



**ΤΕΙ
ΣΕΡΡΩΝ**
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας
Ενεργειακός Τομέας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: «Εφαρμογή φωτοβολταϊκών κυψελών σε στέγαστρο πισίνας στην πόλη της Δράμας. Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Οικονομική μελέτη πώλησης της παραγόμενης ισχύος στη Δ.Ε.Η.»



Εισηγητής:
Σπουδαστές:

*ΖΑΧΑΡΟΥΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΣΑΧΑΝΙΔΟΥ ΙΩΑΝΝΑ – ΣΤΕΦΟΥ ΕΛΕΝΗ*

ΣΕΡΡΕΣ, 2 ΙΟΥΝΙΟΥ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

1.1	Ιστορική Αναδρομή	5
1.2	Φαινόμενο θερμοκηπίου και αιτίες αλλαγής του κλίματος	6
1.3	Συνέπειες αύξησης της θερμοκρασίας της Γης	8

Κεφάλαιο 2^ο: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1	Ενέργεια	11
2.2	Α.Π.Ε. πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	11
2.3	Κόστος παραγωγής και προϋποθέσεις ανάπτυξης των ΑΠΕ	13
2.4	Ρόλος της ΡΑΕ	16
2.5	Ο ρόλος του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	17
2.6	Πηγές Ενέργειας	17
2.7	Η ηλιακή ενέργεια	18

Κεφάλαιο 3^ο: Φωτοβολταϊκά

3.1	Ιστορική εξέλιξη των Φ/Β	21
3.2	Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	23
3.3	Θεωρία των ημιαγωγών	23
3.4	Επαφή p-n	24
3.5	Χαρακτηριστικά Φ/Β συστημάτων	28
3.6	Τεχνολογία Φ/Β κελιών	35
3.7	Υλικά κατασκευής Φ/Β στοιχείων	36
3.8	Μετατροπή συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη	41
3.9	Το μέλλον των Φ/Β	41
3.10	Η κατάσταση στην Ελλάδα - Λόγοι προώθησης των Φ/Β	42

Κεφάλαιο 4^ο: Τεχνική Μελέτη-Οικονομική Μελέτη

4.1	Γεωγραφική θέση του έργου	52
4.2	Μορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής	53
4.3	Κλιματολογικά στοιχεία - Στοιχεία ατμόσφαιρας	56
4.4	Φ/Β Συστοιχία	59
4.5	Αντιστροφείς	61

4.5.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά	61
4.5.2	Αρμονικές	61
4.6	Εγκατάσταση - Θεμελίωση	63
4.7	Ηλεκτρολογική εγκατάσταση - Εσωτερικό δίκτυο σταθμού	63
4.7.1	Ηλεκτρολογική Δομή	63
4.7.2	Τύπος Καλωδίων	64
4.7.3	Υπολογισμός Καλωδίων	65
4.7.4	Υπολογισμός Βραχυκύκλωσης	66
4.8	Κέντρο Ελέγχου	67
4.8.1	Χώρος Αντιστροφών	67
4.8.2	Διαστασιολόγηση Οργάνων Προστασίας σε Υπερφόρτιση και Βραχυκύκλωση	67
4.9	Οικονομική μελέτη	68
4.10	Παράρτημα	70

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

«Το κλίμα αλλάζει-Αλλάζουμε ζωή!!!»

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η δημιουργία της Γης άρχισε, σύμφωνα με τις επιστημονικές μελέτες, πριν από 4.500.000.000 χρόνια. Στη διάρκεια των χρόνων που πέρασαν γνώρισε πολλές μεταβολές. Ηφαιστειακές εκρήξεις, σεισμοί, συγκρούσεις με μετεωρίτες, οροσειρές και ήπειροι αναδύθηκαν και διαβρώθηκαν, ωκεανοί και θάλασσες διαμόρφωσαν την επιφάνειά της, όπως είναι γνωστή σήμερα. Οι πιο πάνω γεωλογικές αλλαγές είχαν ως αποτέλεσμα η Γη να γνωρίσει πολλές κλιματικές αλλαγές.

Πριν από 65.000.000 χρόνια έγινε μια σημαντική κλιματική αλλαγή, αποτέλεσμα της οποίας ήταν η εξαφάνιση του μεγαλύτερου μέρους του ζωικού βασιλείου της εποχής εκείνης. Το κλίμα της χώρας μας ήταν θερμότερο από το σημερινό και έμοιαζε με τροπικό.

Πριν από 2.000.000 χρόνια, άρχισε μια νέα γεωλογική περίοδος, που οι επιστήμονες την ονομάζουν Πλειστόκαινο. Σε αυτή την γεωλογική περίοδο υπήρχαν 4 σημαντικοί κύκλοι όπου το κλίμα ήταν πολύ κρύο. Ενδιάμεσα αυτών των κύκλων υπήρχαν οι μεσοπαγετώδεις περιόδους κατά τις οποίες κυριαρχούσαν οι υψηλές θερμοκρασίες και η στάθμη της θάλασσας ήταν σε πολύ υψηλότερο σημείο από την σημερινή. Η τελευταία παγετώδης περίοδος ήταν πριν από 200.000 χρόνια. Το μεγαλύτερο μέρος του Βόρειου ημισφαιρίου της Γης ήταν καλυμμένο από παγετώνες, που έφταναν κοντά στην περιοχή όπου τώρα βρίσκεται η Ελλάδα. Οι παγετώνες είχαν δεσμεύσει μεγάλη ποσότητα νερού και η στάθμη της θάλασσας ήταν 120 μέτρα κάτω από τη σημερινή. Η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής άλλαξε. Την εποχή εκείνη ο χώρος της Ελλάδας δεν ήταν καλυμμένος από παγετώνες.

Πριν από 16.000 χρόνια περίπου, άρχισαν οι παγετώνες να λιώνουν. Το νερό αποδεσμεύτηκε με αποτέλεσμα να ανέβει η στάθμη της θάλασσας. Πολλά από τα νησιά των Κυκλάδων δημιουργήθηκαν αυτή την περίοδο. Η θάλασσα σκέπαζε την ξηρά και οι βουνοκορφές των βουνών γίνονταν νησιά. Η περίοδος αυτή σύμφωνα με μελέτες τελείωσε πριν 11.500 χρόνια και άρχισε μία άλλη που ονομάστηκε Ολόκαινος και συνεχίζει μέχρι τις μέρες μας. Λίγα πράγματα άλλαξαν από τότε. Η επιφάνεια της Γης στις βασικές μορφές της και το κλίμα είναι αυτό που γνωρίζουμε από την ιστορία μας.

1.2 Φαινόμενο θερμοκηπίου και αιτίες αλλαγής του κλίματος

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και κάποια άλλα αέρια της ατμόσφαιρας απορροφούν τη θερμότητα και την ξαναστέλνουν πίσω στη Γη. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι αυτό που δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για τη διατήρηση της ζωής στη Γη.

Τα αέρια του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, νιτρικό οξύ, υδρατμοί και πολλά ακόμα) σχηματίζουν μία προστατευτική "κουβέρτα" γύρω από τη Γη. Αυτή η "κουβέρτα" διατηρεί τον πλανήτη στην ασφαλή θερμοκρασία των 14 βαθμών Κελσίου, δηλαδή η μέση θερμοκρασία σε όλες τις περιοχές του πλανήτη, κάθε εποχή του χρόνου.

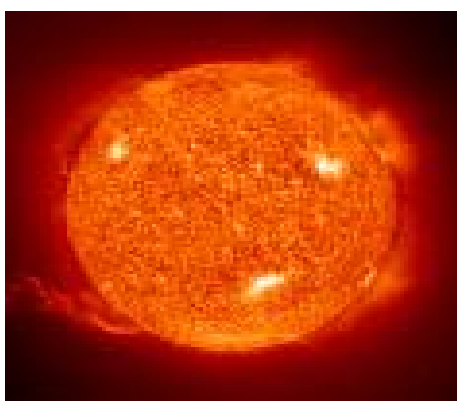
Σήμερα, οι άνθρωποι έχουμε απελευθερώσει μεγαλύτερη ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα η μέση θερμοκρασία της Γης να έχει ανέβει αρκετά.

Έχει διαπιστωθεί ότι τα αέρια αυτά προέρχονται κυρίως από τις εξής ανθρώπινες δραστηριότητες: την καύση ορυκτών καυσίμων- πετρελαίου, γαιάνθρακα κ.α.- για τη θέρμανση και τη βιομηχανία, τη χρησιμοποίηση των μέσων μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας.

Αίτια αλλαγής του κλίματος

Τα αίτια της αλλαγής του κλίματος, σύμφωνα με τους επιστήμονες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: σε φυσικά αίτια, όπως οι εκρήξεις ηφαιστειών και η ηλιακή δραστηριότητα, η άνοδος της θερμοκρασίας των ωκεανών, αλλά και ανθρωπογενή αίτια όπως οι ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες προκαλούν αύξηση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

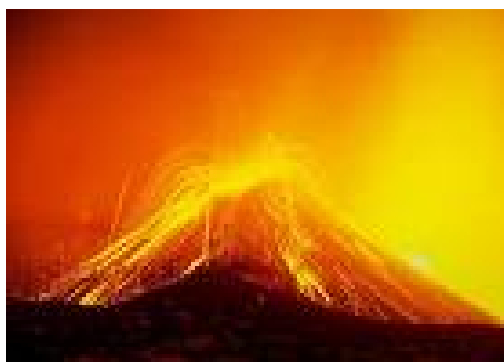
1. Ηλιακή δραστηριότητα



Εικόνα 1.1

Οι ηλιακές ακτίνες θερμαίνουν τη Γη διαφορετικά σε κάθε περιοχή, ανάλογα με το που βρισκόμαστε. Τα ρεύματα του αέρα στον ισημερινό είναι η αιτία για τους διαφορετικούς τύπους κλίματος του πλανήτη.

2. Εκρήξεις ηφαιστειών

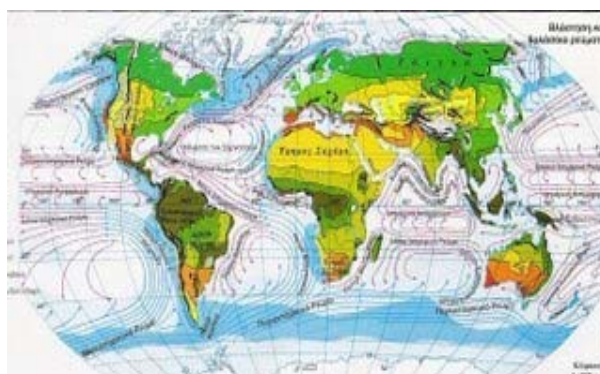


Εικόνα 1.2

Ηφαιστειο ονομάζεται ο τόπος όπου η λάβα βγαίνει στην επιφάνεια της Γης. Η ηφαιστειακή σκόνη που καλύπτει την περιοχή της έκρηξης του ηφαιστείου μπορεί να παίζει κάποιο ρόλο στη δημιουργία παγετώνων. Η εμφάνιση παγετώνων συμβαίνει σε περιόδους με αυξημένη ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις επηρεάζουν το κλίμα μόνο αν διαταράξουν τη στρατόσφαιρα. Οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις εισάγουν στη στρατόσφαιρα μεγάλες ποσότητες λεπτής ηφαιστειακής στάχτης και ηφαιστειακών αερίων (διοξείδιο του θείου και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και νερό). Ενώ το κύριο μέρος της ηφαιστειακής στάχτης απομακρύνεται πολύ γρήγορα σε διάστημα λίγων ημερών ή εβδομάδων, το διοξείδιο του θείου μένει για μεγάλο χρονικό διάστημα στο στρατοσφαιρικό αερόλυμα. Σιγά-σιγά μετατρέπεται σε σταγόνες θειϊκού οξέως που ανακλούν έντονα το φως του ήλιου και αυξάνουν την απορροφητικότητα στο φως του στρατοσφαιρικού αερολύματος. Το αποτέλεσμα είναι μια μείωση της μέσης γήινης θερμοκρασίας από μισό έως ένα βαθμό Κελσίου για τα επόμενα δύο με τρία χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηφαιστειακός χειμώνας.

3. Τα θαλάσσια ρεύματα των ωκεανών



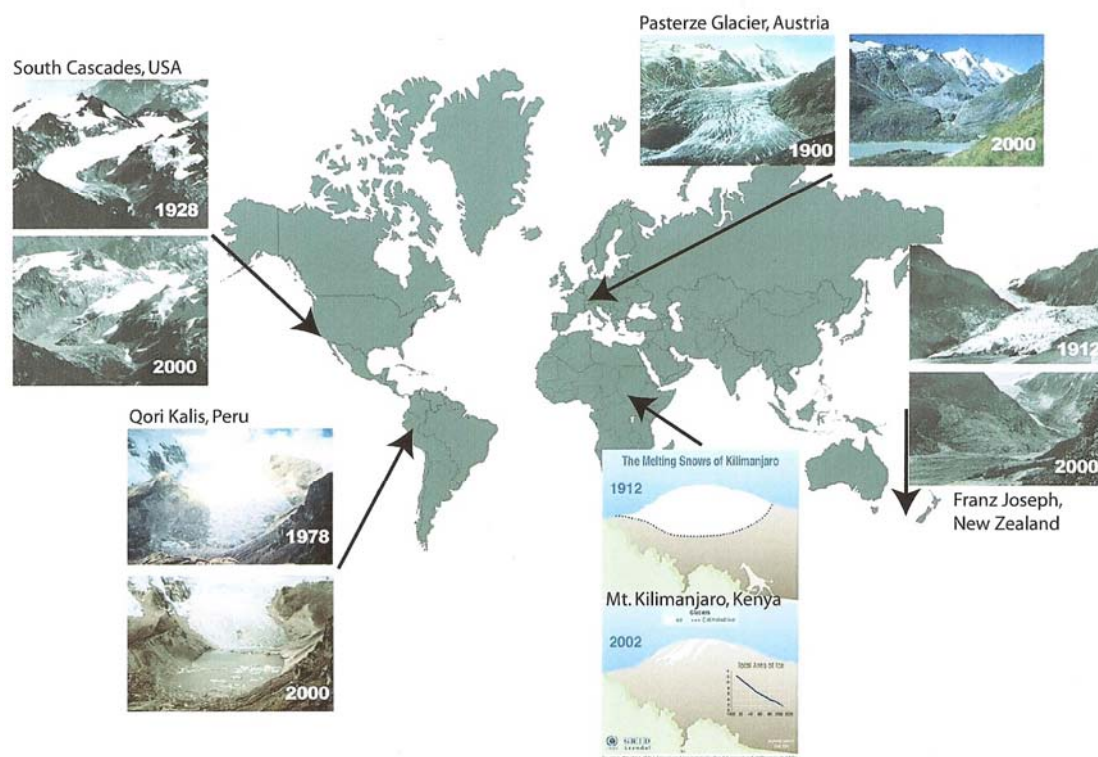
Εικόνα 1.3

Τα θαλάσσια ρεύματα βοηθούν στον καταμερισμό της θερμοκρασίας των ωκεανών. Τα ψυχρά θαλάσσια ρεύματα κινούνται σε θερμότερες περιοχές με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία των περιοχών.

4. Τα ανθρωπογενή αίτια

Η αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα (καύση ορυκτών καυσίμων) και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η αποψίλωση τροπικών δασών έχει αυξήσει τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα από το παρατηρητήριο Mauna Loa δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις της ατμόσφαιρας έχουν αυξηθεί από περίπου 313 ppm το 1960 σε περίπου 375 ppm το 2005. Το ποσό διοξειδίου του άνθρακα που παρατηρείται σήμερα υπερβαίνει το γεωλογικό μέγιστο των περίπου 300 ppm που προκύπτει από δεδομένα των πυρήνων πάγου.

1.3 Συνέπειες αύξησης της θερμοκρασίας της γης



Εικόνα 1.4 Μεταβολή της έκτασης των παγετώνων

Μερικά δείγματα των συνεπειών της αύξησης της θερμοκρασίας της γης είναι τα παρακάτω:

- Οι περισσότεροι παγετώνες στον πλανήτη μας υποχωρούν με ιδιαίτερα ταχύ ρυθμό, π.χ. ο παγετώνας Αράπαχο στο Κολοράντο της Αμερικής από

το 1960 μέχρι σήμερα έχει μειωθεί κατά 40μ., το 45% των παγετώνων στη χερσόνησο της Ανταρκτικής υποχωρούν, οι παγετώνες στο Μπουτάν, στους πρόποδες των Ιμαλαΐων έχουν αρχίσει να λιώνουν σχηματίζοντας λίμνες.

- Αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Τα νησιά Τσουβαλού, στον Ειρηνικό Ωκεανό θα είναι η πρώτη χώρα στον κόσμο που θα εξαφανιστεί από την άνοδο της στάθμης του νερού. Το πότε ακριβώς θα γίνει αυτό είναι αδύνατο να καθοριστεί, ίσως σε 30 ή 100 χρόνια. Το υψόμετρο αυτών των νησιών είναι μόλις 2μ. από την επιφάνεια της θάλασσας.

Κεφάλαιο 2^ο: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

« Ότι κινείται ή αλλάζει στον κόσμο μας εξαρτάται από μια δύναμη, την οποία ονομάζουμε ενέργεια »

2.1 Ενέργεια

Όλα όσα συμβαίνουν γύρω μας σχετίζονται με το φυσικό μέγεθος το οποίο ονομάζουμε “**ενέργεια**”. Το γεγονός ότι ο άνθρωπος περπατάει, ότι τα αυτοκίνητα κινούνται, ότι η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει τα σώματα στα οποία προσπίπτει, όλα αυτά είναι διαφορετικές μορφές ενός πράγματος: της ενέργειας.

Η ενέργεια δεν εμφανίζεται από το τίποτα ούτε εξαφανίζεται, αλλάζει διαρκώς μορφή και μεταφέρεται από το ένα σώμα στο άλλο. Είναι πάντοτε έτοιμη να δράσει και να μεταφερθεί.

Χρησιμοποιούμε την ενέργεια για τις πιο απλές και καθημερινές μας ανάγκες. Με την **ηλεκτρική ενέργεια** φωτίζουμε, θερμαίνουμε ή δροσίζουμε το σπίτι μας, μαγειρεύουμε το φαγητό μας, κρατάμε τα τρόφιμα φρέσκα και πλένουμε τα ρούχα μας. Τα αυτοκίνητά μας, τα λεωφορεία, τα τρένα κινούνται με την ενέργεια που τους δίνουν τα **καύσιμα** (π.χ. η βενζίνη) ή ο **ηλεκτρισμός** (π.χ. ηλεκτρικός σιδηρόδρομος).

Φυσικά, τα πράγματα δεν ήταν πάντα τόσο βολικά και εύκολα για τον άνθρωπο. Από την ανακάλυψη της χρήσης της φωτιάς από τον προϊστορικό άνθρωπο, που τον βοήθησε να ζεσταθεί, να κινήσει και να μαγειρέψει την τροφή του, μέχρι τα διαστημικά ταξίδια των ημερών μας, τα βήματα γίνανε σιγά-σιγά. Κάθε καινούργια, όμως, ανακάλυψη για την αξιοποίηση μιας νέας πηγής ενέργειας, όπως ήταν η ανακάλυψη του ηλεκτρισμού, της πυρηνικής ενέργειας, άλλαζε και διευκόλυνε όλο και περισσότερο τη ζωή των ανθρώπων και δημιουργούσε νέες δυνατότητες.

2.2 Α.Π.Ε. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Ως **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)** ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που τροφοδοτούνται συνεχώς με ενέργεια από τον ήλιο με τέτοιους ρυθμούς, ώστε να θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες και ικανές να υποκαταστήσουν πολλές από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον, είναι **καθαρές πηγές ενέργειας**.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι:

1) Αιολική ενέργεια

- Εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

2) Γεωθερμική ενέργεια

- Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε αέρια που εσωκλείονται στο εσωτερικό της γης (πίδακες), σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

3) Υδροηλεκτρική ενέργεια

- Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που παράγεται από το νερό. Η ενέργεια του νερού οφείλεται στην υψομετρική διαφορά και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

4) Βιομάζα

- Όταν λέμε βιομάζα εννοούμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από οργανική ύλη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, είτε απευθείας είτε αφού προηγουμένως μετατραπεί σε υγρό, αέριο ή στερεό καύσιμο με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών.

5) Ηλιακή ενέργεια

- Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε θερμική ή σε ηλεκτρισμό με διάφορους τρόπους, οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Οι κύριοι λόγοι για την αυξημένη χρήση των Α.Π.Ε είναι:

1. Οι ανησυχητικές διαστάσεις που έχουν προσλάβει τα περιβαλλοντικά προβλήματα από τις ενεργειακές διεργασίες (όπως π.χ. κατάλοιπα ατελούς καύσης).
2. Η αρνητική στάση του κοινωνικού συνόλου στην εξάπλωση πυρηνικών αντιδραστήρων για παραγωγή ενέργειας, η οποία θα μπορούσε ίσως να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών.
3. Με τις βελτιωμένες τεχνολογίες κατασκευής και παραγωγής στοιχείων και συστημάτων εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε, επιτυγχάνεται η βελτίωση του κόστους και της αξιοπιστίας των συστημάτων αυτών. Έτσι γίνονται πιο ανταγωνιστικά σε σύγκριση με συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.
4. Η βελτίωση της ευελιξίας μεγέθους στην αξιοποίηση των Α.Π.Ε. Είναι δυνατόν να γίνει κατασκευή μικρών συστημάτων για την κάλυψη τοπικών αναγκών ή μεγάλων για εξυπηρέτηση δικτύων. Η ευελιξία και η ταχύτητα κατασκευής των συστημάτων αυτών, επιτρέπουν τη χρησιμοποίησή τους σε αναπτυσσόμενες χώρες, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης της υποδομής που υπάρχει στις αναπτυγμένες χώρες.

Σήμερα σε όλο τον κόσμο γίνεται προσπάθεια να παραχθεί όλο και περισσότερη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές για να καλυφθούν οι όλο και αυξανόμενες ανάγκες. Αμέσως γεννάται το ερώτημα "ποια είναι τα υπέρ και τα κατά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας".

Τα υπέρ λοιπόν είναι:

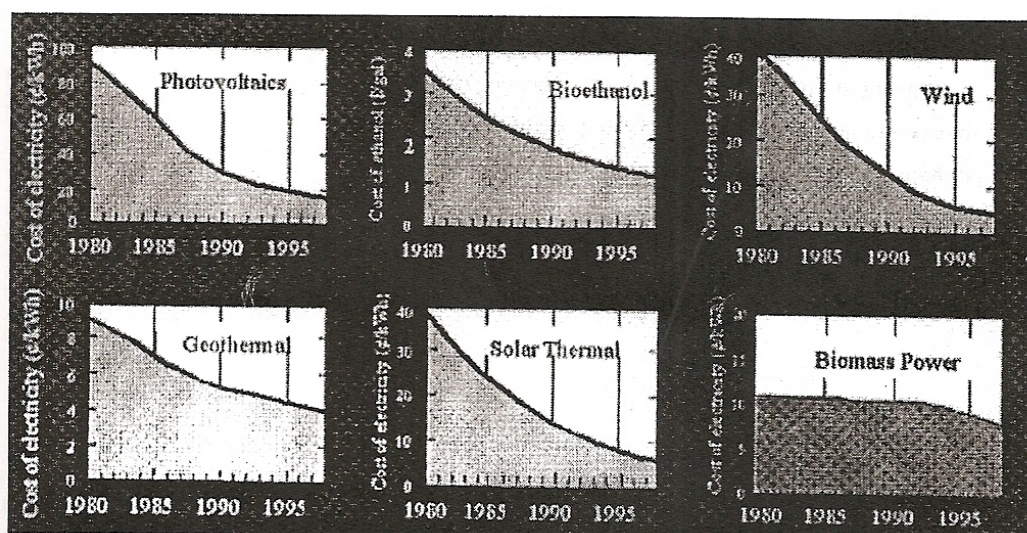
- Με εξαίρεση το ξύλο, δεν ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Η ηλιακή ακτινοβολία, η αιολική ενέργεια είναι φυσικά φαινόμενα, δεν κοστίζουν και δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Τα κατά:

- Η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη τη νύχτα.
- Οι ανεμογεννήτριες δεν λειτουργούν όταν δε φυσάει άνεμος, αλλά ούτε και όταν φυσάει δυνατά.
- Οι κάτοικοι των περιοχών κοντά σε ανεμογεννήτριες υποφέρουν από θορύβους λειτουργίας των ανεμογεννητριών.
- Υποβαθμίζουν αισθητικά ένα τοπίο.

2.3 Κόστος παραγωγής και προϋποθέσεις ανάπτυξης των Α.Π.Ε.

Στο Σχ.2.1 δείχνεται ενδεικτικά η εξέλιξη του κόστους παραγωγής ενέργειας από διάφορες μορφές Α.Π.Ε. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αξιοσημείωτη η σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής (κατά τα τελευταία 20 έτη) η οποία οφείλεται κυρίως στην εξέλιξη της τεχνολογίας τους.



Σχήμα 2.1. Συγκριτική παρουσίαση κόστους παραγωγής από ΑΠΕ

Από τους ευνοϊκά διακείμενους προς την ευρύτερη ανάπτυξη των Α.Π.Ε. υποστηρίζεται ότι η παραπάνω αντιπαραβολή του κόστους της ενέργειας μέσω των Α.Π.Ε. και συμβατικών πηγών, η οποία γίνεται με βάση τις τιμές «αγοράς», δεν είναι ορθή, διότι δεν έχει ληφθεί υπόψη το ονομαζόμενο «εξωτερικό κόστος», το οποίο θα πρέπει να επιβαρύνει τις συμβατικές πηγές. Το «εξωτερικό κόστος» αντανακλά τις πρόσθετες δαπάνες που καλείται να καταβάλει το κοινωνικό σύνολο από τις καταστροφές που προκαλούνται στο περιβάλλον (αέρα, έδαφος, υδάτινους πόρους) και στην ανθρώπινη υγεία, ως συνέπεια της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας. Στην ίδια κατεύθυνση λειτουργεί και ο μηχανισμός των προστίμων που προβλέπει το πρωτόκολλο του Κιότο για τις χώρες που δεν επιτυγχάνουν τους τιθέμενους στόχους στον περιορισμό των ρύπων.

Δεδομένου ότι ακριβής αριθμητική έκφραση των παραπάνω είναι πρακτικά ανέφικτη, μεγάλη σημαία έχει η ορθή ενημέρωση των πολιτών, ώστε να αποδέχονται τις επιπτώσεις ανάπτυξης των Α.Π.Ε., οι οποίες είναι συχνά

άμεσα εμφανείς (π.χ. η οπτική αλλοίωση του περιβάλλοντος από την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών), προκαλώντας την αντίδρασή τους. Επί πλέον, όπως ήδη εφαρμόζεται σε ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες, η ενημέρωση των πολιτών αποβλέπει στο να έχουν την διάθεση να καταβάλουν ένα μικρό επιπλέον ποσοστό στο κόστος της ενέργειας που καταναλώνουν, ως αντιστάθμισμα για το επί πλέον κόστος της παραγόμενης ενέργειας λόγω της διείσδυσης των Α.Π.Ε.

Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. αποτελεί βασική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για λόγους ανεξαρτησίας ενεργειακού εφοδιασμού και προστασίας του περιβάλλοντος, αλλά και κοινωνικής και οικονομικής συνοχής. Αυτό έχει εκφραστεί και με την πρόσφατη «Οδηγία 2001/177» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, καθώς και με τις δεσμεύσεις της Ε.Ε. στο «Πρωτόκολλο του Κιότο» για το περιβάλλον. Τα κύρια σημεία της «Οδηγίας» είναι τα ακόλουθα:

- Ζητά από τα κράτη-μέλη να ορίσουν συγκεκριμένους στόχους για το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, που θα προέρχονται από Α.Π.Ε., κατά το έτος 2010. Τα ποσοστά αυτά πρέπει να είναι σύμφωνα με το συνολικό στόχο που θέτει η Ε.Ε., δηλαδή 12% της συνολικής. Ορίζει επίσης ενδεικτικούς για κάθε κράτος-μέλος στόχους, όσον αφορά το ποσοστό της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Για την Ελλάδα ανέρχεται σε 20.1% (περιλαμβανομένων και των Μεγάλων Υδροηλεκτρικών).
- Ορίζει ότι τα κράτη-μέλη μπορούν στην παρούσα φάση να καθορίζουν από μόνα τους τα μέτρα υποστήριξης των Α.Π.Ε. για την επίτευξη του τιθέμενου στόχου, τα οποία θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τις αρχές της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, να λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τεχνολογιών, να είναι απλά και αποτελεσματικά και να προβλέπουν μεταβατικές ρυθμίσεις ώστε να διατηρείται η εμπιστοσύνη των επενδυτών.
- Ορίζει ότι τα κράτη-μέλη θα πρέπει να επανεξετάσουν διαδικασίες αδειοδοτήσεων και τις διοικητικές ρυθμίσεις ώστε να εξασφαλίζεται η διαφάνεια και να διευκολύνεται η ανάπτυξη των Α.Π.Ε.
- Ορίζει ότι θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την κατά προτεραιότητα σύνδεση των Α.Π.Ε. στα ηλεκτρικά δίκτυα και ζητά από τα κράτη μέλη να απαιτήσουν από τους Διαχειριστές του Συστήματος την έκδοση κανονισμών που θα εξασφαλίζουν διαφανείς διαδικασίες σύνδεσης και κοστολόγησης.
- Ορίζει ότι τα κράτη-μέλη θα πρέπει να δημιουργήσουν τους κατάλληλους μηχανισμούς και να ορίσουν αρμόδιους φορείς για την έκδοση «Εγγυήσεων Προέλευσης» ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ. Επιπρόσθετα, επιβάλλεται στα κράτη-μέλη να αναγνωρίζουν τις «Εγγυήσεις Προέλευσης» οι οποίες προέρχονται από άλλα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σημειώνεται τέλος ότι η Οδηγία ορίζει χρονικά διαστήματα εντός των οποίων τα κράτη-μέλη πρέπει να αναφέρουν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των οριζόμενων.

Τα μέτρα στήριξης των Α.Π.Ε. που έχουν χρησιμοποιηθεί από τα κράτη-μέλη περιλαμβάνουν επιδότηση των επενδύσεων ή φοροαπαλλαγές, αλλά η κύρια ενίσχυση προέρχεται από την άμεση στήριξη της τιμής της ενέργειας που καταβάλλεται στους παραγωγούς Α.Π.Ε. Τα μέτρα στήριξης των τιμών που εφαρμόζονται μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες:

- ❖ Τα συστήματα σταθερών τιμών, που εφαρμόζονται ιδίως στην Γερμανία και την Ισπανία και συνέβαλαν σημαντικά στη ραγδαία προώθηση των Α.Π.Ε. χαρακτηρίζονται από τη συγκεκριμένη τιμή της ενέργειας που καταβάλλεται από τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στους παραγωγούς Α.Π.Ε.
- ❖ Τα συστήματα ποσοτώσεων, τα οποία εφαρμόζονται ιδίως στην Αγγλία, την Ιρλανδία και τις Κάτω χώρες, με μικρή συμβολή στην ανάπτυξη των Α.Π.Ε., βασίζονται στον καθορισμό της τιμής της ενέργειας μέσω του ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών ΑΠΕ, αφού προηγουμένως το κράτος αποφασίσει για το επιθυμητό ποσοστό ενέργειας από Α.Π.Ε.

Υλοποιούνται με δύο κυρίως μηχανισμούς:

- i. Τα πράσινα πιστοποιητικά: Η ενέργεια Α.Π.Ε. πωλείται σε τιμές αγοράς, και για να χρηματοδοτηθεί το επιπλέον κόστος παραγωγής των Α.Π.Ε., όλοι οι καταναλωτές υποχρεώνονται να προμηθεύονται ορισμένο ποσοστό ενέργειας («πράσινο πιστοποιητικό») από Α.Π.Ε. Για την προμήθεια των πράσινων πιστοποιητικών αναπτύσσεται μία δευτερεύουσα αγορά «πράσινης ενέργειας», παράλληλα με την πρωτεύουσα αγορά από συμβατικές πηγές ενέργειας.
- ii. Διαγνωστικό σύστημα: Προκηρύσσονται από το κράτος διαγωνισμοί για την προμήθεια ενέργειας Α.Π.Ε., η οποία διοχετεύεται στην τοπική κατανάλωση στην τιμή του διαγωνισμού. Το επιπλέον κόστος της ενέργειας Α.Π.Ε. μετακυλιέται στους καταναλωτές μέσω ειδικού τέλους.

Το θέμα της επιλογής του κατάλληλου συστήματος στήριξης των Α.Π.Ε., έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αύξηση της παραγωγής από Α.Π.Ε., στα πλαίσια μιας ανταγωνιστικής απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας, χωρίς όμως σημαντική επιβάρυνση των καταναλωτών, απασχολεί έντονα όλα τα κράτη-μέλη και τις Ρυθμιστικές Αρχές.

Η πολυπλοκότητα του θέματος αυξάνεται από το γεγονός ότι οι Α.Π.Ε. αποτελούν Διανεμημένη Παραγωγή, σε πολλά επίπεδα του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας και με διαφορετική συμπεριφορά οπότε και ο καθορισμός της συμπεριφοράς τους καθώς και η εκτίμηση των επιβαρύνσεων που συνεπάγεται η σύνδεση τους στο δίκτυο δεν είναι εύκολη. Τέλος, βασικής

σημασίας είναι και το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται σε κάθε χώρα η ανάπτυξη των Α.Π.Ε.

2.4 Ρόλος της Ρ.Α.Ε.

Με το άρθρο 4 του Ν. 2773/1999 ιδρύθηκε η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργεια (Ρ.Α.Ε.) ως ανεξάρτητη διοικητική αρχή επιφορτισμένη με την παρακολούθηση και έλεγχο της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας και τη διατύπωση εισηγήσεων για την τήρηση των κανόνων του ανταγωνισμού και την προστασία των καταναλωτών.

Περαιτέρω η Ρ.Α.Ε. διατυπώνει γνωμοδοτήσεις προς τον Υπουργό Ανάπτυξης για την αδειοδότηση εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής και μετά την έκδοση αδειών παρακολουθεί την εξέλιξη της πορείας υλοποίησης έργων Α.Π.Ε. μέσω τριμηνιαίων δελτίων και εισηγείται την εκκαθάριση του χώρου από επενδυτές που επιδεικνύουν αδικαιολόγητη βραδύτητα. Επίσης εισηγείται νομοθετικές παρεμβάσεις για περαιτέρω απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια της οποίας μπορούν να βρουν θέση ουσιαστικές ρυθμίσεις για τις Α.Π.Ε. (όπως στην περίπτωση των υβριδικών σταθμών). Σε πλέον μακροπρόθεσμη βάση, μελετά την εισαγωγή του συστήματος πράσινων πιστοποιητικών και την ίδρυση δικτύου διανομής και διανεμημένης παραγωγής σε μεγάλη κλίμακα.

Στον πίνακα 2.1 αναφέρεται ο αριθμός των αιτήσεων και η συνολική ισχύς ανά τεχνολογία που υποβλήθηκαν στη Ρ.Α.Ε. μέχρι την 1 Φεβρουαρίου 2003 και για τις οποίες διατυπώθηκε θετική γνωμοδότηση, καθώς και άδειες παραγωγής που εκδόθηκαν από τον Υπουργό Ανάπτυξης μέχρι 27 Φεβρουαρίου 2003. Επίσης εκδόθηκαν άδειες παραγωγής για 3 μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα συνολικής ισχύος 246MW.

Η αξιολόγηση του συνόλου των αιτήσεων έγινε από τη Ρ.Α.Ε. με την τεχνική υποστήριξη του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Τεχνολογία Α.Π.Ε.	Αιτήσεις Ρ.Α.Ε.		Θετική γνώμη Ρ.Α.Ε. (MW)	Άδειες παραγωγής	
	Αριθμός	Ισχύς(MW)		Αριθμός	Ισχύς (MW)
Αιολικά	862	14.206	3.046	208	2.335
Μικρά υδροηλεκτρικά	368	824	364	105	287
Φωτοβολταϊκά	17	7.3	2.2	8	1
Βιομάζα	35	350	107.6	14	82
Γεωθερμία	6	335	8	0	0
Σύνολο	1.288	15.722	3.528	335	2.705

Πίνακας 2.1 Αιτήσεις και άδειες παραγωγής σε έργα Α.Π.Ε.

2.5 Ο ρόλος του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η ίδρυση του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) προβλέφθηκε με τις διατάξεις του άρθρου 25 του Ν. 1514/1985 «Ανάπτυξη της επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας» (ΦΕΚ Α 13) και υλοποιήθηκε με το Π.Δ. 375/1987 «Ίδρυση Νομικού Προσώπου Ιδιωτικού Δικαίου με την επωνυμία Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας» (ΦΕΚ Α 167). Σκοπός του Κέντρου είναι η προώθηση των Α.Π.Ε., της εξοικονόμησης και της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, καθώς και η κάθε είδους υποστήριξη δραστηριοτήτων στους εν λόγω τομείς. Περαιτέρω με το άρθρο 11 του Ν. 2702/1999 «Διάφορες ρυθμίσεις θεμάτων αρμοδιότητας Υπουργείου Ανάπτυξης και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α 70), το Κ.Α.Π.Ε. λειτουργεί ως εθνικό συντονιστικό κέντρο των εν λόγω δραστηριοτήτων.

Το Κ.Α.Π.Ε. διαθέτει εργαστήρια πιστοποίησης τεχνολογιών Α.Π.Ε., εκπονεί μελέτες προσδιορισμού του φυσικού και οικονομικού δυναμικού των Α.Π.Ε. και συμμετέχει ενεργά στην αξιολόγηση και παρακολούθηση των επενδύσεων του χώρου συμπεριλαμβανομένου του τομέα εξοικονόμησης ενέργειας.

2.6 Πηγές Ενέργειας



Εικόνα 2.1

Κάθε μέρα καταναλώνουμε πάρα πολύ ενέργεια που σχεδόν δεν την αντιλαμβανόμαστε, π.χ. όταν ανάβουμε το φως, όταν βλέπουμε τηλεόραση ή ακούμε ραδιόφωνο, όταν οδηγούμε ένα αυτοκίνητο ή μπαίνουμε στο τρένο, όταν ανάβουμε το καλοριφέρ για να ζεσταθούμε ή το κλιματιστικό το καλοκαίρι για να δροσιστούμε. Πριν από 150 χρόνια περίπου, οι άνθρωποι έκαιγαν ξύλα για να ζεσταθούν και χρησιμοποιούσαν ζώα για τις μεταφορές τους. Από τη στιγμή που άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα ορυκτά καύσιμα, η παγκόσμια χρήση ενέργειας έχει φτάσει στα ύψη, μειώθηκε το κόστος παραγωγής της ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε και η παγκόσμια ζήτηση εξαιτίας της αύξησης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Οι τρόποι παραγωγής ενέργειας είναι οι παρακάτω:

- 1) Με την καύση ορυκτών: Λιθάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο.
- 2) Με την σχάση ουρανίου.
- 3) Με την εκμετάλλευση της ενέργειας που μας δίνει η φύση (Α.Π.Ε.).

2.7 Η ηλιακή ενέργεια

Ο Ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Η ενέργεια που απελευθερώνεται στον πυρήνα του από τη σύντηξη του υδρογόνου και τη μετατροπή του στο στοιχείο ήλιο, ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Παρότι αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια, ο ήλιος αποτελείται ακόμη κατά 70% από υδρογόνο. Επομένως, για πολλά εκατομμύρια χρόνια δεν αναμένεται να υπάρξει μείωση της ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτόν.

Η ακτινοβολουμένη από τον Ήλιο ισχύς ($63\text{MW}/\text{m}^2$) φτάνει (μετά από 8 λεπτά) στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας ($1353\text{ W}/\text{m}^2$). Από αυτή το 30% ανακλάται στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια την Γης και επιστρέφει στο διάστημα. Το υπόλοιπο απορροφάται από την ατμόσφαιρα.

Ως εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που θα έφθανε στην επιφάνεια της γης αν δεν υπήρχε η γήινη ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από τον ήλιο που βρίσκεται σε απόσταση μιας Αστρονομικής Μονάδας (1 AU ή $1.5 \times 10^8\text{ km}$) από τη γη και η οποία μεταβάλλεται λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης κατά 3%.

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτήν που φθάνει στο έδαφος. Αυτή εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί τόσο περισσότερο όσο μικρότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και, συνεπώς, μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω από τη γήινη ατμόσφαιρα και πάνω στην επιφάνεια της γης δίνεται στο σχήμα 2.1.

Στον πίνακα 2.2 δίνεται η κατανομή της ηλιακής ενέργειας στις διάφορες περιοχές φάσματος:

Ακτινοβολία	Μήκος κύματος (μm)	Ποσοστό ενέργειας %	Ενέργεια (W/m^2)
Υπεριώδης	0-0,38	7,00	95
Ορατή	0,38-0,78	47,29	640
Υπέρυθρη	0,78-∞	45,71	618

Πίνακας 2.2: Κατανομή ηλιακής ενέργειας στις φασματικές περιοχές

Η διαμόρφωση των σύγχρονων αναγκών έχουν επιβάλλει παγκοσμίως μια ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Η σταδιακή εξάντληση όμως των κοιτασμάτων πετρελαίου, λιγνίτη, σε συνδυασμό με τις μη αναστρέψιμες περιβαλλοντικές συνέπειες της εκτεταμένης χρήσης τους, οδήγησαν σε μια έντονη προσπάθεια για την ορθολογική χρήση και παραγωγή ενέργειας από περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες. Τέτοιες φιλικές προς το περιβάλλον

πηγές για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι, από (όχι μεγάλα) υδροηλεκτρικά, η αιολική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμία, η ηλιακή ενέργεια και η κυματική ενέργεια.

Μια λοιπόν από αυτές τις πηγές είναι και η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, που μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρισμό. Η πρόσφατη πρόοδος της τεχνολογίας των ημιαγωγών και των ηλεκτρονικών ισχύος, επιτρέπει την αποδοτική και οικονομικά βιώσιμη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε σημείο που σε ορισμένες εφαρμογές γίνεται ανταγωνιστική της συμβατικής παραγωγής. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, όπου οι συνθήκες δεν επιτρέπουν ή καθιστούν οικονομικά ασύμφορη τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, η παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά συστήματα ή από άλλες ανανεώσιμες πηγές έχει πολλά πλεονεκτήματα.

Η ηλιακή ενέργεια μας συμφέρει στις περιπτώσεις εκείνες όπου παρέχονται κίνητρα και υπάρχει ξεκάθαρη πολιτική στήριξης της ηλιακής τεχνολογίας. Όταν, για παράδειγμα, παρέχεται ενισχυμένη τιμή της πωλούμενης ηλιακής κιλοβατώρας (όπως ισχύει πλέον και στη χώρα μας), τότε, ο καταναλωτής όχι μόνο κάνει απόσβεση της επένδυσης αλλά έχει και ένα λογικό κέρδος από την παραγωγή και τροφοδοσία πράσινης ενέργειας στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις πάλι των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές εκτός δικτύου, η ανταγωνιστική τεχνολογία είναι οι πανάκριβες στη λειτουργία τους, θορυβώδεις και ρυπογόνες ηλεκτρογεννήτριες, οπότε τα φωτοβολταϊκά είναι μια συμφέρουσα εναλλακτική λύση.

Κεφάλαιο 3^ο: Φωτοβολταϊκά

«Δεν σπαταλώ άσκοπα την ενέργεια - Η σωστή διαχείριση είναι η καλύτερη λύση»

3.1 Ιστορική εξέλιξη των Φ/Β

Ζούμε μία περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων κάνουν πλέον εφικτή τη χρήση τους.

Η πρώτη γνωριμία με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820-1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά τη διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι Adams (1836-1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το Σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885-1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμη και σήμερα.

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε πλέον ανοίξει.

Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Charin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέσσερα χρόνια μετά, το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I. Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία τους να βελτιώνεται συνεχώς. Το 1962, η μεγαλύτερη εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την Sharp, σε ένα φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242 Wp. Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν λοιπόν να κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση τους συνεχώς βελτιωνόταν. Κύριος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν ήταν η NASA.

Οι υψηλές τιμές των φωτοβολταϊκών ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από 500\$ ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια, το 1970 τα 100\$/Watt. Το 1973 βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των Φ/Β στα 50\$/Watt. Η πρώτη εγκατάσταση Φ/Β που φτάνει στα επίπεδα του 1MW γίνεται στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και

συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου 2 αξόνων. Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β φτάνει τα 22MW και ο συνολικό τζίρος 250.000.000\$. Το 1999 η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32.3%. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των Φ/Β πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MW.

Με το πέρασμα του χρόνου η μαζική είσοδος μεγάλων εταιριών στο χώρο των Φ/Β φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με τη σειρά της, την τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων στα 6.5ευρώ/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή Φ/Β πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλο τρόπο (κατασκευή Φ/Β εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα 1200 MW Φ/Β στοιχείων ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα 6.500.000.000\$.

Σήμερα με οικονομίες κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνογνωσίας τους.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από ημιαγώγιμα υλικά, σε τέτοια διάταξη ώστε τα ζεύγη αρνητικών και θετικών φορτίων, που δημιουργούνται από την προσπίπτουσα σε αυτά ακτινοβολία, να κινούνται υπό την επίρεια ενός ηλεκτρικού πεδίου προς αντίθετες κατευθύνσεις δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό στη συνέχεια συλλέγεται με ηλεκτρικές επαφές στις πάνω και κάτω επιφάνειες των στοιχείων, είτε για να οδηγηθεί σε κάποιο εξωτερικό κύκλωμα, τροφοδοτώντας φορτία, είτε για αποθήκευση σε συσσωρευτές.

Η καταλληλότητα ενός ημιαγωγού για χρήση σε φωτοβολταϊκά στοιχεία εξαρτάται από το ενεργειακό κενό μεταξύ των περιοχών σθένους και αγωγιμότητας. Το εύρος του ενεργειακού κενού καθορίζει την διαφορά δυναμικού (τάση) που θα δημιουργηθεί, ενώ όσο μικρότερο είναι το κενό τόσο περισσότερα είναι τα ζεύγη φορτίων που μπορούν να δημιουργηθούν και άρα η ένταση του παραγόμενου ρεύματος. Το ζητούμενο είναι, το γινόμενο αυτών των δύο μεγεθών (τάση και ρεύμα), δηλαδή η ισχύς, να είναι το μέγιστο δυνατό. Σε συνδυασμό με το ενεργειακό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, ο πιο κατάλληλος ημιαγωγός για παραγωγή ρεύματος από την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας είναι το γάλλοαρσενικό με θεωρητική δυνατότητα απόδοσης μέχρι 31% περίπου. Εντούτοις, το πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται είναι το πυρίτιο, λόγω του χαμηλού του κόστους και της

προχωρημένης τεχνολογίας που το συνοδεύει, η οποία οφείλεται στην ευρεία χρήση του στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών. Η απόδοση του μπορεί θεωρητικά να φτάσει κοντά στο 28% αλλά αυτή τη στιγμή δεν έχει ξεπεραστεί το 25% σε εργαστηριακό επίπεδο.

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα ποσοστό 5-17% (μέσο όρο 14%) της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη σημερινή τεχνολογία, η οποία πάντως βελτιώνεται. Φυσικά το ποσοστό αυτό εξαρτάται πάντοτε από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα φωτοβολταϊκά «λεπτού υμενίου» (thin-film, όπως είναι τα άμορφα, τα CIS, κλπ), καθώς και τα λεγόμενα «υβριδικά», τα οποία συνδυάζουν τις τεχνολογίες των άμορφων και των μονοκρυσταλλικών, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

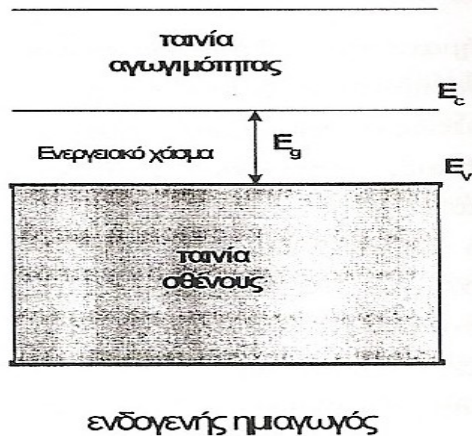
3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μία διάταξη Φ/Β περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά να φτάσουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε μία περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μία διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

3.3 Θεωρία των ημιαγωγών

Τα Φ/Β στοιχεία είναι ημιαγωγικές διατάξεις που εκμεταλλεύονται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, κατά το οποίο ορισμένα υλικά εμφανίζουν τάση στα άκρα τους όταν προσπίπτει πάνω τους ηλιακή ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σχεδόν σε κάθε επαφή υλικών με διαφορετικά χαρακτηριστικά αλλά είναι πιο έντονο στους ημιαγωγούς.

Το διάγραμμα ενεργειακών ταινιών ενός ενδογενούς (intrinsic) ημιαγωγού φαίνεται στο Σχήμα 3.1:



Σχήμα 3.1 Διαγράμματα ενεργειακών ταινιών ενός ενδογενούς ημιαγωγού

Η ταινία σθένους είναι πλήρης ηλεκτρονίων ενώ η ταινία αγωγιμότητας κενή, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται δηλαδή ως μονωτής. Η διαφορά ενέργειας μεταξύ της ταινίας αγωγιμότητας και της ταινίας σθένους αποτελεί το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού και αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό του.

Για να άγει ρεύμα όμως ένας ημιαγωγός πρέπει να υπάρξει ροή φορέων ρεύματος. Με τον όρο «φορείς ρεύματος» εννοούνται είτε τα ηλεκτρόνια είτε οι οπές. Οι οπές είναι κενές θέσεις ηλεκτρονίων που προκύπτουν από τη διαδικασία της έγχυσης προσμίξεων (doping) σε έναν ημιαγωγό.

Με την έγχυση προσμίξεων κατάλληλου υλικού στον ημιαγωγό, όπως για παράδειγμα έγχυση βορίου σε ημιαγωγό πυριτίου, αποσπώνται ηλεκτρονικά από την ταινία σθένους και οι οπές που δημιουργούνται συμπεριφέρονται ως θετικά φορτισμένα σωματίδια ικανά να άγουν ρεύμα. Ένας τέτοιος ημιαγωγός, όπου οι φορείς ρεύματος είναι ως επί το πλείστο οπές, ονομάζονται p-τύπου ημιαγωγός.

Η έγχυση αντίθετα φωσφόρου σε ημιαγωγό πυριτίου έχει σαν αποτέλεσμα τη τοποθέτηση ηλεκτρονίων στην ταινία αγωγιμότητας τα οποία είναι ελεύθερα να κινηθούν. Ένας τέτοιος ημιαγωγός, όπου οι φορείς ρεύματος είναι ηλεκτρόνια, ονομάζεται n-τύπου ημιαγωγός.

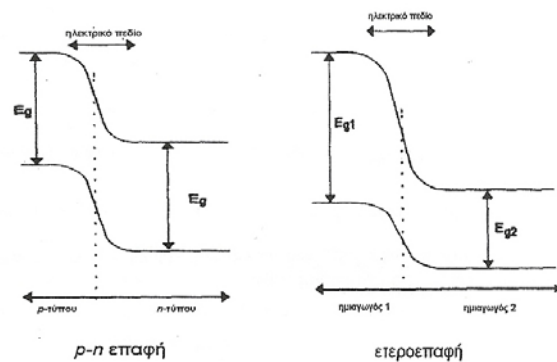
Οι φορείς ρεύματος που κυριαρχούν σε έναν ημιαγωγό ονομάζονται φορείς πλειοψηφίας, σε έναν p-τύπου ημιαγωγό είναι οι οπές και σε έναν n-τύπου ημιαγωγό τα ηλεκτρόνια. οι φορείς με τη μικρότερη συγκέντρωση ονομάζονται φορείς μειοψηφίας.

3.4 Επαφή p-n

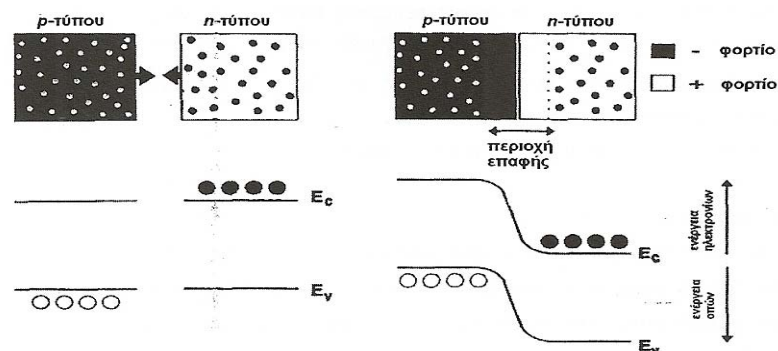
Η πιο απλή μορφή επαφής μεταξύ ημιαγωγών είναι η p-n επαφή, η οποία σχηματίζεται ενώνοντας δυο τμήματα του ίδιου ημιαγωγού (ομοεπαφή - homojunction) ή διαφορετικών ημιαγωγών (ετεροεπαφή - heterjunction). Το ένα τμήμα της επαφής είναι p-τύπου ημιαγωγός και το άλλο τμήμα n-τύπου ημιαγωγός. Στο Σχήμα 3.2 φαίνονται τα διαγράμματα ενεργειακών ταινιών

μιας απλής επαφής p-n (ομοεπαφής) και μιας ετεροεπαφής, σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

Μετά τη δημιουργία της επαφής, ηλεκτρόνια από την περιοχή n-τύπου διαχέονται προς την πλευρά p-τύπου δημιουργώντας μια θετικά φορτισμένη περιοχή στην πλευρά n-τύπου. Ταυτόχρονα, διαχέονται οπές από την p-τύπου στην n-τύπου, δημιουργώντας μια αρνητικά φορτισμένη περιοχή στην p-τύπου πλευρά. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο (φράγμα δυναμικού) στην περιοχή επαφής που εμποδίζει την περαιτέρω διάχυση φορέων εκατέρωθεν (Σχήμα 3.3).



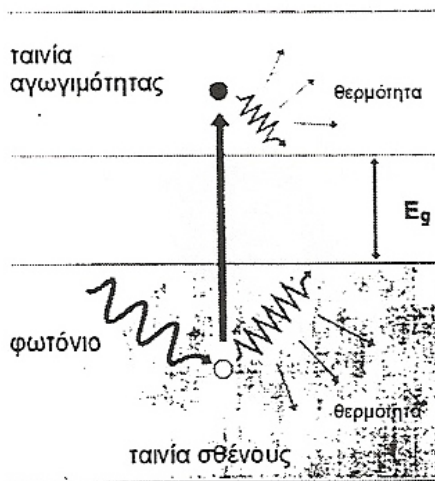
Σχήμα 3.2 Διαγράμματα ενεργειακών ταινιών επαφής p-n και ετεροεπαφής



Σχήμα 3.3 Σχηματισμός P-n επαφής και διαγράμματα ενεργειακών ταινιών πριν και μετά

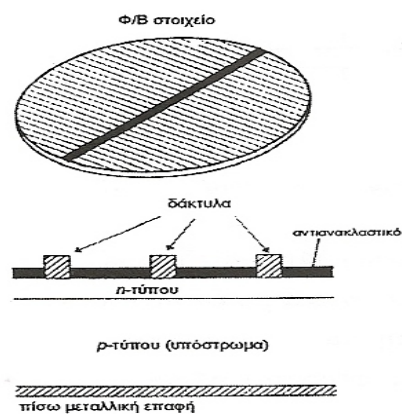
Η επαφή p-n λοιπόν συμπεριφέρεται ως δίοδος και το ρεύμα που διαρρέει την επαφή υπό ανάστροφη πόλωση ονομάζεται ρεύμα κορεσμού (saturation current, I_s) και είναι πολύ μικρότερο του ρεύματος υπό ορθή πόλωση.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι δίοδοι με μεγάλη τάση ορθής πόλωσης λόγω της δημιουργίας φωτορεύματος. Όταν στην επαφή προσπέσει ηλιακή ακτινοβολία, τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού απορροφώνται από αυτόν με αποτέλεσμα να μεταφέρονται ηλεκτρόνια από την ταινία σθένους στην ταινία αγωγιμότητας, δημιουργώντας έτσι ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών (Σχήμα 3.4). Η ροή αυτή ηλεκτρονίων από τη ταινία σθένους στη ταινία αγωγιμότητας συνιστά το φωτόρευμα I_L .



Σχήμα 3.4 Δημιουργία ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής κατά την πρόσπτωση ηλιακής ενέργειας

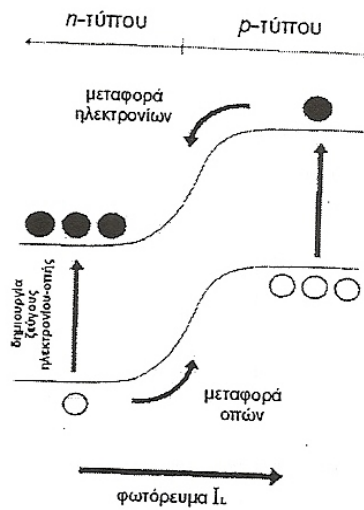
Για να μπορέσουμε να εξάγουμε το ρεύμα αυτό από ένα Φ/Β στοιχείο, πρέπει να δημιουργήσουμε ωμικές επαφές πάνω σ' αυτό. Ένα απλό Φ/Β στοιχείο φαίνεται στο Σχήμα 3.5. Ο p-τύπου ημιαγωγός ονομάζεται και υπόστρωμα (substrate). Στη μπροστινή επιφάνεια τις ωμικές επαφές σχηματίζουν λεπτοί μεταλλικοί αγωγοί, που ονομάζονται δάκτυλα, τοποθετημένοι αραιά για να μην εμποδίζεται η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του στοιχείου. Η επιφάνεια καλύπτει επίσης με μια στρώση ειδικού αντανακλαστικού υλικού που αποτρέπει την ανάκλαση του προσπίπτοντος φωτός από αυτή, ώστε να αξιοποιείται κατά το μέγιστο δυνατό η ηλιακή ενέργεια.



Σχήμα 3.5 Δομή ενός Φ/Β στοιχείου

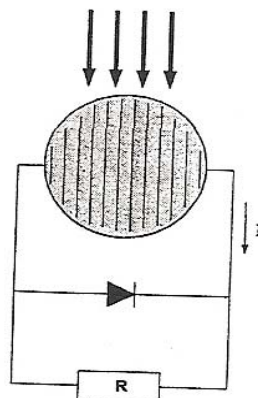
Η πίσω πλευρά του στοιχείου είναι εξ' ολοκλήρου καλυμμένη με μέταλλο. Στο Σχήμα 3.6, βλέπουμε το διάγραμμα ενεργειακών ταινιών, την παραγωγή ζευγών ηλεκτρονίου-οπής και τη δημιουργία φωτορεύματος σε ένα Φ/Β

στοιχείο όταν αυτό φωτίζεται. Η πρόσπτωση φωτός πάνω στο Φ/Β στοιχείο δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών τόσο στην p-τύπου πλευρά όσο και στην n-τύπου πλευρά.



Σχήμα 3.6 Ρεύματος της p-n επαφής όταν προσπίπτει φως σ' αυτή

Οι φορείς μειοψηφίας που δημιουργούνται (ηλεκτρόνια στην p-τύπου πλευρά και οπές στην n-τύπου πλευρά) διαχέονται στην επαφή και απομακρύνονται από το δυναμικό διάχυσης της επαφής. Οι φορείς ρεύματος συλλέγονται από τα δάχτυλα στην μπροστινή πλευρά του στοιχείου και από τη μεταλλική επαφή στην πίσω πλευρά του στοιχείου. Εάν τώρα συνδέσουμε ένα φορτίο στα άκρα του, έχουμε ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα μέσα από το οποίο ρέει το ρεύμα του Φ/Β στοιχείου (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7 Φ/Β στοιχείο σε κλειστό κύκλωμα

3.5 Χαρακτηριστικά Φ/Β συστημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές Α.Π.Ε. είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, πχ σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλαδή μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία.
- Δίνουν ενεργειακή ανεξαρτησία στο χρήστη.
- Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος, που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού τους πελάτες της.
- Μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» (Distributed Power Generation) η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων τους, βρίσκουν πάρα πολλές εφαρμογές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού, όπου απαιτείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικότερο μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων σήμερα, το οποίο αποτελεί τροχοπέδη για την επέκταση της χρήσης τους σε ευρεία κλίμακα, θεωρείται το υψηλό κόστος κτήσης τους, δηλαδή το σχετικά μεγάλο κεφάλαιο που απαιτείται να επενδυθεί για την αγορά των συστημάτων αυτού του είδους, με συνακόλουθα μεγάλο διάστημα απόσβεσης της σχετικής επένδυσης, έναντι της χρήσης των συμβατικών μορφών ενέργειας. Αν και το κόστος εγκατάστασης των διάφορων φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνεται με ταχύ ρυθμό, δεν έχει ακόμα φτάσει σε επίπεδα τέτοια που να είναι βραχυπρόθεσμα ανταγωνιστικό άλλων, των συμβατικών κυρίως, τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας.

Το υψηλό κόστος αγοράς και εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, έχει περιορίσει μέχρι σήμερα τη χρήση τους σε ειδικές εφαρμογές, που χαρακτηρίζονται συνήθως από:

- Μικρές ενεργειακές απαιτήσεις.
- Αδυναμία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από άλλη πηγή.
- Απαιτήσεις μεγάλης αξιοπιστίας.
- Επιθυμία ελάχιστης συντήρησης και παρακολούθησης.

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία, όπως και οι άλλες τεχνολογίες εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε., δεν θα πρέπει να συγκρίνεται με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας μόνο από την άποψη του οικονομικού οφέλους του επενδυτή. Πρέπει, κατά τις συγκρίσεις να λαμβάνονται παράλληλα υπόψη οι ιδιαιτερότητες των εφαρμογών που μπορεί αυτή να έχει, καθώς και το περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή.

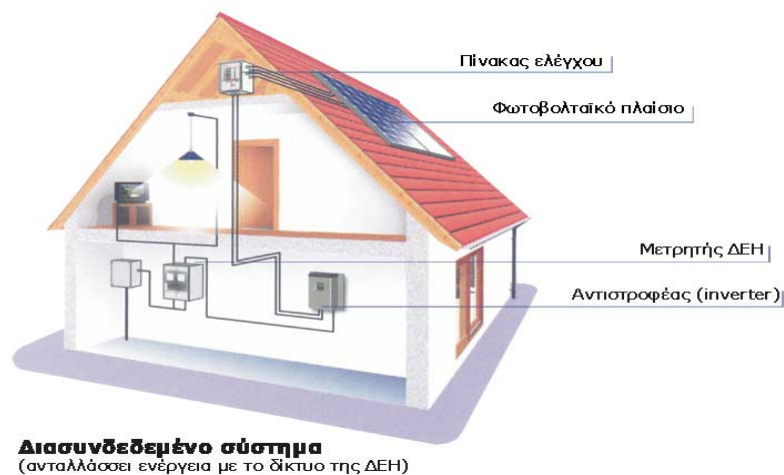
Για λόγους μηχανικής αντοχής και ευχρηστίας, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν ενσωματωμένα στο περίγραμμα τους μεταλλικά ελάσματα ανωδιωμένου αλουμινίου και, για λόγους προστασίας, είναι αεροστεγώς και υδατοστεγώς κλεισμένα μέσα σε ειδικό τζάμι και ειδικό μονωτικό πλαστικό. Η συνολική ηλεκτρική ισχύς μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα της ισχύος των φωτοβολταϊκών στοιχείων που την αποτελούν.

Πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες, όταν συνδεθούν μεταξύ τους, σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό συλλέκτη (PV array). Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται επάνω σε περιστρεφόμενα στηρίγματα που ακολουθούν την τροχιά του ηλίου. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια ακτινοβολίας και, συνακόλουθα, η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο κινητό σύστημα μπορεί να έχει από 15 έως 25% καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά πλαίσια όταν είναι τοποθετημένα σε σταθερά στηρίγματα.

Όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις στις οποίες γίνεται παραγωγή μέσης ή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ισχύος, απαιτείται η ύπαρξη πολλών φωτοβολταϊκών συλλεκτών, οι οποίοι όλοι μαζί σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Διατάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, στο διαθέσιμο χώρο, ώστε να μην προκαλούνται προβλήματα σκίασης μεταξύ των διαφορετικών σειρών των φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Ειδικά κατά τις ώρες που η ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνει μεγάλες τιμές, εάν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σκιάζουν το ένα το άλλο, υπάρχει μεγάλη πτώση στην απόδοση του συστήματος.

Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, όπως εξάλλου και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από τα οποία αποτελούνται, παράγουν πάντοτε ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς τάσης και, ανάλογα με την εφαρμογή, αυτό είτε χρησιμοποιείται απευθείας ως έχει, είτε μετατρέπεται σε ρεύμα εναλλασσόμενης τάσης. Ανεξάρτητα, όμως, από την εφαρμογή, οι συλλέκτες συνδυάζονται και με άλλες κύριες ή βοηθητικές ηλεκτρονικές συσκευές, σχηματίζοντας τα λεγόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο κύριος διαχωρισμός αυτών είναι: διασυνδεδεμένα, αυτόνομα και υβριδικά.

Υπάρχουν δύο τρόποι να χρησιμοποιήσει κανείς τα φωτοβολταϊκά. Σε συνεργασία με το δίκτυο της ΔΕΗ ή ανεξάρτητα από αυτό.



Εικόνα 3.1 Διασυνδεδεμένο σύστημα

1. Διασυνδεδεμένο σύστημα

Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (**διασυνδεδεμένο σύστημα**). Στην περίπτωση αυτή, ο παραγωγός πουλάει το ηλιακό ρεύμα στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.

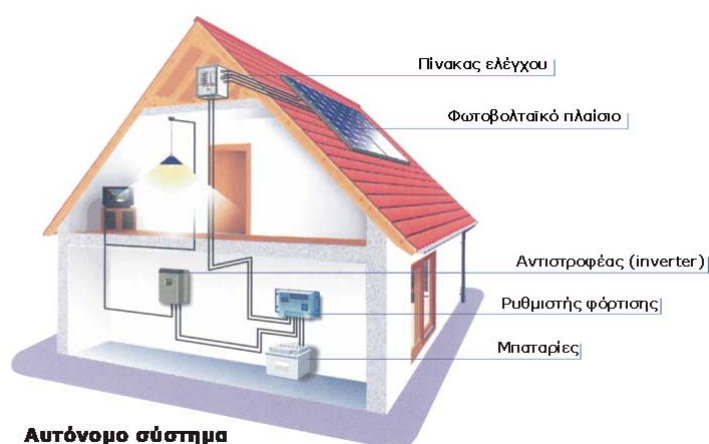
Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές όπου υπάρχει πρόσβαση σε κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο και τροφοδοτούν με ενέργεια. Τα συστήματα αυτά δεν απαιτούν την ύπαρξη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, με αποτέλεσμα να περιορίζεται τόσο το κόστος κατασκευής όσο και αυτό της λειτουργίας τους, καθώς δεν χρειάζονται αναλώσιμα υλικά. Μπορεί κανείς, να θεωρήσει ότι, σ' αυτού του είδους τις εφαρμογές, ως «αποθήκη» ενέργειας χρησιμοποιείται το ίδιο το κεντρικό δίκτυο.



Εικόνα 3:2: Διασυνδεδεμένο σύστημα σε μεταλλική οροφή της εταιρίας STANDOR Ltd. Αυλίδα Εύβοιας, Ιανουάριος 2008

2. Αυτόνομο σύστημα

Εναλλακτικά, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα **αυτόνομο σύστημα** που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.



Εικόνα 3.3 Αυτόνομο σύστημα

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για **παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής - UPS)**. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές που δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο και βρίσκονται εγκατεστημένες κυρίως σε απομακρυσμένες ή απομονωμένες περιοχές. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτά καταναλώνεται εξ ολοκλήρου από το χρήστη, ενώ, στη συντριπτική τους πλειοψηφία, τα συστήματα αυτά διαθέτουν και διατάξεις αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (δηλ. μπαταρίες). Συνηθέστερα ηλεκτροδοτούν ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχή τάση, αν και είναι δυνατό, με την εγκατάσταση κατάλληλου μετατροπέα, να παρέχουν ηλεκτρική ισχύ και σε συσκευές που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση.



Εικόνα 3.4: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα σε κατοικία μόνιμης διαμονής στο Ρέθυμνο Κρήτης

3. Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα είναι συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος με γεννήτρια πετρελαίου (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος - Η/Ζ). Απευθύνονται σε μεγαλύτερες οικιακές ή επαγγελματικές εφαρμογές. Το Η/Ζ, συνήθως ενεργοποιείται αυτόματα σε έκτακτες περιπτώσεις για να υποβοηθήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα. Αν το υβριδικό σύστημα είναι σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο, τότε το κεντρικό δίκτυο χρησιμοποιείται ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση ανάγκης. Κυρίως χρησιμοποιούνται για την αδιάλειπτη λειτουργία στρατηγικής σημασίας ηλεκτρικών φορτίων ή ευαίσθητων φορτίων, σε περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει προβλήματα (διακοπές ή μεταβολή τάσης).

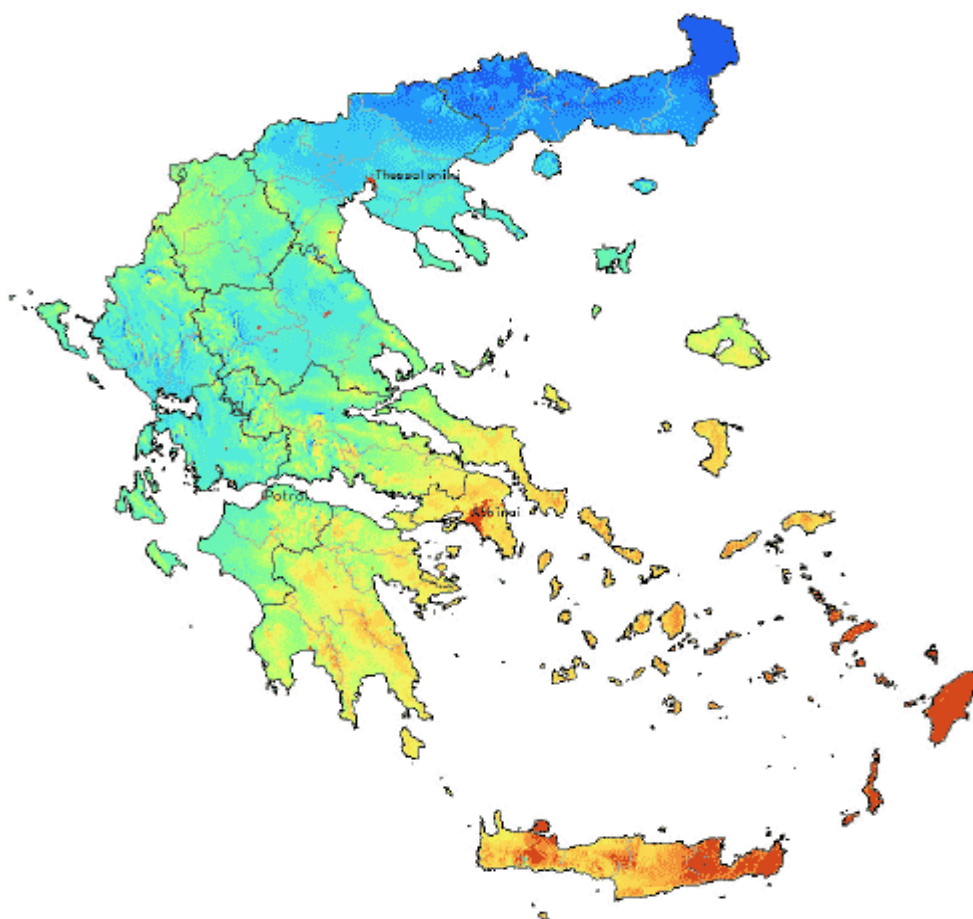


Εικόνα 3.5: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα με Η/Ζ, που ηλεκτροδοτεί Ιερό καλύβι στο Άγιον Όρος

Η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρική ενέργεια αυτοκαταναλώνεται από τα διάφορα λειτουργούντα φορτία του χρήστη. Εάν η παραγωγή δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των ηλεκτρικών φορτίων, τότε γίνεται προμήθεια της επιπλέον απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το κεντρικό δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της νύκτας ή τις ημέρες με πυκνή συννεφιά, οπότε το σύστημα δεν είναι σε θέση να παράγει ενέργεια, όλη η απαιτούμενη από τα φορτία ηλεκτρική ισχύς προέρχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η παραγόμενη από το σύστημα ενέργεια δεν καταναλώνεται εξ ολοκλήρου από το χρήστη, οπότε εμφανίζεται πλεόνασμα, το οποίο διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείται ή γίνεται συμψηφισμός με την ήδη καταναλωθείσα από το δίκτυο ενέργεια. Το

ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς τάσης που παράγεται κατά την απ' ευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική στις φωτοβολταϊκές γεννήτριες, μεταφέρεται στους διασυνδεδεμένους αντιστροφείς και αυτοί, με τη σειρά τους, τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα εναλλασσόμενης τάσης, ημιτονικό και συγχρονισμένο με αυτό του κεντρικού δικτύου. Από τους αντιστροφείς, μέσω κάποιου μετρητού ισχύος, το ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Αυτό που ενδιαφέρει, είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημά μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, **ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.300 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kWh/έτος/kW)**. Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250-1.450 kWh/έτος/kW, στη Θεσσαλονίκη 1.150-1.275 kWh/έτος/kW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400-1.500 kWh/έτος/kW.



Χαμηλότερη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού  Υψηλότερη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού

Εικόνα 3.6

Το εάν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες ενός σπιτιού, εξαρτάται μόνο από δύο παραμέτρους:

- ◆ Τη διαθέσιμη επιφάνεια στο κτίριο ή στο οικόπεδο για να εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά
- ◆ Τα χρήματα που πρόκειται να επενδυθούν.

Θα μπορούσαμε π.χ. να βάλουμε ένα σύστημα που καλύπτει μόλις το 10% των αναγκών μας (αν έχουμε λίγο χώρο και χρήματα) ή και να υπερκαλύψουμε πολλές φορές τις ανάγκες μας (πουλώντας την περίσσεια πράσινης ενέργειας στο δίκτυο).

Τα οφέλη από τη χρήση ηλιακής ενέργειας θα είναι πολύ πιο εμφανή αν εφαρμόσουμε παράλληλα μεθόδους εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Μη ξεχνάμε ότι η εξοικονόμηση είναι η φθηνότερη και καθαρότερη μορφή ενέργειας.

Η οικονομικότερη προσέγγιση επομένως για να αξιοποιήσουμε την ηλιακή ενέργεια, είναι να μειώσουμε όσο γίνεται τις ενεργειακές μας ανάγκες και κατόπιν να καλύψουμε τις ανάγκες αυτές με την παραγωγή ηλεκτρισμού από τον ήλιο ή άλλες καθαρές πηγές ενέργειας.

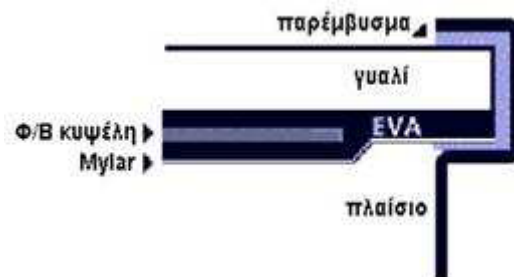
Τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι τα παρακάτω:

- ◆ Υψηλή αξιοπιστία - μεγάλη διάρκεια ζωής: Η αρχική τους κατασκευή ήταν για χρήση στο διάστημα όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές έως ακατόρθωτες. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες σήμερα τροφοδοτούν με ρεύμα σχεδόν όλους τους δορυφόρους.
- ◆ Μηδενικό κόστος λειτουργίας: Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες.
- ◆ Δεν απαιτείται συντήρηση: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν κινούμενα μέρη έτσι δεν χρειάζονται καθόλου συντήρηση κατά την λειτουργία τους.
- ◆ Δεν μολύνουν το περιβάλλον: Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης δεν προκαλούν ηχορύπανση αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη. Κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο) συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.
- ◆ Ευελιξία: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά την νέα ζήτηση.
- ◆ Αυτονομία: Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.

- ◆ Δεν προσβάλουν αισθητικά το περιβάλλον και μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν μέσα σε πόλεις.
- ◆ Μπορούν να ενσωματωθούν στην αρχιτεκτονική του κτηρίου και να χρησιμοποιηθούν ακόμα και ως δομικά στοιχεία, μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής μιας εγκατάστασης.
- ◆ Προσφέρουν την δυνατότητα αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

3.6 Τεχνολογία Φ/Β κελιών

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα μεταξύ τους, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ρεύμα και τάση. Το Φ/Β πλαίσιο (panel) είναι μια σύνθεση πολλών Φ/Β στοιχείων σε μια ενιαία κατασκευή, εύκολη στην μεταφορά, την τοποθέτηση και στην αντικατάσταση της. Στο πίσω μέρος της κατασκευής υπάρχει κατάλληλο ηλεκτρικό κιβώτιο για την συνδεσμολογία με την υπόλοιπη εγκατάσταση. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός τυπικού πλαισίου που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές. Τα Φ/Β στοιχεία ενθυλακώνονται σε κάποιο πολυμερές υλικό, όπως ο οξικός εστέρας αιθυλενίου-βινυλίου (EVA), το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται μεταξύ γυαλιού στην επάνω επιφάνεια και Mylar ή Tedlar στην κάτω.



Σχήμα 3.8: Τομή Φ/Β πλαισίου

Οι ακμές σφραγίζονται με ένα στεγανωτικό παράμβυσμα και υποστηρίζονται από ένα πλαίσιο. Ο συνδυασμός πολλών Φ/Β πλαισίων, καλωδιωμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα λέγεται Φ/Β συστοιχία (PV array). Τοποθετούνται συνήθως στην ίδια επίπεδη επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη. Η παράλληλη σύνδεση αυξάνει το ολικό ρεύμα, ενώ η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση. Συνήθως συνδέονται κατά κλάδους. Κάθε κλάδος αποτελείται από πλαίσια σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα. Έτσι επιτυγχάνονται μεγάλες τάσεις (μέσα σε επιτρεπτά όρια, 600V max) και μικρά ρεύματα, άρα μικρές θερμικές απώλειες στους αγωγούς μεταφοράς της ισχύος και χαμηλό κόστος αγοράς των αγωγών και της τοποθέτησης τους. Πολλές συστοιχίες συνεργαζόμενες, εν σειρά ή παράλληλα αποτελούν ένα Φ/Β συγκρότημα ή Φ/Β πάρκο.



Εικόνα 3.7 Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατά την συναρμολόγηση του πλαισίου

3.7 Υλικά κατασκευής Φ/Β στοιχείων

Στη συντριπτική τους πλειοψηφία τα Φ/Β στοιχεία είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο (Si) λόγω της αφθονίας του στη φύση και των καλών ημιαγωγικών χαρακτηριστικών που του δίνουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης της απόδοσης του μελλοντικά, ενώ σε μικρότερο βαθμό χρησιμοποιείται και το γερμάνιο (Ge). Τα πρώτα παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση αλλά το κόστος κατασκευής τους είναι μεγαλύτερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών.

Το πάχος των πλακιδίων αυτών, χωρίς τις εμπρός και πίσω μεταλλικές επαφές, κυμαίνεται μεταξύ 200 και 400μm. Μια μέθοδος κατασκευής γνωστή ως τεχνολογία «λεπού φίλμ»(thin film technology) επιτρέπει την κατασκευή στοιχείων πολύ μικρότερου πάχους, μερικών μόνο μm, από υδρογονούχο άμορφο πυρίτιο (hydrogenated amorphous silicon, a-Si:H) το οποίο έχει μικρότερη μεν απόδοση αλλά είναι οικονομικότερο στην παραγωγή.

Με την τεχνολογία «λεπού φίλμ» κατασκευάζονται Φ/Β στοιχεία με ημιαγωγικά υλικά όπως το γάλλιο-αρσενικό (GaAs), κάδμιο-τελλούριο (CdTe), χαλκός-ινδίο (CuIn), χαλκός-ινδίο-σελήνιο (CuInSe₂) και κάδμιο-θείο (CdF) που είναι και τα περισσότερο γνωστά στο επίπεδο εφαρμογών. Αλλά ημιαγωγικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων είναι τα: γάλλιο-αλουμίνιο-αρσενικό (GaAlAs), γάλλιο-ινδίο-φώσφορος (GaInP₂), γάλλιο-ινδίο-αρσενικό-φώσφορος (GaInAsP), γάλλιο-αντιμόνιο (GaSb), ινδίο-αντιμόνιο (InSb) και ινδίο-φώσφορος (InP).

Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούν περίπου το 93,8% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών για το 2003. Το υπόλοιπο της αγοράς καλύπτεται από τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμενίων, όπως το άμορφο-πυρίτιο (a-Si), το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) και το ισελινιούχο ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (CIGS). Αν και η τεχνολογία Φ/Β στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου έχει έναν υψηλό βαθμό ωριμότητας, αναμένονται περαιτέρω βελτιώσεις στην απόδοση και στην τεχνολογία παραγωγής τους. Οι μεγάλες επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή Φ/Β γεννητριών, ενώ διατηρούν και επεκτείνουν το δυναμικό παραγωγής τους σε κρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν ήδη επενδύσει σε μια τουλάχιστον από τις τεχνολογίες των λεπτών υμενίων.

Τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά και τα άμορφα:

1. Μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου (Si)

Η ονομασία τους προέρχεται από την μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος των ατόμων πυριτίου (Si) που πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο. Κατασκευάζονται ύστερα από ψύξη λιωμένου πυριτίου (Si) και πριονισμό του σε λεπτές πλάκες - τα κύτταρα. Η ανάγκη χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού πυριτίου (Si) (ακριβή «πρώτη» ύλη), η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος αυξάνει το κόστος παραγωγής δίνοντας τους όμως τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από τις τρεις κατηγορίες φθάνοντας το 15-18%.

Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην υπέρυθη ακτινοβολία που το ενεργειακό της περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό. Τα Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι το καταλληλότερο για Φ/Β εγκαταστάσεις. Παρασκευάζεται με την μέθοδο Czochralski και τη μέθοδο επιπλέουσας ζώνης και τεμαχίζεται σε φέτες (wafers) πάχους 200-400 μm .

Έχει ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή, κάτι που του δίνει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική φτάνει, σε εργαστηριακό προϊόν, το 24%. Σε βιομηχανική μορφή η απόδοση είναι 15-20%. Παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία και σταθερότητα και είναι κατάλληλο τόσο για οικιακές εφαρμογές όσο και σε Φ/Β εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζει υψηλότερο κόστος κατασκευής, καθώς απαιτείται κρύσταλλος πολύ υψηλής καθαρότητας και μεγαλύτερη ποσότητα υλικού, λόγω του πάχους του στοιχείου. Το πάχος της φέτας δεν μπορεί να είναι λιγότερο από 200 μm , καθώς υπάρχει κίνδυνος θραύσης κατά την κοπή και την επεξεργασία.

Ο κρύσταλλος έχει χρώμα σκούρο μπλε και ομοιόμορφο σχηματισμό. Η εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος 1kWp απαιτεί 7-8 m^2 ενώ παράγει 160-185 kWh/ m^2 . Έτσι προτιμάται σε Φ/Β πάρκα, όπου η απόδοση, η επιφάνεια και η γρήγορη απόσβεση του κεφαλαίου είναι βασικά κριτήρια για τον σχεδιασμό του συστήματος. Οι εταιρίες κατασκευής Φ/Β πλαισίων με μονοκρυσταλλικό πυρίτιο δίνουν εγγύηση για την απόδοσή τους έως και 25 έτη.

2. Πολυκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου (Si)

Σε αντίθεση με τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα στο πλέγμα τους περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Αιτία αυτής της διαφοροποίησης, είναι η μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη ψύξη του πυριτίου, κάτι που μειώνει αισθητά το κόστος παραγωγής. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη, το πολυκρυσταλλικό πλέγμα πριονίζεται στα λεπτά Φ/Β κύτταρα. Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με

αποτέλεσμα ο συνολικός βαθμός απόδοσης να μην μπορεί να ξεπεράσει το 13-15%. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα δίνουν την δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών, κατασκευάζονται με χύτευση λιωμένου πυριτίου, παρουσιάζουν μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές και μπορούν να κοπούν σε φέτες πάχους 10-50 μm .

Στην επιφάνειά τους διακρίνονται μονοκρυσταλλικές περιοχές οι οποίες έχουν γαλάζιο χρώμα. Η εργαστηριακή τους απόδοση είναι 17-20% και 10-14% σε μορφή πλαισίου. Έχουν υψηλότερο κόστος κατασκευής από το άμορφο πυρίτιο. Στην επιφάνεια της κυψελίδας διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όριά τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Όσο μικρότερο είναι το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/B στοιχείο, τόσο καλύτερη θα είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους.

Γενικά όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού στοιχείου, τόσο υψηλότερη θα είναι η απόδοσή του. Για την εγκατάσταση συστήματος 1kWp απαιτούνται 8-10m² ενώ παράγει 130-160 kWh/m². Είναι πιο συμφέρουσα λύση, σε σχέση με το άμορφο πυρίτιο, σε μεσαίου μεγέθους εφαρμογές. Συνήθως το χρώμα του είναι γαλάζιο, διατείνονται όμως και Φ/B στοιχεία σε διάφορα χρώματα, ανάλογα των απαιτήσεων της εφαρμογής. Λόγω του χρώματός του ενσωματώνεται εύκολα σε κτίρια, όπου η αισθητική παίζει σημαντικό ρόλο. Οι εταιρίες κατασκευής Φ/B πλαισίων με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο δίνουν εγγύηση για την απόδοση τους έως και 25 έτη.

3. Άμορφα κύτταρα πυριτίου (Si)

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η μη κρυσταλλική της δομή. Κατασκευάζονται με την εφαρμογή πυριτίου σε ειδικό υπόστρωμα γυαλιού. Η μικρή και οικονομική ποσότητα πρώτων υλών, ο απλός τρόπος κατασκευής, η ευκολία στην εγκατάσταση και συναρμολόγηση καθιστούν τα άμορφα κύτταρα ικανά για μαζική παραγωγή. Δυστυχώς, η έλλειψη του κρυσταλλικού πλέγματος από την δομή τους περιορίζει τον βαθμό απόδοσης μόλις στο 5 έως 8%.





Για τον λόγο αυτό τα άμορφα κύτταρα δεν απαρτίζουν αμιγώς Φ/B πλαίσια αλλά προτιμώνται σε τεχνολογίες όπως υβριδικά Φ/B πλαίσια ή Thin Film. Δημιουργούνται με τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων υμενίων (films). Θεωρητικά έχουν πολύ μικρό κόστος παραγωγής, καθώς η ποσότητα της μάζας του χρησιμοποιούμενου υλικού είναι πολύ μικρή. Πάνω σε επιφάνεια υποστήριξης σχηματίζεται το λεπτό επίστρωμα. Η απόδοσή τους μειώνεται έντονα στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 5-8%. Το ενεργειακό διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται, ανάλογα με τον τρόπο της παρασκευής του, από 1.2 μέχρι 1.6eV περίπου, σε σύγκριση με 1.1eV του κρυσταλλικού πυριτίου.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής και η υψηλή απορρόφηση. Ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής

ακτινοβολίας, είναι πολύ μεγαλύτερος από του κρυσταλλικού πυριτίου. Χαρακτηριστικό τους είναι η ομοιόμορφη εμφάνισή τους. Παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα, όπως η πολύ χαμηλή απόδοση και η μεγάλη επιφάνεια που καταλαμβάνουν σε σχέση με άλλους τύπους (για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ).

Για την εγκατάσταση 1kWp φωτοβολταϊκού συστήματος χρειάζεται επιφάνεια 10-20m², ενώ παράγει 65-80 kWh/m². Η εγγύηση των κατασκευαστών είναι συνήθως για 10 έτη. Για αυτούς τους λόγους δεν επιλέγονται σε μεγάλες εφαρμογές όπου η έκταση και η απόσβεση του αρχικού κόστους είναι σημαντική. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλιακά ρολόγια και σε αριθμητικούς υπολογιστές. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η χρήση της τεχνολογίας άμορφου πυριτίου σε μεγάλα κτίρια, γνωστά και ως κτιριακά ολοκληρωμένα Φ/Β στοιχεία (BIPVs - Building Integrated Photovoltaics), όπου αντικαθιστούν τα τζάμια (μετά από επεξεργασία για την αύξηση της διαφάνειας τους) συμβάλλοντας έτσι στην τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας στο κτίριο.

Το άμορφο πυρίτιο παρασκευάζεται με σχετικά ανέξοδες μεθόδους, σε σύγκριση με το κρυσταλλικό πυρίτιο, 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 άμορφο πυρίτιο να είναι ατελείς ή στρεβλωμένοι, που συνεπάγεται μειονεκτικές ηλεκτρικές ιδιότητες για το υλικό (π.χ. οι φορείς του άμορφου πυριτίου έχουν μικρή κινητικότητα και μικρό μήκος διάχυσης).

ΤΥΠΟΣ	« ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ» ή THIN FILM	ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚ Α	ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚ Α	«ΥΒΡΙΔΙΚΑ»
ΕΜΦΑΝΙΣΗ				
ΑΠΟΔΟΣΗ	Άμορφα: 5-7% CIS: 7-10%	11 - 14%	13 - 16%	16 - 17%
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑ kWp	10 - 20 m ²	8 - 10 m ²	7 - 8 m ²	6 - 7 m ²
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh ΑΝΑ kWp) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τοπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	1300 - 1400	1300	1300	1350
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh ΑΝΑ m ²) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τοπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	65 - 140	130 - 160	160 - 185	190 - 225
ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (kg CO ₂ ΑΝΑ kWp)	1380- 1485	1380	1380	1435

Πίνακας 3.1: Πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

3.8 Μετατροπή συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη

Η συνεχής τάση εξόδου των Φ/Β συλλεκτών μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη μέσω των αντιστροφών (inverters). Οι αντιστροφείς αποτελούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα ισχύος που με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων και μεθόδων μετατρέπουν τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Η κυματομορφή εξόδου ενός αντιστροφέα μπορεί να είναι τετραγωνική, βηματική ή ημιτονοειδής. Στις περισσότερες των εφαρμογών απαιτείται ημιτονοειδής τάση εξόδου, όπως η τροφοδότηση κινητήρων και καταναλωτικών ηλεκτρικών συσκευών και η μέθοδος που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για την παραγωγή ημιτονοειδών κυματομορφών, είναι η διαμόρφωση εύρους παλμών ή PWM (Pluse Width Modulation). Η τάση εισόδου ενός αντιστροφέα είναι οι συνήθεις τάσεις εξόδου των Φ/Β συλλεκτών δηλαδή 12, 24, ή 48V, ενώ η τάση εξόδου του μπορεί να είναι 110, 130, 220, ή 240V ανάλογα με την εφαρμογή.

Η μέγιστη απόδοση αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό του αντιστροφέα και αναφέρεται συνήθως στην ονομαστική του ισχύ. Σε συνθήκες πλήρους φορτίου η απόδοση του μπορεί να είναι μέχρι και 95% αλλά μειώνεται (75%-80%) σε συνθήκες μερικού φορτίου. Τις περισσότερες φορές βέβαια, ο αντιστροφέας λειτουργεί σε συνθήκες μερικού και όχι πλήρους φορτίου οπότε είναι σημαντικό να εμφανίζει βέλτιστη απόδοση στις συνθήκες αυτές.

Παράμετροι επηρεασμού της ισχύος εξόδου

Η ισχύς εξόδου ενός Φ/Β επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Αντίσταση σειράς R_s
- Παράλληλη αντίσταση R_p
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
- Θερμοκρασία

3.9 Το μέλλον των Φ/Β

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διεύδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό σε σχέση με τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μία άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρικών υπολογιστών. Αυτή η καθυστέρηση οφείλεται κυρίως στις τεχνικές (και οικονομικές) δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθεια τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά (κρυσταλλικό πυρίτιο).

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού (κρυσταλλικού πυρίτιου) είναι πολύ μεγάλος και η παραγωγή του είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος. Επίσης απαιτούνται υπέρογκα κεφάλαια για το κόστος του εξοπλισμού αλλά και της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία.

Για τον λόγο αυτό άλλωστε η τάση που φαίνεται ότι θα καταλάβει ένα μεγάλο μερίδιο στην αγορά των φωτοβολταϊκών μετά από κάποια χρόνια (σε σχέση με αυτό που έχει σήμερα) είναι οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film) στις οποίες επιτυγχάνεται σημαντική μείωση στις τιμές των φωτοβολταϊκών.

Σε καμία περίπτωση πάντως δεν πρόκειται να αμφισβητηθούν τα πρωτεία των τεχνολογιών κρυσταλλικού πυριτίου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα εκατοντάδες εκατομμύρια των χρημάτων, που έχουν επενδυθεί παγκοσμίως για την κατασκευή εργοστασίων παραγωγής: πολυπυριτίου (polysilicon), ράβδων μονο- και πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου (solar ingot) φωτοβολταϊκών κυψελών (solar wafers) και φωτοβολταϊκών πλαισίων (solar panels - modules).

Οι προβλέψεις για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αγορά των φωτοβολταϊκών είναι ιδιαίτερα ευοίωνες, τόσο για την καθολική εξάπλωση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας παγκοσμίως, όσο και για την καθοδική πορεία στις τιμές των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

3.10 Η κατάσταση στην Ελλάδα - Λόγοι προώθησης των Φ/Β.

Τίποτα από αυτά δεν θα γινόταν πραγματικότητα εάν δεν είχε επικυρωθεί το πρωτόκολλο του Κιότο και άλλες διεθνείς συμφωνίες που ακολούθησαν κάτω από την πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ουσιαστική ώθηση για τα φωτοβολταϊκά όπως και για τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δόθηκε μέσα από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων των δραστηριοτήτων παραγωγής ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) με τη χρήση «πράσινων» τεχνολογιών (Α.Π.Ε.). Η περισσότερο γνωστή από αυτές είναι η ευνοϊκή τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστή και ως feed-in-tariff.

Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει και αυτή με τη σειρά της κίνητρα για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία μάλιστα ήταν ιδιαίτερα ελκυστικά για τους υποψήφιους επενδυτές. Ο κρατικός μηχανισμός δεν κατόρθωσε να αναχαιτίσει στην χώρα μας την παγκόσμια δυναμική των φωτοβολταϊκών, αφού η εφευρετικότητα του έλληνα κατασκευαστή αλλά και η προνοητικότητα κάποιων επενδυτών έχουν ήδη στείλει κάποιες μεγαβατώρες στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Επίσης, πέρα από τις επενδύσεις σε διασυνδεδεμένα συστήματα μια άλλη αγορά Φ/Β που αναπτύσσεται είναι αυτή των αυτόνομων συστημάτων, αφού η τιμή της φωτοβολταϊκής κιλοβατώρας πλέον ανταγωνίζεται με αξιώσεις αυτήν του πετρελαίου και μάλιστα παρουσιάζει και αρκετά πλεονεκτήματα έναντι αυτής. Τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα προς το παρόν βρίσκονται στο Άγιο Όρος, αλλά πλέον υπάρχουν πολλές Φ/Β εγκαταστάσεις σε εξοχικές κατοικίες, απομακρυσμένους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, φάρους, κτηνοτροφικές μονάδες κλπ.

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των φορτίων των γραμμών.
- Περιορισμό του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας, μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού/καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων, με συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Προώθηση των στόχων της Ε.Ε. και του Κιότο, σχετικά με την μείωση των αερίων ρύπων και τη διεύθυνση των Α.Π.Ε. στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, σε ποσοστό 20% έως το 2010.

Τέλος ένας σημαντικός λόγος προώθησης της Φ/Β τεχνολογίας είναι ότι **κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,10kg CO₂ στην ατμόσφαιρα** (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). **Ένα τοπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,40 τόνων CO₂, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους.** Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου κ.λ.π.). Οι εκπομπές CO₂, πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

Για να καλύψουμε δύο τουλάχιστον ανάγκες στρεφόμεστε στην ηλιακή ενέργεια, οι οποίες είναι: **η ανάγκη σε ενέργεια και η ανάγκη να προστατευτεί το περιβάλλον.** Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο «αέριο του θερμοκηπίου» που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή

στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την ποσότητα των ρύπων (σε γραμμάρια), η έκλυση των οποίων αποφεύγεται για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Υποκατάσταση	Αποφυγή εκλυόμενων ρύπων (σε gr) ανά ηλιακή κιλοβατώρα (λαμβάνοντας υπ' όψη και τις απώλειες του δικτύου)			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Λιγνίτη	1.482	1-1,8	1,17-1,23	1,1
Πετρελαίου (χαμηλού θείου)	830	3,5	1,5	0,34
Φυσικού αερίου	475	0,017	0,6	-
Μέσου ενεργειακού μείγματος χώρας	1.062	CO ₂ : διοξείδιο του άνθρακα, SO ₂ : διοξείδιο του θείου, NO _x οξείδια του αζώτου, PM ₁₀ : μικροσωματίδια.		

Πίνακας 3.2: Συσχέτιση ποσότητας εκπομπών ρύπων (σε γραμμάρια) ανά ηλιακή kWh

Η περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, η οποία είναι μία από τις πλέον «καθαρές» τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, ακόμα και σε σχέση με τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης των άλλων μορφών των Α.Π.Ε., είναι βέβαιο ότι θα συμβάλλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, μειώνοντας την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο και ενισχύοντας την ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού. Παράλληλα, θα συντελέσει κατά πολύ στην προστασία του περιβάλλοντος και στην αξιοποίηση των τοπικών ενεργειακών πόρων, με αντίστοιχες ευεργετικές επιπτώσεις στην τοπική ανάπτυξη (πραγματοποίηση επενδύσεων με μακρό χρονικό ορίζοντα, δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε τοπικό επίπεδο, ενεργειακή αποκέντρωση κλπ).

Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες.



















Κεφάλαιο 4^ο: Τεχνική Μελέτη - Οικονομική Μελέτη

4.1 Γεωγραφική θέση του έργου

Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού προβλέπεται να γίνει σε πρόβολο διαμερίσματος διόροφης οικοδομής εμβαδού 217m² που βρίσκεται στην πόλη της Δράμας και στην οδό Κοζάνης.

Το υπό μελέτη κτήριο συνορεύει με οικοδομές στα βόρεια και στα δυτικά του ενώ στα νότια και ανατολικά διέρχονται δρόμοι.

- Β: γειτνιαζουσα οικοδομή
- Ν: οδός Κοζάνης
- Δ: γειτνιαζουσα οικοδομή
- Α: οδός Αναστασίου Μακρή

Υψόμετρο της πόλης: 70m

Γεωγραφικό πλάτος: 41°9'6"

Γεωγραφικό μήκος: 24°8'43"



Εικόνα 4.1 Τοπογραφικό διάγραμμα

4.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής

Ο νομός Δράμας βρίσκεται στο Β.Α. τμήμα της Ανατολικής Μακεδονίας και συνορεύει ανατολικά και νοτιανατολικά με τους νομούς Ξάνθης και Καβάλας, νότια με το νομό Καβάλας, δυτικά και νοτιοδυτικά με το νομό Σερρών και βόρεια με τη Βουλγαρία. Έχει 103.975 κατοίκους (απογραφή 2001), έκταση 3.468,3 km² και αποτελεί το 36,3% της έκτασης της Ανατολικής Μακεδονίας και το 2,63% της χώρας.

Η επιφάνεια του νομού είναι κατά κύριο λόγο ορεινή (2.190,2 km²) με κυρίαρχο βουνό το όρος Φαλακρό (στο κέντρο του νομού) και την οροσειρά της Δυτικής Ροδόπης (στα βόρεια του νομού στα σύνορα με τη Βουλγαρία).

Το νομό διασχίζουν δύο ποτάμια. Ο ποταμός Νέστος, ο οποίος ξεκινάει από τα βουνά της Βουλγαρίας και διασχίζει το νομό στα βόρεια με κατεύθυνση δυτική-ανατολική μέχρι τα όρια με το νομό Ξάνθης. Κατόπιν η κατεύθυνση του γίνεται νότια και αποτελεί το φυσικό όριο των νομών Καβάλας και Ξάνθης. Τελικά καταλήγει στο Βόρειο Αιγαίο μέσα από το δέλτα που σχηματίζει στις εκβολές του.

Η νοτιοδυτική πλευρά του νομού διαρρέεται από τον δεύτερο ποταμό, τον Αγγίτη. Οι εκβολές του βρίσκονται στις νότιες υπώρειες του όρους Φαλακρού και με κατεύθυνση νότια διέρχεται από την πεδιάδα της Δράμας. Στο ύψος του Δ.Δ. Φωτολίβους αλλάζει η κατεύθυνσή του σε νοτιοδυτική και εισέρχεται στο νομό Σερρών μέσα από το φαράγγι που σχηματίζεται από το όρος Μενοίκιο και το όρος Παγγαίο. Τελικά καταλήγει στον Στρυμόνα ποταμό, μαζί με τα νερά των πηγών του Μασαρά, Βοϊράνης, Δράμας και Μυλοποτάμου. Ακόμη, ο Αγγίτης δέχεται τα νερά των χειμάρρων Δοξάτου, Αγίας Βαρβάρας ή Δράμας και του Ξηροποτάμου.

Ο νομός της Δράμας είναι ο πλουσιότερος σε δάση νομός της χώρας με σπουδαιότερα από αυτά το σύμπλεγμα του δυτικού Νέστου, που χαρακτηρίζεται από υψηλή πανίδα. Στο βόρειο τμήμα του νομού στο βορειότερο άκρο της ελληνικής Κεντρικής Ροδόπης (1500-1950 m υψόμετρο) στο δάσος Παρανεοστίου, υπάρχει το παρθένο δάσος Φρακτού το οποίο καταλαμβάνει 8500 στρ. περίπου και η γενική του έκθεση είναι νότια. Από το 1980 έχει διακηρυχθεί Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης και έκτοτε τελεί υπό καθεστώς ειδικής προστασίας. Άλλα είδη που υπάρχουν στα δάση αυτά είναι ο γαύρος, το παλιούρι, η κρανιά, η πελέα (καραγάτσι), ο βάτος κ.ά. Ψηλότερα (μέχρι υψόμετρο 800 m) και στις ημιορεινές και ορεινές πλέον περιοχές, συναντάμε τα δάση φυλλοβόλων δρυών, όπου ενδιάμεσα και σε υγρές θέσεις υπάρχουν δάση καστανιάς και φλαμουριάς. Σε μεγαλύτερο υψόμετρο απαντώνται τα δάση της οξιάς και των παραμεσογείων κωνοφόρων, που φτάνουν μέχρι τα 1800 m. Στη ζώνη αυτή, εκτός από τα δάση της οξιάς, υπάρχουν και τα δάση της μαύρης Πεύκης. Παράλληλα με τα δάση της οξιάς και σε υψόμετρα 1950 m υπάρχουν τα δάση των ψυχροβίων κωνοφόρων.

Συνεχίζοντας, η λεκάνη της Δράμας καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα του νομού και έχει την μεγαλύτερη έκταση 1610.7 km² με ένα κεντρικό σχετικό πεδινό τμήμα έκτασης περίπου 401 km² με υψομετρικά όρια περίπου από τα 50 ως τα 200 m. Το πεδινό τμήμα περιβάλλεται από ορεινούς όγκους, όπως του

Φαλακρού προς τα βόρεια, των ορέων της Λεκάνης ανατολικά και του Μενοικίου, του Παγγαίου και του Συμβόλου προς τα νότια.

Η υπόλοιπη έκταση της λεκάνης της Δράμας καταλαμβάνεται από λοφώδες - ημιορεινό, αλλά στην μεγαλύτερη έκταση από ορεινό ανάγλυφο που συμπίπτει με τα διάφορα όρη που αναφέρθηκαν. Γενικά, το ανάγλυφο της ορεινής ζώνης είναι αδρό με μεγάλες κλίσεις και οφείλεται στην παρουσία των μαρμάρων που κυριαρχούν στο μεγαλύτερο τμήμα της.

Επίσης, οι χαμηλές ημιορεινές έως λοφώδεις περιοχές, εμφανίζουν ένα ήπιο ανάγλυφο με γενικά μικρές κλίσεις, που οφείλεται στο είδος των υλικών που δομούν τις περιοχές αυτές, όπως χαλαρά ιζηματογενή πετρώματα τα οποία είναι ευκολοαποσάθρωτα, αλλά και κώνοι κορημάτων που προέρχονται από την διάβρωση των υλικών στην ορεινή ζώνη.

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν το νομό αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για την διερεύνηση της ύπαρξης υπόγειων νερών.

Από τους σχηματισμούς της ορεινής ζώνης οι γνεύσιοι, οι σχιστόλιθοι και οι σχιστογενέσιοι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τα υπόγεια νερά. Παρουσιάζουν μια ασυνεχή υδροφορία και μόνο σε θέσεις που έχουν υποστεί έντονη τεκτονική δραστηριότητα.



Εικόνα 4.2 Γεωμορφολογία του νομού Δράμας

Σεισμικότητα ευρύτερης περιοχής

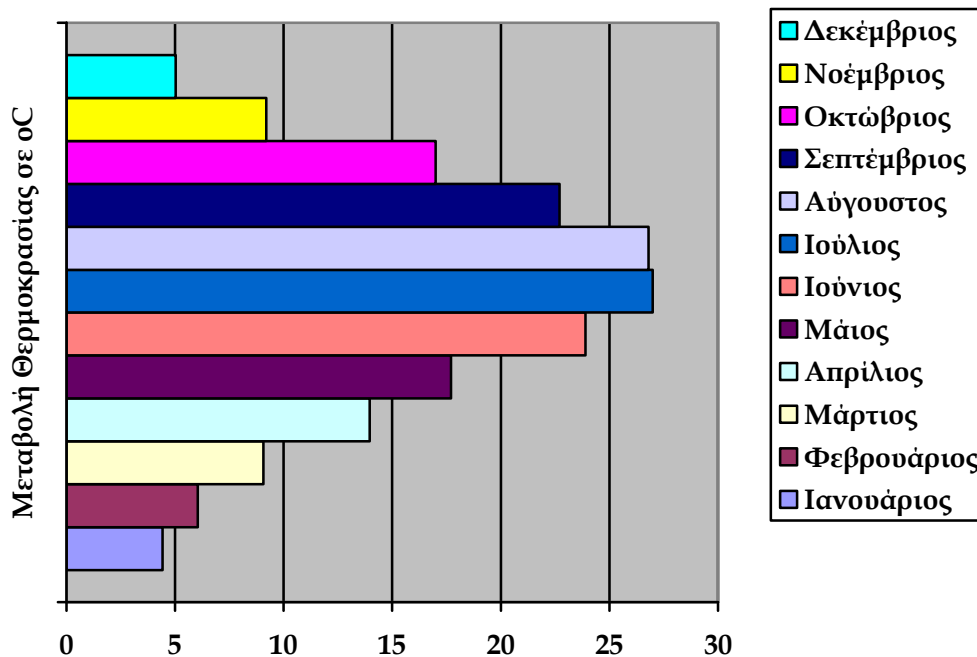
Σύμφωνα με τον χάρτη των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδος, που περιέχονται στο νέο αντισεισμικό σχεδιασμό (ΦΕΚ 613 Β/1210-92) η χώρα χωρίζεται σε 4 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ζώνη I χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας έως ζώνη IV πολύ υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας). Η ευρύτερη περιοχή της Δράμας ανήκει στη ζώνη II που περιλαμβάνει μέτρια σεισμογενείς περιοχές.

4.3 Κλιματολογικά στοιχεία-Στοιχεία ατμόσφαιρας

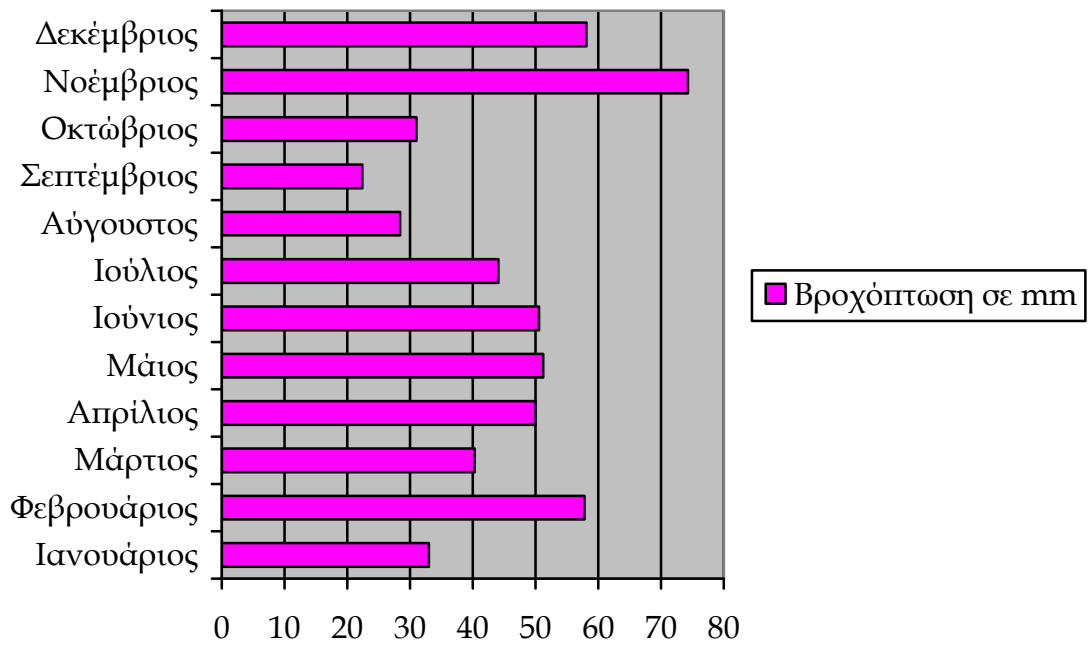
Η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Δράμας επηρεάζεται κλιματολογικά από το Όρος Φαλακρό στο κέντρο του νομού και από την οροσειρά της δυτικής Ροδόπης στα σύνορα με τη Βουλγαρία. Αποτέλεσμα αυτών των ορεινών όγκων είναι οι θερμοκρασιακές μεταβολές.

Η θερινή περίοδος είναι δροσερή (ο θερμότερος μήνας του χρόνου είναι ο Ιούλιος με 26,7°C) ενώ κατά την χειμερινή περίοδο παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες. Το μέγιστο ύψος βροχής παρατηρείται το Νοέμβριο και το Δεκέμβριο, ενώ το ελάχιστο τον Σεπτέμβριο. Η ξηρή περίοδος διαρκεί από τα μέσα Ιουνίου έως τις αρχές Οκτωβρίου.

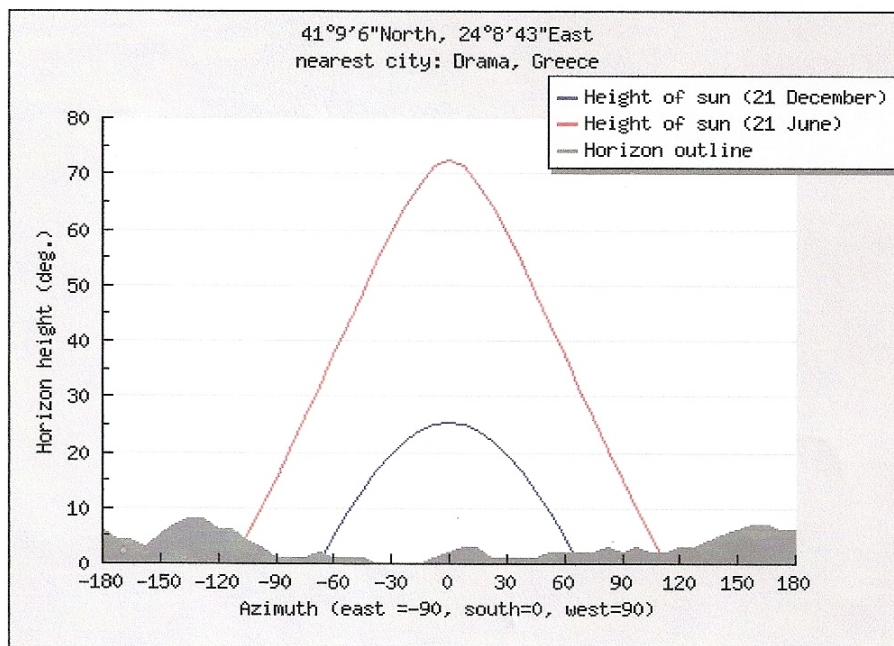
Η ύπαρξη ισχυρών ανέμων είναι μηδενική και η μέγιστη έντασή τους σε ελάχιστες περιπτώσεις φτάνει τα 6 Μποφόρ.



Διάγραμμα 4.1 Μεταβολή της θερμοκρασίας στη διάρκεια του έτους



Διάγραμμα 4.2 Βροχόπτωση στη διάρκεια του έτους



Διάγραμμα 4.3 Μέγιστα και ελάχιστα φαινόμενα ύψη του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας

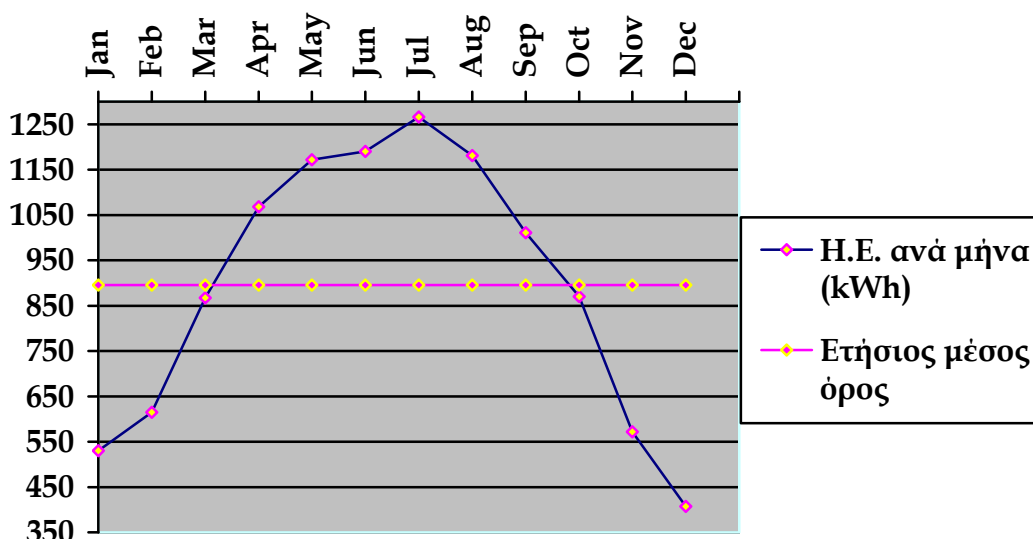
Σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων WS84
Θέση;41°9'6" Β, 24°8'43" Α, Υψόμετρο:70m a.s.l,
Δράμα, Greece

Κλίση των panels:30° (βέλτιστη)
Προσανατολισμός:-1.0° (βέλτιστος)
Οι παραπάνω βέλτιστες τιμές είναι σύμφωνα με τις οδηγίες εγκατάστασης
Φ/Β συστημάτων του ΚΑΠΕ
Απώλειες λόγω θερμοκρασίας:8.3% (τοπικά δεδομένα)
Απώλειες λόγω ανάκλασης:2.7%

Η Ετήσια Παραγωγή θα υφίσταται μια φυσιολογική κατ' έτος γήρανση της τάξης του 0.5%.

Παραγωγή Ηλεκτρ. Ενέργειας από PV για: Ονομαστική Ισχύς=9.45kW, Απώλειες Συστήματος=24.1%	
Κλίση=30deg., Προσανατολισμός=-1deg.	
Μήνες	Η.Ε. ανά μήνα (kWh)
Ιανουάριος	530,15
Φεβρουάριος	615,20
Μάρτιος	867,51
Απρίλιος	1.067,85
Μάιος	1.171,80
Ιούνιος	1.190,70
Ιούλιος	1.266,30
Αύγουστος	1.181,25
Σεπτέμβρης	1.011,15
Οκτώβρης	870,35
Νοέμβρης	571,73
Δεκέμβρης	407,30
Ετήσιος μέσος όρος	895,94

Πίνακας 4.1 Κατά προσέγγιση ποσότητα Η.Ε. ανά μήνα από Φ/Β σύστημα με τις παραπάνω δοθείσες ιδιότητες (βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός)



Διάγραμμα 4.4

4.4 Φ/Β στοιχεία

Ο Φ/Β σταθμός θα αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά μέρη:

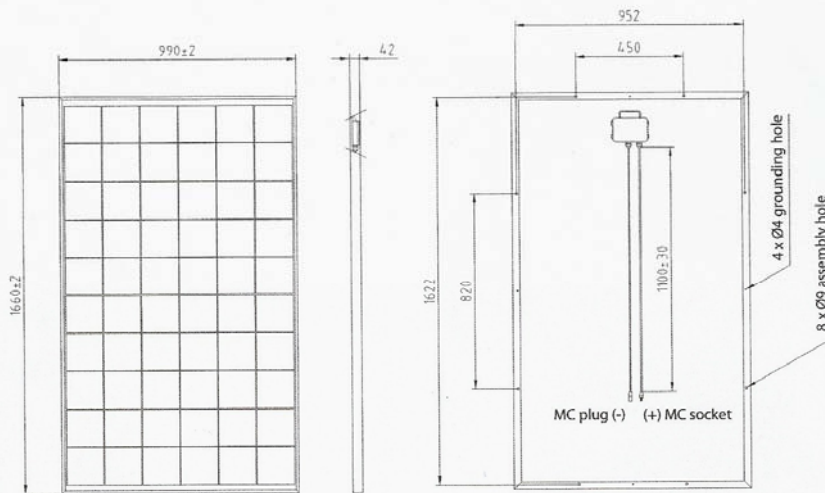
Τα Φ/Β στοιχεία που επιλέχθηκαν για την εν λόγω θέση του σταθμού είναι αυτά της τεχνολογίας Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (poliSi).

Το χρησιμοποιημένο Φ/Β Στοιχείο είναι το IBC225TE της IBC Solar με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Τύπος	IBC 225 TE
Ονομαστική ισχύς	225W _p
Ελάχιστη εγγυημένη ισχύς	219.3W _p
Ονομαστική τάση	30.3V
Ονομαστική ένταση	7.44A
Τάση ανοικτού κυκλώματος	36.7V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	8.13A
Συντελεστής θερμοκρασίας I _{sc}	0.029%/K
Συντελεστής θερμοκρασίας V _{oc}	-127mV/K
Συντελεστής θερμοκρασίας P _{max}	-0.4%/K
Μέγιστη τάση συστήματος	530V
Πιστοποιημένο κατά τα πρότυπα	IEC61215
Διαστάσεις (ΜxΠxB)	1600x990x42mm
Βάρος	42kg
Θέσεις στερέωσης Φ9 (mm)	4
Εγγύηση παραγωγής για 12 χρόνια	90%
Εγγύηση παραγωγής για 25 χρόνια	80%

Πίνακας 4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του IBC225TE

Σύνολο Φ/Β στοιχείων εγκατάστασης 42x225W_p =9450W



dimensioned drawing IBC-225TE

Technical data

Nominal peak power	Wp	225,0
Guaranteed minimum power	Wp	219,3
Nominal voltage	V	30,3
Nominal current	A	7,44
Open circuit voltage	V	36,7
Short-circuit current	A	8,13
Temperature coefficient I_{sc}	%/K	0,029
Temperature coefficient U_{oc}	mV/K	-127
Temperature coefficient P_{max}	%/K	-0,4
Length	mm	1660
Width	mm	990
Height	mm	42
Weight	kg	22,0
mounting holes Ø 6,5 mm	pieces	4

Article number

220060225TE

Electrical values under standard test conditions:
1000W/m²; 25°C; AM 1.5.

Subject to modifications that represent progress.

* The complete and individual valid guarantee conditions are relevant, which will be handed out by your IBC-representative on request.

07-2006 90ENG0225TE

IBC SOLAR AG
www.ibc-solar.com

Εικόνα 4.3 Εγχειρίδιο λειτουργίας του Φ/Β IBC225TE της IBC Solar

4.5 Αντιστροφείς

4.5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η επιλογή των αντιστροφέων λαμβάνοντας υπ' όψη όλα τα δεδομένα της εγκατάστασης είναι της εταιρείας SPUTNIK Engineering με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τύπος	SolarMax 4200S
Μέγιστη ισχύς εξόδου Σ.Ρ.	5000W
Μέγιστη ισχύς εξόδου Ε.Ρ.	4180VA
Ονομαστική ισχύς	3800W
Μέγιστη απόδοση	97.00%
Απόδοση σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα	95.10%
Μέγιστη τάση Σ.Ρ.	600V
Μέγιστο ρεύμα Σ.Ρ.	22A
Όρια θερμοκρασίας λειτουργίας	-20 έως +60°C
Διαστάσεις (ΜxΥxΒ)	545x290x185mm
Βάρος	15Kg

Πίνακας 4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του SolarMax 4200S

Σύνολο εγκατάστασης Τεμάχια:3x3800W=11400W

4.5.2 Αρμονικές

Οι Αντιστροφείς καλύπτουν την Προδιαγραφή EN6100-3-12 που αφορούν τις Αρμονικές Ρεύματος είναι δηλαδή κάτω από τα όρια που προβλέπει ο ανωτέρω Κανονισμός.

Για τον Αντιστροφέα SolarMax 4200S έχουμε:

- PWHHD (Pulse Width Harmonic Distortion): <1.5% με όριο L=22%

Ακόμη όμως και αυτό το ελάχιστο μέγεθος των αρμονικών δεν θα περνάει στο δίκτυο γιατί θα μένουν στο τρίγωνο των τυλιγμάτων του Δευτερεύοντος του Μετασχηματιστή Ισχύος του Φ/Β Σταθμού.

Technical data

SWISS QUALITY

	SolarMax 2000S	SolarMax 3000S	SolarMax 4200S	SolarMax 6000S
Input side (DC)				
Maximum generator output *	2300 Wstrc	3300 Wstrc	5000 Wstrc	6000 Wstrc
MPP voltage range	100...550 Vdc			
Minimum voltage for rated power	170 Vdc	235 Vdc	180 Vdc	220 Vdc
Maximum input voltage	600 Vdc			
Input current	0...11 Adc	0...11 Adc	0...22 Adc	0...22 Adc
Output side (AC)				
Rated output	1800 W	2500 W	3800 W	4600 W
Maximum output	1980 VA	2750 VA	4180 VA	5060 VA
Nominal mains voltage / range	230 Vac / 184...300 Vac			
Power factor (PF)	> 0.98			
Nominal mains frequency/range	50 Hz / 45...55 Hz			
Harmonic distortion at rated output	< 1.5 %			
System data				
Night consumption	0 W			
Maximum efficiency	97 %	97 %	97 %	97 %
European efficiency	95.4 % @ 400 Vdc 94.6 % @ 300 Vdc	95.5 % @ 400 Vdc 94.9 % @ 300 Vdc	95.8 % @ 400 Vdc 95.1 % @ 300 Vdc	96.2 % @ 400 Vdc 95.5 % @ 300 Vdc
Ambient temperature	-20 °C...+60 °C			
Rated output up to ambient temperature of	+45 °C			
Relative humidity	0...98 %, no condensation			
Protection type	IP54			
Circuit type	Digital sine wave controller, transformerless (no galvanic isolation), two-stage			
Heat dissipation	Convection / fan (fan exchangeable from outside)			
Display	Graphic LC display 128 x 64 pixels, with background illumination and status LED			
Operation	Three push buttons			
DC insulation switch	Integrated DC insulation switch according to VDE 0100-712			
CE-compliant according to	EN 50178, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-3-12, EN 61000-3-11			
Mains monitoring	VDE 0126-1-1			
Fault current monitoring	VDE 0126-1-1			
Mark of conformity	"Type approved" TÜV Rheinland / "GS certified safety"			
Data logger	Data logger for energy yield, peak output and operating duration for the last 31 days, 12 months and 10 years			
Data communication	RS 485 / Ethernet			
Status signalling contact	M12 connector with relay as N/C contact / N/O contact			
Dimensions (WxHxD)	545 x 290 x 185 mm			
Weight	13 kg	13 kg	15 kg	15 kg
Casing	Aluminium, cover powder-coated			

* Recommended overdimensioning 15 % (ISE Fraunhofer study).

All rights, amendments and errors reserved.



Features

- Wide input voltage range
- Attractive, innovative design with IP54 standard
- High-quality aluminium housing for internal or external installation
- Integrated DC insulation switch
- All connections are pluggable
- Integrated graphics display with self-explanatory device operation
- Integrated RS485 / Ethernet interface
- TÜV Type Approved and VDE tested
- FDC Full Digital Control; with digital sine wave controller
- Simple installation with pre-installable mounting rail
- Rated output up to 45 °C ambient temperature
- New mains monitoring system, very robust and immune to interference
- Hotline and replacement service
- 5-year warranty, optional extension of warranty coverage to 10 or 12 years available
- Attractive price/performance ratio

11/09 EN



Mixed Sources
Product group from well-managed
forests and other controlled sources
www.fsc.org Cert no. COC-1004/Am2004
© 1996 Forest Stewardship Council

 **SolarMax**[®]
www.solarmax.com

Εικόνα 4.4 Εγχειρίδιο λειτουργίας του SolarMax 4200S

4.6 Εγκατάσταση - Θεμελίωση

Τα Φ/Β στοιχεία θα τοποθετηθούν πάνω σε πακτωμένες βάσεις - κριώματα έχοντας την ίδια κλίση προς Νότο, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 30° από τον οριζόντιο άξονα.

Το σύστημα στήριξης των Φ/Β στοιχείων αποτελείται από πασσάλους γαλβανισμένους εν θερμώ κατ' ελάχιστο 80mm πάχους 4mm και ύψους 2.40m. Οι πάσσαλοι θα διαθέτουν τέσσερα (4) σημεία στήριξης οριζόντιων τεγίδων πάχους 2mm, οι οποίες θα βιδωθούν με κατάλληλες βίδες, μπουλόνια και δακτύλιους ασφαλείας (όλα γαλβανισμένα εν θερμώ ή ανοξειδωτά) στους πασσάλους στήριξης.

Το μήκος της τεγίδας θα είναι 7.15m από τα οποία, τα 7m θα καταλαμβάνουν επτά (7) Φ/Β στοιχεία και το υπόλοιπο θα συνδέεται εκατέρωθεν με την προηγούμενη και την επόμενη διαμορφώνοντας ένα συμπαγές και ανθεκτικό κριώμα σε όλες τις αντίξοες συνθήκες δυνατού ανέμου και μεγάλου όγκου χιονιού. Το εν λόγω σύστημα είναι ήδη δοκιμασμένο στην Γερμανία και τελευταίως και στην Ισπανία με άριστα αποτελέσματα.

Υπολογίζεται ότι το αναλογούν βάρος του γαλβανισμένου εν θερμώ φορέα είναι 15kg (το ένα) για κάθε επτά Φ/Β στοιχεία άρα για το σύνολο του έργου θα απαιτηθούν 630kg υλικού του φορέα (15x42=630kg).

Με την βοήθεια των παρακάτω υπολογισμών βρίσκουμε την γωνία ύψους του ήλιου η οποία είναι 19° και η απόσταση μεταξύ τους 2.32m, έτσι ώστε να μην έχουμε πρόβλημα σκίασης μεταξύ της 1ης και 2ης Φ/Β συστοιχίας που είναι σε παράλληλη σύνδεση.

Γεωγραφικό πλάτος $\phi = 41^{\circ}9''$

Ημέρα του έτους $N=355$ ημέρες

Επιλέχθηκε η 355η ημέρα του έτους η οποία αντιστοιχεί στην 21η Δεκεμβρίου όπου έχουμε τη μικρότερη γωνία ύψους ήλιου.

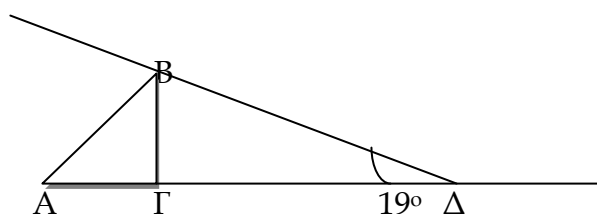
$$\begin{aligned} \text{Ηλιακή απόκλιση } \delta &= 23.45 * \sin[(360/365) * (284 + N)] \Rightarrow \\ \delta &= 23.45 * \sin[(360/365) * (284 + 355)] \Rightarrow \\ \delta &= -23.34^{\circ} \end{aligned}$$

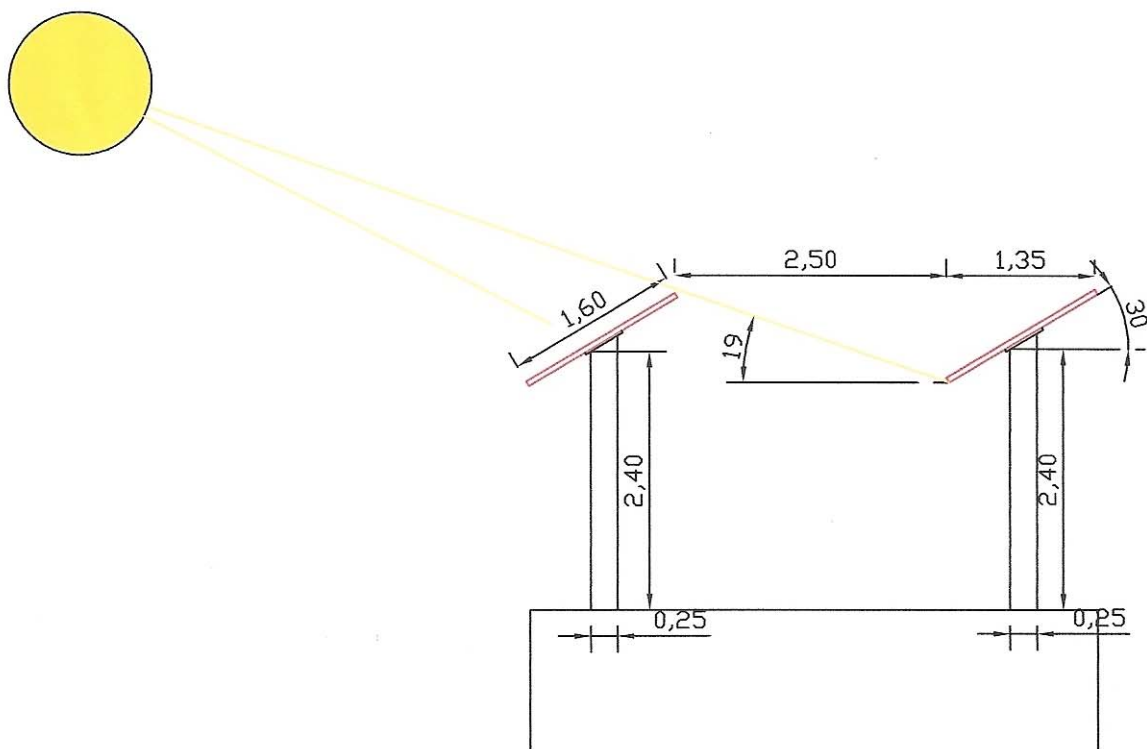
Ηλιακή ώρα $t_s = 10$ ώρες

$$\begin{aligned} \text{Γωνία ώρας } \omega &= 15(t_s - 12) \Rightarrow \\ \omega &= 15(10 - 12) \Rightarrow \\ \omega &= -30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Γωνία ύψους του ήλιου } a &= \arcsin^*(\sin \delta * \sin \phi + \cos \delta * \cos \omega * \cos \phi) \Rightarrow \\ a &= \arcsin^*[\sin(-23.45) * \sin 41.9 + \cos(-23.45) * \cos(-30) * \cos 41.9] \Rightarrow \\ a &= 19.00^{\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Απόσταση } \sin 30^{\circ} &= \text{ΑΓ} / 1.60 \Rightarrow \text{ΑΓ} = 0.80\text{m} \\ \Gamma\Delta &= 0.80 / \tan 19^{\circ} \Rightarrow \\ \Gamma\Delta &= 2.32\text{m} \end{aligned}$$





Εικόνα 4.5 Κλίση Φ/Β πάνελ

4.7 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση - Εσωτερικό δίκτυο σταθμού

4.7.1 Ηλεκτρολογική Δομή

Ο Φ/Β πυρήνας συγκεντρώνει επτά (7) Φ/Β Στοιχεία εν σειρά. Λιγότερα Φ/Β στοιχεία δεν γίνεται να συνδεθούν για τον λόγο ότι η αθροισμένη τάση ανοικτού κυκλώματος λιγότερων των επτά (7) Στοιχείων θα καταστρέψει την αντίστοιχη είσοδο του αντιστροφέα.

Άρα το πρώτο δομικό μας στοιχείο στην υπό μελέτη Φ/Β εγκατάσταση έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά Φ/Β Στοιχεία εν σειρά:

- Φ/Β Στοιχεία εν σειρά: 7
- Ονομαστική Τάση Εξόδου: $7 \times 30.3V = 212.1V$
- Ονομαστική Ένταση Εξόδου: 7.5A
- Ισχύς Φ/Β πυρήνα: $225 \times 7 = 1575Wp$

Με βάση το πρώτο επίπεδο οργάνωσης των Φ/Β πυρήνων, περνάμε στη Φ/Β συστοιχία.

Η Φ/Β Συστοιχία συναθροίζει μέσα από ένα τερματικό κουτί (Junction Box) Εισόδων - 1 Εξόδου, 2 Φ/Β Πυρήνες σε σειρά σύνδεση οπότε έχουμε ένα νέο δομικό στοιχείο με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Φ/Β Πυρήνες σε Σειρά Σύνδεση: 2
- Σύνολο Φ/Β Στοιχείων: 14
- Ονομαστική Τάση Εξόδου: $2 \times 212.1V = 424.2V$
- Ονομαστική Ένταση Εξόδου: 7.5A
- Ισχύς Φ/Β συστοιχίας: $225 \times 14 = 3150Wp$

Ένα Τερματικό Κουτί τροφοδοτεί έναν Αντιστροφέα SolarMax4200S, οπότε έχουμε ανά Αντιστροφέα $1 \times 14 = 14$ Φ/Β Στοιχεία.

Από τις εξόδους της Φ/Β Συστοιχίας οδηγούμαστε στους Αντιστροφέις.

Η ανωτέρω δομή (δηλαδή οι 3 συστοιχίες) συνδέεται σε τρεις (3) Αντιστροφέις.

Συνολική εγκατάσταση

- Φ/Β συστοιχίες σε παράλληλη σύνδεση: 3
- Σύνολο Φ/Β στοιχείων: $3 \times 14 = 42$
- Ονομαστική Τάση: 424.2V
- Ονομαστική Ένταση: $3 \times 7.5 = 22.5A$
- Ισχύς συνολικά: $225 \times 42 = 9450Wp$

4.7.2 Τύπος καλωδίων

Αναφορικά με τα καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν στο Φ/Β Σταθμό θα είναι ειδικά καλώδια διπλής μόνωσης κατασκευασμένα από την SOLAR KABEL με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τύπος: Solar-Kab 400C
- Ονομαστική Τάση Σ.Ρ.: 2500/500V
- Ονομαστική Τάση Ε.Ρ.: 1800/3000V
- Τάση Δοκιμής: 8000V
- Θερμοκρασία Λειτουργίας: $-40^{\circ}C$ έως $+150^{\circ}C$
- Γωνία καμπυλότητας: $>6 \times$ Διάμετρο
- Κατάλληλα για εξωτερική χρήση
- Κατάλληλα για χρήση μέσα στο νερό και στο χώμα
- Κατάλληλα για χρήση μέσα στο μπετόν
- Ελεύθερα Αλογόνων
- Δεν προάγουν την φωτιά
- Αντέχουν στις επιθέσεις ζώων
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία και στο όζον
- Ανθεκτικά στο ξεφλούδισμα από καιρικές συνθήκες
- Πολύκλωνο με λευκή επινικέλωση σύμφωνα με τα VDE295/IEC60228 class 5
- Εξ' αιτίας της διπλής μόνωσης, που μεγαλώνει την διηλεκτρική σταθερά και την μηχανική αντοχή, τα καλώδια κατατάσσονται στην

κατηγορία της αντοχής στο βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσεων και στην καταπόνηση σφαιμάτων ως προς τη γη

- Το θετικό και το αρνητικό είναι μαρκαρισμένα “+” και “-”
- 20 χρόνια εγγύηση καλή λειτουργίας προσφέρει ο κατασκευαστής
- Στα άκρα των καλωδίων θα υπάρχουν ταχυσύνδεσμοι για την γρήγορη σύνδεση μεταξύ τους και με τα κουτιά διακλάδωσης

4.7.3 Υπολογισμός Καλωδίων

Ο υπολογισμός όλων των καλωδίων έγινε με τα παρακάτω κριτήρια:

α. Μέγιστη επιτρεπτή ένταση ρεύματος σε κανονική λειτουργία
β. Μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος για συγκεκριμένο χρόνο, ωστόσο επέμβουν τα στοιχεία προστασίας

γ. Μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσης ($U_{επ}=V$), $\epsilon \leq 3\%$

δ. Την τοποθέτηση των καλωδίων στον αέρα ή στο έδαφος

Υπολογισμός των καλωδίων στο επίπεδο - Φ/Β Συστοιχίας. Θεωρούμε ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης στο επίπεδο Φ/Β πυρήνα είναι 4% (Σύμφωνα με το πρότυπο HD 384.525.1)ήτοι:

$$U_{επ}=424.2V \cdot 4\% = 16.97V$$

Η αντίσταση καλωδίου τότε θα έχει την τιμή:

$$R = U_{επ} / I_{\Phi/B \text{ πυρήνα}} = 16.97V / 7.5A = 2.26\Omega$$

Οπότε η ελάχιστη διατομή καλωδίου είναι:

$$A = (2 \cdot \rho \cdot l) / R = (2 \cdot 0.018 \cdot 40) / 2.26 = 0.64 \text{mm}^2$$

Προτεινόμενο καλώδιο για το Επίπεδο - Φ/Β Συστοιχίας είναι το SOLARKABEL2.5 με διατομή $S=2.5 \text{mm}^2$.

Τα καλώδια της Φ/Β Συστοιχίας τοποθετούνται σε απλή οριζόντια στρώση επιφανειακά του εδάφους και στη συνέχεια οδεύουν παράλληλα και στηριζόμενα στον τοίχο σε ύψος 10cm εντός προστατευτικού καλύμματος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε Συντελεστή Διόρθωσης από τον Πίνακα 4.5, $\sigma=0.86$ οπότε έχουμε:

Πλήθος ομάδων ή μονοπολικών καλωδίων σε ελεύθερο χώρο (αέρα)	2	3	4
Συντελεστής	0.90	0.88	0.86

Πίνακας 4.5 Συντελεστής διόρθωσης

Άρα:

$$I' = I_{\Phi/B \text{ συστοιχίας}} / 0.86 = 7.5A / 0.86 = 8.72A$$

Η αντίσταση τότε θα έχει:

$$R' = U_{\text{επ}} / I' = 16.97\text{V} / 8.72 = 1.95\Omega$$

Οπότε η διατομή είναι:

$$A' = (2 * \rho * I') / R' = (2 * 0.018\Omega * 40\text{m}) / 1.95\Omega = 0.74\text{mm}^2$$

Άρα η επιλογή στο Επίπεδο - Φ/Β Συστοιχίας είναι καλώδιο με διατομή $S = 2.5\text{mm}^2$ **SOLARKABEL2.5**

Για το Επίπεδο - Φ/Β Συστοιχίας, τελική Διατομή Καλωδίου είναι αυτή που υπολογίστηκε από την μελέτη, τυποποιημένη διατομή **HO7W-R 1x2.5mm²**

4.7.4 Υπολογισμός Βραχυκύκλωσης

Στο σημείο αυτό πρέπει να εξετάσουμε εάν η συγκεκριμένη διατομή καλωδίου αντέχει στα επίπεδα ρεύματος βραχυκλώματος που μπορεί να εμφανισθεί (Τριφασική Βραχυκύκλωση).

Ο υπολογισμός του μέγιστου βραχυκυκλώματος είναι ο ακόλουθος:

$$I_{\kappa} = (c * U_n) / \sqrt{3} * \sqrt{R'^2}$$

Όπου:

c = συντελεστής προσαύξησης ($c=1.1$ για την μέγιστη και 0.9 για την ελάχιστη τάση)

U_n = πολική (ονομαστική) τάση του δικτύου

R = συνολική ωμική, επαγωγική αντίσταση ($X=L\omega$) στο ορθό σύστημα

$$\text{Άρα: } I_{\kappa} = (1.1 * 212) / (\sqrt{3} * \sqrt{1.95^2}) = 69.05\text{A}$$

Το Μέγιστο Ρεύμα Βραχυκύκλωσης είναι:

$$I'_{\kappa} = k * \sqrt{2} * I_{\kappa}$$

Όπου:

$$k = 1.020 + 0.9798 * e^{-3.0187 * R'} = 1.0227$$

$$\text{Άρα: } I'_{\kappa} = 1.0227 * \sqrt{2} * 69.05 = 12.02\text{A}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη την παραπάνω τιμή κάνουμε διαστασιολόγηση όλων των στοιχείων του πίνακα της Χαμηλής Τάσης.

Με βάση την ΟΔΗΓΙΑ 26 της ΔΕΗ η αντοχή σε βραχυκύκλωμα $I'_{\kappa}=12.02\text{A}$ των καλωδίων $1\text{x}2.5\text{mm}^2$ είναι 0.350sec , χρόνος που είναι υπεραρκετός για να επέμβουν οι μαγνητικές προστασίες των διακοπών Χαμηλής Τάσης, οπότε το καλώδιο μας είναι εξασφαλισμένο από βραχυκυκλώμα.

4.8 Κέντρο ελέγχου

Το Κέντρο Ελέγχου είναι η καρδιά της Φ/Β Συστοιχίας. Είναι ένα μεταλλικό στέγαστρο. Αποτελείται από τον χώρο των Αντιστροφών και τον χώρο του πίνακα Χαμηλής Τάσης διασύνδεσης με τη ΔΕΗ. Ο αγωγός προστασίας της εγκατάστασης των Φ/Β θα συνδεθεί με τον αγωγό προστασίας της εγκατάστασης της κατοικίας.

4.8.1 Χώρος αντιστροφών

Στο Κέντρο Ελέγχου θα καταλήγουν επιφανειακά εντός προστατευτικού καλύμματος τα καλώδια από τη Φ/Β Συστοιχία (PV Arrays) στον αντίστοιχο Αντιστροφέα.

Οι παράμετροι που διέπουν τους αντιστροφείς στην συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι οι ακόλουθοι:

Από πίνακα 4.3: Solar Max 4200S

Παράμετρος	Οριακή Τιμή	Τιμή Υπολογισμού Λειτουργίας
Μέγιστη Τάση Ανοικτού κυκλώματος	600.00V	424V
Μέγιστη Ένταση στο Σ.Ρ	22.00A	7.5A
Ελάχιστη ισχύς εξόδου	80.00KW	
Μέγιστη ισχύς εξόδου	5000W	3150W
Δυναμική απόδοση	95.10%	

4.8.2 Διαστασιολόγηση Οργάνων Προστασίας σε Υπερφόρτιση και Βραχυκύκλωμα

Τα όργανα προστασίας Χαμηλής Τάσης ανοίγουν ένα κύκλωμα, όταν το ρεύμα υπερβεί μία τιμή σε ένα καθορισμένο χρόνο και μάλιστα αυτόματα. Έχουμε τα εξής μέσα προστασία:

- Ασφάλειες τήξης.
- Αυτόματους διακόπτες (μικροαυτόματους γραμμών, αυτόματους προστασίας συσκευών, διακόπτες ισχύος, αυτόματους κινητήρων).

Για την προστασία των καλωδιώσεων της εγκατάστασης της Φ/Β Συστοιχίας, έναντι υπερφορτίσεως και βραχυκυκλώματος θα λάβουμε υπόψη την Ονομαστική Τάση λειτουργίας, το Ρεύμα Λειτουργίας και το Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως.

Για Ρεύμα Ονομαστικής λειτουργίας 7.5A και Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως 12.02A, επιλέγουμε μικροαυτόματο σύμφωνα με το πρότυπο EN 60898 με Μικρό Ρεύμα δοκιμής για μία ώρα $I_1=22.4A$ και Μεγάλο Ρεύμα δοκιμής για μία ώρα $I_2=28A$ και Ονομαστικό Ρεύμα $I_3=6kA$.

Μικροαυτόματοι των 25Α τοποθετούνται σε πλευρά Εισόδου (συνεχούς τάσης) και Εξόδου (εναλλασσόμενης τάσης) των Αντιστροφών ενώ το κεντρικό μέσο προστασίας για λόγους επιλεκτικότητας, επιλέγω 20Α.

4.9 Οικονομική μελέτη

Υπολογισμός εσόδων από διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

Ανατολικά: $24^{\circ}9'8''$ Βόρεια: $41^{\circ}9'1''$

Τοποθεσία εγκατάστασης: **Δράμα (Ν. Δράμας) Ανατολική Μακεδονία**

Η περιοχή ανήκει στο **Διασυνδεδεμένο σύστημα**

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ: **9.45 kWp**

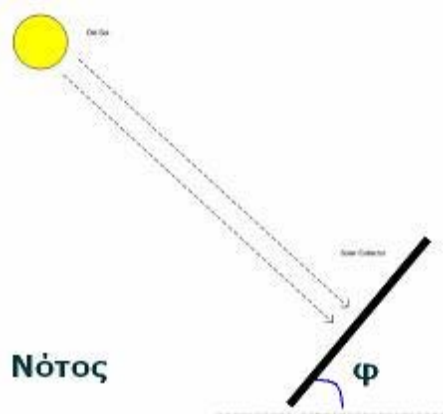
Προσανατολισμός του συστήματος: **Νότιος**



Εικόνα 4.5 Απώλειες στην παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τον προσανατολισμό Φ/Β συστήματος

Κλίση των φωτοβολταϊκών ως προς το οριζόντιο επίπεδο: **Βέλτιστη**

(Η βέλτιστη κλίση για την Ελλάδα είναι 28 με 30°)



Εικόνα 4.6 Βέλτιστη κλίση

Έναρξη λειτουργίας πριν από: **έως το 2012**

Αρχική τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας **0.550 €/kWh**

Μέση ετήσια μείωση απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων **0.90 %**

Μέση τιμή Δείκτη Τιμών Καταναλωτή 20 ετίας **1.90 %**

Η μέση ετήσια αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του **1ου** έτους θα είναι: **10.751,27kWh**.

Τα έξοδα που θα πρέπει να γίνουν είναι τα εξής

- Πάνελ: 42x550,00€= 23.100,00€
 - Αντιστροφείς: 3x1.100,00€= 3.300,00€
 - Πίνακας: 1x1.300,00€= 1.300,00€
 - Αντικεραυνικά: 4x700,00€= 2.800,00€
 - Καλωδιώσεις: 200mx6,00€= 1.200,00€
 - Υλικά στήριξης: 5.000,00€
- Σύνολο: 36.700,00€**

	Έσοδα ανά έτος	Απόσβεση Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ανά έτος
Έσοδα 1ου έτους	5.913,20 €	3.600,00€
Έσοδα 2ου έτους	5.887,81 €	3.600,00€
Έσοδα 3ου έτους	5.862,54 €	3.600,00€
Έσοδα 4ου έτους	5.837,37 €	3.600,00€
Έσοδα 5ου έτους	5.812,31 €	3.600,00€
Έσοδα 6ου έτους	5.787,36 €	3.600,00€
Έσοδα 7ου έτους	5.762,52 €	3.600,00€
Έσοδα 8ου έτους	5.737,78 €	3.600,00€
Έσοδα 9ου έτους	5.713,15 €	3.600,00€
Έσοδα 10ου έτους	5.688,62 €	3.600,00€
Έσοδα 11ου έτους	5.664,20 €	0,00€
Έσοδα 12ου έτους	5.639,89 €	0,00€
Έσοδα 13ου έτους	5.615,68 €	0,00€
Έσοδα 14ου έτους	5.591,57 €	0,00€
Έσοδα 15ου έτους	5.567,57 €	0,00€
Έσοδα 16ου έτους	5.543,67 €	0,00€
Έσοδα 17ου έτους	5.519,87 €	0,00€
Έσοδα 18ου έτους	5.496,18 €	0,00€
Έσοδα 19ου έτους	5.472,58 €	0,00€
Έσοδα 20ου έτους	5.449,09 €	0,00€
Έσοδα 21ου έτους	5.425,70 €	0,00€
Έσοδα 22ου έτους	5.402,41 €	0,00€
Έσοδα 23ου έτους	5.379,22 €	0,00€
Έσοδα 24ου έτους	5.356,12 €	0,00€
Έσοδα 25ου έτους	5.333,13 €	0,00€
Συνολικά έσοδα 25 ετίας	140.459,54 €	36.700,00€

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα εσόδων - απόσβεσης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ανά έτος

4.10 Παράρτημα

- Πασπαλάς Κ., «Καυστήρες - Λέβητες», εκδόσεις Τ.Ε.Ε./Τ.Κ.Μ., 2001
- Παπάζογλου Ε., Κυρίτση Σ., Σούτερ Χ., «Θέρμανση θερμοκηπίων - Αντλίες θερμότητας», εκδόσεις ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα 1987
- Σ.Ν. Καπλάνης, «Ήπιες μορφές ενέργειας: τεύχος 1^ο: Περιβάλλον και Α.Π.Ε., εκδόσεις ΙΩΝ Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε. 2003
- Τεύχος 2^ο: «Ηλιακή μηχανή», εκδόσεις ΙΩΝ Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε. 2004
- Τεύχος 3^ο: «Μηχανική των Φ/Β συστημάτων», εκδόσεις ΙΩΝ Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε. 2004
- Α. Νεοκλέους, Σ.Π. Κωνσταντινίδη, «Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια με Φ/Β συστήματα», εκδόσεις ΙΩΝ Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε. 1999
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας Γεώργιος Μπάκος Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη 2004
- SelaEnergy Εταιρεία Α.Π.Ε. με έμφαση στην τεχνολογία Φ/Β συστημάτων (www.selasenergy.gr)
- SolarMax Εταιρεία παραγωγής και πώλησης αντιστροφών (www.solarmax.com)
- Κ.Α.Π.Ε. (www.cres.gr)

