟ			3510

Όπως φαίνεται από τον πίνακα η συνολική ημερήσια κατανάλωση είναι $E = 3510\text{Wh}$ ή $3,51\text{kW}$

8.2.4. Η ηλιακή ενέργεια

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η εκτίμηση των μέσων ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων που θα τροφοδοτεί το σύστημα.

	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
30°	2,76	3,23	4,2	5,13	6,1	6,3	6,83	6,73	5,86	4,43	3,6	2,9
45°	3	3,33	4,13	4,83	5,46	5,53	6,03	6,2	5,7	4,56	3,9	3,16
60°	3,03	3,3	3,9	4,26	4,6	4,53	4,96	5,36	5,26	4,46	3,96	3,23
ΘΕΡ.	13,4	13,6	14,9	17,8	21,4	25,3	27,3	27,2	24,5	21,4	18,3	16,4

8.2.5. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

α) Κλίση των συλλεκτών

Από το παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Η κλίση των 30° υπερτερεί τους μήνες από τον Μάρτιο έως και τον Σεπτέμβριο.
- Η κλίση των 45° υπερτερεί τους μήνες Φεβρουάριο και Οκτώβριο.
- Η κλίση των 60° υπερτερεί τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο.

β) Απαιτούμενη ισχύς αιχμής

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι τη μικρότερη μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έχει για τους χειμερινούς μήνες ο Ιανουάριος με 3,03kW και για τους θερινούς μήνες ο Σεπτέμβριος με 5,86 kW. Η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι 13,4° C τον Ιανουάριο και 24,5° C τον Σεπτέμβριο. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων θα είναι περίπου 30° C περισσότερο, καταλήγουμε στους 43,4° C τον Ιανουάριο και 54,5° C τον Σεπτέμβριο και από το διάγραμμα του σχήματος 5,7 βρίσκουμε τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης 0,92 και 0,85 περίπου. Εκτιμάμε, πάντως, ότι είμαστε συντηρητικοί στις παραδοχές μας, διότι οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή, θα εμποδίζουν κάπως την υπερθέρμανση των ηλιακών στοιχείων.

Ως προς τη ρύπανση των φ/β συλλεκτών προβλέπουμε ότι, λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται περιοδική επιθεώρηση και ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους. Έτσι δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή 0,9 για όλες τις εποχές του χρόνου.

Εφαρμόζουμε την ακόλουθη σχέση για να υπολογίσουμε την ιδανικά απαιτούμενη ισχύ αιχμής της φ/β εγκατάστασης:

$$P_{\alpha} (\text{kW}_p) = E (\text{kWh/d}) \times 1 (\text{kW/m}^2) / \Pi (\text{kWh/m}^2 \text{ d}) \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}$$

και βρίσκουμε για τον Ιανουάριο, δηλαδή για τους χειμερινούς μήνες, την τιμή:

$$P_{\alpha\chi} = 3,51 \times 1 / 3,03 \times 0,92 \times 0,9 = 1,399 \text{kW}_p = 1,4 \text{kW}_p$$

και για τον Σεπτέμβριο, δηλαδή για τους θερινούς μήνες, την τιμή:

$$P_{\alpha\theta} = 3,51 \times 1 / 5,86 \times 0,85 \times 0,9 = 0,783 \text{kW}_p$$

Επιλέγουμε την τιμή $P_{\alpha\chi} = 1,4 \text{kW}_p$ ως μεγαλύτερη από τις δυο.

Στη συνέχεια προχωράμε σε μια χονδρική εκτίμηση των απωλειών του συστήματος. Παίρνοντας ως συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 90% για τον αντιστροφέα Σ.Ρ./Ε.Ρ. και το ενδεχόμενο και τον ενδεχόμενο μετασχηματιστή μαζί και 5% για τις απώλειες στους αγωγούς του δικτύου καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης:

$$\alpha = 0,85 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,95 = 0,65$$

Επομένως η ελάχιστη ισχύ αιχμής της φ/β γεννήτριας πρέπει να είναι:

$$P' = P_{\alpha\chi} / \alpha = 1,4 / 0,65 = 2,154 \text{kW}_p$$

γ) Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαισίων.

Τα διαθέσιμα φ/β πλαίσια έχουν ισχύ αιχμής 150W_p και παράγουν τάση 43,4 V. Το πλήθος τους επομένως, για την συγκρότηση της φ/β γεννήτριας, συνολικής ισχύος αιχμής $2,154 \text{kW}_p$:

$$2154 / 150 = 15 \text{ } \varphi/\beta \text{ πλαίσια}$$

Αν ως τάση εξόδου της γεννήτριας θεωρήσουμε ότι θα έχουμε 250V, που είναι μια συνηθισμένη τιμή για τις φ/β εγκαταστάσεις, βλέπουμε ότι ο κάθε κλάδος στις φ/β συστοιχίες θα πρέπει να αποτελείται από:

$$250 / 43,4 \approx 5 \text{ } \varphi/\beta \text{ πλαίσια}$$

και επομένως η φ/β γεννήτρια θα αποτελείται από :

$$15 / 5 = 3 \text{ παράλληλους κλάδους}$$

Τελικά η φ/β γεννήτρια θα δίνει τάση :

$$5 \times 43,4 = 217 \text{ V}$$

και το συνολικό πλήθος των φ/β πλαισίων για τον σχηματισμό των 3 κλάδων θα είναι :

$$5 \times 3 = 15 \text{ φ/β πλαίσια}$$

και η ονομαστική ισχύ αιχμής της φ/β γεννήτριας θα είναι:

$$15 \times 150 = 2250 \text{ kW}_p$$

δ) Η έκταση του φ/β πάρκου

Στη συνέχεια προχωράμε στον υπολογισμό του απαιτούμενου εμβαδού για την έκταση της γης που θα τοποθετηθούν οι ηλιακοί συλλέκτες. Τα φ/β πανέλα θα αποτελούνται από 2 φ/β πλαίσια και το πλάτος τους θα είναι $\gamma = 181\text{cm}$. Το ίδιο πλάτος θα έχουν και τα στηρίγματά τους. Εξάλλου, η δυσμενέστερη περίπτωση κλίσης των συλλεκτών, από άποψη αλληλοσκίασης τους, είναι η περισσότερο όρθια τοποθέτηση, δηλαδή η γωνία $\beta_o = 60^\circ$.

Το ύψος της κατασκευής στήριξης στο οριζόντιο φ/β πάρκο, όπου το δ της σχέσης 7,7 έχει μηδενική τιμή, θα είναι:

$$v = \gamma \mu \beta_o = 181 \times \eta \mu 60^\circ = 156,75 \text{ cm}$$

Το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εγκατάστασης είναι περίπου $35,5^\circ\text{C}$ και η αντίστοιχη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης προς το ύψος της στήριξης περίπου $\alpha / v = 2,2$. Δηλαδή :

$$\alpha = 2,2 v = 2,2 \times 156,75 = 344,85 \text{ cm}$$

και η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση ανάμεσα από τις σειρές των φ/β συστοιχιών είναι:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \sigma \nu \beta_o = 344,85 + 181 \sigma \nu 60^\circ = 435,35 \text{ cm}$$

Αφού το κάθε φ/β πανέλο των δυο φ/β πλαισίων έχει διαστάσεις $181\text{cm} \times 163\text{cm}$ και η φ/β γεννήτρια αποτελείται από :

$$15 / 2 = 8 \text{ φ/β πανέλα}$$

Δηλαδή αποτελείται από 7 φ/β πανέλα των 2 φ/β πλαισίων και 1 φ/β πανέλο που θα αποτελείται από 1 φ/β πλαίσιο.

Η συνολική τους επιφάνεια θα είναι:

$$7 \times 1,81 \times 1,63 \times 1 \times 0,905 \times 1,63 = 22,13 \text{ m}^2$$

Και η οριζόντια προβολή τους θα είναι:

$$S_o = 22,13 \text{ m}^2 \times \sigma \nu 60^\circ = 11\text{m}^2$$

Επομένως, το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης S_e που θα χρειαστεί για την ανάπτυξη των φ/β συλλεκτών θα ισούται με:

$$S_e = (\epsilon / \gamma_{\text{συνβ}} \times S_0 = (435,35 / 90,5) \times 11 = 52,9 \text{m}^2$$

Που το στρογγυλεύουμε σε περίπου 60 m², ώστε να υπάρχει μια περιμετρική ελεύθερη ζώνη, καθώς και αρκετοί οδοί πρόσβασης προς τους φ/β συλλέκτες, ανάμεσα στις σειρές των συστοιχιών, για την άνετη επιθεώρησή τους και συντήρησή τους.

8.2.6. Οι συσσωρευτές

Θεωρούμε ότι οι συσσωρευτές του συστήματος θα έχουν τάση $V = 200\text{V}$, που συνδυάζεται ικανοποιητικά με την τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας παίρνοντας υπόψη τις απώλειες και την απαιτούμενη αυξημένη τάση φόρτισης. Επίσης θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών θα είναι $\beta = 80\%$, ο συντελεστής απόδοσης $\alpha = 85\%$ και ότι θα πρέπει να αποθηκεύουν επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις μέσες καταναλώσεις τουλάχιστον 6 διαδοχικών χειμερινών ή 3 διαδοχικών θερινών ημερών. Δηλαδή στην πρώτη περίπτωση να έχουν ικανότητα αποθήκευσης:

$$E_x = 6 \times 3,51 \text{ kWh} = 21,06 \text{ kWh}$$

Και στη δεύτερη περίπτωση :

$$E_\theta = 3 \times 3,51 \text{ kWh} = 10,53 \text{ kWh}$$

Επιλέγουμε τη μεγαλύτερη από τις παραπάνω τιμές και υπολογίζουμε την ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών ως εξής :

$$C_N = E / (\alpha \times \beta \times V) = (21,06 \times 10^3 \text{ Wh}) / (0,85 \times 0,8 \times 200 \text{ V}) = 154,85 \text{ Ah} \approx 155 \text{ Ah}$$

Στη συνέχεια βρίσκουμε ότι η ισχύς που μπορούν να δίνουν οι συσσωρευτές μας επί το παραπάνω μέγιστο διάστημα των 6 διαδοχικών ημερών είναι περίπου:

$$P = (\beta \times C_N \times V) / 24 \times \mu = (0,8 \times 155 \times 200) / 24 \times 6 = 172,2 \text{ W}$$

8.2.7. Διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου

Το σύστημά μας θα αποτελείται από τα φ/β πλαίσια, τους συσσωρευτές, τον αντιστροφέα ισχύος, τον ρυθμιστή φόρτισης και τέλος τις βάσεις στήριξης των φ/β πλαισίων. Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια συσκευή η οποία τοποθετείται μεταξύ της φ/β γεννήτριας και του συσσωρευτή. Η κύρια λειτουργία του είναι να ρυθμίζει τον τρόπο φόρτισης των συσσωρευτών για να τους προστατέψει από τα φαινόμενα της απότομης υπερφόρτισης και απότομης υπερεκφόρτισης. Ο αντιστροφέας ισχύος μετατρέπει την συνεχή τάση, που είναι αποθηκευμένη στους συσσωρευτές, σε εναλλασσόμενη για να τροφοδοτηθούν τα φορτία.

Στο ακόλουθο σχέδιο παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα του συστήματος από τη φ/β γεννήτρια μέχρι την έξοδο προς τις καταναλώσεις.



Γενικό διάγραμμα και ροή της ενέργειας στο φ/β σύστημα του παραδείγματος.

8.2.8. Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων

Ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν:

α) Φ/Β Γεννήτρια.

Ισχύς: 150 Wp-24V

Τεχνολογία: Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Ονομαστική τάση φόρτισης (25° C) : 34,0V

Τάση ανοιχτού κυκλώματος (25° C) : 43,4V

Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης : 4,80A

Ποσότητα : 15 τεμάχια

β) Συσσωρευτές.

Τεχνικά χαρακτηριστικά : Θετικές πλάκες θετικού αντιμονίου, μεγάλης βύθισης, πολλών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης.

Τελείως διαφανή δοχεία, υλικό: SAN.

Ονομαστική τάση : 2V

Χωρητικότητα : 700Ah/C10, 970Ah/C100

Ποσότητα : 18 τεμάχια.

γ) Αντιστροφέας ισχύος.

Ισχύς : 1500W, 3000W/30min, 5000W/2min.

Τάση εισόδου : 24V

Τάση εξόδου : 220 V, 50Hz (καθαρή ημιτονοειδή μορφή)

Ποσότητα : 1 τεμάχιο.

δ) Ρυθμιστής φόρτισης.

Τεχνολογία : Διαμόρφωση εύρους παλμών (χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά στερεάς κατάστασης MOSFETS, δεν γίνεται απλώς βολτομετρικός έλεγχος με ρελέ.

Ονομαστική τάση : 12-24 V

Μέγιστη διαχειριζόμενη ένταση ρεύματος : 30 A

Δυνατότητα προγραμματισμού: Προγραμματιζόμενη νυχτερινή λειτουργία.

Προστασία βραχυκυκλώματος- ανάστροφης πολικότητας.

Ποσότητα : 3 τεμάχια.

ε) Βάσεις στήριξης

Τύπος : Αρθρωτές βάσεις στήριξης φ/β γεννητριών
Κατάλληλες για φ/β γεννήτριες
Γαλβανισμένες εν θερμώ (πάχος κυλοδοκού : 3mm)
Δυνατότητα βαθμωτής αλλαγής κλίσης (από 24° έως 57°).
Ποσότητα : 8 τεμάχια.

8.2.9. Προϋπολογισμός κόστους

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα υλικά, το κόστος ανά τεμάχιο και το συνολικό κόστος.

Α/Α	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ(€)	ΣΥΝΟΛΟ(€)
1	Φ/Β Γεννήτρια	15	650	9.750,00
2	Συσσωρευτές	18	180	3.240,00
3	Αντιστροφέας	01	1300	1300,00
4	Ρυθμιστής φόρτισης	03	100	300,00
5	Βάσεις στήριξης	08	70	560,00
6	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ			15.150,00

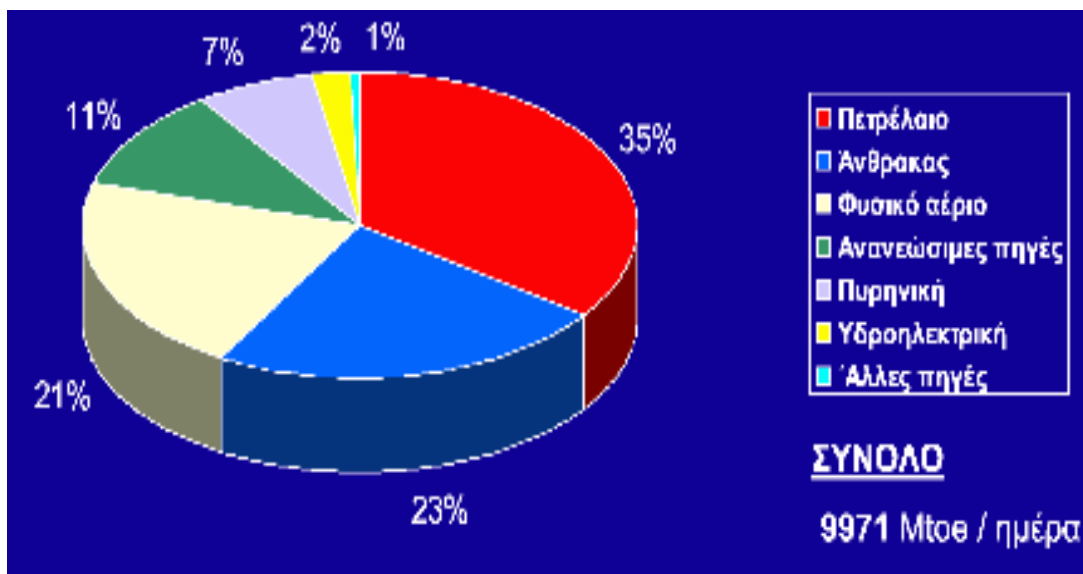
Εισαγωγή

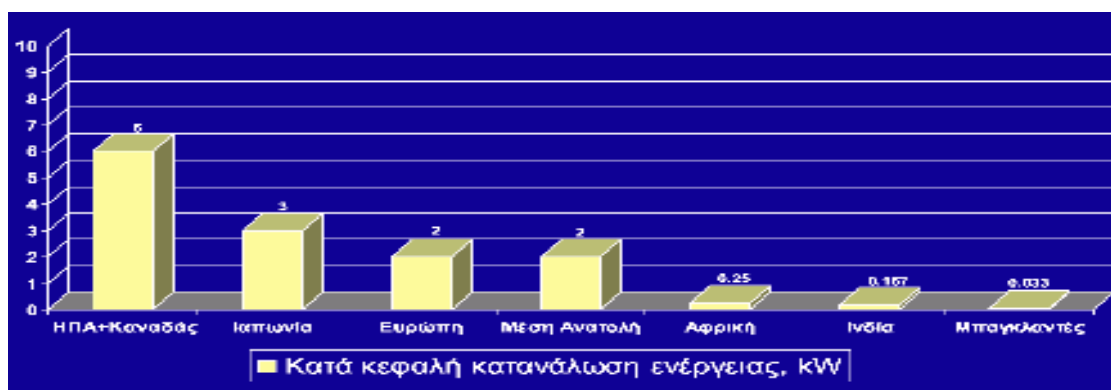
Οτιδήποτε κινείται, μεταβάλλεται και αλλάζει μορφή εξαρτάται από την ενέργεια που έχει ή που προσδίδεται σε αυτό. Ο άνθρωπος από τη στιγμή που γεννιέται αναπτύσσεται και δρα σε ένα περιβάλλον ενέργειας. Η ανακάλυψη και η χρησιμοποίηση των διάφορων μορφών ενέργειας έθεσε τις βάσεις για τη δημιουργία και την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού.

Η ενέργεια σε οποιαδήποτε μορφή της έχει συνδεθεί στενά με την τεχνολογική ανάπτυξη και την ευημερία του ανθρώπου. Μέχρι τη βιομηχανική επανάσταση οι χρησιμοποιούμενοι ενεργειακοί πόροι (ξύλα, νερό, άνεμος, ζώα) ήταν ανανεώσιμοι. Η ανακάλυψη όμως του ηλεκτρισμού με τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματά του, συνετέλεσε ώστε η τελική διάθεση της ενέργειας να γίνεται σε μεγάλο ποσοστό με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση της συγκεκριμένης ενεργειακής επιλογής έχει ως σκοπό να κάνει τη ζωή του ανθρώπου απλούστερη, ευκολότερη και καλύτερη.

Έως την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1973, σχεδόν όλη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γινόταν με την καύση συμβατικών καυσίμων, χωρίς να έχει δημιουργηθεί έως τότε σοβαρός προβληματισμός για την επάρκεια και τη διαθεσιμότητα τους. Η έλλειψη των καυσίμων, καθώς και η ρύπανση της ατμόσφαιρας που αυτά προκαλούν, οδήγησαν τον άνθρωπο να στραφεί πάλι στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.

Η Γη ανήκει σε ένα πλανητικό σύστημα, στο οποίο κύρια πηγή ενέργειας είναι η ενέργεια του ήλιου. Πολλές από τις μορφές ενέργειας που συναντούμε στη φύση αποτελούν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας. Η επιστημονική προσπάθεια που καταβάλλεται παγκοσμίως κατατείνει στη μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης της ηλιακής και των άλλων πηγών ενέργειας, με παράλληλο στόχο το σεβασμό στο περιβάλλον.





Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας % ανά ημέρα (toe : ton oil equivalent – 1 toe=42000 MJoule)

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι πηγές ενέργειας, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους, οι τρόποι αξιοποίησής τους, η χρήση τους σε παγκόσμιο επίπεδο και οι επιπτώσεις της χρήσης τους στο περιβάλλον. Οι ενεργειακές πηγές διακρίνονται σε **μη-ανανεώσιμες** (γαιάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και πυρηνική ενέργεια) και σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι **ανανεώσιμες** πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την άμεση **ηλιακή ενέργεια** και την έμμεση ηλιακή ενέργεια (**αιολική, βιομάζα, υδροηλεκτρική, παλιρροιακή, γεωθερμική κ.α**).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ηλιακή ενέργεια και τα χαρακτηριστικά της, η φωτοβολταϊκή μετατροπή και η υπάρχουσα τεχνολογία και τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα ολοκληρωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Μπροστά στην ολοένα εντεινόμενη περιβαλλοντική κρίση η ανθρωπότητα ζητά βιώσιμες λύσεις για την κατασκευή και λειτουργία των κτιρίων καθώς και την ανάπτυξη των πόλεων και οικισμών. Εκτιμάται ότι το 80% του πληθυσμού της Ευρώπης κατοικεί πλέον σε πόλεις και απαιτείται όλο και περισσότερη ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης, που σήμερα εκτιμάται στο 35% περίπου της παραγόμενης ενέργειας, ποσοστό που συμβάλει σημαντικά στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την κυριότερη φυσική πηγή ενέργειας, ενώ η ατμόσφαιρα της γης το κυριότερο στοιχείο απορρόφησης ενέργεια αφού η γη δέχεται από τον ήλιο σε μία μέρα, περισσότερη ενέργεια από αυτήν που καταναλώνεται σε ένα έτος.

Οι σύγχρονες λύσεις για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και πόλεων περνούν μέσα από τη δυνατή αξιοποίηση φυσικών – ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως της ηλιακής ενώ αρχίζει να γενικεύεται, τόσο η κατασκευή και περιβαλλοντικά αποδοτικών κτιρίων, όσο η ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Είναι γεγονός ότι η γνώση της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών στο κτίριο και κατά συνέπεια στις πόλεις και η παρατήρηση των φυσικών φαινομένων μπορούν να καθοδηγήσουν στην βέλτιστη επιλογή του κτιριακού όγκου, του σχήματος του μεγέθους και κυρίως του κατάλληλου προσανατολισμού, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ενεργειακές ανάγκες

των κτιρίων, διατηρώντας παράλληλα βέλτιστες συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης.

Σε αυτήν την εργασία προσπαθούμε να εξηγήσουμε τον τρόπο διεξαγωγής των τεχνικό-οικονομικών σχεδιασμών που αφορούν φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.



8.3. Περίπτωση 3

8.3.1 Αντικείμενο.

Προκαταρκτικός σχεδιασμός ενός φ/β συστήματος διασυνδεδεμένου με το δίκτυο της Δ.Ε.Η., για την ηλεκτροδότηση εταιρίας στην Αθήνα.

8.3.2. Συμπληρωματικές πληροφορίες.

Η εταιρία εδρεύει στην Αθήνα και το κτίριο έχει παροχή ρεύματος από αυτόνομο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος τροφοδοτούμενο με βενζίνη (ντιζελογεννήτρια). Η μελέτη που ακολουθεί αφορά ένα σύστημα αντικατάστασης της ντιζελογεννήτριας με φ/β γεννήτριες. Η εταιρία θέλει να προβεί στην αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ένα σύστημα που να μην χρειάζεται "απαιτητική" συντήρηση, να είναι οικολογική ως προς το περιβάλλον, να είναι κερδοφόρο για την εταιρία και να είναι ακίνδυνο ως προς τη λειτουργία του. Τα φ/β συστήματα που είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. πληρούν όλες τις παραπάνω απαιτήσεις. Η μελέτη αφορά την πλήρη εκμετάλλευση του χώρου της οροφής του κτιρίου. Επειδή το σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο, όσο περισσότερη ισχύ μπορούμε να εγκαταστήσουμε τόσο το καλύτερο. Άρα η συνολική ισχύς του έργου υπολογίζεται με βάση το διαθέσιμο χώρο και όχι από τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της εταιρίας. Τέλος παρουσιάζονται ορισμένα συγκριτικά αποτελέσματα ανάμεσα στα δυο συστήματα.

8.3.3 Χρονική περίοδος

Το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

8.3.4 Η ηλιακή ενέργεια

	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
30°	2,9	3,3	4,3	5,06	5,96	6,13	6,7	6,76	5,6	4,53	3,5	2,83
45°	3,16	3,46	4,26	4,8	5,4	5,43	5,96	6,26	5,56	4,73	3,83	3,13
60°	3,23	3,43	4,06	4,3	4,6	4,5	5	5,46	5,16	4,66	3,93	3,23
ΘΕΡ.	10,5	11,6	12,9	17,1	21,9	26,6	29,3	29,2	25,3	20	16,3	12,5

8.3.5 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

α. Η κλίση των συλλεκτών.

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι :

Η κλίση των 30° υπερτερεί τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

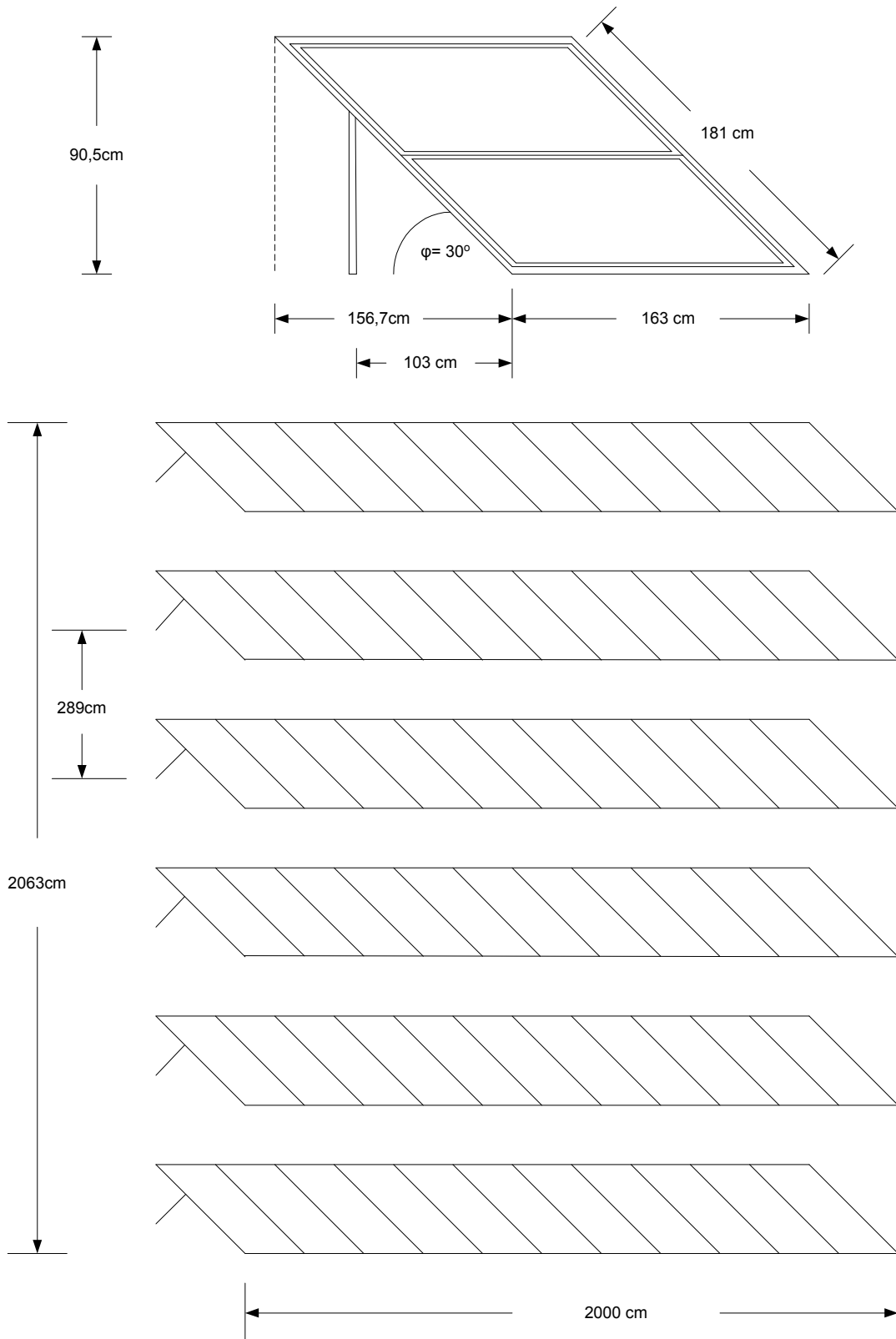
Η κλίση των 45° υπερτερεί τους μήνες Φεβρουάριο και Οκτώβριο και

Η κλίση των 60° υπερτερεί τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο.

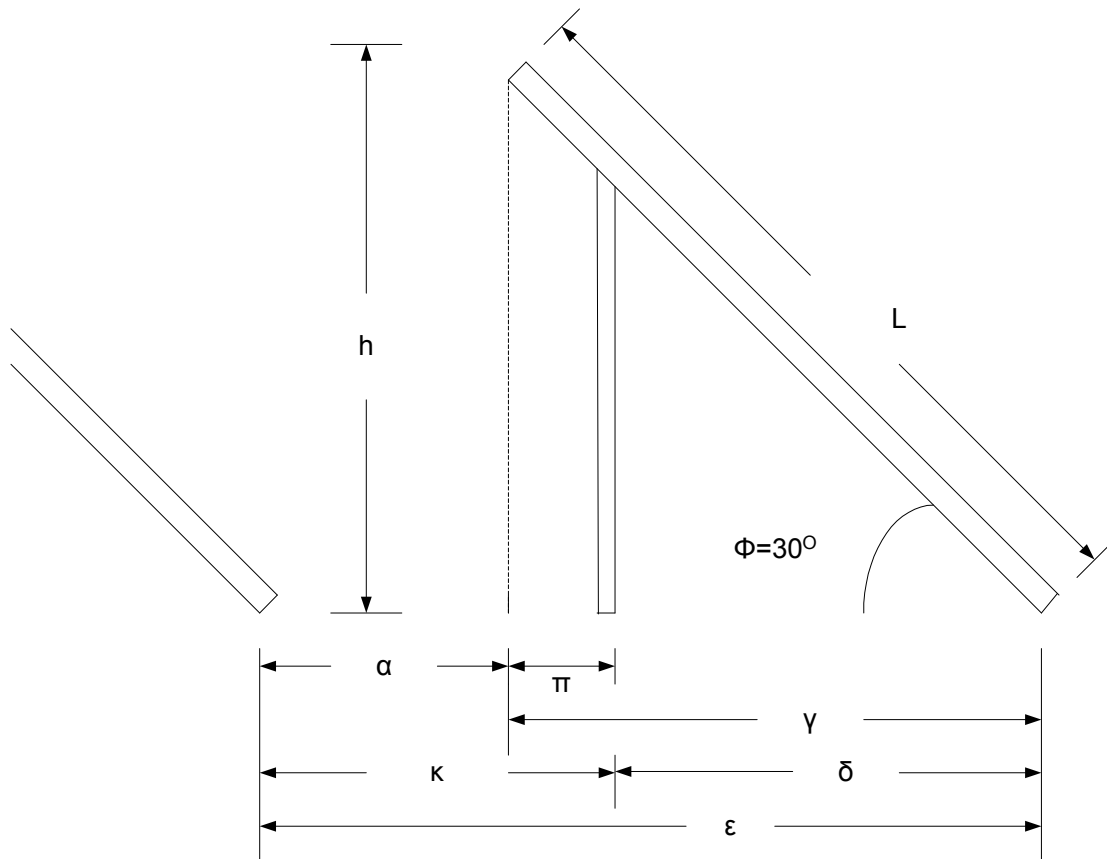
β. Η απαιτούμενη ισχύ αιχμής.

Ο υπολογισμός της ισχύς αιχμής βρίσκεται βάση του διαθέσιμου χώρου. Κατ' αρχήν θα πρέπει να γνωρίζουμε το χώρο που καταλαμβάνουν οι φ/β γεννήτριες. Στο παράδειγμα θα χρησιμοποιηθούν φ/β πλαίσια με ισχύ αιχμής 175W_p και τάσης 44,6V. Στο χάρτη του σχήματος 8,2 βρίσκουμε ότι το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας είναι περίπου 38° , για το οποίο το διάγραμμα του σχήματος 7,4 δίνει αντιστοιχη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης προς το ύψος της στήριξης $a/h = 2,6$. Οι διαστάσεις του φ/β πλαισίου είναι 163cm x 90,5cm και του φ/β πανέλου 163 cm x 181cm. Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται ανά δυο σε μια βάση στήριξης. Οι βάσεις στήριξης τοποθετούνται σε σειρά και στη συνέχεια παράλληλα με τις υπόλοιπες σειρές. Η κάθε σειρά τοποθετείται πάνω σε δυο τοιμεντένιες ράγες. Η απόσταση ανάμεσα από τις σειρές είναι συγκεκριμένη και ορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα υπόδειγμα εγκατάστασης 6 παράλληλων σειρών. Στο υπόδειγμα χρησιμοποιούνται Φ/Β γεννήτριες τοποθετημένες με γωνία κλίσης 30°

**ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 6 ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΣΕΙΡΩΝ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ
ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ $\varphi = 30^\circ$.**



ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ $\varphi=30^\circ$



ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ :

$$L = 181 \text{ cm}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$\delta = 103 \text{ cm}$$

$$\gamma = \delta + \pi$$

$$h = L \times \eta\mu\varphi = 181\text{cm} \times \sin 30^\circ = 181 \text{ cm} \times 0,5 = 90,5 \text{ cm.}$$

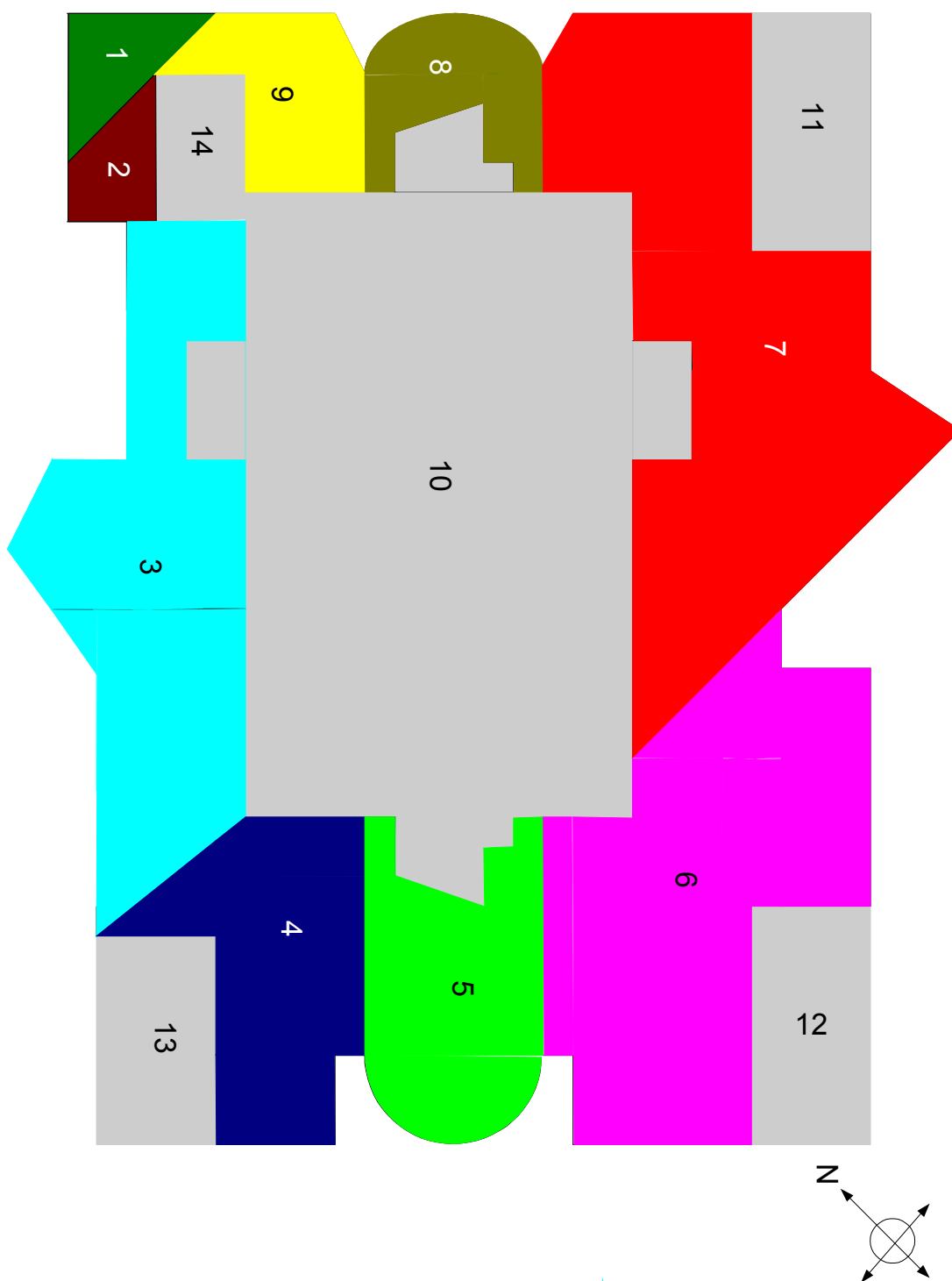
$$\alpha = h \times \gamma.\pi\lambda. = 90,5 \times 2,6 = 265,3 \text{ cm.}$$

$$\gamma = L \times \sigma\upsilon\nu\varphi = 181\text{cm} \times \cos 30^\circ = 156,7\text{cm}$$

$$\pi = \gamma - \delta = 156,7\text{cm} - 103\text{cm} = 53,7\text{cm}$$

$$\kappa = \alpha + \pi = 235,3\text{cm} + 53,7\text{cm} = 289\text{cm.}$$

ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣΜΕΝΗ ΣΕ 14 ΖΩΝΕΣ



Η εγκατάσταση θα γίνει στις ζώνες από 1 έως 9. Στις ζώνες 10,11,12,13 και 14 δεν μπορούν να τοποθετηθούν Φ/Β γεννήτριες. Ακολουθεί η χωροθέτηση του Φ/Β πάρκου.

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η χωροθέτηση του Φ/Β πάρκου. Στα πεδία του πίνακα αναγράφονται οι αριθμοί των ζωνών, όπως φαίνονται στο παραπάνω σχέδιο, το πλήθος των παράλληλων σειρών, ο αριθμός των Φ/Β βάσεων στήριξης και το πλήθος των Φ/Β γεννητριών που μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε σειρά. Τέλος παρουσιάζονται το σύνολο των υλικών.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΖΩΝΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ Φ/Β ΣΕΙΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ Φ/Β ΒΑΣΕΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ
1	4	36	72
2	4	22	44
3	7	115	230
4	8	98	296
5	5	20	40
6	9	100	200
7	15	140	280
8	1	7	14
9	5	20	40
ΣΥΝΟΛΟ	58	558	1116

Τελικά η συνολική ισχύ αιχμής του συστήματος είναι $195.300W_p$ ή $195,3kW_p$.

γ. Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαίσιο.

Όπως είδαμε και πιο πάνω στο φ/β πάρκο θα χρησιμοποιηθούν συνολικά 1.116 φ/β πλαίσια των $175W_p$, που θα τοποθετηθούν σε 558 βάση στήριξης. Το σύνολο των παράλληλων σειρών που θα τοποθετηθούν στην οροφή του κτιρίου είναι 58.

δ. Η έκταση του φ/β πάρκου.

Σκοπός του παραδείγματος είναι η πλήρης εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου της οροφής του κτιρίου.

8.3.6 Οι συσσωρευτές.

Όπως αναφέραμε το φ/β σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Ως εκ τούτου η μεταφορά παραγόμενης ενέργειας από τις φ/β γεννήτριες προς το δίκτυο της Δ.Ε.Η. θα είναι άμεση χωρίς τη μεσολάβηση αποθηκευτικών μονάδων, δηλαδή συσσωρευτών.

8.3.7 Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων και προϋπολογισμός του κόστους

1.Φ/Β γεννήτριες

Ισχύς: 175Wp

Τεχνολογία: Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο.

Ονομαστική τάση φόρτισης (25 °C): 4,95 V

Τάση ανοιχτού κυκλώματος (25 °C): 44,6 V

Ρεύμα βραχυκύκλωσης: 5,43 A

Ποσότητα: 1.116 τεμάχια.

2.Αντιστροφέας ισχύος

Τάση εξόδου (AC): 230V

Συχνότητα εξόδου (AC): 50 Hz

Ονομαστική ισχύς εξόδου (AC): 4600W(max 5000W)

Τάση εισόδου MPP (DC): 150-400 V

MAX τάση εισόδου (DC): 500 V

Ισχύς Φ/Β γεννήτριας: 4600-6700 Wp

Μέγιστος βαθμός απόδοσης: 94,5 %

Συντελεστής αρμονικής παραμόρφωσης: <3%

Συντελεστής ισχύος: 1

Απώλειες (Νυχτερινή Λειτουργία): 0,15 W

Διαστάσεις: 610 x 344 x 220 mm

Βάρος: 16 Kg

Θερμοκρασία λειτουργίας: -20...50 ° C

Υγρασία: 0-100%

Προστασία IP: IP21 (ΠΡΟΑΙΡΕΤ. IP44)

Ποσότητα: 32 τεμάχια

3.Βάση στήριξης φ/β γεννητριών.

Υλικό κατασκευής: Σιδηρογωνιά 3 mm γαλβανισμένη

Διαστάσεις: 65 χ 67.5 cm

Χρώμα: Μαύρο ματ

Προσανατολισμός: Αρθρωτή κατασκευή επί της κεφαλής του ιστού, με δυνατότητα περιστροφής και κλίσεως.

Ποσότητα: 558 τεμάχια

A.A	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ(€)	ΣΥΝΟΛΟ(€)
1	Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	1.116	700,00	781.200,00
2	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΙΣΧΥΟΣ	32	2.700,00	86.400,00
3	ΒΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	558	70,00	39.060,00
4	ΣΥΝΟΛΟ			906.660,00

Εκτιμώμενο κόστος εγκατάστασης 130 €/kW συμπεριλαμβανομένων των υλικών εγκατάστασης.

8.3.8. Οικονομικά.

Το κόστος συντήρησης του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι αμελητέο, ενώ το κόστος λειτουργίας είναι μηδενικό. Ταυτόχρονα, το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα θα δίνει την δυνατότητα παροχής ρεύματος όλο το 24ωρο.

8.3.9. Περιβαλλοντικά

Η προτεινόμενη Φ/Β μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, εγκατεστημένης ισχύος 195,3 kWp αναμένεται να παράγει 256.193,9 kWh/έτος.

Για την παραγωγή ίδιας ποσότητας ενέργειας από τις υπάρχουσες μονάδες, παράγονται οι εξής ρύποι κάθε χρόνο:

	CO ₂	SO ₂	CO	No _x	HC	ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ
MAZA (Kg)	67.530,06 3,4	15.044,89	12.293,8 2	51.238,5 9	4.105,10	6.146,91

Η παραγωγή ενέργειας από το φ/β σύστημα δεν παράγει κανένα ρύπο.

8.3.10. Έτερα

Με την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος προβάλλεται η εταιρία στην τοπική κοινωνία και στους διερχόμενους τουρίστες ως φιλικό προς το περιβάλλον. Παράλληλα θα προβληθεί η τεχνολογία των Φ/Β ως μια λύση ικανή να καλύψει σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές ανάγκες ενός χώρου. Θα ενισχυθεί η προσπάθεια καλλιέργειας περιβαλλοντικής συνειδήσεως των πολιτών και κατά συνέπεια θα ακολουθήσουν παρόμοιες επενδύσεις προωθώντας την ελληνική αγορά Φ/Β συστημάτων.

Επίσης, αποφεύγεται η όχληση από τη χρήση των γεννητριών, οι ανάγκες συντήρησης και ο χρόνος παύσης λειτουργίας για συντήρηση, καθώς και το κόστος και ο χρόνος ανεφοδιασμού με καύσιμα.

Βιβλιογραφία

Ηλεκτρικές πηγές ενέργειας & περιβάλλον
Schwaller & Gilberti εκδόσεις Ίων

Τεχνολογία και περιβαλλοντικά προβλήματα
Makofske / Karlin εκδόσεις Ίων

Ηλεκτρική ενέργεια και περιβάλλον
Βόκας Γεώργιος-Κοτσάλος Ευθύμιος-Κουτουλάκος Χρήστος
(βιβλίο ηλεκτρολογικού τομέα ΤΕΕ)

Εγκαταστάσεις ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.
Αποστόλου Β. Μαχια
Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π.

Φωτοβολταϊκή τεχνολογία.
Κ. Καγκαράκη.

Ιστοσελίδες διαδικτύου

www.tnth.edu.gr
Τεχνικό Μουσείο Θεσσαλονίκης

www.cheng.auth.gr
Ενεργειακές πρώτες ύλες/τομέας τεχνολογιών /τμήμα χημικών μηχανικών

www.greenpeace.gr

<http://1gym-ag-parask.att.sch.gr/environment/iliako/energy/viomaza/>

Αρχειο εταιρίας " Photovoltaic "