

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων & Γεωθερμικού
Εναλλάκτη Θερμότητας σε παραδοσιακή ορεινή κατοικία»**

ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΑΕΜ: 05

ΦΥΤΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΑΕΜ: 108

Κοζάνη, Οκτώβριος 2004

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων & Γεωθερμικού
Εναλλάκτη Θερμότητας σε παραδοσιακή ορεινή κατοικία»**

ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΑΕΜ: 05
ΦΥΤΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΑΕΜ: 108

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:...1300...
Ημερομηνία:...19/10/04

Κοζάνη, Οκτώβριος 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην επιτυχή διεκπεραίωση της διπλωματικής μας εργασίας συνετέλεσαν αρκετά πρόσωπα τα οποία οφείλουμε να ευχαριστήσουμε. Θα θέλαμε καταρχήν να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή μας κ. Δ. Μπούρη για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης τον κύριο Α. Αϊβατζίδη, Ηλεκτρολόγο Μηχανολόγο, για την ιδέα του να ασχοληθούμε με τους γεωεναλλάκτες, τον κύριο Κ. Πάττα, Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό του Α.Π.Θ και ειδικά τον Απόστολο Κ. Μιχόπουλο, Μηχανολόγο Μηχανικό για την πολύτιμη βοήθειά του πάνω στην μελέτη των γεωεναλλακτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	10
1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.....	14
1.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ & ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	14
1.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	18
1.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΑΠΕΔΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	19
1.7 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ & ΚΑΝΟΝΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	21
1.8 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΑΠΕΔΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	23
1.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	30
ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ / ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	30
2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	30
2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	34
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ.....	38
2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	39
2.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ.....	41
2.5.1 Χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων	42
2.5.2 Απόδοση Φ/Β πλαισίου	44
2.5.3 Σύνδεση Φ/Β πλαισίων.....	46
2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	47
2.7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	50
2.7.1 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης	50
2.7.2 Άμεση – Διάχυτη – Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία.....	51
2.7.3 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της γης	53
2.7.4 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, με γωνία κλίσης την βέλτιστη γωνία έτους.	55
2.7.5 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο για βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα.....	58
2.7.6 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο για γωνία κλίσης 30°	62
2.7.7. Επιλογή της γωνίας κλίσης.....	66
2.8 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	68
2.8.1 Δομή του συστήματος για φ/β παραγωγή ενέργειας.....	69
2.8.2 Βαθμός απόδοσης ενεργειακού συστήματος.....	71
2.8.3 Καθορισμός αυτοδυναμίας του ενεργειακού συστήματος	72
2.8.4 Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών κύριας κατοικίας.....	74
2.8.5 Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών για περίπτωση εξοχικής κατοικίας	78

2.8.6 Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας φ/β πλαισίων κύριας κατοικίας	78
2.8.7 Αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	84
2.9 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ	87
2.9.1 Παραμετρική επίδραση με μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας των φ/β πλαισίων	87
2.9.2 Παραμετρική επίδραση με μείωση των ωρών ηλιοφάνειας	89
2.10 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ	96
2.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΚΡΙΤΙΚΗ	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	101
ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ/ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ	101
3.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	101
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	106
3.2.1 Ορολογία.....	106
3.2.2 Γεωεναλλάκτης εδάφους κλειστού βρόγχου (GSHP)	106
3.2.3 Γεωεναλλάκτης υπόγειων υδάτων (GWHF)	108
3.2.4 Γεωεναλλάκτης επιφανειακών υδάτων SWHP.....	108
3.3 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	111
3.3.1 Γενικά	111
3.3.2 Εξισώσεις για το απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη	113
3.3.3 Θερμική αντίσταση σωληνώσεων σε σχήμα U	115
3.3.4 Χαρακτηριστικά εδάφους και θερμική αντίσταση.....	118
3.3.5 Έλεγχος περιοχής για προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους.....	124
3.3.6 Θερμικές ροές για τους γεωεναλλάκτες εδάφους	126
3.3.7 Θερμοκρασίες του συστήματος του γεωεναλλάκτη εδάφους.....	128
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	133
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	140
3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RETSCREEN	142
3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ	144
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	146
ΧΡΗΣΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	146
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	146
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	146
4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΒΑΣΗΣ	147
4.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	155
4.5 ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ & ΤΗΣ ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	161
4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ	174
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	175
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	175
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	178
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	180

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια προσπάθεια ενσωμάτωσης και αξιολόγησης επεμβάσεων αειφορικής ανάπτυξης¹, οι οποίες εφαρμόστηκαν σε ένα παραδοσιακό οικισμό σε ορεινό χωριό της Δυτικής Μακεδονίας. Στα πλαίσια της παραπάνω εργασίας προτάθηκαν δύο επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας : α) χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων και β) χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνονται η παρουσίαση της οικίας και οι ιδιαιτερότητες αυτής, καθώς και η μελέτη θέρμανσης με χρήση ενδοδαπέδιας θέρμανσης με την βοήθεια του προγράμματος FINE της 4M. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την ηλιακή ακτινοβολία, τη σχεδίαση του ηλιακού ενεργειακού συστήματος και τις παραμετρικές επιδράσεις των κλιματολογικών παραγόντων (ώρες ηλιοφάνειας-θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων) και κατασκευαστικών παραγόντων. Πρέπει να σημειωθεί ότι η οικία μας θεωρείται ως κύρια οικία, δηλαδή λειτουργεί συνεχώς όλο το χρόνο και τα Φ/Β πλαίσια θα καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Για την παραπάνω ανάλυση έγινε ανάπτυξη δικού μας προγράμματος σε κώδικα του MATLAB & EXCEL. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση και η σχεδίαση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με βάση την μεθοδολογία της ASHRAE και του προγράμματος RETSRCEEN. Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά τον συνδυασμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των αντλιών θερμότητας. Σ' αυτό το κεφάλαιο η οικία μας θα θεωρηθεί ως εξοχική κατοικία η οποία θα λειτουργεί τρεις ημέρες / εβδομάδα, και τα Φ/Β πλαίσια θα καλύπτουν και τις ηλεκτρικές ανάγκες για θέρμανση. Και στις δυο περιπτώσεις το σύστημα μας θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ για την χρησιμοποίηση βοηθητικής ενέργειας κατά τις χρονικές περιόδους όπου δεν θα μπορούμε να αντεπεξέλθουμε στη ζήτηση του φορτίου. Τέλος το πέμπτο κεφάλαιο αφορά την κριτική, τα συμπεράσματα και τις προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που θα ακολουθήσει είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα λόγω της αφθονίας του διαθέσιμου ηλιακού δυναμικού, αλλά και της εύκολης εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας.

¹ Οι όροι “αειφόρος ανάπτυξη” και “αειφορία” είναι δανεισμένες από την επιστήμη της δασολογίας. Ο όρος “αειφόρος ενέργεια” περιλαμβάνει σειρά πρακτικών, πολιτικών και τεχνολογιών με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες με το λιγότερο περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Αυτό επιτυγχάνεται με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διεργασιών και την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Μάλλον η λέξη αειφορία φαίνεται καταλληλότερη για την απόδοση της έννοιας της ανάπτυξης χωρίς να διακυβεύεται το μέλλον της ανθρωπότητας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αρχιτεκτονική, σε κάθε εποχή, ανεξαρτήτως ύφους, τεχνοτροπίας, λειτουργικής, μορφολογικής ή αισθητικής αναζήτησης, εφόσον “αφουγκράζεται τη φύση” και προσαρμόζεται στον τόπο, χρησιμοποιεί φυσική ενέργεια, αξιοποιεί τις θετικές παραμέτρους του κλίματος, τα τοπικά οικοδομικά υλικά και τις παραδοσιακές τεχνικές και βρίσκει τρόπους προστασίας από τις αρνητικές καιρικές και άλλες συνθήκες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνει να εξοικονομεί φυσικούς πόρους, ενέργεια και νερό, να προσαρμόζεται στις πραγματικές ανάγκες, ενώ ταυτόχρονα σέβεται το περιβάλλον και την ανθρώπινη κλίμακα, διατηρεί τις μνήμες και την πολιτιστική ταυτότητα.

Αυτή η αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από μια προσέγγιση που στηρίζεται στη λογική της οικονομίας της φύσης, δηλαδή είναι μια οικολογική προσέγγιση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή έργων που αντέχουν στο χρόνο και κυρίως ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις που προκαλούν, από την κατασκευή, λειτουργία και κατεδάφισή τους, στο μικροκλίμα¹, το μεσόκlima και το κλίμα.

Οι ανθρώπινες κοινωνίες, σε όλες τις φάσεις της εξέλιξής τους, χαρακτηρίστηκαν από τη συνεχή αναζήτηση της ανάπτυξης με στόχο την πρόοδο και την βελτίωση των συνθηκών ζωής. Οι αναπτυξιακές επιλογές καθόριζαν τον τρόπο οργάνωσης του χώρου, τις κυρίαρχες κοινωνικές δομές, τις πρακτικές χρήσης και διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων. Είναι γνωστές πλέον οι συνέπειες της αύξησης του πληθυσμού, της “αστικοποίησης” και της εντατικής χρήσης και κατασπατάλησης των φυσικών, ενεργειακών και πολιτισμικών πόρων. Εκτός από τα σοβαρά κοινωνικά προβλήματα οξύνονται συνεχώς τα προβλήματα του περιβάλλοντος. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας, ο θόρυβος, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι ελλείψεις ελεύθερων χώρων και η υποβάθμιση της ποιότητας της ζωής είναι μερικά από τα κρίσιμα προβλήματα που απασχολούν όλο και περισσότερο τις ανθρώπινες κοινωνίες σήμερα. Διαπιστώθηκε ότι η μεγάλη κατανάλωση συμβατικών, μη ανανεώσιμων, μορφών ενέργειας για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων αναγκών για κίνηση, θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, ζεστό νερό χρήσης κτλ. έχει δραματικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που

¹ Όταν αναφερόμαστε στο κλίμα, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις τύπους κλίματος ανάλογα με την γεωγραφική έκταση στην οποία αναφερόμαστε κάθε φορά : 1) **Το μικροκλίμα** : Αναφέρεται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή στην οποία επικρατούν παρόμοιες κλιματικές συνθήκες. 2) **Το μεσόκlima** : Εκφράζει τις κοινές τοπικές κλιματικές συνθήκες της ευρύτερης περιφέρειας ενός συνόλου ενιαίων τόπων (π.χ πόλεις). 3) **Το κλίμα ή μακρόκlima** : Αναφέρεται στις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, συνήθως του αυτού υψομέτρου. Χρησιμοποιείται και για μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές.

προκαλούνται από την έκλυση, στην ατμόσφαιρα, ρυπογόνων αερίων, κύρια του διοξειδίου του άνθρακα, αερίου που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι φυσικοί πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι και για αυτό η ίδια η φύση θέτει περιορισμούς και όρια τα οποία πρέπει να σεβόμαστε. Καμία διορθωτική ενέργεια δεν είναι ικανή να αποκαταστήσει τη διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας που συμβαίνει, εφόσον οι ανθρώπινες δραστηριότητες εξελίσσονται με εντατικό ρυθμό και αγνοούν τις δυνατότητες και τα όρια αυτά.

Η διεθνής προσπάθεια για την σωτηρία του πλανήτη, έχει ενταθεί κύρια με την λήψη μέτρων για την προστασία του κλίματος με τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο πολλά έχουν αλλάξει στα θέματα ενεργειακής πολιτικής αλλά και σχεδιασμού γενικότερα. Αυτή η στροφή έχει γίνει αντιληπτή και στη χώρα μας στα ζητήματα ενεργειακής πολιτικής. Έχει γίνει σαφές ότι η εξοικονόμηση ενέργειας¹ και η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας² αποτελούν την μόνη βιώσιμη λύση που έχει πολλαπλά οφέλη σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Ένα σύγχρονο θεσμικό πλαίσιο αναπτύσσεται και εξελίσσεται σταδιακά που δημιουργεί ένα ιδιαίτερο ευνοϊκό κλίμα στον τομέα αυτό και συνθέτει το κατάλληλο πλαίσιο για την ανάπτυξη νέων προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Ο νομός 2244/94 δίνει μεγάλη ώθηση στη χρήση ΑΠΕ. Το Ελληνικό Πρόγραμμα για την Κλιματική Μεταβολή, που αφορά στην σταθεροποίηση και στον περιορισμό των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αποτελεί το νέο πλαίσιο στρατηγικής για την λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης ΑΠΕ. Το σχέδιο δράσης "Ενέργεια 2001" αποτελεί ένα συνολικό πλαίσιο στρατηγικής, δράσης, μέτρων και μέσων για την εξοικονόμηση ενέργειας και χρήση ΑΠΕ στον οικιστικό τομέα και εξειδικεύει τα μέτρα πολιτικής του προαναφερόμενου προγράμματος.

¹ Ένα ορισμός που μπορεί να αποδοθεί για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι ότι αποτελεί δαπάνη έντασης κεφαλαίου ή αλλιώς ότι αποτελεί τον έλεγχο του υποβιβασμού της ποιότητας της ενέργειας.

² Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι οι φυσικοί διαθέσιμοι πόροι, που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον, που δεν εξαντλούνται αλλά διαρκώς ανανεώνονται και που δύνανται να μετατρέπονται σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια, όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, η βιομάζα, οι υδατοπτώσεις και η θαλάσσια κίνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κλιματικά στοιχεία, η αρχιτεκτονική του κτιρίου και τα υλικά που το συγκροτούν αποτελούν τις τρεις παραμέτρους από τις οποίες εξαρτώνται τα ποσά θερμότητας που απαιτεί ένα κτίριο για τη θέρμανση του. Στα κλιματικά στοιχεία, πέρα από την ηλιακή ακτινοβολία και την εξωτερική θερμοκρασία, παίζουν ακόμα ρόλο οι άνεμοι και η υγρασία.

Η επίδραση των ανέμων στο φορτίο της θέρμανσης λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση του συντελεστή θερμικής μετάβασης, η επίδραση της υγρασίας στους συνήθεις υπολογισμούς των θερμικών απωλειών ενός κτιρίου, λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας των οικοδομικών υλικών.

Βασικές έννοιες :

Θερμομονωτική ικανότητα. Είναι γνωστό ότι για μονοδιάστατη ροή θερμότητας σε ομογενές συμπαγές υλικό υπό σταθερές θερμοκρασιακές συνθήκες (σταθερή μεταβλητή χρόνου), η θερμική ροή εκφράζεται από την εξίσωση :

$$q = (\lambda A) dt/dx \quad (1.1)$$

Όπου : q : θερμική ροή (W)

λ : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/mK)

A : επιφάνεια, κάθετη στη ροή (m²)

dt/dx : στοιχειώδης μεταβολή θερμοκρασίας κατά μήκος της θερμικής ροής (K/m)

Κατά μήκος της σταθερής ροής θερμότητας, η ολοκλήρωση της (1.1) σε υλικό μοναδιαίας κάθετης επιφάνειας 1m² και πάχους d , δίνει :

$$q_0 = \lambda/d * \Delta t \quad (1.2)$$

Όπου : q_0 : ανηγμένη θερμική ροή (W/m^2)

d : πάχος υλικού (m)

Δt : θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα του υλικού (K)

Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας λ (W/mK). Είναι η ποσότητα θερμότητας που περνά από τις απέναντι πλευρές ενός κύβου πλευράς 1m από ομοιογενές υλικό όταν η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ των επιφανειών αυτών διατηρείται σταθερή και ίση προς $1^\circ C$.

Συντελεστής θερμοδιαφυγής Λ (W/m^2K). Είναι η ποσότητα θερμότητας που περνά μέσα σε 1 sec από επιφάνεια $1m^2$ ενός δομικού στοιχείου (π.χ ενός τοίχου) με πάχος d όταν η διαφορά των θερμοκρασιών των δύο επιφανειών του στοιχείου διατηρείται σταθερή και ίση προς $1^\circ C$.

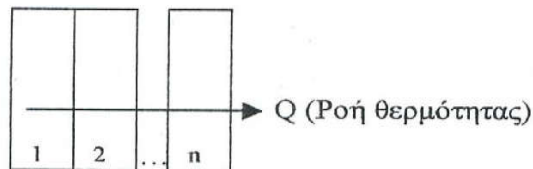
Η εξίσωση που αποτελεί τον ορισμό του συντελεστή θερμοδιαφυγής είναι :

$$\Lambda = \lambda/d \quad (1.3)$$

Η αντίσταση της θερμοδιαφυγής R (m^2K/W) ορίζεται ως το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής :

$$R = 1/\Lambda = d/\lambda \quad (1.4)$$

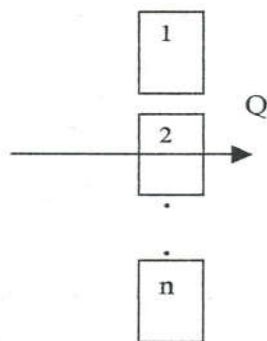
Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες στρώσεις, για το σύνολο της διατομής προκύπτει ότι η συνολική αντίσταση θερμοδιαφυγής θα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεων θερμοδιαφυγής, εφόσον έχουμε σύνδεση σε σειρά (σχήμα 1.1), δηλαδή η εξίσωση 1.1 γράφεται ως εξής :



Σχήμα 1.1. Σύνδεση σε σειρά θερμικών αντιστάσεων

Αντίθετα όταν έχουμε παράλληλη σύνδεση των θερμικών αντιστάσεων (σχήμα 1.2) η εξίσωση 1.1 γράφεται ως εξής :

$$R_{\text{ΟΛΙΚΟ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n \quad (1.5)$$



Σχήμα 1.2. Παράλληλη σύνδεση των θερμικών αντιστάσεων

$$1/R_{\text{ΟΛΙΚΟ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n \quad (1.6)$$

Παρατηρούμε ότι οι σχέσεις (1.5) και (1.6) παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με αντιστάσεις σε σειρά και παράλληλα αντίστοιχα και γι' αυτό τα σχήματα 1.1 και 1.2 ονομάζονται ηλεκτρικά ανάλογα.

Συντελεστής θερμοχωρητικότητας C_p (W/KgK). Είναι η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ενός Kg από το υλικό κατά 1°C . Η θερμότητα που αποθηκεύεται είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της θερμοκρασίας του υλικού και του αέρα που το περιβάλλει.

Συντελεστής θερμοπερατότητας K (W/m²K). Εκφράζει τη θερμοπερατότητα στη μονάδα του χρόνου ενός δεδομένου δομικού στοιχείου, δια της διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και κάθε πλευρά της κατασκευής. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται, λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση θερμοδιαφυγής και τις αντιστάσεις θερμικής μετάβασης. Αυτές οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης εκφράζουν τα φαινόμενα μεταφοράς και ακτινοβολίας στις ακραίες επιφάνειες των δομικών στοιχείων.

$$1/K = 1/\alpha_i + 1/\alpha_a + 1/\Lambda \quad (1.7)$$

Όπου : K : Συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m^2K)

$1/a_i$: Αντίσταση θερμικής μετάβασης της εσωτερικής επιφάνειας (m^2K/W)

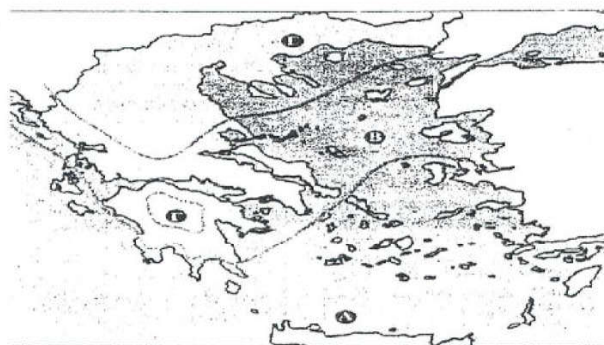
$1/a_a$: Αντίσταση θερμικής μετάβασης της εξωτερικής επιφάνειας (m^2K/W)

Τέλος ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του κτιρίου αποτελεί ένα παράγοντα που καθορίζει τις θερμικές απώλειες του κτιρίου. Ειδικότερα το μέγεθος της θερμικής επιφάνειας του κτιρίου, δηλαδή της επιφάνειας των απωλειών θερμότητας, που αποτελείται από τους εξωτερικούς τοίχους και ανοίγματα, την οροφή και το δάπεδο, καθορίζει σε ευθεία αναλογία και τις θερμικές απώλειες.

Ένας συντελεστής που μας δίνει πληροφορίες για θερμική επιφάνεια του κτιρίου σε σχέση με τον όγκο του, είναι ο λόγος F/V , όπου F είναι η συνολική θερμική επιφάνεια του κτιρίου και V είναι ο όγκος που περικλείεται από αυτήν. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος αυτός τόσο μικραίνουν οι θερμικές απώλειες του κτιρίου ανά μονάδα όγκου, άρα και τόσο καλύτερο είναι σχεδιασμένο το κτίριο από θερμικής πλευράς.

1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Η παρακάτω μελέτη θα γίνει σε κτίριο κατοικιών σε παραδοσιακό ορεινό οικισμό, στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. Η Δυτική Μακεδονία ανήκει στην Γ κλιματική ζώνη σύμφωνα με τον διαχωρισμό της χώρας από τον ισχύοντα κανονισμό θερμομόνωσης. Στο σχήμα 1.3 φαίνονται οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.



Εικόνα 1.3. Οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

Η κάτοψη της προτεινόμενης για υπολογισμό θερμικών φορτίων κατοικίας φαίνεται στα σχήματα 1.4 και 1.5. Πρόκειται για μια διάφορη μονοκατοικία κάτοψης $150m^2$. Η κατοικία

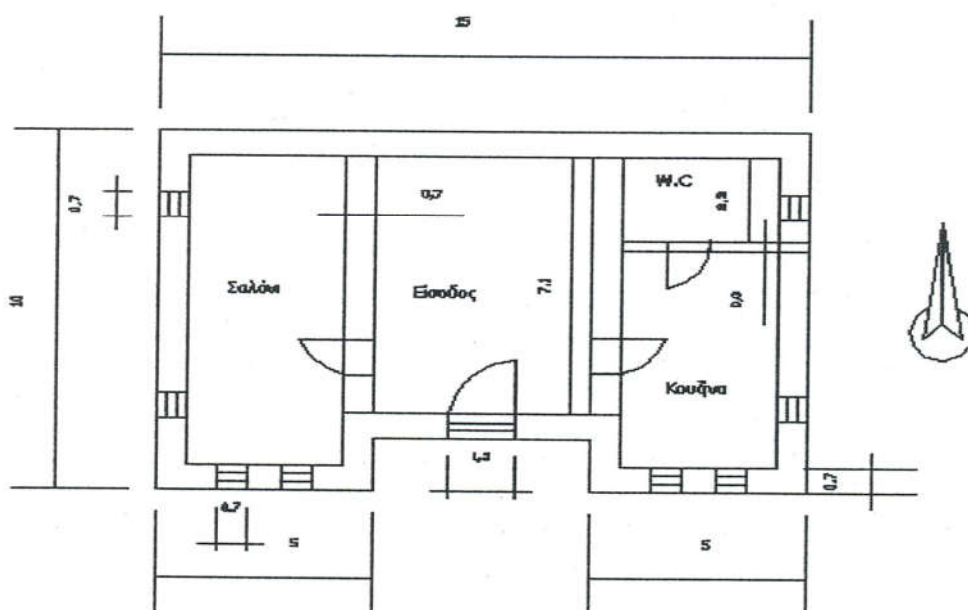
θεωρείται διατεταγμένη κατά τον άξονα Ανατολή-Δύση και έχει ανοίγματα κυρίως στο νότο, στην ανατολή και στη δύση.

Οι εξωτερικοί τοίχοι, λόγω της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, αποτελούνται από λιθοδομή πάχους 70cm και είναι αμόνωτοι.

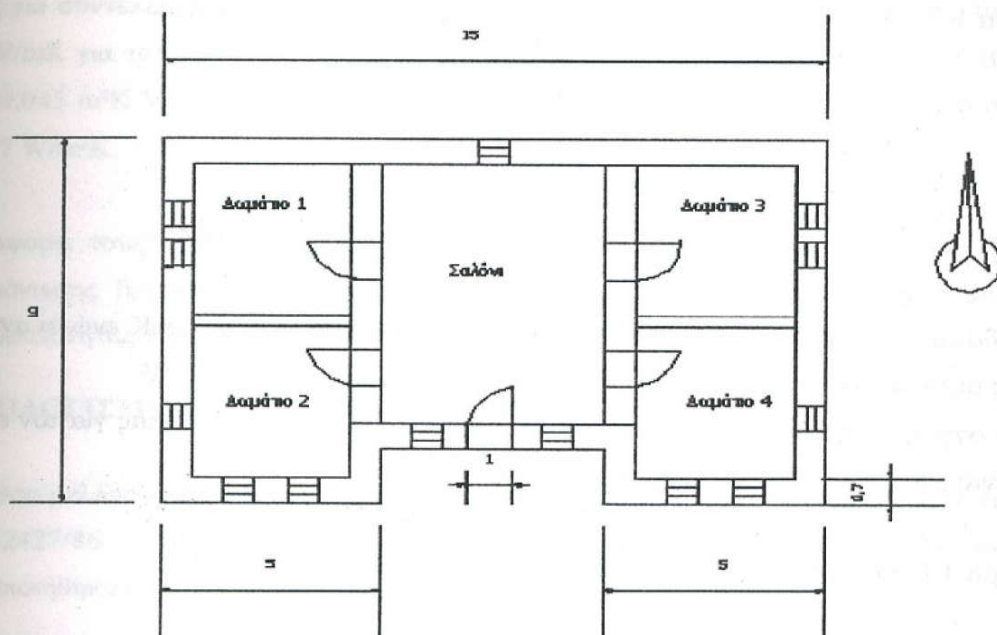
Η οροφή του κτιρίου είναι κεκλιμένη, κλίσης 30° , αποτελούμενη από λαμαρίνα. Το δώμα αποτελείται από ξύλο πάχους 0,05m και είναι θερμομονωμένο από πλάκες υαλοβάμβακα πάχους 0,05m.

Το δάπεδο του ισογείου βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και αποτελείται από μπετό πάχους 0,1m και ξύλο πάχους 0,05m.

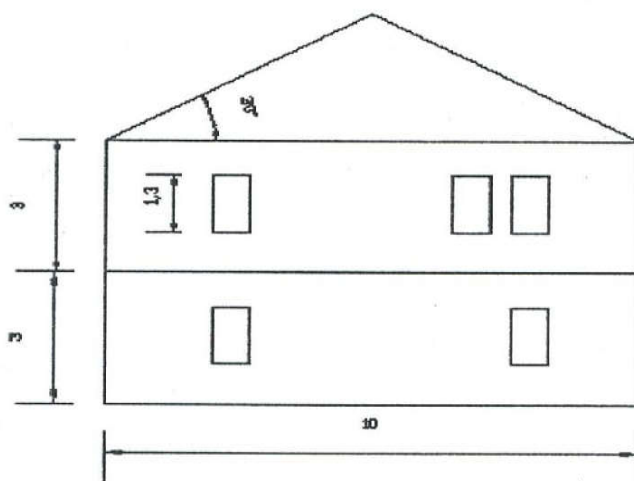
Τα παράθυρα αποτελούνται από διπλό ξύλινο κούφωμα με μονό υαλοπίνακα, και οι πόρτες είναι ξύλινες.



Σχήμα 1.4. Κάτοψη Ισογείου



Σχήμα 1.5. Κάτοψη 1^{ου} Ορόφου



Σχήμα 1.6. Δυτική όψη

Με την βοήθεια της σχέσης (1.7) υπολογίζουμε τους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων, της εξωτερικής τοιχοποιίας, του δαπέδου και του δώματος.

Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται το σκαρίφημα της εξωτερικής τοιχοποιίας.

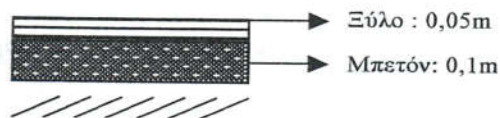


Σχήμα 1.7. Σκαρίφημα εξωτερικής τοιχοποιίας

Για λιθοδομή έχουμε συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 2,3 \text{ W/mK}$ ενώ οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης είναι $1/\alpha_i = 0,123 \text{ m}^2\text{K/W}$ και $1/\alpha_a = 0,055 \text{ m}^2\text{K/W}$

Από την σχέση (1.7) υπολογίζουμε ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας για τον εξωτερικό τοίχο¹ είναι : $K = 2,09 \text{ W/m}^2\text{K}$

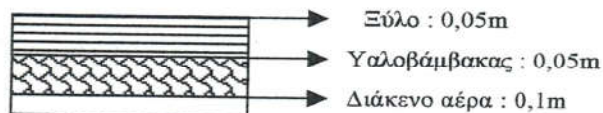
Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζεται το σκαρίφημα του δαπέδου επί εδάφους



Σχήμα 1.8. Σκαρίφημα του δαπέδου επί εδάφους

Ομοίως για συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$ για το ξύλο, $\lambda = 1,4 \text{ W/mK}$ για το μπετόν και για αντιστάσεις θερμικής μετάβασης $1/\alpha_i = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ και $1/\alpha_a = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$ υπολογίζουμε ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας για το δάπεδο² είναι : $K = 1,87 \text{ W/m}^2\text{K}$

Στο σχήμα 1.9 παρουσιάζεται το σκαρίφημα του δώματος



Σχήμα 1.9. Σκαρίφημα του δώματος

¹ Σύμφωνα με το Ελληνικό Κανονισμό Θερμομόνωσης της Ελλάδας, για περιοχές που ανήκουν στην Γ' κλιματική ζώνη, ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για εξωτερικό τοίχο είναι $K_{\max} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Έχουμε δηλαδή μια απόκλιση της τάξης του 66,5%. Αναμένεται λοιπόν οι απώλειες λόγω αγωγιμότητας να είναι αρκετά μεγάλες.

² Ομοίως και εδώ ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για δάπεδο επί εδάφους είναι $K_{\max} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Έχουμε δηλαδή μια απόκλιση της τάξης του 62,5%.

Ομοίως για συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$ για τον υαλοβάμβακα, $\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$ για τον αέρα και για αντιστάσεις θερμικής μετάβασης $1/\alpha_i = 0,106 \text{ m}^2\text{K/W}$ και $1/\alpha_a = 0,045 \text{ m}^2\text{K/W}$ υπολογίζουμε ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας για το δώμα είναι $K = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Όσον αφορά τους υαλοπίνακες και τις πόρτες, σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Θερμομόνωσης βρίσκουμε ότι για διπλό υαλοπίνακα με διάκενο $>7 \text{ cm}$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι $K = 2,56 \text{ W/m}^2\text{K}$ ενώ για ξύλινη πόρτα $K = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Η παρούσα μελέτη έγινε σύμφωνα με την μεθοδολογία DIN 4701 και τις 2421/86 (μέρος 1 & 2) και 2427/86 TOTEE, με την χρήση του προγράμματος FINE της 4M, ενώ ακόμα χρησιμοποιήθηκαν και τα ακόλουθα βοηθήματα:

- α) Erlaeterungen zur DIN 4701/83, mit Beispielen, Werner-Verlag
- β) Recknagel-Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik,
- γ) Rietschel, Raiss, Heiz und Klimatechnik, Springer-Verlag
- δ) Κεντρικές Θερμάνσεις, Β. Σελλούντος
- ε) Εγχειρίδιο για τον Μηχανικό θερμάνσεων Garms/Pfeifer (TEE)

1.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ & ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

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

- Απώλειες θερμοπερατότητας Q_o , που προέρχονται από τα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία (τοιχοί, ανοίγματα, δάπεδα, οροφές κλπ)

Οι απώλειες θερμοπερατότητας υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_o = K * F * (t_i - t_a) = F * (t_i - t_a) / (1/K) \quad (1.8)$$

όπου:

- Q_0 : Απώλειες θερμότητας σε (W ή Kcal/h)
 F : Επιφάνεια του δομικού τμήματος σε (m^2)
 K : Συντελεστής θερμοπερατότητας σε ($W/m^2 K$) 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 ($^{\circ} C$)

Για την μελέτη μας θα θεωρηθεί ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία ίση με $-15^{\circ} C$ και θερμοκρασία εσωτερικού χώρου¹ ίση με $20^{\circ} C$.

- Απώλειες λόγω προσauξήσεων.

Οι προσauξήσεις υπολογίζονται % και διακρίνονται σε:

- ✓ προσauξηση Z_H την επίδραση του προσανατολισμού.
($Z_H = -5$ για N, NΔ, ΝΑ, $Z_H = +5$ για Β, ΒΔ, ΒΑ και $Z_H = 0$ για Δ και Α)
- ✓ προσauξηση $Z_U + Z_A = Z_D$ διακοπής λειτουργίας και ψυχρών εξωτερικών τοίχων (στο DIN 4701/83 αγνοείται ο συντελεστής Z_U). Η προσauξηση Z_D προσδιορίζεται με βάση το :

$$D = Q_0 / (F_{ges} * \Delta_i) \quad (1.9)$$

- ✓ όπου F_{ges} η συνολική επιφάνεια που περιβάλλει τον χώρο, και τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, σύμφωνα με τον πίνακα 1.1:

¹ Κατά την ανάλυσή μας οι απώλειες του δαπέδου του 1^{ου} ορόφου αγνοήθηκαν επειδή η θερμοκρασιακή διαφορά των χώρων του ισογείου και του ορόφου, είναι μηδενική

- 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

Πίνακας 1.1. Υπολογισμός συντελεστή προσαύξησης λόγω διακοπής λειτουργίας.

- 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:

$$Q_T = Q_o (1 + Z_D + Z_H) = Q_o * Z \quad (1.10)$$

- Απώλειες αερισμού χώρου Q_L

Οι απώλειες αερισμού Q_L υπολογίζονται εναλλακτικά:

- ✓ από την σχέση που υπολογίζει τον απαιτούμενο αερισμό:

$$Q_L = V * \rho * c * (t_i - t_a) \quad (1.11)$$

όπου:

- Q_L : Απώλειες αερισμού σε [W]
- 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

- ✓ από την σχέση υπολογισμού απωλειών λόγω χαραμάδων (στην περίπτωση που δεν υπάρχει εξαερισμός):

$$Q_L = \sum Q A_i \quad (1.12)$$

όπου

$$Q A_i = \alpha * \Sigma l * R * H * \Delta_t * Z_r \quad (1.13)$$

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}).
- Δ_t : Διαφορά θερμοκρασίας σε (°C)
- Z_r : Συντελεστής γωνιακών παραθύρων (στην περίπτωση γωνιακών παραθύρων παίρνει την τιμή 1.2 αντί της κανονικής 1)

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

$$Q_{ολ} = Q_T + Q_L \quad (1.14)$$

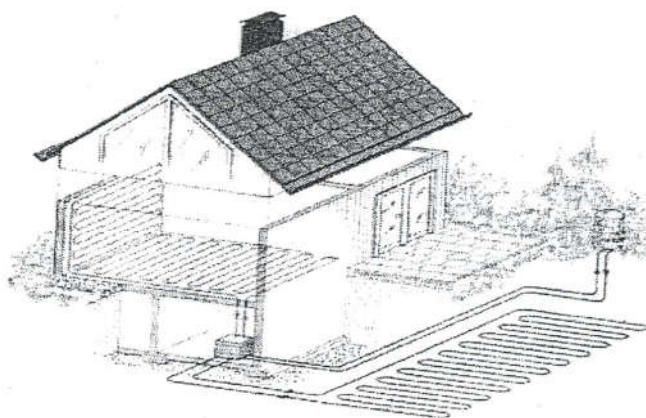
Αριθμός. χώρου	Θερμαινόμενος χώρος	Θερμικές Απώλειες (W)
1.1	Δωμάτιο 1	3809
1.2	Δωμάτιο 2	4170
1.3	Σαλόνι	5102
1.4	Δωμάτιο 3	3809
1.5	Δωμάτιο 4	4170
Συνολικά		21060

Πίνακας 1.3. Θερμικές απώλειες του 1^{ου} ορόφου

Με την βοήθεια του προγράμματος FINE καταλήγουμε ότι οι συνολικές θερμικές απώλειες του κτιρίου ανέρχονται στα **43,593 kW** ενώ ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου(F*K) είναι **1245,53 W/K**.

1.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΑΠΕΔΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Η θέρμανση του κτιρίου θα γίνεται με την χρήση ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Ο λόγος είναι ότι, επειδή η θερμοκρασία του νερού που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του δαπέδου είναι αρκετά χαμηλή, συνήθως 40° C, τα υποδαπέδια συστήματα προσφέρονται για τον συνδυασμό τους με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, π.χ με γεωθερμική αντλία θερμότητας η οποία εκμεταλλεύεται τη γεωθερμική ενέργεια, όπως θα προταθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα 1.11 φαίνεται ο συνδυασμός της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και των αντλιών θερμότητας.



Σχήμα 1.11. Θέρμανση δαπέδου και τοίχου εξοχικής κατοικίας με τη βοήθεια αντλίας θερμότητας η οποία εκμεταλλεύεται τη γεωθερμική ενέργεια (Σχέδιο MULTIBETON)

Οι εγκαταστάσεις υποδαπέδιας θερμάνσεως μπορούν να χαρακτηριστούν και ως συστήματα μεγάλων θερμαντικών επιφανειών, σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας (παρουσιάζουν μικρή θερμοκρασιακή διαφορά με το εσωτερικό περιβάλλον του χώρου).

Για την παρακάτω μελέτη λήφθηκε υπόψη επιθυμητή θερμοκρασία θερμαινόμενων χώρων ίση με 20 °C, με αντίστοιχη θερμοκρασία περιβάλλοντος -15° C και μέση ετήσια θερμοκρασία εδάφους 5° C. Η θερμοκρασία προσαγωγής του νερού θα είναι ίση με 40° C.

Αφετηρία των υπολογισμών της μελέτης ενδοδαπέδιας θέρμανσης, είναι οι θερμικές απώλειες του χώρου, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν απώλειες από το δάπεδο¹, αφού από το δάπεδο ο χώρος δεν χάνει αλλά κερδίζει θερμότητα. Στην περίπτωση μας όμως οι απώλειες του δαπέδου επί εδάφους δεν θα αγνοηθούν γιατί για την υποβάθμισή αυτών των απωλειών απαιτείται ισχυρή θερμομόνωση². Αντίθετα οι απώλειες του δαπέδου του 1^{ου} ορόφου θα αγνοηθούν μιας και η θερμοκρασιακή διαφορά των χώρων του ισόγειου και του πρώτου ορόφου είναι μηδενική.

Με δεδομένο ότι το δάπεδο είναι το θερμαντικό σώμα του χώρου, υπολογίζεται κατ' αρχάς η αναγκαία θερμοκρασία του, η οποία μπορεί να αποδώσει ποσότητα θερμότητας στο χώρο κατά τις αρχές της ζητήσεως θερμάνσεως.

Η θερμοκρασία του δαπέδου δεν μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή. Σε χώρους διαμονής δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 29° C, με ακραία τιμή τους 31° C. Στα λουτρά και στους χώρους υγιεινής μπορεί να φτάσει και τους 32° C. Για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, μια μέσης ποιότητας θερμομόνωση, επιτρέπει την ικανοποιητική θέρμανση των χώρων με σωλίνες ενσωματωμένους στο δάπεδο, χωρίς να χρειάζεται να γίνει κάποια υπέρβαση στα θερμοκρασιακά όρια. Βέβαια στην περίπτωση μας ενδέχεται να υπερβούμε τα θερμοκρασιακά όρια αφού οι εξωτερικοί τοίχοι είναι αμόνωτοι.

Στη δαπεδοθέρμανση, η θερμότητα προσάγεται με μεταφορά και ακτινοβολία. Το ποσοστό συμμετοχής της ακτινοβολίας και της μεταφοράς στην προσαγόμενη θερμότητα, εξαρτάται

¹ Β.Η. ΣΕΛΛΟΥΝΤΟΣ «ΘΕΡΜΑΝΣΗ – ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ»

² Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μετά από σχετική μελέτη προτείνονται σαν ελάχιστα πάχη 4cm επάνω από θερμαινόμενους χώρους άλλης ιδιοκτησίας, 6cm επάνω από μη θερμαινόμενους χώρους και 8cm επάνω από "pilotis". Πηγή : Β.Η. ΣΕΛΛΟΥΝΤΟΣ «ΘΕΡΜΑΝΣΗ – ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ»

από τη θερμική συμπεριφορά του δαπέδου, από την επιφάνεια του δαπέδου και από την θερμοκρασία του δαπέδου και του χώρου.

1.7 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ & ΚΑΝΟΝΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

α) Ακολουθείται η μέθοδος της μη σταθερής και ίδιας για όλα τα κυκλώματα θερμοκρασιακής πώσης του νερού, η οποία είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Η εξισορρόπηση των τριβών στα κυκλώματα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ρυθμιστικών βαλβίδων.

β) Οι υπολογισμοί στα κυκλώματα γίνονται αναλυτικά με την βοήθεια των σχέσεων:

$$Q = \pi D^2/4 * V : \text{Εξίσωση συνέχειας} \quad (1.15)$$

Όπου : Q : Παροχή σε (m³/h)

D : Εσωτερική διάμετρος σε (m)

V : Μέση ταχύτητα σε (m/s)

$$J = \Delta h/L = \lambda/D * V^2/(2 * g) : \text{Εξίσωση Darcy} \quad (1.16)$$

Όπου : J : Απώλειες πίεσης ανά μονάδα μήκους (m/m)

Δh : Απώλειες πίεσης σε (m)

L : Μήκος αγωγού σε (m)

λ : Συντελεστής τριβής

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 * \log^*(k/3.7D + 2.51/Re\sqrt{\lambda}) : \text{Εξίσωση Colebrook} \quad (1.17)$$

Όπου : k : Απόλυτη τραχύτητα σωλήνα σε (mm)

Re : Αριθμός Reynolds

$$Re = V * D/v : \text{Αριθμός Reynolds} \quad (1.18)$$

Όπου : v : Το ιξώδες του νερού σε (m²/s)

γ) Οι υπολογισμοί των μεγεθών των κυκλωμάτων δαπεδοθέρμανσης γίνονται με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$q_{fb} = Q_n/A_{fb} \quad (1.19)$$

Όπου : q_{fb} : Πυκνότητα θερμοροής προς τα πάνω (W/m²)

Q_n : Θερμικό φορτίο χωρίς απώλειες δαπέδου (W)

A_{fb} : Επιφάνεια δαπέδου (m²)

$$t_{fb} = (q_{fb}/a_{ges}) + t_i \quad (1.20)$$

Όπου : t_{fb} : Μέση θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου (° C)

a_{ges} : Συντελεστής μετάβασης θερμότητας για θερμάνσεις επιφανειών (W/m²K)

t_i : Θερμοκρασία χώρου (° C)

$$R_A = d_a + (2/m * \operatorname{arcosh} Z) \quad (1.21)$$

Όπου : R_A : Απόσταση σωλήνων (m)

d_a : Διάμετρος σωλήνα (m)

$$m = 0.45 \cdot v \cdot ((K_b + K_c) / \lambda_b d_a) \quad (1.22)$$

$$K_b = k_b / (k_b + k_c) \quad (1.23)$$

$$K_c = k_c / (k_b + k_c) \quad (1.24)$$

Όπου : k_b : Συντελεστής μετάβασης θερμότητας από την κάτω ακμή του σωλήνα έως την κάτω πλευρά του δαπέδου (W/m²K)

k_c : Συντελεστής μετάβασης θερμότητας από την πάνω ακμή του σωλήνα έως την πάνω πλευρά του δαπέδου (W/m²K)

λ_b : Συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του υλικού μεταξύ των σωλήνων (W/mK)

$$Z = \frac{2 \cdot [(t_h - t_i) + K_b \cdot (t_i - t_a)]}{3 \cdot (a_c / K_c) \cdot (t_{fb} - t_i) + 2 \cdot K_b \cdot (t_i - t_a) - (t_h - t_i)} \quad (1.25)$$

Όπου : t_a : Είναι η θερμοκρασία χώρου κάτωθεν θερμαινόμενου (° C)

t_h : Είναι η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου (° C)

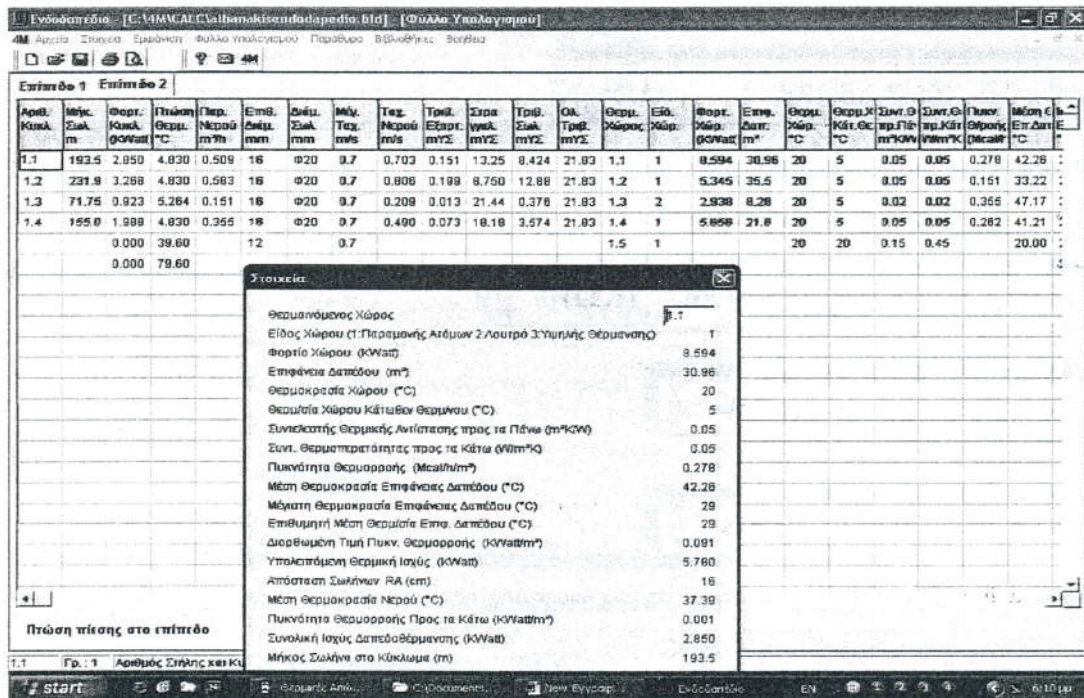
$$I = 100 * A_{fb} / R_d \quad (1.26)$$

Όπου : I : Μήκος του σωλήνα στο κύκλωμα (m)

$$q_{de} = (t_h - t_a) * k_b \quad (1.27)$$

Όπου : q_{de} : Πυκνότητα θερμορροής προς τα κάτω (W/m²)

1.8 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΑΠΕΔΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ



Σχήμα 1.12. Παράδειγμα υπολογισμού ενδοδαπέδιας θέρμανσης με την βοήθεια του προγράμματος FINE της 4M

Στο σχήμα 1.12 απεικονίζεται το υπολογιστικό περιβάλλον του FINE για τον υπολογισμό της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών στις κεντρικές στήλες και στα κυκλώματα παρουσιάζονται σε πίνακα οι στήλες του οποίου αντιστοιχούν στα παρακάτω μεγέθη :

- Αριθμός κυκλώματος
- Μήκος σωλήνα κυκλώματος (m)
- Συνολικό μήκος (m)
- Φορτίο κυκλώματος (W)
- Πτώση θερμοκρασίας ($^{\circ}$ C)
- Παροχή νερού (m^3/h)
- Διάμετρος σωλήνα (mm)
- Ταχύτητα νερού (m/s)

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών των κυκλωμάτων παρουσιάζονται σε πίνακα οι στήλες του οποίου αντιστοιχούν στα παρακάτω μεγέθη :

- Χώρος που θερμαίνεται
- Φορτίο χώρου (W)
- Επιφάνεια δαπέδου (m^2)
- Θερμοκρασία χώρου ($^{\circ}$ C)
- Θερμοκρασία κάτω χώρου ($^{\circ}$ C)
- Πυκνότητα θερμορροής (W/m^2)
- Θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου ($^{\circ}$ C)
- Υπολειπόμενη θερμική ισχύς¹ (W)
- Απόσταση σωλήνων (cm)
- Πυκνότητα θερμορροής προς τα κάτω (W/m^2)

✓ Επίπεδο 1

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 1.4 & 1.5. Τα αποτελέσματα αφορούν τον υπολογισμό σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης και τον υπολογισμό κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης αντίστοιχα.

¹ Το ποσό αυτό θερμικής ισχύος είναι αυτό, που τηρουμένων των επιτρεπτών τιμών της μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας του δαπέδου, δεν μπορεί να αποδώσει η δαπεδοθέρμανση και που καλούμεθα να το προσφέρουμε στο χώρο με κάποιο άλλο τρόπο.

Αριθ. Κυκλ.	Μήκ. σωλή στο κύκλ (m)	Μήκ. σωλ. Πρ &επισ(m)	Μήκος σωλ.(m)	Φορτίο κυκλ. (W)	Πτώση θερμ. (° C)	Παρ. νερου (m ³ /h)	Διάμ. Σωλ. (mm)	Ταχ. Νερ m/s
1.1	193,5	0	193,5	2850	4,83	0,509	Φ20	0,703
1.2	221,9	10	231,9	3268	4,83	0,583	Φ20	0,806
1.3	51,7	20	71,7	923	5,26	0,151	Φ20	0,209
1.4	135	20	155	1988	4,83	0,355	Φ20	0,490

Πίνακας 1.4. Υπολογισμοί σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης

Αριθ. Κυκλ.	Θερμ. χώρος	Φορτ. Χώρ. (W)	Επιφ. Δαπ. (m ²)	Θερμ. χώρου (° C)	Θερμ. χώρ. Κάτω θερμαν. (° C)	Πυκν. Θερμ. (Mcal/hm ²)	Μ. θερμ. δαπ. (° C)	Υπολ. Θερμ ισχύς (W)	Απόστ. Σωλήνων (cm)	Πυκν. Θερ. Προς τα κάτω (W/m ²)
1.1	Σαλόνι	8594	30,96	20	5	0,278	42,2	5780	16	0,001
1.2	Είσοδος	5345	35,5	20	5	0,151	33,2	2118	16	0,001
1.3	W.C	2938	8,28	20	5	0,355	47,1	2018	16	0,00
1.4	Κουζίνα	5656	21,6	20	5	0,262	41,2	3693	16	0,001

Πίνακας 1.5. Υπολογισμοί μεγεθών κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης

✓ Επίπεδο 2

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 1.6 & 1.7. Τα αποτελέσματα αφορούν τον υπολογισμό σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης και τον υπολογισμό κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης αντίστοιχα.

Αριθ. Κυκλ.	Μήκ. σωλή στο κύκλ (m)	Μήκ. σωλ. Πρ &επισ(m)	Μήκος σωλ.(m)	Φορτίο κυκλ. (W)	Πτώση θερμ. (° C)	Παρ. νερου (m ³ /h)	Διάμ. Σωλ. (mm)	Ταχ. Νερ m/s
1.1	93,38	6	99,38	1367	5,23	0,225	Φ20	0,311
1.2	93,38	6	33,38	1367	5,23	0,225	Φ20	0,311
1.3	221,9	16	237,9	3249	5,23	0,536	Φ20	0,74
1.4	93,38	26	119,4	1367	5,23	0,225	Φ20	0,311
1.5	93,38	26	119,4	1367	5,23	0,225	Φ20	0,311

Πίνακας 1.6. Υπολογισμοί σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης

Αριθ. Κυκλ.	Θερμ. χώρος	Φορτ. Χώρ. (W)	Επιφ. Δαπ. (m ²)	Θερμ. χώρου (° C)	Θερμ. χώρ. Κάτω θερμαιν. (° C)	Πυκν. Θερμ. (Mcal/hm ²)	Μ. θερμ. δαπ. (° C)	Υπολ. Θερμ ισχύς (W)	Απόστ. Σωλήνων (cm)	Πυκν. Θερ. Προς τα κάτω (W/m ²)
1.1	Δωμάτιο 1	3809	14,94	20	20	0,255	40,7	2451	16	0,001
1.2	Δωμάτιο 2	4170	14,94	20	20	0,279	42,3	2812	16	0,001
1.3	Σαλόνι	5102	35,5	20	20	0,144	32,6	1875	16	0,001
1.4	Δωμάτιο 3	3809	19,94	20	20	0,255	40,75	2451	16	0,001
1.5	Δωμάτιο 4	4170	14,94	20	20	0,279	42,3	2812	16	0,001

Πίνακας 1.7. Υπολογισμοί μεγεθών κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Από τους πίνακες 1.5 & 1.7 παρατηρούμε ότι για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών σε θέρμανση η μέση θερμοκρασία του δαπέδου θα πρέπει να είναι κοντά στους 40° C, δηλαδή ξεπερνάει την επιθυμητή τιμή των 29° C. Είναι αυτονόητο λοιπόν ότι το σύστημά μας δεν μπορεί να σχεδιαστεί με μέση θερμοκρασία δαπέδου τους 40° C (εσωτερική θερμοκρασία αέρα 20° C) διότι αν και οι θερμικές απώλειες θα καλυφθούν πλήρως, παρόλο αυτά δεν θα υπάρχει το αίσθημα της θερμικής άνεσης¹ μέσα στο χώρο. Για θερμοκρασία δαπέδου 29° C έχουμε μια υπολειπόμενη θερμική ισχύς που πρέπει να καλυφθεί.

Επειδή η θερμοκρασία του δαπέδου εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου και από τις θερμικές απώλειες, στην περίπτωση που προκύπτει τιμή θερμοκρασίας δαπέδου μεγαλύτερη από τις ακραίες επιτρεπτές, επιβάλλεται πρόσθετη θερμομόνωση του χώρου (για να μειωθούν οι θερμικές απώλειες), ή προσθήκη στο δίκτυο κοινών θερμαντικών σωμάτων ή μετατροπή των τοίχων σε θερμαντική επιφάνεια.(σχήμα 1.11)

¹ Ως θερμική άνεση (thermal comfort) ορίζεται η πνευματική κατάσταση η οποία εκφράζει ικανοποίηση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ένας απλούστερος εμπειρικός ορισμός της θερμικής άνεσης είναι ο παρακάτω : Ως θερμική άνεση μπορεί να ορίσει κανείς την κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου κατά την οποία οι περισσότεροι χρήστες του δεν αισθάνονται ούτε ενοχλητική ζέστη ούτε ενοχλητικό κρύο, η ακόμα καλύτερα, δεν τους απασχολούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η μέση θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν τον χώρο έχει άμεση επίδραση στο αίσθημα της άνεσης. Αν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μειωθεί κατά 1° C σε σχέση με την θερμοκρασία του αέρα του χώρου, άμεσα ένα καθιστό άτομο αισθάνεται ως να έχει μειωθεί η θερμοκρασία του αέρα κατά 1° C χωρίς να έχει συμβεί κάτι τέτοιο. Γενικά, σαν ιδιαίτερα άνετος θεωρείται ένας χώρος όπου η μέση θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών δεν αποκλίνει από την θερμοκρασία του αέρα περισσότερο από 3° C.

Στην περίπτωση του κτιρίου μας δεν θα γίνει πρόσθετη θερμομόνωση για δύο λόγους: α) λόγω της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής δεν επιτρέπεται η εξωτερική θερμομόνωση των τοίχων β) η εσωτερική θερμομόνωση θα μειώσει την διαθέσιμη επιφάνεια του δαπέδου αλλά πρωτίστως θα μειωθεί η θερμική μάζα¹ του κτιρίου.

Λόγο του γεγονότος ότι η θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι 40° C, η προσθήκη στο δίκτυο κοινών θερμαντικών σωμάτων δεν ενδείκνυται, γιατί θα απαιτούνταν πολύ μεγάλες επιφάνειες αυτών. Καταλήγουμε² λοιπόν στην τρίτη περίπτωση, αυτή της μετατροπής ένα μέρος των τοίχων σε θερμαντική επιφάνεια.(σχήμα 1.11). Αυτό σημαίνει ότι περίπου ένα μέτρο από το δάπεδο θα γίνει κάλυψη της εσωτερικής τοιχοποιίας.

Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

✓ Επίπεδο 1

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το επίπεδο 1 παρουσιάζονται στους πίνακες 1.8 & 1.9. Τα αποτελέσματα αφορούν τον υπολογισμό σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης και τον υπολογισμό κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης αντίστοιχα.

Αριθ. Κυκλ.	Μήκ. σωλή στο κύκλ (m)	Μήκ. σωλ. Πρ &επισ(m)	Μήκος σωλ.(m)	Φορτίο κυκλ. (W)	Πτώση θερμ. (° C)	Παρ. νερου (m ³ /h)	Διάμ. Σωλ. (mm)	Ταχ. Νερ m/s
1.1	551,9	0	551,9	8699	2,37	3,16	Φ20	4,3
1.2	343,8	10	353,8	5410	2,42	1,92	Φ20	2,6
1.3	125	20	145	2948	2,43	1,5	Φ20	2,2
1.4	368,8	20	388,8	5726	2,93	1,68	Φ20	2,3

Πίνακας 1.8. Υπολογισμοί σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης

¹ Ο ρόλος της θερμικής μάζας είναι διπλός :

✓ Να αποσβέσει τις διακυμάνσεις του θερμικού φορτίου που εισέρχεται άμεσα στο κτίριο με την μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας (η ακτινοβολία δεν συμμετέχει μόνο άμεσα στη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας, αλλά και έμμεσα, αφού θερμαίνει τα υλικά του χώρου).

✓ Να παρατείνει το χρονικό διάστημα στο οποίο η θερμότητα που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και το σύστημα θέρμανσης μπορεί να αποδοθεί στον εσωτερικό χώρο.

² Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή του μέσου μετάδοσης θερμότητας για την θέρμανση του χώρου έγκειται στην κρίση του εκάστοτε μελετητή μηχανικού. Αυτό λοιπόν συνεπάγεται ότι και η χρήση κοινών θερμαντικών σωμάτων είναι δυνατή.

Αριθ. Κυκλ.	Θερμ. χώρος	Φορτ. Χώρ. (W)	Επιφ. Διαπ. (m ²)	Θερμ. χώρου (° C)	Θερμ. χώρ. Κάτω θερμαιν. (° C)	Πυκν. Θερμ. (Mcal/hm ²)	Μ. θερμ. δαπ. (° C)	Υπολ. Θερμ ισχύς (W)	Απόστ. Σωλήνων (cm)	Πυκν. Θερ. Προς τα κάτω (W/m ²)
1.1	Σαλόνι	8594	88,3	20	5	0,097	29	-	16	0,001
1.2	Είσοδος	5345	55	20	5	0,097	28,98	-	16	0,001
1.3	W.C	2938	20	20	5	0,147	32,9	-	16	0,00
1.4	Κουζίνα	5656	59	20	5	0,096	28,8	-	16	0,001

Πίνακας 1.9. Υπολογισμοί μεγεθών κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης

✓ Επίπεδο 2

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το επίπεδο 2 παρουσιάζονται στους πίνακες 1.10 & 1.11. Τα αποτελέσματα αφορούν τον υπολογισμό σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης και τον υπολογισμό κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης αντίστοιχα.

Αριθ. Κυκλ.	Μήκ. σωλή στο κύκλ. (m)	Μήκ. σωλ. Πρ &επισ(m)	Μήκος σωλ.(m)	Φορτίο κυκλ. (W)	Πτώση θερμ. (° C)	Παρ. νερού (m ³ /h)	Διάμ. Σωλ. (mm)	Ταχ. Νερ m/s
1.1	245	6	251	3835	2,83	1,1	Φ20	1,6
1.2	368,8	6	274,8	4198	2,9	1,2	Φ20	1,7
1.3	331,3	16	347,3	5137	3,17	1,3	Φ20	1,9
1.4	243,8	26	269,8	3810	3,4	1	Φ20	1,7
1.5	268,8	26	294,8	4198	2,9	1,2	Φ20	1,7

Πίνακας 1.10. Υπολογισμοί σωληνώσεων ενδοδαπέδιας κεντρικής θέρμανσης



Αριθ. Κυκλ	Θερμ. χώρος	Φορ τ. Χώρ (W)	Επιφ. Δαπ. (m ²)	Θερμ. χώρου (° C)	Θερμ. χώρ. Κάτω θερμαι ν. (° C)	Πυκν. Θερμ. (Mcal/hm ²)	Μ. θερμ. δαπ. (° C)	Υπολ. Θερμ ισχύς (W)	Απόστ. Σωλήνων (cm)	Πυκν. Θερ. Προς τα κάτω (W/m ²)
1.1	Δωμάτιο 1	3809	39,2	20	20	0,09	28,9	-	16	0,001
1.2	Δωμάτιο 2	4170	43	20	20	0,09	28,9	-	16	0,001
1.3	Σαλόνι	5102	53	20	20	0,09	28,9	-	16	0,001
1.4	Δωμάτιο 3	3809	39	20	20	0,09	28,9	-	16	0,001
1.5	Δωμάτιο 4	4170	43	20	20	0,09	28,9	-	16	0,001

Πίνακας 1.11. Υπολογισμοί μεγεθών κυκλωμάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης

1.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ

Με την βοήθεια του προγράμματος FINE της 4M έγινε αρχικά ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του κτιρίου (απώλειες θερμοπερατότητας & αερισμού). Όπως γίνεται προφανές από την τοποθεσία του κτιρίου (ορεινό χωριό), τις πολύ χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες και τις ιδιαιτερότητες του (αμόνωτο), το μέγεθος των θερμικών απωλειών είναι αρκετά υψηλό, αφού αγγίζει τα 43,6 kW. Κατόπιν μελετήθηκε η εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, αφού προσφέρεται για τον συνδυασμό της με γεωεναλλάκτη νερού – νερού¹. Αναλύοντας τα τελικά αποτελέσματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, παρατηρούμε ότι δεν απαιτείται υπολειπόμενη θερμική ισχύς για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών. Ωστόσο όμως αυξήθηκε σε μεγάλο βαθμό το απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων, γεγονός που οφείλεται στην μετατροπή ενός μέρους της επιφάνειας των εσωτερικών τοίχων σε θερμαντική επιφάνεια. Επίσης η ταχύτητα του νερού στις σωληνώσεις ξεπερνάει σε σημαντικό βαθμό το 1m/s. Αυτό συνεπάγεται προβλήματα ακουστικής όχλησης εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του νερού.

¹ Η ανάλυση του γεωεναλλάκτη θα γίνει στο τρίτο κεφάλαιο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

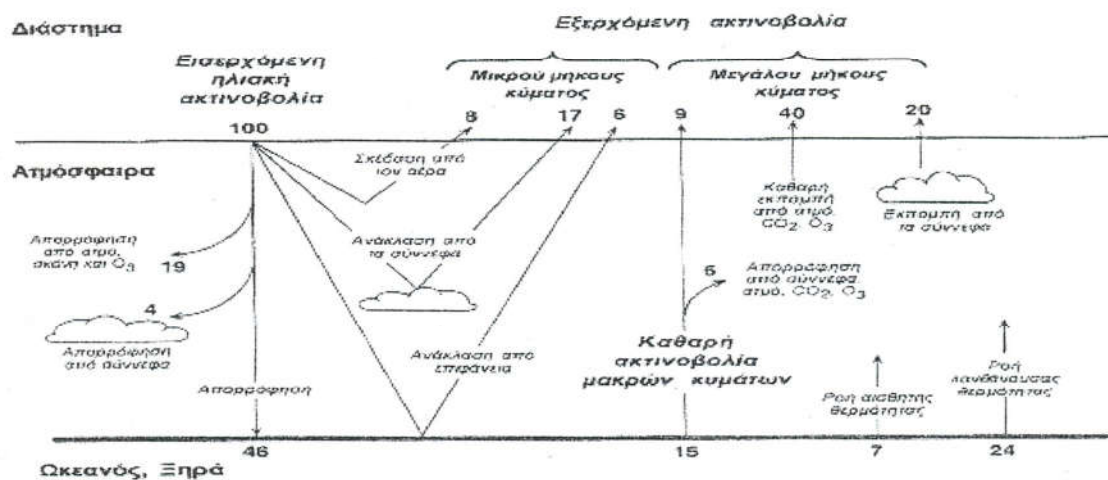
ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ / ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα καλείται Ηλιακή Σταθερά και ισούται με 1353 W/m^2 . Η ακτινοβολία αυτή απαρτίζεται από : 8% υπέρυθρη ακτινοβολία (χαμηλή ενέργεια), 47% στο ορατό φάσμα, 45% στο υπεριώδες (υψηλή ενέργεια). Η κατανομή των ακτινοβολιών διαφορετικού μήκους κύματος που εκπέμπει ο ήλιος καθορίζεται από την θερμοκρασία του. Το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται από $2 \cdot 10^{-7}$ μέχρι $4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα και η ενέργεια.

Μόνο μια απειροελάχιστη ποσότητα της ενέργειας κατακρατείται στη γη (μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης από τη οποία προήλθαν τα ορυκτά καύσιμα) και πραγματικά όση ενέργεια εισέρχεται, τόση εξέρχεται. Το ενεργειακό ισοζύγιο στην ατμόσφαιρα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1. Τα κυριότερα στοιχεία του διαγράμματος είναι :

Η ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος προσεγγίζει στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Τα σύννεφα αντανακλούν το 17% της ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα. Εάν αναπτυχθούν περισσότερα σύννεφα ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, τότε θα αυξηθεί η ακτινοβολία που αντανακλάται και θα μειωθεί η ακτινοβολία που φτάνει στη γη. Το 8% της ακτινοβολίας σκεδάζετε προς τα πίσω από τα μόρια του αέρα. Το 6% αντανακλάται από την επιφάνεια της γης πίσω στο διάστημα. Έτσι η συνολική ανακλασιμότητα της γης φθάνει στο 31%. Αυτό είναι γνωστό με τον τεχνικό όρο Albedo (λευκαύγεια). Το υπόλοιπο 69% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφείται από την γη, την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα. Το 19% απορροφείται από τη σκόνη, το όζον και τους υδρατμούς στη στρατόσφαιρα. Το 4% απορροφείται από τα σύννεφα που βρίσκονται στην τροπόσφαιρα. Το υπόλοιπο 46% του φωτός που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια της ατμόσφαιρας φτάνει στη γη.



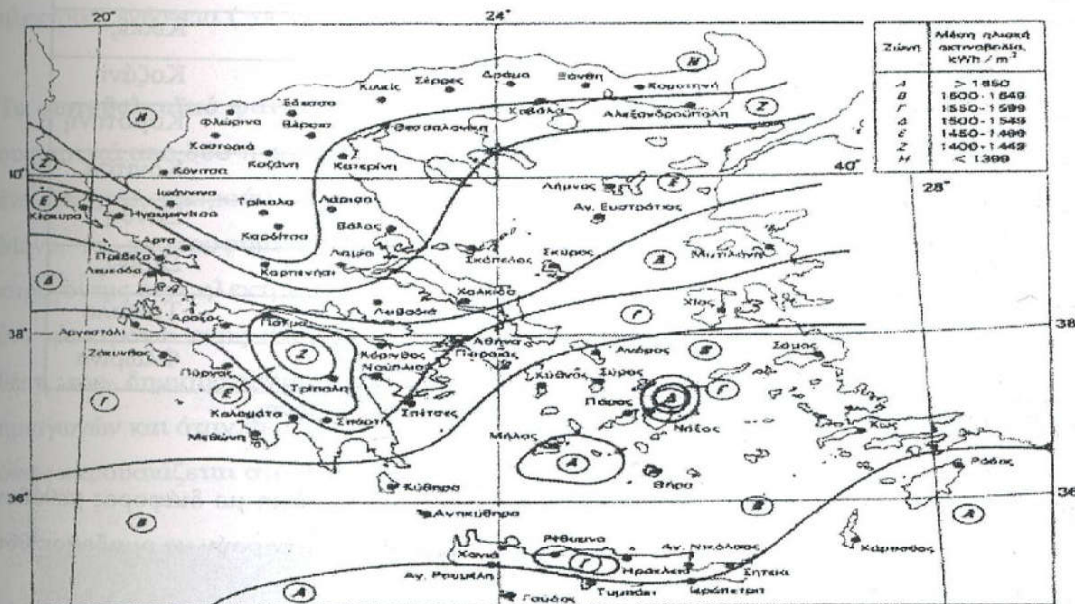
Σχήμα 2.1. Το ισοζύγιο της ηλιακής ενέργειας στη γη.

Το προφανέστερο χαρακτηριστικό της ηλιακής ενέργειας είναι ότι η ενέργεια της παρουσιάζει μια μεγάλη χρονική διακύμανση μεταξύ της μέγιστης τιμής κατά την διάρκεια των ευνοϊκότερων συνθηκών της ημέρας και της μηδενικής τιμής που αποκτά τη νύχτα. Επιπλέον υπάρχει μια σημαντική διακύμανση ανάλογα με την εποχή του χρόνου, όπως και ανάλογα με την γεωγραφική θέση. Στον ισημερινό είναι τριπλάσια από ότι στις βορειότερες χώρες, στην Ευρώπη το χειμώνα είναι το 1/10 του καλοκαιριού. Επίσης υπάρχει διακύμανση και στη σχέση της έμμεσης προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, π.χ στη Μεγάλη Βρετανία το χειμώνα η έμμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι το 85% της ολικής ακτινοβολίας. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη αποτελεί μια αραιή μορφή ενέργειας, π.χ η θερμική ισχύς που μεταδίδεται μέσω 1m² θερμαινόμενης επιφάνειας ενός ατμοσφαιρικού στρώματος είναι περίπου 35 φορές μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο ίδιο εμβαδόν στην επιφάνεια της γης.

Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, η χρονική διακύμανση και η χαμηλή πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι οι κύριες αιτίες για την δημιουργία προβλημάτων που εμφανίζονται στις πρακτικές εφαρμογές της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, ή σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως θερμική.

Η Ελλάδα είναι σημαντικά ευνοημένη σε σχέση με την ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να υποκαταστήσει ένα σημαντικό ποσοστό των αναγκών σε ενέργεια. Η μέση ημερήσια ενέργεια

που παρέχεται από τον ήλιο στην Ελλάδα (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας) εκτιμάται σε 1680KWh/m^2 . Στο χάρτη του σχήματος 2.2 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη χώρα μας.



Σχήμα 2.2. Κατανομή της μέσης ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας. (Καγκαράκης, 1992)

Στον πίνακα 2.1 παρατηρούμε ότι έχουμε χωρίσει την Ελλάδα σε έξι ζώνες, που οι περιοχές της κάθε ζώνης χαρακτηρίζονται από παρόμοιες μετεωρολογικές συνθήκες.

Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ	Ζώνη Ε	Ζώνη Ζ
Γαύδος	Αθήνα	Άραξος	Άρτα	Αλεξανδρούπολη	Δράμα
Ηράκλειο	Άνδρος	Αργοστόλι	Ηγουμενίτσα	Βόλος	Ιωάννινα
Ιεράπετρα	Αντικύθηρα	Κόρινθος	Κέρκυρα	Θεσσαλονίκη	Καρδίτσα
Κάρπαθος	Θήρα	Λευκάδα	Λιβαδειά	Καβάλα	Καστοριά
Ρόδος	Καλαμάτα	Μυτιλήνη	Λήμνος	Καρπενήσι	Κιλκίς
Σητεία	Κύθηρα	Πάτρα	Σκόπελος	Κατερίνη	Κοζάνη
Ταμπάκι	Κως	Πύργος	Τρίπολη	Λαμία	Κομοτηνή
Χανιά	Μεθώνη	Σπάρτη	Χαλκίδα	Λάρισα	Κόνιτσα
	Νάξος	Χίος			Ξάνθη
	Πάρος				Σέρρες
	Σάμος				Τρίκαλα
	Σύρος				Φλώρινα

Πίνακας 2.1 Κατανομή διάφορων περιοχών της Ελλάδας σε έξι ζώνες.

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται είτε με παθητικές μεθόδους είτε με διάφορες μεθόδους μετατροπής της σε χρήσιμες μορφές ενέργειας. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

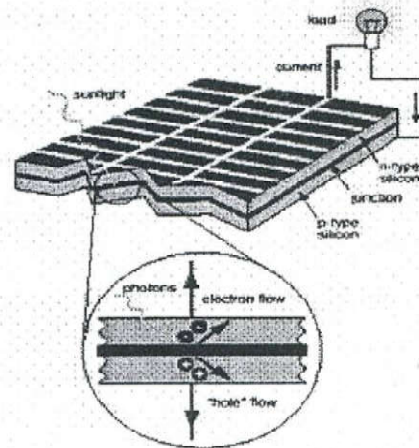
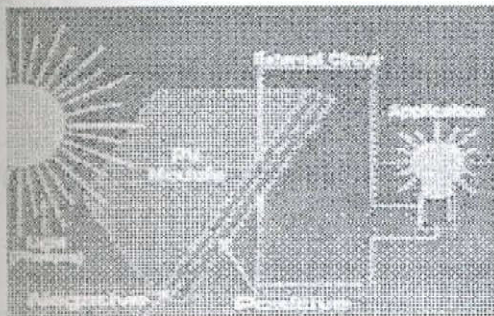
- Τις φωτοχημικές μεθόδους
- Τις φωτοθερμικές μεθόδους
- Τις φωτοηλεκτρικές μεθόδους

Στην παρούσα εργασία η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας θα γίνει με τις φωτοηλεκτρικές μεθόδους.

2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ή κυψελίδες, solar photovoltaic cell) μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα Φ/Β είναι πολύ ευέλικτα, μπορεί να καλύπτουν τόσο μικρές (π.χ ενέργεια για ένα φορητό υπολογιστή), όσο και μεγάλες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια (για ένα ολόκληρο χωριό).

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο: Το ηλιακό ή φωτοβολταϊκό στοιχείο (solar cell) αποτελείται ουσιαστικά από δύο ή περισσότερες στοιβάδες ημιαγωγών. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν σε ένα στοιχείο, μπορούν να ανακλαστούν, να απορροφηθούν ή να διαπεράσουν το στοιχείο. Μόνο τα απορροφημένα φωτόνια δημιουργούν ιοντικά ζεύγη (ηλεκτρόνια και οπές) παράγοντας έτσι ηλεκτρισμό. Όταν συμβαίνει αυτό η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου του στοιχείου. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να αποδράσει από την θέση του δημιουργώντας μια οπή. Αυτά τα φορτία κινούνται μέσα στο πλέγμα των ημιαγωγών και όταν περάσουν από τον ένα ημιαγωγό στον άλλον δημιουργούν ένα δυναμικό όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε ένα ηλιακό στοιχείο

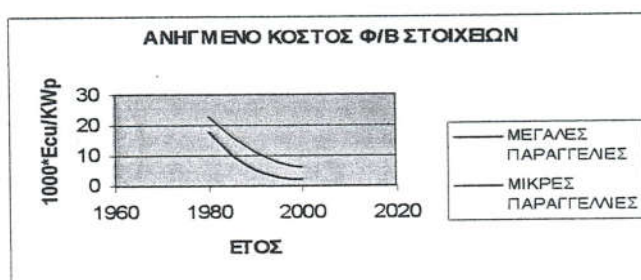
Πλεονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας :

- Ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και ελεύθερα διαθέσιμη
- Αφθονία πρώτης ύλης για κατασκευή Φ/Β στοιχείων
- Τα Φ/Β στοιχεία έχουν σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής

- Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη και επομένως δεν υφίστανται ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης
- Ανεξαρτησία από καύσιμα και μεγάλα δίκτυα διανομής
- Απλότητα και ασφάλεια λειτουργίας
- Δεν ρυπαίνεται το περιβάλλον, δεν προκαλείται θόρυβος και δεν δημιουργούνται άχρηστα παραπροϊόντα
- Κατάλληλη για κάλυψη μικρών φορτίων σε απομακρυσμένες περιοχές
- Μεγάλη αναλογία ισχύος προς βάρος (~100W/Kg), που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές
- Πέρα από την άμεση ακτινοβολία, αξιοποιούν και τη διάχυτη και την ανακλώμενη (συνεπώς κάνουν και για συννεφιασμένες περιοχές)

Μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας :

- Μεγάλο κόστος παρασκευής των Φ/Β στοιχείων (απαγορευτικό για εφαρμογές μεγάλης ισχύος)
- Ετεροχρονισμός μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ενέργειας (απαίτηση για ενδιάμεση αποθήκευση μέρους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, πρόσθετη δαπάνη)
- Κάλυψη μεγάλης επιφάνειας εδάφους / σκεπής για τοποθέτηση του Φ/Β συστήματος λόγω της χαμηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

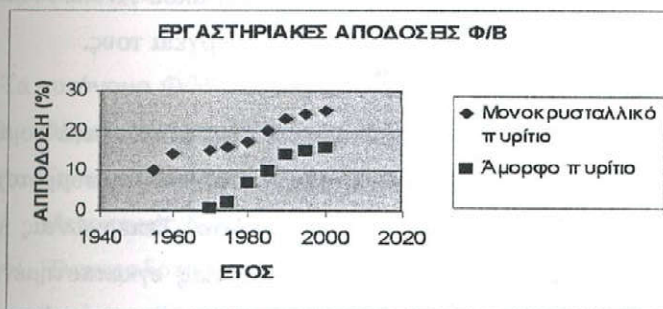


Σχήμα 2.4. Ανηγμένο κόστος Φ/Β στοιχείων

Σήμερα το κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι σχετικά υψηλό και ανάλογα με το μέγεθος και του είδους της εφαρμογής κυμαίνεται μεταξύ των 5000-8000€/KW με προοπτική περαιτέρω μείωσης στα επίπεδα των 3000-4000€/KW.(σχήμα 2.4)

Εκτιμάτε ότι σε ημερήσια βάση, ένα μέσο σπίτι δέχεται στη σκεπή του ηλιακή ενέργεια περίπου 500 φορές περισσότερη από την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει. Ωστόσο παρά τα περιθώρια εκμετάλλευσης που διαφαίνονται από μια τέτοια σύγκριση, η συλλογή της ηλιακής ενέργειας αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα στην αποτελεσματική εκμετάλλευση της, εφόσον αυτή καταφθάνει διάσπαρτη σε χαμηλή πυκνότητα. Παρόλα αυτά η πρόοδος της επιστήμης στον τομέα, τις τελευταίες δεκαετίες είναι μεγάλη και υψηλά υποσχόμενη.

Το πρώτο Φ/Β κύτταρο στερεάς κατάστασης, αναπτύχθηκε στην Αγγλία από τους Adam και Day το 1879 με βάση το σελήνιο (Se). Μέχρι το 1940 δοκιμάστηκαν διάφορα εναλλακτικά υλικά, όπως το οξειδίο-υποοξειδίο του χαλκού, το σουλφίδιο του θαλλίου και το πυρίτιο. Ωστόσο η απόδοση της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα. Από το 1950 και έκτοτε αρχίζει μια ραγδαία ανάπτυξη.

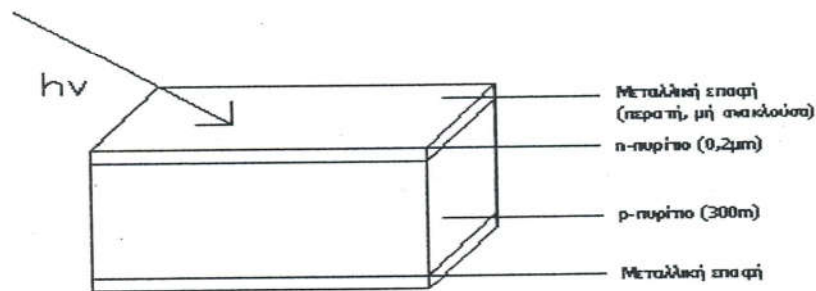


Πράγματι, στο σχήμα 2.5, παρατηρούμε ότι μετά το 1980 έχουμε μια συνεχιζόμενη αύξηση του βαθμού απόδοσης, ο οποίος για το άμορφο πυρίτιο έχει υπερβεί το 15%, ενώ το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έφτασε το 25%.

Σχήμα 2.5. Εργαστηριακές αποδόσεις Φ/Β

Τα κύτταρα πυριτίου καθίστανται η κλασική (καθιερωμένη) περίπτωση Φ/Β για αρκετά χρόνια, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται μια μεγάλη ποικιλία ηλιακών Φ/Β που χρησιμοποιούν εναλλακτικά υλικά.

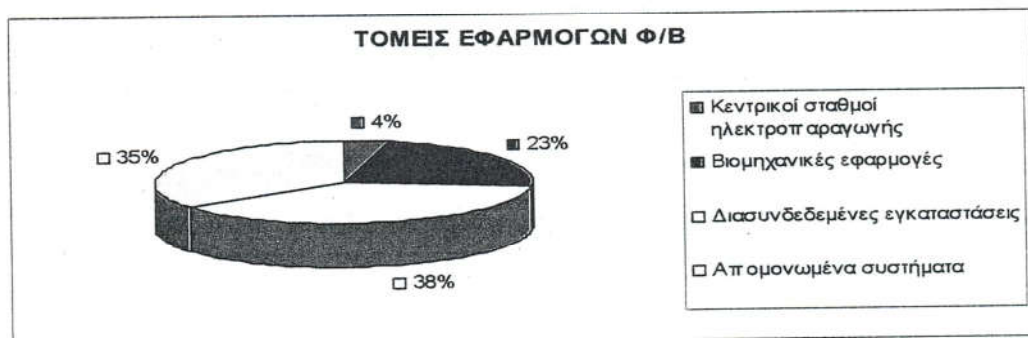
Ένα κλασικό Φ/Β κύτταρο πυριτίου δείχνεται στο σχήμα 2.6



Σχήμα 2.6. Φ/Β κύτταρο πυριτίου

Βασικός ανασταλτικός παράγοντας¹ για υψηλές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική αυτών των κυττάρων, είναι η επανένωση των φορτίων, αφού αυτά έχουν διαχωριστεί με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας. Ιδανικά κάθε αναπτυσσόμενο φορτίο θα έπρεπε να οδεύει στην κατάλληλη πλευρά της επαφής και να παραμένει εκεί. Αναπόφευκτα όμως, μερικά ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών επανενώνονται, χάνοντας την ενέργεια τους.

Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή των φωτοβολταϊκών εφαρμογών ανά τομέα χρήσης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7. Βάση των τελευταίων στοιχείων η συμμετοχή των συνδεδεμένων με το δίκτυο Φ/Β έφθασε το 38% του συνόλου, ξεπερνώντας τις αυτόνομες εφαρμογές, οι οποίες αντιστοιχούν στο 35% της παγκόσμιας εγκαταστημένης ισχύος.



Σχήμα 2.7. Τομείς εφαρμογών Φ/Β συστημάτων

Οι βασικοί λόγοι που προκάλεσαν αυτή την ενδιαφέρουσα εξέλιξη είναι :

¹ Πηγή : S. Lichk, "High Efficiency Solar cells", The Electrochemical Society interface, (1997) 34

- Η αύξηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα
- Οι ανησυχίες των κρατών για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ενεργειακού τομέα
- Η προσπάθεια της Ιαπωνίας για ενίσχυση της εγχώριας Φ/Β βιομηχανίας
- Η επιλογή της Γερμανίας για την υλοποίηση προγράμματος 100000 ηλιακών στεγών

2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

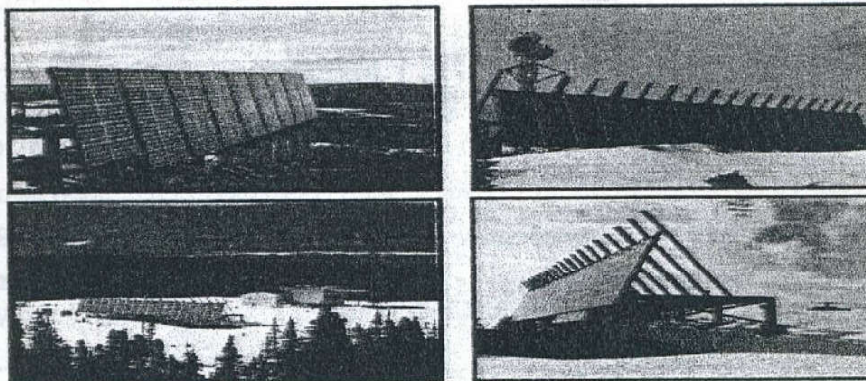
A) Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο.

- Μικρής ισχύος αιχμής
- Μέσης ισχύος αιχμής
- Μεγάλης ισχύος αιχμής

B) Αυτόνομα Φ/Β συστήματα

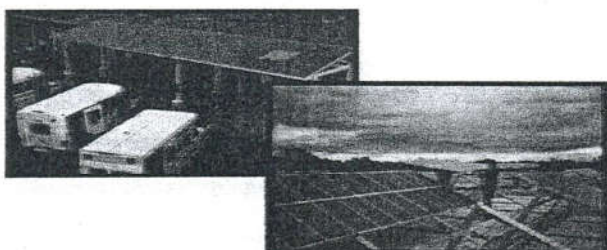
Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα βρίσκουν εφαρμογές κυρίως σε :

- Φάρους και σηματοδούρες θαλασσιών οδών
- Τηλεπικοινωνίες
- Μετρητικές διατάξεις
- Ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων / δύσβατων κατοικιών
- Άντληση-Άρδευση



Σχήμα 2.8. Ηλεκτροδότηση τηλεπικοινωνιών από αυτόνομα Φ/Β πλαίσια στον Καναδά.

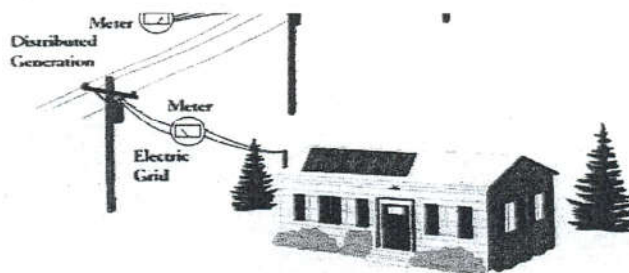
Στο σχήμα 2.8 απεικονίζεται ένα υβριδικό σύστημα Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιεί ως βοηθητική ενέργεια έναν diesel κινητήρα για την ηλεκτροδότηση συστημάτων τηλεπικοινωνιών. Πριν την εφαρμογή των Φ/Β πλαισίων η ηλεκτροδότηση γινόταν αποκλειστικά με τους diesel κινητήρες και λόγω του δύσβατου της περιοχής η τροφοδοσία των κινητήρων με καύσιμο γινόταν με την βοήθεια ελικοπτέρων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το κόστος μεταφοράς να ήταν πολύ μεγαλύτερο από το κόστος του καυσίμου.



Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται η χρήση ενός διασυνδεδεμένου συστήματος Φ/Β πλαισίων στην οροφή ενός βιομηχανικού κέντρου στον Καναδά.

Σχήμα 2.9. Χρήση Φ/Β πλαισίων σε βιομηχανικό κέντρο

Στην παρούσα εργασία τα Φ/Β συστήματα θα είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο (σχήμα 2.10), για την χρήση βοηθητικής ενέργειας, στις περιπτώσεις που τα Φ/Β δεν θα μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις μας.



Σχήμα 2.10. Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα (Πηγή : Ross and Royer)

2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο σχεδιασμός ενός Φ/Β συστήματος όπως και κάθε σχεδιασμός ενός τεχνικού έργου, προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεθόδων. Μέγεθος αφετηρία για την σχεδίαση ενός Φ/Β συστήματος αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται κατά περίπτωση από τα παρακάτω κριτήρια όπως παρουσιάζονται και στο σχήμα 2.11 :

- Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης).
- Κριτήρια με βάση την διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του συστήματος θα είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει εάν καλύψουμε πλήρως με συλλέκτες την διαθέσιμη επιφάνεια
- Καθαρά τεχνικά κριτήρια (γεωγραφικό πλάτος, ηλιοφάνεια, υγρασία, ρύπανση, άνεμος, θερμοκρασία)



Σχήμα 2.11. Κριτήρια επιλογής μεγέθους ισχύος

Όσον αφορά το πρώτο κριτήριο, εάν Q είναι το ποσό της επένδυσης και q το κόστος ανά KW εγκατεστημένης ισχύος, τότε η ισχύς του συστήματος θα είναι :

$$P = Q/q \text{ (kW)} \quad (2.1)$$

Γνωρίζοντας λοιπόν την τιμή πώλησης της KWh (a) και τον χρόνο (t) σε ώρες της μέσης ημερήσιας ηλιοφάνειας στη διάρκεια του έτους, υπολογίζεται το ετήσιο ενεργειακό πλεόνασμα, και το ετήσιο οικονομικό όφελος :

$$E = P * t \text{ (kWh)} \quad (2.2)$$

$$S = E * a \quad (2.3)$$

Τα παραπάνω βέβαια αποτελούν ενδεικτικές προσεγγίσεις ενώ η ακριβής εκτίμηση της απόσβεσης θα γίνει με κατάλληλα μοντέλα.

Όσον αφορά το δεύτερο κριτήριο θα πρέπει να καλύψουμε όλη την επιφάνεια της στέγη μας με P/V πάνελ που ταυτόχρονα θα εξυπηρετούν αισθητικές, λειτουργικές και σύγχρονες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις. Πρόκειται για αυτό που ονομάζουμε ενεργειακή λειτουργία ή ενεργειακή ταυτότητα μιας κατασκευής. Μια τέτοια κατασκευή πέραν των αναγκών που εκπληρώνει, μπορεί ταυτόχρονα να είναι και αυτόνομη ενεργειακά.

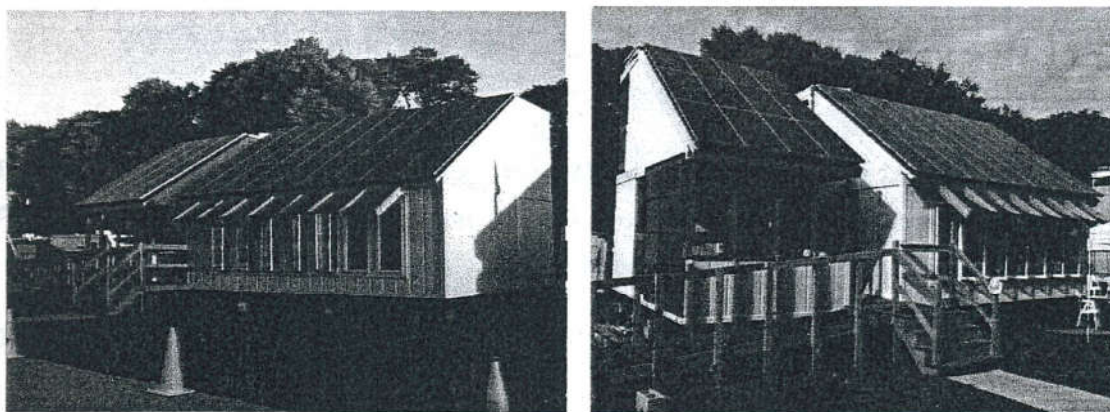
Τα δύο παραπάνω κριτήρια εκτιμούν με ακρίβεια την ισχύ αιχμής του Φ/Β συστήματος

Το τρίτο κριτήριο αφορά περιπτώσεις στις οποίες το δίκτυο της ΔΕΗ είναι απομακρυσμένο.

2.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Το Φ/Β πλαίσιο είναι ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων κατάλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους με δυνατότητα να παρέχει αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ισχύ και αποτελεί ένα ενιαίο μηχανικό σύνολο. (σχήμα 2.12)

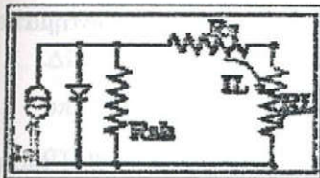
Από μηχανικής κατασκευής, τα Φ/Β πλαίσια, αποτελούν μια στιβαρή κατασκευή, ικανή να αντέχει σε ισχυρές καταπονήσεις, υπερθερμάνσεις, διάβρωση και υγρασία. Αυτές τις ιδιότητες άλλωστε πρέπει να έχουν τα Φ/Β γιατί είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες. Όλα αυτά όμως έχουν επιπτώσεις στο τελικό κόστος της ενέργειας που παρέχει το σύστημα και αφετέρου στην αξιοπιστία του. Εκτεθειμένο το Φ/Β πλαίσιο στην ηλιακή ακτινοβολία, θα αρχίσει αμέσως η μετατροπή της, σε ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 2.12. Χρήση Φ/Β πλαισίων σε κτίρια κατοικιών

2.5.1 Χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων

Τα Φ/Β στοιχεία, σαν ημιαγωγά στοιχεία που είναι, μπορούν να περιγραφούν από ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.13 :



R_{sh} = Αντίσταση επαφής

R_s = Εσωτερική αντίσταση

R_L = Αντίσταση φορτίου

I_L = Ρεύμα φορτίου

Σχήμα 2.13. Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

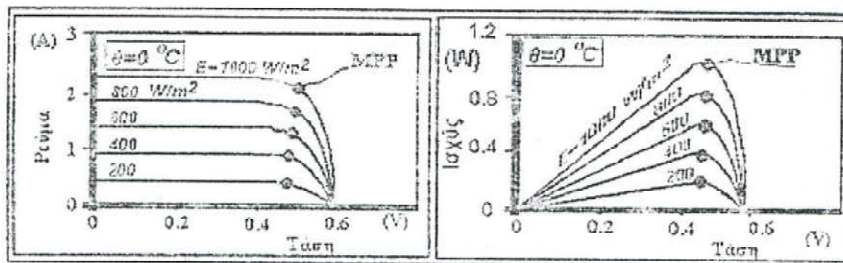
Παρατηρούμε ότι το ρεύμα του φορτίου (I_L) διαρρέει και την εσωτερική αντίσταση R_s με αποτέλεσμα να εμφανίζονται απώλειες ισχύος :

$$P_A = R_s * I_L^2 \quad (2.4)$$

Η P_A μετατρέπεται σε θερμότητα που συμβάλλει σημαντικά στην άνοδο της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου. Οι παραπάνω απώλειες είναι σημαντικές ακόμα και για μικρές τιμές της αντίστασης. Τέλος η παρεχόμενη ωφέλιμη ισχύς από το Φ/Β στοιχείο δίνεται από τη σχέση :

$$P_o = R_L * I_L^2 \quad (2.5)$$

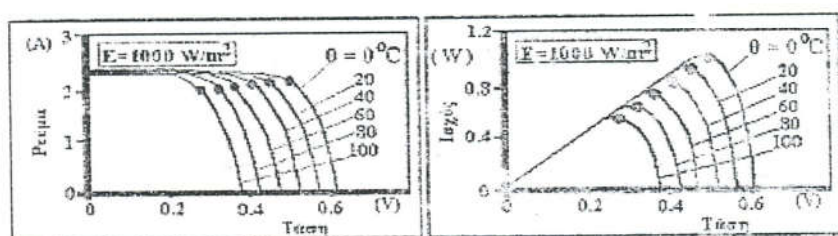
Στο σχήμα 2.14 που ακολουθεί φαίνονται οι καμπύλες ρεύματος και ισχύος τάσης ενός Φ/Β στοιχείου σε θερμοκρασία 0°C και για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.14. Καμπύλες ρεύματος & ισχύος τάσης

Παρατηρούμε ότι η απόδοση των Φ/Β στοιχείων εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια τους. Επίσης η μέγιστη ισχύς παρέχεται από τα Φ/Β στοιχεία όταν αυτά εργάζονται στο σημείο MPP (Maximum Power Point). Σ' αυτό το σημείο η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το Φ/Β πλαίσιο είναι $E = 1000 \text{ W/m}^2$. Αυτό το στοιχείο λαμβάνεται υπόψη όταν γίνεται ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτοματισμού καθώς και των συστημάτων φόρτισης.

Στο σχήμα 2.15 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος, τάσης και ισχύος τάσης, ενός Φ/Β στοιχείου που η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται είναι σταθερή ($E = 1000 \text{ W/m}^2$), ενώ οι θερμοκρασίες του Φ/Β στοιχείου μεταβάλλονται από $20\text{-}100^\circ \text{C}$.



Σχήμα 2.15. Καμπύλες ρεύματος, τάσης και ισχύος.

Παρατηρούμε ότι η απόδοση των Φ/Β στοιχείων εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, η απόδοση μειώνεται. Για αυτό το λόγο όταν γίνεται η εγκατάσταση Φ/Β στοιχείων φροντίζουμε να τοποθετούνται σε ελεύθερο χώρο, ώστε να υπάρχει μια φυσική ψύξη. Τα στοιχεία των Φ/Β δίνονται συνήθως σε θερμοκρασία αναφοράς 25°C από την οποία μπορούν να υπολογιστούν τα στοιχεία σε άλλες θερμοκρασίες από τις σχέσεις :

$$U_T = U_{25} * [1 - 0.002 * (T - 25)] \quad (2.6)$$

$$I_T = I_{25} * [1 + 0.025 * A * (T - 25)] \quad (2.7)$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού και A το εμβαδόν του σε cm^2

Τέλος, δεν θα πρέπει να παραβλέπονται και οι παράγοντες όπως η σκίαση ή η ρύπανση της επιφάνειας του πλαισίου. Και οι δύο αυτοί παράγοντες περιορίζουν την ηλιακή ακτινοβολία την οποία εκμεταλλεύεται τελικά το Φ/Β και, ενώ για την σκίαση μπορούν να ληφθούν μέτρα

για την ανεμπόδιστη έκθεση του Φ/Β στον ήλιο, η ρύπανση και η σκόνη που επικάθεται στην επιφάνεια του πλαισίου είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπιστεί.

Τα βασικότερα υλικά Φ/Β στοιχείων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι :

- Δίσκοι από ενιαίο κρύσταλλο πυριτίου (single crystal solar cell), πάχους $\frac{1}{2}$ ή $\frac{1}{3}$ mm, οι οποίοι παρασκευάζονται με τεμαχισμό κυλίνδρου Si που δημιουργείται με κρυστάλλωση στους 1400°C . Είναι μια σχετικά δαπανηρή μέθοδος παρασκευής. Η απόδοσή τους φθάνει το 25%.
- Δίσκοι από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (Polycrystalline wafers) παράγονται από ένα κύλινδρο Si που δημιουργείται με χύτευση. Είναι φθηνότερη μέθοδος από την προηγούμενη, όμως με μικρότερη απόδοση (<20%).
- Το άμορφο πυρίτιο (amorphous silicon) δημιουργείται από την εναπόθεση Si σε υποστρώματα γυαλιού ή ακόμα και πλαστικού, από ένα αντιδρών αέριο, όπως το σιλάνιο (SiH_4). Είναι η ευρύτερη εφαρμοσμένη μέθοδος σήμερα. Η απόδοσή τους φθάνει το 10%.
- Άλλες τεχνολογίες λεπτής στιβάδας. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει οικονομικά πλεονεκτήματα.

2.5.2 Απόδοση Φ/Β πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου υπολογίζεται με βάση τη σχέση :

$$\eta = P_{\phi} / (E * F * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}) \quad (2.8)$$

Όπου : P_{ϕ} : Η ισχύς που αποδίδει το Φ/Β στοιχείο στο φορτίο

$E = 1000 \text{ W/m}^2$. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

$F = L(\text{πλάτος}) * h(\text{μήκος})$. Η επιφάνεια του πλαισίου.

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(\theta_a + 10) / 200] \quad (2.9)$$

σ_{θ} : Αδιάστατος συντελεστής που έχει σχέση με την θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου.

Συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή.

θ_a : Η μέση θερμοκρασία αέρα, σε ° C, στη διάρκεια της ημέρας.

σ_p : Αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με την ρύπανση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι τοποθετημένα τα Φ/Β πλαίσια.

$\sigma_p = 1$: Για περιβάλλον χωρίς ρύπανση

$\sigma_p = 0,9$ -//- με μέτρια επίπεδα ρύπανσης

$\sigma_p = 0,8$ -//- με υψηλά επίπεδα

Θεωρώντας το ηλιακό πλαίσιο, άμορφου πυριτίου, της εταιρίας Uni-Solar (το στοιχείο έχει κωδικό MBC-525), θα έχουμε :

- Μέγιστη ισχύς πλαισίου: $P_{\phi} = 22$ Watt
- Μήκος πλαισίου: $L = 1,3$ m
- Πλάτος πλαισίου: $h = 0,41$ m
- Επιφάνεια πλαισίου : $F = 0,533$ m²
- Τάση μέγιστης ισχύος: $V_m = 15,6$ Volt
- Ένταση μέγιστης ισχύος: $I_m = 1,4$ Amps

Επομένως από τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζουμε ότι :

ΜΗΝΑΣ	θ_a (ο C)	σ_p	σ_p	n
Ιανουάριος	7	0,915	1	0,045
Φεβρουάριος	8	0,91	1	0,045
Μάρτιος	10	0,9	1	0,045
Απρίλιος	14	0,88	1	0,046
Μάιος	16	0,87	1	0,047
Ιούνιος	23	0,835	0,9	0,054
Ιούλιος	26	0,82	0,9	0,055
Αύγουστος	26	0,82	0,9	0,055
Σεπτέμβριος	22	0,84	0,9	0,054
Οκτώβριος	17	0,865	1	0,047
Νοέμβριος	13	0,885	1	0,046
Δεκέμβριος	8	0,91	1	0,045

Πίνακας 2.2. Μηνιαίος βαθμός απόδοσης Φ/Β πλαισίου

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 2.2 παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης των πλαισίων δεν είναι σταθερός για όλο το έτος λόγω της διαφορετικής μέσης θερμοκρασίας αέρα κάθε μήνα αλλά και του αδιάστατου συντελεστή που σχετίζεται με την ρύπανση του περιβάλλοντος,

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο βαθμός απόδοσης (σχέση 2.8) δεν περιλαμβάνει τις απώλειες του συστήματος. Τις απώλειες αυτές θα τις συμπεριλάβουμε όταν θα διαστασιολογήσουμε το ενεργειακό μας σύστημα.

2.5.3 Σύνδεση Φ/Β πλαισίων

Στη μέχρι τώρα ανάλυση μας για Φ/Β στοιχεία, τα οποία όμως αποδίδουν πολύ μικρές τιμές ισχύος για να είναι εκμεταλλεύσιμες στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές. Γι' αυτό το λόγο γίνεται συνήθως σύνδεση πολλών Φ/Β στοιχείων έτσι ώστε να αποτελέσουν ένα Φ/Β πλαίσιο. Οι εξισώσεις και τα σχήματα που έχουν παρουσιαστεί μέχρι τώρα μπορούν να θεωρηθούν ότι αναφέρονται τόσο σε Φ/Β στοιχεία όσο και σε Φ/Β πλαίσια. Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να θεωρηθούν ως βασικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες όμως συνδυαζόμενες αποδίδουν μεγαλύτερη τάση, ένταση, ή και ισχύ, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία πρόκειται να αξιοποιηθούν. Πρόκειται λοιπόν ανάγκη σύνδεσής τους κατά τρόπο που να ικανοποιεί τις ανάγκες τις εκάστοτε εφαρμογής.

Οι συνδέσεις που μπορούν να προκύψουν είναι η σύνδεσή σε σειρά, η παράλληλη σύνδεση και η μικτή σύνδεση. Η σύνδεσή των Φ/Β πλαισίων σε σειρά χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε Φ/Β πλαίσιο χωριστά. Στη σύνδεσή σε σειρά συνδέεται ο αρνητικός πόλος του ενός πλαισίου με τον θετικό πόλο του επόμενου κ.ο.κ. Θα πρέπει όμως τα Φ/Β πλαίσια που θα συνδεθούν να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος, ενώ η τάση της συστοιχίας θα είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων όλων των πλαισίων που έχουν συνδεθεί.

Στην παράλληλη σύνδεση ενώνονται όλοι οι θετικοί πόλοι των πλαισίων και χωριστά όλοι οι αρνητικοί πόλοι. Κατά τον τρόπο αυτό προκύπτει ρεύμα από την συστοιχία με ένταση ίση με το άθροισμα των εντάσεων όλων των πλαισίων που έχουν συνδεθεί. Θα πρέπει όμως η τάση ανοικτού κυκλώματος όλων των πλαισίων που έχουν συνδεθεί να είναι η ίδια.

Τέλος η μεικτή σύνδεση χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε Φ/Β πλαίσιο χωριστά. Ο θετικός πόλος ενός του ενός στοιχείου συνδέεται με τον θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό του άλλου. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου συνδεθούν μεταξύ τους όλα. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία Φ/Β πλαισίων συνδεδεμένων παράλληλα.

2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Θεωρητικά είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφανείας που προσπίπτει σε ένα οριζόντιο επίπεδο, κατά την διάρκεια μιας ημέρας, στα όρια της ατμόσφαιρας.

Ο παραπάνω υπολογισμός γίνεται με την βοήθεια της σχέσης :

$$H_0 = (24/\pi) * j_{sc} * [(1 + 0.033 * \cos(360 * \nu / 365))] * [\cos\phi * \cos\delta * \sin\omega_s + (\pi * \omega_s / 180) * \sin\phi * \sin\delta] \quad (2.10)$$

Όπου H_0 : (kWh/day/m²)

$j_{sc} = 1,353 \text{ KW/m}^2$. Η μέση τιμή της ηλιακής σταθεράς. Ισοδυναμεί με την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται επιφάνεια 1 m², εκτός των ορίων της ατμόσφαιρας, προσανατολισμένη κάθετη στις ακτίνες του ήλιου σε χρόνο 1 second.

ν : Είναι ο αύξων αριθμός της τυπικής ημέρας κάθε μήνα.

Μήνας	n : για κάθε ημέρα του μήνα	Τυπική Ημέρα	a/a
Ιανουάριος	i	17	17
Φεβρουάριος	31+i	16	47
Μάρτιος	59+i	16	75
Απρίλιος	90+i	15	105
Μάιος	12+i	15	135
Ιούνιος	151+i	11	162
Ιούλιος	181+i	17	198
Αύγουστος	212+i	16	228
Σεπτέμβριος	243+i	15	258
Οκτώβριος	273+i	15	288
Νοέμβριος	304+i	14	318
Δεκέμβριος	334+i	10	344

Πίνακας 2.3. Υπολογισμός της τυπικής ημέρας (Klein 1997)

Στον πίνακα 2.3 έχουμε καταγράψει για κάθε μήνα του έτους την τυπική ημέρα. Δεδομένου ότι η γωνία δύσης του ηλίου (θα αναφερθεί παρακάτω) διαφέρει καθημερινά, η εύρεση της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας και των ωρών μέγιστης ηλιοφάνειας ανά μήνα γίνεται είτε ολοκληρώνοντας κάθε μέρα του μήνα είτε λαμβάνοντας μια αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα η οποία από τον Klein δίνεται από τον πίνακα 2.3. Ποιοτικά αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιούμε στους υπολογισμούς μας την τυπική ημέρα του μήνα μόνο και στη συνέχεια το αποτέλεσμα το πολλαπλασιάζουμε με τις ημέρες του μήνα. Δηλαδή θεωρούμε ότι όλες οι ημέρες του μήνα δέχονται την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, με αυτής της τυπικής ημέρας. Ουσιαστικά η τυπική ημέρα του μήνα είναι αυτή που πλησιάζει περισσότερο την μέση τιμή του μήνα.

Από μετρήσεις που έχουν γίνει, έχει βρεθεί για κάθε μήνα η τυπική ημέρα του μήνα. Ο αύξων αριθμός για κάθε μήνα προκύπτει προσθέτοντας τον αριθμό της τυπικής ημέρας του μήνα που μας ενδιαφέρει και το άθροισμα των ημερών των προηγούμενων ημερών. Για τον μήνα Ιανουάριο ο αύξων αριθμός συμπίπτει με την τυπική ημέρα του Ιανουαρίου.

ϕ : Είναι το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου. Είναι η γωνιακή θέση του τόπου σε σχέση με τον ισημερινό. Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται θετικό για τον βορρά και αρνητικό για τον νότο και είναι $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$. Στη περίπτωση μας $\phi = 40^\circ$.

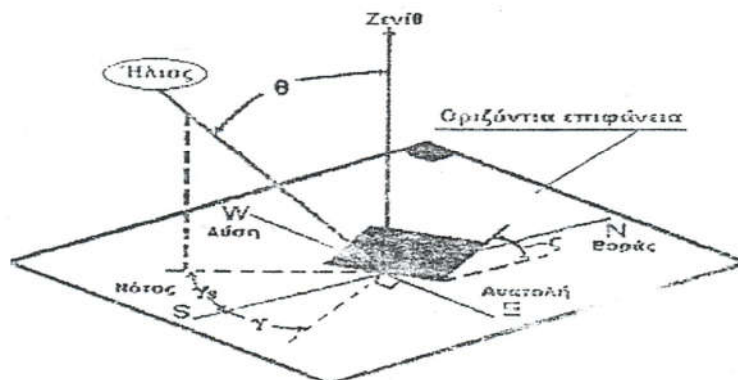
δ : Είναι η απόκλιση του ηλίου, κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Οι τιμές που παίρνει είναι : $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ και υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης (Cooper) :

$$\delta = 23,45 * \sin[360 * (284 + \nu) / 365] \quad (2.11)$$

ω_s : Είναι η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου σε οριζόντιο επίπεδο. Υπολογίζεται με την βοήθεια της σχέσης :

$$\omega_s = \arccos(-\tan\phi * \tan\delta) \quad (2.12)$$

Στο σχήμα 2.16 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παραπάνω γωνίες.



Σχήμα 2.16

Με βάση λοιπόν τις εξισώσεις (2.9), (2.10), (2.11) καταλήγουμε στον πίνακα 2.4 :

ΜΗΝΑΣ	H_o (kWh/m ² /day)	$H_{om} = H_o \cdot \text{days}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	4,184	129,71
Φεβρουάριος	5,643	158,01
Μάρτιος	7,536	233,64
Απρίλιος	9,513	285,39
Μάιος	10,91	338,21
Ιούνιος	11,48	344,45
Ιούλιος	11,19	346,91
Αύγουστος	10,06	311,94
Σεπτέμβριος	8,271	248,14
Οκτώβριος	6,221	192,86
Νοέμβριος	4,541	136,23
Δεκέμβριος	3,794	117,62

Πίνακας 2.4. Ηλιακή ακτινοβολία στα όρια της ατμόσφαιρας

2.7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

2.7.1 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης

Μετά από μακροχρόνιους υπολογισμούς έχουν δημιουργηθεί πίνακες στους οποίους δίνονται στοιχεία για την ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο¹ στην επιφάνεια της γης, αλλά και στοιχεία σχετικά με τα γεωγραφικά πλάτη κάθε πόλης, ηλιοφάνεια σε ώρες ανά μήνα, μέσης θερμοκρασίας αέρα κτλ.

Για χαρακτηριστική ορεινή περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, με βάση την πόλη της Κόνιτσας οι τιμές δίνονται στον πίνακα 2.5 :

¹ Πηγή : Β. Μάλαμης, Αυτόνομες εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας Μικρού & Μεσαίου Μεγέθους, εκδόσεις ΙΩΝ.

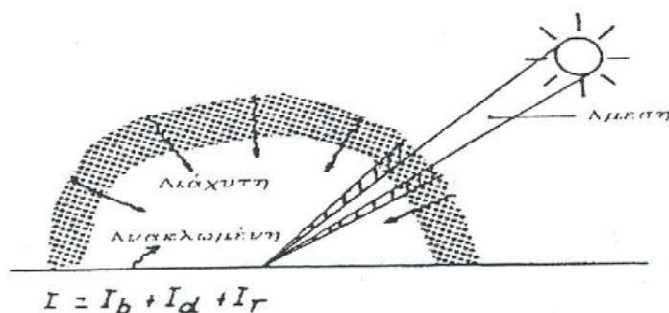
ΜΗΝΑΣ	Ηλιοφάνεια (ώρες/μήνα)	H(kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	117	52
Φεβρουάριος	105	61
Μάρτιος	161	100
Απρίλιος	163	118
Μάιος	242	163
Ιούνιος	263	174
Ιούλιος	312	193
Αύγουστος	299	176
Σεπτέμβριος	220	126
Οκτώβριος	173	89
Νοέμβριος	136	59
Δεκέμβριος	123	49

Πίνακας 2.5. Ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης και ώρες ηλιοφάνειας

2.7.2 Άμεση – Διάχυτη – Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.17:

- Την άμεση I_b που έρχεται κατ' ευθείαν από τον ήλιο.
- Την διάχυτη I_d που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και γεννάται κατά την σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας σε άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωματίδια.
- Την ανακλώμενη I_r που προέρχεται από διάφορες γειτονικές επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια ή δεν είναι οριζόντια οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.



Σχήμα 2.17. Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η **άμεση** είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, έχει ορισμένη κατεύθυνση για ορισμένο επίπεδο αναφοράς και ορισμένη χρονική στιγμή. Με καθαρό ουρανό αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο επίπεδο αναφοράς αλλά αυτή η αναλογία διαφοροποιείται εξ αιτίας της σκόνης, καπνού, αιωρούμενων σωματιδίων και ανατρέπεται τις συννεφιασμένες ημέρες.

Η **Διάχυτη** είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουράνιο θόλο, εκτός του δίσκου του ηλίου. Είναι ισχυρότερη στο τμήμα του ουρανού κοντά στον ήλιο και γίνεται ασθενέστερη μακριά από τον ηλιακό δίσκο, σε περίπτωση καθαρού χωρίς σύννεφα και σκόνη ουρανού. Για το επίπεδο αναφοράς δεν έχει ορισμένη κατεύθυνση όπως η άμεση ακτινοβολία αλλά προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού. Στην περίπτωση που το επίπεδο αναφοράς είναι οριζόντιο, δέχεται τη διάχυτη ακτινοβολία από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο εφόσον δεν μεσολαβούν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια (π.χ λόφοι, κτίρια κλπ). Το κατακόρυφο επίπεδο δέχεται τη μισή διάχυτη ακτινοβολία για τις ίδιες συνθήκες.

Η **ανακλώμενη** είναι η ακτινοβολία που φθάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνητές επιφάνειες, που υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορά καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Οι Liu και Jordan δέχονται ως δείκτη ανακλαστικότητας του εδάφους 0,2 ενώ της επιφάνειας που είναι στρωμένη με χιόνι 0,7.

2.7.3 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της γης

Ο παραπάνω υπολογισμός θα γίνει με βάση τις παρακάτω εξισώσεις :

$$K_{\tau} = H/H_{om} \quad (2.13)$$

$0,3 \leq K_{\tau} \leq 0,8$ Δείκτης αιθριότητας για κάθε μήνα του έτους.

Ορίζεται ως ο λόγος της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (H) προς την ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας (H_{om}).

Το 1960 οι Liu και Jordan παρατήρησαν ότι ο λόγος της μέσης μηνιαίας τιμής της διάχυτης προς την μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία, σε οριζόντια επιφάνεια κάθε μήνα, συσχετίζεται ικανοποιητικά με τον δείκτη αιθριότητας.

S : Είναι η γωνία κλίσης του Φ/Β πλαισίου.

A) Υπολογισμός διάχυτης ακτινοβολίας (H_d) σε οριζόντιο επίπεδο:

Για ωριαία γωνία δύσης $\omega \leq 1,4208$ θα ισχύει (Erbs, Klein και Duffie) :

$$H_d/H = 1.391 - 3.506 * K_{\tau} + 4,189 * K_{\tau}^2 - 2,137 * K_{\tau}^3 \quad (2.14)$$

Για ωριαία γωνία δύσης $\omega > 1,4208$ θα ισχύει :

$$H_d/H = 1.311 - 3.022 * K_{\tau} + 3,427 * K_{\tau}^2 - 1,82 * K_{\tau}^3 \quad (2.15)$$

Επομένως από την εξίσωση (2.14) ή (2.15) και τον πίνακα 2.4 καταλήγουμε λοιπόν ότι η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης S, θα δίνεται από την εξίσωση :

$$H_{Difusse} = H_d * [(1 + \cos S) / 2], \text{ [kWh/m}^2\text{/month]} \quad (2.16)$$

Β) Υπολογισμός άμεσης ακτινοβολίας :

$$\omega_{s,\min} = \min [\arccos(-\tan\varphi * \tan\delta)], \arccos[-\tan(\varphi-S) * \tan\delta]] \quad (2.17)$$

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - S) * \cos\delta * \cos\omega_{s,\min} + (\pi/180) * \omega_{s,\min} * \sin(\varphi - S) * \sin\delta}{\cos\varphi * \cos\delta * \sin\omega_s + (\pi/180) * \omega_s * \sin\varphi * \sin\delta} \quad (2.18)$$

Ο λόγος R_b (λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας), είναι ο λόγος της ακτινοβολίας που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, σε ένα επίπεδο υπό κλίση S , προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, στον ίδιο τόπο

Καταλήγουμε λοιπόν ότι η άμεση ακτινοβολία δίνεται από την εξίσωση :

$$H_{Beam} = H * (1 - H_d/H) * R_b, [kWh/m^2/month] \quad (2.19)$$

Γ) Υπολογισμός ανακλώμενης ακτινοβολίας :

ρ : Είναι ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους.

$\rho = 0,2$ για κανονικό έδαφος, $\rho = 0,7$ για χιόνι.

Η ανακλώμενη ακτινοβολία δίνεται από τη σχέση :

$$H_{reflected} = H * \rho * [(1 - \cos(S))/2], [kWh/m^2/month] \quad (2.20)$$

Τελικά η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της γης, θα ισούται με το άθροισμα της διάχυτης, της άμεσης και της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

$$H_{Total} = H_{Difusse} + H_{Beam} + H_{reflected} \quad (2.21)$$

Ο προσδιορισμός της γωνίας κλίσης των Φ/Β πλαισίων θα γίνει με κριτήρια που αφορούν :

- Την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε 1m^2 επιφάνειας.
- Την παραδοσιακή αρχιτεκτονική αισθητική.

Η γωνία κλίσης της επιφάνειας θα προκύψει από την παραμετρική μελέτη των παρακάτω γωνιών :

- Βέλτιστη γωνία έτους (Συνήθως ισούται με το γεωγραφικό πλάτος της πόλης).
- Βέλτιστη γωνία επιφανείας για κάθε μήνα.
- Γωνία κλίσης, $S = 30^\circ$ (τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων στην κεκλιμένη στέγη).

Επίσης θα γίνουν και κάποιες παραμετρικές μελέτες που θα αφορούν την μείωση των ωρών ηλιοφάνειας, την μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων και την αλλαγή του τύπου του Φ/Β πλαισίου .

2.7.4 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, με γωνία κλίσης την βέλτιστη γωνία έτους.

Η βέλτιστη γωνία έτους είναι $S = 40^\circ$ (ισούται με το γεωγραφικό πλάτος της πόλης).

Επομένως με βάση τις εξισώσεις που αναφέραμε θα έχουμε :

Στους πίνακες 2.6, 2.7, 2.8 και 2.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών της διάχυτης, της άμεσης, της ανακλώμενης και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα για βέλτιστη γωνία κλίσης 40° .

- Υπολογισμός διάχυτης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	ω_s (°)	H_d/H	H_d (kWh/m ² /month)	$H_{Difusse}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	1,24	0,52	25,93	22,90
Φεβρουάριος	1,37	0,53	31,52	27,84
Μάρτιος	1,53	0,50	50,06	44,21
Απρίλιος	1,70	0,51	59,81	52,82
Μάιος	1,85	0,44	75,50	66,67
Ιούνιος	1,93	0,42	73,94	65,30
Ιούλιος	1,90	0,37	78,55	69,37
Αύγουστος	1,77	0,37	67,92	59,99
Σεπτέμβριος	1,60	0,42	51,65	45,61
Οκτώβριος	1,43	0,46	41,61	36,75
Νοέμβριος	1,28	0,48	28,75	25,39
Δεκέμβριος	1,20	0,50	24,68	21,79

Πίνακας 2.6. Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης $S = 40^\circ$

▪ Υπολογισμός άμεσης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	$\omega_{s, \min}$ (°)	R_b	H_{Beam} (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	71,27	2,254	56,15
Φεβρουάριος	78,82	1,791	50,38
Μάρτιος	87,90	1,382	68,74
Απρίλιος	90	1,064	60,44
Μάιος	90	0,877	79,11
Ιούνιος	90	0,803	80,43
Ιούλιος	90	0,834	100,2
Αύγουστος	90	0,975	108,1
Σεπτέμβριος	90	1,238	90,19
Οκτώβριος	81,93	1,636	77,55
Νοέμβριος	73,37	2,111	64,19
Δεκέμβριος	69,12	2,415	58,83

Πίνακας 2.7. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 40°

- Υπολογισμός ανακλώμενης¹ ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	ρ	$H_{\text{Reflected}}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	0,7	4,253
Φεβρουάριος	0,7	4,990
Μάρτιος	0,2	2,337
Απρίλιος	0,2	2,757
Μάιος	0,2	3,809
Ιούνιος	0,2	4,066
Ιούλιος	0,2	4,510
Αύγουστος	0,2	4,113
Σεπτέμβριος	0,2	2,944
Οκτώβριος	0,2	2,080
Νοέμβριος	0,2	1,378
Δεκέμβριος	0,7	4,008

Πίνακας 2.8. Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 40°

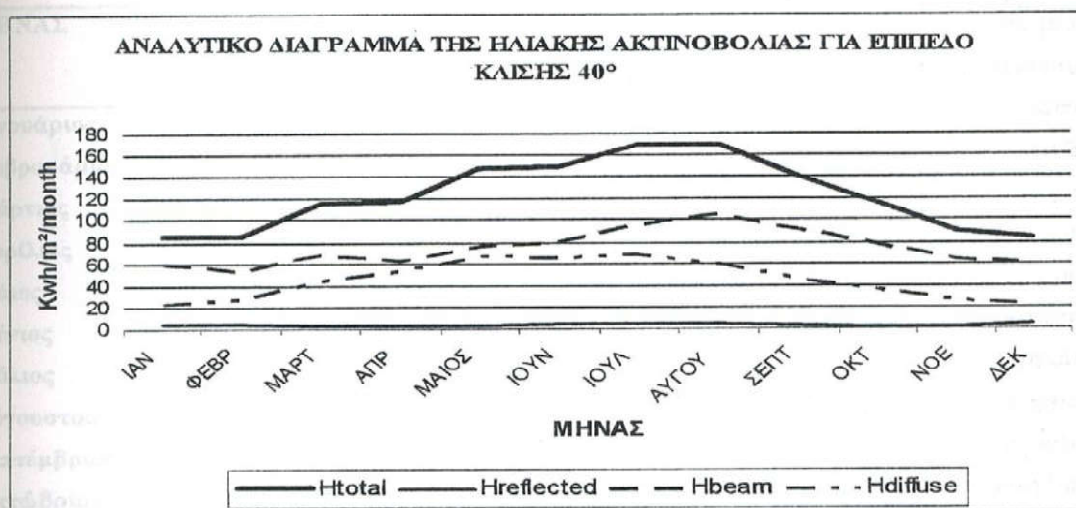
- Υπολογισμός ολικής ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	H_{Total} (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	84,33
Φεβρουάριος	84,40
Μάρτιος	115,4
Απρίλιος	117,2
Μάιος	147,2
Ιούνιος	149,7
Ιούλιος	169,0
Αύγουστος	169,8
Σεπτέμβριος	140,0
Οκτώβριος	116,3
Νοέμβριος	90,83
Δεκέμβριος	84,60

Πίνακας 2.9. Ολική ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 40°

¹ Τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους είναι 0,7 λόγω της μεγάλης χιονόπτωσης.

Στο σχήμα 2.18 που ακολουθεί δίνεται η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 2.18. Αναλυτικό διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο κλίσης 40°

2.7.5 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο για βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα

Για διάφορες περιοχές της χώρας μας, έχουν δημιουργηθεί πίνακες που μας δίνουν την βέλτιστη γωνία (°) κλίσης επιφάνειας, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, για κάθε μήνα και όλο το έτος (B. Μάλαμης). Από την επεξεργασία των εξισώσεων 2.12 έως 2.19 προκύπτει ότι η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια με κλίση, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και την χρονική περίοδο, και μπορούμε να υπολογίσουμε την βέλτιστη γωνία κλίσης ώστε η ακτινοβολία να είναι η μέγιστη. Για την περιοχή της Κόνιτσας στον πίνακα 2.10 παρουσιάζονται οι βέλτιστες γωνίες κλίσης επιφάνειας για κάθε μήνα :

ΜΗΝΑΣ	Βέλτιστη γωνία S(°) κλίσης επιφάνειας
Ιανουάριος	69
Φεβρουάριος	60
Μάρτιος	47
Απρίλιος	27
Μάιος	9
Ιούνιος	0
Ιούλιος	2
Αύγουστος	21
Σεπτέμβριος	41
Οκτώβριος	57
Νοέμβριος	67
Δεκέμβριος	71

Πίνακας 2.10. Βέλτιστη γωνία κλίσης επιφάνειας για κάθε μήνα

Η ποιοτική σημασία των βέλτιστων γωνιών κλίσης επιφάνειας για κάθε μήνα είναι η εξής: τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της μεγάλης γωνίας ύψους του ηλίου, θα πρέπει η νότια προσανατολισμένη επιφάνεια μας να έχει μικρή γωνία κλίσης ώστε να δέχεται τη μεγαλύτερη ηλιακή πρόσοδο. Αντίθετα, τον χειμώνα ο ήλιος ακολουθεί χαμηλότερη τροχιά και κατά συνέπεια η επιφάνεια μας θα πρέπει να έχει μεγάλη κλίση.

Η γωνία S είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα ηλιακά συστήματα διότι η συλλεκτική τους επιφάνεια τοποθετείται μ' αυτήν την κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο για να δέχονται το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς να έχουν τη μέγιστη απόδοση.

Στους πίνακες 2.11, 2.12, 2.13 και 2.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών της διάχυτης, της άμεσης, της ανακλώμενης και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα για βέλτιστη γωνία κλίσης επιφάνειας κάθε μήνα.

▪ Υπολογισμός διάχυτης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	S(°)	H_d/H	H_d (kWh/m ² /month)	$H_{Difusse}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	69	0,52	27,09	18,40
Φεβρουάριος	60	0,53	32,87	24,66
Μάρτιος	47	0,50	50,26	42,28
Απρίλιος	27	0,51	61,21	57,87
Μάιος	9	0,44	72,83	72,38
Ιούνιος	0	0,42	73,83	73,83
Ιούλιος	2	0,37	72,77	72,75
Αύγουστος	21	0,37	65,12	62,96
Σεπτέμβριος	41	0,42	53,15	46,63
Οκτώβριος	57	0,46	41,59	32,13
Νοέμβριος	67	0,48	28,59	19,89
Δεκέμβριος	71	0,50	24,64	16,34

Πίνακας 2.11. Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία για βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα

▪ Υπολογισμός άμεσης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	$\omega_{s,min}$ (°)	R_b	H_{Beam} (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	71,27	2,52	62,79
Φεβρουάριος	78,82	1,88	52,92
Μάρτιος	87,90	1,38	68,79
Απρίλιος	92,13	1,09	62,45
Μάιος	100,6	1,00	90,91
Ιούνιος	107,8	0,99	100,0
Ιούλιος	105,2	1,00	120,2
Αύγουστος	94,58	1,04	115,9
Σεπτέμβριος	89,95	1,23	90,07
Οκτώβριος	81,93	1,67	79,63
Νοέμβριος	73,37	2,31	70,48
Δεκέμβριος	69,12	2,75	67,04

Πίνακας 2.12. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία για βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα

- Υπολογισμός ανακλώμενης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	ρ	$H_{\text{Reflected}}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	0,7	11,66
Φεβρουάριος	0,7	10,66
Μάρτιος	0,2	3,176
Απρίλιος	0,2	1,284
Μάιος	0,2	0,2
Ιούνιος	0,2	0
Ιούλιος	0,2	0,01
Αύγουστος	0,2	1,167
Σεπτέμβριος	0,2	3,087
Οκτώβριος	0,2	4,048
Νοέμβριος	0,2	3,591
Δεκέμβριος	0,7	11,55

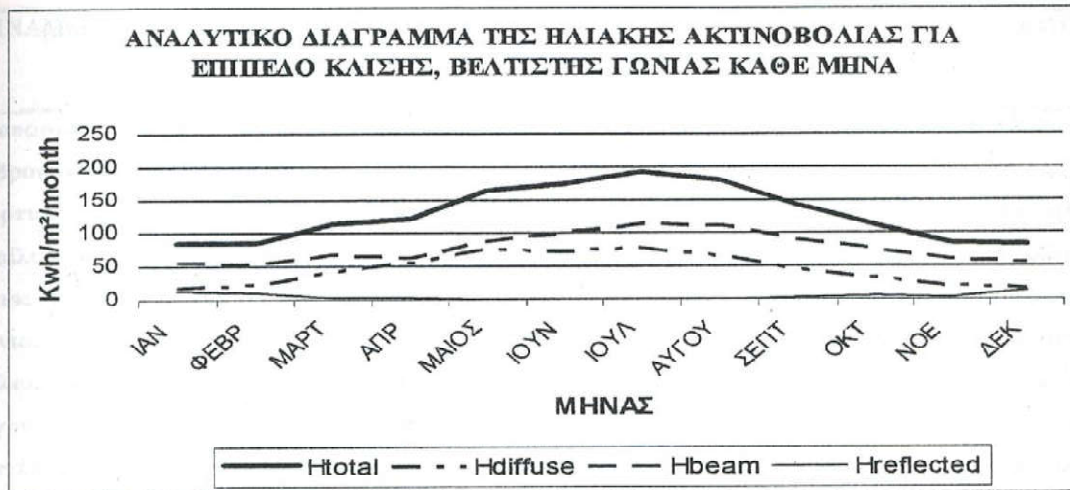
Πίνακας 2.13. Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία για βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα

- Υπολογισμός ολικής ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	H_{Total} (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	92,86
Φεβρουάριος	88,25
Μάρτιος	114,2
Απρίλιος	121,6
Μάιος	163,5
Ιούνιος	173,9
Ιούλιος	193,0
Αύγουστος	180,0
Σεπτέμβριος	139,8
Οκτώβριος	115,8
Νοέμβριος	93,96
Δεκέμβριος	94,94

Πίνακας 2.14. Ολική ηλιακή ακτινοβολία για βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα

Στο σχήμα 2.19 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών



Σχήμα 2.19. Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία για επίπεδο με βέλτιστη γωνία κλίσης

2.7.6 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο για γωνία κλίσης 30°.

Στους πίνακες 2.15, 2.16, 2.17 και 2.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών της διάχυτης, της άμεσης, της ανακλώμενης και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα για επίπεδο κλίσης 30°.

- Υπολογισμός διάχυτης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	H_d/H	H_d (kWh/m ² /month)	$H_{Difusse}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	0,52	27,09	25,28
Φεβρουάριος	0,53	32,87	30,67
Μάρτιος	0,50	50,26	46,90
Απρίλιος	0,51	61,21	57,11
Μάιος	0,44	72,83	67,95
Ιούνιος	0,42	73,83	68,89
Ιούλιος	0,37	72,77	67,90
Αύγουστος	0,37	65,12	60,76
Σεπτέμβριος	0,42	53,15	49,59
Οκτώβριος	0,46	41,59	38,81
Νοέμβριος	0,48	28,59	26,68
Δεκέμβριος	0,50	24,64	22,99

Πίνακας 2.15. Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 30°

- Υπολογισμός άμεσης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	$\omega_{s,min}$ (°)	R_b	H_{Beam} (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	71,27	2,02	50,40
Φεβρουάριος	78,82	1,66	46,78
Μάρτιος	87,90	1,34	66,91
Απρίλιος	91,64	1,09	62,26
Μάιος	93,39	0,94	85,36
Ιούνιος	94,26	0,88	88,77
Ιούλιος	93,88	0,91	109,5
Αύγουστος	92,40	1,02	113,7
Σεπτέμβριος	90,40	1,23	89,82
Οκτώβριος	81,93	1,54	73,12
Νοέμβριος	73,37	1,91	58,14
Δεκέμβριος	69,12	2,14	52,34

Πίνακας 2.16. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 30°

- Υπολογισμός ανακλώμενης ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	ρ	$H_{Re\ flected}$ (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	0,7	2,43
Φεβρουάριος	0,7	2,85
Μάρτιος	0,2	1,33
Απρίλιος	0,2	1,57
Μάιος	0,2	2,18
Ιούνιος	0,2	2,32
Ιούλιος	0,2	2,58
Αύγουστος	0,2	2,35
Σεπτέμβριος	0,2	1,68
Οκτώβριος	0,2	1,19
Νοέμβριος	0,2	0,78
Δεκέμβριος	0,7	2,29

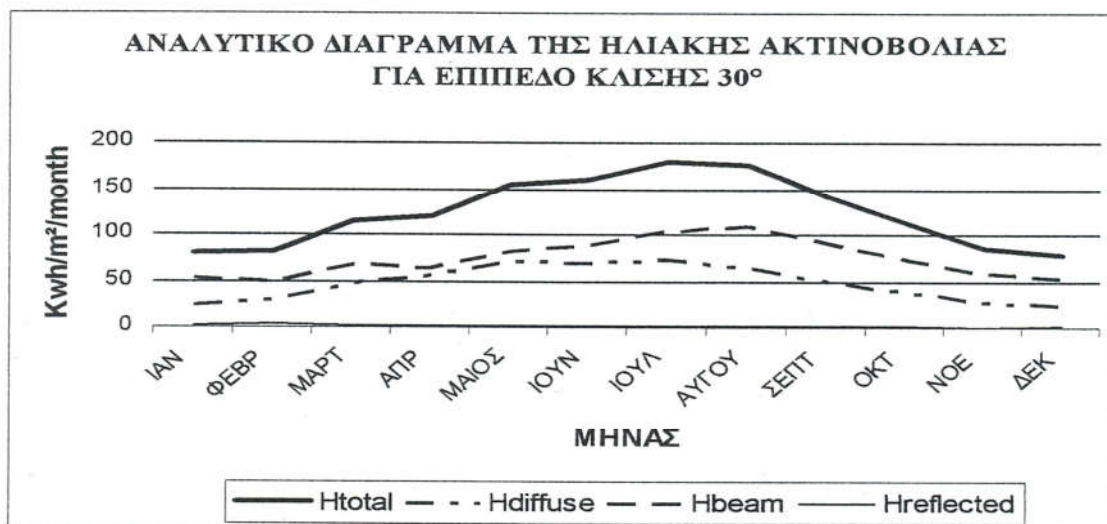
Πίνακας 2.17. Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 30°

- Υπολογισμός ολικής ακτινοβολίας

ΜΗΝΑΣ	H_{Total} (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	78,12
Φεβρουάριος	80,31
Μάρτιος	115,1
Απρίλιος	120,9
Μάιος	155,5
Ιούνιος	159,9
Ιούλιος	180,0
Αύγουστος	176,8
Σεπτέμβριος	141,1
Οκτώβριος	113,1
Νοέμβριος	85,62
Δεκέμβριος	77,63

Πίνακας 2.18. Ολική ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης 30°

Στο σχήμα 2.20 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών



Σχήμα 2.20. Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο κλίσης 30°

2.7.7. Επιλογή της γωνίας κλίσης

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήγουμε στον πίνακα 2.19 :

ΜΗΝΑΣ	Htotal(40°) (kWh/m ² /month)	Htotal(Βέλτιστη γωνία) (kWh/m ² /month)	Htotal(30°) (kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	84,33	92,86	78,12
Φεβρουάριος	84,40	88,25	80,31
Μάρτιος	115,4	114,2	115,1
Απρίλιος	117,2	121,6	120,9
Μάιος	147,2	163,5	155,5
Ιούνιος	149,7	173,9	159,9
Ιούλιος	169,0	193,0	180,0
Αύγουστος	169,8	180,0	176,8
Σεπτέμβριος	140,0	139,8	141,1
Οκτώβριος	116,3	115,8	113,1
Νοέμβριος	90,83	93,96	85,62
Δεκέμβριος	84,60	94,94	77,63
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	1469,1	1572	1484,4
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑ ΜΗΝΑ %	6,5	-	5,5

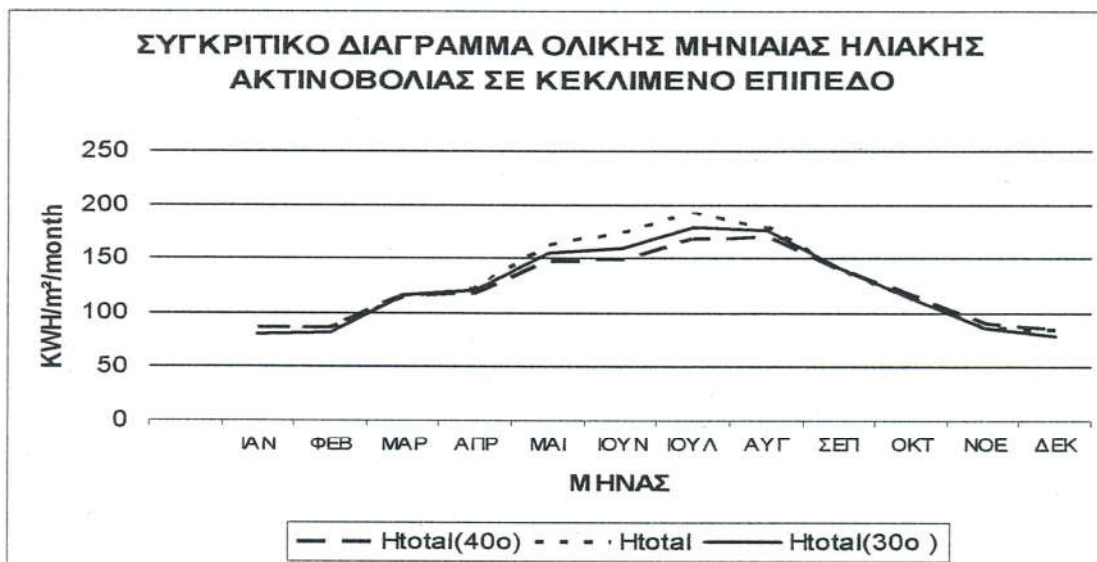
Πίνακας 2.19. Σύγκριση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

Τα αποτελέσματα με μια πρώτη ματιά φαίνονται σχεδόν όμοια, όμως με το συγκριτικό διάγραμμα 2.21 που ακολουθεί παρατηρούνται σημαντικές διαφορές. Αναλύοντας τα αποτελέσματα, αρχικά καταλήγουμε στα εξής :

- Για μεταβλητή γωνία κλίσης για κάθε μήνα, παίρνουμε τα καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την ποσότητα (KWH/m² /month) της μηνιαίας ηλιακής ενέργειας για ένα έτος.
- Για σταθερή γωνία κλίσης και συγκεκριμένα για $S = 40^\circ$ τους μήνες Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο παρουσιάζονται οι χαμηλότερες τιμές της ηλιακής ενέργειας. Το ετήσιο

ποσοστό απώλειας ηλιακής ενέργειας ως προς την μεταβλητή γωνία κλίσης για κάθε μήνα, είναι 6,5%.

- Για σταθερή γωνία κλίσης $S = 30^\circ$ έχουμε μια ενδιάμεση κατάσταση. Για την χρονική περίοδο ενός έτους, η παραπάνω γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων παρουσιάζει πολύ καλύτερη συμπεριφορά, όσον αφορά την συλλογή της ηλιακής ενέργειας, από την γωνία κλίσης των 40° . Τέλος στη διάρκεια των μηνών Απρίλιο έως Αύγουστο η συμπεριφορά των Φ/Β πλαισίων, για γωνία κλίσης $S = 30^\circ$, είναι χειρότερη από αυτή που έχουν, για μεταβαλλόμενη γωνία κλίσης για κάθε μήνα. Το ετήσιο ποσοστό απώλειας της ηλιακής ενέργειας ως προς την μεταβλητή γωνία κλίσης για κάθε μήνα, είναι 5,5%.
- Και στις τρεις περιπτώσεις το προφίλ του διαγράμματος της ολικής μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας είναι ακριβώς το ίδιο. Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τον μήνα Ιούλιο και οι ελάχιστες τους μήνες Ιανουάριο ή Δεκέμβριο.



Σχήμα 2.21. Συγκριτικό διάγραμμα

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι για να έχουμε την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση των Φ/Β πλαισίων θα πρέπει να επιλέξουμε ως γωνία κλίσης την μεταβλητή γωνία κλίσης για κάθε μήνα. Παρόλο αυτά όμως η παραπάνω επιλογή δεν θα ήταν η πλέον κατάλληλη για τους εξής λόγους :

- Είναι πρακτικά δύσκολη και επίπονη η μεταβολή της γωνίας κλίσης των Φ/Β πλαισίων κάθε μήνα από τους χρήστες της κατοικίας. Οι χρήστες της κατοικίας θα αρκεστούν σε

μα τυχαία γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων (πιθανότατα σε εκείνη την γωνία του μήνα π.χ Ιανουάριος $S = 69^\circ$, επειδή εκείνο τον μήνα θα γίνει η τοποθέτηση του Φ/Β συστήματος) για να αποφύγουν την ταλαιπωρία. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, η συλλεγόμενη μηνιαία ηλιακή ενέργεια να μην είναι η αναμενόμενη.

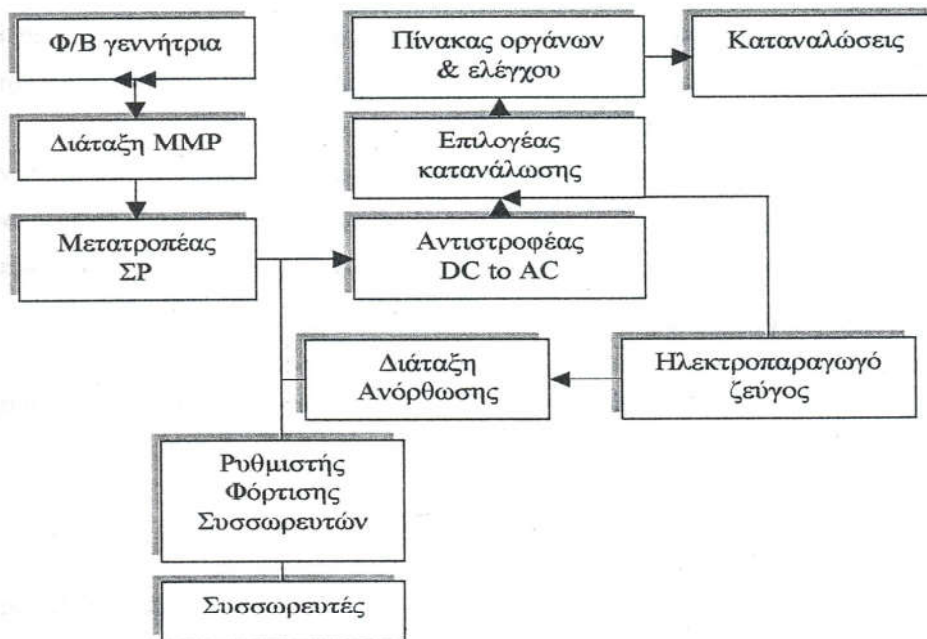
- Επιλέγοντας γωνίες κλίσης μικρότερες των 30° υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί στρώμα σκόνης ή και χιονιού στις συλλεκτικές επιφάνειες με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης.
- Όπως αναφέραμε όμως και στην αρχή θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη την παραδοσιακή αρχιτεκτονική αισθητική. Σκοπός της εργασίας είναι η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων στην κεκλιμένη στέγη ($\varphi = 30^\circ$) χωρίς αυτά να γίνονται άμεσα αντιληπτά και να προσβάλουν την παραδοσιακή αρχιτεκτονική της κατοικίας.

Λαμβάνοντας λοιπόν σοβαρά υπόψη την παραπάνω ανάλυση καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η κλίση των Φ/Β πλαισίων θα είναι : $S = 30^\circ$

2.8 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για την σχεδίαση ηλιακού ενεργειακού συστήματος για την παραγωγή ενέργειας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος, η αυτοδυναμία του συστήματος, ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης, οι ενεργειακές απαιτήσεις και η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω είναι απαραίτητοι ορισμένοι υπολογισμοί προκειμένου να βρεθεί τελικά ο απαιτούμενός αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα εγκατασταθούν. Οι ενεργειακές απαιτήσεις θα καθορίσουν την ενέργεια που θα πρέπει να καλυφθεί από το σύστημα, ενώ ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος και η αυτοδυναμία του θα καθορίσουν τις ανάγκες του σε αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

2.8.1 Δομή του συστήματος για φ/β παραγωγή ενέργειας



Σχήμα 2.22. Τυπική διάταξη συστήματος μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική χρειάζονται και επιπλέον συσκευές εκτός των Φ/Β πλαισίων. Όλα μαζί αποτελούν ένα ενιαίο λειτουργικό σύστημα, η χαρακτηριστική διάταξη του οποίου φαίνεται στο σχήμα 2.22. Τα επιμέρους στοιχεία περιγράφονται παρακάτω :

- i. **Διάταξη ΜΡΡ.** Είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα που ρυθμίζει τα Φ/Β στοιχεία ώστε να εργάζονται στο μέγιστο σημείο της απόδοσής τους. (βλέπε 2.5.1 σχήμα 2.14). Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις.
- ii. **Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος (converter DC to DC).** Είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τα χαρακτηριστικά της συνεχούς τάσης των Φ/Β ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του υπόλοιπου κυκλώματος. Επίσης διατηρεί σταθερή την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

- iii. **Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών.** Είναι ένας ηλεκτρονικός αυτοματισμός για τη ομαλή φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών Προστατεύει τους συσσωρευτές από υπερφόρτιση ή βαθιά εκφόρτιση.
- iv. **Διάταξη ανόρθωσης.** Είναι μια διάταξη η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα που προέρχεται από εξωτερική πηγή (δίκτυο της πόλης ή από ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος) σε συνεχές κατάλληλο για την φόρτιση των συσσωρευτών.
- v. **Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.** Είναι ένας συνδυασμός ενός κινητήρα diesel και μιας ηλεκτρογεννήτριας προκειμένου να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα όταν για οποιοδήποτε λόγο διακοπεί η παροχή ρεύματος από το φωτοβολταϊκό κύκλωμα.
- vi. **Αντιστροφέας συνεχούς – εναλλασσόμενου ρεύματος(Inverter DC to AC).** Είναι μια ηλεκτρονική διάταξη που μετατρέπει τη συνεχή τάση των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενη, συνήθως μονοφασικό 220Volt/50Hz, με κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να λειτουργούν οι συσκευές εμπορίου αλλά και να μειώνονται οι απώλειες που προκύπτουν από την μεταφορά συνεχούς ρεύματος σε σχέση με την μεταφορά του εναλλασσόμενου.
- vii. **Επιλογέας κατανάλωσης.** Φροντίζει για την ιεράρχηση των καταναλώσεων ώστε να παίρνουν προτεραιότητα οι κατάλληλες συσκευές και να θέτονται εκτός δικτύου οι υπόλοιπες όταν δεν επαρκεί το παραγόμενο ρεύμα.
- viii. **Πίνακας οργάνων και ελέγχου.** Ηλεκτρικές ασφάλειες, διακόπτες, βολτόμετρα, αμπερόμετρα, μετρητές κατανάλωσης και όλα τα απαραίτητα όργανα μετρήσεων και ελέγχου που είναι απαραίτητα για τη παρακολούθηση και την σωστή λειτουργία του συστήματος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση μας δεν θα χρησιμοποιήσουμε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, αφού το σύστημα μας θα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί επιπλέον ότι οι παραπάνω συσκευές έχουν και αξιόλογες απώλειες, όταν δεν λειτουργούν κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, οι οποίες και περιορίζουν τον βαθμό απόδοσης του όλου συστήματος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο βαθμός απόδοσης του επιπλέον εξοπλισμού, εκτός των Φ/Β πλαισίων, είναι της τάξης του 60%.

2.8.2 Βαθμός απόδοσης ενεργειακού συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο το ενεργειακό ηλιακό σύστημα εκτός των Φ/Β πλαισίων, περιέχει και ένα πλήθος άλλων συσκευών, οι οποίες επηρεάζουν τον συνολικό βαθμό απόδοσης.

Αν n_1, n_2, \dots, n_n είναι οι επιμέρους βαθμοί απόδοσης των διάφορων συσκευών, τότε ο συνολικός τους βαθμός απόδοσης θα είναι :

$$n_{o,total} = n_1 * n_2 * \dots * n_n \quad (2.22)$$

Συσκευή / διάταξη	Βαθμός απόδοσης
Διάταξη MPP	0,9
Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος	0,9
Συσσωρευτές	0,85
Αντιστροφέας συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος	0,92
Επιλογέας κατανάλωσης	0,98
Διάφορες καλωδιώσεις	0,97

Πίνακας 2.20. Ενδεικτικές τιμές του βαθμού απόδοσης διάφορων συσκευών

Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν τα στοιχεία του πίνακα 2.20 καταλήγουμε ότι :

$$n_{o,total} = 0.9 * 0.9 * 0.85 * 0.92 * 0.98 * 0.97 \Rightarrow n_{o,total} = \mathbf{0.6}$$

Παρατηρούμε λοιπόν πόσο καθοριστικό ρόλο παίζει στο τελικό αποτέλεσμα ο επιμέρους εξοπλισμός του ηλιακού μας συστήματος.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του ενεργειακού ηλιακού συστήματος φαίνεται στον πίνακα 2.21 :

$$n_{s,total} = n_{o,total} * n \quad (2.23)$$

ΜΗΝΑΣ	$n_{o,total}$	n	$n_{s,total}$
Ιανουάριος	0.6	0,045	0,027
Φεβρουάριος	0.6	0,045	0,027
Μάρτιος	0.6	0,045	0,027
Απρίλιος	0.6	0,046	0,028
Μάιος	0.6	0,047	0,028
Ιούνιος	0.6	0,054	0,032
Ιούλιος	0.6	0,055	0,033
Αύγουστος	0.6	0,055	0,033
Σεπτέμβριος	0.6	0,054	0,032
Οκτώβριος	0.6	0,047	0,028
Νοέμβριος	0.6	0,046	0,027
Δεκέμβριος	0.6	0,045	0,027

Πίνακας 2.21. Συνολικός βαθμός απόδοσης του ηλιακού συστήματος

n : Βαθμός απόδοσης των Φ/Β πλαισίων. (Παράγραφος 2.5.2, πίνακας 2.2)

2.8.3 Καθορισμός αυτοδυναμίας του ενεργειακού συστήματος

Η αυτοδυναμία του συστήματος έχει την έννοια της κάλυψης ενεργειακής ζήτησης ακόμα και σε περίοδο κατά την οποία οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β. Η αυτοδυναμία εκφράζεται σε διαστάσεις χρόνου και η επιλογή που θα γίνει για την τιμή της επηρεάζει κυρίως το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνηθισμένος τρόπος ορισμού της απαιτούμενης αυτοδυναμίας του συστήματος είναι (B.Μάλαμης):

$$S_p = (5/17)*[(N_s * d_{om} - N_{sc}) / N_s] + (12/17) \quad (2.24)$$

N_s : Είναι οι ώρες ηλιοφάνειας για τελείως ανέφελο ουρανό την τυπική ημέρα του μήνα.

Δίνονται από τη σχέση:

$$N_s = 2 * \omega_s / 15 \quad (2.25)$$

d_{om} : Είναι οι ημέρες του μήνα

N_{so} : Είναι ο πραγματικός αριθμός ωρών ηλιοφάνειας του μήνα. (Δίνεται από τον πίνακα 2.4 παράγραφος 2.7.1).

Στον πίνακα 2.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ωριαίας γωνίας δύσης & των μεγίστων ωρών ηλιοφάνειας.

ΜΗΝΑΣ	Τυπική ημέρα μήνα	ω_s (°)	N_s (ώρες)
Ιανουάριος	17	71,27	9,50
Φεβρουάριος	16	78,82	10,5
Μάρτιος	16	87,90	11,7
Απρίλιος	15	97,92	13
Μάιος	15	106,5	14,2
Ιούνιος	11	110,9	14,7
Ιούλιος	17	109	14,5
Αύγουστος	16	101,6	13,5
Σεπτέμβριος	15	91,95	12,2
Οκτώβριος	15	81,93	10,9
Νοέμβριος	14	73,37	9,78
Δεκέμβριος	10	69,12	9,21

Πίνακας 2.22. Υπολογισμός ωριαίας γωνίας δύσης & μεγίστων ωρών ηλιοφάνειας

ω_s : Ωριαία γωνία δύσης του ηλίου σε οριζόντιο επίπεδο. (Σχέση 2.11, παράγραφος 2.6)

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω καταλήγουμε στις ημέρες αυτοδυναμίας όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 2.23 για κάθε μήνα :

ΜΗΝΑΣ	S_p
Ιανουάριος	6,20
Φεβρουάριος	6,00
Μάρτιος	5,78
Απρίλιος	5,85
Μάιος	4,81
Ιούνιος	4,29
Ιούλιος	3,50
Αύγουστος	3,33
Σεπτέμβριος	4,25
Οκτώβριος	5,16
Νοέμβριος	5,44
Δεκέμβριος	5,89

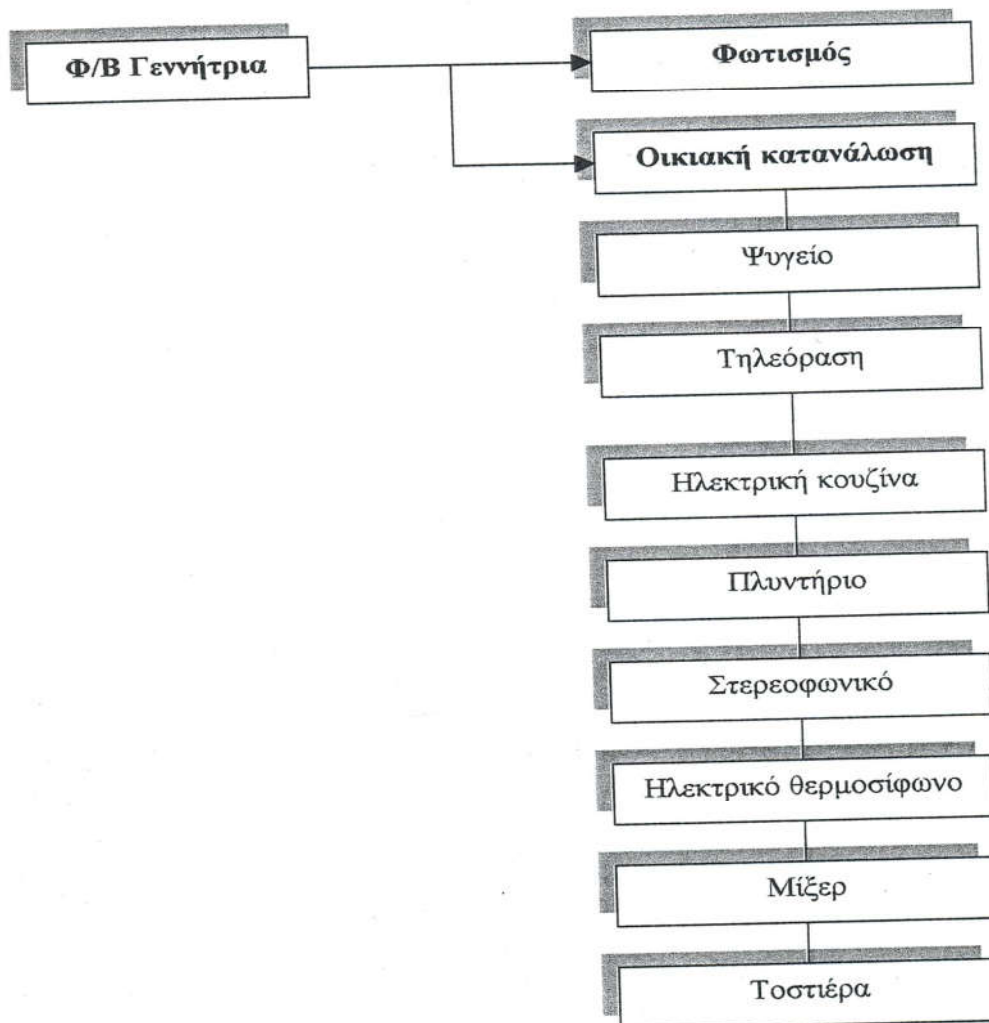
Επιλέγουμε λοιπόν $S_{p,max} = 6$ **ημέρες**, ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις όλων των μηνών.

Πίνακας 2.23. Ημέρες αυτοδυναμίας του συστήματος

2.8.4 Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών κύριας κατοικίας

Η εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης-ενεργειακές απαιτήσεις αποτελεί μια καθοριστική παράμετρο για την σχεδίαση του ηλιακού μας συστήματος αλλά και για την σωστή λειτουργία του. Λάθος εκτίμηση των παραπάνω ενεργειακών αναγκών μπορεί να μας οδηγήσουν σε αστοχία του συστήματος.

Ο πιθανός καταμερισμός των ενεργειακών απαιτήσεων μας φαίνεται στο σχήμα 2.23 :



Σχήμα 2.23. Καταμερισμός των ενεργειακών απαιτήσεων.

Το επόμενο στάδιο που θα πρέπει να καθορίσουμε είναι η ισχύς και ο χρόνος λειτουργίας των παραπάνω ηλεκτρικών συσκευών ώστε εντέλει να υπολογίσουμε την καταναλισκόμενη ενέργεια. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 2.24 που ακολουθεί.

a/a	Συσκευή	Ισχύς ¹ (KW)	Χρόνος λειτουργίας (ώρες /μήνα)	Καταναλισκόμενη ενέργεια (kWh/μήνα)
1	Ψυγείο	0,3	180	54
2	Τηλεόραση	0,06	150	9
3	Κουζίνα	2,5	60	150
4	Πλυντήριο	3	8	24
5	Στερεοφωνικό	0,1	40	4
6	Θερμοσίφωνο	4	12	48
7	Φωτισμός*	0,5	248	124
8	Μίξερ	0,15	6	0,9
9	Τοστιέρα	0,8	4	3,2
	Συνολικά	11,41	-	417,1

Πίνακας 2.24. Υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων

Παρατήρηση : Θεωρούμε ότι ο χρόνος λειτουργίας για τον φωτισμό μεταβάλλεται από μήνα σε μήνα, γι' αυτό και την καταναλισκόμενη ενέργεια θα την υπολογίσουμε αρχικά για κάθε μήνα ξεχωριστά. Επίσης για τον υπολογισμό της πιθανής ισχύος² του φωτισμού θεωρούμε ότι οι ανάγκες μας είναι 10w/m^2 επιφάνειας της κατοικίας με ελάχιστο τα 500W. Τέλος θεωρούμε ότι οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούμε είναι χαμηλής καταναλώσεως, και όχι λαμπτήρες πυρακτώσεως. Ο χρόνος λειτουργίας των υπόλοιπων ηλεκτρικών συσκευών θεωρούμε ότι παραμένει σταθερός.

Ο χρόνος λειτουργίας για τον φωτισμό φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 2.25 :

¹ Πηγή : Σ. Αντωνόπουλου, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις για κατοικίες, εκδόσεις ΙΩΝ.

² Πιθανή ισχύς : Είναι η ισχύς που παίρνουμε υπόψη μας προληπτικά , όταν δεν είναι γνωστή η πραγματική ισχύς.

ΜΗΝΑΣ	χρόνος λειτουργίας (ώρες /μήνα)
Ιανουάριος	248
Φεβρουάριος	248
Μάρτιος	224
Απρίλιος	210
Μάιος	186
Ιούνιος	180
Ιούλιος	155
Αύγουστος	155
Σεπτέμβριος	160
Οκτώβριος	200
Νοέμβριος	210
Δεκέμβριος	248

Πίνακας 2.25. Χρόνος λειτουργίας του φωτισμού

Καταλήγουμε λοιπόν ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια για κάθε μήνα είναι αυτή του πίνακα 2.26

ΜΗΝΑΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh/ΜΗΝΑ)
Ιανουάριος	417,1
Φεβρουάριος	417,1
Μάρτιος	405,1
Απρίλιος	398,1
Μάιος	386,1
Ιούνιος	383,1
Ιούλιος	370,6
Αύγουστος	370,6
Σεπτέμβριος	373,1
Οκτώβριος	393,1
Νοέμβριος	398,1
Δεκέμβριος	417,1
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	4729,2

Πίνακας 2.26. Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Στο σημείο αυτό έχουμε υπολογίσει τις ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας μας για κάθε μήνα του έτους και συνολικά για ένα τυπικό έτος.

2.8.5 Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών για περίπτωση εξοχικής κατοικίας¹

Στην περίπτωση που το κτίριο μας το θεωρήσουμε ως εξοχική κατοικία, δηλαδή να λειτουργεί μόνο τις ημέρες από Παρασκευή έως Κυριακή οι ενεργειακές ανάγκες θα μειωθούν αρκετά. Στον πίνακα 2.27 που ακολουθεί φαίνονται οι ενεργειακές ανάγκες της εξοχικής κατοικίας.

ΜΗΝΑΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh/ΜΗΝΑ)
Ιανουάριος	204,555
Φεβρουάριος	203,555
Μάρτιος	199,555
Απρίλιος	198,055
Μάιος	191,555
Ιούνιος	191,555
Ιούλιος	185,055
Αύγουστος	185,055
Σεπτέμβριος	187,555
Οκτώβριος	194,555
Νοέμβριος	198,055
Δεκέμβριος	204,555
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	2343,66

Πίνακας 2.27. Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (εξοχική κατοικία)

2.8.6 Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας φ/β πλαισίων κύριας κατοικίας²

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας και του αριθμού των Φ/Β πλαισίων καταφεύγουμε στον πίνακα 2.28

¹ Η ανάλυση της εξοχικής κατοικίας θα γίνει στο τέταρτο κεφάλαιο

² Ως κύρια κατοικία θεωρείται η συνεχής λειτουργία του κτιρίου όλο το χρόνο

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Μήνας	$S(\circ)$	H_r (kWh/m ² /mo)	T_a (°C)	σ_{θ}	σ_{θ_p}	Q_{ϕ} (kWh)	$n_{s,total}$	$3*8*5*6$ (kWh/m ² /mo)	$7/9$ (m ²)	S_p (days)	$7*11/30$ (kWh)
Ιαν.											
Φεβ.											
Μαρ.											
Απρ.											
Μάιος											
Ιουν.											
Ιουλ.											
Αυγ.											
Σεπ.											
Οκτ.											
Νοε.											
Δεκ.											

Πίνακας 2.28. Έντυπο μελέτης Φ/Β πλαισίων

Όπου :

- Στήλη 1. Αναγράφονται οι μήνες λειτουργίας του Φ/Β σταθμού.
- Στήλη 2. Αναγράφεται η γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων για κάθε μήνα.
- Στήλη 3. Αναγράφεται η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο κλίσης S μοιρών. (kWh/m²/month)
- Στήλη 4. Αναγράφεται η μέση θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. (° C)
- Στήλη 5. Αναγράφεται ο αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με την θερμοκρασία λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου. (παράγραφος 2.5.2)
- Στήλη 6. Αναγράφεται ο αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με την ρύπανση του περιβάλλοντος. (παράγραφος 2.5.2)
- Στήλη 7. Αναγράφονται οι συνολικές μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες.
- Στήλη 8. Αναγράφεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης του ενεργειακού μας συστήματος.
- Στήλη 9. Αναγράφεται το γινόμενο των στηλών 3, 8,5,6. Ποιοτικά η σημασία αυτού του μεγέθους είναι η εξής: διαιρώντας τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις μας με το παραπάνω γινόμενο, βρίσκουμε την συνολική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων.
- Στήλη 10. Αναγράφεται το πηλίκο των στηλών 7 και 9. Το αποτέλεσμα αυτού του πηλίκου είναι η απαιτούμενη συνολική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων που καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του συγκεκριμένου μήνα.

- Στήλη 11. Αναγράφονται οι ημέρες αυτοδυναμίας για κάθε μήνα. (Βλέπε παράγραφο 2.8.3)
- Στήλη 12. Αναγράφεται το γινόμενο των στηλών 7 και 11 διαιρεμένο με τον αριθμό 30. Το αποτέλεσμα είναι οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες (kWh) που καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές. Εκλέγουμε την μέγιστη τιμή.

Αφού συμπληρώσουμε τον πίνακα ελέγχουμε τα αποτελέσματα της στήλης 10 και εκλέγουμε την μέγιστη τιμή. Αυτή είναι η μέγιστη συνολική επιφάνεια σε m^2 των Φ/Β πλαισίων που απαιτείται για να καλυφθούν οι ενεργειακές μας ανάγκες.

Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων θα υπολογιστεί από τη σχέση που ακολουθεί.

$$N = F / F_{\pi} \quad (2.26)$$

Όπου F είναι η συνολική ενεργός επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων και F_{π} είναι η ενεργός επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.

Ομοίως ο υπολογισμός των συσσωρευτών θα γίνει με βάση την μέγιστη τιμή της στήλης 12. Έχοντας υπολογίσει λοιπόν τα απαιτούμενα δεδομένα του πίνακα 2.27 καταλήγουμε στα παρακάτω αποτελέσματα (πίνακας 2.29) :

1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12
Μήνας	S	H_r	Γ_{α}	σ_{θ}	σ_{ρ}	Q_{ϕ}	3*8*5*8	7/9	S_{ρ}	7*11/30
Ιαν.	30	78,12	7	0,915	1	417,1	1,7	235,6	6	83,42
Φεβ.	30	80,31	8	0,91	1	417,1	1,8	230,4	6	83,42
Μαρ.	30	115,1	10	0,9	1	405,1	2,5	157,8	6	81,02
Απρ.	30	120,9	14	0,88	1	398,1	2,6	151,0	6	79,62
Μάιος	30	155,5	16	0,87	1	386,1	3,3	115,2	5	64,35
Ιουν.	30	159,9	23	0,835	0,9	383,1	2,9	128,6	4	51,08
Ιουλ.	30	180,0	26	0,82	0,9	370,6	3,2	112,5	4	49,41
Αυγ.	30	176,8	26	0,82	0,9	370,6	3,2	114,6	3	37,06
Σεπ.	30	141,1	22	0,84	0,9	373,1	2,6	141,2	4	49,74
Οκτ.	30	113,1	17	0,865	1	393,1	2,4	162,2	5	65,51
Νοε.	30	85,62	13	0,885	1	398,1	1,8	212,1	5	66,35
Δεκ.	30	77,63	8	0,91	1	417,1	1,7	238,4	6	83,42

Πίνακας 2.29. Έντυπο μελέτης Φ/Β πλαισίων

Από την στήλη 10 βλέπουμε ότι η απαιτούμενη επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων πρέπει να είναι $238,4 \text{ m}^2$. Η συνολική όμως διαθέσιμη επιφάνεια της νότιας όψης της στέγης μας είναι 87 m^2 . Επομένως επιλέγουμε $F = 87 \text{ m}^2$. Αυτό βέβαια θα έχει σαν αποτέλεσμα την μη κάλυψη του φορτίου μας.

Αξιοποιώντας όλη την επιφάνεια της νότιας όψης αυξάνεται ο χρόνος της ηλιακής πρόσπτωσης κατά την διάρκεια της ανατολής (πρωινές ώρες) και κατά την διάρκεια της δύσης (απογευματινές ώρες).

Στη παράγραφο 2.5.2 υπολογίσαμε ότι $F_{\pi} = 0.533 \text{ m}^2$

Επομένως από τη σχέση 2.26 υπολογίζουμε $N = 87/0,533 \Rightarrow \mathbf{N = 163 \text{ Φ/Β πλαίσια.}}$

Έχοντας υπολογίσει την συνολική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική μηνιαία ή ετήσια ενέργεια που έχουν την δυνατότητα να συλλέξουν.

Η συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$Q_{\phi} = N * F_{\pi} * H_r * \eta_s * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho} , [\text{kWh}] \quad (2.27)$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον πίνακα 2.30 που ακολουθεί. Στον πίνακα επίσης φαίνονται και οι μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας μας, καθώς και το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών μας.

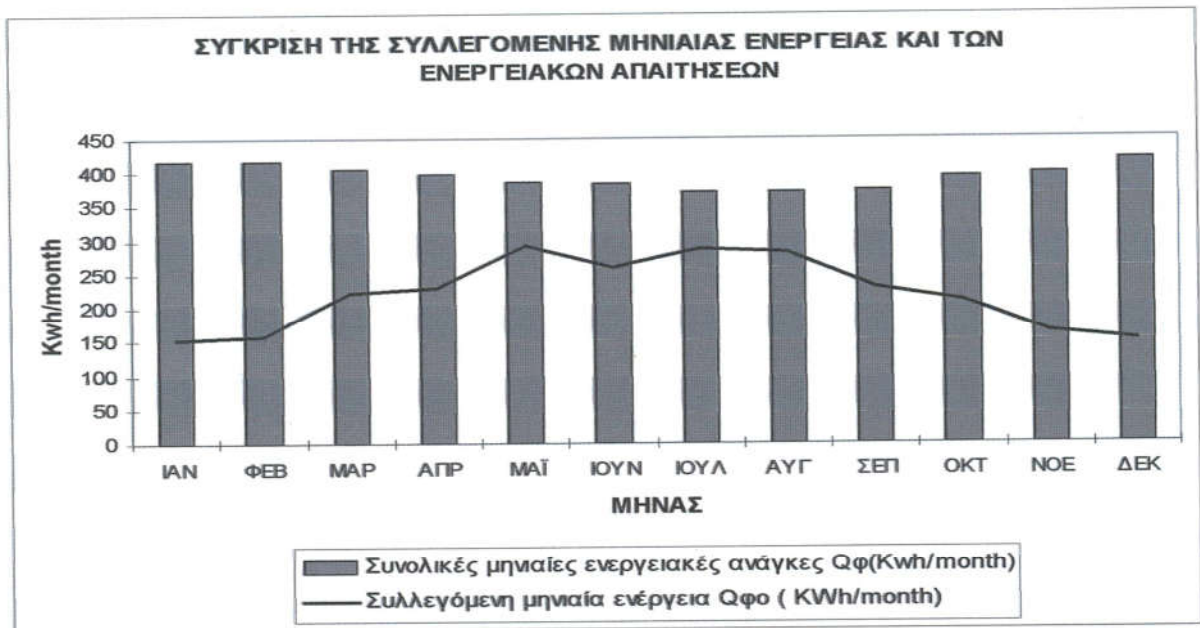
Μήνας	Ενεργειακές ανάγκες (kWh/month)	Συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια (kWh/month)	Ποσοστό κάλυψης (%)
Ιανουάριος	417,1	153,8	36,8
Φεβρουάριος	417,1	157,2	37,7
Μάρτιος	405,1	222,9	55,0
Απρίλιος	398,1	229,0	57,5
Μάιος	386,1	291,0	75,3
Ιούνιος	383,1	258,7	67,5
Ιούλιος	370,6	285,9	77,1
Αύγουστος	370,6	280,8	75,7
Σεπτέμβριος	373,1	229,5	61,5
Οκτώβριος	393,1	210,5	53,5
Νοέμβριος	398,1	163,0	40,9
Δεκέμβριος	417,1	151,9	36,4
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	4729,2	2634,7	56,2

Πίνακας 2.30. Ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών

Αναλύοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 2.30 βλέπουμε ότι οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες μας είναι 4729,2 kWh και η συλλεγόμενη ετήσια ενέργεια είναι 3902.1 kWh. Το ετήσιο ποσοστό κάλυψης¹ σε ηλεκτρική ενέργεια, μόνο από τον ήλιο, φτάνει το 56,2 %.

Παρακάτω δίνεται για κάθε μήνα, το διάγραμμα μεταξύ των ενεργειακών απαιτήσεων (σχήμα 2.24) της συλλεγόμενης ενέργειας και του ποσοστού κάλυψης (σχήμα 2.25).

¹ Πρέπει να αναφέρουμε ότι η απαιτούμενη επιφάνεια των 238m² προκύπτει λόγω του Δεκεμβρίου, ενώ τους άλλους μήνες είναι πολύ μικρότερη. Γι' αυτό το λόγο έχουμε μια ετήσια κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, κατά 56% με το 36% της επιφάνειας των πλασιών.



Σχήμα 2.24. Σύγκριση της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας & των ενεργειακών απαιτήσεων



Σχήμα 2.25. Ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών

2.8.7 Αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ένα Φ/Β σταθμό χρησιμοποιούνται συσσωρευτές που μετά από μία διαδικασία φόρτισης, έχουν την δυνατότητα να καλύψουν τις απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες, σε περιπτώσεις που οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν μας επιτρέπουν την άμεση εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αποθήκευσης ενέργειας σε Φ/Β εγκαταστάσεις είναι οι συσσωρευτές μολύβδου, κυρίως λόγω του μικρού κόστους και ευρείας χρήσης τους (π.χ σε αυτοκίνητο). Αποτελούνται από πλήθος κυψελίδων που είναι εμβαπτισμένες σε ηλεκτρολύτη και συσκευασμένες σε μονωτική θήκη. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η ονομαστική τάση U_n που μπορούν να παρέχουν σε 20 ώρες λειτουργία με ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης.

Ανάλογα με τις κυψελίδες που περιέχει ο συσσωρευτής οι τιμές της ονομαστικής τάσης είναι : 6, 12, 24, 48 Volt. Ελέγχοντας την ονομαστική τάση του συσσωρευτή μπορούμε να συμπεράνουμε εάν αυτός είναι φορτισμένος ή έχει εκφορτιστεί. Οι συσσωρευτές μπορούν να εκμεταλλευτούν συνδεδεμένοι ανάλογα μεταξύ τους ώστε να προκύψει τελικά τάση πολλαπλάσια της ονομαστικής τους. Ορίζεται πάντως και η μέγιστη τάση φόρτισης καθώς και η τάση συντήρησης ως η μέγιστη επιτρεπτή τάση φόρτισης του συσσωρευτή για λόγους ασφαλείας. Επίσης ορίζεται και η απαιτούμενη τάση στην οποία πρέπει να βρίσκεται ο συσσωρευτής ώστε να παραμείνει φορτισμένος. Αντίστοιχα η τελική τάση εκφόρτισης U_f είναι η ελάχιστη τιμή τάσης του συσσωρευτή χωρίς να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του. Αυτή καθορίζει ουσιαστικά και το ποσό της εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από τον συσσωρευτή. Τέλος ορίζονται και ρεύματα φόρτισης και εκφόρτισης ως το ρεύμα με το οποίο συνίσταται η φόρτιση του συσσωρευτή και το ρεύμα κατανάλωσης που εξαντλεί την αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή σε 20 ώρες. Πρακτικά το ρεύμα φόρτισης είναι αριθμητικά ίσο με το 1/10 της χωρητικότητας του συσσωρευτή και το ρεύμα εκφόρτισης το 1/20 της. Η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή καθορίζει και το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει. Συνήθως μετράται σε αμπερώρια (Ah) και υπολογίζεται ως το γινόμενο του ρεύματος με το οποίο θα τροφοδοτήσει μια κατανάλωση επί τις ώρες λειτουργίας του μέχρι να εκφορτιστεί πλήρως. Π.χ ένας συσσωρευτής 120Ah θα

δίνει ρεύμα 12Α για 10 ώρες μέχρι να εξαντληθεί. Τελικά η εκμεταλλεύσιμη ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον συσσωρευτή δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$E_{\sigma} = Q * V_{\sigma} * \beta * n_{\sigma} \quad (2.28)$$

E_{σ} : Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον συσσωρευτή και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες κατά τις ημέρες της αυτοδυναμίας.

Q : Η χωρητικότητα του συσσωρευτή. [Ah]

V_{σ} : Η ονομαστική τάση του συσσωρευτή. [volt]

β : Αδιάστατος συντελεστής που δηλώνει το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή. Οι τιμές του είναι μεταξύ του 0,1-0,8.

n_{σ} : Ο συντελεστής απόδοσης του συσσωρευτή. Κυμαίνεται μεταξύ του 0,8-0,9.

Επομένως η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή που καλείται να καλύψει ενεργειακές ανάγκες $E_{\sigma} = 83,42 \text{ KWh}$, για διάστημα $S_p = 6$ ημερών, με ονομαστική τάση 24 Volt (θα χρησιμοποιήσουμε 5 συσσωρευτές) και συντελεστή απόδοσης 0,85, θα είναι : $Q = 1022,3 \text{ Ah}$

Η μέση ισχύς που καλείται να παράσχει ο συσσωρευτής για να καλύψει τις απαιτήσεις φορτίου S_p ημερών συνδέεται με την χωρητικότητά του σύμφωνα με την σχέση που ακολουθεί :

$$P_{\phi} = (Q * n_{\sigma} * V_{\sigma}) / (24 * S_p) \quad (2.29)$$

P_{ϕ} : Η μέση ισχύς του φορτίου που εξυπηρετείται από τον συσσωρευτή. [watt]

S_p : Οι ημέρες αυτοδυναμίας του ηλιακού μας συστήματος.

$$P_{\phi} = 724,13 \text{ W}$$

Άλλες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η θερμοκρασία λειτουργία τους, η οποία επηρεάζει τα χαρακτηριστικά τους και ο μέγιστος αριθμός κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων, ο οποίος επηρεάζει την διάρκεια ζωής τους. Για συσσωρευτές μολύβδου, ο

μέγιστος αριθμός κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων θα πρέπει να είναι μικρότερος από 1200/β.

Συνοπτικά η διαδικασία σχεδιασμού συστήματος για Φωτοβολταϊκή Παραγωγή Ενέργειας είναι η εξής :

- Καταγράφονται οι μήνες για τους οποίους θα γίνουν οι υπολογισμοί.
- Καταγράφεται η γωνία κλίσης των πλαισίων για κάθε μήνα. (βέλτιστη ή σταθερή)
- Υπολογίζεται η ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο πλαίσιο υπό τη δεδομένη κλίση για κάθε μήνα.
- Υπολογίζονται οι αδιάστατοι όροι σ_{θ} και σ_{ρ} , είτε από την εξίσωση 2.9 είτε από δεδομένα κατασκευαστών για τιμές θερμοκρασίας αέρα και επίπεδα ρύπανσης κάθε μήνα.
- Καταγράφονται οι ενεργειακές ανάγκες για κάθε μήνα.
- Υπολογίζεται από την εξίσωση 2.26 ο αριθμός των τυποποιημένων πλαισίων. Ο βαθμός απόδοσης των πλαισίων προκύπτει από το γινόμενο της εξίσωσης 2.8 και του βαθμού απόδοσης των λοιπών εξαρτημάτων (εξίσωση 2.22).
- Υπολογίζονται οι ελάχιστες ημέρες αυτοδυναμίας από την εξίσωση 2.24 και από τις μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες κατά την περίοδο της αυτοδυναμίας, τις οποίες καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές.

2.9 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

2.9.1 Παραμετρική επίδραση με μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας των φ/β πλαισίων

Όπως αναφέραμε, μια παράμετρος που επηρεάζει τη συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια από τα Φ/Β πλαίσια είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τους, δηλαδή η εξωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας (ηλιοφάνεια).

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια σύγκριση της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας, με μείωση των θερμοκρασιών κατά 3, 6, 10° C αντίστοιχα. Η παραμετρική επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας, στοχεύει στην εκτίμηση της επίδρασης της χαμηλότερης χειμερινής θερμοκρασίας.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως καταλήγουμε στα αποτελέσματα των πινάκων 2.31, 2.32, 2.33 :

ΜΗΝΑΣ	Q_{ϕ} (kWh)	Q_{ϕ} (T-3° C) (kWh)	Ποσοστό αύξησης σε σχέση με την Q_{ϕ} (%)
Ιανουάριος	153,8	156,3	1,61
Φεβρουάριος	157,2	159,8	1,62
Μάρτιος	222,9	226,6	1,63
Απρίλιος	229,0	232,9	1,67
Μάιος	291,0	296,1	1,69
Ιούνιος	258,7	263,3	1,76
Ιούλιος	285,9	291,1	1,79
Αύγουστος	280,8	285,9	1,79
Σεπτέμβριος	229,5	233,6	1,75
Οκτώβριος	210,5	214,2	1,70
Νοέμβριος	163,0	165,8	1,66
Δεκέμβριος	151,9	154,5	1,62

Πίνακας 2.31. Παραμετρική επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας κατά 3° C

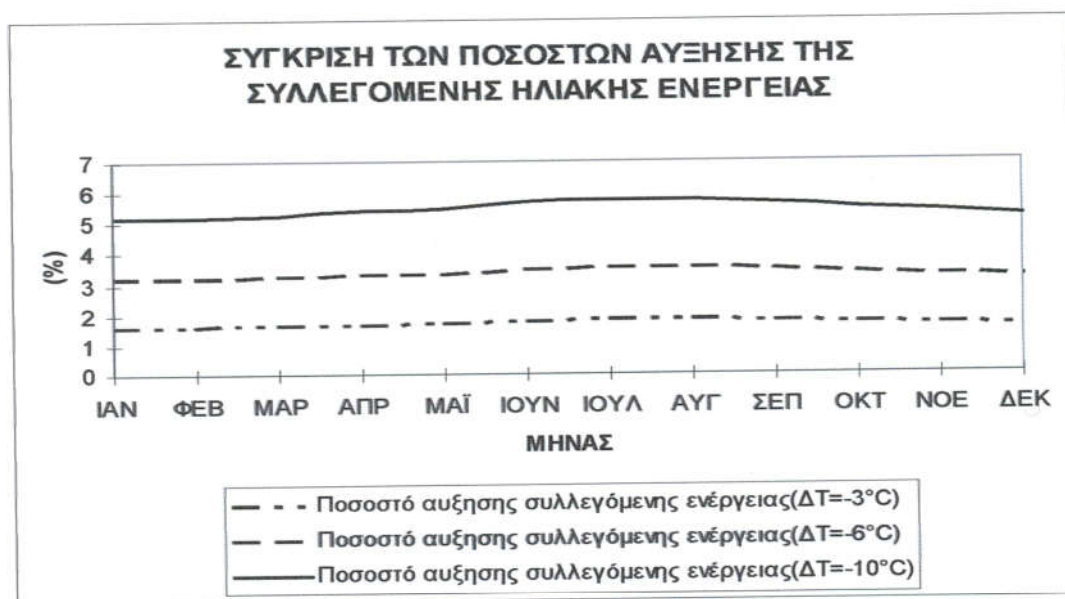
ΜΗΝΑΣ	Q_{ϕ} (kWh)	Q_{ϕ} (T-6° C) (kWh)	Ποσοστό αύξησης σε σχέση με την Q_{ϕ} (%)
Ιανουάριος	153,8	158,8	3,17
Φεβρουάριος	157,2	162,4	3,19
Μάρτιος	222,9	230,4	3,22
Απρίλιος	229,0	236,8	3,29
Μάιος	291,0	301,1	3,33
Ιούνιος	258,7	268,0	3,46
Ιούλιος	285,9	296,4	3,52
Αύγουστος	280,8	291,1	3,52
Σεπτέμβριος	229,5	237,7	3,44
Οκτώβριος	210,5	217,8	3,35
Νοέμβριος	163,0	168,5	3,27
Δεκέμβριος	151,9	157,0	3,19

Πίνακας 2.32. Παραμετρική επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας κατά 6° C

ΜΗΝΑΣ	Q_{ϕ} (kWh)	Q_{ϕ} (T-10° C) (kWh)	Ποσοστό αύξησης σε σχέση με την Q_{ϕ} (%)
Ιανουάριος	153,8	162,2	5,18
Φεβρουάριος	157,2	165,9	5,20
Μάρτιος	222,9	235,3	5,26
Απρίλιος	229,0	242,0	5,37
Μάιος	291,0	307,8	5,43
Ιούνιος	258,7	274,1	5,64
Ιούλιος	285,9	303,3	5,74
Αύγουστος	280,8	297,9	5,74
Σεπτέμβριος	229,5	243,1	5,61
Οκτώβριος	210,5	222,7	5,46
Νοέμβριος	163,0	172,2	5,34
Δεκέμβριος	151,9	160,3	5,20

Πίνακας 2.33. Παραμετρική επίδραση της μείωσης της θερμοκρασίας κατά 10° C

Q_{ϕ} , $Q_{\phi}(T-3^{\circ}\text{C})$, $Q_{\phi}(T-6^{\circ}\text{C})$, $Q_{\phi}(T-10^{\circ}\text{C})$ είναι η συλλεγόμενη μηνιαία ηλιακή ενέργεια τη δεδομένη εξωτερική θερμοκρασία, για μείωση της θερμοκρασίας κατά 3°C , 6°C και 10°C αντίστοιχα.



Σχήμα 2.26. Σύγκριση των ποσοστών αύξησης της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας

Με την βοήθεια του σχήματος 2.26 γίνεται η σύγκριση των ποσοστών αύξησης της συλλεγόμενης ενέργειας. Παρατηρούμε ότι με την σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας αυξάνεται η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια, όμως το ποσοστό αύξησης είναι πολύ μικρό.

2.9.2 Παραμετρική επίδραση με μείωση των ωρών ηλιοφάνειας

Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστεί η επίδραση των ωρών ηλιοφάνειας στη συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια. Για την ανάλυση μας θα θεωρήσουμε μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 70% και 60% των αρχικών ωρών ηλιοφάνειας. Η παραμετρική αυτή επίδραση προσομοιώνει την απόκλιση από τα κλιματολογικά δεδομένα¹ που δεν ήταν διαθέσιμα για την ορεινή περιοχή μας.

¹ Οι ώρες ηλιοφάνειας προέκυψαν από τον κοντινότερο σταθμός μέτρησης, που βρίσκεται στην περιοχή της Κόνιτσας.

καλύτερη πηγή πληροφοριών. Στην περίπτωση μας όμως, με την μείωση των ωρών ηλιοφάνειας θα μειωθεί και η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Θα ήταν λάθος να θεωρήσουμε ότι η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία θα μειωθεί και αυτή κατά 60 ή 70%.

Στην περίπτωση λοιπόν που δεν υπάρχουν τιμές μετρήσεων, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές σχέσεις, για να εκτιμηθεί η ολική ηλιακή ακτινοβολία, σε οριζόντιο επίπεδο ενός τόπου. Οι εμπειρικές αυτές σχέσεις λαμβάνουν ως βάση την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας και τις ώρες ηλιοφάνειας ενός τόπου ή το ποσοστό νεφοκάλυψης. Ειδικότερα ο Page, απλοποιώντας τον τύπο του Angstrom, θεωρεί ότι η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία H σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους δίνεται από τη σχέση :

$$H/H_0 = \alpha + b \cdot (N_{so} / N_s) \quad (2.30)$$

Όπου : H : είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m²/month)

H_0 : είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός της ατμόσφαιρας. (kWh/m²/month) (εξίσωση 2.10)

N_{so} : είναι οι ώρες ηλιοφάνειας της περιοχής (δίνονται από τον πίνακα 2.4)

N_s : είναι οι ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας για τελείως ανέφελο ουρανό για την ίδια χρονική περίοδο. (είναι το γινόμενο της εξίσωση 2.25 με τον αριθμό των ημερών του μήνα)

α, b : είναι συντελεστές

Τους συντελεστές αυτούς υπολόγισαν με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, από τις υπάρχουσες μετρήσεις του Αστεροσκοπείου Αθηνών, οι Πελεκάνος και Παπαχριστόπουλος για τον ελληνικό χώρο και είναι :

$$\alpha = 0,1992 \text{ και } b = 0,5165 \text{ με συντελεστή ακρίβειας, } r = 0.97$$

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας φαίνονται παρακάτω :

- Για μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 70%

Στους πίνακες 2.34 και 2.35 παρουσιάζονται η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 70% καθώς και η αντίστοιχη μείωση της συλλεγόμενης ενέργειας.

ΜΗΝΑΣ	N_{so}	N_s	H(kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	81,9	294,6	44,46
Φεβρουάριος	73,5	294,2	51,86
Μάρτιος	112,7	363,3	83,97
Απρίλιος	114,1	391,7	99,78
Μάιος	169,4	440,3	134,5
Ιούνιος	184,1	443,7	142,4
Ιούλιος	218,4	450,5	155,9
Αύγουστος	209,3	420,1	142,4
Σεπτέμβριος	154	367,8	103,0
Οκτώβριος	121,1	338,6	74,03
Νοέμβριος	95,2	293,4	49,96
Δεκέμβριος	86,1	285,6	41,73

Πίνακας 2.34. Υπολογισμός της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για μείωση της ηλιοφάνειας στο 70%

ΜΗΝΑΣ	Q_{ϕ} (kWh)	Q_{ϕ} (70%) (kWh)	Ποσοστό μείωσης σε σχέση με την Q_{ϕ} (%)
Ιανουάριος	153,8	124,4	19,1
Φεβρουάριος	157,2	127,9	18,6
Μάρτιος	222,9	181,8	18,4
Απρίλιος	229,0	191,3	16,4
Μάιος	291,0	240,0	17,5
Ιούνιος	258,7	212,7	17,7
Ιούλιος	285,9	231,6	19,0
Αύγουστος	280,8	225,0	19,8
Σεπτέμβριος	229,5	183,0	20,2
Οκτώβριος	210,5	167,9	20,2
Νοέμβριος	163,0	130,7	19,8
Δεκέμβριος	151,9	121,9	19,7

Πίνακας 2.35. Επίδραση στη συλλεγόμενη ενέργεια, της μείωσης της ηλιοφάνειας στο 70%

- Για μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 60%

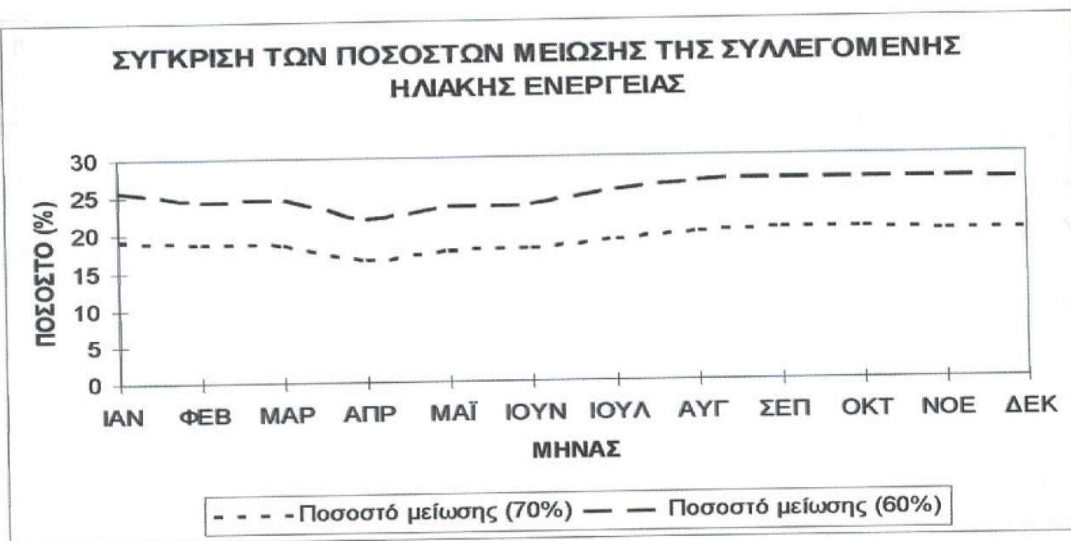
Στους πίνακες 2.36 και 2.37 παρουσιάζονται η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 60% καθώς και η αντίστοιχη μείωση της συλλεγόμενης ενέργειας.

ΜΗΝΑΣ	N_{so}	N_s	H(kWh/m ² /month)
Ιανουάριος	70,2	294,6	41,80
Φεβρουάριος	63	294,2	48,94
Μάρτιος	96,6	363,3	78,62
Απρίλιος	97,8	391,7	93,65
Μάιος	145,2	440,3	124,9
Ιούνιος	157,8	443,7	131,8
Ιούλιος	187,2	450,5	143,5
Αύγουστος	179,4	420,1	130,9
Σεπτέμβριος	132	367,8	95,42
Οκτώβριος	103,8	338,6	68,94
Νοέμβριος	81,6	293,4	46,70
Δεκέμβριος	73,8	285,6	39,12

Πίνακας 2.36. Υπολογισμός της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για μείωση της ηλιοφάνειας στο 60%

ΜΗΝΑΣ	Q_{ϕ} (kWh)	Q_{ϕ} (60%) (kWh)	Ποσοστό μείωσης σε σχέση με την Q_{ϕ} (%)
Ιανουάριος	153,8	114,3	25,6
Φεβρουάριος	157,2	118,8	24,4
Μάρτιος	222,9	168,4	24,4
Απρίλιος	229,0	178,7	21,9
Μάιος	291,0	222,7	23,4
Ιούνιος	258,7	197,3	23,7
Ιούλιος	285,9	213,3	25,3
Αύγουστος	280,8	206,1	26,5
Σεπτέμβριος	229,5	167,7	26,9
Οκτώβριος	210,5	153,8	26,9
Νοέμβριος	163,0	119,4	26,7
Δεκέμβριος	151,9	111,4	26,6

Πίνακας 2.37. Επίδραση στη συλλεγόμενη ενέργεια, της μείωσης της ηλιοφάνειας στο 60%



Σχήμα 2.27. Σύγκριση των ποσοστών μείωσης της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας

Στο σχήμα 2.27 δείχνει την σύγκριση των ποσοστών μείωσης της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας. Παρατηρούμε ότι με την μείωση των ωρών ηλιοφάνειας, στο 70 & 60%, τα ποσοστά μείωσης της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας είναι αρκετά μεγάλα, αφού πλησιάζουν το 20% και το 27% αντίστοιχα.

Θα περίμενε κανείς ότι με την μείωση της ηλιοφάνειας στο 70 ή 60% για κάθε μήνα του έτους, η αντίστοιχη μείωση της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας να είναι ίδια για κάθε μήνα. Αυτό βέβαια δεν ισχύει, γιατί με την επίδραση των ωρών ηλιοφάνειας θα μειωθεί και η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Θα ήταν λάθος να θεωρήσουμε ότι η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία θα μειωθεί και αυτή κατά 60 ή 70%.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι με την μείωση των ωρών ηλιοφάνειας αυξάνονται οι ημέρες αυτοδυναμίας του ενεργειακού μας συστήματος. Για μείωση στο 70% της ηλιοφάνειας οι μέγιστες ημέρες αυτοδυναμίας είναι περίπου 7 ενώ για μείωση στο 60% της ηλιοφάνειας είναι περίπου 8. Έτσι λοιπόν η μείωση των ωρών ηλιοφάνειας αυξάνονται οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες που καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές.

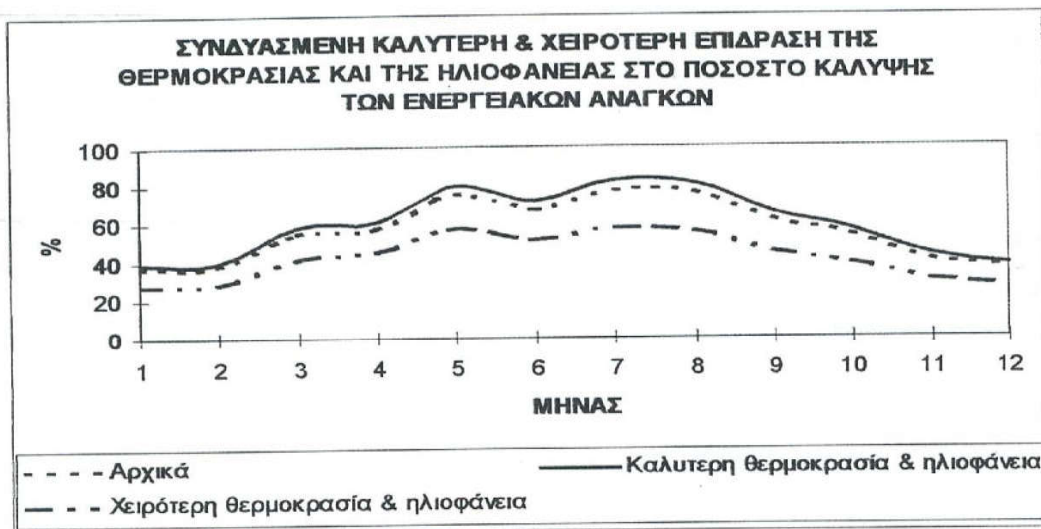
ΜΗΝΑΣ	S_p (ημέρες/μήνα) για μείωση στο 70%	S_p (ημέρες/μήνα) για μείωση στο 60%
Ιανουάριος	7,28	7,65
Φεβρουάριος	6,88	7,17
Μάρτιος	6,99	7,39
Απρίλιος	6,95	7,32
Μάιος	6,31	6,81
Ιούνιος	5,86	6,39
Ιούλιος	5,40	6,03
Αύγουστος	5,28	5,93
Σεπτέμβριος	5,83	6,36
Οκτώβριος	6,56	7,02
Νοέμβριος	6,66	7,07
Δεκέμβριος	7,07	7,46

Πίνακας 2.38. Ημέρες αυτοδυναμίας για μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 70 & 60%

Στο σχήμα 2.28 που ακολουθεί βλέπουμε την συνδυασμένη χειρότερη επίδραση θερμοκρασίας και ηλιοφάνειας και αντίστοιχα την καλύτερη.



Σχήμα 2.28. Συνδυασμένη χειρότερη & καλύτερη επίδραση της θερμοκρασίας & της ηλιοφάνειας



Σχήμα 2.29. Συνδυασμένη χειρότερη & καλύτερη επίδραση της θερμοκρασίας & της ηλιοφάνειας στο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών

Από το σχήμα 2.28 & 2.29 συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιδρά θετικά αλλά σε μικρό βαθμό στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και αντίστοιχα στο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, ενώ η επίδραση της μείωσης της ηλιοφάνειας είναι αρνητική, μειώνοντας σημαντικά την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια και το ποσοστό κάλυψης.

2.10 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

Όπως έχουμε αναφέρει (εξίσωση 2.8) η απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου επηρεάζεται άμεσα από την μέγιστη ισχύ που μπορεί να αποδώσει το Φ/Β πλαίσιο και από την επιφάνεια του πλαισίου. Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε την επίδραση που έχουν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ενός πλαισίου, στην απόδοσή τους και κατά συνέπεια στο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Θεωρώντας το ηλιακό πλαίσιο, μονοκρυσταλλικού πυριτίου, της εταιρίας Solarex /BP (το στοιχείο έχει κωδικό BP-225), θα έχουμε :

- Μέγιστη ισχύς πλαισίου: $P_{\phi} = 25 \text{ Watt}$
- Μήκος πλαισίου: $L = 0,537 \text{ m}$

- Πλάτος πλαισίου: $h = 0,448 \text{ m}$
- Τάση μέγιστης ισχύος: $V_m = 17 \text{ Volt}$
- Ένταση μέγιστης ισχύος: $I_m = 1,47 \text{ Amps}$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.9 υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης του Φ/Β πλαισίου. Στον πίνακα 2.39 που ακολουθεί φαίνεται ο νέος βαθμός απόδοσης για κάθε μήνα, καθώς και το ποσοστό διαφοράς του από τον αρχικό βαθμό απόδοσης.

ΜΗΝΑΣ	η (αρχικός βαθμός απόδοσης-UniSolar)	η (τελικός βαθμός απόδοσης-Solarex/BP)	Ποσοστό αύξησης(%)
Ιανουάριος	0,045	0,1136	60,38
Φεβρουάριος	0,045	0,1142	60,59
Μάρτιος	0,045	0,1155	61,03
Απρίλιος	0,046	0,1181	61,05
Μάιος	0,047	0,1194	60,65
Ιούνιος	0,054	0,1383	60,95
Ιούλιος	0,055	0,1408	60,94
Αύγουστος	0,055	0,1408	60,94
Σεπτέμβριος	0,054	0,1375	60,71
Οκτώβριος	0,047	0,1201	60,88
Νοέμβριος	0,046	0,1174	60,82
Δεκέμβριος	0,045	0,1142	60,59

Πίνακας 2.39. Ποσοστό αύξησης του βαθμού απόδοσης με τη χρησιμοποίηση καλύτερου πλαισίου.

Με βάση την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε στην παράγραφο 2.8.5 καταλήγουμε στον πίνακα 2.40 :

1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12
Μήνας	S	H _τ	T _α	σ _θ	σ _ρ	Q _φ	3*8*5*6	7/9	S _p	7*11/30
Ιαν.	30	78,12	7	0,915	1	417,1	4,4	45,8	6	40,9
Φεβ.	30	80,31	8	0,91	1	417,1	4,5	44,6	6	40,7
Μαρ.	30	115,1	10	0,9	1	405,1	6,4	30,8	6	39,9
Απρ.	30	120,9	14	0,88	1	398,1	6,6	29,8	6	39,6
Μάιος	30	155,5	16	0,87	1	386,1	8,4	22,7	5	31,9
Ιουν.	30	159,9	23	0,835	0,9	383,1	7,4	25,5	4	25,5
Ιουλ.	30	180,0	26	0,82	0,9	370,6	8,2	22,3	4	24,6
Αυγ.	30	176,8	26	0,82	0,9	370,6	8,1	22,7	3	18,5
Σεπ.	30	141,1	22	0,84	0,9	373,1	6,6	28,1	4	25,0
Οκτ.	30	113,1	17	0,865	1	393,1	6,1	31,8	5	32,4
Νοε.	30	85,62	13	0,885	1	398,1	4,7	41,9	5	33,0
Δεκ.	30	77,63	8	0,91	1	417,1	4,4	46,4	6	40,9

Πίνακας 2.40. Έντυπο μελέτης Φ/Β πλαισίων (Solarex/BP)

Από την στήλη 10 βλέπουμε ότι η απαιτούμενη επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων πρέπει να είναι 46,4 m² περίπου. Παρατηρούμε λοιπόν ότι με το συγκεκριμένο Φ/Β πλαίσιο μπορούμε να έχουμε 100% κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών ακόμα και με μικρότερη επιφάνεια από τα 87m² της διαθέσιμης επιφάνειας μας. Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων είναι N = 193.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο τύπος του Φ/Β πλαισίου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους διαστασιολόγησης του συστήματος, αφού η απόδοση του πλαισίου και κατά συνέπεια το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, εξαρτώνται από τις διαστάσεις και την μέγιστη ισχύ του πλαισίου. Μειονέκτημα του νέου τύπου πλαισίου αποτελεί το αυξημένο αρχικό κόστος επένδυσης.

Για το πλαίσιο της εταιρίας Uni-Solar, το οποίο χρησιμοποιείται κατά την ανάλυση της κύριας κατοικίας γνωρίζουμε ότι η μέγιστη ισχύς του Φ/Β πλαισίου είναι P_{max} = 22W και ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα καλύψουν την νότια όψη της στέγης είναι N = 163. Επομένως η συνολική ισχύς του συστήματός μας είναι :

$$P_{\max, \text{total}} = P_{\max} * N \quad (2.31)$$

Από την εξίσωση 2.31 βρίσκουμε ότι για το πλαίσιο της εταιρίας Uni-Solar η συνολική ισχύς του συστήματος θα είναι : $P_{\max, total} = 3,58kW$

Ομοίως για το πλαίσιο της εταιρίας Solarex/BP, το ποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση της εξοχικής κατοικίας, γνωρίζουμε ότι : $P_{\max} = 25W$ και $N = 193$. Από την εξίσωση 2.31 βρίσκουμε ότι για το πλαίσιο της εταιρίας Solarex/BP η συνολική ισχύς του συστήματος θα είναι : $P_{\max, total} = 4,825kW$

Το κόστος¹ των Φ/Β πλαισίων δίνεται στον πίνακα 2.41

	1998	2005
Κόστος Φ/Β πλαισίων (\$/W _p)	7	5

Πίνακας 2.41. Κόστος Φ/Β πλαισίων

Για κόστος Φ/Β πλαισίων 7 \$/W_p, το συνολικό κόστος αγοράς των Φ/Β πλαισίων της εταιρίας Uni-Solar είναι **25060\$** ενώ της εταιρίας Solarex/BP είναι **33775\$**. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το κόστος αγοράς των Φ/Β πλαισίων της εταιρίας Solarex/BP είναι 1,34 φορές το κόστος των Φ/Β της εταιρίας Uni-Solar, όμως έχουμε πλήρη κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών. Η τελική προτεινόμενη λύση αποτελεί η χρησιμοποίηση του πλαισίου της εταιρίας Solarex/BP.

Από την εξίσωση 2.8 βλέπουμε ότι ο βαθμός απόδοσης του πλαισίου είναι ανάλογος της μέγιστης ισχύς του και αντιστρόφως ανάλογος της επιφάνειας του. Με μεγάλη ισχύ πλαισίου και μικρή επιφάνεια πετυχαίνουμε υψηλούς βαθμούς απόδοσης.

2.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΚΡΙΤΙΚΗ

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγιναν οι υπολογισμοί της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η σχεδίαση του ηλιακού ενεργειακού συστήματος. Για τον καθορισμό της γωνίας κλίσης των Φ/Β πλαισίων εξετάστηκαν τρεις πιθανές περιπτώσεις : 1) Γωνία κλίσης πλαισίου ίση με την βέλτιστη γωνία έτους, 2) Γωνία κλίσης πλαισίου ίση με την βέλτιστη γωνία κάθε μήνα και 3) Γωνία κλίσης πλαισίου ίση με 30°, η οποία αποτελεί την τελική προτεινόμενη λύση. Από την ανάλυσή μας έγινε σαφές ότι με τη βέλτιστη γωνία κλίσης κάθε μήνα έχουμε την μεγαλύτερη

¹ Πηγή: <http://www.alt-energy.com> and <http://www.aet.de>

συλλογή ηλιακής ενέργειας, ωστόσο όμως το ποσοστό απώλειας ηλιακής ακτινοβολίας των δύο άλλων περιπτώσεων είναι μικρό (6,5 & 5,5%). Για την σχεδίαση του ηλιακού ενεργειακού συστήματος επιλέχθηκε αρχικά φ/β πλαίσιο άμορφου πυριτίου. Με μόνο διαθέσιμα τα 87m² επιφάνειας στέγης δεν έχουμε πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η απαιτούμενη επιφάνεια για την πλήρη κάλυψη, αγγίζει τα 197m².

Με την παραμετρική επίδραση των κατασκευαστικών παραγόντων του φ/β πλαισίου, διαπιστώθηκε ότι πλαίσιο καλύτερης απόδοσης επιδρά θετικά στη διαστασιολόγηση του συστήματος. Στην περίπτωση μας για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απαιτούνται μόλις 46,4m² επιφάνειας. Βέβαια το αρχικό κόστος επένδυσης θα είναι μεγαλύτερο, όμως με την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης θα μειωθεί αρκετά. Αυτό εξάλλου αποτελεί και την εξοικονόμηση ενέργειας (δαπάνη έντασης κεφαλαίου). Καταλήγουμε λοιπόν ότι η τελική προτεινόμενη λύση αποτελεί η χρησιμοποίηση του πλαισίου της εταιρίας Solarex/BP.

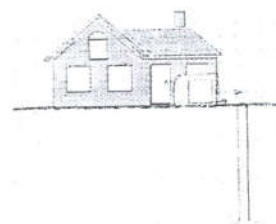
Τέλος με την παραμετρική επίδραση των κλιματολογικών παραγόντων, και συγκεκριμένα με την μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας των φ/β πλαισίων κατά 3, 6 και 10°C και με τη μείωση των ωρών ηλιοφάνειας στο 60 & 70%, συμπεραίνουμε ότι η μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιδρά θετικά αλλά σε μικρό βαθμό στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και αντίστοιχα στο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, ενώ η επίδραση της μείωσης της ηλιοφάνειας είναι αρνητική, μειώνοντας σημαντικά την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια και το ποσοστό κάλυψης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ/ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

3.1 ΛΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Είναι γνωστό ότι τα πηγάδια έχουν ζεστό νερό το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι το ίδιο νερό είναι δροσερό. Βέβαια, το νερό δεν αλλάζει θερμοκρασία, όμως στο βάθος που ρέει, η θερμοκρασία της γης είναι περίπου σταθερή ανεξάρτητα αν είναι καλοκαίρι ή χειμώνας. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι σε βάθος από 6m έως 100m η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και είναι περίπου ίση με τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα για τον συγκεκριμένο τόπο. Στην χώρα μας αυτό σημαίνει ότι σε τέτοιο βάθος η θερμοκρασία βρίσκεται ανάμεσα στους 18-20° C. (σχήμα 3.1)



Σχήμα 3.1 Απλή διάταξη κάθετου γεωεναλλάκτη

Η διατήρηση της θερμοκρασίας αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού ο ήλιος ζεσταίνει την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο απορροφά στο βάθος την θερμότητα που του παρέχεται, ενώ στη διάρκεια του χειμώνα η ίδια επιφάνεια ψύχεται και αφαιρεί θερμότητα από εκείνη που είχε συσσωρευτεί στο υπέδαφος. Αυτό όμως γίνεται πολύ αργά και με μεγάλη διαφορά φάσης, έτσι ώστε ενώ στην επιφάνεια του εδάφους η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντική διακύμανση, όσο προχωρούμε σε βάθος η διακύμανση αυτή στη διάρκεια ενός έτους γίνεται μικρότερη και ουσιαστικά κάτω από τα 5m. εξαφανίζεται. Έτσι αποκαθίσταται μια κατάσταση ισορροπίας στο επίπεδο των 18-20° C. Σε βόρειες χώρες, όπως η Σουηδία ή ο Καναδάς αυτή η ισορροπία αποκαθίσταται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

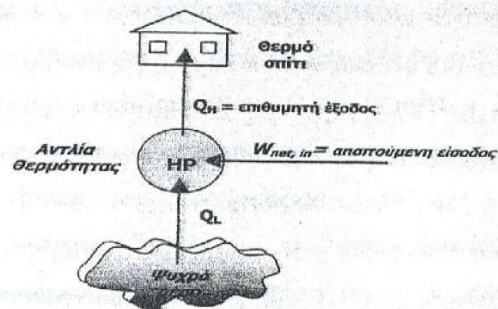
Λόγω της πολύ μεγάλης θερμοχωρητικότητας του υπεδάφους η αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση κατοικιών και γενικά χώρων, όπου ζούμε και εργαζόμαστε. Η δυνατότητα αυτή έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον, γιατί εξοικονομείται έτσι σημαντική ποσότητα καυσίμου για την θέρμανση κατοικημένων χώρων προς όφελος της οικονομίας, αλλά και του περιβάλλοντος, αφού όπως ξέρουμε η χρήση του οποιουδήποτε καυσίμου οδηγεί αναπόφευκτα και σε ατμοσφαιρική ρύπανση. Πολλές χώρες ανάμεσά τους οι Σκανδιναβικές, ο Καναδάς και οι

Ηνωμένες Πολιτείες αξιοποιούν τη δυνατότητα αυτή για θέρμανση τον χειμώνα. Βέβαια, στη διάρκεια του καλοκαιριού θα πρέπει να φροντίσει κανείς για την επαναφόρτιση του ταμειυτήρα αυτού θερμότητας, δηλαδή του υπεδάφους, ώστε κατά την επόμενη θερμαντική περίοδο να ξεκινήσει η θέρμανση από το ίδιο θερμοκρασιακό επίπεδο. Η επαναφόρτιση αυτή γίνεται σχετικά εύκολα κατά την διάρκεια του καλοκαιριού χρησιμοποιώντας το ίδιο σύστημα για ψύξη. Στην εύκρατο ζώνη η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία, διότι παρέχει την δυνατότητα θέρμανσης το χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι. Εφαρμογές, λοιπόν στη Ελληνική επικράτεια παρουσιάζουν το πλεονέκτημα αξιοποίησής της σε όλη τη διάρκεια του έτους και επειδή περίπου όση ενέργεια καταναλώνεται στην περίοδο της θέρμανσης αποδίδεται κατά την περίοδο της ψύξης, δεν υπάρχει ανάγκη αποκατάστασης ισορροπίας του αβαθούς γεωθερμικού πεδίου. Για έναν παραπάνω λόγο λοιπόν, προσφέρεται η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας στην χώρα μας σε σχέση με τις βόρειες χώρες που έχουν σήμερα ήδη σχετική πρωτοπορία.

Η πηγή αυτή ενέργειας έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Είναι καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον
- Είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε σημείο
- Μπορεί να προσφέρει θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης

Ο γεωεναλλάκτης αξιοποιεί την θερμοχωρητικότητα του εδάφους, παρέχοντας ενέργεια προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης κτιρίων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της ανάγκης των κτιρίων σε πρωτογενή ενέργεια. Ο γεωεναλλάκτης μπορεί να τοποθετηθεί σχετικά εύκολα σε οποιοδήποτε κτίριο(υπάρχον ή υπό κατασκευή). Το κόστος κατασκευής αποσβένεται σε χρονικό διάστημα 3-5 ετών, ενώ η διάρκεια ζωής του προβλέπεται να ξεπερνά τα 25 χρόνια¹.



Σχήμα 3.2 Λειτουργία της αντλίας θερμότητας κατά την διάρκεια του χειμώνα

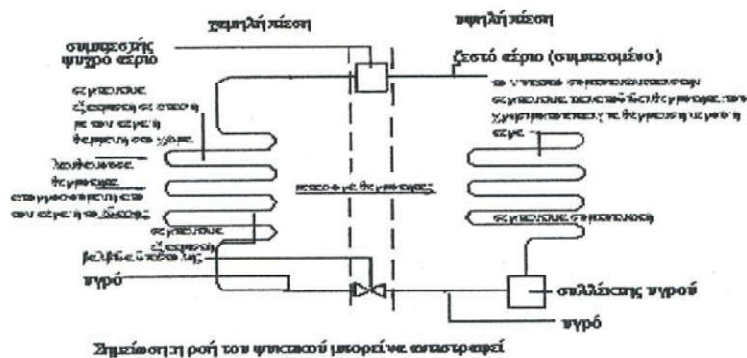
¹ Πρόγραμμα εφαρμογής γεωεναλλακτών για: Ξενοδοχεία, Σχολεία, Γυμναστήρια, Κτίρια γραφείων, Οικισμούς, Δημόσια κτίρια. Συνεργαζόμενοι Φορείς: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Μηχ/γων Μηχ/κων Ενεργειακός Τομέας, Γεωέρευνα Ο.Ε, Ποσειδών Α.Ε Σύμβουλοι Βιομηχανίας. Ιανουάριος 2003

Το νερό που προέρχεται από τον γεωεναλλάκτη, ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας π.χ σε υποδαπέδια συστήματα για ψύξη, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας για θέρμανση (αν εξαιρέσουμε ορισμένες χρήσεις όπως θερμοκήπια, γυμναστήρια κ.α.). Απαιτείται αλλαγή θερμοκρασιακής στάθμης, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των **αντλιών θερμότητας**. Τελικά η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη χρήση του γεωεναλλάκτη οφείλεται αφενός μεν στο ότι η απαιτούμενη ενέργεια παραλαμβάνεται από τη γη, αφ' ετέρου δε στο ότι η θερμοκρασία του γεωεναλλάκτη μεταβάλλεται σε πολύ στενή περιοχή, σε αντίθεση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος (με τον οποίο εργάζονται οι πύργοι ψύξης). Για τον τελευταίο αυτό λόγο ο συντελεστής συμπεριφοράς COP βελτιώνεται σε περίπου 4 αντί $2 \div 3$ των κλασσικών εγκαταστάσεων. Πέραν αυτών το σύστημα με γεωεναλλάκτη μειώνει τις αιχμές ηλεκτρικής ενέργειας κίνησης των αντλιών θερμότητας κατά 30% περίπου και επί πλέον εξαφανίζει την τοπική ρύπανση της ατμόσφαιρας και συμβάλλει στη μείωση του CO₂, κυρίως υπευθύνου του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το όνομα της αντλίας θερμότητας προέρχεται από το γεγονός ότι η αντλία θερμότητας παραλαμβάνει θερμότητα από ένα σχετικά ψυχρό σώμα και αυξάνει την θερμοκρασία σε ικανοποιητικό επίπεδο, παρόμοια με τον τρόπο που δρα μια μηχανικά αντλία, στέλνει νερό σε ένα υψηλότερο επίπεδο (σχήμα 3.2). Δρα κατά τον αντίθετο τρόπο από μια θερμική μηχανή, στο ότι παραλαμβάνει θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία μαζί με μηχανική ισχύ, και αποδίδει θερμότητα σε υψηλή θερμοκρασία, ενώ η θερμική μηχανή παραλαμβάνει θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας και αποδίδει μηχανική ισχύ και θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Χρησιμοποιεί το συνηθισμένο ψυκτικό κύκλο για την απορρόφηση της θερμότητας από ένα χώρο και την απόδοση της για χρήση σε ένα άλλο χώρο, και μπορεί συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την θερμοκρασία τροφοδοτώντας με ψυχρό αέρα το κτίριο το καλοκαίρι, ή να αυξήσει την θερμοκρασία τροφοδοτώντας με ζεστό αέρα το κτίριο το χειμώνα.

Μπορεί να αναρωτηθεί κανείς γιατί, με τόσο υψηλή απόδοση, η αντλία θερμότητας δεν χρησιμοποιείται ευρύτερα. Υπάρχουν δύο πιθανοί λόγοι για την απάθεια που δείχνουμε για την αντλία θερμότητας :

- Χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία κατά τους μήνες του χειμώνα.
- Υψηλό κόστος της εγκατάστασης σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα.



Σχήμα 3.3 Κύκλος λειτουργίας αντλίας θερμότητας.

Το υποσύστημα της αντλίας θερμότητας θα είναι ως εξής (σχήμα 3.3) :

- Το γεωθερμικό ρευστό χαμηλής ενθαλπίας, θα οδηγείται με βεβαιωμένη κυκλοφορία στον εξατμιστή των αντλιών θερμότητας. Ο εξατμιστής των αντλιών θερμότητας στην ουσία είναι ένας εναλλάκτης νερού-ψυκτικού μέσου (R22) και στον οποίο το εκτονωμένο ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα την οποία προσφέρει το θερμό νερό μέσω των μεταλλικών επιφανειών και εξατμίζεται. Έτσι το γεωθερμικό νερό θα εξέρχεται με μικρότερη θερμοκρασία και στη συνέχεια θα οδηγείται σε γεώτρηση επανέγχυσης, ή θα απορρίπτεται.
- Μέσω του συμπιεστή της αντλίας θερμότητας, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου θα οδηγούνται στη μονάδα του συμπυκνωτή όπου θα συμπυκνώνονται και η θερμότητα θα μεταδίδεται στο νερό του συστήματος ανακυκλοφορίας των αντλιών θερμότητας. Στην ενέργεια η οποία παραλαμβάνεται από την γεωθερμία προστίθεται και το έργο του συμπιεστή του ψυκτικού μέσου και αποδίδεται από την μονάδα συμπύκνωσης (δευτερεύον κύκλωμα) στο νερό το οποίο οδηγείται τελικά στους βρόγχους θέρμανσης. Αυτή η διεργασία έχει τελικά σαν αποτέλεσμα, το νερό στην έξοδο της αντλίας θερμότητας (στον συμπυκνωτή) να έχει σημαντικά μεγαλύτερη τιμή από αυτή στην έξοδο της (εξατμιστή) και άρα το δίκτυο των σωληνώσεων έχει μεγαλύτερη θερμική απόδοση.

Η εγκατάσταση και χρήση της αβαθούς γεωθερμίας είχε μεγάλη αύξηση τα τελευταία 10 χρόνια με ετήσια αύξηση 10% μέχρι σήμερα. Η μεγαλύτερη παρατηρήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη, ενώ και άλλες χώρες έδειξαν ενδιαφέρον όπως η Ιαπωνία και η

Τουρκία. Η σημερινή εγκατεστημένη ισχύς τέτοιων συστημάτων παγκοσμίως ανέρχεται σε 6,875 MW και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε 23,287 TJ/έτος στις αρχές του 2000 σε 27 χώρες (πίνακας 3.1). Παρατηρούμε ότι από τις 27 χώρες η Ελλάδα κατέχει την τελευταία θέση ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες την πρώτη.

Χώρα	MWt (Installed capacity)	TJ/year (Energy Produced)	GWh/year
Αυστραλία	24	57,6	16
Αυστρία	228	1094	303.9
Βουλγαρία	13,3	162	45
Καναδάς	360	891	247.5
Czech Rep.	8	38,2	10.6
Δανία	3	20,8	5.8
Φιλανδία	80,5	484	134.5
Γαλλία	48	255	70.8
Γερμανία	344	1149	319.2
Ελλάδα	0,4	3,1	0.9
Ουγγαρία	3,8	20,2	5.6
Ισλανδία	4	20	5.6
Ιταλία	1,2	6,4	1.8
Ιαπωνία	3,9	64	17.8
Λιθουανία	21	598,8	166.3
Ολλανδία	10,8	57,4	15.9
Νορβηγία	6	31,9	8.9
Ρωσία	1,2	11,5	3.2
Πολωνία	26,2	108,3	30.1
Σερβία	6	40	11.1
Σλοβακία	1,4	12,1	3.4
Σλοβενία	2,6	46,8	13
Σουηδία	377	4128	1146.8
Ελβετία	300	1962	550
Τουρκία	0,5	4	1.1
Μ. Βρετανία	0,6	2,7	0.8
Αμερική	4800	19000	3333.6
Συνολικά	6675,4	23268,9	6453.1

Πίνακας 3.1. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σε όλο τον κόσμο. (Status 2000)¹

¹ John W. Lund, March 2001

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

3.2.1 Ορολογία

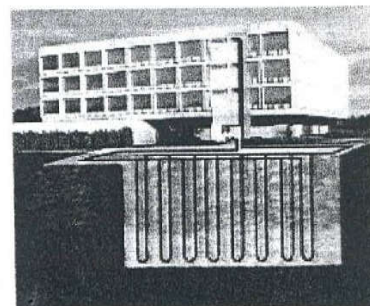
Στον γενικό όρο γεωθερμικός εναλλάκτης (ground source heat pumps) συμπεριλαμβάνονται πολλά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν το έδαφος, υπόγεια ή υπέργεια ύδατα ως πηγή ενέργειας. Αυτά είναι ο γεωθερμικός εναλλάκτης εδάφους κλειστού βρόγχου (ground coupled), ο γεωεναλλάκτης υπόγειων υδάτων (ground water heat pump) και ο γεωεναλλάκτης υπέργειων υδάτων (surface water heat pump).

3.2.2 Γεωεναλλάκτης εδάφους κλειστού βρόγχου (GSHP)

Ο γεωεναλλάκτης εδάφους είναι μια υποκατηγορία των γεωεναλλακτών και συχνά αναφέρεται ως κλειστού βρόγχου γεωεναλλάκτης εδάφους. Αναφέρεται σε ένα σύστημα το οποίο από μια αντιστρεπτή αντλία θερμότητας η οποία συνδέεται με τον γεωεναλλάκτη που βρίσκεται θαμμένος στο χώμα. Η πιο ευρέως διαδεδομένη μονάδα αντλίας θερμότητας στο εξωτερικό είναι νερού-αέρα, η οποία ανακυκλώνει νερό ή νερό με ψυκτικό μέσω των πλαστικών σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη. Μια άλλη μορφή είναι η νερού-νερού, όπου το μόνο που αλλάζει είναι το μέσο θέρμανσης της εφαρμογής, που για την περίπτωση αυτή είναι νερό σε αντίθεση με την προηγούμενη που είναι αέρας.

Ο γεωεναλλάκτης εδάφους χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον σχεδιασμό των σωληνώσεων: Κάθετου ή οριζόντιου σχεδιασμού.

Ο κάθετος γεωεναλλάκτης (σχήμα 3.1, 3.4) αποτελείται γενικά από δύο σωλήνες μικρής διαμέτρου, υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου οι οποίοι τοποθετούνται σε κάθετη γεώτρηση η οποία έπειτα γεμίζεται με στερεό μέσο. Οι σωλήνες έχουν σχήμα U και η διάμετρός τους κυμαίνεται από 20 έως 40 mm. Το βάθος της γεώτρησης και επομένως των σωληνώσεων ποικίλει και μπορεί να είναι 15 έως 180 m εξαρτώμενο από τη τοπική μορφολογία του εδάφους και τον διαθέσιμο εξοπλισμό (σκαπτικά μηχανήματα, γεωτρήματα κτλ). Η απόσταση των γεωτρήσεων μεταξύ τους πρέπει να



Σχήμα 3.4 Κάθετος γεωεναλλάκτης κλειστού βρόγχου

είναι το λιγότερο 6m όταν τοποθετούνται σε μορφή πλέγματος.

Τα πλεονεκτήματα των κάθετων συστημάτων είναι:

- Σχετικά μικρή επιφάνεια εδάφους
- Μικρή διακύμανση θερμοκρασίας εδάφους
- Μικρό μήκος σωληνώσεων και ενέργεια άντλησης
- Καλύτερη απόδοση από όλα τα συστήματα

Τα βασικότερα μειονεκτήματα είναι το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και η έλλειψη ειδικευμένων εργατών για τέτοιου είδους εργασίες.

Ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες:

- Ενός σωλήνα
- Πολλαπλών σωληνώσεων
- Σπειροειδής

Ο οριζόντιος μονοσωλήνιος γεωεναλλάκτης αρχικά τοποθετούταν σε στενά χαντάκια σε βάθος το λιγότερο 4m. Αυτός ο σχεδιασμός απαιτεί τη μικρότερη έκταση εδάφους. Ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης πολλαπλών σωληνώσεων (συνήθως 2 ή 4^{ων}) τοποθετημένος σε ένα μόνο χαντάκι μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις σε εδαφική έκταση. Τέλος ο σπειροειδής γεωεναλλάκτης απαιτεί κι αυτός την μικρότερη εδαφική έκταση. Κατασκευάζεται από σπείρες σωλήνων πολυαιθυλενίου, μικρής διαμέτρου οι οποίες θάβονται κάθετα σε ένα χαντάκι. Το απαιτούμενο μήκος χαντακιών είναι το 20 με 30% του μήκους ενός μονοσωλήνιου γεωεναλλάκτη.

Τα πλεονεκτήματα των οριζόντιων γεωεναλλακτών εδάφους είναι:

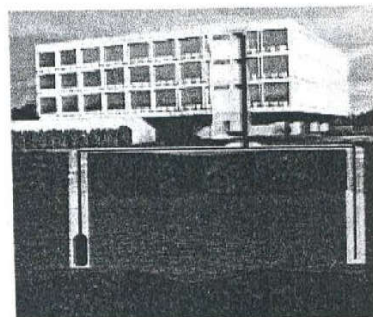
- Μικρό κόστος εγκατάστασης
- Ευκολία κατασκευής και εύρεση κατάλληλου προσωπικού

Στα μειονεκτήματα των οριζόντιων γεωεναλλακτών εδάφους εκτός από την μεγάλη απαιτούμενη έκταση εδάφους συμπεριλαμβάνονται και η διακύμανση της απόδοσης λόγω:

- Της διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους εξαιτίας της αλλαγής της εποχής, βροχής αλλά και εξαιτίας του βάθους ταφής των σωλήνων.
- Της μεγάλης ενέργειας για άντληση.

3.2.3 Γεωεναλλάκτης υπόγειων υδάτων (GWHP)

Η δεύτερη κατηγορία γεωεναλλακτών είναι οι γεωεναλλάκτες υπόγειων υδάτων (σχήμα 3.5). Μέχρι την πρόσφατη εξέλιξη των γεωεναλλακτών εδάφους ήταν ο πιο διαδεδομένος τύπος γεωεναλλάκτη. Στον εμπορικό τομέα οι GWHP μπορούν να αποτελέσουν ελκυστική εναλλακτική λύση επειδή μεγάλες ποσότητες νερού μπορούν να μεταφερθούν και να επιστραφούν σε σχετικά φθηνά πηγάδια τα οποία και απαιτούν μικρή επιφάνεια. Το κόστος μιας μονάδας νερού είναι πολύ μικρότερο από ενός γεωεναλλάκτη εδάφους για την ίδια χωρητικότητα. Ένα μόνο πηγάδι υψηλής δυναμικότητας μπορεί να εξυπηρετήσει ένα ολόκληρο κτίριο. Όταν το νερό που αντλείται επιστρέφει πίσω σε ένα άλλο πηγάδι τότε το καθαρό νερό που χρησιμοποιείται είναι ουσιαστικά μηδενικό.



Σχήμα 3.5 Γεωεναλλάκτης υπόγειων υδάτων

Τα πλεονεκτήματα των GWHP είναι:

- Μικρότερο κόστος από τις GSHP
- Μικρότερη επιφάνεια
- Υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό για γεωτρήσεις νερού
- Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια

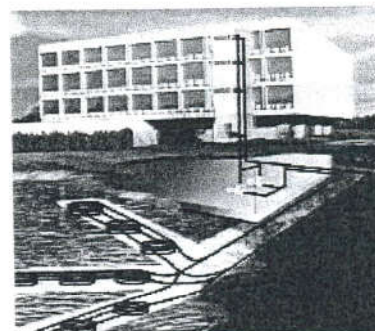
Τα μειονεκτήματα είναι:

- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί μπορεί να απαγορεύουν την τοποθέτησή τους
- Μικρή διαθεσιμότητα νερού
- Μεγάλη ενέργεια άντλησης εάν δεν σχεδιαστεί σωστά το σύστημα ή το βάθος του νερού είναι μεγάλο
- Ειδική μέριμνα κατά της ρύπανσης εάν η κατασκευή δεν είναι καλή ή αν το νερό είναι μολυσμένο

3.2.4 Γεωεναλλάκτης επιφανειακών υδάτων SWHP

Μπορεί να είναι κλειστού βρόγχου όπως ο γεωεναλλάκτης εδάφους ή ανοιχτού βρόγχου όπως ο γεωεναλλάκτης υπόγειων υδάτων (σχήμα 3.6). Τα θερμικά χαρακτηριστικά των

επιφανειακών υδάτων είναι πολύ διαφορετικά από αυτά των υπόγειων ή του εδάφους. Οι κλειστού βρόγχου αποτελούνται από μια αντλία θερμότητας νερού-νερού ή νερού-αέρα που συνδέεται με σωληνώσεις τοποθετημένες σε μία λίμνη, ποταμό ή άλλη επιφανειακή ποσότητα νερού. Η αντλία ανακυκλοφορεί το νερό ή νερό με ψυκτικό μέσω της αντλίας θερμότητας και αποδίδει ή προσλαμβάνει θερμότητα από την ποσότητα του νερού. Το κατάλληλο υλικό για τις σωληνώσεις είναι υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο με ειδική προστασία ακτινοβολίας.



Σχήμα 3.6 Γεωεναλλάκτης επιφανειακών υδάτων

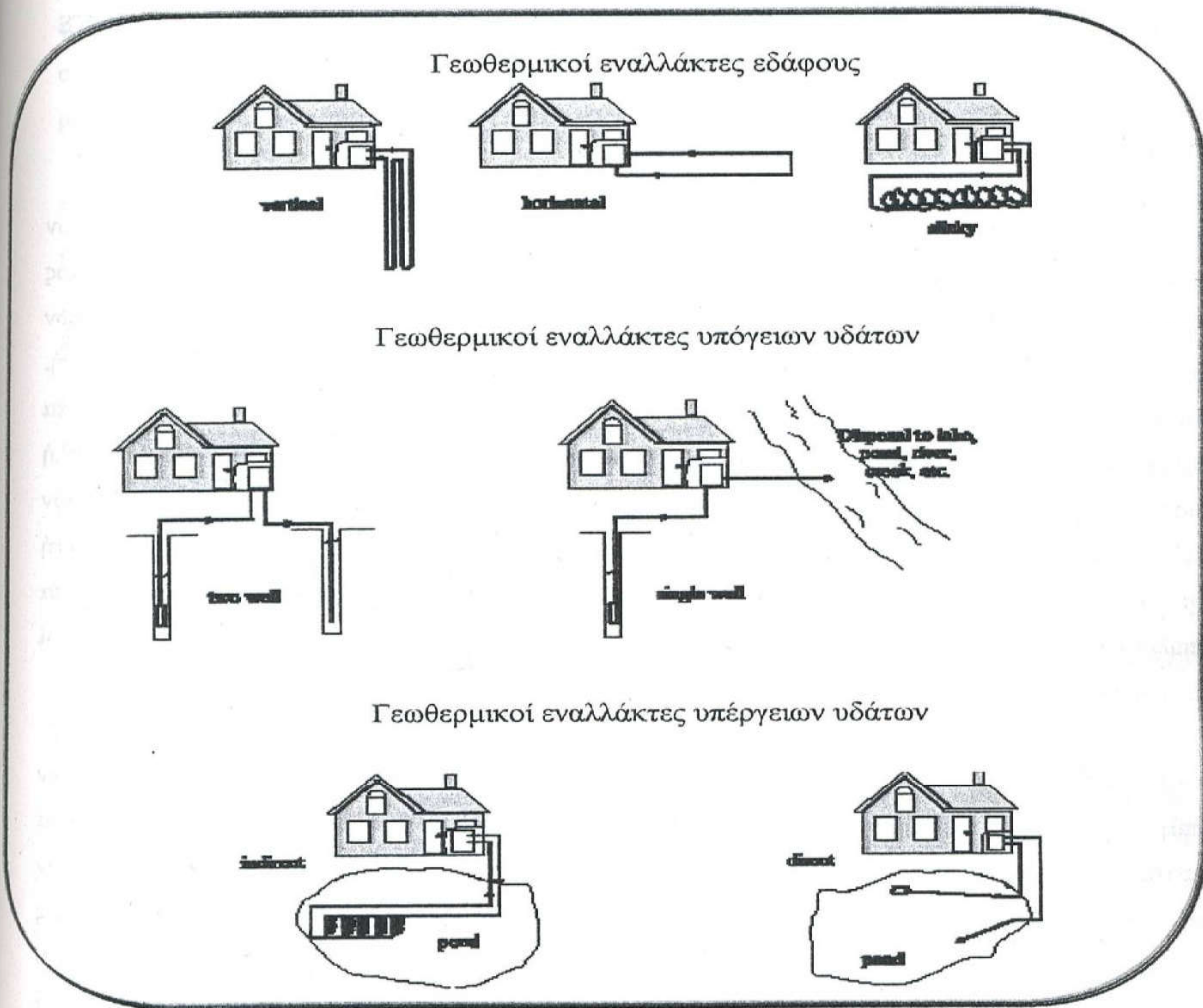
Πλεονεκτήματα:

- Σχετικά μικρό κόστος σε σχέση με τις GSHP
- Μικρή ενέργεια για άντληση
- Μικρό κόστος κατασκευής
- Μικρό κόστος συντήρησης

Μειονεκτήματα:

- Πιθανότητα καταστροφής των σωληνώσεων
- Διακύμανση θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του έτους εάν η λίμνη είναι μικρή ή ρηχή

Στο σχήμα 3.7 φαίνονται όλοι οι τύποι γεωεναλλακτών.



Σχήμα 3.7 Μορφές Γεωεναλλακτών

3.3 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

3.3.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός του κάθετου γεωεναλλάκτη είναι περίπλοκος λόγω της ποικιλίας των γεωλογικών μορφολογιών και συνθηκών που επηρεάζουν την απόδοσή του. Ο κατάλληλος προσδιορισμός των υλικών, της περιεχόμενης υγρασίας και κίνησης των υπόγειων υδάτων είναι μια διαδικασία που δεν μπορεί να προσδιοριστεί οικονομικά για κάθε εφαρμογή. Συνεπώς οι απαραίτητες πληροφορίες για μια πολύπλοκη ανάλυση δεν είναι πάντα διαθέσιμες. Μια λογική προσέγγιση είναι η εφαρμογή εμπειρικών δεδομένων για μια απλή λύση και τοποθέτηση των γεωτρήσεων. Οι θερμικές αγωγιμότητες μπορούν να υπολογιστούν από τιμές για το έδαφος συγκεκριμένου τύπου και περιεχόμενη υγρασία η χαρακτηριστική για τις τοπικές συνθήκες. Θερμικά τεστ του εδάφους παρέχουν ακρίβεια με τη βοήθεια γεωλογικών μελετών. Οι αρχικοί σχεδιασμοί ενός συστήματος είναι συνήθως συντηρητικοί και μπορούν να διορθωθούν εάν πρώτα ελεγχθεί το σύστημα.

Αυτή η μέθοδος έχει αποδειχθεί επιτυχής για οικιακές ή μικρές βιομηχανικές εφαρμογές. Δεν υπάρχουν πολλά δεδομένα για βιομηχανικές εφαρμογές και ειδικότερα μακροχρόνια αποτελέσματα εφαρμογών σε ανάλογες εγκαταστάσεις. Κάποια μόνιμη αλλαγή στην θερμοκρασία του εδάφους τοπικά μπορεί να παρατηρηθεί σε συστήματα με μεγάλες ετήσιες διαφορές μεταξύ του ποσού θερμότητας που απορροφάται (χειμερινή λειτουργία) και του ποσού θερμότητας που απορρίπτεται (καλοκαιρινή λειτουργία). Αυτό το πρόβλημα συναντάται σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου οι εναλλάκτες είναι πιο πιθανό να τοποθετηθούν κοντά ο ένας στον άλλο λόγω μη διαθέσιμης έκτασης. Παραδείγματος χάριν μια οικιακή εφαρμογή μπορεί να είναι τοποθετημένη σε έκταση μισού εκταρίου και να έχει ισορροπημένο φορτίο 10 kW θερμικό/ ψυκτικό ενώ ένα κτίριο γραφείων με έκταση ενός εκταρίου να απαιτεί 700 kW ψυκτικό και μόνο 175 kW θερμικό φορτίο. Στην δεύτερη περίπτωση είναι επικίνδυνη η πρόκληση του να τοποθετηθούν οι σωληνώσεις σε επαρκή απόσταση ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του εδάφους.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σ' αυτό το κεφάλαιο χρησιμοποιεί ένα περιορισμένο αριθμό πληροφοριών για βιομηχανικά συστήματα. Το κύριο συστατικό που λείπει είναι μακροχρόνια δεδομένα. Αυτή η πληροφορία χρειάζεται για να προσδιορίσει την επίδραση της κίνησης των

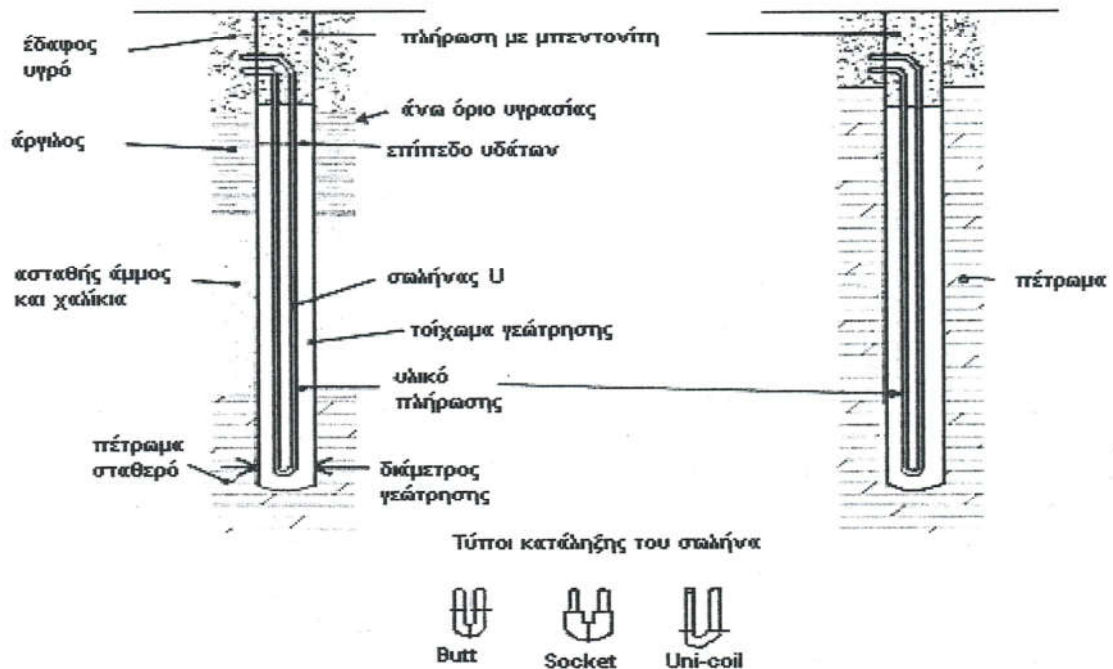
τοπικών υδάτων στην μείωση του απαιτούμενου μήκους σωληνώσεων. Ένας συντηρητικός σχεδιασμός μπορεί να θεωρήσει καθόλου όφελος ενώ ένας ριψοκίνδυνος μπορεί να θεωρήσει μέγιστο όφελος αγνοώντας ετήσιες αστάθειες στην απόρριψη και απορρόφηση θερμότητας.

Η μέθοδος βασίζεται στην λύση της εξίσωσης μετάδοσης θερμότητας από ένα κύλινδρο θαμμένο στη γη. Αυτή η εξίσωση αναπτύχθηκε και εκτιμήθηκε από τους Carslaw και Jaeger¹. Η εξίσωση και η λύση προτάθηκαν από τον Ingersoll ως μια κατάλληλη μέθοδος διαστασιολόγησης γεωεναλλακτών σε περιπτώσεις που η γραμμική πηγή εξίσωσης μπορεί να οδηγούσε σε λάθος. Η γραμμική πηγή εξίσωσης θα δώσει καλά αποτελέσματα για μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες βρόγχου αλλά λανθασμένα θα μπορούσαν να προκύψουν όταν οι χρονικές περίοδοι είναι μικρότερες από έξι ώρες. Συνεπώς ακριβείς προβλέψεις για ωριαίες διακυμάνσεις θερμοκρασίας βρόγχου απαιτούν την κυλινδρική πηγή εξίσωσης.

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμική απόδοση του γεωεναλλάκτη εξαρτάται από το ποσό θερμότητας που απορροφάται ή αποδίδεται στο έδαφος. Οι μέγιστες ή ελάχιστες θερμοκρασίες μπορεί να χρειαστεί χρόνια για να συμβούν. Αυτό είναι ειδικά πραγματικότητα εάν πολλαπλές κάθετες σωληνώσεις τοποθετηθούν σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Η δυσμενέστερη πιθανή κατάσταση σχεδιασμού μπορεί να συμβεί λίγα χρόνια μετά την εγκατάσταση. Συνεπώς, ο σχεδιασμός θα πρέπει να λαμβάνει μια απόδοση του συστήματος για εκτεταμένη χρονική διάρκεια.

Έχει επίσης προταθεί ότι αναλυτική προσομοίωση για πολλά χρόνια δεν είναι αναγκαία. Οι μεταβολές στην μετάδοση θερμότητας αποσβένονται από την μεγάλη θερμική μάζα του εδάφους που περιστοιχίζει τους εναλλάκτες. Συνεπώς μια εκτίμηση του ετήσιου καθαρού ποσού είναι αρκετή για ακριβή προσδιορισμό της απόδοσης. Αυτή η σκέψη μπορεί να επεκταθεί και σε μηνιαίες μεταβολές με καλή ακρίβεια. Παρόλα αυτά μεγαλύτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε ημερήσιες ή ωριαίες μεταβολές στη μετάδοση θερμότητας στο έδαφος.

¹ H.S. Carslaw and J.C. Jaeger, 1947



Σχήμα 3.8 Τυπικές εφαρμογές σωληνώσεων U σε σταθερά και ασταθή εδάφη.

3.3.2 Εξισώσεις για το απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη

Η μέθοδος του Ingersoll μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτές τις μικρότερου διαστήματος μεταβολές. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια απλή μόνιμης κατάστασης εξίσωση μετάδοσης θερμότητας:

$$q = L(t_g - t_w) / R \quad (3.1)$$

Η εξίσωση αναδιαμορφώνεται για να λυθεί ως προς το L , το οποίο είναι το απαιτούμενο μήκος κάθετων γεωτρήσεων. Η εξίσωση μόνιμης κατάστασης μπορεί να μετατραπεί για να παρουσιάζει την μεταβλητή ροή θερμότητας του γεωεναλλάκτη χρησιμοποιώντας μια σειρά από σταθερούς παλμούς ροής θερμότητας. Η θερμική αντίσταση του εδάφους ανά μονάδα μήκους υπολογίζεται σαν συνάρτηση του χρόνου, ο οποίος αντιστοιχεί στο χρόνο στον οποίο ένας συγκεκριμένος παλμός θερμότητας συμβαίνει. Ακόμη περιλαμβάνεται ένας όρος για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης των τοιχωμάτων των σωληνώσεων και τις επιδράσεις

μεταξύ των σωλήνων και του ρευστού και σωληνώσεων και εδάφους. Η εξίσωση που προκύπτει για την περίοδο ψύξης είναι:

$$L_c = \frac{q_{\alpha} R_{g\alpha} + (q_{lc} - W_c)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p} \quad (3.2)$$

Το απαιτούμενο μήκος για την περίοδο θέρμανσης είναι:

$$L_h = \frac{q_{\alpha} R_{g\alpha} + (q_{lh} - W_h)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p} \quad (3.3)$$

Οι όροι που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εξισώσεις είναι:

- F_{sc} = συντελεστής απωλειών θερμότητας μικρού βρόγχου
- L_c = απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων για ψύξη (m)
- L_h = απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων για θέρμανση (m)
- PLF_m = συντελεστής μερικού φορτίου κατά την διάρκεια του μήνα σχεδιασμού.
- q_{α} = μέση καθαρή ετήσια μετάδοση θερμότητας στο έδαφος (W)
- q_{lc} = ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού κτιρίου (W)
- q_{lh} = θερμικό φορτίο σχεδιασμού κτιρίου (W)
- $R_{g\alpha}$ = πραγματική θερμική αντίσταση εδάφους, ετήσιος παλμός (mK/W)
- R_{gm} = πραγματική θερμική αντίσταση εδάφους, μηνιαίος παλμός (mK/W)
- R_{gd} = πραγματική θερμική αντίσταση εδάφους, ημερήσιος παλμός (mK/W)
- R_b = θερμική αντίσταση γεώτρησης (mK/W)
- t_g = σταθερή θερμοκρασία εδάφους ($^{\circ}$ K)
- t_p = "ποινή" για την θερμοκρασία από τις διπλανές γεωτρήσεις ($^{\circ}$ K)
- t_{wi} = θερμοκρασία ρευστού στην είσοδο της αντλίας θερμότητας ($^{\circ}$ K)
- t_{wo} = θερμοκρασία ρευστού στην έξοδο της αντλίας θερμότητας ($^{\circ}$ K)
- W_c = Ισχύς εισόδου για το ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού (W)
- W_h = Ισχύς εισόδου για το θερμικό φορτίο σχεδιασμού (W)

Σημείωση: οι ροές θερμότητας, τα φορτία και οι ποινές θερμοκρασίας είναι θετικά για την θέρμανση και αρνητικά για την ψύξη.

Οι εξισώσεις (3.2) και (3.3) λαμβάνουν υπόψη τρεις διαφορετικούς παλμούς θερμότητας για να υπολογίσουν μακροπρόθεσμες θερμικές αστάθειες (q_a), μέσες μηνιαίες ροές θερμότητας κατά τον μήνα σχεδιασμού και μέγιστες ροές θερμότητας για βραχυπρόθεσμες περιόδους κατά την διάρκεια της μέρας σχεδιασμού. Αυτή η περίοδος θα μπορούσε να είναι μικρή όσο μία ώρα, αλλά αυτή η διαδικασία σχεδιασμού συστήνει τεσσάρων ωρών.

Το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων είναι το μεγαλύτερο από τα δυο που προκύπτουν από τις εξισώσεις. Εάν το μήκος που απαιτείται για ψύξη είναι μεγαλύτερο από αυτό για θέρμανση τα οφέλη από ένα υπερδιαστασιολογημένο εναλλάκτη μπορούμε να τα "απολαύσουμε" κατά την χειμερινή περίοδο. Μια δεύτερη περίπτωση είναι να εγκατασταθεί το μικρότερο μήκος της θέρμανσης και ένας ψυκτικός πύργος να αντισταθμίζει την διαφορά. Εάν το μήκος για θέρμανση είναι μεγαλύτερο τότε ο σχεδιαστής θα πρέπει να εγκαταστήσει αυτό το μήκος και κατά την διάρκεια της ψύξης η αύξηση της απόδοσης από τον υπερδιαστασιολογημένο εναλλάκτη θα αντισταθμίσει το αρχικό αυξημένο κόστος.

3.3.3 Θερμική αντίσταση σωληνώσεων σε σχήμα U

Οι εξισώσεις σχεδιασμού για την διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών περιλαμβάνουν τέσσερις όρους για την θερμική αντίσταση ανά μονάδα μήκους γεώτρησης (όχι ανά μονάδα μήκους σωληνώσεως). Τρεις από αυτούς σχετίζονται με την θερμική αντίσταση του εδάφους. Έχουν την μορφή τιμών σταθερής κατάστασης αλλά στην πραγματικότητα προκύπτουν από μεταβλητές ροές θερμότητας προλογίζοντας τις πιο κρίσιμες περιόδους σε απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Ο υπολογισμός των τριών αυτών τιμών θα συζητηθεί σε επόμενη παράγραφο. Ο τελευταίος όρος είναι η ισοδύναμη θερμική αντίσταση (R_b) για τις σωληνώσεις ή την γεώτρηση. Επειδή το ρευστό μέσα στο βρόγχο, οι σωληνώσεις και το υλικό πλήρωσης έχουν πολύ μικρή θερμική αγωγιμότητα συγκρινόμενη με το περιβάλλον έδαφος, η R_b μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σταθερή τιμή. Το σχήμα 3.8 παρουσιάζει δύο εγκαταστάσεις σωληνώσεων σε σχήμα U για να συνεχίσει ο σχολιασμός που ακολουθεί.

Ο πίνακας 3.2 περιλαμβάνει τιμές για την R_b για τέσσερα κοινά μεγέθη σωληνώσεων σχήματος U. Ο πίνακας έχει ισοδύναμες διαμέτρους για τις σωληνώσεις αυτές οι οποίες θα συμβάλλουν σε ισοδύναμα αποτελέσματα όταν αντικατασταθούν στη λύση της πηγής

εξίσωσης μονού κυλίνδρου των Carslaw και Jaeger. Η θερμική αντίσταση των τοιχωμάτων των σωληνώσεων είναι κυρίαρχη όταν η ροή του ρευστού είναι είτε μεταβατική ή τελείως τυρβώδης. Συνεπώς, υπάρχει μικρή αλλαγή στην συνολική αντίσταση εάν το ρευστό έχει πολύ μεγάλη ταχύτητα και αριθμό Reynolds (π.χ 10.000⁺) σε σύγκριση με μέτριες τιμές (Re = 3.000). Όταν χρησιμοποιείται καθαρό νερό, η ροή θα είναι πάνω από την κρίσιμη τιμή Reynolds, εάν η ροή του ρευστού είναι μεγαλύτερη από 2gpm σε ¾ in μέχρι 1 ¼ in σωλήνες U και μεγαλύτερη από 3gpm σε 1 ¼ in σωλήνες U. Ροές μικρότερες αυτών των τιμών δεν συναντώνται στην πράξη και ο μηχανικός θα πρέπει να αναθεωρήσει τον σχεδιασμό εάν προκύψουν.

Εγκαταστάσεις σε ψυχρά κλίματα απαιτούν αντιψυκτικά κατά την διάρκεια της χειμερινής λειτουργίας. Γραμμική ροή μπορεί να συμβεί κατά την διάρκεια του χειμώνα όταν χρησιμοποιούνται πυκνά αντιψυκτικά και οι θερμοκρασίες του βρόγχου είναι χαμηλές. Η γλυκόλη του προπυλενίου είναι ίσως το πιο πυκνόρευστο ψυκτικό, συχνά χρησιμοποιούμενο σε γεωεναλλάκτες και χρησιμοποιείται για ακραίες περιπτώσεις. Ακόμα κι όταν έχουμε στρωτή ροή η αντίσταση των τοιχωμάτων των σωληνώσεων παραμένει σημαντικότερη απ' όλες αλλά η αντίσταση του ρευστού δεν μπορεί πλέον να παραληφθεί. Συνεπώς ο πίνακας 3.2 περιλαμβάνει μέγιστες τιμές αντίστασης για 20% προπυλενιογλυκόλη για 3 με 10gpm. Οι μέγιστες αντιστάσεις δεν θα πέσουν πολύ κάτω από τιμές για 3gpm λόγω της συνεισφοράς της φυσικής μεταφοράς σε κάθετους σωλήνες.

Ο πίνακας 3.2 βασίζεται σε φυσικά συστατικά αναπλήρωσης της ίδιας θερμικής αγωγιμότητας όπως το περιβάλλον έδαφος. Οι αναπροσαρμογές της αντίστασης δίνονται στον πίνακα 3.3 για να υπολογιστούν οι τιμές για άλλες μορφές υλικών αναπλήρωσης. Οι τιμές του πίνακα 3.3 θα πρέπει να προστεθούν στη βασική θερμική αγωγιμότητα που δίνεται από τον πίνακα 3.2. Σημειώνεται ότι η αναπλήρωση με υλικό μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας από το έδαφος θα μειώσει την μέγιστη θερμική αντίσταση καθώς οι αριθμοί προσαρμογής είναι αρνητικοί. Ο πίνακας 3.3 περιλαμβάνει επίσης μια αυστηρή ποινή για την αποκόλληση που μπορεί να συμβεί σε μερικούς τύπους αργλικού εδάφους και τσιμέντου όταν υπάρχει ξηρασία. Αυτές οι αντιστάσεις θα πρέπει να προστεθούν στις τιμές του πίνακα 3.2 και στις τιμές προσαρμογής του πίνακα 3.3.

Διάμετρος σωλήνων U (ισοδύναμη διάμετρος)	SDR or Schedule	Θερμική αντίσταση σωληνώσεων(γεωτρήσεων) (hftF/Btu)			
		Ροές νερού πάνω από 2 gpm	20%Προπ. Γλυκόλη 3 gpm	20% Προπ. Γλυκόλη 5 gpm	20% Προπ. Γλυκόλη 10 gpm
¾ in. (0,15 ft)	SDR 11	0,09	0,12	ΔΣ ¹	ΔΣ
	SDR 9	0,11	0,15	ΔΣ	ΔΣ
	Sch 40	0,10	0,14	ΔΣ	ΔΣ
1.0 in. (0,18 ft)	SDR 11	0,09	0,14	0,10	ΔΣ
	SDR 9	0,11	0,16	0,12	ΔΣ
	Sch 40	0,10	0,15	0,11	ΔΣ
1 ¼ in. (0,22 ft)	SDR 11	0,09	0,15	0,12	0,09
	SDR 9	0,11	0,17	0,15	0,11
	Sch 40	0,10	0,15	0,12	0,09
1 ½ in. (0,25 ft)	SDR 11	0,09 ²	0,16	0,15	0,09
	SDR 9	0,11 ²	0,18	0,17	0,11
	Sch 40	0,10 ²	0,14	0,14	0,08

Πίνακας 3.2* Ισοδύναμες διαμέτροι και θερμικές αντιστάσεις R_b για σωληνώσεις πολυαιθυλενίου σχήματος U.

Οι μηχανικοί θα πρέπει προσεχτικά να λαμβάνουν υπόψη την ανάγκη αναπλήρωσης με τσιμέντο ολόκληρης της γεώτρησης. Το τσιμέντο έχει πολύ μικρή θερμική αγωγιμότητα. Εμποδίζει την τεχνητή κίνηση του νερού και την αύξηση στη μετάδοση θερμότητας που θα επιφέρει. Σε πολλές περιπτώσεις το τσιμεντάρισμα των ανώτερων τμημάτων (10 με 20 ft) των γεωτρήσεων επαρκώς αποτρέπει την διείσδυση επιφανειακών νερών και την μόλυνση των νερών του εδάφους. Ολοκληρωτική πλήρωση της γεώτρησης με τσιμέντο είναι συχνά άσκοπη και δαπανηρή και θα αυξήσει την θερμική αντίσταση όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3. Σε περιπτώσεις όπου πολλαπλά κοιτάσματα νερού υπάρχουν, το τσιμεντάρισμα μεταξύ των σχηματισμών νερού είναι αποτελεσματικό για την παρεμπόδιση της κατά μήκος μόλυνσης. Παρόλα αυτά οι τοπικοί κανονισμοί μπορεί να υπαγορεύουν τις κατάλληλες διαδικασίες και θα πρέπει να ακολουθηθούν μέχρις ότου λογικές και αποδεκτές μέθοδοι αναπλήρωσης να διαπραγματευτούν.

¹ Δεν συνιστάτε

² Η ροή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3gpm για να αποφευχθεί σε αυτές τις περιπτώσεις στρωτή ροή.

* Βασισμένος στην χρήση του εδαφικού υλικού ως μέσο πλήρωσης της γεώτρησης

Αγωγιμότητα εδάφους	0,9 Btu/h·ft ² ·F		1,3 Btu/h·ft ² ·F			1,7 Btu/h·ft ² ·F	
	0,5 Btu/h·ft ² ·F	2,0 Btu/h·ft ² ·F	0,5 Btu/h·ft ² ·F	1,0 Btu/h·ft ² ·F	2,0 Btu/h·ft ² ·F	0,5 Btu/h·ft ² ·F	1,0 Btu/h·ft ² ·F
Αγωγιμότητα του εδάφους αναπλήρωσης ή τσιμέντου							
4 in. Γεώτρ. ¾ in. Σωλ. U 1 in. Σωλ. U	0,11 ΔΣ 0,07	-0,05 -0,03	0,14 ΔΣ 0,09	0,03 0,02	-0,02 -0,02	0,17 ΔΣ 0,13 ΔΣ	0,05 0,04
5 in. Γεώτρ. ¾ in. Σωλ. U 1 in. Σωλ. U 1 ¼ in. Σωλ. U	0,14 ΔΣ 0,11 ΔΣ 0,06	-0,06 -0,04 -0,03	0,18 ΔΣ 0,14 ΔΣ 0,09	0,04 0,03 0,02	-0,04 -0,02 -0,02	0,21 ΔΣ 0,16 ΔΣ 0,12 ΔΣ	0,06 0,05 0,04
6 in. Γεώτρ. ¾ in. Σωλ. U 1 in. Σωλ. U 1 ¼ in. Σωλ. U 1 ½ in. Σωλ. U	0,18 ΔΣ 0,14 ΔΣ 0,09 0,07	-0,07 -0,06 -0,04 -0,03	0,21 ΔΣ 0,17 ΔΣ 0,12 ΔΣ 0,09	0,04 0,03 0,03 0,02	-0,05 -0,04 -0,02 -0,02	0,24 ΔΣ 0,21 ΔΣ 0,15 ΔΣ 0,11 ΔΣ	0,07 0,06 0,05 0,04

Πίνακας 3.3 * Συντελεστές προσαρμογής για την θερμική αντίσταση για άλλα εδαφικά υλικά αναπλήρωσης και τσιμέντα. (Οι τιμές προστίθενται στις βασικές τιμές του πίνακα 3.2)

Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ή είναι απαραίτητο το τσιμεντάρισμα σε όλο το μήκος της γεώτρησης τα παρακάτω συστήνονται αναμφίβολα:

1. Τσιμεντοκονιάματα με αυξημένη θερμική αγωγιμότητα θα πρέπει να αντικαταστήσουν τα συμβατικά στερεά κονιάματα μπεντονίτη.
2. Η διάμετρος της γεώτρησης θα πρέπει να μειωθεί στο όριο της θερμικής ποιότητάς που σχετίζεται με το χοντρό στρώμα τσιμεντοκονίας μεταξύ του σωλήνα και του τοιχώματος της γεώτρησης. Αυτό συνεπάγεται ότι οι μεγαλύτερες κεφαλές σωλήνων U θα πρέπει να αποφευχθούν.

3.3.4 Χαρακτηριστικά εδάφους και θερμική αντίσταση

Η αντίσταση του εδάφους στην ροή θερμότητας μπορεί να γίνει περίπλοκη λόγω της ποικιλομορφίας των σχηματισμών του εδάφους και των λειτουργικών μοντέλων των κτιρίων που θερμαίνονται ή ψύχονται. Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του εδάφους είναι μια αναγκαία αλλά όχι και τόσο συνήθης αποστολή για τους μηχανικούς. Η μετατροπή των

* Τα κενά αέρος προσθέτουν 0,2 με 0,4 h·ft²·F/Btu στην αντίσταση της γεώτρησης

σημείωση: κάποιοι συντελεστές είναι αρνητικοί, το οποίο δείχνει μια θερμική αύξηση και μικρότερη καθαρή θερμική αντίσταση σε σύγκριση με το φυσικό έδαφος.

γεωλογικών πληροφοριών σε θερμικά χαρακτηριστικά που να έχουν νόημα έχει αποπειραθεί και σε άλλες εφαρμογές. Πολλές έρευνες έχουν γίνει για να δημιουργηθούν πίνακες για θερμικές ιδιότητες του εδάφους. Οι πίνακες 3.4, 3.5, 3.6 δίνουν κάποιες κατευθύνσεις.

Τύπος εδάφους	Ποκνότ ητα χωρίς υγρασία	5% υγρ.		10% υγρ.		15% υγρ.		20% υγρ.	
		k	α	k	α	k	α	k	α
χονδρόκοκκο 100% άμμος	120 lb/ft	1,2-1,9	0,96-11,5	1,4-2	0,93-1,3	1,6-2,2	0,91-1,2	-	-
	100 lb/ft	0,8-1,4	0,77-1,3	1,2-1,5	0,96-1,2	1,3-1,6	0,89-1,1	1,4-1,7	0,84-1,0
λεπτόκοκκο 100% άργιλος	80 lb/ft	0,5-1,1	0,60-1,3	0,6-1,1	0,6-1,1	0,6-1,2	0,51-1,0	0,7-1,2	0,52-0,9
	120	0,6-0,8	0,48-0,64	0,6-0,8	0,4-0,53	0,8-1,1	0,46-0,63	-	-
	100	0,5-0,6	0,48-0,58	0,5-0,6	0,4-0,48	0,6-0,7	0,37-0,48	0,6-0,8	0,41-0,55
	80	0,3-0,5	0,36-0,6	0,35-0,5	0,35-0,5	0,4-0,55	0,34-0,47	0,4-0,6	0,3-0,45

Πίνακας 3.4 Θερμική αγωγιμότητα και διαχυτότητα για αμμώδη και αργιλικά εδάφη¹

Δυστυχώς οι μορφές στην σύνθεση του εδάφους και οι μέθοδοι προσδιορισμού των θερμικών χαρακτηριστικών είναι ακραίες. Η περιεχόμενη υγρασία σε αμμώδη και αργιλικά εδάφη είναι πολύ σημαντική. Άμμος (μέγεθος κόκκου >0,075 mm) και άργιλος (μέγεθος κόκκου < 0,075 mm) δεν χρειάζεται να είναι κορεσμένη σε υγρασία για να παρουσιάζει καλή θερμική αγωγιμότητα. Συνεπώς δεν χρειάζεται απαραίτητως παρουσία νερού στην γεώτρηση ώστε να έχουμε υγρό έδαφος. Ξηρές συνθήκες στην επιφάνεια δεν σημαίνει απαραίτητα και ξηρές συνθήκες σε χαμηλότερα βάθη. Επίσης επισημαίνεται ότι η παρουσία βλάστησης είναι ένδειξη υγρασίας.

Ο πίνακας 3.4 παρέχει ένα εύρος θερμικών τιμών για αμμώδη και αργιλικά εδάφη. Τα περισσότερα εδάφη είναι ένας συνδυασμός λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων σχηματισμών. Μια λεπτομερής ανάλυση μπορεί να διεξαχθεί για να καθορίσει το ποσοστό των συστατικών που είναι χονδρόκοκκα ή λεπτόκοκκα. Μπορεί να υπολογιστεί ένας μέσος όρος και η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας να βρεθεί με γραμμική παρεμβολή μεταξύ του 100% χονδρόκοκκου και 100% λεπτόκοκκου εδάφους από πίνακες.

Ο πίνακας 3.5 δίνει θερμικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων, κοινά για τον φλοιό της γης. Η μεταβολή στην θερμική αγωγιμότητα είναι πάλι πρωταρχική. Οι αναφορές περιέχουν ένα

¹ Θερμική αγωγιμότητα (k)- $Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F$, θερμική διαχυτότητα (α)- $ft^2/ημέρα$
 χονδρόκοκκο έδαφος= 0,075 με 5 mm – λεπτόκοκκο έδαφος= λιγότερο από 0,075 mm

μεγάλο αριθμό δειγμάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας για τα πετρώματα ακολουθούν μια καμπύλη σε σχήμα καμπάνας. Τιμές στα χαμηλά άκρα του εύρους δείχνουν πετρώματα με υψηλό πορώδες. Τα δεδομένα του πίνακα 3.5 παρουσιάζονται σε δυο μορφές: το εύρος της αγωγιμότητας το οποίο όλα τα δείγματα ακολουθούν και ένα μέσο εύρος το οποίο ένα 80% των δειγμάτων ακολουθούν. Το 80% εύρος συνιστάται για σχεδιασμό όταν δεν υπάρχουν λεπτομερή στοιχεία ανάλυσης.

Ο πίνακας 3.6 παρουσιάζει τις αγωγιμότητες υλικών πλήρωσης των γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται για σωλήνες σχήματος U. Η αποθήκευση θερμότητας στα υλικά πλήρωσης της γεώτρησης, τα οποία λαμβάνονται υπόψη για την θερμική διαχυτότητα, είναι αμελητέα. Η θερμική αγωγιμότητα των υλικών πλήρωσης είναι εξαιρετικά σημαντική, λόγω των σχετικά υψηλών ρυθμών ροής θερμότητας που φυσικά συμβαίνουν κοντά στις σωληνώσεις. Οι τιμές του πίνακα 3.6 θα χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τις τιμές του πίνακα 3.3.

Οι πιο δύσκολες παράμετροι από άποψη υπολογισμού της εξίσωσης (3.2) και (3.3) είναι οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους. Οι λύσεις των Carslaw και Jaeger απαιτούν ότι κατά την διάρκεια λειτουργίας, η εξωτερική διάμετρος σωλήνα και η θερμική διαχυτότητα του εδάφους να σχετίζονται με τον αδιάστατο αριθμό Fourier (Fo).

$$Fo = \frac{4a_g \tau}{d^2} \quad (3.4)$$

Η μέθοδος των Carslaw και Jaeger έχει προσδιοριστεί για να επιτρέπει υπολογισμό των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων για ποικίλους θερμικούς παλμούς. Θεωρούμε ένα σύστημα το οποίο μπορεί να μοντελοποιηθεί σε τρεις θερμικούς παλμούς, ένα 10-ετή (3650 ημέρες) παλμό του q_a , ένα μηνιαίο (30 ημέρες) του q_m και έναν εξάωρο παλμό (0,25 ημέρες) του q_d . Οι τρεις χρόνοι προσδιορίζονται σαν:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 3650 \\ \tau_2 &= 3650 + 30 = 3680 \\ \tau_f &= 3650 + 30 + 0.25 = 3680.25 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Ο αριθμός Fourier τότε υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες τιμές:

$$\begin{aligned} Fo_f &= \frac{4a\tau_f}{d^2} \\ Fo_1 &= \frac{4a(\tau_f - \tau_1)}{d^2} \\ Fo_2 &= \frac{4a(\tau_f - \tau_2)}{d^2} \end{aligned} \quad (3.6)$$

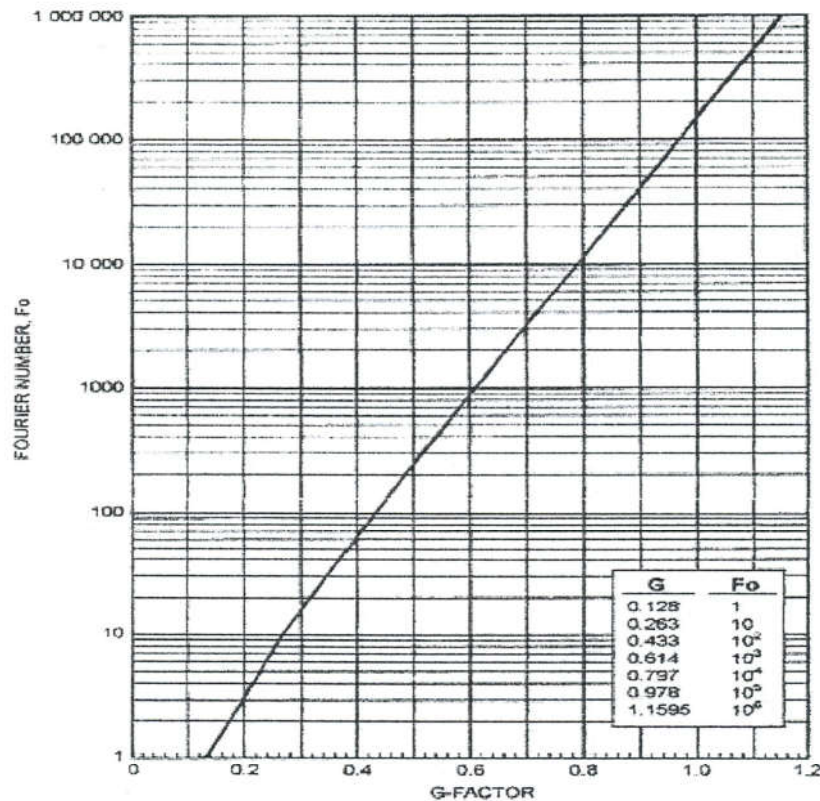
Ο συντελεστής G για κάθε μία από τις τιμές Fourier τότε καθορίζεται από το σχήμα 3.9. Οι τρεις ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις κατά την διάρκεια καθενός από τους παλμούς βρίσκονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} R_{g\alpha} &= \frac{G_f - G_1}{k_g} \\ R_{gm} &= \frac{G_1 - G_2}{k_g} \\ R_{gd} &= \frac{G_2}{k_g} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Τύπος πετρώματος	% εμφάνιση στο φλοιό της γης ¹	κ-όλα ² θερ.αγ ωγ. Btu/h·ft ²	κ-80% θερμ.αγω γ Btu/h·ft ² F	c _p ειδική θερμότη τα Btu/lb ^o F	ρ πυκνότη τα lb/ft ³	α(k/ρc _p) θερμική διαχυτότητα ft ² /ημέρα
Πυριγενή Πετρώματα						
Γρανίτης (10% χαλαζίας)	10,4	1,1-3	1,3-1,9	0,21	165	0,9-1,3
Γρανίτης (25% χαλαζίας)			1,5-2,1			1,0-1,4
Αμφιβολίτης		1,1-2,7	1,5-2,2		175-195	
Ανδαλουσίτης		0,8-2,8	0,9-1,4	0,12	160	1,1-1,7
Βασάλτης		1,2-1,4		0,17- 0,21	180	0,7-0,9
Ασβεστολιθικός βράχος	42,8	0,9-1,6		0,18	185	0,65-1,15
Ασβεστολιθικός βράχος		1,2-2,1				0,85-1,5
Κοκκοειδής κρυσταλλικός βράχος		1,2-1,9	1,2-1,7	0,22	180	0,7-1,0
Μεγάλοι κοκκοειδείς κρυσταλλικοί βράχοι	11,2	1,2-2,0		0,21	170	0,8-1,3
Ιζηματοειδή Πετρώματα						
Αργιλικά		1,1-1,7				
Δολομίτης		0,9-3,6	1,6-3,6	0,21	170-175	1,1-2,3
Ασβεστόλιθοι		0,8-3,6	1,4-2,2	0,22	150-175	1,0-1,4
Ορυκτά άλατα		3,7		0,20	130-135	
Ψαμμίτης	1,7	1,2-2,0		0,24	160-170	0,7-1,2
Βράχος ξεραμένης λάσπης		0,8-1,4				
Υγρός σχιστόλιθος(25% χαλαζίας)			1,0-1,8			0,9-1,2
Υγρός σχιστόλιθος(όχι χαλαζίας)			0,6-0,9			0,5-0,6
Ξηρός σχιστόλιθος(25%χ αλαζίας)	4,2	0,6-2,3		0,21	130-165	0,7-1,0
Ξηρός σχιστόλιθος(όχι χαλαζίας)			0,5-0,8			0,45-0,55
Μεταμορφικά Πετρώματα						
Γνευσίτης	21,4	1,0-3,3	1,3-2,0	0,22	160-175	0,9-1,2
Μάρμαρα	0,9	1,2-3,2	1,2-1,9	0,22	170	0,8-1,2
Χαλαζίας		3,0-4,0		0,20	160	2,2-3,0
Σχιστόλιθος	5,1	1,2-2,6	1,4-2,2		170-200	
Σχιστόλιθος		0,9-1,5		0,22	170-175	0,6-0,9

Πίνακας 3.5 Θερμικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων στους 77° F

¹ Το ποσοστό ιζηματογενών πετρωμάτων είναι υψηλότερο κοντά στην επιφάνεια² Το "όλα" αντιπροσωπεύει το εύρος αγωγιμότητας όλων των δειγμάτων που έχουν ελεγχθεί



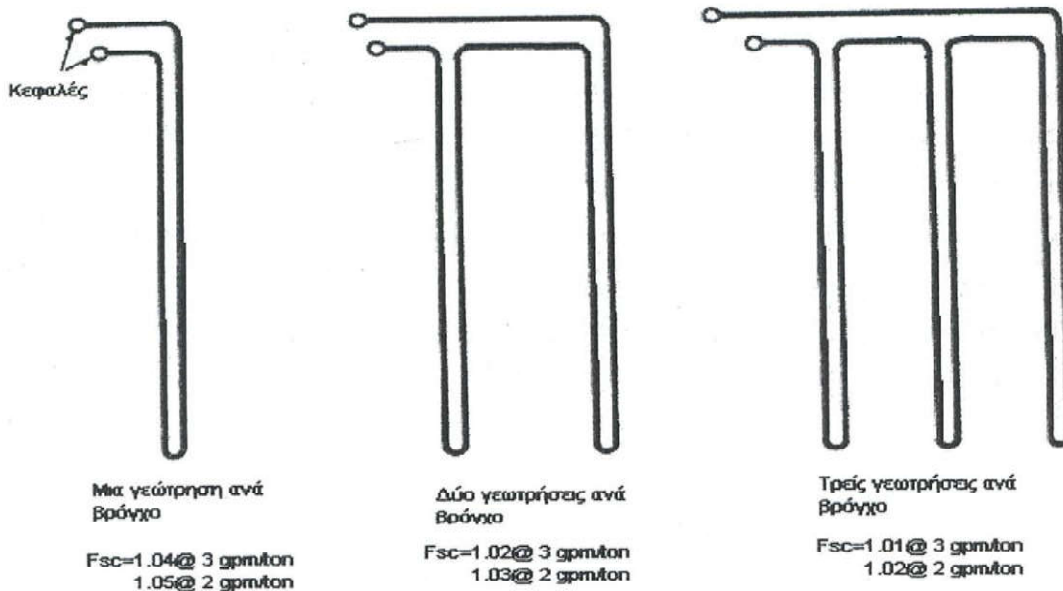
Σχήμα 3.9 Διάγραμμα Fourier/ Συντελεστή G για την θερμική αντίσταση του εδάφους

Υπάρχει κάποια μείωση στην απόδοση εξαιτίας των απωλειών θερμότητας μικρού βρόγχου μεταξύ της ροής ανόδου και καθόδου ενός τυπικού βρόγχου σχήματος U. Η μείωση είναι περίπου 4% όταν η ροή του ρευστού είναι 3gpm ανά ton. Οι απώλειες μπορούν να υπολογιστούν πολλαπλασιάζοντας την ισοδύναμη θερμική αντίσταση για τον ημερήσιο παλμό με 1,04. Οι απώλειες μειώνονται δραστικά εάν υπάρχουν πολλές σωληνώσεις σε ένα βρόγχο. Αυτό μπορεί να συμβεί σε μεγάλης διαμέτρου σωλήνες που δεν έχουν μεγάλες πτώσεις πίεσης για μεγάλο μήκος σωλήνες. Για παράδειγμα συνιστάται οι 1 ½ in. σωλήνες να είναι 600 με 800 ft σε μήκος ανά βρόγχο. Μεγαλύτερα μήκη θα παρουσιάσουν μεγάλες πτώσεις πίεσης και μικρότερα μήκη θα έχουν μικρές ροές και πιθανώς μικρή απόδοση λόγω στρωτής ροής. Είναι συχνά δύσκολη η τοποθέτηση ενός σωλήνα U σε 600ft, αλλά είναι πολύ περισσότερο δυνατόν η τοποθέτηση 2 σωλήνων σε 300 ft ή 3 σωλήνων σε 200ft σε πολλαπλούς βρόγχους σε σειρά. Σ' αυτήν την περίπτωση η διαφορά θερμοκρασίας και οι

απώλειες θερμότητας μεταξύ των σωληνώσεων θα είναι μικρότερη σε σχέση με ένα σωλήνα σε ένα βρόγχο. (σχήμα 3.10)

Τσιμεντοκονιάματα χωρίς πρόσθετα	k ($Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F$)	Θερμικά ενισχυμένα τσιμεντοκονιάματα	k ($Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F$)
20% Βεντονίτης	0,42	20% Βεντονίτης- 40% χαλαζίας	0,85
30% Βεντονίτης	0,43	30% Βεντονίτης- 30% χαλαζίας	0,7-0,75
Τσιμεντοκονία	0,40-0,45	30% Βεντονίτης- 30% σιδηρομετάλλευμα	0,45
Σκυρόδεμα @ 130/150 <i>lb/ft³</i>	0,60/0,80	60% χαλαζίας- πλήρωση (τσιμέντο+ υπτάμενη τέφρα+ άμμος)	1,07
Σκυρόδεμα (50% χαλαζίας)	1,1-1,7		

Πίνακας 3.6 Θερμικές αγωγιμότητες για τυπικά υλικά πλήρωσης



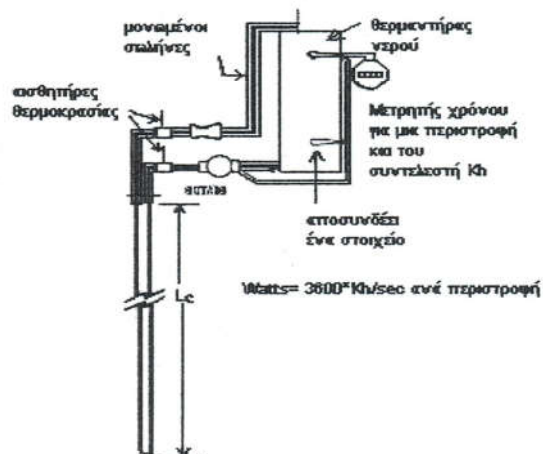
Σχήμα 3.10 Δυνατές διατάξεις παράλληλων σωληνών

3.3.5 Έλεγχος περιοχής για προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους

Για να αποκτηθούν ακριβείς τιμές των θερμικών χαρακτηριστικών απαιτούνται λεπτομερείς γεωλογικές μελέτες της περιοχής. Κάποια αβεβαιότητα μπορεί να εξαλειφθεί διεξάγοντας λεπτομερή ανάλυση ζυγίζοντας τα εσκαμμένα υλικά (εξίσου υγρά και ξηρά) και εφαρμόζοντας κατάλληλες εξισώσεις. Παρόλα αυτά η περιεχόμενη υγρασία, η ακεραιότητα

του υλικού πλήρωσης και άλλες θερμικές ιδιότητες είναι δύσκολο να υπολογιστούν με τυπικά εργαστηριακά τεστ.

Πιθανόν η καλύτερη ένδειξη είναι η απόδοση ενός συστήματος γεωεναλλάκτη σε ένα κοντινό κτίριο που να έχει παρόμοια χαρακτηριστικά. Παρόλα αυτά αυτή η πολυτέλεια δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Συνεπώς σε πολλές περιπτώσεις οι έλεγχοι περιοχής είναι εγγύηση για τον καθορισμό των θερμικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Επιπρόσθετα αυτός ο τύπος ελέγχου θα δώσει μια επιπλέον ένδειξη για το επίπεδο δυσκολίας εφαρμογής της γεώτρησης στους σχηματισμούς του εδάφους. Αυτό θα μειώσει την αβεβαιότητα των γεωτρήσεων όταν αναθέτεται η εργασία και παράλληλα το κόστος τους. Το σχήμα 3.11 είναι ένα διάγραμμα ενός τύπου συστήματος που χρησιμοποιεί ένα βρόγχο για να καθορίσει τα θερμικά χαρακτηριστικά. Ένας τυπικός ηλεκτρικός θερμοσίφοντας συνδέεται στον σωλήνα. Μια ακριβής και χαμηλού κόστους μέθοδος για τον καθορισμό του ρυθμού θερμότητας στο έδαφος είναι ένας τυπικός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh). Ο μετρητής μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει ισχύ (kW) μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται για μια περιστροφή. Κάθε μετρητής έχει ένα συντελεστή K_h , ο οποίος είναι οι Wh που καταναλώνονται για κάθε περιστροφή. Εφαρμόζοντας την εξίσωση στο σχήμα 3.11 θα πάρουμε την ισχύ σε kW. Η μέση ισχύς μπορεί επίσης να καθοριστεί διαβάζοντας τις kWh στην αρχή και στο τέλος του ελέγχου και διαιρώντας την διαφορά με το χρόνο του ελέγχου.



Σχήμα 3.11 Συσκευή πεδίου για τον καθορισμό των θερμικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

Τα μέτρα προφύλαξης που πρέπει να ληφθούν είναι:

- Μόνωση όλων των σωληνώσεων πάνω από το έδαφος
- Μέτρηση της ισχύος της αντλίας αλλά και του ηλεκτρικού στοιχείου
- Τοποθέτηση των αισθητηρίων θερμοκρασίας όπως φαίνεται στο σχήμα (όχι μεταξύ της αντλίας και του θερμοσίφωνα)
- Κλείσιμο της εισόδου και εξόδου των μετρητών θερμοκρασίας για κάθε μέτρηση και χρήση ενός μέσου όρου των μετρήσεων για μείωση λάθους
- Το έδαφος δεν θα πρέπει να έχει θερμανθεί ή ψυχθεί πριν τον έλεγχο
- Το μήκος του σωλήνα ελέγχου στο έδαφος θα πρέπει να είναι 35 με 50 ft ανά ηλεκτρικό στοιχείο kW και η ροή 1gpm ανά 1,5 kW (π.χ 4500W στοιχείο, $L_c \approx 200$ ft, $gpm \approx 3$)

Η θερμική αγωγιμότητα (και διαχυτότητα) μπορούν να υπολογιστούν αντιστρέφοντας την διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους του εναλλάκτη. Η εξίσωση 3.2 αναδιαμορφώνεται και αρκετοί όροι μπορούν να παραληφθούν.

Αυτοί είναι το q_a , q_{lc} , R_{gm} και t_p .

$$R_{gd} = \left[\frac{L_c \times \left(t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} \right)}{-W_c} - R_b \right] \times \frac{1}{F_{sc}} \quad (3.8)$$

Η τιμή που προκύπτει για το R_{gd} τώρα θα πρέπει να συγκριθεί με μια τιμή που μετρήθηκε από την εξίσωση (3.4) και το σχήμα 3.9 θεωρώντας τιμή για την θερμική αγωγιμότητα k_g και διαχυτότητα α_g . Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι οι δύο τιμές για το R_{gd} να είναι ίδιες.

3.3.6 Θερμικές ροές για τους γεωεναλλάκτες εδάφους

Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις 3.2, 3.3 βρίσκονται από διάφορες πηγές όπως περιγραφές κτιρίων, χαρακτηριστικά εδάφους, δεδομένα απόδοσης αντλιών θερμότητας,

δεδομένα σωληνώσεων και σχεδιαστικές επιλογές. Ο συντελεστής μηνιαίου μερικού φορτίου PLF_m για τον βρόγχο του εδάφους βρίσκεται από πληροφορίες για το φορτίο του κτιρίου.

$$PLF_m = \frac{\sum \text{φορτίο} \times \text{ώρες}}{\text{μέγιστο} \cdot \text{φορτίο} \times 24 \text{ ώρες}} \times \frac{N / \text{μήνα}}{\text{ημέρες} / \text{μήνα}} \quad (3.9)$$

Όπου:

$N / \text{μήνα}$: ημέρες λειτουργίας ανά μήνα

$\text{ημέρες} / \text{μήνα}$: σύνολο ημερών του μήνα

Το γινόμενο φορτίου- ωρών μπορεί να γίνει σε ωριαία βάση αλλά ένα μέσο φορτίο κατά την διάρκεια τεσσάρων ωρών συνιστάται για να μειωθούν οι υπολογισμοί.

Η μέση καθαρή ροή θερμότητας q_a υπολογίζεται με ένα παρόμοιο τρόπο για ένα ολόκληρο χρόνο. Η ολική ετήσια θερμότητα που εισέρχεται στο έδαφος κατά την διάρκεια της ψύξης μπαίνει σαν αρνητική τιμή και πρέπει να περιλαμβάνει την θερμότητα συμπίεσης. Η ολική θερμότητα που απορροφάται από το έδαφος κατά την διάρκεια του χειμώνα είναι θετική τιμή, με την θερμότητα συμπίεσης αφαιρούμενη, αφού μεταφέρεται στο κτίριο και όχι στο έδαφος. Η εξίσωση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$q_a = \frac{\sum q_{ic} \times \frac{EER + 3,41}{EER} \times h_c + \sum q_{ih} \times \frac{COP - 1}{COP} \times h_h}{8760h / yr} \quad (3.10)$$

Όπου:

EER: Energy Efficiency Ratio (Ενεργειακός Βαθμός Απόδοσης)

COP: Coefficient of Performance (Συντελεστής Συμπεριφοράς)

h_c : ώρες λειτουργίας κατά την θερινή περίοδο

h_h : ώρες λειτουργίας κατά την χειμερινή περίοδο

Οι τιμές για το q_{lc} και q_{lh} αντιπροσωπεύουν τα μέγιστα ψυκτικά και θερμικά φορτία. Οι τιμές για τις ώρες μπορούν να είναι εκτιμήσεις αφού αυτός ο όρος δεν μεταβάλλει και πολύ το αποτέλεσμα των εξισώσεων (3.2), (3.3).

Οι τιμές για το μέγιστο ψυκτικό και θερμικό φορτίο λαμβάνονται από τυπικούς υπολογισμούς φορτίων. Πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να περιληφθούν μόνο οι ζώνες που συνδέονται με τον γεωεναλλάκτη που διαστασιολογείται εάν πολλαπλοί βρόγχοι χρησιμοποιούνται. Η ισχύς εισόδου στις αντλίες θερμότητας (συμπιεστές και ανεμιστήρες) κατά την διάρκεια των μέγιστων φορτίων θα πρέπει να καθοριστεί. Αυτό μπορεί να γίνει αθροίζοντας το γινόμενο του συντελεστή μερικού φορτίου (PLF_d) με την μέγιστη ισχύ (W_o) της κάθε αντλίας θερμότητας που συνδέεται στο βρόγχο:

$$\overline{W_o} = \sum PLF_d \times W_o \quad (3.11)$$

Οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους υπολογίζονται από τις ιδιότητες του εδάφους, διαστάσεις σωλήνων και περιόδους λειτουργίας για τους αντιπροσωπευτικούς παλμούς της ροής θερμότητας. Οι πίνακες 3.4, 3.5, 3.6 δίνουν τυπικά θερμικά χαρακτηριστικά για εδάφη και οι πίνακες 3.2, 3.3 δίνουν ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις και διαμέτρους για κάθετους γεωεναλλάκτες.

3.3.7 Θερμοκρασίες του συστήματος του γεωεναλλάκτη εδάφους

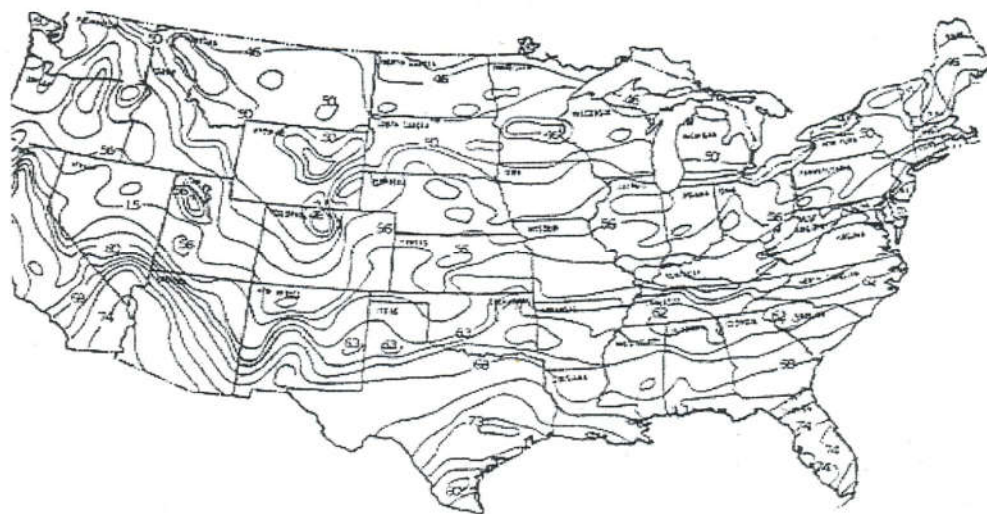
Οι όροι που απόμειναν στις εξισώσεις (3.2), (3.3) είναι οι θερμοκρασίες. Η τοπική θερμοκρασία εδάφους t_g μπορεί να βρεθεί από γεωλογικές έρευνες ή μετρήσεις από υδάτινες γεωτρήσεις. Μια δεύτερη επιλογή, αλλά όχι και τόσο ακριβής είναι από χάρτες με ισούψεις καμπύλες θερμοκρασιών εδάφους που έχουν βρεθεί από γεωλογικές μελέτες όπως στο σχήμα 3.12. & 3.13.

Η επιλογή της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στην αντλία θερμότητας είναι μια πολύ σημαντική επιλογή για την εξέλιξη του σχεδιασμού. Επιλέγοντας μια θερμοκρασία πολύ κοντά στην θερμοκρασία εδάφους θα συντελέσει σε υψηλή απόδοση του συστήματος αλλά το απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων στο έδαφος θα είναι πολύ μεγάλο και συνεπώς άσκοπα

ακριβό. Επιλέγοντας μια τιμή πολύ μικρότερη από την t_g μπορεί να συντελέσει σε μικρό φθινό σύστημα αλλά οι αντλίες θερμότητας θα έχουν μειωμένη χωρητικότητα για την θέρμανση και υψηλή ζήτηση το καλοκαίρι. Προτείνεται ότι η επιλογή της t_w σε 20 με 30° F υψηλότερη από την t_g για ψύξη και 10 με 20° F χαμηλότερη από την t_g για θέρμανση, είναι ένας καλός συμβιβασμός μεταξύ του αρχικού κόστους και απόδοσης.



Σχήμα 3.12 Θερμοκρασιακό προφίλ υπόγειων υδάτων για μια πολιτεία των Η.Π.Α



Σχήμα 3.13 Θερμοκρασίες υπόγειων υδάτων προσεγγιστικές για τις Η.Π.Α

Η θερμοκρασία εξόδου του νερού σχετίζεται με τον ρυθμό ροής του ρευστού, την χωρητικότητα της μονάδας και την ισχύ εισόδου:

$$t_{wo} (^{\circ}F) = t_{wi} (^{\circ}F) - \frac{q(Btu/h) - 3,412\bar{W}(Watts)}{500 \times Q_w(gpm)} \quad (3.12)$$

Η τιμή για το q μπορεί να είναι είτε το θερμικό ή ψυκτικό φορτίο του κτιρίου χρησιμοποιώντας θετικό πρόσημο για το θερμικό και αρνητικό για το ψυκτικό. Ο συντελεστής μετατροπής 500 είναι για την ειδική θερμότητα και πυκνότητα του νερού και μετατροπή σε gal/h. Εάν χρησιμοποιείται αντιψυκτικό τότε η τιμή 500 αντικαθίσταται με

$$CV = 60 \times \rho(lb/gal) \times c_p(Btu/lb \cdot ^{\circ}F) \quad (3.13)$$

Μια τελική θερμοκρασία που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ποινή t_p που προκύπτει από την θερμική ανταλλαγή από τις διτλανές γεωτρήσεις. Πάλι ο σχεδιαστής αντιμετωπίζει το πρόβλημα της επιλογής μιας απόστασης ικανής να μειώσει την απαιτούμενη έκταση χωρίς να προκαλέσει αύξηση του απαιτούμενου μήκους σωλήνων. Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι να θεωρηθεί μια λογική τιμή ($\pm 1^{\circ}F - 5^{\circ}F$ για μια 10-ετή περίοδο) όταν εφαρμόζονται οι εξισώσεις (3.2) ή (3.3), να υπολογιστεί η αληθινή τιμή της ποινής t_p και είτε να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων ή να προστεθεί κι άλλο μήκος σωληνώσεων στις γεωτρήσεις ανάλογα με τις συνθήκες του κτιρίου.

Η λύση της γραμμικής πηγής θερμότητας η οποία συχνά χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό οικιακών εφαρμογών γεωεναλλακτών, είναι μια αποδεκτή εξίσωση για τον καθορισμό της ποινής θερμοκρασίας. Μόνο ο ετήσιος καθαρός παλμός ροής θερμότητας λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της αλλαγής θερμοκρασίας στο έδαφος για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Εάν μια κάθετη γεώτρηση περιστοιχίζεται από άλλες γεωτρήσεις δεν είναι δυνατόν να διαχυθεί η θερμότητα σε απόσταση μεγαλύτερη της μισής απόστασης που χωρίζουν τις γεωτρήσεις. Άρα, ολόκληρος ο κύλινδρος του εδάφους που περιστοιχίζει την κάθετη γεώτρηση θα αυξηθεί θερμοκρασιακά εάν η θερμότητα που απορρίπτεται είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας που απορροφάται. Αυτή η θερμοκρασία θα μειωθεί εάν η θερμότητα που απορροφάται είναι μεγαλύτερη.

Η κίνηση των υπόγειων υδάτων έχει μεγάλη επίδραση πάνω στην μακρόχρονη θερμοκρασιακή αλλαγή ενός πυκνά τοποθετημένου συστήματος γεωεναλλάκτη. Το ποσό της επίδρασης δεν έχει μελετηθεί λεπτομερώς, έτσι ο μηχανικός απομένει με μια ποικιλία μηκών που μπορεί να εγκαταστήσει: ένα βασισμένο σε μικρή κίνηση υδάτων, όπως σε πολύ στεγανά αργιλικά εδάφη με μικρούς ρυθμούς διείσδυσης και ένα δεύτερο βασισμένο σε μεγαλύτερους ρυθμούς, χαρακτηριστικό του πορώδους εδάφους.

Αυτή η θεώρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί θεωρώντας ότι δεν διαχέεται θερμότητα έξω από ένα τετραγωνικό κύλινδρο με πλευρές ίσες με την απόσταση των γεωτρήσεων (d_{sep}). Το ποσό της θερμότητας που κανονικά διαχέεται υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την λύση της γραμμικής πηγής και μετά η θερμοκρασιακή αλλαγή στην γύρω περιοχή της γεώτρησης βρίσκεται από:

$$t_{pl} = \frac{Q_{stored}}{\rho \cdot c_p \cdot d_{sep}^2 \cdot L} \quad (3.14)$$

Το ποσό θερμότητας που κανονικά διαχέεται πέρα από τον κύλινδρο του εδάφους καθορίζεται πολλαπλασιάζοντας την διαφορά μεταξύ της κανονικής θερμοκρασίας του εδάφους γύρω από μια μονού σωλήνα γεώτρηση και την σταθερή θερμοκρασία εδάφους από την αποθήκευση θερμότητας στο έδαφος.

Θεωρούμε ένα πλέγμα στο οποίο κάθετες γεωτρήσεις απέχουν 20ft. Ένας τετράγωνος κύλινδρος με 20ft πλευρές πρέπει να αποθηκεύει όλη την θερμότητα που κανονικά διαχέεται πέρα από αυτή την απόσταση. Η επίδραση ενός μηνιαίου παλμού θερμότητας θα είναι μικρή για αυτή την απόσταση. Παρόλα αυτά μια ετήσια αστάθεια θα προκαλέσει αύξηση αρκετών βαθμών. Για να υπολογιστεί αυτό το ποσό, η εξίσωση γραμμικής πηγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η αλλαγή θερμοκρασίας 11 ft από την γεώτρηση μετά από 10 χρόνια καθαρής απόρριψης θερμότητας. Το ποσό θερμότητας που αποθηκεύεται σε κούφιο κύλινδρο εξωτερικής διαμέτρου 12ft και εσωτερικής διαμέτρου 10ft θα μπορούσε να βρεθεί πολλαπλασιάζοντας την θερμοκρασιακή αλλαγή στα 11 ft με την αποθήκευση της θερμότητας (πυκνότητα* ειδική θερμότητα* όγκος). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κούφιους κυλίνδρους αυξανόμενης ακτίνας μέχρι να επιτευχθεί μια απόσταση 25 με 30 ft. Σ'

αυτή την απόσταση η θερμότητα διαχέεται κανονικά χωρίς την βοήθεια της κίνησης των υδάτων. Ο όρος της εξίσωσης (3.14) για την θερμότητα που αποθηκεύεται βρίσκεται αθροίζοντας τα αποτελέσματα για όλους τους κυλίνδρους:

$$Q_{stored} = \sum \rho \cdot c_p \cdot \pi \cdot L (r_0^2 - r_1^2) \times (\Delta T_r) \quad (3.15)$$

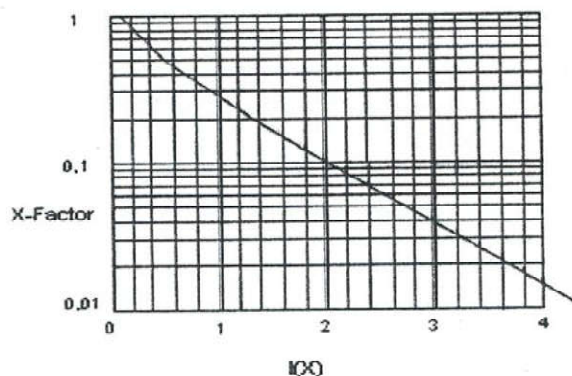
Η εφαρμογή της λύσης της γραμμικής πηγής είναι παρόμοια με την λύση της κυλινδρικής πηγής θερμότητας. Ένας αδιάστατος όρος χρησιμοποιείται για να συσχετίσει την θερμική διαχυτότητα (α), τον χρόνο λειτουργίας (τ) και την απόσταση από την πηγή θερμότητας (r). Ο Ingersoll χρησιμοποιεί τον όρο

$$X = \frac{r}{2\sqrt{\alpha\tau}} \quad (3.16)$$

Η διαφορά μεταξύ της αδιατάραχτης θερμοκρασίας του εδάφους και της θερμοκρασίας σε απόσταση r από ένα κάθετο σύστημα είναι:

$$\Delta T_r = \frac{q_a I(x_a)}{2\pi \cdot k_g \cdot L} \quad (3.17)$$

Οι τιμές για το $I(x)$ καθορίζονται από το σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.14 Διάγραμμα για τον υπολογισμό του $I(X)$ για τη θερμοκρασιακή πωινή

Η ποινή θερμοκρασίας του πεδίου μοιράζεται κατ' αναλογία βασισμένη σε ένα αριθμό γεωτρήσεων που βρίσκονται κοντά σε ένα, δύο ή τρεις άλλες γεωτρήσεις. Για παράδειγμα ένα 3×4 κάθετο πλέγμα θα έχει 2 γεωτρήσεις περιστοιχισμένες από άλλες 4 γεωτρήσεις, έξι γεωτρήσεις περιστοιχισμένες από 3 άλλες και 4 γεωτρήσεις περιστοιχισμένες από 2 μόνο γεωτρήσεις. Συνεπώς,

$$t_p = \frac{N_4 + 0,5N_3 + 0,25N_2 + 0,1N_1}{\text{total_number_of_bores}} = \frac{2 + 0,5 \times 6 + 0,25 \times 4}{3 \times 4} \times t_{pt} = 0,5t_{pt} \quad (3.18)$$

Όπου t_{pt} είναι η ποινή για μια γεώτρηση περιστοιχισμένη στις τέσσερις πλευρές από άλλες γεωτρήσεις και N_i ($i=1 \div 4$) ο αριθμός των γεωτρήσεων που περιστοιχίζονται από μία, δύο, τρεις ή τέσσερις προσκείμενες γεωτρήσεις. Οι πολλαπλασιαστές στην εξίσωση παίρνουν σαν δεδομένο ότι η θερμότητα που διαχέεται είναι μεγαλύτερη σε μία γεώτρηση που δεν εμποδίζεται από άλλες τέσσερις.

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Στην παράγραφο αυτή θα εφαρμόσουμε τις εξισώσεις της παραγράφου 3.3 για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την λειτουργία του κτιρίου ως εξοχική κατοικία. Όπως έχουμε υπολογίσει το θερμικό φορτίο του κτιρίου είναι $q_{th} = 43,593$ KW. Για την αδιατάραχτη (σταθερή) θερμοκρασία του εδάφους θεωρούμε ότι είναι ίση με τη μέση θερμοκρασία του αέρα της περιοχής, όπου για την Φλώρινα είναι 12°C . Επιλέγουμε λοιπόν $t_g = 12^\circ \text{C}$. Η θερμοκρασία εισόδου του νερού στην αντλία θερμότητας θα πρέπει να είναι μικρότερη της t_g . Εάν επιλέξουμε τιμή κοντά σε αυτή της σταθερής θερμοκρασίας του εδάφους η απόδοση του συστήματος θα είναι μεγάλη αλλά παράλληλα και το μήκος των απαιτούμενων σωλήνων. Το αντίθετο θα συμβεί αν η θερμοκρασία είναι πολύ μικρότερη. Άπτεται στην κρίση του μηχανικού η επιλογή της θερμοκρασίας. Από τα δεδομένα της επιλογής αντλίας θερμότητας (βλέπε παρακάτω) η θερμοκρασία εξόδου από αυτή είναι $t_{wo} = 5^\circ \text{C}$. Η θερμοκρασία εισόδου στην αντλία θερμότητας επιλέγεται $t_{wi} = 10^\circ \text{C}$. Η θερμοκρασιακή ποινή t_p επιλέγεται $1-5^\circ \text{C}$ και στην συνέχεια διορθώνεται για να βρεθεί το πραγματικό μήκος σωληνώσεων. Μια λογική τιμή είναι $1,3^\circ \text{C}$. Οι σωλήνες τύπου U που

επιλέγονται είναι κατασκευασμένοι από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο με θερμική αγωγιμότητα $\lambda_{PE} = 0,45^1$ W/mK, εξωτερικής διαμέτρου $D_{εξ} = 1 \frac{1}{4}$ in = 0,031m και εσωτερικής διαμέτρου $D_{εσ} = 0,027$ m. Η γεώτρηση που θα δεχθεί τις σωληνώσεις θα έχει διάμετρο $D_{γεωτρ} = 6$ in = 0,15m. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του εδάφους μια τιμή για κοινό τύπο εδάφους για τα Ελληνικά δεδομένα είναι $k_g = 1,4$ W/mK, $\rho = 2000$ Kg/m³, $c_p = 1400$ J/KgK. Από τα στοιχεία αυτά βρίσκουμε την θερμική διαχυτότητα του εδάφους

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} = 0.0432 \text{ m}^2/\text{ημέρα}$$

Με βάση όσα έχουμε αναφέρει και χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίζουμε τους όρους της εξίσωσης για τον υπολογισμό του μήκους της απαιτούμενης γεώτρησης.

• Θερμικές αντιστάσεις εδάφους

Το σύστημα μοντελοποιείται για τρεις χρονικούς παλμούς, ένα 10ετή γιατί τα περισσότερα συστήματα είναι σταθερά μετά από μια πάροδο 10 χρόνων, ο βρόγχος του εναλλάκτη σχεδιάζεται κατά την διάρκεια του χειρότερου μήνα του χειμώνα (30 ημέρες), κατά την διάρκεια ενός εξαώρου (0,25 ημέρες). Συνεπώς:

$$\tau_1 = 3650$$

$$\tau_2 = 3650 + 30 = 3680$$

$$\tau_f = 3650 + 30 + 0.25 = 3680.25$$

Τότε οι αριθμοί Fourier για τους τρεις παλμούς είναι:

$$Fo_f = \frac{4a\tau_f}{d^2} = 661755.67$$

$$Fo_1 = \frac{4a(\tau_f - \tau_1)}{d^2} = 5439.33$$

$$Fo_2 = \frac{4a(\tau_f - \tau_2)}{d^2} = 44.95$$

¹ VDI- Warmeatlas, 8. Auflage 1997

Από το σχήμα 3.9 υπολογίζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές G:

$$\begin{aligned} G_f &= 1.12 \\ G_1 &= 0.752 \\ G_2 &= 0.371 \end{aligned}$$

Από την εξίσωση 3.7 βρίσκουμε τις θερμικές αντιστάσεις:

$$\begin{aligned} R_{ga} &= \frac{G_f - G_1}{k_g} = 0.262 \text{ m}^\circ\text{K/W} \\ R_{gm} &= \frac{G_1 - G_2}{k_g} = 0.272 \text{ m}^\circ\text{K/W} \\ R_{gd} &= \frac{G_2}{k_g} = 0.265 \text{ m}^\circ\text{K/W} \end{aligned}$$

• Θερμική αντίσταση γεώτρησης

Για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης της γεώτρησης δεν θα χρησιμοποιηθούν οι πίνακες που δίνονται στην παράγραφο 3.3, αλλά θα εφαρμοστούν οι εξισώσεις της αντίστασης ενός κυλίνδρου όπως γνωρίζουμε από την μετάδοση θερμότητας. Επειδή όμως η γεώτρηση περιλαμβάνει δύο σωλήνες θα πρέπει να βρούμε την ισοδύναμη διάμετρο και την ισοδύναμη αντίσταση των σωλήνων¹.

$$D_{oe} = \sqrt{n} \cdot D_o \quad (3.19)$$

όπου D_o : η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα (m)

και n : ο αριθμός των σωλήνων στην γεώτρηση

¹ Οι εξισώσεις για την ισοδύναμη διάμετρο των σωλήνων και για την ισοδύναμη αντίσταση είναι από το βιβλίο "Design/ Data manual for closed- loop ground- coupled heat pump systems", J.E.Bose, J.D. Parker, F.C. McQuiston, Oklahoma State University 1985.

Τότε η ισοδύναμη αντίσταση του σωλήνα θα είναι:

$$R_{\sigma\omega\lambda} = \frac{1}{2\pi \cdot k_{\sigma\omega\lambda}} \cdot \ln\left(\frac{D_{oe}}{D_{oe} - (D_o - D_i)}\right) \quad (3.20)$$

όπου D_i : η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα (m)

$k_{\sigma\omega\lambda}$: η θερμική αγωγιμότητα του σωλήνα (W/mK)

Η θερμική αντίσταση της γεώτρησης περιλαμβάνει δύο αντιστάσεις σε σειρά, μία την αντίσταση του σωλήνα που έχουμε υπολογίσει και μία αντίσταση του εδάφους που έχουμε με αυτό πληρώσει την γεώτρηση. Θεωρούμε ότι το υλικό πλήρωσης είναι το έδαφος που έχουμε αφαιρέσει κατά την δημιουργία της γεώτρησης (ή αν θέλουμε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλα υλικά μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας). Η αντίσταση του εδάφους της γεώτρησης θα είναι:

$$R_{\epsilon\delta\alpha\phi} = \frac{1}{2\pi \cdot k_{\epsilon\delta\alpha\phi}} \cdot \ln\left(\frac{D_{\gamma\epsilon\omega\tau\eta}}{D_{oe}}\right) \quad (3.21)$$

Η συνολική αντίσταση της γεώτρησης θα είναι:

$$R_b = R_{\sigma\omega\lambda} + R_{\epsilon\delta\alpha\phi} \quad (3.22)$$

Με βάση τις εξισώσεις (3.19), (3.20), (3.21) και (3.22) η θερμική αντίσταση της γεώτρησης είναι:

$$R_b = 0.174 \text{ m}^2\text{K/W}$$

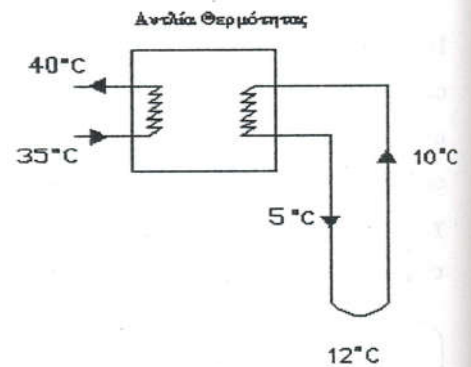
• **Συντελεστής μερικού φορτίου (PLF_m) κατά την διάρκεια του μήνα σχεδιασμού**

Ο μήνας σχεδιασμού θα οριστεί ο Δεκέμβριος. Το σύνολο των ημερών κατά τις οποίες λειτουργεί ο γεωεναλλάκτης για τον μήνα είναι 13, ενώ οι μέρες συνολικά του Δεκεμβρίου είναι 31. Στον αριθμητή του πρώτου κλάσματος οι ώρες λειτουργίας έχουν οριστεί 16. Από την εξίσωση (3.9) βρίσκουμε:

$$PLF_m = \frac{\sum \text{φορτίο} \times \text{ώρες}}{\text{μέγιστο} \cdot \text{φορτίο} \times 24 \text{ώρες}} \times \frac{N / \text{μήνα}}{\text{ημέρες} / \text{μήνα}} = 0.28$$

- Επιλογή της αντλίας θερμότητας

Από δεδομένα της εταιρίας Climaveneta επιλέγουμε δύο αντλίες θερμότητας νερού- νερού, τύπου HRHN 0071, με συνολική ισχύ 47,4 KW, ισχύς εισόδου $W_h = 10,8 \text{KW}$, COP= 4,4 για θερμοκρασία εξόδου του νερού από την αντλία θερμότητας 5° C και θερμοκρασία εισόδου στο κύκλωμα του σπιτιού 40° C.



Σχήμα 3.15 Σχηματική παράσταση θερμοκρασιών αντλίας θερμότητας

- Μέση καθαρή ετήσια μετάδοση θερμότητας στο έδαφος q_α

Το COP για κάθε αντλία θερμότητας το έχουμε βρει από δεδομένα της εταιρείας. Το q_m είναι το μέγιστο φορτίο ενώ h_h οι ώρες λειτουργίας που για κάθε μέρα λαμβάνονται 16. Ο όρος της εξίσωσης (3.10) για την θερινή περίοδο παραλείπεται εφόσον δεν έχουμε ψύξη τους καλοκαιρινούς μήνες. Τελικά από την εξίσωση (3.10) έχουμε:

$$q_\alpha = \frac{\sum q_m \times \frac{COP - 1}{COP} \times h_h}{8760 \text{h} / \text{yr}} = 5537,342 \text{W}$$

- Ισχύς εισόδου

Γνωρίζουμε ότι το $COP = \frac{TC}{W}$, όπου TC είναι η αποδιδόμενη θερμότητα από το συμπυκνωτή

και W η απορροφούμενη ισχύς από το συμπιεστή. Άρα $W_h = \frac{47,4 Kw}{4.4} = 10800W$

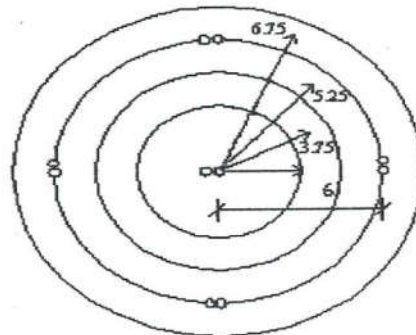
- Συνολικό μήκος γεωτρήσεων

Από την εξίσωση (3.3) βρίσκουμε

$$L_h = \frac{q_a R_{ga} + (q_{in} - W_h)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p} = 5758m$$

- Υπολογισμός της πραγματικής θερμοκρασιακής ποινής και επαναπροσδιορισμός του μήκους

Η θερμοκρασιακή ποινή θα υπολογιστεί για απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων 6m. Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός της θερμότητας που διαχέεται κάτω από τα 3m. Το σχήμα 3.16 είναι ένα αντιπροσωπευτικό σχεδιάγραμμα ενός κυλίνδρου της γης. Η εσωτερική διάμετρος αντιπροσωπεύει τον κύλινδρο στον οποίο πρέπει να αποθηκεύεται (εδώ απορροφάται) η θερμότητα, ενώ οι εξωτερικοί κύκλοι είναι υποθετικοί κύλινδροι στους οποίους κανονικά θα διαχεόταν η θερμότητα εάν δεν παρεμποδιζόταν από τις διπλανές γεωτρήσεις.



Σχήμα 3.16 Αντιπροσωπευτικοί κύλινδροι στο έδαφος για την απορρόφηση θερμότητας

Το ποσό της θερμότητας που κανονικά αποθηκεύεται ή απορροφάται από ένα κοίλο κύλινδρο εξωτερικής διαμέτρου 4,5m και εσωτερικής διαμέτρου 3m μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την θερμοχωρητικότητα του εδάφους ($\rho \cdot c_p \cdot V$) με την μέση θερμοκρασιακή αλλαγή (που μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ίση με την θερμοκρασιακή αλλαγή στα 3,75m). Αυτό μπορεί να επαναληφθεί για πολλούς κυλίνδρους μέχρι μια ακτίνα 7,5m. Το ποσό θερμότητας αθροίζεται για όλους τους κυλίνδρους και εφαρμόζεται η εξίσωση (3.14) για να βρεθεί η θερμοκρασιακή ανύψωση ή πτώση για ένα σωλήνα U που περιστοιχίζεται από τέσσερις διπλανές γεωτρήσεις που απέχουν 6 μέτρα. Τέλος από την εξίσωση (3.18) βρίσκουμε τη μέση θερμοκρασιακή ποινή για όλο το πλέγμα των γεωτρήσεων.

Για να βρούμε την θερμοκρασιακή αλλαγή χρησιμοποιούμε τις εξισώσεις (3.16), (3.17) και το σχήμα 3.14. Θα χρησιμοποιήσουμε ένα χρονικό όριο δέκα χρόνων συν ένα μήνα (3680 μέρες). Ξεκινάμε τον υπολογισμό για τα 3,75m

$$X = \frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} = \frac{3,75}{2\sqrt{0,0432 \cdot 3680}} = 0,15$$

Από το σχήμα 3.14 $\Rightarrow I(X) = 1,7$ και

$$\Delta t = \frac{q_a \cdot I(X)}{2\pi \cdot k_g \cdot L} = 0,179$$

Επαναλαμβάνοντας για $r = 5.25m \Rightarrow \Delta t = 0,126$

Επαναλαμβάνοντας για $r = 6.75m \Rightarrow \Delta t = 0,095$

Η εξίσωση 3.15 εφαρμόζεται για τους τρεις κυλίνδρους

r_0, r_i	$\rho \cdot c_p \cdot L_n \cdot \pi(r_0^2 - r_i^2) \times \Delta t$	Q (Joule)
4.5, 3	5,67833E+11*0.185	1,01908E+11
6, 4.5	7,94966E+11*0.131	1,00709E+11
7.5, 6	9,87549E+11*0.098	97112709484
Σύνολο		2,99731E+11

Από την εξίσωση (3.14) βρίσκουμε:

$$t_{pl} = \frac{Q_{stored}}{\rho \cdot c_p \cdot d_{sep}^2 \cdot L} = 0.517 K$$

Η θερμοκρασιακή ποινή θα πρέπει να διορθωθεί ανάλογα με την διάταξη των σωληνώσεων, δηλαδή τον αριθμό των γεωτρήσεων που περιβάλλονται από διπλανές γεωτρήσεις και τον αριθμό αυτών. Το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων μπορεί να κατασκευαστεί με 70 γεωτρήσεις των 80 μέτρων, 92 γεωτρήσεις των 60 μέτρων και 110 γεωτρήσεις των 50 μέτρων. Επιλέγουμε 70 των 80 μέτρων. Θεωρούμε ότι έχουμε ένα πλέγμα 7×10 και εφόσον οι γεωτρήσεις απέχουν 6 μέτρα η απαιτούμενη έκταση είναι $36 \times 54 m = 1944 m^2$. Το πλέγμα που προκύπτει έχει 4 γεωτρήσεις στις γωνίες που βλέπουν 2 διπλανές γεωτρήσεις, 26 γεωτρήσεις στα πλάγια που βλέπουν 3 διπλανές και 40 γεωτρήσεις στο εσωτερικό που περιστοιχίζονται από 4 διπλανές γεωτρήσεις. Η διορθωμένη θερμοκρασιακή ποινή είναι:

$$t_p = \frac{40 + 0.5 \times 26 + 0.25 \times 4}{7 \times 10} \times t_{pl} = 0.4^\circ K$$

Η τιμή αυτή της ποινής αντικαθιστά την αρχική θεώρηση των $1,3^\circ C$ και το μήκος ξανά υπολογίζεται για την νέα τιμή, έτσι:

$$L_h = \frac{q_a R_{ga} + (q_{ih} - W_h)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p} = 4480 m$$

3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Στην παράγραφο 3.4 ο υπολογισμός του μήκους του γεωεναλλάκτη έγινε για σταθερή θερμοκρασία εδάφους $12^\circ C$ και απόσταση γεωτρήσεων 6m. Εάν η απόσταση των γεωτρήσεων μειωθεί, το μήκος των απαιτούμενων γεωτρήσεων θα αυξηθεί διότι η επιρροή στην μετάδοση θερμότητας από τις διπλανές γεωτρήσεις θα είναι μεγάλη. Η θερμότητα θα

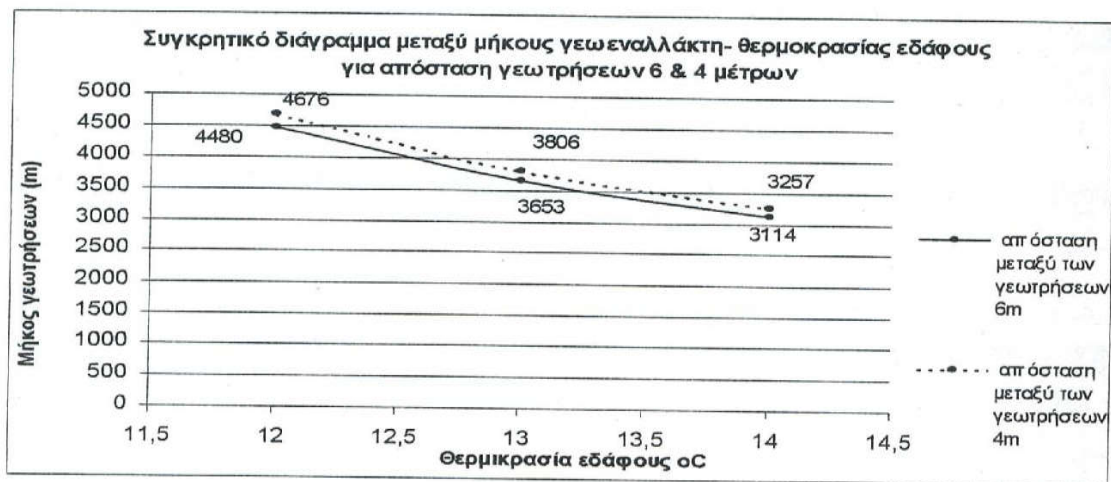
διαχέεται σε μικρότερη απόσταση και γι αυτό απαιτείται μεγαλύτερο μήκος γεωτρήσεων. Επίσης μια αύξηση στην σταθερή θερμοκρασία εδάφους θα μειώσει κατά πολύ το απαιτούμενο μήκος. Λόγω του ότι δεν έχει γίνει μελέτη για την εύρεση της πραγματικής θερμοκρασίας εδάφους της περιοχής και έχει εκτιμηθεί ότι είναι περίπου ίση με τη μέση θερμοκρασία του αέρα θα ήταν πολύ ενδιαφέρον και χρήσιμο να φανεί η επίδραση της θερμοκρασίας του εδάφους στο μήκος των γεωτρήσεων. Έτσι σε περίπτωση που με μετρήσεις βρεθεί η θερμοκρασία μεγαλύτερη των 12° C, η μείωση στο μήκος θα είναι σημαντική, από επιστημονική αλλά και οικονομική άποψη, μιας και το κόστος των γεωτρήσεων και των σωλήνων είναι αρκετά μεγάλο. Στο παρούσα παράγραφο θα συγκριθεί η αλλαγή του μήκους για θερμοκρασίες εδάφους 12 και 14° C, καθώς και για απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων 6 και 4m. Η μεθοδολογία υπολογισμού είναι ίδια με αυτή που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Στον πίνακα 3.7 δίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις διαφορετικές θερμοκρασίες και αποστάσεις.

Θερμοκρασία εδάφους	Μήκος γεωτρήσεων		Ποσοστό αύξησης του μήκους λόγω μείωσης της απόστασης των γεωτρήσεων
	Απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων 6m	Απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων 4m	
12° C	4480	4676	4,2%
13° C	3653	3806	4,0%
14° C	3114	3257	4,4%
Ποσοστό μείωσης του μήκους για μεταβολή θερμοκρασίας από 12° C σε 14° C	30,5%	30,3%	

Πίνακας 3.7¹ Απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων για 12 και 14° C θερμοκρασία εδάφους και για απόσταση γεωτρήσεων 4 και 6m.

Στο σχήμα 3.17 φαίνονται και σχηματικά οι διακυμάνσεις στο μήκος.

¹ Για την περίπτωση των 14° C επιλέχθηκαν 42 γεωτρήσεις των 80m βάθους σε πλέγμα 6 x 7, για τον υπολογισμό του θερμοκρασιακού ποινής. Για την περίπτωση των 13° C επιλέχθηκαν 52 γεωτρήσεις των 80m βάθους σε πλέγμα 4 x 13, για τον υπολογισμό της θερμοκρασιακής ποινής.



Σχήμα 3.17 Συγκρητικό διάγραμμα μεταξύ μήκους γεωεναλλάκτη- θερμοκρασίας εδάφους για απόσταση γεωτρήσεων 6 και 4m.

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RETSCREEN

Το πρόγραμμα RETscreen είναι ένα εργαλείο με τη μορφή υπολογιστικών φύλλων το οποίο υπολογίζει το μήκος του γεωεναλλάκτη βάση των δεδομένων που εισάγονται στα κελιά. Δημιουργήθηκε από την Natural Resources Canada's (NRCan) και την CANMET Energy Diversification Research Laboratory (CEDRL). Το πρόγραμμα ζητάει από τον χρήστη να εισάγει δεδομένα για τον καιρό, τα φορτία του κτιρίου, τον τύπο του εδάφους και τον τρόπο διάταξης των σωληνώσεων στο έδαφος.

Με την χρήση του προγράμματος για την περίπτωση της κατοικίας στην Φλώρινα το μήκος γεωτρήσεων που βρέθηκε είναι 466 μέτρα- πολύ μικρότερο σε σχέση με αυτό που υπολογίστηκε με την μέθοδο της ASHRAE. Λόγω της ανυπαρξίας κάποιας μεθοδολογίας στην οποία να βασίζονται οι υπολογισμοί δεν συνιστάται για χρήση, αλλά παρατίθεται για λόγους βιβλιογραφικούς. Στα σχήματα 3.18 και 3.19 παρουσιάζεται το περιβάλλον του προγράμματος.

Microsoft Excel - florina

Δοχείο Επεξεργασία Προβολή Εισαγωγή Μορφή Εργαλεία Δεδομένα Παράθυρο Βοήθεια RETScreen

D16 = No

RETScreen® Energy Model - Ground-Source Heat Pump Project

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		florina	
Project location		florina	
Available land area	m ²	500	
Soil type	-	Permafrost - light	
Design heating load	kW	43,0	Complete H&CLC sheet
Design cooling load	kW	1,0	

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Base Case HVAC System			
Building has air-conditioning?	yes/no	No	
Heating fuel type	-	Diesel (#2 oil)	
Heating system seasonal efficiency	%	300%	50% to 350%
Ground Heat Exchanger System			
System type	-	Vertical closed-loop	
Design criteria	-	Heating	
Typical land area required	m ²	117	
Ground heat exchanger layout	-	Standard	
Total borehole length	m	466,9	
Heat Pump System			
Average heat pump efficiency	-	High	
Standard cooling COP	-	5,50	
Standard heating COP	-	4,00	
Total standard heating capacity	kW	38,9	
	ton (cooling)	11,1	
Total standard cooling capacity	kW	56,3	Oversized
	ton (cooling)	16	

Intro \ Energy Model \ Heating and Cooling Load \ Cost Analysis \ GHG Analysis \ Financial Summary \ Sh

Σχήμα 3.18 Υπολογιστικό φύλλο του προγράμματος RETscreen

The screenshot shows the RETScreen software interface within a Microsoft Excel window. The title bar reads "Microsoft Excel - florina". The menu bar includes "Δοχείο", "Επεξεργασία", "Προβολή", "Εισαγωγή", "Μορφή", "Εργαλεία", "Δεδομένα", "Παράθυρο", "Βοήθεια", and "RETScreen". The toolbar contains various icons for file operations and editing. The main window displays a spreadsheet titled "RETScreen® Heating and Cooling Load Calculation - Ground-Source Heat Pump Project".

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Nearest location for weather data		Sandanski	See Weather Database
Heating design temperature	°C	-15,0	-40.0 to 15.0
Cooling design temperature	°C	28,0	10.0 to 40.0
Average summer daily temperature range	°C	5,0	5.0 to 15.0
Cooling humidity level	-	High	
Latitude of project location	°N	41,52	-90.0 to 90.0
Mean earth temperature	°C	12,0	Visit NASA satellite data site
Annual earth temperature amplitude	°C	14,0	5.0 to 20.0

Building Heating and Cooling Load		Estimate	Notes/Range
Type of building	-	Residential	
Available information	-	Energy use data	
Design heating load	kW	43,0	
Annual heating energy demand	ton (cooling)	12,2	
	MWh	9,0	
	million Btu	30,7	
Design cooling load	kW	1,0	
	ton (cooling)	0,3	
Annual cooling energy demand	MWh	5,0	
	million Btu	17,1	

Version 2000 - Release 3 © Minister of Natural Resources Canada 1997 - 2000. NRCan/CEDRL

Navigation: Intro / Energy Model / Heating and Cooling Load / Cost Analysis / GHG Analysis / Financial Summary / Sh

Σχήμα 3.19 Υπολογιστικό φύλλο του προγράμματος RETScreen

3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ

Στο κεφάλαιο 3 έγινε μια εισαγωγή στην έννοια του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας και στα συστήματα των γεωεναλλακτών που βρίσκουν εφαρμογή. Από τα συστήματα αυτά επιλέχθηκε ο κάθετος γεωεναλλάκτης για εφαρμογή στο κτίριο κατοικίας της μελέτης λόγω μη εύρεσης μεθοδολογίας για οριζόντιο σύστημα, παρόλο που ένα οριζόντιο σύστημα θα ήταν πιο οικονομικό αλλά θα απαιτούσε μεγάλη έκταση για εγκατάσταση.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι της ASHRAE, με μόνη διαφορά την χρήση των εξισώσεων του J.E Bose για την εύρεση της ισοδύναμης αντίστασης των γεωτρήσεων. Με βάση τις εξισώσεις αυτές το μήκος των απαιτούμενων γεωτρήσεων βρέθηκε 4480m, για 12° C σταθερή θερμοκρασία εδάφους και 6m απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων και 4676m για 4m απόσταση (γεωτρήσεων). Έπειτα έγιναν κάποιοι παραμετρικοί υπολογισμοί για θερμοκρασία εδάφους 13° C και 14° C. Η αλλαγή της απόστασης των γεωτρήσεων από 6m σε

4m επιφέρει μια μικρή αύξηση στο μήκος του γεωεναλλάκτη της τάξης του $4 \div 4,4\%$, ενώ η αλλαγή της θερμοκρασίας από 12°C σε 14°C , επιφέρει σημαντική μείωση, της τάξης $30,3 \div 30,5\%$. Από αυτό κρίνεται η σπουδαιότητα στην εκλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας εδάφους, που στην περίπτωση της μελέτης επιλέχθηκε 12°C , όσο δηλαδή η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα της περιοχής. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα RETScreen για λόγους σύγκρισης, αλλά δεν ακολουθήθηκε λόγω μη εύρεσης της μεθοδολογίας στην οποία στηρίζονται οι υπολογισμοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΡΗΣΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα αυτή θα θεωρήσουμε την κατοικία μας ως μια εξοχική κατοικία. Το Φ/Β σύστημα εκτός από τις ανάγκες των ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού, θα καλύπτει και τις ανάγκες για θέρμανση. Το σύστημα θέρμανσης (γεωθερμικός εναλλάκτης), τις ημέρες Δευτέρα έως Πέμπτη θα λειτουργεί μόνο για λόγους ασφαλείας, στους 5° C, ενώ από Παρασκευή έως Κυριακή θα λειτουργεί στους 20° C.

Παραδοχή : Θεωρούμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας από 5° C που είναι την Πέμπτη σε 20° C την Παρασκευή, γίνεται ακαριαία.

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Αρχικά θα γίνει ο υπολογισμός των βαθμοημερών θέρμανσης (Degree Days).

Ως βαθμομέρα θέρμανσης, ορίζουμε το λογιστικό μέγεθος του γινομένου της θετικής διαφοράς θερμοκρασίας βάσης μείον τη μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία βάσης αντιπροσωπεύει στους υπολογισμούς την «πραγματική» μέση θερμοκρασία του θερμαινόμενου εσωτερικού χώρου. Στο πλαίσιο του κανονισμού θερμομόνωσης η θερμοκρασία βάσης λαμβάνεται στους 18° C.

Η θερμοκρασία βάσης δίνεται από την εξίσωση :

$$K_{tot} * (T_i - T_{bai}) = Q_{gain} \quad (4.1)$$

Όπου T_i είναι η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής μας. Θεωρούμε ότι $T_i = -15° C$.

Q_{gain} : Είναι οι θερμικές απώλειες του κτιρίου (kW)

K_{tot} ή $F \cdot K$: Είναι ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου (W/K)

Θερμότητα για θέρμανση χρειαζόμαστε όταν η μέση εξωτερική θερμοκρασία (T_o) είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία βάσης T_{bal} . Ο ρυθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής θερμότητας από το σύστημα θέρμανσης θα είναι :

$$Q_h = K_{tot} / C.O.P * (T_{bal} - T_o) \quad (4.2)$$

Όταν $T_o < T_{bal}$

Q_h : Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)

Παραδοχή : Θεωρούμε ότι η θερμοκρασία βάσης (T_{bal}) και ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου (K_{tot}) παραμένουν σταθερά.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω οι βαθμοημέρες για κάθε μήνα θα δίνονται από την σχέση :

$$D_h (T_{bal}) = N * \sum_{i=1}^{i=N} (T_{bal} - T_o) \quad (4.3)$$

D_h : Βαθμοημέρες του μήνα (K * ημέρες)

N : Ημέρες του μήνα

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΒΑΣΗΣ

Ο υπολογισμός των βαθμοημερών θέρμανσης στην παράγραφο 4.1 είναι εύκολος εφόσον η θερμοκρασία βάσης συμπίπτει με την συμβατική τιμή των 18° C. Στην πραγματικότητα οι βαθμοημέρες θέρμανσης δεν πρέπει να υπολογίζονται με βάση τους 18° C πάντα. Η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία είναι διαφορετική από κτίριο σε κτίριο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην διαφορετική λειτουργία των κτιρίων, στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των κτιρίων και στην διαφορετική ρύθμιση των θερμοστατών από τους χρήστες του κτιρίου.

Το μοντέλο που θα παρουσιάσουμε για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης (Erbs et al. 1983) θα στηρίζεται μόνο στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες \bar{T}_o . Ο βαθμός απόκλισης για κάθε μήνα υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\sigma_m = 1,45 - 0,029 * \bar{T}_o + 0,0664 * \sigma_{yr} \quad (4.4)$$

σ_m : (°C)

\bar{T}_o : (°C)

σ_{yr} : Είναι ο βαθμός απόκλισης της μηνιαίας μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας.

$$\sigma_{yr} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot \sum_{m=1}^{12} (\bar{T}_o - \bar{T}_{o,yr})^2} \quad (4.5)$$

$\bar{T}_{o,yr}$: Είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία

Για να πετύχουμε μια απλή εξίσωση για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης θα ορίσουμε μια μεταβλητή θ .

$$\Theta = (T_{bal} - \bar{T}_o) / (\sigma_m * \sqrt{N}) \quad (4.6)$$

Εφόσον η θερμοκρασία διαφέρει από μήνα σε μήνα και από περιοχή σε περιοχή, οι περισσότερες μεταβλητές μπορούν να υπολογιστούν με βάση μια μέση μηνιαία θερμοκρασία. Καταλήγουμε λοιπόν ότι οι βαθμομέρες θέρμανσης μπορούν να υπολογιστούν από την ακόλουθη εξίσωση :

$$D_h(T_{bal}) = \sigma_m * N^{3/2} * \left\{ \theta/2 + \frac{\ln[\exp(-\alpha\theta) + \exp(\alpha\theta)]}{2\alpha} \right\}, \quad \alpha=1,698 \quad (4.7)$$

Με την βοήθεια του προγράμματος FINE υπολογίσαμε τις απώλειες του κτιρίου.

Για επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία 5°C οι απώλειες βρέθηκαν ίσες με $Q_{gain} = 21,8 \text{ kW}$ και ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου ίσος με $K_{tot} = 1074,24 \text{ W/K}$.

Για επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία 20°C οι απώλειες βρέθηκαν ίσες με $Q_{gain} = 43,5 \text{ kW}$ και ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου ίσος με $K_{tot} = 1245,53 \text{ W/K}$.

Για μια ημέρα ενός τυπικού έτους οι ετήσια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας μπορεί να υπολογιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια από ημιτονοειδείς συναρτήσεις της μορφής (Κουρεμένος – Αντωνόπουλος, ΕΜΠ)

$$T_i(n) = A_i + B_i \cdot \sin(360/365 \cdot n - F_i) \quad (4.8)$$

Όπου οι ποσότητες A_i και B_i σε (°C) και F_i (σε μοίρες) είναι σταθερές για κάθε πόλη. Για την πόλη της Φλώρινας είναι : $A_i = 11,785$, $B_i = -10,412$, $F_i = -69,337$

Ο δείκτης n , δηλώνει μέση θερμοκρασία ημέρας.

n : Είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις επομένως υπολογίζουμε τη θερμοκρασία για κάθε ημέρα του έτους και κατόπιν τη μέση θερμοκρασία κάθε μήνα. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.

ΜΗΝΑΣ	\bar{T}_o (Μέση εξωτερική θερμοκρασία)	Η μέση ετήσια εξωτερική θερμοκρασία είναι $\bar{T}_{o,yr} =$
Ιανουάριος	1,5	11,73° C
Φεβρουάριος	2,3	
Μάρτιος	5,6	
Απρίλιος	10,6	
Μάιος	15,8	
Ιούνιος	20	
Ιούλιος	22	
Αύγουστος	21,1	
Σεπτέμβριος	17,7	
Οκτώβριος	12,7	
Νοέμβριος	7,5	
Δεκέμβριος	3,4	

Πίνακας 4.1. Μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία

Τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας φαίνονται στους πίνακες 4.2 & 4.3 οι οποίοι μας δείχνουν τις βαθμομέρες θέρμανσης για 5°C και για 20°C και στα σχήματα 4.1 & 4.2 τα οποία μας δείχνουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση για 5°C και 20°C αντίστοιχα.

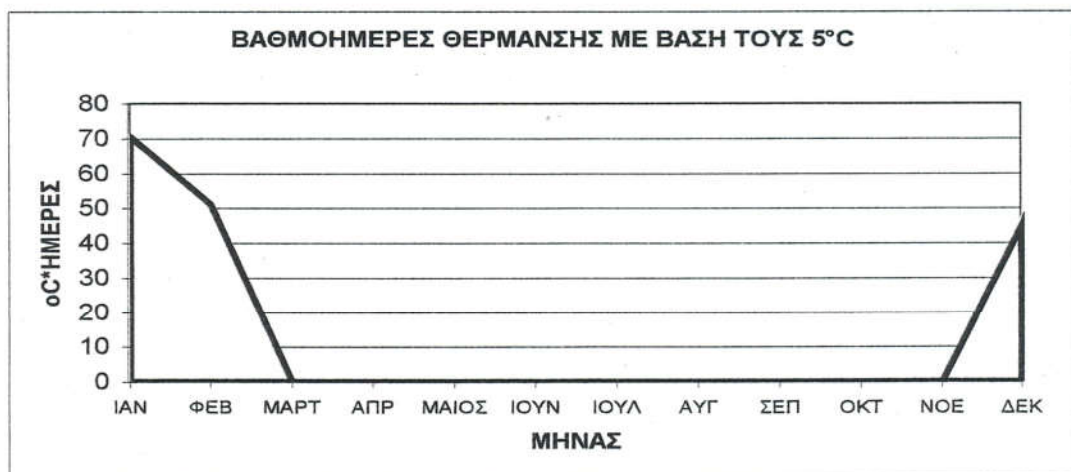
Αρχικά υπολογίζονται οι βαθμομέρες θέρμανσης για 5°C και κατόπιν για 20°C.

ΜΗΝΑΣ	N	\bar{T}_o (°C)	σ_m	θ (5° C)	D_h ($T_{bat}=5^\circ\text{C}$)
Ιανουάριος	18	1,5	1,88	0,42	70,5
Φεβρουάριος	16	2,3	1,86	0,35	51,2
Μάρτιος	18	5,6	1,76	-0,08	0
Απρίλιος	17	10,6	1,62	-0,83	0
Μάιος	18	15,8	1,47	-1,74	0
Ιούνιος	17	20	1,35	-2,70	0
Ιούλιος	18	22	1,29	-3,09	0
Αύγουστος	18	21,1	1,31	-2,88	0
Σεπτέμβριος	17	17,7	1,41	-2,18	0
Οκτώβριος	18	12,7	1,56	-1,17	0
Νοέμβριος	17	7,5	1,71	-0,35	0
Δεκέμβριος	18	3,4	1,83	0,205	45,4
ΣΥΝΟΛΙΚΑ					167,1

Πίνακας 4.2. Βαθμοημέρες θέρμανσης για $T_{bat}=5^\circ\text{C}$

$$\bar{T}_{o,yr} \text{ (}^\circ\text{C)} = 11,7$$

$$\sigma_{yr} = 7,276$$



Σχήμα 4.1. Βαθμοημέρες θέρμανσης με βάση τους 5° C

Από το σχήμα 4.1 παρατηρούμε ότι οι βαθμομέρες θέρμανσης αφορούν μόνο τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο και αυτό γιατί τους υπόλοιπους μήνες η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 5°C.

ΜΗΝΑΣ	N	\bar{T}_o (° C)	σ_m	θ (20° C)	D_h (T _{bal} =20°C)
Ιανουάριος	13	1,5	1,88	2,70	239,4
Φεβρουάριος	12	2,3	1,86	2,72	211,4
Μάρτιος	13	5,6	1,76	2,25	186,7
Απρίλιος	13	10,6	1,62	1,60	122,2
Μάιος	13	15,8	1,47	0,77	54,9
Ιούνιος	13	20,0	1,35	-0,01	0
Ιούλιος	13	22,0	1,29	-0,43	0
Αύγουστος	13	21,1	1,31	-0,24	0
Σεπτέμβριος	13	17,7	1,41	0,43	32,7
Οκτώβριος	13	12,7	1,56	1,27	93,9
Νοέμβριος	13	7,5	1,71	2,01	162,2
Δεκέμβριος	13	3,40	1,83	2,50	215,7
ΣΥΝΟΛΙΚΑ					1319,5

Πίνακας 4.3 Βαθμομέρες θέρμανσης για T_{bal}=20°C

$$\bar{T}_{o, yr} \text{ (o C)} = 11,7$$

$$\sigma_{yr} = 7,276$$

Από τον πίνακα 4.3 παρατηρούμε ότι οι βαθμομέρες θέρμανσης είναι ιδιαίτερα αυξημένες, ενώ δεν απαιτείται θέρμανση μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες.

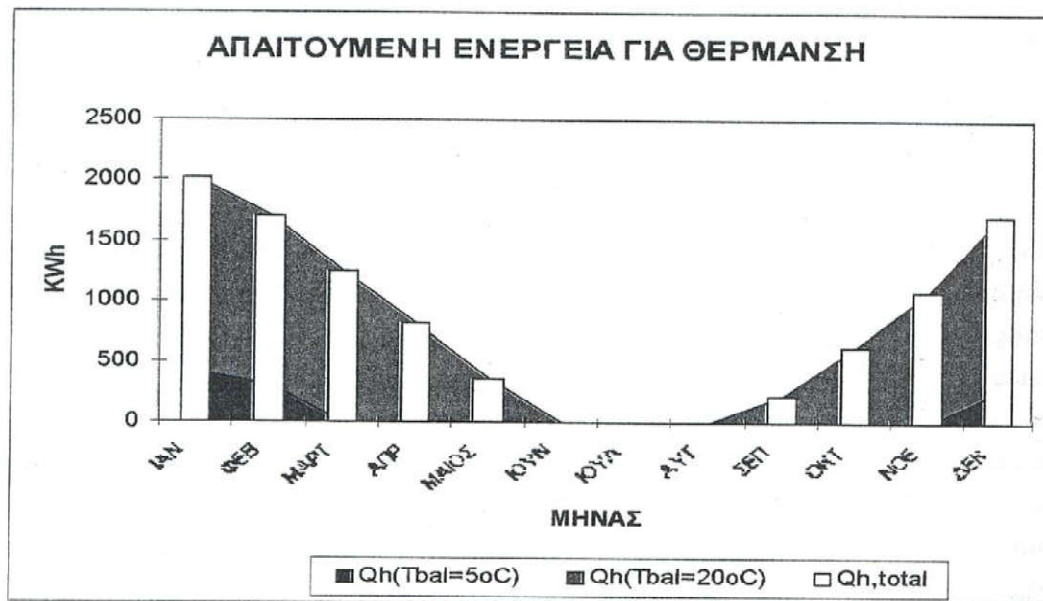


Σχήμα 4.2. Βαθμοημέρες θέρμανσης με βάση τους 20° C

Από την εξίσωση 4.2 γνωρίζουμε τον συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας κτιρίου K_{tot} (F*K) και τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες. Γνωρίζοντας ότι C.O.P = 4,4 (Ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας δίνεται από τον κατασκευαστή), μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειαζόμαστε για θέρμανση.

ΜΗΝΑΣ	Q_h (T _{bal} =5°C) (kWh)	Q_h (T _{bal} =20°C)(kWh)	$Q_{h,total}$ (kWh)
Ιανουάριος	413,1	1599,4	2012,6
Φεβρουάριος	300,1	1412,2	1712,3
Μάρτιος	0	1247,2	1247,2
Απρίλιος	0	816,8	816,8
Μάιος	0	366,8	366,8
Ιούνιος	0	0	0
Ιούλιος	0	0	0
Αύγουστος	0	0	0
Σεπτέμβριος	0	218,6	218,6
Οκτώβριος	0	627,6	627,6
Νοέμβριος	0	1083,7	1083,7
Δεκέμβριος	266,0	1441,0	1707,1
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	979,2	8813,7	9793,0

Πίνακας 4.4. Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση



Σχήμα 4.3 Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση

Για την εξοχική κατοικία λοιπόν, έχουμε υπολογίσει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση αλλά και την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια των ηλεκτρικών συσκευών. (παράγραφος 2.8.5). Στον πίνακα 4.5 φαίνονται οι παραπάνω ενεργειακές ανάγκες καθώς και το σύνολό τους.

ΜΗΝΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ (kWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (kWh)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (kWh)
Ιανουάριος	204,5	2012,6	2217,1
Φεβρουάριος	203,5	1712,3	1915,9
Μάρτιος	199,5	1247,2	1446,7
Απρίλιος	198,0	816,8	1014,9
Μάιος	191,5	366,877511	558,4
Ιούνιος	191,5	0	191,5
Ιούλιος	185,0	0	185,0
Αύγουστος	185,0	0	185,0
Σεπτέμβριος	187,5	218,6	406,2
Οκτώβριος	194,5	627,6	822,2
Νοέμβριος	198,0	1083,7	1281,7
Δεκέμβριος	204,5	1707,1	1911,7
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	2343,6	9793,0	12136,7

Πίνακας 4.5 Ενεργειακές ανάγκες ηλεκτρικών συσκευών & αντλίας θερμότητας

4.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Χρησιμοποιώντας το πλαίσιο της εταιρείας Uni-Solar είδαμε ότι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μας, μόνο των ενεργειακών απαιτήσεων των ηλεκτρικών συσκευών, δεν είναι πλήρης όλους τους μήνες του έτους. Επειδή λοιπόν οι ενεργειακές απαιτήσεις μας, της εξοχικής κατοικίας, αυξήθηκαν λόγω του συστήματος θέρμανσης, στην διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε το πλαίσιο της εταιρείας Solarex λόγω του υψηλότερου βαθμού απόδοσης. (ποσοστό αύξησης βαθμού απόδοσης $\approx 60\%$, παράγραφος 2.10)

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία υπολογισμού, όπως στην παράγραφο 2.8.5 έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα :

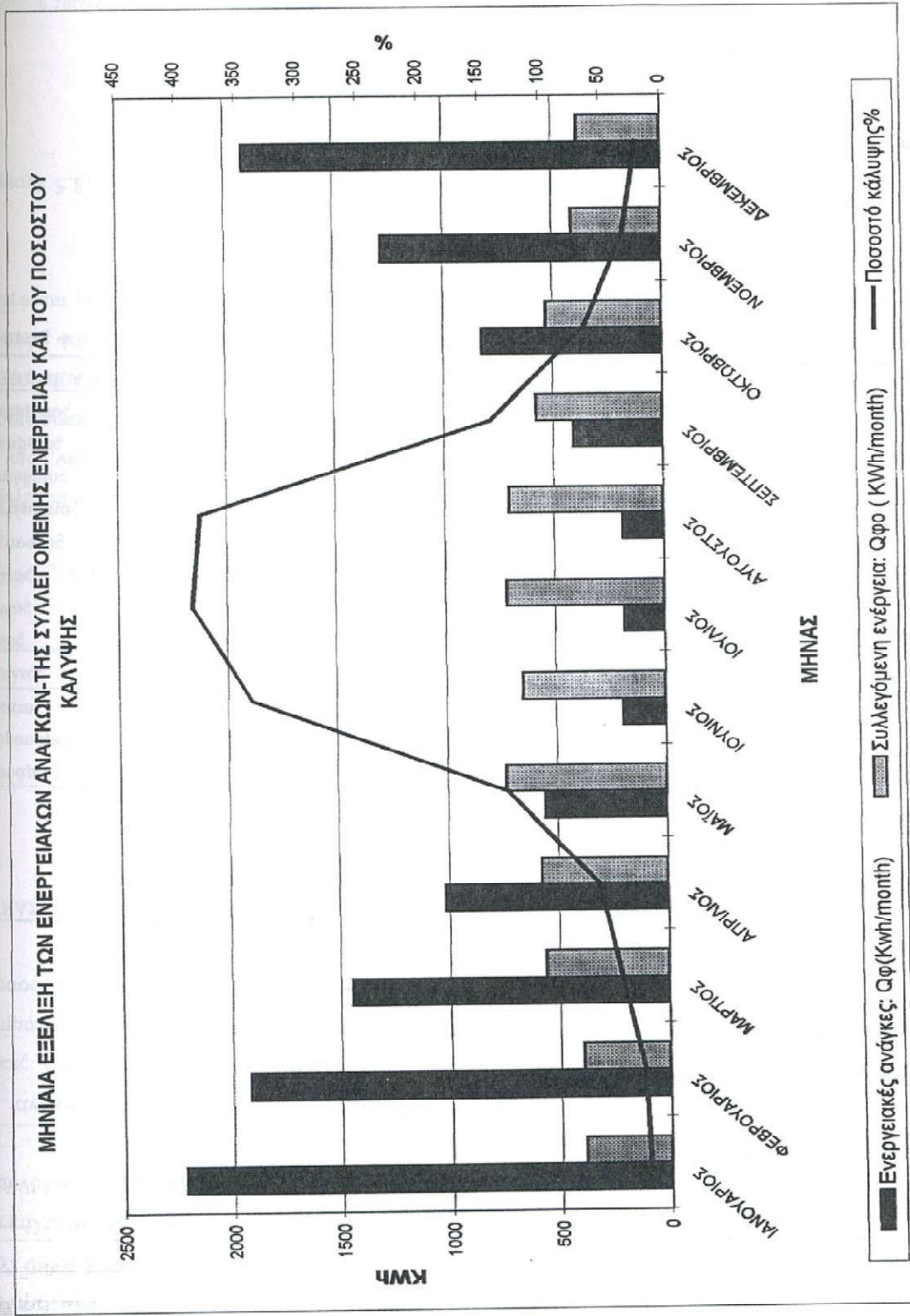
¹ Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση έχουν μετατραπεί σε ηλεκτρικές απαιτήσεις της αντλίας θερμότητας (εξίσωση 4.2)

- Για την 100% κάλυψη του ενεργειακού μας φορτίου απαιτείται επιφάνεια 497m² περίπου ή 2067 Φ/Β πλαίσια.
- Για κάλυψη όλης επιφάνειας της νότιας όψης (87m²) απαιτούνται **361 Φ/Β πλαίσια**.
- Η συνολική ισχύς των πλαισίων είναι **9,025kW**

Στον πίνακα 4.6 που ακολουθεί φαίνονται για κάθε μήνα οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες που καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές τις ημέρες αυτοδυναμίας του συστήματός μας, η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια, οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις και το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών για κάλυψη 87m².

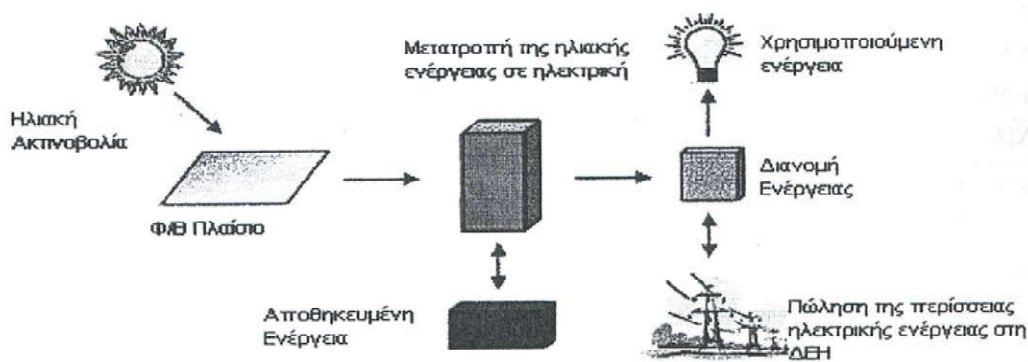
ΜΗΝΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ (kWh)	ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ (kWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ %
Ιανουάριος	474,8	387,0	2217,1	17,4
Φεβρουάριος	398,8	395,7	1915,9	20,6
Μάρτιος	209,7	561,1	1446,7	38,7
Απρίλιος	139,7	576,3	1014,9	56,7
Μάιος	59,39	732,6	558,4	131,9
Ιούνιος	19,20	651,0	191,5	339,8
Ιούλιος	16,48	719,6	185,0	388,8
Αύγουστος	16,78	706,7	185,0	381,9
Σεπτέμβριος	47,35	577,6	406,2	142,1
Οκτώβριος	120,7	529,9	822,2	64,4
Νοέμβριος	249,7	410,3	1281,7	32,0
Δεκέμβριος	411,7	382,5	1911,7	20,0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	-	6630,9	12136,7	54,6

Πίνακας 4.6. Ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών



Σχήμα 4.4. Μηνιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών, της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας & του ποσοστού κάλυψης

Από το σχήμα 4.4 παρατηρούμε ότι το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών είναι σχετικά μικρό τους χειμερινούς μήνες λόγω της υψηλής απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση. Αντίθετα στους μήνες το καλοκαιριού έχουμε περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία φθάνει και το 388% περίπου. Αυτή την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας αντί να την «πετάμε» θα μπορούσαμε να την αποθηκεύουμε έμμεσα στη ΔΕΗ, πουλώντας την, και να την αγοράζουμε τους χειμερινούς μήνες. Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζονται τα στάδια συλλογής της ηλιακής ενέργειας, της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, της αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και της διανομής της. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημά μας δεν θα θεωρείται υπερδιαστασιολογημένο τους καλοκαιρινούς μήνες, και θα έχουμε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.



Σχήμα 4.5 Στάδια συλλογής ηλιακής ενέργειας – μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια – διανομή ενέργειας

Στον πίνακα 4.7 και στο σχήμα 4.6 φαίνονται τα ενεργειακά ισοζύγια, δηλαδή η ενέργεια που πρέπει να προμηθευτούμε από τη ΔΕΗ για την 100% κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών, καθώς και η ενέργεια που μας περισσεύει.

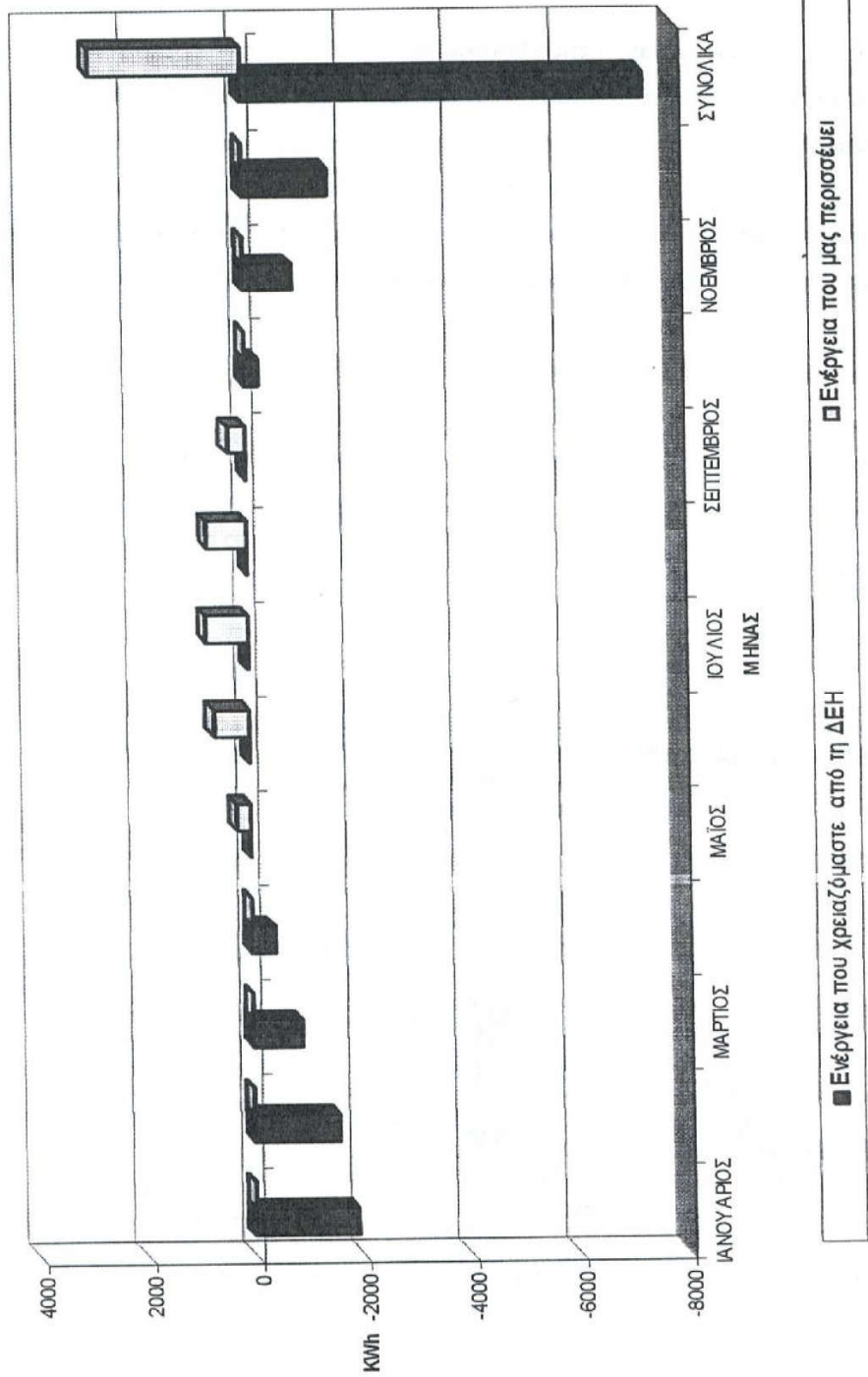
ΜΗΝΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΟΜΑΣΤΕ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ (kWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΜΑΣ ΠΕΡΙΣΣΕΥΕΙ (kWh)
Ιανουάριος	-1830,0	0
Φεβρουάριος	-1520,1	0
Μάρτιος	-885,57	0
Απρίλιος	-438,53	0
Μάιος	0	174,18
Ιούνιος	0	459,53
Ιούλιος	0	534,59
Αύγουστος	0	521,72
Σεπτέμβριος	0	171,42
Οκτώβριος	-292,30	0
Νοέμβριος	-871,42	0
Δεκέμβριος	-1529,1	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	-7367,2	1861,4

Πίνακας 4.7 Ενεργειακό ισοζύγιο

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας που έχουμε τους καλοκαιρινούς μήνες δεν επαρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες τους μήνες του χειμώνα. Το σύστημα μας και σε αυτή την περίπτωση (πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ) δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως αυτόνομο. Βέβαια με την παραπάνω τακτική εξοικονομούμε **1861,4 kWh/έτος** ενώ η επιπλέον ενέργεια που χρειαζόμαστε πραγματικά από τη ΔΕΗ για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών είναι : $7367,2 - 1861,4 = 5505,8 \text{ kWh/έτος}$.

Εάν δεν υπήρχε το Φ/Β σύστημα, η ενέργεια που θα χρειαζόμασταν από την ΔΕΗ θα ήταν 12136,7 kWh/έτος. Τώρα όμως η ενέργεια που χρειαζόμαστε από τη ΔΕΗ είναι μόλις 7367,2 kWh/έτος, δηλαδή έχουμε μια **εξοικονόμηση της τάξης του 39,2%**. Ακόμη περισσότερο, σε περίπτωση πώλησης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ, η ενέργεια που χρειαζόμαστε από τη ΔΕΗ είναι 5505,8 kWh/έτος, δηλαδή το ποσοστό **εξοικονόμησης ενέργειας αυξάνει σε 54,6%**.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ



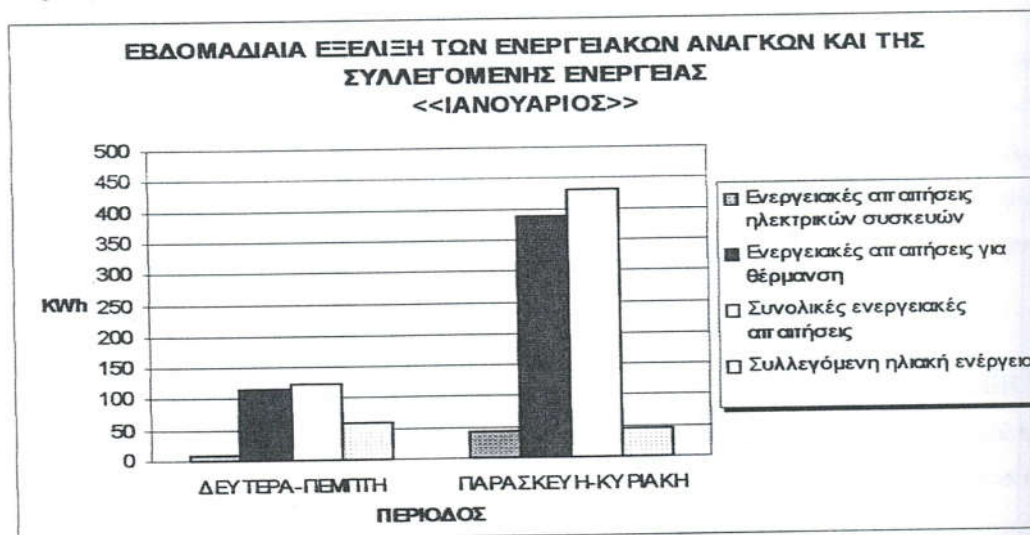
Σχήμα 4.6. Ενεργειακό Ισοζύγιο

4.5 ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ & ΤΗΣ ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει ανάλυση της εβδομαδιαίας εξέλιξης (Δευτέρα έως Πέμπτη και Παρασκευή έως Κυριακή) των ενεργειακών αναγκών¹ και της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας. Η παραπάνω ανάλυση στοχεύει στην αύξηση του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της περιόδου Παρασκευή – Κυριακή (την περίοδο αυτή έχουμε τις μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις). Η παραπάνω αύξηση, θα γίνεται με την βοήθεια των συσσωρευτών, στους οποίους θα αποθηκεύεται ηλιακή ενέργεια από Δευτέρα έως Πέμπτη. Τους μήνες κατά τους οποίους θα έχουμε περίσσεια ηλιακής ενέργειας, αυτή την περίσσεια θα την χρησιμοποιούμε την περίοδο από Παρασκευή έως Κυριακή.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας για κάθε μήνα. Τα αποτελέσματα δίνονται σε διαγράμματα. Το πρώτο αφορά την εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας ενώ το δεύτερο αφορά την εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης.

▪ Ιανουάριος



Σχήμα 4.7. Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

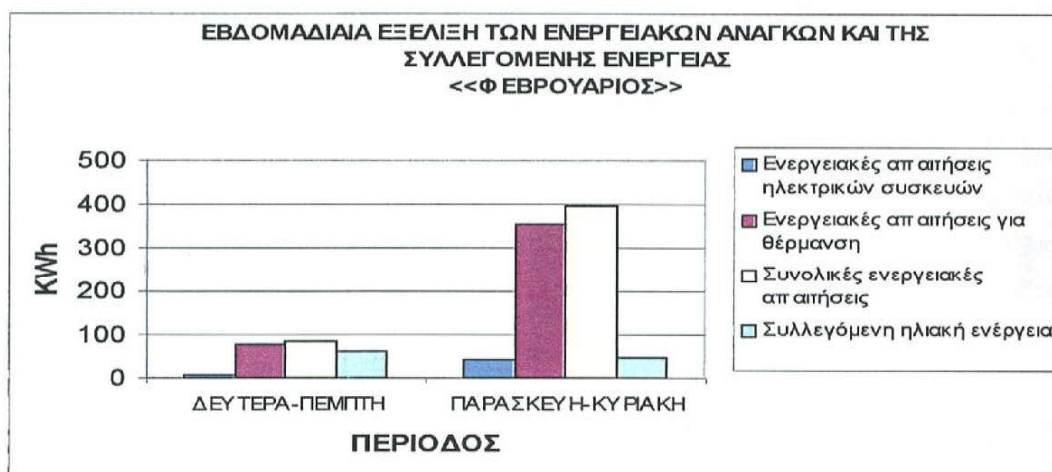
¹ Οι ενεργειακές ανάγκες περιλαμβάνουν τις ανάγκες των ηλεκτρικών συσκευών και τις ηλεκτρικές ανάγκες της αντλίας θερμότητας.



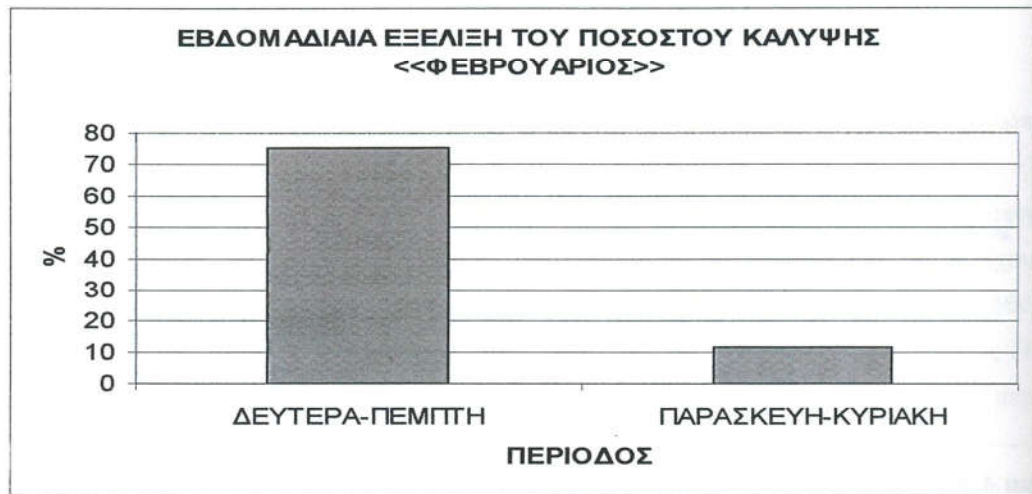
Σχήμα 4.8. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα της τυπικής εβδομάδας του Ιανουαρίου, με την βοήθεια των σχημάτων 4.8 & 4.9, παρατηρούμε ότι ακόμα και την περίοδο Δευτέρα – Πέμπτη, όπου το κτίριο δεν κατοικείται και οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μικρές (έχουμε κυρίως τις απαιτήσεις για θέρμανση, το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών είναι περίπου 48,8%. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μικρή συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Κατά την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή το ποσοστό κάλυψης είναι μόλις 10,5%.

▪ Φεβρουάριος



Σχήμα 4.9 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



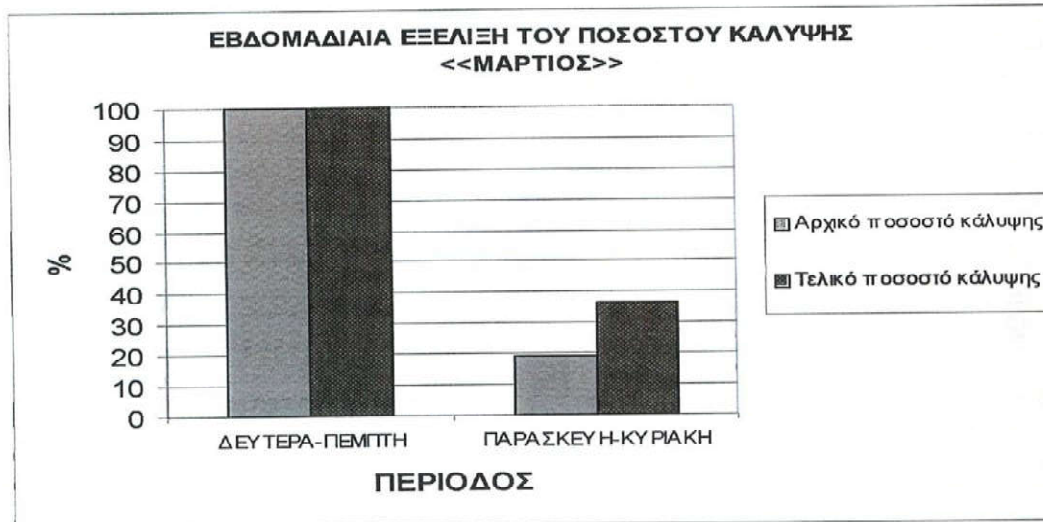
Σχήμα 4.10 Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα της τυπικής εβδομάδας του Φεβρουάριου (σχήματα 4.9 & 4.10) παρατηρούμε ότι είναι σχεδόν όμοια με αυτά του Ιανουαρίου. Η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να καλύψει πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις. Απαιτείται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ.

▪ Μάρτιος



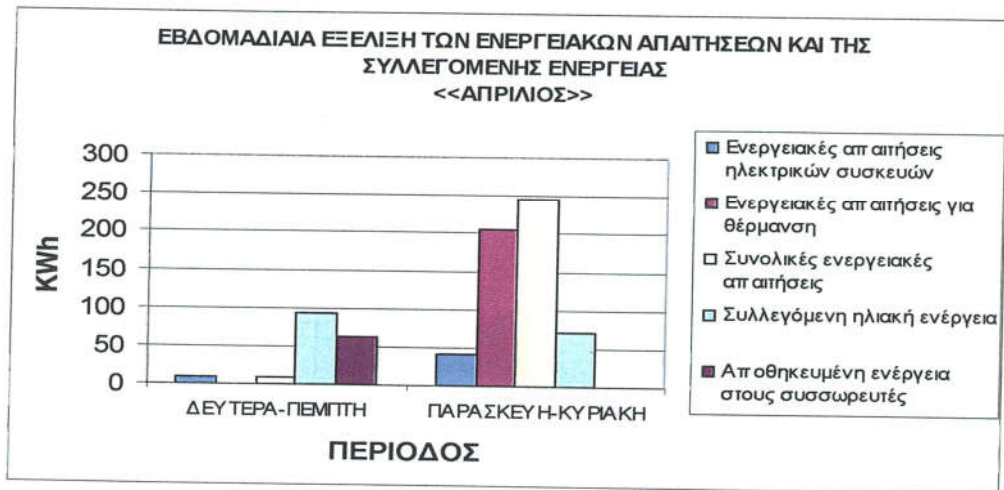
Σχήμα 4.11 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



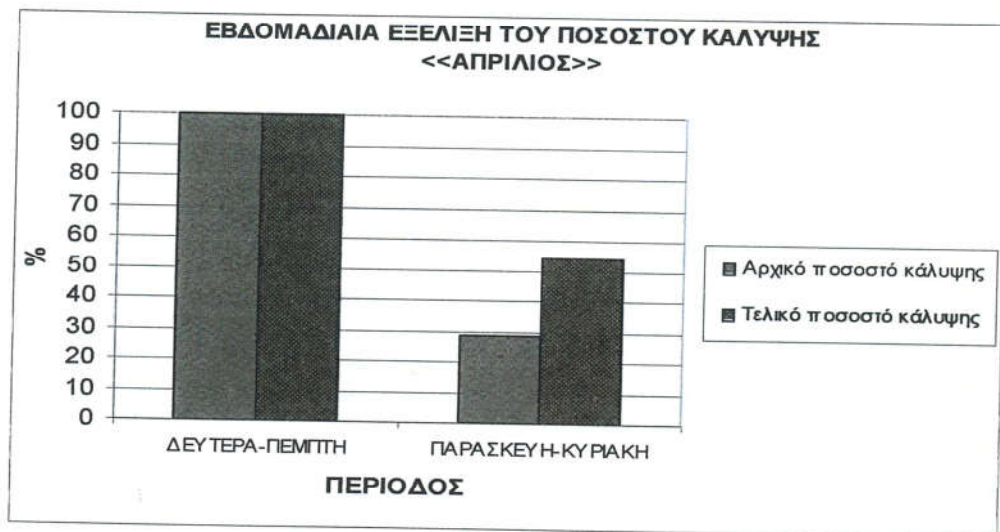
Σχήμα 4.12. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Στην ανάλυση της τυπικής εβδομάδας του Μαρτίου (σχήμα 4.11) παρατηρούμε ότι η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια την περίοδο Δευτέρα – Πέμπτη είναι πολύ μεγαλύτερη από τις ενεργειακές απαιτήσεις αυτής της περιόδου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση αυτή την περίοδο, αλλά και στη μεγαλύτερη συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια, λόγω αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας. Αντίθετα την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή οι ενεργειακές μας απαιτήσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια. Μπορούμε λοιπόν ένα μέρος (ή και ολόκληρο) της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στους συσσωρευτές την περίοδο Δευτέρα – Πέμπτη, να την χρησιμοποιήσουμε την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή. Στο σχήμα 4.12 έχουμε ορίσει ως αρχικό ποσοστό, το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών πριν την χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών και ως τελικό ποσοστό κάλυψης, το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών μετά την χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας. Παρατηρούμε ότι την περίοδο Δευτέρα - Πέμπτη και το αρχικό και το τελικό ποσοστό είναι πάνω από 100%, ενώ έχουμε μια αύξηση του ποσοστού κάλυψης την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή από **18,8% σε 36,7%**.

▪ Απρίλιος



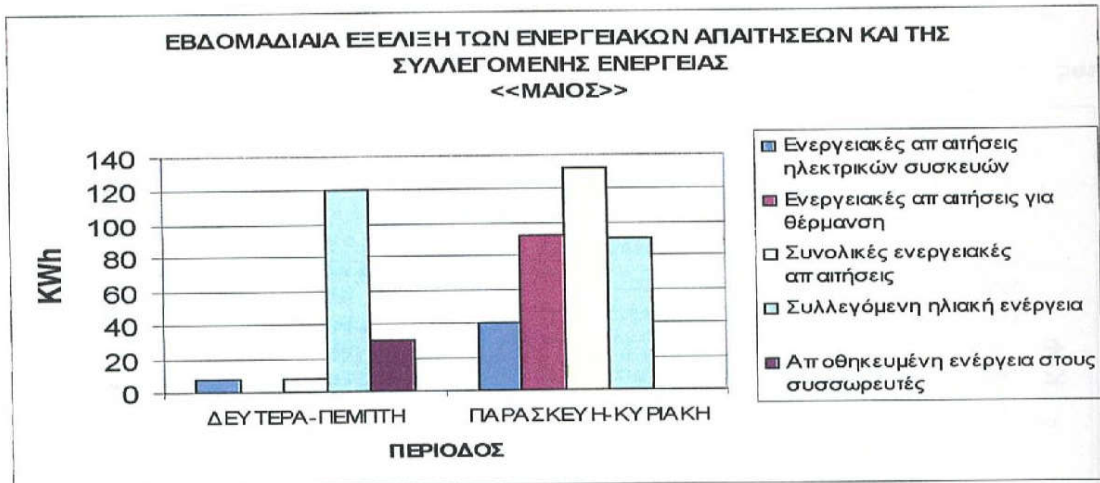
Σχήμα 4.13 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



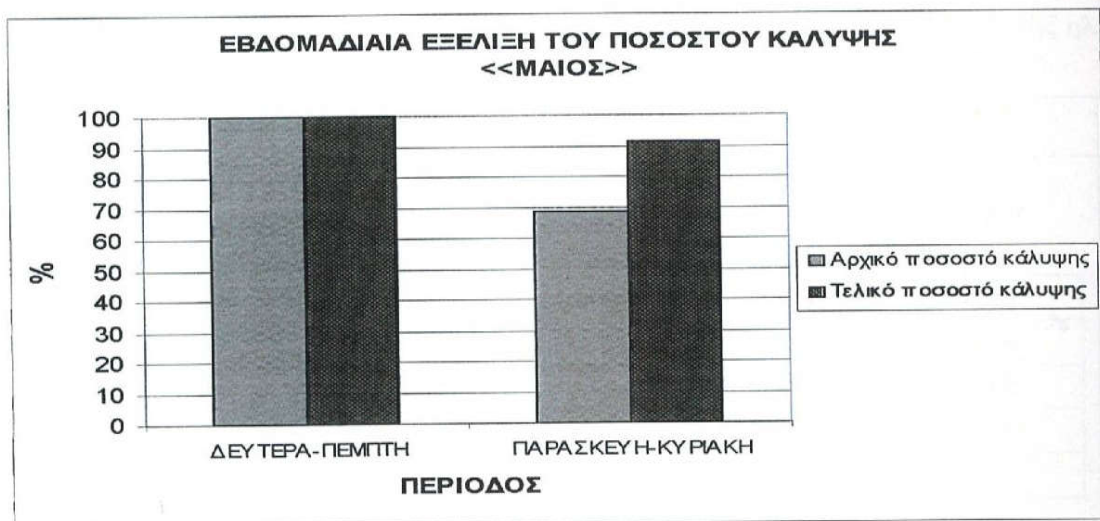
Σχήμα 4.14. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Τα αποτελέσματα του Απριλίου, όπως παρουσιάζονται στα σχήματα 4.13 & 4.14, είναι όμοια με αυτά του Μαρτίου. Έχουμε μια αύξηση του ποσοστού κάλυψης την περίοδο Παρασκευή-Κυριακή, από 28,5% σε 54,2% περίπου.

▪ Μάιος



Σχήμα 4.15 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

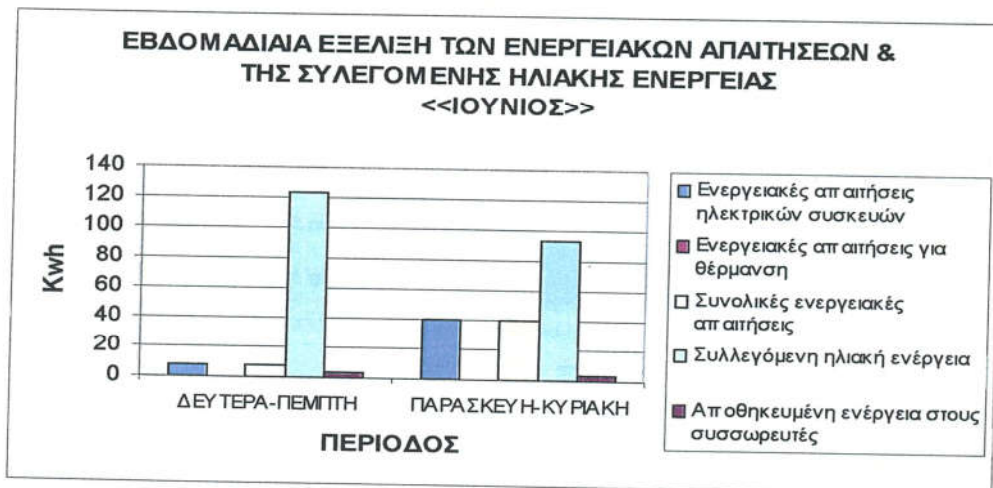


Σχήμα 4.16. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

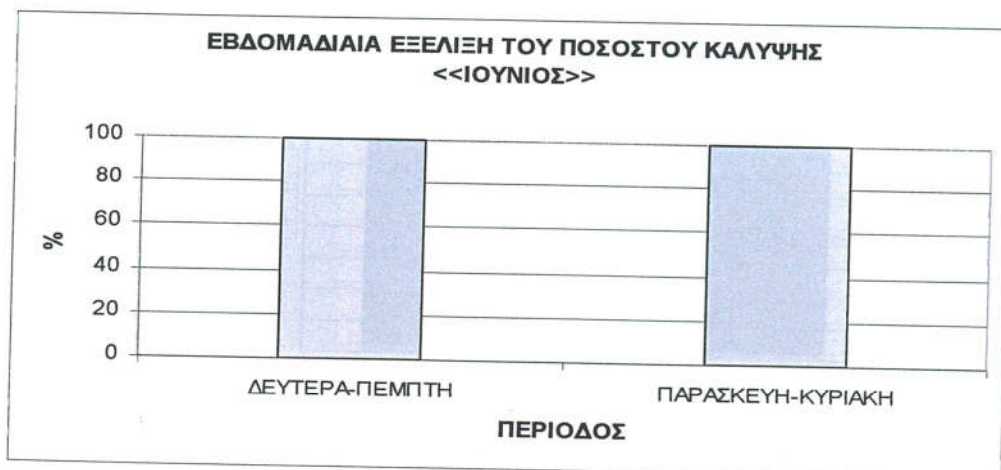
Ομοίως και τον Μάιο έχουμε παρόμοια αποτελέσματα με τους δύο προηγούμενους μήνες μόνο που τώρα τα ποσοστά κάλυψης των ενεργειακών αναγκών είναι μεγαλύτερα. Την περίοδο Δευτέρα – Πέμπτη το αρχικό και το τελικό ποσοστό κάλυψης (σχήμα 4.16) συνεχίσε

να είναι πάνω από το 100%, ενώ την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή το ποσοστό κάλυψης αυξήθηκε από 68,4% σε 91,1%.

▪ Ιούνιος



Σχήμα 4.17 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



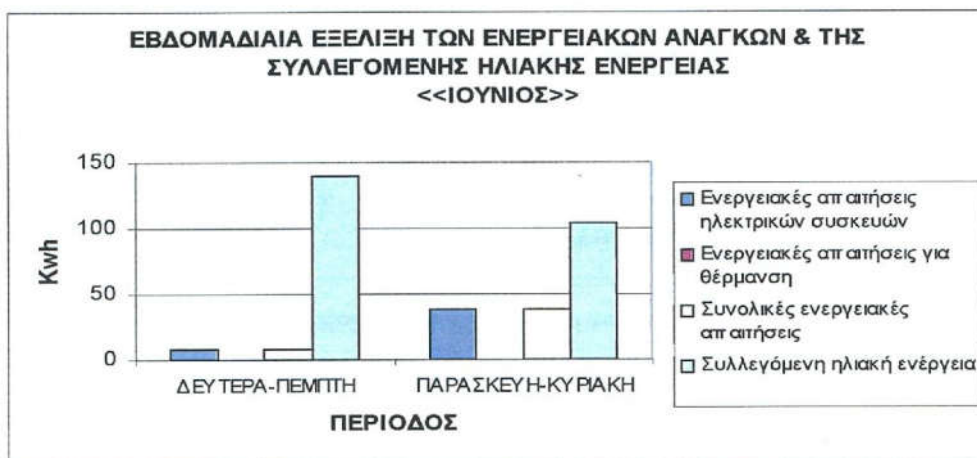
Σχήμα 4.18. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Κατά την περίοδο του Ιουνίου οι ανάγκες για θέρμανση (σχήμα 4.17) μηδενίζονται και έτσι τα ποσοστά κάλυψης αναμένονται να είναι ιδιαίτερα αυξημένα. Και στις δύο περιόδους τα

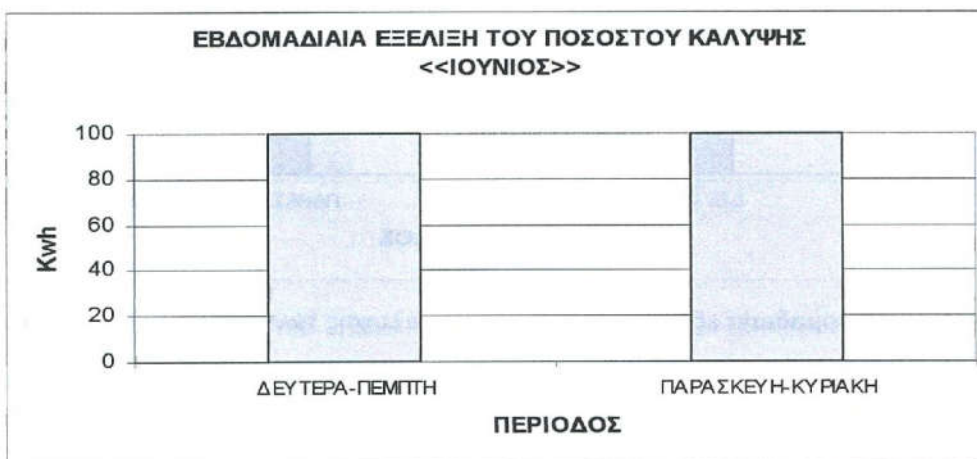
ποσοστά κάλυψης, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.18, είναι πάνω από το 100%, και έτσι δεν απαιτείται η ενέργεια των συσσωρευτών.

Τα αποτελέσματα του Ιουλίου και του Αυγούστου είναι όμοια με αυτά του Ιουνίου.

▪ Ιούλιος



Σχήμα 4.19 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 4.20. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

▪ Αύγουστος

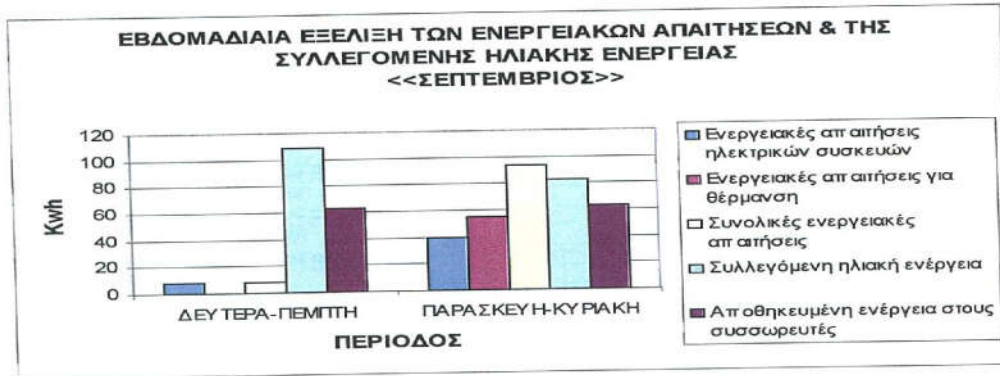


Σχήμα 4.21 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

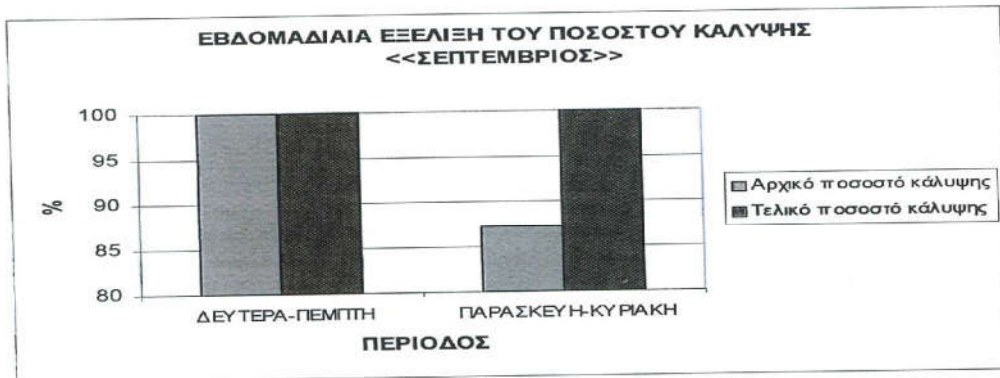


Σχήμα 4.22. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

▪ Σεπτέμβριος



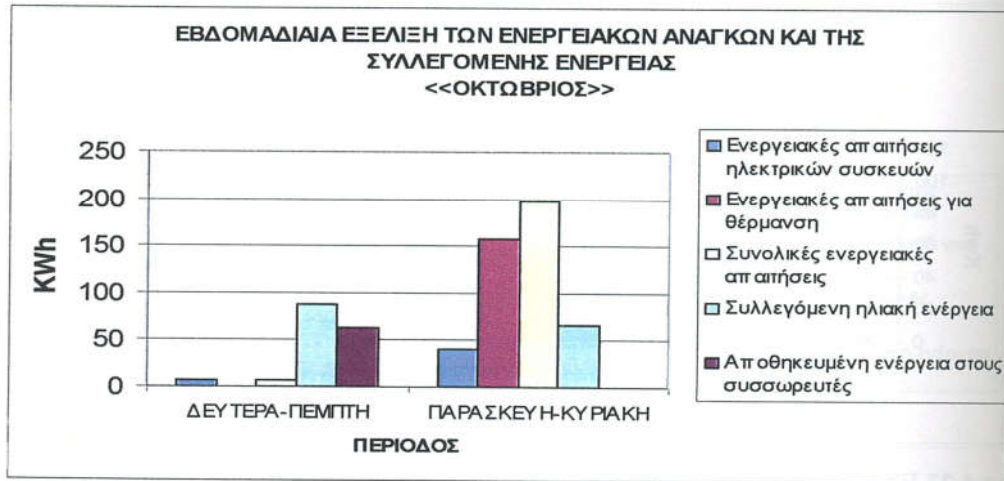
Σχήμα 4.23 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



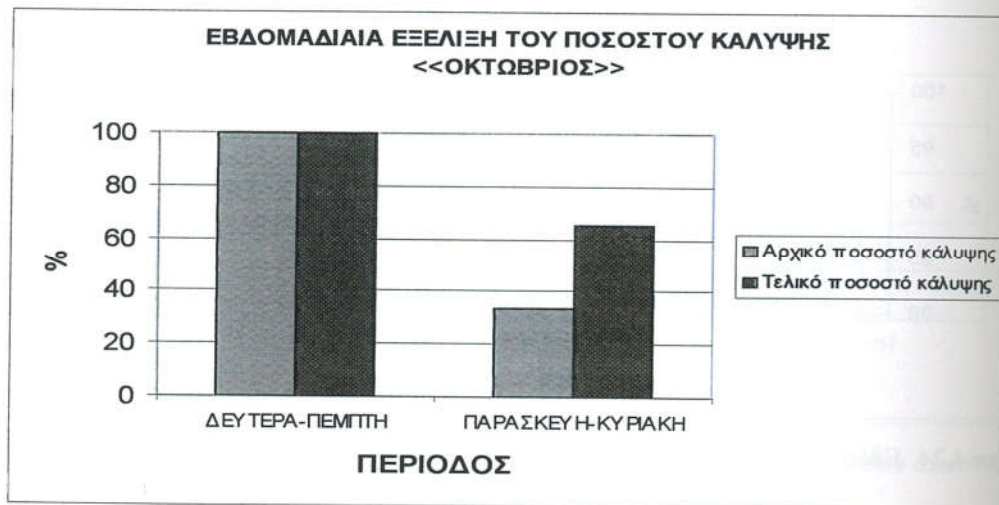
Σχήμα 4.24. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Την περίοδο του Σεπτεμβρίου παρατηρούμε από το σχήμα 4.23 ότι αυξάνεται η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας, της περιόδου Δευτέρα – Πέμπτη, αφού από το σχήμα 4.24 φαίνεται ότι το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή είναι 87% περίπου.

▪ Οκτώβριος



Σχήμα 4.25 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

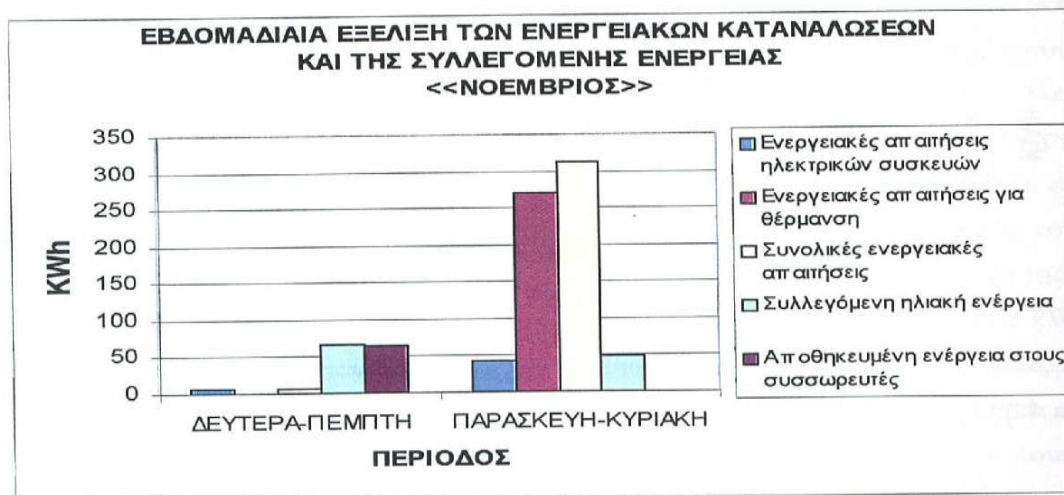


Σχήμα 4.26. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

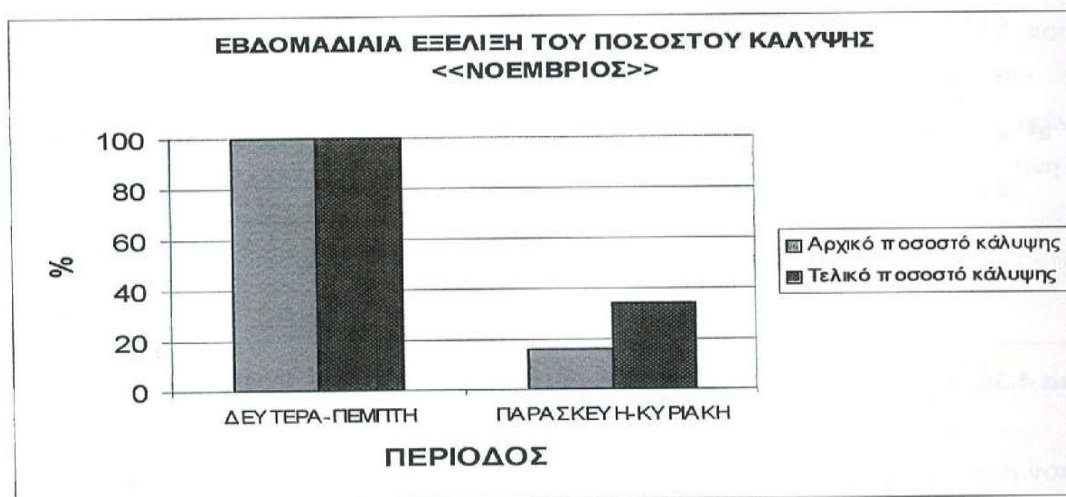
Στην περίοδο του Οκτωβρίου αυξάνονται ακόμα περισσότερο οι ανάγκες για θέρμανση της περιόδου Παρασκευή – Κυριακή (σχήμα 4.25). Έχουμε χρησιμοποίηση της ενέργειας των συσσωρευτών. Το αρχικό και τελικό ποσοστό κάλυψης (σχήμα 4.26) είναι πάνω από 100%

την περίοδο Δευτέρα – Πέμπτη ενώ την περίοδο Παρασκευή – Κυριακή το ποσοστό κάλυψης αυξήθηκε από 33,1% σε 65%.

▪ Νοέμβριος



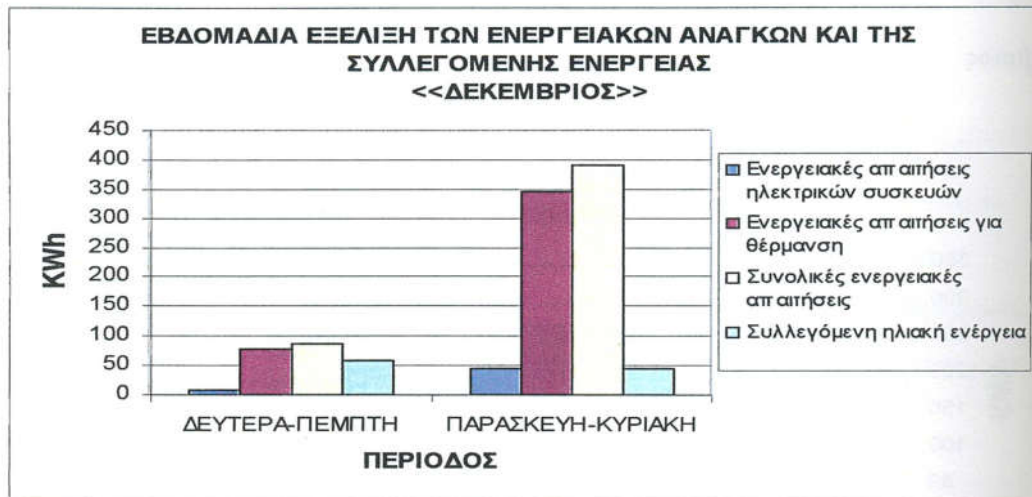
Σχήμα 4.27 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



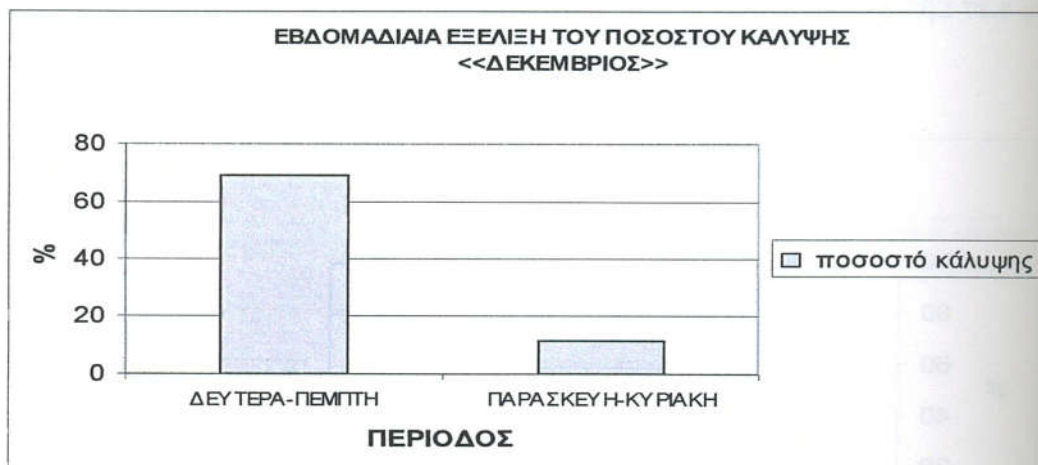
Σχήμα 4.28. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Η συμπεριφορά του Νοεμβρίου είναι παρόμοια με αυτή του Οκτωβρίου.

▪ Δεκέμβριος



Σχήμα 4.29 Εβδομαδιαία εξέλιξη των ενεργειακών αναγκών & της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 4.30. Εβδομαδιαία εξέλιξη του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων.

Τέλος τον Δεκέμβριο και στις δύο περιόδους επιβάλλεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ, αφού οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση φτάνουν στην κορύφωσή τους (σχήμα 4.29). Τα ποσοστά κάλυψης (σχήμα 4.30) για τις δύο περιόδους είναι **69,1% και 11,5%** αντίστοιχα.

4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων και της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας. Αρχικά έγινε ο υπολογισμός των βαθμομερών θέρμανσης & της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση για θερμοκρασίες υπολογισμού 5 & 20°C. Κατά την διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος επιλέχθηκε το φ/β πλαίσιο της εταιρίας Solarex/BP. Οι ενεργειακές ανάγκες που καλούνται να καλύψουν τα φ/β πλαίσια αφορούν τις ηλεκτρικές απαιτήσεις των ηλεκτρικών συσκευών και τις ηλεκτρικές απαιτήσεις των αντλιών θερμότητας. Το ελάχιστο ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών είναι 17,4% και εμφανίζεται το μήνα Ιανουάριο. Το μέσο ετήσιο ποσοστό κάλυψης είναι 54,6%. Λόγο της μη 100% κάλυψης των ενεργειακών αναγκών κάθε μήνα του έτους (τους χειμερινούς μήνες), είμαστε υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουμε το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειαζόμαστε από τη Δ.Ε.Η είναι 7367,2 kWh/έτος. Αντίθετα τους καλοκαιρινούς μήνες που έχουμε περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας (1861,4 kWh) μπορούμε να την πουλήσουμε στη Δ.Ε.Η και να την αγοράσουμε τους μήνες που δεν έχουμε πλήρη κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων. Με την εγκατάσταση λοιπόν του ηλιακού ενεργειακού συστήματος πετυχαίνουμε μια εξοικονόμηση της τάξης του 39,2%. Επιπλέον με την πώληση της επιπλέον ενέργειας στη Δ.Ε.Η το ποσοστό εξοικονόμησης ανέρχεται στο 54,6%.

Εν κατακλείδι με την εβδομαδιαία ανάλυσή μας διαπιστώθηκε μια αύξηση των ποσοστών κάλυψης της περιόδου Πέμπτη-Κυριακή. Αυτό βέβαια προϋποθέτει την ύπαρξη συσσωρευτών και συντήρησή τους, κάτι που αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας στη Δ.Ε.Η αποτελεί το οικονομικότερο σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κάνοντας μια σύνοψη της ανάλυσης που προηγήθηκε, η πορεία για την σωστή διεκπεραίωση της περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

1) Αρχικά γίνεται ανάλυση της οικίας και υπολογισμός των θερμικών απωλειών αυτής. 2) Η επιλογή του συστήματος θέρμανσης έγκειται στη κρίση του μελετητή μηχανικού και στο μηχανολογικό πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει. Στην παρούσα ανάλυση επιλέχθηκε το σύστημα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης το οποίο συνδυάστηκε με αντλία θερμότητας νερού-νερού κάθετου γεωεναλλάκτη, εκμεταλλεζόμενη τη αβαθή γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας. 3) Κατόπιν ακολουθεί η σχεδίαση του ηλιακού ενεργειακού συστήματος, με κύριες παραμέτρους τα κλιματολογικά στοιχεία, τα κατασκευαστικά στοιχεία των φ/β πλαισίων και τις εκάστοτε ενεργειακές ανάγκες. Αναφερόμενοι στην παρούσα εργασία, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών γίνεται από φ/β πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με κάλυψη 87 m² της νότιας όψης της στέγης.

Με την χρησιμοποίηση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης έχουμε το πλεονέκτημα ότι η θερμοκρασία εισόδου του νερού στις σωληνώσεις μπορεί να είναι χαμηλή (40°C) και έτσι είναι εύκολος ο συνδυασμός αυτού του συστήματος με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Επίσης πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι επιτυγχάνεται ήπια καθ' ύψος θερμοκρασιακή κατανομή & ήπια κατανομή της θερμοκρασίας σ' όλη την έκταση του χώρου. Μειονέκτημα όμως αποτελεί η μεγάλη απαιτούμενη θερμαντική επιφάνεια (δάπεδο & κατακόρυφες επιφάνειες) για την εξάλειψη των θερμικών απωλειών, καθώς και η μεγάλη ταχύτητα του νερού (>1m/s) μέσα στις σωληνώσεις, δημιουργώντας προβλήματα ακουστικής όχλησης.

Ειδικότερα από την ανάλυση του γεωθερμικού εναλλάκτη, βρέθηκε ότι το απαιτούμενο μήκος των σωληνώσεων, για την πλήρη κάλυψη του φορτίου μας, είναι αρκετά μεγάλο, εξαιτίας των υψηλών θερμικών απωλειών του κτιρίου και της μικρής θερμοκρασίας του εδάφους. Αυτό βέβαια αυτομάτως αυξάνει το κόστος της αρχικής επένδυσης. Παρόλο αυτά όμως με την χρήση του κάθετου γεωεναλλάκτη επιτυγχάνουμε την καλύτερη απόδοση, από τα υπόλοιπα συστήματα, αφού έχουμε μικρή διακύμανση της θερμοκρασίας.

Από τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης του Φ/Β συστήματος γίνεται φανερό ότι έχουμε πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, των ηλεκτρικών συσκευών-φωτισμού & των αντλιών θερμότητας, από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο, ενώ τους υπόλοιπους μήνες λόγω των ιδιαίτερα αυξημένων ηλεκτρικών αναγκών για θέρμανση, η ισχύς του Φ/Β συστήματος δεν επαρκεί. Παρόλο αυτά τα ποσοστά εξοικονόμησης που πετύχαμε είναι υψηλά φθάνοντας το 39,2%, ενώ με την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας των καλοκαιρινών μηνών στη Δ.Ε.Η, το ποσοστό εξοικονόμησης ανέρχεται στο 54,6%.

Παρά το γεγονός ότι, κατά την διάρκεια της ζωής τους όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πρακτικά μηδενικό κόστος λειτουργίας & συντήρησης, για την εγκατάστασή τους απαιτείται ένα αρκετά υψηλό αρχικό κεφάλαιο. Το κόστος όμως αυτό σε μεγάλα συγκροτήματα οικιών μπορεί να αναληφθεί από κάποιον τρίτο, λόγου χάριν από την πολιτεία ή από έναν κατασκευαστή, με την μέθοδο δηλαδή της χρηματοδότησης από τρίτους. Στη συνέχεια εγκαθίσταται μετρητικός εξοπλισμός για την καταγραφή, της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας (kWh) και των ηλεκτρικών ενεργειακών απαιτήσεων των αντλιών θερμότητας (kWh), οι οποίες χρεώνονται από τον χρηματοδότη στο χρήστη με τιμή αντίστοιχη αυτών που θα παράγονταν με συμβατικό τρόπο. Έτσι, κατ' αρχήν, ο χρήστης εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον κίνδυνο μη επιτυχούς επένδυσης, και στη συνέχεια η εγκατάσταση μεταβιβάζεται σ' αυτόν, μετά από προκαθορισμένο αριθμό ετών λειτουργίας, ενώ η απόδοση του συστήματος είναι εγγυημένη από τον χρηματοδότη.

Τέλος επόμενες μελέτες πάνω στη σχεδίαση ηλιακών ενεργειακών συστημάτων και αντλιών θερμότητας πρέπει να στηριχθούν στα εξής :

- Στα χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων και συγκεκριμένα στον βαθμό απόδοσής τους.
- Στα κλιματικά δεδομένα, κυρίως στις ώρες ηλιοφάνειας και όχι στις θερμοκρασίες λειτουργίας των φ/β πλαισίων, τα οποία να προέρχονται από μετρήσεις. Εφόσον υπάρχουν επαρκή κλιματικά δεδομένα, είναι προτιμότερη η ημερήσια ή ακόμα και η ωριαία ανάλυση.
- Μικρές αποκλίσεις των γωνιών κλίσης των φ/β πλαισίων δεν επηρεάζουν σημαντικά το ποσοστό συλλογής της ηλιακής ενέργειας.

- Κατά την μελέτη θέρμανσης ενός κτιρίου σημαντικό γεγονός αποτελεί ο συνυπολογισμός της θερμικής μάζας του κτιρίου μέσω των παθητικών ηλιακών & εσωτερικών κερδών. Πολλές υπολογιστικές μέθοδοι έχουν προταθεί για τον σκοπό αυτό όπως : η ESP¹, η SUNCODE², η SPIEL³, η CASAMO⁴, η SUNPAS⁵, η LANL III⁶ και η μέθοδος 5000⁷.
- Η ύπαρξη γεωλογικών μελετών είναι απαραίτητη για τον καθορισμό των θερμικών χαρακτηριστικών του εδάφους.
- Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί σε ημερήσιες ή ωριαίες μεταβολές στη μετάδοση θερμότητας στο έδαφος. Δεν είναι απαραίτητη η αναλυτική προσομοίωση για πολλά χρόνια, αφού οι μεταβολές στη μετάδοση θερμότητας αποσβένονται από την μεγάλη θερμική μάζα του εδάφους.
- Σημαντική επίσης είναι η ύπαρξη μακροχρόνιων δεδομένων (γεωλογικά-κλιματικά), για τον προσδιορισμό της επίδρασης των τοπικών υπόγειων υδάτων στο απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων.
- Σε κτίρια κατοικιών είναι προτιμότερη η χρησιμοποίηση του γεωεναλλάκτη οριζόντιου τύπου λόγω του χαμηλότερου κόστους αρχικής επένδυσης. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια αποτελεί η ύπαρξη έγκυρης μεθοδολογίας.
- Τέλος η εγκατάσταση των Φ/Β πλαισίων και του Γεωθερμικού Εναλλάκτη Θερμότητας, πέρα από τεχνικό, είναι και ένα οικονομικό γεγονός. Ειδικά για την εγκατάσταση τεχνολογιών που χρησιμοποιούν Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, που κατά κανόνα είναι ακριβότερες από τις συμβατικές, πρέπει να γίνουν ορισμένοι βασικοί υπολογισμοί, που θα αποδείξουν την ορθότητα της επένδυσης από οικονομικής σκοπιάς.

¹ Clarke J. A., Environmental Systems Performance, Abacus Manual No 31, Strathclyde, 1982

² Palmiter L. and Wheeling T., Suncode, Ecotope INC., Seattle, USA, 1982

³ Green C., SPIEL (Scribe System), CIC London Ltd., Sheffield, 1982

⁴ Ecole des Mines, Armines, CASAMO User's Manual, Armines Paris, 1982

⁵ Ashton N., Solarsoft, Solarsoft Snowmass, 1982

⁶ Jones R. W., Passive Solar Design Handbook, Volume III, US. Department of Energy, 1982, DOE/CS-0127/3.

⁷ Μελέτη Παθητικών Ηλιακών Κτιρίων, ΕΟΚ – Γενική Διεύθυνση ΧΠ, (Σχέδιο Ευρωπαϊκού Εγχειριδίου), Βρυξέλλες και Λουξεμβούργο, 1983.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πρακτικά του ΤΕΕ – Τμήμα Κεντρικής & Δ. Θεσσαλίας (τεύχος 2052).
2. Θεόδωρος Γ. Θεοδοσίου, σημειώσεις του μαθήματος «Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων Ι», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας – Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων.
3. Erlaeterungen zur DIN 4701/83, mit Beispielen, Werner-Verlag
4. Recknagel-Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik
5. Rietschel, Raiss, Heiz und Klimatechnik, Springer-Verlag
6. Κεντρικές Θερμάνσεις, Β. Σελλούντος
7. Εγχειρίδιο για τον Μηχανικό θερμάνσεων Garms/Pfeifer (ΤΕΕ)
8. Θέρμανση δαπέδου με ζεστό νερό σε κτίρια, Μ. Παπαδόπουλος (ΤΕΕ)
9. Πρότυπα ΕΛΟΤ και DIN
10. Ανδρέας Ε. Μοσχάτος, Ηλιακή Ενέργεια – Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας.
11. Σ. Ν. Λέγγα, Ν. Ι. Παρίκου, Θέρμανση – Αερισμός – Κλιματισμός, Εκδ. Ίων.
12. Νικόλαος Σ. Μουσιόπουλος, Εισαγωγή στη μετάδοση θερμότητας, Εκδ. Γιαχούδη – Γιαπούλη.
13. Ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης ΦΕΚ 362, Αθήνα – Ιούλιος 79.
14. Β. Η. Σελλούντος, Θέρμανση – Κλιματισμός.
15. Ν. Ανδρίτσος, διδακτικές σημειώσεις του μαθήματος «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας – Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων.
16. Ι. Κ. Καλδέλλης, Θ. Ιωαννίδης, Κ. Καββαδίας, Δ. Βλάχου, Ανάλυση ανταγωνισμού στη διεθνή φωτοβολταϊκή αγορά – Ισχύουσα κατάσταση – Δυνατότητες εφαρμογής στον ελλαδικό χώρο. 7^ο Εθνικό συνέδριο ΙΗΤ.
17. S. Lichk, «High Efficiency Solar cells» The Electrochemical Society Interface, (1997) 34.
18. Β. Μάλαμης, Αυτόνομες Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας Μικρού & Μεσαίου Μεγέθους. Εκδ. Ίων.
19. J. A. Duffie and W. A. Beckham, « Solar Engineering of thermal processes» 2nd Ed, J. Wiley and Sons, Inc, (1991).
20. Ι. Καλδέλλης και Καββαδίας, Εργαστηριακές εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Εκδ. Σταμούλης (2001).
21. Σ. Αντωνόπουλου, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις για κατοικίες, Εκδ. Ίων.

22. B. P. Kavanaugh, K. Rafferty, "Ground Source Heat Pumps : Design of Geothermal Systems for Commercial and institutional Buildings", ASHRAE
23. Chapter 31 Geothermal Energy, ASHRAE Applications Handbook (SI), 1999
24. John W. Lund, "Geothermal Heat Pumps – An overview". Geo-Heat Center Bulletin, March 2001
25. Πρόγραμμα εφαρμογής γεωεναλλακτών για ξενοδοχεία, σχολεία, γυμναστήρια, κτίρια γραφείων, οικισμούς, δημόσια κτίρια. Συνεργαζόμενοι φορείς : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Τμήμα Μηχ/γων Μηχανικών - ενεργειακός τομέας, Γεωέρευνα Ο.Ε, Ποσειδών Α.Ε Σύμβουλοι Βιομηχανιών. Ιανουάριος 2003
26. Athanasia A. Lazou and Anastasios D. Papatsoris, The Economic Analysis of Stand-Alone Residential Photovoltaic Systems. 6^ο Εθνικό συνέδριο IHT.
27. Jan F. Kreider, Peter S. Curtiss, Ari Rabl «Heating and Cooling of buildings»
28. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας :Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Ενεργητικά Ηλιακά συστήματα, Πρόγραμμα ALTENER, Αθήνα-Σεπτέμβριος 1998
29. Clarke J. A., Environmental Systems Performance, Abacus Manual No 31, Strathclyde, 1982
30. Palmiter L. and Wheeling T., Suncode, Ecotope INC., Seattle, USA, 1982
31. Green C., SPIEL (Scribe System), CIC London Ltd., Sheffield, 1982
32. Ecole des Mines, Armines, CASAMO User's Manual, Armines Paris, 1982
33. Ashton N., Solarsoft, Solarsoft Snowmass, 1982
34. Jones R.W., Passive Solar Desing Handbook, Volume III, US. Departement of Energy, 1982, DOE/CS-0127/3
35. Μελέτη Παθητικών Ηλιακών Κτιρίων, ΕΟΚ – Γενική Διεύθυνση XII, (Σχέδιο Ευρωπαϊκού Εγχειριδίου), Βρυξέλλες και Λουξεμβούργο, 1983.
36. www.chromagen.co.il/moresolor.htm
37. www.fsec.ucf.edu/pvt/pvbasics/
38. <http://www.alt-energy.com>
39. <http://www.aet.de>
40. www.retsreen.ca

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Μονάδες μήκους

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ mile} = 1609 \text{ m}$$

Μονάδες όγκου

$$1 \text{ liter} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 28.32 \text{ litres}$$

$$1 \text{ U.K. gal} = 4.546 \text{ liters}$$

$$1 \text{ U.S. gal} = 3.785 \text{ liters}$$

Μονάδες ενέργειας

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ BTU} = 1.055 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.1868 \text{ kJ}$$

Μονάδες ισχύος

$$1 \text{ BTU/h} = 0.2931 \text{ W}$$

$$1 \text{ ton ψυκτικού} = 12000 \text{ BTU/h} = 3.5172 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kcal/h} = 1.163 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 0.7457 \text{ W}$$

Μονάδες μάζας

$$1 \text{ lb} = 0.45356 \text{ kg}$$

Μονάδες ιξώδους

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ kg/ms}$$