



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Ανάπτυξη και αξιολόγηση γεωθερμικού συστήματος με τη χρήση του ηλεκτρονικού περιβάλλοντος eQuest



Βεργιανάκης Κωνσταντίνος
Α.Μ.2010010030

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Πουλιέζος Αναστάσιος (Επιβλέπων)
Παπαευθυμίου Σπυρίδων
Κανέλλος Φώτιος

Χανιά, 2015



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Εισαγωγή.....	5
Κεφάλαιο 1 ^ο : Γεωθερμία.....	6
1.1. Εισαγωγή στη Γεωθερμία.....	6
1.2. Δομή Γεωθερμικού Συστήματος Χαμηλής Ενθαλπίας.....	7
1.2.1. Γεωθερμικός Εναλλάκτης.....	7
1.2.2. Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας.....	9
1.2.3. Σύστημα Διανομής.....	10
Κεφάλαιο 2 ^ο : eQuest DOE 2.2. v3.65.....	11
2.1. Σχετικά με το eQuest.....	11
2.2. Μοντελοποίηση κτιρίου.....	12
2.2.1 Schematic Design Wizard.....	12
2.2.2. Detailed Design Wizard.....	15
2.3. Δημιουργία Διαφανών Επιφανειών.....	17
2.4. Δημιουργία Σκιάσεων.....	19
2.5. Εσωτερικά Φορτία/ Συστήματα/ Φωτισμός.....	20
2.6. Μοντελοποίηση Γεωθερμικών Εναλλακτών.....	21
2.6.1. Μοντελοποίηση Κάθετου Γεωθερμικού Εναλλάκτη.....	22
2.6.2. Μοντελοποίηση Οριζόντιου Γεωθερμικού Εναλλάκτη.....	25
2.6.3. Ιδιότητες Σωληνώσεων.....	27
2.6.4. Ιδιότητες υλικού πληρώσεως γεώτρησης.....	27
2.6.5. Ιδιότητες υπ-εδάφους.....	28
2.6.6. Ιδιότητες διαρρέοντος ρευστού.....	28
2.6.7. Ιστορικό γεωθερμικού εναλλάκτη.....	29
2.6.8. Προσαρτήματα στον εναλλάκτη θερμότητας.....	29
Κεφάλαιο 3 ^ο : Εφαρμογή κτιρίου.....	31
3.1. Περιγραφή Κτιρίου.....	31
3.2. Μοντελοποίηση αδιαφανών επιφανειών.....	32
3.2.1. Τοιχοποιίες.....	32
3.2.2. Δημιουργία Ορόφων.....	33
3.2.3. Δημιουργία επιμέρους χώρων.....	34
3.2.4. Δημιουργία και τοποθέτηση επιφανειών.....	35
3.3. Μοντελοποίηση διαφανών επιφανειών.....	36



3.4. Μοντελοποίηση διαφόρων στοιχείων	38
3.4.1. Φωτισμός	38
3.4.2. Αερισμός χώρων	38
3.4.3. Λειτουργία Η/Μ συστημάτων	39
3.5. Τοποθέτηση Σκιάσεων	39
3.6. Μοντελοποίηση Γεωθερμικού Συστήματος.....	41
3.6.1. Διαστασιολόγηση Γεωθερμικού Εναλλάκτη	41
3.6.2. Μοντελοποίηση γεωθερμικού εναλλάκτη	45
3.6.3. Υπολογισμός Κυκλοφορητή	47
Κεφάλαιο 4 ^ο : Αποτελέσματα.....	49
4.1. Μηνιαία & Ετήσια Κατανάλωση	49
4.2. Προφίλ φορτίων	51
4.3. Σημεία αιχμής ζήτησης.....	53
4.4. Κατανάλωση και περιβαλλοντικό κόστος	54
4.5. Τελικοί βαθμοί απόδοσης	55
4.5.1. Λειτουργία Θέρμανσης (COP)	55
4.5.2. Λειτουργία Ψύξης (EER)	56
4.6. Σύγκριση με εφαρμογή συστήματος Chiller/ Λέβητα.....	56
4.6.1. Αποτελέσματα εφαρμογής Chiller/ Λέβητα.....	57
4.6.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων ΓΑΘ - Chiller/ Λέβητα	58
4.6.3. Σύγκριση συνολικής πρωτογενούς κατανάλωσης	58
4.6.4. Σύγκριση Συνολικών Εκπομπών Ρύπων	59
4.7. Χρηματοοικονομική Ανάλυση.....	60
4.8. Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία	62
Διαδικτυακοί σύνδεσμοι (links)	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	63



Ευχαριστίες

Για την δημιουργία του παρόντος τεχνικού κειμένου θα ήθελα να ευχαριστήσω των καθηγητή μου κ. Αναστάσιο Πουλιέζο καθώς και τον κ. Ιωάννη Σκιά (Διπλ. Μηχανολόγο Μηχανικό, M. Sc.) για την συνεχόμενη και ανιδιοτελή βοήθεια που προσέφερε. Πάνω από όλους κι όλα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της πενταετούς μου φοίτησης στο Πολυτεχνείο Κρήτης καθώς και τους φίλους μου για όλες τις όμορφες στιγμές που περάσαμε μαζί.

Κώστας Βεργιανάκης



Εισαγωγή

Το παρών τεχνικό κείμενο αναφέρεται στην ανάλυση και αξιολόγηση γεωθερμικού συστήματος με τη χρήση του ηλεκτρονικού περιβάλλοντος eQuest DOE 2.2. v 3.65. Σκοπός του είναι ο αναγνώστης να αποκτήσει αρχικά μια σφαιρική γνώση για τα γεωθερμικά συστήματα και στη συνέχεια μια εμπειριστατωμένη αντίληψη για την εισαγωγή τέτοιου είδους συστημάτων στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

Ο αναγνώστης μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει το παρών κείμενο και ως οδηγό για την χρήση του eQuest καθώς περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια εισαγωγής του κτιρίου, των σκιάσεων του και των διάφορων H/M συστημάτων.

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και τα γενικά συμπεράσματα από τη χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου.

Κεφάλαιο 1ο: Γεωθερμία

Οι τελευταίες δεκαετίες της ανθρώπινης ιστορίας χαρακτηρίζονται από την συνεχή και αδιάκοπη ανάγκη για εξεύρεση νέων πηγών ενέργειας. Η εξόρυξη και χρήση του πετρελαίου ως βασική καύσιμη ύλη παραγωγής ενέργειας άρχισε να γίνεται φανερό ότι δεν μπορεί να συνεχιστεί εις αεί καθώς το περιβαλλοντικό κόστος είναι τεράστιο αλλά και τα κοιτάσματά του περιορίζονται σημαντικά λόγω της αδιάκοπης άντλησης. Η στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εκφράζει ακριβώς αυτές τις ανάγκες της ανθρώπινης παραγωγικής υστερίας, την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος αλλά και την εξασφάλιση των απαραίτητων ενεργειακών πόρων. Οι βασικές ανανεώσιμες πηγές επιγραμματικά είναι:

- **Αιολική Ενέργεια** (Πηγή: Άνεμος)
- **Ηλιακή Ενέργεια** (Πηγή: Ηλιακή Ακτινοβολία)
- **Υδραυλική Ενέργεια** (Πηγή: Κατευθυνόμενα Υδατικά Αποθέματα)
- **Ενέργεια από τη Θάλασσα** (Πηγή: Κύματα/ Παλίρροιες)
- **Βιομάζα** (Πηγή: Υδατάνθρακες Φυτών/ Οργανικών Απορριμμάτων)
- **Ωσμωτική Ενέργεια** (Πηγή: Ανάμειξη Θαλασσινού & Γλυκού νερού)
- **Γεωθερμική Ενέργεια**

Η τελευταία μορφή ενέργειας προέρχεται από το εσωτερικό της Γης (Γεω- Θερμία) και αποτελεί το αντικείμενο ανάλυσης και αξιολόγησης που θα αναπτυχθεί στα παρακάτω κεφάλαια.

1.1. Εισαγωγή στη Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να προσφέρει συνεχή ροή της αναγκαίας θερμότητας ανεξάρτητα από την ώρα, την ημέρα, τον μήνα ή την εποχή καθώς οι συνθήκες κάτω από την επιφάνεια της γης παραμένουν σταθερές ανεξάρτητα τις αντίστοιχες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Εντός της γης λόγω των διαφορετικών υλών, των γεωλογικών αλλά και των τεκτονικών χαρακτηριστικών δημιουργούνται πεδία με διαφορετικές θερμικές δυνατότητες και ιδιότητες, έτσι ανάλογα των πεδίων αυτών η γεωθερμία μπορεί να είναι:

- **Υψηλής Ενθαλπίας** ($T > 150^{\circ}\text{C}$)
- **Μέσης Ενθαλπίας** ($80^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$)
- **Χαμηλής Ενθαλπίας** ($25^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$)
- **Αβαθής ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας** ($0^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$)
- **Πάρα πολύ χαμηλής ενθαλπίας, Permafrost** ($T < 0^{\circ}\text{C}$)

Η πρώτη κατηγορία ενδείκνυται για παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η δεύτερη για θέρμανση και ξήρανση ξυλείας ή αγροτικών προϊόντων και οι τελευταίες τρεις για θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Όπως είναι φανερό η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής βασίζεται στην τέταρτη κατηγορία γεωθερμίας, δηλαδή της πολύ χαμηλής ενθαλπίας, αφού η θερμοκρασία του εδάφους στην Ελλάδα κυμαίνεται μεταξύ των 16°C με 20°C , για βάθη μεγαλύτερα των 2m.



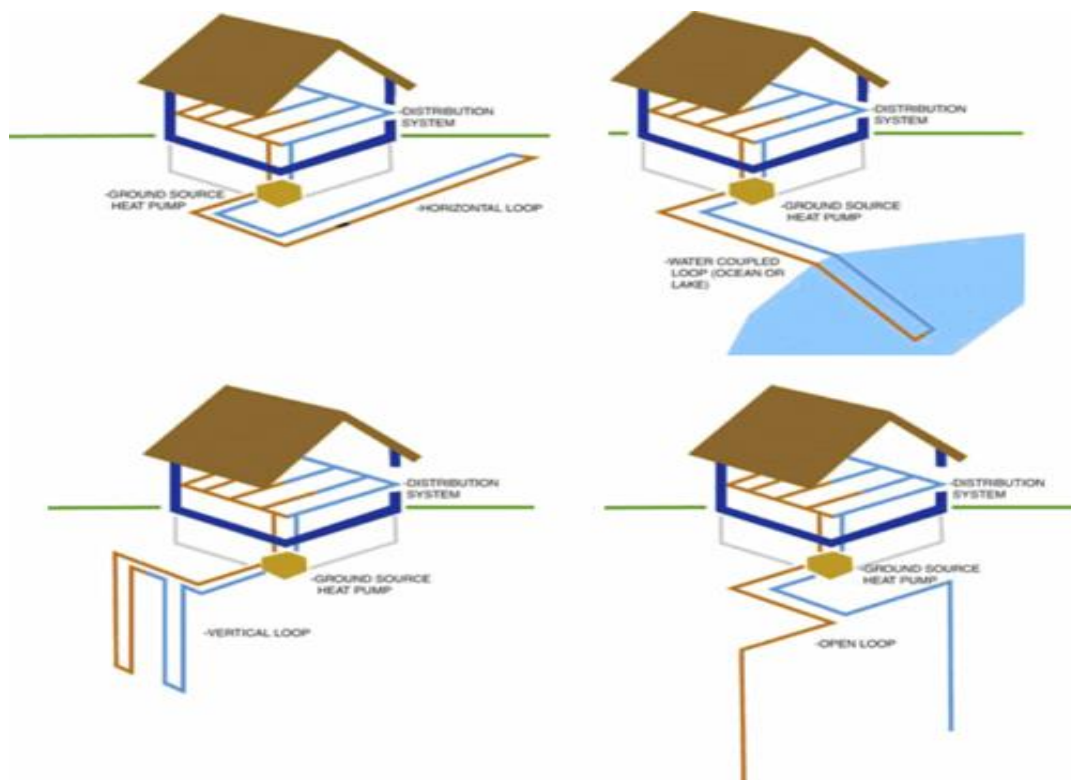
1.2. Δομή Γεωθερμικού Συστήματος Χαμηλής Ενθαλπίας

Τα γεωθερμικά συστήματα χαμηλής ενθαλπίας δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά την δομή του εδάφους και την θερμική ισχύ που αυτό μπορεί να προσφέρει. Βασίζονται κυρίως στην σταθερή θερμοκρασία που διατηρεί το έδαφος κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους χρησιμοποιώντας το ως αποταμιευτήρα θερμικής ισχύος το καλοκαίρι και ως χορηγό τον χειμώνα.

Ένα κοινό γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τον **γεωθερμικό εναλλάκτη**, την **αντλία θερμότητας** και το **σύστημα διανομής** του ψυχρού ή θερμού ανάλογα την εποχή μέσου.

1.2.1. Γεωθερμικός Εναλλάκτης

Με τον όρο γεωθερμικός εναλλάκτης εννοείται το τμήμα του γεωθερμικού συστήματος στο οποίο γίνεται όπως δηλώνει και η ονομασία του η εναλλαγή της θερμικής ισχύος. Οι εναλλάκτες χωρίζονται αρχικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες τους εναλλάκτες ανοικτού κυκλώματος και τους εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος. Στην πρώτη κατηγορία υπάρχει εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα, όπως υπόγειοι ή υπέργειοι ποταμοί. Το νερό απορροφά την θερμική ισχύ που δεν χρειάζεται η αντλία ή εναποθέτει την αναγκαία ισχύ και στη συνέχεια επιστρέφει στην πηγή από όπου προήλθε. Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος υπάρχει ένα κλειστό κύκλωμα σωλήνων που περιέχουν νερό ή κάποιο άλλο ψυκτικό μέσο, μέσω του οποίου γίνεται η εναλλαγή θερμότητας προς το έδαφος ή κάποιον άλλο ικανό αποταμιευτήρα. (π.χ. λίμνη).

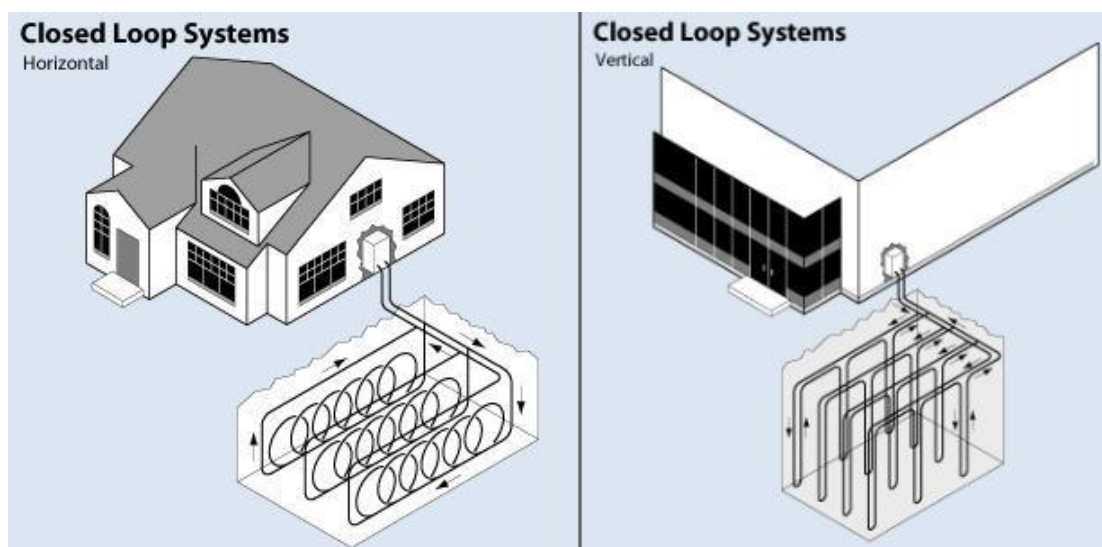


Εικόνα 1.1. Διάφορων τύπων εναλλάκτες

Οι κλειστού κυκλώματος εναλλάκτες που εναποθέτουν/ απορροφούν ενέργεια από το έδαφος χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο κατηγορίες τους οριζόντιους και τους κάθετους εναλλάκτες.

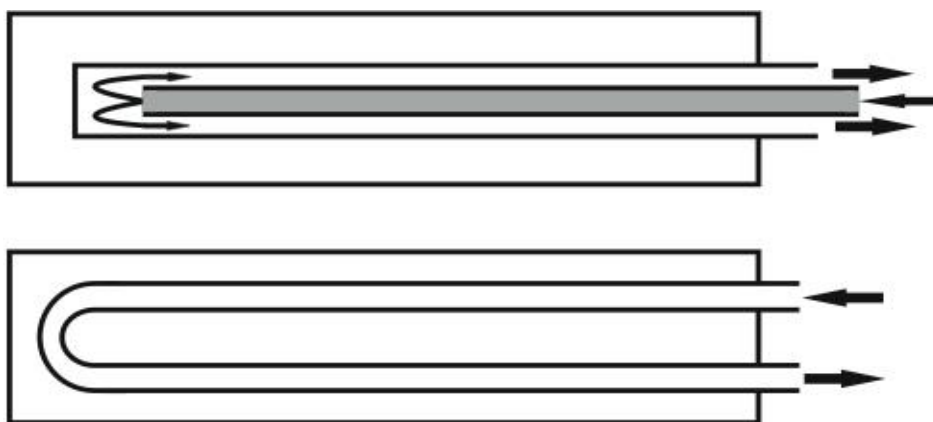
Οι οριζόντιοι εναλλάκτες βρίσκονται σε μικρά βάθη (έως 3μ) και αποτελούνται από σωλήνες τοποθετημένους παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους σε μία ή περισσότερες στρώσεις.

Οι κάθετοι εναλλάκτες δημιουργούνται με γεωτρήσεις μεγαλύτερων βαθών (έως και 100μ) και υπερτερούν σε σχέση με τους οριζόντιους καθώς η θερμοκρασία του περικλειόντος υλικού του οριζόντιου εναλλάκτη επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες (έως 3μ) ενώ οι συνθήκες κάτω των τριών μέτρων παρουσιάζουν απόλυτη σταθερότητα. Επίσης οι κάθετοι εναλλάκτες απαιτούν πολύ μικρότερη επιφάνεια για την ανάπτυξή τους.



Εικόνα 1.2. Δεξιά: Οριζόντιος Εναλλάκτης/ Αριστερά: Κάθετος Εναλλάκτης
(πηγή: www.lead.illinois.edu)

Στους κάθετους γεωθερμικούς εναλλάκτες γίνεται κυρίως χρήση σωλήνων τύπου U (U-pipes) ώστε να γίνεται η ταυτόχρονη αποστολή αλλά και επιστροφή του υγρού από την αντλία στον εναλλάκτη και αντίστροφα. Υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης ομοαξονικών σωλήνων (coaxial pipes) των οποίων όμως η χρήση δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη.

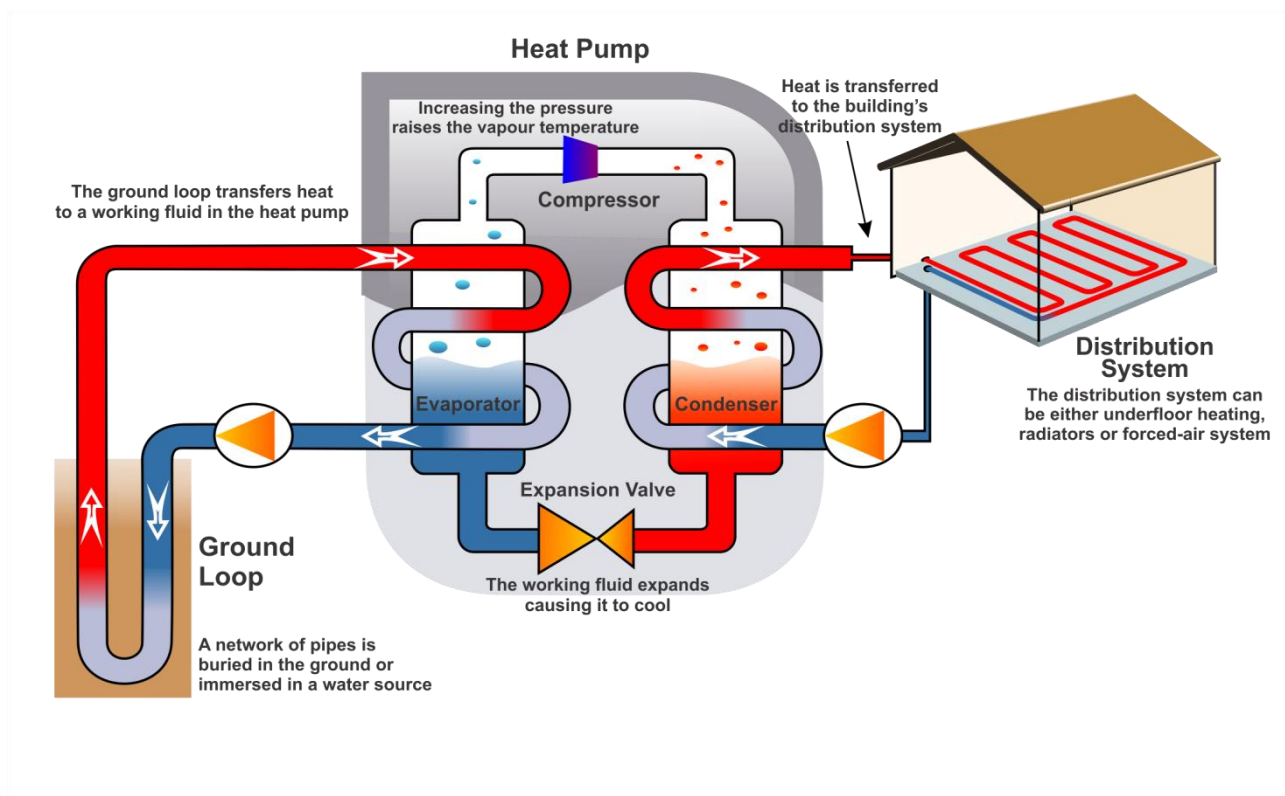


Εικόνα 1.3. Πάνω: Ομοαξονικοί Σωλήνες (coaxial pipes)
Κάτω: Σωλήνες τύπου U (U-pipes)

1.2.2. Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας αποτελεί την καρδιά του γεωθερμικού συστήματος. Χάρis αυτήν γίνεται η εναλλαγή θερμότητας από ένα ψυχρότερο σημείο σε ένα θερμότερο, δηλαδή αντίστροφα της φυσικής ροής θερμότητας από θερμότερα προς ψυχρότερα σημεία, ή βελτιώνεται η ήδη υπάρχουσα φυσική ροή από τα θερμά στα ψυχρά.

Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην ιδιότητα ενός υγρού που παραμένει σε σταθερό όγκο να αλλάζει θερμοκρασία ανάλογα την πίεσή του. Είναι ο εκφραστής της ισόχωρης συμπίεσης ή αποσυμπίεσης ενός υγρού. Η συμπίεση αυτή επιτυγχάνεται με ένα συμπιεστή κινούμενο από ένα ηλεκτροκινητήρα ή κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος αυξάνει την πίεση σε ένα ψυκτικό μέσο (υγρό). Το υγρό παρουσιάζει ταυτόχρονη αύξηση θερμοκρασίας η οποία συνεπάγεται ροή θερμότητας από το θερμό υγρό προς ένα ψυχρότερο μέσο. Έπειτα το υγρό του κύκλου οδηγείται σε μια εκτονωτική βαλβίδα η οποία επιτυγχάνει την μείωση της πίεσης εξατμίζοντας το υγρό το οποίο εν συνεχεία οδηγείται σε αέρια μορφή και χαμηλή θερμοκρασία ξανά στον συμπιεστή για να αρχίσει η ίδια διαδικασία που επαναλαμβάνεται συνεχώς.



Εικόνα 1.4. Λειτουργία Αντλία Θερμότητας
(πηγή: www.nzgeothermal.org.nz)

Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές οι οποίες λειτουργούν με βάση των ψυκτικό κύκλο, ο οποίος παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα. Κι άλλες κοινές συσκευές ανήκουν στην ίδια κατηγορία, συσκευών δηλαδή που κάνουν χρήση του ψυκτικού κύκλου, όπως είναι τα ψυγεία.

1.2.3. Σύστημα Διανομής

Το σύστημα διανομής αποτελεί το μέσο με το οποίο ο χρήστης απολαμβάνει την λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος. Η ποιότητά του είναι εφάμιλλη με την ποιότητα των συνθηκών που δημιουργεί στο χώρο που έχει επιλέξει ο χρήστης και ο κατασκευαστής για θέρμανση ή ψύξη. Για την διανομή του θερμού ή ψυχρού μέσου στον χώρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις μεγάλες κατηγορίες συστημάτων:

- **Ενδοδαπέδιο σύστημα διανομής:** Χρησιμοποιούνται σωλήνες κάτω από την τελική επίστρωση του δαπέδου που συνήθως είναι ξύλο. Είναι καλαίσθητο καθώς δεν χρησιμοποιούνται εμφανή σώματα εκπομπής ή εσωτερικές μονάδες fancoils.
- **Χρήση ψυκτικού μέσου μεταφοράς:** Με αυτή τη μέθοδο το θερμό ή ψυχρό υγρό οδηγείται σε εσωτερικές μονάδες (fancoils) οι οποίες έχουν την δυνατότητα και αφύγρανσης.
- **Χρήση αεραγωγών:** Ο θερμός ή ψυχρός αέρας οδηγείται απευθείας στους χώρους θέρμανσης/ ψύξης μέσω αεραγωγών από την αντλία θερμότητας χωρίς τη χρήση ενδιάμεσου μέσου.

Οι δύο τελευταίοι τύποι συστημάτων διανομής είναι οι πιο ενδεδειγμένοι για συστήματα μεγάλων εφαρμογών αλλά και οι καταλληλότεροι για συνδυασμό συστημάτων παράλληλης ψύξης και θέρμανσης.

Κεφάλαιο 2ο: eQuest DOE 2.2. v3.65

2.1. Σχετικά με το eQuest

Το eQuest DOE 2.2. είναι ένα εξελιγμένο εργαλείο ενεργειακής προσομοίωσης της χρήσης κτιρίων μεγάλης ή μικρής έκτασης και αποτελεί δημιουργία της συνεργασίας του James J. Hirsch & Associates (JJH) και του εργαστηρίου Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) υπό την αιγίδα και χρηματοδότηση του αμερικάνικου υπουργείου περιβάλλοντος (United States Department of Energy).

Παρέχει δυνατότητες εισαγωγής λεπτομερέστατων περιγραφών κτιρίων με τη καταβολή σχετικά λίγου κόπου. Αυτό επιτυγχάνεται με την δυνατότητα της τρισδιάστατης ανάπτυξης του κτιρίου καθώς και την απλότητα της εγκατάστασης των διάφορων τεχνολογιών θέρμανσης, φωτισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης κτλ. Πιο συγκεκριμένα τα βήματα που ακολουθούνται κατά την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου στο ηλεκτρονικό περιβάλλον του eQuest είναι:

- Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός
- Εξοπλισμός Θέρμανσης/ Ψύξης (HVAC)
- Τύπος Κτιρίου
- Κατόψεις Ορόφων
- Υλικά Κατασκευής
- Χρήση Κτιρίου
- Σύστημα Φωτισμού

Αρχίζοντας την εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου το πρόγραμμα ζητάει από το χρήστη γενικές πληροφορίες σχετικά με τη χρήση, τη θέση και το σχεδιασμό και στη συνέχεια εμβαθύνει σταδιακά σε πιο λεπτομερή περιγραφή. Σε κάθε βήμα ο χρήστης καλείται να εισάγει τα δεδομένα με τη λεπτομέρεια που αυτός επιθυμεί. Όσα δεδομένα δεν συμπληρωθούν από τον χρήστη και είναι απαραίτητα το πρόγραμμα ακολουθεί μια προεπιλεγμένη ιδιοφυή διαδικασία ("intelligent default" process) και συμπληρώνει τα κενά.

Μετά την περιγραφή του κτιρίου το eQuest εκτελεί μια λεπτομερή ωριαία προσομοίωση της χρήσης του κτιρίου και παράγει μια εκτίμηση για την ενέργεια που θα καταναλώνει το κτίριο. Τα αποτελέσματα μπορεί να παράγονται γρήγορα όμως είναι αρκετά ακριβή αφού το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις πλήρεις δυνατότητες του DOE-2, το οποίο αποτελεί την τελευταία έκδοση ενός σεβαστού και δημοφιλούς προγράμματος προσομοίωσης που αναπτύσσεται για περισσότερα από είκοσι έτη από τον υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ. (U.S.D.O.E.).

Τέλος εκτός από την ωριαία προσομοίωση και εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών για τη χρήση ενός έτους το eQuest παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού των θερμικών και ψυκτικών φορτίων για κάθε ώρα του χρόνου βασισμένο σε παράγοντες όπως:

- Τοιχοποιία
- Θυρώματα



- Ανθρώπους
- Εσωτερικά Φορτία
- Αερισμό

Επίσης μπορεί να προσομοιώσει την απόδοση:

- Εσωτερικών μονάδων (fans)
- Αντλιών
- Ψυκτών (chillers)
- Θερμαντήρων (boilers)
- Άλλων ενεργοβόρων συσκευών

Τέλος το eQuest προσφέρει τη δυνατότητα εκτέλεσης πολλαπλών προσομοιώσεων παρουσιάζοντας συγκριτικά διαγράμματα. Μπορεί να εισάγει αυτόματα:

- Εκτίμηση κόστους ενεργειακής κατανάλωσης
- Συστήματα ελέγχου φυσικού και μη φωτισμού
- Εφαρμογή μέτρων κοινής ενεργειακής απόδοσης (βάση υπαρχόντων δεδομένων)

2.2. Μοντελοποίηση κτιρίου

Κατά την έναρξη δημιουργίας το eQuest δίνει τη δυνατότητα δύο επιλογών ανάπτυξης του σχεδίου οι οποίες είναι οι παρακάτω :

- **Schematic Design Wizard:** Αναφέρεται στην ανάπτυξη πιο απλών σχεδίων όπου δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες ή απαιτήσεις. Είναι πολύ γενική μέθοδος και εμπεριέχει περιορισμένο αριθμό σχημάτων κτιρίων χωρίς να δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα επεμβάσεων στο σχηματισμό πολύπλοκων σχεδίων.
- **Detailed Design Wizard:** Αναφέρεται στην ανάπτυξη πιο πολύπλοκων σχεδίων όπου είναι επιθυμητή μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρεια όμως απαιτούνται περισσότερες λεπτομέρειες και χαρακτηριστικά του προς εξέταση κτιρίου.

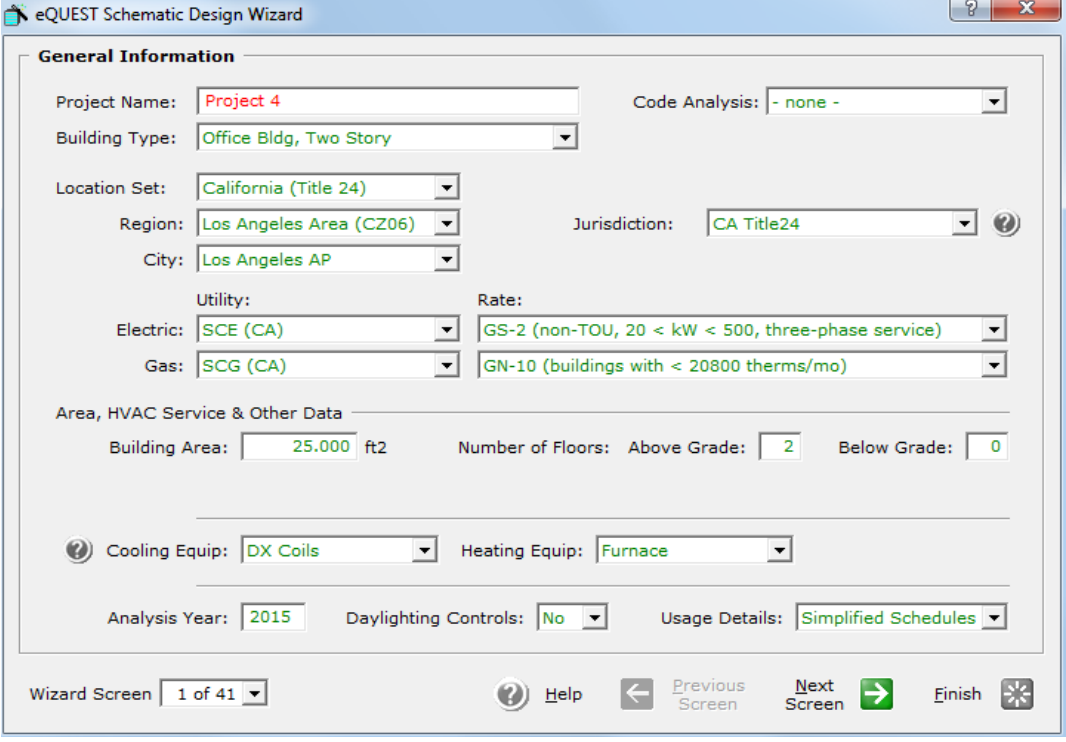
2.2.1 Schematic Design Wizard

Κατά την ανάπτυξη με αυτό το περιβάλλον διεπαφής το eQuest αρχικά ζητάει από το χρήστη να εισάγει πληροφορίες σχετικά με τη χρήση του κτιρίου, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο, μια γενική περιγραφή της έκτασής του καθώς και μια αναφορά στον εξοπλισμό ψύξης και θέρμανσης.

Έπειτα ζητά από το χρήστη να ορίσει γενικά το σχήμα του κτιρίου δίνοντας τη δυνατότητα προσδιορισμού των πλευρών του σχήματος. Το βασικό σχήμα, που αποτελεί ουσιαστικά το σχήμα της κάτοψης του κτιρίου, μπορεί να οριστεί και με τη βοήθεια CAD αρχείου εισαγόμενο στο πρόγραμμα. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις πλευρές έχοντας ως οδηγό τις



γραμμές του αρχείου CAD χωρίς να δίνεται η δυνατότητα απευθείας αναγνώρισης και εισαγωγής του σχεδίου στον τρισδιάστατο σχεδιαστή (3D modeler) του eQuest.

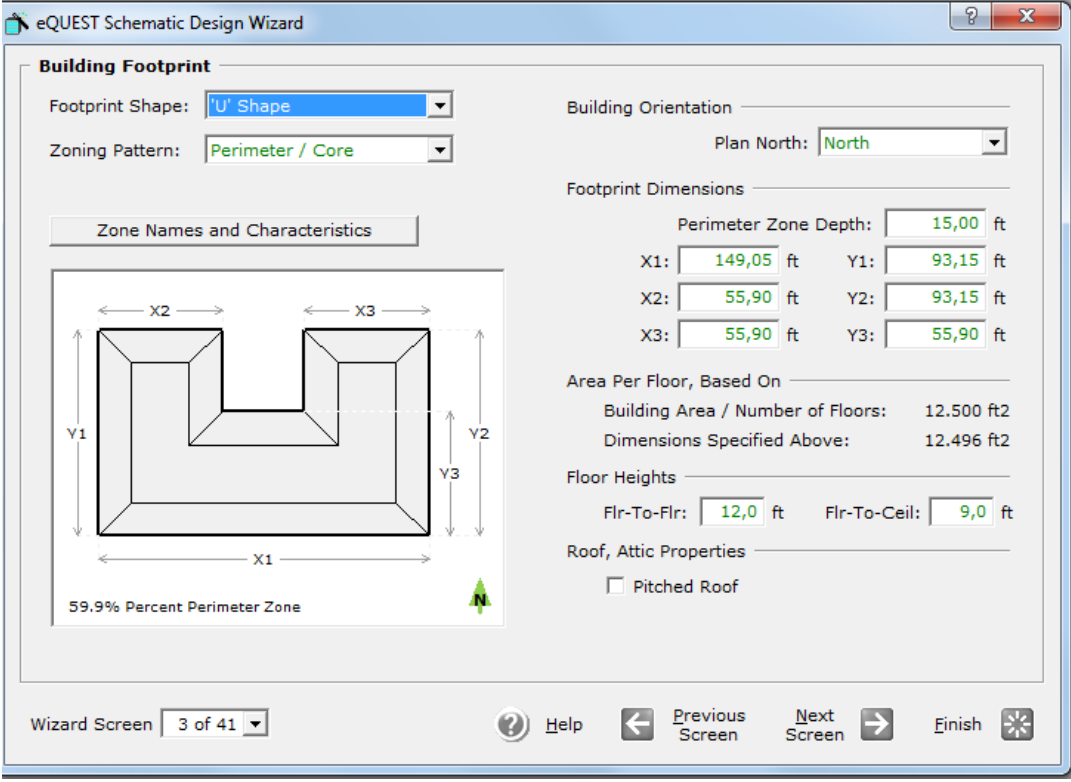


The screenshot shows the 'General Information' screen of the eQUEST Schematic Design Wizard. It contains various input fields for project details:

- Project Name:** Project 4
- Building Type:** Office Bldg, Two Story
- Location Set:** California (Title 24)
- Region:** Los Angeles Area (CZ06)
- City:** Los Angeles AP
- Jurisdiction:** CA Title24
- Utility:** SCE (CA)
- Rate:** GS-2 (non-TOU, 20 < kW < 500, three-phase service)
- Gas:** SCG (CA)
- Rate:** GN-10 (buildings with < 20800 therms/mo)
- Area, HVAC Service & Other Data:**
 - Building Area:** 25.000 ft²
 - Number of Floors:** Above Grade: 2, Below Grade: 0
- Cooling Equip:** DX Coils
- Heating Equip:** Furnace
- Analysis Year:** 2015
- Daylighting Controls:** No
- Usage Details:** Simplified Schedules

The bottom of the screen shows 'Wizard Screen 1 of 41' and navigation buttons: Help, Previous Screen, Next Screen, and Finish.

Εικόνα 2.1. Εισαγωγή γενικών πληροφοριών κτιρίου



The screenshot shows the 'Building Footprint' screen of the eQUEST Schematic Design Wizard. It includes a diagram of a U-shaped building footprint with dimensions and a table of footprint dimensions:

Footprint Shape: 'U' Shape

Zoning Pattern: Perimeter / Core

Building Orientation: Plan North: North

Footprint Dimensions:

Perimeter Zone Depth:	15,00 ft		
X1:	149,05 ft	Y1:	93,15 ft
X2:	55,90 ft	Y2:	93,15 ft
X3:	55,90 ft	Y3:	55,90 ft

Area Per Floor, Based On:

Building Area / Number of Floors:	12.500 ft ²
Dimensions Specified Above:	12.496 ft ²

Floor Heights:

Fir-To-Fir:	12,0 ft	Fir-To-Ceil:	9,0 ft
-------------	---------	--------------	--------

Roof, Attic Properties:

☐ Pitched Roof

The diagram shows a U-shaped footprint with dimensions X1, X2, X3, Y1, Y2, and Y3. The text '59.9% Percent Perimeter Zone' is displayed below the diagram.

The bottom of the screen shows 'Wizard Screen 3 of 41' and navigation buttons: Help, Previous Screen, Next Screen, and Finish.

Εικόνα 2.2. Εισαγωγή Σχήματος Κτιρίου



Έπειτα ο χρήστης καλείται να ορίσει το είδος των κατασκευών που υπάρχουν στο κτίριο όπως είναι η στέγη, οι επιφάνειες επαφής με το έδαφος, τα κάθετα δομικά στοιχεία, οι μονώσεις κτλ.

Εικόνα 2.3. Ορισμός δομικών στοιχείων

Τα παράθυρα που εμφανίζει το πρόγραμμα κατά το απλό περιβάλλον ανάπτυξης θα περιγραφούν με τη σειρά παρακάτω χωρίς να δοθούν οι αντίστοιχες εικόνες αφού αποτελούν απλές πληροφορίες που δίνει ο χρήστης.

1. Επιστρώσεις ορόφων
2. Τύποι υαλοπινάκων
3. Σκιάσεις παραθύρων
4. Φεγγίτες
5. Ποσοστά θερμικών ζωνών
6. Φωτισμός και εξοπλισμός θερμικών ζωνών
7. Πρόγραμμα λειτουργίας του κτιρίου
8. Είδος συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και διανομής
9. Επιθυμητές θερμοκρασίες και θερμοστάτες
10. Ορισμός χαρακτηριστικών συστήματος HVAC
11. Ορισμός προγράμματος λειτουργίας συστήματος HVAC
12. Συστήματα ψύξης και θέρμανσης νερού

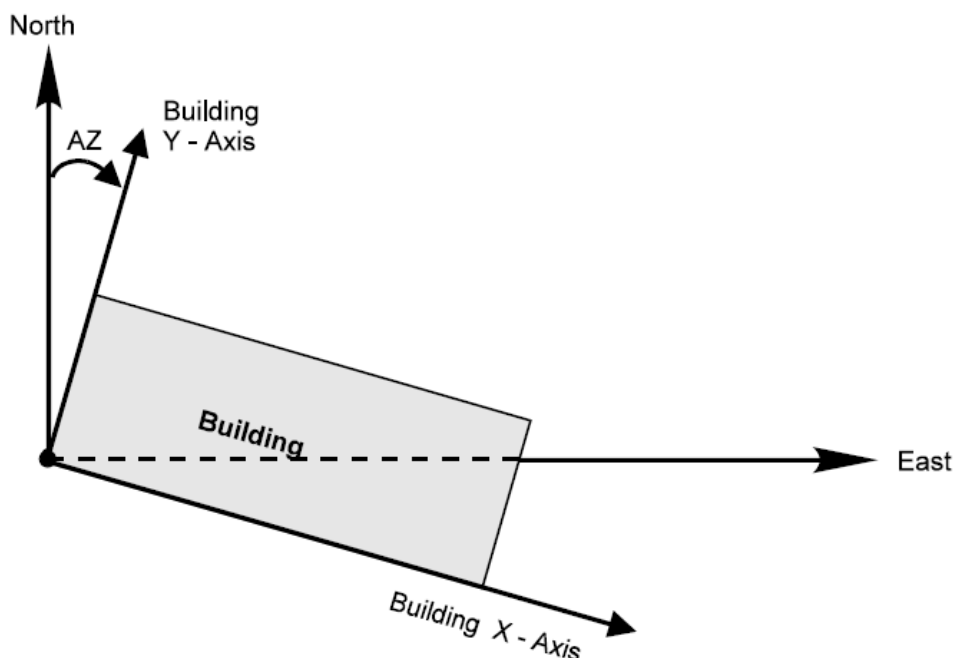
Μετά τον ορισμό όλων των παραπάνω το πρόγραμμα μπορεί να εκτελέσει την προσομοίωση χρησιμοποιώντας σε μεγάλο βαθμό όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στοιχεία από τον κανονισμό ενέργειας του υπουργείου ενέργειας των ΗΠΑ (U.S.D.O.E) αφού τα δεδομένα που ορίζονται από τον χρήστη δεν είναι λεπτομερή χάριν συντομίας εκτέλεσης της ανάλυσης σε αυτό το περιβάλλον διεπαφής.

2.2.2. Detailed Design Wizard

Σε αυτό το περιβάλλον ο χρήστης μπορεί να εισάγει κτίρια με διαφορετικά σχήματα ορόφων, με πολλαπλούς ορόφους και άνω και κάτω του εδάφους πληρώνοντας όμως ως τίμημα την πιο σύνθετη ανάπτυξη.

Ορίζεται ένα σύστημα αναφοράς τριών αξόνων βάσει του οποίου γίνεται η κατασκευή και τοποθέτηση κάθε δομικού στοιχείου του πίνακα. Κατά τη δημιουργία ο χρήστης ορίζει πρώτα τους ορόφους, έπειτα τις επιμέρους ζώνες κάθε ορόφου και στη συνέχεια τα οριζόντια και κάθετα δομικά στοιχεία κάθε ζώνης συμπεριλαμβανομένων διαφανών και αδιαφανών επιφανειών.

Το σύστημα αναφοράς του κτιρίου αρχικοποιείται βάσει αζιμούθιων συντεταγμένων σε σχέση με το βορρά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

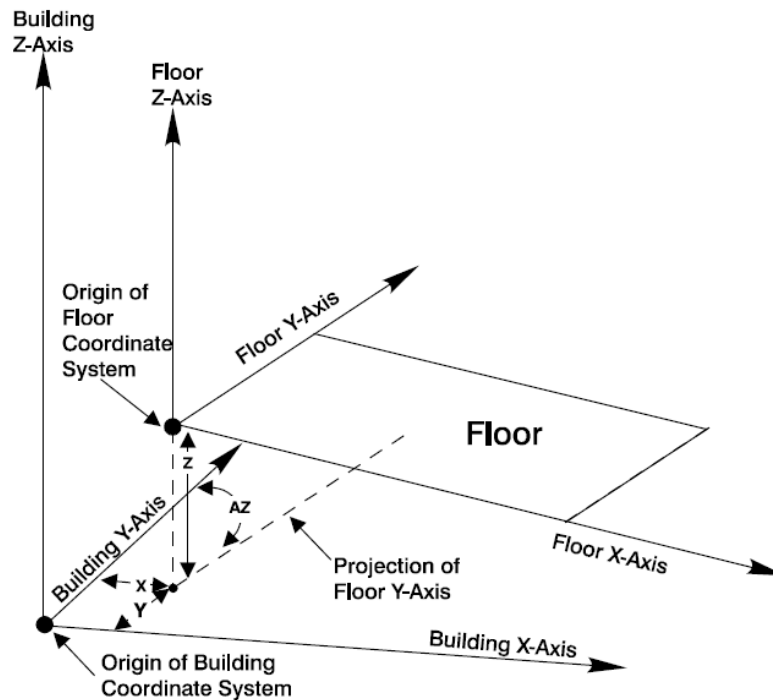


Εικόνα 2.4. Ορισμός συστήματος αναφοράς κτιρίου

Έπειτα η τοποθέτηση του κάθε χώρου ή ορόφου γίνεται κατά τους άξονες X, Y και Z του συστήματος που ορίστηκε παραπάνω όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 2.5. Επίσης μπορεί να υπάρξει συστροφή και κλίση κατά την επιθυμία του σχεδιαστή. Μετά τον ορισμό της θέσης του ορόφου γίνεται ο διαχωρισμός του σε επιμέρους ζώνες. Οι ζώνες πρέπει να ορισθούν οπωσδήποτε χωρίς όμως να είναι απαραίτητος ο ορισμός πάνω από μίας. Στη συνέχεια σε κάθε ζώνη ορίζονται τα οριζόντια δομικά στοιχεία (οροφές, πατώματα) και τα αντίστοιχα κάθετα δομικά στοιχεία (εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι).

Οι κατασκευή κάθε δομικού στοιχείου μπορεί να οριστεί από τον χρήστη είτε εισάγοντας την θερμοχωρητικότητα (U-value) του στοιχείου είτε εισάγοντας με τη σειρά τις στρώσεις των

υλικών του στοιχείου. (π.χ. Εξωτερικό επίχρισμα, Οπτοπλινθοδομή, Μόνωση πολυουρεθάνης, εσωτερικό επίχρισμα).



Εικόνα 2.5. Τοποθέτηση Ορόφου

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα της δημιουργίας δομικού στοιχείου βάσει των υλικών που περιέχει:

Construction Layers Material

Currently Active Layers: **EWall Cons Layers**

Layers: **EWall Cons Layers**

Inside Film Resistance (R-val): **0,680**

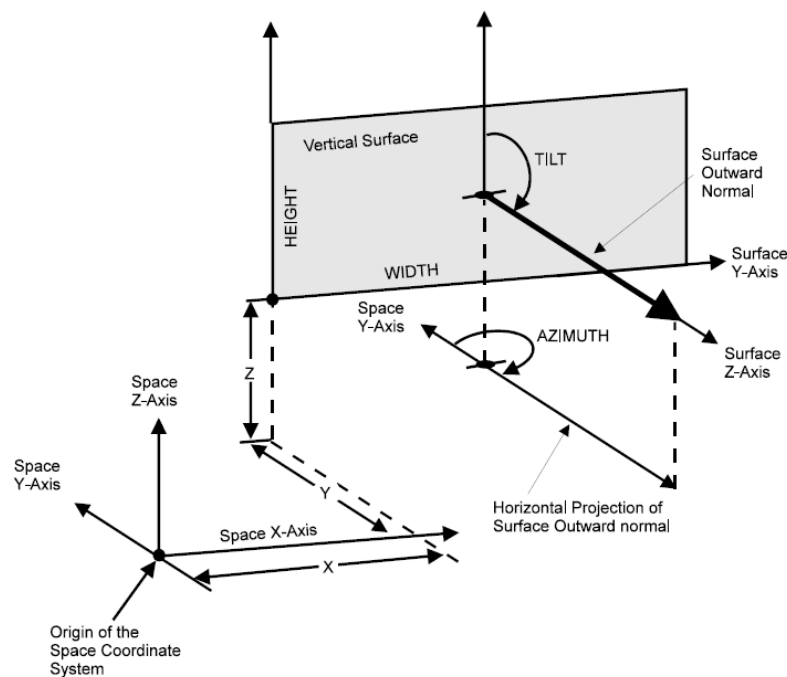
Material Layers (ordered from outside to inside):

	Material Name	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)	Density (lb/ft3)	Spec. Heat (Btu/lb-°F)	R-Value (h-ft2-°F/Btu)
1	Plywd 5/8in (PW04)	0,052	0,0667	34,00	0,290	n/a
2	Insul Bd 3/4in (IN62)	0,063	0,0316	18,00	0,310	n/a
3	EWall Cons Mat 2 (8.6)	n/a	n/a	n/a	n/a	8,600
4	GypBd 1/2in (GP01)	0,042	0,0926	50,00	0,200	n/a
5		n/a				
6		n/a				
7		n/a				
8		n/a				

Εικόνα 2.6. Δημιουργία Δομικού Στοιχείου

Όπως φαίνεται για κάθε υλικό ορίζεται το πάχος του, η θερμική του αγωγιμότητα, η πυκνότητά του, η ειδική θερμότητα και η θερμική του αντίσταση (R-Value). Τα υλικά τοποθετούνται σε διάταξη από το εξωτερικό της κατασκευής προς το εσωτερικό.

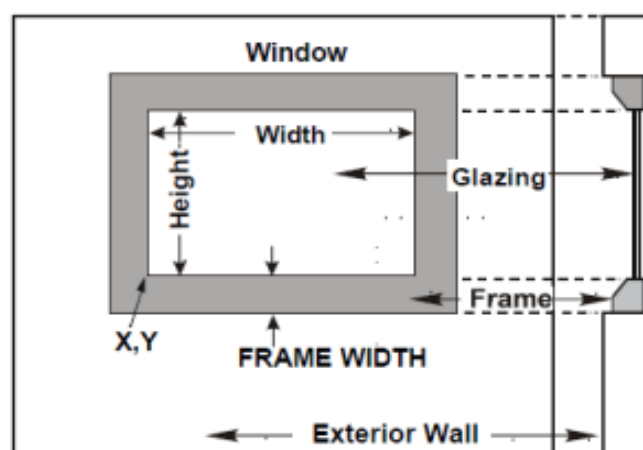
Η τοποθέτηση των κάθετων ή οριζόντιων δομικών στοιχείων δεν είναι πάντα εύκολη υπόθεση. Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα τοίχο βάσει της κατασκευής που επιθυμεί ο χρήστης και να τον τοποθετήσει π.χ. στο βόρειο τμήμα του χώρου που επεξεργάζεται ο χρήστης. Κάποιες επιφάνειες όμως δεν βρίσκονται απαραίτητα σε κάποιο άκρο του χώρου ούτε έχουν απόλυτα κάθετη ή οριζόντια κλίση. Έτσι ο χρήστης καλείται να ορίσει τη θέση και την κλίση του δομικού στοιχείου βάσει του συστήματος συντεταγμένων του χώρου που έχει με τη σειρά του προσδιοριστεί όπως αναφέρθηκε προηγουμένως βάσει του αρχικού συστήματος.



Εικόνα 2.7. Ορισμός επιφάνειας βάσει του συστήματος συντεταγμένων του χώρου

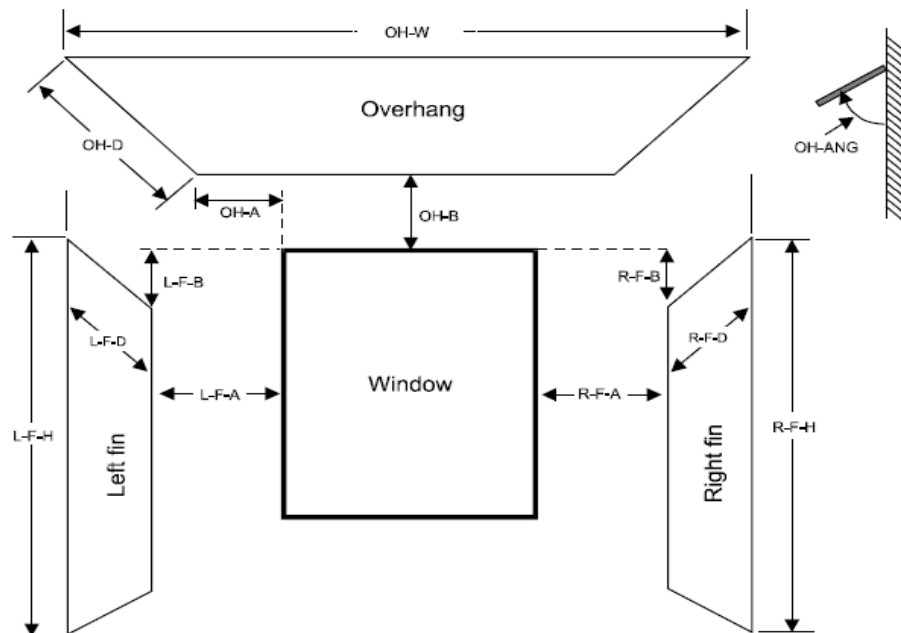
2.3. Δημιουργία Διαφανών Επιφανειών

Όταν ο χρήστης έχει τοποθετήσει όλες τις κάθετες επιφάνειες, τότε μπορεί να τοποθετήσει τα παράθυρα και τα θυρώματα που μπορεί να υπάρχουν στην αντίστοιχη πραγματική επιφάνεια του προς εξέταση κτιρίου. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού του πλαισίου του παραθύρου και της θερμοχωρητικότητάς του, του πάχους του, του



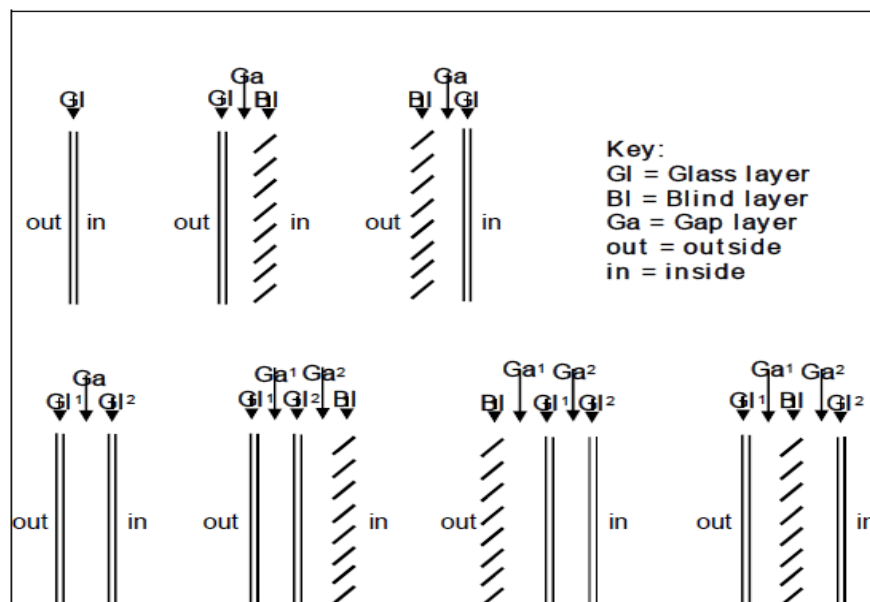
Εικόνα 2.8. Δημιουργία Παραθύρου

υλικού κατασκευής του (π.χ. Αλουμίνιο), του τύπου και των ιδιοτήτων του υαλοπίνακα, της σκίασης του καθώς και της ακριβούς θέσης του.



Εικόνα 2.9. Ορισμός Πλευρικών Σκιάσεων Παραθύρου

Ο χρήστης μπορεί να ορίσει διάφορες κατασκευές παραθύρων όπως ακριβώς και στα δομικά στοιχεία. Κάθε κατασκευή μπορεί να οριστεί βάσει του τύπου του υαλοπίνακα, των στρώσεων των υαλοπινάκων και των διάκενων που υπάρχουν μεταξύ τους καθώς και του αν υπάρχουν ή όχι περσίδες.

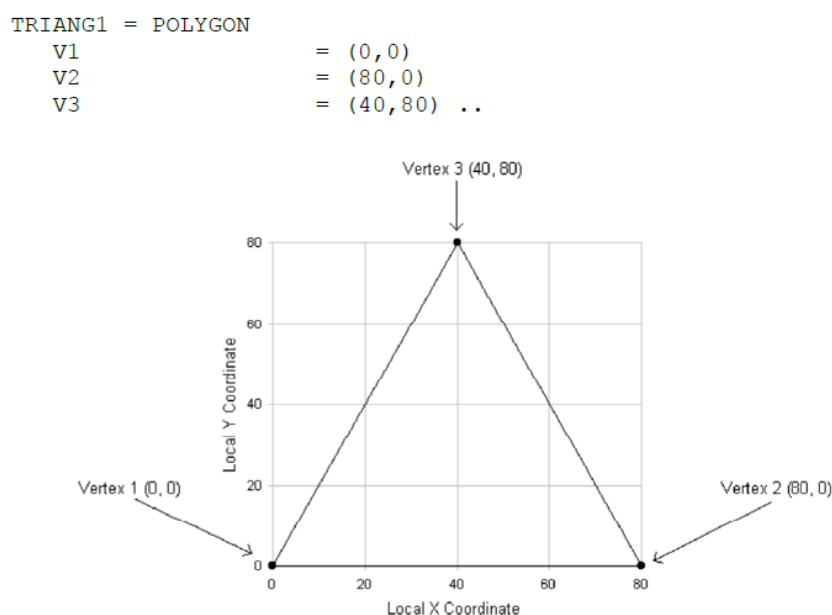


Εικόνα 2.10. Παραδείγματα συνθέσεων στρώσεων παραθύρων μονών ή ζυγών υαλοπινάκων, με περσίδες ή χωρίς

2.4. Δημιουργία Σκιάσεων

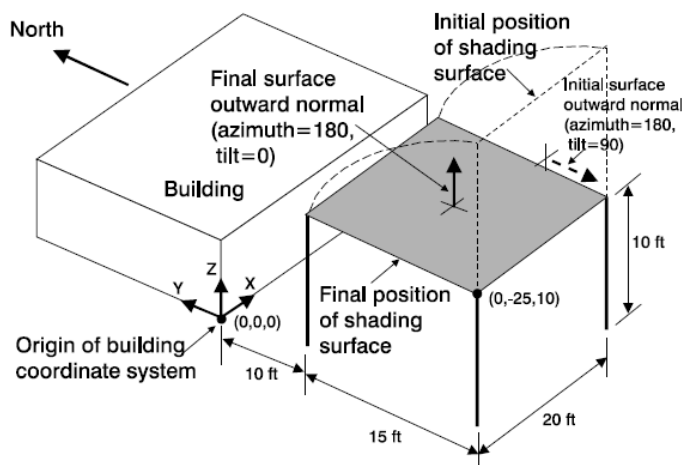
Οι σκιάσεις αποτελούν σημαντικό τμήμα της προσομοίωσης. Ο σχεδιαστής καλείται να αποτυπώσει πλήρως τις σκιάσεις του περιβάλλοντος χώρου του κτιρίου. Όπως είναι προφανές η σκίαση κατά τη διάρκεια της μέρας μίας επιφάνειας επηρεάζει τα φορτία που αναπτύσσονται σ' αυτήν καθώς και τις θερμικές απώλειές της.

Η δημιουργία των σκιάσεων γίνεται με τη χρήση πολυγώνων τα οποία εκφράζουν το αποτύπωμα δύο διαστάσεων του αντικειμένου ή κτιρίου που προκαλεί τη σκίαση. Τα πολύγωνα αυτά είτε είναι υπάρχουν έτοιμα στη βιβλιοθήκη το προγράμματος είτε πρέπει να δημιουργηθούν από τον χρήστη σε περίπτωση πολύπλοκων σχημάτων. Η λογική δημιουργίας των πολυγώνων βασίζεται στον ορισμό των κορυφών του.



Εικόνα 2.11. Παράδειγμα δημιουργίας πολυγώνου

Τα πολύγωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη δημιουργία αποτυπωμάτων ορόφων, την κάτοψη θερμικών ζωνών καθώς και τη κατασκευή οριζόντιων, κάθετων ή κεκλιμένων επιφανειών. Στη συνέχεια της δημιουργίας της σκίασης ο χρήστης τοποθετεί το επιθυμητό πολύγωνο σύμφωνα με το αρχικό σύστημα συντεταγμένων του κτιρίου.



Εικόνα 2.12. Τοποθέτηση Σκίασης

2.5. Εσωτερικά Φορτία/ Συστήματα/ Φωτισμός

Σε κάθε επιμέρους χώρο ή όροφο του κτιρίου υπάρχουν θερμικά φορτία που αναπτύσσονται από τη χρήση διάφορων ηλεκτρονικών συσκευών και εξοπλισμού, από την παρουσία ανθρώπων και από το φωτισμό. Αυτά τα φορτία σαφώς δεν θα μπορούσαν να παραληφθούν από μια σωστή μοντελοποίηση, έτσι το eQuest προσφέρει τη δυνατότητα αποτύπωσής τους.

- **Θερμικά κέρδη από την ανθρώπινη παρουσία:** Στη δημιουργία μιας θερμικής ζώνης το eQuest ζητάει από το χρήστη να ορίσει ένα μέσο αριθμό ατόμων που κάνουν χρήση του χώρου καθώς και το θερμικό κέρδος από κάθε άτομο. (Εννοείται θερμικό κέρδος αφού η θερμοκρασία του ανθρώπου είναι υψηλότερη των επιθυμητών θερμοκρασιών που επικρατούν σε ένα χώρο, οπότε η θερμότητα μεταφέρεται από το άτομο προς το περιβάλλον). Αυτές οι τιμές σαφώς δεν μπορεί να είναι δεδομένες αφού ανάλογα τη χρήση του χώρου αλλάζει και η θερμότητα που τα άτομα προσδίδουν σε αυτόν. Π.χ. άλλα θερμικά κέρδη έχει ένα γυμναστήριο από ένα ασκούμενο άτομο και άλλα κέρδη ένα γραφείο από έναν γραμματέα.
- **Μηχανολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός:** Οι διάφορες συσκευές που λειτουργούν εντός του εκάστοτε χώρου εκπέμπουν θερμότητα οπότε και σε αυτή την περίπτωση το eQuest ζητάει από τον χρήστη να ορίσει μια μέση τιμή κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα εμβαδού ώστε με κατάλληλους υπολογισμούς υπολογίζει τα θερμικά κέρδη βασισμένο βέβαια και στο πρόγραμμα λειτουργίας του εξοπλισμού αυτού.
- **Συστήματα Αερισμού:** Σε περίπτωση ύπαρξης μηχανικού αερισμού του χώρου υπάρχει δυνατότητα αποτύπωσης από το eQuest. Επίσης υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης διάφορων τύπου αερισμού ανάλογα τα συστήματα ελέγχου τους καθώς και τη λειτουργία των κινητήρων τους.
- **Φωτισμός:** Τα είδη λαμπτήρων διαφέρουν ως προς την φωτεινότητά τους αλλά και την θερμική τους ακτινοβολία. Είναι γνωστό ότι οι παλαιότεροι λαμπτήρες πυράκτωσης εξέπεμπαν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που κατανάλωναν σε θερμική ακτινοβολία. Οι νέοι λαμπτήρες αντίθετα τύπου LED εκπέμπουν σχεδόν μηδενική θερμική ακτινοβολία. Στο eQuest υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας ολόκληρου συστήματος φωτισμού αλλά και η δυνατότητα απλής αναφοράς χρήσης ενέργειας για το φωτισμό ανά τετραγωνική μονάδα.
- **Συστήματα αυτόματης σκίασης και ελέγχου φωτισμού:** Υπάρχει η δυνατότητα στο eQuest αποτύπωσης αυτοματισμών ελέγχου του φυσικού φωτός αλλά και των λαμπτήρων. Η χρήση τέτοιων τεχνολογιών κάνει σαφώς το κτίριο ενεργειακά αποδοτικότερο αλλά και στη πραγματικότητα τις συνθήκες εντός αυτού ευνοϊκότερες για τον χρήστη.

Όλα τα παραπάνω είναι σημαντικά στοιχεία των οποίων η χρήση με τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες συντελούν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και βέβαια και στη βελτίωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.



2.6. Μοντελοποίηση Γεωθερμικών Εναλλακτών

Οποιοδήποτε σύστημα θέρμανσης ή ψύξης που αναπτύσσεται στο eQuest απαιτεί έναν τουλάχιστον ένα βρόχο από τον οποίο μπορεί είτε να αντλεί είτε να εναποθέτει θερμική ενέργεια. Αυτός ο βρόχος μπορεί να προέρχεται είτε από κάποιο ηλεκτρικό θερμαντήρα (boiler) για την περίπτωση άντλησης θερμότητας είτε από κάποιον ψύκτη (chiller). Δεν θα γίνει επέκταση σε κάθε είδους βρόχου που μπορεί να μοντελοποιήσει το πρόγραμμα αλλά μόνο στη δημιουργία του βρόχου εδάφους (Γεωθερμικό Εναλλάκτη) από τον οποίο μια αντλία μπορεί να αντλήσει αλλά και να εναποθέσει θερμική ενέργεια.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια γενική αναφορά στους γεωθερμικούς εναλλάκτες, τα χαρακτηριστικά τους αλλά και τις διάφορες μορφές τους. Το πρόγραμμα μπορεί να μοντελοποιήσει τόσο κάθετα συστήματα όσο και οριζόντια χρησιμοποιώντας ωριαίο βήμα για τον υπολογισμό της απόδοσης του γεωθερμικού εναλλάκτη. Στα οριζόντια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σωληνώσεις σε ευθεία διάταξη αλλά και σε μορφή σπирάλ.

Η μοντελοποίηση μπορεί να γίνει τόσο για προσφάτως εγκατεστημένα συστήματα όσο και για ήδη υπάρχοντα συστήματα αφού δίνεται δυνατότητα ορισμού των αριθμό των ετών κατά τα οποία το σύστημα είναι εγκατεστημένο εντός του εδάφους. Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί καλύτερα η θερμοκρασιακή απόκλιση. Η λειτουργία του συστήματος μπορεί να προσομοιωθεί σε εικοσιτετράωρη βάση αποτυπώνοντας τις εναλλαγές μεταξύ θέρμανσης και ψύξης αλλά και τα σημεία «αιχμής» της λειτουργίας του συστήματος.

Ο χρήστης καλείται να ορίσει την θερμοκρασία επιστροφής του νερού από τον εναλλάκτη, ειδάλλως το πρόγραμμα λαμβάνει την τιμή από το αρχείο μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και να δηλώσει πολλαπλασιαστές του συστήματος. Η δυνατότητα πολλαπλασιασμού του συστήματος είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις μεγάλων εγκαταστάσεων όπου ορίζεται ο ένας εναλλάκτης ως ένα υποσύστημα ενός μεγαλύτερου αποτελούμενου από γεωθερμικούς εναλλάκτες τις ίδιας μορφής.

Σημαντική παρατήρηση για το πρόγραμμα είναι ότι δεν μπορεί να ορίσει αυτόματα το μέγεθος του εναλλάκτη αλλά και της αντλίας βάσει των αναγκών του κτιρίου. Έτσι το βάθος και ο αριθμός των γεωτρήσεων αφήνεται στην κρίση του χρήστη μηχανικού. Αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή παράλογων αποτελεσμάτων και σε υπερβολικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας. Η ίδια η εταιρία παραγωγής του προγράμματος συστήνει προσεκτική μοντελοποίηση αλλά και οξυμένη κριτική ικανότητα του χρήστη/μηχανικού ώστε να είναι σε θέση να καταλάβει αν τα αποτελέσματα έχουν ή όχι επαφή με την πραγματικότητα. Άρα λοιπόν ο χρήστης πρέπει να ξέρει τι αποτελέσματα έχουν αντίκρισμα για να μπορεί να κρίνει αν η αρχική μοντελοποίηση του γεωθερμικού εναλλάκτη αλλά και της αντλίας είναι σωστή ή όχι .

2.6.1. Μοντελοποίηση Κάθετου Γεωθερμικού Εναλλάκτη

Στην προσομοίωση κάθετων γεωθερμικών συστημάτων υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης μονών γεωτρήσεων αλλά και πολλαπλών παράλληλων με μια αντλία θερμότητας εδάφους. Κάθε γεώτρηση εκφράζει ένα σωλήνα τύπου U (U-pipe). Οι παροδικές αλλαγές στη θερμοκρασία στο σημείο επαφής με την επιφάνεια και την αντλία μπορούν να παραληφθούν καθώς θεωρείται ότι η επαφή με το χώμα δίνει σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο.

Ο κύριος σκοπός της προσομοίωσης του βρόχου εδάφους είναι να καθοριστεί η θερμοκρασία του νερού εντός των σωλήνων καθώς και η «καθαρή» μετάδοση θερμότητας στο βρόχο κατά τη διάρκεια της ώρας. Ο υπολογισμός του γεωθερμικού εναλλάκτη και της απόδοσης της αντλίας θερμότητας από τον μηχανικό γίνεται ξεχωριστά. Αυτό γίνεται εξαιτίας της δομής του προγράμματος και της πιθανότητας ύπαρξης πολλαπλών αντλιών συνδεδεμένων στον ίδιο βρόχο εδάφους (εναλλάκτη), όπου άλλες μπορεί να βρίσκονται σε λειτουργία ψύξης και άλλες σε λειτουργία θέρμανσης. Η απόδοση της αντλίας θερμότητας βασίζεται στη θερμοκρασία του σημείου επιστροφής του βρόχου στο τέλος της προηγούμενης ώρας. Εναλλακτικά μπορούν να τεθούν διάφορα σημεία ελέγχου πάνω στον οποίο τη θερμοκρασία θα βασίζεται η απόδοση της αντλίας. Στο eQuest υπάρχουν δύο εναλλακτικές μέθοδοι ανάπτυξη κάθετων γεωθερμικών συστημάτων, μία απλοποιημένη μέθοδος ανεπτυγμένη για το DOE-2 (Department Of Energy) με δεκαεννέα διαφορετικούς τύπους διαμορφώσεων κάθετων διατάξεων γεωθερμικών εναλλακτών και μια πιο λεπτομερής μέθοδος η οποία προσεγγίζει τις εξισώσεις G (G-functions) η οποίες είναι βασισμένες σε τεχνικές που αναπτύχθηκαν από ένα Σουηδό μελετητή και υπολογισμένες από το EED (Earth Energy Designer).

Παρακάτω παραθέτονται οι κωδικοποιήσεις των διάφορων διατάξεων των εναλλακτών καθώς και η γεωμετρική τους παρουσίαση:

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
SINGLE-WELL	1 Γεώτρηση
LINE-2	2 Γεωτρήσεις σε σειρά
LINE-3	3 Γεωτρήσεις σε σειρά
LINE-4	4 Γεωτρήσεις σε σειρά
LINE-6	6 Γεωτρήσεις σε σειρά
LINE-8	8 Γεωτρήσεις σε σειρά
LINE-10	10 Γεωτρήσεις σε σειρά
TRIANGLE-3	3 Γεωτρήσεις σε τριγωνική διάταξη
SQUARE-2X2	4 Γεωτρήσεις σε τετραγωνική διάταξη
RECTANGLE-3X2	6 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 3x2
SQUARE-3X3	9 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 3x3
RECTANGLE-5X3	15 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 5x3
SQUARE-4X4	16 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 4x4
RECTANGLE-4X3	12 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 4x3
RECTANGLE-6X2	12 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 6x2
RECTANGLE-8X2	16 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 8x2
RECTANGLE-10X2	20 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 10x2
RECTANGLE-6X3	18 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 6x3
RECTANGLE-8X4	32 Γεωτρήσεις σε πλέγμα 8x4

Πίνακας 1: Κωδικοποίηση & Περιγραφή Κάθετων Διατάξεων



Γεωμετρία & Όψη

Διαμόρφωση

#Γεωτρήσεις

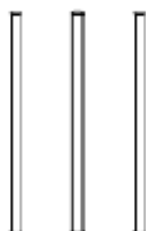
Single



Single

1

Straight Line



Line-Of-2

2

Line-Of-3

3

Line-Of-4

4

Line-Of-5

5

Line-Of-6

6

Line-Of-7

7

Line-Of-8

8

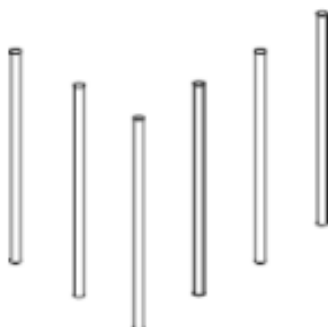
Line-Of-9

9

Line-Of-10

10

One L-shaped Line



L-Config-2x2

3

L-Config-2x3

4

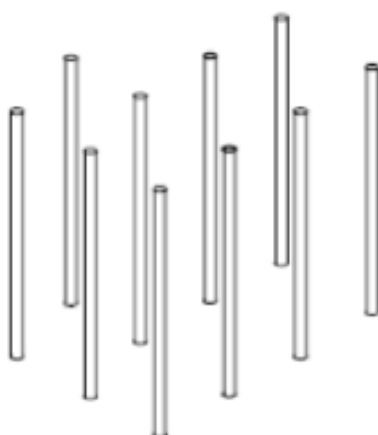
L-Config-2x4

5

L-Config-2x5

6

Two Parallel L-shaped Lines



L2-Config-3x3

8

L2-Config-3x4

10

L2-Config-3x5

12

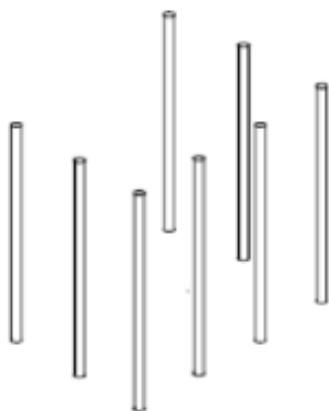


Γεωμετρία & Όψη

Διαμόρφωση

#Γεωτρήσεις

U-shaped Lines



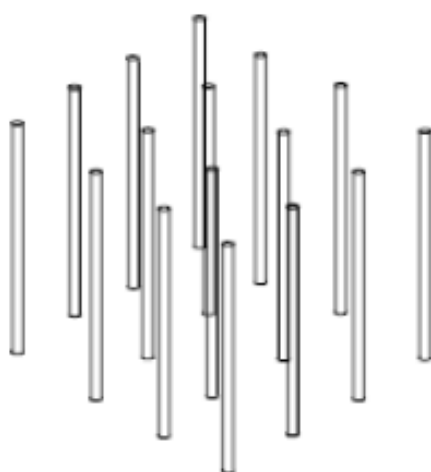
U-Config-3x2	5
U-Config-3x3	7
U-Config-3x4	9
U-Config-3x5	11

Open Rectangle



	8
	10
	12
Open-Rectangle-3x3	
Open-Rectangle-3x4	
Open-Rectangle-3x5	

Rectangle



Rectangle-2x2	4
Rectangle-2x3	6
Rectangle-2x4	8
Rectangle-2x5	10
Rectangle-2x6	12
Rectangle-2x7	14
Rectangle-2x8	16
Rectangle-2x9	18
Rectangle-2x10	20
Rectangle-3x3	9
Rectangle-3x4	12
Rectangle-3x5	15
Rectangle-3x6	18
Rectangle-4x4	16
Rectangle-4x5	20
Rectangle-4x6	24
Rectangle-4x7	28
Rectangle-4x8	32



Μετά τον καθορισμό του τύπου της διάταξης ο χρήστης-μηχανικός πρέπει να ορίσει τα εξής παρακάτω:

- **ΒΑΘΟΣ (DEPTH)**
Εκφράζει το μήκος των σωληνώσεων της γεώτρησης εντός του εδάφους.
- **ΔΙΑΚΕΝΟ (SPACING)**
Εκφράζει την απόσταση μεταξύ των αξόνων συμμετρίας των σωληνώσεων.
- **ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (BAREHOLE DIAM)**
Διάμετρος γεώτρησης σε inches
- **ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ ΠΕΔΙΟΥ (FIELD MULTIPLIER)**
Ο αριθμός των ταυτόσημων πεδίων. Το πρόγραμμα θεωρεί ότι δεν παρεμβάλλεται το ένα στο άλλο.

2.6.2. Μοντελοποίηση Οριζόντιου Γεωθερμικού Εναλλάκτη

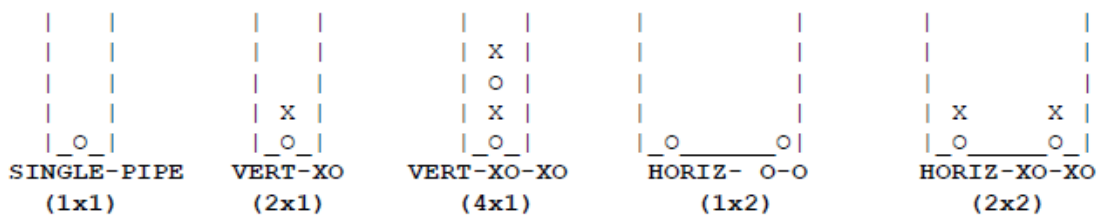
Όπως μπορεί να μοντελοποιηθεί το κάθετο σύστημα με παρόμοιο τρόπο μοντελοποιείται και το οριζόντιο για εφαρμογές ευθειών σωλήνων αλλά και διατάξεις σπιδράλ. Οι παροδικές συνθήκες μπορούν να παραμεληθούν καθώς ο βρόχος θεωρείται ότι βρίσκεται σε καλή επαφή με χώμα που έχει ομοιόμορφες ιδιότητες. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με την μοντελοποίηση του οριζόντιου εναλλάκτη καθώς ο χρήστης ορίζει τον υπεδάφιο βρόχο και στη συνέχεια συνάπτει μια ή περισσότερες αντλίες θερμότητας.

Όπως και στις κάθετες διατάξεις ο χρήστης-μηχανικός ορίζει ξεχωριστά τον γεωθερμικό εναλλάκτη και την αντλία θερμότητας. Δίδεται και η εδώ η δυνατότητα πολλαπλασιασμού των πεδίων με δημιουργία παράλληλων πανομοιότυπων πεδίων σωληνώσεων. Για τα οριζόντια συστήματα δίνονται έξι διαφορετικοί τύποι διαμόρφωσης ευθειών σωλήνων καθώς και δύο τύποι «κρυφών» διαμορφώσεων τύπου πηνίου.

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
HORIZ-U-TUBE	Οριζόντιο σε διάταξη U
SINGLE PIPE	Μονός σωλήνας
VERT-XO	Δύο σωλήνες σε κάθετη διάταξη
VERT-XO-XO	Διάταξη δύο συνόλων σωλήνων τοποθετημένα κάθετα, με τη ροή του κάθε συνόλου σε σειρά και τη ροή μεταξύ των συνόλων παράλληλα.
HORIZ-O-O	Διάταξη δύο σωλήνων στο χαντάκι με παράλληλη ροή
HORIZ-XO-XO	Δύο σύνολα σωλήνων τοποθετημένα οριζόντια, με τη ροή των σωλήνων κάθε συνόλου σε σειρά και τη ροή μεταξύ των συνόλων παράλληλα.

Πίνακας 2: Ευθείες Διατάξεις Οριζόντιων Συστημάτων



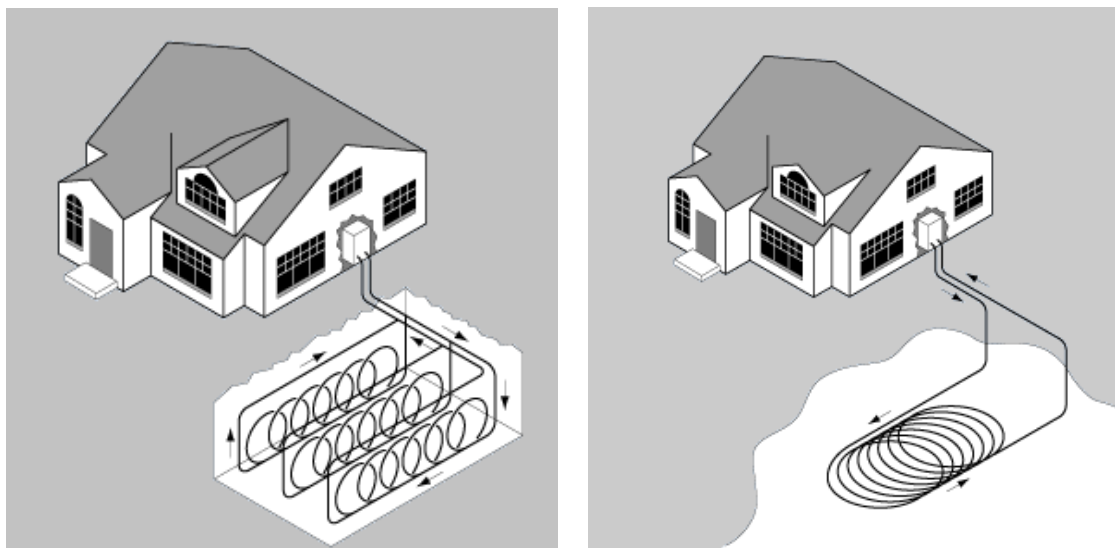


Εικόνα 2.13. Απεικόνιση σε Ευθείες Διατάξεις

Η κωδικοποίηση και η περιγραφή των διατάξεων τύπου πηνίου είναι:

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
HORIZ-SLINKY	Διάταξη πηνίου σε οριζόντια τοποθέτηση
VERT-SLINKY	Διάταξη πηνίου σε κάθετη τοποθέτηση

Πίνακας 3: Διατάξεις τύπου πηνίου



Εικόνα 2.14. Αριστερά: Διάταξη πηνίου κάθετη τοποθέτηση | Δεξιά: Διάταξη πηνίου σε οριζόντια τοποθέτηση
(πηγή: <http://www.intelligentheatandpower.com/closedloop.php>)

Μετά τον καθορισμό του τύπου της διάταξης ο χρήστης-μηχανικός πρέπει να ορίσει τα εξής παρακάτω:

- **ΒΑΘΟΣ (DEPTH)**
Η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και του κατώτατου σημείου της τάφρου.
- **ΜΗΚΟΣ ΤΑΦΡΟΥ (TRENCH LENGTH)**
Το μήκος της τάφρου στην οποία βρίσκονται οι σωληνώσεις.
- **ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΑΦΡΩΝ (TRENCH-NUMBER)**
- **ΔΙΑΚΕΝΟ (SPACING)**
Η απόσταση μεταξύ των αξόνων συμμετρίας των τάφρων.

- **ΚΑΘΕΤΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (PIPE-VERT-SEP)**
Ισχύει για τις κάθετες διατάξεις σωληνώσεων ή συνόλων σωληνώσεων και εκφράζει την κάθετη απόσταση μεταξύ των αξόνων συμμετρίας των σωληνώσεων.
- **ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (PIPE-HORIZ-SEP)**
Ισχύει για οριζόντιες διατάξεις σωληνώσεων ή συνόλων σωληνώσεων και εκφράζει την οριζόντια απόσταση μεταξύ των αξόνων συμμετρίας των σωληνώσεων.
- **ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΠΗΝΙΟΥ (SLINKY-DIAMETER)**
Ισχύει για διατάξεις τύπου πηνίου και εκφράζει την διάμετρο του κύκλου του πηνίου.
- **ΒΗΜΑ ΠΗΝΙΟΥ (SLINKY-PITCH)**
Ισχύει για διατάξεις τύπου πηνίου και εκφράζει την πυκνότητα τοποθέτησης των αγωγών.

2.6.3. Ιδιότητες Σωληνώσεων

Οι σωληνώσεις του εκάστοτε συστήματος μπορούν να λάβουν διάφορες διαστάσεις οι οποίες επηρεάζουν την θερμοπερατότητά τους καθώς και το βάθος μέχρι το οποίο μπορούν να αντέξουν τις πιέσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι περισσότερες σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας είναι κατασκευασμένες από πολυαιθυλένιο. Το πρόγραμμα προσφέρει κάποιες δεδομένες τιμές διαστάσεων όμως προτιμάται η χρήση τυποποιημένων διαστάσεων κατά DIN.

Ο μηχανικός κατά τον ορισμό του τύπου σωληνώσεων καλείται να ορίσει τα παρακάτω:

- **ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (PIPE-OUTSIDE-DIA)**
- **ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (PIPE-INSIDE-DIA)**
- **ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΤΥΠΟΥ U (U-TUBE-LEG-SEP)**
Η απόσταση μεταξύ των επιφανειών των σωλήνων τύπου U.
- **ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (PIPE-COND)**

2.6.4. Ιδιότητες υλικού πληρώσεως γεώτρησης

Μετά την εγκατάσταση των σωληνώσεων εντός των γεωτρήσεων υπάρχει χώρος κατά το βάθος της γεώτρησης ο οποίος είναι κενός. Αυτό το κενό πρέπει να πληρωθεί με κάποιο υλικό πληρώσεως. (συνήθως Μπεντονίτης). Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει όποιο υλικό επιθυμεί εισάγοντας στο πρόγραμμα την θερμική του αγωγιμότητα. Εκτός των συνηθισμένων υλικών το eQuest προσφέρει και κάποια ρευστοκονιάματα που είναι θερμικά ενισχυμένα.

Thermally Enhanced Grouts	
Description	Conductivity Btu/hr-ft-F
20% Bentonite -40% Quartzite	0.9
30% Bentonite -30% Quartzite	0.8
30% Bentonite -30% Iron Ore	0.5
(Cement + Fly Ash + Sand)	1.1

Εικόνα 2.15. Θερμικά Ενισχυμένα Ρευστοκονιάματα



2.6.5. Ιδιότητες υπ-εδάφους

Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένο το εκάστοτε γεωθερμικό σύστημα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος. Ο μηχανικός πρέπει να έχει προβεί σε γεωλογικό έλεγχο και ανάλυση εδάφους της περιοχής έτσι ώστε να γνωρίζει τη διαμόρφωση υπό την επιφάνεια. Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσής του καλείται να εισάγει στο πρόγραμμα τα παρακάτω:

- **ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (REF-GRND-TEMP)**
Μέση θερμοκρασία της τάφρου για οριζόντια συστήματα ή μέση θερμοκρασία πεδίου για κάθετα συστήματα. Αν δεν οριστούν χρησιμοποιούνται τιμές που υπολογίζονται βάσει της εξωτερικής θερμοκρασίας που αναφέρεται στο αρχείο μετεωρολογικών δεδομένων.
- **ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (REF-GRND-ADJ)**
Ισχύει για κάθετα συστήματα σε περιπτώσεις που υπάρχουν διαφορετικές διαμορφώσεις του υπεδάφους και παρουσιάζονται διαφορετικές θερμοκρασίες.
- **ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΕΛΑΦΟΥΣ (GRND-COND)**
- **ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΧΥΤΟΤΗΤΑ ΕΛΑΦΟΥΣ (GRND-DIFFUSIVITY)**
- **ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ (GRND-YEAR-SWING)**
Ισχύει για οριζόντια συστήματα και αφορά στην ταλάντωση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους.
- **ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΦΑΣΗ (GRND-PHASE-CONST)**
Ισχύει για οριζόντια συστήματα και εκφράζει την φάση (σε ημέρες) κατά την οποία ολοκληρώνεται η ταλάντωση της θερμοκρασίας.

2.6.6. Ιδιότητες διαρρέοντος ρευστού

Το διαρρέον ρευστό εντός των σωληνώσεων δεν είναι απαραίτητα νερό. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κι άλλου είδους υγρά ανάλογα τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Το eQuest προσφέρει τα παρακάτω:

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
WATER	Εξ' ορισμού
PROPYLENE-GLYCOL	Υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης
ETHANOL	Υδατικό διάλυμα αιθανόλης
ETHYLENE-GLYCOL	Υδατικό διάλυμα αιθυλενογλυκόλης
METHANOL	Υδατικό διάλυμα μεθανόλης

Πίνακας 4: Διάφορα Διαρρέοντα Ρευστά

Για τα κάθετα συστήματα ο χρήστης πρέπει να δηλώσει και το ποσοστό του αντιψυκτικού υγρού που είναι απαραίτητο σε τέτοιες εφαρμογές.



2.6.7. Ιστορικό γεωθερμικού εναλλάκτη

Το eQuest μπορεί να προσδιορίσει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα του πεδίου του γεωθερμικού εναλλάκτη αν ο χρήστης προσδιορίσει το ιστορικό του. Το ιστορικό του γεωθερμικού εναλλάκτη μπορεί να προσδιοριστεί με τα παρακάτω κλειδιά.

- **ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (NUM-OF-YEARS)**
Ο αριθμός των ετών λειτουργίας του εναλλάκτη που έχουν προηγηθεί του έτους προσομοίωσης. Η τιμή μηδέν συμβολίζει ότι το έτος ανάλυσης είναι και το έτος έναρξης λειτουργίας του εναλλάκτη.
- **ΜΕΡΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (DESIGN-HEAT-DAY)**
Η Ιουλιανή ημέρα (αύξων αριθμός της ημέρας από την αρχή του έτους) όπου εμφανίζεται η ανάγκη θέρμανσης.
- **ΜΕΡΑ ΨΥΞΗΣ (DESIGN-COOL-DAY)**
Η Ιουλιανή ημέρα όπου εμφανίζεται η ανάγκη ψύξης.
- **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (DESIGN-HEAT-LOAD)**
Δέχεται μια λίστα από 24 τιμές από την ωριαία εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και του γεωθερμικού εναλλάκτη για την ημέρα θέρμανσης. Με θετικές τιμές συμβολίζεται η ροή θερμότητας από τον εναλλάκτη προς το έδαφος και με αρνητικές η ροή από το έδαφος προς τον εναλλάκτη.
- **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΨΥΞΗΣ (DESIGN-COOL-LOAD)**
Δέχεται μια λίστα από 24 τιμές από την ωριαία εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και του γεωθερμικού εναλλάκτη για την ημέρα ψύξης. Με θετικές τιμές συμβολίζεται η ροή θερμότητας από τον εναλλάκτη προς το έδαφος και με αρνητικές η ροή από το έδαφος προς τον εναλλάκτη.

2.6.8. Προσαρτήματα στον εναλλάκτη θερμότητας.

Ο κάθε βρόχος κυκλοφόρησης ή γεωθερμικός εναλλάκτης μπορεί να υποδιαιρεθεί. Ο βρόχος μπορεί να συνδέεται με δύο ή περισσότερες αντλίες θερμότητας. Ο χρήστης λοιπόν πρέπει να ορίσει τα παρακάτω για κάθε προσάρτημα πάνω στον εναλλάκτη ώστε να γίνει ο τελικός προσδιορισμός του γεωθερμικού συστήματος.

- **ΒΡΟΧΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (CIRCULATION-LOOP)**
Ορισμός του ονόματος του γεωθερμικού εναλλάκτη πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένο το προς ανάλυση σύστημα.
- **ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (CAPACITY)**
Η ονομαστική χωρητικότητα του εναλλάκτη θερμότητας. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την τιμή αυτή για τον υπολογισμό του ρυθμού ροής στον βρόχο κυκλοφόρησης.



- **ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (CAPACITY-RATIO)**
Χρησιμοποιείται για να ορίσει το ποσοστό ροής που απασχολεί το προσάρτημα από το βρόχο πάνω στον οποίο βρίσκεται. Σε περίπτωση που δεν οριστεί το πρόγραμμα διαιρεί τη ροή αυτόματα με τον αριθμό των προσαρμογών.
- **ΑΝΤΛΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (HX-PUMP)**
Αν δεν οριστεί η αντλία κυκλοφορίας του προσαρτήματος τότε το πρόγραμμα μεταφέρει τις ανάγκες του στην κεντρική αντλία του βρόχου κυκλοφορίας.
- **ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (HX-DT)**
Το προφίλ των θερμοκρασιών εντός του βρόχου. Το πρόγραμμα το χρησιμοποιεί για να υπολογίσει την αντλία επανακυκλοφόρησης αλλά και την ωριαία πτώση της θερμοκρασίας.
- **ΑΠΩΛΕΙΕΣ (HX-HEAD)**
Οι απώλειες στην ροή μέσα στις σωληνώσεις του βρόχου.
- **ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ (HX-STATIC-HEAD)**
Στατικές απώλειες που δεν σχετίζονται με τη ροή. Η τιμή τους αρχικοποιείται με μηδέν.
- **ΤΥΠΟΣ ΡΟΗΣ (HX-FLOW-CTRL)**
 - **ΣΥΝΕΧΗΣ ΡΟΗ (CONSTANT-FLOW)**
Δηλώνει ότι η ροή εντός του εδάφους είναι ανεξάρτητη της ροής του βρόχου. Αν υπάρχει αντλία κυκλοφορίας τότε η ροή βασίζεται σ' αυτήν. Αν η ροή στον βασικό βρόχο είναι μεταβλητή τότε μεταβλητή είναι και η ροή εντός του εδάφους.
 - **ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΡΟΗ (VARIABLE-FLOW)**
Δηλώνει ότι η ροή εντός του εδάφους ποικίλει ανάλογα την απαίτηση του βρόχου κυκλοφορίας του προσαρτήματος ώστε να επιτύχει κατάλληλες θερμοκρασίες.
- **ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΡΟΗ (HX-MIN-LOAD)**
Όταν υπάρχει μεταβλητή ροή τότε ορίζεται το ελάχιστο επιτρεπτό φράγμα για τον βρόχο του εδάφους.
- **ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΗ (HX-MAX-LOAD)**
Όταν υπάρχει μεταβλητή ροή τότε ορίζεται το μέγιστο επιτρεπτό φράγμα για τον βρόχο του εδάφους.



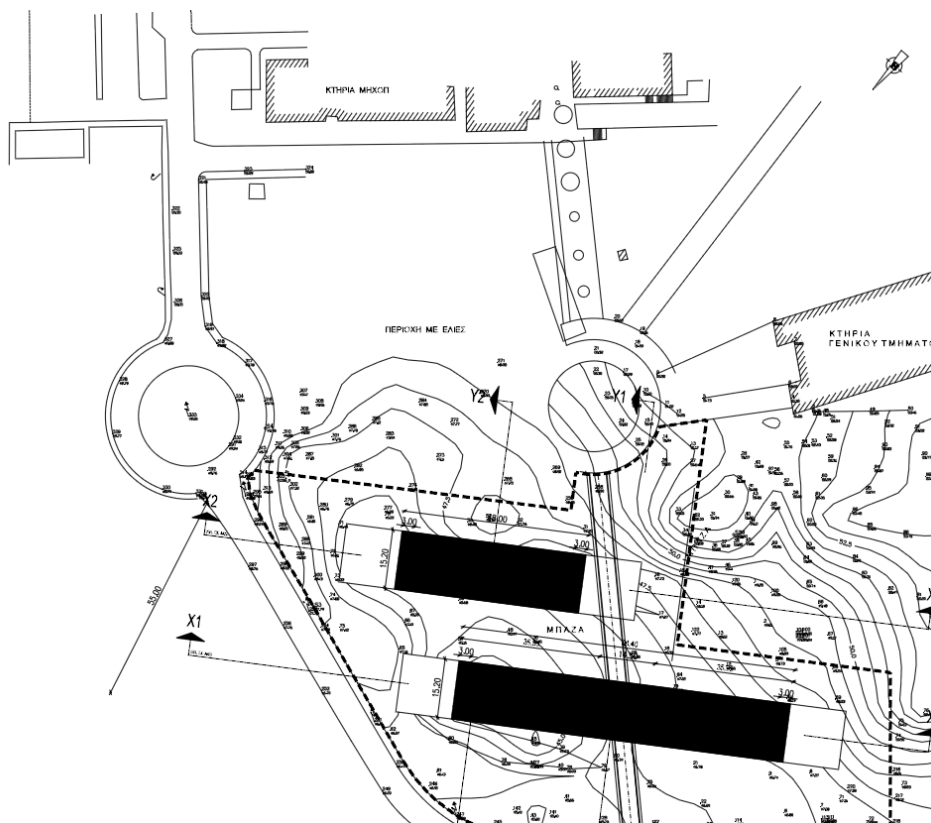
Κεφάλαιο 3ο: Εφαρμογή κτιρίου

3.1. Περιγραφή Κτιρίου

Το προς εξέταση κτίριο της εφαρμογής βρίσκεται στην τοποθεσία Κουνουπιδιανά, Χανίων εντός της πολυτεχνειούπολης του ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ σε υψόμετρο 137 μέτρων. Το κτίριο χαρακτηρίζεται ως κτίριο γραφείων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και είναι το κτίριο στέγασης του μηχανογραφικού κέντρου. Έχει κατασκευαστεί εν έτη 2002 και διατίθενται όλα τα αρχιτεκτονικά του σχέδια, η μελέτη θερμομόνωσης αλλά και η μελέτη Η/Μ στοιχείων.

Λόγω δυσκολιών στην συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών για την εκτέλεση της προσομοίωσης όσα στοιχεία δεν μπορούν να καθοριστούν από αυτοψία θα συλλεχτούν από την τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος “ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ”. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες θα γίνει με τρόπο παρόμοιο με αυτόν του λογισμικού ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ. Δεν λαμβάνονται υπόψη διαχωριστικές επιφάνειες εντός της θερμικής ζώνης και η θερμική ζώνη χωρίζεται βάσει των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Το προς εξέταση κτίριο λοιπόν θα αντιμετωπιστεί ως μια θερμική ζώνη με ένα μη θερμαινόμενο χώρο. Εκτενέστερη περιγραφή της εφαρμογής του κτιρίου στο eQuest θα γίνει σε παρακάτω παραγράφους.



Εικόνα 3.1. Τοπογραφικό Κτιρίου

3.2. Μοντελοποίηση αδιαφανών επιφανειών

3.2.1. Τοιχοποιίες

Πριν οριστεί η γεωμετρία των αδιαφανών επιφανειών του κτιρίου πρέπει να οριστούν βάσει της μελέτης θερμομόνωσης οι ιδιότητες των διαφόρων τύπων τοιχοποιιών. Θα χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία εισαγωγής της θερμοπερατότητας του στοιχείου και όχι η εισαγωγή των στρωμάτων κάθε κατασκευής.

Ο πρώτος όροφος είναι κατασκευασμένος εξ' ολοκλήρου από σκυρόδεμα με χρήση θερμομονωτικού υλικού και γυψοσανίδας στο εσωτερικό. Η τοιχοποιία του δεύτερου ορόφου αποτελείται από εξωτερικές πλάκες επικάλυψης, τσιμεντοσανίδα, θερμομονωτικό υλικό εσωτερική γυψοσανίδα.

Τα οριζόντια δομικά στοιχεία που έρχονται σε επαφή με το έδαφος, με το εξωτερικό περιβάλλον ή τον μη-θερμαινόμενο χώρο του μηχανοστασίου κι αυτά περιέχουν μόνωση. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα βάσει της μελέτης θερμομόνωσης αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες.

Τοιχοποιίες ($\frac{W}{m^2K}$ → $\frac{btu}{hft^2F}$)			
ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ		ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
	W/m2K	btu/h/F/ft2	hFft2/btu
ΙΣΟΓΕΙΟ	0,66	0,116233	8,603438
Α' ΟΡΟΦΟΣ	0,67	0,117994	8,475029
ΕΣΟΧΕΣ	0,7	0,123277	8,111813
ΤΟΙΧ. ΚΛΙΜ/ΣΙΟΥ	0,5	0,088055	11,356540

Πίνακας 3.1. Κατακόρυφα Δομικά Στοιχεία

Οριζόντια Δομικά Στοιχεία ($\frac{W}{m^2K}$ → $\frac{btu}{hft^2F}$)			
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ		ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
	W/m2K	btu/h/F/ft2	hFft2/btu
ΠΛΑΚΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ	2,59	0,4561	2,1923
ΠΥΛΩΤΕΣ	0,46	0,0817	12,2376
ΔΑΠΕΔΟ ΜΗΧ/ΣΙΟΥ	0,59	0,1051	9,5113
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΟΡΟΦΗ	0,50	0,0881	11,3565

Πίνακας 3.2. Οριζόντια Δομικά Στοιχεία

3.2.2. Δημιουργία Ορόφων

Το κτίριο ορίζεται ως μια θερμική ζώνη. Οι τρεις όροφοι πρέπει να οριστούν κανονικά κι έπειτα να επιλεγεί αν είναι ή όχι θερμαινόμενοι. Κατά τη δημιουργία ενός ορόφου ο χρήστης πρέπει να εισάγει:

- Το όνομα του ορόφου που επιθυμεί
- Την τοποθέτησή του XY Z σε σχέση με τις βασικές συντεταγμένες του κτιρίου
- Την συστροφή του βάσει των αζιμούθιων συντεταγμένων
- Το διάκενο μεταξύ πατώματος και ψευδοροφής
- Το διάκενο μεταξύ των ορόφων
- Το πλάτος του ορόφου
- Το μήκος του ορόφου

Στην διπλανή εικόνα παρουσιάζεται το παράδειγμα δημιουργίας του τρίτου (λαμβάνεται υπόψη και το ισόγειο) ορόφου του προς εξέταση κτιρίου.

Υπογραμμίζεται ότι πρέπει να οριστεί ολόκληρη η επιφάνεια του ορόφου συνυπολογίζοντας εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Σε επόμενη παράγραφο θα δειχθεί πως γίνεται ο περαιτέρω διαχωρισμός του ορόφου.

Currently Active Floor: **Floor 3**

Basic Specifications

Floor Name: **Floor 3**

Multiplier: **1**

Geometry

Shape: **Box**

Polygon: **n/a**

X: **0,00** ft Flr-to-Flr Ht: **7,38** ft

Y: **-9,35** ft Flr-to-Clg Ht: **7,38** ft

Z: **26,20** ft Width: **49,87** ft

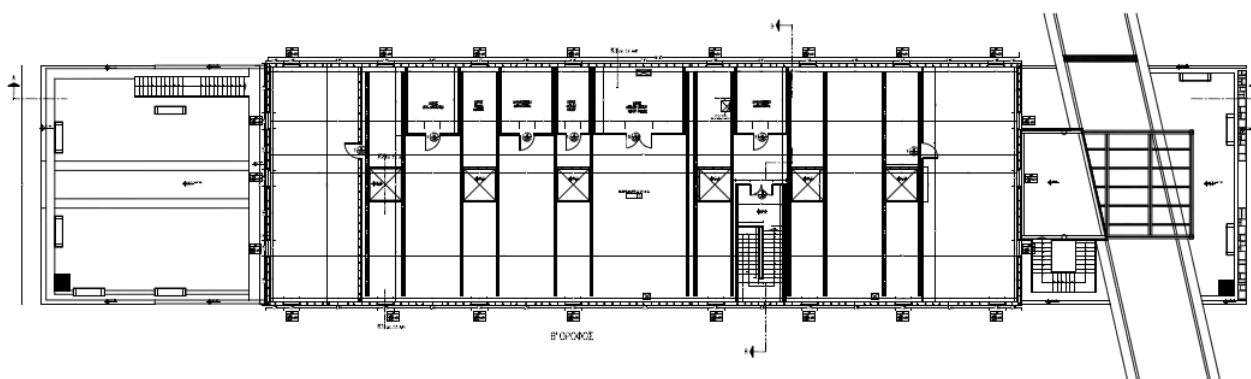
Azimuth: **0,00** deg Depth: **157,64** ft

Area: **7.862** ft²

Volume: **58.018** ft³

Done

Εικόνα 3.2. Δημιουργία τρίτου ορόφου



Εικόνα 3.3. Κάτοψη ορόφου παραδείγματος

3.2.3. Δημιουργία επιμέρους χώρων

Οι εξωτερικές ή εσωτερικές επιφάνειες δεν μπορούν να επισυναφτούν κατευθείαν πάνω στο πλαίσιο του ορόφου. Ο χρήστης πρέπει να δημιουργήσει τουλάχιστον έναν επιμέρους χώρο πάνω στον όροφο, ο οποίος όμως μπορεί να καλύπτει κι όλη την επιφάνεια του ορόφου ανάλογα τη μοντελοποίηση και τις απαιτήσεις του χρήστη. Για τον ορισμό του επιμέρους χώρου ο χρήστης πρέπει να ορίσει:

- Το όνομα του χώρου που επιθυμεί
- Τον πατρικό του όροφο
- Αν είναι θερμαινόμενος ή όχι
- Τον ηλιασμό του και την επιθυμητή θερμοκρασία
- Το σχήμα του. (Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύγωνα)
- Την τοποθέτησή του XYZ σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων του ορόφου
- Την συστροφή του βάσει των αξιμούθιων συντεταγμένων
- Το διάκενο μεταξύ πατώματος και ψευδοροφής
- Το διάκενο μεταξύ των ορόφων
- Το πλάτος του χώρου
- Το μήκος του χώρου
- Το πρόγραμμα λειτουργίας του χώρου
- Το διαθέσιμο χώρο για κάθε άτομο
- Το αριθμό ατόμων
- Τα θερμικά κέρδη από κάθε άτομο

Παρακάτω παρουσιάζεται το παράδειγμα εφαρμογής του πρώτου ορόφου (όχι ισογείου) του παραδείγματος όπου ορίζεται ως ένας χώρος. Το πρόγραμμα λειτουργίας, η πυκνότητα των ατόμων αλλά και τα θερμικά κέρδη έχουν ληφθεί από την T.O.T.E.E. 20701-1/2010. Η θερμοκρασία του χώρου έχει οριστεί στους 23°C δηλαδή στη μέση τιμή της επιθυμητής θερμοκρασίας για περιόδους ψύξης και θέρμανσης. (26°C & 20°C αντίστοιχα).

Currently Active Space: **A' Orofos** Zone Type: Conditioned

Basic Specs | Equipment | Infiltration | Daylighting | Contents | Lighting

Space Name: **A' Orofos**

Parent Floor: **Floor 2**

Zone Type: **Conditioned**

Description:

Multipliers: Space: **1** Floor: **1**

Sunspace: **No** Temp.: **73,5** °F

Location & Geometry

Location: **- undefined -**

Shape: **Box**

Polygon: **n/a**

X: **0,00** ft Flr-to-Clg Ht: **9,8** ft

Y: **0,00** ft Width: **49,87** ft

Z: **26,10** ft Depth: **157,64** ft

Azimuth: **0,00** deg Area: **7,861,5** ft2

Volume: **77,043** ft3

Occupancy

Schedule: **ZG0-S1 (VAVS) P-Inf Sch**

Area/Person: **22** ft2

Number of People: **357**

Total Heat Gain: **450** Btu/h-person

Sensible Heat Gain: **272** Btu/h-person

Latent Heat Gain: **177** Btu/h-person

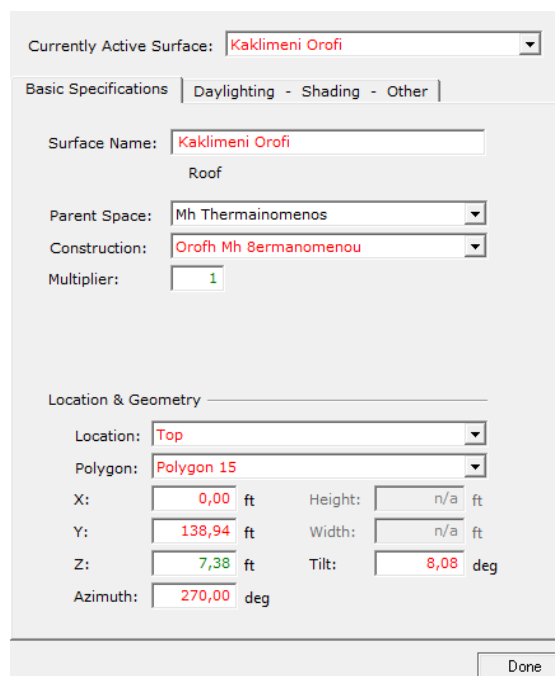
Done

Εικόνα 3.4. Παράδειγμα δημιουργίας χώρου

3.2.4. Δημιουργία και τοποθέτηση επιφανειών

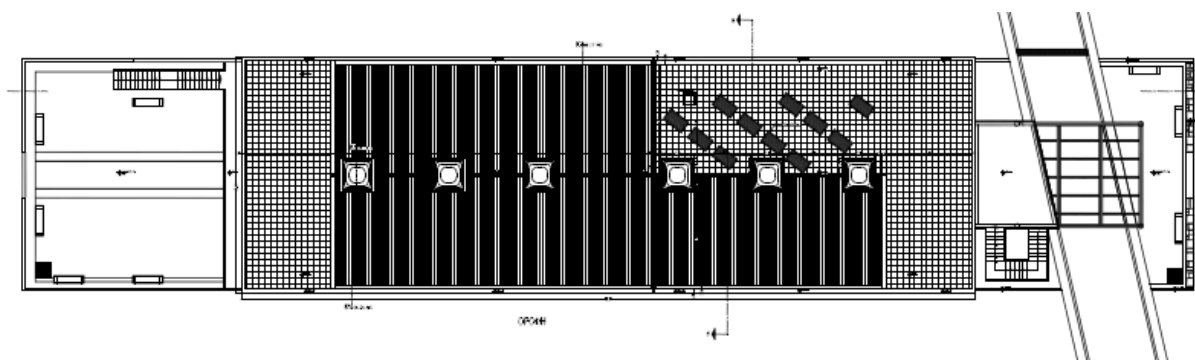
Όταν ο χρήστης έχει ολοκληρώσει τη τοποθέτηση των ορόφων αλλά και τη δημιουργία των επιμέρους χώρων τους τότε μπορεί να δημιουργήσει και τις εξωτερικές ή εσωτερικές, οριζόντιες και κάθετες επιφάνειες. Κατά τη δημιουργία της εκάστοτε επιφάνειας ο χρήστης καλείται να ορίσει:

- Την ονομασία της επιφάνειας
- Τον πατρικό χώρο της επιφάνειας
- Τον τύπο κατασκευής
- Την τοποθέτησή του στον πατρικό χώρο
- Το σχήμα του
- Την τοποθέτησή του XYZ σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων του πατρικού χώρου
- Την συστροφή του βάσει των αξιμούθιων συντεταγμένων σε σχέση με τον πατρικό χώρο
- Το ύψος και το πλάτος σε περίπτωση που δεν είναι ορισμένο πολύγωνο
- Την κλίση του



Εικόνα 3.5. Παράδειγμα δημιουργίας επιφάνειας

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το παράδειγμα δημιουργίας του βορειοανατολικού τμήματος της οροφής. Γίνεται χρήση ενός πολυγώνου ως σχήμα της επιφάνειας. Το πολύγωνο αυτό έχει δημιουργηθεί βάσει των σχεδίων και είναι υπολογισμένο από την κλίση της οροφής. (8,08deg)



Εικόνα 3.6. Κάτοψη Οροφής (Βορειοανατολικό κεκλιμένο πολύγωνο)

3.3. Μοντελοποίηση διαφανών επιφανειών

Η μοντελοποίηση των διαφανών επιφανειών πρέπει να επακολουθήσει της μοντελοποίησης των αδιαφανών επιφανειών, καθώς η τοποθέτησή τους γίνεται πάνω σ' αυτές. Όπως γίνεται και στη περίπτωση των αδιαφανών επιφανειών πρέπει πρώτα να οριστούν οι διάφοροι τύποι κουφωμάτων βάσει της θερμοπερατότητάς τους.

Διαφανείς επιφάνειες ($W/m^2K \rightarrow btu/hft^2F$)			
ΤΥΠΟΣ	ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ		ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
	W/m2K	btu/h/F/ft2	W/m2K
Παράθυρα	4,55	0,8013	1,2479
Παράθυρα Μη Ανοιγώμενα	3,47	0,6111	1,6364
Πόρτες	4,50	0,7924	1,2618
Παράθυρα Οροφής	5,55	0,9774	1,0231
Πόρτες Κλιμακοστασίου	2,7	0,4754	2,1031

Πίνακας 3.3. Ιδιότητες Κουφωμάτων

Η δημιουργία των αδιαφανών επιφανειών βάσει της θερμοπερατότητάς του ονομάζεται απλοποιημένη μέθοδος (simplified method) και ο χρήστης για να έναν τύπο διαφανούς επιφάνειας πρέπει να ορίσει τα παρακάτω:

- Ονομασία τύπου αδιαφανούς επιφάνειας
- Μέθοδος προσδιορισμού
- Συντελεστή σκίασης
- Θερμική αγωγιμότητα
- Συντελεστής διαπερατότητας
- Ικανότητα εκπομπής

Currently Active Glass Type: **Anoigomena** Type: Simplified

Basic Specifications | Component Details | Solar/Optical Details

Glass Type: **Anoigomena**

Specification Method: **Simplified**

Simplified Input Information

Shading Coefficient: **0,41**

Glass Conductance: **0,80** Btu/h-ft2-°F

Visible Transmittance: **0,90**

Outside Emissivity: **0,84**

Εικόνα 3.7. Παράδειγμα Δημιουργίας Τύπου Διαφανούς Επιφάνειας

Μετά τον ορισμό όλων των επιθυμητών τύπων διαφανών επιφανειών ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην κατασκευή των κουφωμάτων του κτιρίου. Επιλέγει αρχικά την αδιαφανή επιφάνεια πάνω στην οποία θέλει να δημιουργήσει το κούφωμα και μπορεί να προχωρήσει στη διαμόρφωση. Κατά τη διαμόρφωση καλείται να ορίσει:

- Την ονομασία του κουφώματος
- Την μητρική αδιαφανή επιφάνεια
- Την κατηγορία του παραθύρου
- Τον τύπο αδιαφανούς επιφανείας
- Την θέση του XY ως προς την μητρική αδιαφανή επιφάνεια
- Την εσοχή του κουφώματος από την εξωτερική επιφάνεια
- Το ύψος και το πλάτος
- Το πλάτος του πλαισίου
- Την θερμική αγωγιμότητα του πλαισίου
- Την απορροφητικότητα του πλαισίου
- Το υλικό του πλαισίου

Επίσης δίνεται η δυνατότητα για κάθε κούφωμα να οριστούν σκιάσεις από κάθε κατεύθυνση αν η εσοχή στην οποία βρίσκεται το κούφωμα δεν είναι η ίδια κατά όλο το μήκος της περιμέτρου του κουφώματος.

Currently Active Window: West Window 2.1

Basic Specs | Blinds/Drapes - Switching | Skylights | Daylighting - Light Well/Tube | Fins - Overhang

Window Name: West Window 2.1

Parent Wall: West External Wall

Type of Window: Standard Window

Multiplier: 1

Diffusing: No

Window Glass/Layers

Specification Method: Composite

Type of Glass: Anoiomena

Location & Geometry

X: 3,67 ft

Y: 3,28 ft

Setback: 0,88 ft

Height: 6,23 ft

Width: 3,28 ft

Window Frame

Frame Width: 0,33 ft

Conductance: 0,434 Btu/h-ft2-°F

Absorptance: 0,700

Spacer Type: Aluminum

Done

Εικόνα 3.8. Παράδειγμα δημιουργίας κουφώματος

3.4. Μοντελοποίηση διαφόρων στοιχείων

3.4.1. Φωτισμός

Στο κτίριο του παραδείγματος χρησιμοποιούνται διατάξεις φωτιστικών σωμάτων που περιέχουν τέσσερις εγκάρσιους λαμπτήρες φθορισμού ισχύος 18W. Η συνολική ισχύς φωτισμού του κτιρίου ανέρχεται στα 23,46 kW. Στο eQuest υπάρχει η δυνατότητα ορισμού ισχύος φωτισμού ανά τετραγωνικό πόδι χρησιμοποιώντας και το ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας του χώρου. Η ισχύς φωτισμού βάσει των τετραγωνικών ποδιών του κτιρίου αν τετραγωνικό πόδι είναι 1,532W.

	Power Density (W/ft2)	Power (kW)	Lighting Type	Schedule	Light to Space (ratio)	Light to Adj Spc (ratio)	Light to Return (ratio)	Rad f Thi Spa
1	1,532	0,00	Sus Fluor	ZG0-S1 (VAVS) P-Inf S	1,00	n/a	0,00	n/a
2	n/a	n/a	Sus Fluor	- undefined -	n/a	n/a	n/a	n/a
3	n/a	n/a	Sus Fluor	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
4	n/a	n/a	Sus Fluor	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
5	n/a	n/a	Sus Fluor	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

	W/ft2	kW
Overhead Lighting:	1,532	12,04
Task Lighting:	0,000	0,00
Misc. Equipment:	0,465	3,66

Εικόνα 3.9. Παράδειγμα Φωτισμού Χώρου

3.4.2. Αερισμός χώρων

Η συνολική παροχή αέρα στο κτίριο είναι βάσει των μηχανολογικών συστημάτων 7527,913cfm (cubic feet per minute). Το πρόγραμμα δέχεται ροή αέρα ανά ft2 οπότε κάνοντας τον υπολογισμό για κάθε τετραγωνικό πόδι, η ροή ανέρχεται σε 0,491 cfm/ft2.

Air Change Method	
Air Changes/Hour:	1,00
Infiltration Flow:	0,4915 cfm/ft2

ASHRAE Enhanced Method	
Flow Coefficient:	n/a
Stack Coefficient:	n/a
Wind Coefficient:	n/a
Shelter Factor:	n/a ratio
Pressure Exponent:	n/a

Εικόνα 3.10. Παράδειγμα Αερισμού Χώρου



3.4.3. Λειτουργία Η/Μ συστημάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η λειτουργία οποιασδήποτε μορφής εξοπλισμού εντός του κτιρίου δημιουργεί θερμικά κέρδη. Σε αυτό το σημείο της μοντελοποίησης θα χρησιμοποιηθούν τιμές από σχετικό πίνακα της T.O.T.E.E. 20701-1/2010 που αναφέρεται στα εσωτερικά θερμικά κέρδη από χρήστες και εξοπλισμό. (Πίνακας 2.7, σελ. 33)

The screenshot shows the 'Equipment' tab in the eQuest software. At the top, 'Currently Active Space' is set to 'A' Orofos' and 'Zone Type' is 'Conditioned'. Below the tabs, there are two tables:

Equipment Table:

	Equipment Schedule	Input Power Density (W/ft2)	Input Power (kW)	Sensible HG (ratio)	Latent HG (ratio)
1	ZG0-S1 (VAVS) P-Inf Sch	0,465		1,00	0,00
2	- undefined -	n/a	n/a	n/a	n/a
3	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
4	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Internal Energy Sources Table:

	Source Schedule	Source Type	Input Power (Btu/h)	Sensible HG (ratio)	Latent HG (ratio)
1	- undefined -	n/a	n/a	n/a	n/a

Εικόνα 3.11. Παράδειγμα Εσωτερικών Θερμικών Κερδών

Υπογραμμίζεται ότι το eQuest δέχεται πυκνότητα εξοπλισμού βάσει κατανάλωσης W/ft2. Υπάρχει η δυνατότητα ορισμού του ποσοστού από αυτή την ενέργεια που εκπέμπεται ως θερμικό κέρδος. Στο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί δείκτης 1,00 αφού η τιμή της προέρχεται από πίνακα δεδομένων που αφορά αποκλειστικά θερμικά κέρδη.

3.5. Τοποθέτηση Σκιάσεων

Τη διαμόρφωση των ορόφων, των αδιαφανών και διαφανών επιφανειών ακολουθεί η διαμόρφωση των σκιάσεων. Ως σκίαση νοείται η ύπαρξη οποιουδήποτε κτιρίου, αντικειμένου ή κατασκευής που μπορεί να επηρεάσει τη ροή του ηλιακού φωτός προς το κτίριο της ανάλυσης.

Στο παράδειγμα του κτιρίου K2 του Πολυτεχνείου Κρήτης υπάρχουν δύο κτίρια παρόμοιας κατασκευής και σκιάσεις που δημιουργούνται από μια περιμετρική κατασκευή στον τελευταίο όροφο του μη θερμαινόμενου χώρου.

Η διαδικασία τοποθέτησης έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο όμως πιο συγκεκριμένα ο χρήστης πρέπει να ορίσει τα παρακάτω:

- Ονομασία σκίασης

- Την τοποθέτησή της XYZ βάσει του αρχικού συστήματος συντεταγμένων του κτιρίου
- Το σχήμα της σκίασης, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύγωνο
- Το ύψος και πλάτος σκίασης (Αν δεν είναι καθορισμένο από το παραπάνω)
- Την συστροφή βάση αζιμούθιων συντεταγμένων
- Την κλίση σκίασης

Το πρόγραμμα επίσης δίνει τη δυνατότητα περαιτέρω ορισμού ηλιακών ιδιοτήτων σκίασης όπως:

- Ηλιακή διαπερατότητα
- Ανάκλαση επιφανείας
- Ανάκλαση εδάφους

Εικόνα 3.12. Παράδειγμα Δημιουργίας Σκίασης από Βόρειο Κτίριο

3.6. Μοντελοποίηση Γεωθερμικού Συστήματος

3.6.1. Διαστασιολόγηση Γεωθερμικού Εναλλάκτη

Η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα γίνει με τη χρήση της μεθόδου που προτείνεται από την ASHRAE. (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Βάσει της μεθόδου αυτής υπολογίζεται το μέγεθος της “μέσης ετήσιας ροής”.

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hrsc} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hrsh}}{t_a}$$

Όπου:

- q_{lc} , q_{lh} : Ψυκτικό και θερμικό φορτίο αντίστοιχα (btu/h)
- EFL_{hrsc} , EFL_{hrsh} : Ώρες ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα
- C_{fc} , C_{fh} : Διορθωτικοί συντελεστές σχετικοί με τους βαθμούς απόδοσης COP και EER αντίστοιχα.
- t_a : Η χρονική διάρκεια ενός έτους σε ώρες (8600h)

Οι διορθωτικοί συντελεστές (C_{fc} , C_{fh}) σχετίζονται όπως αναφέρεται και παραπάνω με τους βαθμούς απόδοσης COP και EER. Ο ειδικός βαθμός απόδοσης για τη θέρμανση (COP, Coefficient Of Performance) είναι ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο σε λειτουργία θέρμανσης ενώ ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης της αντλίας για την ψύξη (EER, Energy Efficiency Ratio) είναι ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο σε λειτουργία ψύξης. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις αντιστοιχίες των διορθωτικών συντελεστών βάσει της μεθόδου της ASHRAE.

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
EER (ψύξη)	C_{fc}	COP (θέρμανση)	C_{fh}
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

Πίνακας 3.4. Διορθωτικοί Συντελεστές (C_{fc} , C_{fh})

Στο παράδειγμα που αναλύεται δεν υπάρχει ήδη εγκατεστημένο σύστημα οπότε θα επιλεγεί η εγκατάσταση μίας αντλίας θερμότητας με πολύ καλούς βαθμούς απόδοσης για τη θέρμανση και τη ψύξη. Οι ώρες θέρμανσης και ψύξης καλό είναι βάσει της μεθόδου να θεωρούνται ίσες

ενώ τα θερμικά φορτία υπολογίζονται από τις ήδη εγκατεστημένες αερόψυκτες αντλίες θερμότητας.

Έστω λοιπόν:

- $q_{lc} = 685.840 \text{ btu/h}$
- $q_{lh} = 742.482 \text{ btu/h}$
- $EFL_{hrsc} = EFL_{hrsh} = 1100h$
- $C_{fc} = 1,23$
- $C_{fh} = 0,80$

Άρα η “μέση ετήσια ροή” υπολογίζεται:

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hrsc} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hrsh}}{t_a}$$

$$= \frac{1,23 \cdot (-685.840 \text{ btu/h}) \cdot 1100h + 0,80 \cdot (742.482 \text{ btu/h}) \cdot 1100h}{8.760h}$$

$$\Rightarrow q_a = -31.342,16 \text{ btu/h}$$

Αφού υπολογιστεί η “μέση ετήσια ροή”, πρέπει να υπολογιστεί η διάμετρος της σωλήνωσης του γεωθερμικού εναλλάκτη η οποία εξαρτάται από την μεταφερόμενη ισχύ από τον κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος αλλά και από την παροχή του μέσου. Η ταχύτητα ροής του ρευστού εντός των σωληνώσεων δεν πρέπει να ξεπερνά την τάξη των 1m/s-1,5m/s ώστε να διατηρηθεί στρωτή (όχι τυρβώδης). Οι παρακάτω σχέσεις εκφράζουν την σύνδεση μεταξύ της παροχής μάζας και της θερμικής ισχύος σε περιπτώσεις ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα.

- $q_{lc} = \dot{m} \cdot C_v \cdot (T_{wi} - T_{wo})$, (Ψύξη)
- $q_{lh} = \dot{m} \cdot C_v \cdot (T_{wo} - T_{wi})$, (Θέρμανση)

Όπου:

- \dot{m} : Η παροχή μάζας
- C_v : Η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού (Νερό, $C_v = 4,184 \text{ kJoule/kg} \cdot K$)
- T_{wi}, T_{wo} : Οι θερμοκρασίες εισόδου κι εξόδου του ρευστού στον εναλλάκτη αντίστοιχα. Οι απόλυτη τιμή της διαφοράς αυτής συνήθως επιλέγεται 4K.

Για τον υπολογισμό της παροχής της μάζας θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος της θέρμανσης αφού στο παράδειγμα που αναλύεται το ονομαστικό θερμικό φορτίο της θέρμανσης είναι μεγαλύτερο από αυτό της ψύξης.

$$q_{lh} = \dot{m} \cdot C_v \cdot (T_{wo} - T_{wi}) \Rightarrow \dot{m} = \frac{q_{lh}}{C_v \cdot (T_{wo} - T_{wi})} = \frac{742.482 \text{ btu/h}}{4,184 \text{ kJoule/kg} \cdot K \cdot 4K}$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 13,23 \text{ kg/s}$$



Υπολογίζεται η παροχή όγκου:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{13,23 \frac{kg}{s}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \Rightarrow \dot{V} = 13,23 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Ο αριθμός των γεωτρήσεων κρίνεται βάσει της μεθόδου από την απαιτούμενη θερμική ισχύ. Η μέθοδος θεωρεί ότι κάθε γεώτρηση αποδίδει 3.157kW (1RT= 3.157kW= 12.000,503btu/h). Οπότε ο αριθμός των γεωτρήσεων βάσει του θερμικού φορτίου θέρμανσης είναι:

$$\frac{q_{lh}}{1RT} = \frac{(742.482 \frac{btu}{h})}{12.000,503 \frac{btu}{h}} \Rightarrow q_{lh} = 61,87RT$$

Όπως φαίνεται από τη σχέση προτείνεται η εγκατάσταση 62 πηγαδιών/ γεωτρήσεων. Στο eQuest υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής 32 πηγαδιών σε διάταξη (8X4) και στη συνέχεια δυνατότητα διπλασιασμού του συστήματος. Θα προσομοιωθεί δηλαδή σύστημα με 64 γεωτρήσεις.

Στη συνέχεια θα επιλεγεί ο τύπος της σωλήνωσης και η κατάλληλη διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το όριο των 1m/s-1,5m/s. Στο παράρτημα του παρόντος τεχνικού κειμένου υπάρχει πίνακας με όλους τους τύπους σωληνώσεων κατά DIN που χρησιμοποιούνται για τους γεωθερμικούς εναλλάκτες καθώς και λεπτομέρειες σχετικά με τις θερμικές τους ιδιότητες (Πίνακας 1, Παραρτήματος).

Η παροχή όγκου σχετίζεται με την ταχύτητα ροής από τον παρακάτω τύπο:

$$\dot{V} = u \cdot A \Rightarrow u = \frac{\dot{V}}{A} \Rightarrow u = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2}$$

Όπου:

- $\dot{V} = \frac{0,01323 \frac{m^3}{s}}{64} = 0,000206 \frac{m^3}{s}$
- $D = 40,8 \text{ mm} = 0,0408\text{m}$ (Εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης, PE DN50 PN12)

Άρα:

$$u = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow u = 0,158 \frac{m}{s} < 1 \frac{m}{s} \text{ , Δεκτό}$$

Τέλος θα υπολογιστεί το απαιτούμενο βάθος των σωληνώσεων. Ένας λόγος που δεν επιλέχτηκε μικρότερη διάμετρος σωλήνωσης παραπάνω είναι λόγω της μεγαλύτερης αντοχής σε πίεση από το εξωτερικό περιβάλλον σωληνώσεων με παχύτερο τοίχωμα, πίεση η οποία μεγαλώνει όσο το βάθος γίνεται μεγαλύτερο. Ο τύπος που προσεγγίζει το βάθος των σωληνώσεων είναι ο παρακάτω:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sh})}{T_g - \frac{T_{wi} + T_{wo}}{2} - t_p}$$



Όπου:

- R_{ga}, R_{gm}, R_{gd} : Θερμικές αντιστάσεις ($h \cdot ft \cdot ^\circ F / btu$) εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα.
- R_b : Θερμική αντίσταση σωλήνωσης ($h \cdot ft \cdot ^\circ F / btu$)
- PLF_m : Ο μηνιαίος συντελεστής θερμικού φορτίου
- F_{sc} : Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων
- t_g : Η θερμοκρασία του εδάφους ($^\circ F$)
- t_{wi} : Η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στην γεωθερμική αντλία ($^\circ F$)
- t_{wo} : Η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού στην γεωθερμική αντλία ($^\circ F$)
- t_p : Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας λόγω της παρεμβολής παραπλήσιων σωληνώσεων ($^\circ F$)

Παρατηρείται ότι στον παραπάνω τύπο χρησιμοποιείται το ονομαστικό θερμικό φορτίο θέρμανσης και ο αντίστοιχος διορθωτικός συντελεστής. Αυτό συμβαίνει γιατί στο συγκεκριμένο παράδειγμα η διαστασιολόγηση του συστήματος θα γίνει βάσει της θέρμανσης αφού παρουσιάζει μεγαλύτερο θερμικό φορτίο από την ψύξη. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να γίνει χρήση των αντίστοιχων φορτίων και διορθωτικών συντελεστών ψύξης.

Για τον ορισμό των θερμικών αντιστάσεων εδάφους θα γίνει χρήση τιμών που προσεγγίζουν τα ελληνικά εδαφικά χαρακτηριστικά. Για τον πραγματικό ορισμό τους πρέπει να γίνει ανάλυση εδάφους στην περιοχή που θα τοποθετηθεί ο γεωθερμικός εναλλάκτης. Ο τρόπος υπολογισμού τους αναφέρεται στα εγχειρίδια της ASHRAE (*Ashrae Handbooks*) και σχετίζεται με τους αδιάστατους αριθμούς Fourier καθώς και τις χρονικές σταθερές.

- $R_{ga} = 0,2461 \frac{h \cdot ft \cdot ^\circ F}{btu}$
- $R_{gm} = 0,2459 \frac{h \cdot ft \cdot ^\circ F}{btu}$
- $R_{gd} = 0,3321 \frac{h \cdot ft \cdot ^\circ F}{btu}$

Η θερμική αντίσταση σωλήνωσης βρίσκεται στον Πίνακα 1 του παραρτήματος κι ο μηνιαίος συντελεστής θερμικού φορτίου εκφράζει ένα συντελεστή προσέγγισης της ακριβούς λειτουργίας της αντλίας θερμότητας. Επιλέγεται συντελεστής 0,21 ο οποίος προκύπτει από τη λειτουργία μια αντλίας μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας (δηλαδή στο 50% του εικοσιτετραώρου), και στις 12 υπόλοιπες ώρες λειτουργεί κατά 60% του χρόνου για 5 ημέρες την εβδομάδα. Ο συντελεστής θερμικών απωλειών εξαρτάται από την παροχή του ρευστού εντός των σωληνώσεων του εναλλάκτη. Μία μέση τιμή του ανέρχεται 1,03.

Στον παρανομαστή βρίσκονται τιμές που αφορούν στις θερμοκρασίες εδάφους, στις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ρευστού στον εναλλάκτη καθώς και στον διορθωτικό συντελεστή των θερμοκρασιών αυτών. Η θερμοκρασία του εδάφους συλλέγεται από τον Πίνακα 2 του παραρτήματος για τη θερμοκρασία εδάφους της Αθήνας ($67^\circ F$).



Για τη διαστασιολόγηση του συγκεκριμένου συστήματος χρησιμοποιούνται τα θερμικά φορτία σε λειτουργία θέρμανσης. Οι θερμοκρασίες του ρευστού στη συγκεκριμένη λειτουργία μπορεί να πάρει τιμές από 35°F έως 60°F. Σε προηγούμενη παράγραφο έχει αναφερθεί ότι η απόλυτη τιμή της διαφοράς της θερμοκρασίας εισόδου από αυτής της εξόδου είναι 4°K.

Η σχέση μεταξύ βαθμών Φαρενάιτ και βαθμών Κέλβιν είναι:

$$([\text{°F}] - 32) \cdot \frac{5}{9} + 273,15 = [\text{°K}]$$

Κάνοντας τους υπολογισμούς και επιλέγοντας μια μέση θερμοκρασία εισόδου 45°F προκύπτει θερμοκρασία εξόδου 52,2°F. Ο διορθωτικός συντελεστής της θερμοκρασίας επιλέγεται 2,4. (Από τα εγχειρίδια της ASHRAE). Άρα λοιπόν το απαιτούμενο βάθος της γεώτρησης προκύπτει από τα παρακάτω.

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sh})}{T_g - \frac{T_{wi} + T_{wo}}{2} - t_p}$$

$$\begin{aligned} &=> L_c \\ &= \frac{(-31.342,16) \cdot 0,2461 + (742.482 \cdot 0,2459) \cdot (0,12 + 0,21 \cdot 0,2459 + 0,3321 \cdot 1,03)}{67 - \frac{45 + 52,2}{2} - 2,4} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow L_c = 270,94 \text{ ft}$$

Το βάθος λοιπόν του εναλλάκτη προκύπτει στα 270,94ft ή περίπου 82,6m, το οποίο αποτελεί μια λογική τιμή για κάθετα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

3.6.2. Μοντελοποίηση γεωθερμικού εναλλάκτη

Σε παραπάνω παράγραφο του παρόντος τεχνικού κειμένου έχουν αναφερθεί οι δυνατότητες του eQuest στη μοντελοποίηση των γεωθερμικών εναλλακτών. Ουσιαστικά σε αυτή την παράγραφο θα γίνει έκθεση της μοντελοποίησης του γεωθερμικού εναλλάκτη ο οποίος σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του κτιρίου.

3.6.2.1. Βασικές Προδιαγραφές

Currently Active Ground HX: **Ground Loop Heat Exchanger 1** Type: Vertical Well Field

Basic Specifications | Ground Properties | Attachments

GHX Name: **Ground Loop Heat Exchanger 1**
 GHX Type: **Vertical Well Field**

Ground Loop Configuration
 Configuration: **Rectangle 8X4**

Circulation Loop Assignment
 Loop: **DEFAULT-WLHP**

Pipe Properties
 Outside Diameter: **1,26** in
 Inside Diameter: **1,02** in
 Conductivity: **0,2426** Btu/h-ft-°F

Vertical Well Field Properties
 Depth: **270,0** ft
 Spacing: **20,0** ft
 U-Tube Leg Separation: **2,9** in
 Num of Identical Well Fields: **2,0** units

Done

Εικόνα 3.13. Βασικές Προδιαγραφές

3.6.2.2. Ιδιότητες εδάφους

Currently Active Ground HX: **Ground Loop Heat Exchanger 1** Type: Vertical Well Field

Basic Specifications | Ground Properties | Attachments

Soil Thermal Properties & History
 Undisturbed Avg Ground Temp: **67,0** °F
 Ground Thermal Diffusivity: **0,025** ft²/hr
 Ground Thermal Conductivity: **1,500** Btu/h-ft-°F
 Years of Previous Operation: **0**
 Julian Heating Design Day: **303,0**
 Julian Cooling Design Day: **121,0**

Design Day Loads into Ground

	Heating (Btu/h)	Cooling (Btu/h)
1	742.482,00	742.482,00
2	-742.482,00	742.482,00
3	-742.482,00	742.482,00
4	-742.482,00	742.482,00
5	-742.482,00	742.482,00
6	-742.482,00	742.482,00
7	-742.482,00	742.482,00
8	-742.482,00	742.482,00
9	-742.482,00	742.482,00
10	-742.482,00	742.482,00
11	-742.482,00	742.482,00
12	-742.482,00	742.482,00
13	-742.482,00	742.482,00
14	-742.482,00	742.482,00
15	-742.482,00	742.482,00

Done

Εικόνα 3.14 Ιδιότητες Εδάφους

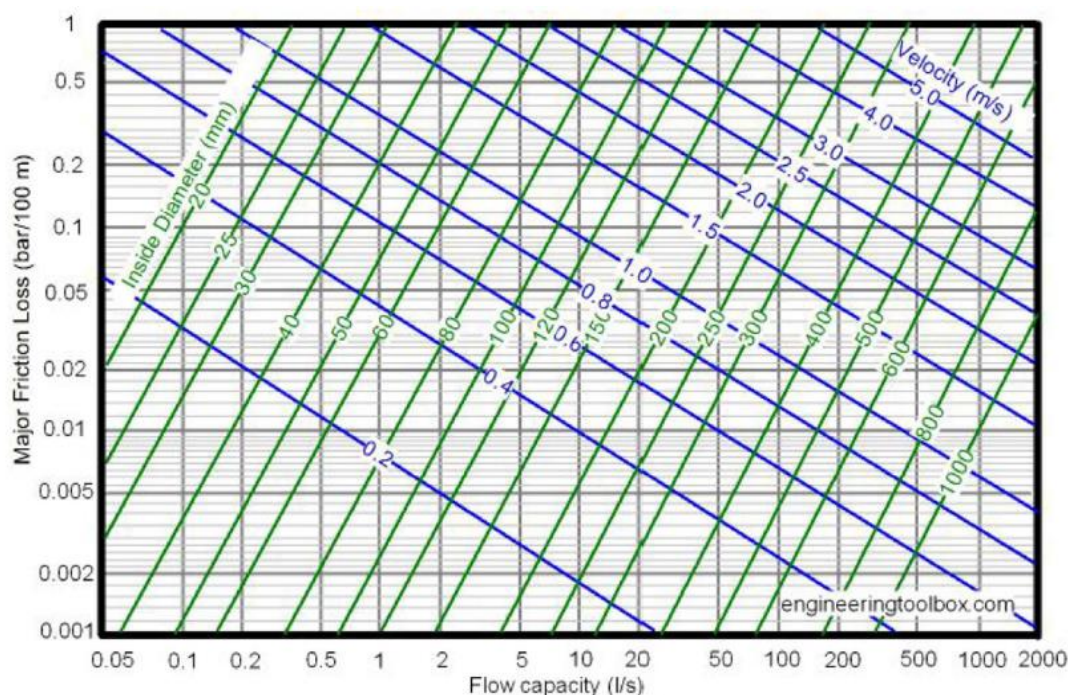
3.6.3. Υπολογισμός Κυκλοφορητή

Η αντλία κυκλοφορίας (κυκλοφορητής) του δικτύου του γεωθερμικού εναλλάκτη είναι απαραίτητη ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής και ομαλή κυκλοφορία του ρευστού εντός του εναλλάκτη. Ο κυκλοφορητής θα υπολογιστεί βάσει των συνολικών απωλειών του δικτύου των σωληνώσεων αλλά και των διάφορων εξαρτημάτων. Πιο συγκεκριμένα οι απώλειες χωρίζονται σε:

- Γραμμικές απώλειες των σωληνώσεων του εναλλάκτη
- Απώλειες του δικτύου από την αντλία προς τον εναλλάκτη
- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων (Τυπική τιμή: **0,005bar**)
- Τοπικές απώλειες πίεσης γεωθερμικής αντλίας (Τυπική τιμή: **0,25-0,3bar**)
- Τοπικές απώλειες πίεσης εξαρτημάτων εγκατάστασης (Τυπική τιμή: **0,2bar**)

Το άθροισμα των παραπάνω αποτελούν τις συνολικές απώλειες που παρουσιάζει το σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη. Οι πρώτες δύο περιπτώσεις πρέπει να εξεταστούν και να υπολογιστούν από τον χρήστη ενώ στις υπόλοιπες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τυπικές τιμές.

Για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών των σωληνώσεων του εναλλάκτη που βρίσκονται εντός του εδάφους θα γίνει χρήση του παρακάτω διαγράμματος:



Εικόνα 3.15. Διάγραμμα πτώσης πίεσης εντός σωληνώσεων

Παραπάνω έχουν υπολογιστεί η παροχή όγκου, αλλά και η ταχύτητα ροής συναρτήσει της εσωτερικής διαμέτρου των σωληνώσεων. ($d=40,6\text{mm}$, $u=0,158\text{m/s}$)

$$\dot{V} = \frac{0,01323 \text{ m}^3/\text{s}}{64} = 0,000206 \text{ m}^3/\text{s} = 0,206 \text{ lt/s}$$



Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η πτώση πίεσης ανά εκατό μέτρα σωλήνωσης ανέρχεται στα 0,01bar. Η κάθε γεώτρηση περιέχει ένα σωλήνα τύπου U δηλαδή πρέπει να πολλαπλασιαστεί το βάθος σωλήνωσης επί δύο. Οι συνολικές γραμμικές απώλειες των κάθετων σωληνώσεων του εναλλάκτη ισούνται με τις γραμμικές απώλειες της μίας γεώτρησης αφού όλες οι γεωτρήσεις είναι παράλληλες μεταξύ τους. Άρα:

$$\Delta p_{\gamma\rho, \sigma\omega\lambda} = 165,2m \times 0,01 \text{ bar}/m = 1,652bar$$

Το δίκτυο από την αντλία προς τον εναλλάκτη πρέπει να καλύψει την συνολική παροχή του ρευστού από την αντλία προς τον εναλλάκτη, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση παροχή ύψους $0,01323 \text{ m}^3/s$ ή $13,23 \text{ lt/s}$. Αν υποθεθεί ότι το δίκτυο στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει μήκος 100m τότε οι απώλειες διατηρώντας την ταχύτητα εντός του αγωγού ίδια με αυτή των σωληνώσεων και επιλέγοντας σωλήνωση 300mm τότε η γραμμικές απώλειες του ενδιάμεσου δικτύου ανέρχονται σε $0,001 \text{ bar}/m$. Συνολικά λοιπόν η πτώση πίεσης:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{\gamma\rho, \sigma\omega\lambda} + \Delta p_{\gamma\rho, \delta\iota\kappa\tau\omicron\upsilon} + \Delta p_{\gamma\rho, \gamma\epsilon\omega\tau} + \Delta p_{\gamma\rho, \Gamma\Lambda\theta} + \Delta p_{\gamma\rho, \epsilon\chi\alpha\rho\tau} \\ \Rightarrow \Delta p &= 1,652bar + 0,001bar + 0,05bar + 0,3bar + 0,2bar \\ \Rightarrow \Delta p &= 2,203bar \end{aligned}$$

Για τον υπολογισμό της ισχύος της αντλίας χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{n}$$

Όπου:

- ρ : Η πυκνότητα του ρευστού (kg/m^3)
- g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)
- H : Η πτώση πίεσης σε mΣΥ ($1m\Sigma Y = 1bar \times 10,197162$)
- Q : Η παροχή (m^3/s)
- n : Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας

Οπότε επιλέγοντας ένα βαθμό απόδοσης της αντλίας 75% και εφαρμόζοντας στον τύπο τις ακριβείς τιμές:

$$\begin{aligned} N &= \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{n} = \frac{1000 \text{ kg}/m^3 \cdot 9,81 \text{ m}/s^2 \cdot 22,46m \cdot 0,01323 \text{ m}^3/s}{0,75} = 3.886,66W \\ \Rightarrow N &= 3,89kW \end{aligned}$$



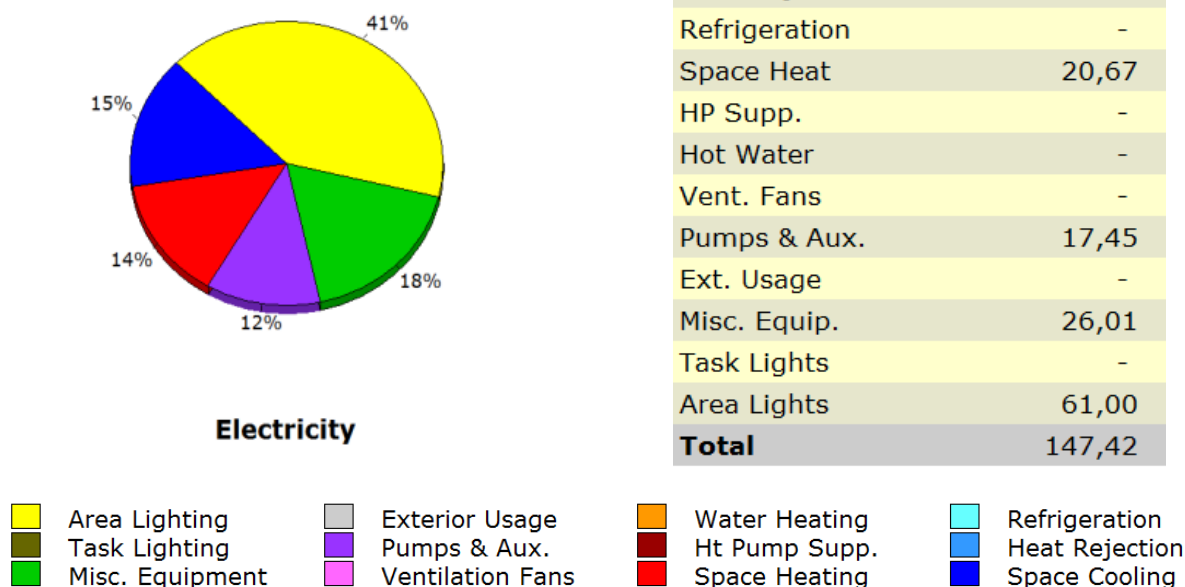
Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα

4.1. Μηνιαία & Ετήσια Κατανάλωση

Η μηνιαία και η ετήσια κατανάλωση του κτιρίου μοιράζεται από το πρόγραμμα σε ξεχωριστές κατηγορίες καυσίμων αλλά και μέσων κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να είναι αποτέλεσμα είτε του ηλεκτρισμού είτε της καύσης διάφορων καυσίμων όπως πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Οι κατηγορίες στις οποίες μπορεί να αναλυθεί και να διαμοιραστεί η κατανάλωση ενέργειας είναι οι εξής:

- Ψύξη χώρου
- Απόρριψη θερμότητας
- Ψύξη (νερού)
- Θέρμανση χώρου
- Θέρμανση νερού
- Μέσα αερισμού
- Αντλίες και εξοπλισμός
- Κατανάλωση από εξωτερικές χρήσεις
- Μηχανολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός
- Ειδικός φωτισμός
- Γενικός φωτισμός

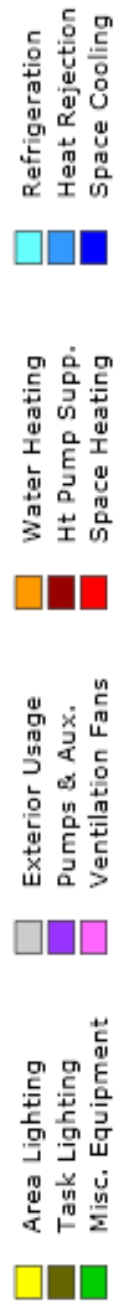
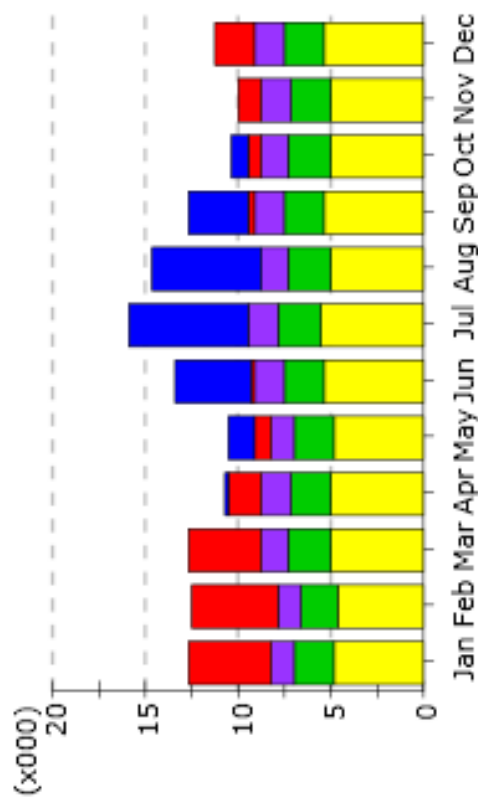
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μορφή αλλά και τα αποτελέσματα της συνολικής κατανάλωσης του προς εξέταση κτιρίου, του παραδείγματος του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Εικόνα 4.1. Ετήσια Κατανομή Ενέργειας (Ηλεκτρική Κατανάλωση)



Electric Consumption (kWh)



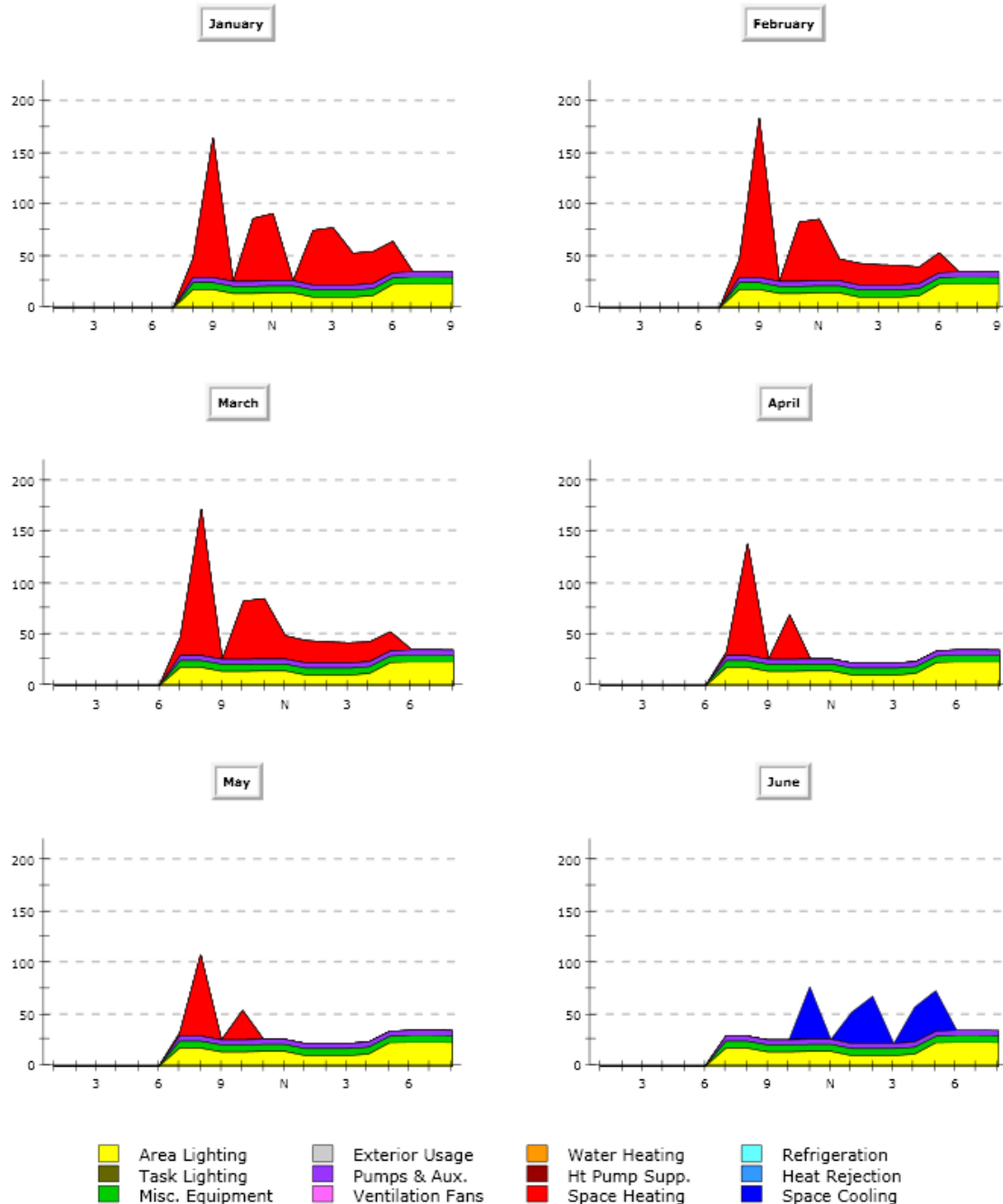
Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	-	0,12	1,45	4,20	6,38	5,88	3,35	0,82	0,09	-	22,29
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	4,45	4,55	3,94	1,95	0,80	0,20	0,02	-	0,37	0,86	1,31	2,22	20,67
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pumps & Aux.	1,38	1,31	1,45	1,45	1,38	1,52	1,59	1,45	1,52	1,45	1,45	1,52	17,45
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	2,06	1,96	2,16	2,16	2,06	2,26	2,36	2,16	2,26	2,16	2,16	2,26	26,01
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	4,86	4,59	5,08	5,06	4,86	5,27	5,51	5,08	5,27	5,08	5,06	5,29	61,00
Total	12,75	12,41	12,62	10,74	10,56	13,44	15,85	14,57	12,76	10,37	10,06	11,29	147,42

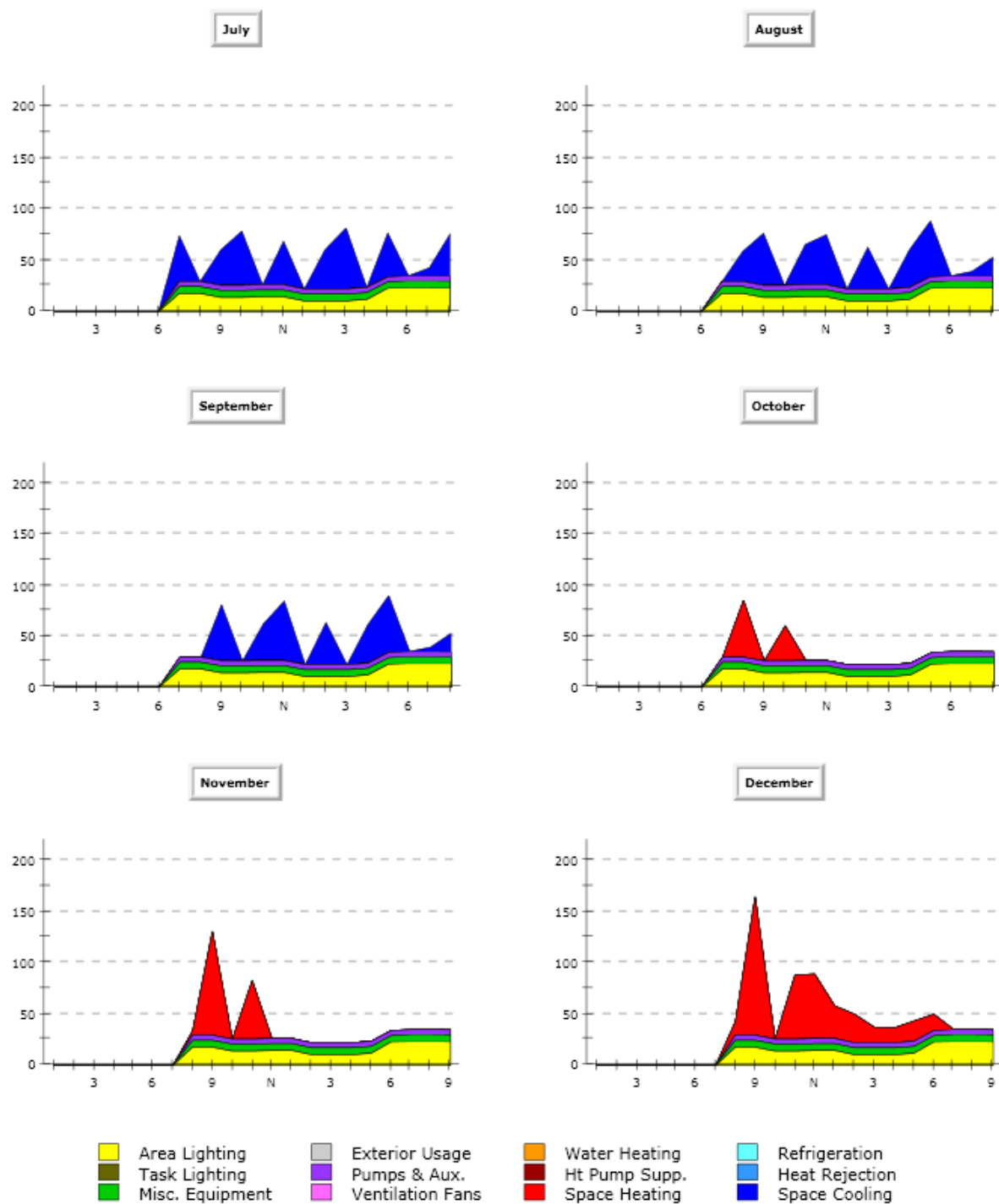
Εικόνα 4.2. Μηνιαία Κατανόμηση Ενέργειας (Ηλεκτρική Κατανάλωση)

4.2. Προφίλ φορτίων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα “μέσα ημερήσια προφίλ” των φορτίων για κάθε μήνα. Δηλαδή το eQuest βασίζεται πάνω στο πρόγραμμα λειτουργίας που έχει ορίσει ο χρήστης και ανάλογα τα μετεωρολογικά δεδομένα προσομοιώνει την ημερήσια απαίτηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα που υποδεικνύεται από την τεχνική οδηγία *TOTEE 20701-1*.



Εικόνα 4.3. Προφίλ Φορτίων (Σελίδα 1)



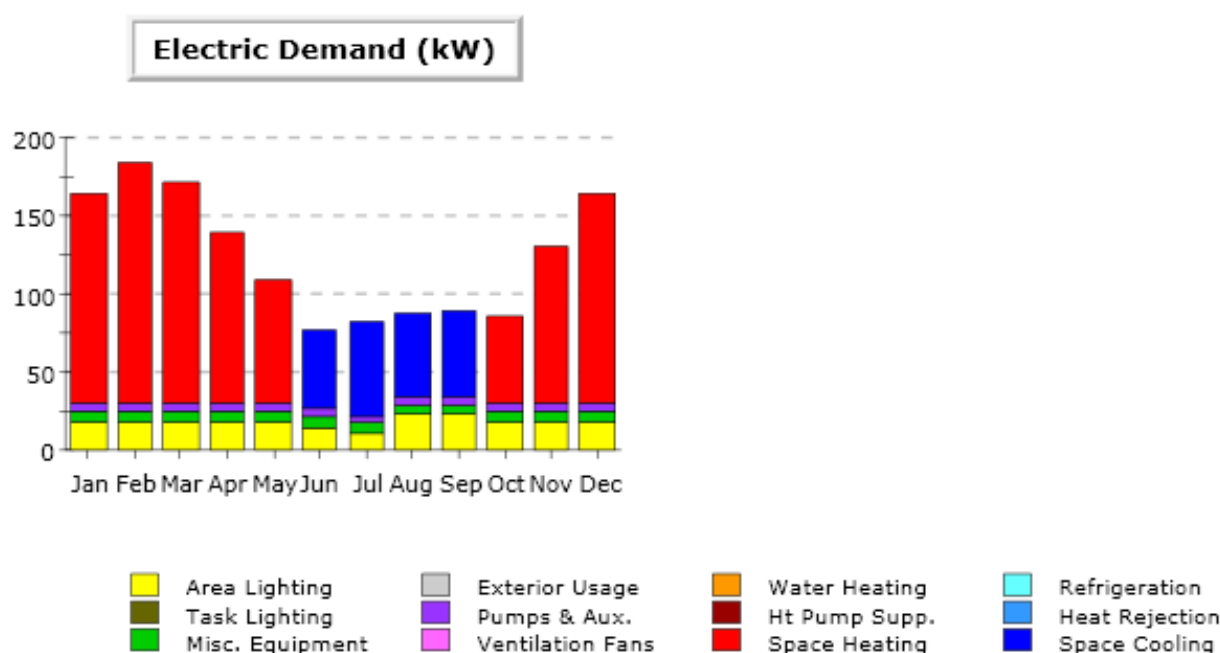
Εικόνα 4.4. Προφίλ Φορτίων (Σελίδα 2)



Τα παραπάνω γραφήματα αναπαριστούν την ημερήσια κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων για κάθε μήνα του έτους.

4.3. Σημεία αιχμής ζήτησης

Η ζήτηση σε κάθε κτίριο για μια συγκεκριμένη κατηγορία κατανάλωσης έχει μια μέγιστη τιμή που επιτυγχάνεται μία ή περισσότερες χρονικές στιγμές. Οι μέγιστες αυτές τιμές ζήτησης για κάθε κατηγορία κατανάλωσης κατά τη διάρκεια του έτους παρουσιάζονται από το eQuest όπως στο παράδειγμα παρακάτω.



Electric Demand (kW)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Space Cool	-	-	-	-	-	50,8	59,4	54,4	55,9	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	135,1	153,9	142,4	109,3	78,7	-	-	-	-	55,6	101,0	134,6
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pumps & Aux.	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,2	6,2	6,8	6,8	6,8
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	14,5	10,4	22,9	22,9	17,9	17,9	17,9

Εικόνα 4.5. Μέγιστη ζήτηση (*Electric Peak Demand*)

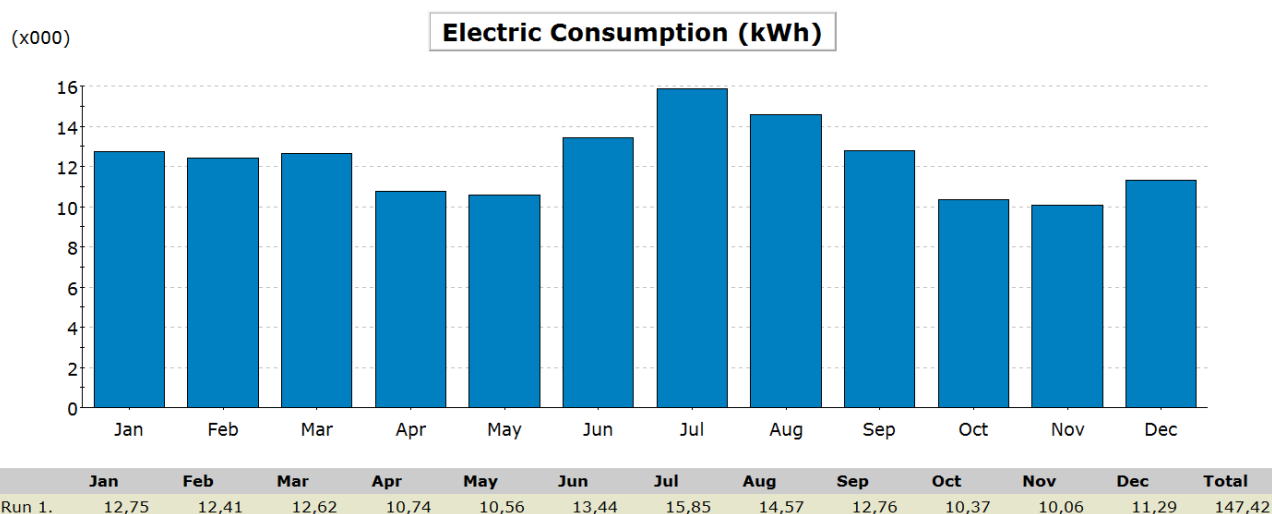
4.4. Κατανάλωση και περιβαλλοντικό κόστος

Η χρήση καυσίμων για παραγωγή οποιασδήποτε μορφής ενέργειας συνοδεύεται εκτός από οικονομικό και από περιβαλλοντικό κόστος. Η καύση υλών προκαλεί την παραγωγή βλαβερών για το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα ουσιών. Παραδείγματα τέτοιων ουσιών είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2) και τα οξείδια του αζώτου (αέριο μίγμα μονοξειδίου και διοξειδίου του αζώτου) (NO_x). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές των παραπάνω ρύπων ανά kWh σε διάφορες περιπτώσεις παραγωγής ενέργειας.

Καύσιμο	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	CO_2	SO_2	NO_x
	[kWh/kg]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Πετρέλαιο θέρμανσης	11,92	263,6	0,1	200,0
Υγραέριο	12,73	238,0	0,0	165,1
Φυσικό αέριο	13,83	196,3	0,0	152,0
Βιομάζα (τυποποιημένη ή μη)	4,31	—	—	—
Λυγνίτης		1320,0	1,2	1,0
Ηλεκτρισμός (περιοχές που είναι διασυνδεδεμένες με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)		850,0	15,5	1,2
Ηλεκτρισμός (νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)		1062,5	19,4	1,5
Θερμική ενέργεια από τηλεθέρμανση		346,6	1,5	0,6

Πίνακας 4.1. Παραγωγή ρύπων ανά kWh (Πηγή TOTEE 20701-1)

Για την περίπτωση του κτιρίου του Πολυτεχνείου Κρήτης χρησιμοποιείται η περίπτωση του ηλεκτρισμού για νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η μηνιαία αλλά και η συνολική κατανάλωση παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα.



Εικόνα 4.6. Ηλεκτρική Κατανάλωση



Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικοί ρύποι του παραδείγματος σε kg υπολογισμένοι βάσει των παραπάνω.

	<i>Ετήσια ρύπανση σε kg</i>		
	CO_2	SO_2	NO_x
Κτίριο ΠΚ	156.633,75	2.859,948	221,13

Πίνακας 4.2. Ετήσια Ρύπανση

4.5. Τελικοί βαθμοί απόδοσης

Το κτίριο σε κάθε περίπτωση λειτουργίας της αντλίας θερμότητας παρουσιάζει απώλειες θερμότητας οι οποίες προκαλούν πτώση των βαθμών απόδοσης, θέρμανσης και ψύξης της αντλίας. Το eQuest προσφέρει το εργαλείο “Εξόδος Προσομοίωσης” (Simulation Output) μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί σε διάφορα στοιχεία της προσομοίωσης μεταξύ των οποίων βρίσκονται και τα θερμικά φορτία που αναπτύσσονται στο κτίριο αλλά και στις αντλίες. Σε αυτό το σημείο θα υπολογιστούν οι τελικοί βαθμοί απόδοσης του κτιρίου υπολογισμένοι βάσει των συνολικών απαιτήσεων του κτιρίου κι όχι βάσει της εισόδου και της εξόδου της αντλίας. Ο βαθμός απόδοσης εισόδου εξόδου της αντλίας είναι οι COP και EER που έχουν αναφερθεί σε παραπάνω κεφάλαιο.

4.5.1. Λειτουργία Θέρμανσης (COP)

MONTH	TOTAL HEAT LOAD		ELEC INPUT HEATING	FINAL COP
	(MBTU)	(MWH)	(MWH)	
JAN	23,60	6,92	4,45	1,56
FEB	23,20	6,80	4,55	1,50
MAR	21,80	6,39	3,94	1,62
APR	13,60	3,99	1,95	2,05
MAY	5,40	1,58	0,80	1,98
JUN	0,90	0,26	0,20	1,32
JUL	-	-	-	-
AUG	-	-	-	-
SEP	1,30	0,38	0,37	1,03
OCT	5,20	1,53	0,86	1,77
NOV	11,00	3,23	1,31	2,46
DEC	16,70	4,90	2,22	2,21
TOTAL	122,70	35,99	20,67	1,75

Πίνακας 4.2. Τελικός βαθμός απόδοσης θέρμανσης



4.5.2. Λειτουργία Ψύξης (EER)

	TOTAL COOLING LOAD		ELEC INPUT COOLING	FINAL EER
MONTH	(MBTU)	(MWH)	(MWH)	
JAN	3,30	0,97	-	-
FEB	2,80	0,82	-	-
MAR	3,50	1,03	-	-
APR	6,80	1,99	0,12	16,62
MAY	38,50	11,29	1,45	7,79
JUN	106,60	31,27	4,20	7,44
JUL	164,00	48,10	6,38	7,54
AUG	154,20	45,23	5,88	7,69
SEP	92,40	27,10	3,35	8,09
OCT	26,30	7,71	0,82	9,41
NOV	6,50	1,91	0,09	21,18
DEC	4,30	1,26	-	-
TOTAL	609,20	178,68	20,67	10,72

Πίνακας 4.2. Τελικός βαθμός απόδοσης ψύξης

4.6. Σύγκριση με εφαρμογή συστήματος Chiller/ Λέβητα

Σε αυτό το σημείο θα γίνει σύγκριση της χρήσης του γεωθερμικού εναλλάκτη με τη χρήση συστήματος ψύκτη και λέβητα πετρελαίου. Το καλοκαίρι γίνεται χρήση αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιεί ως δεξαμενή εναπόθεσης της θερμικής ισχύος, που αντλείται από τον χώρο ψύξης, μια συσκευή chiller (ψύκτη). Για την εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται ως απαιτούμενο θερμικό φορτίο το ίδιο φορτίο που απαιτήθηκε από την προηγούμενη ανάλυση της ΓΑΘ (capacity=0,75MBTU/h) και βαθμός απόδοσης COP=2,5.

Το χειμώνα γίνεται χρήση μιας τυπικής εγκατάσταση λέβητα πετρελαίου θερμικής ισχύος επίσης 0,75MBTU/h. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα λαμβάνεται ίσος με 80% που είναι μια τυπική τιμή για τέτοιου είδους εφαρμογές. Η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου ανα λίτρο υπολογίζεται βάσει του αντίστοιχου πίνακα της TOTEE 20701-4.

Καύσιμο	Πετρέλαιο ντήζελ	Μαζούτ	Φυσικό αέριο	Προπάνιο
Θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)	10.000	9.600	12.400	11.800
Πυκνότητα (kg/m ³)	850	944	0,7175	570

Πίνακας 4.3. Θερμογόνος δύναμη διαφόρων καυσίμων



Γίνεται ο υπολογισμός:

$$TP = 10.000 \text{ kcal/kg} = 39.656,67 \text{ btu/kg}$$

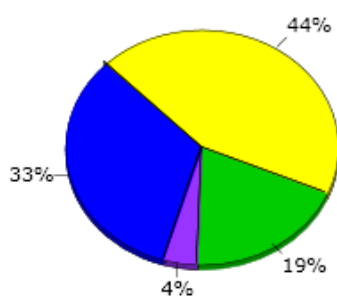
$$TP/lt = 39.656,67 \text{ btu/kg} \times 0,85 \text{ kg/lt} = 33.708,17 \text{ btu/lt}$$

Δηλαδή η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου ανα λίτρο κατανάλωσης ανέρχεται στα 33.708,17 btu.

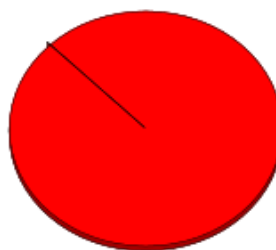
4.6.1. Αποτελέσματα εφαρμογής Chiller/ Λέβητα

Στην εφαρμογή Chiller/ Λέβητα αναμένεται να προκύψει και κατανάλωση πετρελαίου. Η σύγκριση των δύο συστημάτων θα γίνει στο τέλος βάσει της οικονομικής εξοικονόμησης αλλά και της εξοικονόμησης σε πρωτογενή ενέργεια.

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas MBtu
Space Cool	45,95	-
Heat Reject.	-	-
Refrigeration	-	-
Space Heat	-	306,55
HP Supp.	-	-
Hot Water	-	-
Vent. Fans	-	-
Pumps & Aux.	5,58	-
Ext. Usage	-	-
Misc. Equip.	26,01	-
Task Lights	-	-
Area Lights	61,00	-
Total	138,55	306,55



Electricity

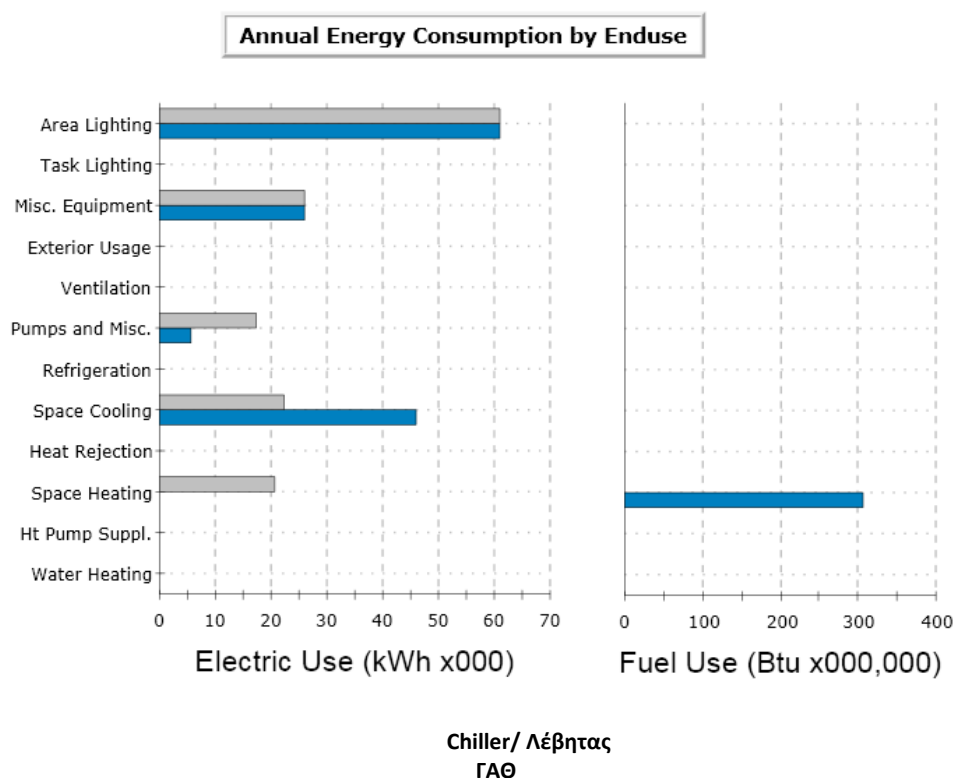


Natural Gas

Εικόνα 4.8. Ετήσια Κατανάλωση Chiller/ Λέβητα

4.6.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων ΓΑΘ - Chiller/ Λέβητα

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα συγκριτικά διαγράμματα της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης σε ηλεκτρισμό και καύσιμο των δύο εφαρμογών.



Εικόνα 4.9. Συγκριτικά διαγράμματα ΓΑΘ- Chiller/ Λέβητα

4.6.3. Σύγκριση συνολικής πρωτογενούς κατανάλωσης

Για τη σύγκριση κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα δύο συστήματα θα γίνει χρήση του Πίνακα 1.2. της TOTEE 20701-1.

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO ₂ /kWh)
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Υγραέριο	1,05	0,238
Βιομάζα	1,00	---
Τηλεθέρμανση από Δ.Ε.Η.	0,70	0,347
Τηλεθέρμανση από Α.Π.Ε.	0,50	----

Πίνακας 4.4. Συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται υπολογισμός και παρουσίαση του συνόλου της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας.

		Υπολογισμός Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας		
		Κατανάλωση (kWh)	Συντελεστής Πρωτογενούς Κατανάλωσης	Πρωτογενής Κατανάλωση (kWh)
Χρήση ΓΑΘ		147.420,00	2,9	427.518,00
Χρήση CH/Λέβητα	Ηλεκτρισμός	138.550,00	2,9	401.795,00
	Πετρέλαιο Θ.	89.840,93	1,10	98.824,02
	Σύνολο	-	-	500.620,02
Διαφορά %		-14,60%		

Εικόνα 4.5. Υπολογισμός Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας

4.6.4. Σύγκριση Συνολικών Εκπομπών Ρύπων

Στην παράγραφο 4.4. του παρόντος τεχνικού κείμενου αναφέρεται ο τρόπος υπολογισμού των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), διοξειδίου του θείου (SO_2) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τη ποσοστιαία διαφορά ανάμεσα στη χρήση του γεωθερμικού εναλλάκτη και του συστήματος Chiller/ Λέβητα.

		Κατανάλωση (kWh)	Ετήσια ρύπανση σε kg		
			CO ₂	SO ₂	NO _x
Χρήση ΓΑΘ		147.420,00	156.633,75	2.859,948	221,13
Χρήση CH/Λέβητα	Ηλεκτρισμός	138.550,00	147.209,38	2.687,87	207,83
	Πετρέλαιο Θ.	89.840,93	23.682,07	8,98	17.968,19
	Σύνολο	-	170.891,45	2.696,85	18.176,02
Διαφορά %			-9,10%	5,70%	-8119,61%

Πίνακας 4.3. Σύγκριση Εκπομπής Ρύπων

4.7. Χρηματοοικονομική Ανάλυση

Η χρηματοοικονομική ανάλυση γίνεται με αφορμή την εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος ως αντικαταστάτη του συστήματος Ψύκτη/Λέβητα. Κύριος στόχος της ανάλυσης αυτής είναι ο υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης του κόστους της εγκατάστασης του γεωθερμικού εναλλάκτη, της αντλίας θερμότητας και του απαραίτητου μηχανοστασίου. Θεωρείται ότι γίνεται χρήση του υπάρχοντος συστήματος διανομής με fancoils ή fan αέρα το οποίο τροφοδοτούνταν από την τέως αντλία θερμότητας του συστήματος του ψύκτη.

Αρχικά υπολογίζεται το κόστος του γεωθερμικού εναλλάκτη που είναι και το μεγαλύτερο από κάθε άλλο υποσύστημα του γεωθερμικού συστήματος. Σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές της αγοράς το κόστος ανά μέτρο βάθους ανέρχεται στα 30 ευρώ.

$$\Sigma K = 62,30m \times 64RT \times 30\text{€} = 158.048,78\text{€}$$

Το κόστος της εγκατάστασης του συνόλου του γεωθερμικού συστήματος, όπως αυτό διαμορφώνεται από τις τρέχουσες τιμές της αγοράς είναι:

Γεωθερμικός εναλλάκτης	158.048,78 €
Αντλία Θερμότητας	25.000 €
Μηχανοστάσιο	10.000 €
Σύνολο	193.048,78 €

Πίνακας 4.6. Υπολογισμός συνολικού κόστους

Η ετήσια εξοικονόμηση σε kWh και σε λίτρα πετρελαίου που προκύπτει μετά την εγκατάσταση της ΓΑΘ παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

			Κόστος** (€)
ΠΡΙΝ	Κατανάλωση Ηλεκτρισμού	138.550,00 kWh	15.240,50 €
	Κατανάλωση Πετρελαίου*	9.094,23 lt	9.094,23 €
	Σύνολο		24.334,73 €
ΜΕΤΑ	Κατανάλωση Ηλεκτρισμού	147.420,00 kWh	16.216,20 €
	Κατανάλωση Πετρελαίου	-	-
	Σύνολο		16.216,20 €
Ετήσια Εξοικονόμηση σε €			8.118,53 €
Ετήσια Εξοικονόμηση %			33,36%

Πίνακας 4.7. Κόστος Ενέργειας ΠΡΙΝ & ΜΕΤΑ την εγκατάσταση της ΓΑΘ

*Η κατανάλωση πετρελαίου υπολογίζεται διαιρώντας τη συνολική κατανάλωση σε btu με τη θερμογόνο δύναμη που υπολογίστηκε στην αρχή της παραγράφου 4.6.

**Το κόστος του λίτρου σε τρέχουσες τιμές της αγοράς ανέρχεται σε 1 € ενώ της κιλοβατώρας σε 0,11 €



Οπότε η απόσβεση του κόστους εγκατάστασης του γεωθερμικού συστήματος βάσει της ετήσιας εξοικονόμησης υπολογίζεται ως εξής.

$$\text{Χρόνος Απόσβεσης} = \frac{193.048,78 \text{ (€)}}{8.118,53 \text{ (€/έτος)}} = 23,77 \text{ έτη}$$

Παρατηρείται ότι η εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος δεν αποτελεί υγιή επένδυση αν ληφθεί υπόψη μόνο η ετήσια εξοικονόμηση σε ευρώ. Όσον αφορά την εξοικονόμηση σε ρύπους και κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας πάλι το γεωθερμικό σύστημα δεν αποτελεί καλή επιλογή αφού τα υλικά και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την εγκατάστασή του καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας και περιβαλλοντικών πόρων. (π.χ. γεωτρύπανα, σωληνώσεις κτλ).

4.8. Συμπεράσματα

Από τη χρήση του eQuest προέκυψαν αποτελέσματα που συνάδουν με την πραγματικότητα καθώς κατά ευρεία παραδοχή η εγκατάσταση γεωθερμικών συστημάτων αποτελεί μια ακριβή επιλογή όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας στην ψύξη και θέρμανση χώρων.

Ζητούμενου του παρόντος τεχνικού κειμένου ήταν εισαγωγή του αναγνώστη στην ενεργειακή ανάλυση και προσομοίωση κτιρίων και ΗΜ συστημάτων εντός αυτών με τη χρήση του eQuest. Σκοπός ήταν η χρήση και γνώση του συγκεκριμένου προγράμματος και κατά πόσο αυτό ανταποκρίνεται σε διάφορες περιπτώσεις προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν φυσιολογικά και η προσομοίωση συγκλίνει πολύ με την πραγματικότητα.

Συνοψίζοντας λοιπόν το eQuest αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο που επιτρέπει στον χρήστη να διευρύνει την ανάλυσή του στο επίπεδο που αυτός θέλει. Παρουσιάζει ένα καλό περιβάλλον διεπαφής συστήματος-χρήστη και προσφέρει τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου πράγμα λίαν σημαντικό σε μια διαδικασία προσομοίωσης. Ένα μειονέκτημα που εντοπίστηκε είναι η αδυναμία προσομοίωσης VRV συστημάτων, δηλαδή αερόψυκτων αντλιών θερμότητας που έχουν τεράστια εφαρμογή σε κτίρια του τριτογενούς τομέα, και που η σύγκρισή τους με διάφορες ΑΠΕ και ιδιαίτερα της γεωθερμίας θα ήταν ιδιαίτερα κατατοπιστική όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και κατ' επέκταση χρημάτων.

Βιβλιογραφία

- Hirsch James & Associates, *Building Energy Use and Cost Analysis Program Volume 2: Dictionary*, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (U.S.A)
- Hirsch James & Associates, *eQuest introductory tutorial, version 3.65*, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (U.S.A.)
- Κατσαπρακάκης, Δ. *Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη*, ΤΕΙ Κρήτης
- Κατσίγιαννης, Ι. *Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010. *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*, ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΤΕΕ)
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010. *Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών*, ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΤΕΕ)
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4/2010. *Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού*, ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΤΕΕ)

Διαδικτυακοί σύνδεσμοι (links)

- <http://el.wikipedia.org/wiki/Γεωθερμία>
- http://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία_Θερμότητας
- http://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες_Πηγές_Ενέργειας



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	Θερμική αντίσταση (K.m)/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,0	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32,0	2,0	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40,0	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50,0	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20,0	2,0	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32,0	3,0	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40,0	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50,0	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	33,4	3,0	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54,0	4,0	0,22	0,116

Πίνακας 1: Διάφοροι τύποι σωληνώσεων κατά DIN

State	City	GWT (F)	State/Country	City	GWT (F)	State/Country	City	GWT (F)
Alabama	Birmingham	65	South Carolina	Charleston	66	Germany	Frankfurt	52
Alabama	Mobile	70	South Carolina	Columbia	64	Germany	Hamburg	51
Alabama	Montgomery	67	South Carolina	Greenville	62	Germany	Munich	49
Alaska	Anchorage	40	South Dakota	Sioux Falls	51	Germany	Stuttgart	51
Alaska	Fairbanks	0	Tennessee	Knoxville	61	Greece	Athens	67
Arizona	Phoenix	73	Tennessee	Memphis	63	Hungary	Budapest	53
Arkansas	Little Rock	64	Tennessee	Nashville	60	Indonesia	Jakarta	83
California	Fresno	68	Texas	Austin	71	Ireland	Dublin	52
California	Los Angeles	64	Texas	Dallas	68	Israel	Jerusalem	63
California	Sacramento	67	Texas	Houston	71	Italy	Genova	60
California	San Diego	64	Texas	San Antonio	72	Italy	Milan	57
California	San Francisco	60	Utah	Salt Lake City	53	Italy	Naples	63
Colorado	Denver	52	Vermont	Burlington	46	Italy	Palermo	66
Connecticut	Hartford	51	Virginia	Norfolk	61	Italy	Rome	61
Delaware	Dover	57	Virginia	Richmond	60	Italy	Torino	58
Florida	Daytona Beach	70	Virginia	Roanoke	59	Italy	Trieste	58
Florida	Jacksonville	71	DC	Washington	57	Italy	Venice	58
Florida	Miami	78	Washington	Seattle	53	Japan	Nagoya	62
Florida	Tallahassee	69	Washington	Spokane	49	Japan	Osaka	63
Florida	Tampa	75	West Virginia	Charleston	58	Japan	Sapporo	51
Georgia	Atlanta	62	Wisconsin	La Crosse	48	Japan	Tokyo	64
Georgia	Savannah	67	Wisconsin	Milwaukee	47	Korea	Inch'on	56
Hawaii	Honolulu	79	Wyoming	Cheyenne	48	Korea	Pusan	59
Idaho	Boise	47	Alberta	Calgary	42	Korea	Seoul	57
Illinois	Chicago	51	Alberta	Edmonton	40	Kuwait	Kuwait City	80
Illinois	Springfield	56	British Columbia	Vancouver	53	Libyan Arab Jamahiriya	Tripoli	71
Indiana	Fort Wayne	53	Manitoba	Winnipeg	40	Malaysia	George Town	84
Indiana	Indianapolis	55	New Brunswick	Moncton	42	Malaysia	Kuala Lumpur	83
Iowa	Des Moines	53	Newfoundland	Saint John's	43	Mexico	Acapulco	78
Kansas	Wichita	59	Nova Scotia	Halifax	45	Mexico	Mexico City	65
Ohio	Cincinnati	57	Ontario	Ottawa	45	Mexico	Veracruz	75
Kentucky	Lexington	60	Ontario	Toronto	48	Morocco	Casablanca	66
Kentucky	Louisville	60	Prince Edward Island	Charlottetown	42	Netherlands	Amsterdam	52
Louisiana	New Orleans	70	Quebec	Montreal	46	New Zealand	Auckland	56
Louisiana	Shreveport	66	Saskatchewan	Regina	39	New Zealand	Christchurch	54
Maine	Caribou	46	Argentina	Buenos Aires	64	New Zealand	Wellington	57

Πίνακας 2: Θερμοκρασίες εδάφους