

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΜΗΧ
707

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παραμετρική ανάλυση και βελτιστοποίηση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας
(Γ.Α.Θ.) σε συστήματα κλιματισμού αστικών κτιρίων

Geothermal Heat Pump parameter analysis and optimisation in air-conditioning
systems of urban buildings

Ζήσης Οδυσσέας

Δρακονταειδής Γεράσιμος

Επιβλέπων καθηγητής : Αντώνης Νάζος

Πειραιάς

Νοέμβριος 2012

Περίληψη

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη μιας εγκατάστασης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε συνδυασμό με συστήματα κλιματισμού αστικών κτιρίων, η ανάλυση λειτουργίας της και με ποιες μεθόδους θα μπορούσαμε να αυξήσουμε το βαθμό απόδοσής της. Συγκεκριμένα θα υπολογίσουμε τα θερμικά και ψυκτικά φορτία ενός κτιρίου γραφείων στο Ν.Α διαμέρισμα της Αττικής, έπειτα θα σχεδιάσουμε και θα υπολογίσουμε το δίκτυο σωληνώσεων - γεωεναλλάκτη με σκοπό να επιλέξουμε την κατάλληλη γεωθερμική αντλία για την εγκατάσταση, έπειτα θα προβούμε στην ανάλυση των στοιχείων της Γ.Α.Θ. και των παραμέτρων που καθορίζουν τον βαθμό απόδοσης της. Τέλος θα παραθέσουμε κριτήρια και προτάσεις βελτιστοποίησης του βαθμού απόδοσης και θα αναπτύξουμε τα ενεργειακά και οικονομικά πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα. Στην εποχή που ζούμε με την τιμή του πετρελαίου στα ύψη και την γενικότερη κακή οικονομική κατάσταση της χώρας, η πράσινη ενέργεια είναι ένας τομέας που πρέπει να αξιοποιηθεί. Για τον λόγο αυτό γίνετε και μία οικονομοτεχνική μελέτη της όλης εγκατάστασης για να μπορέσουμε να αποκομίσουμε μία σφαιρική εικόνα για το συνολικό κόστος και για το εάν πρόκειται για μία ελκυστική επένδυση ή όχι. Η εφαρμογή της γεωθερμίας και το πώς θα μπορούσαμε να την κάνουμε πιο ελκυστική και αποδοτική είναι ένα ζήτημα που θα πρέπει να μας απασχολήσει όλους, καθώς πρόκειται για μία πηγή καθαρής ενέργειας με απεριόριστες δυνατότητες.

Abstract

The aim of this study is the installation of geothermal heat pump in combination of air-conditioning systems, the operation analysis and the methods we could increase the coefficient of performance. Especially we are going to estimate the thermal and cooling charges in offices at the north apartment of Attica, also we are going out the pipings and the earth heat exchanger in order to choose the suitable geothermal pump installation. Afterwards we will analysis the geothermal heat pump elements and the parametres which determine the coifficient of performance. Finally we are going to mention the criteria and suggestions to optimize the coifficient of performance. Also we will examine the energetic and economic advantages and drawbacks. Nowadays the financial crisis and the high prices of the petrol will lead the green energy to develop. For this reason we are doing an economical study for the installation in order to acquire the complete report about the total cost and how profitable investment could it be. The implementantion of the geothermal pump and how it could be more profitable is a matter of great importance while is a renewable and potential energy.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	5
1.1 Ορισμός- Στοιχεία θεωρείας	5
1.2 Λειτουργία και τύποι ΓΑΘ	7
1.3 Γεωεναλλάκτες: Είδη και διαφορές	10
1.4 Απόδοση γεωεναλλάκτη	14
1.5 Προυποθέσεις εγκατάστασης	16
1.6 Βασικές αρχές μετάδοση θερμότητας	17
1.7 Συνθήκες ευεξίας	21
1.8 Διάχυση αέρα	22
1.9 Εξαερισμός και διείσδυση αέρα	23
1.10 Ρυθμός ροής αέρα	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	25
2.1 Υπολογισμός φορτίων θέρμανσης και ψύξης με την μέθοδο cltd/scl/clf	25
2.2 Υπολογισμός φορτίων θέρμανσης	30
2.3 Υπολογισμός φορτίων κτιρίου μελέτης	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	56
3.1 Υπολογισμός γεωθερμικής αντλίας	56
3.2 Αξιολόγηση επένδυσης -Συμπεράσματα	67
3.3 Υπολογισμός κόστους	68
3.4 Ποιότητα κατασκευής	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	73
4.1 Παραμετρική ανάλυση και βελτιστοποίηση Γ.Α.Θ. για αύξηση της απόδοσης	73
4.2 Συμπεράσματα	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	79
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	94
ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	109

Εισαγωγή

Η μεγαλύτερη ίσως πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει η σύγχρονη επιστημονική κοινότητα είναι η επίτευξη ενεργειακής οικονομίας και η εξασφάλιση ει δυνατόν περισσότερης ενεργειακής επάρκειας. Σε ό,τι αφορά στον ελληνικό τρόπο προσέγγισης του ζητήματος αυτού, αρκεί να αναφερθεί ότι περισσότερο από το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας αποδίδεται στον κτηριακό κλάδο. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την υπερκατανάλωση τόσο θερμικής (πετρέλαιο) όσο και ηλεκτρικής ενέργειας που οδηγεί σε κατασπατάληση πόρων αλλά και σε δραματική επιβάρυνση του ανθρακικού (ενεργειακού) αποτυπώματος.

Το ενεργειακό αποτύπωμα είναι ένας δείκτης που σχετίζεται με την εκπομπή ρύπων και αναπαριστά την αναλογία που ορίζεται από την ποσότητα παρθένας αδόμητης γης που χρειάζεται ένας χώρος ή ένα κτίριο για να αναπληρώσει την ενέργεια που καταναλώνει (τροφή, παραγωγή ενέργειας, απορρόφηση CO₂). Η εκτεταμένη χρήση κλιματιστικών σε δημόσια και ιδιωτικά αστικά κτήρια είναι υπεύθυνη για ένα μεγάλο ποσοστό επιβάρυνσης του ενεργειακού αποτυπώματος .

Στην προσπάθεια υιοθέτησης πρακτικών που αντισταθμίζουν τις ενεργοβόρες ανθρώπινες δραστηριότητες , ειδικά στον τομέα του κλιματισμού το ενδιαφέρον των μελετητών έχει στραφεί στην ελπιδοφόρα μέθοδο της γεωθερμίας. Γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, κάτω από την επιφάνεια της γης. Η γεωθερμική ενέργεια συνιστά ανανεώσιμη, ήπια, σύμφωνη με τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξη, ενέργεια. Επιπλέον, είναι πλήρως ικανή για να καλύψει τμήμα των ενεργειακών αναγκών καθώς και να συντελέσει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με τις κατευθύνσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Προέρχεται από το εσωτερικό της Γης σε μορφή νερών, ατμών, αερίων ή μειγμάτων αερίων ή ακόμα και ως ενέργεια από τα πετρώματα. Αποτελεί μια σημαντική Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας όσο αφορά την ψύξη και τη θέρμανση. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό δραστηριοτήτων και εφαρμογών ανάλογα με τη θερμοκρασία και την ποιότητα των ρευστών που διακρίνονται σε ηλεκτρικές και άμεσες χρήσεις. Στις άμεσες χρήσεις όπου γίνεται αξιοποίηση της θερμότητας των ρευστών, χωρίς

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται η θέρμανση χώρων (κτιρίων, εγκαταστάσεων), αγροτικές χρήσεις (θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, υπεδάφια θέρμανση, θέρμανση κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων), υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις και λουτροθεραπεία (ιαματικά λουτρά, πισίνες).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε συστήματα κλιματισμού αστικών κτηρίων. Γίνεται προσπάθεια για αξιολόγηση των παραμέτρων βελτιστοποίησης της γεωθερμικής αντλίας που χρησιμοποιείται σε ένα συμβατικό αστικό κτήριο. Η εργασία διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά οι βασικές αρχές της γεωθερμίας. Ο αναγνώστης έρχεται σε επαφή με τους φυσικούς νόμους που την καθορίζουν και εξοικειώνεται με τις διατάξεις που συνοδεύουν για γεωθερμική αντλία θερμότητας και συναποτελούν ένα γεωθερμικό σύστημα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα τυπικό αστικό κτήριο για τα οποίο υπολογίζονται αναλυτικά οι ενεργειακές του ανάγκες, με ιδιαίτερη προσοχή δοθείσα στα ψυκτικά και θερμικά φορτία του. Κατόπιν, διαστασιολογείται η γεωθερμική αντλία θερμότητας και υπολογίζονται οι σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα σχετικά σχέδια.

Στο τρίτο κεφάλαιο επιχειρείται διεξοδική ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για ενίσχυση του βαθμού επίδοσης καθώς και μερικές σκέψεις για ενδεχόμενη μελλοντική μελέτη σε βάθος.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την αξιολόγηση του συστήματος με κριτήρια οικονομοτεχνικά. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθώς και η τοποθέτηση του συγγραφέα σχετικά με τη χρησιμότητα και τα οφέλη αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ- ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

Κάνοντας λόγο για γεωθερμικό δυναμικό γίνεται αναφορά στο σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους είκοσι πέντε βαθμούς Κελσίου (25°C). [1] Γεωθερμικό πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό. Προϊόν του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο. Παραπροϊόντα θεωρούνται άλλα προϊόντα που συμπαράγονται εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του πεδίου. Υποπροϊόν θεωρείται το γεωθερμικό ρευστό που απομένει, ύστερα από την απόληψη των κατά τα ανωτέρω προϊόντων και παραπροϊόντων.

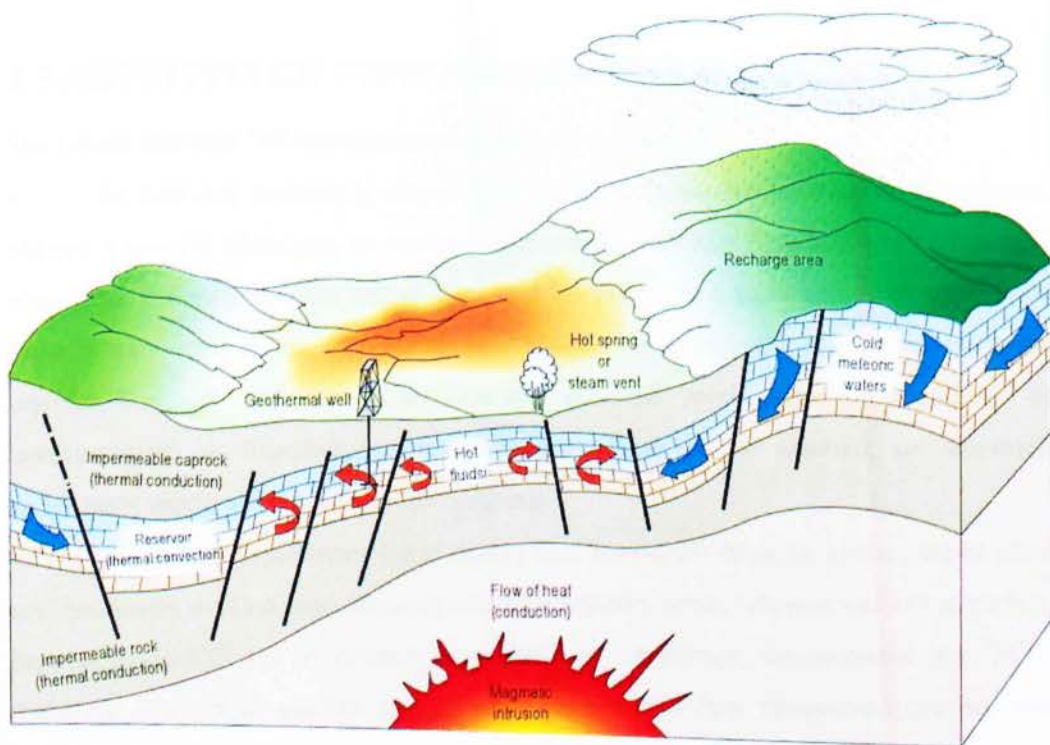
Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- ο **Χαμηλής θερμοκρασίας** όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25°C-90°C.
- ο **Υψηλής θερμοκρασίας** όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90°C Η θερμοκρασία του υπεδάφους, σε βάθος από 5 έως 100 μέτρα , παραμένει σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και κυμαίνεται από 18 έως 22°C .

Οι δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας είναι σε άμεση συνάρτηση με το θερμικό περιεχόμενο (θερμοκρασία) των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

- ο Υψηλής Ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών > 90°C)
- ο Χαμηλής Ενθαλπίας (25°C < θερμοκρασίες ρευστών < 90°C) .

Ομαλή ή αβαθής γεωθερμική ενέργεια καλείται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών, που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά κανόνα μικρότερες από 25°C. Πρόκειται για την αβαθή υπεδαφική θερμότητα, που συνιστά οποία ενέργεια προερχόμενη από το περιβάλλον και συγκεκριμένα , κυρίως στα βάθη των 0-30m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης. Στα βάθη 0-15m το ποσοστό της θερμότητας ηλιακής προέλευσης γίνεται εμφανές, αυξανόμενο καθώς μικραίνει η απόσταση από την εδαφική επιφάνεια και καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. [2]



Ένα γεωθερμικό πεδίο που παράγει ατμό και τα κύρια συστατικά του (Η περιοχή επαναφόρτισης, το μη περατό κάλυμμα, ο ταμιευτήρας ρευστών και η πηγή ενέργειας) [3]

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χαμηλών θερμοκρασιών μπορεί να αξιοποιηθεί με δύο δυνατούς τρόπους : είτε με αξιοποίηση της γεωθερμικής θερμικής ενέργειας αβαθών πετρωμάτων με τη βοήθεια ενός γήινου εναλλάκτη με σειρά αβαθών γεωτρήσεων 50-100 m (δίχως κίνηση ρευστού) , είτε με εκμετάλλευση υπογείων νερών θερμοκρασίας 15-20°C, τα οποία στη συνέχεια και σε ειδικές περιπτώσεις μπορούν να διοχετευθούν εκ νέου σε υπόγειους υδροφορείς, με μικρότερο κόστος συνήθως . [4].

Η αξιοποίηση αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του υπεδάφους ή των υπογείων υδάτων και της επιφάνειας της γης που δηλαδή της εν δυνάμει «ενεργειακής αποθήκης» πραγματοποιείται με τη χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ). Οι αντλίες αυτές εκμεταλλεύονται το ενεργειακό δυναμικό που ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια, κυρίως για θέρμανση χώρων το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι αλλά και για παροχή ζεστού νερού χρήσης .

Το μεγάλο πλεονέκτημα της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες – σε αντιδιαστολή με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Επιπρόσθετα, είναι ανεξάντλητη, ανανεώσιμη και εντελώς καθαρή, χωρίς δηλαδή κρυφές συνέπειες για το περιβάλλον. Η αξιοποίηση της επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός συνδυασμού αντλίας θερμότητας συζευγμένη με γεώτρηση.

Σε ό,τι αφορά τη συμβολή της στην ενεργειακή οικονομία , μετρήσεις δείχνουν ότι εξοικονομεί το 50-70% της ενέργειας που θα καταλάωνε ένα κτήριο που χρησιμοποιεί μόνο συμβατικά μέσα θέρμανσης (πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρισμός κ.λ.π.

Πτυχιακή εργασία: «Παραμετρική ανάλυση και βελτιστοποίηση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (Γ.Α.Θ) σε συστήματα κλιματισμού αστικών κτιρίων».

1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ (ΓΑΘ)

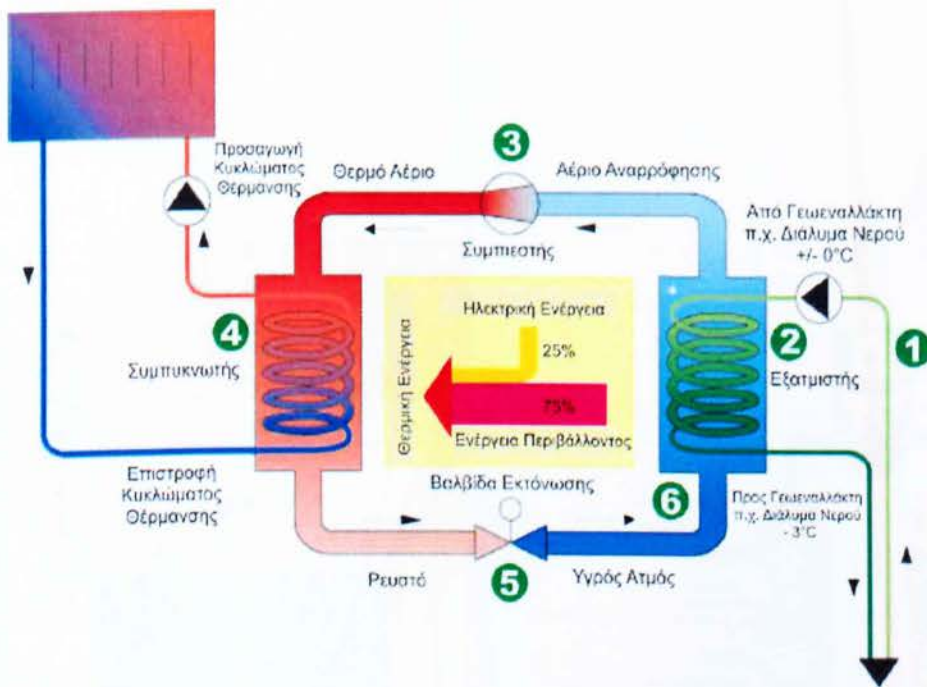
Ένα τυπικό σύστημα ΓΑΘ αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- Το Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (γεωεναλλάκτη θερμότητας, κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος. Ο τύπος του καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τα γεωφυσικά χαρακτηριστικά του χώρου δηλαδή από το μέγεθος του διαθέσιμου ελεύθερου χώρου και από τη σύσταση του υπεδάφους. Ο κάθετος γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και σε περιοχές με αδυναμία πρόσληψης νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα.
- Την αντλία θερμότητας (heat pump) που λειτουργεί όπως οι αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5°C) και τη μεταφέρει σε άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία (π.χ. 25°C). Πρόκειται ουσιαστικά για την καρδιά του συστήματος. Στην πραγματικότητα δεν έχει μεγάλες διαφορές από τις γνωστές μικρές κλιματιστικές συσκευές ακόμη και τα ηλεκτρικά ψυγεία. Αποτελείται από 4 δομικά στοιχεία: τον εξατμιστή, το συμπιεστή, το συμπυκνωτή και το στοιχείο εκτόνωσης.
- Το Σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου, που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coils). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λειτουργούν και με καλοριφέρ.
- Τους ενδεχόμενους αυτοματισμούς που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της εγκατάστασης και για εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής οικονομίας.

Ένα γεωθερμικό σύστημα, αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Περιλαμβάνουν μηχανικές αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το νερό το οποίο προέρχεται από υπόγειες πηγές (κρύες, χλιαρές ή θερμές γεωτρήσεις, εγκαταλειμμένα ορυχεία, κλπ) με θερμοκρασία 10-30°C, επιφανειακές πηγές (λίμνες, ποταμοί, θάλασσα) θερμοκρασίας 5-25°C, γεωτρήσεις με εναλλάκτες θερμότητας, που παράγουν νερό θερμοκρασίας 0-15°C.

Χαρακτηρίζονται από αποδοτικότητα υψηλής ενέργειας με ένα μέσο συντελεστή απόδοσης (COP) 3 για τις εγκατεστημένες μονάδες. COP είναι ο συντελεστής απόδοσης μίας αντλίας θερμότητας και ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας που παράγεται προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι νέες μονάδες έχουν υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (> 4,0).

Οι αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος μπορούν να παράγουν νερό θερμοκρασίας 40-60°C και κατά συνέπεια, συνδυάζονται με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας όπως τις τοπικές μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coils), τη θέρμανση δαπέδων και τις μονάδες τροφοδοσίας αέρα (air handling). Μπορούν επίσης να παρέχουν ψύξη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου για τα θερμότερα κλίματα. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας «εκμεταλλεύεται» τη θερμοκρασία του γεωεναλλάκτη για την εξάτμιση του υγρού ψυκτικού μέσου και κάνοντας χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας τελικά συμπιέζει το αέριο πλέον ψυκτικό μέσο, με σκοπό την ανύψωση τόσο της πίεσης όσο και της θερμοκρασίας του. Η αρχή λειτουργίας είναι ενιαία με αντιστροφή κατά την εναλλαγή των εποχών και προφανώς των αναγκών του κτηρίου.

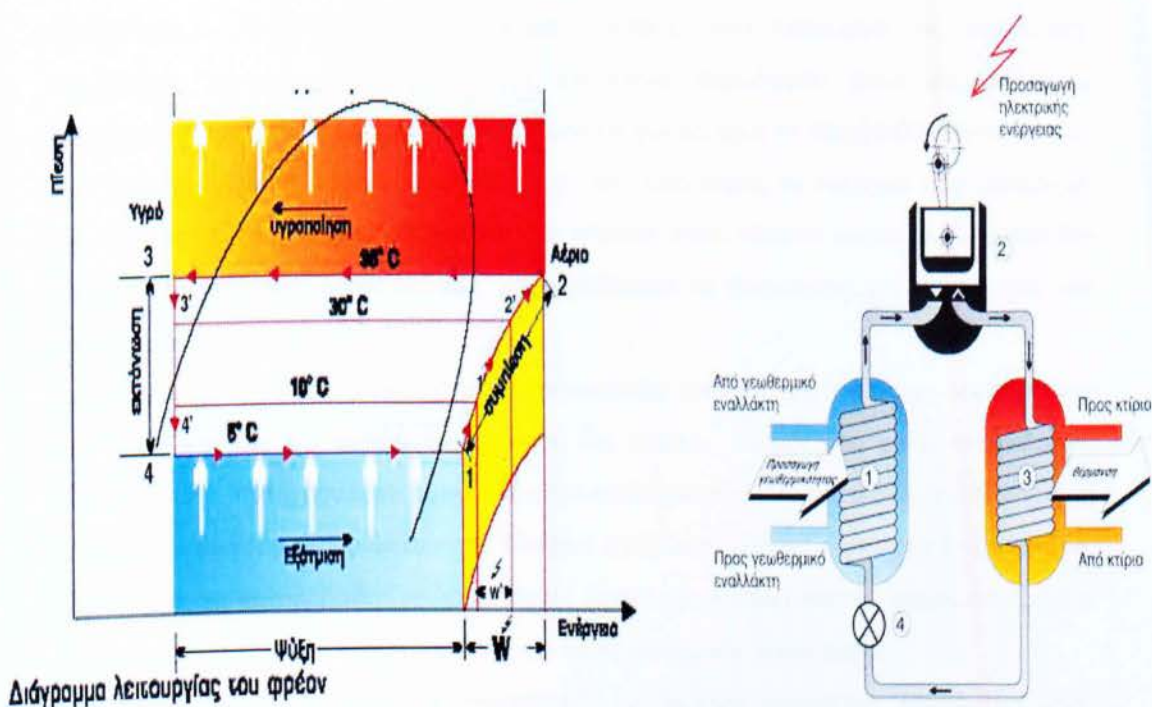


Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Για την ακρίβεια, το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και τη φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου, η οποία αντλεί τη θερμότητα αυτή σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο. Το αέριο ψυκτικό αποδίδει θερμότητα στον κλιματιζόμενο χώρο, όταν έρχεται σε επαφή με το νερό κυκλοφορίας θέρμανσης του κτιρίου, διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας. Το θερμό νερό μεταβιβάζεται στο κτίριο με στόχο τη θέρμανση του, ενώ το υγρό πια ψυκτικό μέσο εκτονώνεται για τη πτώση της πίεσης του. Η επανάληψη του κύκλου δημιουργεί τη συνεχή θέρμανση του κτιρίου.

Αντιστοίχως, κατά την καλοκαιρινή λειτουργία, αντιστρέφεται ο κύκλος του ψυκτικού δια της βαλβίδας αντιστροφής, με αποτέλεσμα το έδαφος να αποτελεί τον αποδέκτη της θερμότητας, ενώ το κτίριο την πηγή ενέργειας. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη. Με άλλα λόγια, το σύστημα ΓΑΘ πραγματοποιεί εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και των εσωτερικών χώρων.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα ΓΑΘ δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή θερμότητας οπότε και δεν ρυπαίνουν καθόλου την ατμόσφαιρα. Πρακτικά καταργείται η χρήση συμβατικών μέσων θερμότητας, δεν χρειάζεται έτσι λεβητοστάσιο και δεξαμενές. Ένα σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο σύστημα ΓΑΘ λειτουργεί με 30% υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από αυτή του καλύτερου συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα.



Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας [7]

1.3 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ: ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

Τα γεωθερμικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την αβαθή γεωθερμική ενέργεια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) κλειστού και β) ανοικτού κυκλώματος.

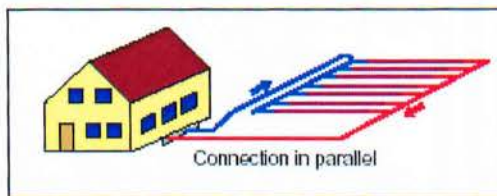
Στα συστήματα κλειστών βρόγχων, νερό ή μίγμα νερού με αντιψυκτικό περιβαλλοντικά ασφαλές, κυκλοφορούν μέσω ενός σωλήνα, απάγουν θερμότητα από ή απορρίπτουν θερμότητα στο έδαφος. Δεν υπάρχει έτσι καμία επαφή μεταξύ του σωλήνα κλειστών βρόγχων και του υπόγειου νερού ή του εδάφους. Τα κλειστά συστήματα διακρίνονται σε οριζόντια, κατακόρυφα και σπειροειδή (Sanner B. 2001, J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellström 2004, Sanner B., Kohlsch O., Rafferty Kevin 2000).

Σε μία οριζόντια εγκατάσταση, οι βρόγχοι του εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να είναι συνδεδεμένοι είτε εν σειρά είτε εν παραλλήλω. Αυτοί οι τύποι χρησιμοποιούνται περισσότερο στη Δυτική και στην Κεντρική Ευρώπη .

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος αποτελούνται από υπόγειο δίκτυο με πλαστικούς – συνήθως- σωλήνες υψηλής αντοχής, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Οι σωλήνες συνδέονται με την αντλία θερμότητας όπου και κλείνει το κύκλωμα στο οποίο κυκλοφορεί διάλυμα νερού με φιλικό προς το περιβάλλον αντιψυκτικό. Ένα κλειστό κύκλωμα συνεχώς επανακυκλοφορεί , υπό πίεση, το διάλυμα που μεταφέρει την θερμότητα. Το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστό και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις για συντήρηση του συστήματος να είναι μικρές. [5]

Το κύκλωμα μπορεί να είναι οριζόντιο ή κατακόρυφο ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των σωλήνων. Για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας είναι απαραίτητος κυκλοφορητής. Υπάρχουν τρεις τύποι κλειστού κυκλώματος γεωεναλλακτών ανάλογα με τη διάταξη του δικτύου σωληνώσεων στο έδαφος: οριζόντιο , κάθετο ή σπειροειδές σύστημα. Παρόλο που οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες έχουν υψηλότερο κόστος χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις λόγω του ότι απαιτείται μικρότερος χώρος.

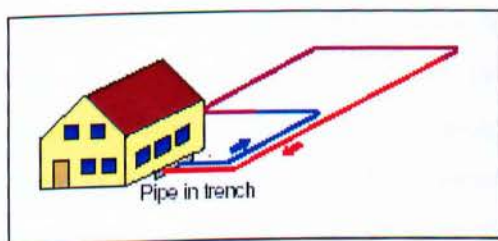
Ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται σε σκάμμα ορισμένης επιφάνειας στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου σε βάθος 1,0-2,5m και με πυκνότητα σωληνώσεων 0,5-0,8m. Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1-2 m, ή και βαθύτερα, αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20-60 cm, η με την μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου των σωληνώσεων, ο χώρος καλύπτεται αρχικά συνήθως με στρώμα άμμου και κατόπιν με το χώμα της εκσκαφής.



Οριζόντια εγκατάσταση των βρόγχων του εναλλάκτη θερμότητας σε συνδεσμολογία εν σειρά (αριστερά) και παράλληλη (δεξιά) . [7]

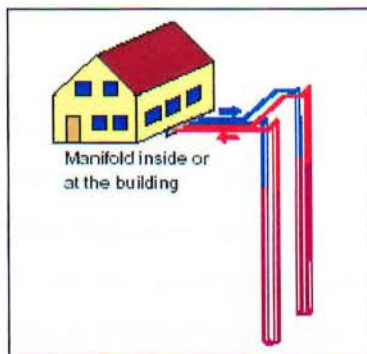
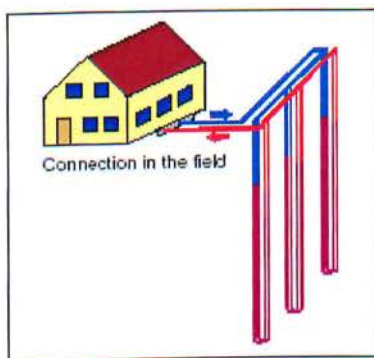
Στο επίπεδο αυτό αναπτύσσεται το οριζόντιο σύστημα αποτελούμενο από κυκλώματα σωλήνων δικτυωμένου πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας μέγιστου μήκους 100m, τα οποία μέσω των επιμέρους συλλεκτών οδηγούνται στην αντλία θερμότητας. Στο οριζόντιο κλειστό γεωθερμικό σύστημα το υπέδαφος λειτουργεί και ως εποχιακή αποθήκη θερμικής και ψυκτικής ενέργειας, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στην υψηλότερη απόδοση της εγκατάστασης.

Μπορεί επίσης να είναι είτε ένας άκαμπτος ή εύκαμπτος σωλήνας, ο οποίος τοποθετείται σε ένα όρυγμα βάθους περίπου 2 μέτρων. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται στη Βόρεια Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική .



Οριζόντια εγκατάσταση όπου ο σωλήνας είναι τοποθετημένος σε όρυγμα [7]

Ο κάθετος γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και σε περιοχές με αδυναμία πρόσληψης νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα. Το πλήθος των γεωτρήσεων είναι συνάρτηση της ισχύος της εγκατάστασης, ενώ η απόδοσή των κατακόρυφων συστημάτων παρουσιάζει σταθερότητα σε όλη τη διάρκεια του έτους. Το στοιχείο εκείνο που διαφοροποιεί τα κάθετα συστήματα είναι η άμεση σχεδόν αποκατάσταση των θερμοκρασιακών διαταραχών του υπεδάφους, οι οποίες προκαλούνται από την εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου του. Σε μία κατακόρυφη εγκατάσταση, ο βρόγχος του εναλλάκτη θερμότητας είναι σωλήνας σχήματος U, ο οποίος τοποθετείται σε μία γεώτρηση βάθους 50 έως 150 μέτρα .



Κατακόρυφη εγκατάσταση των βρόγχων του εναλλάκτη θερμότητας [7]

Σε μία σπειροειδή εγκατάσταση, ο εύκαμπτος σωλήνας σπειροειδούς σχήματος (συχνά αποκαλείται «Slinky») τοποθετείται μέσα σε όρυγμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την απόδοση του επιφανειακού εναλλάκτη θερμότητας κατά 40% .



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

Οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοικτού Κυκλώματος χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα (από λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, γεώτρηση ή τη θάλασσα), ως πηγή θερμότητας - ψύξης και χώρους απόθεσης/επιστροφής του νερού. Αντλούν νερό από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης και ενδιάμεσου εναλλάκτη νερού/νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ της ΓΑΘ και του ανοικτού κυκλώματος, προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα.

Στα συστήματα ανοικτού βρόγχου, το υπόγειο νερό αντλείται από τον 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 μακρόχρονη εμπειρία εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος, δείχνουν ότι η απαραίτητη ικανότητα του συστήματος για αποτελεσματική εναλλαγή θερμότητας είναι γύρω στα 8 με 11 l/(min t). Από τη στιγμή που η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή, τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου , αποτελούν δημοφιλή επιλογή σε περιοχές που επιτρέπεται η εγκατάστασή τους. Παρόλο βέβαια που χρησιμοποιούνται λιγότερο απ' ό,τι τα κλειστού κυκλώματος, μπορεί να αποδειχθούν αρκετά πιο αποδοτικά στον τομέα του κόστους υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το νερό υπάρχει σε αφθονία.

Περιοριστικό βέβαια ρόλο στην εφαρμογή και εγκατάστασή τους έχουν και οι τοπικές περιβαλλοντικές αρχές με τους θεσπισμένους νόμους, κώδικες, διατάγματα καθώς και τις απαιτήσεις αδειοδότησης. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί το γεγονός ότι νερό φτωχό σε ποιότητα μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Για το λόγο αυτό συνιστάται να προηγούνται έλεγχοι του διαθέσιμου νερού σε σκληρότητα, οξύτητα , 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 υδροφορέα. Η μόνη διαφορά που προκύπτει είναι μία 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 φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης να είναι σχεδόν ίδια με την θερμοκρασία του υδροφορέα. Όσον αφορά τις διαστάσεις του φρεατίου, αυτό θα πρέπει να είναι μήκους 85 με 200 περίπου μέτρα ανάλογα βέβαια το μέγιστο ψυκτικό ή θερμικό φορτίο του συστήματος, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου καθώς και από το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφορέα. Εάν δεν ληφθεί η απαραίτητη προσοχή στο συγκεκριμένο παράγοντα σχεδιασμού, τότε μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφορέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών .

Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα. Χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η άντληση και επαναφορά υδάτων –υπογείων ή επιφανειακών- και η θερμική εκμετάλλευση τους . Και σε αυτή την περίπτωση αξιοποιείται η ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα καθ' όλο τον χρόνο ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν. Το νερό αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα -υπέδαφος, θάλασσα, λίμνη ή ποτάμι-, διέρχεται από την αντλία θερμότητας όπου απορροφά ή αποδίδει θερμότητα και κατόπιν επανεισάγεται στην ίδια πηγή. Το γεωθερμικό σύστημα ανοιχτού τύπου είναι οικονομικότερο κατασκευαστικά από τους κλειστούς γεωεναλλάκτες, αλλά ενδείκνυται σε περιοχές με πλούσια υδροφορία και μόνο όταν η κατώτερη στάθμη άντλησης από την γεώτρηση δεν υπερβαίνει τα 50 μέτρα.

Ενδεικτικά ένα σπίτι 280 m² απαιτεί περίπου 30- 50 λίτρα ανά λεπτό παροχής νερού. Οι σωλήνες του εναλλάκτη τοποθετούνται είτε οριζόντια στο έδαφος σε μικρό βάθος (περίπου 2 m), όταν υπάρχει μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια οικοπέδου είτε κατακόρυφα σε μεγάλο βάθος (περίπου 80 με 100m) όπου δεν απαιτείται μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια οικοπέδου.

Η θερμική διαχυτότητα του εδάφους (α_s) αποτελεί μία προσδιορισμένη ιδιότητα προκύπτοντας ως ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας (k_s) και της θερμικής ικανότητας ($\rho_s C_s$). Συνεπώς οι τρεις αυτές ιδιότητες του εδάφους k_s , ρ_s , C_s θα πρέπει ή να είναι εκ των προτέρων γνωστές ή τουλάχιστον να μπορούν να εκτιμηθούν έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης της θερμικής 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, ιλύς) είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα σε άμμο ή άργιλο, η ξηρή πυκνότητα , και η περιεκτικότητα του εξεταζόμενου εδάφους σε υγρασία. Οι ακόλουθες αναλυτικές εξισώσεις εφαρμόζονται στον υπολογισμό των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους βασιζόμενες στην ξηρή πυκνότητα του εδάφους και στην περιεχόμενη υγρασία.

1.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΓΕΩΘΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Ένα σύστημα γεωθεναλλάκτη είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος είναι: [9]

- ο σχεδιασμός συστήματος
- η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- η ποιότητα εγκατάστασης
- το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας , όπως εξάλλου όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης (COP). Ο συντελεστής αυτός υποδηλώνει το ποσοστό παραγόμενης ενέργειας σε σχέση με την καταναλισκόμενη . Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν COP μεταξύ 3 και 5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύστημα, 3-5 μονάδες παρέχονται ως θερμότητα. Τα μεγέθη είναι αποκαλυπτικά : όταν ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300% -500%. !

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

1.5 ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για να εγκατασταθεί ένα σύστημα κλιματισμού με Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας θα πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες εξαρτώνται από τον τύπο του συστήματος. Όσον αφορά τους εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος, απαιτείται ελεύθερη έκταση ανάλογα με το μέγεθος του εναλλάκτη το οποίο καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις θέρμανσης/ψύξης του υποστατικού. Για εναλλάκτες ανοικτού τύπου χρειάζεται κάποια πηγή θερμότητας (π.χ. πηγάδι, λίμνη, γεώτρηση) και ένας χώρος απόρριψης/επιστροφής του νερού μετά την ολοκλήρωση του κύκλου.

Οι θέσεις των κάθετων γεωτρήσεων συστήνεται να απέχουν τουλάχιστο 6 m μεταξύ τους και 3 m από το όριο του τεμαχίου. Για την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας δεν υπάρχουν κάποιες αναγκαίες προϋποθέσεις, αφού το μέγεθος της αντλίας και των εξαρτημάτων της είναι αρκετά μικρότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων. Για το σύστημα μεταφοράς θερμικής ενέργειας από και προς το κτίριο, υπάρχουν κατασκευαστικοί περιορισμοί, οι οποίοι όμως δεν διαφέρουν από οποιονδήποτε άλλο συμβατικό σύστημα.

Όταν επιλεγεί ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης - δροσισμού, η εγκατάσταση προτείνεται να υλοποιείται κατά την κατασκευή του κτιρίου, καθώς το σύστημα ενσωματώνεται στο δάπεδο. Όλες οι λύσεις θα πρέπει να γίνονται πάντοτε σε στενή συνεργασία με τον μελετητή του έργου για αποφυγή προβλημάτων, ειδικά στον ενδοδαπέδιο δροσισμό. [10]

1.6 Βασικές αρχές μετάδοση θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων υγρών, στερεών ή αερίων οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας που έχουν αυτά μεταξύ τους. Αυτή η μετάδοση θερμότητας μπορεί να συμβεί με τρεις τρόπους: α) με αγωγιμότητα, β) με μεταφορά, γ) με ακτινοβολία.

Α) Μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα

Είναι το βασικό σύστημα μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου στερεών. Τα μόρια του σώματος μεταδίδουν τη διέγερσή τους, θερμικής προέλευσης, από το θερμαινόμενο σημείο προς όλα τα άλλα μέρη του σώματος. Η ανταλλαγή θερμότητας με αγωγιμότητα μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση Fourier: [1]

$$\rho C_p \frac{dt}{dT} = \kappa \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right]$$

Όπου T = χρόνος (sec)

t = θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

k = θερμική αγωγιμότητα ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

ρ = πυκνότητα (kg m^{-3})

C_p = ειδική θερμική χωρητικότητα ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

x, y, z = συντεταγμένες στο χώρο ή διαστάσεις

Θερμική αγωγιμότητα είναι το ποσό της θερμότητας που ρέει διαμέσου 1 ft² ομογενούς υλικού 1inch παχύ σε 1 ώρα για κάθε βαθμό διαφοράς της θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Ειδική θερμική χωρητικότητα είναι το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να ανέβει η θερμοκρασία 1 lb (1 kg) υλικού 1 $^{\circ}\text{F}$ ($^{\circ}\text{C}$). Η παραπάνω εξίσωση είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και για τα κτίρια μπορεί να απλοποιηθεί σε μία διάσταση μόνο. Επίσης για τα κτίρια η θερμοκρασία θεωρείται σταθερή σε σχέση με το χρόνο οπότε η εξίσωση απλοποιείται ακόμα περισσότερο και γίνεται :

$$Q = -kA \frac{dt}{dx}$$

Όπου Q = το ποσό της θερμότητας (W) (Btu h^{-1})

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2)

Το μείον στην παραπάνω εξίσωση δηλώνει την μεταφορά της θερμότητας από το σώμα το οποίο έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία σε αυτό που έχει μικρότερη θερμοκρασία. Τυπικές αγωγιμότητες για διάφορα υλικά δίνονται στον πίνακα 2.1.

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί :

$$Q = kA \frac{(t_1 - t_2)}{l}$$

Όπου t_1 = η θερμοκρασία στο ζεστό άκρο του αγωγού ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 = η θερμοκρασία στο κρύο άκρο του αγωγού ($^{\circ}\text{C}$)

l = το μήκος του αγωγού (m)

Σε αναλογία με τον νόμο του Ohm για το ρεύμα έχουμε για την θερμότητα: $Q = \Delta T / R$.

Όπου $R = l / kA$ και ονομάζεται θερμική αντίσταση του υλικού.

Β) Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

Είναι η τυπική μέθοδος μετάδοσης της θερμότητας για ρευστά και αέρια. Εδώ είναι τα ίδια τα μόρια, σε κατάσταση θερμικής διέγερσης, που μετακινούνται διαμέσου του περιβάλλοντος στο οποίο είναι περιορισμένα. Όταν το ρευστό ή το αέριο αναγκάζεται από μια εξωτερική δύναμη όπως μια αντλία ή ένας ανεμιστήρας να κινηθεί τότε έχουμε την τεχνητή μεταφορά θερμότητας, ενώ όταν το υγρό ή το αέριο κινείται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ή της πυκνότητας τότε έχουμε την ελεύθερη ή φυσική μεταφορά θερμότητας. Και οι δύο παραπάνω τρόποι μεταφοράς θερμότητας περιγράφονται από την εξίσωση του Newton:

$$Q = h_c A (t_{\text{surf}} - t_{\text{fluid}})$$

Όπου h_c = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2)

t_{surf} = η θερμοκρασία στην επιφάνεια ($^{\circ}\text{C}$)

t_{fluid} = η θερμοκρασία μακριά από την επιφάνεια ($^{\circ}\text{C}$)

Γ) Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Είναι η μορφή μετάδοσης της θερμότητας διαμέσου ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία είναι παρόμοια με το κύματα φωτός, μόνο που τα κύματα φωτός έχουν υψηλότερη συχνότητα και μικρότερο μήκος κύματος. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μαύρο σώμα, το οποίο είναι ο τέλειος ακτινοβολητής δηλαδή εκπέμπει και λαμβάνει τη μέγιστη

ποσότητα ακτινοβολίας σε οποιοδήποτε μήκος κύματος, δίνεται από την εξίσωση Stefan-Boltzman:[1]

$$Q = \sigma A T^4$$

Όπου σ = σταθερά Stefan-Boltzman ($5,676 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T = απόλυτη θερμοκρασία του μαύρου σώματος (K)

A = το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2)

Σε ένα πραγματικό σώμα η ακτινοβολία θα είναι παρόμοια με αυτή ενός γκριζου σώματος και δίνεται από τον τύπο:

$$Q = \sigma \varepsilon A T^4$$

Όπου ε = ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας (0,9 για τα περισσότερα κτιριακά υλικά).

Η ακτινοβολία που μεταδίδεται μεταξύ δύο επιφανειών 1 και 2 δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{12} = A_1 \sigma F_a F_e (T_1^4 - T_2^4) = h_r A_1 (T_1 - T_2)$$

Όπου F_a = συντελεστής ο οποίος καθορίζεται από την σχετική γεωμετρία των δύο επιφανειών

F_e = συντελεστής ο οποίος καθορίζεται από τις εκπομπές και απορροφητικότητες των δύο επιφανειών

h_r = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)

A_1 = το εμβαδόν της επιφάνειας 1 (m^2)

T_1 = η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας 1 (K)

T_2 = η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας 2 (K)

Συνολική μεταφορά θερμότητας

Στην πραγματικότητα στις περισσότερες περιπτώσεις η μεταφορά θερμότητας οφείλεται σε συνδυασμούς των 3 τρόπων που αναλύθηκαν. Οι θερμικοί συντελεστές μπορούν να συνδυαστούν σε ένα συνολικό συντελεστή ώστε η συνολική μεταφορά θερμότητας να μπορεί να υπολογιστεί από την αρχική και την τελική θερμοκρασία χωρίς να χρειάζεται να μας είναι γνωστές οι ενδιάμεσες θερμοκρασίες.

Σε ένα τοίχο ο οποίο έχει n -στρώματα η ροή της θερμότητας θα είναι κατά αντιστοιχία:

$$Q_k = \frac{T_1 - T_{n+1}}{L_1 / (k_1 A) + L_2 / (k_2 A) + \dots + L_n / (k_n A)}$$

Η ροή της θερμότητας για κάθε ένα από τα επίπεδα μπορεί να γραφεί:

$$Q_k = \frac{k A}{L} \Delta T = \frac{\Delta T}{R}, \quad R = \frac{L}{k A}$$

Όπου R είναι η θερμική αντίσταση του υλικού ($K W^{-1}$).

Η ολική θερμική αντίσταση λόγω αγωγιμότητας ενός τοίχου n -επιπέδων θα είναι το άθροισμα των επιμέρους θερμικών αντιστάσεων:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$Q_i = Q_c + Q_r = h_c A_1 (T_i - T_1) + h_r A_1 (T_i - T_1) = h_i A_1 (T_i - T_1)$$

Όπου h_i είναι ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της εσωτερικής επιφάνειας και ισούται με:

$$h_i = h_c + h_r, \quad W m^{-2} K^{-1}$$

Η θερμική αντίσταση R_i της εσωτερικής επιφάνειας λόγω μετάδοσης της θερμότητας με μεταφορά και ακτινοβολία είναι:

$$R_i = \frac{1}{h_i A_1}, \quad W^{-1} K$$

Αντίστοιχα στην εξωτερική επιφάνεια η ροή της θερμότητας θα είναι:

$$Q_o = h_o A (T_4 - T_o)$$

Όπου h_o είναι ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ($W m^{-2} K^{-1}$)

A το εμβαδόν της επιφάνειας

T_4 η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου

T_o η θερμοκρασία του αέρα εξωτερικά του τοίχου

Επίσης η θερμική αντίσταση R_o της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου είναι:

$$R_o = \frac{1}{h_o A_4}, \quad W^{-1} K$$

Η συνολική θερμότητα Q , μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$Q = Q_i = Q_k = Q_o = U A (T_i - T_o) = \frac{T_i - T_o}{R_T}$$

Όπου U είναι ο συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ($W m^{-2} °C^{-1}$)

A το εμβαδόν της κάθετης επιφάνειας από την οποία διέρχεται η θερμότητα (m^2)

T_i είναι η θερμοκρασία στην εσωτερική μεριά του τοίχου

T_o είναι η θερμοκρασία στην εξωτερική μεριά του τοίχου

R_T η ολική θερμική αντίσταση του τοίχου ($°C W^{-1}$) και ισούται με:

$$R_T = R_i + R_A + R_B + R_C + R_o = \frac{1}{UA}$$

Έτσι η συνολική μεταφορά της θερμότητας Q μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$Q = UA(T_i - T_o)$$

χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουμε τους διάφορους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας καθώς και τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό του τοίχου, παρά μόνο τον συνολικό συντελεστή U και τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό και εξωτερικό μέρος του. Τυπικές τιμές θερμικών ιδιοτήτων για διάφορα κατασκευαστικά υλικά φαίνονται στον πίνακα 2 του παραρτήματος.[1]

1.7 Συνθήκες ευεξίας

Η θερμοϋγρομετρική ευεξία επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα αφαιρείται στην ίδια ποσότητα με την οποία παράγεται. Το άτομο βρίσκεται έτσι σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον. Μια αφαίρεση μεγαλύτερης ποσότητας από αυτήν που παράγεται προκαλεί αίσθηση του κρύου και, αντίθετα μια αφαίρεση μικρότερης ποσότητας από εκείνη που παράγεται προκαλεί αίσθηση ζέστης. Η εξίσωση που εκφράζει την ισορροπία στην θερμική συναλλαγή ανάμεσα στον οργανισμό και το περιβάλλον προτάθηκε από τον Fanger και είναι η εξής:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} \Leftrightarrow M = W + Q_{sk} + Q_{res}$$

Όπου M η ποσότητα θερμότητας που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα ($W m^{-2}$)

W η ποσότητα μηχανικού έργου που παράγεται ($W m^{-2}$)

Q_{sk} η συνολική ποσότητα της θερμότητας που εκχωρείται από την επιδερμίδα ($W m^{-2}$)

Q_{res} η συνολική ποσότητα της θερμότητας που εκχωρείται από την αναπνοή ($W m^{-2}$).

Οι απαιτήσεις θερμοϋγρομετρικής ευεξίας δεν είναι μονοσήμαντες, αλλά επηρεάζονται από το είδος της δραστηριότητας που αναπτύσσουν τα άτομα (για παράδειγμα καθιστική δραστηριότητα, εργασία). Η ένδυση επίσης προσθέτει θερμική αντίσταση στη θερμότητα που ρέει από το δέρμα. Η μονάδα μέτρησης της μόνωσης του ρούχου είναι το “clo”

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1} (0.88 \text{ ft}^2 \text{ }^\circ\text{F Btu}^{-1})$$

1.8 Διάχυση αέρα

Η διάχυση του αέρα είναι ένας από τους βασικούς συντελεστές για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών άνεσης. Ανάμεσα στις κυριότερες αιτίες δυσφορίας του ανθρώπου στο περιβάλλον είναι:

- Η μεγάλη ταχύτητα του αέρα. . Ως ρεύμα αέρα ορίζεται η εντοπισμένη αίσθηση ζέστης ή κρύο, σε μια οποιαδήποτε περιοχή του σώματος, που οφείλονται στην κίνηση και τη θερμοκρασία του αέρα, σε σταθερές συνθήκες σχετικής υγρασίας και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Οι υπερβολικά χαμηλές ταχύτητες του αέρα, από 0,08 m/s και κάτω προκαλούν την αίσθηση του στάσιμου αέρα που είναι εξίσου ενοχλητική και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται. Η ιδανική ταχύτητα του αέρα για την άνεση των ανθρώπων είναι περίπου 0,13 m/s.
- Η ανομοιογενής διανομή της ροής αέρα σε σχέση με τα υπάρχοντα θερμικά φορτία .Η ροή του αέρα πρέπει να κατευθύνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντισταθμίζεται θερμικά φορτία από εντοπισμένες πηγές θερμότητας.
- Οι υπερβολικές αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε κατακόρυφο ή οριζόντιο επίπεδο .Η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα σε έναν χώρο και έναν άλλο έχει καθοριστική σημασία για την άνεση. Συνήθως είναι ανεκτή μια μέγιστη διαφορά 1,5 °C. Στο κατακόρυφο επίπεδο, για άτομα που κάνουν καθιστική εργασία, η διαφορά 2 °C ανάμεσα στο δάπεδο (πόδια) και τη λεκάνη προκαλεί δυσφορία στο 10-20% των περιπτώσεων.
- Η διεύθυνση με την οποία η ροή του αέρα συναντά τα άτομα. Η εμπειρία έχει δείξει ότι επιτυγχάνεται άριστο αποτέλεσμα όταν ο αέρας κατευθύνεται απευθείας προς το πρόσωπο. Αν ο αέρας χτυπά πλευρικά το κεφάλι, η αίσθηση που προκαλείται είναι λιγότερο ευχάριστη και τέλος αν χτυπά τον αυχένα (ακόμα και με αποδεκτές ταχύτητες) δημιουργούνται πολλαπλές συνθήκες δυσφορίας. Μια αργή κίνηση του αέρα προς τα κάτω είναι εν γένει αποδεκτή, ενώ τα ανοδικά ρεύματα είναι πιο ενοχλητικά.

Επίσης η ποιότητα του αέρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των συνθηκών άνεσης σε ένα χώρο. Ο εξωτερικός αέρας που ρέει σε ένα κτίριο χρησιμοποιείται για να απομακρύνει ή να αραιώσει τις συγκεντρώσεις των μολυσμένων αυτών σωματιδίων.

1.9 Εξαερισμός και διείσδυση αέρα

Η ανταλλαγή του αέρα με ένα κτίριο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

α) τον εξαερισμό και β) την διείσδυση.

Α) Εξαερισμός . Ο εξαερισμός είναι η εσκεμμένη εισαγωγή εξωτερικού αέρα στο κτίριο και χωρίζεται σε δύο κατηγορίες στον φυσικό εξαερισμό και τον μηχανικό εξαερισμό. Φυσικός εξαερισμός είναι η σκόπιμη ροή αέρα στο κτίριο μέσα από παράθυρα, πόρτες, γρίλιες και άλλα σχεδιασμένα ανοίγματα του κτιρίου. Μηχανικός εξαερισμός είναι η σκόπιμη ροή αέρα μέσα και έξω από το κτίριο μέσω ανεμιστήρων, και ανοιγμάτων εξαερισμού.

Β) Διείσδυση . Διείσδυση είναι η μη ελεγχόμενη ροή εξωτερικού αέρα στο κτίριο μέσω χαραμάδων και άλλων μη σχεδιασμένων ανοιγμάτων στο κτίριο καθώς και ο αέρας που ρέει από τις εξωτερικές πόρτες.

1.10 Ρυθμός ροής αέρα

Ο ρυθμός ροής αέρα I δίνεται από τον τύπο:

$$I = \frac{Q}{V}$$

Όπου Q είναι η ογκομετρική ροή του αέρα στο χώρο ($m^3 s^{-1}$) και V είναι ο όγκος του χώρου (m^3). Ο ρυθμός ροής αέρα I έχει μονάδες $1/\chi\rho\rho\nu$. Όταν η μονάδα του χρόνου είναι η ώρα h τότε ο ρυθμός ροής αέρα ονομάζεται επίσης αλλαγές αέρα ανά ώρα (ACH Air Changes per Hour). Οι αλλαγές αέρα ανά ώρα για διάφορους χώρους, προκειμένου να διατηρείται η ποιότητα του αέρα καλή και να επικρατούν συνθήκες ευεξίας στο χώρο, φαίνονται στον πίνακα 3. Στον πίνακα δίνονται επίσης και οι ταχύτητες του αέρα οι οποίες είναι αποδεκτές για διάφορους χώρους.

Για να υπολογιστούν τα φορτία σε ένα κτίριο είναι απαραίτητο να είναι γνωστά οι λεπτομέρειες σχεδίασης του κτιρίου και οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Συγκεκριμένα πρέπει να ξέρουμε:

- 1) Χαρακτηριστικά κτιρίου: υλικά κατασκευής, μέγεθος των διαφόρων στοιχείων του, χρώμα των εξωτερικών τοίχων.
- 2) Διαμόρφωση του κτιρίου: η τοποθεσία του, ο προσανατολισμός του, η εξωτερική σκίαση που μπορεί να παρέχεται από γειτονικά κτίρια.
- 3) Εξωτερικές συνθήκες: μελέτη του ιστορικού των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή και επιλογή των εξωτερικών θερμοκρασιών που θα ληφθούν υπόψη κατά την σχεδίαση.
- 4) Εσωτερικές συνθήκες: επιλογή των εσωτερικών συνθηκών όπως εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού, εσωτερική θερμοκρασία υγρού βολβού και ρυθμού εξαερισμού.
- 5) Συνθήκες λειτουργίας: ο αριθμός των ατόμων που θα είναι μέσα στο κτίριο, ο εσωτερικός εξοπλισμός και οι συσκευές που θα υπάρχουν, ο φωτισμός όλοι αυτοί είναι παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό του κλιματισμού. Επίσης αν ο κλιματισμός θα λειτουργεί 24 ώρες ή δεν θα λειτουργεί σε περιόδους που το κτίριο δεν θα απασχολείται (π.χ. τα βράδια ή τα σαββατοκύριακα)
- 6) Ημερομηνία και ώρα: επιλογή της μέρας και ώρας που θα γίνει ο υπολογισμός των φορτίων. Συνήθως πρέπει να αναλυθούν αρκετές διαφορετικές ώρες της ημέρας και αρκετοί μήνες προκειμένου να υπολογιστεί η ώρα αιχμής. Συνήθως η ώρα αιχμής καθορίζεται από το πότε έχουμε την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Υπολογισμός φορτίων θέρμανσης και ψύξης με την μέθοδο *cltd/scl/clf*

Ο υπολογισμός των φορτίων βασίστηκε στη μέθοδο CLTD/SCL/CLF (Cooling Load Temperature Differences/Solar Cooling Load/Cooling Load Factor) η οποία αναπτύχθηκε από τον ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), ο οποίος έδωσε έμφαση σε νέες τεχνικές.

Ο υπολογισμός των φορτίων ψύξης περιλαμβάνει την μεταφορά θερμότητας από :

Εξωτερικούς τοίχους, οροφές, γυάλινες επιφάνειες:

Ο υπολογισμός της θερμότητας δίνεται από τον τύπο :

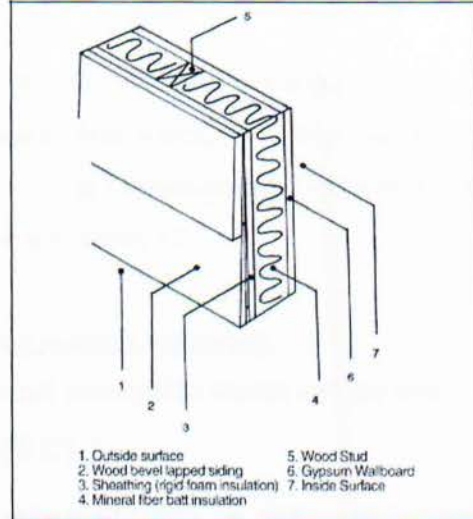
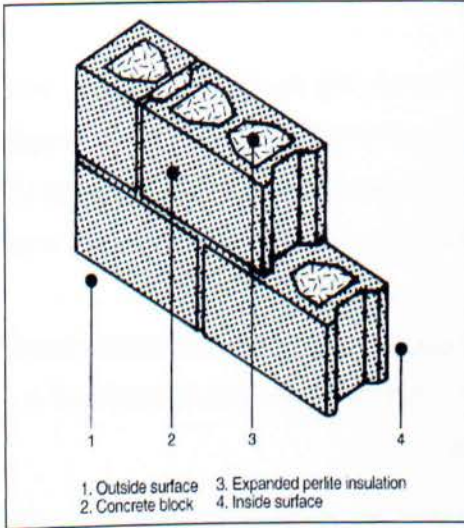
$$Q = U A (C L T D)$$

Όπου U ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της επιφάνειας (τοιχίου, οροφής, παραθύρου) ($Btu\ h^{-1}\ ft^{-2}\ ^\circ F^{-1}$) ($W^2\ m^{-2}\ ^\circ C$), A το εμβαδόν της επιφάνειας (ft^2) (m^2) και CLTD η θερμοκρασιακή διαφορά του φορτίου ψύξης ($^\circ F$) ($^\circ C$)

Στον πίνακα 4 φαίνονται για διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται για οροφές και τοίχους τα θερμικά χαρακτηριστικά τους.

Η μέθοδος CLTD/SCL/CLF χρησιμοποιεί 10 τύπους οροφών. Οι οροφές αυτές είναι αριθμημένες με 1,2,3,4,5,8,9,10,13 και 14. Η εκλογή του τύπου οροφής εξαρτάται από το ποιο είναι το κύριο υλικό της οροφής και που βρίσκεται αυτό στην οροφή (mass location), την θερμική του αντίσταση (R-value) και αν υπάρχει ψευδοροφή ή όχι. Από τον πίνακα 5 του παραρτήματος βλέπουμε πως μπορούμε να προσδιορίσουμε τον τύπο της οροφής ενώ από τον πίνακα Α.1 βλέπουμε για τους 10 τύπους οροφών την αντίστοιχη θερμοκρασιακή διαφορά CLTD για όλο το 24ωρο. Επίσης η μέθοδος CLTD/SCL/CLF χρησιμοποιεί 15 τύπους εξωτερικών τοίχων. Διάφορους τύπους τοίχων βλέπουμε στα σχήματα που ακολουθούν. Οι τοίχοι είναι αριθμημένοι από το 1 μέχρι το 16, με τον αριθμό 8 να αντιστοιχεί στη μη ύπαρξη τοίχου. Η εκλογή του τύπου τοίχου εξαρτάται από το κύριο και το δευτερεύων υλικό του τοίχου, το που βρίσκεται μέσα στον τοίχο αυτό και την θερμική του

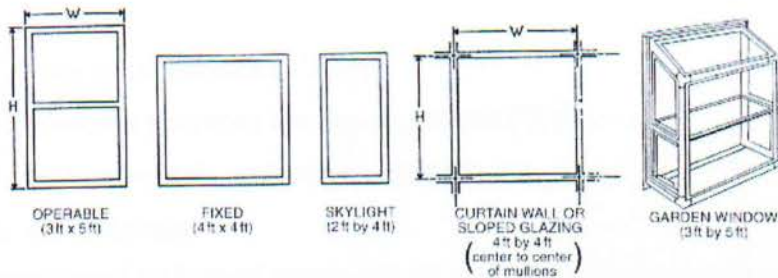
αντίσταση (R-value) βάση του πίνακα 6, ενώ στον πίνακα A.2 βλέπουμε για τους διάφορους τύπους τοίχων την αντίστοιχη θερμοκρασιακή διαφορά CLTD για όλο το 24ωρο.



Οι πίνακες με τις τιμές CLTD έχουν δοθεί από τον ASHRAE και οι τιμές έχουν υπολογιστεί για:

- Εσωτερική θερμοκρασία $T_i = 78 \text{ }^\circ\text{F}$ ($25.6 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία $T_{o,m} = 95 \text{ }^\circ\text{F}$ ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) με μέση ημερήσια θερμοκρασία $T_{\text{mean}} = 85 \text{ }^\circ\text{F}$ ($29.4 \text{ }^\circ\text{C}$) και εξωτερική κυμαινόμενη θερμοκρασία $T_{\text{daily range}} = 21 \text{ }^\circ\text{F}$ ($11.7 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Ηλιακή ακτινοβολία από γεωγραφικό πλάτος 40° την 21 Ιουλίου

Ως μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέγιστη θερμοκρασία σε μια κανονική θερινή περίοδο και όχι η μέγιστη όλων των εποχών, γιατί αυτό θα συντελούσε σε μια υπερεκτίμηση των φορτίων που θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους του κλιματισμού, κατά συνέπεια και του κόστους του, καθώς και την μη ομαλή λειτουργία αυτού καθώς θα υπολειπουργούσε για το μεγαλύτερο διάστημα για το οποίο θα χρησιμοποιείτο. Στον πίνακα 3 είδαμε τις θερμοκρασίες που πρέπει να επικρατούν στο εσωτερικό για διάφορες κατηγορίες κτιρίων. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε διάφορους τύπους παραθύρων.



Στον πίνακα 9 βλέπουμε για μερικούς τύπους παραθύρων και για διάφορους τύπους τζαμιών τους αντίστοιχους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, ενώ στον πίνακα 10 βλέπουμε τις τιμές του συντελεστή CLTD για όλο το 24ωρο οι οποίες έχουν υπολογιστεί με βάση τις εξωτερικές συνθήκες που αναφέραμε προηγουμένως. [2]

Ηλιακή ακτινοβολία που εισέρει στο χώρο μέσα από γυάλινες επιφάνειες:

Η θερμότητα που μεταφέρεται μέσα από την ηλιακή ακτινοβολία δίνεται από τον τύπο :

$$Q = A (SC)(SCL)$$

Όπου A είναι το εμβαδόν της γυάλινης επιφάνειας (ft^2) (m^2), SC είναι ο συντελεστής σκίασης, SCL είναι ο συντελεστής ηλιακού φορτίου ($\text{Btu h}^{-1} \text{ft}^{-2}$).

Ο συντελεστής σκίασης (SC) είναι ένας πολλαπλασιαστής ο οποίος προσαρμόζει τις τιμές του ηλιακού κέρδους για διάφανο γυαλί με τις τιμές για άλλες αποχρώσεις γυαλιού. Τιμές του συντελεστή σκίασης για διάφορα είδη τζαμιού βλέπουμε στον πίνακα A3.

Ο συντελεστής ηλιακού φορτίου (SCL) μας βοηθάει στον πιο ακριβή προσδιορισμό της θερμότητας που μεταδίδεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιούνται 4 τύποι ζωνών για τον προσδιορισμό του συντελεστή (SCL) οι οποίοι αντιστοιχούν στα γράμματα A,B,C,D. Η εκλογή της ζώνης εξαρτάται από τον αριθμό των τοίχων, το κάλυμμα του πατώματος, το σκίαστρο και από άλλους παράγοντες. Στον πίνακα 11 βλέπουμε μερικούς από τους παράγοντες που επηρεάζουν την εκλογή του τύπου ζώνης ενώ στον πίνακα A.4 βλέπουμε για την κάθε ζώνη τον αντίστοιχο συντελεστή SCL για όλη την ημέρα.

Εσωτερικούς τοίχους, ταβάνια, πατώματα:

Ο υπολογισμός της θερμότητας που χάνεται από εσωτερικά χωρίσματα μεταξύ χώρων που κλιματίζονται και χώρων που δεν κλιματίζονται δίνεται από τον τύπο:

$$Q = UA (T_b - T_i)$$

Όπου U είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της επιφάνειας (εσωτερικού τοίχου, πατώματος) ($\text{Btu h}^{-1} \text{ft}^{-2} \text{ } ^\circ\text{F}$) ($\text{W}^2 \text{m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$)

A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας (ft²) (m²)

T_b είναι η θερμοκρασία του χώρου που δεν κλιματίζεται (°F) (°C)

T_i είναι η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου (°F) (°C)

Ανθρώπους μέσα στο κτίριο:

Το αισθητό (sensible) θερμικό φορτίο από τους ανθρώπους δίνεται από την σχέση:

$$Q_{\text{sensible}} = N(\text{Sensible Heat Gain})\text{CLF}$$

Όπου N είναι ο αριθμός των ανθρώπων μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο, (Sensible Heat Gain) είναι το αισθητό θερμικό φορτίο που παράγεται αναλόγως την εργασία που ασκούν οι άνθρωποι στο χώρο, CLF είναι ένας συντελεστής θερμικού φορτίου που εξαρτάται από τις ώρες που απασχολούνται οι άνθρωποι στο κτίριο.

Ως αισθητό (ωφέλιμο) θερμικό φορτίο εννοείται μια αλλαγή στην θερμοκρασία την οποία θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε με ένα κοινό θερμόμετρο. Το λανθάνον (latent) θερμικό φορτίο από τους ανθρώπους δίνεται από την σχέση:

$$Q_{\text{latent}} = N(\text{Latent Heat Gain})$$

Όπου N είναι ο αριθμός των ανθρώπων μέσα στο κλιματιζόμενο χώρο, (Latent Heat Gain) είναι το λανθάνον θερμικό φορτίο που παράγεται από τους ανθρώπους και εξαρτάται από την εργασία που ασκούν.

Ως λανθάνον θερμικό φορτίο εννοείται η θερμότητα η οποία εγκλωβίζεται σε ένα σώμα ή στον αέρα και προκαλεί κάποια αλλαγή στην κατάσταση του χωρίς όμως να αλλάξει η θερμοκρασία του (πχ μια αλλαγή της κατάστασης ενός αερίου σε υγρό και το αντίθετο είναι δραστηριότητες που περιλαμβάνουν λανθάνον θερμότητα).

Στον πίνακα xxx βλέπουμε για διάφορες εργασίες την παραγόμενη αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα. Στον πίνακα A.5 βλέπουμε για τους 4 τύπους ζωνών τον συντελεστή CLF για όλο το 24ωρο.

Φωτισμός:

Το ποσό της θερμότητας από τον φωτισμό δίνεται από την σχέση:

$$Q_L = 3.41 W F_{ul} F_{sa} (\text{CLF})$$

Όπου : W είναι τα συνολικά watt από τις λάμπες,

F_{ul} είναι ο δείκτης αναλογίας των Watt που χρησιμοποιούνται για τις συνθήκες που υπολογίζονται τα φορτία σε σχέση με τα συνολικά εγκατεστημένα Watt

F_{sa} είναι ένας ειδικός συντελεστής για λάμπες φθορισμού ή φωτιστικά τα οποία, είτε αερίζονται, είτε είναι έτσι εγκατεστημένα ώστε ένα μόνο μέρος της θερμότητας τους να εισέρχεται στο κλιματιζόμενο χώρο, CLF είναι ένας συντελεστής θερμικού φορτίου που εξαρτάται από τον τύπο ζώνης και από τις ώρες που λειτουργεί το κτίριο.

Στον πίνακα A.6 βλέπουμε για όλο το 24ωρο και για τους 4 τύπους ζωνών τους αντίστοιχους συντελεστές CLF. Ο συντελεστής F_{ul} είναι το ποσοστό των watt που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τον υπολογισμό των φορτίων προς τα συνολικά watt και παίρνει τιμές μικρότερες της μονάδας. Ο συντελεστής F_{sa} χρησιμοποιείται για φωτιστικά φθορισμού ή για φωτιστικά σώματα τα οποία είτε αερίζονται είτε είναι έτσι εγκατεστημένα ώστε μέρος από τη θερμότητα τους να εγκλωβίζεται στο χώρο. Για φωτιστικά φθορισμού μπορεί να πάρει τιμές από 1,18 έως 2,19. Στον πίνακα 12 βλέπουμε για διάφορες ηλεκτρικές συσκευές την εκτιμώμενη ροή θερμότητας, στον πίνακα 2.2 βλέπουμε τιμές για τους συντελεστές FU, FR, FL και στον πίνακα A.7 βλέπουμε τιμές του συντελεστή CLF για όλο το 24ωρο.

Ηλεκτρικές συσκευές:

Το ποσό της αισθητής θερμότητας που παράγεται από τις ηλεκτρικές συσκευές δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\text{sensible}} = q_{\text{input}} F_U F_R (\text{CLF}) \text{ ή } Q_{\text{sensible}} = q_{\text{input}} F_L (\text{CLF}), F_L = F_U F_R$$

Όπου q_{input} είναι η εκτιμώμενη ενέργεια των συσκευών (Btu h^{-1}),

F_U είναι συντελεστής χρησιμοποίησης,

F_R είναι συντελεστής αναλογίας του θερμικού φορτίου που παράγουν οι συσκευές προς την ηλεκτρική κατανάλωση που κάνουν, CLF είναι ένας συντελεστής θερμικού φορτίου που εξαρτάται από τον τύπο ζώνης και από τις ώρες που λειτουργεί το κτίριο.

Τον εξαερισμό και την διείσδυση αέρα:

Το αισθητό φορτίο λόγω εξαερισμού και εισροής αέρα δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{\text{sensible}} = 1.08 \text{ CFM } (T_o - T_i)$$

Όπου CFM είναι η ποσότητα του αέρα που είναι απαραίτητη για να διατηρούνται στο χώρο συνθήκες ευεξίας ($\text{ft}^3 \text{h}^{-1}$) ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), T_o είναι η εξωτερική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{F}$) ($^{\circ}\text{C}$), T_i είναι η εσωτερική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{F}$) ($^{\circ}\text{C}$)

Το λανθάνον φορτίο δίνεται από την σχέση:

$$Q_{\text{latent}} = 0.68 \text{ CFM} (W_o - W_i)$$

Όπου : W_o είναι η εξωτερική θερμοκρασία υγρού βολβού ($^{\circ}\text{F}$) ($^{\circ}\text{C}$)

W_i είναι η εσωτερική θερμοκρασία υγρού βολβού ($^{\circ}\text{F}$) ($^{\circ}\text{C}$).

Η απαραίτητη ποσότητα φρέσκου αέρα δίνεται από την σχέση:

$$\text{CFM} = \frac{V}{\text{ACH}}$$

Όπου : V είναι ο όγκος του χώρου (ft^3) (m^3) και ACH είναι ο ρυθμός ροής αέρα και επιλέγετε αναλόγως τον χώρο από τον πίνακα 3.[2]

2.2 Υπολογισμός φορτίων θέρμανσης

Ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης είναι παρόμοιος με αυτόν των φορτίων ψύξης, μόνο που τώρα δεν λαμβάνονται υπ' όψιν τα εξής:

- Το θερμικό φορτίο από την ηλιακή ακτινοβολία

Επειδή οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται σε περιόδους που δεν υπάρχει καθόλου ηλιοφάνεια είναι προτιμότερο να μην λαμβάνουμε υπ' όψιν μας το θετικό φορτίο από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τον υπολογισμό των φορτίων.

- Το φορτίο από τις ηλεκτρικές συσκευές

Οι ηλεκτρικές συσκευές είναι πιθανό να μην δουλεύουν όλη την ώρα και το θερμικό τους φορτίο να μην εμφανίζεται όλες τις ώρες της ημέρας. Γι' αυτό το φορτίο τους αγνοείται κατά την μελέτη των φορτίων θέρμανσης.

- Το φορτίο από τον φωτισμό

Δεν υπολογίζεται κατά την μελέτη των φορτίων για τους ίδιους λόγους που δεν υπολογίζεται και το φορτίο από τις ηλεκτρικές συσκευές.

- Το αισθητό θερμικό φορτίο λόγω εξαερισμού και διείσδυσης αέρα

Μόνο το λανθάνον θερμικό φορτίο λαμβάνεται υπ' όψιν ώστε να διατηρείται στο εσωτερικό η επιθυμητή υγρασία που επιβάλουν οι κανονισμοί.

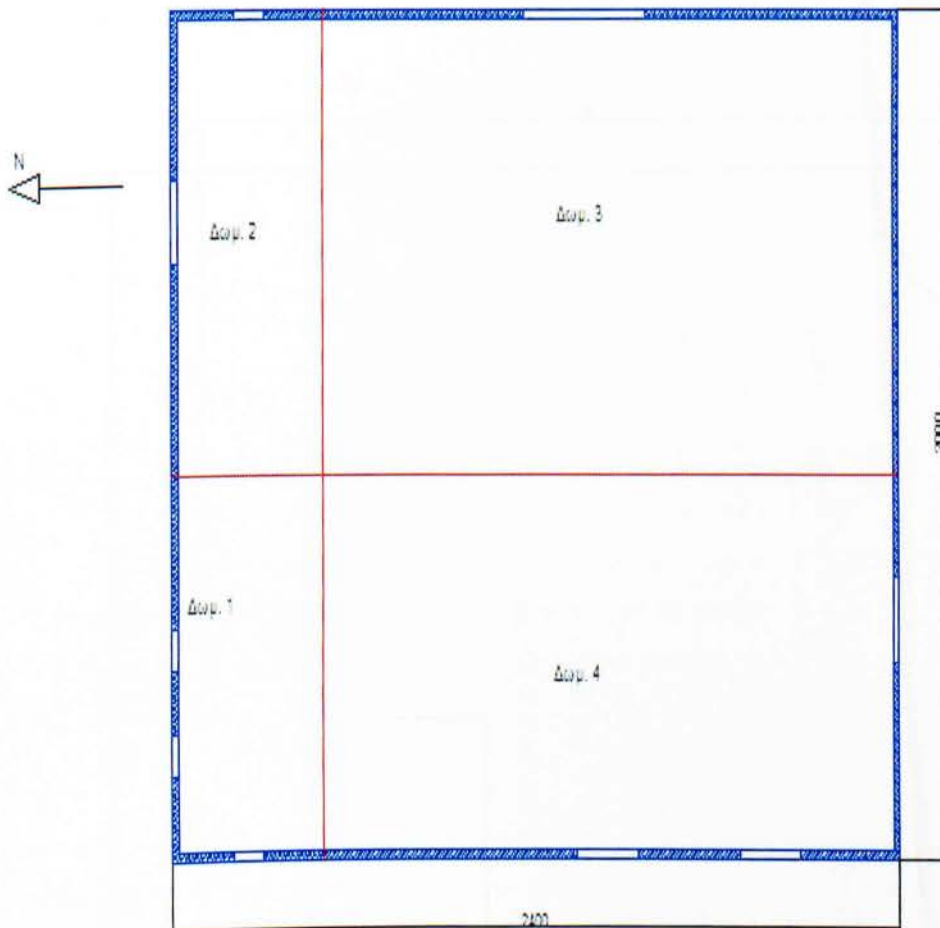
Ο υπολογισμός της θερμότητας δίνεται από τον τύπο :

$$Q = UA (T_i - T_o)$$

Όπου U ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της επιφάνειας (τοιχίου, οροφής, παραθύρου) ($\text{Btu h}^{-1} \text{ft}^{-2} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$) ($\text{W}^2 \text{m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$), A το εμβαδόν της επιφάνειας (ft^2) (m^2), T_i η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό ($^\circ\text{F}$)($^\circ\text{C}$), T_o η εξωτερική θερμοκρασία ($^\circ\text{F}$) ($^\circ\text{C}$)

2.3 Υπολογισμός φορτίων κτιρίου μελέτης

Αντικείμενο της μελέτης είναι κτήριο το οποίο βρίσκεται στην περιοχή του πρώην αεροδρομίου Αθηνών στο Ελληνικό. Πρόκειται για κτίριο το οποίο χρησιμοποιούταν σαν αποθηκευτικός χώρος για το αεροδρόμιο και τώρα το έχει αναλάβει μια εταιρεία με σκοπό να το μετατρέψει σε γραφεία της. Το εμβαδό του οικοπέδου που βρίσκεται το κτίριο αποκτήθηκε μαζί με αυτό από την εταιρεία με σκοπό να γίνει χρήση γεωθερμίας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου. Επίσης η εταιρεία έχει σκοπό δημιουργίας επιπλέον κτιρίων στον χώρο αυτό μελλοντικά όπως επίσης και την αξιοποίηση ενός μέρους του οικοπέδου μελλοντικά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ. Πρόκειται για ισόγειο κτήριο γραφείων στο ΝΑ διαμέρισμα της Αττικής. Το εν λόγω κτήριο γραφείων κατασκευάστηκε το 1995, έχει 4 δωμάτια και είναι μονοόροφο. Τα παράθυρα είναι ανοιγόμενα με κουφώματα αλουμινίου και διπλού υαλοπίνακα. Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από διπλό τούβλο με ενδιάμεση μόνωση. Η οροφή αποτελείται από πλάκα ενισχυμένου σκυροδέματος με εξωτερική μόνωση. Στην εσωτερική πλευρά υπάρχει ψευδοροφή. Παρακάτω ακολουθεί σκαριφηματική απεικόνιση της κάτοψης του κτηρίου αυτού.



(Σημείωση : Στα σκαριφήματα που ακολουθούν, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι εσωτερικοί τοίχοι του κτηρίου, με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι εξωτερικοί τοίχοι και με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα όρια του οικοπέδου. Όλες οι διαστάσεις είναι σε cm.)

Το κτήριο αυτό βρίσκεται τοποθετημένο εντός ενός οικοπέδου με ολικό εμβαδό 8359 m². Στο παρακάτω σκαρίφημα απεικονίζεται το σχήμα και οι διαστάσεις του οικοπέδου, καθώς και η θέση του κτηρίου εντός του:



Το μεγάλο μέγεθος του οικοπέδου αυτού αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την σωστή τοποθέτηση των γεωτρήσεων.

Χρειάζεται καταρχήν να υπολογιστούν τα φορτία θέρμανσης-ψύξης . Οι συνθήκες σχεδιασμού είναι :

Καλοκαίρι

- Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_i = 78 \text{ }^\circ\text{F}$ ($25,55 \text{ }^\circ\text{C}$) και υγρού βολβού $W_i = 64 \text{ }^\circ\text{F}$ ($17,77 \text{ }^\circ\text{C}$) με σχετική υγρασία $rh = 55\%$
- Μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{o,m} = 95 \text{ }^\circ\text{F}$ ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) και υγρού βολβού $W_o = 78 \text{ }^\circ\text{F}$ ($25,55 \text{ }^\circ\text{C}$), με σχετική υγρασία $rh = 47,5\%$, με μέση ημερήσια θερμοκρασία $T_{mean} = 85 \text{ }^\circ\text{F}$ ($29,44 \text{ }^\circ\text{C}$)

Χειμώνα

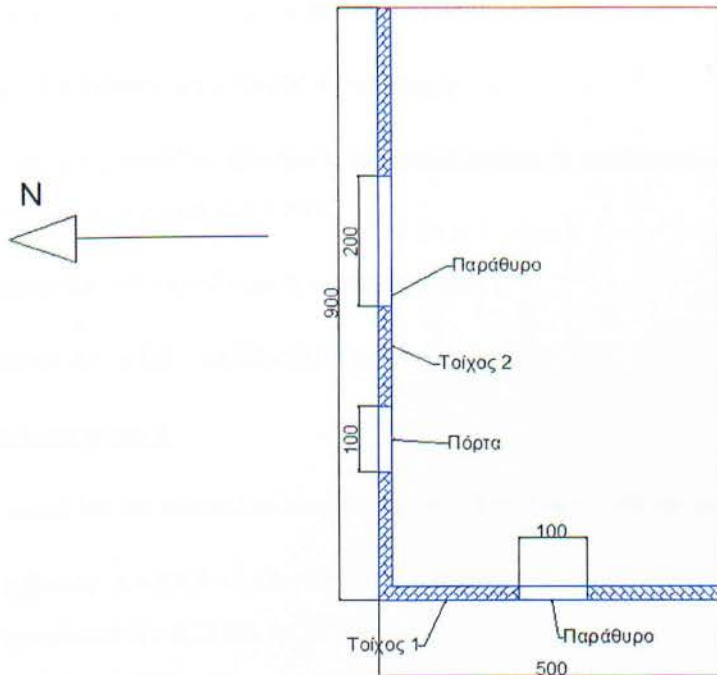
- Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_i = 72 \text{ }^\circ\text{F}$ ($22,22 \text{ }^\circ\text{C}$) και υγρού βολβού $W_i = 52,78 \text{ }^\circ\text{F}$ ($11,54 \text{ }^\circ\text{C}$) με σχετική υγρασία $rh = 25\%$
- Μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού $T_{o,m} = 32 \text{ }^\circ\text{F}$ ($0 \text{ }^\circ\text{C}$) και υγρού βολβού $W_o = 29,14 \text{ }^\circ\text{F}$ ($-1,58 \text{ }^\circ\text{C}$), με σχετική υγρασία $rh = 70$
- Το κτίριο είναι απασχολημένο με κόσμο από τις 8 το πρωί έως τις 6 το απόγευμα.

Οι τοίχοι είναι τύπου 11 και ο ρυθμός ροής αέρα 15 cfm/άτομο για κάθε δωμάτιο .Η αισθητή θερμότητα του κάθε ατόμου ισούται με 250 Btu/h και η λανθάνουσα με 200 Btu/h όπως προκύπτει από τον πίνακα 3.

Δωμάτιο 1

Το πρώτο δωμάτιο έχει 2 εξωτερικούς τοίχους. Έχει μήκος 9m , πλάτος 5m και ύψος 5m . Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζουμε σκαριφηματικά την κάτοψη του δωματίου αυτού:

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ



- Όγκο : $V = 9 \times 5 \times 5 = 225 \text{ m}^3$ (7945,728118 ft^3)
- Εμβαδόν : $A = 9 \times 5 = 45 \text{ m}^2$ (484,373 ft^2)
- Αριθμός ατόμων : $N = 7$
- Η ποσότητα του φρέσκου αέρα που πρέπει να παρέχουμε στο δωμάτιο είναι ίση με $\text{CFM} = N \times 15 = 7 \times 15 = 105 \text{ cfm}$
- Το αισθητό και λανθάνον φορτίο λόγω εξαερισμού και διείσδυσης αέρα είναι:

Το καλοκαίρι

$$Q_{\text{sensible}} = 1,08 \times \text{CFM} \times (T_{o,m} - T_i) = 1,08 \times 105 \times (95 - 78) = 1927,8 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_o - W_i) = 0,68 \times 105 \times (78 - 64) = 999,6 \text{ Btu/h}$$

Το χειμώνα

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_i - W_o) = 0,68 \times 105 \times (52,78 - 29,14) = 1687,896 \text{ Btu/h}$$

- Συντελεστής CLF ατόμων : 0,91

Άρα το αισθητό φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{sensible}} = N \times \text{Sensible Gain} \times \text{CLF} = 7 \times 250 \times 0,91 = 1592,5 \text{ Btu/h}$$

Το λανθάνον φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{latent}} = N \times \text{Latent Gain} = 7 \times 200 = 1400 \text{ Btu/h}$$

- Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές ισούται με 21000 Btu/h
- Συντελεστές $F_u = 0,2$ και $CLF = 0,91$

Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές είναι:

$$Q = 21000 \times F_u \times CLF = 21000 \times 0,2 \times 0,91 = 3822 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 1

Έχει μήκος 5m και πλάτος 5m και είναι δυτικός. Έχει ένα παράθυρο με διαστάσεις 1X1

- Εμβαδόν : $A = 5 \times 5 - 1 \times 1 = 24\text{m}^2$ (258,2016 ft^2)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 29

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 258,2016 \times 0,29 \times (72 - 32) = 2995,13856 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 258,2016 \times 0,29 \times 29 = 2171,475456 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 1m και πλάτος 1m.

- Εμβαδόν : $A = 1 \times 1 = 1\text{m}^2$ (10,763845 ft^2)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 156

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 10,763845 \times 0,56 \times (72 - 32) = 241,1101389 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 10,763845 \times 0,56 \times 14 = 84,3885486 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 10,763845 \times 0,75 \times 156 = 1259,369922 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 84,3885486 + 1259,369922 = 1343,7584706 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 2

Έχει μήκος 9m πλάτος 5m και είναι βόρειος. Έχει ένα παράθυρο με διαστάσεις 2Χ1 και την εξώπορτα του κτηρίου, με διαστάσεις 1Χ2.

- Εμβαδόν : $A = 9 \times 5 - 2 \times 1 - 1 \times 2 = 41\text{m}^2$ (441,31765 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 17

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 441,31765 \times 0,29 \times (72 - 32) = 5119,279 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 441,31765 \times 0,29 \times 17 = 2175,688 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 2m και πλάτος 1m.

- Εμβαδόν : $A = 2 \times 1 = 2\text{m}^2$ (21,52769 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 35

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 21,52769 \times 0,56 \times (72 - 32) = 482,22027 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 21,52769 \times 0,56 \times 14 = 168,77708 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 21,52769 \times 0,75 \times 35 = 565,10188 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 168,77708 + 565,10188 = 733,878968 \text{ Btu/h}$$

Εξώπορτα

Η εξώπορτα είναι κατασκευασμένη από τα ίδια υλικά με τα παράθυρα, είναι δηλαδή με πλαίσιο αλουμινίου και διπλό υαλοπίνακα. Έχει μήκος 1m και πλάτος 2m.

- Εμβαδόν : $A = 1 \times 2 = 2\text{m}^2$ (21,52769 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 35

Το φορτίο της εξώπορτας είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 21,52769 \times 0,56 \times (72 - 32) = 482,22027 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 21,52769 \times 0,56 \times 14 = 168,77708 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 21,52769 \times 0,75 \times 35 = 565,10188 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 168,77708 + 565,10188 = 733,878968 \text{ Btu/h}$$

➤ **Συνολικό φορτίο παραθύρων**

Το χειμώνα

$$Q = 482,22027 + 241,1101389 + 482,22027 = 1205,550679 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 1343,7584706 + 733,878968 + 733,878968 = 2811,516406 \text{ Btu/h}$$

➤ **Συνολικό φορτίο τοίχων**

Το χειμώνα

$$Q = 2995,13856 + 5119,279 = 8114,41756 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 2171,475456 + 2175,688 = 4347,1634 \text{ Btu/h}$$

Φωτισμός

- $E = 500 \text{ LUX}$
- $F_{ul} = 0,65$
- $F_{sa} = 2$
- $CLF = 0,9$
- Το ύψος του επίπεδου εργασίας είναι 0,8m
- $d = 1,35$
- ροή λαμπτήρα 4000 lm
- $\epsilon = H - 0,8 = 5 - 0,8 = 4,2\text{m}$
- $\lambda = 1/5 \epsilon = 0,84\text{m}$
- $h_{\omega\phi} = H - (\lambda + 1) = 5 - (0,84 + 1) = 3,16$
- $K = (0,2 \times l + 0,8 \times b) / h_{\omega\phi} = (0,2 \times 9 + 0,8 \times 5) / 3,16 = 1,835$

Από τον πίνακα για το φωτιστικό σώμα για:

$K = 1,5$ έχουμε $n = 0,35$ και για $K = 2$ $n = 0,42$. Για διαφορά του K 0,5 έχουμε του n 0,07

Για διαφορά του K 0,335 έχουμε $n = (0,07 \times 0,335) / 0,5 = 0,0469$

Οπότε $n = 0,35 + 0,0469 = 0,396$

- $\Phi_{\omega\lambda} = (E \times A \times d) / n = (500 \times 45 \times 1,35) / 0,396 = 76704,5454 \text{ lm}$
- Η ροή του φωτιστικού είναι ίση με : $2 \times 4000 = 8000 \text{ lm}$
- Τα φωτιστικά που χρειαζόμαστε είναι : $N = \Phi_{\omega\lambda} / 8000 = 9,588 = 10$
- Οι σειρές των φωτιστικών που χρειαζόμαστε είναι:

$$N = \sqrt{\frac{N}{b}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10}{5}} = 4,2 \approx 4$$

- Ο αριθμός των φωτιστικών ανά σειρά είναι:

$$N_w = \sqrt{b \frac{N}{l}} = \sqrt{5 \frac{10}{9}} = 2,3 \cong 2$$

- Τα συνολικά Watt των φωτιστικών είναι:

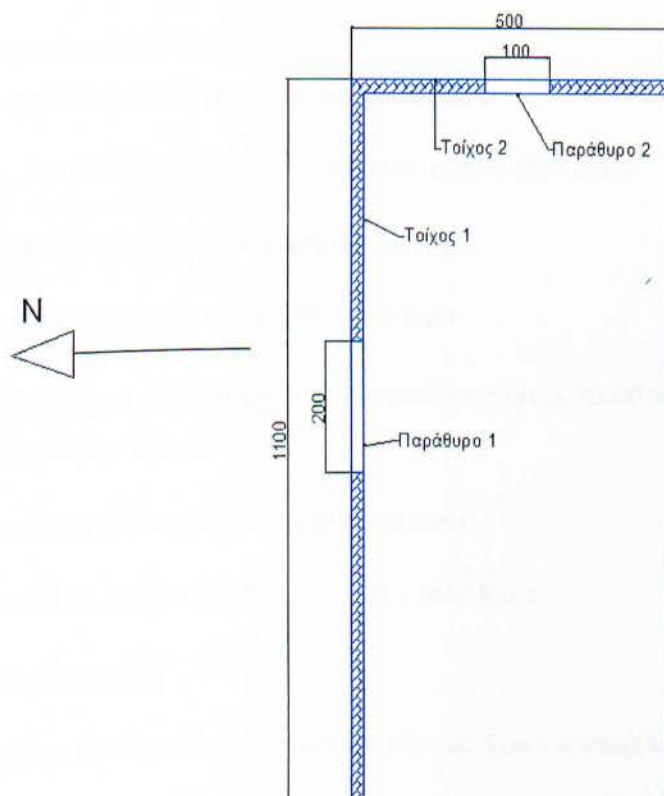
$$W = 2 \times 4 \times 2 \times 24 = 384 \text{ Watt}$$

- Το φορτίο από τα φωτιστικά είναι:

$$Q_L = 3,41 \times 384 \times 0,65 \times 2 \times 0,9 = 1532,0448 \text{ Btu / h}$$

Δωμάτιο 2

Το δεύτερο δωμάτιο έχει 2 εξωτερικούς τοίχους. Έχει μήκος 11m, πλάτος 5m και ύψος 5m. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται μία σκαριφηματική απεικόνιση του δωματίου αυτού:



- Όγκο : $V = 11 \times 5 \times 5 = 275 \text{ m}^3$ (9711,44547872064 ft³)
- Εμβαδόν : $A = 11 \times 5 = 55 \text{ m}^2$ (592,0115 ft²)
- Αριθμός ατόμων : $N = 10$
- Η ποσότητα του φρέσκου αέρα που πρέπει να παρέχουμε στο δωμάτιο είναι ίση με:
CFM = $N \times 15 = 10 \times 15 = 150 \text{ cfm}$

- Το αισθητό και λανθάνον φορτίο λόγω εξαερισμού και διείσδυσης αέρα είναι:
Το καλοκαίρι

$$Q_{\text{sensible}} = 1,08 \times \text{CFM} \times (T_{o,m} - T_i) = 1,08 \times 150 \times (95 - 78) = 2754 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_o - W_i) = 0,68 \times 150 \times (78 - 64) = 1428 \text{ Btu/h}$$

Το χειμώνα

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_i - W_o) = 0,68 \times 150 \times (52,78 - 29,14) = 2411,28 \text{ Btu/h}$$

- Συντελεστής CLF ατόμων : 0,91

Άρα το αισθητό φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{sensible}} = N \times \text{Sensible Gain} \times \text{CLF} = 10 \times 0,91 \times 250 = 2275 \text{ Btu/h}$$

Το λανθάνον φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{latent}} = N \times \text{Latent Gain} = 10 \times 200 = 2000 \text{ Btu/h}$$

- Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές ισούται με 30000 Btu/h
Συντελεστές $F_u = 0,2$ και $\text{CLF} = 0,91$

Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές είναι:

$$Q = 30000 \times F_u \times \text{CLF} = 30000 \times 0,2 \times 0,91 = 5460 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 1

Έχει μήκος 11m και πλάτος 5m και είναι βόρειος. Έχει ένα παράθυρο με διαστάσεις 2X1

- Εμβαδόν : $A = 11 \times 5 - 2 \times 1 = 53 \text{ m}^2$ (570,48381 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 17

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 570,48381 \times 0,29 \times (72 - 32) = 6617,612206 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 570,48381 \times 0,29 \times 17 = 2812,4851833 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 2m και πλάτος 1m.

- Εμβαδόν : $A = 2 \times 1 = 2\text{m}^2$ (21,52769 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 35

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 21,52769 \times 0,56 \times (72 - 32) = 482,220277 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 21,52769 \times 0,56 \times 14 = 168,777089 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 21,52769 \times 0,75 \times 35 = 565,10186 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 168,777089 + 565,10186 = 733,878949$$

Εξωτερικός τοίχος 2

Έχει μήκος 5m, πλάτος 5m και είναι ανατολικός. Έχει ένα παράθυρο με διαστάσεις 1X1

- Εμβαδόν : $A = 5 \times 5 - 1 \times 1 = 24\text{m}^2$ (258,2016 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 31

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 258,2016 \times 0,29 \times (72 - 32) = 2995,13856 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 258,2016 \times 0,29 \times 31 = 2321,232384 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 1m και πλάτος 1m.

- Εμβαδόν : $A = 1 \times 1 = 1\text{m}^2$ (10,763845 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 148

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 10,763845 \times 0,56 \times (72 - 32) = 241,1101389 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 10,763845 \times 0,56 \times 14 = 84,3885486 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 10,763845 \times 0,75 \times 148 = 1194,786795 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 84,3885486 + 1194,786795 = 1279,1753436$$

➤ **Συνολικό φορτίο παραθύρων**

Το χειμώνα

$$Q = 482,22027 + 241,1101389 = 723,3304089 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 733,878949 + 1279,1753436 = 2013,0542926 \text{ Btu/h}$$

➤ Συνολικό φορτίο τοίχων

Το χειμώνα

$$Q = 6617,612206 + 2995,13856 = 9612,750766 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 2812,4851833 + 2321,232384 = 5133,7175673 \text{ Btu/h}$$

Φωτισμός

- $E = 500 \text{ LUX}$
- $F_{ul} = 0,65$
- $F_{sa} = 2$
- $CLF = 0,9$
- Το ύψος του επιπέδου εργασίας είναι 0,8m
- $d = 1,35$
- ροή λαμπτήρα 4000 lm
- $\epsilon = H - 0,8 = 5 - 0,8 = 4,2\text{m}$
- $\lambda = 1/5 \epsilon = 0,84\text{m}$
- $h_{\omega\phi} = H - (\lambda + 1) = 5 - (0,84 + 1) = 3,16$
- $K = (0,2 \times l + 0,8 \times b) / h_{\omega\phi} = (0,2 \times 11 + 0,8 \times 5) / 3,16 = 1,962$

Από τον πίνακα για το φωτιστικό σώμα για:

$$K = 1,5 \text{ έχουμε } n = 0,35 \text{ και για } K = 2 \text{ } n = 0,42$$

Για διαφορά του K 0,5 έχουμε του n 0,07

$$\text{Για διαφορά του } K \text{ } 0,462 \text{ έχουμε } n = (0,07 \times 0,462) / 0,5 = 0,0648$$

$$\text{Οπότε } n = 0,35 + 0,0648 = 0,414$$

- $\Phi_{ολ} = (E \times A \times d) / n = (500 \times 55 \times 1,35) / 0,414 = 89673,913 \text{ lm}$
- Η ροή του φωτιστικού είναι ίση με : $2 \times 4000 = 8000 \text{ lm}$
- Τα φωτιστικά που χρειαζόμαστε είναι : $N = \Phi_{ολ} / 8000 = 11,2 = 11$
- Οι σειρές των φωτιστικών που χρειαζόμαστε είναι:

$$N_L = \sqrt{l \frac{N}{b}} = \sqrt{11 \frac{11}{5}} = 4,919 \cong 5$$

- Ο αριθμός των φωτιστικών ανά σειρά είναι:

$$N_w = \sqrt{b \frac{N}{l}} = \sqrt{5 \frac{11}{11}} = 2,236 \cong 2$$

- Τα συνολικά Watt των φωτιστικών είναι:

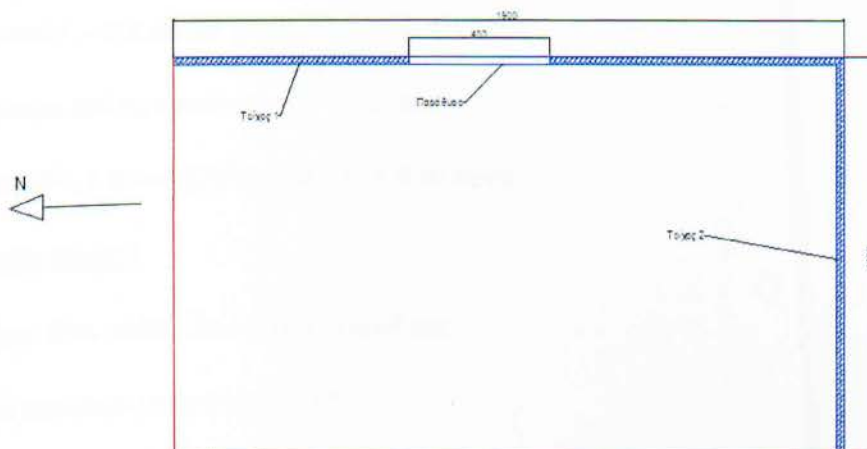
$$W = 2 \times 5 \times 2 \times 24 = 480 \text{ Watt}$$

- Το φορτίο από τα φωτιστικά είναι:

$$Q_L = 3,41 \times 480 \times 0,65 \times 2 \times 0,9 = 1915,056 \text{ Btu / h}$$

Δωμάτιο 3

Έχει 2 εξωτερικούς τοίχους Έχει μήκος 19m, πλάτος 11m και ύψος 5m. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται μία σκαριφηματική απεικόνιση του δωματίου:



- Όγκο : $V = 19 \times 11 \times 5 = 1045 \text{ m}^3$ (36903,492819 ft^3)
- Εμβαδόν : $A = 19 \times 11 = 209 \text{ m}^2$ (2249,6437 ft^2)
- Αριθμός ατόμων : $N = 15$
- Η ποσότητα του φρέσκου αέρα που πρέπει να παρέχουμε στο δωμάτιο είναι ίση με:
 $\text{CFM} = N \times 15 = 15 \times 15 = 225 \text{ cfm}$

- Το αισθητό και λανθάνον φορτίο λόγω εξαερισμού και διεύδυσης αέρα είναι:

Το καλοκαίρι

$$Q_{\text{sensible}} = 1,08 \times \text{CFM} \times (T_{o,m} - T_i) = 1,08 \times 225 \times (95 - 78) = 4131 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_o - W_i) = 0,68 \times 225 \times (78 - 64) = 2142 \text{ Btu/h}$$

Το χειμώνα

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_i - W_o) = 0,68 \times 225 \times (52,78 - 29,14) = 3616,92 \text{ Btu/h}$$

- Συντελεστής CLF ατόμων : 0,91

Άρα το αισθητό φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{sensible}} = N \times \text{Sensible Gain} \times \text{CLF} = 15 \times 0,91 \times 250 = 3412,5 \text{ Btu/h}$$

Το λανθάνον φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{latent}} = N \times \text{Latent Gain} = 15 \times 200 = 3000 \text{ Btu/h}$$

- Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές ισούται με 50000 Btu/h
Συντελεστές $F_u = 0,2$ και $\text{CLF} = 0,91$

Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές είναι:

$$Q = 50000 \times F_u \times \text{CLF} = 50000 \times 0,2 \times 0,91 = 9100 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 1

Έχει μήκος 19m, πλάτος 5m και είναι ανατολικός.

Έχει ένα παράθυρο με διαστάσεις 4Χ2

- Εμβαδόν : $A = 19 \times 5 - 4 \times 2 = 87\text{m}^2$ (936,45455 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 31

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 936,45455 \times 0,29 \times (72 - 32) = 10862,87286 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times \text{CLTD} = 936,45455 \times 0,29 \times 31 = 8418,7264 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 4m και πλάτος 2m.

- Εμβαδόν : $A = 4 \times 2 = 8\text{m}^2 (86,11076 \text{ ft}^2)$
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 148

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 86,11076 \times 0,56 \times (72 - 32) = 1928,88111 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times \text{CLTD} = 86,11076 \times 0,56 \times 14 = 675,108389 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times \text{SC} \times \text{SCL} = 86,11076 \times 0,75 \times 148 = 9558,29479 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 675,108389 + 9558,29479 = 10233,403179 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 2

Έχει μήκος 11m, πλάτος 5m και είναι νότιος.

- Εμβαδόν : $A = 11 \times 5 = 55\text{m}^2 (592,011501 \text{ ft}^2)$
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 27

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 592,011501 \times 0,29 \times (72 - 32) = 6867,33342 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times \text{CLTD} = 592,011501 \times 0,29 \times 27 = 4635,45 \text{ Btu/h}$$

➤ **Συνολικό φορτίο παραθύρων**

Το χειμώνα

$$Q = 1928,88111 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 10233,403179 \text{ Btu/h}$$

➤ **Συνολικό φορτίο τοίχων**

Το χειμώνα

$$Q = 10862,87286 + 6867,33342 = 17730,20628 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 8418,7264 + 4635,45 = 13054,1764 \text{ Btu/h}$$

Φωτισμός

- $E = 500 \text{ LUX}$
- $F_{ul} = 0,65$
- $F_{sa} = 2$
- $CLF = 0,9$
- Το ύψος του επίπεδου εργασίας είναι 0,8m
- $d = 1,35$
- ροή λαμπτήρα 5100 lm
- $\epsilon = H - 0,8 = 5 - 0,8 = 4,2\text{m}$
- $\lambda = 1/5 \epsilon = 0,84\text{m}$
- $h_{\omega\phi} = H - (\lambda + 1) = 5 - (0,84 + 1) = 3,16$
- $K = (0,2 \times I + 0,8 \times b) / h_{\omega\phi} = (0,2 \times 19 + 0,8 \times 11) / 3,16 = 3,987$

Από τον πίνακα για το φωτιστικό σώμα για:

$$K = 3 \text{ έχουμε } n = 0,5 \text{ και για } K = 4 \text{ } n = 0,55$$

Για διαφορά του K 1 έχουμε του n 0,05

$$\text{Για διαφορά του } K \text{ } 0,987 \text{ έχουμε } n = (0,05 \times 0,987) / 1 = 0,04935$$

$$\text{Οπότε } n = 0,5 + 0,4935 = 0,54935$$

- $\Phi_{ολ} = (E \times A \times d) / n = (500 \times 209 \times 1,35) / 0,54935 = 256803,495 \text{ lm}$
- Η ροή του φωτιστικού είναι ίση με : $2 \times 5100 = 10200 \text{ lm}$
- Τα φωτιστικά που χρειαζόμαστε είναι : $N = \Phi_{ολ} / 10200 = 25,17 = 25$
- Οι σειρές των φωτιστικών που χρειαζόμαστε είναι:

$$N_L = \sqrt{l \frac{N}{b}} = \sqrt{19 \frac{25}{11}} = 6,571 \cong 7$$

- Ο αριθμός των φωτιστικών ανά σειρά είναι:

$$N_w = \sqrt{b \frac{N}{l}} = \sqrt{11 \frac{25}{19}} = 3,804 \cong 4$$

- Τα συνολικά Watt των φωτιστικών είναι:

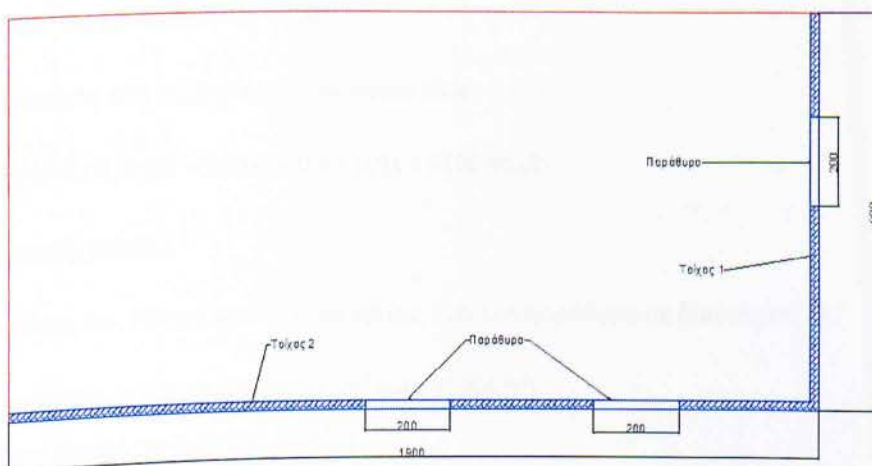
$$W = 7 \times 4 \times 2 \times 24 = 1344 \text{ Watt}$$

- Το φορτίο από τα φωτιστικά είναι:

$$Q_L = 3,41 \times 1344 \times 0,65 \times 2 \times 0,9 = 5362,156 \text{ Btu/h}$$

Δωμάτιο 4

Έχει 2 εξωτερικούς τοίχους. Έχει μήκος 19m, πλάτος 9m και ύψος 5m. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται μία σκαριφηματική απεικόνιση του δωματίου:



- Όγκο : $V = 19 \times 9 \times 5 = 855 \text{ m}^3$ (30193,76685 ft^3)
- Εμβαδόν : $A = 19 \times 9 = 171 \text{ m}^2$ (1840,6175 ft^2)
- Αριθμός ατόμων : $N = 15$
- Η ποσότητα του φρέσκου αέρα που πρέπει να παρέχουμε στο δωμάτιο είναι ίση με:
CFM = $N \times 15 = 15 \times 15 = 225 \text{ cfm}$

• Το αισθητό και λανθάνον φορτίο λόγω εξαερισμού και διεύδυσης αέρα είναι:
Το καλοκαίρι

$$Q_{\text{sensible}} = 1,08 \times \text{CFM} \times (T_{o,m} - T_i) = 1,08 \times 225 \times (95 - 78) = 4131 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_o - W_i) = 0,68 \times 225 \times (78 - 64) = 2142 \text{ Btu/h}$$

Το χειμώνα

$$Q_{\text{latent}} = 0,68 \times \text{CFM} \times (W_i - W_o) = 0,68 \times 225 \times (52,78 - 29,14) = 3616,92 \text{ Btu/h}$$

- Συντελεστής CLF ατόμων : 0,91

Άρα το αισθητό φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{sensible}} = N \times \text{Sensible Gain} \times \text{CLF} = 15 \times 0,91 \times 250 = 3412,5 \text{ Btu/h}$$

Το λανθάνον φορτίο από τους ανθρώπους είναι :

$$Q_{\text{latent}} = N \times \text{Latent Gain} = 15 \times 200 = 3000 \text{ Btu/h}$$

- Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές ισούται με 50000 Btu/h
Συντελεστές $F_u = 0,2$ και $\text{CLF} = 0,91$

Η θερμότητα από τις ηλεκτρικές συσκευές είναι:

$$Q = 50000 \times F_u \times \text{CLF} = 50000 \times 0,2 \times 0,91 = 9100 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 1

Έχει μήκος 9m, πλάτος 5m και είναι νότιος. Έχει ένα παράθυρο με διαστάσεις 2X2

- Εμβαδόν : $A = 9 \times 5 - 2 \times 2 = 41 \text{ m}^2$ (441,31766 ft^2)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή $\text{CLTD} = 27$

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 441,31766 \times 0,29 \times (72 - 32) = 5119,2849 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 441,31766 \times 0,29 \times 27 = 3455,51731 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 2m και πλάτος 2m.

- Εμβαδόν : $A = 2 \times 2 = 4\text{m}^2$ (43,05538 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 79

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 43,05538 \times 0,56 \times (72 - 32) = 964,4405 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 43,05538 \times 0,56 \times 14 = 337,5541 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 43,05538 \times 0,75 \times 79 = 2551,03138 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 337,5541 + 2551,03138 = 2888,58548 \text{ Btu/h}$$

Εξωτερικός τοίχος 2

Έχει μήκος 19m, πλάτος 5m και είναι δυτικός με δύο παράθυρα με διαστάσεις 2X2 και 2X2

- Εμβαδόν : $A = 19 \times 5 - 2 \times 2 - 2 \times 2 = 87\text{m}^2$ (936,45455 ft²)
- Συντελεστή $U = 0,29 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 28

Το φορτίο του τοίχου είναι:

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 936,45455 \times 0,29 \times (72 - 32) = 10862,87286 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 936,45455 \times 0,29 \times 28 = 7604,010946 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 1

Το παράθυρο έχει μήκος 2m και πλάτος 2m.

- Εμβαδόν : $A = 2 \times 2 = 4\text{m}^2$ ($43,055381 \text{ ft}^2$)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 156

Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 43,055381 \times 0,56 \times (72 - 32) = 964,44055 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 43,055381 \times 0,56 \times 14 = 337,55419 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 43,055381 \times 0,75 \times 156 = 5037,47968 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 337,55419 + 5037,47968 = 5375,03387 \text{ Btu/h}$$

Παράθυρο 2

Το παράθυρο έχει μήκος 2m και πλάτος 2m.

- Εμβαδόν : $A = 2 \times 2 = 4\text{m}^2$ ($43,055381 \text{ ft}^2$)
- Συντελεστή $U = 0,56 \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 14
- Συντελεστή SC = 0,75
- Συντελεστή SCL = 156
- Το φορτίο του παραθύρου είναι :

Το χειμώνα

$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 43,055381 \times 0,56 \times (72 - 32) = 964,44055 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 43,055381 \times 0,56 \times 14 = 337,55419 \text{ Btu/h}$$

$$Q = A \times SC \times SCL = 43,055381 \times 0,75 \times 156 = 5037,47968 \text{ Btu/h}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 337,55419 + 5037,47968 = 5375,03387 \text{ Btu/h}$$

➤ **Συνολικό φορτίο παραθύρων**

Το χειμώνα

$$Q = 964,4405 + 964,44055 + 964,44055 = 2893,3215 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 2888,58548 + 5375,03387 + 5375,03387 = 13638,65322 \text{ Btu/h}$$

➤ **Συνολικό φορτίο τοίχων**

Το χειμώνα

$$Q = 5119,2849 + 10862,87286 = 15982,15776 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = 3455,51731 + 7604,010946 = 11059,528256 \text{ Btu/h}$$

Φωτισμός

- $E = 500 \text{ LUX}$
- $F_{ul} = 0,65$
- $F_{sa} = 2$
- $CLF = 0,9$
- Το ύψος του επίπεδου εργασίας είναι 0,8m
- $d = 1,35$
- ροή λαμπτήρα 5100 lm
- $\epsilon = H - 0,8 = 5 - 0,8 = 4,2\text{m}$
- $\lambda = 1/5 \epsilon = 0,84\text{m}$

- $h_{\omega\phi} = H - (\lambda + 1) = 5 - (0,84 + 1) = 3,16$
- $K = (0,2 \times l + 0,8 \times b) / h_{\omega\phi} = (0,2 \times 19 + 0,8 \times 9) / 3,16 = 3,481$

Από τον πίνακα για το φωτιστικό σώμα για:

$K = 3$ έχουμε $n = 0,5$ και για $K = 4$ $n = 0,55$

Για διαφορά του K 1 έχουμε του n 0,05

Για διαφορά του K 0,481 έχουμε $n = (0,05 \times 0,481) / 1 = 0,024$

Οπότε $n = 0,5 + 0,024 = 0,524$

- $\Phi_{\text{ολ}} = (E \times A \times d) / n = (500 \times 171 \times 1,35) / 0,524 = 220276,7175 \text{ lm}$
- Η ροή του φωτιστικού είναι ίση με : $2 \times 5100 = 10200 \text{ lm}$
- Τα φωτιστικά που χρειαζόμαστε είναι : $N = \Phi_{\text{ολ}} / 10200 = 21,595 = 22$
- Οι σειρές των φωτιστικών που χρειαζόμαστε είναι:

$$N_L = \sqrt{l \frac{N}{b}} = \sqrt{19 \frac{22}{9}} = 6,815 \cong 7$$

- Ο αριθμός των φωτιστικών ανά σειρά είναι:

$$N_w = \sqrt{b \frac{N}{l}} = \sqrt{9 \frac{22}{19}} = 3,228 \cong 3$$

- Τα συνολικά Watt των φωτιστικών είναι:

$$W = 7 \times 3 \times 2 \times 24 = 1008 \text{ Watt}$$

- Το φορτίο από τα φωτιστικά είναι:

$$Q_L = 3,41 \times 1008 \times 0,65 \times 2 \times 0,9 = 4021,617 \text{ Btu / h}$$

Οροφή

Η οροφή του κτηρίου είναι τύπου 5, κατασκευασμένη από πλάκα μπετόν με εξωτερική μόνωση και έχει ψευδοροφή στο εσωτερικό.

- Εμβαδόν : $A = 24 \times 20 = 240 \text{ m}^2$ (2579,9546 ft^2)
- Συντελεστή $U = 0,04 \text{ Btu / h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
- Συντελεστή CLTD = 27

Το φορτίο της οροφής είναι:

Το χειμώνα

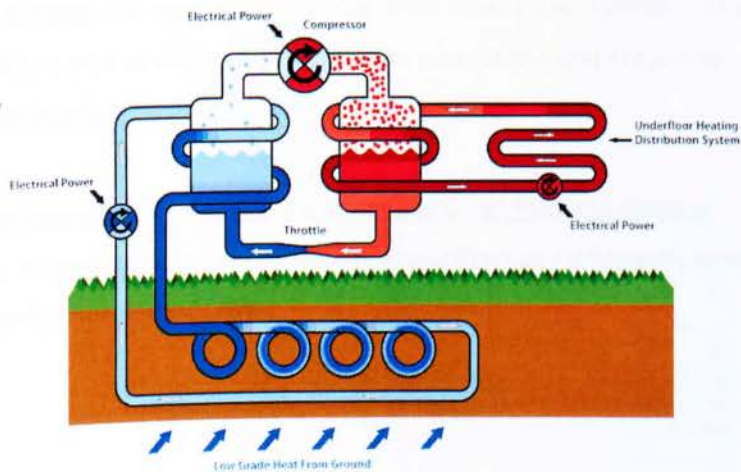
$$Q = A \times U \times (T_i - T_o) = 2579,9546 \times 0,04 \times (72 - 32) = 4127,92736 \text{ Btu/h}$$

Το καλοκαίρι

$$Q = A \times U \times CLTD = 2579,9546 \times 0,04 \times 27 = 2786,3509 \text{ Btu/h}$$

Συνοψίζοντας:

	Ψυκτικά Φορτία	Θερμικά Φορτία
Δωμάτιο 1	18434,52	11009,39
Δωμάτιο 2	22980	13472,21
Δωμάτιο 3	23279,01	50435,24
Δωμάτιο 4	50505,3	20897,87
Οροφή	2786,35	4127,92
Σύνολο (Btu/h):	117985,18	99942,63
Σύνολο (kW):	34,5696577	29,28319



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Υπολογισμός γεωθερμικής αντλίας

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου αυτού με Γεωθερμική αντλία θερμότητας περιλαμβάνει σαν πρώτο βήμα τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους των γεωτρήσεων που θα χρειαστούν. Για τον υπολογισμό αυτό εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE [9]. Έτσι ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας ροής θερμότητας στο έδαφος θα γίνει βάσει του τύπου:

$$q_a = \frac{C_{fc} * q_{lc} * EFL\ Hours_C + C_{fh} * q_{lh} * EFL\ Hours_h}{8760\ Hours}$$

Όπου: $l_c q$ και $l_h q$ το ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτιρίου αντίστοιχα σε BTU/h HOURS EFL οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης $f_c C$ και $f_h C$ διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα, όπως φαίνονται και στο πίνακα 2.3 .

Χρειάζεται να ορίσουμε τις ισοδύναμες ώρες (EFL Hours) σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης. Αυτές ορίζονται περίπου σε 1000 ώρες ετησίως. Έτσι έχουμε $EFL\ Hours_c = EFL\ Hours_h = 1000$ h. Στον τύπο αυτό εισάγεται το θερμικό φορτίο του κτιρίου q_{lh} [Btu/h] όπως και το ψυκτικό φορτίο q_{lc} [Btu/h]. Η αντλία που επιλέγεται για αυτές τις ανάγκες είναι η AUREA2-30H με στοιχεία: $P_c = 33$ kW και $P_h = 28$ kW είναι η **AGEO 0-36 kW**. [6] Οι διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} , C_{fh} σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές COP και EER αντίστοιχα. Οι τιμές τους δίδονται στον πίνακα της ASHRAE. Έτσι μετά τους υπολογισμούς έχουμε το εξής αποτέλεσμα για τη μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος: **$q = -6447,3671$ Btu/h.**

Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους Γεώτρησης Βάσει του Ψυκτικού Φορτίου

Ο σωλήνας, το ρευστοκόκκιο και το έδαφος περιορίζουν με τις θερμικές αντιστάσεις τους την ενεργειακή μετακίνηση ως εξής :

$$Q_c = \Lambda \frac{t_g - t_w}{R}$$

Όπου Q_c είναι το φορτίο θερμότητας (Btu/hr) , L είναι το μήκος των σωλήνων (ft) , t_g είναι η επίγεια θερμοκρασία ($^{\circ}F$) , t_w είναι η θερμοκρασία του ρευστού ($^{\circ}F$) και R είναι η θερμική αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας (hr-ft- $^{\circ}F$ / Btu).

Η πρόκληση στο σχεδιασμό των βρόχων είναι ότι η επίγεια θερμοκρασία δεν μένει σταθερή. Για τους οριζόντιους βρόχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά με τον καιρό. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως, ο ίδιος ο βρόχος επηρεάζει την επίγεια θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό για τον σχεδιασμό των βρόχων, είναι σύνηθες να σπαστούν τα αποτελέσματα σε τρία μέρη [3]:

A. Μακροπρόθεσμη Επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά την διάρκεια πολλών ετών. Εάν το κτήριο έχει ένα καθαρό κέρδος θερμότητας ή μια καθαρή απώλεια θερμότητας, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει. Όσο πιο πυκνά τοποθετημένες είναι οι γεωτρήσεις, τόσο μεγαλύτερη η επίδραση. Το νερό του εδάφους που κινείται μέσω του πεδίου των γεωτρήσεων μπορεί να βοηθήσει στην αφαίρεση της ενέργειας και να περιορίσει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας. Στις εμπορικές εφαρμογές, η επίγεια θερμοκρασία γενικά αυξάνεται. Ένα παράδειγμα της μακροπρόθεσμης επίδρασης θα ήταν μια μέση άνοδος της επίγειας θερμοκρασίας κατά $6^{\circ}F$ στα 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται στο τομέα των γεωτρήσεων. Η ποινική ρήτρα δεν θα παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους, αλλά η συγκέντρωση θερμότητας θα αλλάξει την απόδοση του συστήματος με την πάροδο του χρόνου.

B. Ετήσια Επίδραση. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει , και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση. Είναι αυτή η επίδραση «σφονδύλων» που μπορεί να αναγκάσει να εμφανιστεί η θερμότερη θερμοκρασία επίγειων βρόχων αφότου έχει εμφανιστεί το μέγιστο φορτίο.

Γ. Βραχυπρόθεσμη Επίδραση. Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα. Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.

Επομένως οι 3 αυτές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα που μπορούν να προκύψουν κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων. Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίστασης R_{ga} (ετήσια), R_{gm} (μηνιαία), και R_{gd} (καθημερινή) , που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς. Επίσης η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για την γεώτρηση βασίζεται και στην

εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή t_p [99]. Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και συνδέεται τόσο με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος όσο και με την απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων. Αν εξετάσουμε πχ ένα σχολείο και ένα νοσοκομείο, και τα δύο με το ίδιο φορτίο σχεδιασμού πχ 200 τόνων, το γεγονός ότι το νοσοκομείο λειτουργεί επί εικοσιτετραώρου βάσεως το κάνει να κινεί πολύ περισσότερη ενέργεια προς και από τον τομέα των γεωτρήσεων από ότι το σχολείο που λειτουργεί 8 ώρες. Επίσης ένα στενό πεδίο γεωτρήσεων περιορίζει την δυνατότητα του πεδίου να διαλύσει την θερμότητα.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της ASHRAE που παρουσιάζεται παρακάτω γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή t_p . Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fg} \cdot q_{lc}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

Όπου:

R_{ga}, R_{gm}, R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε h·ft·°F/Btu)

R_b : θερμική αντίσταση σωλήνωσης (σε h·ft·°F/Btu)

PLF_m : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

F_{sc} : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

t_g : η θερμοκρασία του εδάφους (σε °F)

t_{wi} : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_{wo} : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από την γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_p : διορθωτικός συντελεστής για την θερμοκρασία λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε °F)

Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστούν οι θερμικές αντιστάσεις καθώς και οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους. Σύμφωνα με τους Carslaw και Jaeger όσο αφορά τις ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις έχουμε ότι εκτός από την εξωτερική διάμετρο των σωληνώσεων, ο χρόνος

λειτουργίας και η διάχυση θερμότητας του εδάφους σχετίζονται με τον αδιάστατο αριθμό Fourier:

$$F_0 = \frac{4 \times a_g \times r}{d^2}$$

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων για διάφορους θερμικούς χρονικούς παλμούς. Ακολουθώντας το παράδειγμα που παρατίθεται στην βιβλιογραφία της ASHRAE μοντελοποιούμε το σύστημά μας σε τρεις τέτοιους παλμούς και έχουμε:

A. Έναν δεκαετή παλμό των 3650 ημερών , q_a

B. Έναν μηνιαίο παλμό των 30 ημερών , q_m

Γ. Έναν 6ωρο παλμό των 25% της ημέρας

Αυτοί οι τρεις χρόνοι (σε μονάδες ημερών) ορίζονται ως εξής:

$$r_1 = 3650$$

$$r_2 = 3650 + 30 = 3680$$

$$r_3 = 3680 + 0.25 = 3680.25$$

Ο υπολογισμός του αριθμού Fourier για τον κάθε παλμό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$F_{01} = \frac{4 \times a \times (r_f - r_1)}{d^2} \quad F_{02} = \frac{4 \times a \times (r_f - r_2)}{d^2} \quad F_{0f} = \frac{4 \times a \times r_1}{d^2}$$

Ο υπολογισμός των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{K_g} \quad R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{K_g} \quad R_{gd} = \frac{G_2}{K_g}$$

Ο συντελεστής $G = 0,0769 \ln(F_0) + 0,0901$, που αντιστοιχεί σε κάθε αριθμό Fourier εξάγεται από το διάγραμμα 3.1

Για τις θερμοκρασιακές ιδιότητες του εδάφους (θερμική αγωγιμότητα kg [Btu/h ft °F] και θερμική διαχυτότητα α [ft²/day]) γίνεται χρήση του πίνακα 3.1.

Σύμφωνα με την μεθοδολογία ο αριθμός των γεωτρήσεων θα είναι περίπου ίδιος με το εκάστοτε φορτίο μετρούμενο σε ψυκτικούς τόνους. Όπου 1 R.T (ψυκτικός τόνος) = 3,5169 kw. Στην περίπτωση μας θα έχουμε ψυκτικό φορτίο ίσο περίπου με 10 τόνους , οπότε θα χρειαστούμε 10 γεωτρήσεις . Η απόσταση των γεωτρήσεων επιλέγεται να είναι 15 ft

(4,57m), έχουμε περίπου ισοδύναμες ώρες ψύξης και θέρμανσης, η θερμοκρασία του εδάφους είναι $t_g=60^\circ\text{F}$, η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού κατά την διαδικασία ψύξης είναι 85°F και το k_g του εδάφους είναι 1. Έτσι επιλέγεται από τον πίνακα 3.2 ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας $t_p=4,7^\circ\text{F}$.

Για να υπολογίσουμε το βάθος της γεώτρησης χρειαζόμαστε ακόμα την διάμετρο των σωληνώσεων που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και τις ιδιότητες του υλικού με το οποίο θα γεμίσουμε την γεώτρηση μετά την εγκατάσταση των σωληνώσεων. Με την βοήθεια των πινάκων του βιβλίου της ASHRAE βλέπε πίνακες 3.3, 3.4 επιλέγεται σωλήνωση σχήματος U από πολυαιθυλένιο, ονομαστικής διαμέτρου $1\frac{1}{2}\text{ in}$, δηλαδή εξωτερικής διαμέτρου $d_{out}=1,9\text{in}=0,04826\text{m}=0,1583\text{ft}$ και εσωτερικής διαμέτρου $d_{in}=1,554\text{ in}=0,03947\text{ m}$, δηλαδή ονομαστικής διαμέτρου $1\frac{1}{2}\text{ in}$ με SDR 11. Επίσης βρίσκεται ότι το υλικό πλήρωσης της γεώτρησης έχει θερμική αγωγιμότητα $k=1.1-1,7\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}\cdot\text{F}^\circ$ (οι τιμωμεντοενέσεις είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για την επίχωση). [4]

Το υλικό πλήρωσης παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Τα κενά αέρα ή ο χωρισμός πρέπει να αποφευχθούν δεδομένου ότι ο αέρας είναι ένας φυσικός μονωτής. Το ρευστοκονίαμα είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για επίχωση. Μπορεί να σφραγίσει τη γεώτρηση από την διείσδυση νερού επιφάνειας. Το τυποποιημένο ρευστοκονίαμα έχει πραγματικά μια φτωχή αγωγιμότητα, έτσι η διάμετρος των τρυπών πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (διάμετρος περίπου 5 in) ώστε να περιοριστεί η επιρροή του ρευστοκονιάματος. Τα ενισχυμένα ρευστοκονιάματα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση γεωτρήσεων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερες ή τις πιο ρηχές γεωτρήσεις. Εντούτοις, είναι δαπανηρότερα.

Για να υπολογίσουμε το βάθος της γεώτρησης χρειαζόμαστε ακόμα την διάμετρο των σωληνώσεων που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και τις ιδιότητες του υλικού με το οποίο θα γεμίσουμε την γεώτρηση μετά την εγκατάσταση των σωληνώσεων. Με την βοήθεια των πινάκων (3.3 και 3.4) του βιβλίου της ASHRAE επιλέγεται σωλήνωση σχήματος U από πολυαιθυλένιο, ονομαστικής διαμέτρου $1\frac{1}{2}\text{ in}$, δηλαδή εξωτερικής διαμέτρου $d_{out}=1,9\text{in}=0,04826\text{m}=0,1583\text{ft}$ και εσωτερικής διαμέτρου $d_{in}=1,554\text{ in}=0,03947\text{ m}$, δηλαδή ονομαστικής διαμέτρου $1\frac{1}{2}\text{ in}$ με SDR 11. Επίσης βρίσκεται ότι το υλικό πλήρωσης της γεώτρησης έχει θερμική αγωγιμότητα $k=1.1-1,7\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}\cdot\text{F}^\circ$ (οι τιμωμεντοενέσεις είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για την επίχωση). [4]

Το υλικό πλήρωσης παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Τα κενά αέρα ή ο χωρισμός πρέπει να αποφευχθούν δεδομένου ότι ο αέρας είναι ένας φυσικός μονωτής. Το ρευστοκονίαμα είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για επίχωση. Μπορεί να σφραγίσει τη γεώτρηση από την διείσδυση νερού επιφάνειας. Το τυποποιημένο ρευστοκονίαμα έχει πραγματικά μια φτωχή αγωγιμότητα, έτσι η διάμετρος των τρυπών πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (διάμετρος περίπου 5 in) ώστε να περιοριστεί η επιρροή του ρευστοκονιάματος. Τα ενισχυμένα ρευστοκονιάματα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση γεωτρήσεων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερες ή τις πιο ρηχές γεωτρήσεις. Εντούτοις, είναι δαπανηρότερα.

Έτσι η θερμική αντίσταση της σωλήνωσης σύμφωνα με τους πίνακες είναι $R_b=0,13$ h·ft·°F/Btu. Όσο αφορά τον μηνιαίο συντελεστή μερικού φορτίου αυτός υπολογίζεται σε $PLF_m=12,22\%=0,1222$, από την σχέση:

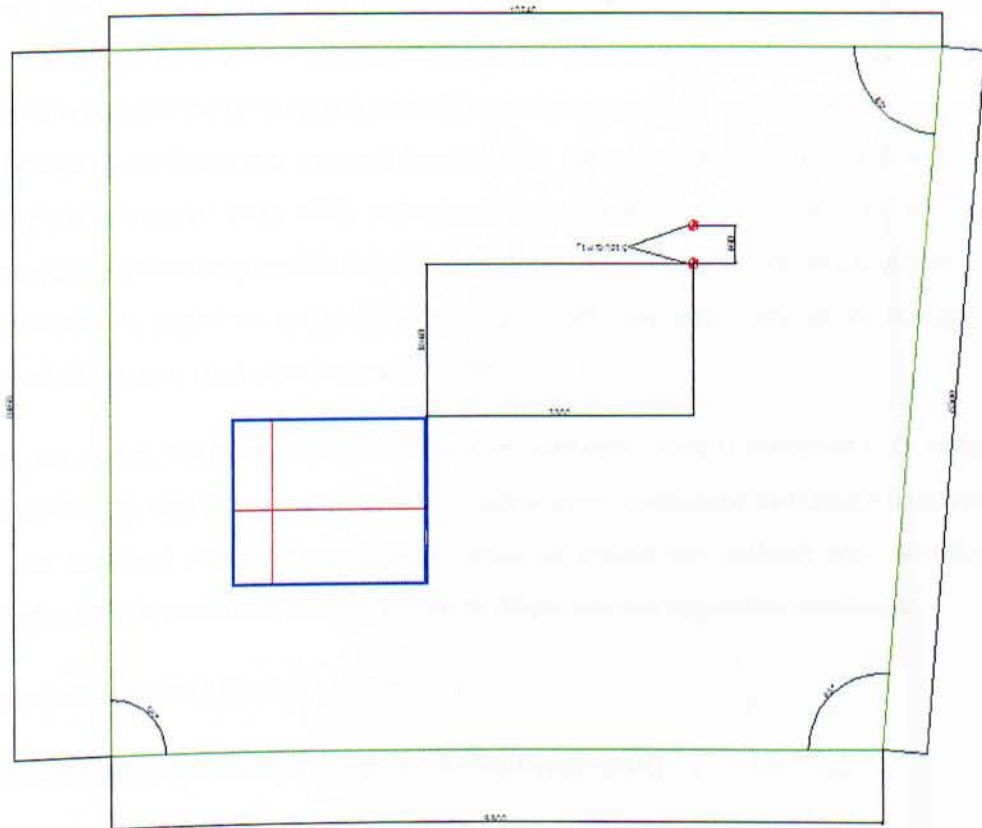
$$PLF_m = \left(\frac{\Phi_{\text{ΟΡΤΙΟ}} \cdot \text{ΩΡΕΣ_ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ}}{\text{ΜΕΓΙΣΤΟ_}\Phi_{\text{ΟΡΤΙΟ}} \cdot 24\text{H}} \right) \times \left(\frac{\text{ΜΕΡΕΣ_ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ_ΑΝΑ_ΜΗΝΑ}}{\text{ΜΕΡΕΣ_ΤΟΥ_ΜΗΝΑ}} \right)$$

Ειδικότερα, η αντλία δε θα λειτουργεί κατά τη διάρκεια της νύχτας δηλαδή το 50% του χρόνου. Κατά τις υπόλοιπες 12 ώρες θεωρούμε ότι η αντλία λειτουργεί το 60% του χρόνου. Άρα τελικά ο εξοπλισμός θα λειτουργούσε 30% των συνολικών ωρών αν ο χώρος χρησιμοποιούνταν επτά ημέρες την εβδομάδα. Ο χώρος όμως χρησιμοποιείται 6 μέρες την εβδομάδα (πρόκειται για κτήριο γραφείων) κι έτσι ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου υπολογίζεται :

$$PLF_m = 30\% \cdot (6/7) = 0,21 = 25\%.$$

Τέλος ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων F_{sc} , που εκφράζει την θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται σε $F_{sc}=1,02$ βάση του πίνακα 3.5.

Μετά τους υπολογισμούς το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης προκύπτει περίπου 50,23μ. Έτσι το βάθος που προκύπτει θα χωριστεί σε δυο γεωτρήσεις των 25 m έκαστη που θα απέχουν μεταξύ τους 4,6 m περίπου. Η προτεινόμενη θέση για την διενέργεια των γεωτρήσεων εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Για τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή μέσα στην αντλία θερμότητας. Η παροχή αυτή προκύπτει μέσω του παρακάτω τύπου που την συνδέει με την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχόμενου και εξερχόμενου μέσου.

$$P(\text{kw}) = \frac{Q(\text{l/s}) \cdot \Delta T \cdot 3600}{860}$$

Στο εξεταζόμενο κτίριο η ανάγκη για ψύξη προκύπτει μεγαλύτερη από την ανάγκη για θέρμανση. Έτσι στον υπολογισμό της παροχής από τον παραπάνω τύπο θα λάβουμε υπόψη μας την ψυκτική ισχύ της αντλίας που επιλέξαμε και την διαφορά θερμοκρασίας εισερχόμενου και εξερχόμενου μέσου κατά την διαδικασία της ψύξης. Κάνοντας τους υπολογισμούς καταλήγουμε στο αποτέλεσμα:

$$Q_{\text{hp}} = 0,15 \text{ l/s.}$$

Η παροχή αυτή είναι η συνολική παροχή που φτάνει στην αντλία θερμότητας. Επειδή όμως έχουμε δυο γεωτρήσεις είναι προφανές ότι το σύνολο των παροχών των δυο γεωτρήσεων

θα πρέπει να ισούται με την τελική παροχή σύμφωνα με τον νόμο διατήρησης μάζας. Σύμφωνα με αυτή την παρατήρηση και έχοντας επιλέξει την εσωτερική διάμετρο των σωληνώσεων ίση με $d_{in}=23,2$ mm, μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ταχύτητα ροής του νερού. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τον τύπο : $Q(l/s)=v(m/s)\times A(m^2)\times 1000=0,183$. [4] Το κριτήριο για τον υπολογισμό εντοπίζεται στο ότι πρέπει να υπολογισθεί μια ταχύτητα με δεδομένη τη διάμετρο της σωλήνωσης έτσι ώστε να προσεγγίζει κατά πολύ την απαιτούμενη παροχή στην κάθε γεώτρηση που ασφαλώς είναι η μισή της συνολικής παροχής που φτάνει στην αντλία θερμότητας. Το αποτέλεσμα αυτού του υπολογισμού είναι η απαιτούμενη ταχύτητα της ροής μέσα στην σωλήνωση από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο που είναι μέσα στην γεώτρηση.

Λόγω της μικρής τιμής που προκύπτει θα χρησιμοποιηθεί μονή U σωλήνωση. Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογίσουμε τις απώλειες μέσα στον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες δικτύου γεωτρήσεων
- Απώλειες διάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).
- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,005 bar [5].
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3 bar [4]
- Τοπικές απώλειες πίεσης λουπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2 bar. [4]

Οι σωληνώσεις, είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στην μεταφορά θερμότητας. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.2 που μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και την διάμετρο της σωλήνωσης.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 3.2 οι απώλειες πίεσης ανά 100 μέτρα σωλήνωσης όσο αφορά στο σύστημα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι: $\Delta p / 100m = 0,06$ οπότε στα 50 μέτρα έχουμε απώλειες περίπου 0,03bar.

Επειδή οι σωληνώσεις στις δυο γεωτρήσεις είναι παράλληλες η πτώση πίεσης είναι η ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Το μήκος του κάθε

εναλλάκτη θα είναι 50 m αφού το σχήμα του είναι ένα μονό U. Έτσι οι γραμμικές απώλειες πίεσης είναι 0,03 bar.

Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).

Το δίκτυο σωληνώσεων από την έξοδο της γεώτρησης ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ενδιάμεσο δίκτυο. Οι απώλειες του δικτύου αυτού θα υπολογιστούν με την τιμή που θα προκύψει από το διάγραμμα 3.2 πολλαπλασιασμένη τώρα με το συνολικό μήκος του δικτύου. Η παροχή στο μέρος αυτό του συστήματος είναι 0,15 lt/s ενώ η διάμετρος των σωληνώσεων παραμένει ίδια με αυτή του γεωεναλλάκτη. Έτσι η τιμή από το διάγραμμα τώρα προκύπτει ίση με 0,11bar/100 δηλαδή 0,055 στα 50 μέτρα.[5]

Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές τιμές για τις υπόλοιπες συνιστώσες των συνολικών απωλειών όπως φαίνονται παραπάνω οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με 0,59 bar= 4,42 mΣΥ. Με γνωστές πλέον τις απώλειες και την παροχή μπορούμε από το διάγραμμα 3.3 να επιλέξουμε τον κατάλληλο κυκλοφορητή. Έτσι λοιπόν με παροχή $Q=0.539$ m³/h και ολικές απώλειες $H=4,42$ mΣΥ ο κυκλοφορητής θα είναι από την σειρά TOP-Z TOP-S 30/10 3~PN 10 με καμπύλες λειτουργίας όπως φαίνονται στο διάγραμμα 3.4.

Επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστεί ο όγκος των δοχείων διαστολής του συστήματος. Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη των δοχείων αυτών. Το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση της πίεσης του νερού. Η αυξημένη πίεση μπορεί να προέλθει από θερμική διαστολή κατά τη διάρκεια της θέρμανσης του νερού ή από υδραυλικό πλήγμα. Το δοχείο διαστολής συνήθως αποτελείται από ένα ελαστικό διάφραγμα το οποίο το χωρίζει σε δυο τομείς. Η μια πλευρά περιέχει μια μικρή ποσότητα αέρα συμπιεσμένο με ίση και αντίθετη πίεση από αυτή του νερού. Η άλλη πλευρά περιέχει νερό που είναι σε ελεύθερη επαφή με την αντλητική εγκατάσταση. Οποιαδήποτε στιγμή αυξάνεται η πίεση του νερού πιέζεται το διάφραγμα και συμπιέζεται ο αέρας. Η συμπιεστότητα του αέρα έχει ως αποτέλεσμα να απορροφάται αυτή η καταστροφική αύξηση πίεσης για το αντλητικό σύστημα. Ο υπολογισμός του δοχείου διαστολής γίνεται ως εξής:

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τον τύπο :

$$V_t = \frac{\left(\frac{v_2}{v_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

Όπου:

V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής (m³)

V_s: ο όγκος νερού στην εγκατάσταση (m³)

t₁: η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (00C)

t₂: η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (500C)

Δt: = t₂ - t₁ (0C)

P₁: η πίεση στη χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (kPa)

P₂: η πίεση στην υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (kPa)

v₁: ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία (m³/kg)

v₂: ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία (m³/kg)

Το πρώτο βήμα είναι να υπολογιστεί ο όγκος του νερού που διακινείται στο σύστημα σωληνώσεων. Ο όγκος του νερού αυτό είναι το άθροισμα δυο μεγεθών: του όγκου στις σωλήνες του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας και του όγκου στις σωλήνες του οριζοντίου συστήματος. Θεωρώντας και στις δυο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους έχουμε:

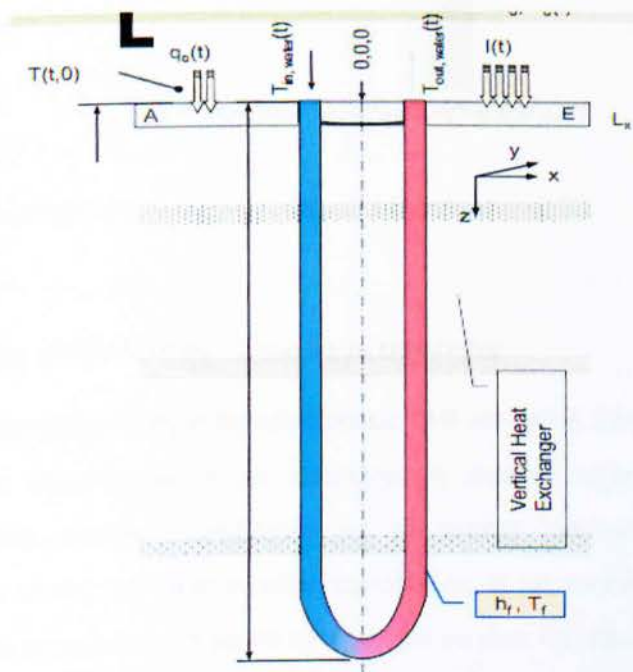
$$V_{\text{γεωθ.εν}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times \text{μήκος σωλήνωσης} = 0,015\text{m}^3 = 15\text{lt}$$

$$V_{\text{οριζ. σωλην.}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times \text{μήκος σωλήνωσης} = 10\text{lt}$$

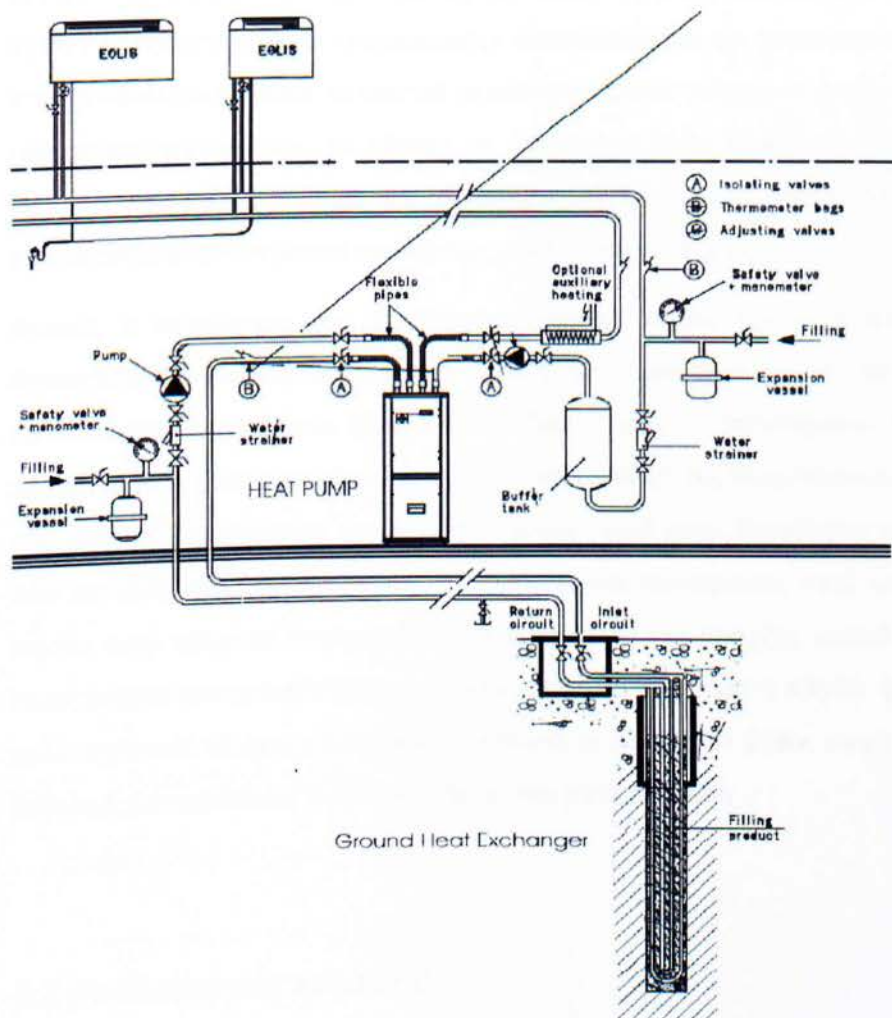
Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο συνολικός όγκος νερού του κυκλώματος είναι V_s= 25 lt. Ο ειδικός όγκος του νερού στην θερμοκρασία των 0oC είναι v₁=0,0010002 m³/kg, ενώ στην θερμοκρασία των 50o C είναι v₂=0,0010121 m³/kg. Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται

η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 70 kPa (7 mWS). Με δεδομένο ότι το μέγιστο ύψος της εγκατάστασης του πρωτεύοντος κυκλώματος πάνω από τη θέση εγκατάστασης του δοχείου διαστολής είναι 2 m, η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται: $P_1 = 20 + 70 = 90 \text{ kPa}$ (9 mWS) Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή τίθεται ίση με 100 kPa (20 mWS), ώστε η ονομαστική πίεση στο κατώτερο σημείο των γεωτρήσεων (βάθος 50 m) να μην υπερβεί τις 16 atm. Έτσι τελικά υπολογίζεται ο απαιτούμενος όγκος του δοχείου διαστολής που είναι $V_t = 1,6 \text{ lt}$. Η επιλογή γίνεται από τα προϊόντα της εταιρίας REFLEX και επιλέγεται κλειστό δοχείο διαστολής μεμβράνης με πίεση αζώτου συνολικού όγκου 4l () μέγιστης πίεσης λειτουργίας 2bar και βαλβίδα ασφαλείας 1 bar.

Η τελική αξιοποίηση του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας γίνεται με την οδήγηση των σωληνώσεων που βγαίνουν από την αντλία θερμότητας σε fan-coils διανεμημένα κατάλληλα στον προς κλιματισμό χώρο. Τα συστήματα αυτά είναι συστήματα κλιματισμού που λειτουργούν ως εξής: Τοποθετείται ένας ανεμιστήρας σε κάθε χώρο που απαιτείται η ψύξη ή η θέρμανση αντίστοιχα. Μια κεντρική σωλήνωση, που διαρρέεται από θερμό ή ψυχρό νερό, διακλαδώνεται και περνάει από όλους τους προς κλιματισμό χώρους. Ο κάθε ανεμιστήρας αναρροφά αέρα από το περιβάλλον, τον κατευθύνει πάνω στη σωλήνωση με το νερό όπου γίνεται η μεταφορά θερμότητας και ο θερμός ή ψυχρός πλέον αέρας απορρίπτεται μέσα στον χώρο και τον κλιματίζει.



Σκαρίφημα σωληνώσεων γεωθερμικής αντλίας θερμότητας



Σκαρίφημα συστήματος με γεωθερμική αντλία θερμότητας [5]

3.2 Αξιολόγηση επένδυσης -Συμπεράσματα

Η σύγκριση της οικονομικότητας ενός συστήματος ΓΑΘ σε σχέση με άλλες περισσότερο συμβατικές λύσεις (π.χ. θέρμανση με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, ψύξη με κοινά κλιματιστικά) γίνεται συνήθως αναφορικά με το κόστος εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης κάθε τεχνολογίας. Η παραπάνω σύγκριση θα μας οδηγήσει σε ακριβή συμπεράσματα για το πότε μπορεί να γίνει απόσβεση του υψηλότερου (από άλλες τεχνολογίες) κόστους εγκατάστασης ενός συστήματος ΓΑΘ.

Για τη σύγκριση λαμβάνονται συνήθως υπόψη οι τρέχουσες τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αν και μπορεί να υποτεθούν και συγκεκριμένα σενάρια για τη μελλοντική διακύμανση των τιμών τους. Στη κατανάλωση ηλεκτρισμού θα πρέπει να προστεθεί και ο «παρασιτικός» ηλεκτρισμός για την ανακυκλοφορία του υγρού στον γεωεναλλάκτη. Παρά το σχετικά μεγαλύτερο αρχικό κόστος τα συστήματα ΓΑΘ έχουν τρία χαρακτηριστικά που τα κάνουν να ξεχωρίζουν όταν συγκριθούν για ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού: χαμηλό κόστος λειτουργίας, μικρότερο κόστος συντήρησης από τα αντίστοιχα συμβατικά συστήματα, μεγάλη διάρκεια ζωής.

Φυσικά, η αξιολόγηση της επένδυσης λαμβάνει υπόψη την απόδοση της αντλίας θερμότητας που εκφράζεται με το συντελεστή COP. Η απόδοση της αντλίας θερμότητας με τη σειρά της, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, διότι η ενθαλπία του αέρα είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του, επομένως στις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα θα έχουμε μικρά ποσά θερμότητας από την μία, και από την άλλη προβλήματα σωστής λειτουργίας του συστήματος, κατά τον χειμώνα. Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί η αναγκαιότητα της ύπαρξης κατάλληλου εδάφους. Στους χώρους που αποφασίζεται να χρησιμοποιηθεί σαν λύση η αβαθής γεωθερμία είναι πολύ σημαντικό να έχει καλή θερμική απόδοση το έδαφος σε βάθος μικρότερο των 100m. Στην δική μας περίπτωση η απόδοση θεωρείται μάλλον μέτρια .

3.3 Υπολογισμός κόστους

Το κόστος παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας συνίσταται από τα εξής επιμέρους:

- **Λειτουργικό κόστος:** ορίζεται ως το κόστος χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί η αντλία και ο κυκλοφορητής.
- **Κόστος εξοπλισμού:** ορίζεται ως το κόστος της αντλίας θερμότητας, του κυκλοφορητή, των δοχείων διαστολής και όλων των επιμέρους εξαρτημάτων του ενδιάμεσου υδραυλικού κυκλώματος (βαλβίδες, σωληνώσεις κ.α.)
- **Κόστος εγκατάστασης:** συνίσταται από το κόστος διάνοιξης της γεώτρησης, το κόστος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας, το κόστος της εισαγωγής κατάλληλου πληρωτικού υλικού στην γεώτρηση.

- Κόστος συντήρησης: αποτελεί το απαιτούμενο κόστος για την συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού που διασφαλίζει την καλή του λειτουργία.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

Για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους χρησιμοποιούνται οι ηλεκτρικές κιλοβατώρες που αντιστοιχούν στην κάλυψη των αναγκών κλιματισμού του κτιρίου. Για το κτίριο που μας ενδιαφέρει δυστυχώς δεν έχουμε μετρητές οι οποίοι να μετρούν την κατανάλωση του ρεύματος κι έτσι με βάση το εμβαδόν του κτιρίου θα κάνουμε μια εκτίμηση για τις ηλεκτρικές κιλοβατώρες λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες του κτηρίου (και συγκρίνοντας με λογαριασμό ΔΕΗ ενός γειτονική κτηρίου γραφείων) , περίπου 20 kwh/m.

Για να υπολογιστεί το λειτουργικό κόστος πρέπει η τιμή αυτή να πολλαπλασιαστεί με την σημερινή τιμή της κιλοβατώρας η οποία ορίζεται στα 0,12 €/kWh. Έτσι λοιπόν προκύπτει: 2,4€/ m.

ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Το κόστος εξοπλισμού αποτελείται από:

1. Κόστος αντλίας θερμότητας

Το κόστος της αντλίας θερμότητας σύμφωνα με της προδιαγραφές που δίνονται στο φύλλο με την περιγραφή του προϊόντος είναι 4750 € και συμπεριλαμβάνει τις τιμές κάποιων επιπλέον αλλά απαραίτητων εξαρτημάτων όπως ηχομονωτικές προσθήκες, ηλεκτρικά καλώδια, μανομετρική βαλβίδα και εκκινητήρας.

2. Κόστος κυκλοφορητή.

Μετά από επικοινωνία με τη WILO HELLAS ο συγκεκριμένος κυκλοφορητής έχει κόστος περίπου 500 €.

3. Κόστος δοχείων διαστολής. Αν υποθέσουμε ότι χρειαζόμαστε δυο δοχεία διαστολής και το κόστος του καθενός είναι περίπου 50€ τότε προκύπτει ότι για το μέγεθος αυτό έχουμε συνολικά κόστος 100€ για τα δοχεία διαστολής.

4. Κόστος λοιπού εξοπλισμού

Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνεται το κόστος των σωληνώσεων του ενδιάμεσου υδραυλικού συστήματος. Το μήκος αυτού έχει υπολογιστεί να είναι 140m(το πλήρες δίκτυο). Σύμφωνα με τις τιμές ΑΤΗΕ για τα δημόσια έργα (επιλέχθηκε ως τιμή αναφοράς) η τιμή των σωληνώσεων από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο είναι της τάξεως των 2,5 €/m. Το συνολικό κόστος των σωληνώσεων για την περίπτωση αυτή θα είναι: 350 €.

Στο κόστος λοιπού εξοπλισμού μπορούμε να εντάξουμε το κόστος των υδραυλικών εργασιών που εκτιμάται στην τιμή των 500€. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη το κόστος του μηχανοστασίου και των λοιπών απαραίτητων μικρών εξαρτημάτων(βαλβίδες κ.α.) που εκτιμάται στο ύψος των 4000€.

ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το κόστος εγκατάστασης δίνεται ως το σύνολο για τα εξής επιμέρους κόστη:

- Το κόστος διάνοιξης της γεώτρησης
- Το κόστος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας
- Το κόστος του υγρού και του αντιψυκτικού
- Το κόστος του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης μετά την τοποθέτηση του εναλλάκτη.

Το κόστος όλων αυτών προσθετικά είναι της τάξεως των 50€/m σωλήνωσης του εναλλάκτη. Στην περίπτωση μας έχουμε ένα συνολικό μήκος σωληνώσεων 200 μέτρα αφού έχουμε δυο γεωτρήσεις βάθους 50 μέτρων έκαστη και έχουμε εγκαταστήσει μέσα στην καθεμία από μια σωλήνωση σχήματος U. Έτσι προκύπτει το συνολικό κόστος ίσο με: 10000€.

ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το κόστος συντήρησης εκτιμάται σε 350-400 € το χρόνο.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

Το συνολικό κόστος υπολογίζεται με άθροιση των επιμέρους και είναι περίπου 20000€.

3.4 Ποιότητα κατασκευής

Βασική προϋπόθεση για τη σωστή και αποδοτική λειτουργία των αντλιών είναι το ότι το σύστημα διανομής θα πρέπει να είναι ή να μετατραπεί σε χαμηλών θερμοκρασιών δηλαδή τουλάχιστον κάτω από 45°C θερμοκρασία νερού στην προσαγωγή. Δηλαδή οι αντλίες θερμότητας συνεργάζονται αποδοτικά με ενδοδαπέδια συστήματα και με συστήματα fan coil και μεγάλων κλιματιστικών μονάδων αλλά θα πρέπει να γίνουν μετατροπές στα κλασσικά συστήματα καλοριφέρ. Στην περίπτωση που μελετάται στην παρούσα εργασία, ο κλιματισμός γίνεται ούτως ή άλλως με fan coils.

Επιπρόσθετα, σημαντικότερη παράμετρο για την επιλογή της επένδυσης αποτελεί και προϋπάρχουσα θερμική θωράκιση του κτιρίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε μία κατοικία η οποία ξεπερνάει τα 1.000lt/έτος για κάθε 100τμ επιφάνειας, θα πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η αναγκαιότητα παρεμβάσεων σε θέματα μονώσεων και κουφωμάτων και ύστερα η εφαρμογή ενός γεωθερμικού συστήματος. Τα σωστά θερμομονωμένα κτίρια απαιτούν μικρότερα και οικονομικότερα συστήματα για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών τους.

Σε κάθε περίπτωση η τελική πρόταση θα πρέπει να εκπονηθεί από μηχανολόγο με ιδιαίτερη εξοικείωση σε θέματα θερμικών απωλειών, ενεργειακής απόδοσης, τριβών στα συστήματα διανομής και θερμικής απόδοσης των συστημάτων για να διασφαλιστεί η επιτυχία της επένδυσης. Τεχνικοί χωρίς μεγάλη εμπειρία προτείνουν υψηλού κόστους εξοπλισμό και αναμένουν ότι θα λειτουργήσει με καλή απόδοση ανεξάρτητα από την ποιότητα σχεδιασμού και εγκατάστασης. Επιπρόσθετα, το συνεργείο που θα αναλάβει την υλοποίηση χρειάζεται να έχει γνώση παρόμοιων εγκαταστάσεων, κάτι που στην Ελλάδα δυστυχώς δε συμβαίνει.

Μια άλλη κοινή πρακτική είναι όταν εμφανίζονται υψηλές δαπάνες γεωεναλλάκτη να μειώνεται το συνολικό κόστος με αντλίες θερμότητας κατωτέρας ποιότητας. Για παράδειγμα, τα κλειστά κυκλώματα πρέπει να κατασκευάζονται μόνο με σωλήνα πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE). Με σωστή εγκατάσταση αυτοί οι σωλήνες αντέχουν για πολλές δεκαετίες. Παραμένουν άθικτοι από τα συστατικά του εδάφους και έχουν καλές ιδιότητες θερμικής αγωγιμότητας. Σωλήνες PVC δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται παρόλα αυτά προτιμώνται λόγω χαμηλού κόστους.

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

- ο σχεδιασμός γεωθερμικού συστήματος
- η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας
- η ποιότητα εγκατάστασης
- το επίπεδο θερμοκρασίας στο σύστημα διανομής θερμότητας
- οι απώλειες θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου
- οι κλιματικές συνθήκες στο σημείο τοποθέτησης της αντλίας θερμότητας

Εάν δεν υπάρχουν οι δυνατότητες κατασκευής του γεωεναλλάκτη συνήθως λόγω έλλειψης χώρου ή ιδιοκτησιακών θεμάτων τότε πρέπει να εγκαταλείπεται η λύση του γεωθερμικού συστήματος χωρίς περαιτέρω επίπονη διερεύνηση! Στο βαθμό που πληρούνται παραπάνω όροι το COP της γεωθερμικής αντλίας κυμαίνεται από 3,5-4,5. Σε αντίθετη περίπτωση, προς ενίσχυση του, χρειάζεται να διερευνηθεί ποια από τις παραπάνω προϋποθέσεις δεν καλύπτεται και να βελτιωθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Παραμετρική ανάλυση και βελτιστοποίηση Γ.Α.Θ. για αύξηση της απόδοσης.

Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (Coefficient Of Performance - COP) των Γ.Α.Θ. ορίζεται σαν ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση, και αφορά μια συγκεκριμένη στιγμή η συνθήκες.

Οι παράμετροι που επιδρούν στην απόδοση του συστήματος είναι :

1. Απόδοση αντλίας θερμότητας.
2. Ποιότητα εγκατάστασης.
3. Σχεδιασμός και επίπεδο θερμοκρασίας του συστήματος θέρμανσης – ψύξης.
4. Επίπεδο μόνωσης κτηρίου.
5. Συνθήκες λειτουργίας αντλίας θερμότητας.

Μελετώντας βήμα προς βήμα την εφαρμογή ενός γεωθερμικού συστήματος , υπάρχουν κάποια σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι, οι παρακάτω επισημάνσεις είναι απλές σε εφαρμογή, αλλά σημαντικές για τη βέλτιστη λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος. Σίγουρα, η εμπειρία κάθε κατασκευαστή βοηθά στη σχεδίαση βελτιστοποιημένων συστημάτων γεωθερμίας, χωρίς προβλήματα τα οποία ενδεχομένως να ελάττωναν την αποδοτικότητα του συστήματος. Παρακάτω αναφέρονται σημεία που πρέπει να δείξουμε ιδιαίτερη προσοχή.

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας

Το πρώτο και κυριότερο σημείο που πρόκειται να εξεταστεί είναι η επιλογή κατάλληλης Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας. Η μονάδα που θα επιλεγεί θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία της εγκατάστασης, ώστε να μην παρατηρηθεί ούτε υποδιαστασιολόγηση του συστήματος, αλλά βέβαια ούτε και υπερδιαστασιολόγηση, διότι τότε απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η σωστή επιλογή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας έγκειται στη σωστή και αναλυτική μελέτη θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτιρίου. Στην ίδια κατηγορία εντάσσεται και η προσεκτική επιλογή κυκλοφορητών, διότι η λανθασμένη επιλογή μας οδηγεί σε υψηλότερες καταναλώσεις. Η καλύτερη επιλογή είναι οι κυκλοφορητές μεταβλητών στροφών.

Γεωσυλλέκτης

Όσον αφορά στο κομμάτι του γεωσυλλέκτη, χρειάζεται μεγάλη προσοχή κατά την τσιμέντωση του κατακόρυφου κυκλώματος. Συγκεκριμένα, όταν χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία έχουν ως βάση το τσιμέντο, είναι πολύ πιθανό να προκληθεί ζημιά στην εγκατάσταση. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την τοποθέτηση του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη στις οπές και κατόπιν κατά την τσιμέντωση τους, ο γεωσυλλέκτης είναι πρεσαρισμένος στο μέγιστο βαθμό, δηλαδή «φουσκωμένος». Γίνεται λοιπόν η δοκιμαστική λειτουργία του και στη συνέχεια επαναφέρεται στην κανονική του λειτουργία και πίεση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το «ξεφούσκωμα» του. Άρα λοιπόν αφού το τσιμέντο θα είναι πλέον συμπαγές, δημιουργείται θύλακας κενού μεταξύ του σωλήνα και του τσιμέντου. Έτσι, εξαιτίας του κενού αυτού μειώνεται η μεταφορά θερμότητας μεταξύ σωλήνωσης και υπεδάφους. Τα προβλήματα αυτά αποφεύγονται μόνον με τη χρήση υλικών υψηλής ποιότητας, που έχουν ως βάση το μπετονίτη, ο οποίος δεν έχει την ίδια συμπεριφορά με το τσιμέντο.

Εσωτερικό σύστημα

Επίσης στο εσωτερικό κύκλωμα του κλιματισμού του κτιρίου, καλύτερο είναι να προτιμώνται σωληνώσεις πολυπροπυλενίου και όχι χαλκού, γιατί έχουν μεγαλύτερο πάχος και συνεπώς μεγαλύτερη αντοχή. Επιπλέον, οι σωληνώσεις αυτές επιβάλλεται να έχουν πολύ καλή μόνωση, διότι κατά τη λειτουργία ψύξης θα δημιουργούνταν υγραποιήσεις, κάτι που μπορεί να αποδειχθεί καταστροφικό για την εγκατάσταση.

Κατά τη σχεδίαση συστήματος κλιματισμού με Fan Coil Units, καλό θα είναι να προτιμώνται μονάδες μεγαλύτερης ισχύος, ώστε να λειτουργούν στη χαμηλότερη ταχύτητα. Σε αντίθετη περίπτωση, η εγκατάσταση είναι φθηνότερη μεν κοστολογικά, αλλά είναι κακής ποιότητας, λόγω του θορύβου που αναπτύσσεται κατά τη λειτουργία των Fan Coil Units σε μεγάλη ταχύτητα.

Ανάλυση βελτιστοποίησης Γ.Α.Θ. με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

- Ρύθμιση παροχής νερού μέσα στην Γ.Α.Θ ανάλογα με το εκάστοτε φορτίο που απαιτεί η εγκατάσταση με αποδοτικότερους συμπιεστές τύπου inverter.
- Συμπύεση μέσα στην (Γ.Α.Θ) με σύστημα παράλληλης συνδεσμολογίας συμπιεστών ή (Γ.Α.Θ).
- Καλύτερο ψυκτικό μέσο, δηλαδή με υψηλό βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερο λόγω συμπύεσης.
- Χρήση μέσων μετάδοσης χαμηλών θερμοκρασιών. (θερμαντικά σώματα χαμηλών θερμοκρασιών).

Εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας από το σύστημα

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση στα ψυκτικά συγκροτήματα είναι η θερμοκρασία του κρύου νερού και η θερμοκρασία του νερού συμπύκνωσης (υδρόψυκτα). Τα σημεία ρύθμισης (set points) των θερμοκρασιών αυτών είναι σταθερά και έχουν ρυθμιστεί για το μέγιστο φορτίο. Επειδή όμως οι απαιτήσεις σε μέγιστο φορτίο αντιπροσωπεύουν ένα μικρό χρονικό ποσοστό, το ψυκτικό συγκρότημα είναι υποχρεωμένο να λειτουργεί σε θερμοκρασίες τέτοιες ώστε να έχει την δυνατότητα να αντιμετωπίσει άμεσα την μέγιστη ψυκτική απαίτηση, κάτι που είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρο.

- Αύξηση της θερμοκρασίας κρύου νερού και η μείωση της θερμοκρασίας του νερού συμπύκνωσης στα υδρόψυκτα ψυκτικά συγκροτήματα ,μειώνει δραματικά την κατανάλωση χωρίς απώλεια άνεσης στους κλιματιζόμενους χώρους .
- Μείωση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στο συμπυκνωτή των υδρόψυκτων ψυκτικών συγκροτημάτων.

Η κατανάλωση των συμπιεστών εξαρτάται από την διαφορά μεταξύ πίεσης αναρρόφησης και πίεσης συμπύκνωσης του ψυκτικού μέσου. Αύξηση της θερμοκρασίας του κρύου νερού αυξάνει την πίεση αναρρόφησης του ψυκτικού μέσου, ενώ μείωση της θερμοκρασίας του νερού συμπύκνωσης μειώνει την πίεση συμπύκνωσης του ψυκτικού. Επομένως, η διαφορά μεταξύ αυτών των δυο μειώνεται και ως αποτέλεσμα η ηλεκτρική κατανάλωση του συμπιεστή μειώνεται δραστικά.

Ο απλούστερος και καλύτερος τρόπος ρύθμισης της θερμοκρασίας του κρύου νερού ανάλογα με τις απαιτήσεις είναι η εγκατάσταση ενός εξωτερικού αισθητηρίου ενθαλπίας που ρυθμίζει την θερμοκρασία εξόδου του κρύου νερού από το ψυκτικό συγκρότημα ανάλογα με την εξωτερική ενθαλπία.

Το νερό συμπύκνωσης δεν ρυθμίζεται. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία εισόδου του συμπυκνωτή τόσο χαμηλότερη είναι η κατανάλωση του συμπιεστού. Εδώ όμως πρέπει να αναφερθεί ότι είναι απαραίτητο να εγκατασταθεί ένας θερμοστάτης ορίου στο κύκλωμα του νερού συμπύκνωσης. Και αυτό γιατί είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ελάχιστη διαφορά μεταξύ της πίεσης αναρρόφησης και της πίεσης συμπύκνωσης του ψυκτικού.

Η ιδανική αντλία θερμότητας Γ.Α.Θ.

Η λειτουργία μιας Α.Θ. βασίζεται στη λειτουργία της μηχανής Carnot, που λειτουργεί όμως κατά τη φορά του ψυκτικού κύκλου. Η ποιότητα της αντλίας χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς (επίδοσης) COP (=Coefficient of Performance).

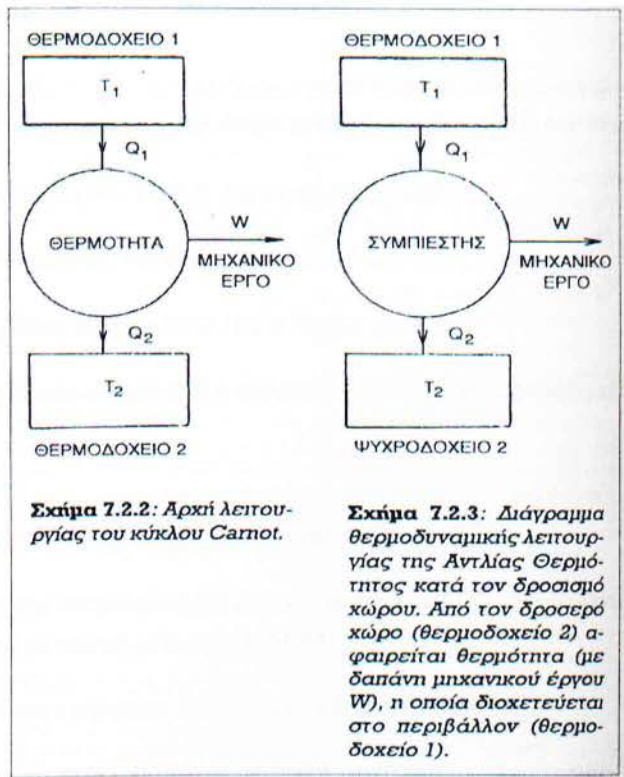
Κατά την θέρμανση ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσό θερμότητας Q_2 ενώ κατά την ψύξη το Q_1 . Ο ενεργειακός ισολογισμός δίνει : $Q_2=Q_1+W$.

Ο COP δίνεται από την σχέση:

$$COP = Q_2/W = Q_2/Q_2-Q_1$$

Στην ιδανική περίπτωση τα ποσά θερμότητας δύναται να αντικατασταθούν από τις θερμοκρασίες (βλ. κύκλος Carnot):

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$



Κύκλος θερμαντλίας

Παρατηρήσεις:

1. Για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά $T_1 - T_2$ ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία T_1 .
2. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP.

Οι δύο αυτές παρατηρήσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας λόγω των ειδικών κλιματολογικών συνθηκών. Έχουμε ήπιο καιρό το χειμώνα με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Συνοψίζοντας η ηλεκτρική κατανάλωση μίας Γ.Α.Θ. εξαρτάται από την θερμοκρασία εισόδου του πηγαίου νερού ή του διαλύματος ανακυκλοφορίας του γεωσυλλέκτη. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ανακυκλοφορίας, τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής απόδοσης της Γ.Α.Θ. και και κατά συνέπεια μειώνεται η ηλεκτρική κατανάλωση που απαιτείται.

Συμπεράσματα

Στο τέλος της πτυχιακής εργασίας καταλήγουμε σε κάποια συμπεράσματα γενικής φύσεως σχετικά με την χρήση της γεωθερμίας όπως αυτά προέκυψαν από την εκπόνηση της.

Μέγιστο όφελος από την χρήση Γ.Α.Θ. θα επιτύχουμε όταν:

- Απαιτείται θέρμανση και ψύξη.
- Έχουμε μεγάλες εποχιακές αλλαγές θερμοκρασίας.
- Πρόκειται για νέα κατασκευή ή αλλαγή – ολική αντικατάσταση συστημάτων.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Γ.Α.Θ. συμπυκνώνονται στα εξής:

- ✓ Κατάργηση του πετρελαίου (μηδενικές εκπομπές CO₂ στο άμεσο περιβάλλον πραγματική συνολική μείωση 45~55%).
- ✓ Το 70÷80% της ενέργειας παρέχεται από το περιβάλλον.
- ✓ Μείωση του κόστους λειτουργίας ~50% σε σχέση με συμβατικούς τρόπους θέρμανσης και ψύξης.
- ✓ Δεν απαιτείται δεξαμενή καυσίμων,, καμινάδα και καπνοδόχος .
- ✓ Αισθητική αναβάθμιση των κτηρίων (Απουσία αντιαισθητικών εγκαταστάσεων όπως ψύκτης, A/C κλπ).
- ✓ Ένα μηχάνημα για θέρμανση και ψύξη με μικρότερο κόστος συντήρησης.
- ✓ Αθόρυβη λειτουργία.
- ✓ Απουσία καύσεων και σπινθήρων (συνεπώς δεν απαιτείται πυροπροστασία).
- ✓ Απουσία οσμών καυσαερίων, οσμών από δεξαμενή πετρελαίου.
- ✓ Απουσία ανάγκης χώρου για δεξαμενή καυσίμου.
- ✓ Δεν απαιτείται συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται μακρόχρονο περιοδικό έλεγχο.
- ✓ Σταθερή απόδοση.

Βιβλιογραφία

- [1] Φύτικας Δ. Μιχάλης, Ανδρίτσος Β. Νικόλαος, *Γεωθερμία*, Θεσσαλονίκη 2004.
- [2] Βραχόπουλος, Μ.Γ. και Παπαγεωργάκης, Ι. Ηλιογενής και γηγενής θερμότητα στο αβαθές υπέδαφος της Αττικής. *Τεχνικά Χρονικά Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ IV*, 18(1), 55-66, 1998.
- [3] (<http://www.geothermal-energy.org/319.html>)
- [4] Παπαγεωργάκης Ι. 1992.
- [5] Mendrinou D. and Karytsas C. 2003.
- [6] Ζησκάτας, Ζ. Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας Οριζόντιου Κλειστού Βρόχου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μάρτιος 2006.
- [7] (<http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrqinfo/antlies.html>)
- [8] (www.geoexchange.gr)
- [9] Τεχνικο-οικονομική Μελέτη Οριζόντιου Συστήματος Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας: (<http://vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/111.doc>)
- [10] Forum Εταιρείας Ηλεκτρομηχανολογικών Έργων Μοναχός: (<http://www.monachos.gr/forum/>)
- [11] Κακάτσιος Κ. Ξενοφών, *Μεταφορά Θερμότητας*, Αθήνα 2002.
- [12] Kavanaugh P. Stephen, Rafferty Kevin, *Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings*, ASHRAE 1997.
- [13] Γρηγόριος Ι.Καρυδάκης, *“Γεωθερμική Ενέργεια”*, Αθήνα ,2005.
- [14] Αναστασία Μπένου, *“Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας”*, ΚΑΠΕ ,2009.
- [15] Ζησκάτας, Ζ. Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας Οριζόντιου Κλειστού Βρόχου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μάρτιος 2006.
- [16] (www.ciat.com)
- [17] Κυκλοφορητές WILO : (www.wilo.com)
- [18] (<http://www.cres.gr>)

Παράρτημα

I – Πίνακες

Πίνακας 1 - Θερμότητα που παράγεται για διάφορες δραστηριότητες		
ACTIVITIES	Btu/(h · ft ²)	meta
Resting		
Sleeping	13	0.7
Reclining	15	0.8
Seated, quiet	18	1.0
Standing, relaxed	22	1.2
Walking (on level surface)		
2.9 ft/s (2 mph)	37	2.0
4.4 ft/s (3 mph)	48	2.6
5.9 ft/s (4 mph)	70	3.8
Office Activities		
Reading, seated	18	1.0
Writing	18	1.0
Typing	20	1.1
Filing, seated	22	1.2
Filing, standing	26	1.4
Walking about	31	1.7
Lifting/packing	39	2.1
Driving/Flying		
Car	18 to 37	1.0 to 2.0
Aircraft, routine	22	1.2
Aircraft, instrument landing	33	1.8
Aircraft, combat	44	2.4
Heavy vehicle	59	3.2
Miscellaneous Occupational Activities		
Cooking	29 to 37	1.6 to 2.0
Housecleaning	37 to 63	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	41	2.2
Machine work		
sawing (table saw)	33	1.8
light (electrical industry)	37 to 44	2.0 to 2.4
heavy	74	4.0
Handling 110 lb bags	74	4.0
Pick and shovel work	74 to 88	4.0 to 4.8
Miscellaneous Leisure Activities		
Dancing, social	44 to 81	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	55 to 74	3.0 to 4.0
Tennis, singles	66 to 74	3.6 to 4.0
Basketball	90 to 140	5.0 to 7.6
Wrestling, competitive	130 to 160	7.0 to 8.7

Πίνακας 2 - Θερμικές ιδιότητες κατασκευαστικών και μονωτικών υλικών

Description	Resistance (R)					
	Density lb/ft	Conductivity (k) $\frac{\text{Btu-in}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$	Conductance (C) $\frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$	Per Inch Thickness (1/k) $\frac{^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h}}{\text{Btu} \cdot \text{in}}$	For	Specific Heat $\frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$
					Thickness	
					Listed (1/C) $\frac{^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h}}{\text{Btu}}$	
BUILDING BOARD						
Asbestos-cement board	120	4.0	—	0.25	—	0.24
Asbestos-cement board 0.125 in.	120	—	33.00	—	0.03	
Asbestos-cement board 0.25 in.	120	—	16.50	—	0.06	
Gypsum or plaster board 0.375 in.	50	—	3.10	—	0.32	0.26
Gypsum or plaster board 0.5 in.	50	—	2.22	—	0.45	
Gypsum or plaster board 0.625 in.	50	—	1.78	—	0.56	
Plywood (Douglas Fir)	34	0.80	—	1.25	—	0.29
Plywood (Douglas Fir) 0.25 in.	34	—	3.20	—	0.31	
Plywood (Douglas Fir) 0.375 in.	34	—	2.13	—	0.47	
Plywood (Douglas Fir) 0.5 in.	34	—	1.60	—	0.62	
Plywood (Douglas Fir) 0.625 in.	34	—	1.29	—	0.77	
Plywood or wood panels 0.75 in.	34	—	1.07	—	0.93	0.29
Vegetable fiber board						
Sheathing, regular densitye 0.5 in.	18	—	0.76	—	1.32	0.31
0.78125 in.	18	—	0.49	—	2.06	
Sheathing intermediate densitye 0.5 in.	22	—	0.92	—	1.09	0.31
Nail-base sheathinge 0.5 in.	25	—	0.94	—	1.06	0.31
Shingle backer 0.375 in.	18	—	1.06	—	0.94	0.31
Shingle backer. 0.3125 in.	18	—	1.28	—	0.78	
Sound deadening board 0.5 in.	15	—	0.74	—	1.35	0.30
Tile and lay-in panels, plain or acoustic .						
.....0.5 in.	18	0.40	—	2.50	—	0.14
.....0.75 in.	18	—	0.80	—	1.25	
Laminated paperboard	30	0.50	—	2.00	—	0.33
Homogeneous board from repulped paper....	30	0.50	—	2.00	—	0.28
Hardboard						
Medium density	50	0.73	—	1.37	—	0.31
High density, service-tempered grade and service grade	55	0.82	—	1.22	—	0.32
High density, standard-tempered grade.....	63	1.00	—	1.00	—	0.32
Particleboard						
Low density	37	0.71	—	1.41	—	0.31
Medium density	50	0.94	—	1.06	—	0.31
High density.	62	.5	1.18	—	0.85	—
Underlayment. 0.625 in.	40	—	1.22	—	0.82	0.29
Waferboard.	37	0.63	—	1.59	—	—
Wood subfloor. 0.75 in.	—	—	1.06	—	0.94	0.33
BUILDING MEMBRANE						
Vapor—permeable felt.	—	—	16.70	—	0.06	
Vapor—seal, 2 layers of mopped 15-lb felt .	—	—	8.35	—	0.12	
Vapor—seal, plastic film	—	—	—	—	Negl.	

FINISH FLOORING MATERIALS						
Carpet and fibrous pad.	—	—	0.48	—	2.08	0.34
Carpet and rubber pad.	—	—	0.81	—	1.23	0.33
Cork tile.0.125 in.	—	—	3.60	—	0.28	0.48
Terrazzo..1 in.	—	—	12.50	—	0.08	0.19
Tile—asphalt, linoleum, vinyl, rubber	—	—	20.00	—	0.05	0.30
vinyl asbestos.						0.24
ceramic.						0.19
Wood, hardwood finish .0.75 in.	—	—	1.47	—	0.68	
INSULATING MATERIALS						
<i>Blanket and Batt,f,g</i>						
Mineral fiber, fibrous form processed						
from rock, slag, or glass						
approx. 3-4 in...	0.4-2.0	—	0.091	—	11	
approx. 3.5 in.	0.4-2.0	—	0.077	—	13	
approx. 3.5 in.	1.2-1.6	—	0.067	—	15	
approx. 5.5-6.5 in.	0.4-2.0	—	0.053	—	19	
approx. 5.5 in.	0.6-1.0	—	0.048	—	21	
approx. 6-7.5 in	0.4-2.0	—	0.045	—	22	
approx. 8.25-10 in	0.4-2.0	—	0.033	—	30	
approx. 10-13 in	0.4-2.0	—	0.026	—	38	
<i>Board and Slabs</i>						
Cellular glass	8.0	0.33	—	3.03	—	0.18
Glass fiber, organic bonded	4.0-9.0	0.25	—	4.00	—	0.23
Expanded perlite, organic bonded	1.0	0.36	—	2.78	—	0.30
Expanded rubber (rigid)	4.5	0.22	—	4.55	—	0.40
Expanded polystyrene, extruded (smooth skin surface)						
(CFC-12 exp.)	1.8-3.5	0.20	—	5.00	—	0.29

Πίνακας 3 - Συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο εσωτερικό των κτιρίων

General Category	Specific Category	Inside Design Conditions			Air Movement	Circulation, air changes per hour
		Winter	Summer			
Dining and Entertainment Centers	Cafeterias and Luncheonettes	21 to 23°C to 30% rh	20	26°C 50% rh	0.25 m/s at 1.8 m above floor	12 to 15
	Restaurants	21 to 23°C to 30% rh	20	23 to 26°C to 60% rh	0.13 to 0.15 m/s	8 to 12
	Bars	21 to 23°C to 30% rh	20	23 to 26°C to 60% rh	0.15 m/s at 1.8 m above floor	15 to 20
	Nightclubs and Casinos	21 to 23°C to 30% rh	20	23 to 26°C to 60% rh	below 0.13 m/s at 1.5 m above floor	20 to 30
	Kitchens	21 to 23°C		29 to 31°C	0.15 to 0.25 m/s	12 to 15
Office Buildings		21 to 23°C to 30% rh	20	23 to 26°C to 60% rh	0.13 to 0.23 m/s 4 to 10 L/(s·m ²)	4 to 10
Museums, Libraries, and Archives	Average	20 to 22°C 40 to 55% rh			below 0.13 m/s	8 to 12
Bowling Centers		21 to 23°C to 30% rh	20	24 to 26°C to 55% rh	0.25 m/s at 1.8 m above floor	10 to 15
Communication Centers	Telephone Terminal Rooms	22 to 26°C to 50% rh	40	22 to 26°C to 50% rh	0.13 to 0.15 m/s	8 to 20
	Radio and Television Studios	21 to 23°C to 50% rh	40	23 to 26°C to 55% rh	0.13 to 0.15 m/s	15 to 40
Transportation Centers	Airport Terminals	23 to 26°C to 40% rh	30	23 to 26°C to 55% rh	below 0.13 m/s at 3.7 m above floor	8 to 12
	Ship Docks	21 to 23°C to 30% rh	20	23 to 26°C to 60% rh	0.13 to 0.15 m/s at 1.8 m above floor	8 to 12
	Bus Terminals	21 to 23°C to 30% rh	20	23 to 26°C to 60% rh	0.13 to 0.15 m/s at 1.8 m above floor	8 to 12
	Garages	4 to 13°C		27 to 38°C	0.15 to 0.38 m/s	4 to 6

Πίνακας 4 - Θερμικά χαρακτηριστικά υλικών

Code Number	Description	L	k	ρ	C_p	R	Mass
A0	Outside surface resistance	0.0	0.0	0.0	0.0	0.33	0.0
A1	1 in. Stucco	0.0833	0.4	116.0	0.20	0.21	9.7
A2	4 in. Face brick	0.333	0.77	125.0	0.22	0.43	41.7
A3	Steel siding	0.005	26.0	480.0	0.10	0.00	2.4
A4	1/2 in. Slag	0.0417	0.11	70.0	0.40	0.38	2.2
A5	Outside surface resistance	0.0	0.0	0.0	0.0	0.33	0.0
A6	Finish	0.0417	0.24	78.0	0.26	0.17	3.3
A7	4 in. Face brick	0.333	0.77	125.0	0.22	0.43	41.7
B1	Air space resistance	0.0	0.0	0.0	0.0	0.91	0.0
B2	1 in. Insulation	0.083	0.025	2.0	0.2	3.33	0.2
B3	2 in. Insulation	0.167	0.025	2.0	0.2	6.67	0.3
B4	3 in. Insulation	0.25	0.025	2.0	0.2	10.0	0.5
B5	1 in. Insulation	0.0833	0.025	5.7	0.2	3.33	0.5
B6	2 in. Insulation	0.167	0.025	5.7	0.2	6.67	1.0
B7	1 in. Wood	0.0833	0.07	37.0	0.6	1.19	3.1
B8	2.5 in. Wood	0.2083	0.07	37.0	0.6	2.98	7.7
B9	4 in. Wood	0.333	0.07	37.0	0.6	4.76	12.3
B10	2 in. Wood	0.167	0.07	37.0	0.6	2.39	6.2
B11	3 in. Wood	0.25	0.07	37.0	0.6	3.57	9.3
B12	3 in. Insulation	0.25	0.025	5.7	0.2	10.00	1.4
B13	4 in. Insulation	0.333	0.025	5.7	0.2	13.33	1.9
B14	5 in. Insulation	0.417	0.025	5.7	0.2	16.67	2.4
B15	6 in. Insulation	0.500	0.025	5.7	0.2	20.00	2.9
B16	0.15 in. Insulation	0.0126	0.025	5.7	0.2	0.50	0.1
B17	0.3 in. Insulation	0.0252	0.025	5.7	0.2	1.00	0.1
B18	0.45 in. Insulation	0.0379	0.025	5.7	0.2	1.50	0.2
B19	0.61 in. Insulation	0.0505	0.025	5.7	0.2	2.00	0.3
B20	0.76 in. Insulation	0.0631	0.025	5.7	0.2	2.50	0.4
B21	1.36 in. Insulation	0.1136	0.025	5.7	0.2	4.50	0.6
B22	1.67 in. Insulation	0.1388	0.025	5.7	0.2	5.50	0.8
B23	2.42 in. Insulation	0.2019	0.025	5.7	0.2	8.00	1.2
B24	2.73 in. Insulation	0.2272	0.025	5.7	0.2	9.00	1.3
B25	3.33 in. Insulation	0.2777	0.025	5.7	0.2	11.00	1.6
B26	3.64 in. Insulation	0.3029	0.025	5.7	0.2	12.00	1.7
B27	4.54 in. Insulation	0.3786	0.025	5.7	0.2	15.00	2.2
C1	4 in. Clay tile	0.333	0.33	70.0	0.2	1.01	23.3
C2	4 in. Lightweight concrete block	0.333	0.22	38.0	0.2	1.51	12.7
C3	4 in. Heavyweight concrete block	0.333	0.47	61.0	0.2	0.71	20.3
C4	4 in. Common brick	0.333	0.42	120.0	0.2	0.79	40.0
C5	4 in. Heavyweight concrete	0.333	1.0	140.0	0.2	0.33	46.7
C6	8 in. Clay tile	0.667	0.33	70.0	0.2	2.00	46.7
C7	8 in. Lightweight concrete block	0.667	0.33	38.0	0.2	2.00	25.3
C8	8 in. Heavyweight concrete block	0.667	0.6	61.0	0.2	1.11	40.7
C9	8 in. Common brick	0.667	0.42	120.0	0.2	1.59	80.0
C10	8 in. Heavyweight concrete	0.667	1.0	140.0	0.2	0.67	93.4
C11	12 in. Heavyweight concrete	1.0	1.0	140.0	0.2	1.00	140.0
C12	2 in. Heavyweight concrete	0.167	1.0	140.0	0.2	0.17	23.3
C13	6 in. Heavyweight concrete	0.5	1.0	140.0	0.2	0.50	70.0
C14	4 in. Lightweight concrete	0.333	0.1	40.0	0.2	3.33	13.3
C15	6 in. Lightweight concrete	0.5	0.1	40.0	0.2	5.00	20.0
C16	8 in. Lightweight concrete	0.667	0.1	40.0	0.2	6.67	26.7
C17	8 in. Lightweight concrete block (filled)	0.667	0.08	18.0	0.2	8.34	12.0
C18	8 in. Heavyweight concrete block (filled)	0.667	0.34	53.0	0.2	1.96	35.4
C19	12 in. Lightweight concrete block (filled)	1.000	0.08	19.0	0.2	12.50	19.0
C20	12 in. Heavyweight concrete block (filled)	1.000	0.39	56.0	0.2	2.56	56.0
E0	Inside surface resistance	0.0	0.0	0.0	0.0	0.69	0.0
E1	3/4 in. Plaster or gypsum	0.0625	0.42	100.0	0.2	0.15	6.3
E2	1/2 in. Slag or stone	0.0417	0.83	55.0	0.40	0.05	2.3
E3	3/8 in. Felt and membrane	0.0313	0.11	70.0	0.40	0.29	2.2
E4	Ceiling air space	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0
E5	Acoustic tile	0.0625	0.035	30.0	0.2	1.79	1.9

Πίνακας 5 – Roof Selection

Mass Location	Suspended Ceiling	R-Value, h-ft ² ·°F/Btu	B7, Wood 1 in.	C12, HW Concrete 2 in.	A3, Deck	Steel	Attic-Ceiling Combination
Mass inside the insulation	Without	0 to 5	*	2	*	*	*
		5 to 10	*	2	*	*	*
		10 to 15	*	4	*	*	*
		15 to 20	*	4	*	*	*
		20 to 25	*	5	*	*	*
		25 to 30	*	*	*	*	*
	With	0 to 5	*	5	*	*	*
		5 to 10	*	8	*	*	*
		10 to 15	*	13	*	*	*
		15 to 20	*	13	*	*	*
		20 to 25	*	14	*	*	*
		25 to 30	*	*	*	*	*
Mass evenly placed	Without	0 to 5	1	2	1	1	1
		5 to 10	2	*	1	1	2
		10 to 15	2	*	1	1	2
		15 to 20	4	*	2	2	2
		20 to 25	4	*	2	2	4
		25 to 30	*	*	*	*	*
	With	0 to 5	*	3	1	1	*
		5 to 10	4	*	1	1	*
		10 to 15	5	*	2	2	*
		15 to 20	9	*	2	2	*
		20 to 25	10	*	4	4	*
		25 to 30	10	*	*	*	*
Mass outside the insulation	Without	0 to 5	*	2	*	*	*
		5 to 10	*	3	*	*	*
		10 to 15	*	4	*	*	*
		15 to 20	*	5	*	*	*
		20 to 25	*	5	*	*	*
		25 to 30	*	*	*	*	*
	With	0 to 5	*	3	*	*	*
		5 to 10	*	3	*	*	*
		10 to 15	*	4	*	*	*
		15 to 20	*	5	*	*	*
		20 to 25	*	*	*	*	*
		25 to 30	*	*	*	*	*

*Denotes a roof that is not possible with the chosen parameters.

Πίνακας 6 – Επιλογή Τοίχων, (Mass Located Inside Insulation - Principal Wall Material)

Secondary Material	R-Value, ft ² ·°F·h/Btu	A1	A2	B7	B10	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C17	C18
Stucco and/or plaster	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	*	5	*	*	*	*	*	*	*	5	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	*	5	*	*	*	3	*	2	5	6	*	*	5	*	*
	3.0 to 3.5	*	5	*	*	*	4	2	2	5	6	*	*	6	*	*
	3.5 to 4.0	*	5	*	*	*	4	2	3	6	6	10	4	6	*	5
	4.0 to 4.75	*	6	*	*	*	5	2	4	6	6	11	5	10	*	10
	4.75 to 5.5	*	6	*	*	*	5	2	4	6	6	11	5	10	*	10
	5.5 to 6.5	*	6	*	*	*	5	2	5	10	7	12	5	11	*	10
	6.5 to 7.75	*	6	*	*	*	5	4	5	11	7	16	10	11	*	11
	7.75 to 9.0	*	6	*	*	*	5	4	5	11	7	*	10	11	*	11
	9.0 to 10.75	*	6	*	*	*	5	4	5	11	7	*	10	11	4	11
	10.75 to 12.75	*	6	*	*	*	5	4	5	11	11	*	10	11	4	11
	12.75 to 15.0	*	10	*	*	*	10	4	5	11	11	*	10	11	9	12
	15.0 to 17.5	*	10	*	*	*	10	5	5	11	11	*	11	12	10	16
	17.5 to 20.0	*	11	*	*	*	10	5	9	11	11	*	15	16	10	16
20.0 to 23.0	*	11	*	*	*	10	9	9	16	11	*	15	16	10	16	
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	16	*	15	*	
Steel or other light-weight siding	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	*	3	*	*	*	*	*	2	3	5	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	*	5	*	*	*	2	*	2	5	3	*	*	5	*	*
	3.0 to 3.5	*	5	*	*	*	3	1	2	5	5	*	*	5	*	*
	3.5 to 4.0	*	5	*	*	*	3	2	2	5	5	6	3	5	*	5
	4.0 to 4.75	*	6	*	*	*	4	2	2	5	5	10	4	6	*	5
	4.75 to 5.5	*	6	*	*	*	5	2	2	6	6	11	5	6	*	6
	5.5 to 6.5	*	6	*	*	*	5	2	3	6	6	11	5	6	*	6
	6.5 to 7.75	*	6	*	*	*	5	2	3	6	6	11	5	6	*	10
	7.75 to 9.0	*	6	*	*	*	5	2	3	6	6	12	5	6	*	11
	9.0 to 10.75	*	6	*	*	*	5	2	3	6	6	12	5	6	4	11
	10.75 to 12.75	*	6	*	*	*	5	2	3	6	7	12	6	11	4	11
	12.75 to 15.0	*	6	*	*	*	5	2	4	6	7	12	10	11	5	11
	15.0 to 17.5	*	10	*	*	*	6	4	4	10	7	*	10	11	9	11
	17.5 to 20.0	*	10	*	*	*	10	4	4	10	11	*	10	11	10	11
20.0 to 23.0	*	11	*	*	*	10	4	5	11	11	*	10	11	10	16	
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	10	*	11	16	
Face brick	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	3	*	*	*	*	*	*	*	*	11	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	5	11	*	*	*	*	*	6	11	12	*	*	*	*	*
	3.0 to 3.5	5	12	5	*	*	11	*	11	12	12	*	*	12	*	*
	3.5 to 4.0	5	12	6	*	*	12	6	12	12	13	*	*	12	*	*
	4.0 to 4.75	6	13	6	10	*	13	10	12	12	13	*	11	*	*	16
	4.75 to 5.5	6	13	6	11	*	*	11	12	13	13	*	16	*	*	*
	5.5 to 6.5	6	13	6	11	*	*	11	12	13	13	*	*	*	*	*
	6.5 to 7.75	6	13	6	11	*	*	11	13	*	13	*	*	*	*	*
	7.75 to 9.0	6	13	10	16	*	*	11	13	*	13	*	*	*	*	*
	9.0 to 10.75	6	14	10	16	*	*	11	13	*	14	*	*	*	16	*
	10.75 to 12.75	6	14	10	16	*	*	11	13	*	14	*	*	*	16	*
	12.75 to 15.0	6	*	11	16	*	*	12	13	*	*	*	*	*	*	*
	15.0 to 17.5	10	*	11	*	*	*	12	13	*	*	*	*	*	*	*
	17.5 to 20.0	10	*	11	*	*	*	16	*	*	*	*	*	*	*	*
20.0 to 23.0	11	*	15	*	*	*	16	*	*	*	*	*	*	*	*	
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	16	*	*	*	*	*	*	*	*	

Πίνακας 7 – Επιλογή τοίχων, (Mass Located Outside Insulation - Principal Wall Material)

Secondary Material	R-Value, ft ² ·°F·h/Btu	A1	A2	B7	B10	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C17	C18
Stucco and/or plaster	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	*	3	*	*	*	*	*	2	3	5	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	*	3	*	*	*	2	*	2	4	5	*	*	5	*	*
	3.0 to 3.5	*	3	*	*	*	2	2	2	5	5	*	*	5	*	*
	3.5 to 4.0	*	3	*	*	*	2	2	2	5	5	10	4	6	*	5
	4.0 to 4.75	*	4	*	*	*	4	2	2	5	5	10	4	6	*	9
	4.75 to 5.5	*	4	*	*	*	4	2	2	5	6	11	5	10	*	10
	5.5 to 6.5	*	5	*	*	*	4	2	2	5	6	11	5	10	*	10
	6.5 to 7.75	*	5	*	*	*	4	2	2	5	6	11	10	10	*	10
	7.75 to 9.0	*	5	*	*	*	5	2	4	5	6	16	10	10	*	10
	9.0 to 10.75	*	5	*	*	*	5	4	4	5	6	16	10	10	4	11
	10.75 to 12.75	*	5	*	*	*	5	4	4	10	6	16	10	10	9	11
	12.75 to 15.0	*	5	*	*	*	5	4	4	10	10	*	10	11	9	11
	15.0 to 17.5	*	5	*	*	*	5	4	4	10	10	*	10	11	10	16
	17.5 to 20.0	*	5	*	*	*	9	4	4	10	10	*	10	15	10	16
	20.0 to 23.0	*	9	*	*	*	9	9	9	15	10	*	10	15	15	16
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	15	*	15	16	
Steel or other light-weight siding	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	*	3	*	*	*	*	*	2	3	2	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	*	3	*	*	*	2	*	2	3	2	*	*	*	*	*
	3.0 to 3.5	*	3	*	*	*	2	1	2	4	3	*	*	4	*	*
	3.5 to 4.0	*	3	*	*	*	2	2	2	4	3	5	2	5	*	4
	4.0 to 4.75	*	3	*	*	*	2	2	2	4	3	10	3	5	*	5
	4.75 to 5.5	*	3	*	*	*	2	2	2	5	3	10	4	5	*	5
	5.5 to 6.5	*	4	*	*	*	2	2	2	5	3	10	4	5	*	5
	6.5 to 7.75	*	4	*	*	*	2	2	2	5	4	11	5	5	*	6
	7.75 to 9.0	*	5	*	*	*	2	2	2	5	4	11	5	5	*	6
	9.0 to 10.75	*	5	*	*	*	2	2	2	5	4	11	5	5	4	10
	10.75 to 12.75	*	5	*	*	*	4	2	2	5	5	11	5	5	4	10
	12.75 to 15.0	*	5	*	*	*	4	2	2	5	5	11	5	10	5	10
	15.0 to 17.5	*	5	*	*	*	4	2	4	5	5	16	9	10	9	10
	17.5 to 20.0	*	5	*	*	*	4	4	4	9	5	16	9	10	10	10
	20.0 to 23.0	*	9	*	*	*	4	4	4	9	9	16	10	10	10	11
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	16	10	*	10	15	
Face brick	0.0 to 2.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2.0 to 2.5	3	*	*	*	*	*	*	*	*	11	*	*	*	*	*
	2.5 to 3.0	3	10	*	*	*	*	*	5	10	11	*	*	*	*	*
	3.0 to 3.5	3	11	5	*	*	10	*	5	11	11	*	*	11	*	*
	3.5 to 4.0	3	11	5	*	*	10	5	6	11	11	*	*	11	*	*
	4.0 to 4.75	3	11	5	10	*	10	5	10	11	11	*	10	11	*	16
	4.75 to 5.5	3	12	5	10	*	10	9	10	11	12	*	11	16	*	16
	5.5 to 6.5	4	12	5	10	*	10	10	10	12	12	*	15	16	*	16
	6.5 to 7.75	4	12	5	10	*	11	10	10	12	12	*	16	*	*	16
	7.75 to 9.0	5	12	5	15	*	11	10	10	16	12	*	16	*	*	*
	9.0 to 10.75	5	12	9	15	*	11	10	10	16	12	*	16	*	15	*
	10.75 to 12.75	5	12	10	15	*	11	10	10	*	12	*	16	*	15	*
	12.75 to 15.0	5	*	10	16	*	11	10	11	*	*	*	16	*	15	*
	15.0 to 17.5	5	*	10	16	*	15	10	11	*	*	*	16	*	*	*
	17.5 to 20.0	5	*	10	16	*	16	15	15	*	*	*	*	*	*	*
	20.0 to 23.0	9	*	15	16	*	16	15	15	*	*	*	*	*	*	*
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	15	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Πίνακας 8 – Επιλογή τοίχων, (Mass Evenly Distributed - Principal Wall Material)																	
Secondary Material	R-Value, ft ² ·F·h/Btu	A1	A2	B7	B10	B9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C17	C18	
Stucco and/or plaster	0.0 to 2.0	1	3	*	*	*	*	*	1	3	3	*	*	*	*	*	
	2.0 to 2.5	1	3	1	*	*	2	*	2	4	4	*	*	5	*	*	
	2.5 to 3.0	1	4	1	*	*	2	2	2	4	4	*	*	5	*	*	
	3.0 to 3.5	1	*	1	*	*	2	2	*	*	*	10	4	5	*	4	
	3.5 to 4.0	1	*	1	2	*	*	4	*	*	*	10	4	*	*	4	
	4.0 to 4.75	1	*	1	2	*	*	*	*	*	*	10	4	*	*	4	
	4.75 to 5.5	1	*	1	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	5.5 to 6.5	1	*	2	4	10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	6.5 to 7.75	1	*	2	4	11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	7.75 to 9.0	1	*	2	4	16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	9.0 to 10.75	1	*	2	4	16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
	10.75 to 12.75	1	*	2	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
	12.75 to 15.0	2	*	2	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	15.0 to 17.5	2	*	2	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	17.5 to 20.0	2	*	2	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20.0 to 23.0	2	*	4	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
23.0 to 27.0	*	*	*	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Steel or other light-weight siding	0.0 to 2.0	1	3	*	*	*	*	*	1	3	2	*	*	*	*	*	
	2.0 to 2.5	1	3	1	*	*	2	*	1	3	2	*	*	3	*	*	
	2.5 to 3.0	1	4	1	*	*	2	1	2	4	4	*	*	3	*	*	
	3.0 to 3.5	1	*	1	*	*	4	1	*	*	*	5	2	4	*	4	
	3.5 to 4.0	1	*	1	2	*	*	2	*	*	*	5	2	*	*	4	
	4.0 to 4.75	1	*	1	2	*	*	*	*	*	*	10	4	*	*	4	
	4.75 to 5.5	1	*	1	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	5.5 to 6.5	1	*	1	2	10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	6.5 to 7.75	1	*	1	4	11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	7.75 to 9.0	1	*	2	4	16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	9.0 to 10.75	1	*	2	4	16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*
	10.75 to 12.75	1	*	2	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
	12.75 to 15.0	1	*	2	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	15.0 to 17.5	1	*	2	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	17.5 to 20.0	1	*	2	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20.0 to 23.0	2	*	4	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
23.0 to 27.0	*	*	*	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Face brick	0.0 to 2.0	3	6	*	*	*	*	*	*	*	6	*	*	*	*	*	
	2.0 to 2.5	3	10	*	*	*	*	*	5	10	10	*	*	*	*	*	
	2.5 to 3.0	4	10	5	*	*	5	*	5	10	11	*	*	10	*	*	
	3.0 to 3.5	*	11	5	*	*	10	5	5	11	11	15	10	10	*	10	
	3.5 to 4.0	*	11	5	10	*	10	5	5	11	11	16	10	16	*	10	
	4.0 to 4.75	*	11	*	11	*	10	5	5	16	11	*	10	16	*	16	
	4.75 to 5.5	*	11	*	11	*	10	5	10	16	16	*	10	16	*	16	
	5.5 to 6.5	*	16	*	*	*	10	9	10	16	11	*	11	16	*	16	
	6.5 to 7.75	*	16	*	*	*	11	9	10	16	16	*	16	16	*	*	
	7.75 to 9.0	*	16	*	*	*	15	9	13	16	*	*	15	16	*	*	
	9.0 to 10.75	*	16	*	*	*	15	10	10	*	16	*	16	*	10	*	
	10.75 to 12.75	*	16	*	*	*	16	10	10	*	*	*	16	*	15	*	
	12.75 to 15.0	*	16	*	*	*	16	10	10	*	16	*	*	*	15	*	
	15.0 to 17.5	*	*	*	*	*	16	10	15	*	*	*	*	*	16	*	
	17.5 to 20.0	*	*	*	*	*	16	15	15	*	*	*	*	*	16	*	
20.0 to 23.0	*	*	*	*	*	*	15	16	*	*	*	*	*	*	*		
23.0 to 27.0	*	*	*	*	*	*	15	*	*	*	*	*	*	*	*		

Πίνακας 10 – CLTD

Solar Time, h	CLTD, °F	Solar Time, h	CLTD, °F
0100	1	1300	12
0200	0	1400	13
0300	-1	1500	14
0400	-2	1600	14
0500	-2	1700	13
0600	-2	1800	12
0700	-2	1900	10
0800	0	2000	8
0900	2	2100	6
1000	4	2200	4
1100	7	2300	3
1200	9	2400	2

Πίνακας 11 – Επιλογή ζώνης

Zone Parameters		Zone Type				
No. Walls	Floor Covering	Partition Type	Inside Shade	Glass Solar	People and Equipment	Lights
1 or 2	Carpet	Gypsum	b	A	B	B
1 or 2	Carpet	Concrete block	b	B	C	C
1 or 2	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C
1 or 2	Vinyl	Gypsum	Half to None	C	C	C
1 or 2	Vinyl	Concrete block	Full	C	D	D
1 or 2	Vinyl	Concrete block	Half to None	D	D	D
3	Carpet	Gypsum	b	A	B	B
3	Carpet	Concrete block	Full	A	B	B
3	Carpet	Concrete block	Half to None	B	B	B
3	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C
3	Vinyl	Gypsum	Half to None	C	C	C
3	Vinyl	Concrete block	Full	B	C	C
3	Vinyl	Concrete block	Half to None	C	C	C
4	Carpet	Gypsum	b	A	B	B
4	Vinyl	Gypsum	Full	B	C	C
4	Vinyl	Gypsum	Half to None	C	C	C

Πίνακας 12 - Ροή θερμότητας ηλεκτρικών συσκευών.

Appliances	Size	Energy Rate Btu/h		Recommended Rate of Heat Gain Btu/h			
		Rated	Standby	Without Hood			With Hood
				Sensible	Latent	Total	
Electric, No Hood Required							
Barbeque (pit), per pound of food capacity	80 to 300 lb	136	—	86	50	136	42
Barbeque (pressurized), per pound of food capacity	44 lb	327	—	109	54	163	50
Blender, per quart of capacity	1 to 4 qt	1550	—	1000	520	1520	480
Braising pan, per quart of capacity	108 to 140 qt	360	—	180	95	275	132
Cabinet (large hot holding)	16.2 to 17.3 ft ³	7100	—	610	340	960	290
Cabinet (large hot serving)	37.4 to 406 ft ³	6820	—	610	310	920	280
Cabinet (large proofing)	16 to 17 ft ³	693	—	610	310	920	280
Cabinet (small hot holding)	3.2 to 6.4 ft ³	3070	—	270	140	410	130
Cabinet (very hot holding)	17.3 ft ³	21000	—	1880	960	2830	850
Can opener		580	—	580	—	580	0
Coffee brewer	12 cup/2 brnrs	5660	—	3750	1910	5660	1810
Coffee heater, per boiling burner	1 to 2 brnrs	2290	—	1500	790	2290	720
Coffee heater, per warming burner	1 to 2 brnrs	340	—	230	110	340	110
Coffee/hot water boiling urn, per quart of capacity	11.6 qt	390	—	256	132	388	123
Coffee brewing urn (large), per quart of capacity	23 to 40 qt	2130	—	1420	710	2130	680
Coffee brewing urn (small), per quart of capacity	10.6 qt	1350	—	908	445	1353	416
Cutter (large)	18 in. bowl	2560	—	2560	—	2560	0
Cutter (small)	14 in. bowl	1260	—	1260	—	1260	0
Cutter and mixer (large)	30 to 48 qt	12730	—	12730	—	12730	0
Dishwasher (hood type, chemical sanitizing), per 100 dishes/h	950 to 2000 dishes/h	1300	—	170	370	540	170
Dishwasher (hood type, water sanitizing), per 100 dishes/h	950 to 2000 dishes/h	1300	—	190	420	610	190
Dishwasher (conveyor type, chemical sanitizing), per 100 dishes/h	5000 to 9000 dishes/h	1160	—	140	330	470	150
Dishwasher (conveyor type, water sanitizing), per 100 dishes/h	5000 to 9000 dishes/h	1160	—	150	370	520	170
Display case (refrigerated), per 10 ft ³ of interior	6 to 67 ft ³	1540	—	617	0	617	0
Dough roller (large)	2 rollers	5490	—	5490	—	5490	0
Dough roller (small)	1 roller	1570	—	140	—	140	0
Egg cooker	12 eggs	6140	—	2900	1940	4850	1570
Food processor	2.4 qt	1770	—	1770	—	1770	0
Food warmer (infrared bulb), per lamp	1 to 6 bulbs	850	—	850	—	850	850
Food warmer (shelf type), per square foot of surface	3 to 9 ft ²	930	—	740	190	930	260
Food warmer (infrared tube), per foot of length	39 to 53 in.	990	—	990	—	990	990
Food warmer (well type), per cubic foot of well	0.7 to 2.5 ft ³	3620	—	1200	610	1810	580
Freezer (large)	73	4570	—	1840	—	1840	0
Freezer (small)	18	2760	—	1090	—	1090	0
Griddle/grill (large), per square foot of cooking surface	4.6 to 11.8 ft ²	9200	—	615	343	958	343
Griddle/grill (small), per square foot of cooking surface	2.2 to 4.5 ft ²	8300	—	545	308	853	298
Hot dog broiler	48 to 56 hot dogs	3960	—	340	170	510	160

Πίνακας 13

Θερμότητα από διάφορες δραστηριότητες

Degree of Activity		Total Heat, Btu/h		Sensible Heat Btu/h	Latent Heat Btu/h
		Adult Male	Adjusted M/F		
		Seated at theater	Theater, matinee	390	330
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200
Standing, light work; walking	Departments store; retail store	550	450	250	200
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250
Sedentary work	Restaurant	490	550	275	275
Light bench work	Factory	800	750	275	475
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625
Bowling	Bowling alley	1500	1450	580	870
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090

Πίνακας 2.1 – Τυπικές Αγωγιμότητες

Υλικό	Αγωγιμότητα ($W m^{-1} K^{-1}$)
Χαλκός	388
Αλουμίνιο	202
Ατσάλι	45
Μπετό	1,4
Νερό	0,6
Αέρας	0,026

Πίνακας 2.2 – Fu, FR, FL

Appliance	Usage Factor Fu	Radiation Factor FR	Load Factor FL=FUFRR Elec/Steam
Griddle	0.16	0.45	0.07
Fryer	0.06	0.43	0.03
Convection oven	0.42	0.17	0.07
Charbroiler	0.83	0.29	0.24
Open-top range without oven	0.34	0.46	0.16
Hot-top range without oven	0.79	0.47	0.37
with oven	0.59	0.48	0.28
Steam cooker	0.13	0.30	0.04

Πίνακας 2.3 – Διορθωτικοί συντελεστές

Cooling EER	Cfc	Heating COP	Cfh
11	1,31	3	0,75
13	1,26	3,5	0,77
15	1,23	1,23	0,8
17	1,2	1,2	0,82

Πίνακας 3.1 – Θερμοκρασιακές ιδιότητες του εδάφους

Table 5 – Thermal Properties of Rocks At 77°F⁶

Rock Type	% ¹ Occurrence in Earth's Crust	k - All ² Ther. Con. Btu/h-ft ² -F	K - 80% ³ Ther. Con. Btu/h ft ² -F	c _p Spec. Heat Btu/lb.-F	ρ Density lb/ft ³	α (k/ρ c _p) Ther. Diff. ft ² /day
Igneous Rocks						
Granite (10% Quartz)	10.4	1.1-3.0	1.3-4.9	0.21	185	0.9-4.3
Granite (25% Quartz)			1.5-2.1			1.0-1.4
Amphibolite	42.6	1.1-2.7	1.5-2.2	0.12	175-195	1.1-4.7
Andesite		0.8-2.8	0.9-4.4		160	
Basalt		1.2-1.4		0.17-0.21	180	0.7-0.9
Gabbro (Gen. Plains)		0.9-1.8		0.18	185	0.65-1.15
Gabbro (Rocky Mtns.)		1.2-2.1				0.85-1.5
Diorites	11.2	1.2-1.9	1.2-4.7	0.22	180	0.7-1.0
Grandiorites		1.2-2.0		0.21	170	0.8-4.3
Sedimentary Rocks						
Claystone		1.1-4.7				
Dolomite		0.9-3.6	1.6-3.6	0.21	170-475	1.1-2.3
Limestone		0.8-3.6	1.4-2.2	0.22	150-475	1.0-4.4
Rock Salt		3.7		0.20	130-435	
Sandstone	1.7	1.2-2.0		0.24	160-470	0.7-4.2
Siltstone		0.8-1.4				
Wet Shale (25% Qtz.)	4.2	0.6-2.3	1.0-4.8	0.21	130-165	0.9-1.2
Wet Shale (No Qtz.)			0.6-0.9			0.5-0.6
Dry Shale (25% Qtz.)			0.8-4.4			0.7-1.0
Dry Shale (No Qtz.)			0.5-0.8			0.45-0.55
Metamorphic Rocks						
Gneiss	21.4	1.0-3.3	1.3-2.0	0.22	160-175	0.9-1.2
Marble	0.9	1.2-3.2	1.2-1.9	0.22	170	0.8-1.2
Quartzite		3.0-4.0		0.20	160	2.2-3.0
Schist	5.1	1.2-2.5	1.4-2.2		175-200	
Slate		0.9-4.5		0.22	170-475	0.6-0.9

Πίνακας 3.2 – Συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας

Table 6 – Long Term Temperature Change in Ground Field Temperature for a 10 By 10 Vertical Ground Loop with a 100 Ton Load¹⁰

Eqv. Full-Load Hrs. Heating Cooling	Bore Separation (ft)	Ground Temp. (t _g) & Entering Water Temps. (Htg. & Clg.)					
		t _g = 50°F (EWT = 35/80)		t _g = 60°F (EWT = 45/85)		t _g = 70°F (EWT = 60/95)	
		kg = 1.0	kg = 1.5	kg = 1.0	kg = 1.5	kg = 1.0	kg = 1.5
		Δ t _g (ft/ton)	Δ t _g (ft/ton)	Δ t _g (ft/ton)	Δ t _g (ft/ton)	Δ t _g (ft/ton)	Δ t _g (ft/ton)
1500 500	15	-4.4°F (318)	-4.4°F (248)	-	-	-	-
	20	-2.3°F (276)	-2.3°F (216)	-	-	-	-
	25	-1.2°F (258)	-1.2°F (202)	-	-	-	-
1000 1000	10	12.9°F(318)	11.8°F(245)	NR	11.8°F(313)	-	-
	15	5.4°F(237)	4.3°F(186)	4.7°F(245)	4.7°F (225)	-	-
	20	3.4°F(220)	1.9°F(172)	2.5°F(263)	2.4°F(206)	-	-
500 1500	15	15.1°F(379)	15.1°F(294)	NR	12.8°F(345)	NR	NR
	20	7.8°F (277)	8.0°F (216)	6.7°F (326)	6.7°F (254)	6.7°F (336)	6.7°F (259)
	25	4.1°F(224)	4.3°F(190)	3.5°F(287)	3.5°F(224)	3.5°F(293)	3.5°F(229)
0 2000	15	-	-	NR	NR	NR	NR
	20	-	-	10.3°F (406)	10.4°F (316)	10.4°F (4L4)	10.5°F (322)
	25	-	-	5.4°F (325)	5.5°F (252)	5.4°F (332)	5.5°F (257)

Πίνακας 3.3 – Διάμετρος Σωληνώσεων

Table 1 – Equivalent Diameters and Thermal Resistances for Polyethylene U-Tubes²

U-Tube Dia.	SDR or Schedule	Pipe (Bore) Thermal Resistance (h•ft•F ² /Btu)			
		For Water Flows Above 2.0 US gpm	20% Prop. Glycol Flow 3.0 US gpm	20% Prop. Glycol Flow 5.0 US gpm	20% Prop. Glycol Flow 10.0 US gpm
¾ in. (0.15 ft)	SDR 11	0.09	0.12	NR	NR
	SDR 9	0.11	0.15	NR	NR
	Sch 40	0.10	0.14	NR	NR
1.0 in. (0.18 ft)	SDR 11	0.09	0.14	0.10	NR
	SDR 9	0.11	0.16	0.12	NR
	Sch 40	0.10	0.15	0.11	NR
1 1/4 in. (0.22 ft)	SDR 11	0.09	0.15	0.12	0.09
	SDR 9	0.11	0.17	0.15	0.11
	Sch 40	0.09	0.15	0.12	0.09
1 1/2 in. (0.25 ft)	SDR 11	0.09 ¹	0.16	0.15	0.09
	SDR 9	0.11 ¹	0.18	0.17	0.11
	Sch 40	0.08 ¹	0.14	0.14	0.08

Based on using borehole cuttings for backfilling around u-tube. Use Table 2 corrections for other conditions.
¹ Water flow must be at least 3.0 US gpm to avoid laminar flow for these cases.

Πίνακας 3.4 – Ιδιότητες Υλικού

Table 2 – Thermal Resistance Adjustments For Other Borehole Backfills or Grouts³

(Add value to Base Resistances in)

Natural Soil Cond.	0.9 Btu/h•ft•F°		1.3 Btu/h•ft•F°			1.7 Btu/h•ft•F°	
	0.5 Btu/h•ft•F°	2.0 Btu/h•ft•F°	0.5 Btu/h•ft•F°	1.0 Btu/h•ft•F°	2.0 Btu/h•ft•F°	0.5 Btu/h•ft•F°	1.0 Btu/h•ft•F°
4 in. Bore							
¾ in. U-tube	0.11 (NR)	-0.05	0.14 (NR)	0.03	-0.02	0.17 (NR)	0.05
1 in U-tube	0.07	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.13 (NR)	0.04
5 in. Bore							
¾ in. U-tube	0.14 (NR)	-0.06	0.18 (NR)	0.04	-0.04	0.21 (NR)	0.06
1 in U-tube	0.11 (NR)	-0.04	0.14 (NR)	0.03	-0.02	0.16 (NR)	0.05
1 1/4 in U-tube	0.06	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.12 (NR)	0.04
6 in. Bore							
¾ in. U-tube	0.18 (NR)	-0.07	0.21 (NR)	0.04	-0.05	0.24 (NR)	0.07
1 in U-tube	0.14 (NR)	-0.06	0.17 (NR)	0.03	-0.04	0.21 (NR)	0.06
1 1/4 in U-tube	0.09	-0.04	0.12 (NR)	0.03	-0.02	0.15 (NR)	0.05
1 1/2 in U-tube	0.07	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.11 (NR)	0.04

(NR) Not Recommended
 Air Gaps add 0.2 to 0.4 h•ft•F²/Btu to Bore Resistance
 Note some adjustments are negative, which indicates a thermal enhancement and a lower net thermal resistance compared to natural backfills

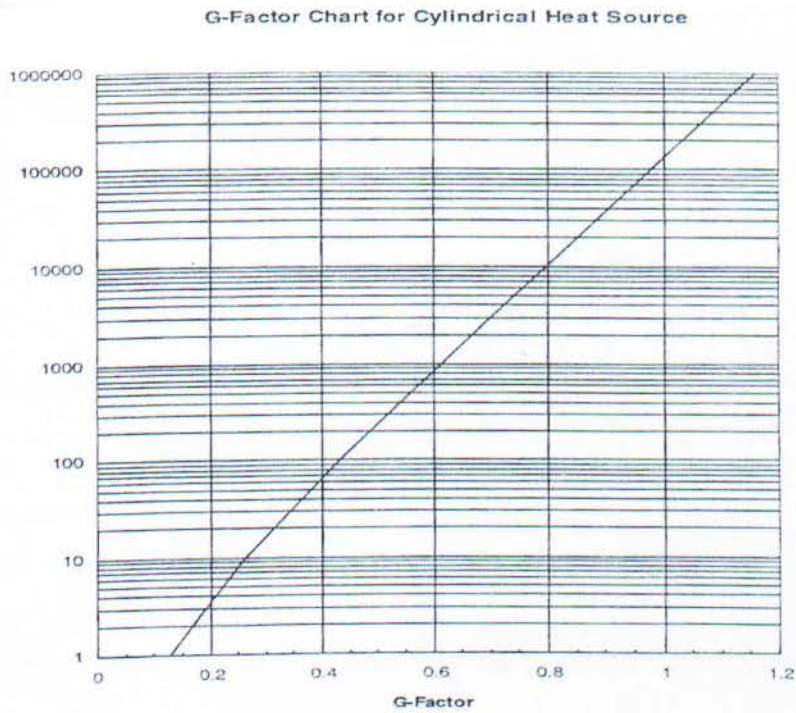
Πίνακας 3.5 – Υπολογισμός Fsc

# Of bores per parallel loop	One	Two	Three
2 gpm/ton	1.06	1.03	1.02
3 gpm/ton	1.04	1.02	1.01

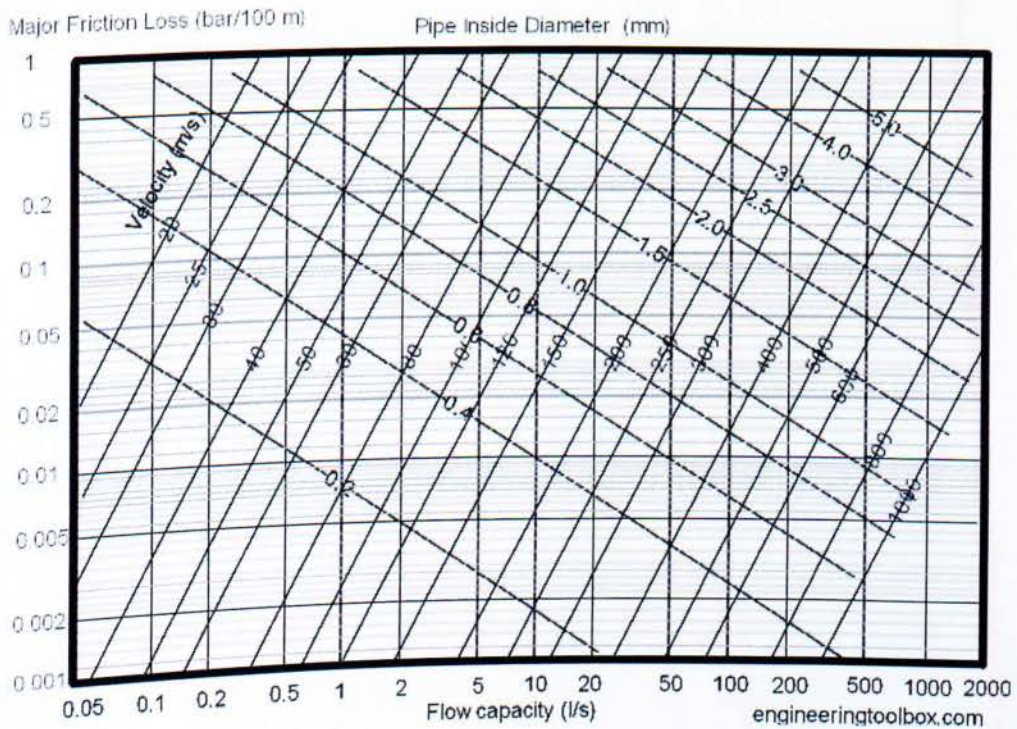
Table 5. Short circuit heat loss factors for various flow rates and numbers of bores per parallel loop

II - Διαγράμματα

Διάγραμμα 3.1 – Εξαγωγή συντελεστή G

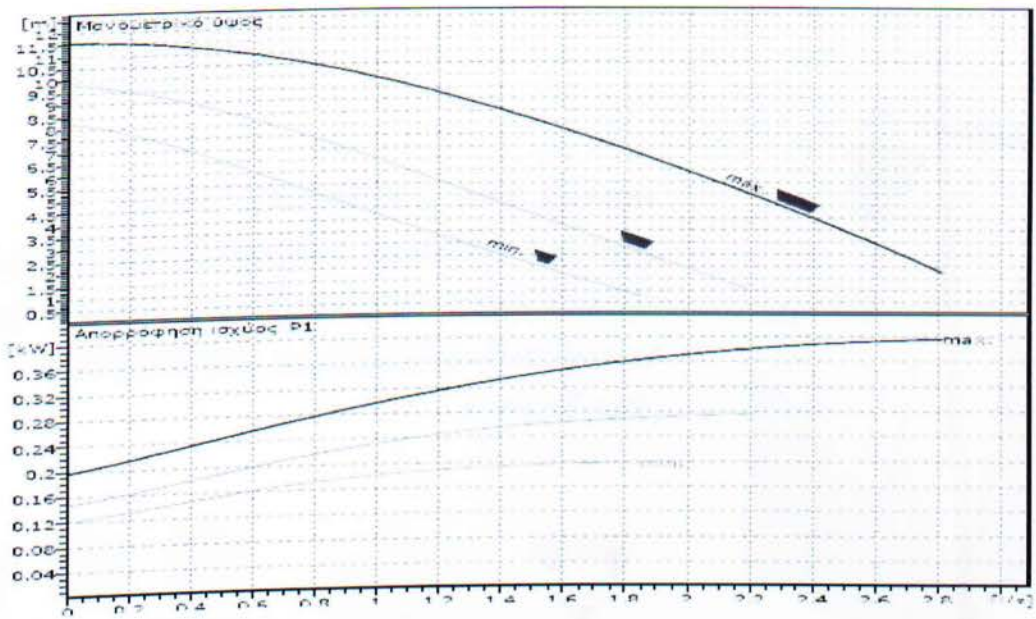


Διάγραμμα 3.2 – Γραμμικές απώλειες δικτύου γεωτρήσεων.



Διάγραμμα 3.3 – 3.4

Καμπύλες Λειτουργίας Κυκλοφορητή



CIAT Water-to-water reversible heat pumps

Cooling capacity: 7 to 28 kW

Heating capacity: 9 to 36 kW



**Total comfort, slim design.
Environmentally sound heating.
The most ecological and cost-effective solution for your comfort.**



Cooling



Heating



Hydraulic module



AUREA 2

USE

CIAT rounds out its portfolio of products for the residential heating market with this new range of water-to-water reversible heat pumps.

Each packaged and attractive unit is of high technical quality and comes equipped with all the hydraulic components

needed for connection to a loop and terminal unit.

Each unit is factory tested and set and delivered ready for use in service rooms, laundry rooms, garages or anywhere protected from inclement weather and freezing temperatures.

RANGE

Aurea 2 heat pumps harness the inexhaustible supply of heat stored in ground water and the earth and operate at efficiency levels that conventional heating systems can't even begin to match.

By design, water-to-water heat pumps are extremely economical to run and maintain.

They can be connected to sources of "gentle heat" such as heating and cooling floors, or terminal units such as fan coil units and water cassettes.

They also offer the dual advantage of providing both heating and cooling in a single system.

DESCRIPTION

Packaged unit protected in a coated, corrosion-resistant galvanised steel casing and ABS front panel.

■ Standard equipment:

- Scroll compressor
- Water-to-refrigerant brazed plate heat exchangers
- Hydraulic module on both exchangers, with accelerator pump and expansion vessel.
- Microconnect microprocessor-controlled control unit with two-wire remote control.

Aurea 2 water-to-water reversible heat pumps meet the following directives:

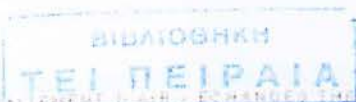
Low voltage (93/68/EEC amended)

EMC (89/336/EEC)

PED (97/23/EC):

category 1: models 30 to 80

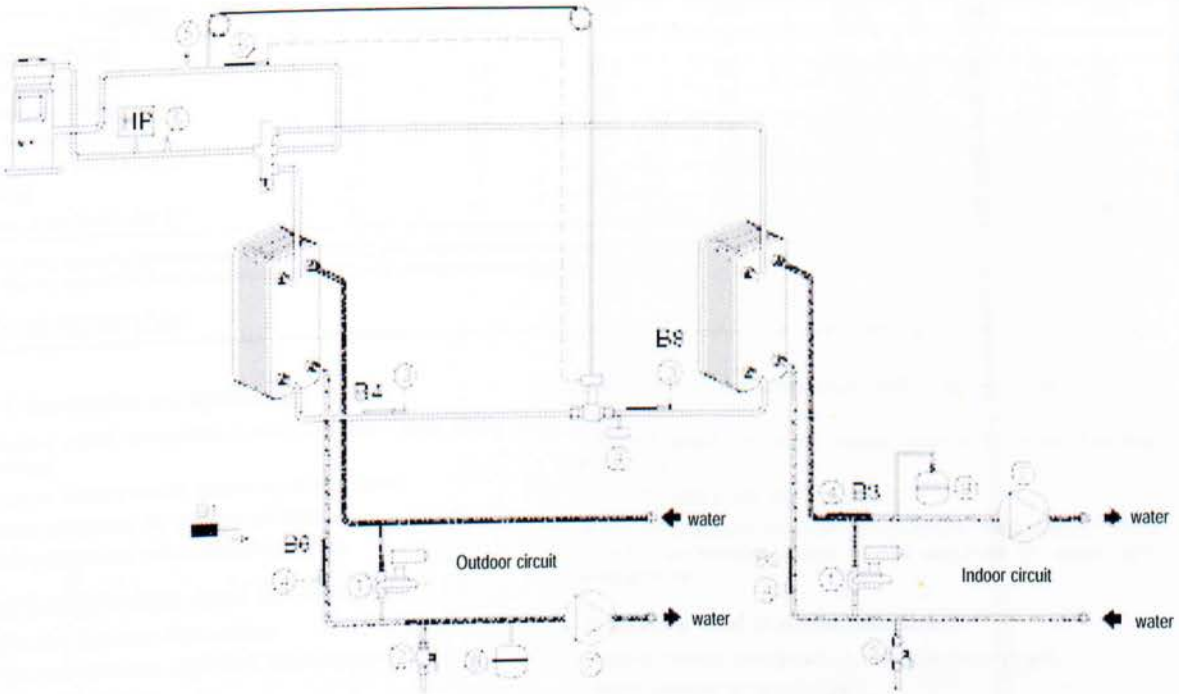
category 2: models 100 to 120



CIAT Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

SCHEMATIC DIAGRAM OF REFRIGERATION CIRCUIT AND HYDRAULIC MODULE



SENSORS

- B1 Outdoor air sensor
- B2 Water return sensor
- B3 Water outlet sensor
- B8 Indoor exchanger freon sensor
- B6 Water outlet sensor
- B4 Outdoor exchanger freon sensor

- ① Differential pressure switch
- ② Drain valve
- ③ Frost protection sensor
- ④ Control sensor
- ⑤ Schröder valve
- ⑥ Expansion bulb
- ⑦ Accelerator pump
- ⑧ Expansion vessel
- ⑨ Fuse plug

WATER FLOW RATES

IMPORTANT:

Minimum flow rates: freezing temperatures could destroy the exchanger if the flow rates fall below the required minimum. CIAT shall not be held liable for damage from frost caused by flow rates below the minimum rates specified below.

Nominal flow rates: to be used to size all the system's hydraulic components.

		AUREA 2						
		30	40	50	65	80	100	120
INDOOR EXCHANGER	Minimum flow rate: (m ³ /h)	1.08	1.40	1.90	2.12	2.75	3.45	4.27
	Nominal flow rate, heating mode, underground loop (m ³ /h) (1)	1.35	1.60	2.35	2.54	3.20	4.20	5.30
	Nominal flow rate, heating mode, ground water (m ³ /h) (2)	1.56	1.98	2.63	3.27	4.00	5.08	5.95
OUTDOOR EXCHANGER	Minimum flow rate (m ³ /h)	1.15	1.45	1.95	2.48	3.00	3.84	4.45
	Nominal flow rate, heating mode (m ³ /h)	1.58	2.03	2.72	3.34	4.00	5.05	5.95

(1) heating mode, underground loop, water 0°C / -3°C, terminal unit 30°C / 35°C

(2) heating mode, groundwater, water, terminal unit 40°C / 45°C

CIAT Water-to-water reversible heat pumps

QUICK SELECTION GUIDE

AUREA 2	30H	40H	50HT	65HT	80HT	100HT	120HT
Number of circuits	1						
Cooling capacity (1)	6.9	9.2	12.7	15.5	18.4	23.2	27.6
Compressor power input (1)	2.1	2.6	3.2	3.9	4.8	5.8	6.9
Heating capacity (2)	9.4	12.1	16.0	19.8	24.5	31	36.3
Compressor power input (2)	2	2.4	3.1	3.7	4.6	5.5	6.6
COP (2)	4.7	5	5.2	5.3	5.3	5.6	5.4
Sound power level - dBA (2)	56	56	58	61	61	63	66

(1) Cooling capacities given for chilled water at 7/12°C and a condenser temperature of 30/35°C
 (2) Heating capacities given for hot water at 35/30°C and an evaporator temperature of 10°C

COMPOSITION

■ 1 hermetic compressor

- Rotary scroll compressor with 2 scrolls (one fixed, one orbiting).
- Built-in electric motor cooled by suction gas.
- Motor protected by winding sensors.
- Self-supporting, noise-damping frame.

■ 2 brazed-plate heat exchangers

- AISI 316 stainless steel plates.
- High-performance, optimised plate patterns.
- Thermal insulation.

■ Standard accessories

- Refrigerant reversing valve.
- Biflow expansion valve.
- Frame with vibration mounts.

■ Electrical panel

- Meets EN 60335-1 and EN 60335-2-40.
- Front panel with built-in display.
- Remote-control terminal.
- Outdoor temperature sensor.
- Remote-control circuit protection.
- Compressor motor contactor.
- Main earth connection.

■ Electronic control unit with Microconnect microprocessor:

- Chilled water or hot water temperature control (reversible heat pump) via a water equation based on the outdoor temperature, with room temperature compensation.
- Self-adjusting control during compressor short cycles, increase in stage differential.
- Boiler-heat pump switchover mode: switchover managed automatically by the control system via a setting that can be adjusted based on the outdoor temperature.

Exchanger water outlet temperatures displayed on front panel.

- Operating settings check
- Temperatures displayed on control terminal
 - Room temperature or water setpoint in terminal unit mode
 - Room temperature in floor mode (heating and cooling floors)
- Control of operating parameters

- Remote-control terminal with polarity-free two-wire connection.

ON/OFF input control (2 inputs, automatic / load shedding, hot - cold / vacancy)

- short-cycle protection (5 mm)
- low-temperature start-up (temperature, indoor water circuit > 5°C) accelerator pump speed adjusted to water start temperature.

■ Safety and control devices

- High-pressure safety switch with automatic reset.
- Frost sensors on exchangers.
- Chilled water return sensor, hot water start (on indoor exchanger).

■ 2 built-in hydraulic modules (loop and indoor) with the following accessories:

- 1 expansion vessel.
- 1 drain.
- 1 multi-speed accelerator pump (3 speeds, 2 of which are usable on some models) with shut-off valves and insulation jacket.
- Differential water pressure switch.

■ Options (for installation on site)

- Insulated hose assemblies.
- Screen filter with shut-off valves.
- Charging kit.
- Start-up kit (models 30 and 40) - single-phase only.
- Compressor noise insulation kit.
- Single-phase or three-phase loop heater
- Other options (see catalogue)



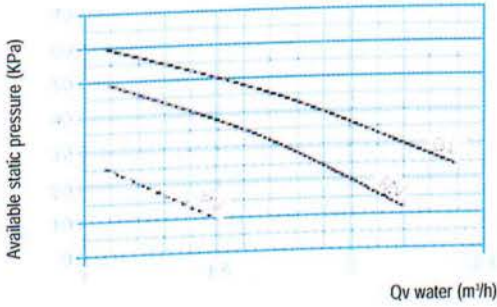
Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

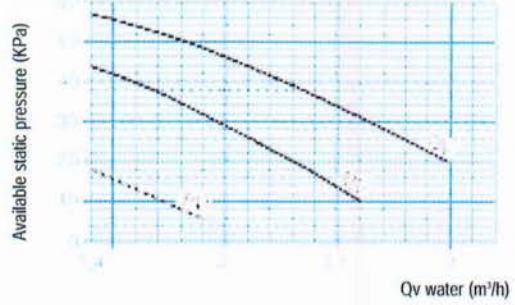
AVAILABLE PRESSURE IN THE INDOOR CIRCUIT

Indoor circuit

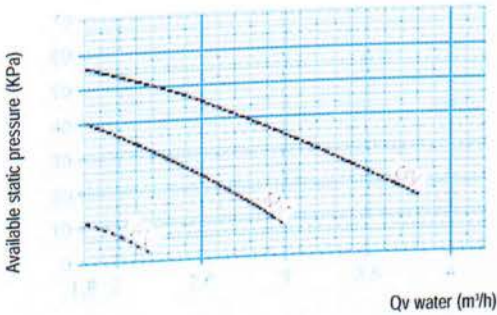
AUREA 2 - 30H



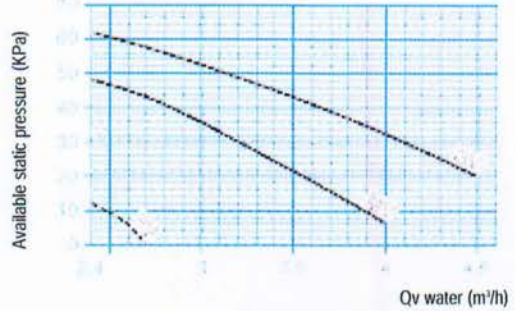
AUREA 2 - 40H



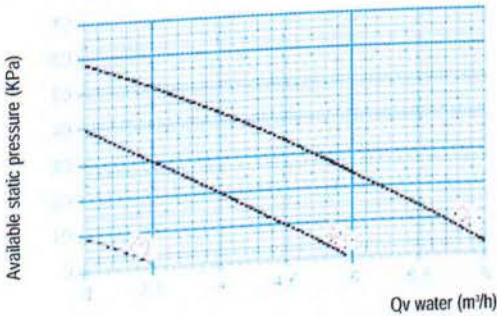
AUREA 2 - 50HT



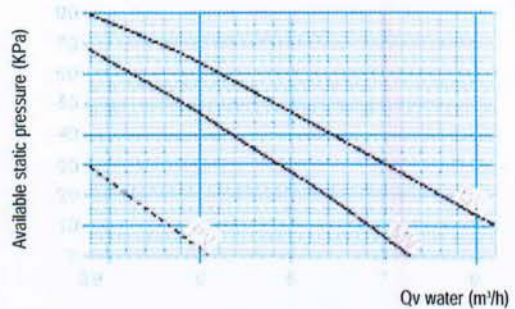
AUREA 2 - 65HT



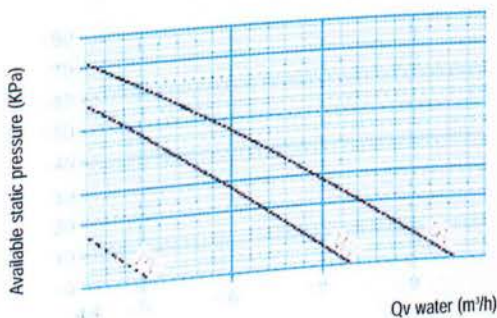
AUREA 2 - 80HT



AUREA 2 - 100HT



AUREA 2 - 120HT



IMPORTANT: The indoor accelerator pump cannot be used at low speed.

The available pressure curves are given for pure water. If 40% monopropylene glycol is to be used, reduce the available pressures by 5 kPa.

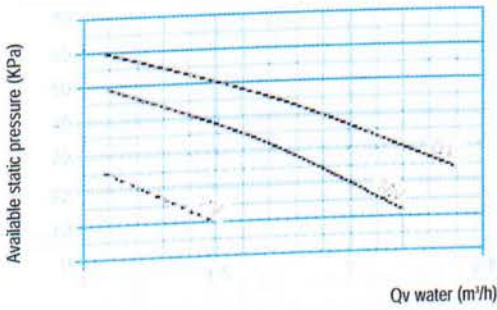
CIAT Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

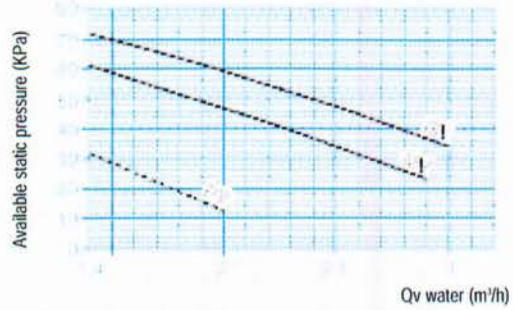
AVAILABLE PRESSURE IN THE OUTDOOR CIRCUIT

Outdoor circuit

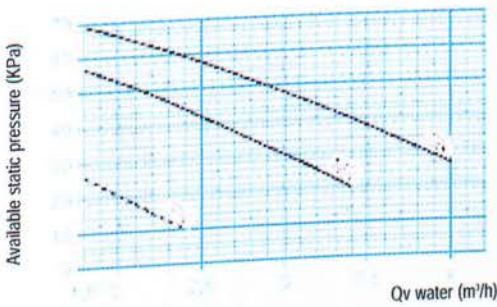
AUREA 2 - 30H



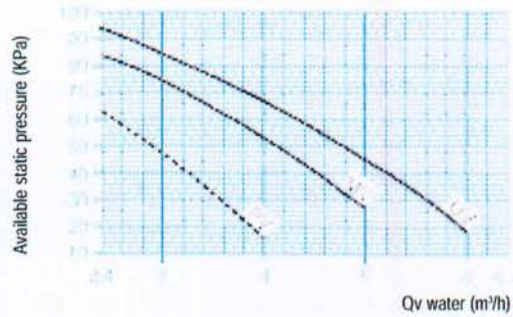
AUREA 2 - 40H



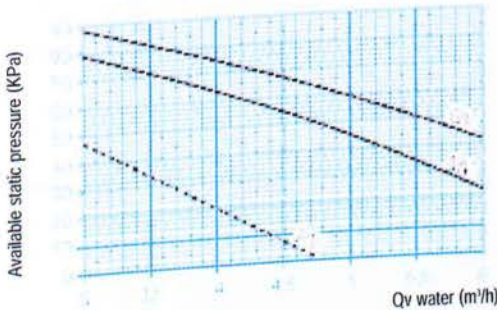
AUREA 2 - 50HT



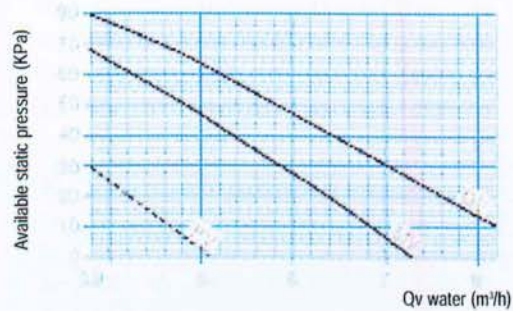
AUREA 2 - 65HT



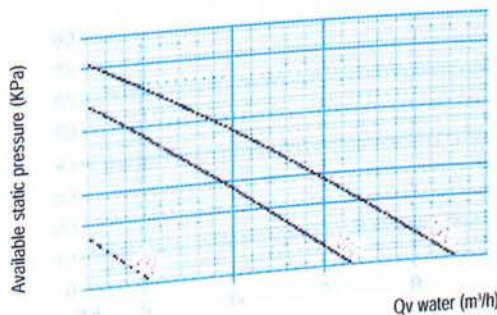
AUREA 2 - 80HT



AUREA 2 - 100HT



AUREA 2 - 120HT



The available pressure curves are given for pure water. If monopropylene glycol is to be used, reduce the available pressures by:

- 5 kPa for 20% MPG
- 10 kPa for 40% MPG

CIAT Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

COOLING AND HEATING CAPACITIES

Cold water outlet temp. (°C)		Hot water outlet temp. (°C)																		
		30			35			40			45			50			55			
		Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	
30H	40% monopropylene glycol solution	-6	5.1	1.7	6.7	4.8	2.0	6.6	4.5	2.2	6.6	4.2	2.5	6.6	3.8	2.9	6.6	3.5	3.3	6.5
		-4	5.5	1.7	7.1	5.2	1.9	7.0	4.8	2.2	7.0	4.5	2.5	6.9	4.2	2.9	6.9	3.8	3.3	6.9
		-2	5.9	1.7	7.5	5.6	1.9	7.4	5.2	2.2	7.4	4.9	2.5	7.3	4.5	2.9	7.2	4.1	3.3	7.2
		0	6.4	1.7	8.0	6.0	1.9	7.9	5.6	2.2	7.8	5.3	2.5	7.7	4.9	2.9	7.6	4.5	3.3	7.5
		2	6.8	1.7	8.5	6.5	1.9	8.3	6.1	2.2	8.2	5.7	2.5	8.1	5.3	2.9	8.0	4.8	3.3	7.9
	5	8.0	1.6	9.6	7.5	1.9	9.4	7.0	2.2	9.1	6.5	2.5	9.0	6.1	2.9	8.8	5.6	3.2	8.6	
	6	8.1	1.7	9.8	7.7	1.9	9.6	7.2	2.2	9.4	6.8	2.5	9.2	6.3	2.9	9.0	5.8	3.2	8.8	
	7	8.4	1.7	10.1	8.0	1.9	9.8	7.5	2.2	9.6	7.0	2.5	9.4	6.5	2.9	9.2	6.0	3.2	9.1	
	8	8.8	1.6	10.4	8.3	1.9	10.2	7.9	2.1	9.9	7.3	2.5	9.7	6.7	2.8	9.5	6.2	3.2	9.3	
	10	9.3	1.7	11.0	8.8	1.9	10.7	8.3	2.2	10.4	7.8	2.5	10.2	7.2	2.8	9.9	6.7	3.2	9.7	
	12	10.0	1.7	11.6	9.4	1.9	11.3	8.9	2.2	11.0	8.3	2.5	10.7	7.7	2.8	10.4	7.1	3.2	10.2	
	15	11.0	1.7	12.6	10.4	1.9	12.3	9.8	2.2	11.9	9.2	2.5	11.6	8.6	2.8	11.3	7.9	3.2	11.0	
18	12.1	1.7	13.7	11.5	1.9	13.3	10.8	2.2	12.9	10.1	2.5	12.5	9.4	2.8	12.1	8.7	3.2	11.7		
20	12.8	1.7	14.4	12.1	1.9	14.0	11.4	2.2	13.5	10.7	2.5	13.1	10.0	2.8	12.7	9.2	3.1	12.2		
40H	40% monopropylene glycol solution	-6	6.5	2.2	8.6	6.2	2.5	8.5	5.8	2.8	8.4	5.4	3.2	8.4	5.0	3.6	8.4	4.5	4.1	8.3
		-4	7.1	2.2	9.1	6.7	2.5	9.0	6.3	2.8	8.9	5.8	3.2	8.9	5.4	3.6	8.8	4.9	4.1	8.8
		-2	7.6	2.2	9.7	7.2	2.4	9.6	6.8	2.8	9.4	6.3	3.2	9.3	5.8	3.6	9.2	5.4	4.1	9.2
		0	8.3	2.1	10.3	7.8	2.4	10.1	7.3	2.8	10.0	6.8	3.2	9.8	6.3	3.6	9.7	5.8	4.1	9.6
		2	8.8	2.1	10.9	8.3	2.4	10.7	7.8	2.8	10.5	7.3	3.2	10.4	6.8	3.6	10.2	6.2	4.0	10.1
	5	10.2	2.1	12.2	9.6	2.4	12.0	9.0	2.8	11.7	8.5	3.2	11.5	7.8	3.6	11.2	7.2	4.0	11.0	
	6	10.5	2.1	12.6	9.9	2.4	12.3	9.4	2.8	12.0	8.8	3.2	11.8	8.1	3.6	11.5	7.5	4.0	11.3	
	7	10.9	2.1	13.0	10.3	2.4	12.7	9.7	2.8	12.4	9.1	3.2	12.1	8.4	3.6	11.8	7.8	4.0	11.6	
	8	11.3	2.1	13.3	10.7	2.4	13.0	10.0	2.8	12.7	9.4	3.1	12.4	8.7	3.6	12.1	8.0	4.0	11.8	
	10	12.1	2.1	14.1	11.4	2.4	13.7	10.8	2.8	13.4	10.1	3.1	13.1	9.3	3.5	12.7	8.6	4.0	12.4	
	12	12.9	2.1	15.0	12.2	2.4	14.5	11.5	2.7	14.1	10.8	3.1	13.8	10.0	3.5	13.4	9.2	4.0	13.0	
	15	14.2	2.1	16.3	13.4	2.4	15.8	12.7	2.7	15.3	11.9	3.1	14.9	11.0	3.5	14.4	10.3	3.9	14.1	
18	15.7	2.1	17.7	14.8	2.4	17.2	14.0	2.7	16.6	13.1	3.1	16.1	12.2	3.5	15.6	11.3	3.9	15.1		
20	16.6	2.1	18.6	15.7	2.4	18.0	14.8	2.7	17.5	13.9	3.1	16.9	12.9	3.5	16.3	12.0	3.9	15.7		
40HT	40% monopropylene glycol solution	-6	6.6	2.0	8.5	6.2	2.2	8.4	5.8	2.5	8.2	5.4	2.8	8.1	5.0	3.2	8.0	4.5	3.6	7.9
		-4	7.1	2.0	9.1	6.7	2.3	8.9	6.3	2.5	8.7	5.9	2.8	8.6	5.4	3.2	8.4	4.9	3.6	8.3
		-2	7.7	2.0	9.6	7.3	2.3	9.4	6.8	2.5	9.2	6.4	2.9	9.1	5.9	3.2	8.9	5.4	3.6	8.8
		0	8.3	2.0	10.2	7.8	2.3	10.0	7.3	2.6	9.8	6.8	2.9	9.6	6.3	3.2	9.4	5.8	3.6	9.2
		2	8.9	2.0	10.9	8.4	2.3	10.6	7.9	2.6	10.4	7.4	2.9	10.1	6.8	3.2	9.9	6.3	3.6	9.7
	5	10.2	2.0	12.2	9.7	2.3	11.9	9.1	2.6	11.6	8.5	2.9	11.3	7.9	3.3	11.0	7.2	3.6	10.7	
	6	10.6	2.0	12.6	10.0	2.3	12.2	9.4	2.6	11.9	8.8	2.9	11.6	8.1	3.3	11.3	7.5	3.7	11.0	
	7	11.0	2.0	13.0	10.4	2.3	12.6	9.7	2.6	12.2	9.1	2.9	11.9	8.4	3.3	11.6	7.8	3.7	11.3	
	8	11.4	2.0	13.3	10.7	2.3	13.0	10.1	2.6	12.6	9.4	2.9	12.2	8.7	3.3	11.9	8.0	3.7	11.5	
	10	12.1	2.0	14.1	11.5	2.3	13.7	10.8	2.6	13.3	10.1	2.9	12.9	9.4	3.3	12.5	8.6	3.7	12.2	
	12	12.9	2.0	14.9	12.2	2.3	14.5	11.5	2.6	14.1	10.8	2.9	13.6	10.0	3.3	13.2	9.3	3.7	12.8	
	15	14.3	2.0	16.3	13.5	2.3	15.7	12.7	2.6	15.3	11.9	2.9	14.8	11.1	3.3	14.3	10.3	3.7	13.9	
18	15.7	2.0	17.7	14.9	2.3	17.1	14.0	2.6	16.6	13.1	2.9	16.0	12.2	3.3	15.4	11.3	3.7	14.9		
20	16.6	2.1	18.6	15.8	2.4	18.0	14.9	2.6	17.5	14.0	2.9	16.8	13.0	3.3	16.3	12.0	3.7	15.7		

Glycol / water solution required.

Refer to the maintenance manual for information on adjusting the water flow rate on the outdoor exchanger (ground water loop).

Cc: Validated cooling capacity based on the operating limits.
Pi: Compressor power input.
Hc: Validated heating capacity based on the operating limits.



Water-to-water reversible heat pumps

COOLING AND HEATING CAPACITIES

AUREA 2

Cold water outlet temp. (°C)		Hot water outlet temp. (°C)																		
		30			35			40			45			50			55			
		Cc kW	PI kW	Hc kW	Cc kW	PI kW	Hc kW	Cc kW	PI kW	Hc kW	Cc kW	PI kW	Hc kW	Cc kW	PI kW	Hc kW	Cc kW	PI kW	Hc kW	
50HT	40% monopropylene glycol solution	-6	8.9	2.6	11.4	8.5	3.0	11.3	8.0	3.4	11.2	7.4	3.8	11.1	6.8	4.4	10.9	5.9	5.1	10.7
		-4	9.6	2.6	12.1	9.1	3.0	12.0	8.6	3.4	11.8	8.0	3.8	11.7	7.4	4.4	11.5	6.6	5.1	11.3
		-2	10.3	2.6	12.8	9.8	3.0	12.7	9.3	3.4	12.5	8.7	3.8	12.3	8.0	4.4	12.1	7.2	5.0	11.9
		0	11.1	2.6	13.6	10.5	3.0	13.4	10.0	3.4	13.2	9.3	3.8	13.0	8.6	4.4	12.8	7.8	5.0	12.5
		2	11.9	2.6	14.4	11.3	3.0	14.2	10.7	3.4	13.9	10.0	3.8	13.7	9.3	4.4	13.4	8.4	5.0	13.2
		5	13.6	2.7	16.2	12.9	3.0	15.8	12.2	3.4	15.5	11.5	3.8	15.1	10.6	4.4	14.8	9.7	5.0	14.5
	Municipal water	6	14.0	2.7	16.6	13.3	3.0	16.2	12.6	3.4	15.9	11.8	3.8	15.6	11.0	4.4	15.2	10.1	5.0	14.8
		7	14.5	2.7	17.1	13.8	3.0	16.7	13.0	3.4	16.3	12.2	3.9	15.9	11.4	4.4	15.6	10.5	5.0	15.2
		8	14.9	2.7	17.5	14.2	3.0	17.2	13.4	3.4	16.7	12.6	3.9	16.4	11.8	4.4	16.0	10.8	4.9	15.5
		10	15.9	2.7	18.6	15.2	3.1	18.1	14.3	3.4	17.7	13.5	3.9	17.2	12.6	4.4	16.8	11.6	4.9	16.3
		12	17.0	2.7	19.6	16.1	3.1	19.1	15.3	3.4	18.6	14.4	3.9	18.1	13.4	4.4	17.6	12.4	4.9	17.1
		15	18.7	2.7	21.4	17.7	3.1	20.7	16.7	3.5	20.1	15.8	3.9	19.6	14.8	4.4	19.0	13.7	4.9	18.5
65HT	40% monopropylene glycol solution	-6	10.7	3.1	13.7	10.1	3.49	13.4	9.4	3.9	13.1	8.7	4.4	12.9	7.9	4.9	12.5	7.0	5.5	12.2
		-4	11.5	3.2	14.6	10.9	3.52	14.3	10.2	3.9	14.0	9.5	4.4	13.7	8.7	4.9	13.3	7.8	5.5	13.0
		-2	12.4	3.2	15.5	11.7	3.54	15.2	11.0	4.0	14.8	10.3	4.42	14.5	9.5	4.9	14.1	8.6	5.5	13.8
		0	13.4	3.2	16.4	12.7	3.57	16.1	11.9	4.0	15.8	11.1	4.5	15.4	10.3	5.0	15.0	9.4	5.5	14.6
		2	14.4	3.2	17.5	13.6	3.60	17.1	12.8	4.0	16.7	12.0	4.5	16.3	11.1	5.0	15.9	10.2	5.6	15.4
		5	16.7	3.2	19.8	15.6	3.7	19.2	14.8	4.1	18.7	13.8	4.6	18.2	12.8	5.1	17.7	11.8	5.6	17.2
	Municipal water	6	17.1	3.3	20.3	16.2	3.7	19.7	15.3	4.1	19.2	14.3	4.6	18.7	13.3	5.1	18.2	12.2	5.6	17.6
		7	17.6	3.3	20.8	16.7	3.7	20.3	15.8	4.1	19.8	14.8	4.6	19.2	13.8	5.1	18.7	12.7	5.7	18.1
		8	18.2	3.3	21.4	17.3	3.7	20.9	16.3	4.1	20.3	15.3	4.6	19.7	14.3	5.1	19.2	13.2	5.7	18.6
		10	19.5	3.3	22.7	18.5	3.7	22.1	17.5	4.1	21.5	16.4	4.6	20.9	15.3	5.1	20.2	14.1	5.7	19.6
		12	20.8	3.3	24.0	19.7	3.7	23.3	18.6	4.2	22.7	17.5	4.6	22.0	16.3	5.2	21.3	15.1	5.7	20.6
		15	22.8	3.4	26.1	21.7	3.8	25.4	20.5	4.2	24.6	19.2	4.7	23.8	18.0	5.2	23.0	16.8	5.8	22.3
80HT	40% monopropylene glycol solution	-6	13.0	3.8	16.7	12.3	4.3	16.4	11.5	4.8	16.1	10.7	5.3	15.8	9.8	6.0	15.5	8.9	6.7	15.2
		-4	14.1	3.9	17.8	13.3	4.3	17.4	12.5	4.8	17.1	11.6	5.4	16.7	10.7	6.0	16.4	9.8	6.7	16.1
		-2	15.2	3.9	19.0	14.4	4.3	18.6	13.5	4.8	18.2	12.6	5.4	17.8	11.7	6.0	17.4	10.7	6.7	17.0
		0	16.4	3.9	20.2	15.5	4.4	19.7	14.6	4.9	19.3	13.7	5.4	18.9	12.7	6.0	18.4	11.6	6.7	18.0
		2	17.6	3.9	21.5	16.7	4.4	21.0	15.8	4.9	20.5	14.8	5.5	20.0	13.7	6.1	19.5	12.6	6.8	19.0
		5	20.2	4.0	24.1	19.2	4.5	23.5	18.2	5.0	23.0	17.0	5.5	22.3	15.8	6.2	21.7	14.5	6.8	21.1
	Municipal water	6	20.9	4.0	24.8	19.9	4.5	24.2	18.8	5.0	23.6	17.6	5.6	23.0	16.4	6.2	22.3	15.1	6.9	21.6
		7	21.6	4.0	25.6	20.6	4.5	24.9	19.4	5.0	24.3	18.2	5.6	23.6	16.9	6.2	22.9	15.6	6.9	22.2
		8	22.3	4.1	26.3	21.3	4.5	25.6	20.1	5.0	24.9	18.8	5.6	24.2	17.5	6.2	23.5	16.2	6.9	22.8
		10	23.9	4.1	27.8	22.7	4.5	27.1	21.5	5.1	26.4	20.1	5.6	25.6	18.8	6.3	24.8	17.4	6.9	24.0
		12	25.4	4.1	29.4	24.2	4.5	28.6	22.9	5.1	27.8	21.5	5.7	27.0	20.1	6.3	26.1	18.6	7.0	25.3
		15	27.9	4.1	31.9	26.5	4.6	31.0	25.1	5.1	30.1	23.7	5.7	29.2	22.1	6.3	28.2	20.5	7.0	27.3
		18	30.3	4.2	34.4	28.9	4.6	33.4	27.4	5.1	32.4	25.8	5.7	31.3	24.1	6.4	30.3	22.5	7.0	29.3
		20	31.9	4.2	36.0	30.5	4.6	35.0	28.9	5.2	33.9	27.2	5.8	32.8	25.5	6.4	31.7	23.8	7.1	30.6

Cc: Validated cooling capacity based on the operating limits.
 PI: Compressor power input.
 Hc: Validated heating capacity based on the operating limits.

Glycol / water solution required.
 Refer to the maintenance manual for information on adjusting the water flow rate on the outdoor exchanger (ground water loop).



Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

COOLING AND HEATING CAPACITIES

Cold water outlet temp. (°C)		Hot water outlet temp. (°C)																		
		30			35			40			45			50			55			
		Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	Cc kW	Pi kW	Hc kW	
100HT	40% monopropylene glycol solution	-6	16.1	4.7	20.7	15.3	5.3	20.4	14.4	5.9	20.0	13.4	6.6	19.7	12.2	7.5	19.2	10.7	8.5	18.7
		-4	17.5	4.7	22.1	16.7	5.3	21.7	15.7	5.9	21.4	14.6	6.6	20.9	13.4	7.5	20.5	12.1	8.4	20.0
		-2	19.0	4.8	23.6	18.1	5.3	23.2	17.1	5.9	22.7	15.9	6.6	22.3	14.7	7.4	21.8	13.4	8.4	21.3
		0	20.5	4.8	25.1	19.5	5.3	24.7	18.4	5.9	24.2	17.3	6.6	23.7	16.0	7.5	23.1	14.6	8.4	22.5
		2	22.1	4.8	26.8	21.0	5.4	26.2	19.9	6.0	25.6	18.7	6.7	25.1	17.4	7.5	24.5	15.9	8.4	23.9
		5	25.5	4.9	30.3	24.2	5.4	29.5	22.9	6.1	28.8	21.5	6.8	28.0	20.1	7.5	27.3	18.5	8.4	26.6
	Municipal water	6	26.4	4.9	31.1	25.1	5.5	30.4	23.7	6.1	29.6	22.3	6.8	28.8	20.8	7.6	28.1	19.2	8.5	27.3
		7	27.3	4.9	32.1	25.9	5.5	31.3	24.5	6.1	30.5	23.1	6.8	29.6	21.6	7.6	28.8	19.9	8.5	28.0
		8	28.2	5.0	33.1	26.8	5.5	32.2	25.4	6.1	31.3	23.9	6.8	30.5	22.3	7.6	29.6	20.6	8.5	28.8
		10	30.2	5.0	35.1	28.7	5.6	34.1	27.1	6.2	33.1	25.5	6.9	32.2	23.9	7.7	31.2	22.1	8.5	30.3
		12	32.2	5.1	37.2	30.6	5.7	36.1	29.0	6.3	35.0	27.3	6.9	34.0	25.5	7.7	32.9	23.7	8.6	31.9
		15	35.5	5.2	40.6	33.7	5.8	39.4	31.8	6.4	38.0	30.0	7.1	36.8	28.1	7.8	35.6	26.2	8.6	34.5
120HT	40% monopropylene glycol solution	-6	19.0	5.5	24.3	17.9	6.2	23.8	16.7	6.9	23.4	15.4	7.8	22.9	14.2	8.8	22.5	12.6	9.9	21.9
		-4	20.6	5.5	25.9	19.4	6.2	25.4	18.2	7.0	24.9	16.9	7.8	24.3	15.5	8.8	23.8	14.0	9.9	23.3
		-2	22.2	5.6	27.6	21.0	6.2	27.0	19.7	7.0	26.4	18.3	7.9	25.8	16.8	8.8	25.2	15.3	9.9	24.7
		0	23.9	5.6	29.3	22.7	6.3	28.7	21.3	7.1	28.1	19.8	7.9	27.4	18.3	8.9	26.7	16.6	10.0	26.1
		2	26.0	5.5	31.3	24.4	6.3	30.5	22.9	7.1	29.8	21.4	8.0	29.0	19.8	8.9	28.3	18.0	10.0	27.5
		5	29.6	5.7	35.1	28.0	6.4	34.3	26.5	7.2	33.4	24.7	8.0	32.5	22.8	9.0	31.5	20.9	10.1	30.5
	Municipal water	6	30.6	5.7	36.2	29.1	6.4	35.3	27.4	7.2	34.4	25.6	8.1	33.4	23.7	9.0	32.4	21.7	10.1	31.4
		7	31.6	5.8	37.2	30.1	6.4	36.3	28.3	7.2	35.3	26.4	8.1	34.3	24.6	9.0	33.3	22.5	10.1	32.2
		8	32.7	5.8	38.3	31.1	6.5	37.4	29.4	7.2	36.4	27.4	8.1	35.2	25.4	9.1	34.2	23.4	10.1	33.1
		10	34.8	5.8	40.5	33.2	6.5	39.6	31.4	7.3	38.4	29.4	8.1	37.2	27.3	9.1	36.0	25.1	10.1	34.8
		12	37.2	5.9	42.9	35.4	6.6	41.8	33.5	7.3	40.6	31.4	8.2	39.3	29.2	9.1	38.0	26.9	10.1	36.7
		15	40.7	6.0	46.6	38.9	6.7	45.4	36.9	7.4	44.1	34.7	8.2	42.6	32.3	9.2	41.1	29.9	10.2	39.7
Municipal water	18	44.8	6.1	50.8	42.8	6.7	49.4	40.7	7.4	48.0	38.2	8.3	46.3	35.7	9.2	44.6	33.1	10.2	42.9	
	20	47.4	6.2	53.5	45.2	6.8	51.9	43.0	7.5	50.3	40.5	8.3	48.6	37.8	9.2	46.8	35.2	10.2	45.2	

Cc: Validated cooling capacity based on the operating limits.
Pi: Compressor power input.
Hc: Validated heating capacity based on the operating limits.

Glycol / water solution required.
Refer to the maintenance manual for information on adjusting the water flow rate on the outdoor exchanger (ground water loop).

NOTES



Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

TECHNICAL CHARACTERISTICS

AUREA 2		30H	40H	40HT	50HT	65HT	80HT	100HT	120HT	
Compressor	Number	1								
	Type	hermetic scroll								
	Capacity control	0 - 100								
	Rotation speed	2900 rpm								
	R-410A refrigerant	kg	0.74	0.88	0.88	1.48	1.55	1.85	2.95	2.95
Oil capacity (POE)	l	1.25	1.25	1.25	1.95	1.66	1.77	3.25	3.25	
Indoor heat exchanger	Number / circuits	1/1								
	Type	brazed plates								
	Water capacity	l	1.24	1.62	1.62	2.38	2.76	3.7	4.17	4.17
Indoor hydraulic module	Expansion vessel capacity	l	8							
	Expansion vessel pre-charge pressure	bar	1.5							
	Max. water capacity of system (pure water / glycol-water solution)	l	250 / 176	250 / 176	250 / 176	250 / 176	376 / 265	376 / 265	376 / 265	376 / 265
	Min. water capacity of system	l	40	52	52	66	83	102	127	148
	Number of accelerator pump speeds / Available pressure 30/35°C 10°C	Kpa	2 / 48	2 / 36	2 / 36	2 / 39	2 / 45	2 / 40	2 / 58	2 / 42
Outdoor heat exchanger	Number / circuits	1/1								
	Type	brazed plates								
	Water capacity	l	1.24	1.62	1.62	2.38	2.76	3.7	4.17	4.17
	Expansion vessel capacity	l	8							
Outdoor hydraulic module	Expansion vessel pre-charge pressure	bar	1.5							
	Max. water capacity of system (glycol / water solution)	l	214	214	214	214	321	321	321	321
	Number of accelerator pump speeds / Available pressure 30/35°C 10°C	Kpa	3 / 39	3 / 45	3 / 45	3 / 38	3 / 57	3 / 58	3 / 44	3 / 19

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

AUREA 2		30H	40H	40HT	50HT	65HT	80HT	100HT	120HT	
Electrical power supply	230 V	230 V single phase - 50 Hz w/neutral & earth								
	400 V	400 V three phase - 50 Hz with neutral & earth								
Rated current	Compressor	A	17.5	22.2	7.6	10.3	11.2	14.3	16.4	20.5
	Indoor circuit pump (min./max.)	A	0.57 / 0.96				0.65 / 1.10		1.75 / 2.02	
	Outdoor circuit pump (min./max.)	A	0.57 / 0.96	0.65 / 1.10				1.75 / 2.02		
	Control	A	0.18							
Max. system current (In)	230 V	A	19.6	24.5	9.84	12.54	14.5	17.6	20.2	24.72
	400 V	A	-							
Compressor starting current			82	97	48	64	74	101	111	118
Electrical wiring (not supplied) (2)	230 V		3G 6		5G 4				5G 6	
	400 V		-							
Circuit breaker (not supp.) (C or D curve)	Am	25	25	16	16	16	20	25	25	

- (1) Corresponds to max. compressor current while running
 (2) Cable with 2 or 3 charged PVC conductors for temperatures below 50°C
 Note: for other conditions, refer to current standards.

Noise levels

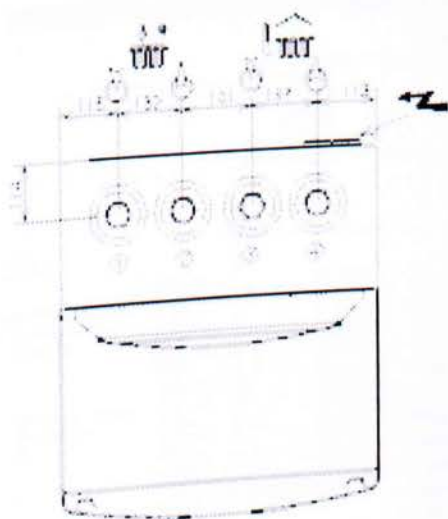
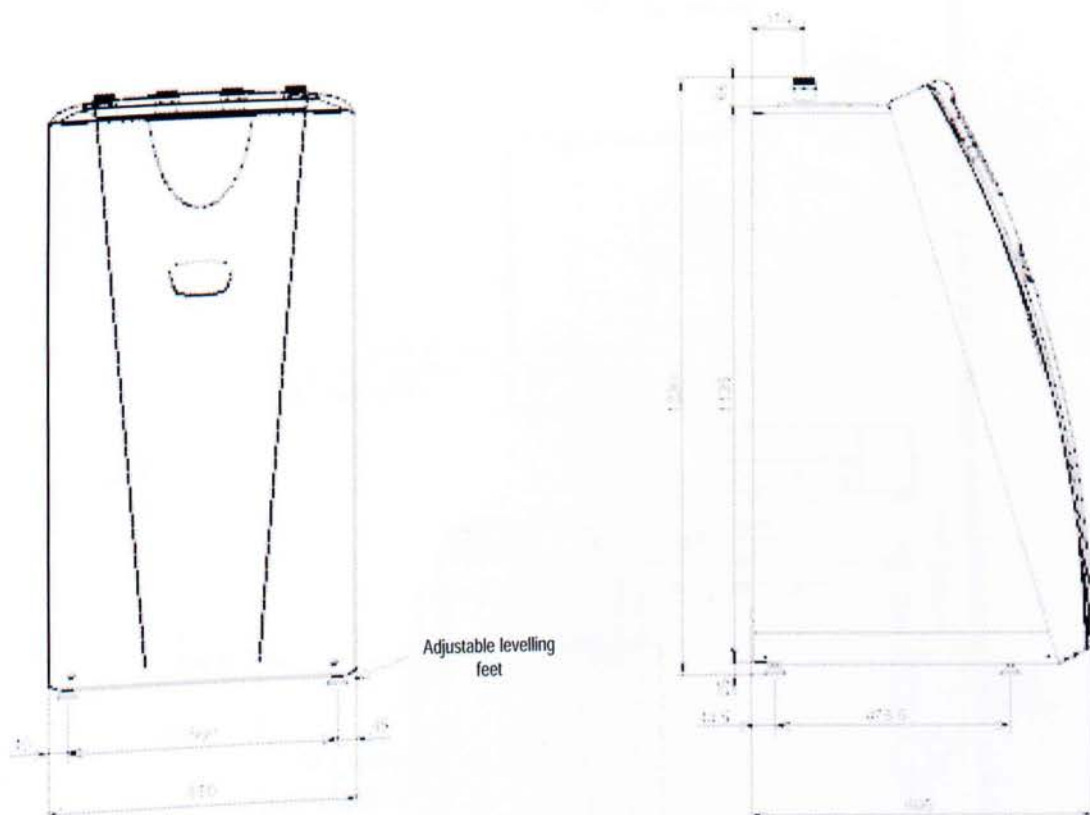
AUREA 2		30H	40H	40HT	50HT	65HT	80HT	100HT	120HT
Overall sound pressure level	dB(A)	34	34	34	36	39	39	41	44
Overall sound pressure with insulation jacket	dB(A)	31	31	31	33	36	36	38	41

Sound pressure level at 5 metres, 1.5 metres from ground, in a free field, directivity 2.

CIAT Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2



DIMENSIONS



Electrical power supply

- ① Water inlet on outdoor circuit
- ② Water outlet on outdoor circuit
- ③ Water inlet on indoor circuit
- ④ Water outlet on indoor circuit

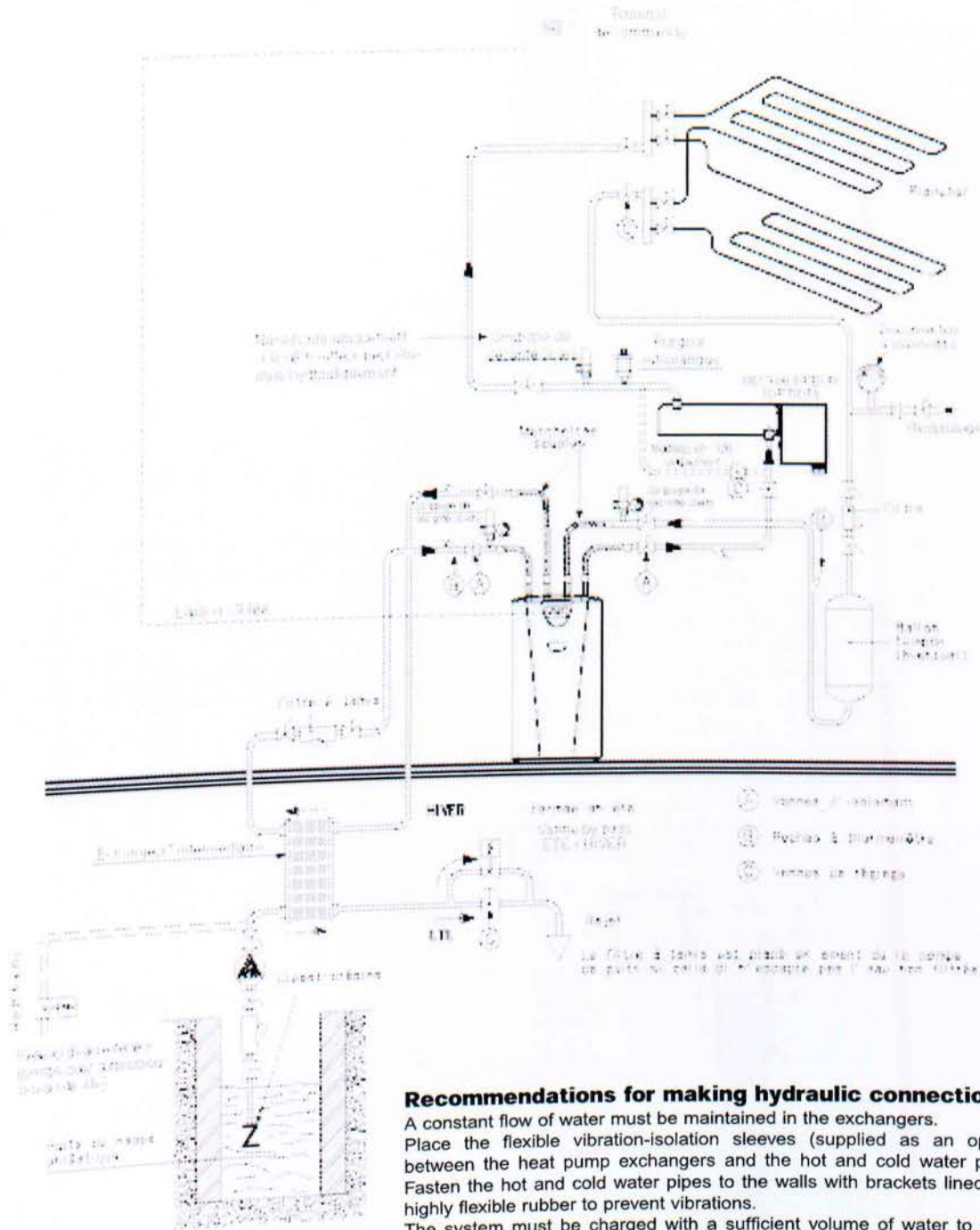
Symbols

-  Water inlet
-  Water outlet

AUREA 2	Connection dia. ① ② ③ ④	Weight kg
30	1" GM	135
40		139
50	1 1/4" GM	154
65		164
80	1 1/2" GM	168
100		190
120		195

CIAT Water-to-water reversible heat pumps

SCHEMATIC INSTALLATION DIAGRAM



Recommendations for making hydraulic connections

A constant flow of water must be maintained in the exchangers. Place the flexible vibration-isolation sleeves (supplied as an option) between the heat pump exchangers and the hot and cold water pipes. Fasten the hot and cold water pipes to the walls with brackets lined with highly flexible rubber to prevent vibrations. The system must be charged with a sufficient volume of water to avoid compressor short cycles. Install a buffer tank if the volume of water in the heating or cooling system is too low. See the minimum water capacities given in the technical characteristics.

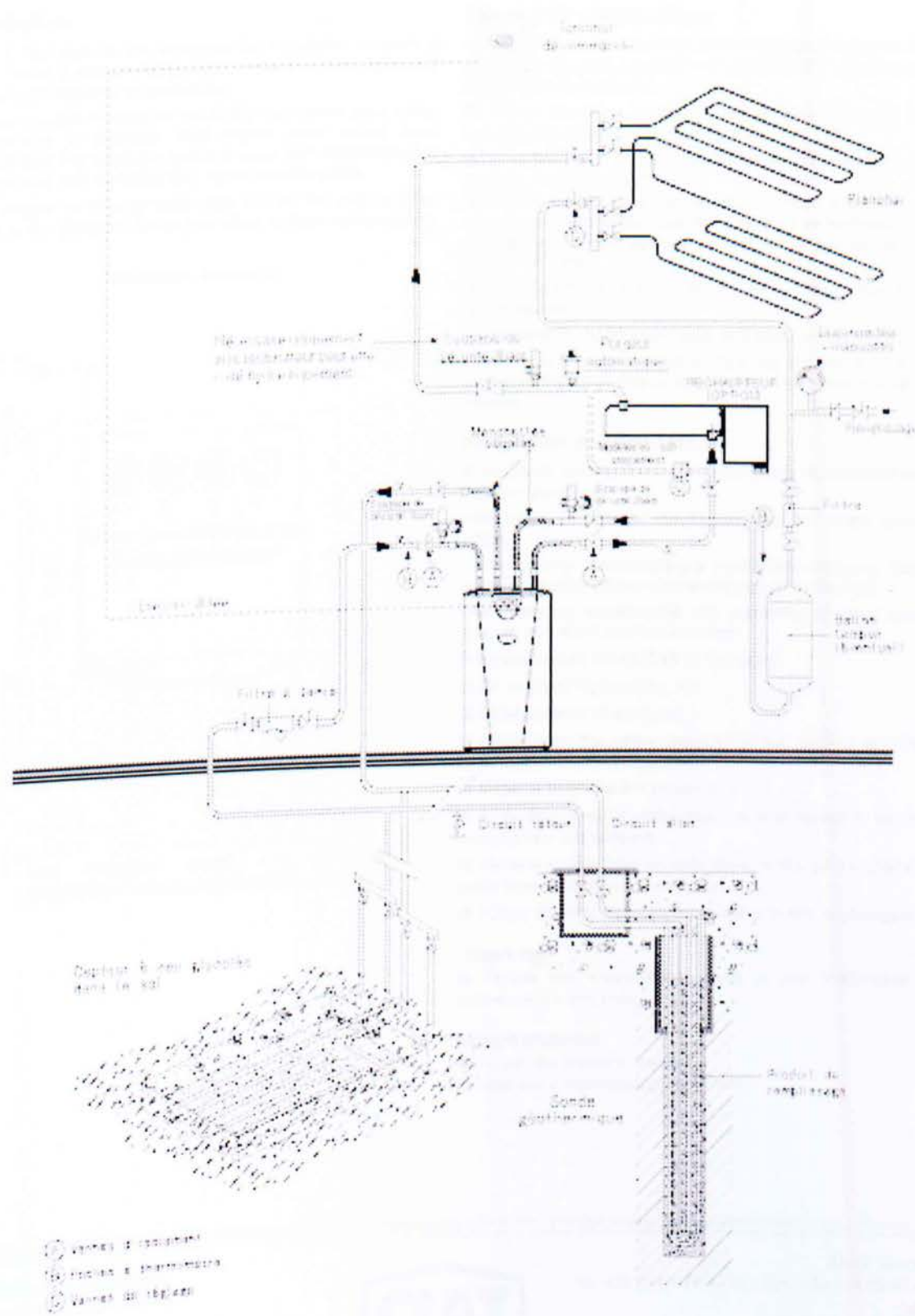
⚠ CIAT declines all liability for clogging and malfunctions of the exchanger in the Aurea 2 heat pump if this exchanger is not installed.

Note: the schematic diagrams herein are provided for informational purposes only. Under no circumstances do they constitute an actual installation diagram.

CIAT Water-to-water reversible heat pumps

AUREA 2

SCHEMATIC INSTALLATION DIAGRAM



Note: the schematic diagrams herein are provided for informational purposes only. Under no circumstances do they constitute an actual installation diagram.

CIAT Water-to-water reversible heat pumps

INSTALLATION RECOMMENDATIONS

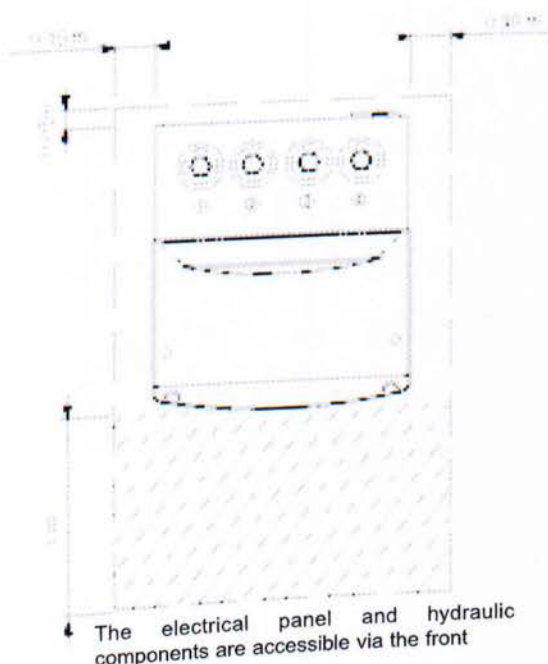
Installation

Aurea 2 heat pumps are designed for installation in service rooms, laundry rooms and garages protected from inclement weather and freezing temperatures.

Carefully consider where to install the unit inside your home and choose a location that meets your noise level requirements. For example, install it away from bedrooms and avoid contact with surfaces that could transfer noise.

There should be enough clearance around the unit to allow access to the electrical panel and other system components.

Necessary clearance



Electrical connections

■ All the information needed to wire the system is provided on the wiring diagram supplied with the unit. The diagram should be followed to the letter.

■ Wiring must be performed in accordance with current industry practices and standards.

■ A switch and circuit breaker must be installed on the consumer unit by the fitter.

NOTE: To protect the indoor circuit from frost, leave the unit on so that water can flow along the hydraulic lines. Add glycol if the system is not used for an extended period of time.

Aurea 2 does not protect the outdoor circuit from freezing temperatures.

- Add glycol to horizontal loops and geothermal loops

- Well / ground water heat pumps: lay the pipes in an area protected from freezing temperatures. If necessary, install pipe heaters.

Hydraulic connections

■ Hydraulic connections are to be made in accordance with industry practices.

Use hoses to prevent the transmission of noise along the pipes.

As heat pump exchangers are sensitive to clogging, flush the lines thoroughly before connecting them to the unit.

The following accessories are essential to any hydraulic system and must also be installed:

■ System drain connection at low point.

■ Air vents at high points, etc.

■ Safety valves (3 bar tare).

■ Make sure the water capacity of the system is sufficient (see technical characteristics).

■ Install a buffer tank if necessary.

■ A constant flow of water must be maintained in the indoor and outdoor exchangers.

■ Install a screen filter on both lines (< 600 μm) to protect the plate heat exchangers from clogs.

■ Follow the direction of flow of water in the exchangers.

Start-up

■ Follow the instructions given in our installation and maintenance manuals.

Maintenance

■ Follow the owner's manual.

■ Take out a maintenance contract.

This document is not binding in detail. CIAT is committed to continually improving its products and so reserves the right to make any technical modifications without prior notice.

Head Office & Factories

Avenue Jean Falconnier - B.P. 14
01350 - Culoz - France
Tel. +33 (0)4 79 42 42 42 - Fax. +33 (0)4 79 42 42 10
e-mail: info@ciat.fr - http://www.ciat.com



CIAT Service
Tel. +33 (0)4 79 42 42 - Fax: +33 (0)4 79 42 42 13

SYSTÈME QUALITÉ
CERTIFIÉ ISO 9001



Compagnie Industrielle d'Applications Thermiques - Corporation with a capital of € 26,000,000 - R.C.S. Belley B 545 620 114

III – Πίνακες Α

Πίνακας Α.1

Roof No.	Roof CLTD																							
	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	-2	-4	-5	-6	-6	0	13	29	45	60	73	83	88	88	83	73	60	43	26	15	9	5	2
2	2	0	-2	-4	-5	-6	-4	4	17	32	48	62	74	82	86	85	80	70	56	39	25	15	9	5
3	12	8	5	2	0	-2	0	5	13	24	35	47	57	66	72	74	73	67	59	48	38	30	23	17
4	17	11	7	3	1	-1	-3	-3	0	7	17	29	42	54	65	73	77	78	74	67	56	45	34	24
5	21	16	12	8	5	3	1	2	6	12	21	31	41	51	60	66	69	69	65	59	51	42	34	27
8	28	24	21	17	14	12	10	10	12	16	21	28	35	42	48	53	56	57	56	52	48	43	38	33
9	32	26	21	16	13	9	6	4	4	7	12	19	27	36	45	53	59	63	64	63	58	52	45	38
10	37	32	27	23	19	15	12	10	9	10	12	17	23	30	37	44	50	55	57	58	56	52	47	42
13	34	31	28	25	22	20	18	16	16	17	20	24	28	33	38	42	46	48	49	48	46	44	40	37
14	35	32	30	27	25	23	21	20	19	20	22	24	28	32	36	39	42	44	45	45	44	42	40	37

Πίνακας Α.2

WALL CLTD

Wall Face	Wall Number 1																							
	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	1	0	-1	-2	-3	-1	7	11	11	13	17	21	25	27	29	29	28	29	27	17	11	7	5	3
NE	1	0	-1	-2	-3	2	24	42	47	43	35	28	27	28	29	29	27	24	20	14	10	7	5	3
E	1	0	-1	-2	-2	2	28	51	62	64	59	48	36	31	30	30	28	25	20	14	10	7	5	3
SE	1	0	-1	-2	-3	0	15	32	46	55	58	56	49	39	33	31	28	25	20	14	10	7	5	3
S	1	0	-1	-2	-3	-2	0	4	11	21	33	43	50	52	50	44	34	27	20	14	10	7	5	3
SW	2	0	-1	-2	-2	-2	0	4	8	13	17	25	39	53	64	70	69	61	45	24	13	8	5	3
W	2	1	-1	-2	-2	-2	1	4	8	13	17	21	27	42	59	73	80	79	62	32	16	9	6	3
NW	2	0	-1	-2	-2	-2	0	4	8	13	17	21	25	29	38	50	61	64	55	29	15	9	5	3
Wall Face	Wall Number 2																							
	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	5	3	2	0	-1	-2	-1	3	7	9	11	14	18	21	24	26	27	28	28	27	22	17	12	8
NE	5	3	2	0	-1	-2	2	13	26	36	39	37	33	31	29	29	29	28	26	23	18	14	10	7
E	5	3	2	0	-1	-1	2	15	32	47	55	57	52	44	38	34	32	30	27	23	19	14	11	8
SE	5	3	2	0	-1	-2	0	8	20	33	43	50	53	51	45	39	35	31	28	24	19	14	11	8
S	5	3	2	0	-1	-2	-2	-1	2	7	14	24	33	42	47	48	46	40	33	27	21	15	11	8
SW	7	4	2	1	0	-1	-2	0	2	5	9	13	20	30	41	53	61	65	62	53	39	27	17	11
W	8	5	3	1	0	-1	-2	0	2	5	9	13	17	23	33	46	59	69	73	66	50	34	22	14
NW	8	4	2	1	-1	-2	-2	-1	2	5	9	13	17	21	25	32	41	51	57	54	42	29	19	12

Wall Face	Wall Number 3																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	7	5	3	2	1	0	2	5	7	8	11	14	17	20	23	24	25	26	27	24	20	16	13	10
NE	7	5	3	2	0	0	7	17	26	31	33	31	30	29	29	29	29	28	25	22	18	15	12	9
E	7	5	4	2	1	1	8	21	33	42	47	47	44	40	37	35	33	31	28	24	20	16	13	10
SE	8	5	4	2	1	0	4	12	22	32	39	44	46	44	41	38	35	32	29	24	20	16	13	10
S	8	6	4	2	1	0	0	1	4	9	16	24	31	38	41	42	40	36	31	26	22	17	14	11
SW	12	9	6	4	2	1	1	2	4	6	9	14	21	30	40	49	55	57	54	45	36	28	21	16
W	14	10	7	5	3	1	1	2	4	6	9	13	17	24	34	45	56	63	63	54	43	33	25	19
NW	12	8	6	4	2	1	0	2	3	6	9	13	16	20	25	32	40	48	50	44	35	27	21	16
Wall Face	Wall Number 4																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	11	8	6	4	2	0	0	1	3	5	7	10	13	16	19	22	24	26	27	27	26	22	19	15
NE	10	7	5	3	2	0	0	4	12	21	29	32	33	32	31	30	30	29	28	26	23	20	16	13
E	10	8	5	4	2	1	1	5	15	27	38	45	49	47	44	40	37	34	32	29	25	21	17	14
SE	11	8	6	4	2	1	0	2	8	17	27	36	43	46	46	44	41	37	34	30	26	22	18	14
S	11	8	6	4	2	1	0	-1	0	2	6	13	20	28	35	41	43	42	39	35	30	24	19	15
SW	18	13	9	6	3	2	0	0	0	2	5	8	12	18	27	36	46	53	57	57	51	42	33	25
W	21	15	10	7	4	2	1	0	1	2	5	8	11	15	21	30	40	51	60	64	60	50	40	30
NW	18	13	9	6	3	1	0	0	0	2	4	8	11	15	19	23	30	37	45	49	48	41	33	25

Wall Face	Wall Number 5																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	13	10	8	6	5	3	2	3	5	6	8	9	12	14	17	19	21	23	24	24	23	21	18	15
NE	13	10	8	6	5	3	3	7	14	20	25	27	28	28	28	28	28	28	27	26	23	21	18	15
E	14	11	9	7	5	4	4	8	17	26	33	39	40	40	38	37	35	34	32	29	26	23	20	17
SE	14	12	9	7	5	4	3	6	11	18	25	32	37	39	39	38	37	35	33	30	27	24	20	17
S	15	12	9	7	5	4	3	2	3	4	8	13	19	25	31	35	36	36	34	32	28	24	21	18
SW	22	18	14	11	8	6	5	4	4	5	6	9	12	17	25	33	40	46	49	48	44	38	32	26
W	25	20	16	13	10	7	5	4	4	5	7	9	11	15	20	28	37	45	52	54	50	44	37	30
NW	21	17	13	10	8	6	4	3	4	4	6	8	11	14	17	21	27	34	40	42	40	35	30	25
Wall Face	Wall Number 6																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	13	11	9	8	6	5	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	21	22	23	21	20	17	15
NE	14	12	10	8	6	5	6	10	15	20	23	25	25	26	26	27	27	27	26	25	23	21	18	16
E	16	13	11	9	7	6	7	11	18	25	31	35	36	36	35	35	34	33	31	29	26	24	21	18
SE	16	14	11	9	8	6	6	8	13	18	24	29	33	35	36	35	34	33	32	29	27	24	21	18
S	16	13	11	9	7	6	5	4	4	6	9	13	18	24	28	31	33	33	31	29	27	24	21	18
SW	23	19	16	14	11	9	7	6	6	7	8	10	13	18	24	31	37	42	44	43	40	35	31	27
W	26	22	18	15	13	10	8	7	7	7	8	10	12	15	20	27	35	42	47	48	45	40	35	30
NW	21	18	15	12	10	8	7	6	6	6	8	9	11	14	16	21	26	32	36	38	36	32	28	25

Wall Face	Wall Number 7																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	13	12	10	9	7	6	6	7	8	8	9	11	12	14	16	17	18	19	20	20	19	18	16	15
NE	15	13	11	10	9	8	9	13	17	20	22	23	23	24	24	25	25	25	24	23	22	20	18	16
E	17	15	13	12	10	9	11	16	21	26	30	32	32	32	32	32	31	30	29	27	25	23	21	19
SE	17	15	13	12	10	9	9	12	16	21	25	28	31	32	32	32	31	30	29	27	25	23	21	19
S	16	14	13	11	10	8	7	7	7	9	12	15	19	23	26	28	29	29	28	26	24	22	20	18
SW	23	20	18	16	13	12	10	10	10	10	11	12	15	20	25	30	35	38	39	37	34	31	28	25
W	25	22	20	17	15	13	12	11	11	11	12	13	14	17	22	28	34	39	42	41	38	34	31	28
NW	20	18	16	14	12	10	9	9	9	9	10	11	13	15	17	21	26	30	33	33	30	28	25	23

Ο αριθμός 8 αντιστοιχεί στην μη ύπαρξη τοίχου στο δωμάτιο κατά συνέπεια δεν υπάρχει πίνακας

Wall Number 9

Wall Face	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	17	15	13	11	9	7	5	4	4	4	5	7	8	10	12	15	17	19	21	22	23	23	22	20
NE	18	15	13	11	9	7	5	5	6	10	16	20	23	25	26	27	27	28	28	27	26	25	23	20
E	20	17	14	12	10	8	6	5	7	12	19	26	32	36	37	37	37	36	34	33	31	29	26	23
SE	20	17	15	12	10	8	6	5	6	9	13	19	25	31	34	36	37	36	35	34	32	29	26	23
S	21	18	15	12	10	8	6	5	4	3	4	6	10	14	20	25	29	33	34	34	32	30	27	24
SW	31	26	22	18	15	12	9	7	6	5	5	6	8	10	14	19	26	33	39	43	45	44	40	36
W	35	30	25	21	17	14	11	8	7	6	6	7	8	10	12	16	22	30	37	44	48	48	45	41
NW	29	25	21	17	14	11	9	7	5	5	5	6	7	9	11	14	18	22	28	34	37	38	36	33

Wall Number 10

Wall Face	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	17	15	13	11	9	7	6	5	5	5	6	7	8	10	12	14	17	18	20	22	22	22	21	19
NE	18	16	13	11	9	7	6	6	8	12	16	20	22	24	25	26	27	27	27	27	26	24	22	20
E	20	17	15	12	10	8	7	7	10	14	20	26	31	34	35	36	36	35	34	33	31	28	26	23
SE	21	18	15	13	10	8	7	6	7	10	15	20	25	30	33	34	35	35	34	33	31	29	26	23
S	21	18	15	13	11	9	7	5	4	4	5	7	11	15	20	24	28	31	32	32	31	29	26	24
SW	31	27	23	19	16	13	10	8	7	6	6	7	8	11	15	20	26	32	38	41	42	41	38	35
W	34	30	26	22	18	15	12	9	8	7	7	7	8	10	13	17	23	30	37	42	45	45	42	39
NW	28	24	21	18	15	12	10	8	6	6	6	6	8	10	12	14	18	23	28	33	35	36	34	31

Wall Face	Wall Number 11																							
	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	16	14	13	12	10	9	8	7	7	7	8	9	10	11	12	14	15	17	18	19	20	19	18	17
NE	18	17	15	13	12	10	9	9	11	14	17	20	21	22	23	23	24	24	25	25	24	23	21	20
E	21	19	17	16	14	12	11	11	13	17	22	26	29	30	31	31	31	31	31	30	29	27	25	23
SE	21	19	17	16	14	12	11	10	11	14	17	21	24	27	29	30	31	31	30	30	29	27	25	23
S	20	18	16	15	13	11	10	9	8	8	8	10	13	16	19	23	25	27	28	28	27	25	24	22
SW	28	25	23	20	18	16	14	12	11	11	10	11	12	14	17	21	25	30	33	36	36	35	33	30
W	31	28	25	22	20	18	16	14	12	12	11	12	12	13	15	19	23	28	33	37	39	38	36	33
NW	25	23	20	18	16	14	12	11	10	9	9	10	11	12	13	15	18	22	26	29	31	31	29	27
Wall Face	Wall Number 12																							
	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	16	14	13	12	11	10	8	8	8	8	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	19	18	17
NE	18	17	15	14	13	11	10	10	12	14	17	19	21	21	22	23	23	24	24	24	23	22	21	20
E	22	20	18	17	15	13	12	12	14	17	21	25	28	29	30	30	30	30	30	29	28	27	25	24
SE	22	20	18	16	15	13	12	11	12	14	17	21	24	26	28	29	30	30	30	29	28	27	25	23
S	20	19	17	15	14	12	11	10	9	9	9	11	13	16	19	22	24	26	26	26	26	25	23	22
SW	27	25	23	21	19	17	15	14	12	12	12	12	12	14	17	20	24	28	32	34	34	34	32	30
W	30	28	25	23	21	19	17	15	14	13	13	13	13	14	16	19	23	27	32	35	37	36	35	33
NW	24	22	20	19	17	15	13	12	11	10	10	11	11	12	13	15	18	21	25	28	29	29	28	26

Wall Number 13

Wall Face	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	15	14	13	12	11	10	9	9	9	9	9	10	10	11	12	14	15	16	17	18	18	18	17	16
NE	18	17	16	15	13	12	11	12	13	16	18	19	20	21	21	22	23	23	23	23	23	22	21	20
E	22	20	19	17	16	15	14	14	16	19	22	25	27	28	29	29	29	29	29	28	27	26	25	23
SE	22	20	19	17	16	14	13	13	14	16	18	21	24	26	27	28	28	28	28	28	27	26	24	23
S	20	18	17	16	14	13	12	11	10	10	11	12	14	16	19	21	23	24	25	25	24	23	22	21
SW	26	25	23	21	19	18	16	15	14	13	13	13	14	15	18	21	24	28	30	32	32	31	30	28
W	29	27	25	23	21	19	18	16	15	15	14	14	15	15	17	20	23	27	31	34	34	34	32	31
NW	23	22	20	18	17	15	14	13	12	12	12	12	12	13	14	16	18	21	24	26	27	27	26	25

Wall Number 14

Wall Face	Hour																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	15	15	14	13	12	11	10	10	10	10	10	10	10	11	12	13	14	15	15	16	17	17	16	16
NE	19	18	17	16	15	14	13	13	14	15	17	18	19	20	20	21	21	22	22	22	22	22	21	20
E	23	22	21	19	18	17	16	15	16	18	21	23	25	26	27	27	28	28	28	28	27	26	25	24
SE	23	21	20	19	18	16	15	15	15	16	18	20	22	24	25	26	27	27	27	27	26	26	25	24
S	20	19	18	17	16	15	14	13	12	12	12	12	14	15	17	19	21	22	23	23	23	23	22	21
SW	26	25	24	22	21	19	18	17	16	15	15	15	15	16	17	19	22	25	27	29	30	30	29	28
W	29	27	26	24	23	21	20	18	17	16	16	16	16	16	17	19	21	24	27	30	32	32	31	30
NW	23	22	21	19	18	17	16	15	14	13	13	13	13	14	14	15	17	19	21	24	25	25	25	24

Wall Face	Wall Number 15																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	19	18	16	14	12	10	9	7	6	6	6	6	7	8	9	11	13	15	17	19	20	21	21	20
NE	21	19	17	15	13	11	9	8	7	9	11	14	18	20	22	23	25	25	26	26	26	26	25	23
E	25	22	20	17	15	12	10	9	9	10	14	18	23	27	30	32	34	34	34	33	32	31	29	27
SE	25	22	20	17	15	13	11	9	8	8	10	14	18	22	26	30	32	33	34	33	33	31	30	27
S	25	22	20	17	15	13	11	9	7	6	6	6	7	10	13	17	21	25	28	30	30	30	29	27
SW	35	32	28	25	22	18	16	13	11	9	8	8	8	9	11	14	18	23	28	33	37	39	39	37
W	39	35	32	28	24	21	18	15	12	10	9	8	8	9	10	13	16	21	26	32	38	41	42	41
NW	31	28	26	23	20	17	14	12	10	8	7	7	7	8	9	11	13	16	20	25	29	32	33	33

Wall Face	Wall Number 16																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	18	17	16	14	13	11	10	9	8	7	7	7	8	9	10	11	13	14	16	17	18	19	19	19
NE	21	20	18	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	21	22	23	24	24	25	25	24	24	23
E	25	23	21	19	17	15	13	11	11	12	15	19	22	26	28	30	31	31	32	32	31	30	29	27
SE	25	23	21	19	17	15	13	11	10	11	12	15	18	21	25	27	29	30	31	31	31	30	29	27
S	24	22	20	18	16	14	12	11	9	8	8	8	9	11	14	17	20	23	25	27	27	27	27	25
SW	33	30	28	25	23	20	18	15	13	12	11	10	10	11	12	15	18	22	27	30	33	35	35	34
W	36	33	31	28	25	22	20	17	15	13	12	11	11	11	12	14	17	20	25	30	34	37	38	37
NW	29	27	25	23	20	18	16	14	12	11	10	9	9	10	11	12	14	16	19	23	27	29	30	30

Πίνακας Α.3

Συντελεστής SC		
Glazing System		
Glass	Center	Center
Thick,	Glazing	Glazing
ID in.	VT	SC
<i>Uncoated Single Glazing</i>		
la 1/8 Clear	0.90	1.00
lb 1/4 Clear	0.89	0.94
lc 1/8 Bronze	0.68	0.85
ld 1/4 Bronze	0.55	0.73
le 1/8 Green	0.82	0.82
lf 1/4 Green	0.74	0.68
lg 1/8 Gray	0.62	0.82
lh 1/4 Gray	0.43	0.65
li 1/4 Bluegreen	0.75	0.72
<i>Reflective Single Glazing</i>		
lj 1/4 SS on CLR 8%	0.08	0.22
lk 1/4 SS on CLR 14%	0.14	0.29
ll 1/4 SS on CLR 20%	0.20	0.36
lm 1/4 SS on GRN 14%	0.12	0.29
ln 1/4 TI on CLR 20%	0.20	0.34
lo 1/4 TI on CLR 30%	0.30	0.45
<i>Uncoated Double Glazing</i>		
5a 1/8 CLR CLR	0.81	0.87
5b 1/4 CLR CLR	0.78	0.81
5c 1/8 BRZ CLR	0.62	0.72
5d 1/4 BRZ CLR	0.48	0.59
5e 1/8 GRN CLR	0.74	0.70
5f 1/4 GRN CLR	0.66	0.54
5g 1/8 GRY CLR	0.56	0.69
5h 1/4 GRY CLR	0.40	0.51
5i 1/4 BLUGRN CLR	0.67	0.58
5j 1/4 HI-P GRN CLR	0.59	0.46

Συντελεστής SC		
Glazing System		
Glass	Center	Center
Thick,	Glazing	Glazing
ID in.	VT	SC
<i>Reflective Double Glazing</i>		
5k 1/4 SS on CLR 8%,CLR	0.07	0.15
5l 1/4 SS on CLR 14%, CLR	0.13	0.20
5m 1/4 SS on CLR 20%, CLR	0.18	0.26
5n 1/4 SS on GRN 14%, CLR	0.11	0.18
5o 1/4 TI on CLR 20%, CLR	0.18	0.24
5p 1/4 TI on CLR 30%, CLR	0.27	0.33
<i>Low-e Double Glazing, e = 0.2 on Surface 2</i>		
17a 1/8 LE CLR	0.76	0.76
17b 1/4 LE CLR	0.73	0.70
<i>Low-e Double Glazing, e = 0.2 on Surface 3</i>		
17c 1/8 CLR LE	0.76	0.81
17d 1/4 CLR LE	0.73	0.75
17e 1/8 BRZ LE	0.58	0.66
17f 1/4 BRZ LE	0.45	0.52
17g 1/8 GRN LE	0.70	0.63
17h 1/4 GRN LE	0.61	0.48
17i 1/8 GRY LE	0.53	0.63
17j 1/4 GRY LE	0.37	0.46
17k 1/4 BLUGRN LE	0.62	0.52
17l 1/4 HI-P GRN LE	0.55	0.40
<i>Low-e Double Glazing, e = 0.1 on Surface 2</i>		
21a 1/8 LECLR	0.75	0.62
21b 1/4 LECLR	0.72	0.59
21l 1/4 HI-P GRN W/LE CLR	0.57	0.36
<i>Low-e Double Glazing, e = 0.1 on Surface 3</i>		
21c 1/8 CLRLE	0.75	0.69
21d 1/4 CLRLE	0.72	0.66
21e 1/8 BRZLE	0.57	0.56
21f 1/4 BRZ LE	0.45	0.45
21g 1/8 GRNLE	0.68	0.57
21h 1/4 GRNLE	0.61	0.45
21i 1/8 GRY LE	0.52	0.53
21j 1/4 GRY LE	0.37	0.40
21k 1/4 BLUGRN LE	0.62	0.48

Πίνακας Α.4

Glass SCL

Zone Type A

Glass Face	Hour												Solar Time											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0	0	0	0	1	25	27	28	32	35	38	40	40	39	36	31	31	36	12	6	3	1	1	0
NE	0	0	0	0	2	85	129	134	112	75	55	48	44	40	37	32	26	18	7	3	2	1	0	0
E	0	0	0	0	2	93	157	185	183	154	106	67	53	45	39	33	26	18	7	3	2	1	0	0
SE	0	0	0	0	1	47	95	131	150	150	131	97	63	49	41	34	27	18	7	3	2	1	0	0
S	0	0	0	0	0	9	17	25	41	64	85	97	96	84	63	42	31	20	8	4	2	1	0	0
SW	0	0	0	0	0	9	17	24	30	35	39	64	101	133	151	152	133	93	35	17	8	4	2	1
W	1	0	0	0	0	9	17	24	30	35	38	40	65	114	158	187	192	156	57	27	13	6	3	2
NW	1	0	0	0	0	9	17	24	30	35	38	40	40	50	84	121	143	130	46	22	11	5	3	1
Hor	0	0	0	0	0	24	69	120	169	211	241	257	259	245	217	176	125	70	29	14	7	3	2	1

Zone Type B

Glass Face	Hour												Solar Time											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	2	2	1	1	1	22	23	24	28	32	35	37	38	37	35	32	31	35	16	10	7	5	4	3
NE	2	1	1	1	2	73	109	116	101	73	58	52	48	45	41	36	30	23	13	9	6	5	3	3
E	2	2	1	1	2	80	133	159	162	143	105	74	63	55	48	41	34	25	15	10	7	5	4	3
SE	2	2	1	1	1	40	81	112	131	134	122	96	69	58	49	42	35	26	15	10	8	6	4	3
S	2	2	1	1	1	8	15	21	36	56	74	86	87	79	63	46	37	27	16	11	8	6	4	3
SW	6	5	4	3	2	9	16	22	27	31	36	58	89	117	135	138	126	94	46	31	21	15	11	8
W	8	6	5	4	3	9	16	22	27	31	35	37	59	101	139	166	173	147	66	43	30	21	15	11
NW	6	5	4	3	2	9	16	22	27	31	34	37	37	46	76	108	128	119	51	33	22	16	11	8
Hor	8	6	5	4	3	22	60	104	147	185	214	233	239	232	212	180	137	90	53	37	27	19	14	11

		Zone Type C																							
Glass Face	Hour												Solar Time												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
N	5	5	4	4	4	24	23	24	27	30	33	34	35	34	32	29	29	34	14	10	8	7	6	6	
NE	7	6	6	5	6	75	106	107	88	61	49	47	45	43	40	36	31	25	16	13	11	10	9	8	
E	9	8	8	7	8	83	130	148	145	124	89	62	56	52	47	43	37	30	20	17	15	13	12	11	
SE	9	8	7	6	6	45	82	107	121	121	107	82	59	51	47	42	36	29	19	16	14	13	11	10	
S	7	7	6	5	5	12	18	23	36	54	70	79	79	70	54	40	33	26	16	13	12	10	9	8	
SW	14	12	11	10	9	15	21	26	29	33	36	57	86	110	124	125	111	80	37	28	23	20	17	15	
W	17	15	13	12	11	17	22	27	31	34	36	37	59	98	132	153	156	128	50	35	28	24	21	19	
NW	12	11	10	9	8	14	20	25	29	32	34	36	36	44	73	102	118	107	39	26	21	17	15	13	
Hor	24	21	19	17	16	34	68	107	144	175	199	212	215	207	189	160	123	83	53	44	38	34	30	27	
		Zone Type D																							
Glass Face	Hour												Solar Time												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
N	8	7	6	6	6	21	21	21	24	27	29	31	32	31	30	28	29	32	17	14	12	11	10	9	
NE	11	10	9	8	9	63	87	90	77	58	49	48	46	44	42	39	35	29	22	19	17	15	14	12	
E	15	13	12	11	11	70	107	123	124	110	85	65	60	57	53	48	43	37	29	25	22	20	18	16	
SE	14	13	11	10	10	39	68	90	102	104	95	78	60	55	51	47	42	35	27	24	21	19	17	16	
S	11	10	9	8	7	12	17	21	32	46	59	67	69	63	52	41	36	30	22	19	17	15	14	12	
SW	21	19	17	15	14	18	22	25	28	31	34	51	74	94	106	109	100	78	45	37	33	29	26	23	
W	25	23	20	18	17	21	24	28	30	33	34	35	53	84	112	130	135	116	57	46	39	35	31	28	
NW	18	16	15	13	12	17	21	24	27	30	32	33	34	41	64	87	101	94	42	33	29	25	22	20	
Hor	37	33	30	27	24	38	64	95	124	150	171	185	191	188	176	156	128	96	72	63	56	50	45	41	

16	0.70	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13
18	0.74	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.39	0.32	0.27	0.23	0.20	0.17

Πίνακας Α.6

Lights CLF

Hours Lights On	Number of Hours after Lights Turned On																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Zone Type A																									
8 h	0.85	0.92	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.13	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10 h	0.85	0.93	0.95	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.14	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
12 h	0.86	0.93	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.14	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
14 h	0.86	0.93	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.15	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
16 h	0.87	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.15	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Zone Type B																									
8 h	0.75	0.85	0.90	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.23	0.12	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
10 h	0.75	0.86	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.24	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
12 h	0.76	0.86	0.91	0.93	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.24	0.14	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
14 h	0.76	0.87	0.92	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.25	0.14	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
16 h	0.77	0.88	0.92	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.25	0.15	0.10	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04

Zone Type C

8 h	0.72	0.80	0.84	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.23	0.15	0.11	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
10 h	0.73	0.81	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.25	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
12 h	0.74	0.82	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.26	0.18	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
14 h	0.75	0.84	0.87	0.89	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96	0.96	0.27	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
16 h	0.77	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.28	0.20	0.16	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09

Zone Type D

8 h	0.66	0.72	0.76	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.25	0.20	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
10 h	0.68	0.74	0.77	0.80	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06
12 h	0.70	0.75	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
14 h	0.72	0.77	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10
16 h	0.75	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.34	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14

Πίνακας Α.7

Electrical Appliances CLF

H	Number of Hours after Equipment Turned On																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	0.64	0.83	0.26	0.11	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.64	0.83	0.90	0.93	0.31	0.14	0.07	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Zone Type A

6	0.64	0.83	0.90	0.93	0.96	0.96	0.33	0.16	0.09	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.64	0.83	0.90	0.93	0.96	0.96	0.97	0.97	0.34	0.16	0.09	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.64	0.83	0.90	0.93	0.96	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.34	0.17	0.10	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
12	0.64	0.83	0.90	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.36	0.17	0.10	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
14	0.66	0.83	0.90	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.36	0.17	0.10	0.07	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01
16	0.66	0.84	0.91	0.94	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	0.17	0.10	0.07	0.04	0.04	0.04	0.03
18	0.67	0.84	0.91	0.94	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	0.17	0.10	0.08	0.07	0.04	0.04

Zone Type B

2	0.50	0.63	0.23	0.16	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.50	0.64	0.73	0.79	0.34	0.24	0.19	0.14	0.10	0.09	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.50	0.64	0.73	0.79	0.84	0.87	0.41	0.29	0.21	0.17	0.13	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
8	0.50	0.64	0.73	0.79	0.84	0.87	0.90	0.93	0.44	0.31	0.24	0.19	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.50	0.64	0.73	0.79	0.84	0.87	0.90	0.93	0.94	0.96	0.47	0.34	0.26	0.20	0.16	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01
12	0.51	0.66	0.73	0.80	0.84	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97	0.97	0.49	0.34	0.27	0.20	0.16	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
14	0.53	0.66	0.74	0.80	0.84	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.50	0.36	0.27	0.21	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06
16	0.56	0.69	0.76	0.81	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.50	0.36	0.27	0.21	0.16	0.14	0.13	0.10	0.10
18	0.59	0.71	0.79	0.83	0.87	0.90	0.93	0.94	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.50	0.36	0.27	0.23	0.21	0.16	0.13	0.10

Zone Type C

2	0.43	0.54	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.43	0.54	0.63	0.70	0.33	0.26	0.20	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.44	0.56	0.63	0.70	0.76	0.80	0.40	0.31	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
8	0.44	0.56	0.64	0.70	0.76	0.80	0.84	0.87	0.46	0.37	0.30	0.24	0.20	0.16	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
10	0.46	0.57	0.64	0.71	0.76	0.80	0.84	0.87	0.89	0.91	0.50	0.40	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04
12	0.47	0.59	0.66	0.73	0.77	0.81	0.84	0.87	0.90	0.91	0.93	0.94	0.53	0.41	0.34	0.27	0.23	0.19	0.16	0.13	0.10	0.09	0.09	0.07	0.07
14	0.50	0.60	0.67	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.90	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.54	0.43	0.36	0.29	0.24	0.20	0.16	0.14	0.13	0.11	0.11
16	0.54	0.63	0.70	0.76	0.80	0.84	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.56	0.44	0.36	0.30	0.24	0.22	0.20	0.16	0.16
18	0.60	0.69	0.74	0.79	0.83	0.86	0.89	0.90	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97	0.99	0.99	0.56	0.44	0.37	0.33	0.30	0.30	0.24	0.24

Zone Type D

2	0.41	0.53	0.19	0.13	0.11	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.43	0.53	0.60	0.66	0.29	0.23	0.19	0.16	0.14	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.44	0.54	0.61	0.67	0.71	0.76	0.37	0.29	0.24	0.21	0.19	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
8	0.46	0.56	0.63	0.67	0.71	0.76	0.79	0.81	0.43	0.34	0.29	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
10	0.47	0.57	0.64	0.69	0.73	0.77	0.80	0.83	0.84	0.87	0.47	0.39	0.31	0.27	0.24	0.20	0.17	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.07	0.07
12	0.50	0.59	0.66	0.70	0.74	0.77	0.81	0.83	0.86	0.87	0.89	0.90	0.50	0.41	0.34	0.30	0.26	0.23	0.19	0.17	0.14	0.13	0.13	0.11	0.11
14	0.53	0.61	0.69	0.73	0.76	0.80	0.83	0.84	0.87	0.89	0.90	0.91	0.93	0.93	0.53	0.43	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16
16	0.57	0.66	0.71	0.76	0.79	0.81	0.84	0.86	0.89	0.90	0.91	0.93	0.93	0.94	0.94	0.96	0.54	0.44	0.37	0.33	0.29	0.26	0.24	0.21	0.21
18	0.63	0.71	0.76	0.79	0.81	0.84	0.87	0.89	0.90	0.91	0.93	0.93	0.94	0.96	0.96	0.96	0.56	0.46	0.39	0.35	0.33	0.33	0.33	0.29	0.29