

ΑΡΧΕΙΟ Η/Γ
558



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

“ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ”

**ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ**

Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής:

Σπύρος Τσιώλης Καθ. Εφαρμογών
Ευάγγελος Βασιλακόπουλος

ΑΜ: 32431

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Μάϊος - 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Σπυρίδων Τσιόλη, για τη πολύτιμη βοήθειά του, καθώς επίσης και την οικογένεια μου και τους φίλους μου που ήταν πάντα δίπλα μου και με στήριζαν....

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Λίστα σχημάτων.....	iii
Λίστα πινάκων.....	iv
Summary.....	v
Πρόλογος.....	1
1^ο Κεφάλαιο “ηλιακη ενεργεια”.....	1
1.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	1
1.1.1 Ηλιακές Κυψέλες.....	2
1.1.1.1 Μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικών κυψελών.....	3
1.1.1.2 Λειτουργία των ηλιακών κυψελών.....	5
1.1.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	9
1.1.2.1 Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας.....	9
1.1.2.2 Κυψέλη.....	10
1.1.2.3 Συνδεσμολογία.....	10
1.1.2.4 Πλαίσιο.....	11
1.1.2.5 Ενθλάκωση.....	11
1.1.2.6 Δίοδοι.....	13
1.1.2.7 Συστήματα έδρασης – παρακολούθησης.....	13
1.2 Λειτουργία των Φ/Β συστοιχιών.....	13
1.2.1 Σύνδεση εν σειρά.....	13
1.2.2 Σύνδεση εν παραλλήλω.....	15
1.2.3 Δίοδοι.....	16
1.2.4 Παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου.....	17
1.3 Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ.....	19
1.3.1 Οι αγορές των Φ/Β.....	19
1.3.2 Αυτόνομα συστήματα.....	21
1.3.2.1 Συνιστώσες και συντήρηση.....	22
1.3.3 Υβριδικά Φ/Β συστήματα.....	23
1.3.4 Διασυνδεδεμένα συστήματα.....	24
1.4 Τι είναι και πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	25
1.4.1 Βαθμός απόδοσης.....	26
1.4.2 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα.....	27
1.4.3 Κίνητρα.....	28
1.4.4 Περιβαλλοντικές θεωρήσεις.....	29
2^ο Κεφάλαιο “ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ”.....	30
2.1 Βασικές αρχές γεωθερμίας.....	30
2.2 Γεωθερμικές πηγές.....	31
2.2.1 Υδροθερμικές πηγές.....	31
2.2.2 Γεωπεπιεσμένες πηγές.....	32
2.2.3 Θερμά ξηρά πετρώματα.....	33
2.2.4 Μάγμα.....	34
2.3 Γεωθερμικό δυναμικό.....	34
2.3.1 Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας.....	35
2.3.1.1 Παραγωγή ηλεκτρισμού.....	36
2.3.1.2 Άμεση χρήση.....	36
2.4 Διαδικασία ανάπτυξης των έργων γεωθερμικής ισχύος.....	37
2.4.1 Αναγνώριση και διερεύνηση.....	38

2.4.2	Διερευνητική γεώτρηση	39
2.4.3	Παγκόσμια κατανομή της γεωθερμικής αξιοποίησης.....	40
2.5	Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας	41
3^ο	Κεφάλαιο “μελετη ενεργειακα αυτονομου θερμοκηπιου με εγκατασταση φ/β και γεωθερικων αντλιων”	43
3.1	Υπολογισμοί καταναλώσεων	43
3.1.1	Υπολογισμός αναγκών θέρμανσης-ψύξης	43
3.1.2	Υπολογισμός λοιπών καταναλώσεων και φωτοβολταϊκού συστήματος	46
3.2	Μηχανισμός τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας του θερμοκηπίου - σχηματικό διάγραμμα	50
3.3	Μηχανισμός θέρμανσης – Σχηματικό διάγραμμα	51
3.4	Ανάλυση χώρου και περιγραφή εξοπλισμού	52
3.4.1	Σχέδια εγκατάστασης.....	52
3.4.2	Περιγραφή εξοπλισμού.....	56
3.4.2.1	Γεωθερμική αντλία θερμότητας.....	56
3.4.2.2	Ηλιακά πλαίσια – Μονοκρυσταλλικού τύπου	57
3.4.2.3	Αντιστροφέας (inverter)	59
3.4.2.4	Μπαταρίες.....	61
3.4.2.5	Ηλιακός ελεγκτής φόρτισης.....	62
3.4.2.6	Σωλήνες θέρμανσης-ψύξης	63
3.5	Οικονομική προσέγγιση έργου	64
3.5.1	Τεχνοοικονομική συγκριτική ανάλυση ανανεώσιμων και συμβατικών καυσίμων.....	64
Βιβλιογραφία	67	

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1	Ηλιακά πλαίσια.....	3
Σχήμα 1.2	Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης	5
Σχήμα 1.3	Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη.....	6
Σχήμα 1.4	Η καμπύλη I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου σε ΠΣΔ	7
Σχήμα 1.5	Παραγωγή ρεύματος και τάσης μιας ηλιακής κυψέλης υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός.	8
Σχήμα 1.6	Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.	9
Σχήμα 1.7	Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας.....	9
Σχήμα 1.8	Τομή ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πλαισίου.	12
Σχήμα 1.9	Τυπικές καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά..	14
Σχήμα 1.10	Τέσσερις ηλιακές κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά.	15
Σχήμα 1.11	Καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα.	16
Σχήμα 1.12	Μία, δύο, και τρεις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα.....	16
Σχήμα 1.13	Παραγόμενη ισχύς από μία συστοιχία με και χωρίς σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου	18
Σχήμα 1.14	Παρακολούθηση τροχιάς μονού άξονα (αριστερά) και συγκεντρωτικές κυψέλες με παρακολούθηση τροχιάς διπλού άξονα (δεξιά) Σχήμα 1,14.....	18
Σχήμα 1.15	Κατοικία μηδενικών ενεργειακών αναγκών στο Zandvoort (Ολλανδία) Πηγή: [http://www.euronet.nl/users/oke/PVPS/pv/sa_syst.htm].....	20
Σχήμα 1.16	Ηχοφράκτης με Φ/Β πλαίσια στο επάνω μισό κατά μήκος του	20

Σχήμα 1.17 Σχηματική παράσταση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος	23
Σχήμα 1.18 Σχηματική παράσταση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος.	25
Σχήμα 2.1 Αναπαράσταση των κύριων χαρακτηριστικών μιας γεωθερμικής περιοχής.....	32
Σχήμα 2.2 Η τεχνολογία των θερμών ξηρών πετρωμάτων	33
Σχήμα 2.3 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάπτυξης των γεωθερμικών.....	37
Σχήμα 3.1	43
Σχήμα 3.2 Ανταλλαγές ενέργειας θερμοκηπίου με το περιβάλλον.	44

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Αυτόνομες εφαρμογές σε αναπτυσσόμενες χώρες	22
Πίνακας 2.1	35
Πίνακας 2.2 Παγκοσμίως εγκατεστημένο γεωθερμικό δυναμικό (σε MWe) ανά χώρα	40

SUMMARY

This working refers to an extensive study of photovoltaic and geothermal systems which are developed last years and explains how we can use these technologies to construct an autonomous energy greenhouse.

At the first chapter, we introduce and analyze the photovoltaic systems, the operating principle and how they work. Also, we show the types of photovoltaic systems that exist, advantages and disadvantages, environmental considerations etc.

At the second chapter, we describe the geothermal energy, types of geothermal systems, the operating principle, the geothermal potential, the competitive of geothermal energy etc.

At the last chapter, we introduce the autonomous energy greenhouse and the research of it. Also, we describe and separate the needs of energy, the mechanism that provides electricity, the mechanism that provides heating – cooling, installation drawings, description of device, economic approach etc.

Keywords: photovoltaic, geothermal energy, autonomous, energy greenhouse, solar energy

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών μη ανανεώσιμων καυσίμων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Το θέμα αυτό βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος Παγκοσμίων Οργανισμών, Κηβερνήσεων, Ερευνητικών Κέντρων, των ενδιαφερόμενων παραγωγών και χρηστών ενέργειας, αλλά και όλων των ενημερωμένων πολιτών.

Η αναζήτηση της απαραίτητης ενέργειας από τον άνθρωπο, η επάρκεια των αποθηκών/πηγών της, η βέβαιη και ταχεία εξάντληση μερικών από αυτές, οι βέλτιστοι τρόποι εκμετάλλευσης και εξοικονόμησής της, τα οικονομικά, κοινωνικά και ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από την ανισοβαρή, άλλοτε αλόγιστη και άλλοτε ανεπαρκή χρήση της, καθώς και η μεγάλη και αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους μηχανισμούς και συστήματα μετατροπής και μεταφοράς ενέργειας, συνιστούν το «ενεργειακό περιβαλλοντικό» πρόβλημα. Ένα από τα κρισιμότερα, σήμερα, προβλήματα του ανθρώπου.

Αν και είναι γνωστό ότι η Ελλάδα είναι μια χώρα με συγκριτικά πλεονεκτήματα ως προς τις μορφές ΑΠΕ, εντούτοις, δεν παρουσιάζει ποσοστό αξιοποίησής τους σε ικανοποιητικό βαθμό. Μεταξύ των παραγόντων που συμβάλλουν στη μη επιθυμητή αξιοποίηση των ΑΠΕ, μπορεί να αναφερθεί και η άγνοια-καχυποψία για την περιβαντολλοντική συμβατότητα των έργων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτά επιφέρουν.

Βέβαια, σε παγκόσμιο επίπεδο, γίνεται όλο και πιο έντονα αποδεκτό το γεγονός, ότι η αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ συνδυάζεται και συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την αειφόρο ανάπτυξη, σε αντιθεση και πάντα σε σύγκριση με τα προβλήματα που προκαλούνται από την εξόρυξη και χρήση συμβατικών καυσίμων.

Επιπλέον, η ξέφρενη κούρσα της τιμής του πετρελαίου που σύμφωνα με εκτιμήσεις θα συνεχιστεί, πιθανόν να σηματοδοτήσει την αρχή του τέλους μιας εποχής που η ανάπτυξη στηρίχθηκε στη φθίνη και «απεριόριστη» ενέργεια των ορυκτών καυσίμων. Όλα δείχνουν ότι η αύξηση της τιμής του πετρελαίου θα συμπαρασύρει και το φυσικό αέριο και τον άνθρακα. Από την άλλη, οι ενεργειακές απαιτήσεις ειδικά των αναδυόμενων οικονομιών γίνονται όλο και πιο πιεστικές καθώς οι εκτιμήσεις για τα επόμενα 15 χρόνια κάνουν λόγο για αύξηση της ενεργειακής ζήτησης κατά 2,2% το χρόνο. Το κλίμα αβεβαιότητας εντείνει τις ανησυχίες όχι μόνο για το ενεργειακό αλλά και το περιβαλλοντικό μέλλον του πλανήτη. Όσο αυξάνεται η ζήτηση για ενέργεια, τόσο θα διογκώνονται οι περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Η κλιματική αλλαγή είναι πλέον μια πραγματικότητα και η αντιμετώπισή της καθίσταται ζήτημα προτεραιότητας για τις περισσότερες χώρες του κόσμου.

Βρισκόμαστε, επομένως, ενώπιον ενός εξαιρετικά κρίσιμου και περίπλοκου διλήμματος μεταξύ ενεργειακής ασφάλειας και περιβαλλοντολογικής βιωσιμότητας. Η απάντηση δεν είναι εύκολη ούτε αυτονόητη. Η εποχή που η ανθρωπότητα θα έχει απαλλαγεί από τα ρυπογόνα καύσιμα και η περιβαλλοντική ισορροπία θα έχει αποκατασταθεί, είναι ακόμα μακριά. Πρέπει όμως να την φέρουμε πιο κοντά και αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται να αρχίσουμε από τώρα να προσαρμόζουμε τον ενεργειακό μας σχεδιασμό στα νέα περιβαλλοντικά δεδομένα καθώς το κόστος της αδράνειας θα είναι πολύ μεγαλύτερο από το όποιο κόστος της δράσης μας. Και αυτό ισχύει και για τη χώρα μας.

Βάση αυτών, πιστεύω, ότι δύο πρέπει να είναι κεντρικές-πολιτικές πλέον- προτεραιότητες μας:

- Η δραστική εξοικονόμηση ενέργειας. Όσο συνεχίζουμε να καταναλώνουμε ενέργεια χωρίς φειδώ ειδικά στον κτιριακό τομέα, τόσο θα εντείνουμε την ανάγκη για προσθήκη νέων ρυπογόνων μονάδων παραγωγής ενέργειας στο σύστημα συνεχίζοντας να αυξάνουμε τις εκπομπές ρύπων.
- Η επιθετική διείσδυση των ΑΠΕ. Όσο καθυστερούμε λόγω γραφειοκρατικών αγκυλώσεων και ελλιπή σχεδιασμό την πρόωθηση της ηλιακής, γεωθερμικής και αιολικής ενέργειας, η κατανάλωση άνθρακα θα γίνεται αναπόφευκτη για το ενεργειακό μας ισοζύγιο.

Αν και δεν βιώνουμε ενεργειακή κρίση, είναι βέβαιο ότι αντιμετωπίζουμε περιβαλλοντολογική κρίση που θα γίνει ακόμα πιο έντονη εαν δεν προσαρμόσουμε την ενεργειακή μας φιλοσοφία στον τομέα της παραγωγής και της ενέργειας. Είναι και μια πολύ καλή ευκαιρία να προσαρμόσουμε το αναπτυξιακό μοντέλο της χώρας μας επενδύοντας στην πράσινη οικονομία και καινοτομία. Η επίτευξη ενεργειακής ασφάλειας με ταυτόχρονη εξασφάλιση ενός βιώσιμου περιβάλλοντος δεν είναι απλά ένα κρίσιμο δίλημμα, αλλά και ένα περιβαλλοντικό και αναπτυξιακό στοίχημα το οποίο δεν μπορούμε να χάσουμε. Γι' αυτό πρέπει να περάσουμε από τη θεωρία στην πράξη.

Έτσι, λοιπόν, στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία θα αναφερθούμε σε ένα ενεργειακά αυτόνομο θερμοκήπιο με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και γεωθερμικών αντλιών, το οποίο και συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας, αφού δεν καταναλώνει ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ, και βοηθάει σημαντικά στην προστασία και τη θωράκιση του περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά: Εξοικονόμηση ενέργειας, Εξοικονόμηση ενέργειας, Ενεργειακά αυτόνομοθερμοκήπιο, ΑΠΕ

1^Ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ”

1.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη γη. Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο, προσπίπτουν 1700 kWh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο. Το φως του ήλιου που φθάνει στην επιφάνεια της γης αποτελείται κυρίως από δύο συνιστώσες, συγκεκριμένα το άμεσο φως και το έμμεσο ή διάχυτο φως, το οποίο είναι το φως που έχει διασκορπιστεί από τα μόρια της σκόνης και του νερού στην ατμόσφαιρα.

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες χρησιμοποιούν όχι μόνο την άμεση συνιστώσα του φωτός αλλά παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και με νεφοσκεπή ουρανό. Συνεπώς, αποτελεί παρεξήγηση ότι τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν μόνο με απόλυτη ηλιοφάνεια, οπότε δεν είναι κατάλληλα για χρήση σε εύκρατα κλίματα. Αυτό δεν ισχύει, αφού τα Φ/Β χρησιμοποιούν τόσο τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία όσο και το άμεσο φως του ήλιου. Για να προσδιοριστεί το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής ενός Φ/Β σε μια συγκεκριμένη θέση, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η μέση συνολική ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους, αντί να γίνεται αναφορά στη στιγμιαία ακτινοβολία.

Μέσω των Φ/Β κυψελών, η ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μια κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα (ΣΡ) και θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί. Πάντως, δεν μπορεί όλο το φως σε ηλεκτρισμό, καθώς οι Φ/Β κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας κείται στην υπέρυθρη –ή θερμή– και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικότητων (20-30%).

Το ποσό της ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα Φ/Β στοιχεί σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια μετατροπής. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος, τόσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής. Για παράδειγμα, οι τροπικοί προσφέρουν έναν καλύτερο πόρο για παραγωγή ηλεκτρισμού από αυτόν που είναι διαθέσιμος σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Εξάλλου, είναι προφανές ότι ένα Φ/Β σύστημα δεν παράγει ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ είναι σημαντικό να μην σκιαζονται τα στοιχεία. Εάν απαιτείται ηλεκτρισμός πέρα από τις ώρες που υφίσταται το φως της ημέρας, ή εάν αναμένονται εκτεταμένες περιόδους κακοκαιρίας, είναι απαραίτητο κάποιο είδος συστήματος αποθήκευσης.

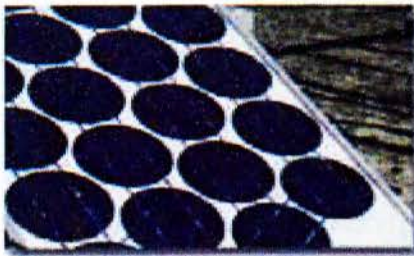
Προκειμένου να αποληφθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια, η Φ/Β κυψέλη πρέπει να προσανατολίζεται προς τον ήλιο. Εάν οι κυψέλες έχουν σταθερή θέση, πρέπει να βελτιστοποιηθεί ο προσανατολισμός τους ως προς το νότο και η γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης κυμαίνεται σε εύρος περίπου 15° του γεωγραφικού πλάτους της θέσης. Για παράδειγμα, η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα στη Δυτική Ευρώπη είναι περίπου 35° . Για περιοχές πλησιέστερα στον ισημερινό αυτή η γωνία κλίσης θα είναι μικρότερη, ενώ για περιοχές πλησιέστερα στους πόλους θα είναι μεγαλύτερη.

1.1.1 Ηλιακές Κυψέλες

Οι ηλιακές κυψέλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, είτε έμμεσα με αρχική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Οι πιο κοινές μορφές των ηλιακών κυψελών βασίζονται στο φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο, κατά το οποίο το φως προσπίπτοντας σε μία ημιαγωγική διάταξη δύο στρωμάτων παράγει μια φωτοτάση ή διαφορά δυναμικού μεταξύ των στρωμάτων. Αυτή η τάση είναι ικανή να οδηγήσει ένα ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο ωφέλιμο έργο.

1.1.1.1 Μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικών κυψελών

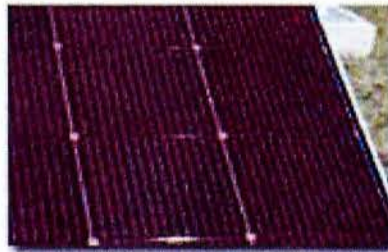
Οι κυψέλες πυριτίου κατασκευάζονται με τη χρήση μονοκρυσταλλικών ή πολυκρυσταλλικών δισκίων ή λεπτών μεμβράνων. Τα μονοκρυσταλλικά δισκία κόβονται σε φέτες (πάχους περίπου 1/3 έως 1/2mm) από μια μεγάλη μονοκρυσταλλική ράβδο που έχει θερμανθεί περίπου σε 1400°C, η οποία είναι μια πολύ δαπανηρή διεργασία. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει μια σχεδόν τέλεια κρυσταλλική δομή (βλ. σχήμα 1.1.α). Τα πολυκρυσταλλικά δισκία κατασκευάζονται με μια διεργασία χύτευσης, κατά την οποία λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε ένα καλούπι και αφήνεται να σταθεροποιηθεί. Κατόπιν τεμαχίζεται σε δισκία (σχήμα 1.1.β).



α) Μονοκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες σε πλαίσιο



β) Πολυκρυσταλλικό ηλιακό πλαίσιο



γ) Ηλιακό πλαίσιο άμορφου πυριτίου

[Πηγή: <http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/pv/pv.html>]

Σχήμα 1.1 Ηλιακά πλαίσια

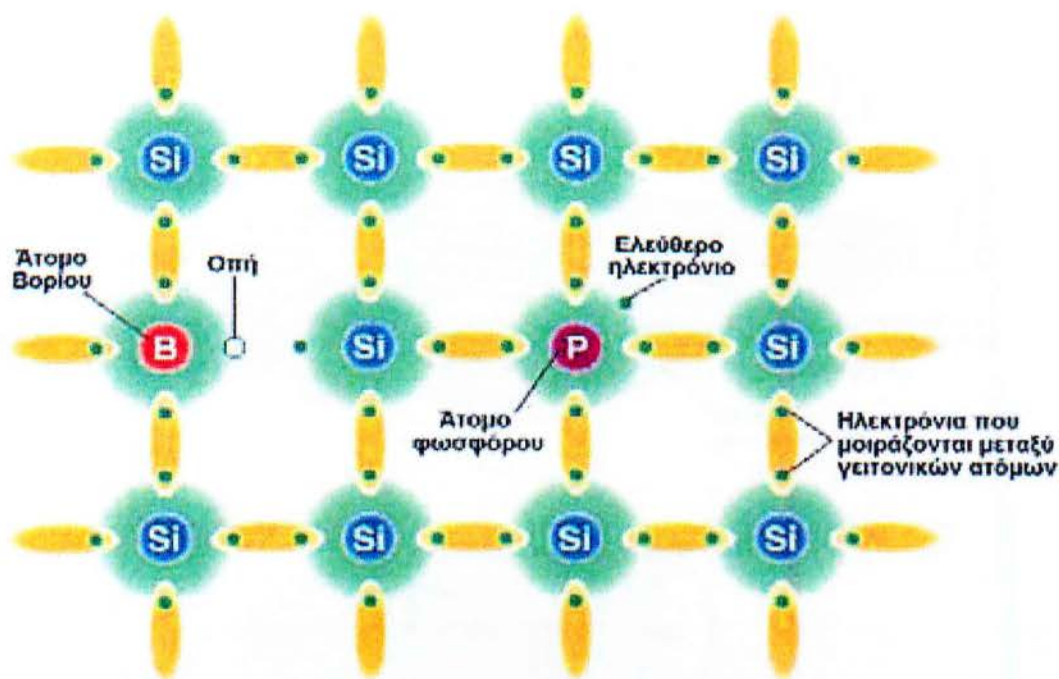
Καθόσον, τα πολυκρυσταλλικά δισκία κατασκευάζονται με χύτευση, η παραγωγή τους είναι αρκετά φθηνότερη, αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο τα μονοκρυσταλλικά, λόγω ατελειών στη κρυσταλλική δομή που οφείλονται στη διεργασία της χύτευσης. Σχεδόν το ήμισυ του πυριτίου χάνεται ως σκόνη κοπής σε αυτές τις δύο διεργασίες. Το άμορφο πυρίτιο, μια από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης, παράγεται με την εναπόθεση πυριτίου από ένα αέριο αντιδραστήριο, όπως το σιλάνιο (SiH_4), επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.γ.

Ο τύπος ηλιακής κυψέλης υπό μορφή λεπτής μεμβράνης μπορεί να εφαρμοστεί ως μεμβράνη σε χαμηλού κόστους υποστρώματα, π.χ. γυαλί ή πλαστικό. Οι υπόλοιπες τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης περιλαμβάνουν το λεπτό πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, κυψέλες δισεληνιούχου ινδικού χαλκού / θειούχου κάδμιου, τελλουριούχου καδμίου / θειούχου καδμίου και αρσενιούχου γαλλίου. Οι κυψέλες αυτού του είδους διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η ευκολότερη απόθεση και συναρμολόγηση, η ικανότητα να εναποτίθενται επάνω σε φθηνά υποστρώματα ή υλικά οικοδομών, η ευκολία για μαζική παραγωγή, και η καταλληλότητά τους σε μεγάλες εφαρμογές.

Κατά την παραγωγή των ηλιακών κυψελών το πυρίτιο περιέχει άτομα πρόσμιξης τα οποία εισάγονται έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια περιοχή p-τύπου και μια n-τύπου, οπότε εμφανίζεται μια επαφή p-n. Η πρόσμιξη αυτή μπορεί να επιτευχθεί με διάχυση από υψηλή θερμοκρασία, κατά την οποία τα δισκία τοποθετούνται σε ένα φούρνο και το υλικό πρόσμιξης εισάγεται ως ατμός (υπάρχουν πολλές άλλες μέθοδοι πρόσμιξης του πυριτίου). Στη κατασκευή μερικών διατάξεων λεπτής μεμβράνης η εισαγωγή των προσμιξεων μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης των μεμβρανών ή των στρώσεων.

Ένα άτομο πυριτίου έχει 4 σχετικά αδύναμα δέσμια ηλεκτρόνια (σθένους), τα οποία συνδέονται με γειτονικά άτομα. Εάν αντικατασταθεί ένα άτομο πυριτίου με ένα άτομο που έχει 3 ή 5 ηλεκτρόνια σθένους, θα παραχθεί με τον τρόπο αυτό είτε ένας χώρος χωρίς κανένα ηλεκτρόνιο (μια οπή), είτε ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο που μπορεί να κινείται πιο ελεύθερα από τα άλλα. Αυτό αποτελεί τη βάση της πρόσμιξης. Κατά τη πρόσμιξη p-τύπου η δημιουργία πλεοναζόντων οπών επιτυγχάνεται με ενσωμάτωση στο πυρίτιο ατόμων με 3 ηλεκτρόνια σθένους, συνήθως βορίου, ενώ στη πρόσμιξη n-τύπου η δημιουργία προσθέτων ηλεκτρονίων επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός ατόμου με 5 ηλεκτρόνια σθένους, συχνότερα φωσφόρου (σχήμα 1.2).

Από τη στιγμή που δημιουργείται μια επαφή p-n, κατασκευάζονται ηλεκτρικές επαφές στην εμπρόσθια και την οπίσθια επιφάνεια της κυψέλης με εξάτμιση ή επιφανειακή εκτύπωση μετάλλου επάνω στο δισκίο. Το οπίσθιο μέρος αυτού μπορεί να καλυφθεί πλήρως από μέταλλο, αλλά το εμπρόσθιο πρέπει να έχει κάποια δομή πλέγματος ή λεπτές γραμμές μετάλλου, ειδικά το μέταλλο θα εμπόδιζε τον ήλιο να φθάσει στο πυρίτιο και δεν θα προέκυπτε οποιαδήποτε παραγωγή από τα προσπίπτοντα φωτόνια.

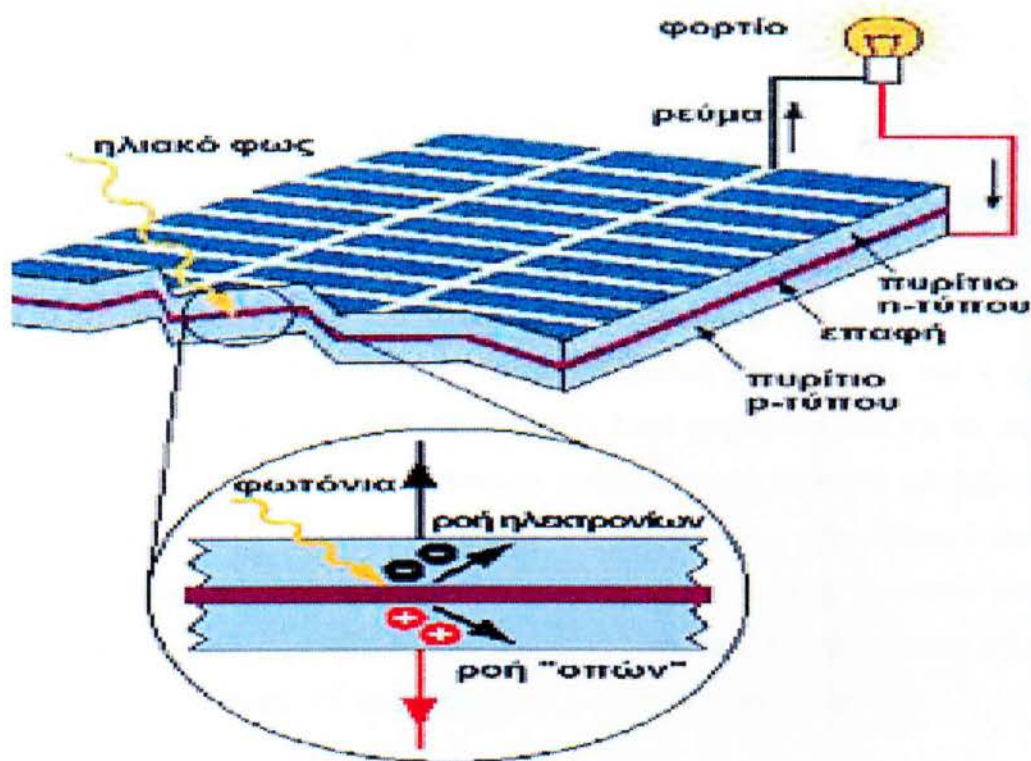


Σχήμα 1.2 Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης

1.1.1.2 Λειτουργία των ηλιακών κυψελών

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία μιας Φ/Β κυψέλης, πρέπει να κατανοηθεί η φύση τόσο του υλικού όσο και του ηλιακού φωτός. Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο τύπους υλικών, συνήθως πυρίτιο p-τύπου και n-τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία (“οπές”) από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή.

Οι οπές στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο εάν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξωθεν του υλικού, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα, όπως αυτό του σχήματος 1.3. είναι δυνατό να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς μέσα από τις κυψέλες υπό φωτισμό, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.



Σχήμα 1.3 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια Φ/Β συσκευή καθορίζεται από:

- Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού,
- Την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία), και
- Το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης.

Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για παράδειγμα, δεν μπορούν προς το παρόν να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια, επειδή η ακτινοβολία στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα μικρότερη από 20% τη στιγμή αυτή, και οι κυψέλες άμορφου πυριτίου μόνο 10 % περίπου, λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

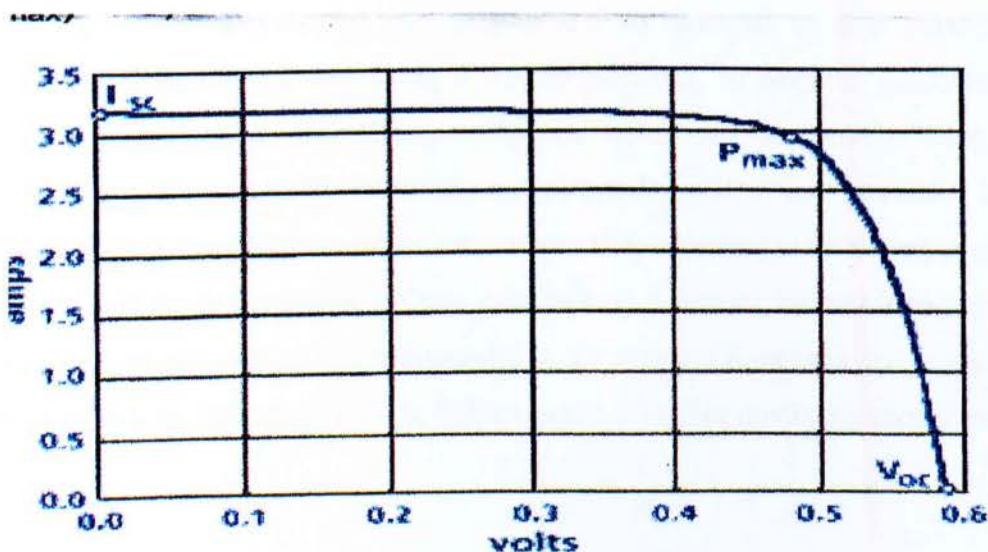
Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα:

- Θερμοκρασία=25°C
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας=1000W/m²,
- Αέρια μάζα=AM 1,5

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με ένα.

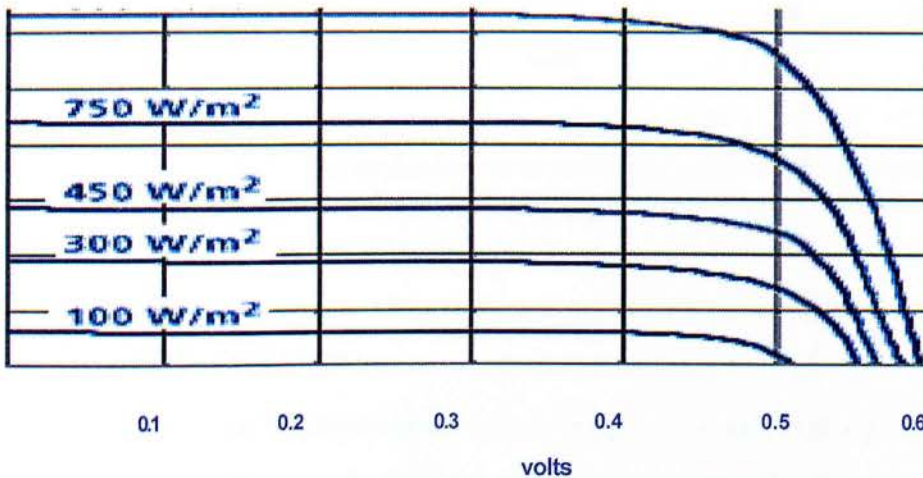
Η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από τη τάση, και η σχέση αυτή απεικονίζεται στη καμπύλη I-V της κυψέλης. Αυτή χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόδοση της κυψέλης και για τη σύγκριση μεταξύ τους κυψελών υπό ορισμένες συνθήκες. Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζεται η καμπύλη I-V μιας κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου στις ΠΣΔ. Παρατηρείται ότι, αριστερά του γόνατος της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ στα δεξιά μεταβάλλεται σημαντικά με μικρές μεταβολές αυτής. Γι' αυτόν τον τύπο κυψέλης εν γένει ισχύουν:

- I_{sc} (ρεύμα βραχυκυκλώματος)=3,36 A,
- V_{oc} (τάση ανοιχτού κυκλώματος)=0,6 V,
- P_{max} (σημείο μέγιστης ισχύος)=1,5 W,
- I_{max} (ρεύμα στο P_{max})=3 A,
- V_{max} (τάση στο P_{max})=0,5 V.



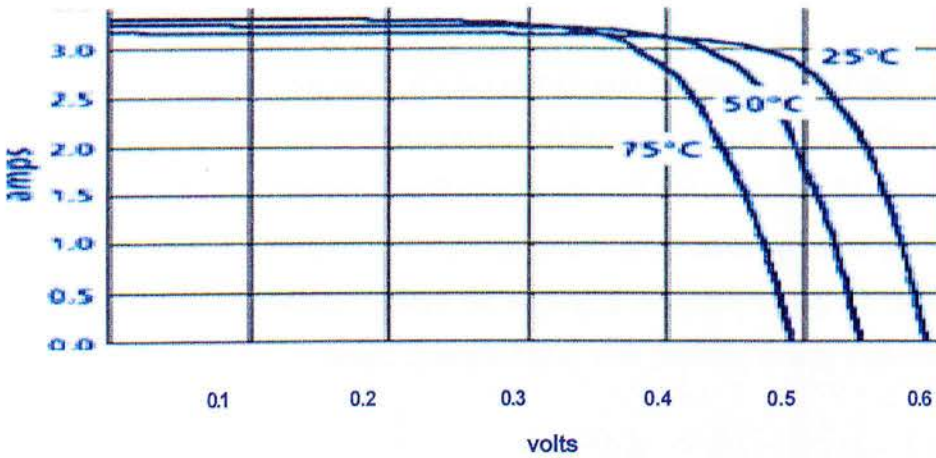
Σχήμα 1.4 Η καμπύλη I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου σε ΠΣΔ

Η παραγόμενη ισχύς από την κυψέλη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την ένταση του ηλιακού φωτός (για παράδειγμα, εάν υποδιπλασιαστεί η ένταση του ηλιακού φωτός θα υποδιπλασιαστεί και η παραγόμενη ισχύς). Ένα σημαντικό γνώρισμα των Φ/Β κυψελών είναι ότι η τάση της κυψέλης δεν εξαρτάται από το μέγεθός της, και παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της έντασης του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογο προς την ένταση του φωτός και το μέγεθός της. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5 Παραγωγή ρεύματος και τάσης μιας ηλιακής κυψέλης υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός.

Η παραγόμενη από μια ηλιακή κυψέλη ισχύς μπορεί να αυξηθεί αρκετά με τη χρήση ενός μηχανισμού παρακολούθησης της τροχιάς που να διατηρεί τη Φ/Β διάταξη απευθείας κάθετη προς τις ακτίνες του ήλιου, ή συγκεντρώνοντας το φως του ήλιου με τη βοήθεια φακών ή κατόπτρων. Εντούτοις, υπάρχουν όρια στη διαδικασία αυτή, λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών και της αναγκαίας ψύξης των κυψελών. Η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή σε υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά η τάση μειώνεται (κατά 0,0023 Volts περίπου για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου), προκαλώντας έτσι τη μείωση της ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το σχήμα 1.6 απεικονίζει τα χαρακτηριστικά μιας κυψέλης σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (οι άλλες συνθήκες παραμένουν ίδιες).



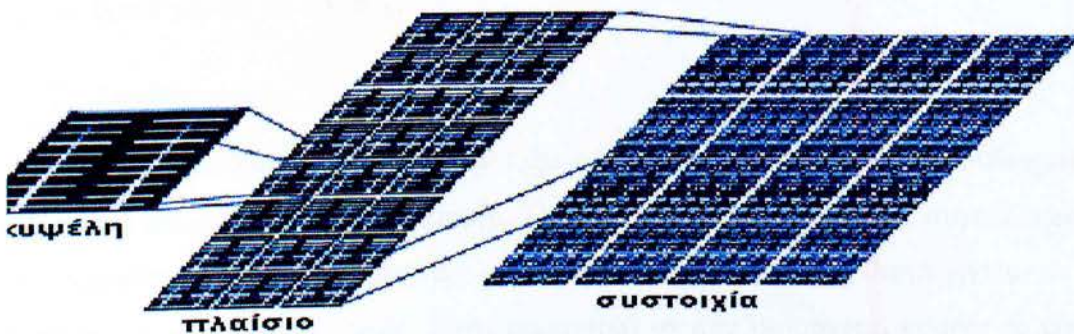
Σχήμα 1.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου.

1.1.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ο όρος “συστοιχία “ αναφέρεται συνήθως στις συνιστώσες που εξετάζονται σε αυτό το χωρίο, συγκεκριμένα αφορά όλα τα πλαίσια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, την καλωδίωση και τις διόδους τους, καθώς και τη βάση της συστοιχίας.

1.1.2.1 Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας

Οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε πλαίσια και τα πλαίσια συναθροίζονται για να διαμορφώσουν μια συστοιχία, όπως αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.7. Ανάλογα με την εφαρμογή, η συστοιχία μπορεί να αποτελείται από μία κυψέλη, ένα πλαίσιο, ή πολλά πλαίσια.



Σχήμα 1.7 Συνιστώσες μιας Φ/Β συστοιχίας.

1.1.2.2 Κυψέλη

Μια τυπική ηλιακή κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχει βαθύ μπλε χρώμα και ζυγίζει λιγότερο από 10 gr. Το μήκος και το πλάτος της είναι περίπου 10cm, ανάλογα με τον κατασκευαστή. Η μεμονωμένη κυψέλη παράγει, υπό βέλτιστες συνθήκες, κατά προσέγγιση 1,5 Watts στα 0,5 Volts. Από μόνο του αυτό δεν είναι πολύ χρήσιμο για τις περισσότερες ηλεκτρικές εφαρμογές. Προκειμένου να παραχθεί ωφέλιμη ισχύς, οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, ενώ μερικές φορές κόβονται σε μικρότερα τεμάχια.

Η κοπή των κυψελών γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι για την αύξηση της τάσης. Εάν απαιτείται μόνο λίγο ρεύμα σε υψηλή τάση, τότε κόβοντας τις κυψέλες στη μέση και με την καλωδίωσή τους σε σειρά μπορεί να δημιουργηθεί ένα μικρό πλαίσιο. Κάθε κομμάτι θα παράγει την ίδια τάση με ολόκληρη την κυψέλη, αλλά με λιγότερο ρεύμα (για παράδειγμα, εάν μια κυψέλη κοπεί στη μέση, το κάθε ήμισυ θα παράγει περίπου 0,5 Volts και 1,5 Amps). Ο άλλος λόγος για την κοπή των κυψελών είναι για την αύξηση της πυκνότητας συσκευασίας τους.

Οι κυψέλες με εγκοπές δημιουργούν μη ωφέλιμη επιφάνεια στις γωνίες τους και αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί κόβοντας τις κυψέλες σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα. Το ίδιο γίνεται μερικές φορές και σε εφαρμογές όπου είναι κρίσιμες οι επιδόσεις και ο χώρος περιορισμένος. Τα μειονεκτήματα της κοπής των κυψελών είναι ότι με αυτή τη διεργασία συχνά σπαταλούνται τμήματα της κυψέλης, ενώ είναι ιδιαίτερα πιθανό ένα ποσοστό κυψελών να υποστεί βλάβη κατά την κοπή. Ο κατασκευαστής μπορεί να παρέχει δεδομένα για τις ακριβείς διαστάσεις και ανοχές συγκεκριμένων κυψελών του. Κατά τον υπολογισμό του συνολικού εμβαδού της κυψέλης είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι μερικές κυψέλες έχουν γωνίες με εγκοπές.

1.1.2.3 Συνδεσμολογία

Οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να συστήσουν μια συνδεσμολογία, όπως συχνά ονομάζεται αυτή η διάταξη. Οι κυψέλες διασυνδέονται με συγκόλληση των ακροδεκτών τους από την κορυφή της μίας στη βάση της επόμενης. Αυτό γίνεται εν γένει εργοστασιακά με ειδικές μηχανές. Είναι σημαντικό να μην υφίστανται φθορές οι κυψέλες κατά τη διεργασία, να είναι ανθεκτικές οι συνδέσεις, και να διατηρείται το κατάλληλο διάστημα μεταξύ των κυψελών. Εάν οι κυψέλες ακουμπούν μεταξύ τους μπορεί να

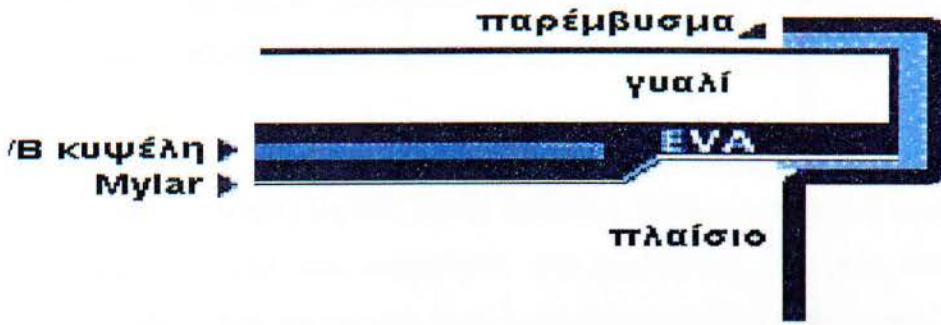
προκύψουν προβλήματα ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων καθώς επίσης και προβλήματα σκίασης, ενώ αυξάνεται η πιθανότητα ραγίσματός τους. Τα υπερβολικά μεγάλα κενά μεταξύ των κυψελών σπαταλούν πολύτιμη επιφάνεια.

1.1.2.4 Πλαίσιο

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται συνήθως σε σειρά, διαμορφώνοντας ένα σύνολο που ονομάζεται πλαίσιο. Το Φ/Β πλαίσιο εν γένει αποτελεί τη μικρότερη αυτοτελή μονάδα σε μια συστοιχία, καθώς είναι μία ομάδα κυψελών που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και στη συνέχεια τοποθετηθεί σε ένα κέλυφος ως αυτόνομη μονάδα. Ο αριθμός των κυψελών ενός πλαισίου καθορίζεται συνήθως από τις ανάγκες τάσης του συστήματος και οι περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλαίσια τα οποία διαστασιολογούνται σύμφωνα με τις τάσεις των χρησιμοποιούμενων μπαταριών. Ένα τυπικό πλαίσιο για φόρτιση μιας μπαταρίας 12 Volt έχει 33 έως 36 κυψέλες (πρέπει να παρέχει πάνω από 12 Volt για να φορτίσει τη μπαταρία). Σημειώνεται ότι η λέξη πλαίσιο μπορεί να αναφέρεται είτε σε ένα μόνο πλαίσιο είτε σε ένα σύνολο πλαισίων.

1.1.2.5 Ενθυλάκωση

Οι ηλιακές κυψέλες χρειάζονται προστασία και υποστήριξη. Για το λόγο αυτό σχεδόν πάντα τοποθετούνται σε κέλυφος, με κάποιο τρόπο που να τις προστατεύει και να τις μονώνει ηλεκτρικά. Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός τυπικού πλαισίου που χρησιμοποιείται σε οικιακές ή απομονωμένες εφαρμογές, ή σε Φ/Β σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Τα περισσότερα πλαίσια 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. Οι ακμές σφραγίζονται με ένα στεγανωτικό παρέμβυσμα και υποστηρίζονται από ένα πλαίσιο. Έχουν γίνει επίσης κατασκευές από εύκαμπτα ελάσματα.



Σχήμα 1.8 Τομή ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες που εξετάζονται κατά την επιλογή των υλικών για την ενθυλάκωση, με τη σημασία τους να εξαρτάται από την εφαρμογή. Τα πιο σημαντικά από τα χαρακτηριστικά της ενθυλάκωσης είναι τα εξής:

- Ηλεκτρική ειδική αντίσταση

Το υλικό πρέπει να είναι ηλεκτρικός μονωτής. Είναι σημαντικό να απομονωθεί η τάση της συστοιχίας και να προστατεύεται η συστοιχία από οποιεσδήποτε εξωτερικές τάσεις.

- Μετάδοση του φωτός

Ιδανικά, η ενθυλάκωση δεν πρέπει να εμποδίζει το φως να προσεγγίσει τις κυψέλες.

- Μετάδοση της θερμότητας

Οι ηλιακές κυψέλες είναι αποδοτικότερες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Είναι χρήσιμο να υπάρχει, εάν είναι δυνατό, ένα υλικό ενθυλάκωσης με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση της θερμότητας από τις κυψέλες.

- Θερμική διαστολή

Σε μερικές θέσεις η θερμοκρασία του πλαισίου είναι αρκετά χαμηλότερη του σημείου πήξης το χειμώνα και αρκετά επάνω από τους 40°C το καλοκαίρι. Είναι, επομένως, σημαντικό η ενθυλάκωση να μην συστέλλεται ή διαστέλλεται σημαντικά λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών.

- Βάρος

Για μερικές εφαρμογές, το βάρος αποτελεί έναν από τους παράγοντες επιλογής του υλικού ενθυλάκωσης.

- Ανθεκτικότητα

Πολλά πλαίσια τοποθετούνται σε εξωτερικό χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και υπόκεινται σε ανέμους, βροχές, ήλιο, χαλάζι, και χιόνια. Αυτά όμως αναμένεται να

λειτουργήσουν για είκοσι τουλάχιστον έτη, οπότε το υλικό ενθυλάκωσης πρέπει να είναι ικανό να αντεπεξέλθει σε αυτές τις συνθήκες χωρίς σημαντικό βαθμό φθοράς.

1.1.2.6 Δίοδοι

Οι ηλιακές συστοιχίες μερικές φορές διαθέτουν διόδους φραγής και παράκαμψης. Αυτές είναι μικρές συσκευές που περιορίζουν την κατεύθυνση της ροής του ρεύματος και αναλύονται περαιτέρω στο σχετικό με τη λειτουργία των συστοιχιών χωρίο.

1.1.2.7 Συστήματα έδρασης – παρακολούθησης

Μερικές συσκευές, όπως τα ηλιακά ρολόγια ή οι υπολογιστές χειρός, ενσωματώνουν την ηλιακή κυψέλη στην ίδια τη συσκευή. Με τις πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά των ηλιακών κυψελών, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως υλικά κατασκευής της στέγης των κτιρίων. Εντούτοις, οι περισσότερες εφαρμογές των Φ/Β χρειάζονται κάποια βάση για την υποστήριξη και τοποθέτησή τους. Οι βάσεις αυτές μπορεί να είναι από απλές κατασκευές για τη συγκράτηση ενός πλαισίου σε μια στέγη (πιθανώς με μόνιμη κλίση υπό κάποια γωνία), μέχρι σύνθετες διατάξεις παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου σε δύο άξονες. Η πολυπλοκότητα της βάσης στήριξης καθορίζεται από τις ανάγκες του συστήματος και το διαθέσιμο κεφάλαιο. Περαιτέρω πληροφορίες παρατίθενται στο χωρίο για τη λειτουργία των συστοιχιών.

1.2 Λειτουργία των Φ/Β συστοιχιών

Γενικά, ένα Φ/Β πλαίσιο ή μια συστοιχία επηρεάζεται από το περιβάλλον με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζεται και μία Φ/Β κυψέλη. Η τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και το ρεύμα αυξάνεται καθώς αυξάνεται η έκθεση στις ηλιακές ακτίνες.

1.2.1 Σύνδεση εν σειρά

Όταν ηλιακές κυψέλες (ή πλαίσια) συνδέονται εν σειρά, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος της συνδεσμολογίας με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια. Αυτό προϋποθέτει ότι οι συνθήκες λειτουργίας για τις κυψέλες είναι οι ίδιες και ότι οι κυψέλες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V.

■ Ρεύμα

Το ρεύμα σε μία εν σειρά συνδεσμολογία κυψελών είναι το ίδιο σε κάθε σημείο της συνδεσμολογίας, ίδιο με αυτό που παράγεται από μία κυψέλη. Εάν μία κυψέλη με

χαρακτηριστικά χαμηλού ρεύματος συνδεθεί σε μια συνδεσμολογία με άλλες κυψέλες που έχουν χαρακτηριστικά υψηλότερου ρεύματος, η συνδεσμολογία θα περιοριστεί στο ρεύμα της κυψέλης χαμηλού ρεύματος.

$$I_{\text{σειράς}} = (I_{\text{max μιας κυψέλης}}) \quad (2.1)$$

■ Τάση

Η τάση σε μία συνδεσμολογία κυψελών είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας όμοιες κυψέλες, η τάση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$V_{\text{σειράς}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (V_{\text{max μίας κυψέλης}}) \quad (2.2)$$

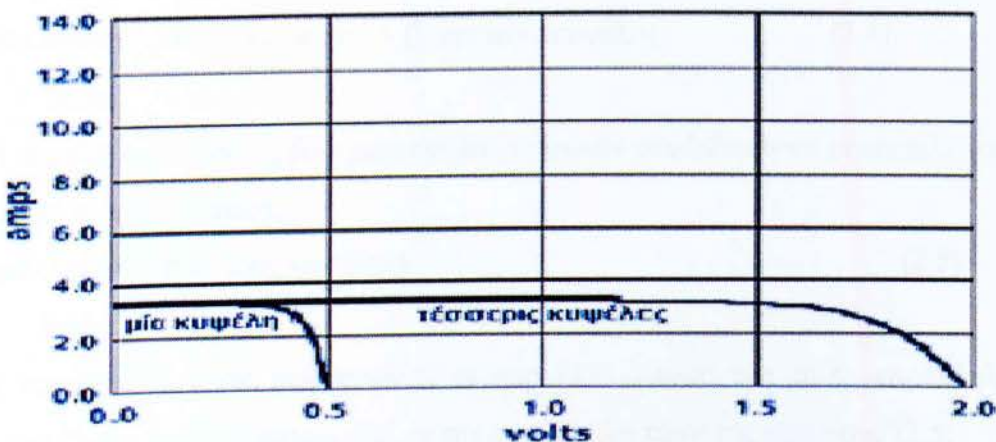
■ Ισχύς

Η παραγόμενη ισχύς από μία συνδεσμολογία κυψελών ισούται με το ρεύμα της συνδεσμολογίας - σχέση (2.1) - πολλαπλασιαζόμενο με την τάση της σχέσης (2.2):

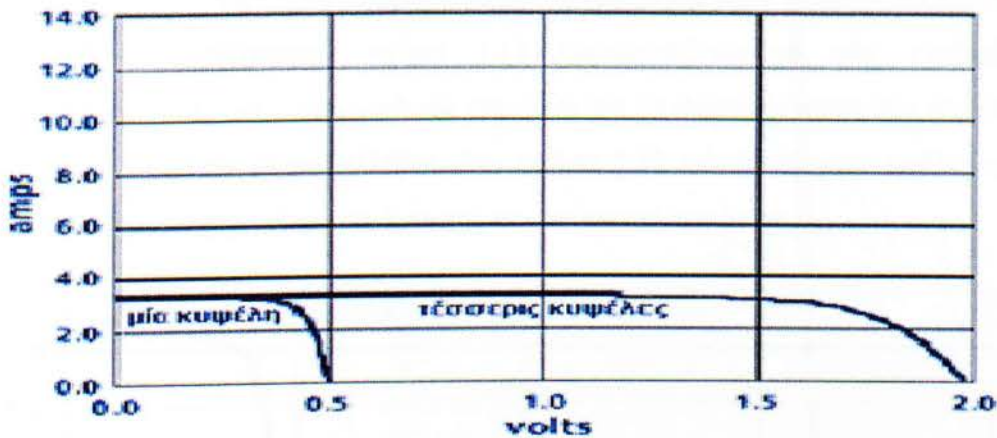
$$P_{\text{σειράς}} = I_{\text{σειράς}} \times V_{\text{σειράς}} \Rightarrow$$

$$P_{\text{σειράς}} = (I_{\text{max μιας κυψέλης}}) \times (\text{Αριθμός κυψελών}) \quad (2.3)$$

Σημειώνεται ότι, μπορεί οι μεμονωμένες κυψέλες να λειτουργούν σε διαφορετικές τάσεις, αλλά κάθε μία κυψέλη θα λειτουργεί με το ίδιο ρεύμα όπως και οι άλλες στη συνδεσμολογία. Το σχήμα 1.9 παρουσιάζει το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της εν σειρά συνδεσμολογίας. Στο σχήμα 1.10 παρουσιάζεται μία εν σειρά συνδεσμολογία από τέσσερις κυψέλες και τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος αυτών.



Σχήμα 1.9 Τυπικές καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά..



Σχήμα 1.10 Τέσσερις ηλιακές κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά.

1.2.2 Σύνδεση εν παραλλήλω

Εάν οι κυψέλες (ή τα πλαίσια) συνδεθούν παράλληλα, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση του ρεύματος, της τάσης και της ισχύος τους με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια, υποθέτοντας και πάλι ότι οι συνθήκες λειτουργίας είναι οι ίδιες και ότι οι κυψέλες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V.

■ Ρεύμα

Το παραγόμενο ρεύμα από μια ομάδα κυψελών συνδεδεμένων παράλληλα ισούται με το άθροισμα των μεμονωμένων ρευμάτων κάθε κυψέλης. Υποθέτοντας παρόμοιες κυψέλες, το ρεύμα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$I_{\text{παράλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (I_{\text{max μίας κυψέλης}}) \quad (2.4)$$

■ Τάση

Η τάση μεταξύ δύο κόμβων μιας ομάδας κυψελών συνδεδεμένων εν παραλλήλω είναι ίση με την τάση κάθε κυψέλης:

$$V_{\text{παράλληλα}} = (V_{\text{max μίας κυψέλης}}) \quad (2.5)$$

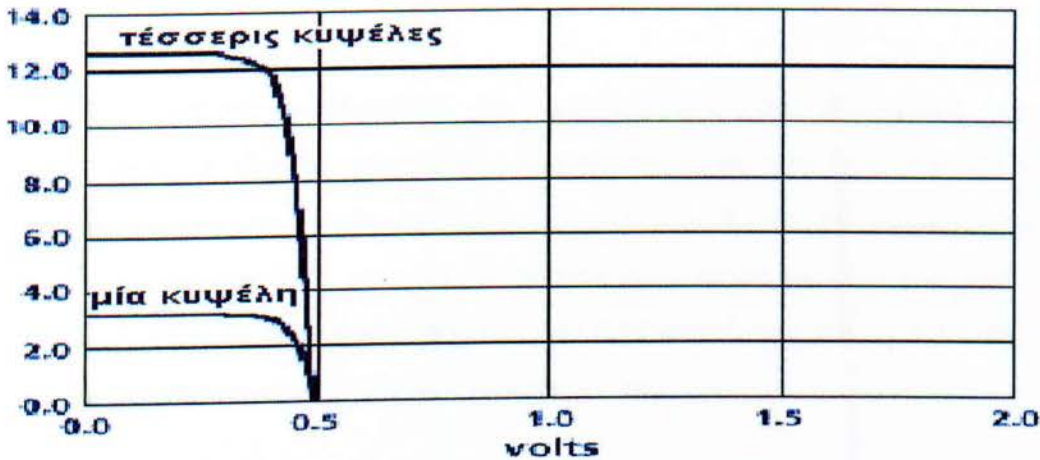
■ Ισχύς

Η παραγόμενη ισχύς από κυψέλες εν παραλλήλω είναι ίση με το παράλληλο ρεύμα - εξίσωση (2.4) - πολλαπλασιασμένο με την παράλληλη τάση της εξίσωσης (2.5):

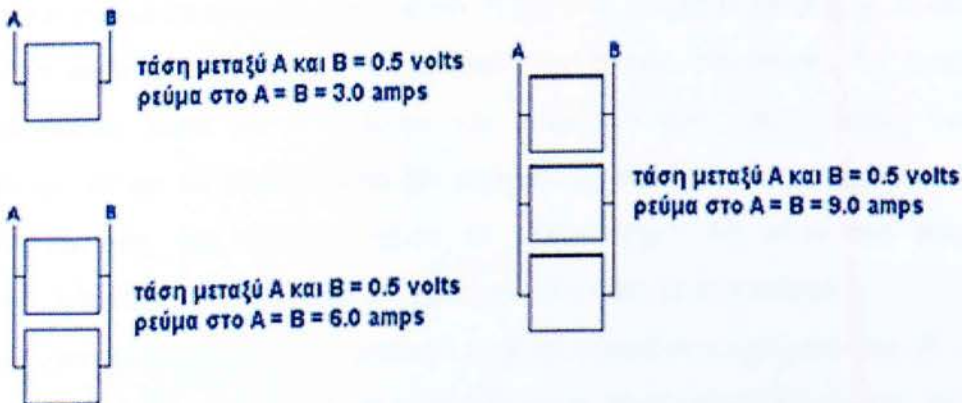
$$P_{\text{παράλληλα}} = I_{\text{παράλληλα}} \times V_{\text{παράλληλα}} \Rightarrow$$

$$I_{\text{παράλληλα}} = (\text{Αριθμός κυψελών}) \times (I_{\text{max μίας κυψέλης}}) \times (V_{\text{max μίας κυψέλης}}) \quad (2.6)$$

Σημειώνεται ότι, όταν μια ομάδα κυψελών συνδέεται παράλληλα, οι μεμονωμένες κυψέλες μπορεί να παράγουν διαφορετικά ρεύματα, αλλά κάθε κυψέλη θα λειτουργεί στην ίδια τάση. Στο παρακάτω σχήμα 1.11 παρουσιάζεται το πώς συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά I-V των μεμονωμένων κυψελών για να διαμορφώσουν την καμπύλη I-V της ομάδας των κυψελών εν παραλλήλω. Στο σχήμα 1.12 απεικονίζονται ομάδες κυψελών εν παραλλήλω και τα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος αυτών.



Σχήμα 1.11 Καμπύλες I-V για μία και τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα.



Σχήμα 1.12 Μία, δύο, και τρεις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα..

1.2.3 Δίοδοι

■ Δίοδοι παράκαμψης

Οι δίοδοι παράκαμψης χρησιμοποιούνται για την προστασία των συνδεσμολογιών εν σειρά των κυψελών. Εν γένει, ένα πλαίσιο προσφέρεται από τον κατασκευαστή με

ενσωματωμένη μια δίοδο παράκαμψης, η οποία συνδέεται παράλληλα με ολόκληρο το πλαίσιο. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, η δίοδος δεν κάνει τίποτα εκτός από το να καταναλώνει μία ελάχιστη ποσότητα ισχύος. Εάν σκιαστεί ή υποστεί βλάβη μέρος του πλαισίου, η δίοδος παράκαμψης εκτρέπει το ρεύμα μέσω αυτής και γύρω από το πλαίσιο. Χωρίς τη δίοδο, το πλαίσιο που σκιάζεται ή έχει υποστεί βλάβη διαχέει το ρεύμα υπό μορφή θερμότητας και τελικά καταστρέφεται.

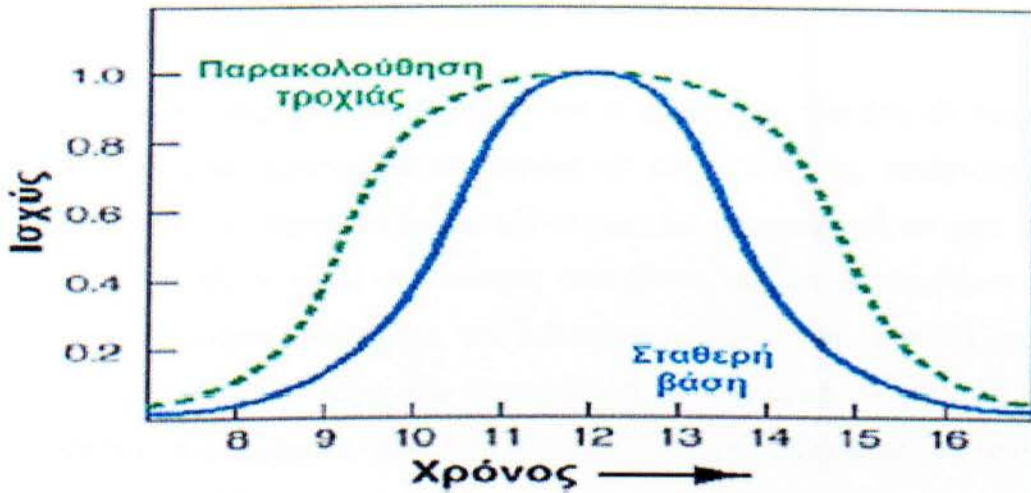
■ Δίοδοι φραγής

Οι δίοδοι φραγής εγκαθίστανται για να αποτρέψουν την αντιστροφή της ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια. Μια δίοδος φραγής συνδέεται συνήθως εν σειρά μεταξύ της συστοιχίας και των μπαταριών. Αντ' αυτού, εάν ένας αριθμός συνδεσμολογιών συνδέονται εν σειρά, οι δίοδοι φραγής μπορούν να συνδεθούν εν σειρά με κάθε μία συνδεσμολογία. Ενίοτε ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στα Φ/Β συστήματα για τη ρύθμιση της ισχύος εξαλείφει την ανάγκη προσθήκης μιας δίοδου φραγής.

1.2.4 Παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου

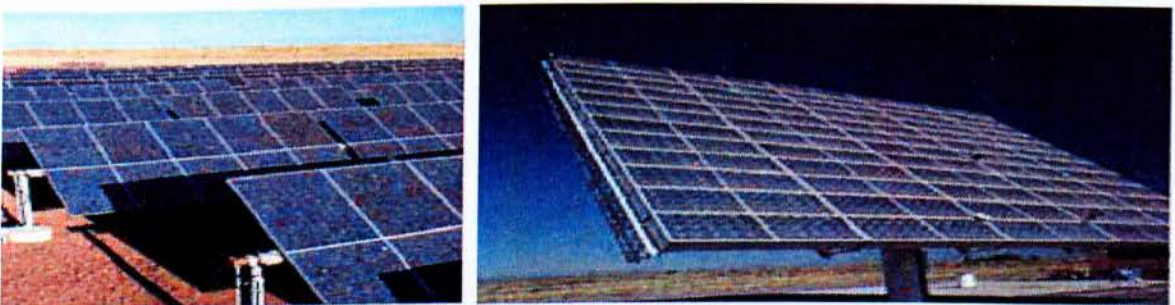
Ένα πλαίσιο το οποίο φέρεται κάθετα στις ακτίνες του ήλιου λαμβάνει περισσότερο φως από ένα άλλο που δεν είναι προσανατολισμένο προς τον ήλιο. Η πορεία του ήλιου στον ουρανό αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με την ημέρα του έτους. Αυτό σημαίνει ότι, για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας, πρέπει να είναι σε θέση να περιστραφεί για να ακολουθήσει την τροχιά του ήλιου. Τα σταθερά πλαίσια τοποθετούνται ώστε να αντικρίζουν τον ισημερινό υπό μια ορισμένη γωνία και δεν κινούνται. Αν και τα πλαίσια αυτά δεν μπορούν να παράγουν τόση ισχύ όση τα πλαίσια με παρακολούθηση της τροχιάς, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πιο οικονομικά και συντηρούνται ευκολότερα. Η πλειοψηφία των πλαισίων είναι σταθερά.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα σταθερά πλαίσια ρυθμίζονται χειροκίνητα. Αυτό μπορεί να γίνει μερικές φορές το χρόνο ώστε να ληφθούν υπόψη οι εποχιακές αλλαγές της πορείας του ήλιου ή, ενίοτε, μερικές φορές την ημέρα. Με τη χειροκίνητη ρύθμιση των πλαισίων μπορεί να αποληφθεί ένα σημαντικό μέρος του φωτός που θα συλλεγόταν μέσω ενός συστήματος παρακολούθησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν σχεδόν να διπλασιάσουν την παραγωγή μιας συστοιχίας (σχήμα 1.13), ενίοτε όμως απαιτείται προσεκτική ανάλυση για να προσδιοριστεί εάν το αυξημένο κόστος και η μηχανική πολυπλοκότητα της χρήσης ενός τροχιοδεικτικού συστήματος είναι συμφέρουσα.



Σχήμα 1.13 Παραγόμενη ισχύς από μία συστοιχία με και χωρίς σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου

Στην παρακολούθηση τροχιάς μονού άξονα τα πλαίσια κινούνται κατά μήκος ενός άξονα για να ακολουθούν την πορεία του ήλιου (σχ. 1.14 - αριστερά). Σχεδόν πάντα ακολουθείται η μεταβαλλόμενη ανύψωση του ήλιου στον ουρανό, αντί της κίνησής του από ανατολή προς δύση. Στην παρακολούθηση τροχιάς διπλού άξονα (σχ. 1.14 -δεξιά) τα πλαίσια κινούνται κατά μήκος δύο αξόνων. Μερικές συστοιχίες, όπως αυτές με συγκεντρωτικές κυψέλες, απαιτούν παρακολούθηση της τροχιάς σε δύο άξονες, επειδή οι κυψέλες χρησιμοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία και η απόδοσή τους μειώνεται σημαντικά εάν δεν είναι ακριβώς κάθετες στις ακτίνες του ήλιου.



Σχήμα 1.14 Παρακολούθηση τροχιάς μονού άξονα (αριστερά) και συγκεντρωτικές κυψέλες με παρακολούθηση τροχιάς διπλού άξονα (δεξιά) Σχήμα 1,14

[Πηγή: <http://aurora.crest.org/pv/array/components/index.htm>]

1.3 Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

1.3.1 Οι αγορές των Φ/Β

Πολλοί άνθρωποι τελευταία ενδιαφέρονται για το μέλλον του πλανήτη. Οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες αναγνωρίζονται ευρέως ως κύριο αίτιο της καταστροφής του περιβάλλοντος, από την άποψη τόσο της εξάντλησης των φυσικών πόρων όσο και της ρύπανσης. Τα Φ/Β και οι άλλες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες κερδίζουν ευρεία αποδοχή ως ένας τρόπος διατήρησης και βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον. Όλο και περισσότερες εταιρείες παραγωγής ενέργειας ανταποκρίνονται στις επιθυμίες των καταναλωτών συμπεριλαμβάνοντας τα Φ/Β στον παραγωγικό μηχανισμό τους.

Η ενσωμάτωση Φ/Β σε στέγες και προσόψεις κτιρίων αναμένεται να αποτελέσει μια κύρια εφαρμογή τους σε πολλές βιομηχανικές χώρες (σχήμα 1.15). Ήδη η Ιαπωνία, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Ελβετία σημειώνουν πρόοδο προς την κατεύθυνση των κατανεμημένων Φ/Β συστημάτων. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να αποτρέψουν διάφορα κόστη, όπως την αγορά γης και οικοδομικών υλικών και τις δαπάνες μεταφοράς και διανομής, είτε πλήρως είτε μερικώς. Το συνολικά διαθέσιμο δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής από στέγες στις χώρες του ΟΟΣΑ υπολογίζεται ότι είναι περίπου 1100 GWP, το οποίο επαρκεί για να καλύψει το 14-19% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρισμού των χωρών αυτών που εκτιμάται σε 6800 TWh.

Παρ' όλα αυτά, οι εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης κλίμακας θα αποτελέσουν τη σημαντικότερη εφαρμογή των Φ/Β. Οι ΗΠΑ και η Ιταλία πρωτοπορούν διεθνώς στην ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων μεγάλης κλίμακας. Κάποιες χώρες επίσης επιζητούν την εξέλιξη "περίσσειας" εκτάσεων, για παράδειγμα κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων και των σιδηροτροχιών, με την ενσωμάτωση Φ/Β σε ηχοφράκτες (σχήμα 1.16). Αναπτύσσονται επίσης Φ/Β συγκεντρωτές για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, οι οποίοι χρησιμοποιούν μεγάλους ανακλαστήρες για τη συγκέντρωση του ηλιακού φωτός επάνω σε κυψέλες μικρού εμβαδού. Αυτό μειώνει την ποσότητα του Φ/Β υλικού που απαιτείται και μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερα κόστη.



*Σχήμα 1.15 Κατοικία μηδενικών ενεργειακών αναγκών στο Zandvoort (Ολλανδία) Πηγή:
[http://www.euronet.nl/users/oke/PVPS/pv/sa_syst.htm]*



*Σχήμα 1.16 Ηχοφράκτης με Φ/Β πλαίσια στο επάνω μισό κατά μήκος του
αυτοκινητόδρομου A27 στην Ουτρέχτη (Ολλανδία)*

Πηγή: [http://www.euronet.nl/users/oke/PVPS/pv/sa_syst.htm]

Σύμφωνα με στοιχεία του 1998, η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β κυψελών και πλαισίων ανέρχεται σε 135 MW περίπου, σταθερά και εντυπωσιακά πάνω από τα μόλις 40 MW το 1990. Οι παγκόσμιες πωλήσεις αυξάνονταν με ένα μέσο ρυθμό 15% κατ' έτος κατά τη

διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, αν και αυτός ο ρυθμός ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και την εφαρμογή. Εν γένει υφίσταται μια ρεαλιστική δυνατότητα για συνέχιση της επέκτασης της αγοράς με ένα ρυθμό 15-20% την επόμενη δεκαετία. Με αυτό το ρυθμό, η παγκόσμια παραγωγή θα ανέλθει στο επίπεδο των 1.000 MW μέχρι το 2010, και τα Φ/Β μπορούν να καταστούν μια βιομηχανία της τάξης των 5 έως 8 δισεκατομμυρίων δολαρίων.

1.3.2 Αυτόνομα συστήματα

Για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, όπου το ηλεκτρικό δίκτυο κατά μεγάλο μέρος περιορίζεται στις κύριες αστικές περιοχές και ένα σημαντικό ποσοστό του αγροτικού πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση στις πλέον βασικές ενεργειακές υπηρεσίες, τα Φ/Β σήμερα θεωρούνται ευρέως ως το καλύτερο και πιο οικονομικό μέσο παροχής ενός μεγάλου μέρους των στερούμενων υπηρεσιών. Με βάση τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για παροχή των βασικών ενεργειακών υπηρεσιών σε κάθε κάτοικο του αναπτυσσόμενου κόσμου, το αντίστοιχο δυναμικό των Φ/Β εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 16 GWp (περίπου 15 Wp ανά κάτοικο).

Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ακόλουθες εφαρμογές:

- Συστήματα άντλησης: για παροχή νερού σε χωριά, για άρδευση του εδάφους ή πότισμα εκτρεφόμενων ζώων.
- Συστήματα ψύξης: ιδιαίτερα για τη συντήρηση εμβολίων, αίματος και άλλων αναλώσιμων ζωτικής σημασίας σε προγράμματα υγειονομικής περίθαλψης.
- Φωτισμός: για κατοικίες και κοινοτικά κτίρια, όπως σχολεία και κέντρα υγείας, ώστε να επιτραπεί και μετά τη δύση του ηλίου η συνέχιση των εκπαιδευτικών και παραγωγικών δραστηριοτήτων.
- Σταθμοί φόρτισης μπαταριών: για την επαναφόρτιση των μπαταριών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών, από φακούς και ραδιόφωνα έως τηλεοράσεις και συστήματα φωτισμού.
- Ηλιακά συστήματα κατοικιών: για παροχή ενέργειας στον οικιακό φωτισμό και σε άλλες συσκευές ΣΡ, όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, ραπτομηχανές, κλπ.

Στον πίνακα 1.1 παρέχονται και άλλα παραδείγματα αυτών των εφαρμογών.

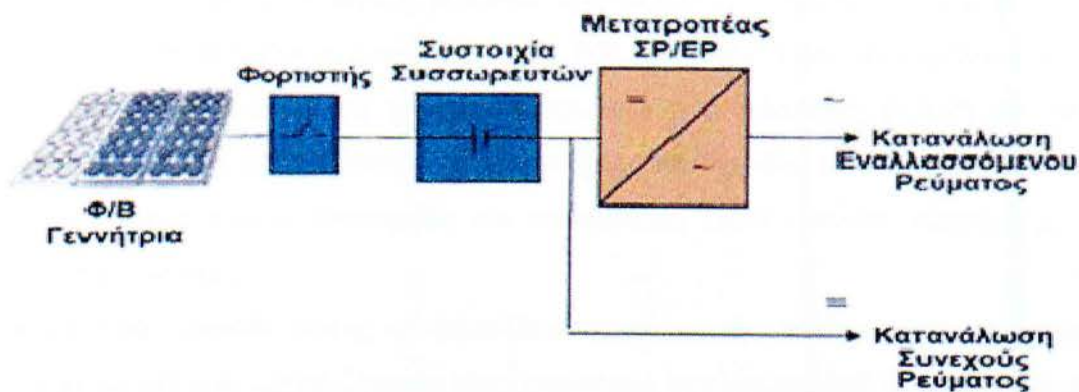
Πίνακας 1.1 Αυτόνομες εφαρμογές σε αναπτυσσόμενες χώρες

Γεωργία	<p>–Άληση Νερού</p> <p>–Ηλεκτρική περίφραξη για εκτρεφόμενα ζώα και διαχείριση βοσκοτόπων.</p>
Κοινοτικό Επίπεδο	<p>–Άντληση νερού, συστήματα αφαλάτωσης και απορρύπανσης.</p> <p>–Φωτισμός για σχολεία και άλλα κοινοτικά κτίρια.</p>
Οικιακός Τομέας	<p>–Φωτισμός, για τη διευκόλυνση της μελέτης και δραστηριοτήτων παραγωγής εισοδήματος, και για τη γενικότερη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου.</p> <p>–Τηλεόραση, ραδιόφωνο, και άλλες μικρές συσκευές.</p> <p>–Άντληση νερού.</p>
Γειονομική Περίθαλψη	<p>–Φωτισμός για τους θαλάμους, το χειρουργείο και τους χώρους του προσωπικού.</p> <p>–Ιατρικός εξοπλισμός.</p> <p>–Ψύξη εμβολίων.</p> <p>–Επικοινωνίες (τηλέφωνο, συστήματα ραδιοεπικοινωνιών).</p> <p>–Άντληση νερού.</p> <p>–Φωτισμός ασφάλειας.</p>
Μικρές Επιχειρήσεις	<p>–Συστήματα φωτισμού, για την επέκταση των ωρών λειτουργίας και την αύξηση της παραγωγικότητας.</p> <p>–Ηλεκτρική ισχύς για ελαφρύ εξοπλισμό, όπως ραπτομηχανές, ψυγεία, μύλοι σιταριού, φόρτιση μπαταριών.</p> <p>–Φωτισμός και ραδιόφωνο σε εστιατόρια, καταστήματα και άλλες εγκαταστάσεις.</p>

1.3.2.1 Συνιστώσες και συντήρηση

Τα Φ/Β συστήματα είναι πολυσυναρτησιακά, το οποίο δεν σημαίνει μόνο εύκολη μεταφορά και γρήγορη εγκατάσταση, αλλά επιτρέπει επίσης την εύκολη επέκτασή τους εάν αυξηθούν οι απαιτήσεις ισχύος. Τα συστήματα για αυτόνομες εφαρμογές (σχήμα 1.17) μπορεί να περιλαμβάνουν όλες ή μερικές από τις ακόλουθες βασικές συνιστώσες:

- Μία Φ/Β γεννήτρια (ένα μόνο πλαίσιο ή μία συστοιχία αρκετών πλαισίων) και ένα σύστημα υποστήριξης.
- Εξοπλισμό ρύθμισης της ισχύος (προαιρετικά - συνήθως περιέχονται μετατροπείς ΣΡ/ΕΡ και εξοπλισμός ελέγχου και προστασίας).
- Αποθήκευση ενέργειας (προαιρετικά - συνήθως παρέχεται από μπαταρίες).
- Καλωδιώσεις.
- Ένα φορτίο (π.χ. φωτιστικά, αντλίες, ψυγεία, ραδιόφωνο, τηλεόραση).



Σχήμα 1.17 Σχηματική παράσταση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Ο εξοπλισμός ηλεκτροπαραγωγής των Φ/Β δεν διαθέτει κινούμενα μέρη, το οποίο γενικά περιορίζει τις απαιτήσεις για συντήρηση στο ελάχιστο και οδηγεί σε μακρούς χρόνους λειτουργίας. Καθυστά τα πλαίσια συνήθως λειτουργούν για είκοσι περίπου έτη και οι απαιτήσεις τους περιορίζονται στον περιστασιακό καθαρισμό τους ώστε να αφαιρούνται οι επικαθίσεις ρύπων. Η πλειοψηφία των άλλων συνιστωσών, συχνά καλούμενες και εξοπλισμός εξισορρόπησης (BOS), χρήζουν συντήρησης κάθε δέκα ή περισσότερα έτη, εάν ακολουθούνται απλά μέτρα προληπτικής συντήρησης.

Οι μπαταρίες που απαιτούνται συνήθως στις περισσότερες εκτός δικτύου εφαρμογές, εκτός από την άντληση ύδατος, αποτελούν την περίοδο αυτή το αδύνατο σημείο των Φ/Β συστημάτων και εν γένει χρειάζονται αντικατάσταση κάθε πέντε περίπου χρόνια.

Είναι σημαντικό οι μπαταρίες, αλλά και όλες οι συνιστώσες του συστήματος, να είναι αποδεκτής ποιότητας. Όπου έχουν αποτύχει κατά το παρελθόν τα Φ/Β συστήματα για τεχνικούς λόγους, αυτό γενικά οφειλόταν σε ελλιπή σχεδιασμό του συστήματος ή σε ανεπιτυχή επιλογή των συνιστωσών BOS, παρά σε αστοχία ενός Φ/Β πλαισίου. Ως εκ τούτου, αξιόλογες ερευνητικές προσπάθειες διεθνώς στοχεύουν αυτή τη στιγμή στη βελτίωση της απόδοσης των συνιστωσών BOS.

1.3.3 Υβριδικά Φ/Β συστήματα

Αν και τα Φ/Β συστήματα γενικά διαθέτουν μέσα αποθήκευσης της ενέργειας για να καλύψουν μια καθορισμένη περίοδο ανεπαρκούς ηλιοφάνειας, μπορεί να υπάρξουν παρατεταμένες περιόδους κακοκαιρίας οπότε απαιτείται μια εναλλακτική πηγή ώστε να εξασφαλιστεί η παραγωγή ισχύος. Τα υβριδικά Φ/Β συστήματα συνδυάζουν μια Φ/Β

γεννήτρια με μια άλλη πηγή ισχύος, συνήθως μια ντιζελογεννήτρια, ή και με κάποια άλλη ανανεώσιμη πηγή, π.χ. μια ανεμογεννήτρια. Η Φ/Β γεννήτρια διαστασιολογείται συνήθως ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση φορτίου βάσης, ενώ η εναλλακτική παροχή τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν είναι αναγκαίο. Αυτή η ρύθμιση παρέχει όλα τα οφέλη των Φ/Β όσον αφορά το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, αλλά επιπλέον εξασφαλίζει μια εγγυημένη τροφοδοσία.

Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης. Δεν έχει νόημα να διαστασιολογείται ένα σύστημα ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τη ζήτηση αποκλειστικά με Φ/Β εάν, για παράδειγμα, το κανονικό φορτίο είναι μόνο το 10% του μέγιστου. Αντίστοιχα, μια ντιζελογεννήτρια διαστασιολογημένη έτσι ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση αιχμής θα λειτουργούσε υπό μερικό φορτίο μη αποδοτικά τον περισσότερο χρόνο. Σε μια τέτοια κατάσταση, ένα υβριδικό σύστημα Φ/Β-ντιζελ θα ήταν ο ιδανικός συνδυασμός.

1.3.4 Διασυνδεδεμένα συστήματα

Μια διαφορετική προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο διαφορετικούς τύπους συστημάτων:

- Οι αυτοπαραγωγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν για την ίδια κατανάλωσή τους μικρά διαδραστικά Φ/Β συστήματα. Το πλεόνασμα της ενέργειας τροφοδοτείται στο δίκτυο, ενώ σε περιόδους έλλειψης (π.χ. τη νύχτα) καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο.
- Στους εμπορικής κλίμακας κεντρικούς σταθμούς με πεδία Φ/Β συστοιχιών, τους οποίους διαχειρίζονται οι εταιρίες ηλεκτρισμού όπως και τις άλλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, όλη η παραγωγή ΣΡ του πεδίου των συστοιχιών, που γενικά είναι της τάξης των MW, μετατρέπεται σε ΕΡ και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, απ' όπου κατόπιν διανέμεται στους πελάτες.

Σ' ένα διασυνδεδεμένο σύστημα (σχήμα 1.18) το δίκτυο ενεργεί όπως μία μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος αφού, λαμβάνοντας υπόψη ότι πρακτικά δεν υπάρχει όριο στη ικανότητα αποθήκευσης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται, ενώ στις αυτόνομες εφαρμογές οι μπαταρίες θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένες οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αποβληθεί.



Σχήμα 1.18 Σχηματική παράσταση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος.

Στις βιομηχανικές χώρες, όπου γενικά είναι εύκολη η σύνδεση στο κύριο δίκτυο, τα Φ/Β συστήματα δεν αποτελούν μια οικονομικά ελκυστική επιλογή. Ένα Φ/Β σύστημα στέγης 1,5 kWp, για παράδειγμα, έχει τυπικό κόστος εγκατάστασης περίπου €10.000. Το κόστος του παραγόμενου ηλεκτρισμού εξαρτάται από τη συνολική αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής του συστήματος, τη διαθεσιμότητα της πηγής, και το εικαζόμενο προεξοφλητικό επιτόκιο, αλλά ενδεικτικά κυμαίνεται μεταξύ €0,35-0,65/kWh. Πάντως, αυτό δεν απεικονίζει ακριβώς την πραγματικότητα, αφού συχνά δεν προσδίδεται κάποια νομισματική αξία στα οφέλη που αποφέρουν τα Φ/Β. Η πιο αποδεκτή "προστιθέμενη αξία" του ηλιακού ηλεκτρισμού είναι ότι δεν μολύνει το περιβάλλον.

1.4 Τι είναι και πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού

συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ - τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο - σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Η κατασκευή μιας γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά από την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι άπιαστο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης γεννήτριας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών στοιχείων είναι πολύ δύσκολη. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές - οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

1.4.1 Βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης: η αύξηση της απόδοσης, έστω

και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 - 15%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.

1.4.2 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη

δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράμπουργκ της Γερμανίας.

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 6000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

1.4.3 Κίνητρα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως προς την ηλιοθερμική ενέργεια η Ελλάδα ήταν πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες με περίπου ένα εκατομμύριο εγκατεστημένους ηλιακούς θερμοσίφωνες, που συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας το ανεξάντλητο ηλιακό δυναμικό. Τώρα μένει να γίνει το ίδιο και ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις μάλιστα για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι ακόμα καλύτερες, αφού τα Φ/Β συστήματα παρουσιάζουν την μέγιστη παραγωγή ακριβώς εκείνες τις ώρες της ημέρας που και η κατανάλωση (ζήτηση) φτάνει στο μέγιστο και η ΔΕΗ ζητά από όλους τους καταναλωτές να περιορίσουν την ζήτηση ή αναγκάζεται να κάνει περικοπές (ελεγχόμενη συσκότιση). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιδοτούνται από το Ελληνικό κράτος μέσω του νέου επενδυτικού νόμου Ν. 3522/06 και του αναπτυξιακού νόμου Ν. 3299/04 για επενδυτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας (επιδότηση αγοράς εξοπλισμού έως και 40% ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης και τα επιχειρηματικά κριτήρια που ικανοποιούνται). Στη συνέχεια, με βάση το νόμο Ν. 3468/06 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ο επενδυτής συνάπτει δεκαετές συμβόλαιο - με μονομερή δυνατότητα ανανέωσης της σύμβασης από την πλευρά του επενδυτή για ακόμη δέκα χρόνια - για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει στον ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για τις διασυνδεδεμένες περιοχές, ή απευθείας στη ΔΕΗ για τις μη-διασυνδεδεμένες περιοχές. Η τιμή πώλησης

κυμαίνεται από 0,40 έως 0,50 Ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh) ανάλογα με το μέγεθος και την περιοχή της εγκατάστασης. Όμως, και ο ιδιώτης μπορεί να επωφεληθεί του νόμου 3468, πουλώντας την πλεονάζουσα ενέργεια της εγκατάστασης ιδιοχρησης που διαθέτει στις ίδιες ανταγωνιστικές τιμές, με επιπλέον όφελος φοροελάφρυνση έως και 700 Ευρώ.

Τα κίνητρα αυτά έχουν ήδη δείξει τα πρώτα αποτελέσματα, και πλέον βλέπουμε τη δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας, και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε καινούργια ή και παλιότερα σπίτια. Με την τρέχουσα νομοθεσία η Ελληνική πολιτεία στοχεύει στην δημιουργία μεγάλων ως πολύ μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων, σε αντίθεση με άλλες χώρες, που όπως η Γερμανία στοχεύουν στην ανάπτυξη πολλών μικρών συστημάτων.

1.4.4 Περιβαλλοντικές θεωρήσεις

Τα Φ/Β συστήματα προκαλούν ελάχιστα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο εξοπλισμός παραγωγής παράγει ηλεκτρισμό αθόρυβα και δεν εκπέμπει κανενός είδους επιβλαβή αέρια κατά τη λειτουργία του. Το βασικό υλικό για τα πιο συνήθη πλαίσια (πυρίτιο) είναι εντελώς αβλαβές και διατίθεται εν αφθονία. Πιθανοί κίνδυνοι πάντως υπάρχουν, σχετιζόμενοι με την παραγωγή ορισμένων από τις λιγότερο συνήθεις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης. Οι δύο πιο ελπιδοφόρες επιλογές, το τελλουριούχο κάδμιο και ο δισεληνιούχος ινδικός χαλκός, περιέχουν μικρές ποσότητες σουλφιδίου του καδμίου, το οποίο θέτει ενδεχόμενους κινδύνους από το κάδμιο κατά την παραγωγή των πλαισίων. Ευτυχώς, υφίστανται δοκιμασμένες μέθοδοι που διέπουν την διαχείριση τέτοιων σύνθετων ουσιών, οι οποίες υιοθετούνται καθ' όλη τη διαδικασία παραγωγής.

Μια κριτική σχετικά με τα πρώτα Φ/Β πλαίσια ήταν ότι κατανάλωναν περισσότερη ενέργεια κατά την παραγωγή τους από όση παρήγαγαν κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Με τις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής και τις βελτιωμένες αποδοτικότητες λειτουργίας αυτός ο ισχυρισμός πλέον δεν ευσταθεί. Η ακριβής ενεργειακή απολαβή εξαρτάται προφανώς από τον διαθέσιμο ηλιακό πόρο και τον βαθμό στον οποίο το σύστημα είναι λειτουργικό. Τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και ένας υψηλός συντελεστής αξιοποίησης αποφέρουν πιο γρήγορες ενεργειακές απολαβές απ' ό,τι εάν υπάρχει λιγότερο ηλιακό φως και λιγότερη χρήση, αλλά συνήθως η απόσβεση επιτυγχάνεται εντός δύο ετών.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ”

2.1 Βασικές αρχές γεωθερμίας

Γεωθερμική ισχύς είναι η θερμική (αρχικά) και η ηλεκτρική (σε δεύτερο στάδιο) ισχύς που παράγεται από την περιεχόμενη στη Γη θερμική ενέργεια (γεωθερμική ενέργεια). Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας από θερμοδυναμικής πλευράς βασίζεται στη διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ μιας μάζας υπόγειου πετρώματος και νερού και μιας μάζας νερού ή αέρα στην επιφάνεια της γης. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας επιτρέπει την παραγωγή θερμικής ενέργειας που μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα είτε να μετατραπεί σε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια.

Γενικά, οι θερμοκρασίες στη Γη αυξάνονται αυξανόμενου του βάθους, σε 200-1000°C στη βάση του φλοιού και τιτανώς μέχρι 3500-4500°C στο κέντρο της. Η θερμότητα που παράγει γεωθερμικές βαθμίδες προέρχεται από δύο πηγές, τη ροή θερμότητας από τον κατώτερο φλοιό και το μανδύα, και τη θερμική ενέργεια που παράγεται στον άνω φλοιό από τη ραδιενεργό διάσπαση ισοτόπων του ουράνιου, θορίου και καλίου. Εντούτοις, μερικά γρανιτικά πετρώματα στον άνω φλοιό έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ουράνιο και θόριο, παράγοντας έτσι αφύσικα μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας και αυξημένη ροή θερμότητας προς την επιφάνεια της γης.

Οι θερμικές βαθμίδες υπολογίζονται θεωρώντας ότι η θερμότητα κινείται προς την επιφάνεια της Γης μόνο με τη θερμική αγωγή μέσω στερεών πετρωμάτων. Εντούτοις, η θερμική ενέργεια μεταδίδεται επίσης προς την επιφάνεια με μετακίνηση τετηγμένων πετρωμάτων (μάγμα) και με την κυκλοφορία νερού μέσω επικοινωνούντων πόρων και ρωγμών. Αυτές οι διαδικασίες υπερθέτονται στις περιφερειακές βαθμίδες όπου επικρατεί η αγωγή και προκαλούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια της Γης. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες είναι οι βασικοί υποψήφιοι για γεωθερμική διερεύνηση και ανάπτυξη.

Η εμπορική διερεύνηση και ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας μέχρι σήμερα έχει εστιαστεί σε φυσικούς γεωθερμικούς ταμειυτήρες - όγκους πετρωμάτων με υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 350°C), αλλά και με υψηλό πορώδες (διάκενο πόρων, συνήθως γεμάτοι

με νερό) και υψηλή περατότητα (δυνατότητα μεταφοράς ρευστού). Η θερμική ενέργεια αντλείται με γεωτρήσεις στους ταμιευτήρες. Η θερμότητα του πετρώματος μεταφέρεται με αγωγή στο ρευστό, το οποίο στη συνέχεια ρέει προς το φρέαρ και έπειτα προς την επιφάνεια της Γης.

Εντούτοις, οι φυσικοί γεωθερμικοί ταμιευτήρες αποτελούν ένα μικρό μόνο μέρος των άνω 10 km του γήινου φλοιού. Το υπόλοιπο αφορά πετρώματα με σχετικά χαμηλή περατότητα, η θερμική ενέργεια των οποίων δεν μπορεί να αντληθεί χωρίς την τεχνητή θραύση τους με εκρηκτικές ύλες ή υδροβολή. Έχουν γίνει πειράματα που περιλαμβάνουν την τεχνητή θραύση θερμών πετρωμάτων και μπορεί κάποτε να αποδειχθεί οικονομικά εφικτή η εξαγωγή ενέργειας με την κυκλοφορία νερού μέσα από ένα δίκτυο τέτοιων τεχνητών καταγμάτων.

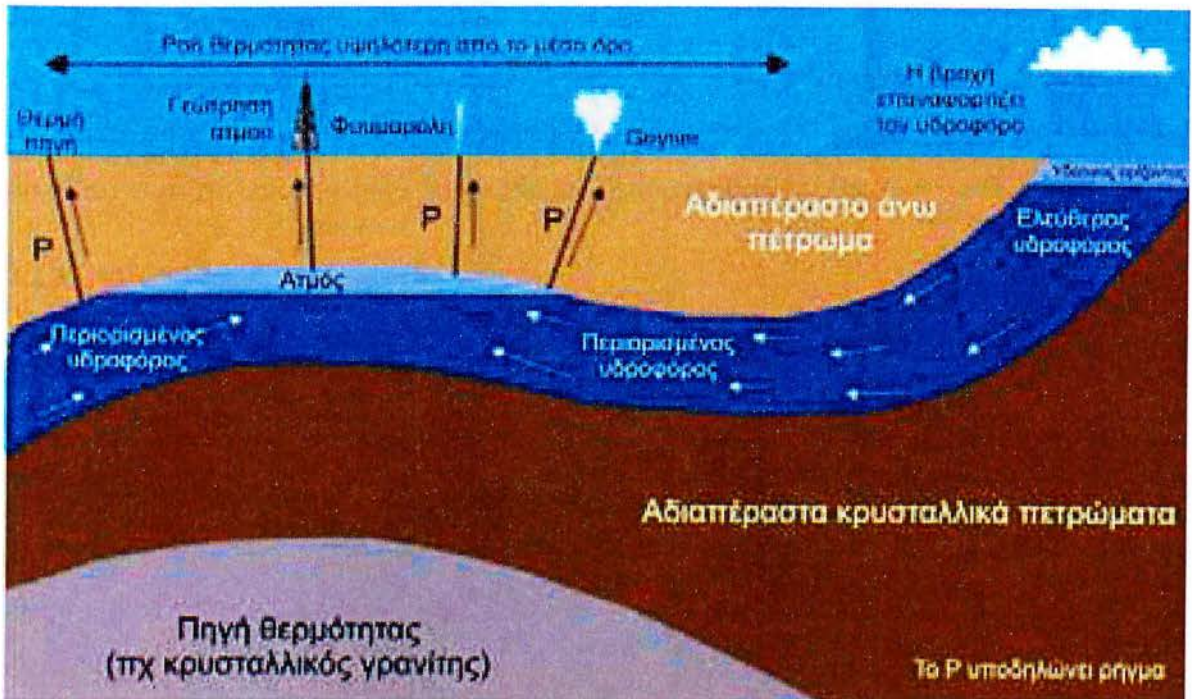
2.2 Γεωθερμικές πηγές

Υπάρχουν τέσσερις τύποι γεωθερμικών πηγών, πιο συγκεκριμένα οι υδροθερμικές, οι γεω-πεπιεσμένες, τα θερμά ξηρά πετρώματα και το μάγμα. Από αυτές μόνο οι υδροθερμικές πηγές αξιοποιούνται εμπορικά προς το παρόν.

2.2.1 Υδροθερμικές πηγές

Όλοι οι ταμιευτήρες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για παραγωγή ηλεκτρισμού ονομάζονται υδροθερμικά συστήματα συναγωγής και τα χαρακτηρίζει η κυκλοφορία επιφανειακού νερού σε μικρά έως μέσα βάθη (100m έως 4,5km). Η κινητήρια δύναμη των συστημάτων αυτών είναι η βαρύτητα, δρούσα λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του κρύου νερού αναπλήρωσης που κινείται προς τα κάτω, και του ζεστού θερμικού νερού που κινείται προς τα πάνω. Τα υδροθερμικά συστήματα μπορεί να οδηγούνται είτε από ένα υποκείμενο νέο πυριγενές έγκλεισμα, είτε απλά από την κυκλοφορία του νερού σε βάθος μέσω ρωγμών και καταγμάτων.

Οι υδροθερμικές πηγές απαιτούν τρία βασικά συστατικά, ειδικότερα μια θερμική πηγή (π.χ. κρυσταλλωμένο μάγμα), έναν υδροφόρο ορίζοντα που περιέχει προσπελάσιμο νερό, και ένα στεγανό πέτρωμα που να σφραγίζει τον υδροφόρο ορίζοντα (σχήμα 2.1). Η γεωθερμική ενέργεια αντλείται με τη διάτρηση του υδροφόρου ορίζοντα και την εξαγωγή του θερμού νερού ή ατμού. Οι υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικές πηγές (με θερμοκρασίες από 180°C έως πάνω από 350°C) συνήθως θερμαίνονται από θερμό τηγμένο πέτρωμα, ενώ οι χαμηλής θερμοκρασίας πηγές (από 100 έως 180°C) μπορούν να δημιουργηθούν με οποιαδήποτε διαδικασία.



Σχήμα 2.1 Αναπαράσταση των κύριων χαρακτηριστικών μιας γεωθερμικής περιοχής

[Πηγή: Boyle, 1998]

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση του ρευστού των πόρων, δύο είδη υδροθερμικών συστημάτων συναγωγής μπορούν να διακριθούν, συγκεκριμένα τα:

α) υπερίσχυσης υγρού, στα οποία όλοι οι τπόροι και οι ρωγμές γεμίζουν με υγρό νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλότερες από αυτή του βρασμού υπό ατμοσφαιρική πίεση, εξαιτίας της πίεσης του υπερκείμενου νερού, και

β) υπερίσχυσης ατμού, όπου οι μεγαλύτεροι πόροι και ρωγμές είναι τλήρεις ατμού.

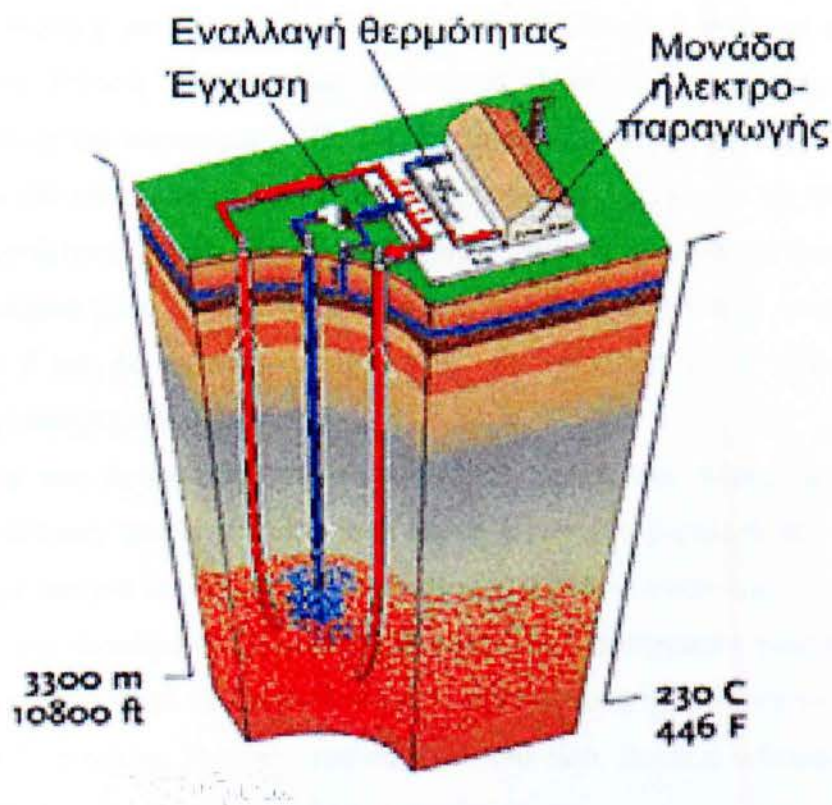
Οι ταμειυτήρες υπερίσχυσης υγρού παράγουν είτε νερό είτε μίγμα νερού και ατμού, ενώ οι ταμειυτήρες υπερίσχυσης ατμού παράγουν μόνο ατμό, ως επί το πλείστον υπέρθερμο. Οι φυσικοί γεωθερμικοί ταμειυτήρες εμφανίζονται και ως περιφερειακοί υδροφόροι ορίζοντες, όπως ο ασβεστόλιθος Dogger της λεκάνης του Παρισιού στη Γαλλία και οι ψαμμίτες της οροσειράς Pannonian της κεντρικής Ουγγαρίας.

2.2.2 Γεωπεπιεσμένες πηγές

Σε μερικές ταχέως καθιζάνουσες νέες ιζηματογενείς λεκάνες, όπως η βόρεια λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού, οι πορώδεις ψαμμίτες των ταμειυτήρων διαιρούνται από επεκτάσεις ρηγμάτων σε μεμονωμένους ταμειυτήρες σε βάθος περίπου 3-6km, όπου μπορεί η πίεση του

ρευστού να υπερβαίνει αυτήν της στήλης ύδατος, πλησιάζοντας αυτήν του υπερκείμενου πετρώματος. Ο στεγανός σχιστόλιθος που περιβάλλει τον διαιρεμένο ψαμμίτη εμποδίζει τη διαφυγή του νερού των πόρων και η θερμοκρασία του κυμαίνεται μεταξύ 90 και 200°C. Στους πεπιεσμένους ταμιευτήρες η ενέργεια δεν είναι μόνο θερμική, αλλά περιλαμβάνει ένα ίσο ποσό ενέργειας λόγω του διαλυμένου στο νερό μεθανίου (χημική ενέργεια), συν ένα μικρό ποσό μηχανικής/υδραυλικής ενέργειας λόγω των υψηλών πιέσεων των ρευστών.

2.2.3 Θερμά ξηρά πετρώματα



Σχήμα 2.2 Η τεχνολογία των θερμών ξηρών πετρωμάτων

Τα θερμά ξηρά πετρώματα (HDR) είναι ένας θερμαινόμενος γεωλογικός σχηματισμός που δημιουργείται με τον ίδιο τρόπο όπως οι υδροθερμικές πηγές, αλλά δεν περιέχει νερό αφού δεν υπάρχουν οι υδροφόροι ορίζοντες ή οι ρωγμές που απαιτούνται για να οδηγήσουν το νερό στην επιφάνεια (σχήμα 2.2). Το νερό αντλείται προς τα κάτω με μια γεώτρηση για να προκληθεί υδραυλική ρωγμή και να σχηματισθεί ταμιευτήρας. Έπειτα, το νερό κυκλοφορεί υπό πίεση μέσα στις ρωγμές απορροφώντας θερμότητα, πριν επανέλθει στην επιφάνεια μέσω ενός ή περισσότερων φρεατίων παραγωγής. Η πηγή αυτή είναι πρακτικά απεριόριστη και πιο προσιτή από τις υδροθερμικές πηγές.

2.2.4 Μάγμα

Το μάγμα, η μεγαλύτερη γεωθερμική πηγή, είναι τηγμένο πέτρωμα που βρίσκεται σε βάθη 3 - 10km και παραπάνω, και άρα δεν είναι προσπελάσιμο. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 700 έως 1200°C. Η πηγή αυτή δεν έχει ερευνηθεί καλά μέχρι σήμερα.

2.3 Γεωθερμικό δυναμικό

Η γεωθερμική ενέργεια, υπό την ευρύτερη έννοια, είναι η φυσική θερμότητα της γης. Η θεωρητικά κατάλληλη για άμεση εφαρμογή ανακτήσιμη θερμική ενέργεια εκτιμάται σε $2,9 \times 10^{24}$ Joule, δηλαδή 10000 φορές περίπου την υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως. Πάντως, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής βρίσκεται πολύ πιο κάτω από το βάθος των γεωτρήσεων, ακόμη και με τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμική ενέργεια έχει προς το παρόν ιδιαίτερο οικονομικό δυναμικό μόνο σε περιοχές όπου συγκεντρώνεται θερμό νερό ή ατμός σε βάθη μικρότερα των 3 km σε περιορισμένους όγκους, κατ' αναλογία με το πετρέλαιο στους εμπορικούς ταμιευτήρες πετρελαίου.

Η τεχνολογία των γεωτρήσεων για τα γεωθερμικά ρευστά είναι παρόμοια με αυτή του πετρελαίου. Εντούτοις, καθώς το ενεργειακό περιεχόμενο ενός βαρελιού πετρελαίου είναι πολύ μεγαλύτερο από μία ισοδύναμη ποσότητα θερμού νερού, οι οικονομικές απαιτήσεις για διαπερατότητα των διατάξεων και παραγωγικότητα των γεωθερμικών γεωτρήσεων είναι πολύ υψηλότερες απ' ό,τι για τις πετρελαιοπηγές. Τα γεωθερμικά φρέατα παραγωγής προς το παρόν έχουν βάθη συνήθως 2km, και σπάνια πάνω από 3km. Εκμεταλλεύσιμα γεωθερμικά συστήματα υφίστανται σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα.

Τα υψηλής θερμοκρασίας πεδία που χρησιμοποιούνται για συμβατική παραγωγή ισχύος (με θερμοκρασία πάνω από 150°C) κατά ένα μεγάλο μέρος περιορίζονται σε περιοχές με νέα ηφαιστειακή, σεισμική και μαγματική δραστηριότητα. Από την άλλη, χαμηλής θερμοκρασίας πηγές βρίσκονται στις περισσότερες χώρες, διαμορφούμενες από τη βαθιά κυκλοφορία του επιφανειακού νερού κατά μήκος των ρηγμάτων και των ρωγμών, και από νερό που βρίσκεται σε πετρώματα υψηλού πορώδους, όπως είναι ο ψαμμίτης και ο ασβεστόλιθος, σε ικανοποιητικά βάθη ώστε να θερμαίνεται από τη γήινη γεωθερμική βαθμίδα. Πηγές θερμότητας σε θερμούς αλλά ξηρούς (χαμηλού πορώδους) σχηματισμούς πετρωμάτων βρίσκονται στις περισσότερες χώρες, αλλά δεν είναι ακόμα οικονομικά εκμεταλλεύσιμες.

2.3.1 Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας

Αν και η γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης, η χρήση της είναι δυνατή μόνο όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες:

- (1) Η ενέργεια πρέπει να είναι προσπελάσιμη μέσω γεωτρήσεων, συνήθως σε βάθη μικρότερα των 3 km αλλά ενδεχομένως και σε βάθη 6-7 km, σε ιδιαίτερα ευνοϊκά περιβάλλοντα (όπως στη βόρεια λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού).
- (2) Εν αναμονή επίδειξης της τεχνολογίας και των οικονομικών για τη διάρρηξη και την παραγωγή ενέργειας από πετρώματα χαμηλής περατότητας, το πορώδες των ταμιευτήρων και η διαπερατότητα πρέπει να είναι αρκετά υψηλά ώστε να επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού.
- (3) Δεδομένου ότι σημαντικό μέρος του κόστους μιας γεωθερμικής εγκατάστασης αφορά τη γεώτρηση και καθώς το κόστος ανά μέτρο αυξάνεται με το βάθος, όσο πιο ρηχά βρίσκεται συσσωρευμένη η γεωθερμική ενέργεια τόσο το καλύτερο.
- (4) Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να μεταφερθούν οικονομικά με σωληνώσεις στην επιφάνεια της Γης μόνο για μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, οπότε οποιαδήποτε εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής ή άμεσης χρήσης πρέπει να βρίσκεται στη (ή κοντά στη) γεωθερμική ανωμαλία.

Πίνακας 2.1

Θερμοκρασία ταμιευτήρα	Ρευστό ταμιευτήρα	Συνήθης χρήση	Τεχνολογία που συνήθως επιλέγεται
Υψηλή θερμοκρασία (> 220°C)	Νερό ή ατμός	Ηλεκτροπαραγωγή Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Ακαριαίος ατμός • Συνδυασμένος κύκλος (ακαριαία ατμοποίηση & δυαδικός) • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
		Ηλεκτροπαραγωγή	• Δυαδικός κύκλος
Θερμοκρασία (100-220°C)	Νερό	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Χαμηλή θερμοκρασία (50-150°C)	Νερό	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας

2.3.1.1 Παραγωγή ηλεκτρισμού

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω διάφορων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους τους αντί του να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου διατίθενται πολλές εναλλακτικές πηγές για παραγωγή ηλεκτρισμού, περιλαμβανομένης της γεωθερμίας, αυτή προτιμάται καθώς δεν μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Επίσης, ο γεωθερμικός ατμός αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική λύση παραγωγής ηλεκτρισμού λόγω των περιβαλλοντικών οφελών και επειδή τα μεγέθη των μονάδων είναι μικρά (συνήθως κάτω των 100MW). Επιπλέον, οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να ανεγερθούν ταχύτερα από αυτούς που χρησιμοποιούν συμβατικά και πυρηνικά καύσιμα, οι οποίοι, για οικονομικούς λόγους, πρέπει να έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος. Εξάλλου, τα ηλεκτρικά συστήματα είναι πιο αξιόπιστα εάν οι πηγές τροφοδοσίας τους δεν συγκεντρώνονται σε ένα μικρό αριθμό από μεγάλες μονάδες.

Η διεργασία που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής. Σχεδόν όλες οι πηγές που έχουν ήδη εξερευνηθεί είναι του υδροθερμικού τύπου (ζεστό νερό υπό πίεση), η εκμετάλλευση των οποίων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Εάν η θερμοκρασία της πηγής είναι κάτω από 204°C, το γεωθερμικό φρέαρ εξοπλίζεται με αντλία που δημιουργεί ικανή πίεση στη γεωθερμική άλμη ώστε να διατηρείται ως ζεστό νερό υπό πίεση. Για τις άνω των 204°C πηγές η καταλληλότερη μέθοδος παραγωγής είναι η φυσική ροή από το φρέαρ, η οποία αποφέρει ένα ακαριαία ατμοποιούμενο μίγμα άλμης και ατμού.

2.3.1.2 Άμεση χρήση

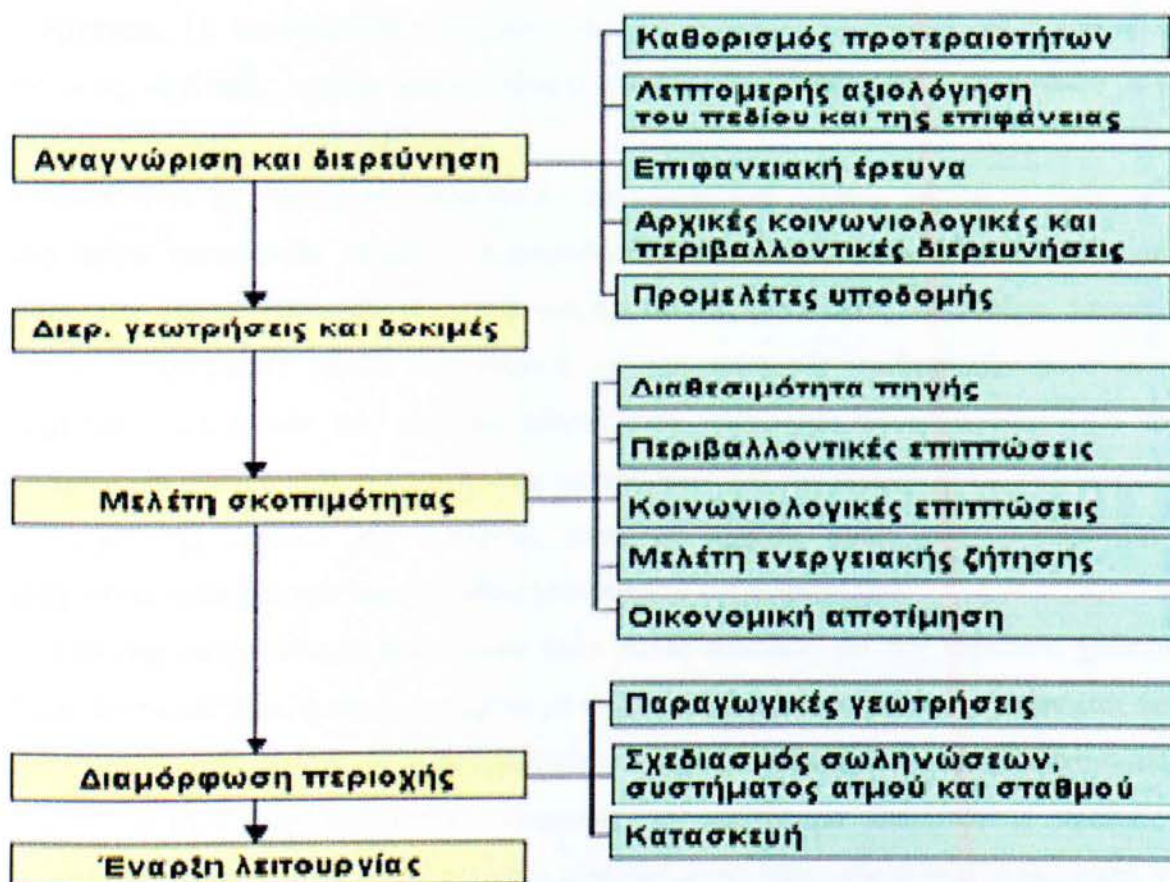
Εξίσου σημαντική παγκοσμίως είναι και η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, συχνά σε θερμοκρασίες ταμειυτήρων μικρότερες των 100°C. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για θέρμανση κτιρίων (ανεξάρτητες κατοικίες, συγκροτήματα διαμερισμάτων, μέχρι ολόκληρες κοινότητες), δροσισμό κτιρίων (με χρήση μονάδων απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου), θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφους, και για την παροχή ζεστού ή χλιαρού νερού για οικιακή χρήση, επεξεργασία προϊόντων (π.χ. την παραγωγή

χαρτιού), καλλιέργεια οστρακοειδών και ψαριών, θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, και για θεραπευτικούς σκοπούς.

Οι γεωθερμικές πηγές παρέχουν σήμερα άμεσα αξιοποιήσιμη θερμική ισχύ πάνω από 12.000 MW σε περισσότερες από 30 χώρες παγκοσμίως. Οι κύριες θέσεις όπου γίνεται άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι η Ισλανδία (30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως για θέρμανση χώρων), η λεκάνη του Παρισιού (νερό ~70°C χρησιμοποιείται για την τηλεθέρμανση των κοινοτήτων Melun, Creil και Villeneuve la Garenne), και η λεκάνη Pannonian στην Ουγγαρία.

2.4 Διαδικασία ανάπτυξης των έργων γεωθερμικής ισχύος

Όπως συμβαίνει με όλα τα μεγάλα μεγέθους έργα, τα σχετικά με τη γεωθερμία έργα αναπτύσσονται ακολουθώντας μία σειρά λογικών σταδίων, τα οποία συνοψίζονται στο διάγραμμα ροής του σχήματος 2.3



Σχήμα 2.3 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάπτυξης των γεωθερμικών

Κανονικά, οι αποφάσεις για τη μετάβαση στα επόμενα στάδια λαμβάνονται σταδιακά καθ' όλη την πορεία του έργου.

2.4.1 Αναγνώριση και διερεύνηση

Οι γεωθερμικές πηγές συνήθως εντοπίζονται και καθορίζονται από ένα κλιμακούμενο πρόγραμμα εντατικότερης (και πιο δαπανηρής) διερεύνησης που οδηγεί τελικά σε μία σειρά γεωτρήσεων για να περιγραφεί με βεβαιότητα η πηγή. Από τις αναγνωριστικές έρευνες θα προσδιοριστούν οι καταλληλότερες πιθανές περιοχές με την αναγνώριση του ευνοϊκού γεωλογικού τοπίου και τον εντοπισμό οιαδήποτε θερμών πηγών ή άλλης θερμικής επιφανειακής εκδήλωσης. Οι αναγνωριστικές μελέτες περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση κάθε θερμής πηγής ή άλλων επιφανειακών θερμικών ιδιομορφιών και τον προσδιορισμό των ευνοϊκών γεωλογικών δομών.

Η χημική σύσταση των εκβαλλόμενων ρευστών αποκαλύπτει πληροφορίες για τον βαθύτερο ταμιευτήρα, π.χ. για τη θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά του ρευστού. Οι γεωλογικές μελέτες παρέχουν πληροφορίες για την πιθανή κατανομή και έκταση των υδροφόρων οριζόντων, καθώς και για το πιθανό καθεστώς της θερμικής πηγής και της ροής θερμότητας. Οι περιοχές που προσδιορίζονται ως έχουσες υψηλό δυναμικό ή ευνοούνται λόγω της εγγύτητάς τους σε κάποιο κέντρο χρήσης της ενέργειας θα διερευνηθούν με πιο αναλυτικές επιστημονικές μεθόδους.

Πέρα από τις λεπτομερείς γεωλογικές και γεωχημικές μελέτες, μπορεί να εφαρμοσθεί μία σειρά γεωφυσικών τεχνικών περιλαμβανομένων των ερευνών ειδικής αντίστασης, βαρύτητας και μαγνητισμού. Η διερεύνηση της ειδικής αντίστασης, ειδικότερα, μπορεί να εντοπίσει ανωμαλίες άμεσα συνδεδεμένες με την παρουσία γεωθερμικών ρευστών. Η ερμηνεία όλων αυτών των μελετών οδηγεί στον καθορισμό προτεραιοτήτων για τους στόχους των προγραμμάτων ερευνητικών γεωτρήσεων. Με την εφαρμογή της ενδεδειγμένης επιστημονικής μεθόδου και ανάλυσης κατά τις αρχικές αυτές φάσεις αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχίας των επακόλουθων γεωτρήσεων και αναπτύξεων.

Εάν από τη διερεύνηση προκύψουν πολύ καλές ενδείξεις για την παρουσία χρήσιμου θερμικού ταμιευτήρα, η πηγή εξετάζεται με τη διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων έτσι ώστε να μπορέσουν να μετρηθούν οι πραγματικές υπεδάφειες θερμοκρασίες και να δοκιμαστεί η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα. Συνεπώς, το πρόγραμμα διερεύνησης πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αναδειχθεί τελικά ο αναμενόμενος τύπος της πηγής, η ποσότητα της ενέργειας που αναμένεται να παραχθεί από το έργο και το χρονικό πλαίσιο της ανάπτυξης.

Εξάλλου, πολλά γεωθερμικά πεδία με προοπτικές βρίσκονται σε μακρινές θέσεις και συχνά σε ενεργές ηφαιστειακές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι απαιτήσεις για υποδομές μπορεί να είναι μεγάλες και, πιθανότατα, δαπανηρές.

Σ' αυτές μπορεί να περιλαμβάνονται έργα οδοποιίας, γέφυρες, λιμενικές εγκαταστάσεις και επικοινωνίες, ενώ, εάν υλοποιηθεί το έργο, εν συνεχεία οι δαπάνες δικτύωσης για τη διανομή της ισχύος μπορεί να είναι πολύ υψηλές.

2.4.2 Διερευνητική γεώτρηση

Τα αποτελέσματα των διάφορων διερευνητικών γεωλογικών δραστηριοτήτων που περιγράφονται παραπάνω, στην πλειοψηφία των έργων ανάπτυξης της γεωθερμίας οδηγούν σε μια φάση διερευνητικών γεωτρήσεων. Τα γεωθερμικά φρέατα, είτε είναι διερευνητικά είτε παραγωγικά, διανοίγονται με τη χρήση τεχνολογιών περιστροφικής γεώτρησης που έχουν υιοθετηθεί κατά μεγάλο μέρος από τη βιομηχανία πετρελαίου, και σε μικρότερη κλίμακα από τις έρευνες για νερό και ορυκτά. Οι τεχνολογίες αυτές τροποποιούνται ώστε να αντεπεξέρχονται στις σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες και τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών πετρωμάτων που απαντώνται.

Συνήθως, τα γεωθερμικά φρέατα διανοίγονται σε βάθη που κυμαίνονται από 200 έως 1500m για τα πεδία χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας, και από 700 έως 3000m περίπου βάθος για τα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Οι γεωτρήσεις διανοίγονται με γεωτρύπανο σε μία σειρά από στάδια, όπου το κάθε στάδιο έχει μικρότερη διάμετρο από το προηγούμενο, και καθένα από αυτά κλείνεται με χαλύβδινα πλαίσια, τα οποία τσιμεντάρονται επί τόπου πριν τη διάνοιξη του επόμενου σταδίου. Το τελικό τμήμα/τα της γεώτρησης κλείνεται με ένα μη-τσιμενταρισμένο διάτρητο χιτώνιο. Η διάταξη μιας τυπικής γεωθερμικής γεώτρησης μπορεί να είναι κατακόρυφη (ευθεία) ή κεκλιμένη.

Στόχος αυτής της φάσης είναι να αποδειχθεί η ύπαρξη μιας εκμεταλλεύσιμης ττηγής και να προδιαγραφούν η έκταση και τα χαρακτηριστικά της. Ένα πρόγραμμα διερευνητικών γεωτρήσεων μπορεί να περιλάβει φρέατα αβαθούς θερμοκρασιακής κλίσης, φρέατα διερεύνησης "λεπτής οπής", και παραγωγικού μεγέθους φρέατα διερεύνησης. Ο αριθμός και ο τύπος των γεωτρήσεων που θα περιληφθούν σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα καθορίζονται από το μέγεθος και το στόχο του έργου.

Τα φρέατα θερμοκρασιακής κλίσης διανοίγονται με τρυπάνια συχνά σε βάθη που κυμαίνονται από 2 έως 200m (σε σπάνιες περιπτώσεις μέχρι 500m βάθος) και με διάμετρο από 50 έως 150mm. Τα φρέατα διερεύνησης κυμαίνονται από 200 έως 3000m βάθος, με διάμετρο τελικής οπής από 100 έως 220mm. Τα φρέατα αυτά πρέπει να διανοίγονται με μια εξέδρα γεώτρησης πλήρως εξοπλισμένη ώστε να λειτουργεί υπό τις συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης της πηγής.

Η στρατηγική των διερευνητικών γεωτρήσεων περιλαμβάνει τη διάνοιξη τριών έως πέντε φρεάτων, ανάλογα με το μέγεθος του προγραμματισμένου έργου. Τα συνήθη κόστη των φρεάτων "λεπτής οπής" κυμαίνονται από \$250 έως \$1000 ανά μέτρο βάθους, δηλαδή απαιτείται ποσό \$450.000 έως \$1.000.000 για ένα φρέαρ με βάθος 1500m. Στα μεγαλύτερα έργα τα φρέατα διανοίγονται κάθετα ή με εκτροπή της κατεύθυνσης από επιμέρους εξέδρες γεώτρησης, ενώ τα μικρότερα έργα μπορεί να χρησιμοποιούν μία εξέδρα γεώτρησης και φρέατα με εκτροπή της κατεύθυνσης.

2.4.3 Παγκόσμια κατανομή της γεωθερμικής αξιοποίησης

Οι άνθρωποι έχουν χρησιμοποιήσει τη γεωθερμική ενέργεια για πολλούς αιώνες σε εφαρμογές όπως είναι η θέρμανση χώρων και νερού, το μαγείρεμα, και τα ιαματικά λουτρά. Ο πρώτος γεωθερμικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάστηκε το 1904 στο Larderello της Ιταλίας, είχε ονομαστική ισχύ 250 kW και χρησιμοποιούσε γεωθερμικό ατμό για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο δεύτερος γεωθερμικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάστηκε τη δεκαετία του '50 στο Wairakei της Νέας Ζηλανδίας, και ακολούθησαν τα Geysers της Καλιφόρνιας στη δεκαετία του '60. Σήμερα υπάρχει ένα δυναμικό 12.000 MW άμεσης χρήσης και πάνω από 8.000 MW ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμικές πηγές παγκοσμίως.

Για να γίνει αντιληπτή η συμμετοχή της γεωθερμικής ενέργειας, αναφέρεται ότι αυτό το δυναμικό αντιστοιχεί στο 0,4% περίπου του συνολικά εγκατεστημένου δυναμικού παραγωγής παγκοσμίως. Οι κυριότεροι χρήστες της γεωθερμίας (άμεσα και έμμεσα) είναι οι ΗΠΑ, οι Φιλιππίνες, η Ιταλία, το Μεξικό, η Ισλανδία, η Ινδονησία, η Ιαπωνία και η Νέα Ζηλανδία. Στον πίνακα 2. εντοπίζεται η υφιστάμενη ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία κατά σειρά μεγέθους ανά χώρα. Η ισχύς των 8.246 MW ηλεκτρικής ενέργειας του 1999 ήταν κατά 40% μεγαλύτερη από την εγκατεστημένη ισχύ το 1990.

Πίνακας 2.2 Παγκοσμίως εγκατεστημένο γεωθερμικό δυναμικό (σε MWe) ανά χώρα

Χώρα	1990	1999
ΗΠΑ	2775	2850
Φιλιππίνες	891	1848
Ιταλία	545	769
Μεξικό	700	753
Ινδονησία	145	590
Ιαπωνία	215	530
Νέα Ζηλανδία	283	345

Ισλανδία	45	140
Κόστα Ρίκα	0	120
Ελ Σαλβαδόρ	95	105
Νικαράγουα	70	70
Κένυα	45	45
Κίνα	19	32
Γουατεμάλα	0	29
Τουρκία	20	20
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς	5867	8246

Πηγή: International Geothermal Association (1998) - Ενημέρωση με στοιχεία δημοσιευμένα το 1999.

Άλλες χώρες με παραγωγή μικρότερη από 20 MW είναι η Αργεντινή, η Αυστραλία, η Αιθιοπία, η Γαλλία (Γουαδελούπη), η Πορτογαλία (Αζόρες), η Ρωσία και η Ταϊλάνδη. Οι πρώτοι γεωθερμικοί σταθμοί χρηματοδοτήθηκαν και λειτουργήθηκαν κυρίως από εθνικές υπηρεσίες ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο, με εξαίρεση την Καλιφόρνια όπου η ανάπτυξη του πεδίου των Geysers υλοποιήθηκε από ιδιωτικές ηλεκτρικές εταιρείες. Με τη σημερινή διεθνή τάση για απελευθέρωση της ενεργειακής βιομηχανίας, ιδιώτες εγκαταστάτες έχουν αναμειχθεί αμεσότερα τόσο στην αξιολόγηση όσο και στην ανάπτυξη των πηγών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την Ινδονησία και τις Φιλιππίνες.

Η αγορά κυριαρχείται από τις μονάδες ακαριαίου ατμού, αλλά κατά τα τελευταία δέκα χρόνια έχουν εγκατασταθεί πολλές μικρότερης κλίμακας μονάδες δυαδικού κύκλου, αλλά και αρκετές συνδυασμένες μονάδες (ακαριαίας ατμοποίησης/δυαδικού κύκλου). Η πλειοψηφία των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής διεθνώς αποτελούν μονάδες βάσης, δηλαδή λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα για 365 ημέρες το έτος. Θεωρώντας ένα συντελεστή φορτίου 80% και ένα μέσο κόστος του ατμού 5 cent ανά kWh, η γεωθερμική ισχύς κοστολογείται σε περίπου 3 δισεκατομμύρια US\$ ετησίως.

2.5 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται εμπορικά σε μία κλίμακα εκατοντάδων MW για περισσότερο από τρεις δεκαετίες δεδομένου ότι διαθέτει διάφορα θετικά γνωρίσματα που την καθιστούν ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας και μερικές άλλες ΑΠΕ. Ειδικότερα:

- Αποτελεί έναν τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα από άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

Επιπλέον, η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι μακράν η καλύτερη και η πλέον υποσχόμενη λύση για τη παραγωγή θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσεως. Η ωφέλιμη γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη στη φύση δωρεάν καθιστώντας τους ιδιοκτήτες των αντλιών θερμότητας ανεξάρτητους από πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Επιπλέον, οι αντλίες θερμότητας βοηθούν στη δραστική μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης καθώς οι αντλίες θερμότητας ανακτούν το 75% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και ζεστό νερό από τη γεωθερμική ενέργεια.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ”

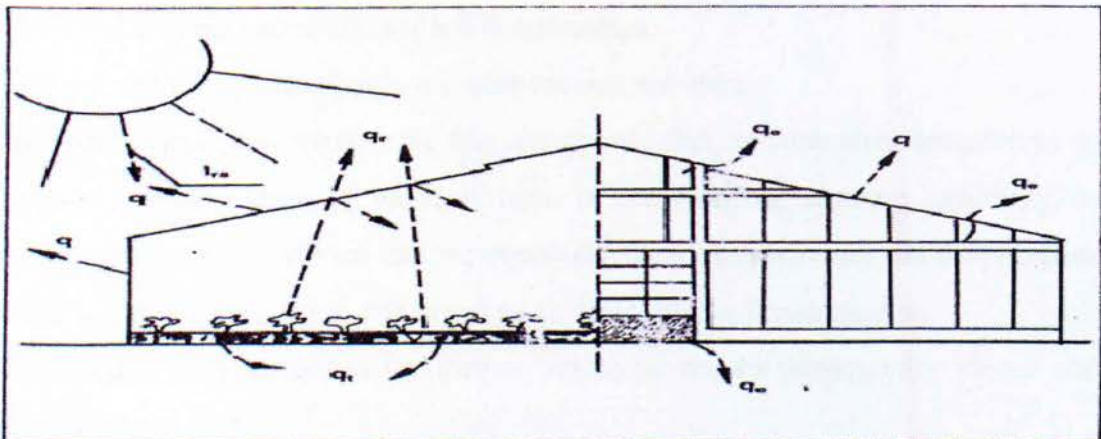
Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο, με προσανατολισμό βορρά-νότου, θα αναπτυχθεί η καλλιέργεια «ντομάτας» και για αυτό το λόγο θα πρέπει το θερμοκήπιο αυτό να προσφέρει τις ιδανικές θερμοκρασίες έτσι, ώστε η παραγωγή του προϊόντος να είναι αρκετά ικανοποιητική.

Αρχικά πρέπει να ερευνηθεί το ποσό των ενεργειακών αναγκών (ψύξη-θέρμανση) που έχει το συγκεκριμένο θερμοκήπιο. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων διαφέρουν ανάλογα με το είδος κατασκευής τους, το μέγεθος αλλά και ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, που αναπτύσσεται μέσα σε αυτά.

3.1 Υπολογισμοί καταναλώσεων

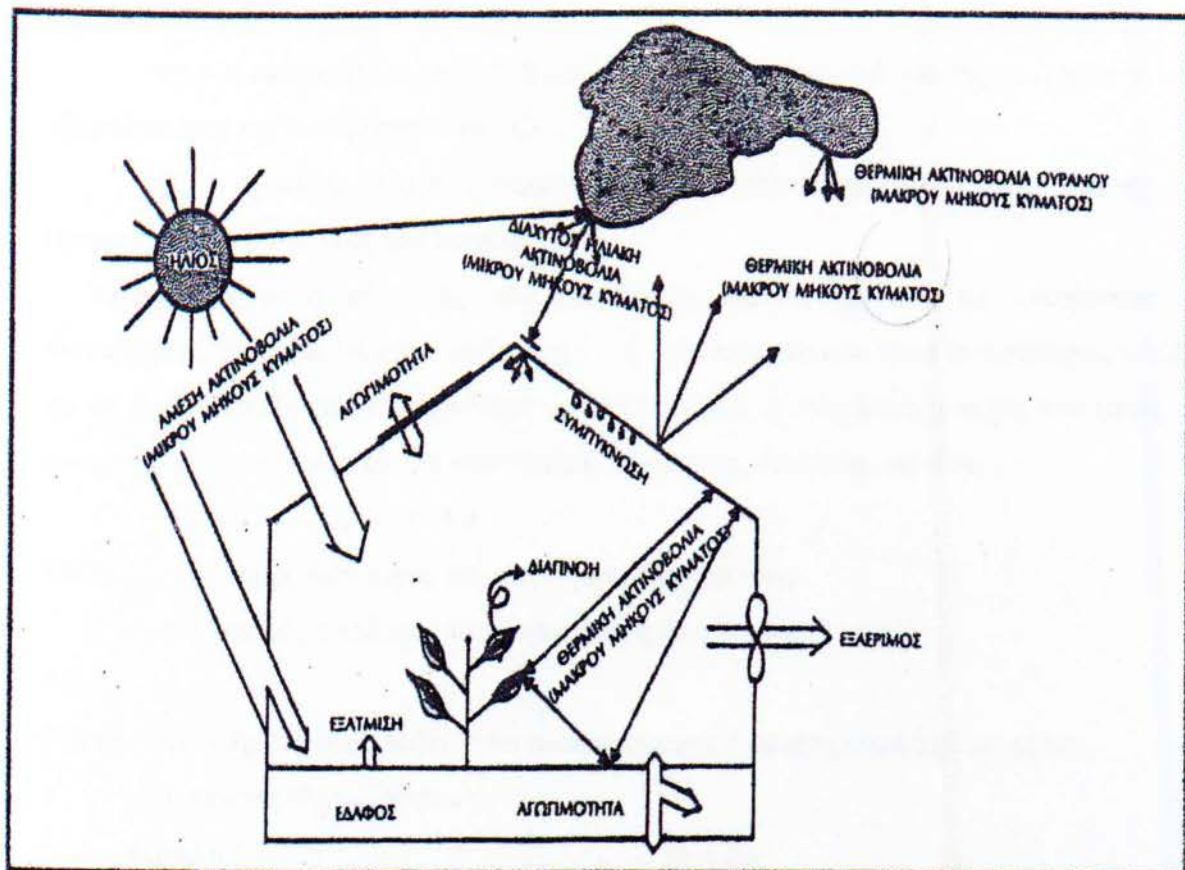
3.1.1 Υπολογισμός αναγκών θέρμανσης-ψύξης

Για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, απαιτείται η προσθήκη θερμότητας. Η απαιτούμενη θερμότητα είναι τόση όση χάνεται από το θερμοκήπιο στο γύρω χώρο.



Σχήμα απωλειών θερμότητας θερμοκηπίου.

Σχήμα 3.1



Σχήμα 3.2 Ανταλλαγές ενέργειας θερμοκηπίου με το περιβάλλον.

Οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο συμβαίνουν:

1. Με μεταφορά από το κάλυμά του.
2. Με την είσοδο και την έξοδο του αέρα μέσα από τις ενώσεις στις πόρτες, τα παράθυρα και τις συνδέσεις του υλικού κάλυψης.
3. Με αγωγιμότητα από το έδαφος του θερμοκηπίου.
4. Με την υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους και των φυτών.

Για τον υπολογισμό του συστήματος θέρμανσης ενός θερμοκηπίου είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη μέγιστη απαίτηση σε θερμότητα. Η εκτίμηση της μέγιστης απαίτησης σε θερμότητα στο θερμοκήπιο γίνεται από τις συνολικές απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου στη μονάδα του χρόνου, τη νύχτα, την εποχή με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων θερμότητας για θέρμανση του θερμοκηπίου γίνεται από το παρακάτω τύπο:

$$\Theta = K \cdot E \cdot (\theta_{\epsilon} - \theta_{\xi})$$

Όπου: Θ = απαιτήσεις θερμότητας σε Watt,

K = ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το θερμοκήπιο στο γύρω χώρο, σε $W/m^2\text{°C}$

θ_{ϵ} = η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, η οποία εξαρτάται από την καλλιέργεια, σε °C

θ_{ξ} = η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, της περιοχής που βρίσκεται το θερμοκήπιο, τον Ιανουάριο.

Τέλος, η ονομαστική ισχύς του συστήματος θέρμανσης, που θα τοποθετηθεί στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό που είναι αντιστρόφως ανάλογο με το βαθμό απόδοσης του συστήματος. Έτσι τελικά η ονομαστική ισχύς του (αυτή που αναγράφεται στην ετικέτα) του συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να είναι :

$$I = \Theta/\alpha$$

Όπου : I = η ονομαστική ισχύς του συστήματος θέρμανσης

α = ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης [$0 < \alpha < 1$]

Για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο που αναφερόμαστε η μελέτη αυτή έχει ως εξής:

1. Διαστάσεις Θερμοκηπίου

Ύψος πλευράς	$A = 2\text{m}$
Πλάτος θερμοκηπίου	$B = 10\text{m}$
Μήκος θερμοκηπίου	$\Gamma = 15\text{m}$
Πλάτος κεκλιμένου επιπέδου της οροφής	$\Delta = 2,5\text{m}$
Ύψος κορυφής	$H = 3,1\text{m}$
Αριθμός κεκλιμένων επιπέδων της οροφής	$Z = 2$

2. Υπολογισμός της επιφάνειας του καλύμματος του θερμοκηπίου

Επιφάνεια πλευρικών τοιχωμάτων	$2*(B+\Gamma)*A$	120m^2
Επιφάνεια οροφής	$\Delta*\Gamma*Z$	75m^2
Επιφάνεια τριγώνων στις μετόπες	$B*(H-A)$	11m^2
	ΣΥΝΟΛΟ	$E = 206\text{m}^2$

3. Υλικό κάλυψης : Υαλοπίνακας

Συντελεστής απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου $K = 5 \text{ W/m}^2\text{°C}$

4. Θερμοκρασίες : (για καλλιέργεια ντομάτας στη περιοχή της Κρήτης)

Ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, $\theta_{\epsilon} = 14\text{°C}$

Μέση ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα το δυσμενέστερο μήνα του έτους (Ιανουάριος), $\theta_{\xi} = 6\text{°C}$

5. Συντελεστής απόδοσης του συστήματος θέρμανσης, $\alpha = 0,88$

6. Υπολογισμός απαιτήσεων θερμότητας για θέρμανση του θερμοκηπίου:

$$\Theta = 5 \cdot 206 \cdot (14 - 6) = 8240 \text{ W}$$

7. Υπολογισμός ονομαστικής ισχύος του συστήματος θέρμανσης :

$$I = 8240 / 0,88 = 9363 \text{ W} \quad \text{ή} \quad \Theta = 9,4 \text{ kW}$$

3.1.2 Υπολογισμός λοιπών καταναλώσεων και φωτοβολταϊκού συστήματος

Α. Παραδοχές

1. Το θερμοκήπιο λειτουργεί όλη τη διάρκεια του έτους
2. Καταναλώσεις (μόνο εναλλασσόμενου ρεύματος

ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ [kW]	ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [h]	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ/ΗΜΕΡΑ [kWh]
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	0,24	1	0,24
ΡΕΥΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	1,5	1	1,5
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	6	1	6
ΣΥΝΟΛΟ	7,74		7,74

Οι καταναλώσεις που υπάρχουν στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω και σχηματικά δείχνονται στο πρώτο σχήμα που φαίνεται η κάτοψη του θερμοκηπίου.

-Φωτισμός: $16 \times 15 \text{ W} = 240 \text{ W} = 0,24 \text{ kW}$

-Ρευματοδότες: $3 \times 500 \text{ W} = 1500 \text{ W} = 1,5 \text{ kW}$

-Αντλία θερμότητας geoTHERM exclusive(VWS 103/2): $6000 \text{ W} = 6 \text{ kW}$

3. Εγκατάσταση

Οι Φ/Β γεννήτριες θα έχουν νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και χωρίς σκιάσεις.

4. Ηλιοφάνεια του τόπου εγκατάστασης.

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°	
Month	<i>Προσπίπτουσα Ακτινοβολία [kWh/m²*Μηνια]</i>
Ιανουάριος	101
Φεβρουάριος	118
Μάρτιος	158
Απρίλιος	180
Μάϊος	200
Ιούνιος	203
Ιούλιος	208
Αύγουστος	206
Σεπτέμβριος	187
Οκτώβριος	155
Νοέμβριος	105
Δεκέμβριος	85.7
Μέσος όρος έτους	159
Συνολικό χρόνου	1910

5. Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας

- E, η συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας [kWh]
- E1, η άμεση τροφοδοσία της κατανάλωσης σε ποσοστό 40% [kWh]
- E2, η έμμεση (μέσω συσσωρευτών) τροφοδοσία της κατανάλωσης σε ποσοστό 60% [kWh]

6. Αποδόσεις

- $\eta_1=0,141$ ο βαθμός απόδοσης των Φ/Β γεννητριών
- $\eta_2=0,96$ ο βαθμός απόδοσης του ελεγκτή φόρτισης

- $\eta_3=0,9$ ο βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών κατά τη φόρτιση
- $\eta_4=0,9$ ο βαθμός των συσσωρευτών κατά την εκφόρτιση
- $\eta_5=0,98$ ο βαθμός απόδοσης inverter

7. Η τάση του συστήματος

- 24 V στους συσσωρευτές
- 230 V, 50Hz στην κατανάλωση

8. Συσσωρευτές

- Στοιχεία των 2 V
- Βάθος εκφόρτισης 60%
- Αυτονομία 3 ημέρες

9. Φωτοβολταϊκές γεννήτριες

- Στοιχεία των 2 V
- Επιφάνεια Φ/Β γεννήτριας 1,279m²
- Τάση 36,8 V και Ρεύμα 4,9 A
- Ισχύς 180 Wp

B. Διαστασιολόγηση

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές θα υπολογισθούν:

- Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που απαιτούνται
- Ο αριθμός και το μέγεθος των συσσωρευτών

Και θα επιλεγούν

- Ο ή οι ελεγκτές φόρτισης
- Ο inverter

Υπολογισμοί

Η συνολική ημερήσια κατανάλωση είναι

$$E = 7,74 \text{ kWh}$$

Η ενέργεια που άμεσα τροφοδοτεί τις καταναλώσεις είναι

$$E_1 = E * 0,4 = 7,75 * 0,4 = 3,096 \text{ kWh}$$

Η ενέργεια που έμμεσα τροφοδοτεί τις καταναλώσεις είναι

$$E_2 = E * 0,6 = 7,74 * 0,6 = 4,644 \text{ kWh}$$

Η συνολική απαιτούμενη προσπίπτουσα ενέργεια στην επιφάνεια των συλλεκτών

$$E' = E'1 + E'2$$

$$E'1 = E1 / (\eta1 * \eta2 * \eta5) = 3,096 / (0,141 * 0,96 * 0,98) = 23,34 \text{ kWh}$$

$$E'2 = E2 / (\eta1 * \eta2 * \eta3 * \eta4 * \eta5) = 4,644 / (0,141 * 0,96 * 0,9 * 0,9 * 0,98) = 43,22 \text{ kWh}$$

Συνεπώς

$$E' = E'1 + E'2 = 23,34 + 43,22 = 66,56 \text{ kWh}$$

Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και στις δυσμενέστερες συνθήκες που είναι κατά τον μήνα Δεκέμβριο. Στο μήνα Δεκέμβριο η μέση ημερήσια προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας είναι,

$$85,7 / 31 = 2,76 \text{ kWh}$$

Και αντίστοιχα η συνολική επιφάνεια των πλαισίων

$$66,56 / 2,76 = 24,11 \text{ m}^2$$

Με πλαίσια εμβαδού 1,279m² θα χρειαστούν

$$24,11 / 1,279 = 19 \text{ Πλάισια (Φ/Β γεννήτριες)}$$

Συσσωρευτές

Για αυτονομία 3 ημερών και βάθος εκφόρτισης 60% η χωρητικότητα των συσσωρευτών είναι

$$(3 * E) / (0,6 * \eta4 * \eta5) = (3 * 7,74) / (0,6 * 0,9 * 0,98) = 43,88 \text{ kWh}$$

Ή για τάση 24 V

$$43880 / 24 = 1828 \text{ Ah}$$

Οπότε θα χρησιμοποιήσουμε μια συστοιχία με 12 στοιχεία των 2 V και 178 Ah η κάθε μια, σε σειρά (24V) και με χωρητικότητα περίπου 2100 Ah.

Συνδεσμολογία

Συνδέονται σε σειρά 19 Φ/Β γεννήτριες – πλαίσια. Με αυτή τη συνδεσμολογία επιτυγχάνεται κατάλληλη τάση για φόρτιση των συσσωρευτών (>24 V) και ρεύμα $19 * 4.9 = 93.1 \text{ A}$

Ελεγκτής φόρτισης

Επιλέγουμε 1 ελεγκτή με αντίστοιχο ονομαστικό ρεύμα 120A. Με τη βοήθεια του ηλιακού ελεγκτή φόρτισης είναι δυνατός ο γρήγορος και εύκολος έλεγχος της φόρτισης των

μπαταριών-συσσωρευτών. Ο τύπος που έχει επιλεγθεί είναι πολύ αποτελεσματικός και επιλέχθηκε διότι έχει παρα πολύ καλή απόκριση και δεν εμφανίζει σφάλματα.

Inverter

Επιλέγουμε inverter με ονομαστική ισχύ 8 kW η οποία καλύπτει την συνολική εγκατεστημένη ισχύ του θερμοκηπίου, με συνεχή τάση εισόδου 24V και τάση εξόδου 230V και συχνότητα 50Hz.

3.2 Μηχανισμός τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας του θερμοκηπίου - σχηματικό διάγραμμα

Η λειτουργία που θα πραγματοποιείται συνεχώς στην εγκατάσταση του θερμοκηπίου, μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά από το παρακάτω σκίτσο μέσα από το οποίο μπορεί να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του.

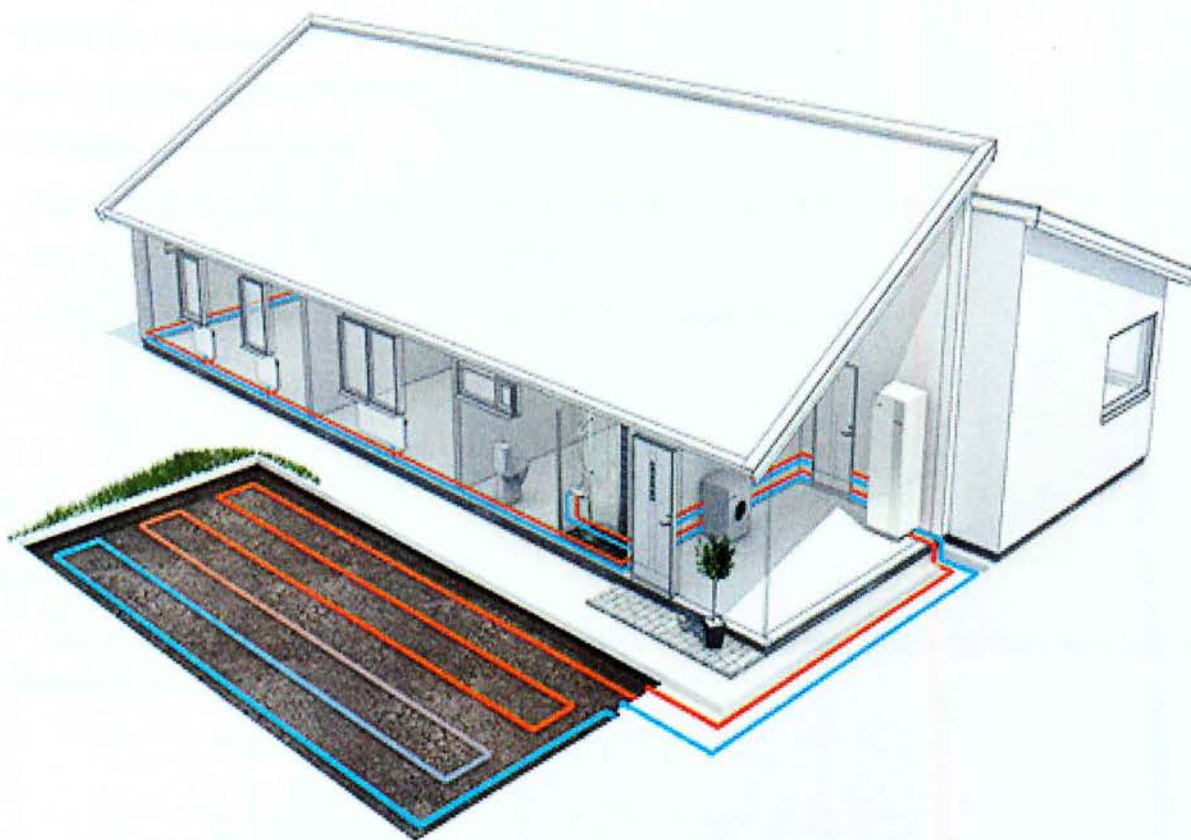


Αυτή είναι και η λογική που έχει χρησιμοποιηθεί στο αυτόνομο θερμοκήπιο.

3.3 Μηχανισμός θέρμανσης – Σχηματικό διάγραμμα

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ηλιακή θερμότητα αποθηκεύεται στο έδαφος. Λίγα μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους απορροφάται και συγκρατείται θερμότητα από τη βροχή και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η χρήση αυτής της ενέργειας για θέρμανση είναι μια οικονομική και αποδοτική μέθοδος.

Οι συλλέκτες εδάφους δεν απαιτούν σχετική άδεια. Τοποθετούνται από τα 20cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.



Οι εξωτερικές θερμοκρασίες του αέρα μεταβάλλονται με την αλλαγή των εποχών αλλά όχι και οι θερμοκρασίες του υπεδάφους. Σε βάθος δύο έως τριών μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους οι θερμοκρασίες παραμένουν σχετικά σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Ένα γεωθερμικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από μια μονάδα εντός του κτιρίου και ένα θαμμένο γεωεναλλάκτη, αξιοποιεί αυτές τις σταθερές θερμοκρασίες για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και την φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου. Η μονάδα αντλεί τη θερμότητα σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο. Το καλοκαίρι, το σύστημα

αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη.

3.4 Ανάλυση χώρου και περιγραφή εξοπλισμού

Όπως προαναφέρθηκε το έργο θα πραγματοποιηθεί σε ένα χώρο 250m^2 . Από αυτό, τα 100m^2 θα είναι ο χώρος που θα χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση και την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών και των γεωεναλλακτών, ενώ τα υπόλοιπα 150m^2 θα καταλαμβάνει ο χώρος του θερμοκηπίου.

Συγκεκριμένα, οι ακριβείς διαστάσεις των χώρων είναι οι εξής:

-Συνολικό οικόπεδο: 250m^2

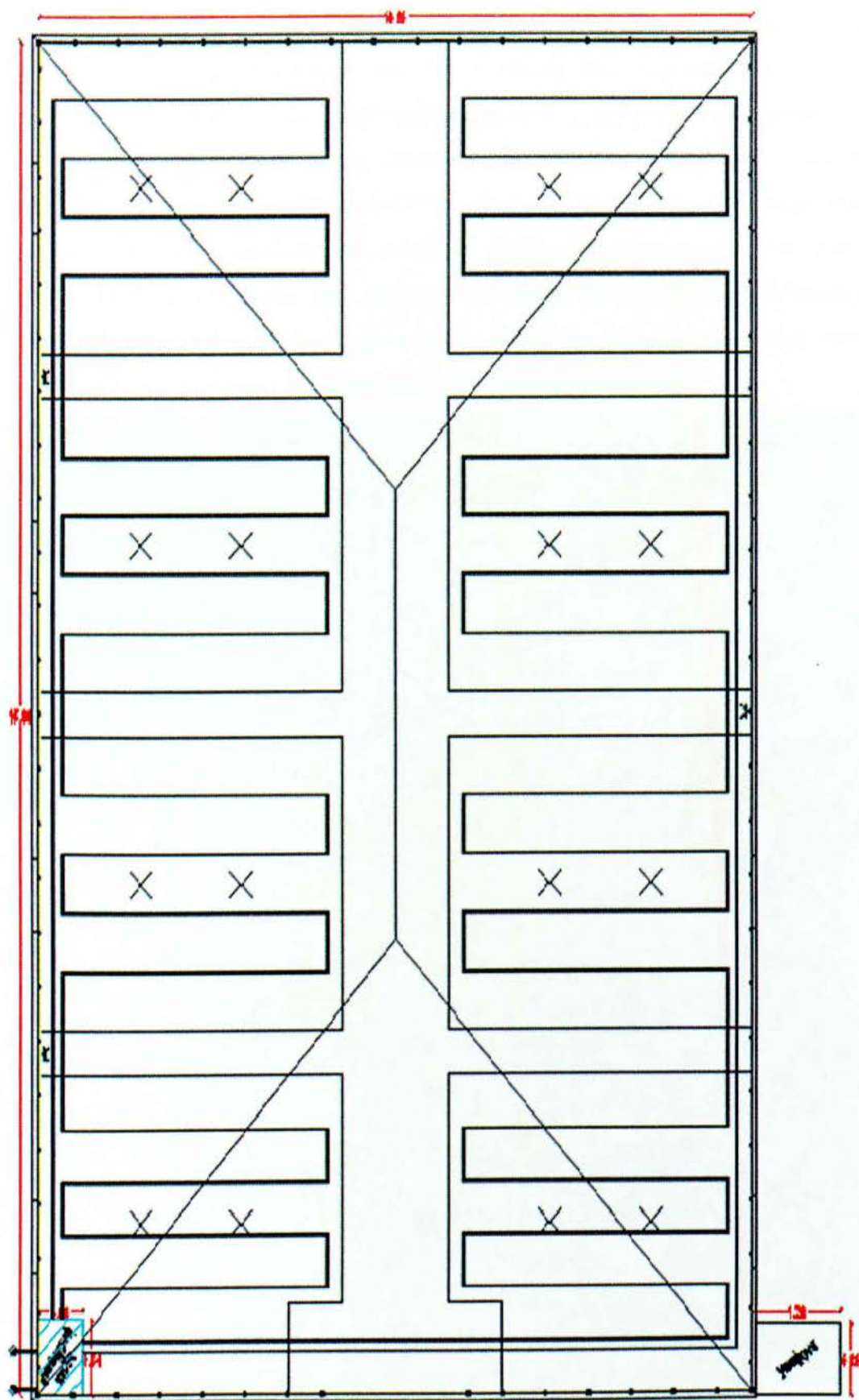
-Χώρος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και γεωεναλλάκτη: $10\text{m}^2 \times 10\text{m}^2 = 100\text{m}^2$

-Χώρος θερμοκηπίου: $10\text{m}^2 \times 15\text{m}^2 = 150\text{m}^2$

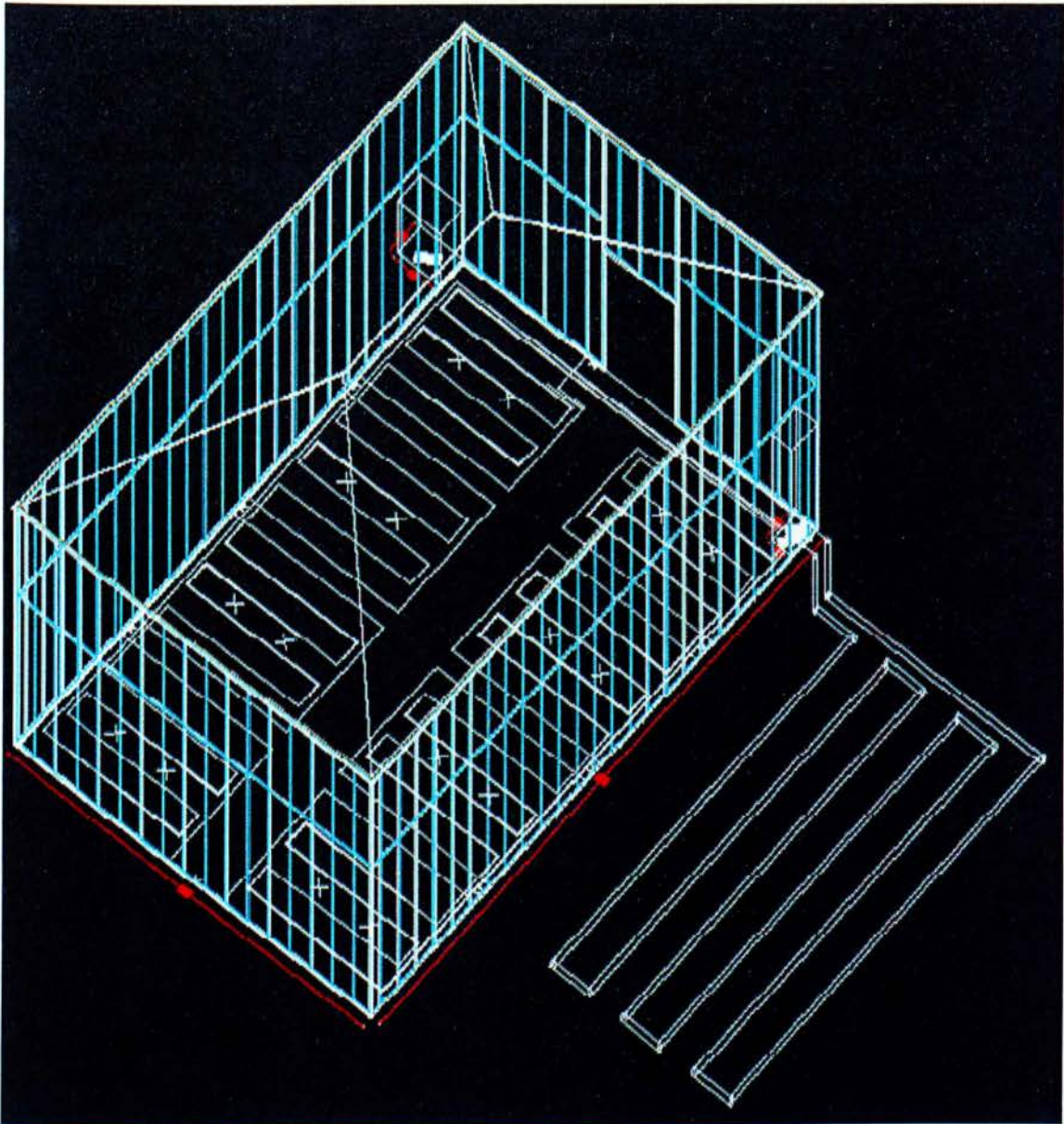
-Χρησιμοποιούμενη συνολική επιφάνεια: $100\text{m}^2 + 150\text{m}^2 = 250\text{m}^2$

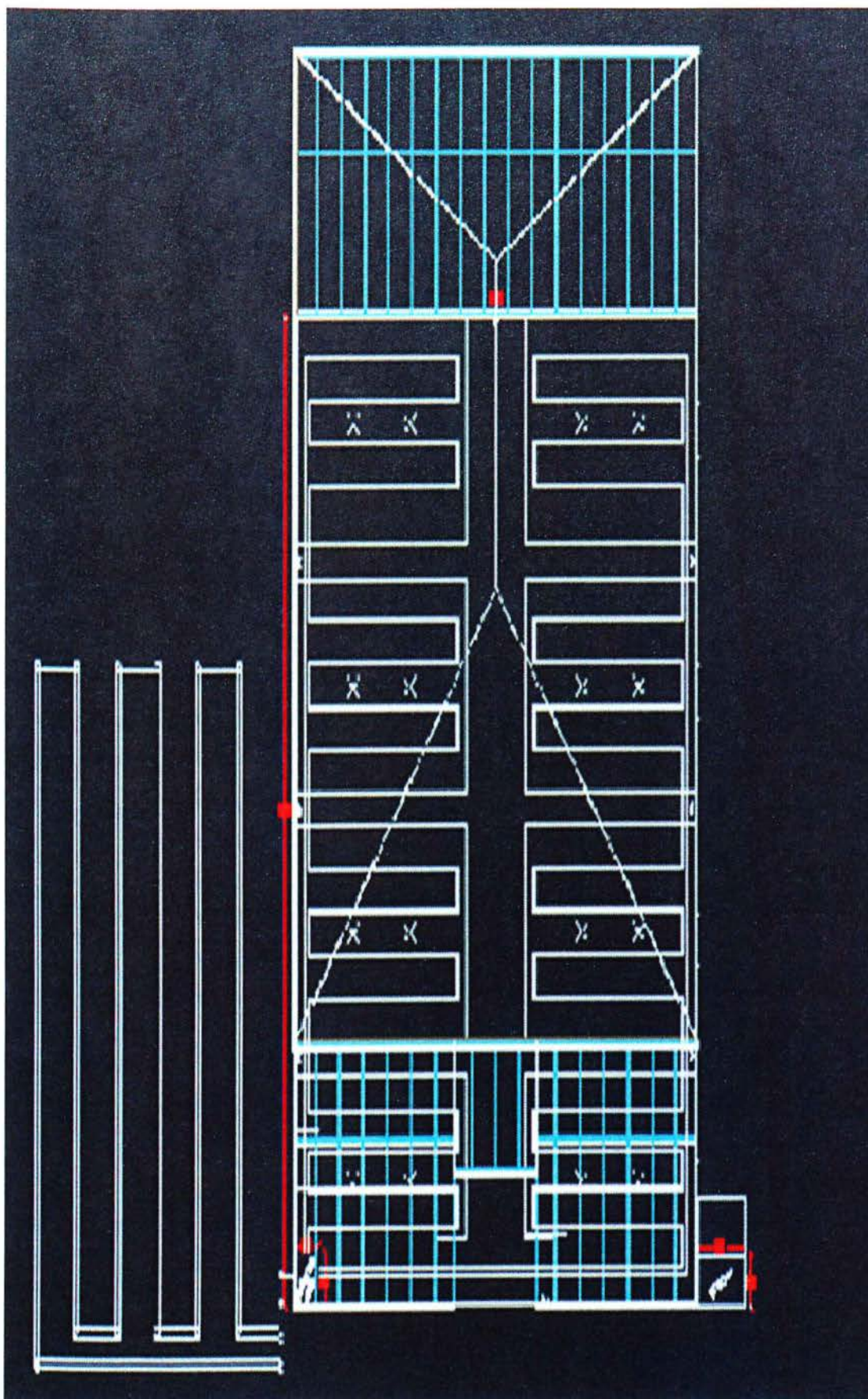
3.4.1 Σχέδια εγκατάστασης

Σε αυτό το κομμάτι θα δούμε πως έχει γίνει η εγκατάσταση μέσω σχεδίων που έχουν δημιουργηθεί με το πρόγραμμα σχεδίασης Autocad.



Στο κάτω αριστερό μέρος του θερμοκηπίου έχει τοποθετηθεί η γεωθερμική αντλία, ενώ στο κάτω δεξιά μέρος (εξωτερικά του θερμοκηπίου) έχει εγκατασταθεί η γεννήτρια (προαιρετικά) έτσι ώστε να μην καταλαμβάνει άσκοπα χώρο μέσα στο θερμοκήπιο. Στο σχήμα αυτό φαίνονται οι σωλήνες που έχουν εγκατασταθεί στο υπέδαφος του θερμοκηπίου και έχουν ως αφετηρία την γεωθερμική αντλία. Προκειμένου να έχουμε καλύτερη απόδοση έχουμε ένα σωλήνα να καλύπτει την αριστερή πλευρά του θερμοκηπίου και έναν άλλο σωλήνα να καλύπτει την δεξιά. Έτσι, με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε αποδοτικότερη και πιο γρήγορη θέρμανση ή ψύξη του θερμοκηπίου, ανάλογα με τις ανάγκες. Επίσης, φαίνονται οι πρίζες καθώς και τα σημεία των φωτιστικών που θα εγκατασταθούν.





3.4.2 Περιγραφή εξοπλισμού

3.4.2.1 Γεωθερμική αντλία θερμότητας

Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε είναι η αντλία geoTHERM exclusiv της εταιρείας Vaillant. Με τη συγκεκριμένη αντλία θερμότητας προσφέρουμε μια ολοκληρωμένη λύση παρέχοντας θέρμανση τον χειμώνα, δροσισμό το καλοκαίρι και ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και όλα αυτά χρησιμοποιώντας την ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στο έδαφος.

Η αντλία θερμότητας geoTHERM exclusiv είναι εξοπλισμένη με μονάδα ελέγχου ενεργειακής εξισορρόπησης οδηγούμενη από αντιστάθμιση καιρικών συνθηκών, με ταμιευτήρα ζεστού νερού 175l ενσωματώνοντας και λειτουργία δροσισμού καθώς επίσης και 6kW ηλεκτρική αντίσταση εφεδρείας. Για το δροσισμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμότητα του κτηρίου μεταφέρεται στο έδαφος μέσω ενός εναλλάκτη.

Όταν η λειτουργία δροσισμού είναι ενεργοποιημένη το καλοκαίρι, το σύστημα απλά αντιστρεφεί τη διαδικασία. Η επιπλέον θερμότητα στον χώρο μεταφέρεται μέσω της ενδοδαπέδιας εγκατάστασης στην αντλία και από εκεί στο έδαφος. Έτσι, αντί να μεταφέρουμε θερμότητα από το έδαφος όπως στη λειτουργία της θέρμανσης, η θερμότητα μεταφέρεται από τον εσωτερικό χώρο προς το έδαφος μέσω των συλλεκτών.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας.

geoTHERM exclusiv	Μονάδα	VWS 103/2
Απόδοση θερμότητας	kW	10,5
Κατανάλωση ηλεκτρ. Ισχύος	kW	2,4
Βαθμός απόδοσης COP		4,4
Απόδοση θέρμανσης	kW	10,5
Κατανάλωση ηλεκτρ. Ισχύος	kW	3,3
Βαθμός απόδοσης COP		2,9
Απόδοση παθητικού δροσισμού(Προσαγωγή 18°C/Επιστροφή 22°C)	kW	6,2
Ονομαστική τάση συστήματος ελέγχου		230V/50Hz
Ονομαστική τάση συμπιεστή		400V/50Hz
Ονομαστική τάση συστήματος εφεδρικής θέρμανσης		400V/50Hz
Ηλεκτρική ισχύς συστήματος αντίστασης εφεδρείας	kw	6
Ηλεκτρική ασφάλεια	A	3×16
Ρεύμα εκκίνησης χωρίς ασφάλεια εκκίνησης	A	46
Ρεύμα εκκίνησης με ασφάλεια εκκίνησης	A	<16
Ονομαστική παροχή κυκλώματος θέρμανσης	l/h	1787
Μανομετρικό κυκλώματος θέρμανσης ΔT=5K	mbar	258
Ονομαστική παροχή κυκλώματος του γεωεναλλάκτη	l/h	2484

Μανομετρικό κυκλώματος του γεωεναλλάκτη $\Delta T=3K$	mbar	261
Θερμοκρασία κυκλώματος θέρμανσης (ελαχ/μεγ)	°C	25/62
Θερμοκρασία κυκλώματος του γεωεναλλάκτη (ελαχ/μεγ)	°C	10/20
Συνδέσεις για το κύκλωμα θέρμανσης Προσαγωγή/Επιστροφή		G5/4/Ø 28mm
Συνδέσεις για το κύκλωμα του γεωεναλλάκτη Προσαγωγή/Επιστροφή		G5/4/Ø 28mm
Συνδέσεις για το κρύο/ζεστό νερό		R 3/4
Χωρητικότητα ταμιευτήρα ζεστού νερού χρήσης	l	175
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	mbar	10
Μέγιστη θερμοκρασία με αντλία θερμότητας	°C	55
Μέγιστη θερμοκρασία με αντλία θερμότητας + Εφεδρική αντίσταση	°C	75
Επίπεδο ακουστικού θορύβου	dB(A)	47
Διαστάσεις		
Ύψος/Πλάτος/Βάθος	mm	1800/600/835
Βάθος χωρίς στήλη ελέγχου	mm	650
Βάρος χωρίς συσκευασία	kg	227

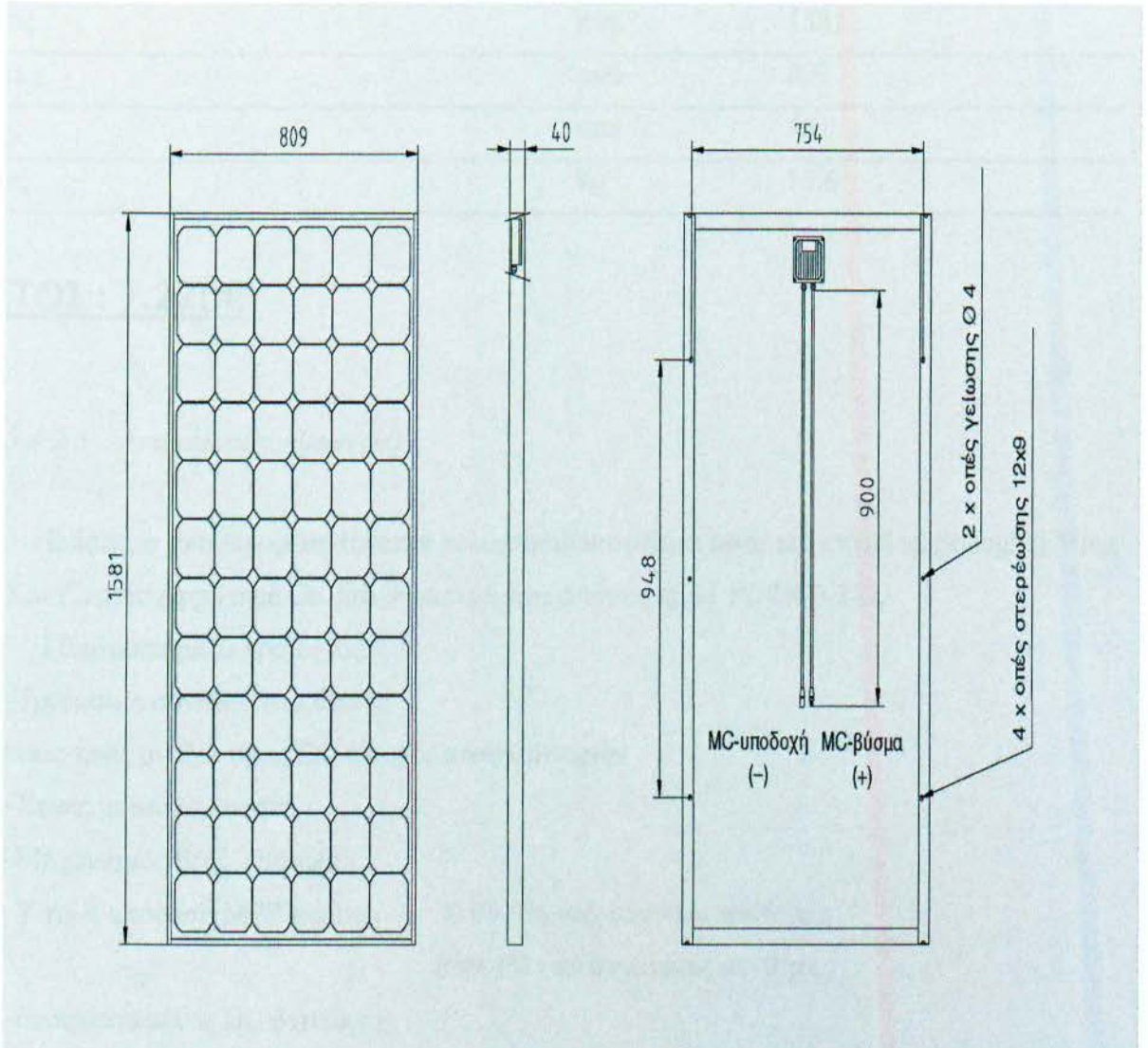
ΚΟΣΤΟΣ : 6.500€

3.4.2.2 Ηλιακά πλαίσια – Μονοκρυσταλλικού τύπου

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στο τύπο των ηλιακών πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Τα πλαίσια είναι της εταιρίας IBC SOLAR και το μοντέλο είναι TSM-180DC01

Πλεονεκτήματα προϊόντος:

- Κατάλληλο για διασυνδεδεμένα συστήματα και αυτόνομα συστήματα 24V
- Εγγυήσεις ισχύος* 25 χρόνια (80 %) και 12 χρόνια (90%)
- 5 χρόνια εγγύηση προϊόντος*
- Απόκλιση ισχύος $\pm 3 \%$
- Ελεγμένο και πιστοποιημένο κατά IEC 61215
- IEC 61730, Application Class A για τάση συστήματος ως 1000 V
- Γρήγορος και οικονομικός τρόπος στήριξης, Παραδοτέο έτοιμο προς σύνδεση, Προεγκατεστημένα καλώδια, Σύνδεσμοι Ενσωματωμένες δίοδοι παράκαμψης
- 72 μονοκρυσταλλικές κυψέλες (125 mm x 125 mm) διατεταγμένες γεωμετρικά σε διάταξη 6 x 12 συνδεδεμένες σε σειρά
- 100 % συνολικός έλεγχος με ξεχωριστή καταγραφή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών



Χαρακτηριστικά:

Trina TSM-180DC01

Όνομαστική μέγιστη Ισχύς	Wp	180.0
Εγγυημένη ελάχιστη Ισχύς	Wp	174.6
Όνομαστική τάση	V	36.8
Όνομαστικό ρεύμα	A	4.9
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	V	44.2
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	A	5.35
Συντελεστής θερμοκρασίας I _{sc}	%/K	0.05
Συντελεστής θερμοκρασίας U _{oc}	mV/K	-155

Model	PI-8000-242	
Rated power	8000W	
peak Power	16000W	
DC input voltage	24V	
AC output voltage	220VAC	
AC output frequency	50HZ	
AC output waveform	pure sine wave	
waveform distortion	THD<2%(Linear load)	
Efficiency	>88%	
DC input voltage range	21-30V	
Low Voltage Alarm	21+/-0.3V	
Low Voltage Shutdown	20+/-0.3V	
Over Voltage Protection	31+/-1V	
Low Voltage Recovery	24+/-1V	
Over Voltage Recovery	29.5V	
	Low/Over voltage	LED Red light, automatic recovery
	Over load	LED Red light, automatic recovery
Protective Function	Over temperature	LED Red light, automatic recovery
	Short circuit	LED Red light, automatic recovery
	Input reverse connection	Fuse burn-out
Working Temp.	0-40C	
Storage Temp. Humidity	(-30C)-70C	

ΚΟΣΤΟΣ : 680€

3.4.2.4 Μπαταρίες

Οι μόνιμοι συσσωρευτές ErgoSolar T είναι ΣΩΛΗΝΩΤΟΥ τύπου χαμηλής συντήρησης, ειδικά σχεδιασμένοι για χρήση σε κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης, υψηλής αυτονομίας και ασφάλειας. Οι συσσωρευτές αυτοί χρησιμοποιούνται ως αποθήκη ενέργειας στα συστήματα εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) δηλαδή Φωτοβολταϊκά συστήματα, Ανεμογεννήτριες, Υδροηλεκτρικά, κλπ. Διακρίνονται για την μεγάλη αντοχή τους σε κύκλους και το μεγάλο χρόνο ζωής τους, ακόμη και σε αντίξοες συνθήκες, όπως αυτές που συναντώνται σε Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά και Υβριδικά συστήματα ΑΠΕ. Οι συσσωρευτές ErgoSolar T είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με τις απαιτητικότερες διεθνείς προδιαγραφές.

Οι θετικές σωληνωτές πλάκες έχουν σκελετό από ειδικό κράμα μολύβδου-αντιμονίου, υψηλής μηχανικής και χημικής αντοχής που εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία, αξεπέραστη απόδοση σε λειτουργία με καθημερινή εκφόρτιση και επαναφόρτιση, χαμηλή συντήρηση και μεγάλη διάρκεια ζωής για χρήση των συσσωρευτών σε αυτόνομα μη-επιτηρούμενα συστήματα ΑΠΕ. Την ίδια στιγμή η πολύ στιβαρή κατασκευή τους εξασφαλίζει ότι ακόμα και στις περιπτώσεις που απαιτείται αυτονομία ημερών (πχ. συνεχής εκφόρτιση για 100 και πάνω ώρες) η επανάκτηση της χωρητικότητας με τη φόρτιση είναι πλήρης. Η σειρά ErgoSolar T καλύπτει τις απαιτήσεις των προδιαγραφών IEC 60896-11 και IEC 61427 για συστήματα ΑΠΕ.

Πλεονεκτήματα προϊόντος:

- Ικανότητα μεγάλων κύκλων λειτουργίας
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ελάχιστη συντήρηση
- Πολύ υψηλή αξιοπιστία
- Ασφαλής διαχείριση
- Ασφάλεια υψηλής λειτουργικότητας
- Μεγαλύτερο διάστημα χρήσης
- Ελάχιστες απαιτήσεις χώρου, μειωμένο βάρος
- Στοιβαρή απόδοση
- Πατενταρισμένη σύνδεση εσωτερικών κυψέλων
- Κεντρικός εξαερισμός με σύστημα flame-arrestor
- Αντίσταση στη θερμοκρασία
- Αξιοπιστία ακόμα σε συνθήκες μερικής φόρτισης

- Χαμηλός ρυθμός εκφόρτισης < 1 %
- Βέλτιστος ρυθμός αποδοχής ρεύματος
- Μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα
- Καλύμματα με προστασία fiber glass
- Ειδικό κράμα και ενεργό υλικό
- Καλή απόκριση φόρτισης ακόμη και με μικρά ρεύματα.

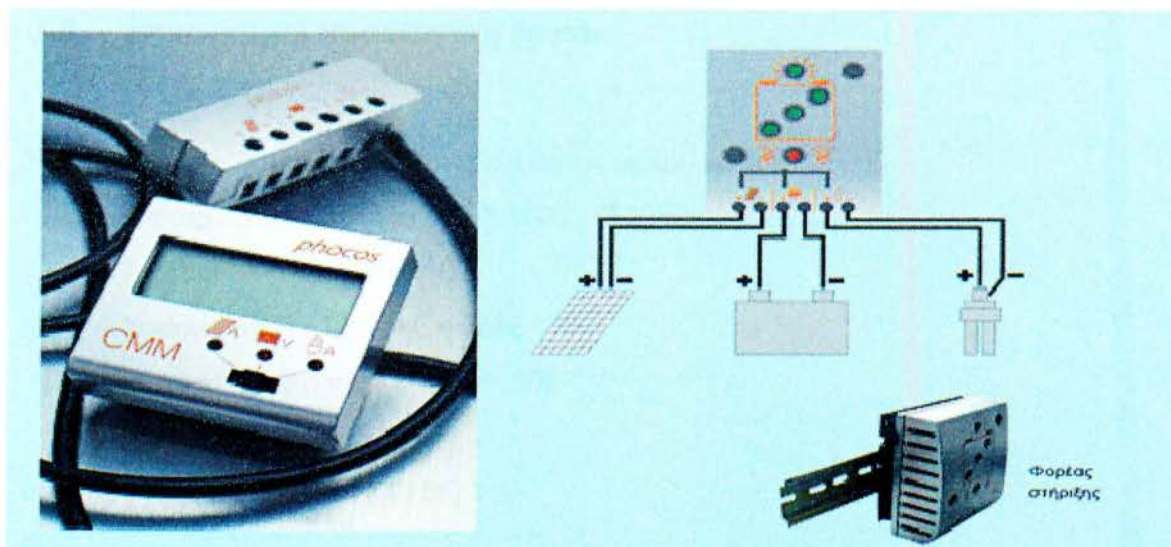
ΚΟΣΤΟΣ : 768€

3.4.2.5 Ηλιακός ελεγκτής φόρτισης

Οι ελεγκτές φόρτισης μας βοηθάνε στο χειρισμό της εγκατάστασης και η ύπαρξη τους στην εγκατάσταση βοηθάει στην ομαλή λειτουργία της. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ένας ρυθμιστής φόρτισης της εταιρίας IBC SOLAR και συγκεκριμένα ο τύπος CML 20.

Πλεονεκτήματα προϊόντος:

- Ηλεκτρονική κυκλωμάτωση βασισμένη σε ηλεκτρονικό μικροεπεξεργαστή
- Εξαιρετικές λειτουργίες προβολής, προειδοποίησης και ασφάλειας
- Σαφής ένδειξη κατάστασης φόρτισης χρησιμοποιώντας 3 ξεχωριστά LEDs
- Ηχητικές ειδοποιήσεις πριν την αποσύνδεση των φορτίων για την προστασία της μπαταρίας
- Φόρτιση αντιστάθμισης θερμοκρασίας 3 σταδίων με χαρακτηριστικές καμπύλες για κλειστού τύπου μπαταρίες οξέως
- Ένδειξη φορτίου
- Προβολή ένδειξης βραχυκυκλώματος φορτίου και υπερφόρτωσης
- Φόρτιση 3 επιπέδων, μεταγωγή G-1
- Παρακολούθηση κατάστασης φόρτισης (SOC) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας φορτίου
- Αυτόματη ανίχνευση 12 ή 24 V
- Ενσωματωμένη αντιστάθμιση θερμοκρασίας
- Μεγάλοι θερματισμοί σύνδεσης (ως 16 mm²)
- Πλήρης ηλεκτρονική προστασία
- Προαιρετική νυχτερινή προστασία (night light function)



ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΤΥΠΟΣ CML 20

Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	A	20
Μέγιστο ρεύμα φορτίου	A	20
Τάση συστήματος	V	Δεκ-24
Ιδία κατανάλωση	mA	< 4
Διαστάσεις (Μ x Π x Υ)	mm	80 x 100 x 32
Βαθμός προστασίας		IP 22

ΚΟΣΤΟΣ : 50€

3.4.2.6 Σωλήνες θέρμανσης-ψύξης

Για να διαδοθεί η θέρμανση ή ψύξη, ανάλογα τις ανάγκες του θερμοκηπίου, μέσα στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες τύπου F16 (16mm). Με τους σωλήνες αυτούς είναι δυνατόν να αναπτυχθεί η θερμότητα ή η ψύξη από τη γεωθερμική αντλία σε ολόκληρο το θερμοκήπιο. Οι σωλήνες αυτοί είναι τοποθετημένοι κάτω από το έδαφος σε βάθος περίπου 1.50m. Έτσι, με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ομαλή θέρμανση-ψύξη σε ολόκληρο το θερμοκήπιο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

3.5 Οικονομική προσέγγιση έργου

Για το μηχανισμό ηλεκτροδότησης του θερμοκηπίου είναι :

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια : $19 * 380\text{€} = 7.220\text{€}$
- Inverter : $1 * 680\text{€} = 680\text{€}$
- Συνσωρευτές : $12 * 64\text{€} = 768\text{€}$
- Ελεγκτής φόρτισης : $1 * 50\text{€} = 50\text{€}$

ΣΥΝΟΛΟ : 8.718€

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι το κόστος του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που αναλύθηκε παραπάνω είναι 8063€ σύμφωνα με τους ισχύοντες κατάλογους χωρίς την εγκατάσταση.

Για το μηχανισμό θέρμανσης του θερμοκηπίου είναι :

- Γεωθερμική αντλία : $1 * 6.500\text{€} = 6.500\text{€}$
- Κατασκευή και τοποθέτηση γεωεναλλακτών και σωληνώσεων : 7.000€

ΣΥΝΟΛΟ:13.500€

3.5.1 Τεχνοοικονομική συγκριτική ανάλυση ανανεώσιμων και συμβατικών καυσίμων

Σήμερα το κόστος αγοράς - εγκατάστασης ενός τυπικού συστήματος αντλίας θερμότητας με γεωεναλλάκτη για ψύξη και θέρμανση ενός θερμοκηπίου 150-200 τ.μ. κυμαίνεται περίπου στα 22.000 €. Ένα τέτοιο σύστημα έχει απόδοση περίπου 30% σε ψύξη και 70% σε θερμότητα. Οι γεωθερμικές αντλίες επιχορηγούνται με βάση το Σχέδιο Χορηγιών για εξοικονόμηση ενέργειας και ενθάρρυνσης της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας 2009-2013 του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού. Για φυσικά πρόσωπα και φορείς που δεν ασκούν οικονομική δραστηριότητα, δίνεται επιχορήγηση ύψους 55% επί του επιλέξιμου προϋπολογισμού με μέγιστο ποσό χορηγίας τα 20.000€.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι μία τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας. Επομένως η οικονομική βιωσιμότητα τους, προκύπτει συγκρίνοντας την ενέργεια που καταναλώνει ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης με την ενέργεια που καταναλώνει ένα γεωθερμικό σύστημα.

Ο γεωεναλλάκτης δεν απαιτεί καμία συντήρηση και έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 50 χρόνια. Όσον αφορά την αντλία θερμότητας και τα εσωτερικά συστήματα θέρμανσης ψύξης, η διάρκεια ζωής τους είναι μεγαλύτερη από εκείνη των αντίστοιχων συμβατικών συστημάτων, ενώ απαιτείται ελάχιστη συντήρηση. Η μέση τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος για τα επόμενα 10 χρόνια λαμβάνεται ίση με 0,12 €/kWh και η μέση τιμή του πετρελαίου θέρμανσης 0,80 €/λίτρο.

Στο πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα χαρακτηριστικά του Γεωθερμικού συστήματος με αντλία θερμότητας.

Ισχύς συστήματος	6kW
Αρχικό κόστος	16.500€ + ΦΠΑ=16.605€
Χορηγία (55%)	9.133€
Καθαρό κόστος (Αρχ. Κόστος-χορηγία)	7.472€
Εξοικονόμηση σε ενέργεια θέρμανσης	1.980€ / έτος
Εξοικονόμηση σε ενέργεια ψύξης	240€ / έτος
Εξοικονόμηση λόγω μειωμένου κόστους συντήρησης ΓΑΘ	100€ / έτος
Χρόνος απόσβεσης	4/5 χρόνια

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει ξανά να επισημανθεί ότι το κόστος του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που αναλύθηκε παραπάνω είναι 8.718€ σύμφωνα με τους ισχύοντες κατάλογους χωρίς την εγκατάσταση.

Συνεπώς το συνολικό κόστος της εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος και γεωθερμικής αντλίας είναι $8.718€ + 16.605€ - \text{Χορηγία (55\%)} = 16.190€$

Επίσης, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση πετρελαίου συνοδεύεται από ένα μηνιαίο κόστος κατανάλωσης, αλλά και από την εκπομπή ρυπογόνων αερίων, κυρίως CO₂, λόγω καύσης. Αντιθέτως, με την χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχουμε καθόλου εκπομπές επικίνδυνων αερίων και το μόνο κόστος, είναι το κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος που είναι απαραίτητο για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Ο χρόνος απόσβεσης εξαρτάται σημαντικά από την τιμή του πετρελαίου και την περιοχή. Τέλος, αν το πετρέλαιο είναι ακριβότερο (στα επόμενα χρόνια) από την τιμή που εκτιμήθηκε για σκοπούς υπολογισμού τότε ο χρόνος απόσβεσης μπορεί να μειωθεί και στα 2-3 χρόνια.

Εν' κατακλείδι, πρέπει να επισημανθεί ότι με το πέρασμα των χρόνων η ανάγκη για απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα γίνεται επιτακτικότερη, καθώς η χρήση τους παρουσιάζει μια σειρά μειονεκτημάτων. Η αλόγιστη χρήση τους και η σημερινοί ρυθμοί εξόρυξης τους θα οδηγήσουν σε εξάντληση των περιορισμένων πλέον αποθεμάτων τους. Ακόμη η καύση τους είναι υπεύθυνη για τους ρύπους που δημιουργούν φαινόμενα όπως αυτά του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής.

Λόγω της δυσμενούς αυτής κατάστασης δίνεται όλο και μεγαλύτερη ώθηση στην έρευνα για εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε) οι οποίες είναι ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον. Μια μορφή Α.Π.Ε που αρχίζει να κερδίζει έδαφος στην Ελλάδα είναι η γεωθερμία και η ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η χώρα μας είναι πολύ ευνοημένη γεωθερμικά και ηλιακά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για δυνητικούς χρήστες, (ΚΑΠΕ) 2006,
- [2] Ground Reach - Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, (ΚΑΠΕ) 2007,
- [3] Ενσωμάτωση Τεχνολογιών ΑΠΕ & ΕΞΕ στον Οικιακό Τομέα, (ΚΑΠΕ) 2006,
- [4] Guide for the Training of Engineers in the Electricity Production Technologies from Renewable Energy Sources, πρόγραμμα Leonardo Da Vinci 1999,
- [5] Fairchild semiconductors, “Induction Heating System Topology Review”, Applications notes, July 2000.
- [6] Παπάζογλου Ε., Κυρίσης Σ., Σούτερ Χ. «Θέρμανση Θερμοκηπίων Και Αντλίες Θερμότητας», Αθήνα 1987, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας
- [7] Περιοδικό Energy point (Τεύχος 11 – Απρίλιος 2008),
- [8] Περιοδικό Ηλεκτρολόγος (Τεύχος 198 – Οκτώβριος 2008),
- [9] Φωτοβολταϊκά συστήματα, Φραγκιαδάκης Ιωάννης Ε. Εκδ: Ζήτη 2007,
- [10] Γεωθερμία Συγγραφέας: Φύτικας Μ., Ανδρίτσος Ν. Εκδ: Τζιόλα 2007,
- [11] Χατζηαθανασίου Β. «Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Θεσσαλονίκη 2004, Έκδοση: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
- [12] Κίττας Ν. «Συστήματα Θέρμανσης», Θεσσαλονίκη 1992, ΤΕΕ Θεσσαλονίκης.
- [13] N.Mohan, T.M. Undeland, “Power Electronics, Converters, Applications and Design”, John Wiley & Sons, 1995.
- [14] Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Γιώργος Τσίλιγκιρίδης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2007,
- [15] Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, Κ.Καγκαράκης, 1992
- [16] Χατζηαθανασίου Β. «Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Θεσσαλονίκη 2004, Έκδοση: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
- [17] I. Khan, J. Tapson, I. de Vriew, “Frequency control of a current-fed inverter for induction heating”, IEEE Proceedings on Industrial Electronics, Vol. 1, No.1, 2000, pp.343-346.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- [1] www.cres.gr , Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ),
- [2] www.aidenengineering.gr , φυλλάδιο γεωθερμίας,
- [3] www.wikipedia.org ,
- [4] www.eere.energy.gov, US Department of Energy, Photovoltaics: Basic DesignPrinciples and Components,
- [5] www.abc-solar.gr ,
- [6] www.bpsolar.gr Βασικές αρχές των φωτοβολταϊκών και τρόπος λειτουργίας
- [7] www.rae.gr
- [8] www.desmie.gr
- [9] www.thermoydrylikos.gr
- [10] www.eshops.gr
- [11] www.ecotec.gr
- [12] www.plantmanagement.gr
- [13] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps