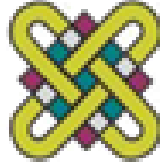


*Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών*



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Διερεύνηση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου της
Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.*

*Βαλκάνος Ραφαήλ
Πανάγος Κωνσταντίνος*

Επιβλέπων: Πανάρας Γεώργιος

Κοζάνη, Μάρτιος 2017

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	1
Περίληψη	7
Abstract	8
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Γεωθερμία	9
1.3 Η γεωθερμία ως ΑΠΕ	10
1.4 κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων	12
1.5 Αξιοποίηση της γεωθερμίας	12
1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα γεωθερμίας	16
1.7 Ιστορική αναδρομή	18
1.8 Η γεωθερμία στην Ελλάδα	22
Κεφάλαιο 2 : Θεωρία αντλιών θερμότητας	25
2.1 Αντλίες θερμότητας	25
2.2 Τρόπος λειτουργίας αντλιών θερμότητας	25
2.3 Είδη εναλλακτών και αντλιών θερμότητας	26
2.4 αναστροφή κύκλου	30
2.5 Στοιχεία αντλιών θερμότητας	31
2.6 Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας	33
2.7 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	36
2.8 Γεωεναλλάκτες	37

2.8.1 Γεωεναλλάκτες ανοιχτού κυκλώματος	39
2.8.2 Γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος	45
2.8.3 Υβριδικά συστήματα	45
2.8.4 Συστήματα απευθείας μετάδοσης θερμότητας	49
2.9 Οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα	51
2.10 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα	54
2.11 Παράμετροι λειτουργίας γεωεναλλακτών	56
2.12 Συστήματα διανομής στο εσωτερικό του κτιρίου	58
Κεφάλαιο 3 : Το κτίριο προς μελέτη	60
3.1 Το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας	60
3.2 Το κτίριο	60
3.3 Βασικές έννοιες	61
3.3.1 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων	64
3.4 Τα δομικά υλικά του κτιρίου	66
3.4.1 Αδιαφανή κατακόρυφα δομικά στοιχεία	66
3.4.2 Αδιαφανή οριζόντια δομικά στοιχεία	67
3.4.3 Διαφανή δομικά στοιχεία	69
3.5 Καταγραφή των επιφανειών του κτιρίου	70
3.6 Υπολογισμός ετήσιων θερμικών αναγκών και καταναλώσεων	78
3.6.1. Μέσες μηνιαίες τιμές κλιματολογικών δεδομένων	78
3.6.2 Μέση θερμοκρασία εξωτερικού αέρα	79

3.6.3. Βαθμομημέρες θέρμανσης	79
3.6.4. Θερμικές ανάγκες του κτιρίου	81
3.6.5 Υπολογισμός καταναλώσεων	84
3.6.6 Σύγκριση θεωρητικής κατανάλωσης με την πραγματική	86
Κεφάλαιο 4 : Ενεργειακή αναβάθμιση	87
4.1 θερμομόνωση κτιρίου	87
4.2 Αποτελέσματα θερμομόνωσης	93
4.3 Επιλογή νέου συστήματος θέρμανσης	105
4.4 Ζεστό νερό χρήσης	107
4.5 Αντικατάσταση λαμπτήρων	109
4.6 Χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ	110
Κεφάλαιο 5 : Σχεδιασμός του γεωεναλλάκτη	113
5.1 Εισαγωγή	113
5.2 Χαρακτηριστικά αντλιών	113
5.3 Μεγέθη υπολογισμού	115
5.4 Υπολογισμός γεωεναλλάκτη	115
5.4.1 Επιλογή διαμέτρου	115
5.4.2 Υπολογισμός κατακόρυφου γεωεναλλάκτη	117
5.4.3 Υπολογισμός πτώσης πίεσης	130
5.4.4 Υπολογισμός γεωεναλλάκτη για το κτίριο Δ κατά VDI 4640 (εναλλακτικά)	134
5.5 Μεθοδολογία εγκατάστασης γεωεναλλάκτη	137

Κεφάλαιο 6 : Οικονομικά στοιχεία	142
6.1 Οικονομοτεχνική ανάλυση	142
6.2 Βιωσιμότητα συστήματος θέρμανσης	142
6.2.1 Κόστος θερμομόνωσης αδιαφανών στοιχείων	142
6.2.2 Κόστος αντικατάστασης διαφανών στοιχείων	143
6.2.3 Κόστος αγοράς αντλιών θερμότητας	143
6.2.4 Κόστος αγοράς δοχείων ζεστού νερού	144
6.2.5 Κόστος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη	145
6.2.6 Συνολικό κόστος της αναβάθμισης	146
6.2.7 Ετήσια έξοδα υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης	146
6.2.8 Ετήσια έξοδα προτεινόμενου συστήματος θέρμανσης	146
6.2.9 Απόσβεση συστήματος θέρμανσης	146
6.3 Βιωσιμότητα συστήματος φωτισμού	147
6.3.1 Κατανάλωση υφιστάμενου συστήματος	147
6.3.2 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων	147
6.3.3 Κατανάλωση προτεινόμενου συστήματος	148
6.3.4 Απόσβεση συστήματος φωτισμού	148
6.4 Βιωσιμότητα φωτοβολταϊκών πάνελ	148
6.4.1 Κόστος αγοράς και εγκατάστασης φ/β	148
6.4.2 Ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	149

6.4.3 Απόσβεση φ/β πάνελ	149
Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα	150
Βιβλιογραφικές αναφορές	152
Ξένη βιβλιογραφία	152
Ελληνική βιβλιογραφία	152
Ιστοσελίδες	153

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για την εκπαίδευση και τις γνώσεις που μας προσέφεραν και κυρίως τον επιβλέπων καθηγητή της εργασίας μας, κ. Γεώργιο Πανάρα, για την καθοδήγησή του και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τους κ. Μαλανδράκη Γεώργιο και κ. Ίνδο Ηλία, καθώς χωρίς το υλικό που μας παρείχαν δεν θα ήμασταν σε θέση να ολοκληρώσουμε τη διπλωματική μας εργασία.

Τέλος οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στις εταιρίες Carrier, Big Solar Led και Rehau για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Κοζάνη, Μάρτιος 2017

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται διερεύνηση και διαστασιολόγηση κατάλληλων τεχνολογικών λύσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση των εγκαταστάσεων της Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, στη Φλώρινα.

Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο όρος «Γεωθερμική ενέργεια», οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να την αξιοποιήσουμε και γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2, γίνεται περιγραφή των αντλιών θερμότητας και του τρόπου λειτουργίας αυτών, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

Ακολούθως στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται το κτίριο προς μελέτη, και γίνεται υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου. Αφού προτείνεται η κατάλληλη θερμομόνωση, στο κεφάλαιο 4 υπολογίζονται οι καταναλώσεις πετρελαίου και διαστασιολογούνται οι αντλίες θερμότητας. Επιπλέον γίνεται μια διερεύνηση για κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων από φωτοβολταϊκά και αντικατάσταση των λαμπτήρων, με λαμπτήρες LED χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Στο 5^ο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται η διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη και τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία της επέμβασης και ο χρόνος απόσβεσης, ενώ στο κεφάλαιο 7 ακολουθούν τα συμπεράσματα τα οποία εξήλθανε.

Abstract

In this thesis, research and design methods were used and examined to reach the most suitable energy upgrade for the building of the Faculty of Education, of the University of Western Macedonia, at Florina.

In the 1st chapter the term “Geothermal Energy” is presented and the ways we can utilize it, as well as a brief retrospective. In chapter 2, a description of heat pumps and the way in which they work is explained, with a strong emphasis on ground source heat pumps.

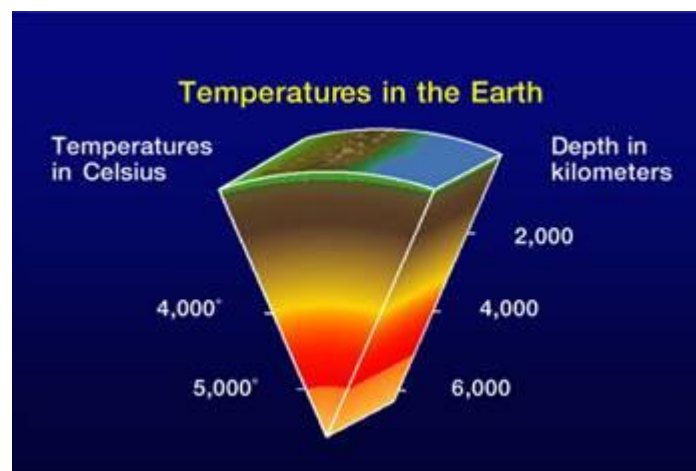
In chapter 3 the building design is presented with calculations of the heat transfer coefficient of the building structure and structural mechanics. After the most suitable insulation is proposed, chapter 4 analyzes the energy efficiency and sizing of the heat pumps. A building energy analysis is also performed and the energy consumption and replacement of the existing lighting with LED energy efficient lighting.

In the 5th chapter of the thesis, a calculation of the geothermal heat exchanger and lastly in chapter 6 a financial analysis is presented with a focus on life cycle cost analysis and concluding at chapter 7 with the final findings.

Κεφάλαιο 1 : Η γεωθερμική ενέργεια

1.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες οικολογικές τάσεις αφενός, και το συνεχώς αυξανόμενο κόστος των συμβατικών μορφών ενέργειας αφετέρου, οδηγούν ως μονόδρομος στη χρήση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας ακόμη και σε θέματα καθημερινών εφαρμογών όπως η θέρμανση και ο κλιματισμός ενός κτιρίου. Μία από τις μορφές ενέργειας που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία, των ανανεώσιμων δηλαδή μορφών ενέργειας, είναι και η γεωθερμική ενέργεια.



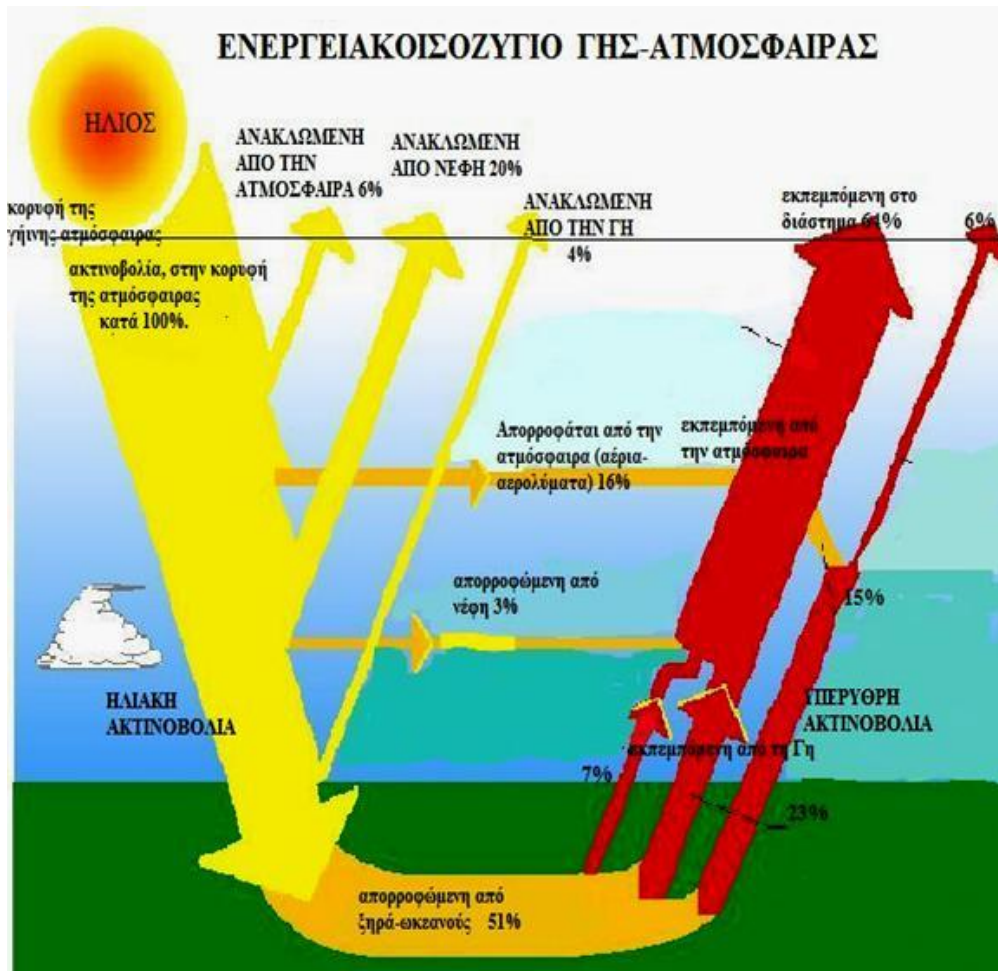
Σχήμα 1.1 Θερμοκρασία του εσωτερικού της Γης
(Πηγή : <http://geo-energy.org>)

1.2 Γεωθερμία

Με τον όρο γεωθερμία θα μπορούσε να δημιουργηθεί σύγχυση. Αυστηρώς επιστημονικά, γεωθερμία νοείται η αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης (σε υπόγεια νερά, στο υπέδαφος, σε ατμό ή θερμό αέρα) θερμική ενέργεια με θερμοκρασίες από 25 έως και 350 °C. Καθώς πρόκειται για μια ανεξάντλητη και καθαρή πηγή ενέργειας, αξιοποιείται στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες, για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, θερμά λουτρά και άλλα. (www.amkat.gr)

Στην πιο ευρεία χρήση του όρου γεωθερμία εντάσσουμε σήμερα και τη θερμική ενέργεια του εσωτερικού της γης με θερμοκρασία μικρότερη από 25 °C, που προέρχεται κυρίως από την αποθήκευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στις περιπτώσεις αυτές το βάθος εκμετάλλευσης συνήθως είναι μικρότερο από 150m και για το λόγο αυτό

χαρακτηρίζεται και ως αβαθής γεωθερμία, που ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης σε οικιακές και μεγαλύτερης κλίμακας κατασκευές. (www.naftemporiki.gr)



Σχήμα 2.2 Ενεργειακό ισοζύγιο Γης-ατμόσφαιρας (Πηγή: <http://49lyk-athin.att.sch.gr/>)

1.3 Η γεωθερμία ως ΑΠΕ

Η επιστημονική κοινότητα ταξινομεί συνήθως τη γεωθερμία στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Αν και αυτή η ταξινόμηση ισχύει από δεκαετίες, συχνά διατυπώνονται κάποια ερωτηματικά. Υπάρχει η άποψη ότι με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια η γεωθερμική ενέργεια δεν αποτελεί πάντα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Μία έννοια συνδεδεμένη με την «ανανεωσιμότητα» ενός ενεργειακού πόρου είναι η «αιφορία». Η ανανεωσιμότητα αποτελεί ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αιφορία περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται οποιοσδήποτε φυσικός πόρος και σχετίζεται με την ορθολογική διαχείριση των πόρων, την διάθεση τους σε προσιτό κόστος

και χαρακτηρίζεται από κάποια μορφή ισορροπίας. Ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου σημαίνει ότι η οποιαδήποτε ποσότητα που λαμβάνεται από τον συγκεκριμένο πόρο, η ίδια ποσότητα αναπληρώνεται κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τη θερμότητα του εσωτερικού της γης και αυτή η θερμότητα είναι πρακτικά απεριόριστη. Σύμφωνα με τη σημερινή επιστημονική γνώση, στο εσωτερικό της γης, η θερμοκρασία κυμαίνεται από 1000-3000 στον μανδύα και πάνω από 4000 στον πυρήνα. Ο ρυθμός και η δυνατότητα πλήρους ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κριτήριο στην ταξινόμηση ενός πόρου ως ανανεώσιμου ή όχι. (Ζέζας,2014)

Τα γεωθερμικά πεδία τροφοδοτούνται κυρίως με μετεωρικά νερά (βροχή, χιόνι) ή άλλα επιφανειακής προέλευσης νερά (θαλάσσια, λιμναία, ποτάμια), που κατεισδύουν στο εσωτερικό της γης και κυκλοφορούν υπογείως, θερμαίνονται, εμπλουτίζονται με άλατα και αέρια και μπαίνουν στον διαρκή κύκλο της μεταφοράς θερμότητας. Μέσα στον ταμιευτήρα, όπου η κυκλοφορία είναι πιο γρήγορη και εύκολη, συγκεντρώνονται νερά κάτω από συνθήκες αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας, που θερμαίνονται με αγωγή και συναγωγή. Ο ταμιευτήρας προστατεύεται από στεγανό γεωλογικό κάλυμμα που εμπλουτίζει τη διάχυση της θερμικής ενέργειας στην επιφάνεια. Κάποιος βαθμός τοπικής εξάντλησης των πόρων στο συγκεκριμένο πεδίο/ταμιευτήρα μπορεί να συμβεί κατά την αξιοποίηση του πόρου, όταν ο ταμιευτήρας των γεωθερμικών ρευστών δεν «επικοινωνεί» με την επιφάνεια του εδάφους, παρά μόνο σε πολύ μακρινή απόσταση, και ο ρυθμός επανατροφοδοσίας και θέρμανσης των ρευστών δεν είναι ίσος με το ρυθμό άντλησης αυτών. Σε μερικούς θερμούς και εγκλωβισμένους ταμιευτήρες μέσα σε βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες, η ενεργειακή επαναφόρτιση ελέγχεται από την αγωγή θερμότητας και είναι μια αργή διαδικασία. Υπάρχει βέβαια και η ακραία περίπτωση των εντελώς κλειστών ταμιευτήρων, όπου η εκμετάλλευση με άντληση θα μπορούσε να οδηγήσει κάποια στιγμή στην πρακτική εκκένωση του ταμιευτήρα (όπως γίνεται με τους ταμιευτήρες των υδρογονανθράκων).

Τα πιο συνηθισμένα συστήματα είναι τα υδροθερμικά, όπου τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία συγκεντρώνονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και με τη βοήθεια γεωτρήσεων έρχονται στην επιφάνεια και γίνονται αντικείμενο αξιοποίησης. Αυτά είναι και τα κύρια συστήματα που αξιοποιούνται σήμερα. Κατά την εκμετάλλευση των υδροθερμικών συστημάτων, η επανατροφοδοσία της ενέργειας επιτυγχάνεται με τη φυσική αναπλήρωση του νερού στον ταμιευτήρα, στο ίδιο περίπου χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των ρευστών. Αυτό σημαίνει ότι το υπόγειο νερό ή ο ατμός που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για την κάλυψη θερμικών αναγκών (άμεσες χρήσεις

γεωθερμίας), με την κατάλληλη διαχείριση, δεν θα ελαττωθούν, επειδή η κατείσδυση θα συνεχίσει να επανατροφοδοτεί τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες. Αρκεί να μην γίνεται υπεράντληση. Η επαναδιοχέτευση των ρευστών, μετά τη χρήση τους, με άλλες γεωτρήσεις και σε ικανοποιητικές αποστάσεις μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως την ποσότητα και την πίεση των ρευστών του ταμιευτήρα. Συνεπώς, οι γεωθερμικοί πόροι μπορεί να θεωρηθούν ως ανανεώσιμοι στην κλίμακα χρόνου των τεχνολογικών και κοινωνικών συστημάτων και δε χρειάζονται μεγάλους γεωλογικούς χρόνους (περιόδους) για αναγέννηση, όπως γίνεται με τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων. (Αρβανίτης, 2008)

1.4 κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, έχει μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο και για την κάλυψη των αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο διακρίνεται σε:

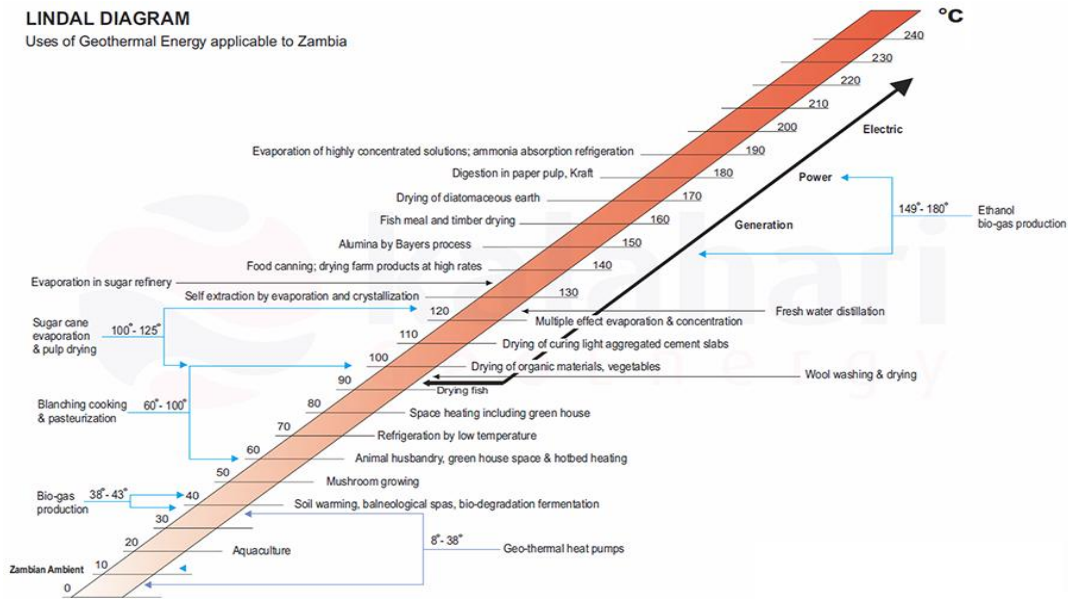
- Υψηλής ενθαλπίας (>150 °C)
- Μέσης ενθαλπίας (80 έως 150 °C)
- Χαμηλής ενθαλπίας (25 έως 80 °C)
- Πολύ χαμηλής ενθαλπίας (<25°C)

1.5 Αξιοποίηση της γεωθερμίας

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα οικονομικών δραστηριοτήτων και εφαρμογών, ανάλογα με τη θερμοκρασία και την ποιότητα των ρευστών. Μάλιστα μπορούν να διακριθούν σε ηλεκτρικές και άμεσες χρήσεις. Στις άμεσες χρήσεις γίνεται απευθείας εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών (χωρίς να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια). Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμίας παρουσιάζονται συνοπτικά στο τροποποιημένο διάγραμμα Lindal. Το διάγραμμα αυτό είναι ενδεικτικό, γεγονός που σημαίνει ότι οι δυνατότητες χρήσεις δεν περιορίζονται μόνο σε αυτές που αναφέρονται στο διάγραμμα.

LINDAL DIAGRAM

Uses of Geothermal Energy applicable to Zambia



Σχήμα 1.3 Το διάγραμμα Lindal
(Πηγή: <http://www.kalaharigeoenergy.com>)

Γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150 °C (υψηλής ενθαλπίας) χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα των θερμοκρασιών. Όμως με κατάλληλη διαδικασία, όπως είναι ο λεγόμενος «δυναμικός κύκλος» (ή ο κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό), είναι δυνατή η ηλεκτροπαραγωγή και με τη χρησιμοποίηση ρευστών χαμηλότερης θερμοκρασίας (85-150 °C). Στην Ελλάδα υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο με ρευστά υψηλής ενθαλπίας όσο και με τον δυναμικό κύκλο.

Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας, όπου γίνεται αξιοποίηση της θερμότητας των ρευστών, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις, λουτροθεραπεία και αντλίες θερμότητας. Στις περισσότερες γεωθερμικές εφαρμογές απαιτείται η μεταφορά της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών σε ένα ρευστό λειτουργίας (κυρίως γλυκό νερό ή αέρα) μέσω εναλλακτών θερμότητας και χρησιμοποιείται η αποκτημένη πλέον θερμότητα αυτού του ρευστού λειτουργίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών, ανά κατηγορία.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ

- Θέρμανση κτιρίων με εναλλάκτες θερμότητας αέρα-νερού ή νερού-νερού.
- Θέρμανση χώρων κολυμβητηρίων και πισινών.
- Αντιπαγετική προστασία δρόμων, πεζοδρομίων, πλατειών, χώρων στάθμευσης κλπ.



Σχήμα 1.4 Αντιπαγετική προστασία πεζοδρομίου
(Πηγή: <http://www.thinkgeoenergy.com>)

ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

- Θέρμανση θερμοκηπίων (θερμοκρασίες 40-130 °C).
- Ξήρανση δημητριακών (θερμοκρασίες 40-80 °C).
- Ξήρανση λαχανικών, φρούτων και καρπών (θερμοκρασίες 40-70 °C).
- Ξήρανση αγροτικών προϊόντων όπως μηδικής, καπνού και βαμβακιού.
- Θέρμανση εδάφους (θερμοκρασίες 25-40 °C).
- Υπεδάφια θέρμανση για πρωίμηση σπαραγγιών.
- Θέρμανση πτηνοτροφικών και κτηνοτροφικών μονάδων και ποιμνιοστάσιων.
- Επεξεργασία γάλακτος (θερμοκρασίες 70-120 °C)
- Συντήρηση τροφίμων (παραγωγή ψύξης). (θερμοκρασίες 90-150 °C)
- Καλλιέργειαμανιταριών (θερμοκρασίες 20-60 °C).
- Καθαρισμός κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων.
- Άρδευση με απορριπτόμενο γεωθερμικό νερό (μόνο όταν είναι πολύ καλής ποιότητας).



Σχήμα 1.5 Θέρμανση θερμοκηπίου με γεωθερμία
(Πηγή: <http://www.4green.gr>)

ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

- Καλλιέργεια και ανάπτυξη διαφόρων ειδών ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες, γατόψαρα), θαλάσσιων μαλακόστρακων (γαρίδες), ερπετών, μικροφυκών κ.α. (θερμοκρασίες 15-35 °C)

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

- Αφαλάτωση νερού (αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού σε νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές με έντονο πρόβλημα επάρκειας γλυκού νερού).
- Χώνευση βιολογικής λάσπης και λυμάτων.
- Ξήρανση γης διατομών (στην Ισλανδία με ατμό 170 °C).
- Πλύσιμο και λεύκανση μαλλιών (στη Ν. Ζηλανδία).
- Παραγωγή αποσταγμένου νερού (στη Ν. Ζηλανδία).
- Ανάκτηση πετρελαίου (στο Καζακστάν).
- Εξόρυξη πετρελαίου (στο Τέξας των Η.Π.Α.), επεξεργασία χαλκού (στο Ν. Μέξικο και στις Η.Π.Α.), διαχωρισμός χρυσού (στη Νεβάδα των Η.Π.Α.) και ορυχεία (στη Σιβηρία).
- Ξήρανση ξυλείας.
- Απόληψη και ανάκτηση διαφόρων αλάτων και στοιχείων.

- Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).



Σχήμα 1.6 Γεωθερμικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Ν. Ζηλανδία
(Πηγή: <https://commons.wikimedia.org>)

ΛΟΥΤΡΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

- Ιαματικά λουτρά και spa (λουτροθεραπεία, πισινοθεραπεία, εισπνοθεραπεία, θαλασσοθεραπεία)
- Πισίνες αναψυχής.

(Αρβανίτης, 2008)

1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα γεωθερμίας

Η αβαθής γεωθερμία πλεονεκτεί στο ότι είναι διαθέσιμη παντού και είναι αρκετά εύκολη στην αξιοποίηση και αδειοδότηση της. Ένα σύστημα εκμετάλλευσης αβαθούς γεωθερμίας για οικιακές εφαρμογές αποτελείται συνήθως από τρία μέρη: τη γεωθερμική αντλία θερμότητας, τον γεωθερμικό εναλλάκτη και την εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου.

Μια τέτοια εγκατάσταση αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους (από 18 έως 22°C) μεταφέροντας θερμότητα από το υπέδαφος (ή τα υπόγεια ύδατα) προς τον κλιματιζόμενο χώρο και αντίστροφα, ως εξής: κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στον γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του υπεδάφους και τη μεταφέρει στην αντλία θερμότητας, η οποία στη συνέχεια τη μεταφέρει σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο.

Το καλοκαίρι το σύστημα απάγει θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει μέσω της αντλίας θερμότητας στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας πρακτικά είναι μια συσκευή που με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από έναν ψυχρότερο χώρο σε ένα θερμότερο, ακριβώς όπως λειτουργεί ένα απλό κλιματιστικό μηχάνημα. Το μεγάλο της πλεονέκτημα έγκειται στο ότι ενώ τα κλιματιστικά μηχανήματα αποβάλλουν ή απάγουν θερμότητα από το περιβάλλον, η γεωθερμική αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί το σταθερής θερμοκρασίας υπέδαφος.

Το καλοκαίρι, που το κλιματιστικό μηχάνημα καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα περιβάλλον ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο καταναλώνοντας μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, η γεωθερμική αντλία θερμότητας αποβάλλει θερμότητα στο υπέδαφος, που η θερμοκρασία του δεν ξεπερνά τους 20°C, με αποτέλεσμα η απόδοσή της να είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 15-17°C του εδάφους μέχρι τους 20-22°C για να ζεστάνει το εσωτερικό του κτιρίου, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

Ο χαρακτηριστικός βαθμός απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας (ο λόγος της ισχύος που η αντλία προσδίδει στο χώρο προς την ισχύ που καταναλώνει) κυμαίνεται από 4 έως 5, που σημαίνει ότι το σύστημα χρησιμοποιεί 1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας για να παράγει 4-5 kWh θερμικής/ψυκτικής ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στο ότι αντλείται δωρεάν ενέργεια από το υπέδαφος, για θέρμανση και ψύξη κτιρίων. (www.naftemporiki.gr)

Περαιτέρω, τα κύρια πλεονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας είναι:

- Αξιοπίστη τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον, χωρίς εκπομπές αερίων ρύπων.
- Άντληση δωρεάν ενέργειας από το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.
- Εξοικονόμηση κατά 75% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και κατά 40% για δροσισμό-ψύξη ενός κτιρίου.
- Μείωση των δαπανών για θέρμανση από 25 έως 75%.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης εγκατάστασης και εξοπλισμού. Οι γεωθερμικές αντλίες δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα. κλιματισμό
- Απουσία θορύβου κατά τη λειτουργία της.
- Παρέχεται υψηλής ποιότητας άνεση στους εσωτερικούς χώρους.
- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο. Δεν απαιτείται λέβητας, δεξαμενή

πετρελαίου, ή καπνοδόχος, ενώ δεν απαιτείται αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου.

- Μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μία εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Ωστόσο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έχει και ορισμένα βασικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να λυθούν για την ικανοποιητική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας. Αυτά είναι τα εξής:

- Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων, αλλά κάνει απόσβεση σε λίγα χρόνια.
- Για τα ανοικτά γεωθερμικά κυκλώματα απαιτείται παροχή καθαρού νερού (π.χ. από γεώτρηση).
- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξηραθεί και να απομακρυνθεί από τον χώρο ανέγερσης της κατοικίας.

(www.gaiadrill.gr)

1.7 Ιστορική αναδρομή

Η ανθρωπότητα δεν γνώριζε από πάντα την ύπαρξη της αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας στο έδαφος, όπως και σήμερα άλλωστε δεν είναι ευρέως γνωστό το γεγονός ότι η αποθηκευμένη αυτή ηλιακή ενέργεια είναι υπό μορφή θερμότητας καθώς και ότι η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα παραμένει σχεδόν σταθερή σε κάθε σημείο της γης.

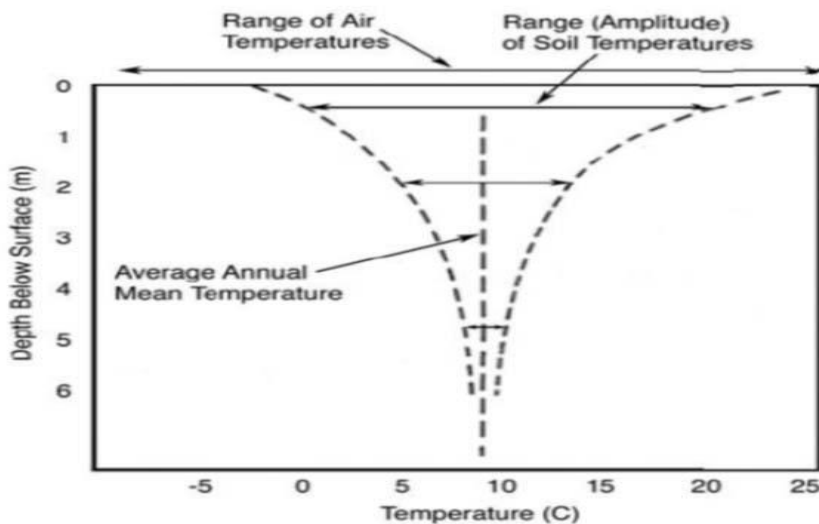
Φαίνεται όμως ότι η ενέργεια αυτή και τα θερμά νερά ήταν γνωστά στην αρχαία Ελλάδα. Οι θερμές πηγές θεωρούνταν στην αρχαιότητα ότι είχαν θεραπευτικές ιδιότητες και γι αυτό τα Ασκληπιεία και άλλοι ιεροί χώροι (πχ ναοί) βρίσκονταν κοντά σε αυτές. Αυτό άλλωστε διαπιστώνεται τόσο από τα πρώτα κείμενα της αρχαίας Ελλάδας (Ομηρικά Έπη), όσο και από μεταγενέστερα κείμενα των Ηροδότου, Πausανία, Πλούταρχου, Αριστοτέλη, Στράβωνα κλπ. Ο ημίθεος Ηρακλής συνδέθηκε και με τα θερμά λουτρά και πολλές θερμές πηγές λέγονταν «θέρμες του Ηρακλή». Σημαντικές είναι και οι πηγές του Ιπποκράτη (460-375 π.Χ.) για τις ευεργετικές επιδράσεις των θερμών νερών. Υπάρχουν πολλές παραστάσεις, κυρίως σε αγγεία, που συνδέουν τις θερμές πηγές με τη χρήση του νερού για ιαματικούς σκοπούς, ακόμη και για θρησκευτικούς.

Η χρήση των φυσικών θερμών ρευστών ήταν γνωστή και στους αρχαίους ανατολικούς λαούς, στην Κίνα και στην Ιαπωνία, με πληθώρα μαρτυριών στη μυθολογία και στην ιστορία τους, καθώς και στους παλαιούς γηγενείς κατοίκους της Αμερικής πριν από χιλιάδες χρόνια. Οι Ετρούσκοι και οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν τα θερμά νερά όχι

μόνο για ιαματικούς σκοπούς, αλλά και για την θέρμανση κατοικιών. Ο Γαληνός (2^{ος} αιώνας μ.Χ.), εκτός από τις συνεχείς αναφορές στα έργα του για την ευεργετική αξία των θερμών λουτρών, προσέφερε και φρούτα εκτός εποχής στους καλεσμένους του, τα οποία προφανώς παρήγαγε σε κάποια στοιχειώδη θερμοκήπια. (Αρβανίτης, 2008)

Η σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους αποδείχθηκε επιστημονικά σε βαθείς υπόγειους θαλάμους κάτω από το παρατηρητήριο του Παρισιού πολλούς αιώνες αργότερα. Στα τέλη του 17^{ου} αιώνα, ο διάσημος Γάλλος φυσικοχημικός Lavoisier, τοποθέτησε ένα θερμόμετρο υδραργύρου σε εκείνο το σημείο, σε βάθος περίπου 28 μέτρων κάτω από το επίπεδο του δρόμου. Ο Buffon αναφέρει συγκεκριμένα το 1778 στο βιβλίο του «National history- General and specific», ότι οι θερμοκρασιακές ενδείξεις αυτού του θερμομέτρου παρέμεναν σταθερές κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Επιπλέον ο Alexander von Humboldt κατά τη διάρκεια των σπουδών του στο Παρίσι σημειώνει το 1799 ότι « Η μέση θερμοκρασία των μετρήσεων που έχουν λάβει χώρα σε αυτή τη βάση από το 1680, παρουσιάζει διακύμανση κάτω από 1 °C».

Το 1838, ξεκίνησε μία σειρά μετρήσεων, μεγάλης ακριβείας, της θερμοκρασίας στο Royal Observatory του Εδιμβούργου, οι οποίες έδειξαν ότι σε βάθος 8 μέτρων από την επιφάνεια, οι θερμοκρασιακές μεταβολές αποτελούν το 1/20 αυτών που παρατηρούνται στην επιφάνεια, ενώ σε βάθος 16,5 μέτρων αποτελούν το 1/400 αντίστοιχα. (Αποστολίδου,2010)



Σχήμα 1.7 Διακύμανση της θερμοκρασίας ανάλογα με το βάθος
(Πηγή: <http://ghpbooks.com>)

Στη σύγχρονη εποχή, η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της Γεωθερμίας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας, όπου από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα χρησιμοποιούνταν υπέρθερμος ατμός για την παραγωγή βορικού οξέος και για την

θέρμανση κτιρίων. Στην ίδια περιοχή, το 1904, έγινε η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φυσικών ατμών που έβγαιναν με πίεση. Σήμερα λειτουργούν στη περιοχή μονάδες ηλεκτροπαραγωγής εγκατεστημένης ισχύος πάνω από 540 MW. (Αρβανίτης,2008)

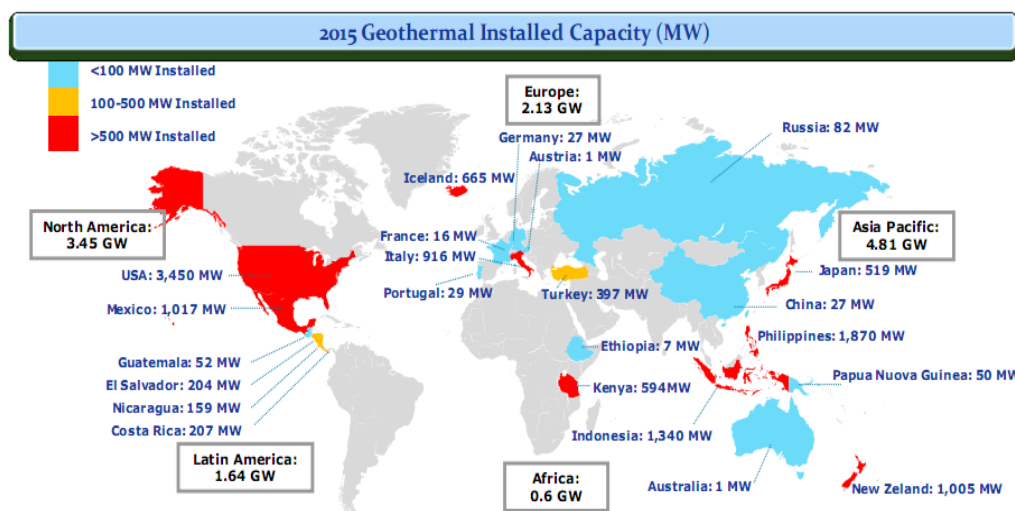
Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων και κτιρίων, ξεκίνησε τη δεκαετία του 1920 στην Ισλανδία. Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της (και ολόκληρη η πρωτεύουσα Ρέικιαβικ) θερμαίνονται με γεωθερμικά ρευστά, ενώ υπάρχει και πλήθος άλλων εφαρμογών (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση θερμοκηπίων και πισινών, υδατοκαλλιέργειες, ξήρανση ορυκτών κ.α.).

Η πρώτη εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, ή πιο σωστά η πρώτη αντλία θερμότητας με πηγή το έδαφος, έλαβε χώρα στην Ινδιανάπολις το 1945 στο σπίτι του Robert C. Webber, υπάλληλου στην εταιρία “Indianapolis Power and Light Co”. Αναλυτικότερα με ένα συμπιεστή 2,2 kW συνδεδεμένο με απευθείας επέκταση ενός συστήματος σπειρών σε υπόγειους τάφρους, παρείχε θέρμανση σε σύστημα θέρμανσης με θερμό αέρα. Η αναφορά ελέγχου που συντάχθηκε κλείνει με αυτά τα λόγια: «Ελπίζεται, παρόλα αυτά, ότι αυτή η αναφορά της ενεργής εγκατάστασης υπό τους μέσους όρους λειτουργίας, θα βοηθήσει στο να δώσει σε άλλες χρήσεις την ιδέα της δυνατότητας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας εδάφους για τη θέρμανση κατοικιών».



Σχήμα 1.8 Ο πρώτος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία, στο Larderello της Ιταλίας
(Πηγή: <http://www.reuk.co.uk>)

Στα επόμενα χρόνια ακολούθησαν πολυάριθμες προτάσεις για το πώς θα μπορούσε η γη να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή θερμότητας αλλά και σαν δεξαμενή θερμότητας για τις αντλίες. Έρευνες που έχουν διεξαχθεί από το 1947 δείχνουν ουσιαστικά ότι όλες οι μέθοδοι εφαρμογής μέχρι σήμερα συμπεριλαμβάνοντας γεωτρήσεις υπόγειου νερού, οριζόντιες σπείρες με απευθείας επέκταση, κυκλώματα άλμης, κάθετες γεωτρήσεις εναλλακτών θερμότητας, ομοαξονικές, σχήματος U και σπειροειδούς μορφής δοκιμάστηκαν από τις πρώτες μέρες αυτής της τεχνολογίας.



Σχήμα 1.9 Συνολική εγκατεστημένη ισχύς έως το 2015
(Πηγή: <http://euanmearns.com>)

Η πρώτη εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας στον Καναδά έλαβε χώρα το 1949, σε οίκημα που ανήκε στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο. Στην Ευρώπη η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας ξεκίνησε περί το 1970. Σήμερα υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις αβαθούς γεωθερμίας σε πολλά μέρη ανά τον κόσμο όπως στην Ιαπωνία, Κίνα, Η.Π.Α., Καναδά, Γερμανία, Βέλγιο, Ολλανδία, Σουηδία, Ελβετία, Φινλανδία και Γαλλία. (Αποστολίδου,2010)

Η συνολική εγκατεστημένη παγκόσμια ισχύς έφτασε το 2007 τα 10300 MW, από τα 3887 MW που ήταν το 1980, τα 5832 MW το 1990 και τα 7972 MW το 2000. Στην Ευρώπη έξι χώρες (Ιταλία, Ισλανδία, Γερμανία, Γαλλία, Πορτογαλία, Αυστρία) με ηλεκτροπαραγωγή από τη γεωθερμία, έχουν εγκατεστημένη ισχύ 1045 MW, ενώ σε τριάντα δύο χώρες με εφαρμογές άμεσων χρήσεων (αξιοποίηση της θερμότητας στη θέρμανση θερμοκηπίων και κτιριακών εγκαταστάσεων, υδατοκαλλιέργειες, ξηραντήρια, λουτροθεραπεία, βιομηχανικές χρήσεις κ.α.), η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φτάνει τα 12480 MWt. (Αρβανίτης,2008)

1.8 Η γεωθερμία στην Ελλάδα

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τεσσάρων κατηγοριών (υψηλής, μέσης, χαμηλής και πολύ χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτηρίων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

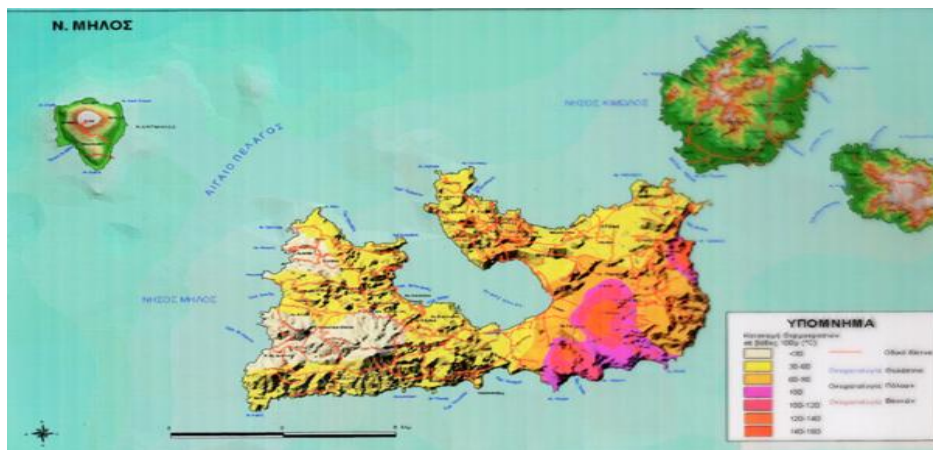
Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών, η ΔΕΗ, σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Έτσι συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100 °C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100 °C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.



Σχήμα 1.10 Γεωθερμικό πεδίο στη Νίσυρο
(Πηγή: <http://renewablegreece.wikispaces.com>)

Στη Μήλο και στη Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (πέντε και δύο αντίστοιχα). Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1000 m και στην Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1500 m. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 MW και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 MW και 50 MW αντίστοιχα.



Σχήμα 1.11 Γεωθερμικό πεδίο στη Μήλο
(Πηγή: <http://renewablegreece.wikispaces.com>)

Στη Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κλπ. Στην λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθοτρόπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηρόκαστρου και Αγγίστρου. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75 °C, συνήθως αρτεσιανά και πολύς καλής ποιότητας και παροχής. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στη Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο.

Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστρου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Νερά αρίστης ποιότητας μέχρι 70 και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στην Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι και 82 °C. Στην λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56 °C. Στην Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία, καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100 m συνάντησαν νερά της τάξης των 100 °C.

Από τα παραπάνω συνεπάγεται ότι ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές. Εντούτοις, αν εξετάσει κανείς την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των γεωθερμικών εφαρμογών στην Ελλάδα, συμπεραίνει ότι ο μόνος τομέας που βελτιώθηκε σημαντικά είναι εκείνος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και μάλιστα χωρίς την ύπαρξη οικονομικών κινήτρων και ενισχύσεων. Αντιθέτως, η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας έχει να επιδείξει μηδενικές εφαρμογές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στον τόπο μας, παρότι πρόκειται για μια ήπια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τον υψηλότερο συντελεστή χρήσης/λειτουργίας σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ.

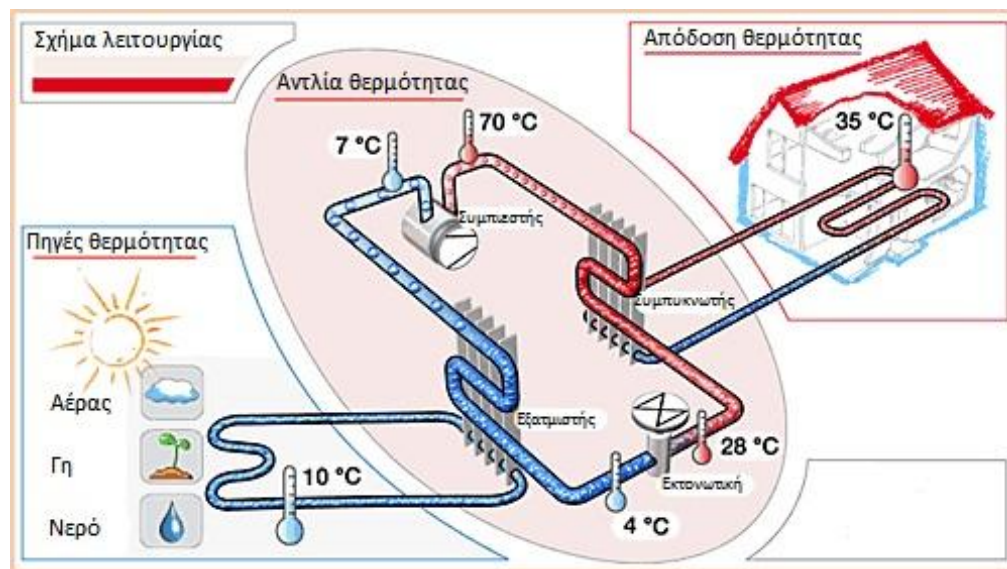
Κεφάλαιο 2 : Θεωρία αντλιών θερμότητας

2.1 Αντλίες θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας ονομάζονται έτσι διότι «αντλούν» θερμότητα από μια ψυχρή πηγή (εξωτερικό περιβάλλον το χειμώνα ή ψυχόμενος χώρος το καλοκαίρι) και με την βοήθεια ενός ψυκτικού μέσου την αποβάλλουν σε μια θερμή πηγή (θερμαινόμενος χώρος το χειμώνα ή εξωτερικό περιβάλλον το καλοκαίρι. Επειδή «επιβάλλουν» μια ροή θερμότητας από το ψυχρότερο στο θερμότερο περιβάλλον, που είναι αντίθετη προς τη «φυσική ροή» θερμότητας, απαιτούν την κατανάλωση ενός μικρού ποσού ενέργειας (συνήθως ηλεκτρικής) για να συντηρήσουν τη λειτουργία τους.

2.2 Τρόπος λειτουργίας αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν όλα τα ψυκτικά μηχανήματα και η λειτουργία τους βασίζεται στις ίδιες αρχές που εφαρμόζονται στα ψυγεία, καταψύκτες, κλιματιστικά μηχανήματα κλπ. Η λειτουργία τους βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, που είναι ένας επαναλαμβανόμενος κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (εργαζόμενο μέσο), σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1 Αρχή λειτουργίας αντλιών θερμότητας
(Πηγή: <https://engineeringissues.wordpress.com>)

Το ρευστό (ψυκτικό μέσο) που ρέει μέσα στους σωλήνες μετά το συμπιεστή, είναι υγρό σε μεγάλη πίεση και θερμοκρασία. Στο συμπυκνωτή, αποβάλλεται η θερμότητα που

απέδωσε κατά την συμπίεση ο συμπιεστής. Στη συνέχεια, το ψυκτικό μέσο εκτονώνεται (μειώνεται η πίεση του) στην βαλβίδα εκτόνωσης και εξατμίζεται (λόγω της πτώσης πίεσης) στον εξατμιστή, όπου ψύχεται και προσλαμβάνει θερμότητα. Στη πορεία το κρύο ψυκτικό μέσο (σε αέρια μορφή) συμπιέζεται στον συμπιεστή, υγραποποιείται, θερμαίνεται, αποβάλλει θερμότητα και ούτω κάθε εξής.

Το σημαντικό είναι ότι σε κάθε κύκλο, αποβάλλεται θερμότητα (στον συμπυκνωτή) και προσλαμβάνεται θερμότητα (στον εξατμιστή) και συνεπώς στον ψυκτικό κύκλο μπορούμε να μεταφέρουμε θερμότητα μεταξύ των δύο αυτών σημείων. Η λειτουργία αυτή είναι που έδωσε το όνομα αντλίες θερμότητας στις συσκευές που λειτουργούν με βάση τον ψυκτικό κύκλο. (<https://en.wikipedia.org>)

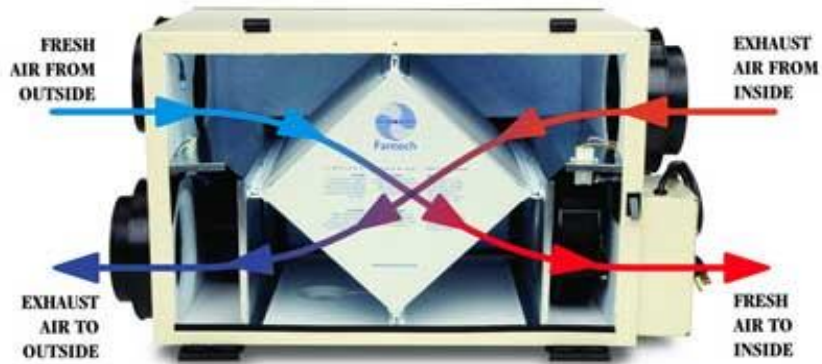
2.3 Είδη εναλλακτών και αντλιών θερμότητας

Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε τη δυνατότητα άντλησης ενέργειας, θα πρέπει στον συμπυκνωτή και στον εξατμιστή, η διαμόρφωση να διευκολύνει την πρόσληψη και την αποβολή ενέργειας στο ρευστό. Η πρόσληψη και η εναλλαγή ενέργειας, γίνεται μέσω ειδικών διατάξεων, που λέγονται εναλλάκτες θερμότητας.

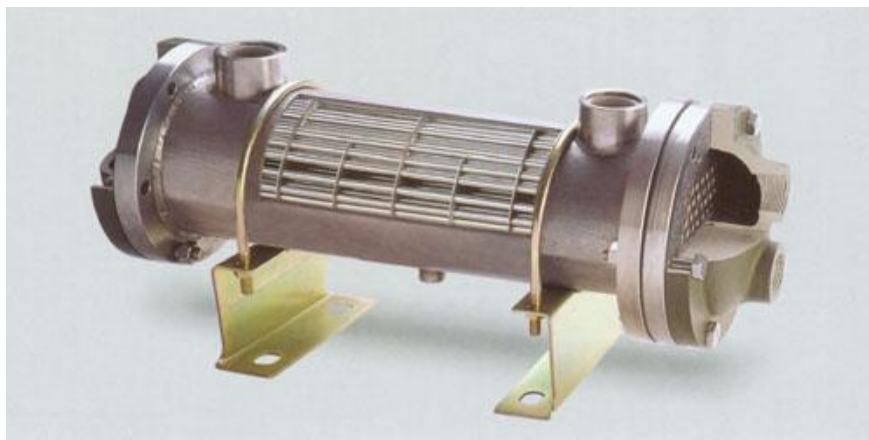
Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές που επιτρέπουν την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, που μπορεί να είναι υγρά ή αέρια. Ανάλογα με το είδος των ρευστών, οι εναλλάκτες θερμότητας χωρίζονται σε:

- Εναλλάκτες αέρα/αέρα, όπου τα δύο ρευστά που ανταλλάσσουν θερμότητα είναι αέρια.
- Εναλλάκτες νερού/νερού, όπου τα δύο ρευστά που ανταλλάσσουν θερμότητα είναι υγρά.
- Εναλλάκτες νερού/αέρα, όπου είναι από τη μία πλευρά ένα υγρό και από την άλλη ένα αέριο.

Οι τελευταίοι αυτοί εναλλάκτες ονομάζονται στοιχεία και δεν διαφέρουν με το ψυγείο του αυτοκινήτου, με τη διαφορά ότι μέσα στο στοιχείο δεν κυκλοφορεί νερό αλλά ψυκτικό υγρό.



Σχήμα 2.2 Εναλλάκτης θερμότητας αέρα/αέρα
(Πηγή: <http://www.daigleoil.com>)



Σχήμα 2.3 Εναλλάκτης θερμότητας νερού/νερού
(Πηγή: <http://www.kamui.com>)

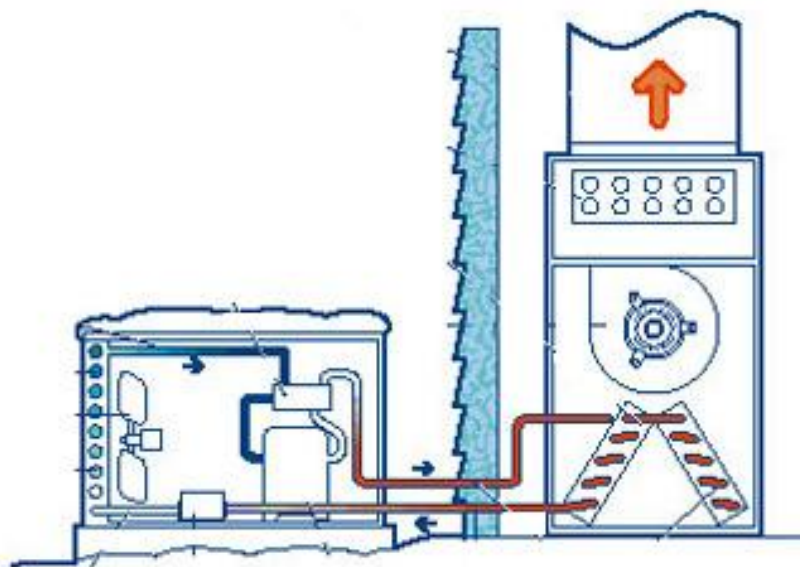


Σχήμα 2.4 Εναλλάκτης θερμότητας αέρα/νερού
(Πηγή: <http://www.nipponkuhlers.com>)

Ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) θερμότητα μια αντλία, ταξινομούνται σε :

- Αντλίες θερμότητας αέρος/αέρος

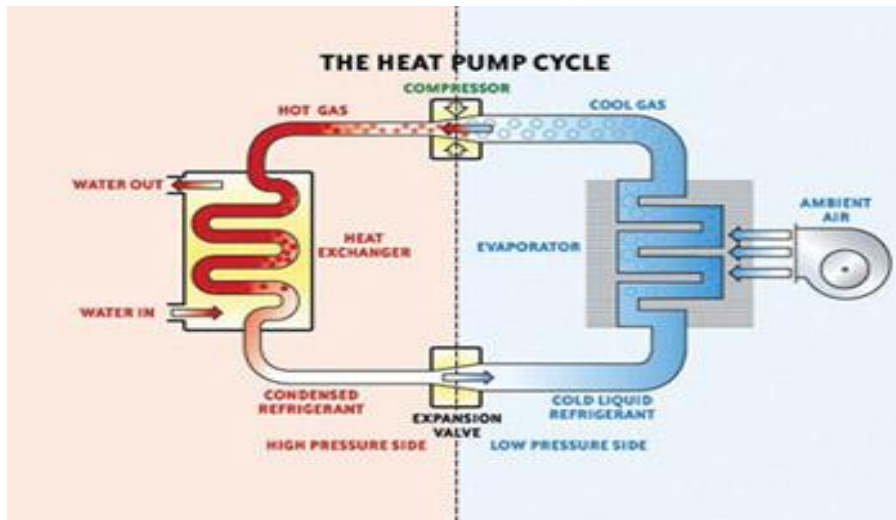
Είναι αντλίες που διαθέτουν και στο συμπυκνωτή και στον εξατμιστή εναλλάκτη θερμότητας αέρα / ψυκτικού. Είναι τα γνωστά σε όλους κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου (split type). Ειδικά στον διαιρούμενο τύπο το ένα στοιχείο βρίσκεται μέσα στο σπίτι και προσλαμβάνει ενέργεια (αφαιρεί θερμότητα / ψύχει τον χώρο) , και το άλλο είναι επίσης εναλλάκτης ψυκτικού μέσου / αέρα και αποβάλλει θερμότητα έξω από το σπίτι.



Σχήμα 2.5 Αντλία θερμότητας αέρος/αέρος
(Πηγή: <https://upload.wikimedia.org>)

- Αντλίες θερμότητας αέρος/νερού

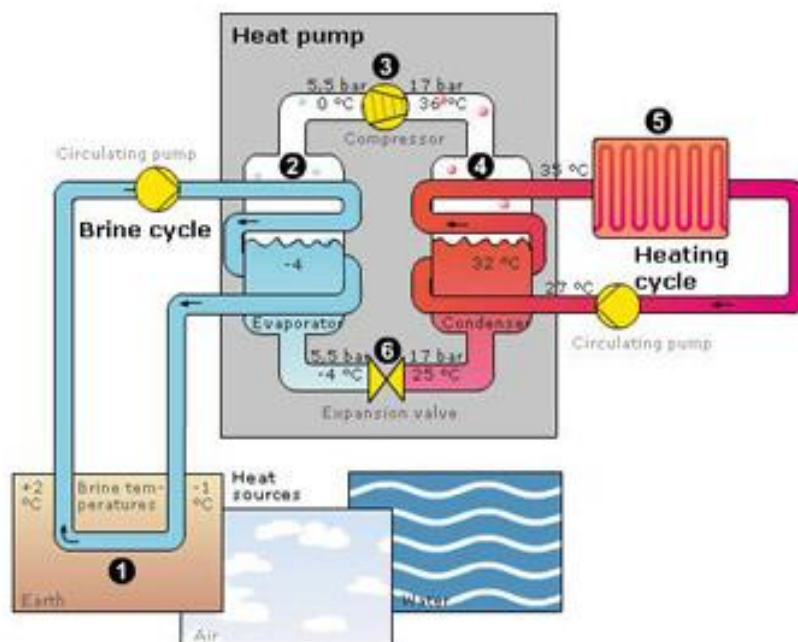
Οι αντλίες αυτές στην μια πλευρά αντί για στοιχείο έχουν εναλλάκτη ψυκτικού μέσου / νερού και αφαιρούν θερμότητα (ψύχουν νερό αντί για αέρα). Με τις αντλίες αυτές δηλαδή, μπορεί κάποιος να αντλεί θερμότητα (και άρα να ψύχει νερό) και να την αποβάλλει στο περιβάλλον (όπως γίνεται και στα κλιματιστικά μηχανήματα της προηγούμενης κατηγορίας).



Σχήμα 2.6 Αντλία θερμότητας αέρος/νερού
(Πηγή: <https://upload.wikimedia.org>)

- Αντλίες θερμότητας νερού/νερού

Στις αντλίες αυτές και οι δύο εναλλάκτες είναι εναλλάκτες νερού, και το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από τη μια μάζα νερού στην άλλη. Τέτοιες αντλίες, είναι οι υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας με πύργο ψύξης και οι αντλίες νερού / νερού που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με γεωεναλλάκτη (γεωθερμικές) .



Σχήμα 2.7 Γεωθερμική αντλία θερμότητας (νερού/νερού)
(Πηγή: <https://upload.wikimedia.org>)

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων στοιχείων τους, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

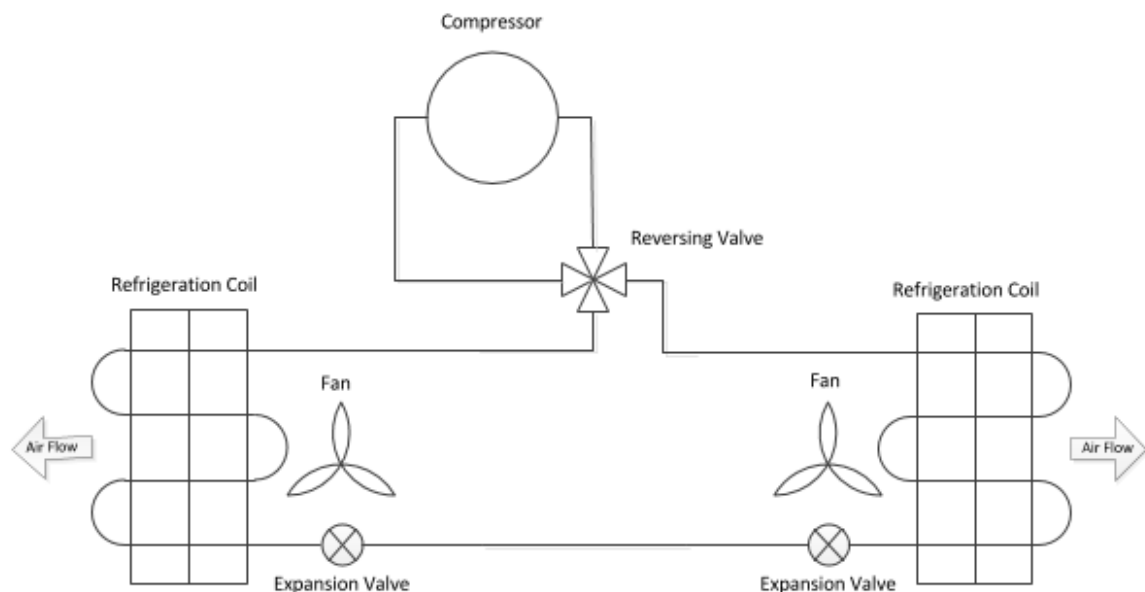
- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact/Monoblock) όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.
- Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units). Ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος.

Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- Αντλίες με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές
- Αντλίες με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κλπ.)
- Αντλίες με συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

(<https://en.wikipedia.org>)

2.4 αναστροφή κύκλου



Σχήμα 2.8 Αναστροφή κύκλου αντλίας θερμότητας
(Πηγή: <http://www.monachos.gr>)

Με την προσθήκη μιας δεύτερης εκτονωτικής βαλβίδας (που δεν λειτουργεί ως εκτονωτική, αλλά ως στένωση όταν δέχεται τη ροή ανάποδα) και μιας τετράοδης βάνας, οι σημερινές αντλίες θερμότητας μπορούν να ανατρέφουν τον κύκλο τους και να μεταφέρουν την θερμότητα προς την αντίθετη φορά. Με τον τρόπο αυτόν, κάποιος μπορεί την ίδια αντλία θερμότητας να την χρησιμοποιεί το χειμώνα για να μεταφέρει θερμότητα από έξω στο σπίτι, και το καλοκαίρι για να μεταφέρει τη θερμότητα από το σπίτι έξω. Όταν κάποιος επιλέγει λειτουργία στο κλιματιστικό του, στην ουσία χειρίζεται την τετράοδη βάνα του μηχανήματος για να αναστρέψει τη ροή του ψυκτικού.

<http://www.monachos.gr>

2.5 Στοιχεία αντλιών θερμότητας

Στην πράξη τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όσο στη θεωρία, και οι αντλίες θερμότητας δεν είναι τόσο απλά μηχανήματα όσο απλή είναι η αρχή λειτουργίας τους. Εκτός από τα παραπάνω βασικά εξαρτήματα, μια αντλία θερμότητας περιέχει ηλεκτρονικές πλακέτες που επιτηρούν τη λειτουργία των τμημάτων της συσκευής, αισθητήρια για να μετριέται η θερμοκρασία και η πίεση του ψυκτικού μέσου πριν και μετά το συμπιεστή, επιτηρητή φάσεων για την διακρίβωση της σωστής ηλεκτρικής παροχής, εξαρτήματα αυτοματισμού, χειριστήρια, οθόνες ενδείξεων κλπ, τα οποία στα σύγχρονα εξελιγμένα μηχανήματα επεκτείνονται σε ρύθμιση στροφών των ανεμιστήρων των στοιχείων και διαθέτουν ενσωματωμένη ηλεκτρονική λογική για να αποφασίζουν κάθε στιγμή τις βέλτιστες ρυθμίσεις όλων των τμημάτων του μηχανήματος.

Τα συστατικά μέρη μιας σύγχρονης αντλίας θερμότητας αέρος με αναστροφή κύκλου είναι:

1. Ο συμπιεστής που συμπιέζει το αέριο και του αυξάνει τη θερμοκρασία.
2. Ο συμπυκνωτής όπου συμπυκνώνεται το συμπιεσμένο αέριο και υγροποιείται αποβάλλοντας θερμότητα.
3. Ο ανεμιστήρας του συμπυκνωτή που κινεί τον αέρα του περιβάλλοντος στο στοιχείο του συμπυκνωτή για να αποβάλλει το ψυκτικό την ενέργεια του (κατάσταση ψύξης)

4. Η βαλβίδα εκτόνωσης στην οποία το υγρό ψυκτικό μέσο εκτονώνεται και μετατρέπεται σε αέριο με παράλληλη μείωση της θερμοκρασίας του.

5. Ο εξατμιστής (ο εναλλάκτης όπου εξατμίζεται το ψυκτικό υγρό και απορροφά ενέργεια από το νερό) όπου ψύχεται το νερό.

6.α Αν η αντλία είναι αέρα / αέρα, τότε ο εξατμιστής είναι τύπου στοιχείου και υπάρχει ανεμιστήρας που κινεί τον αέρα του χώρου γύρω από τον εξατμιστή για να τον ψύξει.

6.β Αν η αντλία θερμότητας είναι αέρα / νερού, τότε αντί για ανεμιστήρα, η αντλία διαθέτει έναν κυκλοφορητή (ή αντλία inline σε μεγαλύτερα μεγέθη αντλιών) που θέτει σε κίνηση το νερό ώστε να ψυχθεί στον εναλλάκτη από το εξατμιζόμενο ψυκτικό μέσο.

7. Η τετράοδη βάνα που αναστρέφει τον κύκλο (και κατ' επέκταση τη φορά μεταφοράς της ενέργειας).

8. Τα αισθητήρια θερμοκρασίας και πίεσης στο συμπιεστή και τον εξατμιστήρα.

9. Οι πλακέτα που επιτηρεί με τη βοήθεια των αισθητηρίων τη συνολική λειτουργία της αντλίας θερμότητας, την προστατεύει από φθορά και καταστροφή, και εκτελεί τις απαιτούμενες ρυθμίσεις στην τετράοδη, τις εκτονωτικές και τους ανεμιστήρες ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

10. Το κέλυφος της αντλίας με τη βάση στήριξης.

11. Το χειριστήριο.

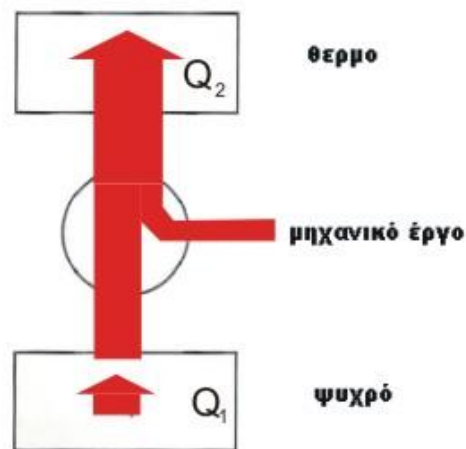
<http://www.monachos.gr>



Σχήμα 2.9 Το εσωτερικό μίας αντλίας θερμότητας
(Πηγή: <http://www.monachos.gr>)

2.6 Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας

Η ποιότητα μιας αντλίας σε κατάσταση θέρμανσης, χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς(επίδοσης) COP (Coefficient of Performance).



Σχήμα 2.10 Λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας
(Πηγή: <https://upload.wikimedia.org>)

Η ροή ενέργειας σε μια αντλία θερμότητας που λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, έχει όπως στο παραπάνω σχήμα. Η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας (ενέργειας) Q_1 , προσθέτει μηχανικό έργο (W) στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας Q_2 στον ψυχρό χώρο. Όταν η αντλία λειτουργεί σε

κατάσταση θέρμανσης, το ζητούμενο είναι το Q_2 , ενώ όταν αυτή λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης, το ζητούμενο είναι το Q_1 . Ο ενεργειακός ισολογισμός στο σχήμα, απαιτεί:

$$Q_2 = Q_1 + W \quad (2.1)$$

Ο συντελεστής επίδοσης COP μιας αντλίας θερμότητας σε κατάσταση θέρμανσης, ισούται με:

$$COP = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{(Q_2 - Q_1)} \quad (2.2)$$

Και για ιδανικές συνθήκες ισχύει η εξίσωση:

$$COP = \frac{T_\theta}{T_\theta - T_\psi} \quad (2.3)$$

- T_θ [$^{\circ}C$] είναι η θερμοκρασία του θερμού χώρου (σπίτι) και
- T_ψ [$^{\circ}C$] είναι η θερμοκρασία του ψυχρού (περιβάλλον)

και από την οποία προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά $T_\theta - T_\psi$ ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία T_θ και ότι όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά $T_\theta - T_\psi$ μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής COP.

Τα συμπεράσματα αυτά δείχνουν ότι οι αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν πολύ αποδοτικά (με μεγάλους βαθμούς απόδοσης) στη χώρα μας, λόγω των ήπιων κλιματολογικών συνθηκών.

Αν επιστρέψουμε στην εξίσωση ορισμού του συντελεστή COP

$$COP = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{(Q_2 - Q_1)} \quad (2.4)$$

βλέπουμε ότι ο βαθμός απόδοσης ισούται με το έργο που μεταφέρουμε στο χώρο προς το έργο που καταναλώνεται στο συμπιεστή. Μια αντλία λοιπόν με συντελεστή COP= 4, μεταφέρει 4 kW ενέργειας καταναλώνοντας 1 kW ηλεκτρισμού, ή αλλιώς, η μεταφορά ενέργειας κοστίζει 25% με την αντλία αυτήν.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο συντελεστής COP εξαρτάται από τις θερμοκρασίες ψυχρού και θερμού χώρου και δεν είναι σε καμία περίπτωση σταθερός. Οι συντελεστές που δίνονται στα φυλλάδια των κατασκευαστών, είναι μετρημένοι συντελεστές επίδοσης, σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, τυποποιημένες με το πρότυπο Eurovent. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι για τη θέρμανση:

- Θερμοκρασία θερμού = 20 °C και
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7 °C / 6 °C WB

που σημαίνει ότι η εν λόγω αντλία, θα έχει τον συντελεστή COP που αναφέρει ο κατασκευαστής, όταν η θερμοκρασία χώρου είναι 20 °C και η θερμοκρασία περιβάλλοντος 7 °C. Σε οποιοδήποτε άλλες συνθήκες, ο παράγοντας COP είναι διαφορετικός και αυτό είναι το σημαντικότερο που πρέπει να κοιτάξει κανείς σε μια αντλία θερμότητας εκτός από τον ονομαστικό βαθμό απόδοσής της, διότι είναι προτιμότερη μια αντλία με λίγο χαμηλότερο COP που παραμένει όμως σταθερό, από μια αντλία με υψηλότερο COP που μειώνεται σημαντικά αν οι συνθήκες αλλάζουν.

Για την θερινή λειτουργία της ψύξης, χρησιμοποιείται ο λόγος ενεργειακής απόδοσης EER (Energy Efficiency Ratio), που ορίζεται ως η ψυκτική ισχύς του εξαμιστή (Btu/hr) προς την ηλεκτρική ισχύ του συμπιεστή (W), ή αλλιώς :

$$EER = \frac{Q_1}{W} \quad (2.5)$$

Ο συντελεστής EER μετράται επίσης σε τυποποιημένες συνθήκες Eurovent

- Θερμοκρασία θερμού 27 °C και
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35 °C / 6 °C WB

και εξαρτάται επίσης από τις θερμοκρασίες.

Ειδικά στην ψύξη χρησιμοποιείται και ένας ακόμα δείκτης απόδοσης, ο εποχιακός βαθμός απόδοσης SEER, που ορίζεται σαν κλάσμα της ενέργειας που δαπανήθηκε στον συμπιεστή για την ίδια περίοδο. (<https://en.wikipedia.org>)

2.7 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελείται από τρία μέρη:

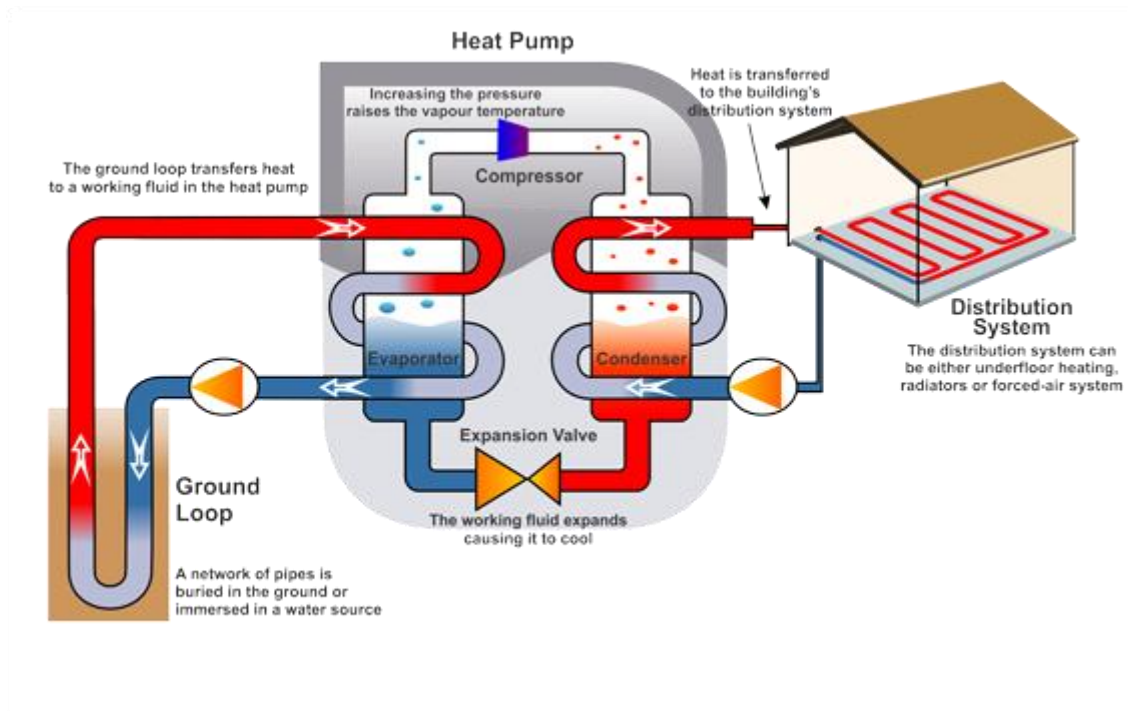
1. Τους γεωεναλλάκτες. Πρόκειται για ένα σύστημα ανταλλαγής θερμότητας με το έδαφος. Διακρίνονται σε συστήματα κλειστού βρόγχου, τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς και σε συστήματα ανοιχτού βρόγχου, τα οποία εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.
2. Τη γεωθερμική αντλία θερμότητας.
3. Το σύστημα θέρμανσης ή/και ψύξης του κτιρίου.

Το σύστημα ΓΑΘ λειτουργεί σαν αναστρέψιμη ψυκτική διάταξη με λήψη θερμότητας από ένα χώρο και απόθεσή της σε έναν άλλον, το οποίο σημαίνει ότι κατά την χειμερινή περίοδο η θερμότητα λαμβάνεται από το έδαφος και αποτίθεται στο εσωτερικό χώρο και το καλοκαίρι συμβαίνει το αντίθετο. Με άλλα λόγια το σύστημα ΓΑΘ πραγματοποιεί εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και των εσωτερικών χώρων.

Ένα σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο σύστημα ΓΑΘ λειτουργεί με τουλάχιστον 30% υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από αυτή του καλύτερου συστήματος μιας αντλίας θερμότητας αέρα/αέρα λόγω:

- Της χρήσης νερού, δεδομένου ότι το νερό έχει πολύ καλύτερες ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας από τον αέρα.
- Της σταθερής θερμοκρασίας - που παρέχεται από τους γεωεναλλάκτες στη ΓΑΘ – η οποία είναι υψηλότερη από τις ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος σε περιπτώσεις αιχμών του θερμικού φορτίου και χαμηλότερη από τις ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος σε περιπτώσεις αιχμών του ψυκτικού φορτίου.

(<http://www.gaiapedia.gr>)



Σχήμα 2.11 Γεωθερμικό σύστημα θερμότητας
(Πηγή: <http://www.sjkowalski.com>)

2.8 Γεωεναλλάκτες

Χρησιμοποιώντας το έδαφος σαν πηγή ή δεξαμενή θερμότητας είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί σύνδεση μεταξύ του αντικειμένου το οποίο πρόκειται να θερμανθεί ή να ψυχθεί και του εδάφους. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι λεγόμενοι γεωεναλλάκτες. Πρόκειται για υπόγειους αγωγούς τοποθετημένους σε υπόγειες τάφρους ή πηγάδια, μέσα από αυτούς οποίους διέρχεται το ρευστό, το οποίο μπορεί να είναι νερό, ψυκτικό υγρό ή και αέρας. Η σύνδεση αυτή με το έδαφος καλείται κύκλωμα ή βρόγχος. Οι γεωθερμικές αυτές συνδέσεις με το έδαφος μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη αυτούς γεωλογικούς σχηματισμούς.
- Γεωεναλλάκτες ανοιχτού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται την ύπαρξη υπόγειου νερού ή του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.
- Υβριδικά συστήματα.
- Συστήματα άμεσης εναλλαγής θερμότητας (direct exchange).



Σχήμα 2.12 Οριζόντιος γεωναλλάκτης κλειστού κυκλώματος
(Πηγή: <http://www.tmltd.gr>)



Σχήμα 2.13 Κατακόρυφος γεωναλλάκτης κλειστού κυκλώματος
(Πηγή: <http://www.tmltd.gr>)



Σχήμα 2.14 Γεωναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος με χρήση γεωτρήσεων
(Πηγή: <http://www.tmltd.gr>)

Οι παράγοντες σχεδιασμού που επηρεάζουν το είδος του κυκλώματος που θα εφαρμοσθεί είναι:

- Οι γεωλογικές συνθήκες.
- Οι τεχνικές παράμετροι. Αυτοί είναι το μήκος, η διάμετρος και το υλικό του αγωγού που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και το είδος και η ποιότητα του υλικού εμπλοτισμού των αγωγών.
- Το απαιτούμενο θερμικό και ψυκτικό φορτίο.
- Το εμβαδό του κτιρίου που πρόκειται να θερμανθεί/ψυχθεί, καθώς και η διαθέσιμη επιφάνεια του οικοπέδου.
- Η θερμοκρασία του εδάφους.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του γεωθερμικού συστήματος κλειστού κυκλώματος έναντι του ανοιχτού είναι το γεγονός ότι είναι ανεξάρτητο από υπάρχοντες υδροφόρους ορίζοντες και την ποιότητα του νερού σε αυτούς. Τουναντίον, γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα μετάδοσης θερμότητας από γεωτρήσεις σε σύγκριση με κάθετα συστήματα κλειστού βρόγχου. Ανάλογα με το ρευστό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό των γεωεναλλακτών διακρίνονται σε:

- Γεωθερμικά συστήματα στα οποία το ρευστό που κυκλοφορεί είναι ψυκτικό υγρό ή νερό.
- Γεωθερμικά συστήματα στα οποία το ρευστό που κυκλοφορεί είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας.

(<http://www.earthrivergeo.com>)

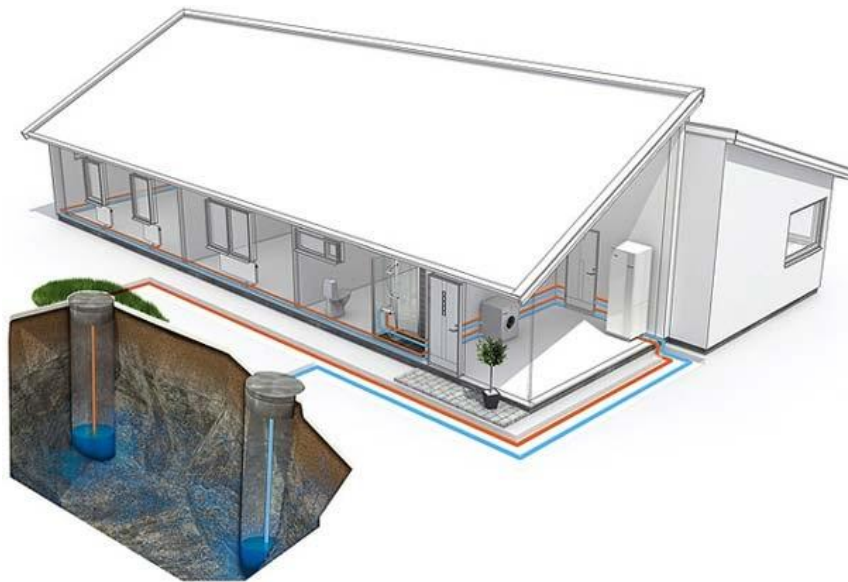
2.8.1 Γεωεναλλάκτες ανοιχτού κυκλώματος

Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται τον υπόγειο ή επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα με υδρογεωτρήσεις. Κατασκευαστικά είναι ευκολότερη λύση αλλά και η πιο δαπανηρή στη λειτουργία από όλα τα γεωθερμικά συστήματα, λόγω της κατανάλωσης του υποβρύχιου συγκροτήματος στην γεώτρηση της άντλησης. Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται από το κύκλωμα των υδρογεωτρήσεων, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής της θέρμανσης ή της ψύξης και εφαρμόζονται σε περιοχές που παρουσιάζουν συνεχή υψηλή υπόγεια ή επιφανειακή υδροφορία.

Συγκεκριμένα νερό αντλείται από διπλανό υδροφορέα, διέρχεται μέσω του εναλλάκτη από την αντλία θερμότητας και στη συνέχεια αποφορτίζεται. Μετά την

απομάκρυνση του από το κτίριο, το νερό διατίθεται με μία από τις τρεις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω:

1. Αποστράγγιση επιφάνειας. Συμβαίνει σε περιοχές με λίμνες, ποτάμια, ρυάκια κλπ.
2. Υπόγεια, σε μια συγκεκριμένη περιοχή αποστράγγισης, μεγέθους ανάλογης με τον όγκο του απαιτούμενου νερού της αντλίας θερμότητας.
3. Επαναφόρτιση στον ίδιο υδροφορέα.



Σχήμα 2.15 Γεωεναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος με χρήση γεωτρήσεων
(Πηγή: <http://www.panagoulas.com.gr>)

Τα παραπάνω κανονίζονται βάση των τοπικών κανονισμών και νομοθεσίας της περιοχής. Συνήθως οι περιβαλλοντικοί κανόνες υπαγορεύουν αποκλειστικά την Τρίτη περίπτωση.

Πλεονεκτήματα

- Το σύστημα αυτό είναι οικονομικότερο από του κλειστού κύκλου όταν υπάρχει λίμνη ή ήδη ανοιγμένο πηγάδι ή γεώτρηση που να μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις.

- Είναι ευκολότερη η εγκατάστασή του, καθώς εκλείπουν παράγοντες όπως: αντιψυκτικό, κρυμμένες διαρροές, σωληνώσεις που πρέπει να απαλλαχθούν από τον αέρα.

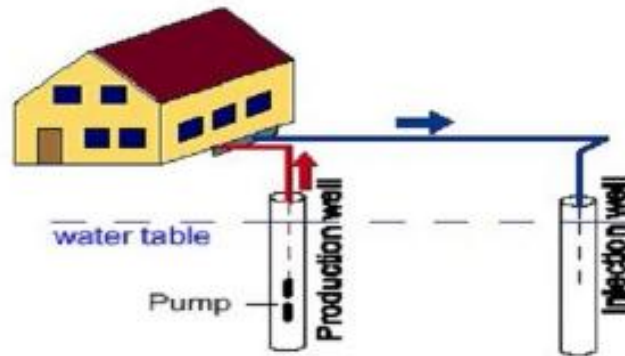
Μειονεκτήματα

- Η ποιότητα του νερού μπορεί να αλλάξει με τον χρόνο.
- Η ποσότητα του νερού μπορεί να μεταβάλλεται ακανόνιστα, ειδικά κατά περιόδους ξηρασίας.
- Αν ανοιχθεί πηγάδι, η αβεβαιότητα αν θα υπάρχει νερό ή αν θα καλύψει τις ανάγκες είναι μεγάλη.
- Σε πολλές περιοχές απαγορεύεται το άνοιγμα πηγαδιού ή γεώτρησης.

Στους γεωεναλλάκτες ανοιχτού τύπου διακρίνονται οι εξής τύποι:

- Εδαφική σύνδεση με πολλά πηγάδια.

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου τυπικά συμπεριλαμβάνουν ένα ή και περισσότερα φρεάτια άντλησης και ένα ή περισσότερα φρεάτια επαναφόρτισης.



Σχήμα 2.16 Εδαφική σύνδεση με πολλά πηγάδια
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Στα συστήματα ανοιχτού βρόγχου, το υπόγειο νερό αντλείται από του υδροφορέα μέσω του φρεατίου άντλησης και εισάγεται στην αντλία θερμότητας, η οποία δρα ως πηγή/δεξαμενή θερμότητας στην διαδικασία θέρμανσης/ψύξης. Αφού το νερό διέλθει την αντλία θερμότητας επιστρέφεται στον υδροφορέα μέσω του φρεατίου φόρτισης. Η μόνη διαφορά ανάμεσα στο αντλούμενο και στο επιστρεφόμενο νερό είναι η θερμοκρασία.

Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, σε συνδυασμό με την μακροχρόνια εμπειρία εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος, δείχνουν ότι η ικανότητα του συστήματος για αποτελεσματική εναλλαγή θερμότητας είναι 8-11 lt/(min t). Από τη στιγμή που η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή, τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου αποτελούν δημοφιλή εφαρμογή σε περιοχές που επιτρέπεται η εγκατάστασή τους. Παρόλο βέβαια που χρησιμοποιούνται λιγότερο από ότι τα κλειστού κυκλώματος, μπορούν να αποδειχθούν αρκετά πιο αποτελεσματικά στο τομέα του κόστους, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το νερό υπάρχει σε αφθονία.

Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι νερό φτωχό σε ποιότητα μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα σε αυτές τις εφαρμογές. Για το λόγο αυτό συνίσταται να προηγούνται έλεγχοι του διαθέσιμου νερού σε σκληρότητα, οξύτητα και περιεκτικότητα σε σίδηρο, πριν την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας.

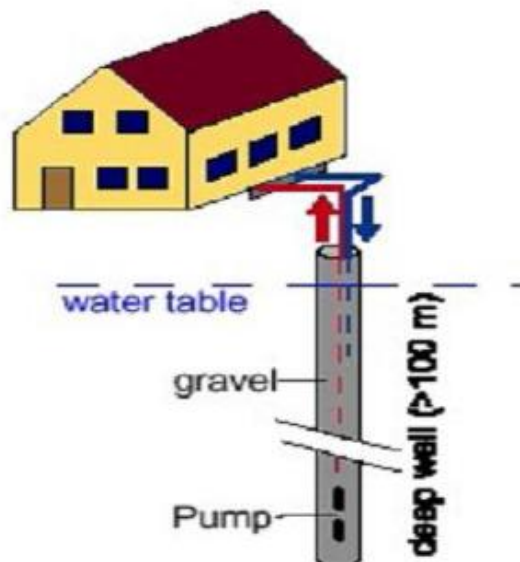
Ταυτόχρονα θα πρέπει να επισημανθεί ότι από την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος δεν προκύπτει καμία περιβαλλοντική ζημιά, δεδομένου ότι το νερό που αντλείται επιστρέφεται στον υδροφόρο. Η μόνη διαφορά που προκύπτει είναι μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του χρησιμοποιούμενου νερού από το φρεάτιο άντλησης στο φρεάτιο φόρτισης. Σημαντικό επίσης παράγοντα για την λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού βρόγχου, αποτελεί η απόσταση μεταξύ των φρεατίων άντλησης και επαναφόρτισης. Η αποφυγή της ροής από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης δεν είναι απαραίτητη, θα πρέπει όμως να επιβεβαιωθεί ότι η κυκλοφορία του νερού μεταξύ των φρεατίων είναι επαρκώς χαμηλή, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού από το φρεάτιο άντλησης στο φρεάτιο φόρτισης να είναι σχεδόν ίδια με την θερμοκρασία του νερού στον υδροφόρο.

Όσον αφορά τις διαστάσεις του φρεατίου, αυτό θα πρέπει να είναι μήκους 85-200 m, ανάλογα βέβαια το μέγιστο ψυκτικό ή θερμικό φορτίο, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου καθώς και το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφόρου. Εάν δεν ληφθεί η απαραίτητη προσοχή στο συγκεκριμένο παράγοντα σχεδιασμού, τότε μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφόρου με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών.

- Συστήματα υδάτινης στήλης

Ένα άλλο είδος γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού βρόγχου αποτελεί και αυτό της υδάτινης στήλης. Στην ουσία πρόκειται για μια μόνο γεώτρηση/φρεάτιο σε βραχώδες υπόβαθρο. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί καλύτερα με αντιδιαβρωτικό νερό, καθώς το νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην αντλία θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή το γεωθερμικό

νερό κυκλοφορεί μέσα στο ίδιο φρεάτιο. Το νερό αντλείται από τη βάση της γεώτρησης, διέρχεται από την αντλία θερμότητα, η οποία προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του και επιστρέφει στην κορυφή της γεώτρησης. Στην συνέχεια ρέει έως ότου επιστρέψει στον υπόγειο ορίζοντα, ενώ στην πορεία ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον πέτρωμα.



Σχήμα 2.17 Σύστημα υδάτινης στήλης
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

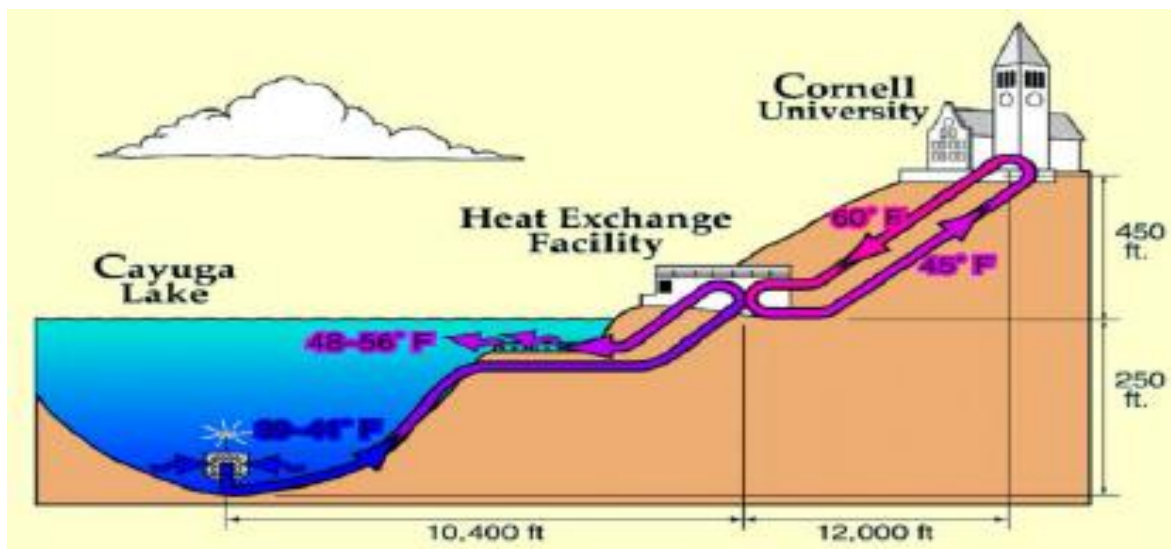
Η κάθετη αυτή κίνηση του νερού και η εναλλαγή θερμότητας καλείται υδάτινη στήλη παρέχοντας μια κατάλληλη και αποτελεσματική μέθοδο μετάδοσης θερμότητας. Βασιζόμενοι στην εμπειρία της ένωσης ενεργειακών συστημάτων και ύδατος (Water and Energy Corporation), για κάθε τόνο κτιριακού φορτίου απαιτούνται 16,5 με 20 m υδάτινης στήλης.

Τα ανοιχτά αυτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούν καθιερωμένη τεχνολογία για πολλές περιοχές, ειδικότερα στο Βορειοανατολικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών. Η διάμετρος τέτοιων φρεατίων κυμαίνεται γύρω στα 15-20 cm και μπορεί να φτάσουν σε βάθος έως 500 m. Ωστόσο για την αποδοτικότερη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη άφθονου νερού. Εάν η εγκατάσταση γίνει σε περιοχή που ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ βαθιά, τότε η μέθοδος αποδεικνύεται ασύμφορη. Κάτω από κανονικές συνθήκες, το νερό το οποίο αποσπάται για οικιακή χρήση αντικαθίσταται από σταθερής θερμοκρασίας υπόγειο νερό, διαδικασία που κάνει το σύστημα να λειτουργεί σαν αληθινό γεωθερμικό σύστημα ανοιχτού κυκλώματος. Επιπλέον

αν παρατηρηθεί αξιοσημείωτη αύξηση της θερμοκρασίας του νερού της γεώτρησης ή αντίθετα σημαντική μείωση αυτής, τότε στην περίπτωση αυτή προτείνεται η ανάμειξη του υπόγειου νερού με νερό του συστήματος για την αποκατάσταση της θερμοκρασίας του νερού στα συνηθισμένα επίπεδα λειτουργίας.

- Συστήματα επιφανειακών υδάτων.

Τα συστήματα επιφανειακών υδάτων χρησιμοποιούν όγκο νερού προερχόμενο από παράλια ωκεανού ή ανοιχτής θάλασσας ή ακόμα και λιμνών στην ενδοχώρα, τόσο για παροχή ύδατος όσο και για απόρριψη αυτού. Ενωσιολογικά τα συστήματα επιφανειακών υδάτων είναι παρόμοια με τα συστήματα υδάτινων στηλών που περιγράφηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 2.18 Σύστημα επιφανειακών υδάτων
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του συστήματος επιφανειακών υδάτων, που συγκαταλέγεται στην κατηγορία γεωεναλλακτών ανοιχτού κυκλώματος, είναι η λίμνη Cayuga. Συγκεκριμένα το νερό που προέρχεται από τη λίμνη, χρησιμοποιείται ως η πηγή του γεωθερμικού εναλλάκτη, που χρησιμοποιείται για την παροχή ψύξης στο Πανεπιστήμιο του Cornell. Η μέθοδος αυτή, που βρίσκει εφαρμογή μόνο για τη μία λειτουργία, αυτή του δροσισμού, δεν κάνει καμία χρήση γεωθερμικών αντλιών. (<http://www.earthrivergeo.com>)

2.8.2 Γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος

Τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται τη θερμοκρασία του εδάφους. Σε αυτά τα συστήματα, το κύκλωμα των υδρογεωτρήσεων αντικαθίσταται με γεωεναλλάκτες που τοποθετούνται σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη. Η επιλογή μεταξύ κάθετης ή οριζόντιας διάταξης εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής και τη διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου σε κάθε περίπτωση. Με τον τρόπο που περιγράψαμε οι γεωεναλλάκτες, μεταφέρουν θερμότητα στη λειτουργία της θέρμανσης από το έδαφος ή στη λειτουργία της ψύξης, προς το έδαφος. Τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται από τον γεωεναλλάκτη, την γεωθερμική αντλία θερμότητας και το σύστημα θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου.

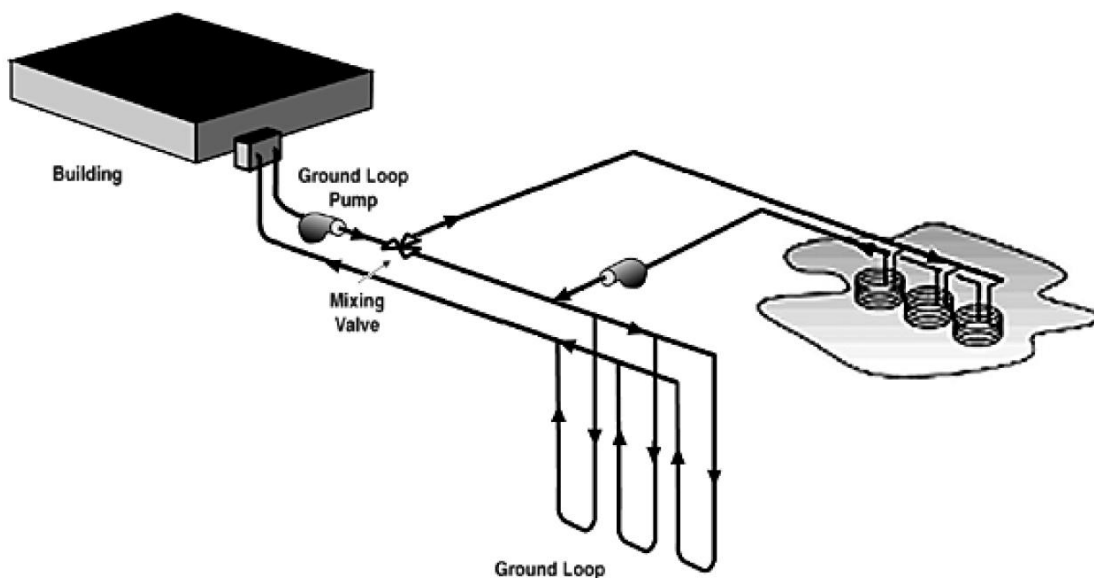
Είναι γεγονός ότι οι γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου αποτελούνται από πολυάριθμους τύπους συστημάτων εφαρμογής, όλοι εκ των οποίων χρησιμοποιούν ένα συνεχές κύκλωμα, μέσα στο οποίο γίνεται η κυκλοφορία της θερμικής ροής. Το γεωθερμικό κύκλωμα, η τοποθέτηση του οποίου γίνεται υπόγεια, είναι τυπικά κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Πρόκειται για ένα πολύ σκληρό πλαστικό, το οποίο χαρακτηρίζεται εξαιρετικής ανθεκτικότητας καθώς και μεγάλης διάρκειας ζωής, επιτρέποντας ταυτόχρονα την μετάδοση θερμότητας με αποτελεσματικό τρόπο.

Η συνένωση των επιμέρους τμημάτων επιτυγχάνεται με θερμική συγκόλληση, γεγονός που καθιστά εν τέλει της ενώσεις ανθεκτικότερες από τους ίδιους τους αγωγούς. Το ρευστό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό του κυκλώματος είναι είτε νερό είτε αντιψυκτικό υγρό, ασφαλές προς το περιβάλλον.

2.8.3 Υβριδικά συστήματα

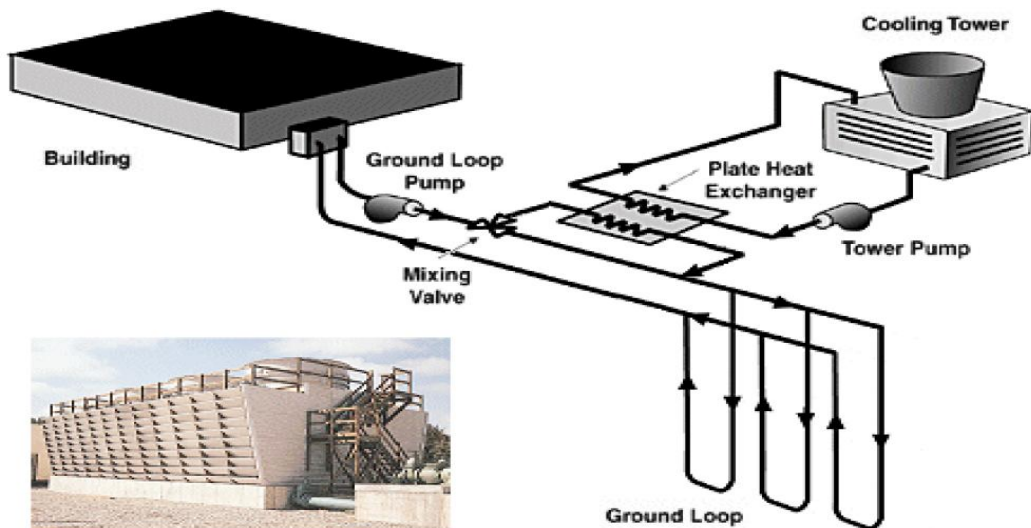
Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα καλούνται τα συστήματα τα οποία παράλληλα με την χρήση συστημάτων γεωθερμικών αντλιών κάνουν χρήση και άλλων μορφών ενέργειας ή ακόμα και αυτά που χρησιμοποιούν και τους δύο τύπους γεωθερμικών συστημάτων (ανοιχτά - κλειστά κυκλώματα με σκοπό την παραγωγή ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, καθώς και την παροχή ζεστού νερού χρήσης. Είναι προφανές ότι η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων οδηγεί σε διατάξεις με ακόμα μεγαλύτερη απόδοση ενώ παράλληλα μπορεί να επιφέρει σχεδόν μηδενική εξάρτηση από την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ταυτόχρονης χρήσης κλειστού και ανοιχτού κυκλώματος αποτελούν περιπτώσεις στις οποίες η αυξημένη απόρριψη θερμότητας στο έδαφος, του ήδη υπάρχοντος συστήματος, οδήγησαν σε αναζήτηση λύσεων όπως η παράλληλη λειτουργία ανοιχτών γεωθερμικών κυκλωμάτων για την αποφυγή του προβλήματος. Συγκεκριμένα, σε σχολικό κτίριο στη νότιο Αμερική παρατηρήθηκε ότι η απορριπτόμενη στο έδαφος θερμότητα ήταν περισσότερη από αυτή που αντλούνταν μέσω κατακόρυφου κλειστού γεωθερμικού συστήματος. Για την αποφυγή λοιπόν της υπερθέρμανσης του εδάφους, γεγονός που συνεπαγόταν αναπόφευκτα τη μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος ψύξης, κατασκευάστηκε τεχνητή λίμνη ως συμπληρωματικό μέσο για την απόρριψη θερμότητας.



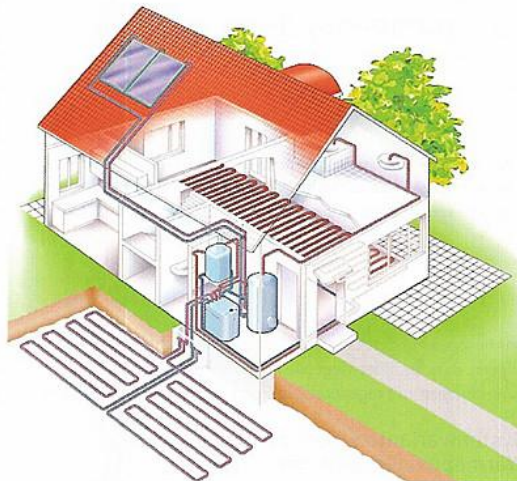
Σχήμα 2.19 Απόρριψη θερμότητας σε τεχνητή λίμνη και γεωεναλλάκτη για αποφυγή υπερθέρμανσης του εδάφους
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Σε περιπτώσεις όπου η κατασκευή τεχνητής λίμνης κρίνεται αδύνατη, εναλλακτική λύση αποτελεί η λειτουργία πύργου ψύξης, ο οποίος μπορεί να συνδεθεί είτε απευθείας με το γεωθερμικό σύστημα είτε σε συνδυασμό με εναλλάκτη απομόνωσης θερμότητας. Έρευνες στο Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα απέδειξαν ότι σαφώς πιο συμφέρουσα λύση από άποψη κόστους, είναι η κατασκευή τεχνητής λίμνης από την εγκατάσταση πύργου ψύξης, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει διαθέσιμη έκταση.



Σχήμα 2.20 Απόρριψη θερμότητας σε γεωναλλάκτη και πύργο ψύξης
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

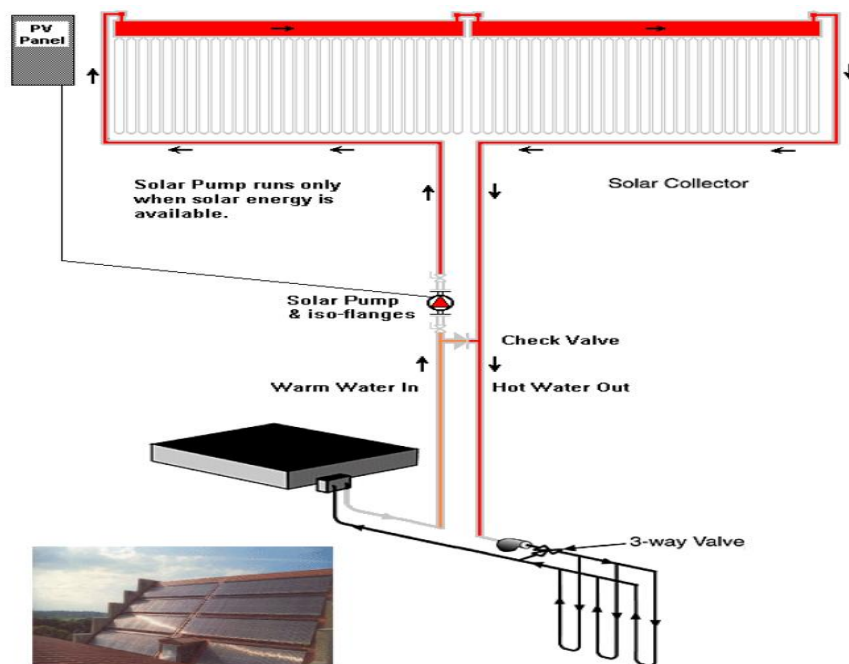
Μια λύση άκρως φιλική προς το περιβάλλον αποτελεί το γεωθερμικό-ηλιακό σπίτι. Για να επιτευχθεί ο στόχος της ψύξης θέρμανσης μέσω ηλιακών συστημάτων και γεωθερμικών αντλιών πρέπει να ληφθεί μέριμνα για το σωστό σχεδιασμό, τα υλικά κατασκευής και τα άλλα χαρακτηριστικά του κτίσματος, ώστε να συλλέγεται, αποθηκεύεται και διανέμεται η ηλιακή θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αλλά να εμποδίζεται η είσοδος της κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.



Σχήμα 2.21 Γεωθερμικό-ηλιακό σπίτι
(Πηγή: <http://www.panagoulas.com.gr>)

Γενικά τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών (παραγωγή θερμικής ενέργειας), το θερμοδοχείο (αποθήκευση ενέργειας), ένα σύστημα κύριας θερμικής ενέργειας (γεωθερμική αντλία θερμότητας), ένα σύστημα θέρμανσης (ενδοδαπέδια, fan coil) και ένα σύστημα ελέγχου. Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται σε ένα καλά μονωμένο θερμοδοχείο και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το ζεστό νερό χρήσης. Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, τότε τίθεται σε λειτουργία η αντλία θερμότητας και συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμων και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

Ένα από τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος γεωθερμικής-ηλιακής θέρμανσης είναι το θερμοδοχείο, το οποίο αποτελεί την «καρδιά» του συστήματος και πρέπει να είναι ειδικά μελετημένο και κατασκευασμένο για το σκοπό αυτό. Το θερμοδοχείο θα πρέπει να είναι καλά μονωμένο και κυρίως να βοηθά στη διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό του. Η διαστρωμάτωση του δοχείου έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση του συστήματος, τον περιορισμό των θερμικών απωλειών και την μέγιστη συλλογή ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες. Η λειτουργία του είναι πλήρως αυτοματοποιημένη έτσι ώστε ο χρήστης το μόνο που έχει να κάνει είναι να απολαμβάνει τις ιδανικές συνθήκες διαβίωσης που αυτό εξασφαλίζει.



Σχήμα 2.22 Γεωθερμική-ηλιακή θέρμανση
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Όταν ο ήλιος δεν επαρκεί, δηλαδή την νύχτα ή όταν έχει πολύ συννεφιά, τότε η αντλία θερμότητας μπαίνει σε λειτουργία και θερμαίνει το νερό της κεντρικής θέρμανσης, ενώ εάν παράλληλα υπάρχει και ζήτηση σε ζεστό νερό χρήσης τότε ανοίγει μια τρίοδη βάννα και διοχετεύεται ζεστό νερό από την αντλία προς τον εναλλάκτη. Δηλαδή τώρα το στατικό νερό του μπόιλερ και κατ' επέκταση το νερό χρήσης θερμαίνεται από την αντλία.

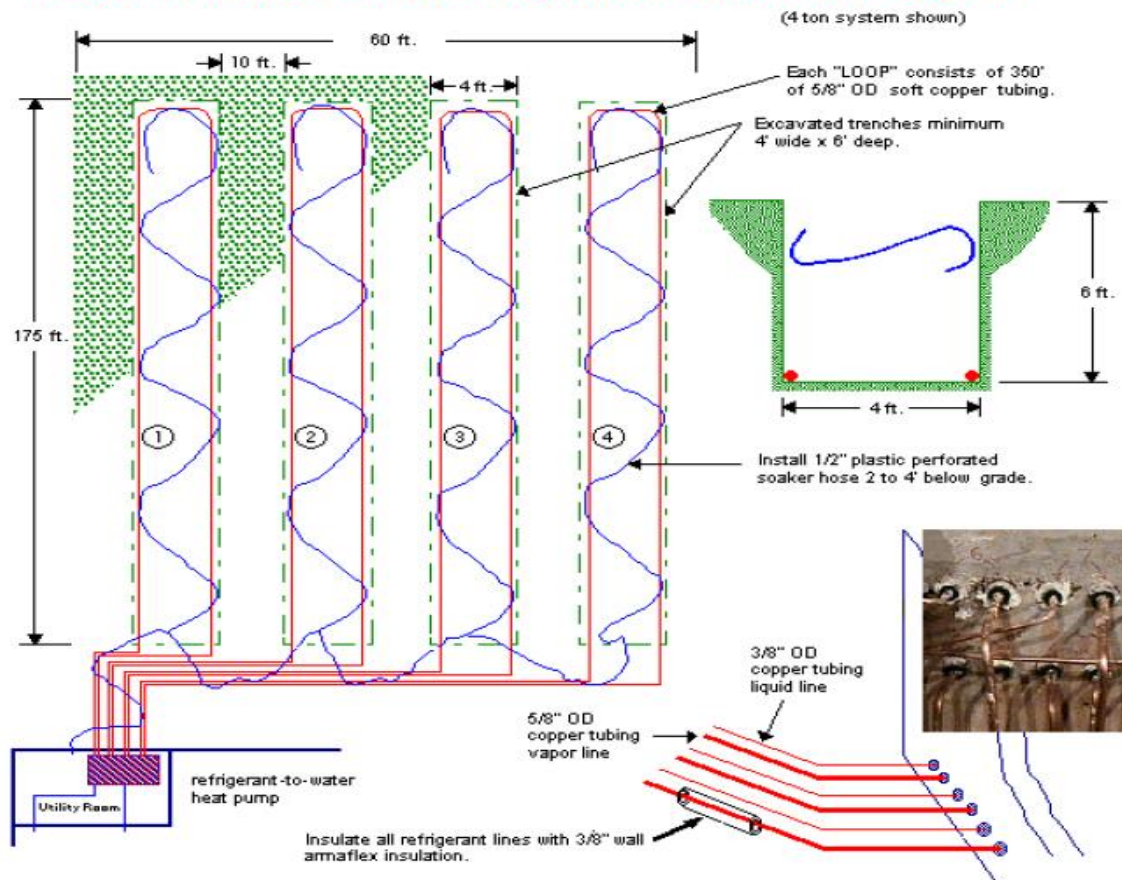
Επειδή η χώρα μας χαρακτηρίζεται από έντονη ηλιοφάνεια, ακόμα και κατά τη διάρκεια του χειμώνα και κυρίως στις νότιες περιοχές, είναι αυτονόητο ότι ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να επιτύχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς χρημάτων, ιδίως όταν συνδυάζεται με συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών όπως η ενδοδαπέδια θέρμανση.

2.8.4 Συστήματα απευθείας μετάδοσης θερμότητας

Τα συστήματα απ' ευθείας μετάδοσης δεν χρησιμοποιούν νερό ή αντιψυκτικό υγρό ως το ενδιάμεσο φέρον ρευστό για την μετάδοση θερμότητας μεταξύ του κτιρίου και του εδάφους. Αντιθέτως, τα συστήματα αυτού του τύπου, χρησιμοποιούν κλειστά κυκλώματα από σωληνώσεις μαλακού χαλκού για την απ' ευθείας μετάδοση θερμότητας από το έδαφος στο ψυκτικό μέσο.

Εξαλείφοντας τον ενδιάμεσο συλλέκτη θερμότητας, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου είναι πλησιέστερα στην θερμοκρασία του εδάφους, γεγονός που ελαττώνει την απαιτούμενη αναλογία συμπίεσης από την αντλία θερμότητας, μειώνοντας ταυτόχρονα και το μέγεθος και την κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία της αντλίας. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερο σε μέγεθος γεωθερμικό κύκλωμα, τόσο σε μήκος όσο και σε διάμετρο γεωτρήσεων, αφού οι σωληνώσεις χαλκού έχουν αποδειχθεί να είναι έξι φορές πιο αποδοτικές στη μετάδοση θερμότητας από ότι οι αγωγοί πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά κλειστά γεωθερμικά συστήματα.

Layout of Horizontal Direct Expansion Heat Pump System



Σχήμα 2.23 Οριζόντιο σύστημα απευθείας μετάδοσης θερμότητας
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Τα συστήματα απ' ευθείας μετάδοσης θερμότητας μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε οριζόντια διάταξη όσο και σε κατακόρυφη σχήματος U. Τα οριζόντια συστήματα απαιτούν 115 m περίπου αγωγού από χαλκό ανά τόνο συστήματος σε αντίθεση με τα κλειστά κυκλώματα πολυαιθυλενίου τα οποία απαιτούν 150-165 m μήκος αγωγού ανά τόνο συστήματος. Παρομοίως, στα κατακόρυφα συστήματα απ' ευθείας μετάδοσης θερμότητας, απαιτείται διάμετρος γεώτρησης γύρω τα 7 cm με βάθος 40 m ανά τόνο, εν αντιθέσει με 10-15 cm διάμετρο γεώτρησης και βάθος 65-100 m των συμβατικών κατακόρυφων κλειστών κυκλωμάτων πολυαιθυλενίου. Συνεπώς, απαιτείται μικρότερη απαιτούμενη επιφάνεια εγκατάστασης, ειδικά για τα οριζόντια συστήματα.

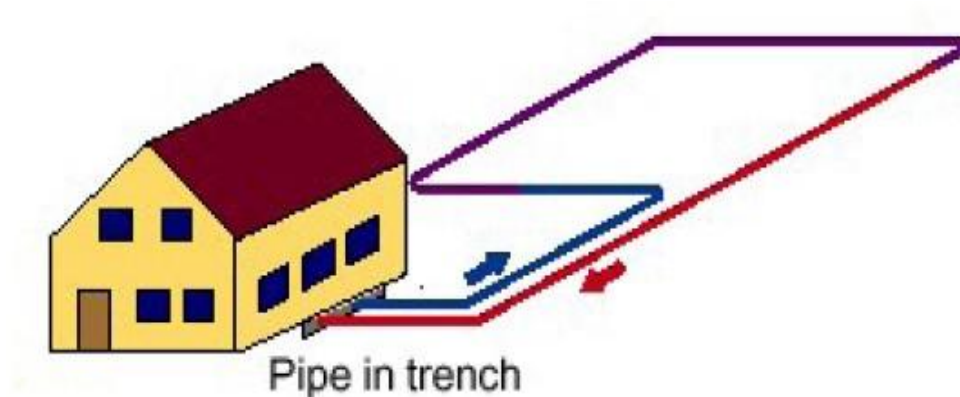
Παρ' όλα αυτά μειονεκτούν έναντι των συμβατικών πολυαιθυλενίου στο γεγονός ότι ο χαλκός αποτελεί υλικό επιρρεπές σε φαινόμενα οξειδωσης και διάβρωσης, σε αντίθεση με την ανθεκτικότητα που χαρακτηρίζει το πολυαιθυλένιο. Επιπλέον, με τη λειτουργία συστημάτων απ' ευθείας μετάδοσης θερμότητας μπορεί να προκληθεί ξήρανση του εδάφους από την αύξηση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα σε λεπτόκοκκα εδάφη,

μειώνοντας έτσι την θερμική τους αγωγιμότητα και συνεπώς την αποδοτικότητα του συστήματος. Για το λόγο αυτό, τέτοια συστήματα αποδίδουν καλύτερα σε υγρά αμμώδη εδάφη. (<http://www.earthrivergeo.com>)

2.9 Οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα

Τα οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα είναι τα πιο επωφελή από άποψη κόστους, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει αρκετή διαθέσιμη έκταση τοποθέτησης και το έδαφος είναι κατάλληλο εκσκαφής υπόγειων τάφρων. Η διάνοιξη των σκαμμάτων γίνεται με ειδικά σκαπτικά μηχανήματα όπως εκσκαφείς και γεωτρήπανα, σε βάθος 1,5 με 2 m κάτω από την επιφάνεια της γης. Μετά την τοποθέτηση των αγωγών σε διάταξη που εξαρτάται από την μελέτη, γίνεται επιχωμάτωση των υπόγειων τάφρων, λαμβάνοντας όμως ιδιαίτερη προσοχή στο υλικό συμπλήρωσης, καθώς υπολείμματα βράχου ή άλλων κοφτερών τεμαχίων μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους αγωγούς. Για το λόγο αυτό, το υλικό επιχωμάτωσης που συνήθως προτιμάται είναι αμμοχάλικο.

Ένα τυπικό σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη κλειστού βρόγχου αποτελείται από αγωγούς συνολικού μήκους 150-200 m ανά τόνο θερμικής και ψυκτικής ικανότητας. Η απαιτούμενη έκταση γης για την τοποθέτηση οριζόντιων γεωεναλλακτών κυμαίνεται από 150 έως 300 m² ανά τόνο θερμικής/ψυκτικής ικανότητας, ενώ ταυτόχρονα καθοριστικό ρόλο έχουν οι ιδιότητες και η θερμοκρασία του εδάφους.



Σχήμα 2.24 Σωλήνας σε τάφρο
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Σε περιπτώσεις που υπάρχουν περιορισμοί στην διαθέσιμη έκταση γης για την

εγκατάσταση της διάταξης, οι αγωγοί τοποθετούνται με σχετικά πιο πυκνή διάταξη και συνδέονται ανάλογα με την περίπτωση, είτε σε σειρά είτε παράλληλα.



Σχήμα 2.25 Τοποθέτηση σωληνώσεων σε σειρά
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)



Σχήμα 2.26 Τοποθέτηση σωληνώσεων παράλληλα
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Μια άλλη διάταξη τοποθέτησης του κυκλώματος είναι η σπειροειδής. Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται με σκοπό την μείωση του μήκους του γεωεναλλάκτη ανά μήκος ορύγματος, απαιτεί όμως περισσότερο μήκος αγωγού ανά τόνο ικανότητας. Ο αγωγός περιστρέφεται σε σπειροειδή μορφή, επικαλυπτόμενος και εν συνεχεία τοποθετείται μέσα στο ορύγμα. Συστήματα αποτελούμενα από δύο αγωγούς απαιτούν 85 με 100 m αγωγού περισσότερα ανά τόνο ονομαστικής ικανότητας. Επιπλέον το μήκος του ορύγματος μειώνεται καθώς ο αριθμός των τοποθετούμενων αγωγών αυξάνεται ή καθώς πυκνώνουν οι σπείρες της διάταξης.



"Slinky" collector



Svec spiral collector

Σχήμα 2.27 Σπιδράλ οριζόντιος γεωεναλλάκτης
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Τέλος, μια εναλλακτική λύση τοποθέτησης του κυκλώματος που έχει αναπτυχθεί λόγω ανεπάρκειας διαθέσιμης έκτασης, είναι η εγκατάσταση των αγωγών σε μικρότερη επιφάνεια αλλά σε μεγαλύτερο βάθος ορύγματος υπό την μορφή κυκλωμάτων στενής διαμέτρου αγωγού, όπως απεικονίζεται παρακάτω. (<http://www.earthrivergeo.com>)



Σχήμα 2.28 Κύκλωμα στενής διαμέτρου αγωγού
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

2.10 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα

Τα κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα βρίσκουν ευρεία εφαρμογή εκεί όπου υπάρχει μικρός διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης του κυκλώματος, ή στην περίπτωση όπου η παρουσία βράχων καθιστά το σκάψιμο μη πρακτικό καθώς και όταν επιθυμείται η όσο το δυνατόν λιγότερη διατάραξη του τοπίου.

Αναλυτικότερα πραγματοποιείται διάνοιξη κάθετων γεωτρήσεων, με τη χρήση γεωτρώπανου, μήκους 50-150 m. Ακολουθεί τοποθέτηση μονών ή πολλαπλών αγωγών σχήματος U στον πυθμένα της γεώτρησης και τέλος ακολουθεί εγκιβωτισμός των αγωγών. Κάθε κατακόρυφος αγωγός συνδέεται εν συνεχεία με οριζόντιο υπόγειο αγωγό μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το ρευστό από και προς την εσωτερική μονάδα εναλλαγής θερμότητας.

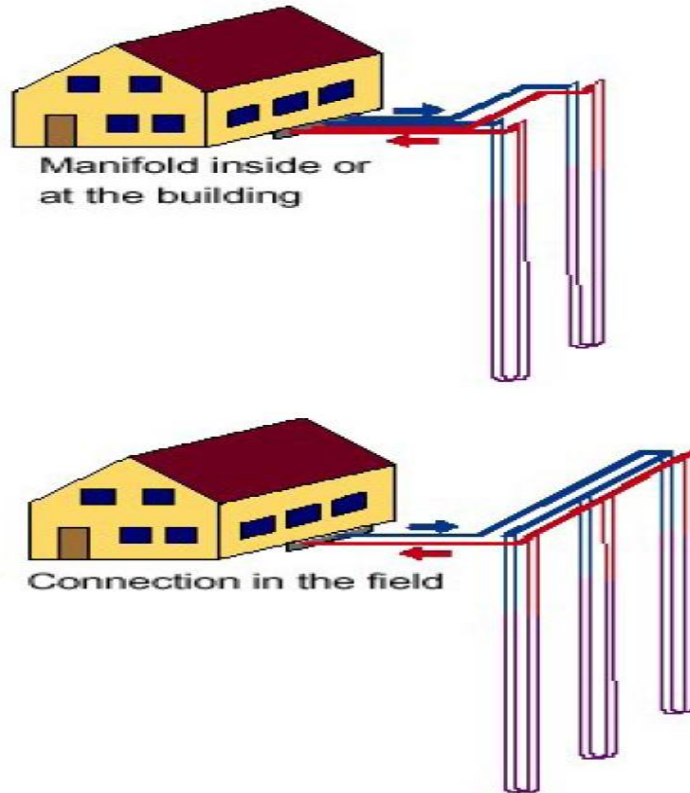
Είναι γεγονός ότι η τοποθέτηση κατακόρυφου συστήματος γεωεναλλακτών είναι πιο ακριβή, απαιτεί όμως μικρότερο μήκος αγωγών από τα οριζόντια συστήματα, καθώς η θερμοκρασία είναι πιο σταθερή όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια. Οι τυπικές απαιτήσεις αγωγών ποικίλουν από 150 έως 200 m μήκους γεώτρησης ανά τόνο θερμικής/ψυκτικής ικανότητας, εξαρτώμενο πάντα από τις ιδιότητες του εδάφους και τις θερμοκρασιακές συνθήκες αυτού. Η απαίτηση αυτή οδηγεί σε διάνοιξη 1 με 2 γεωτρήσεων ανά τόνο θερμικού/ψυκτικού φορτίου του συστήματος, απαίτηση υπαγορευόμενη πάντα από τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους.



Σχήμα 2.29 Γεωτρώπανο
(Πηγή: <http://www.geotriseis.com>)

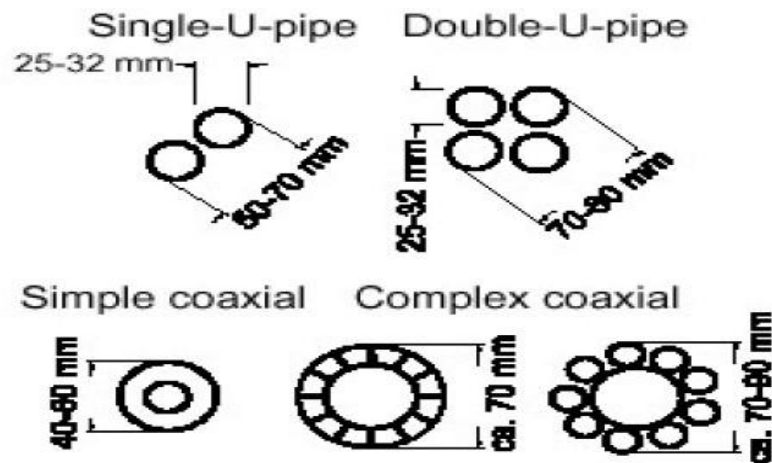
Σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού αποτελεί η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων. Εμπειροτεχνικές μέθοδοι έχουν αποδείξει ότι η απόσταση αυτή θα πρέπει να είναι 5 με

8,5 m μακριά, έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε θερμική αγωγιμότητα μεταξύ των γεωτρήσεων. Η απαιτούμενη συνήθως έκταση των γεωτρήσεων είναι 14 με 28 m² ανά τόνο θερμικής/ψυκτικής ικανότητας.



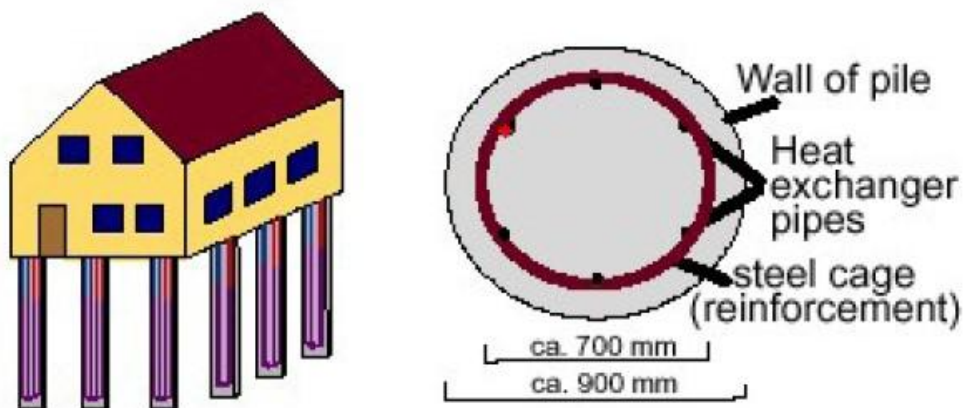
Σχήμα 2.30 Πολλαπλές κατακόρυφες γεωτρήσεις συνδεδεμένες μεταξύ τους
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Διάφοροι τύποι κατακόρυφων γεωεναλλακτών έχουν χρησιμοποιηθεί και ελεγχθεί. Η γεωθερμική βιομηχανία έχει αναπτύξει ταυτόχρονα σε διάφορες χώρες ποικίλες μεθόδους εφαρμογής. Στην Ευρώπη, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ελαχιστοποίησης της απαιτούμενης έκτασης γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα απαιτεί η τοποθέτηση 2 ή 3 ζευγών αγωγών σχήματος U έναντι της τοποθέτησης ενός. Στις Η.Π.Α. αντιθέτως συνηθίζεται περισσότερο η χρήση μονού ζεύγους αγωγών σχήματος U.



Εικόνα 2-31 Μονό/διπλό ζεύγος αγωγού γεωεναλλάκτη
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

Μια αξιοσημείωτη μέθοδος κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτή των ενεργειακών πασσάλων. Πρόκειται για εξοπλισμό των πασσάλων θεμελίωσης, με συστήματα αγωγών γεωεναλλακτών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε προκατασκευασμένους ή σε επί τόπου χυτευτούς πασσάλους μεγέθους 16''-3'. (<http://www.earthrivergeo.com>)



Σχήμα 2.32 Μέθοδος ενεργειακών πασσάλων
(Πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)

2.11 Παράμετροι λειτουργίας γεωεναλλακτών

Μια σημαντική παράμετρος με σημαντικό ρόλο στην επιτυχή λειτουργία των κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι ο εγκιβωτισμός αυτών. Είναι δεδομένο ότι η γεώτρηση θα πρέπει να δρα ως πηγή ή δεξαμενή θερμότητας, ικανότητα γνωστή ως

απόδοση θερμικής αγωγιμότητας για την οποία καθοριστικό ρόλο έχει ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει ο εγκιβωτισμός αυτών.

Όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επιχωμάτωση της γεώτρησης μπορεί να γίνει με χαλίκι με κόκκο μικρής διαμέτρου ή αμμοχάλικο, το οποίο επιτρέπει την κυκλοφορία του υπόγειου νερού γύρω από τα στοιχεία του αγωγού σχήματος U. Σε περιπτώσεις όπου το έδαφος είναι ξηρό ή σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα ή ακόμα και όταν οι τοπικοί κανονισμοί απαιτούν μόνιμο σφράγισμα των γεωτρήσεων, ο εγκιβωτισμός των αγωγών θα πρέπει να γίνεται με θερμικά ενισχυμένο ένεμα. Η θερμική απόδοση μπορεί ταυτόχρονα να ενισχυθεί με τη χρήση συνδετήρων ανά διαστήματα 1,5 m κατά μήκος του αγωγού, μέσω των οποίων ασκείται δύναμη των επί μέρους αγωγών της διάταξης σχήματος U, ενάντια στα τοιχώματα της γεώτρησης.

Η πολυετής εμπειρία έχει δείξει ότι το βάθος εκσκαφής, το είδος του εδάφους, το είδος της διάταξης (οριζόντια ή κάθετη) καθώς και η γεωγραφική θέση έχουν καθοριστικό ρόλο στο αν θα χρειαστεί αντιψυκτική προστασία του ρέοντος υγρού στο κύκλωμα. Από περιβαλλοντικής άποψης, η χρήση απλού νερού είναι η πιο ενδεδειγμένη επιλογή καθώς δεν εγκυμονεί κανέναν περιβαλλοντικό κίνδυνο. Στις περιπτώσεις όμως που κριθεί απαραίτητη η αντιψυκτική προστασία υπάρχουν δύο είδη αντιψυκτικών υγρών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, γλυκόλη προπυλενίου και μεθυλική αλκοόλη. Στην ουσία πραγματοποιείται ανάμειξη των προαναφερθέντων ουσιών με νερό για το σχηματισμό του κατάλληλου ρέοντος ρευστού στο κύκλωμα, ανάλογα τις εκάστοτε κλιματικές και εδαφικές συνθήκες.

Τέλος όσων αφορά το υλικό των αγωγών δεν είναι άλλο από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, ένα υλικό στο οποίο αποδίδεται εγγύηση 50 ετών. Ανεξάρτητοι έλεγχοι αποδεικνύουν χρονικό διάστημα χρησιμότητας πάνω από 200 χρόνια. Η ένωση των επί μέρους τμημάτων πραγματοποιείται με θερμική συγκόλληση για τη δημιουργία μιας άρθρωσης πιο δυνατής και από το ίδιο το υλικό του αγωγού. Απαγορεύεται η χρήση οδοντωτών τεμαχίων, σφιγκτήρων ή απλών κολλήσεων τα οποία αποδεδειγμένα οδηγούν στην αστοχία της διάταξης.

ΕΔΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους αποτελούν σημαντικότερο παράγοντα στο σχεδιασμό γεωεναλλακτών. Η λειτουργία ενός γεωεναλλάκτη προκαλεί ταυτόχρονη ροή θερμότητας και υγρασίας στο περιβάλλον έδαφος. Η μετάδοση της θερμότητας μεταξύ του

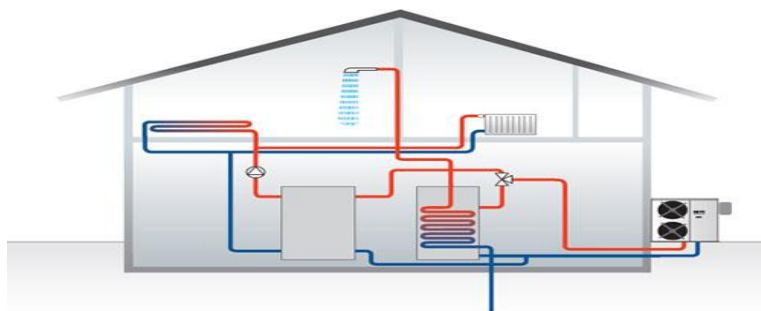
γεωεναλλάκτη και του εδάφους προέρχεται πρωτίστως από θερμική αγωγιμότητα και κατά ένα σημαντικό βαθμό από την μετανάστευση της υγρασίας. Για το λόγο αυτό το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας εξαρτάται απόλυτα από το είδος του εδάφους, την θερμοκρασία, καθώς και τον βαθμό υγρασίας.

Η θερμική διαχυτότητα του εδάφους (α_s) αποτελεί μια προσδιορισμένη ιδιότητα προκύπτοντας ως ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας και της θερμικής ικανότητας. Συνεπώς οι τρεις αυτές ιδιότητες του εδάφους θα πρέπει ή να είναι εκ των προτέρων γνωστές ή τουλάχιστον να μπορούν να εκτιμηθούν, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει δυνατότητα εκτίμησης της συμπεριφοράς των γεωεναλλακτών. Η απόκτηση όμως ακριβών τιμών των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους απαιτεί ενδελεχή έρευνα. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι θερμικές ιδιότητες κοκκωδών εδαφών (αμμώδη, αργιλικά, ίλης), είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα σε άμμο ή άργιλο, η ξηρή πυκνότητα, και η περιεκτικότητα του εξεταζόμενου εδάφους σε υγρασία. (Μιλτιάδους, Μαυρουδής, 2012)

2.12 Συστήματα διανομής στο εσωτερικό του κτιρίου

Με το όρο συστήματα διανομής θερμικών/ψυκτικών φορτίων στο εσωτερικό των χώρων, εννοείται το σύνολο από τα δίκτυα, τα εξαρτήματα και τους αυτοματισμούς που φροντίζουν για την διανομή της παραγόμενης θερμότητας ή ψύξης στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν την δυνατότητα της απόδοσης θερμότητας/ψύξης απ' ευθείας σε συστήματα αέρα ή νερού.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι η πιο ενδεδειγμένη καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Επιπλέον είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος καθώς αποτρέπει την θερμική διαστρωμάτωση του αέρα. Εν τέλει ωστόσο, η διαμόρφωση των εσωτερικών δικτύων αποτελεί αρχιτεκτονική επιλογή και αποτέλεσμα μηχανολογικής μελέτης.



Σχήμα 2.33 Παράδειγμα συστήματος διανομής θερμότητας στο εσωτερικό οικείας
(Πηγή: <http://www.anadrasi.com>)

Κεφάλαιο 3 : Το κτίριο προς μελέτη

3.1 Το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Το 2002 το υπουργικό συμβούλιο κάτω από την προεδρία του κ. Κώστα Σιμίτη αποφάσισε την ίδρυση του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (Π.Δ.Μ.), και δημοσίευσε το προεδρικό διάταγμα Νο. 92/11-4-2003. Τον Ιούνιο του 2003 ο Υπουργός Παιδείας και Θρησκευτικών Ζητημάτων, κ. Πέτρος Ευθυμίου, μέσω της απόφασης Φ.120.61/132/61865/B2/25.6.2003 διορίζει τα μέλη της Διοικούσας Επιτροπής. Στις 28 Ιουλίου, ομάδα υπουργών υπό την καθοδήγηση του αρμόδιου Υπουργού, εγκαθιστά την Διοικούσα Επιτροπή στην Κοζάνη. Σήμερα το Π.Δ.Μ. έχει έξι τμήματα, τρία στη Φλώρινα και τρία στην Κοζάνη. Υπηρετούν σε αυτό 91 μέλη διδακτικού και ερευνητικού προσωπικού και 51 υπάλληλοι στη διοίκησή του, ενώ φοιτούν περίπου 4000 προπτυχιακοί και μεταπτυχιακοί φοιτητές.

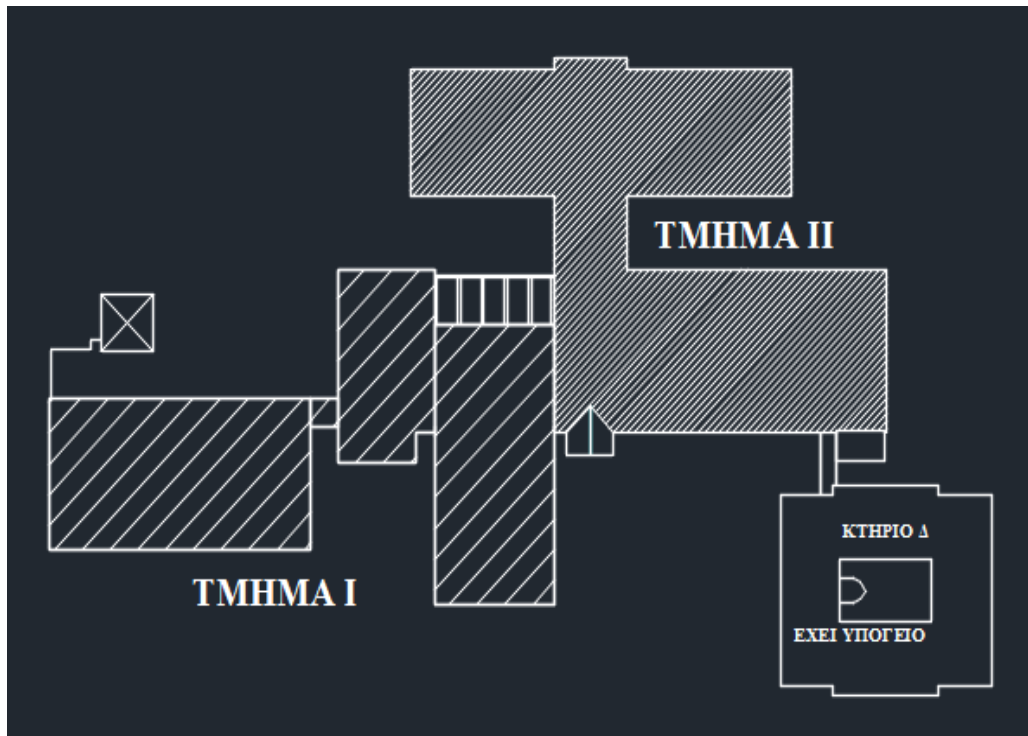
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

Η Παιδαγωγική Σχολή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας με έδρα τη Φλώρινα αποτελείται από τα Παιδαγωγικά τμήματα Δημοτικής Εκπαίδευσης και Νηπιαγωγών.

3.2 Το κτίριο

Το κτίριο που επιλέχθηκε, στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, είναι η Παιδαγωγική σχολή, του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, με έδρα τη Φλώρινα. Η Παιδαγωγική Σχολή στεγάζεται σε νεόκτιστες και ανακαινισμένες εγκαταστάσεις στις οποίες στεγαζόταν η πρώην Παιδαγωγική Ακαδημία Φλώρινας από το 1984 μέχρι την παύση της λειτουργίας της το 1989. Οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται τρία χιλιόμετρα έξω από την πόλη της Φλώρινας, επί της εθνικής οδού Φλώρινας-Νίκης. (eled.uowm.gr)

Πρόκειται για εγκαταστάσεις συνολικής έκτασης 10.297,63 m² εκ των οποίων τα 9.360,99 m² είναι θερμαινόμενοι χώροι. Η Παιδαγωγική Σχολή χωρίζεται σε τρία τμήματα. Το τμήμα I το οποίο ήταν και το πρώτο χρονολογικά κτίριο που χτίστηκε, το τμήμα II το οποίο αποτελεί την μετέπειτα επέκταση της παιδαγωγικής σχολής και το κτίριο Δ, το νεότερο χρονολογικά κτίριο, που στεγάζει τα γραφεία του προσωπικού, των καθηγητών, των διοικούντων και την γραμματεία του τμήματος.



Σχήμα 3.1 Κάτοψη του κτιρίου

3.3 Βασικές έννοιες

Στο κεφάλαιο αυτό εισάγονται έννοιες όπως «δομικό στοιχείο», «συντελεστής θερμοπερατότητας», «ενεργειακή κατανάλωση» κλπ. Σκοπός σε αυτό το κεφάλαιο είναι να υπολογιστούν τα θερμικά φορτία των εγκαταστάσεων, και να υπολογιστεί η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου για την κάλυψη των φορτίων αυτών.

Για κάθε δομικό στοιχείο που διαχωρίζει μια θερμική ζώνη του κτιρίου με τον εξωτερικό αέρα (π.χ. τοιχοποιίες, κατακόρυφα στοιχεία φέροντος οργανισμού, επιστεγάσεις, δάπεδο επάνω από ανοικτό υπόστυλο χώρο κ.ά.), με το έδαφος (π.χ. κατακόρυφα στοιχεία σε επαφή με το έδαφος, δάπεδο σε επαφή με το έδαφος κ.ά.), με μη θερμαινόμενους χώρους (π.χ. τοιχοποιίες, φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, δάπεδα, οροφές σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους) θα πρέπει να προσδιοριστούν οι θερμοφυσικές ιδιότητες τόσο των επιμέρους στρώσεων που το συνθέτουν, όσο και της συνολικής διατομής. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Κατά απλοποιητική παραδοχή η ροή θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου αντιμετωπίζεται ως μονοδιάστατο μέγεθος και με διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου. Οι ανταλλαγές θερμότητας θεωρούνται επίσης ανεξάρτητες από το χρόνο (στάσιμη κατάσταση) και ανεπηρέαστες από εξωγενείς παράγοντες. Ομοίως όλα τα δομικά υλικά θεωρούνται κατά παραδοχή ομογενή και

ισότροπα, με σταθερά θερμοφυσικά χαρακτηριστικά και ανεπηρέαστα από τις μεταβολές τις θερμοκρασίας.

Με βάση τα παραπάνω η αντίσταση που προβάλλει μια ομογενής στρώση ενός δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας υπολογίζεται από τον γενικό τύπο:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (3.1)$$

- $R \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας η συγκεκριμένη στρώση,
- $D [m]$ το πάχος της στρώσης,
- $\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης.

Το σύνολο των θερμικών αντιστάσεων όλων των στρώσεων ενός πολυστρωματικού δομικού στοιχείου, που αποτελείται από ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζει την αντίσταση θερμοδιαφυγής (R_{ss}) και προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων της κάθε στρώσης κατά τη γενικευμένη σχέση:

$$R_{\Lambda} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} = \sum_j R_j \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (3.2)$$

Η σειρά των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου πρακτικά δεν επηρεάζει τη ροή θερμότητας μέσω αυτού, επηρεάζει όμως την αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητάς τους. Η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εσωτερική επιφάνεια, περιορίζει τη θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου, δηλαδή την ικανότητα να αποθηκεύει θερμότητα στη μάζα του. Αντίθετα, η τοποθέτηση της θερμομονωτικής στρώσης σε θέση πλησιέστερη προς την εξωτερική επιφάνεια επαυξάνει τη θερμοχωρητικότητά του.

Ωστόσο, η θερμοχωρητικότητα του δομικού στοιχείου επηρεάζεται καθοριστικά από τη μάζα του. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας. Στόχος είναι η αποθηκευόμενη ποσότητα θέρμανσης να μπορεί να επαναποδοθεί στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, όταν η θερμοκρασία του χώρου πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα από τη θερμοκρασία της μάζας του.

Η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει ένα πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, που αποτελείται από ομογενείς στρώσεις υλικών, ορίζεται από το άθροισμα των

αντιστάσεων των επί μέρους στρώσεων και των αντιστάσεων του στρώματος αέρα εκατέρωθεν των όψεών του, κατά την εξίσωση:

$$R_{ολ} = R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_a \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (3.3)$$

- $R_{ολ} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η συνολική αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο,
- $n [-]$ το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
- $R_i \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
- $R_a \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Οι θερμικές απώλειες μέσω ενός δομικού στοιχείου ορίζονται από τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U), που δίνει τη ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου, ισούται με την μονάδα.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου ορίζεται από την σχέση:

$$U = \frac{1}{R_{ολ}} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (3.4)$$

και στη γενική της έκφραση θα είναι:

$$\frac{1}{U} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_a \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (3.5)$$

- $U \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου,
- $n [-]$ το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

- $R_i \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
- $R_a \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Καθώς ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από τη συναγωγή που παρουσιάζει με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των όψεων του, αύξηση ή μείωση του πάχους μιας στρώσης του υλικού επηρεάζει το συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)

3.3.1 Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων

Ο βαθμός θερμομονωτικής προστασίας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου προσδιορίζεται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (U), αυτού οριζόμενου από το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι διαδοχικές στρώσεις του δομικού στοιχείου στη θεωρούμενη κατά παραδοχή μονοδιάστατη και κάθετη στην επιφάνειά του ροή θερμότητας μέσω αυτού και των αντίστοιχων θερμικών αντιστάσεων που προβάλλουν οι εκατέρωθεν των όψεων του στρώσεις αέρα.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου U ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + R_a} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (3.6)$$

- $U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου,
- n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
- d [m] το πάχος της στρώσης,
- $\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης,
- $R_i \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

- $R_a \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον,
- $R_\delta \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος.

Η υπολογιζόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου, αναλόγως της θέσης του στο κτίριο, θα πρέπει να προκύπτει μικρότερη ή ίση της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής, όπως αυτή ορίζεται για κάθε κλιματική ζώνη του ελλαδικού χώρου. Εάν η τιμή που προκύπτει είναι μεγαλύτερη, θα πρέπει ο έλεγχος να επαναληφθεί, αφού προηγουμένως βελτιωθούν τα θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά του δομικού στοιχείου:

- Με ενδεχόμενη αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης,
- Με αντικατάσταση του θερμομονωτικού υλικού με άλλο (ενδεχομένως και των υλικών άλλων στρώσεων) που θα έχει χαμηλότερη τιμή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ώστε να προκύπτει μικρότερη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U.

(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)

Α/Α	Κατεύθυνση θερμικής ροής	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		1/R _i	1/R _a	R _i	R _a
		W/(m ² K)	W/(m ² K)	(m ² K)/W	(m ² K)/W
1	Οριζόντια θερμική ροή	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα άνω	10,00	25,00	0,10	0,04
3	Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα κάτω	5,88	25,00	0,17	0,04

Σχήμα 3.2 Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)

Α/Α	Δομικό στοιχείο	Συντελεστές θερμικής μετάβασης		Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης	
		1/R _i	1/R _a	R _i	R _a
		W/(m ² K)	W/(m ² K)	(m ² K)/W	(m ² K)/W
1	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	7,70	25,00	0,13	0,04
2	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	7,70	7,70	0,13	0,13
3	Τοίχος σε επαφή με έδαφος	7,70	–	0,13	0,00
4	Στέγη, δώμα (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	25,00	0,10	0,04
5	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή θερμότητας)	10,00	10,00	0,10	0,10
6	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή) (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	25,00	0,17	0,04
7	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή θερμότητας)	5,88	5,88	0,17	0,17
8	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	5,88	–	0,17	0,00

Σχήμα 3.3 Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010)

3.4 Τα δομικά υλικά του κτιρίου

3.4.1 Αδιαφανή κατακόρυφα δομικά στοιχεία

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) για τα δομικά στοιχεία του κάθε τμήματος της Παιδαγωγικής Σχολής.

ΤΜΗΜΑ Ι

Παρατηρούνται δύο ειδών δομικά στοιχεία:

1. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους, πάχους 0,3 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,3}{0,53} + 0,04} = 1,35 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

2. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0,27 m και μόνωση 0,03 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,27}{0,53} + \frac{0,03}{0,04} + 0,04} = 0,69 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

ΤΜΗΜΑ ΙΙ

Παρατηρείται δομικό στοιχείο με οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0.3 m, χωρίς μόνωση. Όπως και στο τμήμα Ι ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται:

$$U = 1,35 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$$

ΚΤΙΡΙΟ Δ

Παρατηρούνται τριών ειδών δομικά στοιχεία.

1. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0,22 m και μόνωση 0,03 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,22}{0,53} + \frac{0,03}{0,04} + 0,04} = 0,75 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$$

2. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0,12 m, σκυρόδεμα πάχους 0,20 m και μόνωση 0,03 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,12}{0,53} + \frac{0,20}{1,53} + \frac{0,03}{0,04} + 0,04} = 0,9 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$$

3. Σκυρόδεμα πάχους 0,25 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,25}{1,53} + 0,04} = 2,8 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$$

3.4.2 Αδιαφανή οριζόντια δομικά στοιχεία

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) για τα οριζόντια δομικά στοιχεία λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα. Για ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά τον Κανονισμό

Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ.), για οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη:

$$U = 1,00 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς θερμομονωτική προστασία			Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.		
	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαιν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος
	[W/(m ² -K)]	[W/(m ² -K)]	[W/(m ² -K)]	[W/(m ² -K)]	[W/(m ² -K)]	[W/(m ² -K)]
Επιστεγάσεις (με ή χωρίς ψευδοροφή)						
Συμβατικού τύπου δώμα.	3,05	–	–	0,95	–	–
Αντεστραμμένου τύπου δώμα.	–	–	–	0,95	–	–
Αεριζόμενο δώμα.	–	3,70	–	1,00	–	–
Φυτεμένο δώμα.	1,20	–	–	0,70	–	–
Οριζόντια οροφή κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη.	3,70	–	–	1,00	–	–
Οροφή κάτω από μη θερμαινόμενο χώρο.	–	2,90	–	–	0,90	–
Κεραμοσκεπή επί κεκλιμένης πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος.	4,70	–	–	1,05	–	–
Κεραμοσκεπή επί κεκλιμένης ξύλινης στέγης.	4,25	–	–	1,00	–	–
Δάπεδα με επικάλυψη παντός τύπου (ξύλο, μάρμαρο, πλακάκι, μωσαϊκό κ.τ.λ.)						
Επάνω από ανοικτό υπόστυλο χώρο (πυλωτή).	2,75	–	–	0,90	–	–
Επί εδάφους.	–	–	3,10	–	–	0,95
Επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο.	–	2,00	–	–	0,80	–

Σχήμα 3.4 τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για υφιστάμενα οριζόντια δομικά στοιχεία
(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Για το δάπεδο, λαμβάνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή από τον Κ.Εν.Α.Κ. για την Φλώρινα (Ζώνη Δ). Άρα από τον παρακάτω πίνακα λαμβάνεται η τιμή:

$$U = 0,7 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² .K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _{v,D}	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _{v,W}	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U _{v,BL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{v,G}	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{v,WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U _{v,F}	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U _{v,GF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Σχήμα 3.5 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στη Ελλάδα (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

3.4.3 Διαφανή δομικά στοιχεία

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) των διαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου, χρησιμοποιείται ο παρακάτω πίνακας. Έχουν υπολογιστεί οι τιμές θερμοπερατότητας των συνηθέστερων κουφωμάτων που συναντώνται στο κτιριακό απόθεμα, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ενεργειακή επιθεώρηση.

Τύπος πλαισίου	Ποσοστό πλαισίου F _t [%]	Υαλοπίνακας μονός [W/(m ² K)]	Δίδυμος υαλοπίνακας		Δίδυμος υαλοπίνακας με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμφιμότητας	
			με διάκενο αέρα 6 mm [W/(m ² K)]	με διάκενο αέρα 12 mm [W/(m ² K)]	με διάκενο αέρα 6 mm [W/(m ² K)]	με διάκενο Αέρα 12 mm [W/(m ² K)]
			Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή.	20%	6,0	4,1
	30%	6,1	4,5	4,1	4,0	3,5
	40%	6,2	4,8	4,5	4,4	4,0
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm	20%	–	3,6	3,2	3,1	2,6
	30%	–	3,5	3,2	3,1	2,7
	40%	–	3,5	3,2	3,0	2,8
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 24 mm	20%	–	3,4	3,0	3,0	2,3
	30%	–	3,3	3,0	2,9	2,4
	40%	–	3,2	3,0	2,9	2,4
Συνθετικό πλαίσιο	20%	–	3,4	3,0	2,9	2,2
	30%	–	3,3	2,9	2,9	2,3
	40%	–	3,2	2,9	2,9	2,4
Ξύλινο πλαίσιο	20%	5,0	3,2	2,9	2,7	2,1
	30%	4,7	3,1	2,8	2,6	2,1
	40%	4,3	3,0	2,7	2,6	2,1
Διπλό παράθυρο (ξύλινο)*	20%	2,4	–	–	–	–
	30%	2,3	–	–	–	–
	40%	2,1	–	–	–	–

Σχήμα 3.6 Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Για συνθετικό πλαίσιο με ποσοστό πλαισίου 30 % και δίδυμο υαλοπίνακα με διάκενο αέρα 6 mm, παίρνουμε την τιμή:

$$U = 3,3 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

3.5 Καταγραφή των επιφανειών του κτιρίου

Για την σωστή καταγραφή των επιφανειών του κτιρίου που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα ή την επιφάνεια της γης, άρα ευθύνονται για τις απώλειες θερμότητας, χρησιμοποιήθηκαν οι κατόψεις των κτιρίων. Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με όσα καταγράφηκαν.

Τμήμα Ι

Ισόγειο

Πίνακας 3.1 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του κτιρίου Β.

Κτίριο Β							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	18,50	3,55	1,35	65,68	7,28	58,40	78,83
Εξωτερικός Τοίχος	43,40	3,55	1,35	154,07	41,58	112,49	151,86
Εξωτερικός Τοίχος	43,40	3,55	0,69	154,07	86,40	67,67	46,69
Εξωτερικός Τοίχος	23,00	3,55	1,35	81,65	23,85	57,80	78,03
Εξωτερικός Τοίχος ΣΑ	5,10	3,55	1,35	18,11	6,12	11,99	16,18
Εξωτερικός Τοίχος ΣΑ	5,10	3,55	1,35	18,11	6,12	11,99	16,18
Οροφή			1,00			1021,15	1021,15
						1341,48	1408,93
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			171,35	565,46

Πίνακας 3.2 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία των αμφιθεάτρων.

Αμφιθέατρα							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	26,80	3,70	1,35	99,16	6,20	99,16	133,87
Εξωτερικός Τοίχος	26,80	3,70	1,35	99,16	6,20	99,16	133,87
Εξωτερικός Τοίχος	19,20	3,70	1,35	71,04	0,00	71,04	95,90
						269,36	363,64
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			12,40	40,92

Πίνακας 3.3 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του κτιρίου Η.

Κτίριο Η							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	27,10	5,35	1,35	144,99	31,95	113,04	152,60
						113,04	152,60
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			31,95	105,44

Πίνακας 3.4 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του κτιρίου Ζ.

Κτίριο Ζ							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	7,10	3,25	0,69	23,08	0,00	23,08	15,92
Εξωτερικός Τοίχος	11,80	3,25	1,35	38,35	21,42	16,93	22,86
Εξωτερικός Τοίχος	18,60	3,25	1,35	60,45	18,84	41,61	56,17
Εξωτερικός Τοίχος	13,10	3,25	1,35	42,58	5,27	37,31	50,36
Εξωτερικός Τοίχος	12,10	3,25	0,69	39,33	5,88	33,45	23,08
Οροφή			1,00			364,50	364,50
						516,87	532,89
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			51,41	169,65

Πίνακας 3.5 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του γραφείου του φύλακα.

Γραφείο Φύλακα							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	1,35	26,00	0,25	25,75	34,76
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	1,35	26,00	9,32	16,68	22,52
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	1,35	26,00	3,36	22,64	30,56
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	1,35	26,00	2,64	23,36	31,54
Οροφή			1,00			48,82	48,82
						137,25	168,20
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			15,57	51,38

1^{ος} Όροφος

Πίνακας 3.6 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του 1^{ου} ορόφου του τμήματος Ι.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	20,00	3,70	1,35	74,00	0,00	74,00	99,90
Εξωτερικός Τοίχος	43,00	3,70	1,35	159,10	36,84	122,26	165,05
Εξωτερικός Τοίχος	43,00	3,70	1,35	159,10	36,84	122,26	165,05
Εξωτερικός Τοίχος	26,80	3,70	1,35	99,16	29,64	69,52	93,85
Οροφή			1,00			830,76	830,76
						1218,80	1354,61
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			103,32	340,96

Στο σημείο αυτό, για διευκόλυνση των μετέπειτα υπολογισμών που θα γίνουν στα επόμενα κεφάλαια, υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας (U_m) για το ισόγειο και για τον 1^ο όροφο του κτιρίου. Για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας (U_m):

$$U_m = \frac{\sum U \cdot A}{\sum A} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (\text{Σχέση 3.6})$$

Για το ισόγειο:

$$U_m = 1,34 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Για τον 1^ο όροφο:

$$U_m = 1,28 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Τμήμα ΙΙ

Ισόγειο

Πίνακας 3.7 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του ισόγειου του τμήματος ΙΙ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
E1	19,00	3,70	1,35	70,30	3,96	66,34	89,56
E1	19,00	3,70	1,35	70,30	3,96	66,34	89,56
E1	63,40	3,70	1,35	234,58	72,82	161,76	218,38
E1	23,95	3,70	1,35	88,62	31,90	56,72	76,57
E1	27,35	3,70	1,35	101,20	41,58	59,62	80,48
E2	12,10	3,70	1,35	44,77	34,64	10,13	13,68
E2	12,10	3,70	1,35	44,77	10,08	34,69	46,83
E3	23,40	3,70	1,35	86,58	29,24	57,34	77,41

E3	23,40	3,70	1,35	86,58	21,96	64,62	87,24
E3	42,90	3,70	1,35	158,73	58,49	100,24	135,32
E3	45,50	3,70	1,35	168,35	76,80	91,55	123,59
E3	2,70	3,70	1,35	9,99	4,60	5,39	7,28
E4	3,70	3,70	1,35	13,69	3,90	9,79	13,22
E4	3,70	3,70	1,35	13,69	3,90	9,79	13,22
E4	6,90	3,70	1,35	25,53	5,32	20,21	27,28
οροφή			1,00			1294,25	1294,25
						2108,77	2393,85
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			403,15	1330,40

1^{ος} Όροφος

Πίνακας 3.8 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του 1^{ου} ορόφου του τμήματος II.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	19,20	3,75	1,35	72,00	2,20	69,80	94,23
Εξωτερικός Τοίχος	19,20	3,75	1,35	72,00	2,20	69,80	94,23
Εξωτερικός Τοίχος	72,40	3,75	1,35	271,50	97,92	173,58	234,33
Εξωτερικός Τοίχος	76,00	3,75	1,35	285,00	99,80	185,20	250,02
Οροφή			1,00	0,00		1369,02	1369,02
						1867,40	2041,83
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			3,30			202,12	667,00

Για το ισόγειο:

$$U_m = 1,48 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 1^ο όροφο:

$$U_m = 1,31 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Κτίριο Δ

Ισόγειο

Πίνακας 3.9 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του ισόγειου του τμήματος Δ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελική επιφάνεια(m ²)	U*A
0.01-Ιατρείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21

0.01-Ιατρείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
0.02-Γραμματεία	6,40	3,20	0,75	5,20	15,28	11,46
0.02-Γραμματεία	1,45	3,20	0,90	0,00	4,64	4,18
0.02-Γραμματεία	1,90	3,20	2,80	0,00	6,08	17,02
0.03-Ελεγχος/Πληροφορίες	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61
0.03-Ελεγχος/Πληροφορίες	1,45	3,20	0,92	0,00	4,64	4,27
0.03-Ελεγχος/Πληροφορίες	1,90	3,20	2,80	0,00	6,08	17,02
0.04-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.05-Γραφείο	3,25	3,20	0,75	2,60	7,80	5,85
0.05-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
0.05-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
0.06-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
0.06-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.07-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.08-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.09-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.10-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.10-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
0.11-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	2,60	-0,04	-0,04
0.11-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
0.11-Γραφείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
0.12-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.13-Γραφείο	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
0.14-0.15-WC	2,05	3,20	0,75	0,50	6,06	4,55
0.14-0.15-WC	5,40	3,20	2,80	0,00	17,28	48,38
0.16-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,90	0,00	2,88	2,59
0.16-Κλιμακοστάσιο 2	2,80	3,20	0,75	1,80	7,16	5,37
0.16-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,90	0,00	2,88	2,59
0.17-0.18-WC	5,40	3,20	2,80	0,00	17,28	48,38
0.17-0.18-WC	2,05	3,20	0,75	0,50	6,06	4,55
0.19-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.20-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.21-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	2,60	-0,04	-0,04
0.21-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
0.21-Γραφείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
0.22-Γραφείο	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61
0.22-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
0.23-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.24-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.25-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
0.26-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
Διάδρομος 4	17,10	3,20	0,75	6,63	48,09	36,07
Διάδρομος 2	17,10	3,20	0,75	6,63	48,09	36,07
Διάδρομος 3	10,40	3,20	0,75	3,96	29,32	21,99
Διάδρομος 1	5,00	3,20	0,75	0,75	15,25	11,44

Διάδρομος 1	3,65	3,20	0,75	0,50	11,18	8,39
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,90	0,00	8,80	7,92
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,90	0,00	8,80	7,92
Κλιμακοστάσιο 1	12,56	3,20	0,75	1,20	38,99	29,24
0.31-Χωλ	3,20	3,20	2,80	3,52	6,72	18,82
0.32-Χωλ	6,50	3,20	0,75	7,92	12,88	9,66
οροφή			1,00		25,30	25,30
					608,54	580,96
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αριθμός	Τελική επιφάνεια(m ²)	U*A
ΠΑ-1	2,00	1,30	3,30	22,00	57,20	188,76
ΠΑ-2	1,70	1,30	3,30	9,00	19,89	65,64
ΠΑ-3	0,6	2	3,3	1	1,2	3,96
ΠΑ-4	0,50	0,50	3,30	10,00	2,50	8,25
ΠΑ-5	0,90	2,00	3,30	1,00	1,80	5,94
ΘΑ-7	3,80	2,60	3,30	1,00	9,88	32,60
					92,47	305,15

1^{ος} Όροφος

Πίνακας 3.10 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του 1^{ου} του τμήματος Δ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελική επιφάνεια (m ²)	U*A
1.01-Γραφείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
1.01-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
1.01-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
1.02-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.03-Γραφείο	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
1.03-Γραφείο	1,45	3,20	0,90	0,00	4,64	4,18
1.03-Γραφείο	1,90	3,20	2,80	0,00	6,08	17,02
1.04-Χωλ	3,20	3,20	2,80	3,52	6,72	18,82
1.05-Γραφείο	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
1.05-Γραφείο	1,45	3,20	0,90	0,00	4,64	4,18
1.05-Γραφείο	1,90	3,20	2,80	0,00	6,08	17,02
1.06-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.07-Γραφείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
1.07-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
1.07-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
1.08-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
1.08-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.09-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.10-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.11-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.12-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.12-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62

1.13-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	2,60	-0,04	-0,04
1.13-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
1.13-Γραφείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
1.14-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.15-Γραφείο	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
1.16-WC	2,05	3,20	0,75	0,50	6,06	4,55
1.16-WC	5,40	3,20	2,80	0,00	17,28	48,38
1.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,90	0,00	2,88	2,59
1.17-Κλιμακοστάσιο 2	2,80	3,20	0,75	1,80	7,16	5,37
1.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,90	0,00	2,88	2,59
1.18-WC	5,40	3,20	2,80	0,00	17,28	48,38
1.18-WC	2,05	3,20	0,75	0,50	6,06	4,55
1.19-Γραφείο	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
1.20-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.21-Γραφείο	0,80	3,20	0,90	2,60	-0,04	-0,04
1.21-Γραφείο	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
1.21-Γραφείο	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
1.22-Γραφείο	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61
1.22-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
1.23-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.24-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.25-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.26-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
1.26-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
Διάδρομος 3	17,10	3,20	0,75	6,63	48,09	36,07
Διάδρομος 1	17,10	3,20	0,75	6,63	48,09	36,07
Διάδρομος 2	10,04	3,20	0,75	3,96	28,17	21,13
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,90	0,00	8,80	7,92
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,90	0,00	8,80	7,92
Κλιμακοστάσιο 1	12,56	3,20	0,75	1,20	38,99	29,24
Χωλ	6,50	3,20	0,75	4,42	16,38	12,29
					567,80	545,47
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Υψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αριθμός	Τελική επιφάνεια(m ²)	U*A
ΠΑ-1	2	1,3	3,3	22	57,2	188,76
ΠΑ-2	1,7	1,3	3,3	10	22,1	72,93
ΠΑ-3	0,6	2	3,3	1	1,2	3,96
ΠΑ-4	0,5	0,5	3,3	4	1	3,3
ΠΑ-5	0,9	2	3,3	1	1,8	5,94
ΘΑ-7	3,8	2,6	3,3	1	9,88	32,604
					93,18	307,494

2^{ος} Όροφος

Πίνακας 3.11 Επιφάνειες και συντελεστής θερμοπερατότητας για τα δομικά στοιχεία του 2^{ου} ορόφου του τμήματος Δ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελική επιφάνεια (m ²)	U*A
2.01-Πρόεδρος	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
2.01-Πρόεδρος	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
2.01-Πρόεδρος	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
2.02-Γραματεία	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.03-Αρχείο	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
2.03-Αρχείο	1,45	3,20	0,75	0,00	4,64	3,48
2.03-Αρχείο	1,90	3,20	2,80	0,00	6,08	17,02
2.04-Χωλ	3,20	3,20	2,80	3,52	6,72	18,82
2.05-Γραματεία	3,00	3,20	0,75	2,60	7,00	5,25
2.05-Γραματεία	1,45	3,20	0,90	0,00	4,64	4,18
2.06-Κοσμήτορας	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
2.06-Κοσμήτορας	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
2.06-Κοσμήτορας	6,80	3,20	0,75	5,20	16,56	12,42
2.09-Βοηθητικός Χώρος	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
2.09-Βοηθητικός Χώρος	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.10-Αίθουσα Συνεδριάσεων	10,10	3,20	0,75	7,80	24,52	18,39
2.12-Βοηθητικός Χώρος	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.12-Βοηθητικός Χώρος	2,30	3,20	0,90	2,60	4,76	4,28
2.13-Πρόεδρος	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
2.13-Πρόεδρος	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
2.13-Πρόεδρος	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
2.14-Γραμματεία	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.15-Αρχείο	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61
3.16-WC	2,05	3,20	0,75	0,50	6,06	4,55
3.16-WC	5,40	3,20	2,80	0,00	17,28	48,38
3.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,90	0,00	2,88	2,59
3.17-Κλιμακοστάσιο 2	2,80	3,20	0,75	1,80	7,16	5,37
3.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,90	0,00	2,88	2,59
2.18-WC	5,40	3,20	2,80	0,00	17,28	48,38
2.18-WC	2,05	3,20	0,75	0,50	6,06	4,55
2.19-Αρχείο	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61
2.20-Γραμματεία	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.21-Πρόεδρος	3,40	3,20	0,75	2,60	8,28	6,21
2.21-Πρόεδρος	5,95	3,20	0,75	0,00	19,04	14,28
2.21-Πρόεδρος	0,80	3,20	0,90	0,00	2,56	2,30
2.22-Γραφείο	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61
2.23-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.24-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.25-Γραφείο	3,30	3,20	0,75	2,60	7,96	5,97
2.26-Γραφείο	3,15	3,20	0,75	2,60	7,48	5,61

2.26-Γραφείο	2,30	3,20	0,90	0,00	7,36	6,62
Διάδρομος 3	17,10	3,20	0,75	6,63	48,09	36,07
Διάδρομος 1	17,10	3,20	0,75	6,63	48,09	36,07
Διάδρομος 2	10,40	3,20	0,75	2,21	31,07	23,30
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,90	0,00	8,80	7,92
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,90	0,00	8,80	7,92
Κλιμακοστάσιο 1	12,56	3,20	0,75	1,20	38,99	29,24
Χωλ	6,50	3,20	0,75	4,42	16,38	12,29
Οροφή			1,00		727,31	727,31
					1288,61	1254,03
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	Αριθμός	Τελική επιφάνεια(m²)	U*A
ΠΑ-1	2,00	1,30	3,30	22,00	57,20	188,76
ΠΑ-2	1,70	1,30	3,30	10,00	22,10	72,93
ΠΑ-3	0,60	2,00	3,30	1,00	1,20	3,96
ΠΑ-4	0,50	0,50	3,30	4,00	1,00	3,30
ΠΑ-5	0,90	2,00	3,30	1,00	1,80	5,94
ΘΑ-7	3,80	2,60	3,30	1,00	9,88	32,60
					93,18	307,49

Για το ισόγειο:

$$U_m = 1,26 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 1^ο όροφο:

$$U_m = 1,26 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 2^ο όροφο:

$$U_m = 1,12 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

3.6 Υπολογισμός ετήσιων θερμικών αναγκών και καταναλώσεων

3.6.1. Μέσες μηνιαίες τιμές κλιματολογικών δεδομένων

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου, όλες οι διεθνής μεθοδολογίες υπολογισμού απαιτούν τη χρήση κλιματικών δεδομένων για την κάθε κλιματική ζώνη ή/και περιοχή που βρίσκεται το κτίριο. Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε

μια περιοχή (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα αέρα κ.α.), διαμορφώνεται και η τελική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και κλιματισμό του κτιρίου. Τα κλιματικά δεδομένα χρησιμοποιούνται στις διάφορες μεθοδολογίες υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, είτε σε ωριαία (μοντέλα προσομοίωσης) είτε σε μηνιαία βάση (μηνιαίες μεθοδολογίες).

3.6.2 Μέση θερμοκρασία εξωτερικού αέρα

Σύμφωνα με την εθνική μετεωρολογική υπηρεσία και το πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO 15927-5:2005, η μέση μηνιαία θερμοκρασία για μια περίοδο υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών κάθε έτους της αναγραφόμενης περιόδου. Η μέση θερμοκρασία μπορεί να εκτιμηθεί από την εμπειρική εξίσωση που προτείνεται στα πρότυπα της ASHRAE Fundamentals Handbook (1989):

$$T_o = 0,7T_a + 0,3T_m \quad (3.7)$$

- T_o είναι η μέση θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας,
- T_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου,
- T_m είναι η μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία.

3.6.3. Βαθμομέρες θέρμανσης

Η πιο απλή και σύντομη μέθοδος υπολογισμού των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης ενός κτιρίου, είναι οι βαθμομέρες θέρμανσης. Η παράμετρος αυτή προκύπτει από την μέση μηνιαία θερμοκρασία εικοσιτετραώρου για τους χειμερινούς μήνες σε μια περιοχή και μια θερμοκρασία αναφοράς η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με 18 °C. Η εξίσωση υπολογισμού των βαθμομερών θέρμανσης DD είναι:

$$DD = \sum [N_{mo} * (T_{av} - T_a)^+] \quad (3.8)$$

- N_{mo} ο αριθμός ημερών για κάθε μήνα,
- T_{av} η θερμοκρασία αναφοράς,

- T_{α} η θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος. (+) το σύμβολο αυτό δηλώνει ότι στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη μόνο οι περιπτώσεις στις οποίες έχουμε θετική τιμή στην παρένθεση.

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι βαθμομέρες και οι βαθμοώρες θέρμανσης για την Φλώρινα:

Πίνακας 3.12 Οι βαθμομέρες και βαθμοώρες θέρμανσης για τη Φλώρινα.

	T_{av}	T_{α}	N_{mo}	N_{moh}	DD	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	17	408	297,5	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	20	480	306	7344
Μάρτιος	18	6,7	23	552	259,9	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	10	240	64	1536
Μάιος	18	16,8	22	528	26,4	633,6
Ιούνιος	18	0	0	0	0	0
Ιούλιος	18	0	0	0	0	0
Αύγουστος	18	0	0	0	0	0
Σεπτέμβριος	18	0	0	0	0	0
Οκτώβριος	18	12,6	21	504	113,4	2721,6
Νοέμβριος	18	7	22	528	242	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	17	408	268,6	6446,4

- N_{mo} οι μέρες λειτουργίας του Πανεπιστημίου,
- N_{moh} οι μέρες λειτουργίας επί 24 ώρες,
- DD οι βαθμομέρες θέρμανσης,
- DD*24 οι βαθμομέρες θέρμανσης επί 24 ώρες.
- Οι μήνες Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβρης, δεν μπαίνουν στον υπολογισμό καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση.

Επίσης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα και οι βαθμομέρες και βαθμοώρες θέρμανσης για το δάπεδο του Κτιρίου Δ, καθώς είναι σε επαφή με μη θερμαινόμενο υπόγειο, η θερμοκρασία του οποίου θεωρείται σταθερή και ίση με 16 °C.

Πίνακας 3.13 Οι βαθμομέρες και βαθμοώρες θέρμανσης για το δάπεδο του κτιρίου Δ.

	T_{av}	T_{α}	N_{mo}	N_{moh}	DD	DD*24
Ιανουάριος	18	16	17	408	34	816
Φεβρουάριος	18	16	20	480	40	960
Μάρτιος	18	16	23	552	46	1104
Απρίλιος	18	16	10	240	20	480

Μάιος	18	16	22	528	44	1056
Ιούνιος	18	16	0	0	0	0
Ιούλιος	18	16	0	0	0	0
Αύγουστος	18	16	0	0	0	0
Σεπτέμβριος	18	16	0	0	0	0
Οκτώβριος	18	16	21	504	42	1008
Νοέμβριος	18	16	22	528	44	1056
Δεκέμβριος	18	16	17	408	34	816

3.6.4. Θερμικές ανάγκες του κτιρίου

Μέχρι στιγμής στις προηγούμενες ενότητες έχει γίνει υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) των αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου, έχει γίνει καταγραφή των επιφανειών του κτιρίου και τέλος έχουν υπολογιστεί οι βαθμομέρες και οι βαθμοώρες θέρμανσης για την περιοχή της Φλώρινας, όπου και βρίσκεται το κτίριο προς μελέτη.

Για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών του κτιρίου ($Q_{dem,I}$), ισχύει ότι:

$$Q_{dem,I} = U_m * A * DD_h \quad (3.9)$$

- $Q_{dem,I}$ [W*h] οι θερμικές απώλειες από το κτίριο,
- U_m $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$ ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου,
- A [m²] η επιφάνεια του κτιρίου,
- DD_h [h] οι βαθμοώρες θέρμανσης.

Οι θερμικές απώλειες του τμήματος I

Πίνακας 3.14 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και συνολική επιφάνεια τμήματος I.

Τμήμα I	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)
Ισόγειο	1,36	2741,750
1ος Όροφος	1,28	1322,120
Qδάπεδο	0,70	2212,840

Πίνακας 3.15 Πίνακας 4.13 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το τμήμα Ι.

Μήνες	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	408	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	480	7344
Μάρτιος	18	6,7	552	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	240	1536
Μάιος	18	16,8	528	633,6
Οκτώβριος	18	12,6	504	2721,6
Νοέμβριος	18	7	528	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	408	6446,4

Πίνακας 3.16 Οι θερμικές απώλειες του τμήματος Ι.

Τμήμα Ι	Q_{dem1}	Q_{dem2}	Q_{dem3}	Q_{dem4}	Q_{dem5}	Q_{dem10}	Q_{dem11}	Q_{dem12}
Ισόγειο	27322454,9	28103096,4	23869263,9	5877771,8	2424580,9	10414676,9	22225324,6	24668273,5
1ος Όροφος	12106369,8	12452266,1	10576287,4	2604395,5	1074313,2	4614663,3	9847870,6	10930322,4
Qδάπεδο	11059774,3	11375767,9	9661967,5	2379245,6	981438,8	4215725,7	8996522,3	9985396,2

Οι ετήσιες θερμικές απώλειες για το Τμήμα Ι είναι **267.767,8 kWh**.

Οι θερμικές απώλειες του τμήματος ΙΙ

Πίνακας 3.17 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και συνολική επιφάνεια τμήματος ΙΙ.

Τμήμα ΙΙ	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)
Ισόγειο	1,48	2565,64
1ος Όροφος	1,31	2097,54
Qδάπεδο	0,95	2663,27

Πίνακας 3.18 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το τμήμα ΙΙ.

Μήνες	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	408	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	480	7344
Μάρτιος	18	6,7	552	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	240	1536
Μάιος	18	16,8	528	633,6
Οκτώβριος	18	12,6	504	2721,6
Νοέμβριος	18	7	528	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	408	6446,4

Πίνακας 3.19 Οι θερμικές απώλειες του τμήματος II.

Τμήμα II	Q_{dem1}	Q_{dem2}	Q_{dem3}	Q_{dem4}	Q_{dem5}	Q_{dem10}	Q_{dem11}	Q_{dem12}
Ισόγειο	26591123,6	27350870,0	23230363,1	5720443,4	2359682,9	10135910,6	21630426,6	24007985,9
1ος Οροφος	19341039,1	19893640,2	16896591,8	4160761,3	1716314,1	7372349,0	15732878,8	17462195,3
Qδάπεδο	13311023,5	13691338,4	11628689,1	2863547,9	1181213,5	5073848,9	10827790,5	12017952,6

Οι ετήσιες θερμικές απώλειες για το Τμήμα II είναι **314.198 kWh**.

Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου Δ

Πίνακας 3.20 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και συνολική επιφάνεια κτιρίου Δ.

Κτίριο Δ	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)
Ισόγειο	1,26	701,01
1ος	1,29	722,8
2ος	1,13	1381,8
Qδάπεδο	0,7	752,61

Πίνακας 3.21 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το κτίριο Δ.

Μήνες	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	408	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	480	7344
Μάρτιος	18	6,7	552	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	240	1536
Μάιος	18	16,8	528	633,6
Οκτώβριος	18	12,6	504	2721,6
Νοέμβριος	18	7	528	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	408	6446,4

Πίνακας 3.22 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το δάπεδο του κτιρίου Δ.

Κτίριο Δ Δάπεδο	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	16	408	816
Φεβρουάριος	18	16	480	960
Μάρτιος	18	16	552	1104
Απρίλιος	18	16	240	480
Μάιος	18	16	528	1056
Οκτώβριος	18	16	504	1008
Νοέμβριος	18	16	528	1056

Δεκέμβριος	18	16	408	816
------------	----	----	-----	-----

Πίνακας 3.23 Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου Δ.

Κτίριο Δ	Q_{dem1}	Q_{dem2}	Q_{dem3}	Q_{dem4}	Q_{dem5}	Q_{dem10}	Q_{dem11}	Q_{dem12}
Ισόγειο	6326806,1	6507572,0	5527182,9	1361060,8	561437,6	2411629,6	5146511,2	5712202,1
1ος	6659762,5	6850041,4	5818058,0	1432688,4	590984,0	2538544,7	5417353,0	6012814,1
2ος	1274205,6	11467850,6	9740177,7	2398504,7	989383,2	4249850,5	9069345,9	10066224,4
Qδάπεδο	3761544,8	505753,9	581617,0	252877,0	556329,3	531041,6	556329,3	429890,8

Οι ετήσιες θερμικές ανάγκες για το Κτίριο Δ είναι **125.305,6 kWh**. Άρα συνολικά οι θερμικές ανάγκες για την Παιδαγωγική Σχολή θα είναι:

Πίνακας 3.24 Συνολικά οι θερμικές απώλειες για τις εγκαταστάσεις.

Q_{dem} Τμήμα Ι	267.767,8	[kWh]
Q_{dem} Τμήμα ΙΙ	314.198	[kWh]
Q_{dem} Κτίριο Δ	125.305,6	[kWh]
Σύνολο	707.271,4	[kWh]

3.6.5 Υπολογισμός καταναλώσεων

Οι συνολικές απώλειες για την Παιδαγωγική Σχολή υπολογίστηκαν 707.271,4 kWh, ωστόσο η ενεργειακή κατανάλωση θα είναι ακόμα μεγαλύτερη αν αναλογιστεί κανείς το βαθμό απόδοσης του λέβητα, τις απώλειες δικτύου διανομής και τον βαθμό απόδοσης των τερματικών μονάδων.

Βαθμός απόδοσης Λέβητα

Θερμική απόδοση (%) λέβητα - καυστήρα σε ονομαστική ισχύ P_n , και μέση θερμοκρασία νερού του λέβητα 70°C για το κτήριο αναφοράς							
Ονομαστική ισχύς (kW)	4 έως 25	>25 έως 50	>50 έως 100	>100 έως 200	>200 έως 300	>300 έως 400	> 400
Απόδοση λέβητα - καυστήρα	91,9	92,5	93,0	93,4	93,8	94,1	94,4

Σχήμα 3.7 Θερμική απόδοση λέβητα ανάλογα με την ονομαστική ισχύ. (Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Επιλέγεται βαθμός απόδοσης λέβητα $n_{gen} = 0,944$, για λέβητα με ονομαστική ισχύ πάνω από 400 kW.

Απώλειες δικτύου διανομής

Ισχύς συστήματος	Διέλευση σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20% σε εξωτερικούς χώρους				Διέλευση > 20% σε εξωτερικούς χώρους	
	Μόνωση ¹ κτηρίου αναφοράς	Μόνωση ² ίση με την ακτίνα σωλ.	Ανεπαρκής μόνωση ³	Χωρίς μόνωση	Μόνωση κτηρίου αναφοράς	Με μόνωση ίση με την ακτίνα σωλ.
[kW]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Θέρμανση με υψηλές θερμοκρασίες θερμικού μέσου (90 - 70°C)						
20 - 100	5,5	4,5	11,0	14,0	8,0	6,5
100 - 200	4,0	3,0	8,5	12,0	7,2	5,7
200 - 300	3,0	2,5	6,5	10,5	6,0	4,2
300 - 400	2,5	2,0	5,0	9,2	3,8	2,7
> 400	2,0	1,5	4,0	7,0	3,0	2,0

Σχήμα 3.8 Απώλειες δικτύου διανομής
(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Για διέλευση σε εσωτερικούς χώρους ή/και 20 % σε εξωτερικούς, ονομαστική ισχύ συστήματος πάνω από 400 kW και μόνωση ίση με την ακτίνα σωληνώσεως, προκύπτει:

$$n_{ls} = 1 - 0,04 = 0,96$$

Απώλειες θερματικών μονάδων

Τύπος θερματικής μονάδας	Απόδοση εκπομπής η_{em} θερματικών μονάδων θέρμανσης		
	Θερμοκρασία μέσου T [°C]		
	90 - 70	70 - 50	50 - 35
Άμεσης απόδοσης σε εσωτερικό τοίχο	0,85	0,89	0,91
Άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο	0,89	0,93	0,95
Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης	-	-	0,90
Ενδοτοιχίο σύστημα θέρμανσης	-	-	0,87
Σύστημα θέρμανσης οροφής	-	-	0,85

Σχήμα 3.9 Απόδοση εκπομπής θερματικών μονάδων
(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Η απόδοση εκπομπής θερματικών μονάδων θέρμανσης, άμεσης απόδοσης σε εσωτερικό τοίχο και θερμοκρασία μέσου 90-70 °C, προκύπτει:

$$n_{em} = 0,85$$

Συνολικός βαθμός απόδοσης συστήματος θέρμανσης

$$n = n_{gen} * n_{ls} * n_{em} = 0,944 * 0,96 * 0,85 = 0,77$$

Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Για τον υπολογισμό της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης Q_{cons} :

$$Q_{cons} = \frac{Q_{dem}}{n} = \frac{707271,4}{0,77} = 895.280,3 \text{ kWh}$$

Γνωρίζοντας ότι η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης είναι $H_u=11,92$ kWh/kg και η πυκνότητά του $\rho=0,86$ kg/lit, τότε για να καλυφθεί η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση χρειάζονται:

$$m = \frac{Q_{cons}}{H_u * \rho} = \frac{895.280,3}{11,92 * 0,86} = 87.334,2 \text{ l πετρελαίου}$$

3.6.6 Σύγκριση θεωρητικής κατανάλωσης με την πραγματική

Η κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης για την Παιδαγωγική Σχολή, για την περίοδο 1 Ιανουαρίου 2015 έως 31 Δεκεμβρίου 2015 ήταν 81.392 λίτρα. Στην προηγούμενη παράγραφο υπολογίστηκαν 87.334,2 λίτρα. Υπάρχει μία διαφορά της τάξεως του 6% η οποία κρίνεται φυσιολογική και εντός των ορίων.

Κεφάλαιο 4 : Ενεργειακή αναβάθμιση

4.1 θερμομόνωση κτιρίου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας. Ωστόσο δεν είναι δόκιμο να προβεί κάποιος στον σχεδιασμό και στην εγκατάσταση οποιουδήποτε συστήματος θέρμανσης σε ένα κτίριο το οποίο δεν είναι επαρκώς θερμομονωμένο και στο οποίο δεν καλύπτονται ούτε στο ελάχιστο οι απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Αναβάθμισης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Στον πίνακα που ακολουθεί βρίσκονται οι μέγιστες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) για κάθε δομικό στοιχείο, ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το κτίριο.

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² .K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _{V,D}	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _{V,W}	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U _{V,DL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,G}	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοιγμάτα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U _{V,F}	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U _{V,GF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Σχήμα 4.1 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.
(Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Το κτίριο που εξετάζεται βρίσκεται στην ζώνη Δ. Τα όρια του ΚΕΝΑΚ είναι για εξωτερικές οριζόντιες ή κεκλιμένες επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές) $U=0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, για εξωτερικούς τοίχους σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα $U=0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ και $U=2,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ για τα κουφώματα ανοιγμάτων. Στην παρούσα ενότητα γίνεται επεξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, για τον υπολογισμό του κατάλληλου

πάχους μόνωσης και των κατάλληλων κουφωμάτων, ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ.

Για την θερμομόνωση των αδιαφανών στοιχείων επιλέχθηκε ως μονωτικό υλικό ο πετροβάμβακας. Ο πετροβάμβακας είναι φυσικό προϊόν, προερχόμενο από πετρώματα ηλικίας 200 εκατομμυρίων ετών. Παράγεται με τη μέθοδο των ηλεκτρικών φούρνων, διαδικασία που δεν επιβαρύνει το περιβάλλον, ενώ είναι 100 % ανακυκλώσιμο προϊόν. Χάρη στη δομή του, ο πετροβάμβακας φυλακίζει τον ξηρό και σταθερό αέρα, μειώνοντας την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των ζεστών και κρύων επιφανειών. Η εφαρμογή του στις κατασκευές εξασφαλίζει μεγαλύτερη άνεση το χειμώνα και το καλοκαίρι, καθώς και σημαντική μείωση τις καταναλισκόμενης ενέργειας. Οι ιδιότητες του διατηρούνται σταθερές και αναλλοίωτες σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του. (www.fibran.gr)

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για τον πετροβάμβακα είναι $\lambda=0,039$ (m^2K/W). Για τον υπολογισμό του απαραίτητου πάχους μόνωσης πετροβάμβακα, ώστε ο συντελεστής θερμοπερατότητας των εξωτερικών τοίχων να είναι $U=0,4 W/(m^2K)$, χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου στην παραγραφο 3.3, προσθέτοντας μια στρώση πετροβάμβακα με άγνωστο πάχος, για $U=0,4 W/(m^2K)$.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για τον πετροβάμβακα είναι $\lambda=0,039$ (m^2K/W). Για τον υπολογισμό του απαραίτητου πάχους μόνωσης πετροβάμβακα, ώστε ο συντελεστής θερμοπερατότητας των εξωτερικών τοίχων να είναι $U=0,4 W/(m^2K)$, χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου στην παραγραφο 3.3, προσθέτοντας μια στρώση πετροβάμβακα με άγνωστο πάχος, για $U=0,4 W/(m^2K)$.

ΚΑΘΕΤΑ

ΤΜΗΜΑ Ι

1. Οπποπλινθοδομή με διάτρητές οπτόπλινθους, πάχους 0,3 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,3}{0,53} + \frac{d}{0,039} + 0,04} = 0,4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Rightarrow d = 0,068 \text{ mm}$$

Επιλέγεται σκληρή πλάκα πετροβάμβακα πάχους 70 mm.

2. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0,27 m και μόνωση 0,03 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,27}{0,53} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{d}{0,039} + 0,04} = 0,4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Rightarrow d = 0,042 \text{ mm}$$

Επιλέγεται σκληρή πλάκα πετροβάμβακα πάχους 40mm.

ΤΜΗΜΑ ΙΙ

Παρατηρείται δομικό στοιχείο με οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0.3 m, χωρίς μόνωση. Όπως και στο τμήμα Ι, στο δομικό στοιχείο (1), το απαραίτητο πάχος μόνωσης πετροβάμβακα είναι 70 mm.

ΚΤΙΡΙΟ Δ

1. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0,22 m και μόνωση 0,03 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,22}{0,53} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{d}{0,039} + 0,04} = 0,4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Rightarrow d = 0,045 \text{ mm}$$

Επιλέγεται σκληρή πλάκα πετροβάμβακα με πάχος 50 mm.

2. Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτόπλινθους πάχους 0,12 m, σκυρόδεμα πάχους 0,20 m και μόνωση 0,03 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,12}{0,53} + \frac{0,20}{1,53} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{d}{0,039} + 0,04} = 0,4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Rightarrow d = 0,047 \text{ mm}$$

Επιλέγεται σκληρή πλάκα πετροβάμβακα με πάχος 50 mm.

3. Σκυρόδεμα πάχους 0,25 m.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,25}{1,53} + \frac{d}{0,039} + 0,04} = 0,4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\Rightarrow d = 0,083 \text{ mm}$$

Επιλέγεται σκληρή πλάκα πετροβάμβακα με πάχος 80 mm.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας για το ρολό πετροβάμβακα είναι $\lambda=0,029$ (m^2K/W). Για τον υπολογισμό του απαραίτητου πάχους μόνωσης πετροβάμβακα, ώστε ο συντελεστής θερμοπερατότητας για εξωτερικές οριζόντιες ή κεκλιμένες επιφάνειες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές), χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου στην παράγραφο 3.3, προσθέτοντας μια στρώση πετροβάμβακα με άγνωστο πάχος, για $U=0,35 W/(m^2K)$.

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_d + |R_a|} = \frac{1}{R_i + R + \frac{d}{0,029} + R_a} = 0,35 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για θερμική ροή προς τα πάνω, με βάση των πίνακα προκύπτει $R_i = 0,10 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ και $R_a = 0,04 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$. Από τον συντελεστή θερμοπερατότητας της οροφής, προκύπτει ότι $R = 0,86 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$. Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση:

$$d = 0,053 \text{ mm}$$

Επιλέγεται ρολό πετροβάμβακα πάχους 50 mm.

ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στα διαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή στα κουφώματα, η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος (U_w) μπορεί:

- είτε να υπολογιστεί αναλυτικά,
- είτε να θεωρηθεί δεδομένη με αποδοχή της πιστοποιημένης τιμής που διαθέτει ο κατασκευαστής.

Στην περίπτωση του αναλυτικού υπολογισμού η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας προκύπτει από τους συντελεστές θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος και του υαλοπίνακα κατά την ποσοστιαία αναλογία των εμβαδών των δύο υλικών του κουφώματος, λαμβάνοντας υπόψη και της γραμμικής θερμογέφυρας που αναπτύσσεται μεταξύ πλαισίου και υαλοπίνακα. Όταν στο κούφωμα περιλαμβάνονται και αδιαφανή τμήματα, πέραν του πλαισίου, λαμβάνονται και αυτά στον υπολογισμό.

Βάσει των παραπάνω ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος προκύπτει από τον τύπο:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_w} \quad (4.1)$$

- U_w $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,
- U_f $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου του κουφώματος,
- U_g $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος,
- A_f $[m^2]$ η επιφάνεια του πλαισίου του κουφώματος,
- A_g $[m^2]$ η επιφάνεια του υαλοπίνακα του κουφώματος,
- A_w $[m^2]$ η συνολική επιφάνεια του κουφώματος,

- l_g [m] το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος,
- ψ_g $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος

Για την αντικατάσταση των παλαιών κουφωμάτων, επιλέχθηκε το ανοιγόμενο θερμομονωμένο σύστημα PRIMA 8500, με ενεργειακούς υαλοπίνακες. Ενεργειακοί υαλοπίνακες είναι τα τζάμια που στην εσωτερική πλευρά ενός εκ των δύο υπάρχει μια ειδική επίστρωση μεταλλικών οξειδίων η οποία εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επιτρέπει στο φως να περάσει μέσα από αυτά, παρέχοντας ταυτόχρονα θερμική μόνωση. Έτσι το χειμώνα δεν υπάρχει διαφυγή θερμότητας προς τα έξω και αντίστοιχα το καλοκαίρι προς τα μέσα.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή U_w χρησιμοποιείται το παρακάτω διάγραμμα, το οποίο δίνει τον συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος, συγκεκριμένα για την σειρά PRIMA 8500, συναρτήσει της θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα.

Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος U_w																															
U_g		5,7	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Μονόφυλλο ανοιγόμενο	(>20%)	5,2	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,4	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3
	(≤20%)	4,9	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,8	2,7	2,7	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5
Δίφυλλο ανοιγόμενο	(>20%)	5,2	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,4	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3
	(≤20%)	4,9	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,8	2,7	2,7	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5
Πόρτα	(>20%)	5,2	3,5	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,7	2,6	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4
	(≤20%)	5,0	3,5	3,4	3,4	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6
Σταθερό	(>20%)	5,1	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,9	2,6	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2
	(≤20%)	4,8	3,3	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4

Σχήμα 4.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας, για κούφωμα PRIMA 8500.
(Πηγή: <http://primasystems.gr>)

Για δίφυλλο ανοιγόμενο παράθυρο με ποσοστό πλαισίου μικρότερο ή ίσο του 20%, για να ισούται ο συντελεστής U_w με $2,4 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$, πρέπει ο συντελεστής του υαλοπίνακα να ισούται με $1,8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Η επιλογή γίνεται από τον παρακάτω πίνακα:



Σχήμα 4.3 Μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας ενεργειακού υαλοπίνακα.
(Πηγή: <http://www.practikal.gr>)

Επιλέγεται ενεργειακός υαλοπίνακας με διάκενο 10 mm και πλήρωση ατμοσφαιρικό αέρα.

4.2 Αποτελέσματα θερμομόνωσης

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω αλλαγές στο κτιριακό κέλυφος, οι ενεργειακές απαιτήσεις και η κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου μειώνονται αισθητά.

Τμήμα Ι

Ισόγειο

Πίνακας 4.1 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου Β.

Κτίριο Β							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	18,50	3,55	0,40	65,68	7,28	58,40	23,36
Εξωτερικός Τοίχος	43,40	3,55	0,40	154,07	41,58	112,49	45,00
Εξωτερικός Τοίχος	43,40	3,55	0,40	154,07	86,40	67,67	27,07
Εξωτερικός Τοίχος	23,00	3,55	0,40	81,65	23,85	57,80	23,12
Εξωτερικός Τοίχος ΣΑ	5,10	3,55	0,40	18,11	6,12	11,99	4,79
Εξωτερικός Τοίχος ΣΑ	5,10	3,55	0,40	18,11	6,12	11,99	4,79
Οροφή			0,35			1021,15	357,40

						1341,48	485,53
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			171,35	411,24

Πίνακας 4.2 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων των αμφιθεάτρων.

Αμφιθέατρα							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	26,80	3,70	0,40	99,16	6,20	99,16	39,66
Εξωτερικός Τοίχος	26,80	3,70	0,40	99,16	6,20	99,16	39,66
Εξωτερικός Τοίχος	19,20	3,70	0,40	71,04	0,00	71,04	28,42
						269,36	107,74
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			12,40	29,76

Πίνακας 4.3 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου Η.

Κτίριο Η							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	27,10	5,35	0,40	144,99	31,95	113,04	45,21
						113,04	45,21
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			113,04	271,28

Πίνακας 4.4 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου Ζ.

Κτίριο Ζ							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	7,10	3,25	0,40	23,08	0,00	23,08	9,23
Εξωτερικός Τοίχος	11,80	3,25	0,40	38,35	21,42	16,93	6,77
Εξωτερικός Τοίχος	18,60	3,25	0,40	60,45	18,84	41,61	16,64
Εξωτερικός	13,10	3,25	0,40	42,58	5,27	37,31	14,92

Τοίχος							
Εξωτερικός Τοίχος	12,10	3,25	0,40	39,33	5,88	33,45	13,38
Οροφή			0,35			364,50	127,58
						516,87	188,52
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			51,41	123,38

Πίνακας 4.5 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου του φύλακα.

Κτίριο Φύλακα							
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος(m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνει α (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	0,40	26,00	0,25	25,75	10,30
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	0,40	26,00	9,32	16,68	6,67
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	0,40	26,00	3,36	22,64	9,06
Εξωτερικός Τοίχος	8,00	3,25	0,40	26,00	2,64	23,36	9,34
Οροφή			0,35			48,82	17,09
						137,25	52,46
ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνει α (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			15,57	37,37

Όροφος

Πίνακας 4.6 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του 1^{ου} ορόφου του τμήματος Ι.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνει α (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	20,00	3,70	0,40	74,00	0,00	74,00	29,60
Εξωτερικός Τοίχος	43,00	3,70	0,40	159,10	36,84	122,26	48,90
Εξωτερικός Τοίχος	43,00	3,70	0,40	159,10	36,84	122,26	48,90
Εξωτερικός Τοίχος	26,80	3,70	0,40	99,16	29,64	69,52	27,81
Οροφή			0,35			830,76	290,77
						1218,80	445,98

ΔΙΑΦΑΝΗ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			103,32	247,97

Για το ισόγειο:

$$U_m = 0,64 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 1^ο όροφο:

$$U_m = 0,52 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Τμήμα II

Ισόγειο

Πίνακας 4.7 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του ισόγειου του τμήματος II.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
E1	19,00	3,70	0,40	70,30	3,96	66,34	26,54
E1	19,00	3,70	0,40	70,30	3,96	66,34	26,54
E1	63,40	3,70	0,40	234,58	72,82	161,76	64,70
E1	23,95	3,70	0,40	88,62	31,90	56,72	22,69
E1	27,35	3,70	0,40	101,20	41,58	59,62	23,85
E2	12,10	3,70	0,40	44,77	34,64	10,13	4,05
E2	12,10	3,70	0,40	44,77	10,08	34,69	13,88
E3	23,40	3,70	0,40	86,58	29,24	57,34	22,94
E3	23,40	3,70	0,40	86,58	21,96	64,62	25,85
E3	42,90	3,70	0,40	158,73	58,49	100,24	40,10
E3	45,50	3,70	0,40	168,35	76,80	91,55	36,62
E3	2,70	3,70	0,40	9,99	4,60	5,39	2,16
E4	3,70	3,70	0,40	13,69	3,90	9,79	3,92
E4	3,70	3,70	0,40	13,69	3,90	9,79	3,92
E4	6,90	3,70	0,40	25,53	5,32	20,21	8,08
Οροφή			0,35			1294,25	452,99
						2108,77	778,80
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			403,15	967,56

Όροφος

Πίνακας 4.8 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του 1^{ου} ορόφου του τμήματος Ι

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Εξωτερικός Τοίχος	19,20	3,75	0,40	72,00	2,20	69,80	27,92
Εξωτερικός Τοίχος	19,20	3,75	0,40	72,00	2,20	69,80	27,92
Εξωτερικός Τοίχος	72,40	3,75	0,40	271,50	97,92	173,58	69,43
Εξωτερικός Τοίχος	76,00	3,75	0,40	285,00	99,80	185,20	74,08
Οροφή			0,35	0,00		1369,02	479,16
						1867,40	678,51
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελ.Επιφάνεια (m ²)	U*A
Παράθυρα			2,40			202,12	485,09

Για το ισόγειο:

$$U_m = 0,7 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 1^ο όροφο:

$$U_m = 0,56 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Κτίριο Δ

Ισόγειο

Πίνακας 4.9 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του ισογείου του κτιρίου Δ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελική επιφάνεια (m ²)	U*A
0.01-Ιατρείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
0.01-Ιατρείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
0.02-Γραμματεία	6,40	3,20	0,40	5,20	15,28	6,11
0.02-Γραμματεία	1,45	3,20	0,40	0,00	4,64	1,86
0.02-Γραμματεία	1,90	3,20	0,40	0,00	6,08	2,43
0.03-Ελεγχος/Πληροφορίες	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
0.03-Ελεγχος/Πληροφορίες	1,45	3,20	0,40	0,00	4,64	1,86

0.03-Ελεγχος/Πληροφορίες	1,90	3,20	0,40	0,00	6,08	2,43
0.04-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.05-Γραφείο	3,25	3,20	0,40	2,60	7,80	3,12
0.05-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
0.05-Γραφείο	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
0.06-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
0.06-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.07-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.08-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.09-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.10-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.10-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
0.11-Γραφείο	0,84	3,20	0,40	2,60	0,09	0,04
0.11-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
0.11-Γραφείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
0.12-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.13-Γραφείο	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
0.14-0.15-WC	2,05	3,20	0,40	0,50	6,06	2,42
0.14-0.15-WC	5,40	3,20	0,40	0,00	17,28	6,91
0.16-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,40	0,00	2,88	1,15
0.16-Κλιμακοστάσιο 2	2,80	3,20	0,40	1,80	7,16	2,86
0.16-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,40	0,00	2,88	1,15
0.17-0.18-WC	5,40	3,20	0,40	0,00	17,28	6,91
0.17-0.18-WC	2,05	3,20	0,40	0,50	6,06	2,42
0.19-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.20-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.21-Γραφείο	0,84	3,20	0,40	2,60	0,09	0,04
0.21-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
0.21-Γραφείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
0.22-Γραφείο	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
0.22-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
0.23-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.24-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.25-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
0.26-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
Διάδρομος 4	17,10	3,20	0,40	6,63	48,09	19,24
Διάδρομος 2	17,10	3,20	0,40	6,63	48,09	19,24
Διάδρομος 3	10,40	3,20	0,40	3,96	29,32	11,73
Διάδρομος 1	5,00	3,20	0,40	0,75	15,25	6,10
Διάδρομος 1	3,65	3,20	0,40	0,50	11,18	4,47
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,40	0,00	8,80	3,52
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,40	0,00	8,80	3,52
Κλιμακοστάσιο 1	12,56	3,20	0,40	1,20	38,99	15,60
0.31-Χωλ	3,20	3,20	0,40	3,52	6,72	2,69

0.32-Χωλ	6,50	3,20	0,40	7,92	12,88	5,15
οροφή			0,35		25,30	8,86
					608,80	242,25
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αριθμός	Τελική επιφάνεια	U*A
ΠΑ-1	2,00	1,30	2,40	22,00	57,20	137,28
ΠΑ-2	1,70	1,30	2,40	9,00	19,89	47,74
ΠΑ-3	0,60	2,00	2,40	1,00	1,20	2,88
ΠΑ-4	0,50	0,50	2,40	10,00	2,50	6,00
ΠΑ-5	0,90	2,00	2,40	1,00	1,80	4,32
ΘΑ-7	3,80	2,60	2,40	1,00	9,88	23,71
					92,47	221,93

1^{ος} Όροφος

Πίνακας 4.10 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του 1^{ου} ορόφου του κτιρίου Δ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελική επιφάνεια (m ²)	U*A
1.01-Γραφείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
1.01-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
1.01-Γραφείο	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
1.02-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.03-Γραφείο	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
1.03-Γραφείο	1,45	3,20	0,40	0,00	4,64	1,86
1.03-Γραφείο	1,90	3,20	0,40	0,00	6,08	2,43
1.04-Χωλ	3,20	3,20	0,40	3,52	6,72	2,69
1.05-Γραφείο	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
1.05-Γραφείο	1,45	3,20	0,40	0,00	4,64	1,86
1.05-Γραφείο	1,90	3,20	0,40	0,00	6,08	2,43
1.06-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.07-Γραφείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
1.07-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
1.07-Γραφείο	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
1.08-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
1.08-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.09-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.10-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.11-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.12-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.12-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
1.13-Γραφείο	0,80	3,20	0,40	2,60	-0,04	-0,02
1.13-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
1.13-Γραφείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31

1.14-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.15-Γραφείο	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
1.16-WC	2,05	3,20	0,40	0,50	6,06	2,42
1.16-WC	5,40	3,20	0,40	0,00	17,28	6,91
1.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,40	0,00	2,88	1,15
1.17-Κλιμακοστάσιο 2	2,80	3,20	0,40	1,80	7,16	2,86
1.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,40	0,00	2,88	1,15
1.18-WC	5,40	3,20	0,40	0,00	17,28	6,91
1.18-WC	2,05	3,20	0,40	0,50	6,06	2,42
1.19-Γραφείο	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
1.20-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.21-Γραφείο	0,80	3,20	0,40	2,60	-0,04	-0,02
1.21-Γραφείο	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
1.21-Γραφείο	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
1.22-Γραφείο	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
1.22-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
1.23-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.24-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.25-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.26-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
1.26-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
Διάδρομος 3	17,10	3,20	0,40	6,63	48,09	19,24
Διάδρομος 1	17,10	3,20	0,40	6,63	48,09	19,24
Διάδρομος 2	10,04	3,20	0,40	3,96	28,17	11,27
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,40	0,00	8,80	3,52
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,40	0,00	8,80	3,52
Κλιμακοστάσιο 1	12,56	3,20	0,40	1,20	38,99	15,60
Χωλ	6,50	3,20	0,40	4,42	16,38	6,55
					567,80	195,12
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αριθμός	Τελική επιφάνεια	U*A
ΠΑ-1	2,00	1,30	2,40	22,00	57,20	137,28
ΠΑ-2	1,70	1,30	2,40	10,00	22,10	53,04
ΠΑ-3	0,60	2,00	2,40	1,00	1,20	2,88
ΠΑ-4	0,50	0,50	2,40	4,00	1,00	2,40
ΠΑ-5	0,90	2,00	2,40	1,00	1,80	4,32
ΘΑ-7	3,80	2,60	2,40	1,00	9,88	23,71
					93,18	223,63

2^{ος} Όροφος

Πίνακας 4.11 Επιφάνειες και συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του 2^{ου} ορόφου του κτιρίου Δ.

ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Αφ.Επιφάνεια (m ²)	Τελική επιφάνεια (m ²)	U*A
-------------------	-----------	----------	--	---------------------------------	-------------------------------------	-----

2.01-Πρόεδρος	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
2.01-Πρόεδρος	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
2.01-Πρόεδρος	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
2.02-Γραμματεία	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.03-Αρχείο	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
2.03-Αρχείο	1,45	3,20	0,40	0,00	4,64	1,86
2.03-Αρχείο	1,90	3,20	0,40	0,00	6,08	2,43
2.04-Χωλ	3,20	3,20	0,40	3,52	6,72	2,69
2.05-Γραμματεία	3,00	3,20	0,40	2,60	7,00	2,80
2.05-Γραμματεία	1,45	3,20	0,40	0,00	4,64	1,86
2.06-Κοσμήτορας	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
2.06-Κοσμήτορας	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
2.06-Κοσμήτορας	6,80	3,20	0,40	5,20	16,56	6,62
2.09-Βοηθητικός Χώρος	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94
2.09-Βοηθητικός Χώρος	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.10-Αίθουσα Συνεδριάσεων	10,10	3,20	0,40	7,80	24,52	9,81
2.12-Βοηθητικός Χώρος	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.12-Βοηθητικός Χώρος	2,30	3,20	0,40	2,60	4,76	1,90
2.13-Πρόεδρος	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
2.13-Πρόεδρος	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
2.13-Πρόεδρος	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
2.14-Γραμματεία	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.15-Αρχείο	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
3.16-WC	2,05	3,20	0,40	0,50	6,06	2,42
3.16-WC	5,40	3,20	0,40	0,00	17,28	6,91
3.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,40	0,00	2,88	1,15
3.17-Κλιμακοστάσιο 2	2,80	3,20	0,40	1,80	7,16	2,86
3.17-Κλιμακοστάσιο 2	0,90	3,20	0,40	0,00	2,88	1,15
2.18-WC	5,40	3,20	0,40	0,00	17,28	6,91
2.18-WC	2,05	3,20	0,40	0,50	6,06	2,42
2.19-Αρχείο	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
2.20-Γραμματεία	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.21-Πρόεδρος	3,40	3,20	0,40	2,60	8,28	3,31
2.21-Πρόεδρος	5,95	3,20	0,40	0,00	19,04	7,62
2.21-Πρόεδρος	0,80	3,20	0,40	0,00	2,56	1,02
2.22-Γραφείο	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
2.23-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.24-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.25-Γραφείο	3,30	3,20	0,40	2,60	7,96	3,18
2.26-Γραφείο	3,15	3,20	0,40	2,60	7,48	2,99
2.26-Γραφείο	2,30	3,20	0,40	0,00	7,36	2,94

Διάδρομος 3	17,10	3,20	0,40	6,63	48,09	19,24
Διάδρομος 1	17,10	3,20	0,40	6,63	48,09	19,24
Διάδρομος 2	10,40	3,20	0,40	2,21	31,07	12,43
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,40	0,00	8,80	3,52
Κλιμακοστάσιο 1	2,75	3,20	0,40	0,00	8,80	3,52
Κλιμακοστάσιο 1	12,56	3,20	0,40	1,20	38,99	15,60
Χωλ	6,50	3,20	0,40	4,42	16,38	6,55
Οροφή			0,35		727,31	254,56
					1288,61	479,08
ΔΙΑΦΑΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Μήκος (m)	Ύψος (m)	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	Αριθμός	Τελική επιφάνεια	U*A
ΠΑ-1	2,00	1,30	2,40	22,00	57,20	137,28
ΠΑ-2	1,70	1,30	2,40	10,00	22,10	53,04
ΠΑ-3	0,60	2,00	2,40	1,00	1,20	2,88
ΠΑ-4	0,50	0,50	2,40	4,00	1,00	2,40
ΠΑ-5	0,90	2,00	2,40	1,00	1,80	4,32
ΘΑ-7	3,80	2,60	2,40	1,00	9,88	23,71
					93,18	223,63

Για το ισόγειο:

$$U_m = 0,66 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 1^ο όροφο:

$$U_m = 0,63 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Για τον 2^ο όροφο:

$$U_m = 0,51 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Οι θερμικές απώλειες του τμήματος Ι μετά την ενεργειακή αναβάθμιση.

Πίνακας 4.12 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και συνολική επιφάνεια τμήματος Ι.

Τμήμα Ι	$U \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$	A(m ²)
Ισόγειο	0,64	2741,750
1ος Όροφος	0,52	1322,120
Qδάπεδο	0,70	2212,840

Πίνακας 4.13 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το τμήμα I.

Μήνες	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	408	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	480	7344
Μάρτιος	18	6,7	552	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	240	1536
Μάιος	18	16,8	528	633,6
Οκτώβριος	18	12,6	504	2721,6
Νοέμβριος	18	7	528	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	408	6446,4

Πίνακας 4.14 Οι θερμικές απώλειες του τμήματος I.

	Qdem1	Qdem2	Qdem3	Qdem4	Qdem5	Qdem10	Qdem11	Qdem12
Ισόγειο	12512896,4	12870407,7	10931434,5	2691850,0	1110388,1	4769621,7	10178557,8	11297357,9
1ος Όροφος	4954803,0	5096368,8	4328582,5	1065907,2	439686,7	1888654,3	4030461,6	4473479,3
Q δαπέδου	11059774,3	11375767,9	9661967,5	2379245,6	981438,8	4215725,7	8996522,3	9985396,2

Οι θερμικές απώλειες του τμήματος I είναι **151.296,3 kWh**.

Οι θερμικές απώλειες του τμήματος II μετά την ενεργειακή αναβάθμιση

Πίνακας 4.15 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και συνολική επιφάνεια τμήματος II.

Τμήμα II	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A(m ²)
Ισόγειο	0,70	2511,920
1ος Οροφος	0,56	2069,520
Qδάπεδο	0,70	2663,270

Πίνακας 4.16 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το τμήμα II.

Μήνες	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	408	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	480	7344
Μάρτιος	18	6,7	552	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	240	1536
Μάιος	18	16,8	528	633,6
Οκτώβριος	18	12,6	504	2721,6
Νοέμβριος	18	7	528	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	408	6446,4

Πίνακας 4.17 Οι θερμικές απώλειες του τμήματος II.

	Qdem1	Qdem2	Qdem3	Qdem4	Qdem5	Qdem10	Qdem11	Qdem12
Ισόγειο	12468978,3	12825234,8	10893067,1	2682402,0	1106490,8	4752881,1	10142832,7	11257706,1
1ος Οροφος	8308082,6	8545456,4	7258052,6	1787285,0	737255,1	3166845,6	6758171,4	7501011,7
Qδάπεδο	13311023,5	13691338,4	11628689,1	2863547,9	1181213,5	5073848,9	10827790,5	12017952,6

Οι θερμικές απώλειες του τμήματος II είναι **180.787,2 kWh**.

Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου Δ μετά την ενεργειακή αναβάθμιση

Πίνακας 4.18 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και συνολική επιφάνεια κτιρίου Δ.

Κτίριο Δ	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	A (m ²)
Ισόγειο	0,66	701,268
1ος	0,63	660,980
2ος	0,51	1381,792
Qδάπεδο	0,70	752,610

Πίνακας 4.19 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το κτίριο Δ.

Μήνες	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	0,5	408	7140
Φεβρουάριος	18	2,7	480	7344
Μάρτιος	18	6,7	552	6237,6
Απρίλιος	18	11,6	240	1536
Μάιος	18	16,8	528	633,6
Οκτώβριος	18	12,6	504	2721,6
Νοέμβριος	18	7	528	5808
Δεκέμβριος	18	2,2	408	6446,4

Πίνακας 4.20 Οι βαθμώρες θέρμανσης για το δάπεδο του κτιρίου Δ..

Κτίριο Δ Δάπεδο	T_{av}	T_{α}	N_{moh}	DD*24
Ιανουάριος	18	16	408	816
Φεβρουάριος	18	16	480	960
Μάρτιος	18	16	552	1104
Απρίλιος	18	16	240	480
Μάιος	18	16	528	1056
Οκτώβριος	18	16	504	1008
Νοέμβριος	18	16	528	1056
Δεκέμβριος	18	16	408	816

Πίνακας 4.21 Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου Δ.

	Qdem1	Qdem2	Qdem3	Qdem4	Qdem5	Qdem10	Qdem11	Qdem12
Ισόγειο	3314260,9	3408954,1	2895382,9	712983,9	294105,8	1263318,3	2695970,2	2992304,1
1ος Όροφος	2989889,3	3075314,7	2612007,5	643203,1	265321,3	1139675,4	2432111,6	2699442,9
2ος Όροφος	573412,4	5160711,8	4383232,0	1079364,6	445237,9	1912499,1	4081347,2	4529958,1
Qδαπέδου	3761544,8	505753,9	581617,0	252877,0	556329,3	531041,6	556329,3	429890,8

Οι θερμικές απώλειες του κτιρίου Δ είναι **62.771,55 kWh**.

Άρα συνολικά οι θερμικές απώλειες για την Παιδαγωγική Σχολή θα είναι:

Πίνακας 4.22 Συνολικά οι θερμικές απώλειες για τις εγκαταστάσεις.

Qdem Τμήμα I	151.296,3 [kWh]
Qdem Τμήμα II	180.787,2 [kWh]
Qdem Κτίριο Δ	62.771,5 [kWh]
Σύνολο	394.855 [kWh]

Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Για τον υπολογισμό της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης Q_{cons} :

$$Q_{cons} = \frac{Q_{dem}}{n} = \frac{394855}{0,77} = 499.816,5 \text{ kWh}$$

Γνωρίζοντας ότι η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης είναι $H_u=11,92$ kWh/kg και η πυκνότητά του $\rho=0,86$ kg/lit, τότε για να καλυφθεί η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση χρειάζονται:

$$m = \frac{Q_{cons}}{H_u * \rho} = \frac{499.816,5}{11,92 * 0,86} = 48.756,9 \text{ lt πετρελαίου}$$

Μείωση πετρελαίου: **38.577,3** λίτρα πετρελαίου ετησίως ή **44,1 %**.

4.3 Επιλογή νέου συστήματος θέρμανσης

Για την κάλυψη των θερμικών φορτίων των εγκαταστάσεων της Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν

γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (νερού/νερού). Συγκεκριμένα αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί από μία αντλία θερμότητας για την κάλυψη των φορτίων του κάθε τμήματος. Οι αντλίες θα παράγουν ζεστό νερό 65 °C ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ήδη υφιστάμενα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ). Η διαστασιολόγηση των μηχανημάτων έγινε με βάση της χείριστες συνθήκες, οι οποίες προκύπτουν από το μέγιστο μηνιαίο φορτίο κάθε τμήματος διαιρεμένο με τις ημέρες λειτουργίας που έχουν υπολογιστεί, διαιρεμένο με 24 ώρες. Οι συνθήκες αυτές για το κάθε τμήμα είναι:

Για το τμήμα I:

Το μέγιστο θερμικό φορτίο για το τμήμα I εμφανίζεται τον Ιανουάριο με συνολικά 28.527,48 kWh, για 17 μέρες λειτουργίας, για 24 ώρες ημερησίως. Άρα:

$$\frac{28.527,48}{17 * 24} = 69,9 \text{ kW}$$

Για το τμήμα II:

Το μέγιστο θερμικό φορτίο για το τμήμα II εμφανίζεται τον Ιανουάριο με συνολικά 34.088,08 kWh, για 17 μέρες λειτουργίας, για 24 ώρες ημερησίως. Άρα:

$$\frac{34.088,08}{17 * 24} = 83,5 \text{ kW}$$

Για το κτίριο Δ:

Το μέγιστο θερμικό φορτίο για το τμήμα II εμφανίζεται τον Ιανουάριο με συνολικά 10.650,93 kWh, για 17 μέρες λειτουργίας, για 24 ώρες ημερησίως. Άρα:

$$\frac{10.650,93}{17 * 24} = 26,1 \text{ kW}$$

Συνοψίζοντας:

Πίνακας 4.23 Τα μέγιστα θερμικά φορτία για κάθε τμήμα της Παιδαγωγικής Σχολής.

	Μέγιστο φορτίο (kW)
Τμήμα I	69,9
Τμήμα II	83,5
Κτίριο Δ	26,1

Οι αντλίες που επιλέχθηκαν είναι αντλίες θερμότητας νερού/νερού του οίκου Carrier, της σειράς 61WG, ειδικά σχεδιασμένες για εμπορική, βιομηχανική και οικιακή χρήση, με εποχιακό βαθμό απόδοσης (SCOP) πάνω από 4 και ψυκτικό υγρό R-410A φιλικό προς το περιβάλλον . Συγκεκριμένα για το κάθε τμήμα επιλέχθηκαν τα εξής μοντέλα:

Πίνακας 4.24 Αντλία θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των φορτίων του κάθε τμήματος

	Αντλία θερμότητας
Τμήμα Ι	61WG-060
Τμήμα ΙΙ	61WG-080
Κτίριο Δ	61WG--025

Η ετήσια κατανάλωση ρεύματος των αντλιών θερμότητας, θα είναι:

Πίνακας 4.25 Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τις αντλίες θερμότητας

Αντλία	Ετήσιο φορτίο (kWh)	SCOP	Κατανάλωση ρεύματος (kWh)
61WG-025	62.771,52	4,05	15.499,14
61WG-060	151.296,3	4,89	30.939,94
61WG-080	180.787,16	4,90	36.895,34

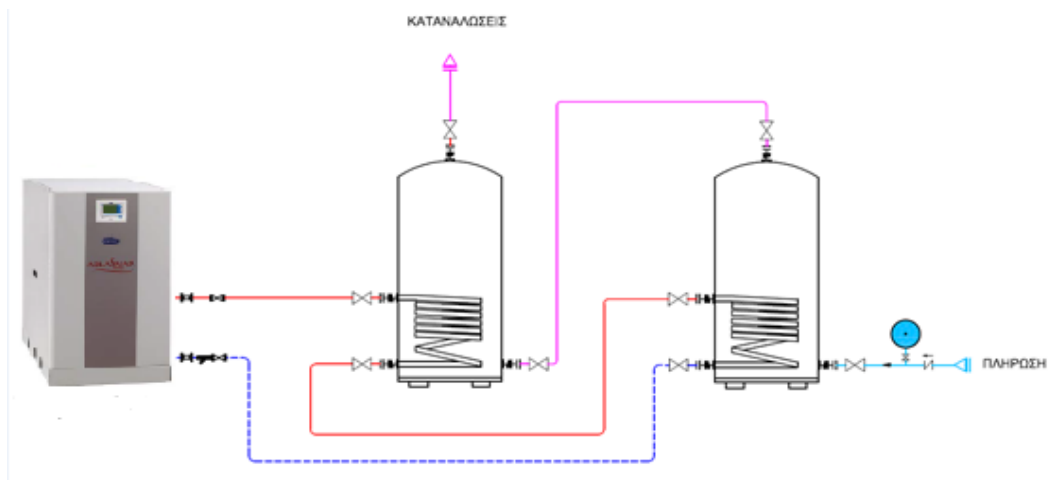
Συνολικά θα καταναλώνουν 83.334,42 kWh.

4.4 Ζεστό νερό χρήσης

Στο εστιατόριο της Παιδαγωγικής Σχολής, το οποίο βρίσκεται στο τμήμα Ι, υπάρχει ανάγκη για 1000 λίτρα ζεστού νερού χρήσης ημερησίως, θερμοκρασίας 55 °C. Μέχρι σήμερα η θέρμανση του νερού χρήσης γινόταν με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Προτείνεται αντικατάσταση του υπάρχοντος δοχείου νερού και η θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης να γίνεται μέσω ειδικών δοχείων νερού με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας (σερπαντίνα), ο οποίος θα δέχεται θερμότητα από το νερό που θα παράγεται από την αντλία θερμότητας του τμήματος Ι και θα την προσδίδει στο νερό χρήσης.

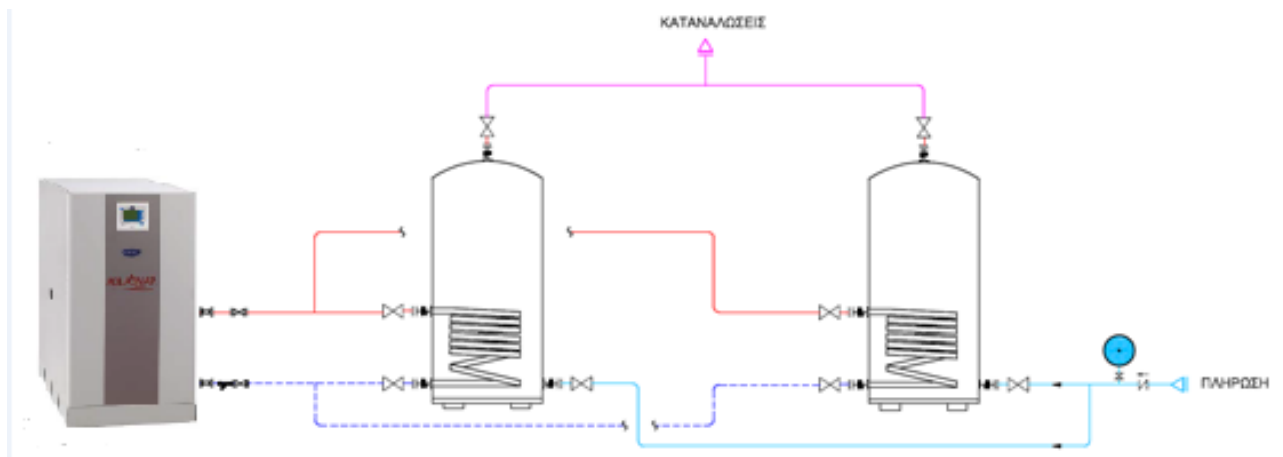
Για τον σκοπό αυτό προτείνεται να χρησιμοποιηθούν δύο δοχεία ζεστού νερού χρήσης του οίκου Carrier, HPC1_500, με χωρητικότητα 500 λίτρων το κάθε ένα, και ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση σε περίπτωση δυσμενών συνθηκών που η αντλία θερμότητας δεν θα επαρκεί. Η σύνδεση των δοχείων ενδέχεται να γίνει είτε σε σειρά, είτε παράλληλα. Στη συνέχεια παρατίθενται τα σχέδια σύνδεσης των δοχείων.

Σύνδεση σε σειρά



Σχήμα 4.4 Σύνδεση δοχείων ζεστού νερού σε σειρά.

Σύνδεση παράλληλα



Σχήμα 4.5 Παράλληλη σύνδεση δοχείων ζεστού νερού.

Η επιλογή για το αν η σύνδεση των δοχείων ζεστού νερού χρήσης θα γίνει σε σειρά ή παράλληλα έχει κυρίως να κάνει με την απαιτούμενη παροχή. Σε περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης ζεστού νερού χρήσης (πχ σε ένα ξενοδοχείο) ενδείκνυται η

παράλληλη σύνδεση. Ωστόσο έτσι θα χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την θέρμανση του νερού.

4.5 Αντικατάσταση λαμπτήρων

Στα πλαίσια της ενεργειακής αναβάθμισης των εγκαταστάσεων της Παιδαγωγικής Σχολής θεωρήθηκε απαραίτητο να αντικατασταθούν οι υφιστάμενοι λαμπτήρες με νέους, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, με σκοπό την μείωση της ήδη αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Οι υφιστάμενες μονάδες είναι οι εξής:

Πίνακας 4.25 Υφιστάμενο σύστημα φωτισμού.

Σύστημα	Αριθμός μονάδων	Ισχύς (kW)
Λαμπτήρες φθορίου	2335	0,025
Κοινοί λαμπτήρες (εξωτερικά φώτα)	48	0,16
Προβολείς (αμφιθεάτρου και εξωτερικά φώτα)	8	0,1
Σύνολο		66,9 kW

Σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. οι απαιτήσεις φωτισμού για ένα κτίριο Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης είναι 2.817 ώρες λειτουργίας. Άρα οι υφιστάμενοι λαμπτήρες είναι υπεύθυνοι για την κατανάλωση **188.464,24 kWh**.

Προτείνεται οι υφιστάμενοι λαμπτήρες να αντικατασταθούν με λαμπτήρες LED χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Θα χρησιμοποιηθούν οι εξής λαμπτήρες:

Πίνακας 4.26 Αντιστοιχία υφιστάμενου/προτεινόμενου συστήματος φωτισμού.

Σύστημα	Αντιστοιχίες
Λαμπτήρες φθορίου	T8 LED 0,014 kW
Κοινοί λαμπτήρες (εξωτερικά φώτα)	Λαμπτήρες LED 0,040 kW
Προβολείς (αμφιθεάτρου και εξωτερικά φώτα)	Προβολείς LED 0,050 W
Σύνολο	37,15 kW

Η καινούργια κατανάλωση ρεύματος λόγω φωτισμού θα είναι **98.693,19 kWh**. Η μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος θα είναι **89.771,05 kWh**.

4.6 Χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ

Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος στις εγκαταστάσεις της παιδαγωγικής Σχολής είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Συγκεκριμένα για το έτος 2016 η κατανάλωση ήταν **243.629,3 kWh**. Στο σημείο αυτό προτείνεται να γίνει μια διερεύνηση για κάλυψη ενός μέρους της κατανάλωσης αυτής, ή και ολόκληρης αν υπάρχει διαθέσιμη έκταση, από φωτοβολταϊκά πάνελ.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων που μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα κτίριο, ανάλογα με τη χρήση και τη διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης. Για τον υπολογισμό της συνεισφοράς ενός φωτοβολταϊκού καταγράφονται τα απαραίτητα δεδομένα από τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή, καθώς και από την επιθεώρηση της εγκατάστασης. Τα απαιτούμενα δεδομένα είναι:

1. Η απόδοση του Φ/Β συστήματος ή συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος.
2. Η εγκατεστημένη επιφάνεια των πλαισίων.
3. Οι παράμετροι θέσης εγκατάστασης, ο προσανατολισμός και η κλίση.

Οι πιο πάνω παράμετροι λαμβάνονται από την μελέτη διαστασιολόγησης και σχεδιασμού ενός Φ/Β συστήματος στο κτίριο, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή και την επιθεώρηση των συστημάτων.

Οι παράμετροι θέσης εγκατάστασης, ο προσανατολισμός και η κλίση του φωτοβολταϊκού επιδρούν σημαντικά στην λειτουργία του. Επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι και η ηλιακή ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο που φτάνει στη γη. Η ακτινοβολία αυτή για την περιοχή της Φλώρινας, είναι 1340 kWh/m² ανά έτος.

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$Q_{PV} = CF_{sol} * A_{PV} * I \quad (4.2)$$

- Q_{PV} [kWh] η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό,
- CF_{sol} [-] ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας,
- A_{PV} [m²] η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού,
- I [kWh/m²] η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

(T.O.T.E.E. 20701-1.2010)

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, επιλέχθηκε φωτοβολταϊκό πάνελ της εταιρίας ALEO, με κωδικό P18J260 και ονομαστική ισχύ 260 Watt. Για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό:

$$CF_{sol} = 0,158$$

$$A_{PV} = 1,64 \text{ m}^2$$

Επίσης για την περιοχή της Φλώρινας από μετεωρολογικά δεδομένα:

$$I = 1340 \text{ kWh/m}^2 \text{ ανά έτος}$$

Από τον αρχικό τύπο προκύπτει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για ένα πάνελ ALEO P18J260, για την περιοχή της Φλώρινας, για βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό, σε ένα έτος θα είναι:

$$Q_{PV} = 0,158 * 1,64 * 1340 = 347,22 \text{ kWh}$$

Ο αριθμός των πλαισίων που θα εγκατασταθούν εξαρτάται από 2 παράγοντες.

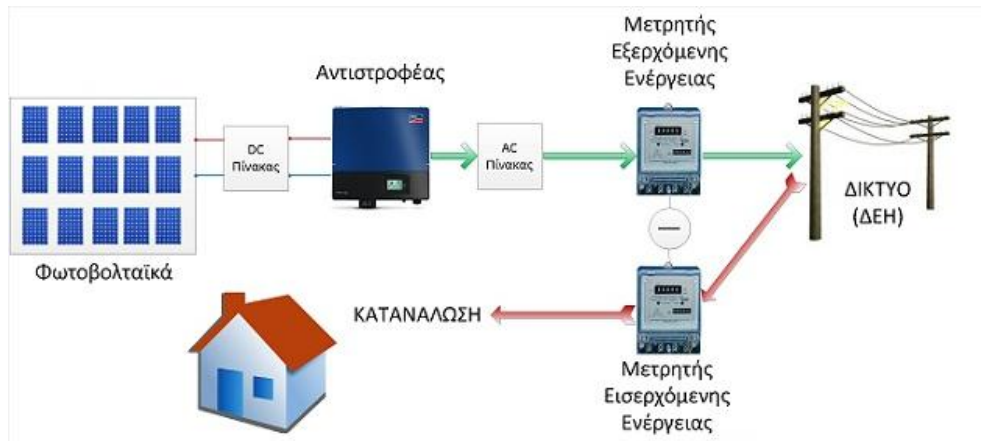
1. Την διαθέσιμη έκταση,
2. Το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που θα καλυφθεί από φωτοβολταϊκά.

Καθότι υπάρχει πάρα πολύ μεγάλη έκταση και στο έδαφος αλλά και σε στέγες και οροφές, ο υπολογισμός θα γίνει μόνο βάση του ποσού που θα καλυφθεί. Θεωρώντας ότι θα καλυφθούν εξολοκλήρου οι ηλεκτρικές καταναλώσεις (συμπεριλαμβανομένου και του ηλεκτρικού ρεύματος που θα καταναλώνουν οι αντλίες θερμότητας), πρέπει να τοποθετηθούν τόσα πάνελ ώστε να παράγουν ετησίως **237.192,67 kWh**.

Διαιρώντας το ποσό αυτό με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα μόνο πάνελ προκύπτει ότι θα εγκατασταθούν:

$$\frac{240.996,65}{347,22} = 683,11$$

Θα εγκατασταθούν 684 πάνελ. Ο χώρος που χρειάζεται είναι περίπου 3,5 στρέμματα γης/ταράσας ή 1.800 m² κεκλιμένης στέγης.



Σχήμα 4.6 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ
(Πηγή: https://mp-energy.gr/css/images/diasyndedemena_pv2.jpg)

Κεφάλαιο 5 : Σχεδιασμός του γεωεναλλάκτη

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν τα βελτιωμένα φορτία που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 4.2. Για το τμήμα I υπολογίστηκε μέγιστο θερμικό φορτίο 69,9 kW, για το τμήμα II υπολογίστηκε το μέγιστο θερμικό της τάξεως του 83,5 kW, ενώ τέλος για το Κτίριο Δ υπολογίστηκε μέγιστο θερμικό φορτίο 26,1 kW. Οι αντλίες θερμότητας που επιλέχθηκαν θα αντικαταστήσουν τους υφιστάμενους λέβητες και θα χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχουσες σωληνώσεις εντός κτιρίου με τα ίδια τερματικά σώματα.

5.2 Χαρακτηριστικά αντλιών

Για το τμήμα I επιλέχθηκε η αντλία 61WG-060 του οίκου Carrier με ονομαστική απόδοση 70,7 kW και τα εξής χαρακτηριστικά :



Non contractual photo

61WG-060 Water to Water Scroll Heat Machine

Heating Mode		Unit Information													
Performance Information		Manufacturing Source:..... Montluel, France													
Heating Capacity.....	70,7 kW	Refrigerant.....	R-410A												
Heating Efficiency (COP).....	3,03 kW/kW	Capacity Control Steps.....	2												
Cooling Capacity to Source.....	47,8 kW	Minimum Capacity.....	50 %												
Unit Power Input.....	23,30 kW	Number of Refrigerant Circuit.....	1												
SCOP.....	4,89 kWh/kWh	Operating/Shipping Weight.....	554/512 kg												
Seasonal Efficiency (ns.heat).....	188 %	Unit Dimensions (LxWxH).....	1474/880/1463 mm												
Tbivalent.....	-6 °C	Electrical Information													
Temperature Application:.....	Medium (47°C/55°C)	Unit Voltage.....	400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz												
Climate Reference.....	Average (Strasbourg)	Standby Power.....	0,03 kW												
Outlet Temperature.....	Variable	Power Factor.....	0,82												
Water Flow Rate.....	Fixed	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Amps (Un)</th> <th>Electrical Circuit 1</th> <th>Electrical Circuit 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maximum Current In (A):</td> <td>44</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Start Up Current (A)</td> <td>166</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Current at Eurovent Conditions (A)</td> <td>31</td> <td>None</td> </tr> </tbody> </table>		Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2	Maximum Current In (A):	44	None	Start Up Current (A)	166	None	Current at Eurovent Conditions (A)	31	None
Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2													
Maximum Current In (A):	44	None													
Start Up Current (A)	166	None													
Current at Eurovent Conditions (A)	31	None													
Evaporator Information		Accessories and Installed Options													
Fluid Type.....	Fresh Water	Opt. 70F External Switch													
Fouling Factor.....	0,0000 (sqm-K)/kW	Opt. 86 Condenser Insulation													
Leaving Temperature.....	7,0 °C	Opt. 58 Lead/Lag													
Entering Temperature.....	10,0 °C	Opt. 116T Evap Fixed speed single pump LP													
Evaporator Hydraulic Module Information		Opt. 270T Cond Fixed speed single pump LP													
External Static Pressure.....	88,9 kPa	Opt. 293 Safety hydraulic components, evap side													
Pump Power Input.....	0,93 kW	Opt. 293A Safety hydraulic components, cond side													
Fluid Flow.....	3,81 l/s														
Condenser Information															
Fluid Type.....	Fresh Water														
Fouling Factor.....	0,0000 (sqm-K)/kW														
Leaving Temperature.....	65,0 °C														
Entering Temperature.....	55,0 °C														
Condenser Hydraulic Module Information															
External Static Pressure.....	118,9 kPa														
Pump Power Input.....	0,68 kW														
Fluid Flow.....	1,72 l/s														
Acoustic Information (cooling mode)															
Sound Power Level (LWA).....	77 dB(A)														
Sound Pressure Level at 1,0m (LpA).....	61 dB(A)														

Σχήμα 5.1: Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας 61WG-060.

Για το τμήμα II επιλέχθηκε η αντλία 61WG-080 του οίκου Carrier με ονομαστική απόδοση 85 kW και με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :



Non contractual photo

61WG-080 Water to Water Scroll Heat Machine

Heating Mode

Performance Information

Heating Capacity: 85,0 kW
 Heating Efficiency (COP): 2,94 kW/kW
 Cooling Capacity to Source: 56,4 kW
 Unit Power Input: 28,93 kW
 SCOP: 4,90 kWh/kWh
 Seasonal Efficiency (ns,heat): 188 %
 Bivalent: -6 °C
 Temperature Application: Medium (47°C/35°C)
 Climate Reference: Average (Strasbourg)
 Outlet Temperature: Variable
 Water Flow Rate: Fixed

Evaporator Information

Fluid Type: Fresh Water
 Fouling Factor: 0,0000 (sqm-K)/kW
 Leaving Temperature: 7,0 °C
 Entering Temperature: 10,0 °C

Evaporator Hydraulic Module Information

External Static Pressure: 78,2 kPa
 Pump Power Input: 0,99 kW
 Fluid Flow: 4,50 l/s

Condenser Information

Fluid Type: Fresh Water
 Fouling Factor: 0,0000 (sqm-K)/kW
 Leaving Temperature: 65,0 °C
 Entering Temperature: 55,0 °C

Condenser Hydraulic Module Information

External Static Pressure: 115,9 kPa
 Pump Power Input: 0,72 kW
 Fluid Flow: 2,06 l/s

Acoustic Information (cooling mode)

Sound Power Level (LwA): 78 dB(A)
 Sound Pressure Level at 1,0m (LpA): 62 dB(A)

Unit Information

Manufacturing Source: Montluel, France
 Refrigerant: R-410A
 Capacity Control Steps: 2
 Minimum Capacity: 50 %
 Number of Refrigerant Circuit: 1
 Operating/Shipping Weight: 575/530 kg
 Unit Dimensions (LxWxH): 1474/880/1463 mm

Electrical Information

Unit Voltage: 400(+/-10%) 3-50 V-Ph-Hz
 Standby Power: 0,03 kW
 Power Factor: 0,82

Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2
Maximum Current In (A):	55	None
Start Up Current (A)	188	None
Current at Eurovent Conditions (A)	38	None

Accessories and Installed Options

- Opt. 70F External Switch
- Opt. 86 Condenser Insulation
- Opt. 58 Lead/Lag
- Opt. 116T Evap Fixed speed single pump LP
- Opt. 270T Cond Fixed speed single pump LP
- Opt. 293 Safety hydraulic components, evap side
- Opt. 293A Safety hydraulic components, cond side

Σχήμα 5.2 : Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας 61WG-080

Τέλος για το Κτίριο Δ επιλέχθηκε η αντλία 61WG-025 του οίκου Carrier με ονομαστική απόδοση 30,7 kW και με τα εξής χαρακτηριστικά :



Non contractual photo

61WG-025 Water to Water Scroll Heat Machine

Heating Mode		Unit Information													
Performance Information		Manufacturing Source: Montluel, France													
Heating Capacity	30,7 kW	Refrigerant	R-410A												
Heating Efficiency (COP)	2,87 kW/kW	Capacity Control Steps	1												
Cooling Capacity to Source	20,5 kW	Minimum Capacity	100 %												
Unit Power Input	10,69 kW	Number of Refrigerant Circuit	1												
SCOP	4,05 kWh/kWh	Operating/Shipping Weight	328/305 kg												
Seasonal Efficiency (ns,heat)	154 %	Unit Dimensions (LxWxH)	1044/600/1463 mm												
Bivalent	-5 °C	Electrical Information													
Temperature Application	Medium (47°C/55°C)	Unit Voltage: 400(+/-10%) 3-50 V-Ph-Hz													
Climate Reference	Average (Strasbourg)	Standby Power: 0,03 kW													
Outlet Temperature	Variable	Power Factor: 0,82													
Water Flow Rate	Fixed	<table border="1"><thead><tr><th>Amps (Un)</th><th>Electrical Circuit 1</th><th>Electrical Circuit 2</th></tr></thead><tbody><tr><td>Maximum Current In (A)</td><td>24</td><td>None</td></tr><tr><td>Start Up Current (A)</td><td>146</td><td>None</td></tr><tr><td>Current at Eurovent Conditions (A)</td><td>17</td><td>None</td></tr></tbody></table>		Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2	Maximum Current In (A)	24	None	Start Up Current (A)	146	None	Current at Eurovent Conditions (A)	17	None
Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2													
Maximum Current In (A)	24	None													
Start Up Current (A)	146	None													
Current at Eurovent Conditions (A)	17	None													
Evaporator Information		Accessories and Installed Options													
Fluid Type	Fresh Water	Opt. 70F External Switch													
Fouling Factor	0,0000 (sqm-K)/kW	Opt. 88 Condenser Insulation													
Leaving Temperature	7,0 °C	Opt. 116T Evap Fixed speed single pump LP													
Entering Temperature	10,0 °C	Opt. 270T Cond Fixed speed single pump LP													
Evaporator Hydraulic Module Information		Opt. 293 Safety hydraulic components, evap side													
External Static Pressure	106,2 kPa	Opt. 293A Safety hydraulic components, cond side													
Pump Power Input	0,68 kW														
Fluid Flow	1,63 l/s														
Condenser Information															
Fluid Type	Fresh Water														
Fouling Factor	0,0000 (sqm-K)/kW														
Leaving Temperature	65,0 °C														
Entering Temperature	55,0 °C														
Condenser Hydraulic Module Information															
External Static Pressure	123,4 kPa														
Pump Power Input	0,57 kW														
Fluid Flow	0,74 l/s														
Acoustic Information (cooling mode)															
Sound Power Level (LwA)	75 dB(A)														
Sound Pressure Level at 1,0m (LpA)	59 dB(A)														

Σχήμα 5.3 : Χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας 61WG-025

5.3 Μεγέθη υπολογισμού

Η μελέτη για την κάλυψη των θερμικών φορτίων του εκάστοτε τμήματος, περιλαμβάνει αρχικά τον υπολογισμό του υλικού των σωληνώσεων καθώς και την επιθυμητή διάμετρο και σε μετέπειτα το απαιτούμενο βάθος για τις γεωτρήσεις που θα χρειαστούνε στον κάθετο εναλλάκτη. Τέλος υπολογίζεται η διαφορά πίεσης (Dp) του γεωναλλάκτη. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η μεθοδολογία που προτείνεται από την American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Επίσης ο υπολογισμός που γίνεται για γεωεναλλάκτη στο κτίριο Δ, βασίζεται στο γερμανικό πρότυπο VDI 4640, ωστόσο δεν προτείνεται η εγκατάστασή του λόγω απλουστευμένων υπολογισμών. Ο υπολογισμός γίνεται καθαρά για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

5.4 Υπολογισμός γεωεναλλάκτη

5.4.1 Επιλογή διαμέτρου

Για την επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη, από το βιβλίο της ASHRAE με τίτλο "Geothermal heating and cooling : Design of groynd-source

heat pump systems” προτείνεται η χρήση σωλήνων πολυαιθυλενίου HYDROLIFE 3^{ης} γενιάς PE 100 (EN 12201-2 και DIN 8074-8075) με εξωτερική διάμετρο 32 mm. Επίσης εταιρίες που δραστηριοποιούνται στις εγκαταστάσεις γεωεναλλακτών, συστήνουν την χρήση των παραπάνω σωληνώσεων.

Εξωτερική Διάμετρος (mm)		6 BAR (SDR 26)			10 BAR (SDR 17)			12,5 BAR (SDR 13.6)			16 BAR (SDR 11)		
		Πάχος Τοιχ/τος (mm)		Βάρος (Kg/m)	Πάχος Τοιχ/τος (mm)		Βάρος (Kg/m)	Πάχος Τοιχ/τος (mm)		Βάρος (Kg/m)	Πάχος Τοιχ/τος (mm)		Βάρος (Kg/m)
min	max	min	max		min	max		min	max		min	max	
16	16.3												
20	20.3												
25	25.3												
32	32.3				2.0	2.3	0.193	2.4	2.8	0.230	3.0	3.4	0.278
40	40.4				2.4	2.8	0.293	3.0	3.5	0.360	3.7	4.2	0.429
50	50.4	2.0	2.3	0.310	3.0	3.4	0.451	3.7	4.2	0.548	4.6	5.2	0.666
63	63.4	2.5	2.9	0.491	3.8	4.3	0.720	4.7	5.3	0.874	5.8	6.5	1.05
75	75.5	2.9	3.3	0.672	4.5	5.1	1.01	5.6	6.3	1.24	6.8	7.6	1.47
90	90.6	3.5	4.0	0.975	5.4	6.1	1.46	6.7	7.5	1.78	8.2	9.2	2.13
110	110.7	4.2	4.8	1.43	6.6	7.4	2.17	8.1	9.1	2.63	10.0	11.1	3.16
125	125.8	4.8	5.4	1.84	7.4	8.3	2.77	9.2	10.3	3.39	11.4	12.7	4.10
140	140.9	5.4	6.1	2.33	8.3	9.3	3.48	10.3	11.5	4.24	12.7	14.1	5.11
160	161.0	6.2	7.0	3.05	9.5	10.6	4.54	11.8	13.1	5.54	14.6	16.2	6.71
180	181.1	6.9	7.7	3.80	10.7	11.9	5.75	13.3	14.8	7.03	16.4	18.2	8.49
200	201.2	7.7	8.6	4.71	11.9	13.2	7.09	14.7	16.3	8.62	18.2	20.2	10.5
225	226.4	8.6	9.6	5.92	13.4	14.9	8.99	16.6	18.4	10.9	20.5	22.7	13.2
250	251.5	9.6	10.7	7.34	14.8	16.4	11.0	18.4	20.4	13.5	22.7	25.1	16.3
280	281.7	10.7	11.9	9.15	16.6	18.4	13.8	20.6	22.8	16.9	25.4	28.1	20.4
315	316.9	12.1	13.5	11.7	18.7	20.7	17.5	23.2	25.7	21.4	28.6	31.6	25.9
355	357.2	13.6	15.1	14.7	21.1	23.4	22.3	26.1	28.9	27.2	32.2	35.6	32.8
400	402.4	15.3	17.0	18.7	23.7	26.2	28.2	29.4	32.5	34.4	36.3	40.1	41.7
450	452.7	17.2	19.1	23.6	26.7	29.5	35.7	33.1	36.6	43.6	40.9	45.1	52.8
500	503.0	19.1	21.2	29.1	29.7	32.8	44.2	36.8	40.6	53.8	45.4	50.1	65.1
560	563.4	21.4	23.7	36.5	33.2	36.7	55.3	41.2	45.5	67.5	50.8	56.0	81.5
630	633.8	24.1	26.7	46.3	37.4	41.3	70.1	46.3	51.1	85.3	57.2	63.1	103.3
710	716.4	27.2	30.1	58.8	42.1	46.5	88.9	52.2	57.6	108.4			
800	807.2	30.6	33.8	74.5	47.4	52.3	112.7	58.8	64.8	137.5			
900	908.1	34.4	38.3	94.6	53.3	58.8	142.6						
1000	1009.0	38.2	42.2	116.3	59.3	65.4	176.2						
1200	1210.8	45.9	50.6	167.5									

Σχήμα 5.4 : Σωλήνες Πολυαιθυλενίου
(Πηγή : www.hydrofire.gr)

Από το σχήμα 5.4 επιλέχθηκε η σωλήνας 16 BAR (SDR 11) τυποποιημένη τιμή για εξωτερική διάμετρο $D_o = 32$ mm με πάχος τοιχώματος 3 mm, οπότε $D_i = 26$ mm.

Όσον αφορά των αριθμό των σωληνώσεων των γεωτρήσεων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα. Από πειράματα έχει αποδειχθεί πως μια γεώτρηση (RT) αποδίδει περίπου 3,517 kW .Εξισώνοντας τα kW που θέλουμε να καλυφθούν, υπολογίζεται ο αριθμός γεωτρήσεων που χρειάζονται.

5.4.2 Υπολογισμός κατακόρυφου γεωεναλλάκτη

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους της κατακόρυφης γεωθερμίας (vertical GSHP) εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE. (Kanaugh and Rafferty, 1997)

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα μεθοδολογία το πρώτο μέγεθος που πρέπει να υπολογιστεί είναι το q_a , που είναι η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος :

$$q_a = \frac{Q_{evap} * EFL_h + Q_{cond} * EFL_c}{T_a} \quad [kW] \quad (5.1)$$

- $Q_{evap} [kW]$ η ισχύς του εργαζόμενου μέσου για θερμικό φορτίο,
- $EFL_h [h]$ οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης ετησίως,
- $Q_{cond} [kW]$ η ισχύς του εργαζόμενου μέσου για ψυκτικό φορτίο,
- $EFL_c [h]$ οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης ετησίως,
- $T_a [h]$ το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8760h).

Για τα τμήματα της Φλώρινας, δεν θα γίνει ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων, καθώς δεν υφίσταται τέτοια ανάγκη. Οπότε τα $Q_{cond} = 0$ και $EFL_c = 0$.

Οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης περιγράφονται ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά την διάρκεια ενός έτους, και δίνεται από τον εξής τύπο :

$$EFL_h = \frac{E_h}{Q_{lh}} [h] \quad (5.2)$$

- E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε θέρμανση
- Q_{lh} το ονομαστικό (μέγιστο) θερμικό φορτίο του κάθε τμήματος

Οι ετήσιες καταναλώσεις εκφράζονται από την σχέση :

$$E_h = \frac{Q_{dem}}{SCOP} \quad (5.3)$$

SCOP ορίζεται ο εποχιακός βαθμός απόδοσης (σύμφωνα με την νέα οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης).

Στο κεφάλαιο 4.2 έχουν υπολογιστεί τα $Q_{dem,i}$ και στην συνέχεια προστίθενται όλα μαζί (από όλους τους μήνες) για το κάθε κτίριο ξεχωριστά.

Το Q_{evap} (η ισχύς του εξατμιστή) υπολογίζεται από τον τύπο :

$$Q_{\text{evap}} = Q_h * \frac{COP_h - 1}{COP_h} \quad [kW] \quad (5.4)$$

- Q_h [kW] το βελτιωμένο θερμικό φορτίο που έχει υπολογιστεί,
- COP_h Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προ το καταναλισκόμενο έργο ονομάζεται ειδικός βαθμός απόδοσης της.

Το απαιτούμενο μήκος L_h θα βρεθεί από τον τύπο που δίνεται από την ASHRAE :

$$L_h = \frac{q_a * R_{ga} + Q_{\text{evap}} * (R_b + PLF_m * R_{gm} + F_{sc} * R_{gst})}{T_g - \frac{T_{in} + T_{out}}{2} + T_p} \quad [m] \quad (5.5)$$

Όμως ο συγκεκριμένος τύπος επειδή καταγράφηκε το 1997, έχει υποστεί μια τροποποίηση με το πέρασμα των χρόνων, καθώς η θεωρητική του χρήση έδειξε ότι διαφέρει από την πρακτική. Έτσι ο τύπος που ισχύει τα τελευταία χρόνια και με τον οποίο έγινε η μελέτη της Παιδαγωγικής σχολής στην Φλώρινα είναι :

$$L_h = \frac{q_a * R_{ga} + Q_{\text{evap}} * (R_b + PLF_m * R_{gm} + F_{sc} * R_{gst})}{\frac{T_{in} + T_{out}}{2} - T_g - T_p} \quad [m] \quad (5.6)$$

- $R_{ga} \left[\frac{m \cdot K}{W} \right]$ η θερμική αντίσταση του εδάφους για ετήσιο παλμό
- $R_b \left[\frac{m \cdot K}{W} \right]$ η θερμική αντίσταση του σωλήνα της γεώτρησης
- $R_{gm} \left[\frac{m \cdot K}{W} \right]$ η θερμική αντίσταση του εδάφους για μηνιαίο παλμό
- $R_{gst} \left[\frac{m \cdot K}{W} \right]$ η θερμική αντίσταση του εδάφους για ημερήσιο παλμό
- PLF_m μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου
- F_{sc} ο συντελεστής θερμικών απωλειών του συστήματος σωληνώσεων
- T_g [°C] η θερμοκρασία εδάφους
- T_{in} [°C] η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εξατμιστή
- T_{out} [°C] η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον εξατμιστή
- T_p [°C] ο διορθωτικός συντελεστής για την θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων

Οι θερμικές αντιστάσεις υπολογίζονται από τους τύπους :

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{K_{ground}} \left[\frac{m * K}{W} \right] \quad (5.7)$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{K_{ground}} \left[\frac{m * K}{W} \right] \quad (5.8)$$

$$R_{gst} = \frac{G_2}{K_{ground}} \left[\frac{m * K}{W} \right] \quad (5.9)$$

- $K_{ground} \left[\frac{W}{m * K} \right]$ η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους η οποία βρίσκεται από το σχήμα 5.5

Rock Type	Thermal Conductivity (k), Btu/h-ft-°F (W/m-K)		Specific Heat, Btu/lb-°F (kJ/kg-K)		Density, lb/ft ³ (kg/m ³)		Thermal Diffusivity (α), ft ² /day m ² /day	
	Low	High	Low	High	Low	High	Midrange	
Igneous Rocks								
Granite (10% quartz)	1.1(1.9)	3.0 (5.2)	0.21 (0.88)		165 (2640)		1.10	0.10
Granite (25% quartz)	1.5 (2.6)	2.1 (3.6)	0.21 (0.88)		165 (2640)		1.20	0.11
Amphibolite	1.5 (2.6)	2.2 (3.8)	—		175 (2800)	195 (3120)	—	—
Andesite	0.9 (1.6)	1.4 (2.4)	0.12 (0.50)		160 (2560)		1.40	0.13
Basalt	1.2 (2.1)	1.4 (2.4)	0.17–0.21 (0.71–0.88)		180 (2880)		0.80	0.07
Gabbro (Cen. Plains)	0.9 (1.6)	1.6 (2.8)	0.18 (0.75)		185 (2960)		0.90	0.08
Gabbro (Rocky Mtns.)	1.2 (2.1)	2.1 (3.6)	0.18 (0.75)		185 (2960)		1.20	0.11
Diorites	1.2 (2.1)	1.7 (2.9)	0.22 (0.92)		180 (2880)		0.85	0.08
Grandiorites	1.2 (2.1)	2 (3.5)	0.21 (0.88)		170 (2720)		1.10	0.10

Σχήμα 5.5 : Θερμική Αγωγιμότητα Εδάφους
(Πηγή : Kanaugh and Rafferty, 1997)

- G_1, G_2, G_f είναι συντελεστές που δίνονται από την παρακάτω σχέση για $i = [1, 2, f]$:

$$G_i = 0,0769 * \ln(Foi) + 0,0901 \quad (5.10)$$

Με Foi αδιάστατοι αριθμοί Fourier για $i = [1, 2, f]$ που δίνονται από την σχέση :

$$F_{O1} = \frac{4 * \alpha_{ground} * (Tf - T1)}{Di^2} \quad (5.11)$$

$$F_{O2} = \frac{4 * \alpha_{ground} * (Tf - T2)}{Di^2} \quad (5.12)$$

$$Fof = \frac{4 * \alpha_{ground} * T_f}{Di^2} \quad (5.13)$$

- $\alpha_{ground} [\frac{m^2}{day}]$ η θερμική διαχυτότητα του εδάφους βρίσκεται από το σχήμα 5.5,
- Di [mm] η εσωτερική διάμετρος τους σωλήνα,
- $T(1,2,f)$ η χρονική κλίμακα επίδρασης της θερμοκρασίας του εδάφους από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε μέρες.

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης επηρεάζει την θερμοκρασία μακροπρόθεσμα (αλλαγή της επίγειας θερμοκρασίας κατά την διάρκεια πολλών ετών), αλλά και ετήσια (κατά την διάρκεια ενός έτους) και τέλος βραχυπρόθεσμα (το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων).

$T_1 = 3.650$ days (έναν δεκαετή παλμό)

$T_2 = 3.650 + 30 = 3.680$ days (έναν μηνιαίο παλμό των 30 ημερών)

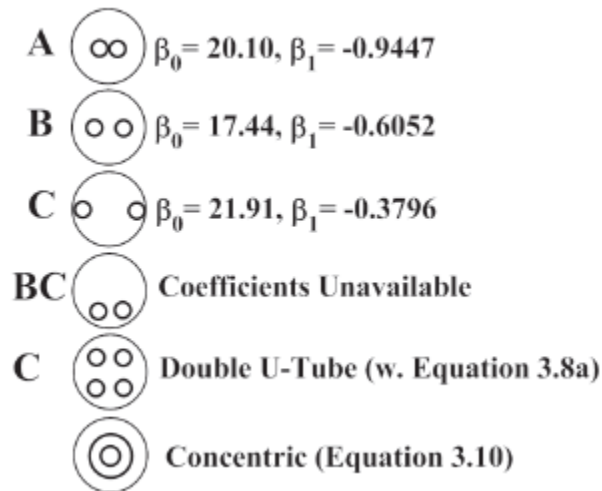
$T_f = 3650 + 30 + 0,25 = 3.680,25$ days (ένα δωρο παλμό του 25% της ημέρας)

Τελευταίο το R_b υπολογίζεται από το πίνακα της ASHRAE :

Tube Diameter and Dimension	Tube Location	Bore Diameter, mm	Thermal Resistance of Bore, m ² ·C/W								
			Fluid Reynolds No. = 2000			Fluid Reynolds No. = 4000			Fluid Reynolds No. = 10,000		
			Grout Conductivity, W/m ² ·C			Grout Conductivity, W/m ² ·C			Grout Conductivity, W/m ² ·C		
			0.70	1.40	2.10	0.70	1.40	2.10	0.70	1.40	2.10
25 mm DR 11 HDPE U-Tube	B	100	0.26	0.17	0.14	0.24	0.14	0.11	0.23	0.14	0.11
		125	0.29	0.18	0.15	0.26	0.16	0.12	0.26	0.11	0.12
	C	100	0.18	0.13	0.11	0.16	0.10	0.09	0.15	0.10	0.08
		125	0.19	0.13	0.11	0.17	0.11	0.09	0.16	0.10	0.08
	Double	125	0.16	0.10	0.08	0.14	0.08	0.06	0.14	0.08	0.06
		150	0.15	0.10	0.08	0.14	0.08	0.06	0.14	0.08	0.06
32 mm DR 11 HDPE U-Tube	B	100	0.24	0.16	0.13	0.21	0.13	0.10	0.21	0.13	0.10
		125	0.26	0.17	0.14	0.23	0.14	0.11	0.23	0.14	0.11
		150	0.28	0.18	0.14	0.26	0.15	0.12	0.25	0.15	0.11
	C	100	0.17	0.12	0.11	0.15	0.10	0.08	0.14	0.09	0.08
		125	0.18	0.13	0.11	0.16	0.10	0.08	0.15	0.10	0.08
		150	0.19	0.13	0.11	0.17	0.11	0.09	0.16	0.10	0.08
Double	125	0.15	0.09	0.07	0.13	0.08	0.06	0.13	0.08	0.06	
	150	0.15	0.10	0.08	0.14	0.08	0.06	0.14	0.08	0.06	
40 mm DR 11 HDPE U-Tube	B	125	0.24	0.16	0.13	0.22	0.13	0.11	0.21	0.13	0.10
		150	0.26	0.17	0.14	0.23	0.14	0.11	0.23	0.14	0.11
	C	125	0.17	0.12	0.11	0.15	0.10	0.09	0.14	0.09	0.08
		150	0.18	0.13	0.11	0.16	0.11	0.09	0.15	0.10	0.08
	Double	150	0.14	0.09	0.07	0.13	0.08	0.06	0.13	0.08	0.06
		150	0.14	0.09	0.07	0.13	0.08	0.06	0.13	0.08	0.06

Σχήμα 5.6 : Θερμική Αντίσταση Σωλήνων (R_b)
(Πηγή : Kanaugh and Rafferty, 1997)

Για σωλήνα 32 mm, αριθμό Reynolds No.=10,000 και Tube Location C, όπως διακρίνεται παρακάτω :



Σχήμα 5.7 : Tube Location (Kanaugh and Rafferty, 1997)

Τέλος για τον υπολογισμό του βάθους των γεωτρήσεων ($L_{drilling}$) :

$$L_{drilling} = \frac{Lh}{\text{τον αριθμό των επιθυμητών γεωτρήσεων*τον σωλήνων σε κάθε γεώτρηση}} \quad [m] \quad (5.14)$$

Για το τμήμα I ακολουθήθηκε η προαναφερθέντα μεθοδολογία. Σε αρχικό στάδιο υπολογίστηκε το q_a , αλλά πρώτα βρέθηκε η μεταβλητή $EFLh$.

$$EFLh = \frac{Eh}{Qlh} \quad [h]$$

και για τον υπολογισμό του Eh χρησιμοποιήθηκαν τα $Q_{dem,I}$ από το κεφάλαιο 4.2 και από σχήμα 5.1 για $SCOP = 4,89$, προκύπτει :

$$Eh = \frac{Q_{dem}}{SCOP} = \frac{151.296,296}{4,89} = 30.939,938 \text{ kWh}$$

Οπότε για $Q_{lh} = 69,920 \text{ [kW]}$, υπολογίζεται :

$$EFL_h = \frac{Eh}{Qlh} = \frac{30939,938 \text{ kWh}}{69,920 \text{ kW}} = 442,503 \text{ h}$$

Ενώ για το Q_{evap} προκύπτει από το ίδιο σχήμα ότι $COP_h=3,03$, οπότε:

$$Q_{\text{evap}} = Q_h * \frac{COP_h - 1}{COP_h} = 69,920 * \frac{3,03 - 1}{3,03 - 1} = 46,844 \text{ kW}$$

Τελικά το q_a :

$$q_a = \frac{Q_{\text{evap}} * EFL_h}{T_a} = \frac{46844,092 * 442,503}{8760} = 2366,2843 \text{ W}$$

Για Φλώρινα τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι (και για τα τμήματα I,II καθώς και για Κτίριο Δ) :

- i. $K_{\text{ground}} = 2,8 \frac{W}{m \cdot K}$, η τιμή πάρθηκε από το σχήμα 5.5 για Rock Type Gabbro(Rocky,Mtns) με τιμές $2,1 \leq K_g \leq 3,6 \frac{W}{m \cdot K}$ και από το ίδιο σχήμα επιλέχτηκε η τιμή της $\alpha_{\text{ground}} = 0,11 \frac{m^2}{day}$.
- ii. $R_b = 0,08 \frac{m \cdot K}{W}$ Για σωλήνα 32 mm, αριθμό Reynolds No.=10,000 και Tube Location C, από σχήμα 5.6.
- iii. $T_{\text{ground}} = 12,5^\circ C$ από διεθνής βιβλιογραφία αντλείται η τιμή υπεδάφους της Φλώρινας
- iv. $T_p = -10^\circ C$, από τον παρακάτω πίνακα προέκυψε η τιμή του

Αριθμός ισοδύναμων ωρών (Θέρμανση / Ψύξη)	Απόσταση γεωτρήσεων (ft)	Θερμοκρασία εδάφους και εισαγωγής υγρού στον εναλλάκτη (°F)					
		$t_a = 50°F (t_w = 35/80)$		$t_a = 60°F (t_w = 45/85)$		$t_a = 70°F (t_w = 60/95)$	
		k_g (Btu/(h-ft·°F))					
		1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους t_p (°F) - Απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT							
1.500 / 500	15	-4,4 (318)	-4,4 (248)	-	-	-	-
	20	-2,3 (276)	-2,3 (216)	-	-	-	-
	25	-1,2 (258)	-1,2 (202)	-	-	-	-
1.000 / 1.000	10	12,9 (318)	11,8 (245)	-	11,8 (313)	-	-
	15	5,4 (237)	4,3 (186)	4,7 (245)	4,7 (225)	-	-
	20	3,4 (220)	1,9 (172)	2,5 (263)	2,4 (206)	-	-
500 / 1.500	15	15,1 (379)	15,1 (294)	-	12,8 (345)	-	-
	20	7,8 (277)	8 (216)	6,7 (326)	6,7 (254)	6,7 (336)	6,7 (259)
	25	4,1 (224)	4,3 (190)	3,5 (287)	3,5 (224)	3,5 (293)	3,5 (229)
0 / 2.000	15	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	10,3 (406)	10,4 (316)	10,4 (414)	10,5 (322)
	25	-	-	5,4 (325)	5,5 (252)	5,4 (332)	5,5 (257)

Σχήμα 5.8 : Τιμές T_p
(Πηγή : Kanaugh and Rafferty, 1997)

Για $T_{ground} = 12,5°C = 54,5 F$, και για $EFL_h = 442$ hours και για $K_{ground} = 2,8 \frac{W}{m \cdot K} = 1,6 \frac{Btu}{h \cdot ft \cdot F}$, προκύπτει $T_p = 13,95 F = -10°C$

Στην συνέχεια υπολογίζονται οι αδιάστατοι αριθμοί Fourier :

$$Fo1 = \frac{4 \cdot \alpha_{ground} \cdot (T_f - T1)}{Di^2} = \frac{4 \cdot 0,11 \cdot (3.680,25 - 3.650)}{0,026^2} = 16109,467$$

$$Fo2 = \frac{4 \cdot \alpha_{ground} \cdot (T_f - T2)}{Di^2} = \frac{4 \cdot 0,11 \cdot (3680,25 - 3.680)}{0,026^2} = 133,1360947$$

$$Fof = \frac{4 \cdot \alpha_{ground} \cdot T_f}{Di^2} = \frac{4 \cdot 0,11 \cdot 3.680,25}{0,026^2} = 1959896,450$$

- $T1 = 3.650$ days
- $T2 = 3.650 + 30 = 3.680$ days
- $T_f = 3650 + 30 + 0,25 = 3.680,25$ days
- $Di = 0,026$ m

Οπότε τώρα μπορούν να υπολογιστούν τα $G1, G2, Gf$, από τους τύπους :

$$G1 = 0,0769 \cdot \ln(Fo1) + 0,0901 = 0,0769 \cdot \ln(16109,467) + 0,0901 = 0,836$$

$$G2 = 0,0769 * \ln(Fo2) + 0,0901 = 0,0769 * \ln(133,1360947) + 0,0901 = 0,467$$

$$Gf = 0,0769 * \ln(Fof) + 0,0901 = 0,0769 * \ln(1959896,450) + 0,0901 = 1,206$$

Και στη συνέχεια υπολογίζονται οι θερμικές αντιστάσεις εδάφους :

$$Rga = \frac{Gf - G1}{K_{ground}} = \frac{1,206 - 0,836}{2,8} = 0,132 \frac{m * K}{W}$$

$$Rgm = \frac{G1 - G2}{K_{ground}} = \frac{0,836 - 0,467}{2,8} = 0,132 \frac{m * K}{W}$$

$$Rgst = \frac{G2}{K_{ground}} = \frac{0,467}{2,8} = 0,167 \frac{m * K}{W}$$

Ο συντελεστής PLFm υπολογίζεται ως το γινόμενο του ποσοστού των ωρών που θα λειτουργεί αν ο χώρος χρησιμοποιούνταν επτά μέρες την εβδομάδα επί τις μέρες που θα λειτουργεί μέσα στην εβδομάδα. Δηλαδή $PLFm = 1 * \frac{5}{7} = 0,7$

Και ο συντελεστής Fsc υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα :

Παροχή ανά σωλήνωση (gpm)	Αριθμός βρόγχων ανά γεώτρηση		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

Σχήμα 5.9 : Συντελεστής Fsc
(Πηγή : Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης,2015)

Ισχύει ότι $1 \text{ gpm} = 0,0631 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, αλλά για το τμήμα I υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 5.4.1 $Q_{\text{βρόγχου}} = \frac{0,00381}{26} = 0,146 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, οπότε με αναλογία των τριών προκύπτει 2 gpm και με 1 βρόγχο ανά γεώτρηση προκύπτει συντελεστής $F_{sc} = 1,06$.

Γνωρίζοντας όλου τους συντελεστές για τον τύπο L_h , γίνεται η αντικατάσταση:

$$L_h = \frac{q_a * R_{ga} + Q_{\text{evap}} * (R_b + PLF_m * R_{gm} + F_{sc} * R_{gst})}{\frac{T_{in} + T_{out}}{2} - T_g - T_p}$$

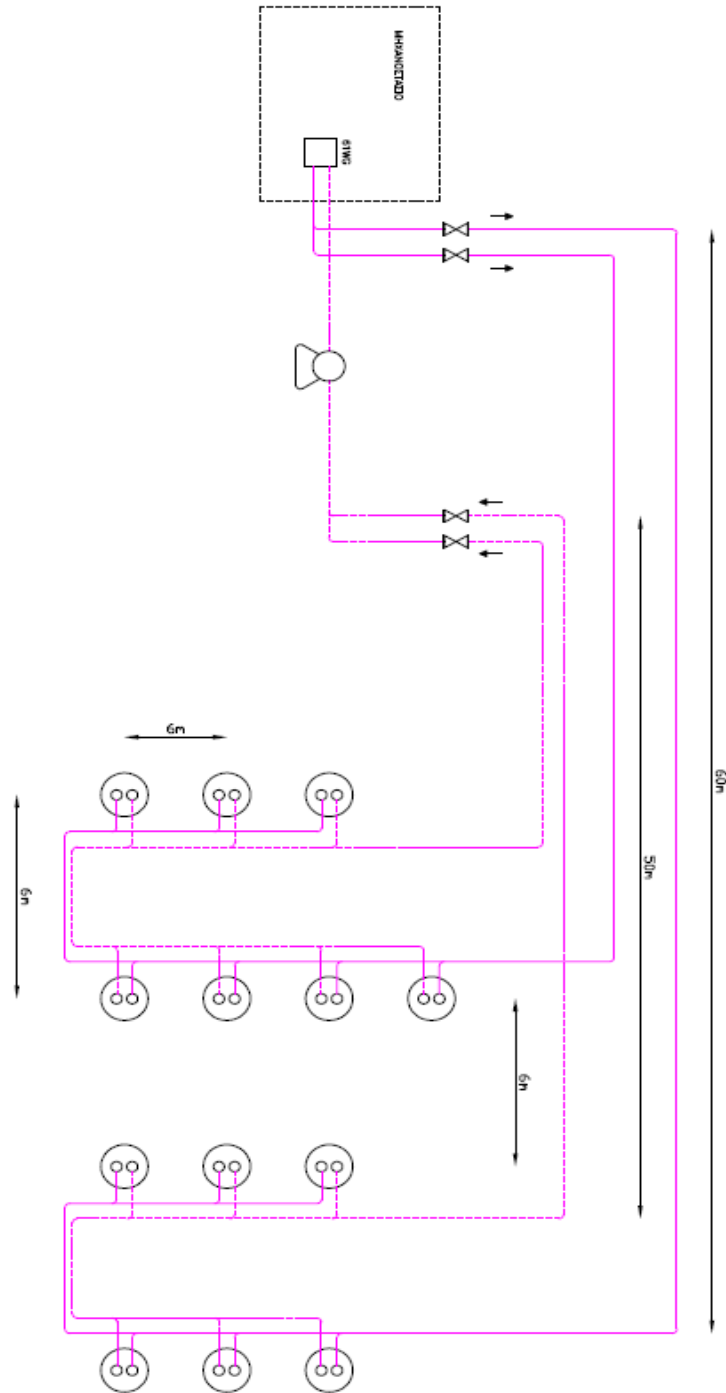
$$L_h = \frac{23266,28 * 0,132 + 46844,092 * (0,08 + 0,7 * 0,132 + 1,06 * 0,167)}{\frac{10 + 7}{2} - 12,5 - (-10)}$$

$$L_h = 2384,42 \text{ m}$$

Επιλέγονται 13 γεωτρήσεις με διπλό βρόγχο οπότε το βάθος της γεώτρησης είναι :

$$L_{\text{drilling}} = \frac{2384,42}{26} = 91,70 \text{ m}$$

Παρουσιάζεται και εικονιζόμενα η τοποθέτηση των 13^{ωv} γεωτρήσεων στο τμήμα I με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk. Η απαιτούμενη έκταση για την κάλυψη της συνολικής επιφάνειας για τις 13 γεωτρήσεις είναι 400 m^2 .



Σχήμα 5.10 : Τοποθέτηση στο τμήμα I

Για το τμήμα II ακολουθήθηκε πιστά η ίδια διαδικασία όπως στο τμήμα I. Τα δεδομένα σύμφωνα με τους υπολογισμούς των προηγούμενων κεφαλαίων και ενοτήτων είναι :

- $Q_h = 83,549 \text{ kW}$
- $T_{in} = 10^\circ\text{C}$

- $T_{out} = 7^{\circ}\text{C}$
- $\text{COP}_h = 2,94$

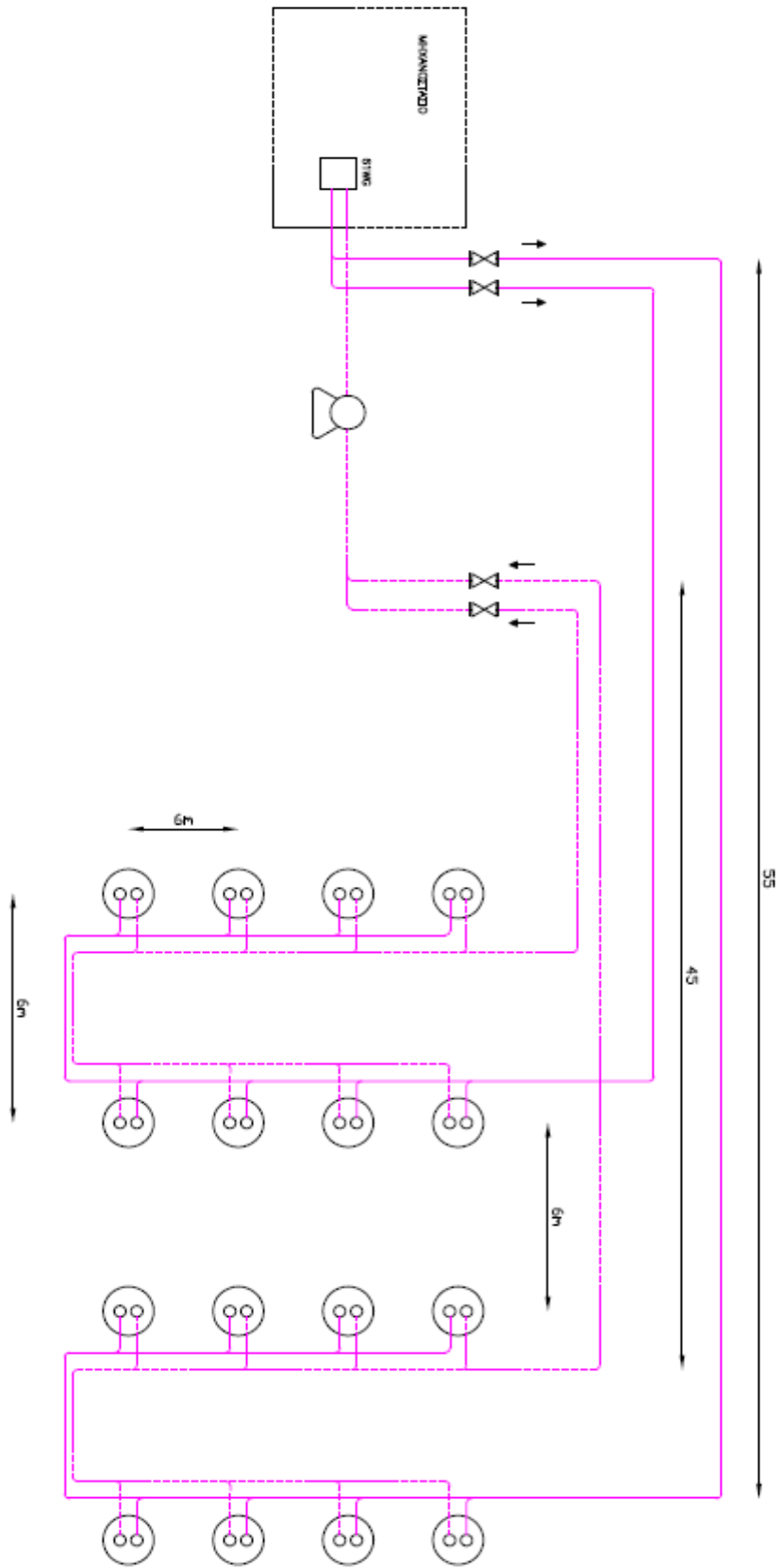
Και υπολογίστηκαν βάση των προαναφερθέντων τύπων τα εξής :

- $E_h = 36895,338 \text{ kWh}$, ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας θέρμανσης
- $\text{EFLh} = 441,600 \text{ h}$, οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης
- $Q_{evap} = 55130,973 \text{ W}$ η ισχύς του εργαζόμενου μέσου
- $q_a = 2779,205 \text{ W}$, η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος
- $Fo1 = 16109,467$, αδιάστατος αριθμός Fourier
- $Fo2 = 133,136095$, αδιάστατος αριθμός Fourier
- $Fof = 1959896,45$, αδιάστατος αριθμός Fourier
- $G1 = 0,836$
- $G2 = 0,467$
- $Gf = 1,206$
- $Rga = 0,132 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$, θερμική αντίσταση του εδάφους για ετήσιο παλμό
- $Rgm = 0,132 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$, θερμική αντίσταση του εδάφους για μηνιαίο παλμό
- $Rgst = 0,167 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$, θερμική αντίσταση του εδάφους για ετήσιο παλμό
- $\text{PLFm} = 0,7$
- $Fsc = 1,06$
- $L_h = \frac{2779,205 \cdot 0,132 + 55130,973 \cdot (0,08 + 0,7 \cdot 0,132 + 1,06 \cdot 0,167)}{\frac{10+7}{2} - 12,5 - (-10)} = 2892,842 \text{ m}$

Επιλέγονται 16 γεωτρήσεις με διπλό βρόγχο οπότε το βάθος της γεώτρησης είναι :

$$L_{drilling} = \frac{2892,842}{32} = 90,40 \text{ m}$$

Παρουσιάζεται και εικονιζόμενα η τοποθέτηση των 16 γεωτρήσεων στο τμήμα II με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk. Η έκταση η οποία απαιτείται και για τις 16 γεωτρήσεις είναι 400 m^2 .



Σχήμα 5.11 : Τοποθέτηση στο τμήμα II

Τέλος για το Κτίριο Δ τα δεδομένα για τους υπολογισμούς είναι :

- $Q_h = 26,105 \text{ kW}$
- $T_{in} = 10^\circ\text{C}$
- $T_{out} = 7^\circ\text{C}$
- $\text{COP}_h = 2,87$

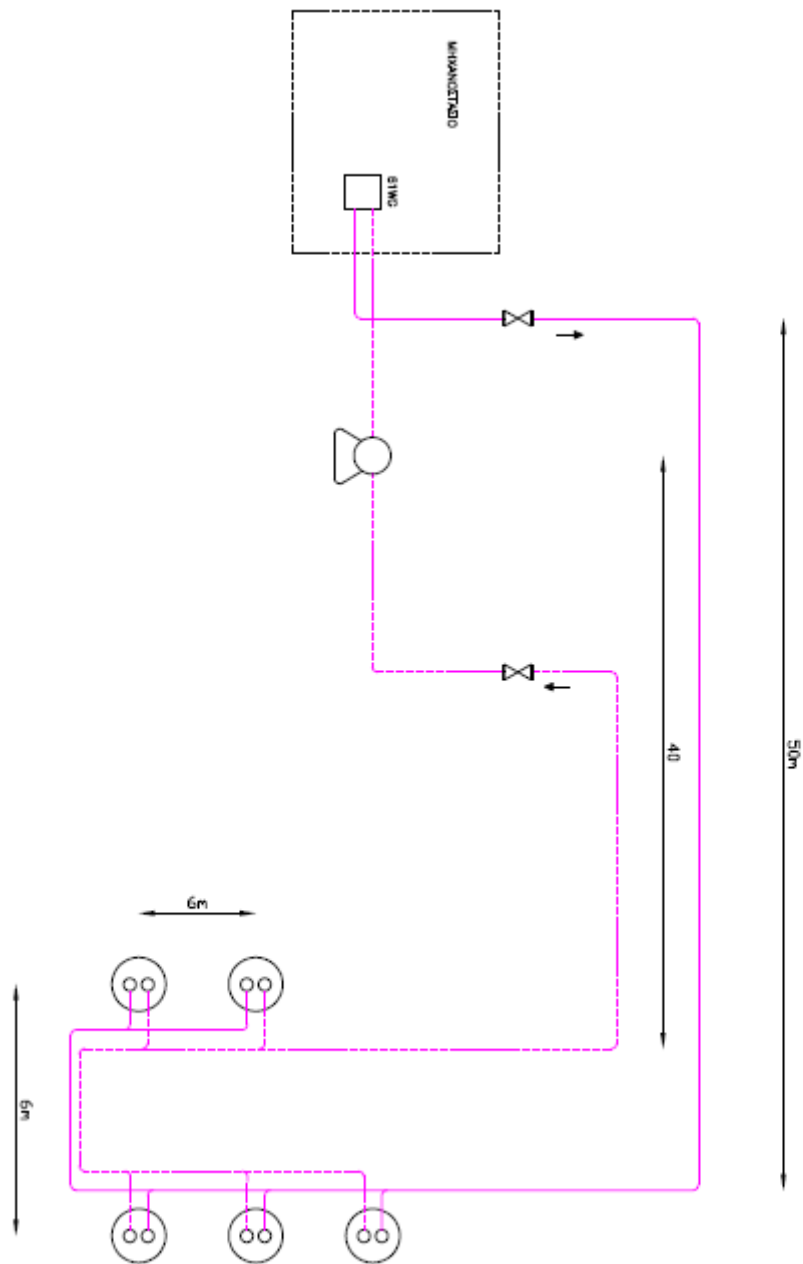
Και υπολογίστηκαν βάση των προαναφερθέντων τύπων τα εξής :

- $E_h = 15499,140 \text{ kWh}$, ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας θέρμανσης
- $\text{EFL}_h = 593,178 \text{ h}$, οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης
- $Q_{evap} = 17009,18 \text{ W}$ η ισχύς του εργαζόμενου μέσου
- $q_a = 1152,815 \text{ W}$, η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος
- $Fo1 = 16109,467$, αδιάστατος αριθμός Fourier
- $Fo2 = 133,136095$, αδιάστατος αριθμός Fourier
- $Fo1 = 1959896,45$, αδιάστατος αριθμός Fourier
- $G1 = 0,836$
- $G2 = 0,467$
- $Gf = 1,206$
- $R_{ga} = 0,132 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$, θερμική αντίσταση του εδάφους για ετήσιο παλμό
- $R_{gm} = 0,132 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$, θερμική αντίσταση του εδάφους για μηνιαίο παλμό
- $R_{gst} = 0,167 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$, θερμική αντίσταση του εδάφους για ετήσιο παλμό
- $PLF_m = 0,7$
- $F_{sc} = 1,06$
- $L_h = \frac{1152,815 \cdot 0,132 + 17009,18 \cdot (0,08 + 0,7 \cdot 0,132 + 1,06 \cdot 0,167)}{\frac{10+7}{2} - 12,5 - (-10)} = 899 \text{ m}$

Επιλέγονται 5 γεωτρήσεις με διπλό βρόγχο οπότε το βάθος της γεώτρησης είναι :

$$L_{\text{drilling}} = \frac{899}{10} = 89,9 \text{ m}$$

Παρουσιάζεται και εικονιζόμενα η τοποθέτηση των 5 γεωτρήσεων στο Κτίριο Δ με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk. Επίσης η επιθυμητή έκταση για τις 5 γεωτρήσεις ανέρχεται στα 120 m^2 .



Σχήμα 5.12 : Τοποθέτηση στο Κτίριο Δ

5.4.3 Υπολογισμός πτώσης πίεσης

Για τον υπολογισμό της θεωρητικής πτώσης πίεσης στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη δεν χρησιμοποιήθηκε ο παραδοσιακός τρόπος υπολογισμού. Η μελέτη έγινε σύμφωνα με μία

εναλλακτική μέθοδο που προτείνει η ASHRAE. Η μέθοδος ισοδύναμου μήκους εκφράζει την απώλεια ενέργειας σε ένα στοιχείο σωληνώσεων ως το μήκος του ευθύγραμμου αγωγού που έχει την ίδια απώλεια. Το ισοδύναμο μήκος για τυρβώδης ροές, συνήθως παρουσιάζεται ως ο αριθμός των διαμέτρων σωλήνα ίδια διαμέτρου με το στοιχείο της σωλήνωσης. (<http://www.eng.auth.gr>)

Για να υπολογιστεί το L_{eqv} για κάθε στοιχείο, το πραγματικό μήκος του κάθε σωλήνα προστίθεται στο ισοδύναμο μήκος. Η πτώση πίεσης σε κάθε στοιχείο ορίζεται ως το γινόμενο των τιμών της στήλης του πίνακα ($dh/100$) και του L_{total} (πραγματικό μήκος + ισοδύναμο μήκος) και στην συνέχεια διαιρώντας με το 100.

Για το τμήμα I ισχύει :

Πίνακας 5.1 : Υπολογισμός πτώσης πίεσης για το τμήμα I

	Diameter [m]	dh/100	L [m]	Leqv [m]	Ltotal [m]	dh	
Supply Header	0,032	6,3	50	4	54	3,40	
1st take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
2nd take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
3th take-off	00,32	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
4th take-off	00,32	6,3	18	0,8	18,8	1,18	
5th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
6th take-off	00,32	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
U-tube	0,032	6,3	195	9,9	204,9	12,91	
Return header	0,032	6,3	60	4	67,4	4,01	
Grood Loop Head Loss						24,10	kPa

Οι τιμές της στήλης $dh/100$ πάρθηκαν από τον ακόλουθο πίνακα για $D_o = 32\text{mm}$ και $\text{Flow rate} = 0,14 \frac{l}{s}$.

Table 6.9 DR 11 HDPE Pressure Loss—kPa/100 Linear Metres at 20°C*—SI

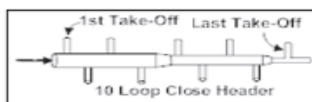
Flow Rate, L/s	Outside Diameter, mm						Flow Rate, L/s	Outside Diameter, mm					Flow Rate, L/s	Outside Diameter, mm			
	25	32	40	50	63	75		63	75	90	110	125		125	160	200	250
	Inside Diameter, mm							Inside Diameter, mm						Inside Diameter, mm			
	20.5	26.2	32.7	40.9	51.5	61.4	51.5	61.4	73.6	90.0	102	102	131	164	205		
0.08	6.2	1.9					5.0	109	46	19	7	4	40	182	53	17.4	5.8
0.17	21	6.3	2.2				5.8	146	61	25	9	5	43	212	61	20.2	6.7
0.25	42	12.8	4.4				6.7	188	79	32	12	6	47		71	23	7.7
0.33	71	21	7.3	2.5			7.5		98	40	15	8	50		81	26	8.8
0.42	107	32	10.8	3.7			8.3		120	48	18	10	58		108	35	11.7
0.50	149	44	15.0	5.1			10.0		169	68	25	13	67		140	46	15.0
0.67		75	25	8.5	2.8		11.7			91	34	18	75		175	57	18.8
0.83		113	38	12.7	4.2		13.3			117	43	23	83			70	23
1.00		158	52	17.6	5.8	2.5	15.0			146	54	28	100			99	32
1.25			79	26	8.6	3.7	16.7			179	65	35	117			133	43
1.67			135	45	14.4	6.2	20.0				92	49	133			172	56
2.1				67	22	9.3	23				124	65	150				70
2.5				95	30	12.9	27				160	84	167				86
2.9				126	40	17.1	30				200	105	183				103
3.3				162	51	22	33					129	200				122
4.2					78	33	37					154	233				164

*Tables for other pipe dimensions, fluids, and temperatures can be made with HeadLossTable/P.xlsm.
 **Head loss in tight coils (lake coils, slinky coils, etc.) is typically 3% to 4% greater than in straight pipe.

**Σχήμα 5.13 : Απώλειες πίεσης dh/100
 (Πηγή : Kanaugh and Rafferty, 1997)**

Και οι τιμές για το L_{equal} υπολογίστηκαν από τον παρακάτω πίνακα για $D_o = 32 \text{ mm}$.

Fitting Type	Equivalent Length, m										
	Nominal Pipe Diameter, mm										
	25	32	40	50	63	90	125	160	200	250	300
Socket U-bend	3.7	2.0	3.4								
Socket U-do	2.6										
Socket 90 L	1.0	0.8	1.9	2.0	2.1						
Socket tee—Branch	1.2	1.6	2.0	3.0	4.0						
Socket tee—Straight	0.4	0.4	0.3	0.6	0.9						
Socket reducer (1 step)		1.9	1.2	1.2	1.3						
Socket reducer (2 step)			1.3		1.6						
UniCoil™	2.7	3.1									27
Butt U-bend	3.8	6.8	11	13							26
Butt 90 L	2.2	3.0	5.6	3.3	3.7	10	12	16	19	23	3.0
Butt tee—Branch	2.3	2.2	5.2	3.3	4.6	9.4	11	15	19	23	12
Butt tee—Straight	1.4	0.8	1.2	1.2	1.2	2.1	2.2	2.3	2.5	2.7	
Butt reducer		1.5	1.7	1.8	2.1	3.1	4.1	6.1	7.9	10	
Butt joint	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3				
5-loop close header first take-off		5.2									
Last side take-off		9.1									
10-loop close header first take-off		6.1									
Last side take-off		10									



**Σχήμα 5.14 : Τιμές για L_{equal}
 (Πηγή : Kanaugh and Rafferty, 1997)**

Για το τμήμα II και σύμφωνα με τα σχήματα 5.13 & 5.14 και για $D_o = 32 \text{ mm}$ και Flow rate = $0,14 \frac{l}{s}$, προέκυψε :

Πίνακας 5.2 : Υπολογισμός πτώσης πίεσης για το τμήμα II

	Diameter [m]	dh/100	L [m]	Leqv [m]	Ltotal [m]	dh	
Supply Header	0,032	6,3	45	7,4	52,4	3,30	
1st take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
2nd take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
3th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
4th take-off	0,032	6,3	18	0,8	18,8	1,18	
5th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
6th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
7th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
8th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43	
U-tube	0,032	6,3	185	9,9	194,9	12,28	
Return header	0,032	6,3	55	7,4	62,4	3,93	
Grood Loop Head Loss						24,12	kPa

Για το Κτίριο Δ και σύμφωνα με τα σχήματα 5.13 & 5.14 και για $D_o = 32 \text{ mm}$ και Flow rate = $0,14 \frac{l}{s}$, προέκυψε :

Πίνακας 5.3 : Υπολογισμός πτώσης πίεσης για το κτίριο Δ

	Diameter [m]	dh/100	L [m]	Leqv [m]	Ltotal [m]	dh
Supply Header	0,032	6,3	40	4	44	2,77
1st take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43
2nd take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43
3th take-off	0,032	6,3	18	0,8	18,8	1,18
4th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43
5th take-off	0,032	6,3	6	0,8	6,8	0,43
U-tube	0,032	6,3	185	9,9	194,9	12,28

Return header	0,032	6,3	50	4	54	3,40	
Grood Loop Head Loss						21,78	kPa

5.4.4 Υπολογισμός γεωεναλλάκτη για το κτίριο Δ κατά VDI 4640 (εναλλακτικά)

Στην ενότητα έγινε υπολογισμός του κάθετου γεωεναλλάκτη (Vertical GSHP) καθώς και του οριζόντιου γεωεναλλάκτη (Horizontal GSHP) σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο VDI 4640.

Το εγχειρίδιο VDI 4640 ενδείκνυται μόνο για εγκαταστάσεις της τάξεως <30 kW θερμικής ισχύος διότι είναι σε πιο απλουστευμένη μορφή. Για τις εγκαταστάσεις της τάξεως >30 kW δεν συνίσταται η συγκεκριμένη μεθοδολογία. Στα τμήματα προς μελέτη μόνο το Κτίριο Δ πληροί τις προϋποθέσεις με $Q_h = 26,105 \text{ kW}$. Έτσι πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί μόνο για το Κτίριο Δ.

Για την διάμετρο των σωληνώσεων χρησιμοποιήθηκε ο γνωστός τύπος της μηχανικής των ρευστών :

$$Di = \sqrt{\frac{Q * 4}{V * \pi}} \quad [m] \quad (5.20)$$

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα η ταχύτητα του ρευστού μέσα στους σωλήνες κυμαίνεται στις τιμές $1 \leq V \leq 1,5 \frac{m}{s}$, και για αυτό τον λόγο θεωρείται ταχύτητα ρευστού $V = 1,2 \frac{m}{s}$.

Για την παροχή σε $[\frac{m^3}{s}]$ χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη τιμή της αντλίας όπως ακριβώς αναγράφεται στον σχήμα 5.3 με fluid flow = $1,63 \frac{l}{s}$, οπότε $Q = 0,00163 \frac{m^3}{s}$. Με αντικατάσταση στον τύπο της διαμέτρου :

$$Di = \sqrt{\frac{Q * 4}{V * \pi}} = \sqrt{\frac{0,00163 * 4}{1,2 * \pi}} = 0,021 \text{ m} = 21 \text{ mm}$$

Έτσι από το σχήμα 5.4 επιλέχτηκε η 16 BAR (SDR 11) τυποποιημένη τιμή για εξωτερική διάμετρο $D_o = 32 \text{ mm}$ με πάχος τοιχώματος 3 mm , οπότε $D_i = 26 \text{ mm}$.

Για την διαστασιολόγηση του οριζόντιου εναλλάκτη αρχικά βρέθηκε το Q_{evap} :

$$Q_{evap} = Qh * \frac{COPh - 1}{COPh} = 26,105 * \frac{2,87 - 1}{2,87} = 17,009 \text{ kW} = 17009,18 \text{ W}$$

με τιμή COPh να αντλείται από σχήμα 5.3.

Στη συνέχεια η επιφάνεια του συλλέκτη βρίσκεται ως εξής :

$$\text{επιφάνεια συλλέκτη} = \frac{Q_{evap}}{\text{ειδική ισχύς απόληψης}} [m^2] \quad (5.21)$$

Η ειδική ισχύς απόληψης υπολογίζεται από το παρακάτω πίνακα :

Υπόστρωμα	Ειδική ισχύς απόληψης	
	στις 1800 ώρες	στις 2400 ώρες
Μη σκληρό έδαφος	10 W/m ²	8 W/m ²
Σκληρό έδαφος, υγρό	20 - 30 W/m ²	16 - 24 W/m ²
Κορεσμένο με νερό έδαφος	40 W/m ²	32 W/m ²

Πηγή: VDI 4640

Σχήμα 5.15 : Ειδική ισχύς απόληψης
(Πηγή : www.rehau.de)

Για Φλώρινα το υπόστρωμα θεωρείται ως σκληρό έδαφος και υγρό και για ετήσια διάρκεια λειτουργίας της αντλίας θερμότητας : 2400 ώρες, η ειδική ισχύς απόληψης υπολογίζεται ως $20 \frac{W}{m^2}$.

Άρα η επιφάνεια συλλέκτη υπολογίζεται :

$$\text{επιφάνεια συλλέκτη} = \frac{Q_{evap}}{\text{ειδική ισχύς απόληψης}} = \frac{17009,18}{20} = 850,459 \text{ m}^2$$

Η συνιστούμενη κατά VDI 4640 απόσταση τοποθέτησης ανάμεσα στους σωλήνες του συλλέκτη ανέρχεται στα 50-80 cm. Σε μία επιλεγμένη απόσταση τοποθέτησης από 70 cm (0,70 m) και με την σχέση :

$$\text{Ποσότητα σωλήνων} = \frac{\text{Επιφάνεια οριζόντιου γεωεναλλάκτη}}{\text{απόσταση τοποθέτησης}} \quad (5.22)$$

Προκύπτει η ακόλουθη ποσότητα σωλήνων :

$$\text{Ποσότητα σωλήνων} = \frac{\text{Επιφάνεια οριζόντιου γεωεναλλάκτη}}{\text{απόσταση τοποθέτησης}} = \frac{850,459}{0,70} = 1214,94 \text{ m}$$

Ένα κύκλωμα συλλέκτη για λόγους υδραυλικής δεν μπορεί να είναι πάνω από 100 m. Έτσι για το Κτίριο Δ προκύπτουν 12 κυκλώματα από 100 m το καθένα.

Για τον υπολογισμό των κατακόρυφων γεωεναλλακτών κατά VDI 4640, για μέγιστο μήκος κατακόρυφου εναλλάκτη 100 m, χρήσιμα μεγέθη είναι η ειδική ισχύς απόληψης και η ισχύς τους εξατμιστή. Το απαιτούμενο μήκος του εναλλάκτη υπολογίζεται ως εξής :

$$\text{Μήκος κατακόρυφου εναλλάκτη} = \frac{\text{Ισχύς του εξατμιστή}}{\text{Ειδική ισχύς απόληψης}} \text{ [m]} \quad (5.23)$$

Η ισχύς του εξατμιστή είναι $Q_{\text{evap}} = 17009,18 \text{ W}$

Η ειδική ισχύς απόληψης υπολογίζεται από τον ακόλουθο πίνακα :

Υπόστρωμα	Ειδική ισχύς απόληψης σε W/m (μήκος κατακόρυφου εναλλάκτη)	
	στις 1800 ώρες	στις 2400 ώρες
Γενικές ενδεικτικές τιμές		
Κακό υπέδαφος (ξηρό προσχωματικό υλικό, $\lambda < 1,5 \text{ W/m.K}$)	25	20
Κανονικό υπέδαφος σταθερού πετρώματος και κορεσμένο με νερό προσχωματικό υλικό ($\lambda < 3,0 \text{ W/m.K}$)	60	50
Σταθερό πέτρωμα με υψηλή θερμική αγωγιμότητα	84	70
Ξεχωριστά πετρώματα		
Πυρίτης, άμμος, στεγνό υλικό	< 25	< 20
Πυρίτης, άμμος, υγρό υλικό	65 - 80	55 - 85
Σε περίπτωση ισχυρής ροής των υπογείων υδάτων σε πυρίτη και άμμο, για ξεχωριστές εγκαταστάσεις	80 - 100	
Άργιλος, πηλός, υγρό υλικό	35 - 50	30 - 40
Ασβεστόλιθος, συμπαγής	55 - 70	45 - 60
Ψαμμίτης	65 - 80	55 - 65
Όξινα πυριγενή πετρώματα (π.χ. γρανίτης)	65 - 85	55 - 70
Βασικά πυριγενή πετρώματα (π.χ. βασάλτης)	40 - 65	35 - 55
Γνεύσιος	70 - 85	60 - 70

Οι τιμές μπορούν να αποκλίνουν σημαντικά λόγω της μορφολογίας του πετρώματος, όπως ρηγμάτωση, σχιστότητα, αποσάθρωση
 Πηγή: VDI 4640

**Σχήμα 5.16 : Ειδική ισχύς απόληψης
 (Πηγή : www.rehau.de)**

Για Φλώρινα το υπόστρωμα θεωρείται ως κακό υπέδαφος και για ετήσια διάρκεια λειτουργίας της αντλίας θερμότητας : 2400 ώρες, η ειδική ισχύς απόληψης υπολογίζεται ως $20 \frac{W}{m^2}$.

Οπότε το απαιτούμενο μήκος είναι :

$$\text{Μήκος κατακόρυφου εναλλάκτη} = \frac{\text{Ισχύς του εξατμιστή}}{\text{Ειδική ισχύς απόληψης}} = \frac{17009,18}{20} = 850,46 \text{ m}$$

Άρα θα γίνουν 5 γεωτρήσεις των 85 m.

5.5 Μεθοδολογία εγκατάστασης γεωεναλλάκτη

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθεί η σειρά ,με 6 απλά βήματα, με την οποία θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη.

Βήμα 1° : Αρχικά θα πρέπει να γίνει η γεώτρηση στο επιθυμητό βάθος, που έχει υπολογιστεί στο κεφάλαιο 5.4.2, όπως στην εικόνα :



**Σχήμα 5.17 : Γεώτρηση
(Πηγή: REHAU)**

Βήμα 2° : Πραγματοποιείται η κατασκευή του U.Των σωλήνων που θα τοποθετηθούν εντός της γεώτρησης, όπως φαίνεται παρακάτω :



**Σχήμα 5.18 : Κατασκευή U
(Πηγή: REHAU)**

Βήμα 3° : Γίνεται η τοποθέτηση των αποστατών και των βαριδιών, διότι δεν πρέπει οι σωλήνες να εφάπτονται και η επιθυμητή απόσταση είναι 30 – 50 cm.



**Σχήμα 5.19 : Τοποθέτηση αποστατών
(Πηγή: REHAU)**

Βήμα 4° : Γίνεται η τοποθέτηση του γεωαναλλάκτη στην γεώτρηση με την βοήθεια ειδικού μηχανήματος, όπως διακρίνεται στην εικόνα :



**Σχήμα 5.20 : Τοποθέτηση Γεωαναλλάκτη
(Πηγή: REHAU)**

Βήμα 5^ο : Πραγματοποιείται η τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα :



**Σχήμα 5.21: Τοποθέτηση Γεωεναλλάκτη
(Πηγή: REHAU)**

Βήμα 6° : Στο τελευταίο στάδιο της εγκατάστασης πραγματοποιείται η δοκιμή πίεσης στους σωλήνες και μετέπειτα το γέμισμα τους.



**Σχήμα 5.22 : Γέμισμα
(Πηγή: REHAU)**



**Σχήμα 5.23 : Έλεγχος Πίεσης
(Πηγή: REHAU)**

Κεφάλαιο 6 : Οικονομικά στοιχεία

6.1 Οικονομοτεχνική ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια διερεύνηση για τον αν οι ενεργειακές επεμβάσεις που προτάθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι βιώσιμες. Η βιωσιμότητα των επεμβάσεων καθορίζεται με την μέθοδο της απλής περιόδου αποπληρωμής. Απαιτούμενα δεδομένα το αρχικό κόστος της επέμβασης (συμπεριλαμβανομένου και του κόστους εγκατάστασης), καθώς επίσης και το κόστος ενέργειας για την τρέχουσα περίοδο της μελέτης ή της εγκατάστασης.

6.2 Βιωσιμότητα συστήματος θέρμανσης

Η οικονομική ανάλυση που ακολουθεί συγκρίνει το ετήσιο κόστος του υπάρχοντος συμβατικού συστήματος θέρμανσης, με το συνολικό κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης που προτείνεται στην παρούσα διπλωματική, ώστε να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα για να γίνει απόσβεση χρημάτων . Στο συνολικό κόστος της ενεργειακής αναβάθμισης που προτείνεται, περιλαμβάνονται η τιμή αγοράς των αντλιών θερμότητας, η τιμή εγκατάστασης και το κόστος του γεωθερμικού εναλλάκτη, το κόστος για την θερμομόνωση του κτιρίου, καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των μηχανημάτων.

6.2.1 Κόστος θερμομόνωσης αδιαφανών στοιχείων

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μόνωση που επιλέχθηκε για κάθε αδιαφανές στοιχείο του κτιρίου και το κόστος. Για την μόνωση των οριζόντιων δομικών στοιχείων επιλέχθηκε σκληρή πλάκα πετροβάμβακα, ενώ για την οροφή επιλέχθηκε ρολό πετροβάμβακα. Αναλόγως με τον συντελεστή θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου, επιλέχθηκε και το κατάλληλο πάχος μόνωσης. Αναλυτικά:

Πίνακας 6.1 : Κόστος θερμομόνωσης αδιαφανών στοιχείων

	U (w/m2k)	Επιφάνεια (m2)	Πάχος (mm)	€/m2	ΚΟΣΤΟΣ
Τμήμα I	1,35	876,95	70	8,57	7515,462
	1,35	414,6	70	8,57	3553,122
	0,69	161,28	40	4,9	790,272
Τμήμα II	1,35	868,24	70	8,57	7440,817
	1,35	526,4	70	8,57	4511,248
Κτίριο Δ	0,75	525,12	50	6,15	3229,488
	0,75	496,94	50	6,15	3056,181

	0,75	506	50	6,15	3111,9
	0,9	57,98	50	6,15	356,577
	0,9	73,9	50	6,15	454,485
	0,9	63,38	50	6,15	389,787
	2,8	58,78	80	9,84	578,3952
	2,8	58,78	80	9,84	578,3952
	2,8	52,13	80	9,84	512,9592
Οροφή	0,7	5681,11	50	3,53	20054,32

Το συνολικό κόστος για την θερμομόνωση των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου ανέρχεται στις **56.133,41 €**.

6.2.2 Κόστος αντικατάστασης διαφανών στοιχείων

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μόνωση που επιλέχθηκε για κάθε διαφανές στοιχείο του κτιρίου και το κόστος. Επιλέχθηκε αντικατάσταση των υπαρχόντων υαλοπινάκων με ενεργειακούς υαλοπίνακες νέας γενιάς, με διάκενο 10 mm και πλήρωση με ατμοσφαιρικό αέρα, κόστους 130 €/m² και αντικατάσταση των κουφωμάτων με κουφώματα Ευγορα 8500 με ποσοστό πλαισίου 20%, κόστους 190 €/m². Συνολικά το κόστος θα είναι 320 €/m². Αναλυτικά:

Πίνακας 5.2 : Κόστος αντικατάστασης διαφανών στοιχείων

Κτίριο	A (m²)	€/m²	Κόστος (€)
Τμήμα Ι	324,47	320	103.830,4
	103,32	320	33.062,4
Τμήμα ΙΙ	403,15	320	129.004,4
	202,12	320	64.678,4
Κτίριο Δ	92,47	320	29.590,4
	93,18	320	29.817,6
	93,18	320	29.817,6

Το συνολικό κόστος για την αντικατάσταση των διαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου ανέρχεται στις **419.804,8 €**.

6.2.3 Κόστος αγοράς αντλιών θερμότητας

Για την κάλυψη των θερμικών φορτίων του κτιρίου επιλέχθηκαν οι αντλίες της σειράς 61WG-020_090 του οίκου Carrier. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα κόστη των

βασικών μονάδων των αντλιών θερμότητας, καθώς και των απαραίτητων εξαρτημάτων για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Αναλυτικά:

Πίνακας 5.3 : Κόστος αγοράς αντλιών θερμότητας

Προϊόν	Τιμή πώλησης
61WG-025- Water Cooled Cspeed HT Chlr	8513,84
61WG-025- _OPT_070F External general disconnect switch	159,96
61WG-025- _OPT_086 Condenser insulation	100,44
61WG-025- _OPT_058 Sensor kit for lead/lag application	162,44
61WG-025- _OPT_116T LP fixed-speed single-pump, evaporator side	1397,48
61WG-025- _OPT_270T LP fixed-speed single-pump, condenser side	1397,48
61WG-025- _OPT_293 Safety hydronic components, evaporator side	135,16
61WG-025- _OPT_293A Safety hydronic components, condenser side	135,16
61WG-060- Water Cooled Cspeed HT Chlr	14582,4
61WG-060- _OPT_070F External general disconnect switch	159,96
61WG-060- _OPT_086 Condenser insulation	148,8
61WG-060- _OPT_116T LP fixed-speed single-pump, evaporator side	1616,96
61WG-060- _OPT_270T LP fixed-speed single-pump, condenser side	1616,96
61WG-060- _OPT_293 Safety hydronic components, evaporator side	138,88
61WG-060- _OPT_293A Safety hydronic components, condenser side	138,88
61WG-080- Water Cooled Cspeed HT Chlr	15377,24
61WG-080- _OPT_070F External general disconnect switch	159,96
61WG-080- _OPT_086 Condenser insulation	148,8
61WG-080- _OPT_058 Sensor kit for lead/lag application	162,44
61WG-080- _OPT_116T LP fixed-speed single-pump, evaporator side	1616,96
61WG-080- _OPT_270T LP fixed-speed single-pump, condenser side	1616,96
61WG-080- _OPT_293 Safety hydronic components, evaporator side	138,88
61WG-080- _OPT_293A Safety hydronic components, condenser side	138,88

Το συνολικό κόστος αγοράς των αντλιών θερμότητας ανέρχεται στις **49.764,92 €**.

6.2.4 Κόστος αγοράς δοχείων ζεστού νερού

Για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης επιλέχθηκαν τα δοχεία HPC1 του οίκου Carrier, χωρητικότητας 500 lt έκαστο και με δυνατότητα σύνδεσης με αντλία θερμότητας και ηλιακά. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται το συνολικό κόστος για την αγορά

των δοχείων και των απαραίτητων αντιστάσεων για τη σωστή λειτουργία του συστήματος.
Αναλυτικά:

Πίνακας 5.4 : Κόστος αγοράς δοχείων ZNX

Προϊόν	Τεμάχια	Τιμή πώλησης €
HPC1-500	2	990,86
ER-HPC-3,5	2	71,17

Το συνολικό κόστος αγοράς ανέρχεται στις **2.124,06 €**.

6.2.5 Κόστος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη

Για την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης που προτάθηκε θα τοποθετηθεί κατακόρυφος κλειστός γεωεναλλάκτης. Όπως ειπώθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο θα γίνουν:

Πίνακας 5.5 : Ποσότητα και βάθος γεωτρήσεων

Κτίριο	Αριθμός γεωτρήσεων	Βάθος της κάθε γεώτρησης (m)
Τμήμα Ι	13	91,7
Τμήμα ΙΙ	16	91
Κτίριο Δ	5	90

Το μέσο κόστος ανά 100 m γεώτρησης, σύμφωνα με εταιρίες που δραστηριοποιούνται επαγγελματικά στο συγκεκριμένο χώρο, ανέρχεται στις 6.000 € / γεώτρηση. Στο ποσό αυτό συμπεριλαμβάνονται η αγορά των σωληνώσεων πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας, το κόστος της γεώτρησης, τα κολλεκτέρ, τα στηρίγματα, ο μπετονίτης για το τσιμέντωμα των γεωτρήσεων, η εργασία κλπ. Συγκεκριμένα για τις εγκαταστάσεις της Παιδαγωγικής Σχολής, αναλογικά με τα παραπάνω, το κόστος θα είναι:

Πίνακας 5.6 : Κόστος γεωεναλλάκτη

Κτίριο	Αριθμός γεωτρήσεων	Βάθος της κάθε γεώτρησης (m)	Κόστος της κάθε γεώτρησης (€)	Συνολικό κόστος (€)
Τμήμα Ι	13	91,7	5.502	71.526
Τμήμα ΙΙ	16	91	5.460	87.360
Κτίριο Δ	5	90	5.400	27.000

Το συνολικό κόστος ανέρχεται στις **185.886 €**.

6.2.6 Συνολικό κόστος της αναβάθμισης

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται αθροιστικά τα κόστη της θερμομόνωσης του κτιρίου και της αντικατάστασης του συστήματος θέρμανσης.

Πίνακας 5.7 Συνολικό κόστος νέου συστήματος θέρμανσης και μόνωσης

Κόστος	€
Θερμομόνωσης αδιαφανών στοιχείων	56.133,41
Αντικατάστασης διαφανών στοιχείων	419.804,8
Αγοράς αντλιών θερμότητας	49.764,92
Αγοράς δοχείων ζεστού νερού χρήσης	2.124,06
Εγκατάσταση γεωεναλλάκτη	185.886,00

Το συνολικό κόστος ανέρχεται στις **713.713,19 €**.

6.2.7 Ετήσια έξοδα υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης

Η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου για τις εγκαταστάσεις της Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στη Φλώρινα υπολογίστηκε 87.334,2 lt. Η μέση τιμή του πετρελαίου θέρμανσης στην αγορά, κυμαίνεται στα 0,95 €/lt. Το συνολικό κόστος αγοράς για ένα χρόνο ανέρχεται στις **82.967,5 €**.

Στο παραπάνω ποσό χρημάτων θα πρέπει να προστεθεί και το κόστος συντήρησης του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης. Για τρεις λέβητες συνολικής ισχύος 2.200.000 kcal το συγκεκριμένο κόστος ανέρχεται περίπου στα 200 €/λέβητα. Άρα το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του υφιστάμενου συστήματος για ένα χρόνο ανέρχεται στις **83.567,5 €**.

6.2.8 Ετήσια έξοδα προτεινόμενου συστήματος θέρμανσης

Το ετήσιο κόστος συντήρησης των τριών αντλιών θερμότητας, ανέρχεται στα **500 €**. Οι αντλίες θερμότητας που θα εγκατασταθούν θα καταναλώνουν ετησίως 87.138,4 kWh ηλεκτρικού ρεύματος. Το ποσό αυτό θα καλύπτεται εξολοκλήρου από φωτοβολταϊκά πάνελ.

6.2.9 Απόσβεση συστήματος θέρμανσης

Το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να γίνει απόσβεση χρημάτων, προκύπτει από τον λόγο του συνολικού κόστους της ενεργειακής αναβάθμισης, προς το ποσό που θα εξοικονομείται κάθε χρόνο. Το ποσό αυτό προκύπτει από το κόστος λειτουργίας του

υφιστάμενου συστήματος, μείον το κόστος λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος.
Αναλυτικά:

$$\text{Χρόνια απόσβεσης} = \frac{\text{Συνολικό κόστος ενεργειακής αναβάθμισης}}{\text{Ετήσια έξοδα υφιστάμενου συστήματος} - \text{Ετήσια έξοδα προτεινόμενου συστήματος}} \quad (6.1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Χρόνια απόσβεσης} = \frac{713.713,19}{83.567,5 - 500} = 8,6 \text{ χρόνια}$$

6.3 Βιωσιμότητα συστήματος φωτισμού

6.3.1 Κατανάλωση υφιστάμενου συστήματος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού σε kWh:

Πίνακας 5.8: Κατανάλωση υφιστάμενου συστήματος φωτισμού

Σύστημα	Αριθμός μονάδων	Ισχύς (kW)	Ώρες λειτουργίας/χρόνο	kWh
Λαμπτήρες φθορίου	2335	0,025	2819	164.559,12
Κοινοί λαμπτήρες (εξωτερικά φώτα)	48	0,16	2819	21.649,92
Προβολείς (αμφιθεάτρου και εξωτερικά φώτα)	8	0,10	2819	2.255,2
Σύνολο				188.464,24

Η τιμή αγοράς ανά kWh από την ΔΕΗ είναι 0,1771 €. Άρα το ετήσιο κόστος λειτουργίας του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού ανέρχεται στις **33.377,01 €**.

6.3.2 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα κόστη αντικατάστασης του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού, με λαμπτήρες LED χαμηλής κατανάλωσης. Αναλυτικά:

Πίνακας 5.9 : Κόστος αγοράς λαμπτήρων LED

Προϊόν	Τεμάχια	Τιμή πώλησης €/τμχ
LED T8 14W	2335	8
LED τύπου νήματος 40W	48	43
LED προβολείς 50W	8	45

Το συνολικό κόστος αντικατάστασης ανέρχεται στις **21.104 €**.

6.3.3 Κατανάλωση προτεινόμενου συστήματος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού σε kWh:

Πίνακας 5.10 : Κατανάλωση προτεινόμενου συστήματος φωτισμού

Σύστημα	Αριθμός μονάδων	Ισχύς (kW)	Ώρες λειτουργίας/χρόνο	kWh
LED T8	2335	0,014	2819	92.153,11
LED τύπου νήματος	48	0,04	2819	5.412,48
LED προβολείς	8	0,05	2819	1.127,6
Σύνολο				98.693,19

Η τιμή αγοράς ανά kWh από την ΔΕΗ είναι 0,1771 €. Άρα το ετήσιο κόστος λειτουργίας του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού ανέρχεται στις **17.478,56 €**.

6.3.4 Απόσβεση συστήματος φωτισμού

Το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να γίνει απόσβεση χρημάτων, προκύπτει από τον λόγο του συνολικού κόστους της αντικατάστασης των λαμπτήρων, προς το ποσό που θα εξοικονομείται κάθε χρόνο. Το ποσό αυτό προκύπτει από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του υφιστάμενου συστήματος, μείον την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του προτεινόμενου συστήματος. Αναλυτικά:

$$\text{Χρόνια απόσβεσης} = \frac{\text{Συνολικό κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων}}{\text{Κατανάλωση υφιστάμενου συστήματος} - \text{Κατανάλωση προτεινόμενου συστήματος}} \quad (6.2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Χρόνια απόσβεσης} = \frac{21.104}{33.377,01 - 17.478,56} = 1,32 \text{ χρόνια}$$

6.4 Βιωσιμότητα φωτοβολταϊκών πάνελ

6.4.1 Κόστος αγοράς και εγκατάστασης φ/β

Στην παράγραφο 4.6 υπολογίστηκε η εγκατάσταση 684 φωτοβολταϊκών πάνελ ALEO P18J260. Η τιμή αγοράς και εγκατάστασης των συγκεκριμένων πάνελ, συνυπολογίζοντας όλων των απαραίτητων εξαρτημάτων, ανέρχεται στα **300 €/πάνελ**. Συνολικά το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στις **205.200 €**.

6.4.2 Ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Μετά την αντικατάσταση του συστήματος φωτισμού με λαμπτήρες LED χαμηλής κατανάλωσης και την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας, η ετήσια κατανάλωση ρεύματος θα είναι 237.192,67 kWh. Η τιμή αγοράς ανά kWh από την ΔΕΗ είναι 0,1771 €. Άρα το ετήσιο κόστος θα ανέρχεται στις 42.006,8 €.

6.4.3 Απόσβεση φ/β πάνελ

Το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να γίνει απόσβεση χρημάτων, προκύπτει από τον λόγο του συνολικού κόστους της αγοράς και εγκατάστασης των πάνελ, προς το ποσό που θα εξοικονομείται κάθε χρόνο. Αναλυτικά:

$$\begin{aligned} \text{Χρόνια απόσβεσης} &= \frac{\text{Συνολικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης πάνελ}}{\text{Ετήσιο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος}} \quad (6.3) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \text{Χρόνια απόσβεσης} = \frac{205.200}{42.006,8} = 4,88 \text{ χρόνια} \end{aligned}$$

Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε μια προσπάθεια ενεργειακής αναβάθμισης των εγκαταστάσεων της Παιδαγωγικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Συγκεκριμένα επρόκειτο για ένα αρκετά παλιό κτίριο, η θερμομόνωση του οποίου κρίθηκε ανεπαρκής. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων (αδιαφανών και διαφανών) ήταν πολύ υψηλός και μάλιστα κατά πολύ μεγαλύτερος από τα όρια που έχει θεσπίσει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ..

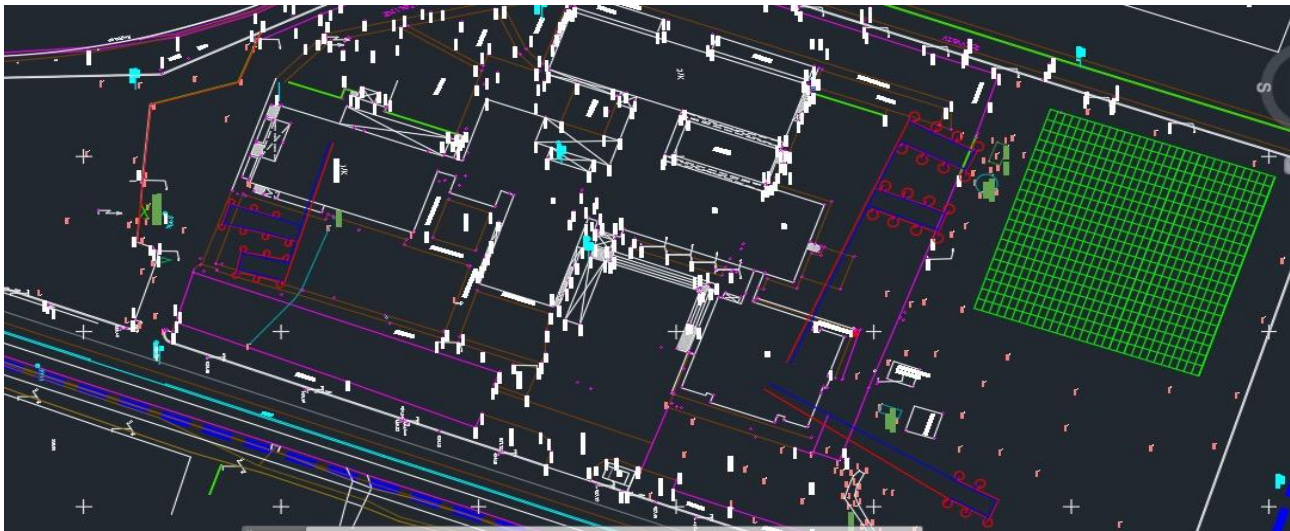
Έτσι το πρώτο βήμα ήταν η κατάλληλη θερμομόνωση του κτιρίου, καθώς αν δεν γινόταν, οποιαδήποτε επέμβαση στο σύστημα θέρμανσης θα ήταν μη συμφέρουσα οικονομικά. Προτάθηκε μόνωση με σκληρές πλάκες πετροβάμβακα για τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία, με ρολό πετροβάμβακα για τα οριζόντια δομικά στοιχεία και αντικατάσταση των διαφανών στοιχείων με θερμοδιακοπτόμενα αλουμινένια πλαίσια και ενεργειακούς υαλοπίνακες. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν εκ νέου τα θερμικά φορτία και διαστασιολογήθηκε το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης.

Λόγω των αντίξωων καιρικών συνθηκών στη Φλώρινα, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, εκμεταλλευόμενες τη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους. Οι αντλίες θα αντικαταστήσουν τους υφιστάμενους λέβητες πετρελαίου και θα χρησιμοποιούν το υπάρχον σύστημα διανομής και τα ίδια τερματικά σώματα. Για να συμβεί αυτό οι αντλίες θα παράγουν ζεστό νερό θερμοκρασίας 65 °C. Παράλληλα μέρος του νερού που θα παράγουν οι αντλίες θα χρησιμοποιείται για να ζεστάνει το νερό δύο δοχείων συνολικού όγκου 1000 λίτρων, για τις ανάγκες του φοιτητικού εστιατορίου. Το συνολικό κόστος ανέρχεται στις 713.713,19 € και η απόσβεση γίνεται μέσα σε 8,56 χρόνια.

Στην πορεία σαν μια πρόταση επιπλέον ενεργειακής αναβάθμισης προτάθηκε η αντικατάσταση των λαμπτήρων της Παιδαγωγικής Σχολής, με νέους λαμπτήρες τύπου LED, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Το κόστος για την συγκεκριμένα επέμβαση ανέρχεται στις 21.104 €, ωστόσο λόγω της πολύ υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος η απόσβεση γίνεται σε μόλις 1,32 χρόνια.

Τέλος, αποφασίστηκε η εγκατάσταση 684 φωτοβολταϊκών πάνελ, ικανών να καλύψουν τις ηλεκτρικές καταναλώσεις των λαμπτήρων LED, των αντλιών θερμότητας αλλά και όλων των ηλεκτρικών συσκευών, όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές κλπ. Για το σκοπό αυτό θα χρειαστεί να δαπανηθούν 205.200,00 €, ενώ για να γίνει η απόσβεση χρειάζεται να περάσει ένα χρονικό διάστημα 4,88 χρόνων.

Η απαιτούμενη έκταση της προτεινόμενης επέμβασης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 7.1). Συγκεκριμένα με κόκκινο και μπλε είναι οι γεωτρήσεις που θα γίνουν για τα τμήματα I,II και το κτίριο Δ, ενώ με πράσινο βλέπουμε την έκταση που θα καταλαμβάνουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, η οποία ανέρχεται στα 3,5 στρέμματα γης. Όσον αφορά τις γεωτρήσεις η μπλε γραμμή δείχνει τους σωλήνες προσαγωγής κρύου νερού, ενώ η κόκκινη τους σωλήνες επιστροφής ζεστού νερού. Οι γεωτρήσεις περιλαμβάνουν τρία πεδία, για τα κτίρια I, III και Δ. Ειδικότερα για το τμήμα I, II θα καταλαμβάνουν έκταση 400 m² έκαστη και βάθος 91,70 m και 90,40 m αντίστοιχα, ενώ για το κτίριο Δ θα χρειαστούν 120 m² και βάθος 89,90 m.



Σχήμα 7.1 Χώρος τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πάνελ και γεωτρήσεων στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.

Συνολικά, για όσα προτείνονται παραπάνω χρειάζεται να δαπανηθεί το ποσό των **940.017,19 €**. Απαιτείται ένα μεγάλο αρχικό κεφάλαιο, όμως μέσα σε 8 περίπου χρόνια, ολόκληρο αυτό το ποσό θα έχει αποσβεστεί και πλέον δεν θα δαπανούνται καθόλου χρήματα για την λειτουργία του Πανεπιστημίου. Επιπλέον θα πρόκειται για ένα «πράσινο» κτίριο, μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς πλέον το 100% των ενεργειακών καταναλώσεων του Πανεπιστημίου θα προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Πέρα από το οικονομικό όφελος, θα είναι μεγάλο και το περιβαλλοντικό όφελος, ιδιαίτερα αν η συγκεκριμένη ενεργειακή αναβάθμιση αποτελέσει παράδειγμα και δώσει κίνητρο και σε άλλα μεγάλα Πανεπιστημιακά Ιδρύματα της χώρας ή κτίρια με μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις να κάνουν στροφή προς τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και σταδιακά στην εξάλειψη της χρήσης ορυκτών καυσίμων.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ξένη βιβλιογραφία

- ASHRAE handbook : Fundamentals (2009)
- Bernier M. , “Bore field sizing : Theory and applications” (Seminar KTH Stockholm 2015)
- Bernier M.; Philippe M.; Marchio D. , “Sizing calculation spreadsheet : Vertical geothermal borefields” (2010)
- Karanaugh S.; Rafferty K. , “Geothermal heating and cooling : Design of ground-source heat pump systems”, ASHRAE (2014)
- Stober I.; Bucher K., “Geothermal energy for theoretical models to exploration and development”, Εκδόσεις Springer (2013)
- Watson A. , “Geothermal engineering : Fundamentals and applications”, Εκδόσεις Springer (2013)

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αποστολίδου Γ. , «Συστήματα αξιοποίησης του εδάφους για θέρμανση-ψύξη κτιρίου», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (2010)
- Αρβανίτης Α. , «Μύθοι και πραγματικότητα για τη γεωθερμία», Κείμενο (2008)
- Ζέζας Ν. , «Γεωθερμικός κλιματισμός κατοικίας- Σύγκριση με μικροσθ και συμβατικά συστήματα», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (2014)
- Κατσαπράκης Δ. , «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας : Γεωθερμία» (Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης)
- Καρέλης Ε. , «Καταγραφή, παρακολούθηση, θερμικής συμπεριφοράς κτιρίου», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (2014)
- Κίτσιος Δ. , «Παραμετροποίηση ενεργειακής συμπεριφοράς κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη», Διπλωματική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2009)
- Παπακώστας Κ.; Τσιλιγκιρίδης Γ.; Κυριάκης Ν.; «Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 ελληνικών πόλεων», Κείμενο (2005)
- Πανάρας Γ. , Σημειώσεις μαθημάτων «Θέρμανση, Ψύξη και Κλιματισμός», «Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων Ι»
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-1/2010
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-2/2010
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-3/2010

- Φιρφίρης Β. , «Σχεδιασμός και απόδοση ηλιακά υποβοηθούμενου συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίου με αβαθή γεωθερμία», Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (2013)
- REHAU, «Βασικές αρχές γεωθερμίας-RAUGEO», Τεχνικό εγχειρίδιο
- REHAU, «VDI 4640», Γερμανικό πρότυπο υπολογισμού μήκους γεωεναλλάκτη

Ιστοσελίδες

- <http://www.amkat.gr/geoheatpumpsmain.htm>
- <http://www.naftemporiki.gr/story/660886/geothermia-mia-terastia-pigi-thermansis-kato-apo-ta-podia-mas>
- <http://www.gaiadrill.gr/el/CNT/ProsCons.aspx>
- <http://www.andrianos.gr/gr/antlies-thermothtas>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump
- <http://www.monachos.gr/forum/0>
- <http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82>
- <http://www.earthrivergeo.com/geothermal-hvac-loop-systems-information.php>
- <https://uowm.gr/>
- <http://www.fibran.gr/frontend/articles.php?cid=84&t=FIBRANgeo>
- <http://www.practikal.gr/products/yalopinakes/energiakoiyalopinakes.html>
- http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/eisxt/ergastirio/04_trives.pdf
- http://49lyk-athin.att.sch.gr/DIANOMH_AKTINOBOLIAS.htm
- <http://www.kalaharigeoenergy.com/geothermal.htm>
- <http://www.thinkgeoenergy.com/cascading-use-of-geothermal-energy-sees-support-in-the-u-s/>
- http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/104216.asp
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wairakei_Geothermal_Power_Station-5834.jpg
- <http://ghpbooks.com/types-of-geothermal-installs/>
- <http://www.reuk.co.uk/wordpress/geothermal/larderello-worlds-first-geothermal-power-station/>
- <http://euanmearns.com/geothermal-energy-in-perspective/>
- <http://renewablegreece.wikispaces.com>
- <https://engineeringissues.wordpress.com>

- <http://www.daigleoil.com/heating-and-cooling/air-exchangers.aspx>
- <http://www.kamui.com.cn/en/pro-view.php?itemNo=9&&id=12>
- <http://www.nipponkuhlers.com/Finned-Tube-Heat-Exchanger.html>
- <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/el/6/64/Aahp.jpg>
- <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/el/e/e2/Awhp.jpg>
- <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/el/4/41/Wwhp.jpg>
- <http://www.monachos.gr/forum/0>
- <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/el/4/43/Graphic1.jpg>
- http://www.tmltd.gr/geotherm/images/horizontal_closed_loop.jpg
- http://www.tmltd.gr/geotherm/images/vertical_closed_loop.jpg
- http://www.tmltd.gr/geotherm/images/open_loop.jpg
- <http://www.panagoulas.com.gr/sites/default/files/geothermia3.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/multiple-well-geothermal-earth-connection-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/standing-water-column-open-loop-geothermal-earth-connection-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/surface-water-geothermal-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/hybrid-geothermal-heating-and-cooling-system-with-cooling-pond.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/hybrid-geothermal-heating-cooling-system-with-cooling-tower.jpg>
- <http://www.panagoulas.com.gr/sites/default/files/hliako-spiti1.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/solar-thermal-collector-hybrid-geothermal-system.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/horizontal-direct-exchange-geothermal-system-diagram.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/closed-loop-geothermal-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/closed-loop-geothermal-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/closed-loop-geothermal-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/closed-loop-geothermal-earth-connection.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/closed-loop-geothermal-earth-connection.jpg>

- <http://www.geotriseis.com/photos/geotriseis-geotrypano.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/vertical-closed-loop-geothermal-systems.jpg>
- <http://www.earthrivergeo.com/img/geothermal-article/geothermal-energy-pilings.jpg>
- http://www.anadrasi.com/photos/antlies_thermotitas/antlies%20thermotitas_5.jpg

