



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΊΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1306



**«Αριθμητική Μελέτη Συνδυασμού Φωτοβολταϊκών
Στοιχείων και Αντλίας Θερμότητας Άβραθους Γεωθερμίας για
Κτήριο στην Πάτρα»**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ
ΚΑΤΣΗΣ ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΑΜ: 5131
ΚΟΥΚΙΑΛΗ ΕΡΒΙΣ ΑΜ: 4458

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ
ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Πρόλογος

Βαδίζοντας στον 21ο αιώνα, δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι -ένας στους τρεις κατοίκους του πλανήτη- δεν έχουν πρόσβαση ούτε σε ηλεκτρικό ρεύμα, ούτε σε στοιχειώδη μέσα για το μαγείρεμα της τροφής τους. Καθημερινά αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν ακριβές, ρυπογόνες και αναξιόπιστες λύσεις όπως λάμπες κηροζίνης, κεριά και καυσόξυλα, που βλάπτουν την υγεία, βυθίζουν περισσότερο στη φτώχεια και συμβάλλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Σήμερα, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα είναι η απουσία πρόσβασης σε καθαρή και αξιόπιστη ενέργεια που είναι απαραίτητη για βασικές ανάγκες, όπως είναι το καθαρό νερό, η υγειονομική περίθαλψη, η θέρμανση και ο φωτισμός.

- Περίπου 1,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως δεν έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Σχεδόν 2,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι στηρίζονται αποκλειστικά στη βιομάζα για την κάλυψη των αναγκών τους σε ενέργεια.
- Στην υποσαχάρια ζώνη της Αφρικής, οι γυναίκες μεταφέρουν 20 κιλά ξύλα την ημέρα για περισσότερα από 5 χιλιόμετρα.

Οι ανάγκες σε ενέργεια των αναπτυσσόμενων χωρών δεν πρέπει να καλυφθούν από τη χρήση ορυκτών καυσίμων όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο. Τα καύσιμα αυτά ευθύνονται για τις κλιματικές αλλαγές που θα έχουν τις πιο καταστροφικές επιπτώσεις στα φτωχότερα κράτη και επιπλέον ενισχύουν την οικονομική εξάρτηση των κρατών αυτών από εισαγόμενες πηγές ενέργειας. Οι ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη μπορούν να καλυφθούν από τον ήλιο, τον άνεμο και το νερό. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή και τα μικρά υδροηλεκτρικά, είναι καθαρές, ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον. Οι πηγές αυτές μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής χωρίς το κόστος των κλιματικών αλλαγών.

Όλες οι χώρες πρέπει να λάβουν άμεσα μέτρα για την προστασία του κλίματος της Γης. Για τις αναπτυγμένες χώρες, το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί ένα πρώτο -αναιμικό πλην όμως απαραίτητο- βήμα για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι αναπτυγμένες χώρες πρέπει να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγχρόνως να στηρίξουν τη στροφή αυτή στις αναπτυσσόμενες χώρες. Μέχρι το 2013, είναι επιθυμητή αλλά και εφικτή η παροχή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στα δύο δισεκατομμύρια άτομα που δεν έχουν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και κατοικούν στις φτωχότερες χώρες. Η υπάρχουσα εμπειρία από χρήση καθαρής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι άριστη, αλλά οι δυνατότητες είναι απείρως μεγαλύτερες.

Ο εφοδιασμός τόσων πολλών κοινοτήτων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζει μία τεράστια πρόκληση. Απαιτεί μία ριζικά διαφορετική αντιμετώπιση από αυτή που

χρησιμοποιείται μέχρι τώρα από διεθνείς οργανισμούς και κράτη. Απαιτεί επίσης πολιτική συνέπεια και μία αναδιάρθρωση της σημερινής αντίληψης της ενεργειακής ανάπτυξης. Η επίτευξη αυτού του στόχου δεν παρουσιάζει ουσιαστικά τεχνικά, οικονομικά ή θεσμικά εμπόδια, αλλά προϋποθέτει μία δέσμευση από τη διεθνή κοινότητα να στηρίζει αλλαγές στον τρόπο που χρηματοδοτούνται και επιδοτούνται τα ενεργειακά έργα.

Περίληψη

Στον πρόλογο έχει γίνει μια αναφορά στην ενεργειακή κατάσταση της Γης, στις χρήσεις των ορυκτών καύσιμων και στις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον. Πως επηρεάζουν οι κλιματικές αλλαγές τη ζωή μας, καθώς και ποιες είναι οι λύσεις σε αυτό το σοβαρό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας.

Στη συνέχεια θα αναφερθεί πως η λύση στο ενεργειακό πρόβλημα είναι οι Α.Π.Ε (χρήση, πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα, εφαρμογές τους κλπ).

Το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση δύο (2) λύσεων εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων ενέργειας, πιο συγκεκριμένα:

- Μελέτη φωτοβολταϊκών στοιχείων (περιγραφή του φωτοβολταϊκού φαινομένου, θεωρία ημιαγωγών, εφαρμογές, δυσκολίες και παράμετροι διαστασιολόγησης, πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα).
- Κάλυψη αναγκών θέρμανσης-ψύξης με αντλία θερμότητας αβαθούς γεωθερμίας (εφαρμογές, κριτήρια επιλογής της κάθε εφαρμογής, πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα).

Στο 1^ο μέρος έχει γίνει η μελέτη-διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε δώμα-ταράτσα καθώς και στη σκεπή της οικίας σύμφωνα με τα θερμικά κέρδη της περιοχής, του προσανατολισμού, του διαθέσιμου χώρου.

Περιγράφονται τα διάφορα μέρη του συστήματος, τα κριτήρια επιλογής τους, αποδοτικότητα συστήματος, η απόσβεση του συστήματος, καθώς και περιβαλλοντικά οφέλη.

Στο 2^ο μέρος έχει δοθεί λύση με αντλία θερμότητας αβαθούς γεωθερμίας για την κάλυψη των αναγκών, θέρμανσης-ψύξης-ζεστού νερού χρήσης της οικίας.

Για την σωστή επιλογή της μονάδας έχει γίνει μελέτη ψυκτικών φορτίων, θερμικών απωλειών, κατανομή τερματικών μονάδων fan coils, ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης.

Στη συνέχεια αναλύονται τα κριτήρια επιλογής της αντλίας θερμότητας, η διαστασιολόγηση της, τρόπος λειτουργίας της σε συνδυασμό με τον γεωεναλλάκτη και τους ηλιακούς συλλέκτες.

Τέλος, έχει γίνει οικονομοτεχνική ανάλυση με αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	i
Εισαγωγή	1
Μέρος Ι Κεφάλαιο 1 ^ο	2
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	2
1.1 Τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	2
1.1.1 Η βιομάζα	3
1.1.3 Το υδρογόνο	4
1.1.4 Η υδροηλεκτρική ενέργεια	5
1.1.5 Ενέργεια κυμάτων – ωκεανών	6
1.1.6 Ηλιακή ενέργεια	8
1.1.7 Αιολική ενέργεια	10
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ	11
1.2.1 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ	11
1.2.2 Μειονεκτήματα των ΑΠΕ	12
Κεφάλαιο 2 ^ο	13
Θεωρία Ημιαγωγών	13
2.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί	13
2.1.1 Δομή του ατόμου	13
2.1.2 Αγωγοί – μονωτές	14
2.1.3 Ημιαγωγοί	14
2.2 Ημιαγωγοί προσμίξεων	15
2.2.1 Ημιαγωγοί τύπου P	16
2.3 Επαφή / δίοδος PN	17
2.3.1 Φυσική λειτουργία	17
2.4 Η δίοδος PN σε ορθή και ανάστροφη πόλωση	18
2.4.1 Πόλωση κατά την ορθή φορά	18
2.4.2 Πόλωση κατά την ανάστροφη φορά	19
2.5 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου PN	20
Κεφάλαιο 3 ^ο	21

Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο και Τεχνολογία	21
3.1 Ιστορία του φωτοβολταϊκού φαινομένου.....	21
3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	22
3.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β στοιχείων.....	24
3.4 Τεχνολογία φωτοβολταϊκού κυττάρου.....	26
3.4.1 Μονοκρυσταλλικά κύτταρα Si -monocrystalline solar cells.....	26
3.4.2 Πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si -polycrystalline solar cells	27
3.4.3 Κύτταρα άμορφου πυριτίου a-Si.....	27
3.4.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)	29
3.4.5 Υβριδικό φωτοβολταϊκό κύτταρο	29
3.4.6 Κύτταρα πυριτικών ινών - Nanowires solar cells.....	30
3.4.7 Κύτταρα δισεληνοϊνδιούχου χαλκού	30
3.4.8 Κύτταρα τελουριούχο Κάδμιου (CdTe)	31
3.4.9 Κύτταρα αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)	31
Κεφάλαιο 4 ^ο	33
Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	33
4.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell)	34
4.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module)	35
4.3 Φωτοβολταϊκό πανέλο (PV module).....	35
4.4 Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array)	36
4.5 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator).....	36
4.6 Αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter)	36
4.7 Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller)	37
4.8 Συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες) για φωτοβολταϊκά συστήματα.....	38
4.9 Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων	39
4.9.1 Σταθερά Συστήματα	39
4.9.2 Κινητά Συστήματα.....	42
4.10 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού στοιχείου – πλαισίου	45
4.10.1 Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	45
4.10.2 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	46
4.10.3 Ο βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC	
48	
4.11 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος	49

4.12	Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	50
4.13	Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	51
	Κεφάλαιο 5°.....	52
	Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	52
5.1	Κατηγορίες Φ/Β σύμφωνα με την αλληλεπίδρασή τους στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.....	52
5.1.1	Διασυνδεδεμένα συστήματα.....	52
5.1.2	Αυτόνομα συστήματα.....	53
5.2	Φ/Β συστήματα ανάλογα με την εγκατάστασή τους.....	54
5.2.1	Κτηριακά φ/β συστήματα.....	54
5.2.2	Υπαίθρια φ/β συστήματα.....	54
5.3	Φ/Β συστήματα ανάλογα με τη θέση τους σε σχέση με την τροχιά του ηλίου.....	55
5.3.1	Σταθερά φ/β συστήματα.....	55
5.3.2	Ηλιοστατικά φ/β συστήματα.....	56
5.4	Φ/Β συστήματα ανάλογα με την συνύπαρξή τους με άλλη πηγή ενέργειας.....	56
5.4.1	Απλά φ/β συστήματα.....	56
5.4.2	Υβριδικά φ/β συστήματα.....	57
	Κεφάλαιο 6°.....	58
	Υπολογισμός Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	58
6.1	Κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.....	59
6.2	Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Πάτρας (σε οριζόντιο επίπεδο) 61	
6.3	Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες.....	63
	Κεφάλαιο 7°.....	69
	Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος Συνδεδεμένο στο Δίκτυο.....	69
7.1	Διαδικασία υπολογισμού ΦΒ συστήματος συνδεδεμένο στο δίκτυο.....	70
7.2	Αποτελέσματα υπολογισμού Φ/Β συστήματος συνδεδεμένο στο δίκτυο.....	77
7.2.1	Επιλογή Φ/Β πλαισίου.....	77
7.2.2	Υπολογισμός Φ/Β συστοιχίας.....	78
7.2.3	Επιλογή μετατροπέα DC-AC (inverter).....	80
7.2.4	Υπολογισμός διατομής ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης Φ/Β πλαισίων.....	81
7.2.5	Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια το πρώτο έτος λειτουργίας.....	82
	Κεφάλαιο 8°.....	83

Οικονομική Αξιολόγηση Επένδυσης Οφέλη και Συμπεράσματα	83
8.1 Συνολικό κόστος κατασκευής.....	84
8.2 Απόσβεση της επένδυσης.....	84
8.2.1 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στα 25 χρόνια.....	84
8.3 Περιβαλλοντικό όφελος της Φ/Β εγκατάστασης μας	86
8.4 Συμπεράσματα	86
Μέρος II Κεφάλαιο 9 ^ο	87
Σύστημα Άβαθους Γεωθερμίας.....	87
9.1 Γεωθερμία	87
9.2 Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (ΓΑΘ)	89
9.3 Αρχή λειτουργίας αντλία θερμότητας	90
9.4 Τα γεωθερμικά συστήματα	91
9.4.1 Γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος.....	91
9.4.1.1 Οριζόντια διάταξη γεωεναλλάκτη	92
9.4.1.2 Κάθετη διάταξη γεωεναλλάκτη	93
9.4.1.3 Διάταξη γεωεναλλάκτη σε πηγάδι, λίμνη ή θάλασσα	94
9.4.2 Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος	95
9.4.3 Υβριδικά συστήματα	96
9.5 Απόδοση αβαθούς γεωθερμίας	97
9.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας.....	98
9.6.1 Πλεονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας.....	98
9.6.2 Μειονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας	99
9.7 Προϋποθέσεις εγκαταστάσεις συστήματος αβαθούς γεωθερμίας	99
9.7.1 Γεωθερμικός εναλλάκτης	100
9.7.1.1 Οριζόντιοι εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος γεωθερμίας	100
9.7.1.2 Κατακόρυφοι εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος γεωθερμίας	100
9.7.1.3 Κατακόρυφοι εναλλάκτες ανοικτού κυκλώματος-υδρογεωτρήσεις	100
9.7.2 Αντλία θερμότητας	101
9.7.3 Σύστημα απόδοσης-απόληψης θερμικής ενέργειας στο κτίριο	101
9.8 Εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης.....	101
9.9 Συστήματα απόδοσης-απόληψης θερμότητας	102
Κεφάλαιο 10 ^ο	103

Μελέτη Κλιματισμού – Υπολογισμός Ψυκτικών Φορτίων	103
10.1 Παραδοχές & κανόνες υπολογισμών	104
10.1.1 Εξωτερικοί τοίχοι.....	104
10.1.2 Οροφές.....	105
10.1.3 Εσωτερικοί τοίχοι	105
10.1.4 Δάπεδα.....	106
10.1.5 Ανοίγματα	106
10.1.6 Φορτία φωτισμού.....	108
10.1.7 Υπολογισμός φορτίων ατόμων	109
10.1.8 Φορτία συσκευών	110
10.1.9 Φορτία από χαραμάδες.....	111
10.1.10 Αερισμός.....	111
10.2 Θερμοκρασιακά στοιχεία	112
10.3 Τυπικά στοιχεία κτιρίου - εξωτερικοί τοίχοι	113
10.4 Τυπικά στοιχεία κτιρίου - εσωτερικοί τοίχοι.....	114
10.5 Τυπικά στοιχεία κτιρίου – οροφές.....	114
10.6 Τυπικά στοιχεία κτιρίου – δάπεδα.....	115
10.7 Τυπικά στοιχεία κτιρίου – ανοίγματα	115
10.8 Αισθητά και λανθάνοντα φορτία χώρων.....	116
10.9 Συνολικά ψυκτικά φορτία χωρίς αερισμό (Watt)	126
10.10 Μέγιστα φορτία συσκευής λόγω αερισμού (Watt).....	127
10.11 Διαγράμματα συγκεντρωτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό.....	128
10.12 Διαγράμματα συγκεντρωτικών φορτίων κτιρίου με αερισμό	129
Κεφάλαιο 11 ^ο	130
Μελέτη Θέρμανσης – Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών.....	130
11.1 Παραδοχές & κανόνες υπολογισμών	131
11.2 Στοιχεία κτιρίου	133
11.3 Τυπικά στοιχεία - εξωτερικοί τοίχοι.....	134
11.4 Τυπικά στοιχεία - εσωτερικοί τοίχοι	134
11.5 Τυπικά στοιχεία – οροφές	135
11.6 Τυπικά στοιχεία - δάπεδα.....	135
11.7 Τυπικά στοιχεία – ανοίγματα.....	135

11.8	Συνολικές απωλειών χώρων (Watt).....	137
	Κεφάλαιο 12°.....	138
	Υπολογισμός Τερματικών Μονάδων Fan Coil.....	138
12.1	Παραδοχές & κανόνες υπολογισμών	138
12.2	Παράμετροι ψύξης - στοιχεία δικτύου	140
12.3	Παράμετροι θέρμανσης - στοιχεία δικτύου	141
12.4	Σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (fan coils).....	141
12.5	Κατανομή τερματικών μονάδων fan coil ανά χώρο.....	142
	Κεφάλαιο 13°.....	144
	Υπολογισμός Γεωθερμική Αντλίας Θερμότητας (Γ.Α.Θ.).....	144
13.1	Γεωθερμικές αντλίες για θέρμανση - ψύξη & ζεστό νερό χρήσης από 9 kW έως 33 kW 144	
13.2	Γενικά χαρακτηριστικά	145
13.3	Διαστασιολόγηση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.....	145
13.4	Επιλογή εναλλάκτη γεωθερμίας	146
13.5	Επιλογή κυκλοφορητή για το κύκλωμα του ισογείου.....	148
13.6	Επιλογή κυκλοφορητή για το κύκλωμα του ορόφου -σοφίτας.....	149
13.7	Υπολογισμός ασφαλιστικού δικτύου ισογείου	150
13.8	Υπολογισμός ασφαλιστικού δικτύου α' ορόφου.....	151
	Κεφάλαιο 14°.....	152
	Τεχνική Περιγραφή Εγκατάστασης Fan - Coils	152
14.1	Γενικά για την μελέτη	152
14.2	Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Γ.Α.Θ.)	152
14.3	Κυκλοφορητές	153
14.3.1	Δίκτυο Ισογείου	153
14.3.2	Δίκτυο α' ορόφου-σοφίτας.....	154
14.4	Δοχείο διαστολής.....	155
14.4.1	Δίκτυο ισογείου.....	155
14.4.2	Δίκτυο α' ορόφου.....	155
14.5	Δοχείο αδρανείας.....	155
14.6	Μονάδες Fan Coils	155
14.7	Δίκτυο σωληνώσεων	156
14.8	Δοκιμή εγκατάστασης	156

Κεφαλαίο 15°	157
Σχεδιασμός Συστήματος Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης	157
15.1 Υπολογισμός αναγκών ζεστού νερού χρήσης	157
15.2 Επιλογή δοχείων αποθήκευσης του ZNX της εταιρίας Daikin	158
15.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά δοχείου αποθήκευσης	159
15.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείου αποθήκευσης ZNX	160
15.3 Επιλογή ηλιακών συλλεκτών της εταιρίας Daikin για την παραγωγή ZNX από τον ήλιο 161	
15.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη.....	161
15.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη.....	162
15.4 Οικονομική σύγκριση της γεωθερμίας με άλλα συμβατικό συστήματα.....	162
Βιβλιογραφία	164
Διαδικτυακοί σύνδεσμοι	165
Παράρτημα Α	166
Σχέδια Οικίας	166
A.1 Κάτοψη στέγης – δώματος.....	167
A.2 Τερματικές μονάδες Fan Coils για θέρμανση-κλιματισμό ισογείου	169
A.3 Τερματικές μονάδες Fan Coils για θέρμανση-κλιματισμό α' ορόφου	170
A.4 Τερματικές μονάδες Fan Coils για θέρμανση-κλιματισμό σοφίτας.....	171

Εισαγωγή

Το κτίριο ως χώρος εστίασης της οικογένειας αλλά και ως εργασιακός χώρος θεωρείται ιερός. Αποτελεί δε αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης ζωής μας, διαμορφώνει ένα σύνολο, αυτό που ονομάζουμε «δομημένο» περιβάλλον και που εντάσσεται στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο. Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

Μέρος Ι

Κεφάλαιο 1^ο

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παράγουν βιώσιμη, καθαρή ενέργεια από πηγές όπως ο ήλιος, ο άνεμος, τα φυτά και το νερό. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας μας, τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, και να συμβάλει σε μια ισχυρή ενεργειακή οικονομία. Υπάρχουν διάφορες πηγές ενέργειας από τις οποίες μπορούμε να πάρουμε ενέργεια. Οι πηγές αυτές είναι:

- Βιομάζα
- Γεωθερμική
- Υδρογόνο
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια
- Ωκεανός

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολικά ενέργεια

1.1.1 Η βιομάζα

Η βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ. Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο.



Εικόνα 1.1: Βιομάζα

Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.λπ.).

1.1.2 Η γεωθερμία

Η γεωθερμία είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η γεωθερμία προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων. Η

θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25ο C μέχρι 360ο C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150ο C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση, δηλαδή θέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων.



Εικόνα 1.2: Ενδεικτικές εφαρμογές γεωθερμίας

Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη), μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή έχει χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων.

1.13 Το υδρογόνο

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο αέριο στην φύση. Στη Γη βρίσκεται κυρίως σε ενώσεις όπως το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α. Εκτιμάται ότι το υδρογόνο θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον, τόσο στα σπίτια όσο και στα αυτοκίνητα μας. Έχει το πλεονέκτημα όταν «καίγεται» να μην ρυπαίνει την ατμόσφαιρα, αφού παράγει μόνο θερμότητα και νερό. Το υδρογόνο στο μέλλον θα παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από την ηλεκτρόλυση του νερού, δηλ. μια διαδικασία κατά την οποία το νερό διασπάται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε υδρογόνο και οξυγόνο. Επομένως, αφού θα παράγεται από το νερό και η χρήση του θα εκλύει νερό, το υδρογόνο θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητο. Ο ηλεκτρισμός που απαιτείται για την παραγωγή

υδρογόνου από νερό ιδανικά μπορεί να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (κυρίως άνεμο και ήλιο), ώστε να είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον.



Εικόνα 1.3: Παραγωγή υδρογόνου

Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει μια ανεμογεννήτρια ή ένα φωτοβολταϊκό θα τροφοδοτεί μία συσκευή ηλεκτρόλυσης που διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Στη συνέχεια το υδρογόνο θα αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές για να χρησιμοποιηθεί όποτε προκύψει ανάγκη. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατάλληλα τροποποιημένους καυστήρες, λέβητες και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ιδανική ενεργειακή του εφαρμογή είναι όμως οι κυψέλες καυσίμου που αποτελούν μια νέα τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού από την ένωση υδρογόνου και οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα σπίτια για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, αλλά και στην κίνηση των αυτοκινήτων. Θα χρειαστεί όμως να περάσουν κάποια χρόνια για να βελτιωθεί η απόδοσή τους και να πέσει το κόστος τους, μέχρι να τις δούμε και στα δικά μας σπίτια και αυτοκίνητα.

1.1.4 Η υδροηλεκτρική ενέργεια

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε) είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της περωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ). Η δέσμευση/ αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για

ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.



Εικόνα 1.4 : Ενδεικτικό διάγραμμα υδροηλεκτρικού σταθμού

Τα περιβαλλοντικά οφέλη ενός Υδροηλεκτρικού Σταθμού είναι ποικίλα. Ακόμα και το μειονέκτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξ αιτίας των μεγάλης κλίμακας έργων πολιτικού μηχανικού, τα οποία ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο προϋποθέτει, με μια καλοσχεδιασμένη μελέτη, μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα, κατά την οποία ο κατακλυσμός της περιοχής από ύδατα μετά τη δημιουργία του φράγματος, δημιούργησε ένα νέο υγροβιότοπο, ο οποίος σύντομα μετατράπηκε σε πόλο τουριστικής έλξης δίνοντας ταυτόχρονα νέες αρδευτικές δυνατότητες στη γύρω περιοχή. Τα Μικρής κλίμακας Υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) είναι κυρίως "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, και συνεπώς ούτε κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων. Γι' αυτό το λόγο γίνεται συνήθως και ο διαχωρισμός μεταξύ μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών. Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, καθώς το σύνολο των επιμέρους παρεμβάσεων στην περιοχή εγκατάστασης του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους.

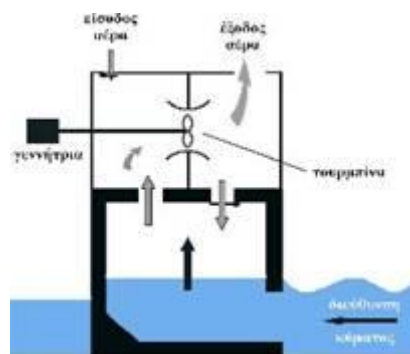
1.1.5 Ενέργεια κυμάτων – ωκεανών

Η θάλασσα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γης και είναι μια τεράστια αποθήκη κινητικής ενέργειας αποθηκευμένης στα κύματα, τις παλίρροιας και τα θαλάσσια ρεύματα. Οι ωκεανοί,

ως φυσικοί αποταμιευτήρες μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας:

- **Από τα κύματα**

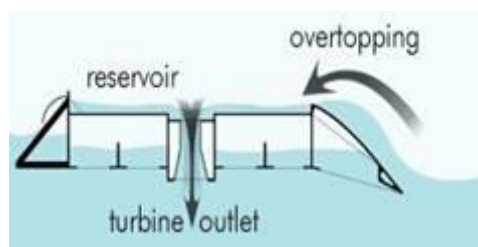
Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων.



Εικόνα 1.5: Από τα κύματα

- **Τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες)**

Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών.

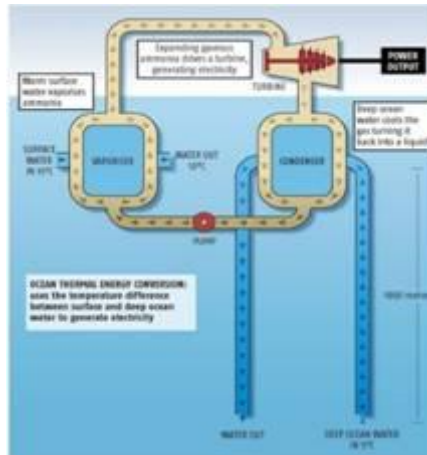


Εικόνα 1.6 : Από τις παλίρροιες

- **Από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού**

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η τεχνολογία μετατροπής της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας,

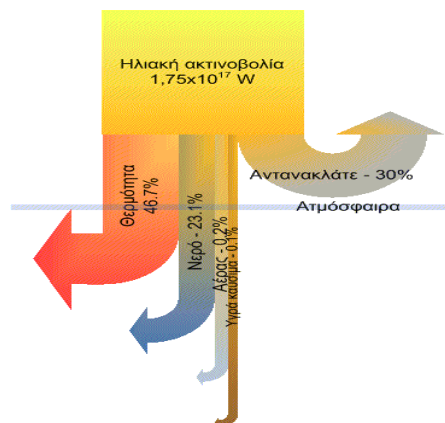
χρησιμοποιεί σε πρώτη φάση το θερμό νερό για να ζεστάνει σε ειδικό θάλαμο μια ποσότητα υγρού που έχει χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία ή ένα μείγμα αμμωνίας και νερού. Όταν το μείγμα αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί αρκετή πίεση ώστε να οδηγήσει έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια το αέριο αυτό παγώνει καθώς διέρχεται μέσα από το ψυχρό νερό του πυθμένα του ωκεανού.



Εικόνα 1.7: Από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού.

1.1.6 Ηλιακή ενέργεια

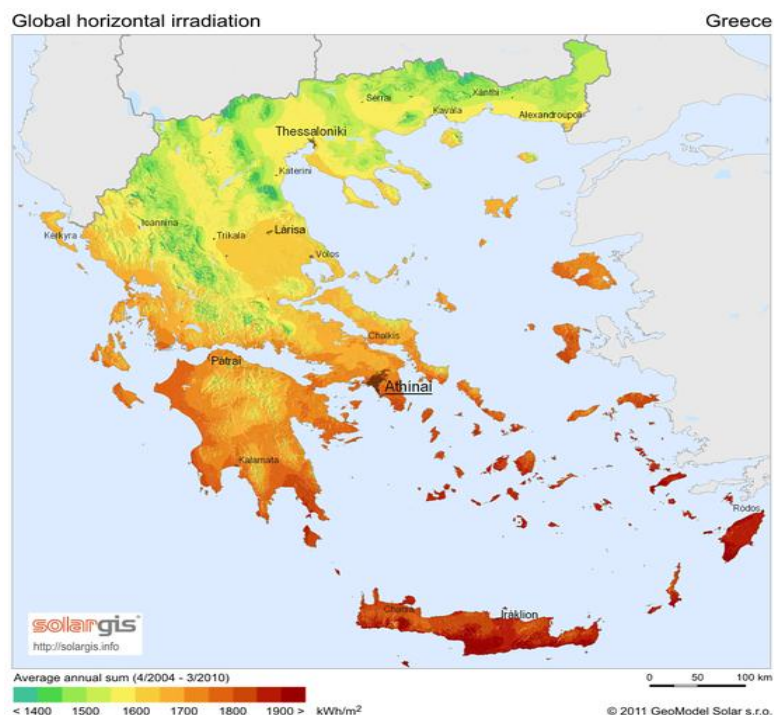
Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ζωής στον πλανήτη μας. Σχεδόν όλες οι μορφές παραγωγής ενέργειας είναι συσχετισμένες έμμεσα ή άμεσα με την ηλιακή. Τα φυτά χρησιμοποιούν τον ήλιο για την διάσπαση του ατόμου του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Το υδρογόνο ενώνεται με το διοξείδιο του άνθρακα για να δημιουργήσει την «τροφή» του φυτού. Τέτοια φυτά που πέθαναν πριν πολλά εκατομμύρια χρόνια δημιούργησαν το κάρβουνο που χρησιμοποιούμε σε διάφορες μορφές παραγωγής ενέργειας. Παρόμοια φυτά έτρωγαν τα ψάρια στις θάλασσες που μετά το πέρας εκατομμυρίων ετών από το θάνατο τους συντέλεσαν στη δημιουργία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Ακόμα και η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια είναι απόλυτα εξαρτημένες με τον ήλιο.



Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 1.8: Κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας



Εικόνα 1.9: Ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα σε οριζόντιο επίπεδο

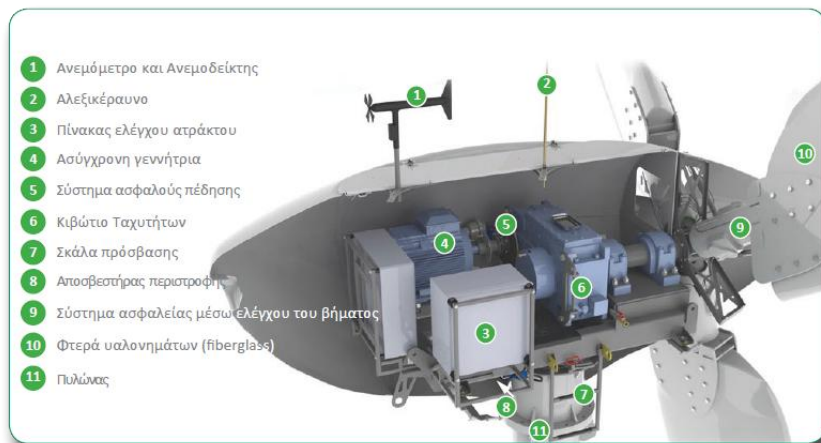
1.1.7 Αιολική ενέργεια

Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν.



Εικόνα 1.10: Αιολικό πάρκο στην Πάτρα

Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται «ανεμογεννήτριες».



Εικόνα 1.11: Απεικόνιση ανεμογεννήτριας

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία.

1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

1.2.1 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

- ✓ Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- ✓ Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- ✓ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτόρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- ✓ Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- ✓ Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.

- ✓ Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

1.2.2 Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

- ✓ Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- ✓ Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- ✓ Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- ✓ Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- ✓ Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Κεφάλαιο 2^ο

Θεωρία Ημιαγωγών

2.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί

Μέσα στον κρύσταλλο ενδογενούς ημιαγωγού θα συνυπάρχουν δυο ειδών ελεύθερα σωματίδια με αντίθετο φορτίο, που μπορούν να μετακινηθούν με την επίδραση οποιουδήποτε εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, συμβάλλοντας έτσι και τα δυο στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του κρυστάλλου. Επειδή στον ημιαγωγό αυτό, οι φορείς δημιουργήθηκαν από μόνοι τους μέσα στον ίδιο κρύσταλλο τον ονομάζουμε **ενδογενή ημιαγωγό**.

2.1.1 Δομή του ατόμου

Σήμερα γνωρίζουμε ότι η ύλη αποτελείται από ενώσεις ατόμων, δημιουργώντας τις πολυάριθμες χημικές ενώσεις που υπάρχουν γύρω μας. Τα άτομα έχουν ένα κεντρικό πυρήνα που αποτελείται από νετρόνια και πρωτόνια και γύρω απ' αυτόν περιφέρονται τα ηλεκτρόνια σε στιβάδες. Τα πρωτόνια έχουν θετικό φορτίο και τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο, που τα φορτία τους είναι ίσα κατά απόλυτη τιμή. Τα νετρόνια είναι ουδέτερα ή δεν έχουν

φορτίο. Αφού το άτομο είναι ουδέτερο, ο αριθμός των ηλεκτρονίων του είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων του.

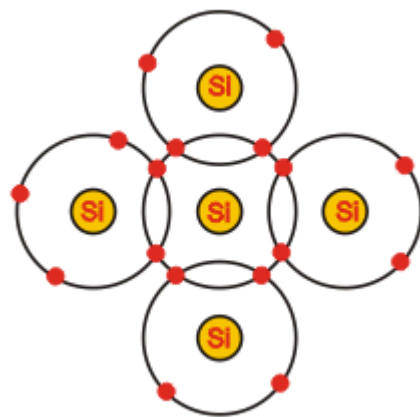
2.1.2 Αγωγοί – μονωτές

Στους αγωγούς, εν αντιθέσει με τους μονωτές, τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στιβάδα (που ονομάζονται ηλεκτρόνια σθένους), είναι χαλαρά συνδεδεμένα με τον πυρήνα και έτσι μπορούν να διαφεύγουν περιφερόμενα μέσα στο σώμα του αγωγού. Χάρη σ' αυτό το φαινόμενο οφείλεται η διέλευση ηλεκτρικών φορτίων, δηλαδή η αγωγιμότητα των αγωγών. Για παράδειγμα ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα, διότι στο άτομο του έχει ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα. Επειδή βρίσκεται τόσο μακριά από τον πυρήνα, ελάχιστα αντιλαμβάνεται την ελκτική δύναμη του και έτσι καταφέρνει και ξεφεύγει από το άτομο δημιουργώντας ένα σύνολο από ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μπορούν να κινούνται εύκολα από το ένα άτομο στο άλλο και έτσι μπορούν να σχηματίσουν μεγάλο ρεύμα στον αγωγό με ελάχιστη τάση.

2.1.3 Ημιαγωγοί

Το γερμάνιο (Ge) και το πυρίτιο (Si) έχουν στο άτομο τους τέσσερα ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους (εξωτερική στιβάδα) και είναι δυο παραδείγματα ημιαγωγών, όπως λέγονται, δηλαδή υλικών που δεν είναι ούτε αγωγοί αλλά ούτε μονωτές.

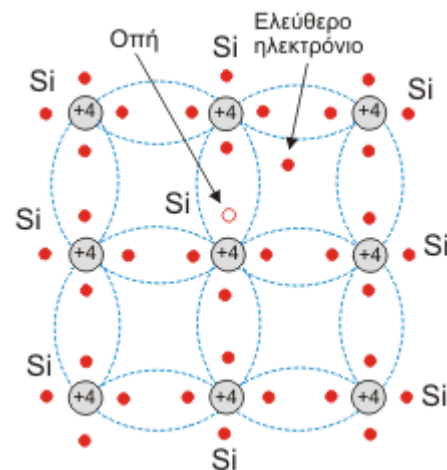
Όταν τα άτομα πυριτίου συνδυάζονται για να σχηματίσουν στερεό, διατάσσονται αυτόματα, σε μια κανονική δομή που λέγεται κρύσταλλος. Σ' αυτή τη δομή, κάθε ένα ηλεκτρόνιο της εξωτερικής στιβάδας του ατόμου συνδέεται με ένα ηλεκτρόνιο από τα γειτονικά άτομα, σχηματίζοντας ομοιοπολικούς δεσμούς. Έτσι μ' αυτό τον τρόπο, το άτομο του πυριτίου καταφέρνει να συμπληρώσει την εξωτερική στιβάδα με οκτώ ηλεκτρόνια, αποκτώντας χημική ευστάθεια.



Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα άτομα των κρυστάλλων εκτελούν τυχαίες ταλαντώσεις γύρω από τη θέση ισορροπίας τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τόσο μεγαλύτερο γίνεται το πλάτος αυτών των ταλαντώσεων. Έτσι ορισμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί με θερμική διέγερση σπάζουν και το αποδεσμευμένο ηλεκτρόνιο αποκτά επιπλέον ενέργεια ώστε να γίνει ελεύθερο και να κινείται εύκολα στον κρύσταλλο. Η

απομάκρυνση του ηλεκτρονίου αφήνει ένα κενό στη στιβάδα σθένους που λέγεται οπή. Αυτή η οπή συμπεριφέρεται σαν θετικό φορτίο, με την έννοια ότι μπορεί να έλκει και να συλλαμβάνει κάθε ηλεκτρόνιο σθένους που βρίσκεται σε γειτονικό άτομο, δημιουργώντας οπή σ' αυτό. Έτσι η οπή καταφέρνει να κινείται στο σώμα του ημιαγωγού, και η κίνηση της θα διακοπεί όταν «επανασυνδεθεί» με ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και αλληλοεξουδετερωθούν.

Όταν εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο στον ημιαγωγό, οι οπές θα κινηθούν με κατεύθυνση αντίθετη από εκείνη των ελεύθερων ηλεκτρονίων, σχηματίζοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι σε ένα καθαρό ημιαγωγό, του οποίου όλα τα άτομα είναι ίδια, το ηλεκτρικό ρεύμα που το διαρρέει, έχει δυο ίσες συνιστώσες: ενός ρεύματος ηλεκτρονίων και ενός ρεύματος οπών, διότι σε ένα καθαρό ημιαγωγό, ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ελεύθερων οπών. Ένας τέτοιος ημιαγωγός ονομάζεται ενδογενής ημιαγωγός.



Σε έναν ημιαγωγό η συγκέντρωση (αριθμός/κυβικό εκατοστό) των ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών δεν αυξάνεται συνεχώς λόγω θερμικής διέγερσης. Ο μηχανισμός επανασύνδεσης, που είναι ανάλογος των συγκεντρώσεων τους, οδηγεί σε μια κατάσταση ισορροπίας όπου οι ρυθμοί γένεσης και επανασύνδεσης εξισώνονται. Αυτή η διαδικασία καθορίζει τις συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών σε ένα καθαρό ημιαγωγό σε κάθε θερμοκρασία και κατ' επέκταση την αγωγιμότητα και ειδική αντίσταση του σε κάθε θερμοκρασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε έναν καθαρό ημιαγωγό η αντίσταση ελαττώνεται εκθετικά με τη θερμοκρασία.

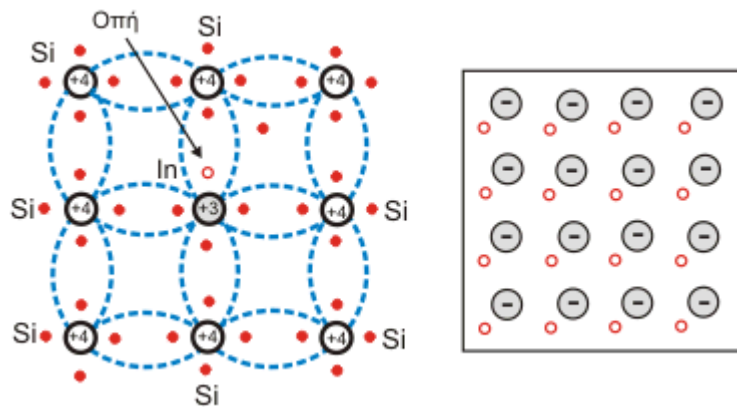
2.2 Ημιαγωγοί προσμίξεων

Οι ενδογενείς ημιαγωγοί έχουν ίσες συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων και οπών, γι' αυτό το λόγο οι εφαρμογές τους είναι περιορισμένες για το λόγο ότι η αντίστασή τους μεταβάλλεται πολύ έντονα όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ή όταν φωτίζονται. Αν σε έναν ενδογενή ημιαγωγό προστεθεί μια πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της τρίτης ή της πέμπτης ομάδας του περιοδικού πίνακα, ο ημιαγωγός αποκτά προσμίξεις. Η διαδικασία προσθήκης προσμίξεων ονομάζεται εμπλουτισμός και το υλικό εμπλουτισμένος ημιαγωγός. Σε ένα τέτοιο ημιαγωγό όπου οι προσμίξεις καθορίζουν τις συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών, ο ημιαγωγός πάει να είναι ενδογενείς. Επειδή οι συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών καθορίζονται πλέον από ένα εξωγενή παράγοντα, δηλαδή τις προσμίξεις, ο ημιαγωγός ονομάζεται εξωγενής ημιαγωγός. Το είδος των προσμίξεων που θα χρησιμοποιηθεί θα καθορίσει αν η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη των οπών ή συγκέντρωση των οπών μεγαλύτερη από εκείνη των ηλεκτρονίων. Στην πρώτη περίπτωση ο

ημιαγωγός καλείται τύπου N και στη δεύτερη τύπου P, από το γεγονός ότι τα φορτία που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ηλεκτρόνια δηλ. αρνητικά ή οπές δηλ. θετικά, αντίστοιχα. Σε ένα τέτοιο ημιαγωγό οι προσμίξεις καταλαμβάνουν θέσεις των ατόμων του υλικού και σχηματίζουν δεσμούς.

2.2.1 Ημιαγωγοί τύπου P

Οι ημιαγωγοί τύπου P δημιουργούνται όταν σε ένα ημιαγωγό όπως, το πυρίτιο ή το γερμάνιο, προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται συνήθως ως προσμίξεις είναι το βόριο, το γάλλιο και το ίνδιο ενώ η ποσότητα που



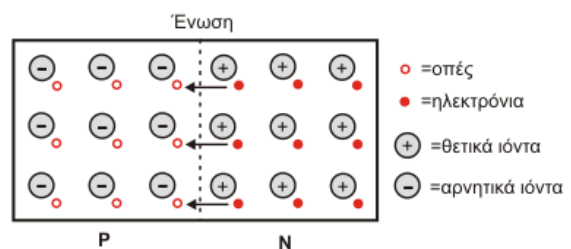
απαιτείται είναι, όπως και στους ημιαγωγούς τύπου N, της τάξης των μερικών μερών στο εκατομμύριο. Τα άτομα της πρόσμιξης καταλαμβάνουν θέσεις των ατόμων του ημιαγωγού. Επειδή τα άτομα της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα έχουν τρία ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους, όταν καταλάβουν μια θέση ενός ατόμου του ημιαγωγού, θα χρησιμοποιήσουν όλα τα ηλεκτρόνια σθένους για το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών. Έτσι θα παραμείνει ένα γειτονικό άτομο του ημιαγωγού, το οποίο θα απαιτεί ένα ηλεκτρόνιο για να σχηματίσει την πλήρη δομή των οκτώ ηλεκτρονίων στην εξωτερική στοιβάδα του. Το απαιτούμενο ηλεκτρόνιο αυτό θα το «δανειστεί» από κάποιο γειτονικό άτομο του ημιαγωγού. Το ηλεκτρόνιο που θα καταλάβει, με αυτό τον τρόπο, την κενή θέση θα ιονίσει με αρνητικό φορτίο το άτομο της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Η διαδικασία αυτή αντιστοιχεί με την «απελευθέρωση» μιας οπής και επειδή τα άτομα αυτά αποδέχονται ένα ηλεκτρόνιο ονομάζονται αποδέκτες. Η δομή των δεσμών ενός αποδέκτη κάνει πολύ πιο εύκολη την απελευθέρωση μιας οπής από ότι μπορεί να συμβεί σε ένα άτομο του ημιαγωγού σε θερμοκρασία δωματίου. Το ηλεκτρόνιο που έχει καλύψει το έλλειμμα του δεσμού παραμένει ακίνητο στον αποδέκτη. Στους ημιαγωγούς τύπου P υπάρχουν και ελεύθερα ηλεκτρόνια, των οποίων όμως η συγκέντρωση είναι πολύ μικρότερη από αυτή των οπών. Έτσι η προσθήκη αποδεκτών έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές οπές και πολύ λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια στον ημιαγωγό. Σε ένα ημιαγωγό τύπου P οι φορείς πλειονότητας είναι οπές, ενώ οι φορείς μειονότητας τα ηλεκτρόνια. Τέλος, η αύξηση της συγκέντρωσης των αποδεκτών σε ένα ημιαγωγό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των οπών και συνεπώς της αγωγιμότητας του. Στους εξωγενείς ημιαγωγούς η τιμή της ειδικής αντίστασης είναι σταθερή σε μια ευρεία περιοχή θερμοκρασιών, εν αντιθέσει με τους ενδογενείς ημιαγωγούς που δεν

είναι σταθερή. Αυτό προκύπτει από την ευκολία με την οποία παρέχουν φορείς οι δότες ή αποδέκτες σε ημιαγωγό τύπου N ή τύπου P αντίστοιχα.

2.3 Επαφή / δίοδος PN

2.3.1 Φυσική λειτουργία

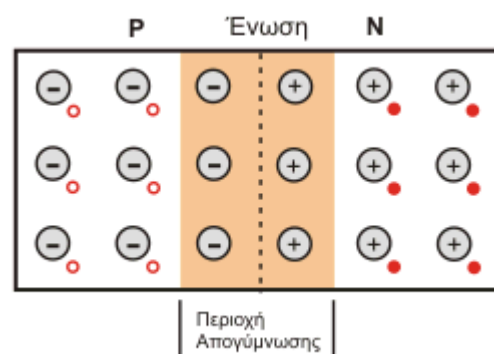
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ημιαγωγοί με προσμίξεις είναι δυο τύπων. Οι ημιαγωγοί τύπου N έχουν περισσότερους αρνητικούς φορείς, δηλαδή έχουν περίσσεια ηλεκτρονίων και για το λόγο αυτό ονομάζονται τύπου N. Αντιθέτως οι ημιαγωγοί τύπου P έχουν περίσσεια θετικών φορτίων ή οπών. Οι οπές είναι έλλειψη ηλεκτρονίων.



Όταν ένα μικρό κομμάτι ημιαγωγού τύπου N έλθει σ' επαφή με κομμάτι ημιαγωγού τύπου P, τότε δημιουργείται μια ένωση PN ή επαφή PN η οποία αποτελεί ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα πολύ χρήσιμο και ονομάζεται δίοδος PN.

Η επαφή PN φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το σημείο της ένωσης παρίσταται με μια κάθετη διακεκομμένη γραμμή. Το τμήμα τύπου N αποτελείται από θετικά ιόντα πεντασθενούς στοιχείου και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Υπάρχει επίσης μικρός αριθμός οπών. Στο τμήμα τύπου P υπάρχουν αρνητικά ιόντα τρισθενούς στοιχείου, αρκετές οπές και μικρός αριθμός ηλεκτρονίων.

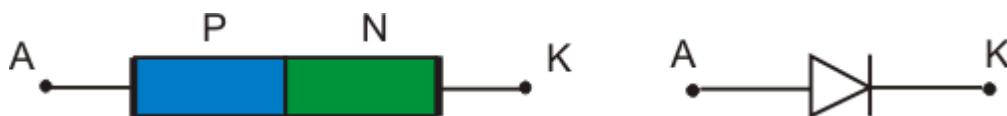
Την στιγμή της δημιουργίας της επαφής PN, τα ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου N που ευρίσκονται κοντά στο σημείο της ένωσης θα κινηθούν προς τον ημιαγωγό τύπου P με σκοπό να επανασυνδεθούν με τις οπές που υπάρχουν εκεί. Έτσι δημιουργείται επανασύνδεση οπών και ηλεκτρονίων στα δυο τμήματα και έτσι δεξιά και αριστερά του σημείου επαφής και στο μεν ημιαγωγό τύπου N δημιουργείται ένα τμήμα με θετικά μόνο ιόντα χωρίς ηλεκτρόνια, στο δε



ημιαγωγό τύπου P δημιουργείται ένα τμήμα με αρνητικά μόνο ιόντα, χωρίς οπές. Αυτά τα δυο τμήματα είναι «απογυμνωμένα» από τους φορείς τους και αποτελούν μαζί την περιοχή απογύμνωσης όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Έξω από την περιοχή απογύμνωσης η δομή των ημιαγωγών δεν έχει αλλάξει και αποτελείται από ιόντα και φορείς. Αυτό συμβαίνει διότι για να μπορέσει ένα ηλεκτρόνιο να επανασυνδεθεί με μια οπή ή αντίστροφα, πρέπει να υπερπηδήσει την περιοχή απογύμνωσης, η οποία όμως με τη συγκέντρωση των ιόντων σ' αυτήν, αποτελεί ένα εμπόδιο και δημιουργεί ένα φραγμό δυναμικού. Το δυναμικό φραγμού παριστάνεται με VO στο παραπάνω σχήμα και είναι μια διαφορά δυναμικού που η πολικότητα της αντιτίθεται στη διάχυση των φορέων.

Η επαφή PN που δημιουργήθηκε με τον πιο πάνω τρόπο λέγεται δίοδος PN διότι αφήνει να διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα από αυτήν μόνο προς μια κατεύθυνση όπως θα δούμε στη συνέχεια.



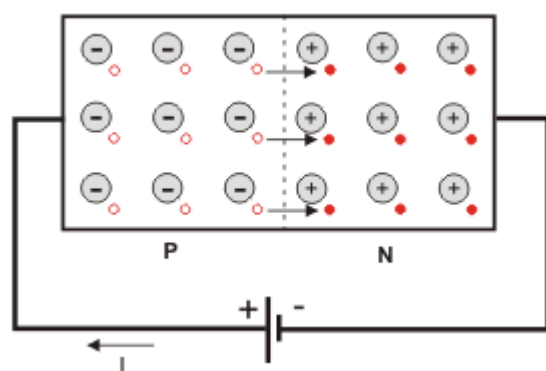
Για να δημιουργηθεί μια δίοδος PN, συνδέονται τα άκρα των δυο ημιαγωγικών τμημάτων τύπου P και N με μεταλλικές επαφές και έτσι δημιουργείται η άνοδος της διόδου από την πλευρά του ημιαγωγού P και η κάθοδος της διόδου στην πλευρά N. Η δίοδος PN συμβολίζεται με ένα βέλος στην πλευρά P και μια γραμμή στην πλευρά N.

2.4 Η δίοδος PN σε ορθή και ανάστροφη πόλωση

Στην προηγούμενη παράγραφο η επαφή PN ήταν ανοικτή, δηλαδή δεν υπήρχε εξωτερική τάση στα άκρα της. Όταν εφαρμοστεί εξωτερική τάση στα άκρα μιας διόδου, υπάρχουν δυο τρόποι σύνδεσης της πηγής: κατά την ορθή και κατά την ανάστροφη φορά.

2.4.1 Πόλωση κατά την ορθή φορά

Μια δίοδος είναι πολωμένη κατά την ορθή φορά εάν η εξωτερική πηγή είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα ώστε ο θετικός πόλος της να είναι στο τμήμα P της διόδου και ο αρνητικός πόλος στο τμήμα N της διόδου. Ως γνωστόν σε μια ηλεκτρική πηγή υπάρχει μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων στον αρνητικό πόλο και μεγάλος αριθμός θετικών φορτίων



στο θετικό πόλο. Με την αγώγιμη σύνδεση της πηγής με τη δίοδο κατά την ορθή φορά, τα θετικά φορτία από τον θετικό πόλο της πηγής πηγαίνουν στο τμήμα P της διόδου και τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν στο τμήμα N.

Με τον τρόπο αυτό η συγκέντρωση των οπών στο τμήμα P μεγαλώνει, η περιοχή απογύμνωσης γίνεται στενότερη και ορισμένες οπές με μεγάλη κινητική ενέργεια καταφέρνουν να υπερπηδήσουν το φραγμό δυναμικού και να μπουν στο τμήμα N της διόδου. Η ίδια διαδικασία συμβαίνει και με τα ηλεκτρόνια της περιοχής N που εισέρχονται στο τμήμα P.

Όσο αυξάνει η εξωτερική τάση τόσο η περιοχή απογύμνωσης γίνεται μικρότερη μέχρι που μηδενίζεται και έχουμε ροή ρεύματος στο κύκλωμα που ονομάζεται ρεύμα ορθής φοράς ή ρεύμα διάχυσης I_F .

Η τιμή της εξωτερικής τάσης που πρέπει να εφαρμοστεί στη δίοδο για να διέλθει ρεύμα στο κύκλωμα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το δυναμικό φραγμού που είναι μερικά δέκατα του Volt ($V \geq V_0 = 0,3V$ για γερμάνιο και $0,5V$ για πυρίτιο). Το ρεύμα έχει μικρή τιμή μέχρι μια τάση που λέγεται τάση κατωφλίου ή γόνατος V_g , μετά την οποία το ρεύμα αυξάνεται εκθετικά. Η τάση γόνατος για μεν το γερμάνιο είναι $0,3V$ για δε το πυρίτιο είναι $0,7V$.

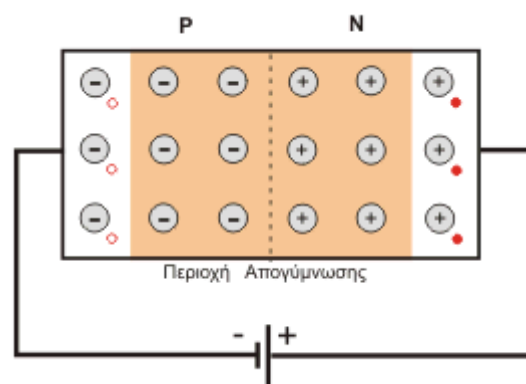
Όσον αφορά δε το ρεύμα του εξωτερικού κυκλώματος αυτό είναι: $I = I_F - I_0$ όπου I_0 λέγεται ανάστροφο ρεύμα κόρου και είναι το ρεύμα που προέρχεται από την θερμική διέγερση του ημιαγωγού και η τιμή του είναι της τάξης των μικροαμπέρ (μA)

2.4.2 Πόλωση κατά την ανάστροφη φορά

Μια δίοδος PN είναι πολωμένη κατά την ανάστροφη φορά εάν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής είναι συνδεδεμένος με το τμήμα N της διόδου και ο αρνητικός πόλος με το τμήμα P, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Μετά την αγώγιμη σύνδεση, τα θετικά φορτία από τον θετικό πόλο της πηγής εισέρχονται στο τμήμα N, σαν οπές και επανασυνδέονται με τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν εκεί σε μεγάλη συγκέντρωση. Με τον ίδιο μηχανισμό, τα ηλεκτρόνια από τον αρνητικό πόλο της πηγής εισέρχονται στο τμήμα P και επανασυνδέονται με τις οπές που υπάρχουν εκεί σε μεγάλη συγκέντρωση.

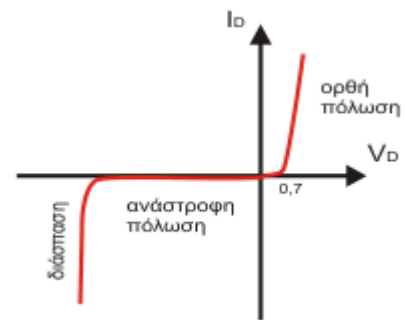
Με τις επανασυνδέσεις αυτές η περιοχή απογύμνωσης αυξάνει διότι δημιουργούνται περισσότερα «απογυμνωμένα» θετικά και αρνητικά ιόντα.



Ορισμένα ηλεκτρόνια που έχουν αρκετή κινητική ενέργεια διότι προκύπτουν από την διάσπαση των δεσμών των ατόμων του ημιαγωγού, υπερπηδούν και τη νέα περιοχή απογύμνωσης και έτσι στο κύκλωμα υπάρχει ρεύμα I_0 που λέγεται ανάστροφο ρεύμα κόρου και είναι πολύ μικρό (της τάξης μA). Το ρεύμα μπορεί να αυξηθεί με παροχή εξωτερικής ενέργειας όπως θερμική, ηλεκτρική ή φωτεινή.

2.5 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου PN

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά την ορθή πόλωση της διόδου με την αύξηση της τάσης θα υπάρχει κατ' αρχή ένα μικρό ρεύμα και μετά την τάση γόνατος V_g μια μεγάλη αύξηση του ρεύματος. Αντίθετα, κατά την ανάστροφη φορά θα υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα, σχεδόν σταθερό, το οποίο θα αυξήσει ελάχιστα την τιμή του μέχρις ότου η τάση θα φθάσει μια ορισμένη τιμή, που καλείται τάση διάσπασης ή Zener, όπου το ρεύμα αυξάνεται απότομα. Συνεπώς υπάρχουν τρεις περιοχές στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V μιας διόδου: η περιοχή ορθής πόλωσης, η περιοχή ανάστροφης πόλωσης και η περιοχή διάσπασης. Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η τυπική χαρακτηριστική πυριτίου.



Κεφάλαιο 3^ο

Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο και Τεχνολογία

3.1 Ιστορία του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, τη χρήση δηλαδή της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα

Η πρώτη ηλιακή κυψέλη κατασκευάστηκε στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Η απόδοσή της ήταν 6% (βαθμός εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας).

Τέσσερα χρόνια μετά, το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I.

Το 1963 η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την Sharp, σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242Wp και έχει εξαιρετική απόδοση ακόμα και σε ανεμοθύελλες:



Εικόνα 3.1: Η 1η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση

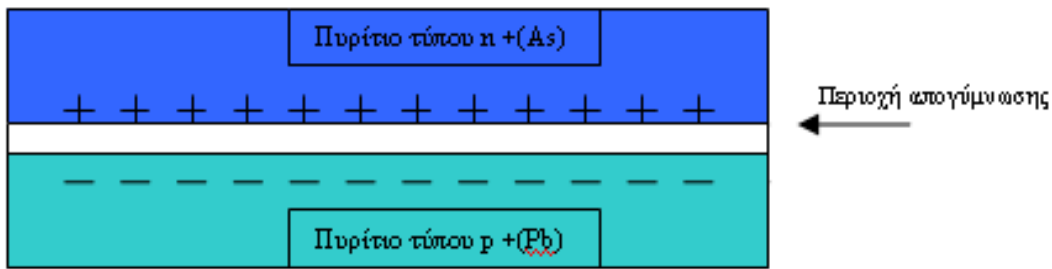
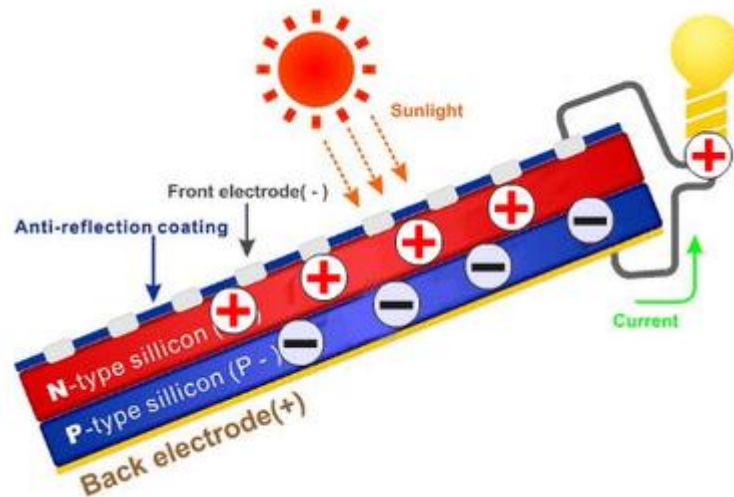
Η πρώτη εγκατάσταση PV που φτάνει στα επίπεδα του 1MW (μεγαβάτ) γίνεται στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων.

Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας

Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Εάν συνδέσουμε στις πλευρές του δύο ακροδέκτες και κλείσουμε το κύκλωμα, θα έχουμε την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 3.2: Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια διόδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

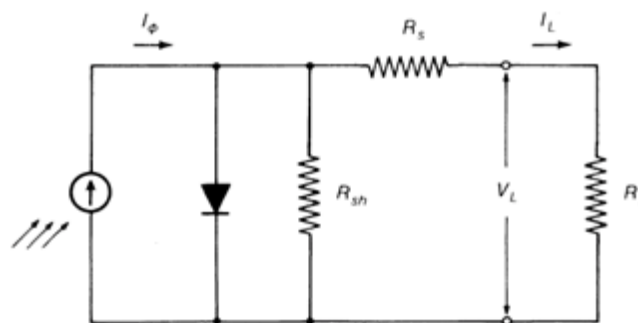
Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

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

για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

3.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β στοιχείων

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου φαίνεται στην Εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου. Περιλαμβάνονται η αντίσταση σειράς R_s και η παράλληλη αντίσταση R_{sh}

Παρατηρούμε ότι το φ/β στοιχείο αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια διόδο. Το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει ακόμα την αντίσταση σειράς R_s , η οποία εμποδίζει την κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} , η οποία εμφανίζεται λόγω διαρροών ρεύματος κάνοντας των αντίσταση διαμέσου της διόδου μη άπειρη.

Το παραγόμενο φωτορεύμα από το στοιχείο δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\phi} = I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{\gamma kT} \right) - 1 \right] \quad [3.1]$$

Όπου:

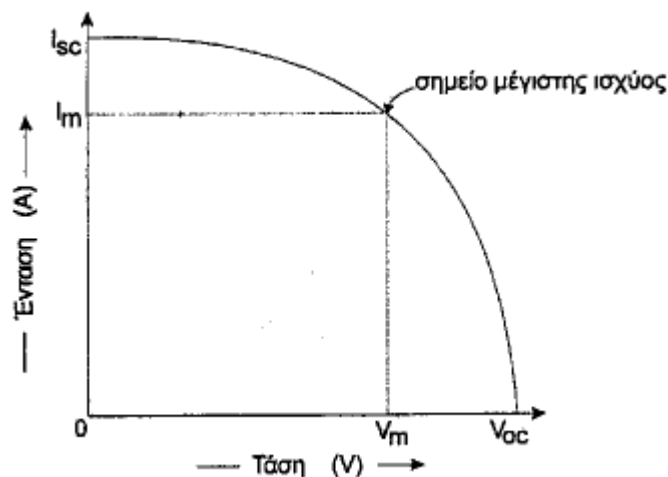
I_0 το ανάστροφο ρεύμα κόρου, V η τάση που δημιουργείται στα άκρα της διόδου, γ ο συντελεστής ποιότητας της διόδου (μεταξύ 1 και 2), k η σταθερά Boltzmann, T η απόλυτη θερμοκρασία.

Ενώ, με ανάλυση του ισοδυνάμου κυκλώματος, το ρεύμα που καταλήγει τελικά στο φορτίο υπολογίζεται:

$$I_L = \frac{I_{\phi} - I_0 \left[\exp \left(\frac{e(V_L - I_L R_S)}{\gamma k T} \right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{Sh}}}{1 + \frac{R_S}{R_{Sh}}} \quad [3.2]$$

Όπου: V_L η τάση εξόδου του φ/β στοιχείου.

Η χαρακτηριστική τάσης-έντασης (V-I) ενός φ/β στοιχείου έχει τη μορφή του Εικόνα 3.4



Εικόνα 3.4: Χαρακτηριστική τάσης – έντασης Φ/Β στοιχείου

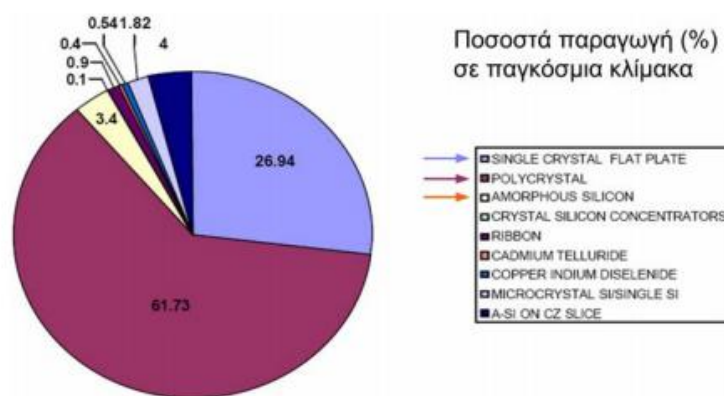
Από την χαρακτηριστική φαίνεται ότι θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης του φορτίου για την οποία η ισχύς που παράγεται από το φ/β στοιχείο θα είναι μέγιστη και σε αυτό αντιστοιχούν οι μέγιστες τιμές τάσης V_m και έντασης I_m .

Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι η ισχύς που παράγεται για κάθε ζεύγος τιμών τάσης- έντασης δεν είναι πάντα σταθερή αλλά μηδενίζεται όπως φαίνεται εύκολα στις ακραίες συνθήκες ανοιχτοκύκλωσης-βραχυκύκλωσης και παρουσιάζει ένα μέγιστο για συγκεκριμένη τιμή τάσης-έντασης (Σχήμα 2). Επιθυμητό είναι λοιπόν σε κάθε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών οι συστοιχίες να λειτουργούν παράγοντας τις τιμές αυτές τάσης-έντασης που δίνουν κάθε στιγμή τη μέγιστη ισχύ. Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια τροφοδοτεί απευθείας ένα συγκεκριμένο φορτίο κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό καθώς η τιμή του φορτίου έχει συγκεκριμένη αντίσταση. Όταν όμως μεταξύ γεννητριών και κατανάλωσης παρεμβάλλονται ηλεκτρονικά για τον έλεγχο της ισχύος, για την ρύθμιση φόρτισης συσσωρευτών, για την ανύψωση ή και την αλλαγή μορφής της παραγόμενης τάσης, τότε υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργούν αυτές σε

ένα μέγιστο σημείο. Αυτό το αναλαμβάνουν ειδικοί ανιχνευτές της μέγιστης ισχύος ή maximum power point trackers (MPPT).

3.4 Τεχνολογία φωτοβολταϊκού κυττάρου

Τα Φ/Β πλαίσια δημιουργούνται από την εν σειρά και παράλληλη διασύνδεση φωτοβολταϊκών κυττάρων που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Για την κατασκευή των τελευταίων χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά υλικά όπως το GaAs, CdTe, αλλά όπως αποδεικνύεται και από το Σχήμα 1, τη μερίδα του λέοντος στην παγκόσμια παραγωγή Φ/Β πλαισίων κατέχουν τα κύτταρα πυριτίου (Si).



Εικόνα 3.5: Υλικά κατασκευής Φ/Β κυττάρων σε παγκόσμια κλίμακα (α) Το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό.

3.4.1 Μονοκρυσταλλικά κύτταρα Si -monocrystalline solar cells



Η ονομασία τους προέρχεται από την μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος των ατόμων Si που πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο. Κατασκευάζονται ύστερα από ψύξη λιωμένου Si και πριονισμό του σε λεπτές πλάκες - τα κύτταρα. Η ανάγκη χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού

Si (ακριβή «πρώτη» ύλη), η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος αυξάνει το κόστος παραγωγής δίνοντας τους όμως τον καλύτερο βαθμό απόδοσης από τις τρεις κατηγορίες φθάνοντας το 15-18%. Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην υπέρυθη ακτινοβολία που το ενεργειακό της περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό.

3.4.2 Πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si -polycrystalline solar cells



Σε αντίθεση με τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα στο πλέγμα τους περιλαμβάνουν κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Αιτία αυτής της διαφοροποίησης, η μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη ψύξη του Si, κάτι που μειώνει αισθητά το κόστος παραγωγής. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη το πολυκρυσταλλικό πλέγμα πριονίζεται στα λεπτά Φ/Β κύτταρα. Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με αποτέλεσμα ο συνολικός βαθμός απόδοσης να μην μπορεί να ξεπεράσει το 13-15%.


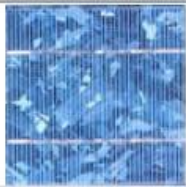

3.4.3 Κύτταρα άμορφου πυριτίου a-Si



Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

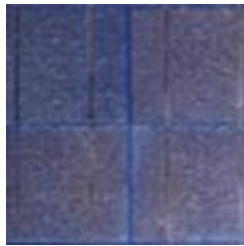
Ο χαρακτηρισμός **ΑΜΟΡΦΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ** προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.

ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά άμορφων πλαισίων.

3.4.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)



Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

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.

3.4.5 Υβριδικό φωτοβολταϊκό κύτταρο



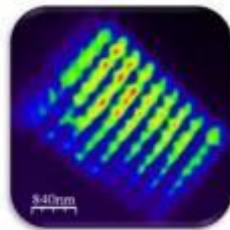
Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.
- Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ.

Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα

πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

3.4.6 Κύτταρα πυριτικών ινών - Nanowires solar cells



Σήμερα, με την βοήθεια της νανοτεχνολογίας, κατασκευάζονται στα εργαστήρια τα λεγόμενα nanowires solar cells.

Το υλικό αυτό αποτελείται από χιλιάδες μικρές πυριτικές ίνες με διάμετρο 300 nm αυξάνοντας την επιφάνεια των κυψελίδων κατά 100 φορές, με την επικάλυψη πολλών στρωμάτων πολυμερούς υλικού. Επίσης, η τεχνολογία των plasmonic θα βελτιώσει τις αποδόσεις και το μέγεθος των Φ/Β κυψελίδων, έτσι ώστε στο προσεχές μέλλον να μιλάμε για την εποχή των φωτοβολταϊκών τετραβάτ.

Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως:

3.4.7 Κύτταρα δισεληνοϊνδιούχου χαλκού



Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

3.4.8 Κύτταρα τελουριούχο Κάδμιου (CdTe)



Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

3.4.9 Κύτταρα αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)



Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται

για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Κεφάλαιο 4^ο

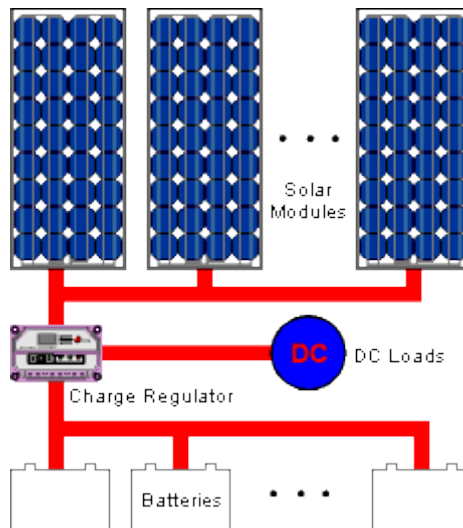
Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

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.

Πιο συγκεκριμένα ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από :

- το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη)
- το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (μπαταρίες)
- τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία.

Μία τυπική συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και δίχως καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον.



Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου (ηλιακά στοιχεία = solar cells) που βρίσκονται ερμητικά σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. υγρασία). Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά του μέτρου, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως στους υαλοπίνακες των κτιρίων. Τα εσωτερικά είναι διασυνδεδεμένα εν σειρά και παραλλήλω ανάλογα με την εφαρμογή.

4.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell)

Είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη. 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.



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση φωτοβολταϊκών στοιχείων

4.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module)

Είναι ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

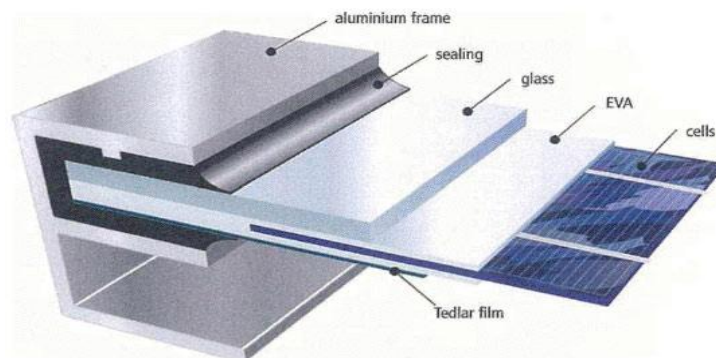


Εικόνα 4.2: Διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

4.3 Φωτοβολταϊκό πάνελ (PV module)

Είναι ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

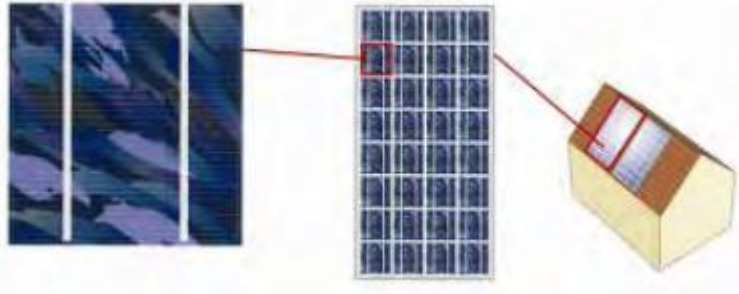
Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών 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.



Εικόνα 4.3: Κύρια μέρη φωτοβολταϊκού πάνελου

4.4 Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array)

Είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.



Εικόνα 4.4: Απεικόνιση φωτοβολταϊκής συστοιχίας

4.5 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator)

Είναι το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.

4.6 Αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter)

Ο αντιστροφέας (επίσης μετατροπέας ή αναστροφέας) (inverter) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη.

Ο αντιστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτόνομα συστήματα ενέργειας με συσσωρευτές, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος).

Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αντιστροφείς "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων".

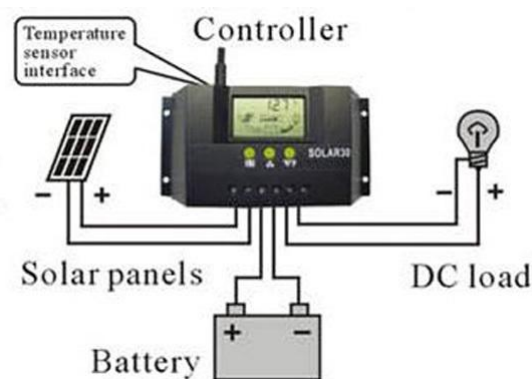
Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αντιστροφών "αυτόνομων συστημάτων", η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αντιστροφείς "καθαρού ημιτόνου" και "τροποποιημένου ημιτόνου". Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου έχουν υψηλότερο κόστος αλλά επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, είναι συμβατοί με όλες τις συσκευές και έχουν γενικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 4.5: Διάφοροι τύποι inverter

4.7 Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller)

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση και αποφόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία. Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης. Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από το πόσα watt θα είναι τα φωτοβολταϊκά panels που θα συνδέουμε σε αυτόν.



Εικόνα 4.6: Τυπική συνδεσμολογία ρυθμιστή φόρτισης

4.8 Συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες) για φωτοβολταϊκά συστήματα

Η **μπαταρία** είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδεσμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική στήλη. Η ανάπτυξη των μπαταριών άρχισε με την κατασκευή της Βολταϊκής στήλης από τον Αλεσάντρο Βόλτα. Εικάζεται όμως ότι κάποια αντικείμενα, που χρονολογούνται γύρω στο έτος 600 και είναι γνωστά σαν Μπαταρίες της Βαγδάτης, είχαν χρησιμοποιηθεί τότε για την παραγωγή μικρής ποσότητας ηλεκτρισμού.

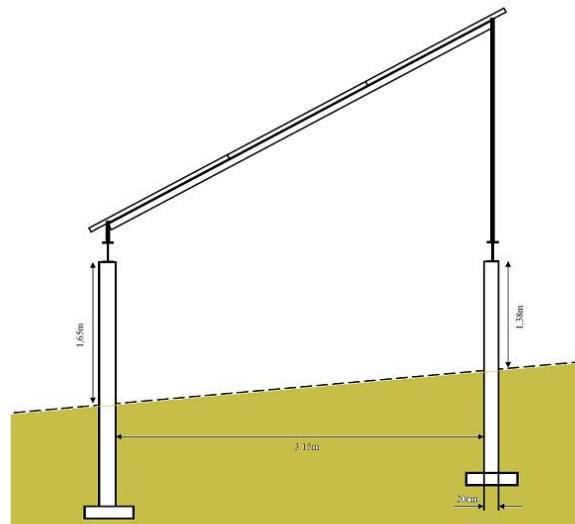
Ο **συσσωρευτής** στην ηλεκτρολογία είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια (αφού τη μετατρέψει σε χημική) και όταν χρειαστεί, να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεσή τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή). Έτσι, στον ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται χημικές διεργασίες, που έχουν σχέση με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.



Εικόνα 4.7: Ηλιακές μπαταρίες

4.9 Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων

4.9.1 Σταθερά Συστήματα



Διάταξη συστοιχίας, βάσεων στήριξης και στύλων στον χώρο (πλάγια όψη).

a. Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια πχ. προσόψεις, στέγες.

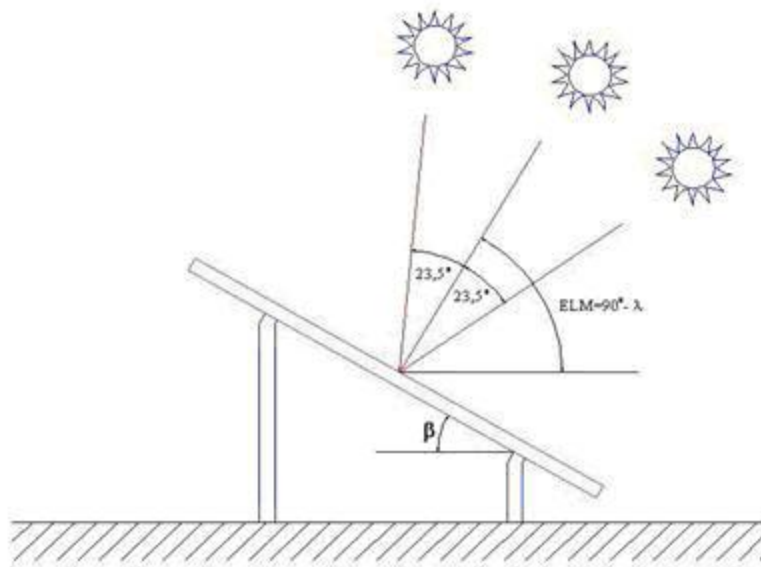
Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Όταν ο χώρος τοποθέτησης δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, είναι η πιο απλή περίπτωση. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο (στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε βόρειο). Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το λ του τόπου, οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{ελ}=(90\circ-\lambda)-23,5\circ$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη $ELM_{μεγ}=(90\circ-\lambda)+23,5\circ$ (21 Ιουνίου) και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτίνων κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,5\circ$ έως $+23,5\circ$. Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με την γωνιά λ του τόπου, η μέση ημερησία τιμή της ετησίας ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη.

Για να προκύψει, βεβαία η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και το albedo του εδάφους (ανακλαστικότητα του εδάφους). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων, για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρο) σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη το albedo του εδάφους.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (>200) βρίσκεται στην περιοχή $\lambda-(10\circ\div 15\circ)$.
- Για τόπους με μικρά λ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι $0\circ$. Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία $5\circ\div 10\circ$ ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).
- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta=\lambda-10^\circ$.
- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta=\lambda+15\circ$. Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $\beta=\lambda-15\circ$.
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.



b. Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνιάς κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90ο.

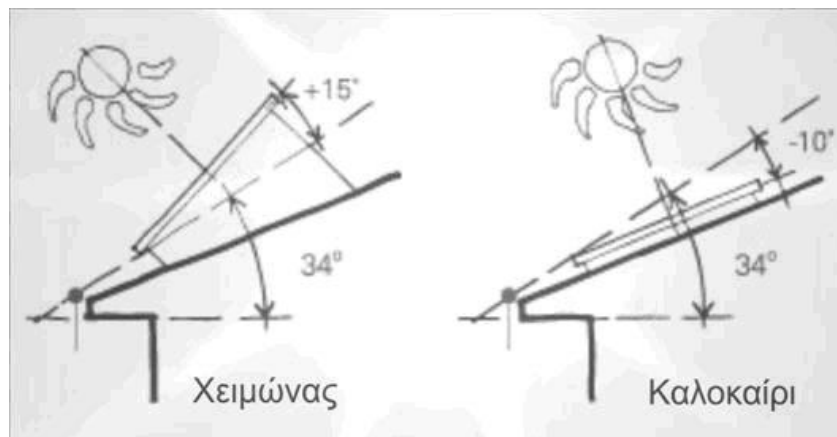
Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, άνεμου, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και το albedo του εδάφους όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.

Συμπέρασμα:

- Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι: $\beta = \lambda + (10 \div 15)$.
- Κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι: $\beta = \lambda - (10 \div 15)$.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση:

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους.
- Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.



Εικόνα 4.8: Εποχιακές γωνίες κλίσης του συλλέκτη

4.9.2 Κινητά Συστήματα

Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (tracker system)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι συλλέκτες τοποθετούνται είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μικρή απολαβή ενεργείας από τον ήλιο ιδιαίτερα στην πρώτη μέθοδο, με σταθερή γωνία κλίσης. Μια βελτιωμένη εκδοχή είναι η δεύτερη μέθοδος με αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη. Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές μοιάζουν αρκετά με το φυτό ηλιοτρόπιο ή ηλίανθος, από όπου πήραν και το όνομα τους. Τα ηλιοτρόπια (trackers) στρέφουν τους συλλέκτες έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Με τα ηλιοτρόπια υπάρχει μια αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος 30% - 50%, σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες ηλιοτροπίων ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν:

- Στροφή γύρω από έναν άξονα
- Στροφή γύρω από δύο άξονες

1. Στροφή γύρω από έναν Άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ' όλη την ημέρα καταλήγοντας στην δύση. Διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

- Το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο
- Το πολικό ηλιοτρόπιο

Αζιμουθιακό Ηλιοτρόπιο

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη. Δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Για την επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών ακολουθείται η ίδια λογική με τις προηγούμενες μεθόδους. Δηλαδή τοποθετούνται με σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάση του γεωγραφικού πλάτους.

Χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση ισχύος είναι περίπου 25-35%, εξαρτάται βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.

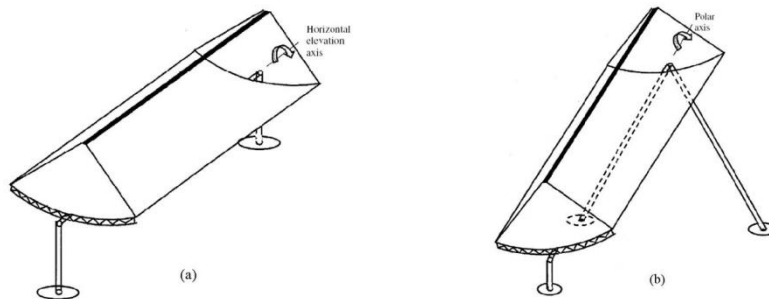
Πολικό Ηλιοτρόπιο (polar tracker)

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά την διάρκεια του έτους η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται από -23,5ο έως +23,5ο.

Η βασική χρήση των συστημάτων αυτών είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να αποκλείεται και η χρήση τους σε θερμικούς σταθμούς. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα την εποχή του έτους.

Είναι σχετικά απλά στην κατασκευή και στον έλεγχο. Μειονεκτούν σημαντικά όσο αφορά την αντοχή τους σε ισχυρούς ανέμους. Για την προστασία τους χρειάζονται ισχυρά συστήματα πέδησης. Επίσης τα πλαίσια δεν τοποθετούνται ομοιόμορφα, αλλά σε τριγωνικό σχηματισμό, έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Αν δεν εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος τοποθέτησης μένει αρκετός χώρος αναξιοποίητος.

Πολλές φορές τοποθετούνται και κάτοπτρα για την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες.



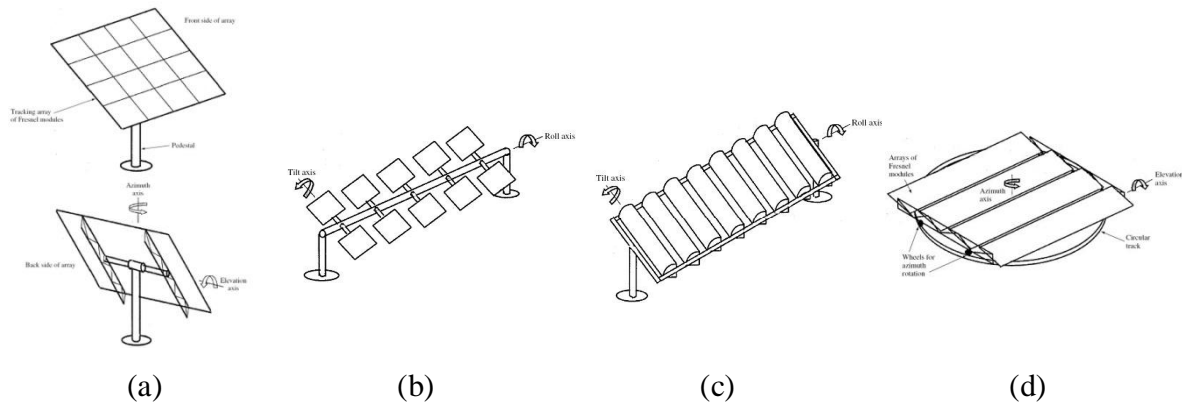
2. Στροφή γύρω από Δύο Άξονες

Τα οπτικά μέσα σημειακής εστίασης, εν γένει απαιτούν παρακολούθηση δύο αξόνων, έτσι ώστε πάντα να στοχεύουν τον ήλιο και η ηλιακή ακτινοβολία που συγκεντρώνεται να προσπίπτει στον συλλέκτη. Από μηχανικής πλευράς, η παρακολούθηση δύο αξόνων είναι πιο πολύπλοκη από αυτήν του ενός άξονα, παρόλα αυτά η συγκέντρωση αυξάνεται και έτσι αναλογικά το κόστος των συλλεκτών μειώνεται.

Τα ανακλαστικά κάτοπτρα γραμμικής εστίασης χρειάζονται παρακολούθηση μόνο κατά μήκος ενός άξονα. Όμως οι γραμμικοί συγκεντρωτές Fresnel απαιτούν παρακολούθηση δύο αξόνων, καθώς εμφανίζουν σοβαρές αποκλίσεις όταν ο ήλιος δεν είναι κάθετος στον επιμήκη άξονα.

Όσον αφορά την παρακολούθηση δύο αξόνων χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις διατάξεις. Η μορφή που φαίνεται στο σχήμα (a), χρησιμοποιεί ένα κυλινδρικό στήριγμα, πάνω στον οποίο συνδέεται ένα σύνολο κυψελών. Η παρακολούθηση γίνεται συνήθως με τη βοήθεια κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο κινεί τις κυψέλες κατά μήκος ενός κάθετου άξονα (κίνηση περί τον αζιμουθιακό άξονα) και κατά μήκος ενός οριζόντιου άξονα (άξονας ανύψωσης). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η απλότητα της κατασκευής, ενώ μειονεκτεί όσον αφορά το γεγονός ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα μεταφράζονται σε

μεγάλη ροπή στο κιβώτιο. Μια άλλη υλοποίηση φαίνεται στο σχήμα (b), στην οποία το φορτίο του αέρα είναι σαφώς μειωμένο, όμως απαιτούνται περισσότερες συνδέσεις και ρουλεμάν, κάνοντας την κατασκευή πιο σύνθετη. Μια παραλλαγή της διάταξης αυτής φαίνεται το σχήμα (c). Τέλος υπάρχει και η διάταξη του σχήματος (d), η οποία εμφανίζει τα μικρότερα φορτία αέρα και έχει την πιο μικρή και συμπαγή κατασκευή, όμως από την άλλη έχει και την πιο σύνθετη εγκατάσταση.



4.10 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού στοιχείου – πλαισίου

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.

4.10.1 Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ως απόδοση ενός φ/β στοιχείου η , ορίζεται το πηλίκο της μέγιστης ισχύος (P_{max}), που αποδίδει, προς το γινόμενο της προσπίπτουσας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της επιφάνειας S_c του φ/β στοιχείου:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{HA}} = \frac{I_m * V_m}{P_{HA}} \quad [4.1]$$

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος (P_m) προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης (I_{sc}) και της ανοιχτοκύκλωσης τάσης (V_{oc}) ενός φ/β στοιχείου, ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF (fill factor):

$$FF = \frac{I_m * V_m}{I_{sc} * V_{oc}} \quad [4.2]$$

Επομένως η απόδοση του φ/β στοιχείου μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{HA}} = \frac{I_{sc} * V_{oc} * FF}{P_{HA}} \quad [4.3]$$

Όπου:

P_m [W]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ στοιχείου

P_{HA} [W]: ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

I_m [A]: ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ

V_m [V]: τάση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ

FF [-] : συντελεστής πλήρωσης

I_{sc} [W]: ρεύμα βραχυκύκλωσης

V_{oc} [W]: τάση ανοιχτού κυκλώματος

4.10.2 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φ/β πλαισίου, ορίζεται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του φ/β στοιχείου. Εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φ/β πλαίσιο, προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια. Επειδή όμως η επιφάνεια ενός φ/β πλαισίου δεν είναι καλυμμένη εξολοκλήρου από φ/β στοιχεία η απόδοση διαφέρει από την απόδοση των στοιχείων που αποτελείται.

Ο συντελεστής απόδοσης ενός πλαισίου δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{P_{m\Pi}}{P_{HA}} \quad [4.4]$$

$P_{m\Pi}$ [W]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου

P_{HA} [W]: ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Αν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνεια, δηλ., σε $[W/m^2]$, σχέση του βαθμού απόδοσης γίνεται:

$$\eta_{\Pi} = \frac{P_{m\Pi}}{P_{HA} * S_{\Pi}} \quad [4.5]$$

όπου:

$P_{m\Pi}$ [W]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου

$P_{m\Pi}$ [k Wh/m²]: επιφάνια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

S_{Π} [m²]: επιφάνια ΦΒ πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης η_{Π} του ΦΒ πλαισίου μπορεί να γραφεί και ως πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα, προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια επί το ίδιο χρονικό διάστημα.

$$\eta_{\Pi} = \frac{E_{m\Pi}}{E_{HA} * S_{\Pi}} \quad [4.6]$$

όπου:

$E_{m\Pi}$ [k Wh]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια ΦΒ πλαισίου

E_{HA} [k Wh/m²]: ενέργεια προσπίπτουσας ακτινοβολίας

S_{Π} [m²]: επιφάνια πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης η_{Π} του ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται και από τέσσερις παράγοντες :

- **Γήρανση**

Η απόδοση το ΦΒ πλαισίου μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής του ΦΒ στοιχείων. Η μείωση της απόδοσης είναι 1% για κάθε έτος λειτουργίας και εκφράζεται με τον συντελεστή γήρανσης σ_{γ} . Έτσι, για το πρώτο έτος λαμβάνουμε

$\sigma_{\gamma}=0,99$, για δεύτερο $\sigma_{\gamma}=0,98$, για τρίτο $\sigma_{\gamma}=0,97$ κ.λ.π.

- **Ρύπανση επιφάνειας**

Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου, ιδίως εκείνου που έχει μικρή κλίση μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας του από την επικάθηση σκόνης , φύλλων , χιονιού , αλατιού από την θάλασσα , εντόμων , ακαθαρσιών κ.λ.π. Η μείωση της απόδοσης είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης , για αυτό απαιτείτε περιοδικός

καθαρισμός τις επιφάνειας με απορρυπαντικό. Σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις η ισχυρούς ανέμους, το ΦΒ πλαίσιο πρέπει να τοποθετείτε κάθετα η με κλίση 45° αντίστοιχα, για να μην συγκρατείτε το χιόνι και η σκόνη. Για τους παραπάνω λόγους λαμβάνουμε ένα συντελεστή ρύπανσης σ_p σύμφωνα με τις ακόλουθες τιμές :

$\sigma_p =$

- 0,95 για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά
- 0,90 για πλαίσια ελαφρός σκονισμένα
- 0,80 για πλαίσια οριζόντια και ακαθάριστα

- **Αύξηση θερμοκρασίας**

Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται σημαντικά από την άνοδο της θερμοκρασίας των ΦΒ στοιχείων, τον οποίων η μέση θερμοκρασία είναι 30° C περίπου μεγαλύτερη από αυτή τις λειτουργίας τους σε πρότυπες συνθήκες STC. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε τον συντελεστή θερμοκρασίας σ_θ .

$$\sigma_\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] * 0,004 \quad [-] \quad [4.7]$$

όπου:

t_a [° C]: μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα

- **Δίοδος αντεπιστροφής**

Η δίοδος αντεπιστροφής ΔA , που εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου το ΦΒ πλαισίου , όταν αυτό δεν φωτίζεται ,προκαλεί απώλειες ενέργειας τις τάξεως του 1%. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπ' όψη με τον συντελεστή απωλειών διόδου $\sigma_\delta = 0,99$.

4.10.3 Ο βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC

Ο βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC υπολογίζεται από την σχέση:

$$\eta_{STC} = \frac{P_{P\Pi} / P_{STC}}{S_{\Pi}} \quad [4.8]$$

όπου:

P_{RP} [W_P]: ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου

P_{STC} [W/m²]: ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC.

($P_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$)

S_{P} [m²]: επιφάνεια πλαισίου

Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%, 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.

4.11 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Η παραγωγή ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων:

- διαθεσιμότητα και βαθμός πρόσβασης στην ηλιακή ενέργεια (κλιματικές συνθήκες, κλίση συστήματος, γεωγραφικό πλάτος, προσανατολισμός, διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου, βαθμός σκίασης)
- ηλεκτρική απόδοση των πανέλων και η υποβάθμιση της με το χρόνο
- αποδοτικότητα των εξαρτημάτων ισορροπίας του φωτοβολταϊκού συστήματος (δηλ. όλων των στοιχείων του συστήματος πλην των πανέλων)
- σύνδεση με το δίκτυο, αντίσταση των καλωδιώσεων σύνδεσης, πτώση τάσης
- συσσώρευση στοιχείων ξένων προς το φωτοβολταϊκό σύστημα (σκόννη, χιόνι, ρύποι κλπ.)

4.12 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

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.

4.13 Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής μειονεκτήματα:

- Ενώ δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον κατά την παραγωγή ρεύματος υπάρχει επιβάρυνση κατά την κατασκευή τους,
- Σύμφωνα με υπολογισμούς απαιτούνται 5 με 6 χρόνια λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου για να αντισταθμίσει η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διαδικασία κατασκευής του στις εργοστασιακές μονάδες,
- Το κόστος εγκατάστασης τους παραμένει ακόμα υψηλό,
- Αναλογικά με την ισχύ εγκατάστασης απαιτούνται αρκετά μεγάλες εκτάσεις για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Λόγω γραφειοκρατικών κωλυμάτων, ελλιπούς ενημέρωσης των επενδυτών και παροχής χαμηλότερων επιδοτήσεων των αρχικά προσδοκώμενων, αυτή τη στιγμή παρατηρείται μια στασιμότητα στις επενδύσεις. Ενώ λόγω του μεγάλου αριθμού υποβληθέντων αιτήσεων, δε δίνεται η δυνατότητα σε νέους επενδυτές να εισέλθουν στον χώρο.

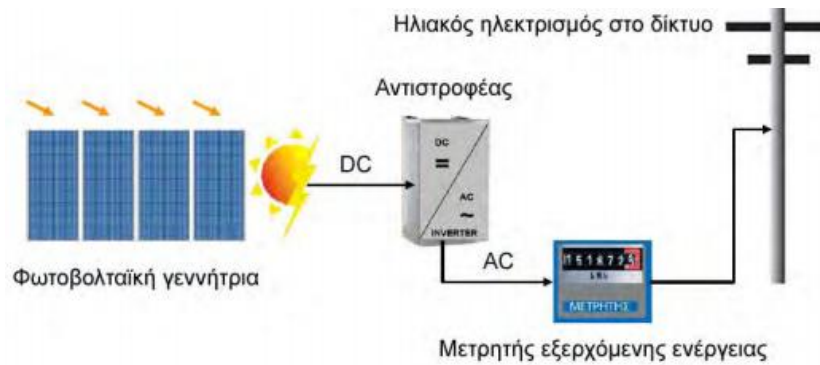
Κεφάλαιο 5^ο

Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

5.1 Κατηγορίες Φ/Β σύμφωνα με την αλληλεπίδρασή τους στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

5.1.1 Διασυνδεδεμένα συστήματα

Το **διασυνδεδεμένο σύστημα** παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ. Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα για να καλύψει τυχόν ανάγκες του. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.



Εικόνα 5.1: Διασυνδεδεμένο σύστημα

5.1.2 Αυτόνομα συστήματα

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

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

Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είχαν εγκατασταθεί παλιότερα στην Ελλάδα εξυπηρετούσαν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, επειδή στις περιπτώσεις αυτές η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι πολύ πιο εμφανής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η εναλλακτική λύση μιας ηλεκτρογεννήτριας αποδεικνύεται

μακροπρόθεσμα εξαιρετικά ακριβή. Όταν όμως υπάρχουν ισχυρά κίνητρα για την παραγόμενη ηλιακή κιλοβατώρα (όπως ισχύει πλέον από τον Ιούνιο του 2006), τότε συμφέρει στον καταναλωτή να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και να πουλά ηλιακό ηλεκτρισμό σ' αυτό έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής.



Εικόνα 5.2: Αυτόνομο σύστημα

5.2 Φ/Β συστήματα ανάλογα με την εγκατάστασή τους

5.2.1 Κτηριακά φ/β συστήματα

Είναι τα συστήματα που εγκαθίστανται επί κτηρίων ή ενσωματώνονται σε αυτά.



Εικόνα 5.3: Κτηριακό σύστημα

5.2.2 Υπαίθρια φ/β συστήματα

Είναι τα συστήματα που εγκαθίστανται στην ύπαιθρο, σε γήπεδα και χωράφια (Φωτοβολταϊκά Πάρκα).



Εικόνα 5.4: Σύστημα σε ύπαιθρο

5.3 Φ/Β συστήματα ανάλογα με τη θέση τους σε σχέση με την τροχιά του ηλίου

5.3.1 Σταθερά φ/β συστήματα

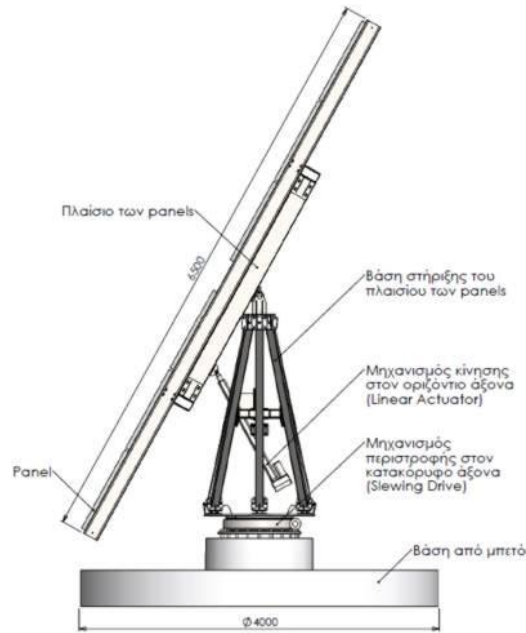
Το φωτοβολταϊκό πεδίο διατηρεί σταθερή θέση καθόλην τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 5.5: Σταθερό σύστημα

5.3.2 Ηλιοστατικά φ/β συστήματα

Το φωτοβολταϊκό πεδίο τοποθετείται σε κινούμενες βάσεις (Tracker) και προσανατολίζεται διαρκώς στην ιδανικότερη θέση σε σχέση με τον ήλιο.

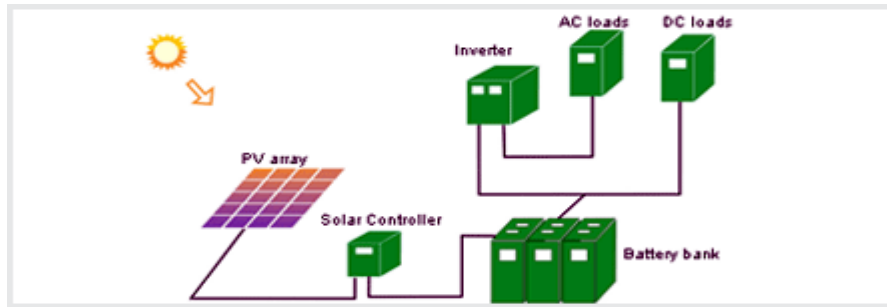


Εικόνα 5.6: Σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου

5.4 Φ/Β συστήματα ανάλογα με την συνύπαρξή τους με άλλη πηγή ενέργειας

5.4.1 Απλά φ/β συστήματα

Δεν συλλειτουργούν με άλλη πηγή ενέργειας.



Εικόνα 5.7: Απλό φ/β σύστημα

5.4.2 Υβριδικά φ/β συστήματα

Συλλειτουργούν και με άλλη πηγή ενέργειας - συνήθως με αιολικά συστήματα ή ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη.



Εικόνα 5.8: Υβριδικό σύστημα συνδυασμού τριών πηγών ενέργειας

Κεφάλαιο 6^ο

Υπολογισμός Ηλιακής Ακτινοβολίας

Απαραίτητοι είναι οι υπολογισμοί, που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια, στην οποία θα τοποθετηθεί η Φ/Β διάταξη. Για τις οριζόντιες επιφάνειες δεν υπάρχει δυσκολία, εκεί που χρειάζονται αρκετοί υπολογισμοί είναι στις κεκλιμένες επιφάνειες, αναλυτικότερα τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών θα τα δούμε στα παρακάτω υποκεφάλαια.

Από κλιματολογικά δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) και με την χρήση κατάλληλων εμπειρικών και θεωρητικών μαθηματικών μοντέλων, εκτιμήθηκαν όλες οι απαραίτητες για κλιματικές τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων.

Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο Βαρομέτρου (m)
Πάτρα	Αχαΐας	38,15 ^ο	21,44 ^ο	1

Πίνακας 6.1. Γεωγραφικό πλάτος και μήκος, υψόμετρο, για την Πάτρα

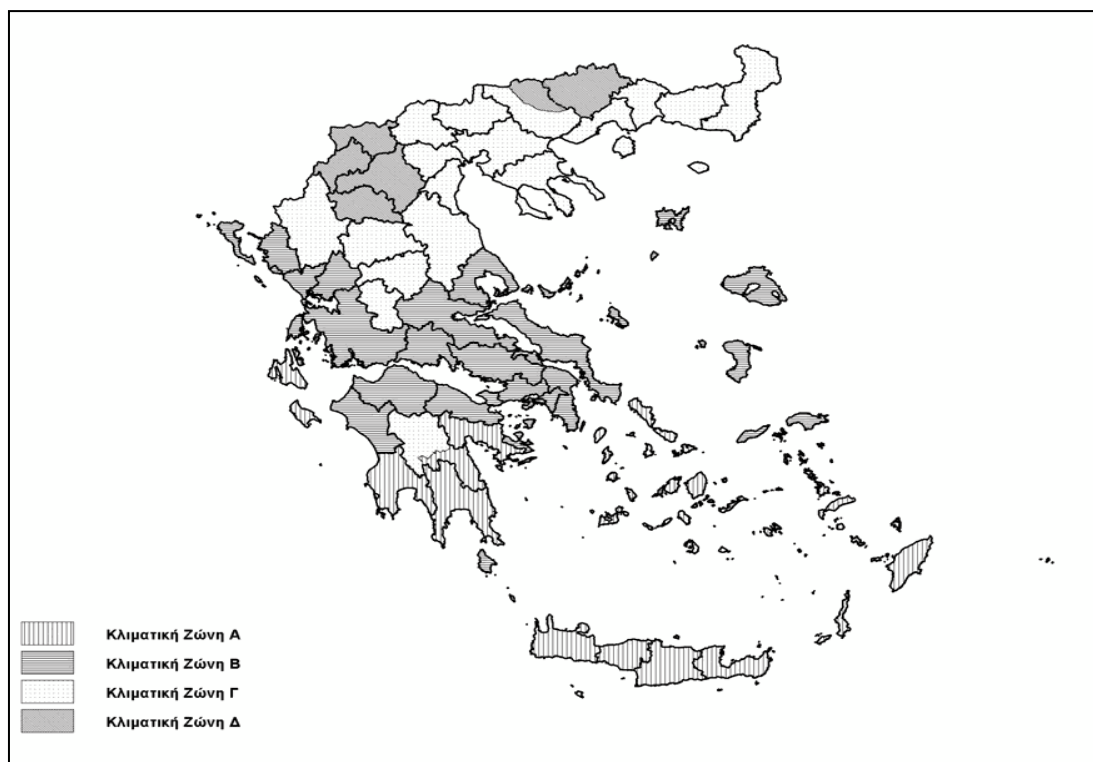
6.1 Κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Στον Πίνακα 6.2 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνισή τους στο Σχήμα 6.1.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ	ΝΟΜΟΙ
ZΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ZΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας,
ZΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης
ZΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Πίνακας 6.2.: Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη

Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές ανεξαρτήτως υψομέτρου περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ.



Εικόνα 6.1. Σχηματική Απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας

Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων.

Μήνας	Πάτρα (°C)
ΙΑΝ	10
ΦΕΒ	10,6
ΜΑΡ	12,5
ΑΠΡ	15,6
ΜΑΙ	20,1
ΟΥΝ	24,1
ΙΟΥΛ	26,4
ΑΥΓ	26,7
ΣΕΠ	23,5
ΟΚΤ	19,0
ΝΟΕ	14,5
ΔΕΚ	11,4

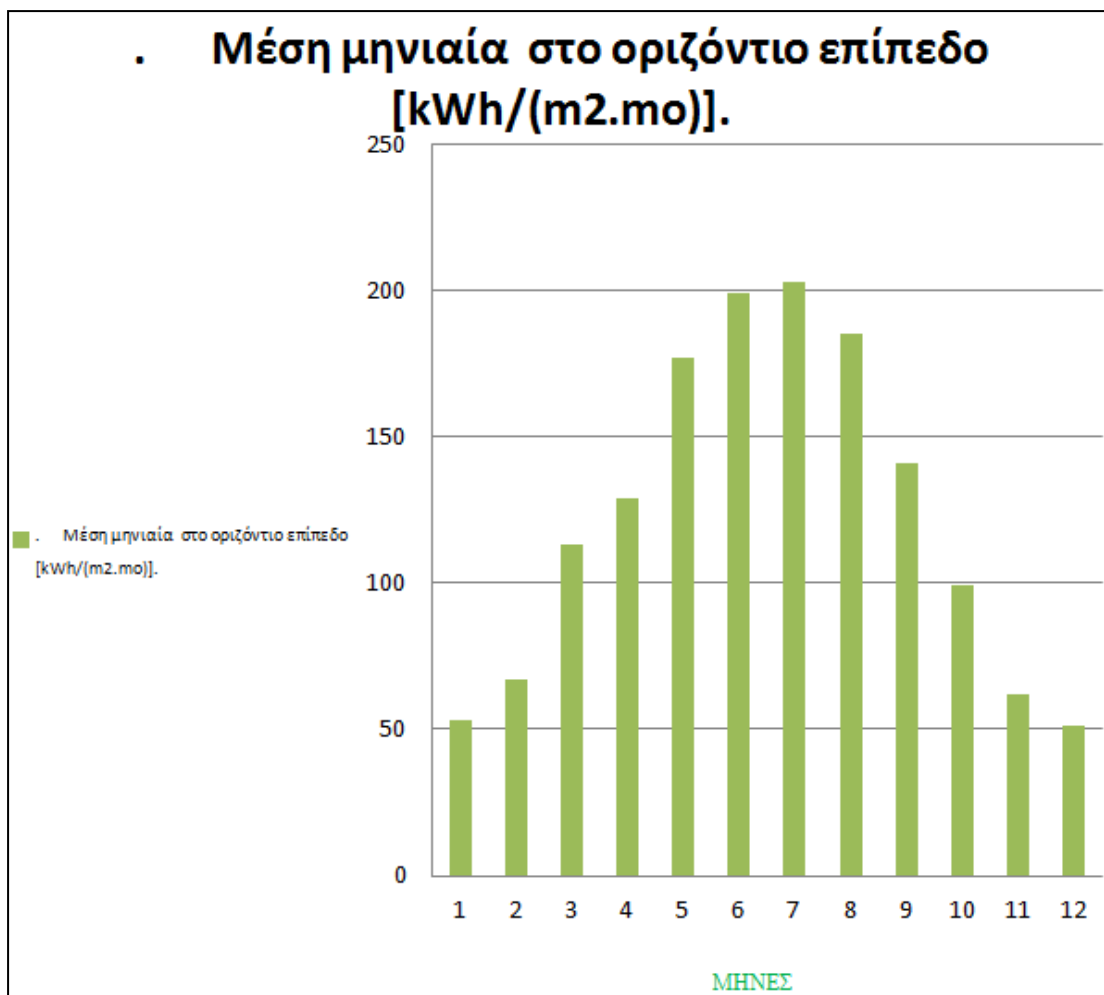
Πίνακας 6.3.: Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου [°C]

6.2 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Πάτρας (σε οριζόντιο επίπεδο)

Αφού λοιπόν έχουμε κάνει μια πρώτη διερεύνηση για την τεχνολογία αυτών των συστημάτων, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις δυνατότητες εγκατάστασης Φ/Β διατάξεων θα πρέπει να υπολογίσουμε το ηλιακό δυναμικό της περιοχής καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η ηλιακή ακτινοβολία για οριζόντια επίπεδα μας δίνεται βάση μετεωρολογικών πινάκων.

Μήνας	Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kWh/(m ² .mo)].
ΙΑΝ	53
ΦΕΒ	67
ΜΑΡ	113
ΑΠΡ	129
ΜΑΙ	177
ΟΥΝ	199
ΙΟΥΛ	203
ΑΥΓ	185
ΣΕΠ	141
ΟΚΤ	99
ΝΟΕ	62
ΔΕΚ	51
ΣΥΝΟΛΟ	1479

Πίνακας 6.4. Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο[kWh/(m².mo.)



Εικόνα 6.2.: Η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ανά μήνα

Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ομοιόμορφη, κάτι αναμενόμενο αφού γνωρίζουμε ότι, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται τους θερινούς μήνες και μειώνεται τους χειμερινούς.

Μήνας	Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=30^\circ$ [kWh/(m ² .mo)].
ΙΑΝ	78
ΦΕΒ	88
ΜΑΡ	133
ΑΠΡ	133
ΜΙΑ	167

ΟΥΝ	180
ΙΟΥΛ	187
ΑΥΓ	185
ΣΕΠ	160
ΟΚΤ	125
ΝΟΕ	91
ΔΕΚ	79
ΣΥΝΟΛΟ	1611

Πίνακας 6.5: Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο σε επίπεδο με γωνία κλίσης $\beta=30^\circ$.

6.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες

Όσον αφορά τα κεκλιμένα επίπεδα η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται με τη βοήθεια μια σειρά συναρτήσεων, που αναφέρονται στις διάφορες γωνίες των κεκλιμένων επιφανειών. Το μοντέλο του ισοτροπικού ουρανού (ομοιόμορφη διάχυτη ακτινοβολία) των Liu και Jordan (1963):

$$I_n = R_b I_b + I_d (1 + \cos S) / 2 + (I_b + I_d) \rho (1 - \cos S) / 2 \quad [6.1]$$

Η σχέση αυτή αφορά ωριαίες τιμές ακτινοβολίας I σε . Η ίδια σχέση μπορεί να εκφραστεί και για τον υπολογισμό της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας, αφού ο δεύτερος και ο τρίτος όρος είναι ανεξάρτητοι από την γωνία πρόσπτωσης. Έτσι για τον πρώτο όρο $2/I_m$ χρησιμοποιείται ένας διορθωτικός συντελεστής R_b , ο οποίος για επιφάνειες στο βόρειο ημισφαίριο και με νότιο προσανατολισμό ($\gamma=0$).

$$R_b = \frac{[\cos(\varphi - \beta) * \cos(\delta) * \sin(\omega_{SS}) + \frac{\pi}{180} * \omega_{SS} * \sin(\varphi - \beta) * \sin(\delta)]}{[\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_{SS}) + \frac{\pi}{180} * \omega_{SS} * \sin(\varphi) * \sin(\delta)]} \quad [6.2]$$

Όπου,

ω_{ss} , είναι η ωριαία γωνία δύσης της κεκλιμένης επιφάνειας για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα στην υπό μελέτη περιοχή και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\omega_{ss} = \min\{\cos^{-1}(-\tan(\varphi) * \tan(\delta)), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) * \tan(\delta))\}, \quad [6.3]$$

Όπου,

φ , είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής,

δ , είναι η ηλιακή απόκλιση την μέση αντιπροσωπευτική μέρα του μήνα

β , είναι η κλίση της επιφάνειας

Σύμφωνα με τα παραπάνω η σχέση (6.1) μετασχηματίζεται στην:

$$HT = HbRb + Hd \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + H\rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad [6.4]$$

Για τον Ελληνικό χώρο έχει προταθεί από τον Λάλα το παρακάτω πολυώνυμο που δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

$$\frac{Hd}{H} = 1.446 - 2.965Kt + 1,727Kt^2 \quad [6.5]$$

Που αφορά τις ημερήσιες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο. Η σχέση (6.5) μπορεί να πάρει μια πιο χρήσιμη μορφή για τους υπολογισμούς κάνοντας την αντικατάσταση $Hb=H-Hd$ και διαιρώντας με την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο H .

Επίσης αν οι υπολογισμοί γίνουν για τη μέση χαρακτηριστική ημέρα του μήνα έχουμε τις αντίστοιχες τιμές, H_t , H , και H_d .

$$\frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) Rb + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad [6.6]$$

ή

$$HT = HR \quad [6.7]$$

Από την σχέση αυτή είναι πολύ απλό να υπολογισθεί η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο για μια περιοχή αρκεί να είναι γνωστές οι τιμές των H , (Δεδομένα E.M.Y.) και R για τον αντίστοιχο μήνα.

Ως δ δίνεται η ηλιακή απόκλιση που ισούται με: $\delta=23,45*\sin\{(360*(284+n)/365\}$, όπου n η ημέρα του έτους. Τα αποτελέσματα της ηλιακής απόκλισης για κάθε μήνα δίνονται παρακάτω:

Μήνας	N για την i-αστή μερα του χρόνου	Ημερο-μηνία	n, Η μέρα του μήνα	δ , Ηλιακή απόκλιση
ΙΑΝ	i	17	17	-20.9
ΦΕΒ	31+i	16	47	-13
ΜΑΡ	59+i	16	75	-2.4
ΑΠΡ	90+i	15	105	9.4
ΜΑΙ	120+i	15	135	18.8
ΟΥΝ	151+i	11	162	23.1
ΙΟΥΛ	181+i	17	198	21.2
ΑΥΓ	212+i	16	228	13.5
ΣΕΠ	243+i	15	258	2.2
ΟΚΤ	273+i	15	288	-9.6
ΝΟΕ	304+i	14	318	-18.9
ΔΕΚ	334+i	10	344	-23

Πίνακας 6.6: μέση ημέρα (αντιπροσωπευτική) κάθε μήνα και ηλιακή απόκλιση δ .

Μήνας	Kt
ΙΑΝ	0,39
ΦΕΒ	0,43
ΜΑΡ	0,51
ΑΠΡ	0,50
ΜΑΙ	0,58
ΟΥΝ	0,62
ΙΟΥΛ	0,62
ΑΥΓ	0,62
ΣΕΠ	0,60
ΟΚΤ	0,53
ΝΟΕ	0,46
ΔΕΚ	0,42

Πίνακας 6.7. Μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας **Kt**

Έχοντας διατυπώσει όλα τα παραπάνω μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε την προσπίπτουσα ενέργεια στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο για το γεωγραφικό πλάτος της Πάτρας ($\varphi=38,15^\circ$) και την κλίση που θα είναι τοποθετημένο ($\beta=10^\circ$). Για τον μήνα Ιανουάριο η χαρακτηριστική ημέρα όπως φαίνεται από τον πίνακα 6.6 είναι η $D=17$ όπου η απόκλιση δ ισούται με $-20,9$.

$$\omega_{ss} = \min\{\cos^{-1}(-\tan(38,18) * \tan(-20,9)), \cos^{-1}(-\tan(38,15 - 10) * \tan(-20,9))\}$$

$$= [72,544 ; 78,21]$$

Άρα, $\omega_{ss} = 72,544$

Συντελεστής R_b :

$$R_b = \frac{[\cos(38.15-10) * \cos(-20.9) * \sin(72.544) + \frac{3.14}{180} * 72.544 * \sin(38.15-10) * \sin(-20.9)]}{[\cos(38.15) * \cos(-20.9) * \sin(72.544) + \frac{3.14}{180} * 72.544 * \sin(38.15) * \sin(-20.9)]}$$

$R_b=1.356$

Ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας για τον Ιανουάριο στην Πάτρα δίνεται από δεδομένα της Ε.Μ.Υ. και ισούται με $k_t = 0,39$ όπου με αντικατάστασή του στο μοντέλο του Λάλα έχουμε:

$$\frac{H_d}{H} = 1.446 - 2.965 * 0.39 + 1,727 * 0.39^2$$

$$\frac{H_d}{H} = 0.552$$

Με αντικατάσταση στη σχέση (6.6) προκύπτει:

$$\frac{H_T}{H} = (1 - 0.552) 1.356 + 0.552 \left(\frac{1 + \cos 10}{2} \right) + 0,18 \left(\frac{1 - \cos 10}{2} \right)$$

$$\frac{H_T}{H} = 1,15$$

Ο συντελεστής ανάκλασης 'ρ' θεωρήθηκε ίσος με 0,18

Γνωρίζοντας ότι η ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για τον Ιανουάριο είναι $H = 53 \text{ KWh} / \text{m}^2$ υπολογίζουμε την ολική ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια που ισούται με:

$$H = 1,15 * 53 = 60.95 \text{ KWh} / \text{m}^2$$

Με την εφαρμογή των πιο πάνω σχέσεων υπολογίζεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό, για διάφορες κλίσεις β επιφανειών. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε καθαρό ορίζοντα χωρίς εμπόδια. Σε περίπτωση που στο νότο υπάρχουν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια η προσπίπτουσα ακτινοβολία μειώνεται.

Εκτελώντας την ίδια διαδικασία για τους υπόλοιπους μήνες καταλήγουμε στα παρακάτω αποτελέσματα που συνοψίζονται στον πίνακα 6.8.

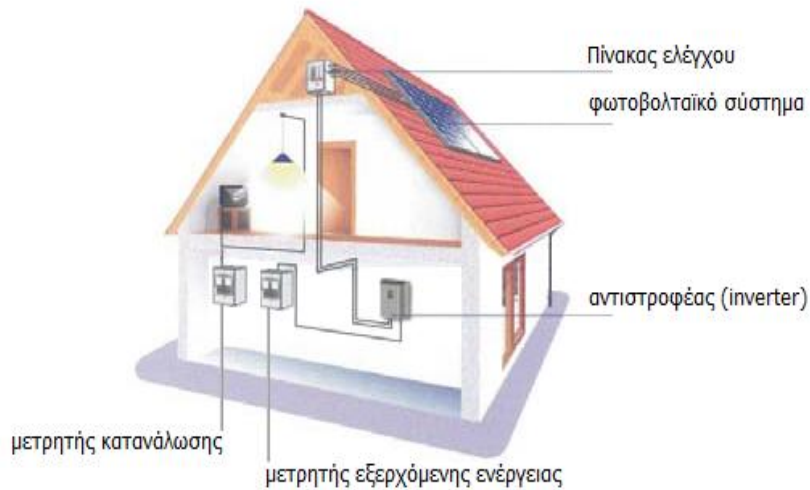
Μήνες	D	ωss	kt	Hd/H	Rb	H(0°) (KWh/m ²)	HT (10°) (KWh/m ²)
ΙΑΝ	17	72,54	0,39	0,552	1,35	53	60,95
ΦΕΒ	47	79,51	0,43	0,490	1,24	67	58,62
ΜΑΡ	75	88,11	0,51	0,383	1,14	113	122,26
ΑΠΡ	105	95,08	0,50	0,395	1,05	129	132,74
ΜΑΙ	135	100,49	0,58	0,307	0,92	177	166,73
ΟΥΝ	162	103,19	0,62	0,271	0,98	199	195,81
ΙΟΥΛ	198	101,97	0,62	0,271	0,99	203	202,59
ΑΥΓ	228	97,38	0,62	0,271	1,03	185	188,88
ΣΕΠ	258	91,17	0,60	0,288	1,10	141	150,87
ΟΚΤ	288	82,36	0,53	0,359	1,20	99	111,57
ΝΟΕ	318	74,39	0,46	0,447	1,32	62	72,78
ΔΕΚ	344	70,55	0,42	0,505	1,39	51	60,69
ΣΥΝΟΛΟ (KWh/m ² * έτος)						1479	1524

Πίνακας 6.8. Τελικά αποτελέσματα για την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο $\beta=10^\circ$ για την Πάτρα.

Κεφάλαιο 7^ο

Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος Συνδεδεμένο στο Δίκτυο

Ένα Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο περιλαμβάνει τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, το μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter) και δυο μετρητές για την εισερχόμενη και εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια.



7.1 Διαδικασία υπολογισμού ΦΒ συστήματος συνδεδεμένο στο δίκτυο

Βήμα 1: Καθορισμός ισχύος αιχμής $P_{p\Sigma}$ της Φ/Β συστοιχίας και επιλογή γωνιάς κλίσης β των πλαισίων.

Βήμα 2: Υπολογισμός αριθμού πλαισίων.

$$\text{Αριθμός πλαισίων } N = \frac{P_{p\Sigma}}{P_{p\Pi}} \quad [7.1]$$

Όπου:

$P_{p\Sigma}$ [Wp]: ισχύ αιχμής ΦΒ συστοιχίας

$P_{p\Pi}$ [Wp]: ισχύ αιχμής πλαισίου.

Βήμα 3. Καθορισμός συνδεσμολογίας Φ/Β συστοιχίας.

Αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά.

$$N_{\sigma} = \frac{V_{m\Sigma}}{V_{m\Pi}} \quad [7.2]$$

Αριθμός παράλληλων κλαδών

$$N_{\pi} = \frac{N}{N_{\sigma}} \quad [7.3]$$

Όπου:

$V_{m\sigma}$ [V]: μέγιστη τάση ρεύματος Φ/B συστοιχίας (επιλέγεται)

$V_{m\pi}$ [V]: μέγιστη τάση ρεύματος πλαισίου

N: αριθμός πλαισίων .

Βήμα 4. Επιλογή μετατροπέα τάσεως DC-AC(inverter)

Για την επιλογή του μετατροπέα τάσεως DC-AC λαμβάνουμε υπ' όψη μας τέσσερις παράγοντες:

Τάση εισόδου

Η τάση στην είσοδο του μετατροπέα V_{INV} πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη τάση ρεύματος $V_{m\sigma}$ της Φ/B συστοιχίας δηλ. $V_{INV} = V_{m\sigma}$.

Τάση εξόδου

Η τάση εξόδου του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με τη φασική τάση ($V_{\phi}=230V$) αν ο μετατροπέας είναι μονοφασικός, η με την πολική τάση ($V_{\pi}=400V$) αν είναι τριφασικός. Υπενθυμίζουμε ότι η φασική τάση είναι η τάση μεταξύ κάθε αγωγού τροφοδοσίας (A,B,C) και του ουδέτερου N, ενώ η πολική τάση είναι η τάση μεταξύ δύο αγωγών τροφοδοσίας ($\sqrt{3} * V_{\phi}$).

Τάση ανοιχτού κυκλώματος

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος του μετατροπέα V_{OCINV} πρέπει να είναι μεγαλύτερη της τάσεως του ανοιχτού κυκλώματος της συστοιχίας $V_{OC\sigma}$ κατά ένα συντελεστή k.

$$V_{OCINV} = k * V_{OC\sigma} \text{ [V]} \quad [7.4]$$

$$V_{OC\sigma} = N_{\sigma} * V_{OC\pi} \text{ [V]} \quad [7.5]$$

όπου:

N_{σ} : αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά.

V_{ocp} [V]: τάση ανοιχτού κυκλώματος πλαισίου.

k : συντελεστής.

$k =$ 1,15 για εγκατάσταση σε υψόμετρο < 800m
1,20 εγκατάσταση σε υψόμετρο 800-1500m
1,25 εγκατάσταση σε υψόμετρο >1500m

Ισχύς εξόδου

Η ισχύς στην έξοδο του μετατροπέα P_{INV} υπολογίζεται από την σχέση.

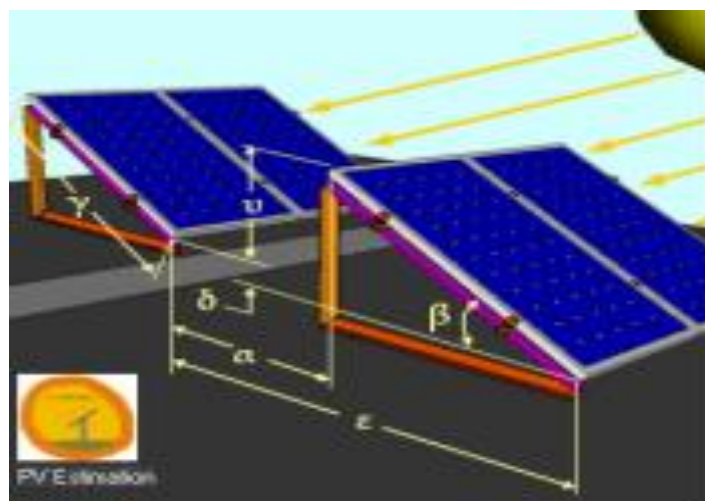
$$P_{INV} \geq \frac{P_{P\Sigma}}{1,3} \text{ [KWp]} \quad [7.6]$$

Όπου:

$P_{P\Sigma}$ [KWp]: Ισχύς αιχμής Φ/Β συστοιχίας

Ο μετατροπέας τάσεως πρέπει α) να έχει την δυνατότητα να διακόψει την λειτουργία του αν υπάρχει πρόβλημα στο ηλεκτρικό δίκτυο και β) να διαθέτει κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη που ονομάζεται ρυθμιστής ισχύος MPPT (maximum power point tracking) η οποία επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ.

Βήμα 5. Υπολογισμός ελάχιστης απόστασης μεταξύ δυο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων.

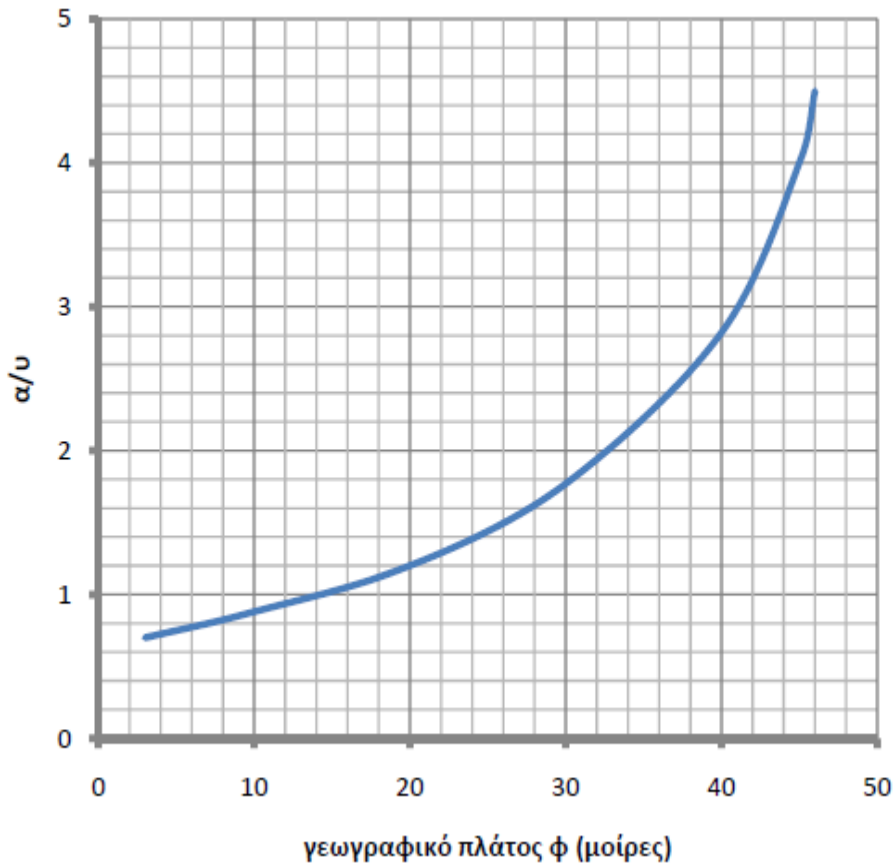


Εικόνα 7.1.: Διάταξη Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές

$$\varepsilon = \alpha + \gamma * \sigma\upsilon\nu\beta \text{ [m]} \quad [7.7]$$

όπου: α [m] , γ [m] , β [°].

Η ελεύθερη απόσταση α προκύπτει από τον λόγο α/υ , που υπολογίζετε από το διάγραμμα του σχήματος με βάση το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης της ΦΒ συστοιχίας



Εικόνα 7.2: Καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης α μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων προς την επικάλυψη του ύψους υ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου.

Και ο υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης υπολογίζετε από την σχέση:

$$\upsilon = \gamma * \eta\mu\beta - \delta \text{ [m]} \quad [7.8]$$

όπου :

γ [m]: μήκος ΦΒ πλαισίων.

β [°]: Γωνιά κλίσης ΦΒ πλαισίων.

δ [m] υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δυο σειρών ΦΒ πλαισίων ($\delta=0$ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο)

Βήμα 6. Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης

Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης S_E που θα χιαστή για την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων η πινέλων η συστοιχιών δίνεται από την σχέση:

$$S_E = S_o * \frac{\varepsilon}{\gamma * \sigma \nu \nu \beta} [m^2] \quad [7.9]$$

όπου:

$S_o [m^2]$: εμβαδόν οριζόντιας προβολής όλων των Φ/Β πλαισίων

$$S_o = S_{\Pi} * N * \sigma \nu \nu \beta \quad [7.10]$$

$S_{\Pi} [m^2]$: εμβαδόν ΦΒ πλαισίου

$N [-]$: αριθμός ΦΒ πλαισίων

$\varepsilon [m]$: ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών πλαισίων

$\gamma [m]$: μήκος ΦΒ πλαισίου

$\beta [^\circ]$: γωνία κλίσης πλαισίων

Βήμα 7. Υπολογισμός διατομής ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης Φ/Β πλαισίων.

❖ Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των Φ/Β πλαισίων ενός κλάδου.

$$S = \frac{2\rho * l * I_{m\Pi}}{\left(\frac{\Delta V}{V}\right) * V_{m\Pi}} [mm^2] \quad [7.11]$$

όπου:

$\rho [\Omega * mm^2/m]$: ειδική αντίσταση του ηλεκτρικού αγωγού (0,017Ω* mm²/m για τον χαλκό).

$l [m]$: μήκος ηλεκτρικού αγωγού σύνδεσης

$I_{m\Pi} [A]$: μέγιστη ένταση ρεύματος πλαισίου

$\Delta V/V [-]$: επιτρεπόμενη πτώσης τάσης ($\Delta V/V = 1\% = 0,01$)

$V_{m\Pi}$: μέγιστη τάση ρεύματος πλαισίου

- ❖ Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των κλάδων τις ΦΒ συστοιχίας με τον μετατροπέα τάσεως DC-AC.

$$S = \frac{2\rho * l * I_{m\Sigma}}{\left(\frac{\Delta V}{V}\right) * V_{m\Sigma}} \quad [mm^2] \quad [7.12]$$

όπου:

ρ [$\Omega * mm^2/m$], l [m], $\Delta V/V$ [-], όπως τα προηγούμενα.

$I_{m\Sigma}$ [A]: μέγιστη ένταση ρεύματος Φ/Β συστοιχίας δηλ. ρεύμα εισόδου στον μετατροπέα τάσεως.

$V_{m\Sigma}$ [V]: μέγιστη τάση ρεύματος Φ/Β συστοιχίας

- ❖ Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης μονοφασικού μετατροπέα τάσεως DC-AC ηλεκτρικό δίκτυο.

$$S = \frac{2 * l * P_{P\Sigma}}{\left(\frac{\Delta V}{V}\right) * \kappa * V_{\phi}^2} \quad [mm^2] \quad [7.13]$$

όπου:

l [m]: μήκος ηλεκτρικού αγωγού σύνδεσης

$P_{P\Sigma}$ [W]: ισχύς αιχμής Φ/Β συστοιχίας

$\Delta V/V$ [-]: επιτρεπόμενη πτώσης τάσης ($\Delta V/V=1\%=0,01$)

κ [m/ $\Omega * mm^2$]: αγωγιμότητα ηλεκτρικού αγωγού σε θερμοκρασία λειτουργίας

$$\theta(\theta=40-60) \quad \kappa=56[1-0,004(\theta-20)] \quad [7.14]$$

V_{ϕ} [V]: φασική τάση ($V_{\phi}=230V$)

- ❖ Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης τριφασικού μετατροπέα τάσεως DC-AC με το ηλεκτρικό δίκτυο.

$$S = \frac{l * P_{P\Sigma}}{\left(\frac{\Delta V}{V}\right) * \kappa * V_{\Pi}^2} \quad [mm^2] \quad [7.15]$$

όπου:

$I[m]$, $P_{p\sigma} [W]$, $\kappa[m/\Omega * mm^2]$: όπως τα προηγούμενα
 $\Delta V/V[-]$: επιτρεπόμενη πτώση τάσης ($\Delta V/V=2\%=0,02$)
 $V_{\Pi} [V]$: πολική τάση ($V_{\Pi}=400V$)

Βήμα 8. Υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

$$E_{m\Sigma} = E_{HA} * N * S_{\Pi} * \eta_{\Pi} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa} * \sigma_{\mu} \quad [KWh/\acute{\epsilon}τος] \quad [7.15]$$

Όπου:

$E_{HA} [KWh/m^2*\acute{\epsilon}τος]$: ετήσια ενέργεια προσπίπτουσα ηλιακής ακτινοβολίας
 $N [-]$: αριθμός πλαισίων
 $S_{\Pi} [m^2]$: επιφάνεια πλαισίου
 $\eta_{\Pi} [-]$: βαθμός απόδοσης πλαισίου

$$\eta_{\Pi} = \eta_{STC} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\delta} \quad [7.16]$$

$\eta_{STC} [-]$: βαθμός απόδοσης πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC

$\sigma_{\gamma} [-]$: συντελεστής γήρανσης ($\sigma_{\gamma} = 0,99$ για το πρώτο έτος, $\sigma_{\gamma} = 0,98$ για το δεύτερο έτος, $\sigma_{\gamma} = 0,97$ για το τρίτο έτος κλπ., δηλ. η μείωση της απόδοσης είναι 1% τις για κάθε έτος λειτουργίας)

$\sigma_{\rho} [-]$: συντελεστής ρύπανσης ($\sigma_{\rho} = 0,90$ για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα)

$\sigma_{\theta} [-]$: συντελεστής θερμοκρασίας

$\sigma_{\delta} [-]$: συντελεστής απωλειών διόδου ($\sigma_{\rho} = 0,99$)

$\sigma_{\alpha} [-]$: συντελεστής ανομοιογένειας ($\sigma_{\alpha} = 0,98$)

$\sigma_{\kappa} [-]$: συντελεστής καλωδιώσεων ($\sigma_{\kappa} = 0,98$)

$\sigma_{\mu} [-]$: συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας ($\sigma_{\mu} = 0,96-0,98$)

Βήμα 9. Διάγραμμα σύνδεσης Φ/Β συστήματος με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την ισχύ αιχμής $P_{p\sigma}$ τις Φ/Β συστοιχίας. Για $P_{p\sigma} < 100 \text{ KWp}$ σύνδεση γίνεται με το δίκτυο χαμηλής τάσεως, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ($P_{p\sigma} \geq 100 \text{ KWp}$) έχουμε σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης.

7.2 Αποτελέσματα υπολογισμού Φ/Β συστήματος συνδεδεμένο στο δίκτυο

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το Φ/Β σύστημά μας, που πρόκειται να εγκατασταθεί σε μονοκατοικία στην Πάτρα του νομού Αχαΐας. Το σύστημα θα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο και όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η.). Σύμφωνα με τα δεδομένα της Πάτρας έχουμε:

- Γεωγραφικό πλάτος Πάτρας $\varphi=38,15^\circ$ (από πίνακα)
- Μέση ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, με νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 30° :
 - $E_{HA}=1.611 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{έτος})$ (από πίνακα).
- Μέση ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, με νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 10° :
 - $E_{HA}=1.524 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{έτος})$ (από πίνακα).
- Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα $t_a=17,9^\circ \text{ C}$.
- Φασική τάση στην Ελλάδα $V_\varphi=230\text{V}$ και πολική τάση $V_\pi=400\text{V}$.

Το Φ/Β σύστημά μας που θα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο θα περιλαμβάνει την Φ/Β συστοιχία, τον μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter) και δύο μετρητές για την εξερχόμενη και εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Στην εφαρμογή μας έχουμε δύο επιφάνειες εγκατάστασης της Φ/Β συστοιχίας, οι οποίες έχουν και οι δύο νότιο προσανατολισμό:

1. Την επιφάνεια της σκεπής που είναι 48.96 m^2 , από την οποία θα χρησιμοποιήσουμε $32,9 \text{ m}^2$ για την Φ/Β συστοιχία και 16.02m^2 θα μείνουν διαθέσιμα για την συντήρηση των πλαισίων.
2. Την επιφάνεια της ταράτσας που είναι: 44.4 m^2 , από την οποία για τα Φ/Β πλαίσια θα χρησιμοποιήσουμε τα 40 m^2 για την Φ/Β συστοιχία, ενώ τα $4,4 \text{ m}^2$ θα τα διαθέσουμε για δύο ηλιακές πλάκες της Daikin για το ζεστό νερό χρήσης της οικίας.

7.2.1 Επιλογή Φ/Β πλαισίου

Επιλέγεται συλλέκτης τύπου **KD235GH-2PB** της εταιρίας **Kyocera** με διαστάσεις πλαισίου $1.662 \text{ m} \times 0.99 \text{ m} = 1.645 \text{ m}^2$. Η ισχύς αιχμής του πλαισίου είναι: $P_{P\Pi} = 235 \text{ W}_p$ (από πίνακα).

Για την ταράτσα, που είναι σε οριζόντιο επίπεδο, ο υπολογισμός και η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων της συστοιχίας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δεν πρέπει η μία σειρά πλαισίων να σκιάζει αισθητά την επόμενη. Λόγω ότι στην ταράτσα θα τοποθετηθούν και οι δύο ηλιακές πλάκες για το ζεστό νερό χρήσης και το μήκος τους είναι μεγαλύτερο από του Φ/Β πλαισίου, θα υπολογίσουμε την απόσταση (ϵ) μεταξύ των δύο γειτονικών σειρών σύμφωνα με την διάσταση της ηλιακής πλάκας.

Με τα εξής δεδομένα:

- $\varphi=38,15^\circ$
- $\beta=30^\circ$
- $\gamma=2$ m (όπου είναι το μήκος της ηλιακής πλάκας)
- $\delta=0$, λόγω ότι δεν έχουμε υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών Φ/Β πλαισίων.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση [7.8.], υπολογίζουμε την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης, $\nu = 1$ m.

Η ελεύθερη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πανέλων από το διάγραμμα της εικόνας 7.2., $a/\nu = 2,5 \Rightarrow a = 2,5 \times 1 = 2,5$ m.

Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πανέλων την βρίσκουμε χρησιμοποιώντας τη σχέση [7.7.], $\epsilon = 4,2$ m.

Σύμφωνα με τα τετραγωνικά της ταράτσας, τα διαθέσιμα τετραγωνικά για τις ηλιακές πλάκες ζεστού νερού χρήσης και την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων, ο αριθμός πλαισίων που μπορούμε να τοποθετήσουμε είναι $N=9$.

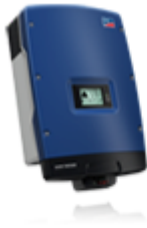
Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό πλαισίων ($N=9$) με την ισχύ αιχμής του πλαισίου ($P_{PI} = 235$ W_p) υπολογίσουμε την ισχύ συστοιχίας για την ταράτσα, η οποία μας βγαίνει $P_{PS2} = 2.115$ W_p = **2,115 kW_p**.

Άρα, η συνολική ισχύς αιχμής της Φ/Β συστοιχίας μας θα είναι: $P_{PS} = 6.815$ W_p = **6,815 kW_p**.

Στην ταράτσα θα τοποθετήσουμε βάσης 3m για τους Φ/Β συλλέκτες και τα ηλιακά πάνελ για να αποφύγουμε την σκίαση από την στέγη και να μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τον χώρο της ταράτσας.

7.2.3 Επιλογή μετατροπέα DC-AC (inverter)

Επιλέγεται ένας τριφασικός μετατροπέας.



STP 6000TL-20

Γενικά στοιχεία:

Τύπος προστασίας:	IP65
Πλάτος:	470,00 mm
Ύψος:	730,00 mm
Βάθος:	240,00 mm
Βάρος:	37,00 kg

Βαθμός απόδοσης:

Μέγ. αποδοτικότητα:	98 %
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης:	97,4 %

Τιμές εισόδου:

Μέγ. ισχύς DC:	6,13 kW
Μέγ. τάση DC:	1000 V
Ονομαστική τάση συνεχούς ρεύματος:	580 V
Περιοχή Φ/Β τάσης, σημείου μέγιστης ισχύος (μέσω ανιχνευτή MPP):	150-800 V
Μέγ. ρεύμα εισόδου:	11,0 A / 10,...

Τιμές εξόδου:

Μέγ. ισχύς AC:	6,00 kVA
Ονομαστική ισχύς AC:	6,00 kW
Ελαχ. συντελεστής μετατόπισης (τιμή):	0,8
Τάση δικτύου:	160-280 V
Συχνότητα δικτύου:	45-65 Hz

- Τάση εισόδου:

Θα έχουμε 2 γεννήτριες

$$V_{inv} = 800V$$

$$V_{inv} = 20 * 29,80V = 596V < 800V$$

$$V_{inv} = 9 * 29,80V = 268,2V < 800V$$

- Τάση εξόδου $V_{II} = 1,73 * 230 = 397,9V$
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{ocinv}
- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος του μετατροπέα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση ανοιχτού κυκλώματος τη Φ/Β συστοιχίας κατά ένα συντελεστή ίσο με $\kappa = 1,15$ για εγκαταστάσεις σε υψόμετρο μικρότερο των 800m

$$V_{oc} \text{ πλαισίου} = 36,90V$$

$$V_{ocinv} = 1,15 * 20 * 36,9 = 847,7 < 1000V$$

- Ισχύς εξόδου (inverter) από την σχέση (7.6) έχουμε:

$$P_{inv} \geq \frac{6,815}{1,3} = 5,24 \text{ kW}$$

Ο μετατροπέας έχει την δυνατότητα να διακόψει την λειτουργία του αν υπάρχει πρόβλημα στο ηλεκτρικό δίκτυο και διαθέτει κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη που ονομάζεται ρυθμιστής ισχύος

7.2.4 Υπολογισμός διατομής ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης Φ/Β πλαισίων

- Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των Φ/Β πλαισίων ενός κλάδου από την σχέση (7.11).

Σειρά No 1:

Θα χρησιμοποιήσουμε 20m καλώδιο

$$S = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 20 \cdot 7,89}{0,01 \cdot 29,80} = 18,23 \text{ mm}^2, \text{ άρα } 25 \text{ mm}^2$$

Σειρά No 2:

Θα χρησιμοποιήσουμε 10m καλώδιο

$$S = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 10 \cdot 7,89}{0,01 \cdot 29,80} = 9,11 \text{ mm}^2, \text{ άρα } 10 \text{ mm}^2$$

- Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης των κλάδων τις ΦΒ συστοιχίας με τον μετατροπέα τάσεως DC-AC από την σχέση (7.12)

Σειρά No 1:

Θα χρησιμοποιήσουμε 5m καλώδιο

$$S = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 5 \cdot 7,99}{0,01 \cdot 20 \cdot 29,8} = 0,22 \text{ mm}^2, \text{ άρα } 1,5 \text{ mm}^2$$

Σειρά No 2:

Θα χρησιμοποιήσουμε 7m καλώδιο

$$S = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 7 \cdot 7,99}{0,01 \cdot 9 \cdot 29,8} = 0,70 \text{ mm}^2, \text{ άρα } 1,5 \text{ mm}^2$$

Διατομή ηλεκτρικών αγωγών σύνδεσης τριφασικού μετατροπέα τάσεως DC-AC με το ηλεκτρικό δίκτυο από την σχέση (7.16)

Υπολογίζουμε την αγωγιμότητα ηλεκτρικού αγωγού σε θερμοκρασία λειτουργίας $\theta=60^\circ \text{C}$ σχέση (7.15)

Οπότε: $\kappa=47,04$

$$S = \frac{17 \cdot 6815}{0,02 \cdot 47,04 \cdot 400^2} = 0,76 \text{ mm}^2, \text{ άρα } 1,5 \text{ mm}^2$$

7.2.5 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια το πρώτο έτος λειτουργίας

Βαθμός απόδοσης πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες STC από την σχέση (4.8)

$$\eta_{\text{stc}} = \frac{\frac{235}{1000}}{1,645} = 0,142$$

Επιφάνεια πλαισίου $S_{\text{II}} = 1,662 \cdot 0,99 = 1,645 \text{ m}^2$

- Συντελεστής θερμοκρασίας σ_{θ} . σχέση (4.7)

$$t_a = 17,9^\circ \text{C} \quad (\text{από πίνακα 6.3})$$
$$\sigma_{\theta} = 1 - [(17,9 + 30) - 25] \cdot 0,004 = 0,90$$

- Βαθμός απόδοσης πλαισίου από σχέση (7.16)

$$\eta_{\text{II}} = 0,142 \cdot 0,99 \cdot 0,90 \cdot 0,99 = 0,1252$$

- Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από σχέση (7.15)

1) Για κεκλιμένο επίπεδο σε κλίση $\beta=10^\circ$ $E_{\text{HA1}} = 1524 \text{ kWh/m}^2 \text{ έτος}$

$$E_{\text{m}\Sigma 1} = 1524 \cdot 20 \cdot 1,654 \cdot 0,1252 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 5787,734 \text{ kWh/έτος}$$

2) Για οριζόντιο επίπεδο με κλίση $\beta=30^\circ$ $E_{\text{HA1}} = 1611 \text{ kWh/m}^2 \text{ έτος}$

$$E_{\text{m}\Sigma 2} = 1611 \cdot 9 \cdot 1,654 \cdot 0,1252 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 2753,161 \text{ kWh/έτος}$$

Άρα, $E_{\text{m}\Sigma} = E_{\text{m}\Sigma 1} + E_{\text{m}\Sigma 2} = 5787,734 + 2753,161 = 8540,90 \text{ kWh/έτος}$

$E_{\text{m}\Sigma} = 8540,90 \text{ kWh/έτος}$

Κεφάλαιο 8^ο

Οικονομική Αξιολόγηση Επένδυσης Οφέλη και Συμπεράσματα

8.1 Συνολικό κόστος κατασκευής

Παρακάτω στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζουμε το συνολικό κόστος κατασκευής του Φ/Β συστήματος:

A/A	Τεμάχια	Κόστος (€)	Συνολικό κόστος (€)
Κόστος αγοράς Φ/Β συλλεκτών	29	442,70	12.838,3
Τριφασικός Μετατροπέας DC-AC (Inverter) 6000W	1	2.388,55	2.388,55
Κόστος εγκατάστασης συλλεκτών, (καλωδιώσεις ,βάσης στήριξης των συλλεκτών, όργανα προστασίας)	1	4690	4690
Μετρητής ΔΕΗ Για την εξερχόμενη μέτρηση	1	500	500
Σύνολο			20.416,85 €

Πίνακας 8.1: Συνολικό κόστος κατασκευής

8.2 Απόσβεση της επένδυσης

8.2.1 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στα 25 χρόνια

Σύμφωνα με τον υπολογισμό που κάναμε η ετήσια απόδοση της Φ/Β μας συστοιχία ανέρχεται στα $E_{m\bar{x}} = 8540,90$ kWh/έτος για το πρώτο έτος λειτουργίας του, όμως η Φ/Β συστοιχία μας δεν μπορεί να έχει την ίδια απόδοση για τα 25 χρόνια, υπάρχει ένας συντελεστής γήρανσης $\sigma_{\gamma} = 0,99$.

Οπότε θα υπολογίσουμε για τα 25 χρόνια την απόδοση τις Φ/Β συστοιχίας:

Ετήσια λειτουργία της Φ/Β συστοιχίας	Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρικοί (kWh/έτος)
1	8540.90
2	8455.5
3	8370.94
4	8287.23
5	8204.35
6	8122.31
7	8041.08
8	7960.67
9	7881.07
10	7802.25
11	7724.24
12	7646.99
13	7570.52
14	7494.81
15	7419.87
16	7345.67
17	7272.21
18	7199.5
19	7127.5
20	7056.22
21	6985.66
22	6915.8
23	6846.64
24	6778.2
25	6710.4
Σύνολο	189.760,53

Πίνακας 8.2: Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργεια μέσα στα 25 χρόνια

Η ΔΕΗ θα αγοράζει την παραγόμενη από τα Φ/Β ενέργεια προς 0,25 Ευρώ την κιλοβατώρα, τιμή που θα είναι εγγυημένοι για 25 χρόνια με ετήσια αναπροσαρμογή σύμφωνα με τον τιμάριθμο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα υπολογίζουμε την απόσβεση τις εγκατάστασης μας στα **10 πρώτα χρόνια**.

Το όφελος από επένδυση ανέρχεται στα 27.023,3 €

Η ΔΕΗ θα συμψηφίζει το λογαριασμό με την αξία του ρεύματος, που θα αγοράζει από την οικία αυτήν που καταναλώνουν. Αν η αξία της παραγωγής είναι μεγαλύτερη από τις χρέωσης της ΔΕΗ, ο λογαριασμός θα είναι πιστωτικός

8.3 Περιβαλλοντικό όφελος της Φ/Β εγκατάστασης μας

Το περιβαλλοντικό όφελος της Φ/Β εγκατάστασης μας προκύπτει από την μόνιμη έλκυση εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η τιμή του συντελεστή μετατροπής της κιλοβατώρας σε εκπομπές CO₂ που χρησιμοποιήθηκε ισούται με 0,814 κιλά CO₂/KWh. Πηγή: CO₂ emissions from purchased electricity.

Το όφελος που έχουμε στην διάρκεια των 25 ετών ανέρχεται σε **154.465,07** κιλά διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που θα απελευθέρωνε στην ατμόσφαιρα από την χρήση συμβατικών ρύπων πηγών ενέργειας.

8.4 Συμπεράσματα

Η χώρα μας, λόγω του συγκριτικού πλεονεκτήματος της μεγαλύτερης ηλιοφάνειας στην Ευρώπη διαθέτει ένα ανεξάντλητο δυναμικό ηλιακής ενέργειας. Το δυναμικό αυτό σε συγκερασμό με τα πολλαπλά και πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών (μηδενική συντήρηση, μηδενικές απώλειες, πανεύκολος χειρισμός διασύνδεσης, κατανάλωση ακριβώς στον τόπο παραγωγής κλπ.) θα μπορούσε, μετατρέπόμενο σε ηλεκτρική ενέργεια, να συνεισφέρει με πολλούς τρόπους, στην ουσιαστική οικονομική ανάπτυξη της χώρας μας, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα και ένα πεντακάθαρο περιβάλλον, η εγκατάσταση μας η οποία αποτιμάτε 25 έτη διάρκεια λειτουργίας με βάση της συμβάσεις, και τον χρόνο ζωής που μας δίνει η εταιρία για τα πάνελ, έχουμε αποτροπή εκπομπής 154.465,07 CO₂ και έχουμε εξοικονομήσει τον συμβατικών πηγών ενέργειας. Από την οικονομοτεχνική μελέτη προκύπτει ότι η εγκατάστασης μας είναι μια συμφέρουσα επένδυση το όφελος τις ανέρχεται 27.023 € . Τα φωτοβολταϊκά είναι σημαντικά ωφέλει για τον περιβάλλον και την κοινωνία.

Μέρος II

Κεφάλαιο 9^ο

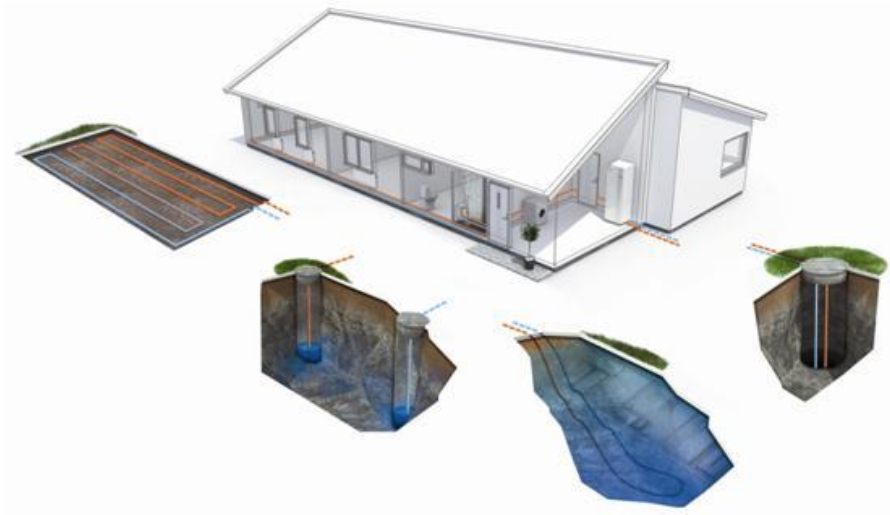
Σύστημα Άβαθους Γεωθερμίας

9.1 Γεωθερμία

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η γεωθερμία είναι μία μορφή ήπιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, κάτω από τη σταθερή επιφάνεια της γης. Όπως αποκαλύπτει και η ετυμολογία της λέξης "γεω-θερμία" πρόκειται για θερμότητα από την γη. Η θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθη από 2 έως 100 m είναι περίπου σταθερή όλο τον χρόνο και κυμαίνεται περίπου από 14 έως 18 βαθμών Κελσίου για την χώρα μας. Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας (δηλ. του ενεργειακού δυναμικού που ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια) μπορεί να γίνει με την χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) και δικτύου σωληνώσεων εντός του υπεδάφους έτσι ώστε να θερμάνουμε χώρους τον χειμώνα

και να τους ψύξουμε το καλοκαίρι. Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλον τον χρόνο και δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Η γεωθερμική ενέργεια είναι ανεξάντλητη, φυσικά καθαρή και δωρεάν (παρέχεται από την φύση).



Εικόνα 9.1: Ενδεικτικές εφαρμογές γεωθερμίας

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$

β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθосφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

Η Υψηλής Ενθαλπίας ($>150 \text{ }^\circ\text{C}$) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια $12 \times 10^6 \text{ kWh/yr}$.

Η Μέσης Ενθαλπίας ($80 \text{ }^\circ\text{C}$ έως $150 \text{ }^\circ\text{C}$) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).

Η Χαμηλής Ενθαλπίας ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ έως $80 \text{ }^\circ\text{C}$) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού. Όμως η αρχή του γεωθερμικού κλιματισμού είναι εξαιρετικά απλή: βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα

κάτω από την επιφάνεια της γης η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 18-20 βαθμούς Κελσίου. Συνεπώς, αν εκμεταλλευτούμε τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας, μπορούμε να θερμάνουμε χώρους το χειμώνα και να τους ψύξουμε αντίστοιχα το καλοκαίρι.

Το δε καλοκαίρι, λειτουργώντας αντίστροφα απομακρύνει τη θερμότητα από το κτίριο και μέσω του γεωεναλλάκτη την αποδίδει στο πιο δροσερό έδαφος, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη θέρμανση ή δροσισμό, χωρίς να χρειάζεται να αυξομειωθεί δραματικά η θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες.

Αυτό γίνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας, η δε θερμότητα μεταδίδεται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων που είτε βρίσκονται σε οριζόντια διάταξη και χαμηλό βάθος, είτε σε κατακόρυφη διάταξη εκμεταλλευόμενοι μία γεώτρηση που γίνεται γι' αυτό το λόγο.

9.2 Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (ΓΑΘ)

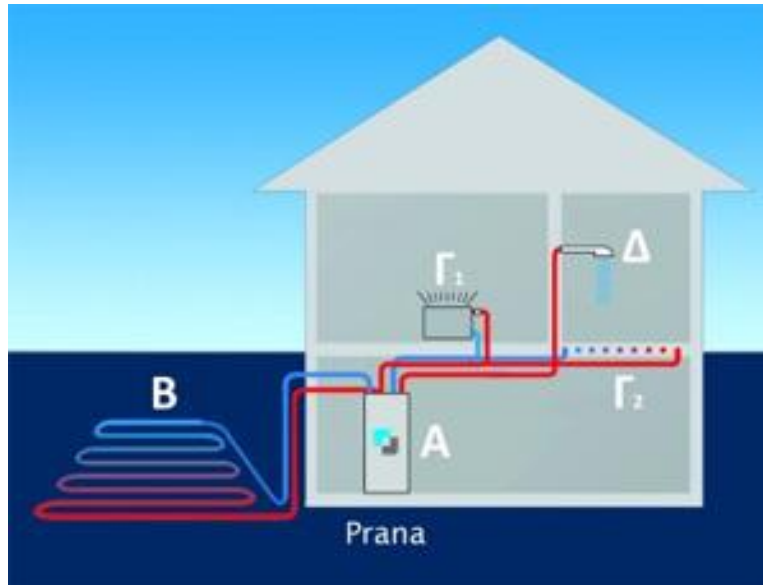
Η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι η «καρδιά» στην άβαθη γεωθερμία, η οποία έχει μεγάλες διαφορές από τις γνωστές μικρές κλιματιστικές συσκευές ή εν μέρει τα ηλ. ψυγεία και αποτελείται από 4 στοιχεία: εξαμιστή, συμπιεστή, συμπυκνωτή και στοιχείο εκτόνωσης.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας (heat pump) λειτουργεί όπως οι αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5°C) και τη μεταφέρει σε άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία (π.χ. 25°C).

Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή θερμότητας και ελάχιστο ρεύμα για τη ψύξη.

Τα μέρη του συστήματος:

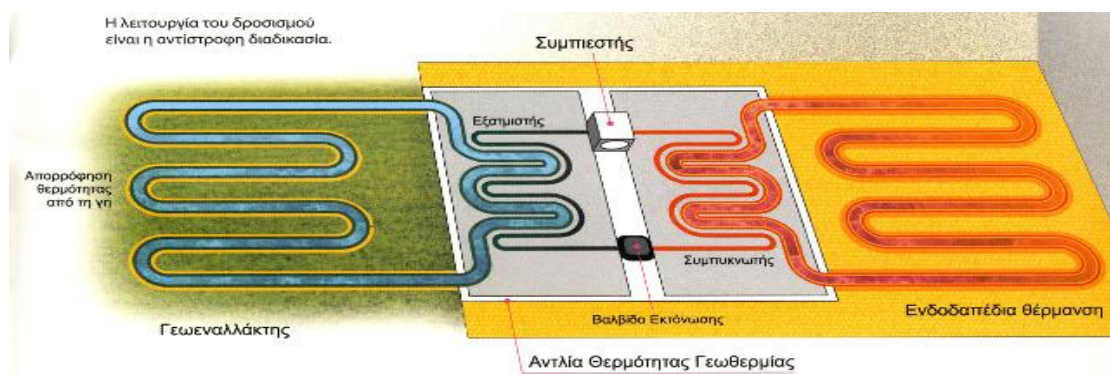
- A. Γεωθερμική αντλία θερμότητας
- B. Γεωθερμικός εναλλάκτης
- Γ1-Γ2. Εσωτερικές μονάδες (fan coils, ενδοδαπέδιο σύστημα)
- Δ. Ζεστό νερό χρήσης



Εικόνα 9.2: Κύρια μέρη γεωμετρικής εγκατάστασης

9.3 Αρχή λειτουργίας αντλία θερμότητας

1. Αντιψυκτικό υγρό κυκλοφορεί στο σωλήνα/πλέγμα συλλογής και απορροφά θερμότητα από το υπέδαφος, έδαφος, αέρα ή νερό.
2. Στον εναλλάκτη (αεροποιητή) η ενέργεια μεταφέρεται από το αντιψυκτικό στο ψυκτικό υγρό το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσης και το οποίο εξαερώνεται και κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα.
3. Στο συμπιεστή αυξάνεται η πίεση του ψυκτικού υγρού και η θερμοκρασία του στο ζητούμενο επίπεδο.
4. Μέσω ενός υγραποιητή μεταφέρεται η θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης και στη συνέχεια το ψυκτικό υγρό ψύχεται.
5. Το ψυκτικό υγρό συνεχίζει την κυκλοφορία του και χάνοντας και άλλη θερμότητα επανέρχεται στην αρχική του, υγρή, σύσταση. Στη συνέχεια μεταφέρεται και πάλι στον αεροποιητή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 9.3: Αρχή λειτουργίας αντλιών θερμότητας

9.4 Τα γεωθερμικά συστήματα

Τα γεωθερμικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την αβαθή γεωθερμική ενέργεια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

A. Γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ)

B. Γεωθερμικός εναλλάκτης (γεωεναλλάκτης)

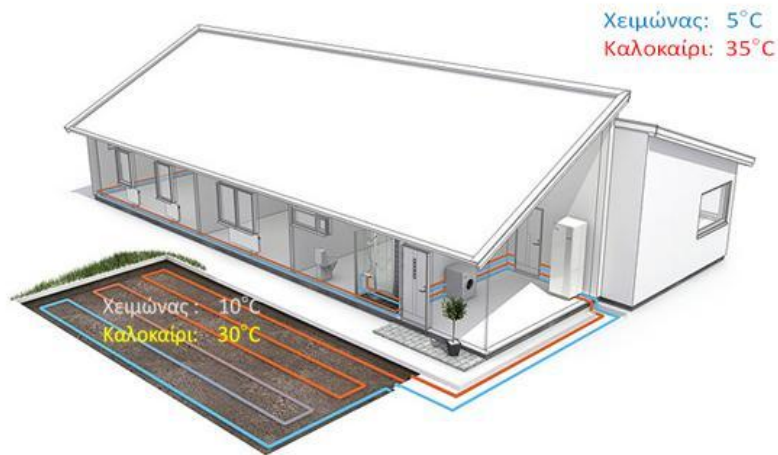
- Κλειστού κυκλώματος (κάθετο-γεωτρήσεις, οριζόντιο, σπειροειδές)
- Ανοιχτού κυκλώματος (γεωτρήσεις, πηγάδια, λίμνες, ποτάμια, θάλασσα)

Γ. Σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου (αεραγωγοί, ενδοδαπέδια-ενδοτοιχία, fan coils, καλοριφέρ).

9.4.1 Γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος

Τα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος βασίζονται στην κατασκευή ενός εναλλάκτη στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωεναλλάκτης. Ο γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται από έναν αριθμό σωληνώσεων μέσα στις οποίες κυκλοφορεί νερό. Το χειμώνα τροφοδοτούμε την ΓΑΘ με νερό θερμοκρασίας περίπου 16 βαθμών Κελσίου από τον γεωεναλλάκτη, η οποία απορροφά περίπου 4 με 5 βαθμούς Κελσίου, πριν το επιστρέψει στην γη, και με μικρή κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος παράγει έτσι ζεστό νερό χρήσης από 35 έως 45 βαθμούς Κελσίου κατάλληλο για θέρμανση χώρων με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης ή με fan coil. Για την παραπάνω λειτουργία της ΓΑΘ καταναλώνουμε μόνο ηλεκτρικό ρεύμα, που χρησιμοποιείται από τον συμπιεστή αυτής και την αντλία νερού, που σε σχέση με την αποδιδόμενη θερμική ενέργεια αυτής είναι της τάξης του 20 με 25%. Δηλαδή χονδρικά για κάθε 100 μονάδες θερμικής ενέργειας που αποδίδει η ΓΑΘ στο κτίριο μας για θέρμανση αυτού, πληρώνουμε μόνο το κόστος των 25 μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει για την λειτουργία της και οι υπόλοιπες 75 μονάδες θερμικές ενέργειας αντλούνται δωρεάν από την φύση. Το καλοκαίρι αντιστρέφεται η λειτουργία της ΓΑΘ έτσι ώστε να απορρίπτει θερμότητα από τους κλιματιζόμενους χώρους στο υπέδαφος με την χρήση του γεωεναλλάκτη. Ο γεωεναλλάκτης μπορεί να τοποθετηθεί σε οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη. Η οριζόντια διάταξη του γεωεναλλάκτη χρησιμοποιείται όταν επαρκεί ο χώρος του οικοπέδου.

9.4.1.1 Οριζόντια διάταξη γεωεναλλάκτη



Εικόνα 9.4: Οριζόντια διάταξη γεωεναλλάκτη

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.

Τα οριζόντια γεωθερμικά συστήματα απαιτούν αρκετό περιβάλλοντα χώρο (περίπου διπλάσιο του θερμαινόμενου χώρου). Τοποθετούνται σε βάθος από 1 έως 3 m από το τελικό έδαφος. Εντός του γεωεναλλάκτη κυκλοφορεί διάλυμα νερού και γλυκόλης.

Πλεονεκτήματα:

- Εύκολη τοποθέτηση
- Μικρό κόστος εγκατάστασης
- Βαθμός απόδοσης (COP) 4-4.5
- Εύκολη αδειοδότηση

Μειονεκτήματα:

- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για το στρώσιμο του γεωεναλλάκτη
- Σχετικά μειωμένη απόδοση στην ψύξη
- Περιορισμοί στην φύτευση και ενδεχομένως επιρροή στις φάσεις της βλάστησης

9.4.1.2 Κάθετη διάταξη γεωεναλλάκτη



Εικόνα 9.5: Κάθετη διάταξη γεωεναλλάκτη

Χαμηλά στο υπέδαφος, το λεγόμενο 'γεωθερμικό στρώμα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στο οποίο βρίσκεται θερμική ενέργεια, ικανή να χρησιμοποιηθεί όλο το χρόνο, με σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε πιθανό τύπο κτιρίου, μικρό ή μεγάλο, δημόσιο ή ιδιωτικό.

Ο **κάθετος συλλέκτης** απαιτεί μικρή διαμέτρου τρύπα και πολύ μικρή επιφάνεια, γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε ένα οικόπεδο με πολύ μικρή έκταση. Επομένως, ένα σύστημα θέρμανσης με **γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ)** που χρησιμοποιεί κάθετους συλλέκτες μπορεί να αντικαταστήσει εύκολα ένα κοινό σύστημα θέρμανσης που τροφοδοτείται από τα ορυκτά καύσιμα.

Ανάλογα με τη θερμική ισχύ της **γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ)**, επιλέγεται το βάθος και το πλάτος των οπών αλλά και το μήκος των ειδικών σωλήνων που τοποθετούνται στο έδαφος, ώστε να επιτευχθεί η καλή μετάδοση θερμότητας. Το μέγιστο βάθος της γεώτρησης μπορεί να φτάσει τα 130 m.

Το σύστημα του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη προτείνεται:

- Όταν δεν επαρκεί ο περιβάλλον χώρος.
- Όταν το έδαφος είναι βραχώδες, οπότε και αντενδείκνυται η χρήση **οριζόντιου γεωεναλλάκτη**.
- Το σύστημα του **κατακόρυφου γεωεναλλάκτη** μπορεί να αποτελείται από μία ή και περισσότερες γεωτρήσεις.

Πλεονεκτήματα:

- Σταθερή και υψηλή απόδοση σε όλη την διάρκεια του χρόνου.
- Απαιτείται μικρή επιφάνεια εδάφους.
- Βαθμός απόδοσης (COP) 4.5 – 5.
- Ενδείκνυται για ενεργή και παθητική ψύξη.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος επένδυσης.
- Εξειδικευμένη εγκατάσταση.
- Δυσκολότερη αδειοδότηση.

9.4.13 Διάταξη γεωεναλλάκτη σε πηγάδι, λίμνη ή θάλασσα

Ο τύπος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν είναι διαθέσιμο κοντά μας ένα πηγάδι ή λίμνη / θάλασσα, με βάθος το λιγότερο 2,5 μέτρα. Προσφέρει μειωμένο κόστος εγκατάστασης και υψηλή απόδοση.



Εικόνα 9.6: Διάταξη γεωεναλλάκτη σε πηγάδι, λίμνη ή θάλασσα

9.4.2 Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος



Εικόνα 9.7: Σύστημα ανοικτού κυκλώματος

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος αντλούν νερό από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης και με την χρήση ενός ενδιάμεσου εναλλάκτη νερού/νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ της ΓΑΘ και του ανοικτού κυκλώματος προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα μας πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα. Και εδώ βασιζόμαστε την ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα καθ' όλο τον χρόνο ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν.

Εφόσον υπάρχει εύκολη πρόσβαση στα υπόγεια ύδατα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θερμότητας λόγω του γεγονότος ότι έχουν μια θερμοκρασία μεταξύ 10 με 18 ° C όλο το χρόνο. Δεν συνιστάται να τοποθετείται ανοικτού κυκλώματος σύστημα αν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται περισσότερο από 15μ από τη επιφάνεια του εδάφους. Αυτό θα οδηγούσε σε πολύ υψηλές δαπάνες για τη θέρμανση ενός κτιρίου.

Η απόσταση μεταξύ του σημείου πρόσληψης και απόρριψης των υδάτων πρέπει να διατηρείται στα 10 έως 15 m και επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη η κατεύθυνση της ροής προκειμένου να αποφευχθεί μια απευθείας ανάμιξη των υδάτων (πρόσληψης-απόρριψης). Η εγκατάσταση αυτή πρέπει να πληρή κάποιους κανονισμούς, ώστε να μπορεί να εκδοθεί σχετική άδεια. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πρόβλημα για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) κάποιων εταιριών, λόγω της πιστοποίησης ISO 14.001 που διαθέτουν.

Το βάθος της υδρογεώτρησης εξαρτάται από την εκάστοτε υδροφορία.

Για την άντληση του νερού χρησιμοποιείται υποβρύχια αντλία.

Το σύστημα κατακόρυφου υδατοσυλλέκτη αποτελείται από τουλάχιστον δύο υδρογεωτρήσεις.

Το σύστημα ανοιχτού κυκλώματος προτείνεται όταν υπάρχει συνεχόμενη και πλούσια υδροφορία χωρίς μεταβολές στη στάθμη της (π.χ. παραθαλάσσιες περιοχές) → σταθερή παροχή.

Πλεονεκτήματα:

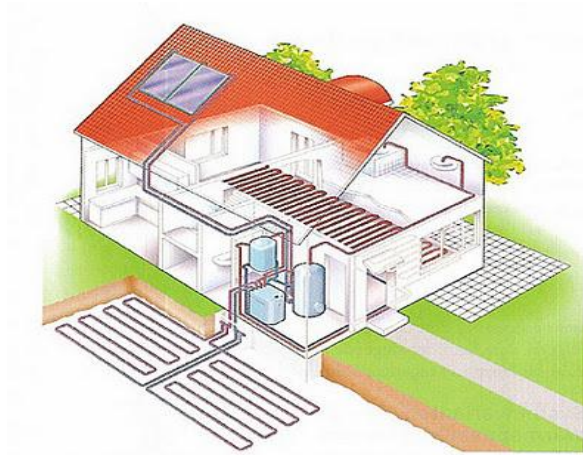
- Σταθερή και υψηλή απόδοση σε όλη την διάρκεια του χρόνου
- Απαιτείται μικρή επιφάνεια εδάφους
- Πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης (> 5)
- Ενδείκνυται για ενεργή και παθητική ψύξη

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος επένδυσης
- Εξειδικευμένη εγκατάσταση
- Δυσκολότερη αδειοδότηση
- Περιορισμοί α & ρi

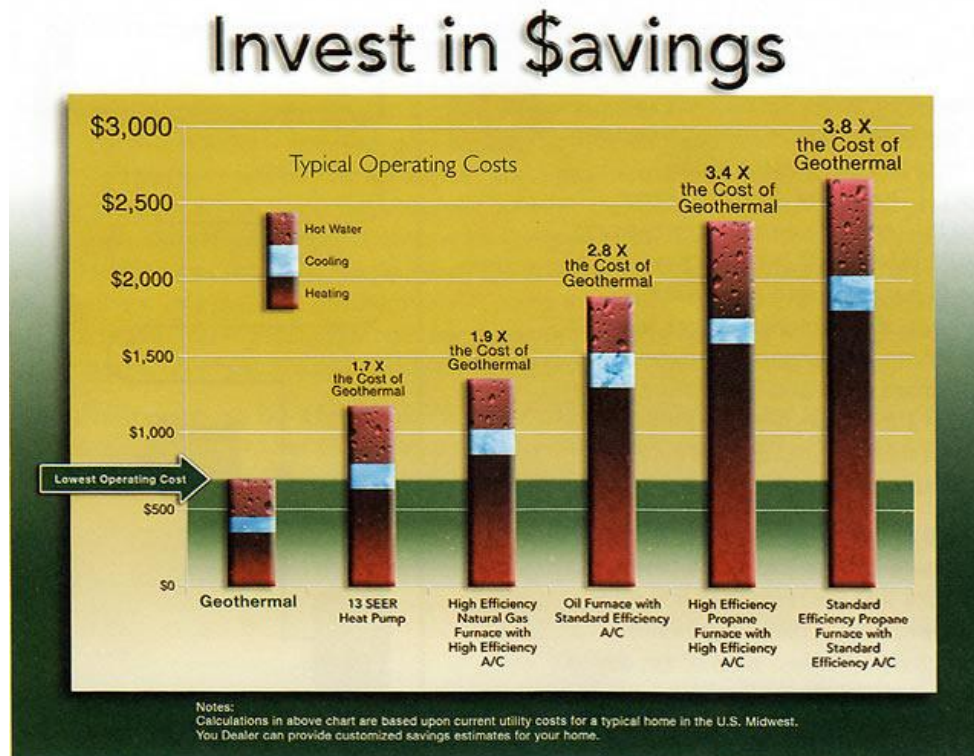
9.4.3 Υβριδικά συστήματα

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά συστήματα, από κοινού με ηλιοθερμικά.



Εικόνα 9.8: Τυπική διάταξη ενός υβριδικού συστήματος

9.5 Απόδοση αβαθούς γεωθερμίας



Εικόνα 9.9: Απόδοση αβαθούς γεωθερμίας

Ένα σύστημα αντλία θερμότητας - γεωεναλλάκτη είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση στην αβαθή γεωθερμία είναι:

- Ο σχεδιασμός γεωθερμικού συστήματος.
- Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας.
- Η ποιότητα εγκατάστασης.
- Το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας.
- Οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου.
- Οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ), όπως όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης (COP), ο οποίος προσδιορίζει την ενέργεια που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν COP 3-5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύστημα, 3-5 μονάδες

παρέχονται ως θερμότητα. Ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300 έως 500 %.

Τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας πρακτικά δεν χρειάζονται συντήρηση. Με ορθή εγκατάσταση ο εναλλάκτης γεωθερμίας θα λειτουργεί για πολλές δεκαετίες. Τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος, η αντλία θερμότητας, οι κυκλοφορητές και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας βρίσκονται εντός του κτιρίου προστατευμένα από τις εξωτερικές συνθήκες. Συνήθως οι περιοδικοί έλεγχοι για τη σωστή λειτουργία είναι η μόνη απαραίτητη συντήρηση.

9.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες τη μέρα, 365 μέρες το χρόνο. Η αβαθής γεωθερμία αξιοποιεί τις ιδιότητες θερμοεναλλαγής του νερού και την ήπια θερμοκρασία του εδάφους, η οποία παραμένει σχεδόν σταθερή όλο το χρόνο ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες και παρέχουν αποδοτική θέρμανση, κλιματισμό και ζεστό νερό χρήσης στα κτίρια. Η χρήση της αβαθούς γεωθερμίας για θέρμανση και κλιματισμό έχει σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, 30% μικρότερο κόστος λειτουργίας από το καλύτερο αερόψυκτο σύστημα, κόστος συντήρησης μόλις το 1/3 από αυτό ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης – κλιματισμού και σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (25-30 έτη).

9.6.1 Πλεονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας

- **Εξοικονόμηση:** Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης ως και 70% και το κόστος ψύξης έως και 50% και να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης για της ανάγκες της κατοικίας.
- **Περιβάλλον:** Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αλλά και από μόνα τους είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά συστήματα, καθώς μειώνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων και τα συνεπακόλουθα προβλήματά τους (όξινη βροχή, φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κλπ). Π.χ. αν θεωρηθεί ότι μία ηλεκτρική KWh έχει παραχθεί από την καύση 3 KWh ορυκτού καυσίμου (ο βαθμός απόδοσης των λιγνιτικών εργοστασίων της ΔΕΗ είναι 33%). Για την παραγωγή 10 KWh θέρμανσης μέσω Γεωθερμικής

Αντλίας Θερμότητας απελευθερώνονται 1,9 Kgf CO₂, ενώ για να την ίδια ενέργεια με πετρέλαιο απελευθερώνονται 2,9 Kgf CO₂.

- **Αξιοπιστία:** τα γεωθερμικά συστήματα διαρκούν περισσότερο από τα συμβατικά, καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα, όπως το ηλεκτρικό ψυγείο, που εγκαθίστανται μέσα στα κτίρια ή στο υπόγειο χώρο τους.
- **Συντήρηση:** Τα γεωθερμικά συστήματα δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα. Έχοντας ένα παρόμοιο τρόπο κατασκευής με αυτό των ηλεκτρικών ψυγείων, οι Γ.Α.Θ. έχουν πολύ λίγα κινούμενα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να χαλάσουν. Ο Γεωθερμικοί Εναλλάκτης είναι κατασκευασμένοι από πιστοποιημένους πλαστικούς σωλήνες και μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά πενήντα χρόνια μετά την εγκατάστασή τους.
- **Θόρυβος:** Εκτός από μια απαλή δροσιά το καλοκαίρι και μια γλυκιά ζέση το χειμώνα τα γεωθερμικά συστήματα δεν αφήνουν κανένα άλλο ίχνος της παρουσίας τους. Οι Γ.Α.Θ. δεν χρειάζονται εκτεθειμένα θορυβώδη μηχανήματα να ενοχλούν τους ένοικους ή τους γείτονες. Χωρίς ηχητική υπενθύμιση ίσως ξεχάσετε ότι έχετε ένα γεωθερμικό σύστημα.
- **Σε μεγάλες εγκαταστάσεις:** μπορούν να εξοικονομηθούν χρήματα, καθώς είναι εφικτή η μεταφορά θερμότητας από ζώνες του κτιρίου που είναι πιο ζεστές προς άλλες ψυχρότερες για τις ανάγκες θέρμανσης το χειμώνα και το αντίστροφο το καλοκαίρι για τις ανάγκες ψύξης.

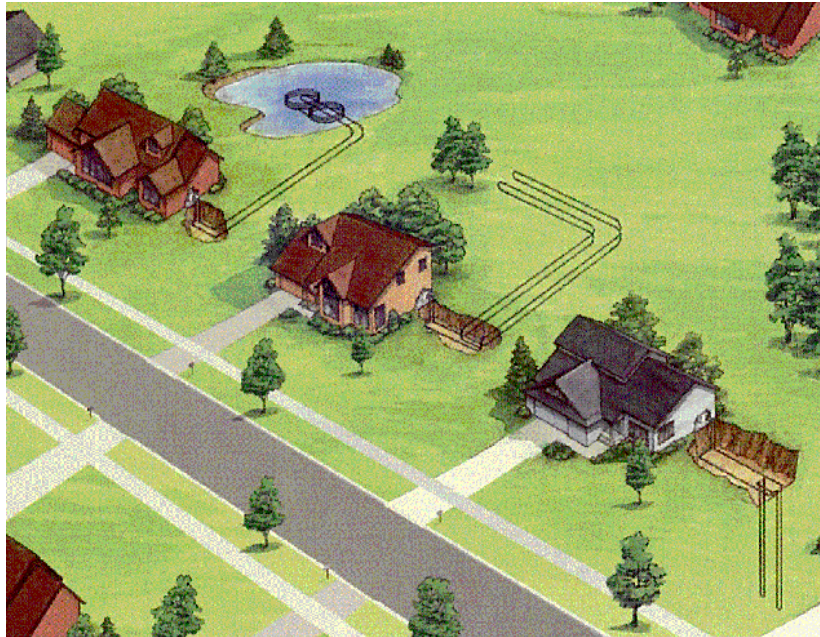
9.6.2 Μειονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας

- Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλότερο από του συμβατικού
- Υπάρχει δυσκολία στην επιδιόρθωση μιας διαρροής στα κλειστά κυκλώματα
- Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

9.7 Προϋποθέσεις εγκαταστάσεις συστήματος αβαθούς γεωθερμίας

Για να εγκατασταθεί ένα σύστημα κλιματισμού με Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας θα πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις, ανάλογα φυσικά με τον τύπο του συστήματος προς εγκατάσταση.

9.7.1 Γεωθερμικός εναλλάκτης



9.7.1.1 Οριζόντιοι εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος γεωθερμίας

Απαιτείται επιφάνεια 1.5-2 m² ανά τμ θερμαινόμενης επιφάνειας δηλ. για μια μονοκατοικία 150 m² θερμαινόμενης επιφάνειας απαιτούνται περίπου 220-300m² σκάμματος. Το βάθος εκσκαφής είναι περίπου 1.20-1.80 μ. Κατάλληλα είναι όλα τα εδάφη που μπορούν να σκαφτούν με εκσκαφέα-μπουλντόζα. Τα συστήματα αυτά δίνουν συνήθως 20-30W/m².

9.7.1.2 Κατακόρυφοι εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος γεωθερμίας

Όσον αφορά τους γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος, απαιτείται ελεύθερη έκταση ανάλογα με το μέγεθος του γεωθερμικού εναλλάκτη το οποίο καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου. Οι θέσεις των κάθετων γεωτρήσεων συστήνεται να απέχουν τουλάχιστο 6 m μεταξύ τους και 3 m από το όριο του τεμαχίου. Οι συγκεκριμένες κατασκευές δίνουν 60-80 W/μέτρο βάθους γεώτρησης δηλ. για ένα σπίτι 150 m² απαιτούνται περίπου 120-160 μέτρα γεώτρησης. Αυτά μπορούν να μοιραστούν και σε περισσότερες μικρότερες γεωτρήσεις. Μέγιστο βάθος γεώτρησης είναι συνήθως τα 120 μ. Κατάλληλη για όλα τα εδάφη. Καλύτερη απόδοση και σταθερή.

9.7.1.3 Κατακόρυφοι εναλλάκτες ανοικτού κυκλώματος-υδρογεωτρήσεις

Στην αβαθή γεωθερμία οι εναλλάκτες ανοικτού τύπου χρειάζονται κάποια πηγή θερμότητας (π.χ. γεώτρηση άντλησης) και ένα χώρος απόρριψης/επιστροφής του νερού (π.χ. γεώτρηση

επιστροφής) μετά την ολοκλήρωση του κύκλου. Σε περίπτωση κατασκευής τέτοιου συστήματος απαιτείται να υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας σε μικρό βάθος και δυναμικότητας περίπου 2 m³/ώρα για μια μονοκατοικία 150 m².

9.7.2 Αντλία θερμότητας

Όσον αφορά τις προϋποθέσεις για τους χώρους εγκατάστασης της Αντλίας Θερμότητας οι απαιτήσεις είναι πολύ λίγες, καθώς το μέγεθος της αντλίας και των βοηθητικών της εξαρτημάτων είναι πραγματικά μικρό σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Έτσι το μόνο που χρειάζεται είναι ένας εσωτερικός μεσαίου μεγέθους χώρος.

9.7.3 Σύστημα απόδοσης-απόληψης θερμικής ενέργειας στο κτίριο

Το σύστημα Θέρμανσης Δαπέδου – Ψύξης Οροφής (Ενδοδαπέδια Θέρμανση - Ψύξη), πρέπει να εγκατασταθεί κατά το κτίσιμο του κτιρίου καθώς τοποθετείται στο μετό της πλάκας.

Το σύστημα Θέρμανσης - Δροσισμού Δαπέδου, μπορεί να εγκατασταθεί ακόμη και σε υπάρχον κτίριο χωρίς κανένα πρόβλημα.

Το Σύστημα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας (Fan Coil) δεν απαιτεί κάποιες προϋποθέσεις και μπορεί να εγκατασταθεί παντού.

9.8 Εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης

Η εγκατάσταση θέρμανσης και ψύξης της κατοικίας δεν διαφέρει σε τίποτε από τις γνωστές μας εγκαταστάσεις. Μπορούν να χρησιμοποιούν ενδοδαπέδιο ή επιτοίχιο σύστημα θέρμανσης και δροσισμού ή σύστημα fan coils για θέρμανση και ψύξη. Ακόμα και σώματα θερμαντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά θα είναι πολύ μεγάλα σε μέγεθος.

Η γεωθερμία με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες μπορεί να καλύψει ενεργειακές ανάγκες **θέρμανσης**, ζεστών νερών χρήσης και **ψύξης** κτιρίων με την χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ). Η χρήση γεωθερμίας προσμετράται στην ενεργειακή κατάταξη ενός κτιρίου σύμφωνα με τον Κανονισμό για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (KENAK).

Με βάση τις τιμές πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος επιτυγχάνουμε εξοικονόμηση χρημάτων στην **θέρμανση** με την χρήση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (ΓΑΘ) περίπου 50 έως 60 % σε σχέση με αντίστοιχη εγκατάσταση που χρησιμοποιεί λέβητα πετρελαίου. Εάν λάβουμε υπόψη μας ότι η ΓΑΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ψύξη των χώρων,

καταργώντας έτσι την ανάγκη προμήθειας ψυκτικού μηχανήματος, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας γίνεται ακόμα ελκυστικότερο.

Με την εγκατάσταση ενός γεωθερμικού συστήματος για την παραγωγή των ζεστών νερών χρήσης της οικίας σας, εξασφαλίζετε και την δυνατότητα τοποθέτησης **οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος** ισχύος έως 10 kW για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα πουλάτε στην ΔΕΗ. Ο συνδυασμός γεωθερμίας και φωτοβολταϊκών στην κατοικία σας θα βελτιώσει σημαντικά το οικονομικό ενεργειακό ισοζύγιο της κατοικίας σας.

9.9 Συστήματα απόδοσης-απόληψης θερμότητας

Για να έχουμε συνολικά ένα αποδοτικό σύστημα Γεωθερμικού Κλιματισμού, θα πρέπει και το **Σύστημα Απόδοσης - Απόληψης Θερμότητας** στο κτίριο να είναι κατάλληλο. Λόγω του ότι οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας παράγουν νερό χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας και θέλοντας να κρατήσουμε τον βαθμό απόδοσής τους σε χαμηλά επίπεδα, χρησιμοποιούμε Συστήματα Απόδοσης - Απόληψης Θερμότητας που μπορούν να αποδώσουν την απαιτούμενη ισχύ στο χώρο με ήπιες θερμοκρασίες.

Τα συστήματα αυτά είναι:

- Θέρμανση Δαπέδου - Ψύξη Οροφής
- Θέρμανση- Ψύξη Τοίχου
- Θέρμανση –Δροσισμός Δαπέδου
- Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας Αέρα (Fan Coils)
- Κεντρικές Μονάδες Διαχείρισης Αέρα

Κεφάλαιο 10^ο

Μελέτη Κλιματισμού – Υπολογισμός Ψυκτικών Φορτίων

Ως «**ψυκτικό φορτίο**» ορίζεται το ποσό της θερμότητας, το οποίο πρέπει να αφαιρεθεί από το κτίριο, ώστε να διατηρείται στους διάφορους χώρους η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία ή οι οποιοσδήποτε άλλες ειδικές απαιτήσεις που έχουν επιλεγεί, όταν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν οι συνθήκες σχεδιασμού θέρους

Η παρούσα μελέτη για τα ψυκτικά φορτία έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού adapt/fcalc της 4M και σύμφωνα με την μεθοδολογία Carrier, ακολουθώντας επίσης τις οδηγίες της 2425/86 ΤΟΤΕΕ. Δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει παρουσίαση υπολογισμών με το χέρι λόγω της πληθώρας υπολογισμών τους, αλλά και γιατί κυρίως σήμερα οι βασικοί υπολογισμοί για τις θερμικές απώλειες γίνονται με τη χρήση υπολογιστή.

10.1 Παραδοχές & κανόνες υπολογισμών

Ακολουθώντας πιστά την Carrier, το ψυκτικό φορτίο (ή θερμικό κέρδος) ενός χώρου προκύπτει από το άθροισμα των φορτίων που οφείλονται στις ακόλουθες αιτίες:

10.1.1 Εξωτερικοί τοίχοι

$$Q_i = K \times A \times Dt_{ei}$$

όπου:

Q_i : Το φορτίο κατά την ώρα i

i : Οι ώρες της ημέρας

K : Θερμική αγωγιμότητα τοίχου

A : Το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου

Dt_{ei} : Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά για την ώρα i

Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά παίρνεται από πίνακες ανάλογα με το βάρος του τοίχου και τον προσανατολισμό του. Οι τιμές του πίνακα 1 διορθώνονται σύμφωνα με συντελεστή διόρθωσης (υπολογίζεται από τον πίνακα 4 σύμφωνα με την ημερήσια διακύμανση και τη διαφορά της εξωτερικής θερμοκρασίας στις 3μμ του υπολογιζόμενου μήνα από τη θερμοκρασία χώρου) και το χρώμα του τοίχου.

Για σκούρο χρώμα:

$$Dt_{ei} = (Dt_{emi} + D)$$

για ενδιάμεσο χρώμα:

$$Dt_{ei} = 0.78 \times (Dt_{emi} + D) + 0.22 \times (Dt_{esi} + D)$$

για ανοικτό χρώμα:

$$Dt_{ei} = 0.55 \times (Dt_{emi} + D) + 0.45 \times (Dt_{esi} + D)$$

όπου:

D : Ο συντελεστής διόρθωσης τοίχων

Dt_{emi} : Ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά ανάλογα με τον προσανατολισμό και το βάρος, για τοίχο εκτεθειμένο σε ήλιο

Dt_{esi} : Ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά από πίνακα, ανάλογα με το βάρος, για τοίχο σκιασμένο (Βόρειος προσανατολισμός)

Αν ο τοίχος είναι σκιασμένος, τότε το σκιασμένο τμήμα του τοίχου υπολογίζεται με ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά ($Dt_{esi} + D$) ενώ το υπόλοιπο τμήμα με την θερμοκρασιακή διαφορά που αναφέρθηκε παραπάνω δηλαδή:

$$Q_i = (K \times Dt_{ei} \times R_e) + (K \times (Dt_{esi} + D) \times R_{es})$$

όπου:

R_e : Επιφάνεια εκτεθειμένη στον ήλιο

R_{es} : Σκιασμένη επιφάνεια

10.1.2 Οροφές

Ο υπολογισμός των φορτίων από οροφές είναι αντίστοιχος με τον υπολογισμό των εξωτερικών τοίχων, χρησιμοποιώντας διαφορετικό πίνακα ισοδύναμων θερμοκρασιακών διαφορών.

10.1.3 Εσωτερικοί τοίχοι

Ο υπολογισμός των φορτίων από εσωτερικούς τοίχους προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της θερμικής αγωγιμότητας του τοίχου με το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου και με την ισοδύναμη διαφορά θερμοκρασίας για κάθε ώρα.

$$Q_i = K \times A \times Dt_i$$

όπου:

Q_i : Το φορτίο κατά την ώρα i

i : Οι ώρες της ημέρας 8πμ-6μμ

K : Θερμική αγωγιμότητα τοίχου

A : Το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου

Dt_i : Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά σε μη κλιματιζόμενους χώρους για την ώρα i

10.1.4 Δάπεδα

Τα φορτία από τα δάπεδα υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q = K \times A \times Dt$$

όπου:

Q: Το υπολογιζόμενο φορτίο

K: Η θερμική αγωγιμότητα του δαπέδου

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του δαπέδου

Dt: Η διαφορά της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου από τη θερμοκρασία εδάφους (θεωρείται σταθερή)

10.1.5 Ανοίγματα

Τα φορτία από τα ανοίγματα προκύπτουν από το άθροισμα των φορτίων από θερμική αγωγιμότητα και των φορτίων από ακτινοβολία.

$$Q_i = Q_{ki} + Q_{ai}$$

όπου:

Q_i : Το συνολικό φορτίο από τα ανοίγματα κατά την ώρα i

Q_{ki} : Το φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας κατά την ώρα i

Q_{ai} : Το φορτίο λόγω ακτινοβολίας κατά την ώρα i

Το φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας (Q_{ki}) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_{ki} = K \times A \times D_{ti}$$

όπου:

i : Οι ώρες της ημέρας

K: Η θερμική αγωγιμότητα του ανοίγματος

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του ανοίγματος

D_{ti} : Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά για αγωγιμότητα ανοιγμάτων κατά την ώρα i .

Ο υπολογισμός της ισοδύναμης θερμοκρασιακής διαφοράς για αγωγιμότητα ανοιγμάτων (D_{ti}) αναφέρεται αναλυτικά στα γενικά στοιχεία της μελέτης.

Το φορτίο λόγω ακτινοβολίας προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της επιφάνειας του ανοίγματος με το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό τζάμι διορθωμένο κατά τους απαραίτητους συντελεστές:

$$Q_{ai} = (A \times D_i \times ES_{out\ i} \times E_{Sin} \times S_1 \times S_2 \times (1 + (A_t \times 0.007 / 300))) \\ \times (1 + ((19.5 - T_{adp}) \times 0.005 / 4))) + (A \times D_{es\ i} \times (1 - ES_{out\ i}) \times E_{Sin} \times S_1 \times S_2 \times \\ (1 + (A_t \times 0.007 / 300))) \times (1 + ((19.5 - T_{adp}) \times 0.005 / 4)))$$

όπου:

i : Οι ώρες της ημέρας 8πμ-6μμ

A : Το εμβαδόν της επιφάνειας του ανοίγματος

D_i : Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό τζάμι, για τον δοθέντα προσανατολισμό

D_{esi} : Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό σκιασμένο τζάμι (βόρειος προσανατολισμός)

$ES_{out\ i}$: Ο συντελεστής εξωτερικής σκίασης

E_{Sin} : Ο συνολικός συντελεστής για ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από τζάμια με ή χωρίς μηχανισμό σκίασης

S_1 : Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το πλαίσιο του ανοίγματος. Έχει τιμή 1 για τζάμια με ξύλινο πλαίσιο και 1.17 για τζάμια χωρίς πλαίσιο ή μεταλλικό πλαίσιο

S_2 : Συντελεστής που εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι ομίχλης. Έχει τιμή 1 για περιοχή χωρίς ομίχλη και τιμή 0.90 για περιοχή με ομίχλη

A_t : Το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το κτίριο

T_{adp} : Η τιμή του σημείου δρόσου

10.1.6 Φορτία φωτισμού

Τα θερμικά κέρδη λόγω φωτισμού υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$q_{tot} = q_{c,\theta} + q_{r,\theta} = (q_{t,\theta} \times C_p) + R_p \times (r_0 \times q_{r,\theta} + r_1 \times q_{r,\theta-1} + \dots + r_{23} \times q_{r,\theta-23})$$

όπου:

$$q_{t,\theta}: \quad q_\theta \times L_c \times H_{c,\theta}$$

$$q_{r,\theta}: \quad q_{t,\theta} \times R_p$$

$$q_\theta: \quad \text{Φορτίο φωτισμού ανά ώρα } \theta$$

$$L_c: \quad \text{Συντελεστής φωτισμού}$$

$$H_{c,\theta} \quad \text{Ετεροχρονισμός ανά ώρα } \theta$$

R_p, C_p : Ποσοστό ακτινοβολών και μεταγωγικών θερμικών κερδών.

r_0, r_1, \dots : Συντελεστές ακολουθίας ακτινοβολίας

Τα θερμικά κέρδη του προηγούμενου βήματος χωρίζονται σε δύο μέρη, το ακτινοβολών και το μεταγωγικό κομμάτι. Ο διαχωρισμός γίνεται με χρήση του ενδεικτικού πίνακα της ASHRAE που ένα μέρος του φαίνεται και παρακάτω:

Ακτινοβολών (%) R_p	Μεταγωγικό C_p (%)	
100	0	Εκπεμπόμενη ηλιακή ενέργεια χωρίς εσωτερική σκίαση
63	37	Ανοίγματα με εσωτερική σκίαση
63	37	Απορροφημένη ηλιακή ενέργεια (από εξωτερική σκίαση)
0	100	Προσαγωγή και απόρριψη αέρα
56	44	Άτομα καθισμένα σε θέατρο. Πολύ ελαφρά εργασία
52	48	Εργασία γραφείου, όρθιοι, ελαφρά εργασία, περπάτημα.
88	12	Υπολογιστής
63	37	Οθόνη
78	22	Αντιγραφικό

10.1.7 Υπολογισμός φορτίων ατόμων

Το θερμικό φορτίο από τα άτομα διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Οι σχέσεις υπολογισμού είναι οι παρακάτω:

$$Q_{ai} = \sum_{j=1}^k F_{aj} * N_{ji}$$

$$Q_{li} = \sum_{j=1}^k F_{lj} * N_{ji}$$

όπου:

Q_{ai} : Το αισθητό φορτίο από τα άτομα την ώρα i

Q_{li} : Το λανθάνον φορτίο από τα άτομα την ώρα i

j : Ο τύπος βαθμού ενεργητικότητας των ατόμων σύμφωνα με τον πίνακα της Carrier.

F_{aj} : Το αισθητό φορτίο ενός ατόμου βαθμού ενεργητικότητας j που εξαρτάται από την θερμοκρασία ξηρού βολβού του χώρου.

F_{lj} : Το λανθάνον φορτίο ενός ατόμου βαθμού ενεργητικότητας j . Εξαρτάται από την θερμοκρασία ξηρού βολβού του χώρου.

N_{ji} : Ο αριθμός των ατόμων βαθμού ενεργητικότητας j που βρίσκονται στο χώρο κατά την ώρα i .

Ειδικότερα, ανάλογα με τον βαθμό ενεργητικότητας και την εσωτερική θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου, τα λανθάνοντα και αισθητά φορτία λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα:

ΒΑΘΜΟΣ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΤΟΜΩΝ	Αισθητά και Λανθάνοντα Φορτία (σε Kcal/h) ανάλογα με εσωτερική θερμοκρασία χώρου									
	T=23.5		T=24.5		T=25.5		T=26.5		T=27.5	
	A	Λ	A	Λ	A	Λ	A	Λ	A	Λ
Καθισμένοι σε ακινησία	60	26	56	30	52	34	48	38	44	52
Καθισμένοι σε ελαφρά εργασία	64	39	59	44	55	48	50	53	46	57
Καθισμένοι, τρώγοντας	76	69	70	75	65	80	60	85	55	90
Δουλειά Γραφείου	76	54	70	60	65	65	60	70	55	75
Ιστάμενοι ή περπατώντας αργά	90	70	83	77	77	83	71	89	65	95
Καθιστική εργασία (Εργοστάσιο)	100	98	93	105	86	112	79	119	73	125
Ελαφρά εργασία (Εργοστάσιο)	100	160	93	167	86	174	79	181	73	187
Μέτριος Χορός	120	202	111	211	103	219	95	227	87	235
Βαριά εργασία (Εργοστάσιο)	165	240	153	252	142	263	131	274	121	284
Βαριά εργασία (Γυμναστήριο)	187	263	173	277	160	290	147	303	135	315

10.1.8 Φορτία συσκευών

Όπως το φορτίο από τα άτομα έτσι και το φορτίο από τις συσκευές διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Οι σχέσεις υπολογισμού είναι οι παρακάτω:

$$Q_a = (\sum_{j=1}^k F_{aj} * N_j) + Q_1$$

$$Q_l = (\sum_{j=1}^k F_{lj} * N_j) + Q_2$$

όπου:

Q_a : Το συνολικό αισθητό φορτίο από συσκευές

Q_l : Το συνολικό λανθάνον φορτίο από συσκευές

j : Ο τύπος της συσκευής σύμφωνα με τον πίνακα

F_{aj} : Το αισθητό φορτίο μίας συσκευής τύπου j

F_{lj} : Το λανθάνον φορτίο μίας συσκευής τύπου j

N_j : Ο αριθμός των συσκευών τύπου j που λειτουργούν στο χώρο

Q_1 : Συνολικό αισθητό φορτίο από συσκευές που δεν περιέχονται στους πίνακες

Q_2 : Συνολικό λανθάνον φορτίο από συσκευές που δεν περιέχονται στους πίνακες

Ειδικότερα, τα θερμικά κέρδη για τις διάφορες Συσκευές (σε kcal/h), λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα:

ΕΙΔΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	Αισθητό Φορτίο	Λανθάνον Φορτίο
	(kcal/h)	(kcal/h)
Μικρή αερίου	500	125
Μεγάλη αερίου	1500	400
Ηλεκτρική 300 W	400	200
Ηλεκτρική 1 KW	600	150
Ηλεκτρική 2 KW	1200	300
Ηλεκτρική 4 KW	2000	800
Κινητήρας 1/4 HP	200	-
Κινητήρας 1 HP	700	-
Κινητήρας 5 HP	3000	-

10.1.9 Φορτία από χαραμάδες

Τα φορτία αυτά λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν δεν υπάρχουν στο χώρο εναλλαγές αέρα από κλιματιστικές συσκευές και υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_i = (\sum_{j=1}^n P_j * a_j * b) * Dt_i$$

όπου:

Q_i : Το συνολικό φορτίο από χαραμάδες την ώρα i

P_j : Η περίμετρος του ανοίγματος j

n : Ο αριθμός των ανοιγμάτων

a_j : Ο συντελεστής διείσδυσης του αέρα για το άνοιγμα j . Εξαρτάται από τον τύπο του ανοίγματος

b : Συντελεστής που εξαρτάται από την έκθεση του κτιρίου σε ανέμους, το λόγο της επιφάνειας των εξωτερικών ανοιγμάτων προς την επιφάνεια των εσωτερικών ανοιγμάτων και τη θέση του ανοιγμάτων. Η τιμή του κυμαίνεται από 0.24 έως 1.6

Dt_i : Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού κατά την ώρα i

10.1.10 Αερισμός

Ο υπολογισμός αυτός αφορά την εισαγωγή εξωτερικού αέρα για αερισμό των κλιματιζόμενων χώρων. Το φορτίο του αερισμού διακρίνεται σε αισθητό και σε λανθάνον, και υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

$$Q_{a_i} = 0.29 \times V \times n \times Dt_i$$

$$Q_{l_i} = 0.71 \times V \times n \times D_g$$

όπου:

Q_{a_i} : Το αισθητό φορτίο αερισμού την ώρα i

Q_{l_i} : Το λανθάνον φορτίο αερισμού την ώρα i

V : Ο όγκος του χώρου

n: Ο αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα

D_{ti} : Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού κατά την ώρα i

D_g : Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική απόλυτη υγρασία. Η διαφορά αυτή θεωρείται σταθερή για όλες τις ώρες υπολογισμού.

10.2 Θερμοκρασιακά στοιχεία

Ημερομηνία	Μεγ. Θερμοκρασία (°C)	Διακύμανση (°C)
23 Ιουλ.	33.7	13.1
24 Αυγ.	33.3	13.0
Υψόμετρο (m)	:	0
Περιοχή με Ομίχλη (1:Ναί 2:Όχι)	:	2
Πόλη	:	Πάτρα
Εσωτερική Υγρασία (%)	:	50
Εξωτερική Υγρασία (%)	:	46
Εσωτερική Θερμοκρασία (°C)	:	26
Διαφορά (T) Εξωτ. – (T) Μη Κλιμ. Χώρων (°C)	:	5
Διαφορά (T) Εδάφους – (T) Εσωτερική (°C)	:	-5
Αριθμός Επιπέδων Κτιρίου (1 - 15)	:	4
Τυπικό Ύψος Επιπέδου (m)	:	3
Συστ. Μονάδων	:	Watt
Μεθοδολογία	:	Carrier

Διόρθωση Εξωτ. Θερμοκρασίας Για Το 24ωρο (23 Ιουλ.):

Ώρες	:	8πμ 9πμ 10πμ 11πμ 12πμ 1μμ 2μμ 3μμ 4μμ 5μμ 6μμ
Διόρθωση D.B.	:	-8.6 -7.2 -5.7 -4.3 -2.8 -1.7 -0.5 0.0 -0.5 -1.1 -1.7
Διορθ. Εξωτ. Θερμ.	:	25.1 26.5 28.0 29.4 30.9 32.0 33.2 33.7 33.2 32.6 32.0
ΔT Παραθύρων	:	-0.9 0.5 2.0 3.4 4.9 6.0 7.2 7.7 7.2 6.6 6.0

ΔΤ Μη Κλιμ. Χώρων : -5.9 -4.5 -3.0 -1.6 -0.1 1.0 2.2 2.7 2.2 1.6 1.0

Συντελεστής Διόρθωσης (23 Ιουλ.) : -1.45

10.3 Τυπικά στοιχεία κτιρίου - εξωτερικοί τοίχοι

Εξ. Τοίχοι	Περιγραφή	Τύπος	Τύπος	Τύπος	Συντ. k Kcal/m ² hc Τοίχων Οροφών	Βάρος kg/m ²	Χρώμα
		ASHRAE CLTD	ASHRAE TFM	ASHRAE RTS			
T1							
T2	Διπλή εξωτερική τοιχοποιία	C	G4	17	0.415	300	2
T3	Τοιχοποιία σε επαφή με Μ.Θ.Χ.				0.715	100	2
T4	Δοκός/υποστυ- λωμα/τοίχωμα σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	B	H2	31	0.792	500	2
T5	Τοιχία χωρίς θερμομόνωση	B	H10	35	3.165	500	2
T6	Τοιχία χωρίς θερμομόνωση σε επαφή με Φ.Ε.	B	H10	35	3.953	500	2
T7	Εξωτερική δοκός/υποστυ- λωμα/τοίχωμα	B	H2	31	0.432	500	2
T8							
T9	Τοίχοι συρομένων 36	C	G10	17	0.346	300	2

10.4 Τυπικά στοιχεία κτιρίου - εσωτερικοί τοίχοι

Εσ. Τοίχοι	Περιγραφή	Συντ. k Kcal/m ² hc Εσ. Τοίχων Διαπέδων
E1	Τοιχοποιία σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	0.715
E2	Τοίχος δρομικός	2.043
E3		
E4		
E5		
E6		
E7	Εξωτερική δοκός/υποστύλωμα/τοίχωμα	0.432

10.5 Τυπικά στοιχεία κτιρίου – οροφές

Οροφές	Περιγραφή	Τύπος ASHRAE CLTD	Τύπος ASHRAE TFM	Τύπος ASHRAE RTS	Συντ. K Kcal/m ² hc Τοίχων Οροφών	Βάρος kg/m ²	Χρώμα
O1	Συμβατικό δόμα	C	G8	17	0.395	200	1.2
O2	Στέγη Μονωμένη- Κεραμίδια Γαλλ.	4	8	18	0.44	50	

10.6 Τυπικά στοιχεία κτιρίου – δάπεδα

Δάπεδα	Περιγραφή	Συντ. k Kcal/m ² hc Εσ. Τοίχων Δαπέδων
Δ1		
Δ2	Δάπεδο σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	0.369
Δ3	Δάπεδο σε επαφή με Φ.Ε.	0.599
Δ4	Δάπεδο χωρίς θερμομόνωση σε επαφή με Φ.Ε.	1.853

10.7 Τυπικά στοιχεία κτιρίου – ανοίγματα

Ανοίγμ.	Περιγραφή	Πλάτ. (m)	Ύψος (m)	Συντ.k Kcal/m ² hc Ανοιγμάτων	Συντ. Τζαμ.	Ειδ. Πλαισ.	Συντ.α
A1	Απλό κοινό τζάμι (μεταλλικό ισ.πλαίσιο 7.5cm)	1.40	1.00	6.000	0.58		
A2	Απλό κοινό τζάμι (μεταλλικό ισ.πλαίσιο 7.5cm)	1.80	1.00	6.000	0.60		
A3	Απλό κοινό τζάμι (μεταλλικό ισ.πλαίσιο 7.5cm)	0.70	1.00	6.000	0.51		
A4	Ανοιγμα χωρίς τζάμι (μεταλλικό πλαίσιο)	2.60	2.40	5.810	0.00	2	
A5	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	1.40	2.40	3.000	0.44		
A6	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	1.80	1.40	3.000	0.45		
A7	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.40	1.40	3.000	0.33		
A8	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.40	1.40	3.000	0.33		
A9	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.70	1.00	3.000	0.40		

A10	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	2.45	2.40	3.000	0.49		
A11	Ανοιγμα χωρίς τζάμι (ξύλινο πλαίσιο)	1.00	2.20	3.480	0.00	1	
A12	Ανοιγμα χωρίς τζάμι (μεταλλικό πλαίσιο)	1.00	2.40	5.810	0.00	2	
A13	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.90	2.40	3.000	0.47		
A14	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	1.40	1.10	3.000	0.41		
A15	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.80	0.70	3.000	0.38		
A16	Ανοιγμα χωρίς τζάμι (μεταλλικό πλαίσιο)	1.00	1.10	5.810	0.00	2	
A17	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.80	1.20	3.000	0.33		

10.8 Αισθητά και λανθάνοντα φορτία χώρων

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

Χώρος : 1

Ονομασία : ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ώρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	2.91	2.64	2.31	2.41	2.52	3.02	3.23	3.39	3.38	3.40	3.51
Λανθάνον	0.90	0.81	0.72	0.72	0.72	0.86	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Σύνολο	3.81	3.45	3.03	3.13	3.24	3.88	4.13	4.29	4.28	4.30	4.41

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-46.40	25.18	96.76	168.14	239.52	297.48	355.44	380.12	355.44	324.63	293.83
Λανθάνον	-168.42	-69.02	44.02	162.69	290.80	399.77	496.26	537.35	496.26	444.98	393.17
Σύνολο	-214.83	-43.84	140.78	330.83	530.32	697.25	851.70	917.47	851.70	769.61	687.00

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 380

Λανθάνον: 537

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 146.37

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

Χώρος : 2

Ονομασία : Υ/Δ1

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	1.08	0.88	0.56	0.33	0.35	0.40	0.41	0.42	0.41	0.41	0.46
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	1.17	0.96	0.63	0.40	0.42	0.48	0.50	0.51	0.50	0.50	0.55

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-9.75	5.29	20.32	35.32	50.31	62.48	74.66	79.84	74.66	68.19	61.72
Λανθάνον	-35.38	-14.50	9.25	34.17	61.08	83.97	104.24	112.87	104.24	93.46	82.58
Σύνολο	-45.12	-9.21	29.57	69.49	111.39	146.45	178.89	192.71	178.89	161.65	144.30

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 80

Λανθάνον: 113

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 30.74

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

Χώρος : 3

Ονομασία : Υ/Δ2

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.25	0.29	0.32	0.35	0.38	0.42	0.44	0.46	0.44	0.45	0.49
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45	0.50	0.53	0.55	0.53	0.54	0.58

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-10.90	5.92	22.73	39.51	56.28	69.90	83.52	89.32	83.52	76.28	69.04
Λανθάνον	-39.57	-16.22	10.34	38.23	68.33	93.93	116.60	126.26	116.60	104.55	92.38
Σύνολο	-50.48	-10.30	33.08	77.73	124.61	163.83	200.12	215.58	200.12	180.83	161.42

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 89

Λανθάνον: 126

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 34.39

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

Χώρος : 4

Ονομασία : Υ/Δ3

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ώρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.21	0.23	0.24	0.29	0.33	0.40	0.46	0.48	0.48	0.50	0.55
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	0.30	0.31	0.32	0.36	0.40	0.49	0.55	0.57	0.57	0.59	0.64

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ώρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-13.01	7.06	27.13	47.14	67.16	83.41	99.66	106.58	99.66	91.02	82.38
Λανθάνον	-47.22	-19.35	12.34	45.62	81.54	112.09	139.14	150.67	139.14	124.76	110.24
Σύνολο	-60.23	-12.29	39.47	92.76	148.70	195.50	238.80	257.25	238.80	215.79	192.62

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 107

Λανθάνον: 151

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 41.04

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

Χώρος : 5

Ονομασία : ΛΟΥΤΡΟ

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.09	0.10	0.12	0.15	0.17	0.18	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.13	0.14	0.15	0.19	0.20	0.22	0.22	0.21	0.19	0.19	0.18

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-9.30	5.05	19.40	33.70	48.01	59.63	71.25	76.20	71.25	65.07	58.90
Λανθάνον	-33.76	-13.83	8.82	32.61	58.29	80.13	99.48	107.71	99.48	89.20	78.81
Σύνολο	-43.06	-8.79	28.22	66.32	106.30	139.77	170.72	183.91	170.72	154.27	137.71

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 76

Λανθάνον: 108

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 29.34

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος : 1

Ονομασία : ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	3.94	3.57	2.98	2.78	2.75	3.27	3.49	3.67	3.68	3.71	3.80
Λανθάνον	0.90	0.81	0.72	0.72	0.72	0.86	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Σύνολο	4.84	4.38	3.70	3.50	3.47	4.12	4.39	4.57	4.58	4.61	4.70

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-45.96	24.93	95.83	166.52	237.22	294.62	352.01	376.46	352.01	321.50	291.00
Λανθάνον	-166.80	-68.35	43.59	161.12	288.00	395.92	491.48	532.18	491.48	440.69	389.38
Σύνολο	-212.76	-43.42	139.42	327.64	525.22	690.54	843.49	908.63	843.49	762.19	680.38

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 376

Λανθάνον: 532

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 144.96

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος : 2

Ονομασία : Υ/Δ1

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.28	0.32	0.33	0.37	0.41	0.44	0.44	0.45	0.44	0.44	0.49
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	0.37	0.40	0.41	0.45	0.49	0.52	0.53	0.54	0.53	0.53	0.58

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-12.55	6.81	26.18	45.49	64.80	80.48	96.16	102.84	96.16	87.83	79.49
Λανθάνον	-45.57	-18.67	11.91	44.02	78.67	108.16	134.26	145.38	134.26	120.39	106.37
Σύνολο	-58.12	-11.86	38.09	89.51	143.48	188.64	230.42	248.22	230.42	208.22	185.87

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 103

Λανθάνον: 145

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 39.60

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος : 3

Ονομασία : Υ/Δ2

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ώρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.24	0.25	0.26	0.31	0.36	0.41	0.45	0.47	0.47	0.49	0.55
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	0.33	0.33	0.33	0.38	0.43	0.50	0.54	0.56	0.56	0.58	0.64

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ώρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-13.01	7.06	27.13	47.14	67.16	83.41	99.66	106.58	99.66	91.02	82.38
Λανθάνον	-47.22	-19.35	12.34	45.62	81.54	112.09	139.14	150.67	139.14	124.76	110.24
Σύνολο	-60.23	-12.29	39.47	92.76	148.70	195.50	238.80	257.25	238.80	215.79	192.62

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 107

Λανθάνον: 151

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 41.04

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος : 4

Ονομασία : ΛΟΥΤΡΟ

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.17	0.16	0.14	0.14	0.13
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.15	0.15	0.16	0.19	0.20	0.22	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-9.30	5.05	19.40	33.70	48.01	59.63	71.25	76.20	71.25	65.07	58.90
Λανθάνον	-33.76	-13.83	8.82	32.61	58.29	80.13	99.48	107.71	99.48	89.20	78.81
Σύνολο	-43.06	-8.79	28.22	66.32	106.30	139.77	170.72	183.91	170.72	154.27	137.71

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 76

Λανθάνον: 108

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 29.34

Επίπεδο : ΣΟΦΙΤΑ

Χώρος : 1

Ονομασία : Υ/Δ3

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.21	0.27	0.34	0.43	0.50	0.55	0.53	0.53	0.51	0.51	0.49
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	0.30	0.35	0.41	0.51	0.57	0.63	0.62	0.62	0.60	0.60	0.58

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-12.87	6.98	26.83	46.62	66.41	82.48	98.55	105.40	98.55	90.01	81.47
Λανθάνον	-46.70	-19.14	12.20	45.11	80.63	110.85	137.60	148.99	137.60	123.38	109.01
Σύνολο	-59.56	-12.16	39.03	91.73	147.04	193.33	236.15	254.39	236.15	213.39	190.48

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 105

Λανθάνον: 149

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 40.58

Επίπεδο : ΣΟΦΙΤΑ

Χώρος : 2

Ονομασία : Υ/Δ4

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.17	0.20	0.26	0.37	0.44	0.52	0.55	0.56	0.55	0.57	0.55
Λανθάνον	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Σύνολο	0.26	0.28	0.33	0.44	0.51	0.61	0.64	0.65	0.64	0.66	0.64

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-13.73	7.45	28.62	49.74	70.85	87.99	105.14	112.44	105.14	96.03	86.91
Λανθάνον	-49.82	-20.42	13.02	48.12	86.02	118.25	146.79	158.95	146.79	131.62	116.30
Σύνολο	-63.55	-12.97	41.64	97.86	156.87	206.25	251.93	271.39	251.93	227.65	203.21

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 112

Λανθάνον: 159

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 43.30

Επίπεδο : ΣΟΦΙΤΑ

Χώρος : 3

Ονομασία : ΛΟΥΤΡΟ

Συνολικά Φορτία Χώρου ανά Ωρα (KWatt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.16	0.16	0.16	0.20	0.22	0.26	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.20	0.20	0.20	0.23	0.26	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30

Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού ανά Ωρα (Watt)

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	-9.27	5.03	19.34	33.60	47.87	59.45	71.03	75.96	71.03	64.87	58.72
Λανθάνον	-33.66	-13.79	8.80	32.51	58.11	79.89	99.17	107.38	99.17	88.92	78.57
Σύνολο	-42.93	-8.76	28.13	66.11	105.98	139.34	170.20	183.34	170.20	153.80	137.29

Μέγιστα Φορτία Συσκευής Λόγω Αερισμού (Watt)

Αισθητό: 76

Λανθάνον: 107

Συνολικός όγκος αέρα (m³/h): 29.25

10.9 Συνολικά ψυκτικά φορτία χωρίς αερισμό (Watt)

Οι τιμές που επιλέγονται για τα συνολικά ψυκτικά φορτία του κάθε χώρου είναι οι μέγιστες, δηλ. την ημέρα και ώρα που έχουμε τα περισσότερα κέρδη. Οι οποίες μέρες είναι η 23^η Ιουλίου και η 24^η Αυγούστου, ενώ η ώρα είναι η 3 μμ.

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

1 ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ	: 4.290
2 Υ/Δ1	: 510
3 Υ/Δ2	: 550

4 Υ/Δ3	:	570
5 ΛΟΥΤΡΟ	:	210
Άθροισμα Φορτίων Επιπέδου	:	6.130

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

1 ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ	:	4.570
2 Υ/Δ1	:	540
3 Υ/Δ2	:	560
4 ΛΟΥΤΡΟ	:	220
Άθροισμα Φορτίων Επιπέδου	:	5.890

Επίπεδο : ΣΟΦΙΤΑ

1 Υ/Δ3	:	620
2 Υ/Δ4	:	650
3 ΛΟΥΤΡΟ	:	310
Άθροισμα Φορτίων Επιπέδου	:	1.580

Συνολικές Φορτίων Κτιρίου Χωρίς Αερισμό : 13.600 Watt = 13.6 kW

10.10 Μέγιστα φορτία συσκευής λόγω αερισμού (Watt)

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

1 ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ	:	917
2 Υ/Δ1	:	193
3 Υ/Δ2	:	215
4 Υ/Δ3	:	256
5 ΛΟΥΤΡΟ	:	184
Άθροισμα Φορτίων Επιπέδου	:	1.765

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

1 ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ	:	908
2 Υ/Δ1	:	248
3 Υ/Δ2	:	258
4 ΛΟΥΤΡΟ	:	115
Άθροισμα Φορτίων Επιπέδου	:	1.529

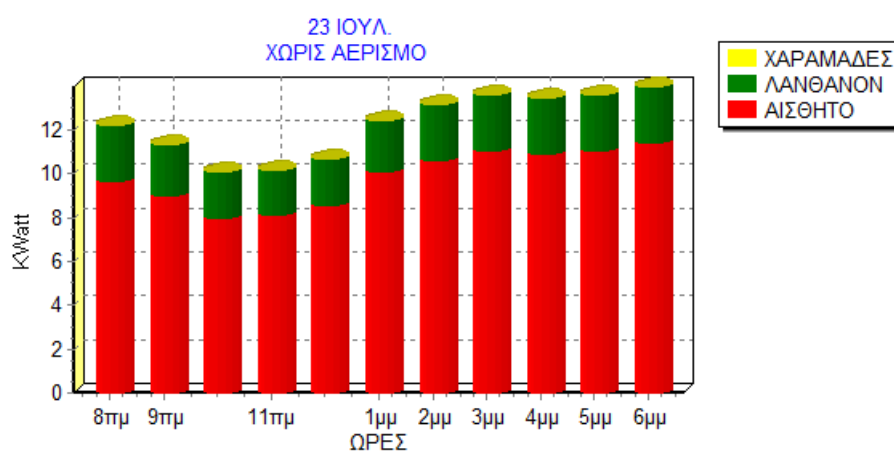
Επίπεδο : ΣΟΦΙΤΑ

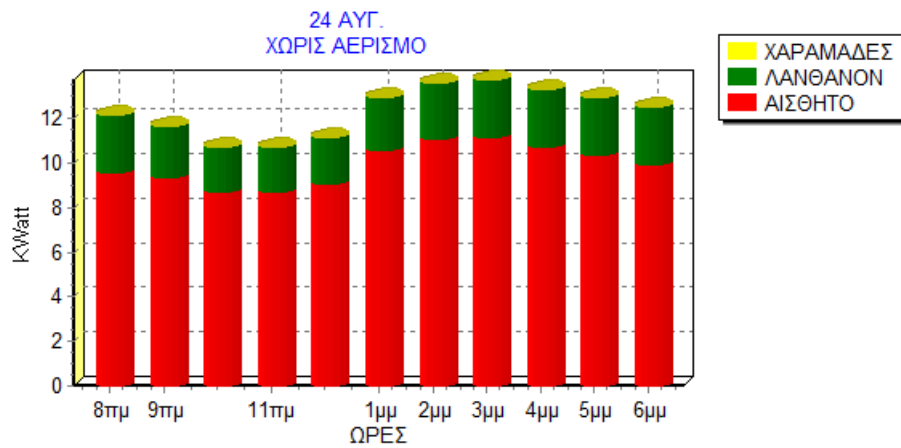
1 Υ/Δ3	:	254
2 Υ/Δ4	:	271
3 ΛΟΥΤΡΟ	:	183
Άθροισμα Φορτίων Επιπέδου	:	708

Συνολικές Φορτίων Κτιρίου Λόγω Αερισμού : 4.002 Watt = 4 kW

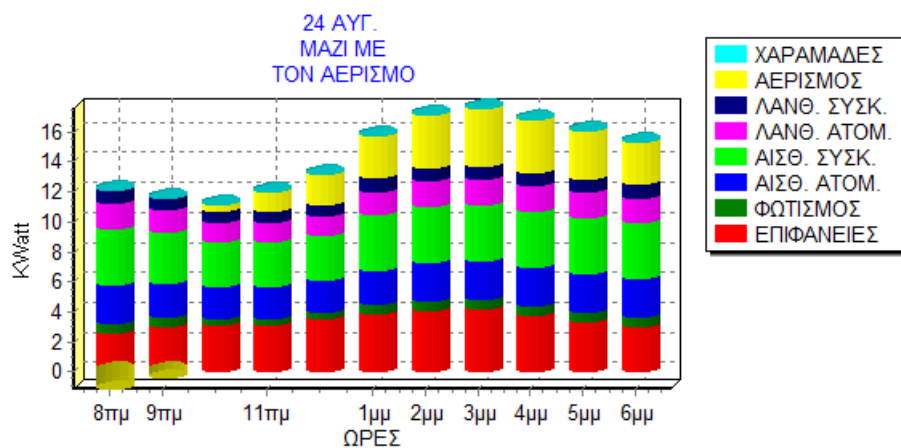
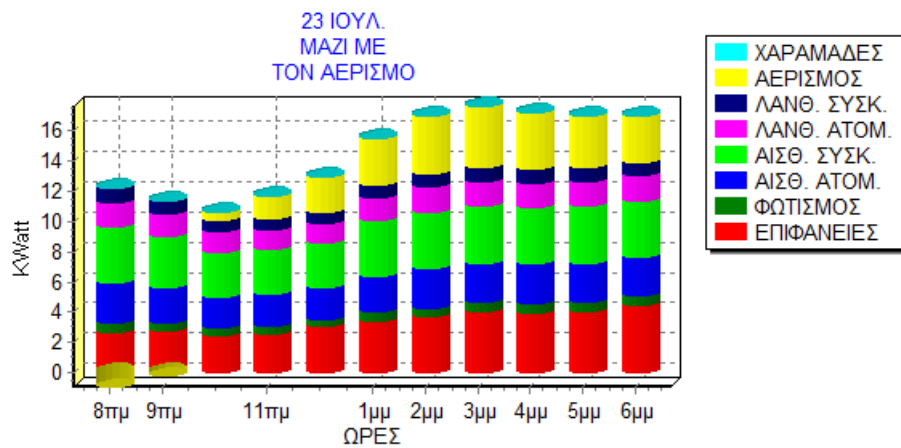
Συνολικές Φορτίων Κτιρίου : 13,6kw + 4kW = 17,6 kW

10.11 Διαγράμματα συγκεντρωτικών φορτίων κτιρίου χωρίς αερισμό





10.12 Διαγράμματα συγκεντρωτικών φορτίων κτιρίου με αερισμό



Κεφάλαιο 11^ο

Μελέτη Θέρμανσης – Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών

Ως «**θερμική απώλεια**» ορίζεται το ποσό θερμότητας που πρέπει να προστεθεί στο κτίριο ώστε να διατηρείται στους διάφορους χώρους ή θερμοκρασία που έχει επιλεγεί και να πληρούνται οι συνθήκες ευεξίας, όταν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν οι συνθήκες σχεδιασμού χειμώνα.

Οι μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων σχεδιασμού είναι αυτή του Γερμανικού Κανονισμού DIN 4701 και η μεθοδολογία υπολογισμού κατά ASHRAE, η οποία περιέχεται στο ASHRAE Handbook of Fundamentals.

Η παρούσα μελέτη για τις θερμικές απώλειες έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού adapt/fcalc της 4M και σύμφωνα με την μεθοδολογία DIN 4701 και τις 2421/86 (μέρος 1 & 2) και 2427/86 TOTEE. Δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει παρουσίαση υπολογισμών με το χέρι λόγω της πληθώρας υπολογισμών τους, αλλά και γιατί κυρίως σήμερα οι βασικοί υπολογισμοί για τις θερμικές απώλειες γίνονται με τη χρήση υπολογιστή.

11.1 Παραδοχές & κανόνες υπολογισμών

Με βάση το DIN 4701, οι θερμικές απώλειες ενός χώρου συνίστανται από:

- α) Απώλειες θερμοπερατότητας Q_o , που προέρχονται από τα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία (τοίχοι, ανοίγματα, δάπεδα, οροφές κλπ)
- β) Απώλειες λόγω προσαυξήσεων.
- γ) Απώλειες αερισμού χώρου Q_L .

α) Οι απώλειες θερμοπερατότητας υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_o = k \cdot F \cdot (t_i - t_a) = \frac{F(t_i - t_a)}{1/k} \text{ σε w (ή Kcal/h)}$$

όπου:

- Q_o : Απώλειες θερμότητας
- F: Επιφάνεια του δομικού τμήματος m^2
- k: Συντελεστής θερμοπερατότητας $W/m^2 K$ (ή $Kcal/m^2 K$)
- $1/k$: Αντίσταση θερμοπερατότητας σε $m^2 K/W$
- t_i : Θερμοκρασία χώρου σε $^{\circ}C$
- t_a : Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα σε $^{\circ}C$

β) Οι προσαυξήσεις υπολογίζονται % και διακρίνονται σε:

β1) προσαύξηση Z_H την επίδραση του προσανατολισμού.

($Z_H = -5$ για N, NΔ, NA $Z_H = +5$ για B, BΔ, BA και $Z_H = 0$ για Δ και A)

β2) προσαύξηση $Z_U + Z_A = Z_D$ διακοπής λειτουργίας και ψυχρών εξωτερικών τοίχων (στο DIN 4701/83 αγνοείται ο συντελεστής Z_U). Η προσαύξηση Z_D προσδιορίζεται με βάση το $D = Q_o / (F_{ges} \times \Delta t)$, όπου F_{ges} η συνολική επιφάνεια που περιβάλλει τον χώρο, και τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, σύμφωνα με τον πίνακα:

β2.1) Z_D για DIN77

Τιμή D

Τρόπος Λειτουργίας	0.1-0.29	0.30-0.69	0.70-1.49
0 ώρες διακοπής	7	7	7
8-12 ώρες διακοπής	20	15	15
12-16 ώρες διακοπής	30	25	20

β2.2) Ο συντελεστής Z_D για το DIN83 μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του D περίπου γραμμικά (βλ. καμπύλη Z_D για το DIN83) παίρνοντας τιμές από το 0 μέχρι το 13.

Επομένως οι θερμικές απαιτήσεις μαζί με τις προσαυξήσεις είναι:

$$Q_T = Q_o (1 + Z_D + Z_H) = Q_o \times Z$$

γ) Οι απώλειες αερισμού Q_L υπολογίζονται εναλλακτικά:

γ1) Από την σχέση που υπολογίζει τον απαιτούμενο αερισμό:

$$Q_L = V \times \rho \times c (t_i - t_a) \text{ (σε w)}$$

όπου:

V: Όγκος εισερχομένου αέρα σε m^3/s

c: Ειδική θερμότητα του αέρα σε $kJ/g K$

ρ : Πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3

γ2) Από την σχέση υπολογισμού απωλειών λόγω χαραμάδων (στην περίπτωση που δεν υπάρχει εξαερισμός):

$$Q_L = \Sigma Q A_i, \text{ όπου:}$$

$$Q A_i = \alpha \times \Sigma l \times R \times H \times \Delta t \times Z_{\Gamma} \text{ για κάθε άνοιγμα.}$$

Οι παράμετροι της παραπάνω σχέσης είναι:

α : Συντελεστής διείσδυσης αέρα

Σl : Συνολική περίμετρος ανοίγματος (σε m)

R : Συντελεστής διεισδυτικότητας (στο DIN 4701/83 ορίζεται ο συντελεστής r).

H : Συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης (στο DIN 4701/83 ο συντελεστής H προσαυξάνεται αυτόματα για ύψος πάνω από 10 m σύμφωνα με τον συντελεστή e_{GA}).

Δt : Διαφορά θερμοκρασίας (σε βαθμούς °C)

Z_T : Συντελεστής γωνιακών παραθύρων (στην περίπτωση γωνιακών παραθύρων παίρνει την τιμή 1.2 αντί της κανονικής 1)

δ) Το τελικό σύνολο των θερμικών απωλειών δεν είναι παρά το άθροισμα των Q_T και Q_L , δηλαδή:

$$Q_{ολ} = Q_T + Q_L$$

11.2 Στοιχεία κτιρίου

Πόλη	Πάτρα
Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία (°C)	-1
Επιθυμητή Εσωτερική Θερμοκρασία (°C)	20
Θερμοκρασία Μη Θερμαινόμενων Χώρων (°C)	10
Θερμοκρασία Εδάφους (°C)	10
Αριθμός Επιπέδων Κτιρίου (1-15)	4
Επίπεδο στη Στάθμη του Εδάφους	1
Μεθοδολογία Υπολογισμού	EN 12831
Σύστημα Μονάδων	Watt

11.3 Τυπικά στοιχεία - εξωτερικοί τοίχοι

Εξ. Τοίχοι	Περιγραφή	Συντ. Κ (Watt/m ² K) Εξωτερικών Τοίχων
T1		
T2	Διπλή εξωτερική τοιχοποιία	0.415
T3	Τοιχοποιία σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	0.715
T4	Δοκός/υποστύλωμα/τόιχωμα σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	0.792
T5	Τοιχία χωρίς θερμομόνωση	3.165
T6	Τοιχία χωρίς θερμομόνωση σε επαφή με Φ.Ε.	3.953
T7	Εξωτερική δοκός/υποστύλωμα/τόιχωμα	0.432
T8		
T9	Τοίχοι συρομένων 36	0.346

11.4 Τυπικά στοιχεία - εσωτερικοί τοίχοι

Εσ. Τοίχοι	Περιγραφή	Συντ. Κ (Watt/m ² K) Εσωτερικών Τοίχων
E1	Τοιχοποιία σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	0.715
E2	Τοίχος δρομικός	2.043
E3		
E4		
E5		
E6		
E7	Εξωτερική δοκός/υποστύλωμα/τόιχωμα	0.432

11.5 Τυπικά στοιχεία – οροφές

Οροφές	Περιγραφή	Συντ. Κ (Watt/m ² K) Οροφών
O1	Συμβατικό δώμα	0.395
O2	Οροφή σε εσοχή	0.397

11.6 Τυπικά στοιχεία - δάπεδα

Δάπεδα	Περιγραφή	Συντ. Κ (Watt/m ² K) Δαπέδων
Δ1		
Δ2	Δάπεδο σε επαφή με Μ.Θ.Χ.	0.369
Δ3	Δάπεδο σε επαφή με Φ.Ε.	0.599
Δ4	Δάπεδο χωρίς θερμομόνωση σε επαφή με Φ.Ε.	1.853

11.7 Τυπικά στοιχεία – ανοίγματα

Ανοίγματα	Περιγραφή	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Συντ.κ (Watt/m ² K) Ανοιγμάτων	Συντ.α	Φύλλα
A1	Απλό κοινό τζάμι (μεταλλικό ισ.πλαίσιο 7.5cm)	1.40	1.00	6.073		1
A2	Απλό κοινό τζάμι (μεταλλικό ισ.πλαίσιο 7.5cm)	1.80	1.00	6.043		1
A3	Απλό κοινό τζάμι (μεταλλικό ισ.πλαίσιο 7.5cm)	0.70	1.00	6.212		1

A4	Άνοιγμα χωρίς τζάμι (μεταλλικό πλαίσιο)	2.60	2.40	5.810		1
A5	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	1.40	2.40	2.430		2
A6	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	1.80	1.40	2.405		2
A7	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.40	1.40	2.831		1
A8	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.40	1.40	2.831		1
A9	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.70	1.00	2.572		1
A10	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	2.45	2.40	2.226		2
A11	Άνοιγμα χωρίς τζάμι (ξύλινο πλαίσιο)	1.00	2.20	3.480		1
A12	Άνοιγμα χωρίς τζάμι (μεταλλικό πλαίσιο)	1.00	2.40	5.810		1
A13	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.90	2.40	2.324		1
A14	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	1.40	1.10	2.550		2
A15	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.80	0.70	2.633		1
A16	Άνοιγμα χωρίς τζάμι (μεταλλικό πλαίσιο)	1.00	1.10	5.810		1
A17	Διπλό διακένου 12mm (ισ.πλαίσιο 7.5cm+μεμβράνη)	0.80	1.20	2.849		2

11.8 Συνολικές απωλειών χώρων (Watt)

Επίπεδο : ΥΠΟΓΕΙΟ

Άθροισμα Απωλειών Επιπέδου : 0

Επίπεδο : ΙΣΟΓΕΙΟ

1 ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ : 4.956

2 Υ/Δ1 : 946

3 Υ/Δ2 : 1.225

4 Υ/Δ3 : 1.449

5 ΛΟΥΤΡΟ : 580

Άθροισμα Απωλειών Επιπέδου : 9.156

Επίπεδο : Α ΟΡΟΦΟΣ

1 ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ : 5.874

2 Υ/Δ1 : 1.165

3 Υ/Δ2 : 1.282

4 ΛΟΥΤΡΟ : 531

Άθροισμα Απωλειών Επιπέδου : 8.852

Επίπεδο : ΣΟΦΙΤΑ

1 Υ/Δ3 : 1.255

2 Υ/Δ4 : 1.401

3 ΛΟΥΤΡΟ : 586

Άθροισμα Απωλειών Επιπέδου : 3.242

Συνολικές Απώλειες Κτιρίου : 21.250 Watt = 21,25 kW

Κεφάλαιο 12^ο

Υπολογισμός Τερματικών Μονάδων

Fan Coil

Στην εφαρμογή μας θα χρησιμοποιήσουμε θα χρησιμοποιήσουμε σώματα εξαναγκα-σμένης κυκλοφορίας αέρα (fan coils).

12.1 Παραδοχές & κανόνες υπολογισμών

Η επιλογή διατομής σωλήνα σε κάποιο τμήμα δικτύου γίνεται δεδομένης της παροχής και με περιορισμό για την ταχύτητα. Ειδικότερα, οι υπολογισμοί γίνονται με βάση τα παρακάτω:

α) Οι παροχές στα τμήματα που καταλήγουν σε μονάδες Fan Coils καθορίζονται από την απόδοση των Fan Coils σύμφωνα με τους πίνακες ή τα διαγράμματα του κατασκευαστή, για τις αντίστοιχες συνθήκες θερμοκρασιών περιβάλλοντος, νερού κλπ. Η διατομή του σωλήνα θα επιλεγεί με βάση την παροχή για την δυσμενέστερη ώρα (δηλαδή την μέγιστη παροχή).

β) Οι παροχές αθροίζονται στους κόμβους (διακλαδώσεις) του δικτύου.

γ) Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς είναι:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V \quad (\text{εξίσωση συνέχειας})$$

$$J = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\lambda}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (\text{εξίσωση Darcy})$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (\text{εξίσωση Colebrook})$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{αριθμός Reynolds})$$

όπου:

Q: Παροχή σε m³/h

D: Εσωτερική διάμετρος σε m

V: Μέση ταχύτητα σε m/s

J: Απώλειες πίεσης ανά μονάδα μήκους σε m/m

Δh: Απώλειες πίεσης σε m

L: Μήκος αγωγού σε m

λ: Συντελεστής τριβής

k: Απόλυτη τραχύτητα σωλήνα σε mm

Re: Αριθμός Reynolds

ν: Ιξώδες νερού σε m²/sec

δ) Οι τριβές στα εξαρτήματα (γωνίες, ταυ, κρουνοί κλπ) κάθε τμήματος του δικτύου υπολογίζονται με την σχέση:

$$J = \frac{1}{2} \sum \zeta \rho V^2$$

όπου:

$\sum \zeta$: Συνολική αντίσταση των εξαρτημάτων του κλάδου

ρ : Πυκνότητα νερού

Η πτώση πίεσης μέσα σε κάθε μονάδα FCU, υπολογίζεται αναλυτικά, με βάση την χαρακτηριστική του αντίσταση ζ που δίνει ο κατασκευαστής και την παραπάνω σχέση.

12.2 Παράμετροι ψύξης - στοιχεία δικτύου

Θερμοκρασία Νερού (°C)	8
Διαφορά Θερμοκρασίας Μονάδων FC (°C)	5
Τύπος Κύριου Σωλήνα	Χαλκοσωλήνας ευθύγραμμος
Συντ. Τραχύτητας Κύριου Σωλήνα (μm)	1.5
Τύπος Δευτερεύοντος Σωλήνα	Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο με φραγή οξυγόνου
Συντ. Τραχύτητας Δευτερεύοντος Σωλήνα (μm)	6
Σύστημα Μονάδων	KWatt
Αναλυτικός υπολογισμός περιεχόμενου νερού	1

12.3 Παράμετροι θέρμανσης - στοιχεία δικτύου

Θερμοκρασία Προσαγωγής Νερού (°C)	45
Διαφορά Θερμοκρασίας Σωμάτων (°C)	10
Τύπος Κύριων Σωλήνων	Χαλκοσωλήνας Ευθύγραμμος
Τραχύτητα Κύριων Σωλήνων (μm)	1.5
Τύπος Δευτερευόντων Σωλήνων	Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο με φραγή οξυγόνου
Τραχύτητα Δευτερευόντων Σωλήνων (μm)	6
Σύστημα Μονάδων	KWatt

12.4 Σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (fan coils)

Το σύστημα Σωμάτων Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας - (Fan Coils) είναι ένα σύστημα από εσωτερικές μονάδες που μεταφέρει την θερμότητα ή την ψύξη στους διάφορους χώρους μέσω της τροφοδοσίας τους με νερό κατάλληλης θερμοκρασίας.

Πλεονεκτήματα:

- Μικρότερο κόστος
- Αποτελεσματικότητα, δηλαδή ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη στην άμεση ζήτηση
- Προσφέρει άνεση και δίνει τη δυνατότητα της εφαρμογής ενός βοηθητικού συστήματος αερισμού

Σε κτίρια προσωρινής διαμονής, όπως και σε χώρους συνάθροισης κοινού, τα Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας (Fan Coils) αποτελούν μια καλή και αξιόπιστη λύση, όπως είναι και η μοναδική λύση για υφιστάμενα κτίρια που θα ήθελαν ένα καλύτερο τρόπο ψύξης από τις τοπικές κλιματιστικές μονάδες, χωρίς να γίνει εκτεταμένη ανακατασκευή του κτιρίου.



Εικόνα 14.1.: Μοντέλο FVC της εταιρίας Trane

Γενικά Χαρακτηριστικά

		01	02	03	04	06	08	11	12	15	20
Συνολική ψυκτική απόδοση (1)	(kW)	1,0	1,6	2,1	3,5	4,7	5,8	8,2	11,0	13,3	14,8
Αισθητή ψυκτική απόδοση (1)	(kW)	0,8	1,2	1,5	2,5	3,4	4,2	6,2	8,1	10,0	11,1
Ροή νερού (ψύξη) (1)	(l/h)	185	278	376	621	816	1018	1458	1945	2355	2644
Πτώση πίεσης νερού (ψύξη) (1)	(kPa)	13	7	14	42	31	50	34	63	96	126
Θερμαντική απόδοση (2)	(kW)	1,4	2,1	2,7	4,1	5,3	6,7	11,2	14,6	17,6	23,6
Ισχύς ηλεκτρικού στοιχείου	(W)	530	530/1060	750/1500	980/1960	1530/3060	1970/3940	3060	3940	4800	4800
Παροχή αέρα	(m ³ /h)	219	284	370	565	762	966	1573	1816	2572	3120
Απορροφούμενη ισχύς ανεμιστήρα (1)	(W)	31	36	47	63	79	102	251	305	394	553
Ακουστική ισχύς (3)	(dB(A))	27/37/42	32/35/45	36/43/51	36/45/57	31/45/57	42/52/60	43/55/64	51/57/63	53/59/70	55/63/72
Ακουστική πίεση (4)	(dB(A))	18/28/33	23/26/36	27/34/42	27/36/48	22/36/48	33/43/51	34/46/55	42/48/54	44/50/56	46/54/63
Διαστάσεις μονάδας (μήκος x πλάτος x ύψος) (5)	(mm)	790x450 x228	790x450 x228	990x450 x228	1190x450 x228	1390x450 x228	1590x450 x228	-	-	-	-
Βάρος (6)	(kg)	18	18	22	25	32	40	-	-	-	-
Διαστάσεις μη εμφανών μονάδων (μήκος x πλάτος x ύψος) (7)	(mm)	530x447 x224	530x447 x224	730x447 x224	930x447 x224	1130x447 x224	1330x447 x224	1349x574 x291	1549x574 x291	1749x574 x291	1949x574 x291
Βάρος (6)	(kg)	17	17	20	23	30	38	55	63	71	80

Ηλεκτρική παροχή: 230V/50Hz/1Ph

(1) 2 σωλήνων, αέρας: 27 °C/19 °C, νερό: 7/12 °C, υψηλή ταχύτητα

(2) 2 σωλήνων, αέρας: 20 °C, εισόδος νερού: 50 °C, ροή νερού ψύξης, υψηλή ταχύτητα

(3) Επίπεδα σύμφωνα με την προδιαγραφή B2 (ISO 3741/88) της Ευγονεπ και την Πιστοποίηση κατά Ευγονεπ, βασικός κινητήρας

(4) Οι τιμές υπολογίστηκαν βάσει επιπέδων ακουστικής ισχύος με υποθετική εξασθένιση θορύβου 9 dB

(5) Μοντέλο κατακόρυφης μονάδας (FVC)

(6) Χωρίς περιεχόμενο νερού, προαιρετικά εξαρτήματα ή αξεσουάρ

(7) Συμπεριλαμβάνονται το προαιρετικό μπλοκ ακροδεκτών και η προαιρετική φλάντζα αέρα προσαγωγής αέρα καθώς και η βοηθητική λεκάνη συμπυκνωμάτων που παρέχεται ως αξεσουάρ

12.5 Κατανομή τερματικών μονάδων fan coil ανά χώρο

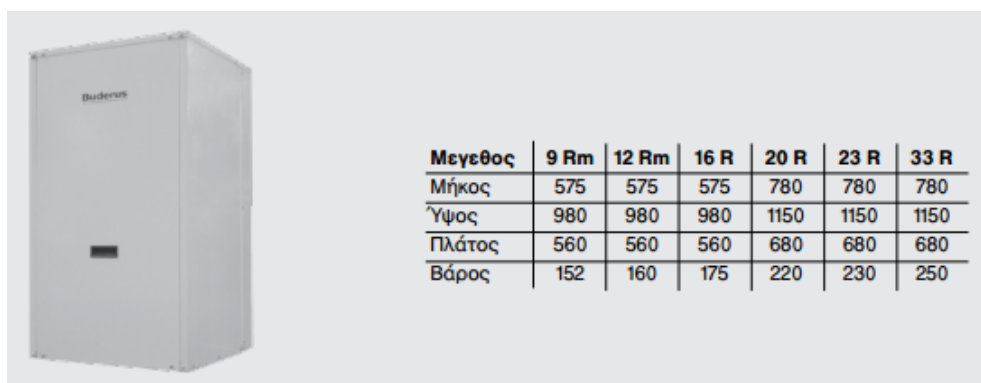
Τμ. Δικτ.	A/A Επιπέδου	A/A Χώρου	Ονομ. Χώρου	Λισθ. Φορτ. Χώρου (KWatt)	Λανθ.ν Φορτ. Χώρου (KWatt)	Είδος Μονάδας FC	Αποδ. Λισθ. Φορτίο (KWatt)	Αποδ. Λανθ. Φορτίο (KWatt)
3.4	3	1	ΚΑΘΙΣΤ ΙΚΟ-ΚΟΥΖΙ ΝΑ	1.3	0.48	FCUFVC 04	2.132	0.517
3.5	3	1	ΚΑΘΙΣΤ ΙΚΟ-ΚΟΥΖΙ ΝΑ	1.3	0.48	FCUFVC 04	2.132	0.517
3.6	3	1	ΚΑΘΙΣΤ ΙΚΟ-	1.3	0.48	FCUFVC 04	2.132	0.517

			KOYZI NA					
3.7	3	3	Y/Δ2	0.630	0.200	FCUFVC 03	1.242	0.207
3.8	3	2	Y/Δ1	0.551	0.235	FCUFVC 04	2.132	0.517
3.9	3	4	ΛΟΥΤΡ Ο	0.245	0.144	11/900/90 0	1.242	0.207
10.11	4	1	Y/Δ3	0.632	0.239	FCUFVC 04	2.132	0.517
10.12	4	3	ΛΟΥΤΡ Ο	0.341	0.152	11/900/90 0	1.242	0.207
10.13	4	2	Y/Δ4	0.668	0.249	FCUFVC 04	2.132	0.517
14.15	2	1	ΚΑΘΙΣΤ ΙΚΟ- ΚΟΥΖΙ ΝΑ	1.44	0.5	FCUFVC 04	2.132	0.517
14.16	2	1	ΚΑΘΙΣΤ ΙΚΟ- ΚΟΥΖΙ ΝΑ	1.44	0.5	FCUFVC 04	2.132	0.517
14.17	2	1	ΚΑΘΙΣΤ ΙΚΟ- ΚΟΥΖΙ ΝΑ	1.44	0.5	FCUFVC 04	2.132	0.517
14.18	2	2	Y/Δ1	1.068	0.055	FCUFVC 03	1.242	0.207
14.19	2	3	Y/Δ2	0.545	0.216	FCUFVC 04	2.132	0.517
14.20	2	5	ΛΟΥΤΡ Ο	0.250	0.144	11/900/90 0	1.242	0.207
14.21	2	4	Y/Δ3	0.635	0.200	FCUFVC 03	1.242	0.207

Κεφάλαιο 13^ο

Υπολογισμός Γεωθερμική Αντλίας Θερμότητας (Γ.Α.Θ.)

13.1 Γεωθερμικές αντλίες για θέρμανση - ψύξη & ζεστό νερό χρήσης από 9 kW έως 33 kW



13.2 Γενικά χαρακτηριστικά

- Compact αντλία θερμότητας, υψηλής απόδοσης και εσωτερικής τοποθέτησης (συνδυασμός συμπιεστή και ψυκτικού μέρους).
- Στη μονάδα περιλαμβάνονται οι πλακοειδής εναλλάκτες και κυκλοφορητές ή φυγοκεντρικές αντλίες (ανάλογα με το μέγεθος) για το εσωτερικό και εξωτερικό κύκλωμα.
- Στη συσκευασία της μονάδας περιλαμβάνεται το εξωτερικό αισθητήριο, το αισθητήριο του ζεστού νερού χρήσης και το εσωτερικό χειριστήριο της μονάδας.
- Παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης σε ένα σύστημα.
- Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης έως και 55°C.
- Δυνατότητα λειτουργίας της μονάδας σε εξωτερική θερμοκρασία έως και -15°C.

	Τύπος	Ψυκτική ισχύς [kW]	Θερμική ισχύς [kW]	Ηλεκτρική παροχή
Logatherm WPS	9 Rm	12	9	230 / 50Hz
	12 Rm	15,1	12	230 / 50Hz
	16 R	21,3	16	400-3N / 50Hz
	20 R	26,9	20	400-3N / 50Hz
	23 R	30,7	23	400-3N / 50Hz
	33 R	44,8	33	400-3N / 50Hz

RM : Μονοφασικά, R : Τριφασικά

Συνθήκες μέτρησης Ψύξη: Νερό κρύο είσοδος - έξοδος 23/18°C (συστήματος), νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 30°C / 35°C.

Συνθήκες μέτρησης Θέρμανση: Νερό ζεστό είσοδος - έξοδος 30/35°C (συστήματος), νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 0°C / -3°C.

13.3 Διαστασιολόγηση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Σύμφωνα με τις μελέτες μας, τα φορτία είναι 21,25kw στην θέρμανση και 17,60 kw ψύξη. Εάν υπολογίσουμε και ένα ποσοστό της τάξης των 15-20 % για την κάλυψη των αναγκών για ζεστό νερό χρήσης της οικίας θα χρειαστούμε μονάδα αποδόσεως 24,44 kw.

Από τη σειρά Logatherm WPS της εταιρίας Buderus θα επιλέξουμε για την εφαρμογή μας το μοντέλο 23 R, τριφασικής παροχής ρεύματος.

Η επιλεγμένη μονάδα αποδίδει 23 kw στην θέρμανσης και 30,7 kw στην ψύξη, υπό τις εξής συνθήκες:

- **Συνθήκες μέτρησης Ψύξη:** Νερό κρύο είσοδος - έξοδος 23/18°C (συστήματος), νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 30°C / 35°C.
- **Συνθήκες μέτρησης Θέρμανση:** Νερό ζεστό είσοδος - έξοδος 30/35°C (συστήματος), νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 0°C / -3°C.

Όπως παρατηρούμε η μονάδα μας καλύπτει 100 % και τα φορτία τους θέρους και του χειμώνα αντίστοιχα.

Στην περίπτωση που ζητάμε και ζεστό νερό χρήσης ταυτόχρονα, βλέπουμε πως το χειμώνα θα μας καλύψει περίπου το 94 % των απωλειών μας. Όμως, επειδή ο καλύτερος τρόπος λειτουργίας των αντλιών θερμοτήτων είναι να έχουν συνεχή λειτουργία (π.χ. καθ'όλη τη διάρκεια του χειμώνα). Με αυτόν τον τρόπο καλύπτουμε μόνο μια φορά το μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών που προέρχονται από τοίχους, δάπεδα, οροφή, ανοίγματα κλπ, και το μόνο που κάνουμε στη συνέχεια είναι απλά συντηρούμε μια επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους, η οποία ποικίλλει από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Με τα παραπάνω λεγόμενα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως, θα μπορούσαμε να είχαμε διαστασιολογήσει και μονάδα μικρότερου μεγέθους σε ισχύς, εφόσον βέβαια υπάρχει συνεχή λειτουργία της μονάδας και όχι διακοπτόμενη.

Υποδιαστασιολόγηση της μονάδας θα μπορούσε να γίνει και εφόσον βασιζόμασταν στον ετεροχρονισμό των χώρων. Όμως, επειδή δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τον τρόπο με τον οποίο θα το λειτουργεί ο κάθε άνθρωπος και αν αντιλαμβάνονται όλοι αυτούς τους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας, θα επιλέξουμε μονάδα που να καλύπτει το 100 % των φορτίων.

13.4 Επιλογή εναλλάκτη γεωθερμίας

Στην εφαρμογή μας θα επιλέξουμε κάθετο γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος, λόγω περιορισμένης έκτασης χώρου, καταλληλότητας για όλα τα εδάφη, καλύτερης και σταθερής απόδοσης. Ο σωλήνας που χρησιμοποιούμε είναι διαμέτρου 32cm. Κάθε γεώτρηση παίρνει δυο στρώσης κυκλωμάτων, λόγω του βαριδιού που τοποθετούμε στο κάτω μέρος των σωληνώσεων για να έχουμε πιο εύκολη εγκατάσταση στο έδαφος, σαν διπλό U μεταξύ τους .



Εικόνα 13.1 : Εγκαταστάσεις

Σύμφωνα και με το υποκεφάλαιο 11.7.1.2. το μέγεθος του εναλλάκτη καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου.

Οι συγκεκριμένες κατασκευές δίνουν 60-80 W/μέτρο βάθους γεώτρησης.

Τα μέγιστα φορτία μας είναι 24.440 W για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα μέγιστα φορτία μας, έχουμε:

$$\text{➤ } 24.440 \text{ W} / (80\text{W/m}) = 305 \text{ m βάθους γεώτρησης.}$$

Λόγω ότι το μέγιστο βάθος γεώτρησης είναι συνήθως 120 m, θα μοιράσουμε το βάθος γεώτρησης μας (305 m) σε μικρές γεωτρήσεις.

Όπως αναφέραμε και πιο πανώ η κάθε γεώτρηση παίρνει δυο στρώσεις κυκλωμάτων, άρα για να τον υπολογισμό των γεωτρήσεων θα χρησιμοποιήσουμε τα μισά μετρά σωλήνα.

$$305 / 2 = 152,5 = 153\text{m}$$

Για να έχουμε μια καλή απόδοση θα κάνουμε τις γεωτρήσεις στα 60m

$$153 / 60 = 2,55 = 3 \text{ γεωτρήσεις}$$

Οι θέσεις των κάθετων γεωτρήσεων συστήνεται να απέχουν τουλάχιστο 6 m μεταξύ τους.

Οπότε η εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη κάθετου κυκλώματος θα τοποθετηθούν έξι κυκλώματα σωληνώσεων σε βάθος 60m.

$$60m * 6 \text{ κυκλώματα} * 80W = 28800W$$

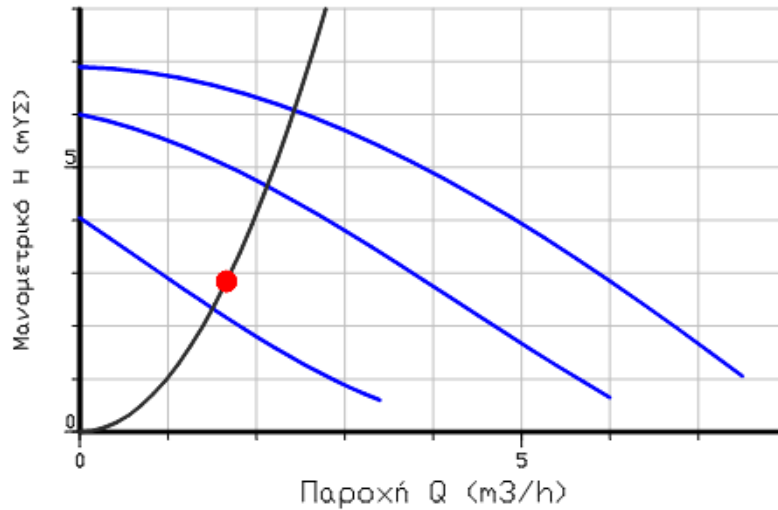
Άρα μας καλύπτει την οικία για θέρμανση και ψύξη και για ζεστό νερό χρήσης.

Ο σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε είναι τις Raugo της Rehau.

Δια μέσου συλλεκτριών αγωγών τα κυκλώματα του γεωεναλλάκτη συνδέονται με ΓΑΘ .

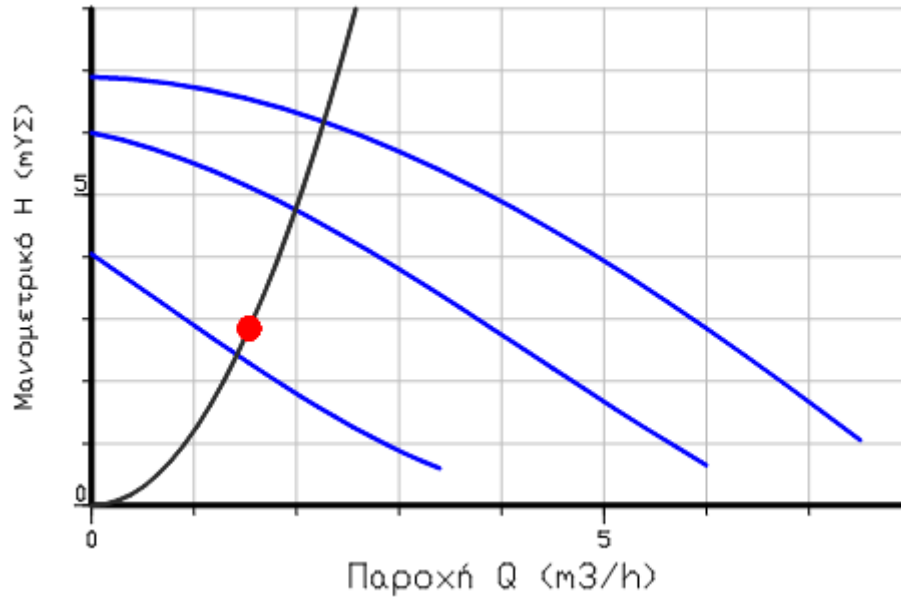
13.5 Επιλογή κυκλοφορητή για το κύκλωμα του ισογείου

A/A Κυκλοφορητή	1
Παροχή Νερού Q (m³/h)	1.660
Δυσμενέστερος Κλάδος	1..4
Τριβές Δικτύου (mΥΣ)	2.377
Συντελεστής C (C=ΔP/Q²) Τριβών Ψυκτικού Συγκροτήματος (mΥΣ)/(m³/h)²	0.07
Συντελεστής C (C=ΔP/Q²) Τριβών Τριόδου (mΥΣ)/(m³/h)²	0.05
Συντελεστής C (C=ΔP/Q²) Τριβών Βαλβίδας Αντεπιστροφής (mΥΣ)/(m³/h)²	0.04
Συντελεστής C (C=ΔP/Q²) Υπόλοιπων Τριβών (mΥΣ)/(m³/h)²	0.01
Μανομετρικό Υ (mΥΣ)	2.845452
Τύπος Αντλίας που Επιλέγεται	WILO TOP-S 30/7
Μέγεθος	154x180x235 (mm)
Παροχή	7.5 m ³ /h
Μανομετρικό Ύψος	6.9 ΜΥΣ
Ισχύς Κινητήρα	90 W
Ηλεκτρικά Δεδομένα	0.88A - 230V - 2550n



13.6 Επιλογή κυκλοφορητή για το κύκλωμα του ορόφου - σοφίτας

A/A Κυκλοφορητή	2
Παροχή Νερού Q (m³/h)	1.539
Δυσμενέστερος Κλάδος	1.16
Τριβές Δικτύου (mΥΣ)	2.449
Συντελεστής C ($C=\Delta P/Q^2$) Τριβών Ψυκτικού Συγκροτήματος (mΥΣ)/(m³/h)²	0.07
Συντελεστής C ($C=\Delta P/Q^2$) Τριβών Τριόδου (mΥΣ)/(m³/h)²	0.05
Συντελεστής C ($C=\Delta P/Q^2$) Τριβών Βαλβίδας Αντεπιστροφής (mΥΣ)/(m³/h)²	0.04
Συντελεστής C ($C=\Delta P/Q^2$) Υπόλοιπων Τριβών (mΥΣ)/(m³/h)²	0.01
Μανομετρικό Y (mΥΣ)	2.851649
Τύπος Αντλίας που Επιλέγεται	WILO TOP-S 30/7
Μέγεθος	154x180x235 (mm)
Παροχή	7.5 m³/h
Μανομετρικό Ύψος	6.9 MΥΣ
Ισχύς Κινητήρα	90 W
Ηλεκτρικά Δεδομένα	0.88A - 230V - 2550n



13.7 Υπολογισμός ασφαλιστικού δικτύου ισογείου

Επιλογή Κλειστού Δοχείου Διαστολής	
Θερμοκρασία Προσαγωγής Νερού t_v (°C)	8
Θερμοκρασία Επιστροφής Νερού t_r (°C)	13
Μέση Θερμοκρασία Λειτουργίας $t_m = (t_v+t_r)/2$ (°C)	10.5
Στατική Πίεση Εγκατάστασης P_A (bar)	1
Τελική Πίεση Εγκατ. $P_E = P_A + 0.7$ (bar)	1.7
Συντελεστής Διαστολής A_f	0.0018
Περιεχόμενο Νερό στο Σύστημα V_s (l)	61.61
Η Διαστολή του Νερού είναι $V_A = A_f \times V_s$ (l)	0.11
Ελάχιστος Όγκος Δοχείου Διαστολής $V_N = (P_E+1) \times V_A / (P_E-P_A)$ (l)	0.43
Επιλέγεται Κλειστό Δοχείο Διαστολής	REFLEX 35 N
Χωρητικότητα Δοχείου Διαστολής (l)	35lt/3bar

13.8 Υπολογισμός ασφαλιστικού δικτύου α' ορόφου

Επιλογή Κλειστού Δοχείου Διαστολής	
Θερμοκρασία Προσαγωγής Νερού t_v (°C)	8
Θερμοκρασία Επιστροφής Νερού t_r (°C)	13
Μέση Θερμοκρασία Λειτουργίας $t_m = (t_v+t_r)/2$ (°C)	10.5
Στατική Πίεση Εγκατάστασης P_A (bar)	1
Τελική Πίεση Εγκατ. $P_E = P_A + 0.7$ (bar)	1.7
Συντελεστής Διαστολής A_f	0.0018
Περιεχόμενο Νερό στο Σύστημα V_s (l)	66.39
Η Διαστολή του Νερού είναι $V_A = A_f \times V_s$ (l)	0.12
Ελάχιστος Όγκος Δοχείου Διαστολής $V_N = (P_E+1) \times V_A / (P_E - P_A)$ (l)	0.46
Επιλέγεται Κλειστό Δοχείο Διαστολής	REFLEX 35 N
Χωρητικότητα Δοχείου Διαστολής (l)	35lt/3bar
Άλλα Χαρακτηριστικά	

Κεφάλαιο 14^ο

Τεχνική Περιγραφή Εγκατάστασης

Fan - Coils

14.1 Γενικά για την μελέτη

Για την παραπάνω μελέτη λήφθηκε υπόψη επιθυμητή θερμοκρασία θερμαινόμενων χώρων ίση με 26 °C. Η θερμοκρασία προσαγωγής του νερού θα είναι ίση με 8 °C .

14.2 Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Γ.Α.Θ.)

Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης επιλέχθηκε γεωθερμική αντλία θερμότητας της εταιρίας Buderus, πιο συγκεκριμένα από τη σειρά Logatherm WPS=>23R τριφασικής παροχής ρεύματος.

Logatherm WPS	9 Rm	12 Rm	16 R	20 R	23 R	33 R
Όνομαστική θερμική Ισχύς kW(1)	9,2	11,7	16	19,8	23	33,3
Συνολική απορροφούμενη Ισχύς (2)	2,35	2,8	3,5	4,4	4,9	7,3
COP (Eurovent)	3,92	4,18	4,57	4,5	4,69	4,56
Όνομαστική Ψυκτική Ισχύς kW (3)	12	15,1	21,3	26,9	30,7	44,8
Συνολική απορροφούμενη Ισχύς kW (2)	2,53	3,27	4,1	5,15	5,95	8,8
EER (Eurovent)	4,74	4,62	5,2	5,22	5,16	5,09
Όνομαστική θερμική Ισχύς kW (4)	9	11,3	15,2	18,8	21,8	31,9
Συνολική απορροφούμενη Ισχύς kW (2)	3	3,6	4,4	5,6	6,2	9
COP (Eurovent)	3	3,14	3,45	3,36	3,52	3,54
Όνομαστική Ψυκτική Ισχύς kW (5)	8,8	11,3	15,7	19,8	22,9	33,4
Συνολική απορροφούμενη Ισχύς (2)	2,6	3,2	4	5,1	5,8	8,4
EER (Eurovent)	3,38	3,53	3,93	3,88	3,95	3,98
ESEER (απόδοση συστήματος)	3,95	3,9	4,51	4,4	4,61	4,37
Τύπος Συμπιεστή	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL
Αριθμός Συμπιεστών	1	1	1	1	1	1
Ψυκτικό Υγρό	R410A	R410A	R410A	R410A	R410A	R410A
Τύπος αντλίας από τη μεριά του εσωτερικού κυκλώματος (6)	K	K	K	Φ	Φ	Φ
Τύπος αντλίας από τη μεριά του εξωτερικού κυκλώματος (6)	K	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ
Ρεύμα Εκκίνησης A	44	59	75	95	111	140
Ηχητική ισχύς (7) dB(A)	53	58	59	66	66	70
Ηχητική πίεση (8) dB(A)	39	44	45	51	51	55

- 1) Νερό είσοδος - έξοδος 30/35°C (συστήματος), Νερό είσοδος-έξοδος 0°C / -3°C (πηγής)
- 2) Η Συνολική απορροφούμενη ισχύς έχει υπολογιστεί σύμφωνα με το Eurovent
- 3) Κρύο νερό είσοδος - έξοδος 23/18°C , Νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 30°C / 35°C
- 4) Ζεστό νερό είσοδος - έξοδος 40/45°C, Νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 0°C / -3°C
- 5) Κρύο νερό είσοδος - έξοδος 12/7°C , Νερό γεωεναλλάκτη είσοδος-έξοδος 30°C / 35°C
- 6) K = Κυκλοφορητής , Φ = Φυγοκεντρική αντλία
- 7) Σύμφωνα με το ISO 9614 & Eurovent 8./1.
- 8) Μετρημένη σε απόσταση περίπου 1 μέτρου από τις εξωτερικές διαστάσεις της μονάδας

14.3 Κυκλοφορητές

14.3.1 Δίκτυο Ισογείου

Για την κυκλοφορία του νερού θα τοποθετηθεί αντλία στη προσαγωγή. Η αντλία πρέπει να έχει παροχή ίση με 1.539 m³/h.

Επίσης θα πρέπει να έχει μανομετρικό ύψος Η ίσο με 2.852Μ.Υ.Σ..

Προτείνεται αντλία με τα παρακάτω στοιχεία:

Τύπος : WILO TOP-S 30/7

Μέγεθος : 154x180x235 (mm)

Παροχή : 7.5 m³/h

Μανομετρικό : 6.9 ΜΥΣ

Ισχύς Κινητήρα : 90 W

Ηλεκτρικά δεδομ. : 0.88A - 230V - 2550n

14.3.2 Δίκτυο α' ορόφου-σοφίτας

Για την κυκλοφορία του νερού θα τοποθετηθεί αντλία στη προσαγωγή επιστροφής. Η αντλία πρέπει να έχει παροχή ίση με 1.660 m³/h.

Επίσης θα πρέπει να έχει μανομετρικό ύψος Η ίσο με 2.845Μ.Υ.Σ..

Προτείνεται αντλία με τα παρακάτω στοιχεία:

Τύπος : WILO TOP-S 30/7

Μέγεθος : 154x180x235 (mm)

Παροχή : 7.5 m³/h

Μανομετρικό : 6.9 ΜΥΣ

Ισχύς Κινητήρα : 90 W

Ηλεκτρικά δεδομ. : 0.88A - 230V - 2550n

14.4 Δοχείο διαστολής

14.4.1 Δίκτυο ισογείου

Επιλέγεται Δοχείο Διαστολής με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Το δοχείο διαστολής που εκλέγεται είναι REFLEX 35 N και να έχει χωρητικότητα ίση με 35lt/3bar.

14.4.2 Δίκτυο α' ορόφου

Επιλέγεται Δοχείο Διαστολής με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Το δοχείο διαστολής που εκλέγεται είναι REFLEX 35 N και έχει χωρητικότητα ίση με 35lt/3bar.

14.5 Δοχείο αδρανείας

Για τη δημιουργία θερμικής αδράνειας στο σύστημα καθώς και την αποφυγή συνεχών επανεκκινήσεων των Heat Pump θα τοποθετηθεί σε κάθε δίκτυο δοχείο αδρανείας χωρητικότητας V=150lt που θα εξασφαλίζει 10 λεπτά μεταξύ δύο διαδοχικών εκκινήσεων της μονάδας.

$$V = P \times t / 4.18 \times \Delta\theta$$

14.6 Μονάδες Fan Coils

Οι μονάδες θα είναι χαλύβδινες, με ανεμιστήρα τριών τουλάχιστον ταχυτήτων και στάθμη θορύβου 40dba στη χαμηλή ταχύτητα. Θα τοποθετηθούν με επιμέλεια και θα συνδεθούν στο δίκτυο του νερού. Το είδος και το μέγεθος των μονάδων φαίνεται στα σχέδια και το επισυναπτόμενο ειδικό έντυπο.

Ενδεικτικός τύπος: Trane FVC.

14.7 Δίκτυο σωληνώσεων

Οι σωλήνες του δικτύου θα τοποθετηθούν σύμφωνα με τα σχέδια. Τα οριζόντια τμήματά τους θα παρουσιάζουν κλίση 1/100 έως 5/100. Τα τμήματα των σωλήνων που βρίσκονται μέσα στο δάπεδο θα βρίσκονται εντός πλαστικού σπειροειδούς σωλήνα ανάλογης διαμέτρου.

Όλες οι σωληνώσεις προσαγωγής και επιστροφής νερού, θα μονωθούν για την αποφυγή απωλειών θερμότητας. Η μόνωση των σωλήνων θα γίνει με μονωτικούς σωλήνες τύπου Armaflex, πάχους σύμφωνα με τη TOTEE 20701-1/2010. Στην αρχή κάθε κατακόρυφης στήλης θα τοποθετηθεί βάννα με κρουνό κένωσης ανάλογης διαμέτρου.

14.8 Δοκιμή εγκατάστασης

Μετά την αποπεράτωση του δικτύου των σωληνώσεων και πριν από την τοποθέτηση των μονάδων fcu θα τεθεί το δίκτυο υπό υπερπίεση 8 ατμοσφαιρών για τρεις συνεχείς ώρες.

Εφόσον δεν παρουσιαστεί καμία διαρροή, θα τοποθετηθούν τα fan coils. Θα γεμίσει με νερό, θα κλείσουν τα ελεύθερα άκρα των σωλήνων και θα τεθεί το δίκτυο με υπερπίεση 4 ατμοσφαιρών επί δύο συνεχείς ώρες. Σε περίπτωση κάποιας διαρροής, η οποία μπορεί να διαπιστωθεί εύκολα από την πτώση πίεσης που σημειώνεται στο μανόμετρο, θα επισκευαστεί η σχετική ατέλεια, θα αντικατασταθούν τα ελαττωματικά εξαρτήματα και η δοκιμή θα επαναληφθεί. Έπειτα θα τεθεί η εγκατάσταση σε λειτουργία υπό συνθήκες πλήρους λειτουργίας με παράλληλο έλεγχο της στεγανότητας των ενώσεων και παρεμβασμάτων κατά τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Κεφαλαίο 15^ο

Σχεδιασμός Συστήματος Παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης

15.1 Υπολογισμός αναγκών ζεστού νερού χρήσης

Η κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (ZNX) για το υπό μελέτη τμήμα ορίζεται στην παράγραφο 2.5 (πίνακας 2.5) της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 ανά χρήση, και είναι αυτή η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς.

- Πολυκατοικία: $27.38\text{m}^3/\text{υπν.}/\text{έτος} \times 7 \text{ υπνοδωμάτια} \times 1000 \text{ lt/m}^3 / 365 \text{ ημέρες}/\text{έτος} = 525.10 \text{ lt}/\text{ημέρα}$.

Η συνολική ημερήσια κατανάλωση για ZNX στο κτήριο είναι 525.10 lt.

Η μέση θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης ορίζεται στους 45°C, ενώ οι θερμοκρασίες νερού δικτύου της Πάτρας όπως ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, δίνονται στον πίνακα 17.1.

Το ημερήσιο απαιτούμενο θερμικό φορτίο Q_d σε (kWh/day) για την κάλυψη των αναγκών του κτηρίου για Ζ.Ν.Χ. δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$Q_d = V_d \cdot \frac{c}{3600} \rho \cdot \Delta T$$

όπου:

V_d [lt/ημέρα] το ημερήσιο φορτίο, $V_d = 525.10$ (lt/ημέρα),

ρ [kg/lt] η μέση πυκνότητα του ζεστού νερού χρήση, $\rho = 1$ (kg/ lt),

c [kJ/(kg.K)] η ειδική θερμότητα, $c = 4,18$ kJ/(kg.K),

ΔT [K] ή [°C] θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού δικτύου και της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ..

Εφαρμόζοντας την πιο πάνω σχέση και για τις θερμοκρασίες νερού δικτύου (πίνακας 5.2), υπολογίστηκε το ημερήσιο θερμικό φορτίο (kWh/ημέρα) για ΖΝΧ του κτηρίου για κάθε μήνα, όπως δίνεται στον πίνακα 17.1.

Ζώνη	Χρήση	V_d [lt/ημέρα]	V_{store} [lt]	Q_d [kWh/ημέρα]	P_n [kW]
Ζώνη 1	Πολυκατοικία	525.10	105.02	21.27	4.25

* ΖΝΧ : Ζεστό νερό χρήσης

15.2 Επιλογή δοχείων αποθήκευσης του ΖΝΧ της εταιρίας Daikin

Θα τοποθετηθούν δύο δοχεία αποθήκευσης (ένα για κάθε διαμέρισμα) στο σύστημα ΖΝΧ του κτηρίου μελέτης με χωρητικότητα το καθένα $V_{store}=150$ lt, τύπου ΕΚΗWS150B.

15.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά δοχείου αποθήκευσης

- Δεξαμενή ζεστού νερού χρήσης από ανοξείδωτο χάλυβα.
- Κοστενεργός εναλλακτική λύση για λέβητα ορυκτών καυσίμων.
- Χαμηλοί λογαριασμοί ενέργειας και χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).
- Εύκολη εγκατάσταση.
- Συνολική λύση για άνεση όλη τη χρονιά.



Εικόνα 15.1.: Δοχείο αποθήκευσης ZNX τύπου EKHWS-B (κάθετης διάταξης)

15.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείου αποθήκευσης ZNX

2-1 Τεχνικά χαρακτηριστικά				ΕΚΗWS15 083V3	ΕΚΗWS20 083V3	ΕΚΗWS30 083V3	ΕΚΗWS20 083Z2	ΕΚΗWS30 083Z2	ΕΚΗWSU1 08B3V3	ΕΚΗWSU2 08B3V3	ΕΚΗWSU3 08B3V3	
Περιβλήμα	Χρώμα			Ουδέτερο Λευκό								
	Υλικό			Μαλακός χάλυβας με εποξεική επικάλυψη								
Διαστάσεις	Παρέμβυσμα	Ύψος	mm	950	1,200	1,650	1,200	1,650	1,040	1,280	1,735	
		Πλάτος	mm	600	600	600	600	600	600	600	600	
		Βάθος	mm	600	600	600	600	600	600	600	600	
	Μονάδα	Ύψος	mm	900	1,150	1,600	1,150	1,600	1,015	1,265	1,715	
		Πλάτος	mm	580	580	580	580	580	580	580	580	
		Βάθος	mm	580	580	580	580	580	580	580	580	
Βάρος	Βάρος		kg	37	45	59	45	59	38	46	60	
	Μικτό βάρος		kg	42	51	66	51	66	43	52	67	
Συσκευασία	Υλικό			EPS								
	Βάρος			Μαλακό χαρτόνι								
				kg	3	4	5	4	5	3	4	5
Κύρια εξαρτήματα	Δοχείο	Όγκος νερού	l	150	200	300	200	300	150	200	285	
		Υλικό			Ανοξείδωτος χάλυβας (DIN 1.4521)							
		Μέγιστη θερμοκρασία	°C	85	85	85	85	85	85	85	85	
		Μέγιστη πίεση νερού	bar	10	10	10	10	10	10	10	10	
Δοχείο	Μόνωση	Υλικό			Αφρός πολυουρεθάνης							
		Ελάχιστη πυκνότητα	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	
Κύρια εξαρτήματα	Εναλλάκτης θερμότητας	Ποσότητα		1	1	1	1	1	1	1	1	
		Υλικό			Χάλυβας διπλής φάσης (Duplex) LDX 2 101							
	Ενισχυτικός θερμαντήρας	Ποσότητα		1	1	1	1	1	1	1	1	
		Χωρητικότητα	kW	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Τριόδη βαλβίδα	Συνεχής ροής (kV)		m³/h	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
		Είσοδος		in	Rp1							
Έξοδος		in	2xRp1									
Αισθητήρας θερμοκρασίας	Μήγος καλωδίου		m	12	12	12	12	12	12	12	12	
Συνδέσεις σωλήνωσης	Διάμετρος εισόδου νερού H/E		in	G 3/4 (θηλυκό)								
	Διάμετρος εξόδου νερού H/E		in	G 3/4 (θηλυκό)								
	Διάμετρος εισόδου κρύου νερού		in	G 3/4 (θηλυκό)								
	Διάμετρος εξόδου ζεστού νερού		in	G 3/4 (θηλυκό)								
	Σύνδεση ανακυκλοφορίας		in	G 3/4 (θηλυκό)								

2-2 Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά				ΕΚΗWS15 083V3	ΕΚΗWS20 083V3	ΕΚΗWS30 083V3	ΕΚΗWS20 083Z2	ΕΚΗWS30 083Z2	ΕΚΗWSU1 08B3V3	ΕΚΗWSU2 08B3V3	ΕΚΗWSU3 08B3V3	
Μονάδα	Τροφοδοσία ισχύος	Φάση		1~	1~	1~	2~	2~	1~	1~	1~	
		Συχνότητα	Hz	50	50	50	50	50	50	50	50	
		Τάση	V	230	230	230	400	400	230	230	230	
	Όνομαστικό διαρρέον ρεύμα		A	13	13	13	7.5	7.5	13	13	13	
	Ηλεκτρική ασφάλεια	Μέγεθος		A	20	20	20	20	20	20	20	20
		Φάση			1~	1~	1~	2~	2~	1~	1~	1~

15.3 Επιλογή ηλιακών συλλεκτών της εταιρίας Daikin για την παραγωγή ΖΝΧ από τον ήλιο

15.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη

- Ηλιακός συλλέκτης για παραγωγή οικιακού ζεστού νερού.
- Κοστενεργός εναλλακτική λύση για λέβητα ορυκτών καυσίμων.
- Χαμηλοί λογαριασμοί ενέργειας και χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).
- Εύκολη εγκατάσταση.
- Συνολική λύση για άνεση όλη τη χρονιά.



Εικόνα 15.1.: Ηλιακός συλλέκτης τύπου EKSV26P (κάθετης διάταξης)

15.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη

2-1 Τεχνικά χαρακτηριστικά				EKSV26P	EKSH26P
Διαστάσεις	Μονάδα	Ύψος	mm	2.000	1.300
		Πλάτος	mm	1.300	2.000
		Βάθος	mm	85	85
Βάρος	Βάρος		kg	43	43
Όγκος			l	1.7	2.1
Επιφάνεια	Εξωτερική		m ²	2.60	2.60
	Απορροφητής		m ²	2.36	2.36
Επίστρωση	Μικροθερμικό (μέγ. απορρόφηση 96%, περ. εκπομπές 5% +/-2%)				
Απορροφητής		m ²	Ένδειξη σωλήνα χαλκού σκληρού σχήματος με συγκολλημένη με λέιζερ πλάκα επίστρωσης αλουμινίου υψηλής επιλογής		
Εφύαλωση	Γυαλί ασφαλείας με ένα τζάμι, μετάδοση +/- 92%				
Υλικό μόνωσης	Πετροβάμβακας 50 χιλ.				
Επιτρεπόμενη γωνία στέγης	Ελάχιστο		°C	15	15
	Μέγιστο		°C	80	80
Εναλλάκτης θερμότητας	Μέγιστη πίεση πώσης στα 100l/h	Πλευρά ήλιου	mbar	3	0.5
Πίεση εξόδου	Μέγιστο		Bar	6	6
Θερμοκρασία ακινητοποίησης	Μέγιστο		°C	200	200
Σημειώσεις	Οι συλλέκτες έχουν αντοχή ακινητοποίησης για μια μεγάλη περίοδο και έχουν ελεγχθεί για θερμική κρούση. Ελάχιστη απόδοση συλλέκτη πάνω από 525kWh/m ² σε 40% αναλογία κάλυψης. Θέση εγκατάστασης Wörzburg, Γερμανία.				

* EKSV26P: Κάθετη διάταξη συλλέκτη

* EKSH26P: Οριζόντια διάταξη συλλέκτη

Στην εφαρμογή μας επιλέξαμε δύο ηλιακούς συλλέκτες κάθετης διάταξης για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, έναν για κάθε διαμέρισμα. Οι συλλέκτες θα τοποθετηθούν στην ταράτσα του κτιρίου, δίπλα από τα Φ/Β πλαίσια, όπως έχουμε προαναφέρει στον υπολογισμό του Φ/Β συστήματος.

15.4 Οικονομική σύγκριση της γεωθερμίας με άλλα συμβατικά συστήματα

Η γεωθερμία δεν είναι διασυνδεδεμένο σύστημα για την θέρμανση -κλιματισμό χώρων, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής. Ένα κλασικό σύστημα θέρμανσης με θερμαντικά σώματα και τον λέβητα ανέρχεται για τον χορό που έχουμε γύρο στα 16000 ευρώ, ενο για τον κλιματισμό περίπου στα 8000 ευρώ. Συνολικά 24000 ευρώ για να μπορούσαμε να καλύψουμε τις ανάγκες τις οικίας. Το κόστος συντηρήσεις ετησίως θα ήταν περίπου 500 ευρώ για τις κλιματιστικές μονάδες και 200 ευρώ για την συντήρηση του καυστήρα, επίσης οι δαπάνες για το πετρέλαιο θέρμανσης 2500 ευρώ περίπου . Συνολικά θα χιαζόταν 3.200 ευρώ ετησίως. Το σύστημα γεωθερμίας κλειστού κάθετου κυκλώματος που μελετήσαμε το κόστος για ψύξη θέρμανση και ζεστού νερού χρήσης ανέρχεται περίπου στα 20.000 ευρώ για τα Fan-coils,

8400 ευρώ για την αντλία θερμότητας, και για το κομμάτι τις γεωθερμίας μαζί με τις γεωτρήσεις ανέρχεται γύρο στις 30.000 ευρώ. Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι περίπου στα 58.400 ευρώ. Το κόστος συντηρήσεως ανέρχεται περίπου στα 100 ευρώ για την γεωθερμική αντλία μας . Αν όμως επιλέγαμε σύστημα γεωθερμίας κλειστού οριζόντιου βρόχου το κόστος εγκατάστασης θα ήταν πολύ οικονομικότερο, λόγω τις αποφυγής των γεωτρήσεων. Οπότε, σύμφωνα με τις παραπάνω ενδεικτικές τιμές συμπεραίνουμε πώς ο χρόνος απόσβεσης θα ήταν περίπου στα 12-13 χρόνια.

Βιβλιογραφία

- [01] Διαλέξεις Τεχνολογίας Φωτοβολταϊκών, Σταθάτος Ηλίας
- [02] Ήπιες Μορφών Ενέργειας I, II, III, Καπλάνης Σωκράτης
- [03] Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις - Γ' Έκδοσή, Σταμάτης Δ. Πέρδιος
- [04] Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Γ' Έκδοση, Φραγκιαδάκης Ιωάννης
- [05] Recknagel-Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik
- [06] VDI Kuehlastregeln, VDI 2078
- [07] Carrier Handbook of Air Conditioning System Design
- [08] Αερισμός και Κλιματισμός Κ. Λέφα
- [09] Erlaeterungen zur DIN 4701/83, mit Beispielen, Werner-Verlag
- [10] Recknagel-Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik,
- [11] Rietschel, Raiss, Heiz und Klimatechnik, Springer-Verlag
- [12] Θέρμανση – Κλιματισμός / Τόμος Α, Β. Σελλούντος
- [13] Θέρμανση – Κλιματισμός / Τόμος Β, Β. Σελλούντος
- [14] Εγχειρίδιο για τον Μηχανικό θερμάνσεων Garms/Pfeifer (TEE)
- [15] ASHRAE Handbook of Systems
- [16] ASHRAE Handbook of Equipment

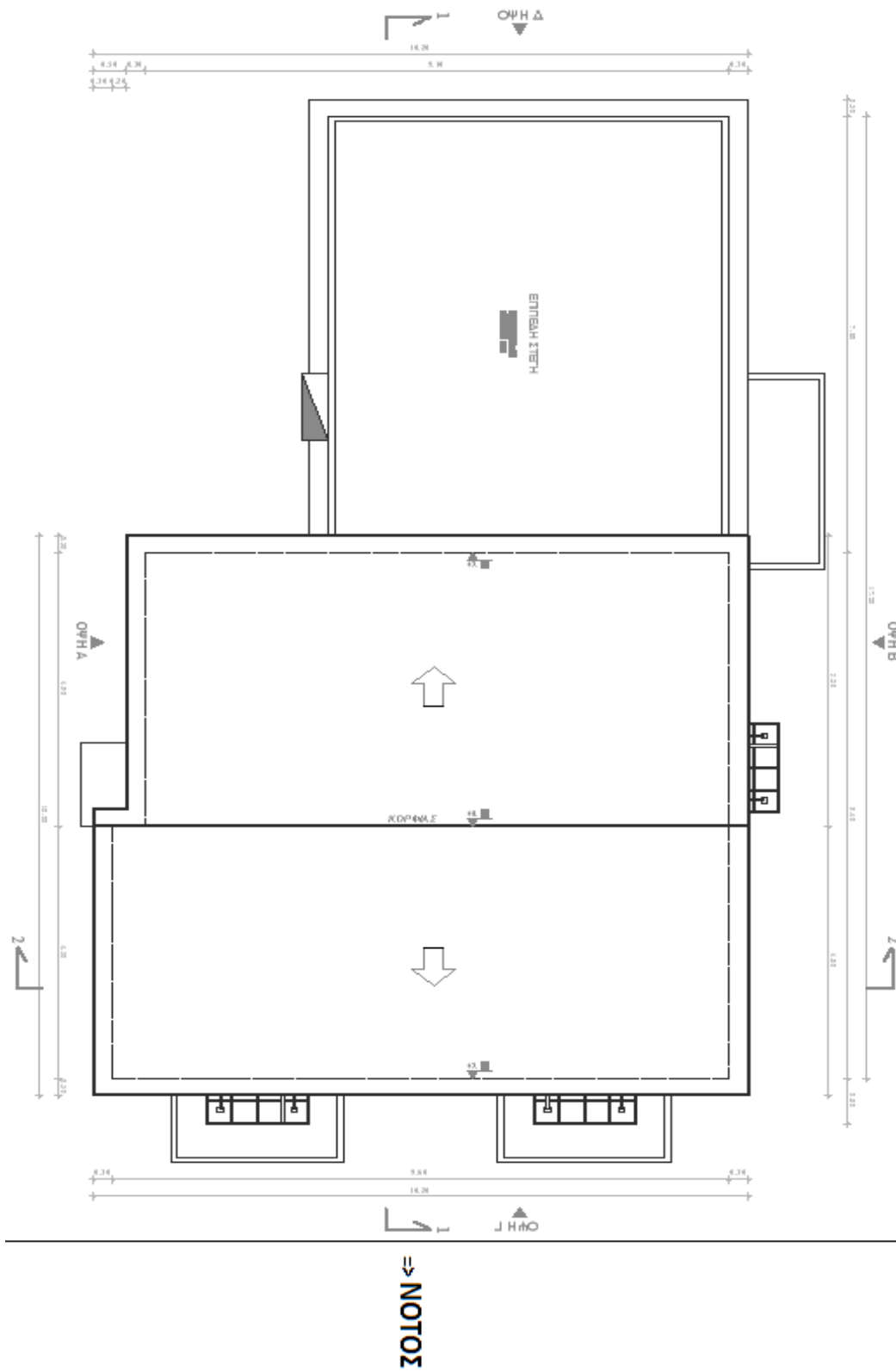
Διαδικτυακοί σύνδεσμοι

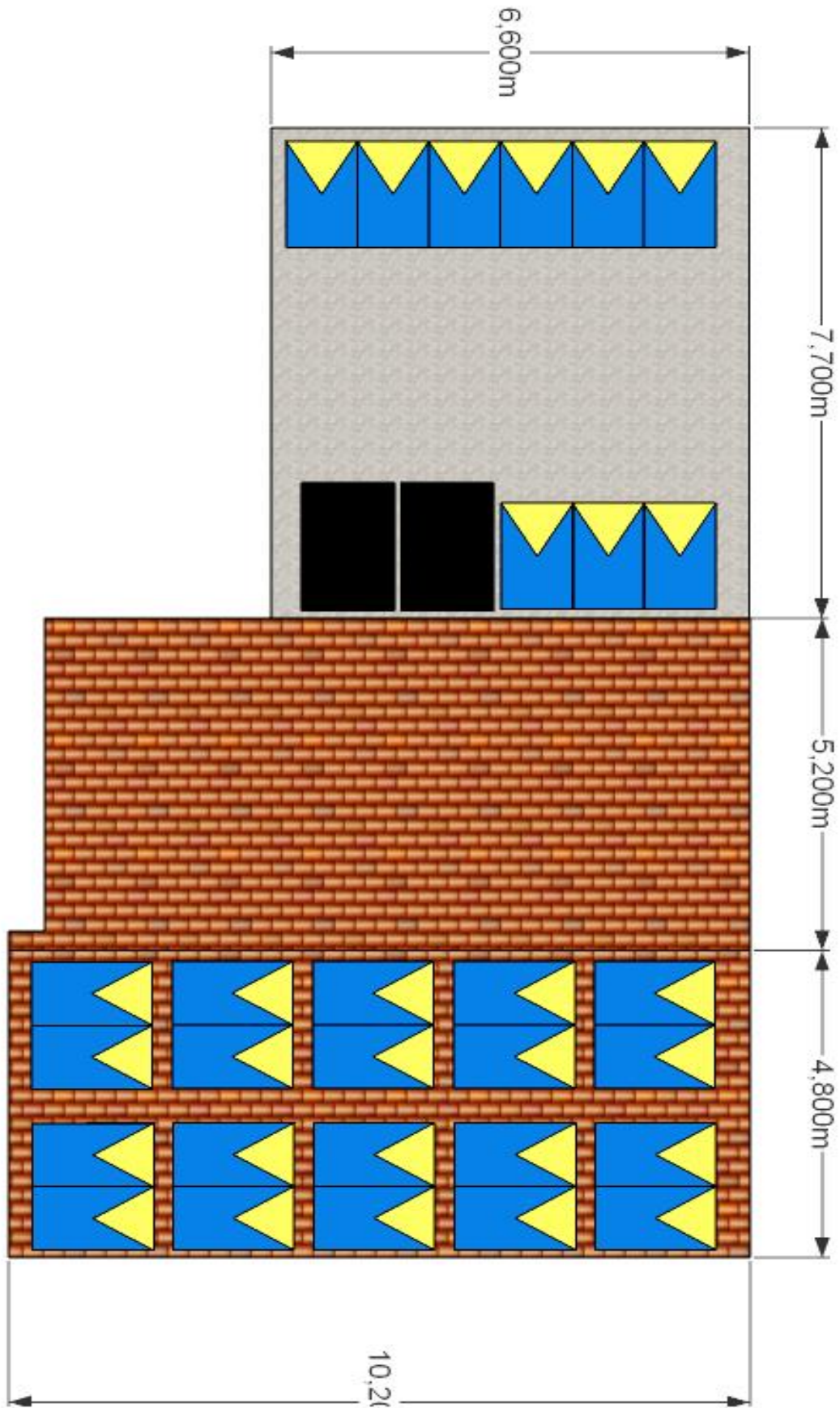
- <http://www.cres.gr>
- <http://www.ypeka.gr>
- <http://el.wikipedia.org>
- <http://www.eere.energy.gov>
- <http://www.allaboutenergy.gr>
- <http://www.energize.gr>
- <http://www.solarpv.gr>
- <http://www.photovoltaics.com.gr>
- <http://www.cea.org.cy>
- <http://www.tmltd.gr>
- <http://www.deltatechniki.gr>
- <http://greenenergyplus.blogspot.gr>
- <http://www.gaiadrill.gr>
- <http://www.energyhomes.gr>
- <http://sieline.gr>
- <http://www.geothermal-energy.org>
- <http://www.buderus.gr>
- <http://www.γεωθερμία.com>
- <http://www.geothermia.gr>
- <http://rehau.com>

Παράρτημα Α

Σχέδια Οικίας

A.1 Κάτοψη στέγης – δώματος





A.2 Τερματικές μονάδες Fan Coils για θέρμανση-κλιματισμό ισογείου



Α.4 Τερματικές μοναδες Fan Coils για θέρμανση-κλιματισμό σοφίτας

