

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ**

ΜΙΧΑΛΗΣ ΘΕΟΦΙΛΟΥ-ΜΑΚΡΗΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθ. Α. Τομπουλίδης

Αν. Καθ. Δ. Μπούρης (Επιβλέπων)

Επ. Καθ. Ε. Κωνσταντινίδης

ΚΟΖΑΝΗ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, το θέμα είναι ο σχεδιασμός, η μελέτη και τελικά η προσομοίωση ενός γεωθερμικού κυκλώματος για την θέρμανση και ψύξη μιας οικίας. Η προσομοίωση έγινε με την χρήση τριών προγραμμάτων, του Ecotect, του RETScreen και του EnergyPlus. Εν συντομία, σχεδιάστηκε ψηφιακά η οικία και αναλύθηκαν όλα τα θερμικά δεδομένα σχετικά με αυτή. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης και έπειτα ένα γεωθερμικό σύστημα. Έγινε σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των συστημάτων ενώ έγιναν επίσης και κάποιες παραμετρικές μελέτες στο γεωθερμικό σύστημα.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Αν. Καθ. Δημήτριο Μπούρη για την συμβολή του και τον χρόνο που αφιέρωσε σε αυτή την εργασία.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Ευχαριστίες.....	3
Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 1: Γεωθερμική ενέργεια.....	7
1.1 Γεωθερμικά συστήματα	8
1.1.1 Συστήματα ανοιχτού τύπου.....	9
<i>Ανοιχτό σύστημα με πηγάδια απορρόφησης-αποβολής</i>	9
<i>Ανοιχτό σύστημα κάθετης στήλης</i>	10
<i>Ανοιχτό σύστημα λίμνης</i>	11
1.1.2 Συστήματα κλειστού τύπου	12
<i>Οριζόντια συστήματα κλειστού τύπου</i>	12
<i>Κάθετα συστήματα κλειστού τύπου</i>	13
<i>Επιφανειακά συστήματα κλειστού τύπου</i>	14
1.2 Αντλίες θερμότητας.....	15
<i>Αντλία θερμότητας αέρα</i>	16
1.3 Fan Coils.....	18
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή οικίας.....	20
2.1 Τοποθεσία	20
2.2 Κλιματολογικά δεδομένα	21
2.4 Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου – φωτογραφίες	26
2.5 Υλικά κατασκευής.....	29
<i>Τοιχοποιία</i>	29
<i>Δάπεδα – δώματα – σκεπή</i>	33
<i>Πόρτες – παράθυρα</i>	36
<i>Θερμικές ιδιότητες υλικών</i>	38
Κεφάλαιο 3: Ψηφιακή αποτύπωση οικίας – εισαγωγή δομικών στοιχείων.....	39
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά	39
3.2 Σχεδίαση οικίας	39
Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση συμβατικού συστήματος.....	45
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά	45
4.2 Εισαγωγή μοντέλου	45
4.3 Προσομοίωση συμβατικού συστήματος.....	46
<i>Αποτελέσματα</i>	56

Κεφάλαιο 5: Διαστασιολόγηση συστήματος γεωθερμίας.....	63
5.1 Γενικά χαρακτηριστικά	63
5.2 Σχεδίαση συστήματος.....	63
Κεφάλαιο 6: Προσομοίωση γεωθερμικού συστήματος	65
6.1 Εισαγωγή μοντέλου	65
6.2 Προσομοίωση γεωθερμικού συστήματος	65
<i>Αποτελέσματα</i>	68
Κεφάλαιο 7: Σύγκριση αποτελεσμάτων	75
Κεφάλαιο 8: Παραμετρικές μελέτες.....	77
8.1 Διάμετρος σωληνώσεων	78
<i>Συμπεράσματα</i>	81
8.2 Ροή γεωεναλλάκτη	81
<i>Συμπεράσματα</i>	85
8.3 Τύπος ρευστού.....	85
<i>Συμπεράσματα</i>	89
8.4 Θερμοκρασία εδάφους	89
<i>Συμπεράσματα</i>	92
8.5 Τύπος εδάφους (επιχωμάτωσης)	93
<i>Συμπεράσματα</i>	95
Συμπεράσματα	98
Βιβλιογραφία.....	99
Παράρτημα 1: Schedules.....	100
<i>Συσκευές</i>	100
<i>Φώτα</i>	105
<i>Επίπεδο δραστηριότητας</i>	111
<i>Αριθμός ατόμων</i>	117
<i>Εναλλαγές αέρα</i>	122
Παράρτημα 2: Συνδεσμολογία συστημάτων	129

Εισαγωγή

Στην συγκεκριμένη εργασία, γίνεται μια προσομοιωτική μελέτη συστήματος κλιματισμού με γεωθερμική αντλία κλειστού κυκλώματος. Με την ολοένα και αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου και του ηλεκτρισμού, μια τέτοια υλοποίηση θα βοηθούσε στον περιορισμό του κόστους διαβίωσης χωρίς παράλληλα να είναι αμελητέα και η θετική επίδραση στο περιβάλλον.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην γεωθερμία και στους τρόπους εκμετάλλευσής της. Αναλύονται οι διάφοροι τύποι κυκλωμάτων και αντλιών θερμότητας. Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικία που μελετήθηκε, τα κλιματολογικά της χαρακτηριστικά και τα δομικά υλικά.

Στο 3^ο κεφάλαιο, αναλύεται η ψηφιακή αποτύπωση της οικίας και η εισαγωγή των δομικών υλικών μέσω του προγράμματος Ecotect. Έπειτα, στο 4^ο κεφάλαιο, με χρήση του προγράμματος RETScreen, γίνεται η μελέτη του γεωθερμικού εναλλάκτη που θα χρησιμοποιηθεί.

Στο 5^ο κεφάλαιο, που είναι και το κύριο κομμάτι της εργασίας, γίνεται αρχικά η ενεργειακή μελέτη της οικίας με χρήση ενός συμβατικού συστήματος και έπειτα, προσομοιώνεται το γεωθερμικό σύστημα και γίνονται κάποιες συγκρίσεις μεταξύ των δύο. Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο γίνονται κάποιες περιμετρικές μελέτες πάνω στο γεωθερμικό μοντέλο και ανάλυση τους.

Κεφάλαιο 1: Γεωθερμική ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που περιέχεται με τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό της γης. Η πηγή αυτής της θερμότητας έχει σχέση με την εσωτερική δομή της γης και τις φυσικές διεργασίες που υπάρχουν στο εσωτερικό της. Παρά το γεγονός ότι αυτή η θερμότητα είναι παρούσα σε τεράστια και πρακτικά, ατελείωτη ποσότητα τόσο στο φλοιό όσο και σε μεγαλύτερα βάθη, είναι ανόμοια κατανομημένη, σπανίως συγκεντρωμένη και συχνά σε ασύμφορα βάθη για εμπορική εκμετάλλευση.

Η θερμότητα μεταφέρεται από το εσωτερικό στην επιφάνεια όπου και διασκορπίζεται, ένα φαινόμενο που δεν είναι όμως ιδιαίτερα αντιληπτό. Η ύπαρξη της είναι γνωστή από το γεγονός ότι η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται με το βάθος. Η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι περίπου $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

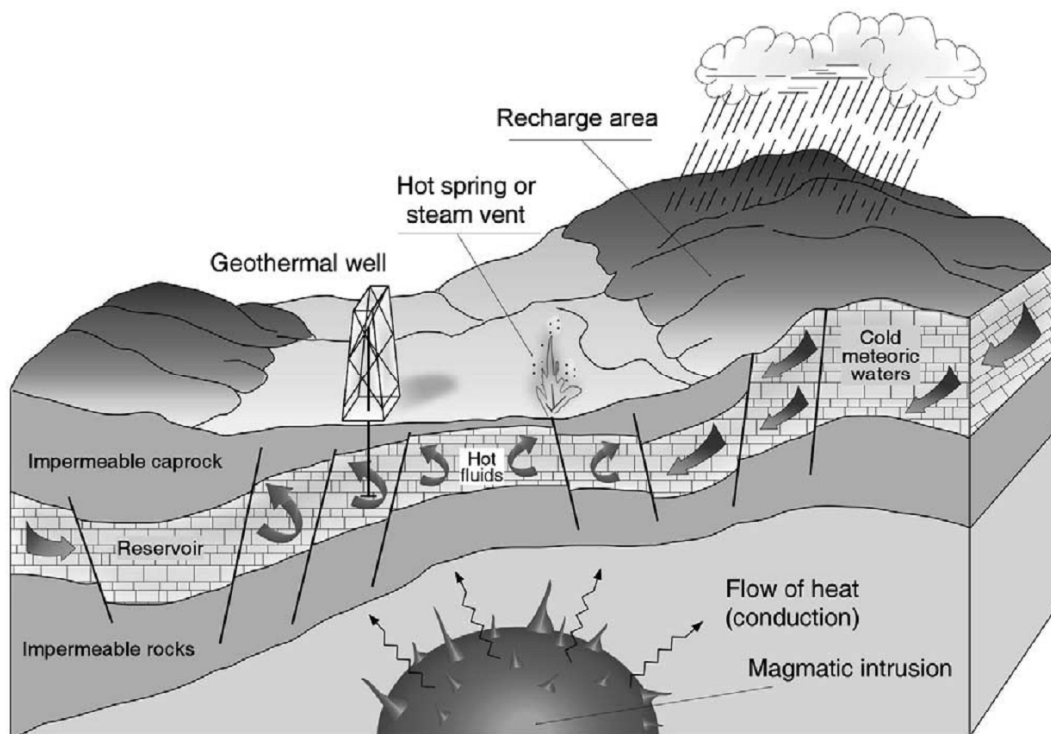
Υπάρχουν περιοχές όπου η διακύμανση είναι αρκετά μεγαλύτερη του μέσου όρου και είναι δυνατή η γεώτρηση. Αυτό συμβαίνει όταν σε κοντινή απόσταση από το έδαφος (λίγα χιλιόμετρα) υπάρχουν κοιλότητες μάγματος υπό ψύξη, σε υγρή ή σχεδόν στερεά μορφή, που εκλύουν θερμότητα. Σε άλλες περιοχές που δεν συμβαίνει αυτό το φαινόμενο, η συσσώρευση θερμότητας οφείλεται σε γεωλογικές συνθήκες που επιτρέπουν στην διακύμανση να ξεφύγει από τα συνηθισμένα.

Η εξαγωγή και η χρήση αυτής της ενέργειας χρειάζεται ένα φορέα ώστε να μεταφερθεί η θερμότητα σε προσβάσιμα βάθη στην επιφάνεια του εδάφους. Συνήθως η μεταφορά γίνεται πρώτα με αγωγή και έπειτα με συναγωγή, με γεωθερμικά υγρά να λειτουργούν ως φορείς. Τα υγρά αυτά είναι στις περισσότερες περιπτώσεις νερό της βροχής που έχει διεισδύσει στα μεγάλα βάθη, έχει θερμανθεί και έχει συγκεντρωθεί σε υπόγεια γεωθερμικά πεδία με υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες (ως και 300°C). Τέτοιοι πεδία είναι βασικά κομμάτια των γεωθερμικών εδαφών.

Στην πλειονότητα των γεωθερμικών πεδίων, υπάρχουν με διαπερατά πετρώματα από πάνω με αποτέλεσμα τα υγρά να μην φτάνουν στην επιφάνεια και να μένουν σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Είναι δυνατή η βιομηχανική χρήση υπέρθερμου ατμού, ατμού αναμιγμένου με νερό ή σκέτο νερό, ανάλογα με την υδρογεωλογική κατάσταση και την θερμοκρασία των εκάστοτε πετρωμάτων.

Με την χρήση γεωτρήσεων μέσα στον πεδίο και εξαγωγή των υγρών, οι επιλογές χρήσης αυτών εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία τους. Με υψηλή θερμοκρασία συνήθως συνδυάζεται η παραγωγή ηλεκτρισμού ενώ με χαμηλή, η θέρμανση χώρων και άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.

Τα γεωθερμικά εδάφη (Σχήμα 1.1), σε αντίθεση με τα υδρογονανθρακικά, είναι εδάφη με μια συνεχή κυκλοφορία θερμότητας και υγρών, όπου τα υγρά εισέρχονται στο πεδίο από περιοχές εισόδου και εξέρχονται από περιοχές εξόδου (θερμές πηγές, πηγάδια). Σε βιομηχανική χρήση, τα υγρά εισέρχονται στο πεδίο μετά από την εξαγωγή της θερμότητάς τους και μέσω γεωτρήσεων. Αυτή η διαδικασία επιμηκύνει τον χρόνο ζωής του εδάφους καθώς αντικαθιστά σε κάποιο βαθμό το υγρό που χάνεται. Υπό αυτή την έννοια, η γεωθερμική ενέργεια είναι ατελείωτη, παρά το γεγονός όμως ότι οι ρυθμοί εισαγωγής υγρών είναι αρκετά μικρότεροι από τους ρυθμούς εξαγωγής.^[1]



Σχήμα 1.1: Γεωθερμικό έδαφος^[1]

1.1 Γεωθερμικά συστήματα

Σε οικιακές και επαγγελματικές χρήσεις, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τύποι γεωθερμικών συστημάτων. Τα συστήματα ανοιχτού τύπου και τα συστήματα κύκλου τύπου. Και τα δύο ανήκουν στην κατηγορία των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας (βάθος μικρότερο των 150m). Η διαφορά ανάμεσα στη γεωθερμία που αναφέρθηκε παραπάνω και στην αβαθή γεωθερμία, είναι ότι η κύρια πηγή θερμότητας στην αβαθή γεωθερμία είναι

η αποθηκευμένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Παρά το γεγονός ότι η γεωθερμία είναι πιο αποδοτική, η αβαθής γεωθερμία προσφέρεται για οικιακές εγκαταστάσεις διότι είναι πιο εύκολα προσβάσιμη, εκμεταλλεύεται ευκολότερα ενώ μπορεί να συνδυαστεί και με άλλους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.^[2]

1.1.1 Συστήματα ανοιχτού τύπου

Σε ένα σύστημα ανοιχτού τύπου, το νερό της γεώτρησης μεταφέρεται απευθείας στο κτίριο και θερμαίνει η ψύχει τις αντλίες θερμότητας. Σε τέτοια συστήματα, η ροή της γεώτρησης πρέπει να είναι αρκετή για να καλύπτει τις ανάγκες του κτιρίου. Ένα μεγάλο μειονέκτημα των συστημάτων ανοιχτού τύπου είναι ότι συνήθως, το νερό έχει αρκετά μεταλλικά στοιχεία και άλλες ακαθαρσίες που καταστρέφουν τις σωληνώσεις. Επίσης, τα συστήματα αυτά πρέπει να αντέχουν μεγάλες τιμές πίεσης λόγω των γεωτρήσεων. Συνήθως, δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλες οικιακές ή εμπορικές εφαρμογές.^[3]

Υπάρχουν τρεις τύποι ανοιχτού κυκλώματος:

- Κύκλωμα με πηγάδια απορρόφησης – αποβολής
- Κύκλωμα κάθετης στήλης
- Κύκλωμα λίμνης

Ανοιχτό σύστημα με πηγάδια απορρόφησης-αποβολής

Αυτός ο τύπος ανοιχτού συστήματος αποτελείται από δύο διαφορετικές γεωτρήσεις (Σχήμα 1.2). Την γεώτρηση που απορροφάει το νερό από το γεωθερμικό πεδίο και την γεώτρηση που επιστρέφει το ίδιο νερό πίσω αφού έχει περάσει από τα απαραίτητα συστήματα γεωθερμίας. Συνήθως, αυτές οι γεωτρήσεις δεν έχουν ιδιαίτερο βάθος (μερικές δεκάδες μέτρα), ενώ έχουν αρκετά μεγάλες τιμές ροής. Για να επιτευχθεί οι αναγκαίες τιμές, ο υδροφόρος ορίζοντας πρέπει να αποτελείται από χώμα και όχι πηλό, άμμο ή βράχο.

Το νερό απορροφάται και επιστρέφεται στο πεδίο μέσω μεμβρανών. Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από σωλήνες τρυπημένους και τυλιγμένους με σύρμα σε υπολογισμένες αποστάσεις. Με αυτό τον τρόπο, και ο σωλήνας παραμένει καθαρός από χώματα και ακαθαρσίες, και είναι εφικτές οι τιμές ροής που απαιτούνται. Οι μεμβράνες

αποβολής πρέπει να είναι διπλάσιες σε μέγεθος από τις μεμβράνες απορρόφησης διότι πρέπει να υπερνικηθεί η αντίσταση που προβάλλει το πεδίο στην πρόσληψη νερού.

Σε ανοιχτά συστήματα όμως, δεν λείπουν τα προβλήματα τα οποία μπορεί να είναι:

- Αλλαγές στην ποιότητα του νερού (φυσικά ή ανθρώπινα αίτια)
- Φραγμένες μεμβράνες λόγω σωματιδίων
- Απορρόφηση χύματος λόγω αστοχίας μεμβράνης

Με σωστή αρχική μελέτη και συντήρηση, ο χρόνος ζωής ενός τέτοιου συστήματος υπολογίζεται στα 50 έτη.



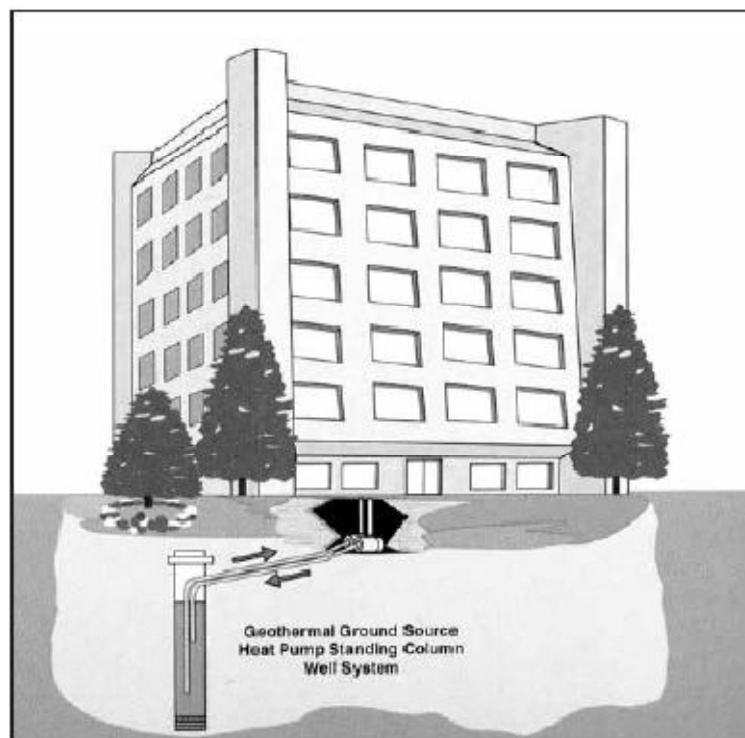
Σχήμα 1.2: Γεωθερμικό κύκλωμα απορρόφησης-αποβολής^[3]

Ανοιχτό σύστημα κάθετης στήλης

Αυτό το σύστημα αποτελείται από μια κάθετη στήλη μέσα στο έδαφος με βάθος ίσο με το κατώτερο σημείο του υδροφόρου ορίζοντα (Σχήμα 1.3). Μέσα στη στήλη είναι τοποθετημένοι ένας κεντρικός αγωγός ώστε να γίνεται η απορρόφηση του νερού και ένας μικρότερος αγωγός για να γίνεται η επιστροφή. Ο κεντρικός αγωγός, στα χαμηλότερα του σημεία είναι διάτρητος με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται ένας διαχύτης. Η αντλία συχνά είναι τοποθετημένη κάτω από το επίπεδο του υδροφόρου οριζώνα. Σε αυτό το

σύστημα, οι γεωτρήσεις απορρόφησης και αποβολής συμψηφίζονται σε μια, ενώ δεν εξαρτώνται από την ροή του ορυζώνα. Ακόμα και έτσι όμως, διάφορες ρωγμές μέσα στον πεδίο που αυξάνουν την ροή γύρω από την στήλη αυξάνουν την απόδοση και μειώνουν το απαιτούμενο βάθος.

Στην πράξη, αυτό το σύστημα είναι η καλύτερη μέση λύση ανάμεσα από ένα ανοιχτό σύστημα με πηγάδια και ένα κλειστό σύστημα. Η απόδοση τους μπορεί να υπολογιστεί εύκολα χωρίς ιδιαίτερες μελέτες, κάνοντας έτσι εύκολο τον σχεδιασμό τους. Το μεγαλύτερο αρχικό κόστος τους, συγκριτικά με ένα κλειστό κάθετο σύστημα, ισοφαρίζεται με την μεγαλύτερη θερμική απόδοση που έχουν (3-4 φορές μεγαλύτερη).



Σχήμα 1.3: Γεωθερμικό κύκλωμα κάθετης στήλης^[3]

Ανοιχτό σύστημα λίμνης

Υπάρχουν και ανοιχτά συστήματα που χρησιμοποιούν νερό λίμνης, αλλά αναγκαστικά έχουν συστήματα φιλτραρίσματος και δευτερεύοντες εναλλάκτες θερμότητας για να περιοριστούν οι ακαθαρσίες. Για να είναι εφικτή η χρήση ενός τέτοιου συστήματος, θα πρέπει οι θερμοκρασία εισόδου του νερού να μην είναι μικρότερη των 4°C. Αυτό

συμβαίνει διότι το νερό που θα αποβάλλεται στη λίμνη υπάρχει περίπτωση να παγώνει μέσα στους σωλήνες.

1.1.2 Συστήματα κλειστού τύπου

Σε ένα τυπικό σύστημα κλειστού τύπου, το νερό ή το αντιψυκτικό ρευστό ρέει μέσω ενός συνεχόμενου θαμμένου σωλήνα. Το μήκος και η διάμετρος του σωλήνα εξαρτώνται από το ποσό της θέρμανσης ή της ψύξης που χρειάζεται ο χώρος καθώς και από την θερμοκρασία εδάφους, την υγρασία του εδάφους, την θερμική αγωγιμότητα του εδάφους και την αρχική σχεδίαση του συστήματος.

Το υλικό του σωλήνα είναι συνήθως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Τα θαμμένα τμήματα του σωλήνα είναι ενωμένα με ένα είδος θερμοκόλλησης που καθιστά την ένωση πιο ισχυρή από τον αρχικό σωλήνα. Πριν γίνει η ταφή, απομακρύνονται από τους σωλήνες τυχόν σκουπίδια και θύλακες αέρα και έπειτα εξετάζεται με χρήση πίεσης εάν υπάρχουν ρωγμές. Μια σωστή μελέτη και μια καλή εγκατάσταση βοηθάνε στο να επιτευχθεί ο μέγιστος βαθμός απόδοσης.

Παρά την εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους, μια σωστά μελετημένη γεωθερμική αντλία θα εξακολουθεί να είναι αποδοτική. Καθώς η αναγκαία συνθήκη για την μέγιστη μεταφορά θερμότητας είναι το πάγωμα του εδάφους γύρω από τον σωλήνα, συχνά χρησιμοποιείται αντιψυκτικό υγρό για σωστή λειτουργία και προστασία της αντλίας. Υπάρχουν αρκετοί τύποι αντιψυκτικών ενώ παράγοντες που τα επηρεάζουν είναι η τοξικότητα, το ιξώδες και το κόστος. Τα πιο συνηθισμένα είναι η προπυλενική γλυκόλη, η μεθανόλη, η εκφυλισμένη αιθανόλη και ανόργανα άλατα όπως το χλωρίδιο του ασβέστη.^[4]

Οριζόντια συστήματα κλειστού τύπου

Τέτοια συστήματα συνήθως χρησιμοποιούνται σε χώρους που δεν υπάρχει πολυτέλεια χώρου. Οι σωλήνες θάβονται σε ανοίγματα βάθους 1,5 μέτρου (Σχήμα 1.4). Μια τυπική εγκατάσταση έχει 6 σωλήνες ανά άνοιγμα με απόσταση 30 εκατοστών μεταξύ τους. Μια τεχνική, η επονομαζόμενη “Slink™” χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενες σπείρες σωλήνα που αυξάνει το μήκος σωλήνα στο άνοιγμα, αλλά χρειάζεται και περισσότερο μήκος σωλήνα ανά μονάδα γεωθερμικής ενέργειας συγκριτικά με τα συνήθη οριζόντια συστήματα. Νέες μέθοδοι εκσκαφής επιτρέπουν την δημιουργία υπογείων οριζόντιων

ανοιγμάτων μέσα στα οποία ωθούνται οι σωλήνες. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την τοποθέτηση σωλήνων κάτω από κτίσματα και ελαττώνει την όχληση του επιφανειακού εδάφους.

Το πιο σημαντικό κομμάτι των οριζοντίων συστημάτων είναι η ταφή των σωλήνων. Χρειάζεται προσοχή ώστε να υπάρχει καλή επαφή των σωλήνων και του υλικού ταφής. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται τεχνικές α) πεπιεσμένου νερού που δημιουργεί λάσπη η οποία κατακάθεται πάνω στους σωλήνες και β) “ρευστά υλικά ταφής” αποτελούμενα από νερό, τσιμέντο, άμμο και κάρβουνο, υψηλής θερμικής αγωγιμότητας που μόνα τους ρέουν ανάμεσα στους σωλήνες. Σε ξηρές περιοχές, ενταφιάζονται και σωλήνες υγρασίας, που διοχετεύουν νερό μέσα στο έδαφος και αυξάνουν την μετάδοση θερμότητας.



Σχήμα 1.4: Κλειστό σύστημα οριζοντίου τύπου^[4]

Κάθετα συστήματα κλειστού τύπου

Σε μικρές επιφάνειες όπου το επιφανειακό έδαφος είναι ψιλό, και για τις περισσότερες εμπορικές και σχολικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται κάθετα συστήματα (σχήμα 1.5). Το βάθος αυτών, κυμαίνεται από 30 έως 120 μέτρα και η διάμετρος 10 με 15 εκατοστά. Παράγοντες όπως το χώμα, η πέτρα και η γενικότερη κατάσταση του υπεδάφους επηρεάζουν το μήκος του κύκλου (40 – 100 μέτρα σωλήνα ανά τόνο γεωθερμικής ενέργειας). Στην πλειονότητα των εφαρμογών, ανοίγονται αρκετές τρύπες και οι σωλήνες σε κάθε μια ενώνονται στο τέλος παράλληλα ή εν σειρά και παράλληλα.

Όπως και στα οριζόντια συστήματα, έτσι και εδώ πρέπει να γίνει σωστή η γέμιση των γεωτρήσεων για μεγιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας και ελαχιστοποίηση της μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα από την κάθετη ροή.



Σχήμα 1.5: Κλειστό σύστημα κάθετου τύπου^[4]

Επιφανειακά συστήματα κλειστού τύπου

Σε μέρη όπου υπάρχει νερό στη επιφάνεια, ικανοποιητικού βάθους και ροής, δύνανται να εγκατασταθεί σύστημα κλειστού τύπου στον πυθμένα (σχήμα1.6). Τα κινούμενα ρευστά είναι ιδανικά για μεταφορά θερμότητας ενώ ελαχιστοποιείται η ανάγκη για εκσκαφές όπως στις εγκαταστάσεις εδάφους. Τέτοια συστήματα είναι σχετικά φθηνά, αποτελεσματικά και χωρίς κάποια εμπειριστατωμένη δηλητηριώδη επίδραση στο νερό.

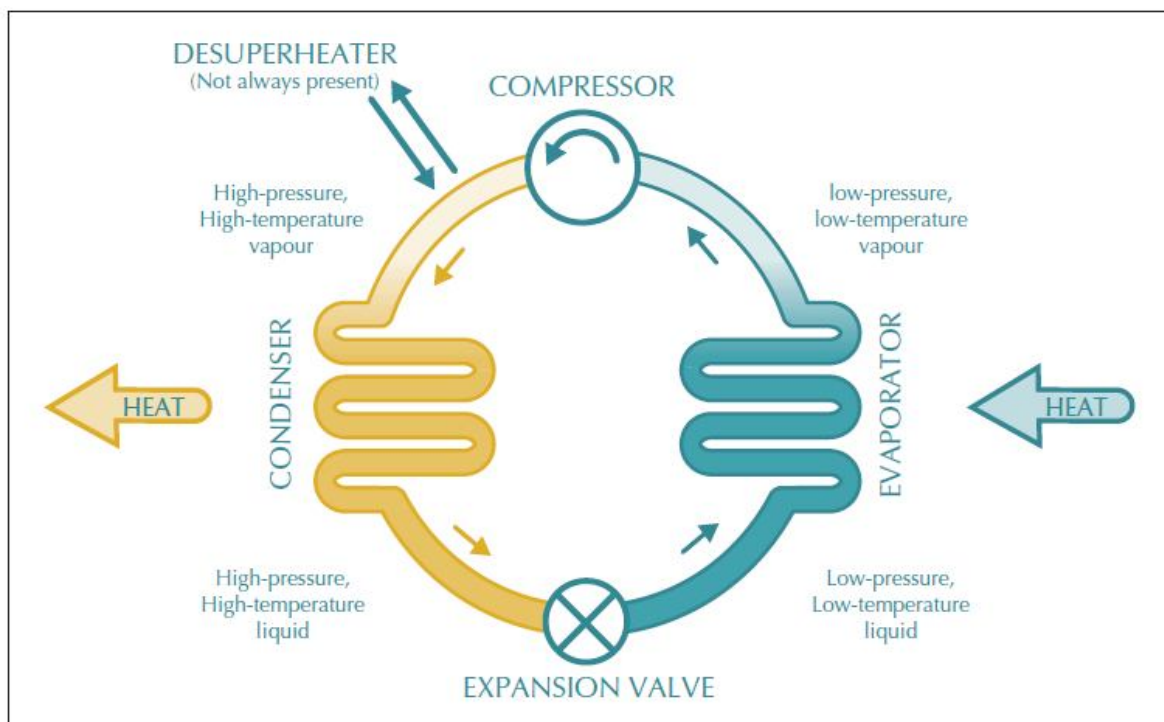


Σχήμα 1.6: Κλειστό σύστημα επιφανειακού τύπου^[4]

1.2 Αντλίες θερμότητας

Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα γεωθερμίας, γίνεται η επιλογή ανάμεσα σε ένα άμεσο σύστημα και σε ένα έμμεσο σύστημα. Στο άμεσο σύστημα, το νερό που βγαίνει από την γεώτρηση είναι και το νερό που κυκλοφορεί μέσα στο κτίριο. Μια τέτοια λύση, αν και απαιτεί μικρότερο αρχικό κεφάλαιο, είναι ριψοκίνδυνη καθώς δεν μπορεί να είναι σίγουρη η ποιότητα του νερού. Νερό χαμηλής ποιότητας σημαίνει και αυξημένη διάβρωση του συστήματος αλλά και μείωση της απόδοσης του. Έτσι, η πιο συχνή επιλογή είναι ο έμμεσος κύκλος που χρησιμοποιεί εναλλάκτες θερμότητας.

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες θερμότητας είναι αντλίες θερμότητας οι οποίες απομονώνουν το νερό της γεώτρησης από το μέσο που ρέει μέσα στον κτιριακό κύκλο ενώ παράλληλα προσδίδουν ή απορροφούν θερμότητα από αυτό. Το εργαζόμενο μέσο στον κτιριακό κύκλο είναι αέρας ή νερό.^[5] Αποτελούνται από 2 εναλλάκτες θερμότητας, έναν συμπιεστή, μια βαλβίδα αποτόνωσης και άλλα εξαρτήματα με στόχο να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο ψυκτικό κύκλωμα (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7: Κύκλος A/Θ^[5]

Η βασική αρχή λειτουργίας μια Α/Θ είναι η μεταφορά θερμότητας σε ένα ψυκτικό μέσο κατά την διάρκεια ενός κύκλου εξάτμισης και συμπύκνωσης. Ένας συμπιεστής μεταφέρει το ψυκτικό σε δύο εναλλάκτες θερμότητας. Στο πρώτο εναλλάκτη, το ψυκτικό εξατμίζεται σε χαμηλή πίεση και απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον. Εν συνεχεία, συμπιέζεται και μεταφέρεται στον δεύτερο εναλλάκτη όπου και συμπυκνώνεται σε υψηλή πίεση. Στο σημείο αυτό, το ψυκτικό αποδίδει την θερμότητα που απορρόφησε νωρίτερα.

Για την μέτρηση της απόδοσης μιας Α/Θ υπάρχουν οι δείκτες SEER, EER και COP. Ως απόδοση εννοείται η θερμότητα που παράχθηκε προς την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε. Ο δείκτης SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) είναι ο βαθμός απόδοσης της Α/Θ για μια μεγάλη περίοδο χρόνου (συνήθως ένα έτος). Ο δείκτης EER (Energy Efficiency Ratio) είναι ο βαθμός απόδοσης για το μέγιστο φορτίο λειτουργίας ενώ ο δείκτης COP (Coefficient of Performance) είναι το ίδιο αλλά σε αδιάστατη μορφή. Όσο μεγαλύτερος ο δείκτης, τόσο πιο αποδοτική και η Α/Θ.

Εξίσωση 1.1: Υπολογισμός απόδοσης SEER

$$SEER = \frac{\sum LoadSideHeatTransferRate \left(\frac{Btu}{hr}\right)}{\sum Electric Power (W)}$$

Εξίσωση 1.2: Υπολογισμός απόδοσης EER^[16]

$$EER = -0.02SEER^2 + 1.12SEER$$

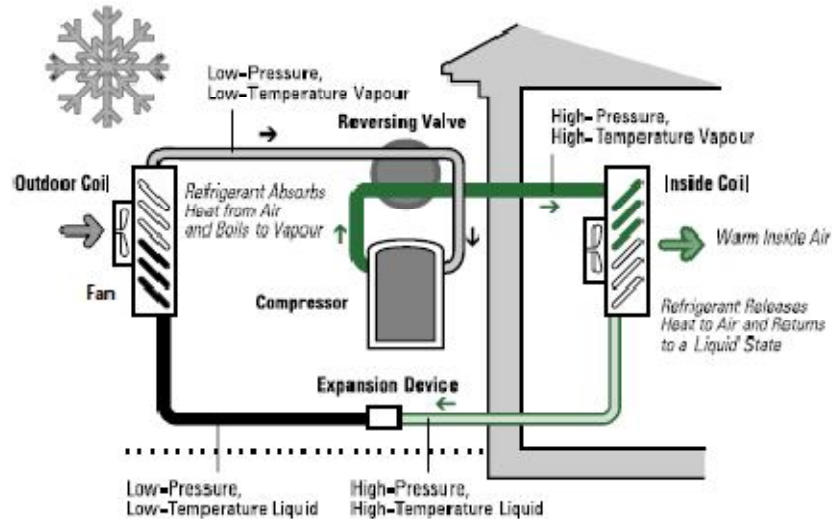
Εξίσωση 1.3: Υπολογισμός απόδοσης COP

$$COP = EER \times 0.293$$

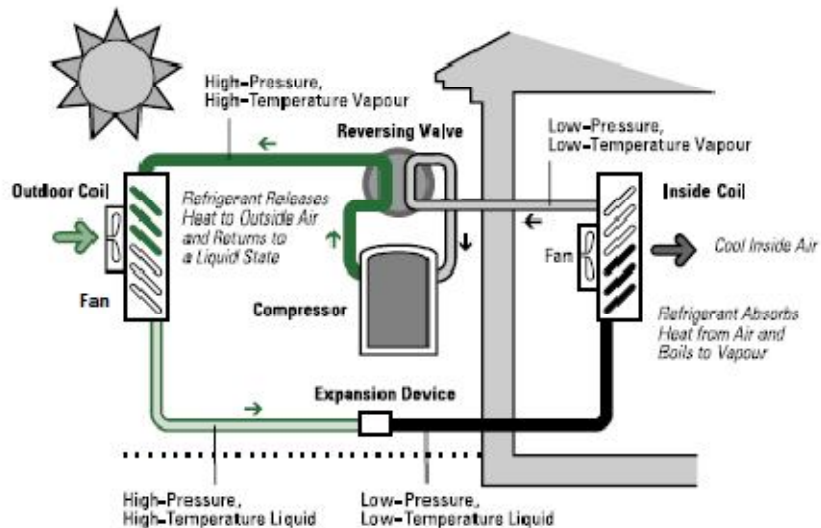
Αντλία θερμότητας αέρα

Υπάρχουν δύο τύποι αντλιών θερμότητας αέρα. Ο πιο διαδεδομένος είναι ο τύπος αέρα – αέρα. Η Α/Θ απορροφά θερμότητα από τον αέρα και την μεταφέρει στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό του σπιτιού ανάλογα με την εποχή. Παρακάτω είναι οι κύκλοι ψύξης και θέρμανσης για μια αντλία θερμότητας αέρα – αέρα (Σχήμα 1.8-9).

Ο δεύτερος τύπος είναι η Α/Θ νερού – αέρα, που χρησιμοποιείται σε σπίτια με υδρονικά συστήματα θέρμανσης/ψύξης. Στη θέρμανση, η αντλία μεταφέρει θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα στο νερό και έπειτα στο υδρονικό σύστημα. Στη ψύξη, είναι η αντίθετη διαδικασία. Η αντλία αποβάλλει την θερμότητα από το νερό στον εξωτερικό αέρα. Ωστόσο, αυτός ο τύπος Α/Θ δεν είναι ιδιαίτερα δεδομένος, κυρίως λόγω την μικρής απόδοσης στην ψύξη.



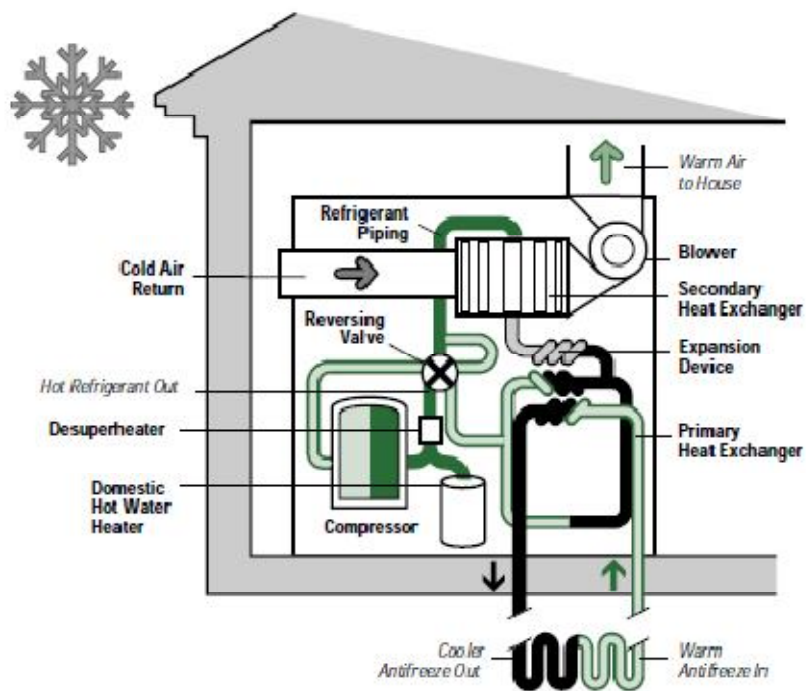
Σχήμα 1.8: Κύκλος ψύξης Α/Θ αέρα – αέρα^[6]



Σχήμα 1.9: Κύκλος θέρμανσης Α/Θ αέρα – αέρα^[6]

Αντλίες θερμότητας νερού

Η συνήθης εφαρμογή των αντλιών αυτών είναι σε γεωθερμικά συστήματα. Το νερό μεταφέρει θερμότητα από και προς το έδαφος ανάλογα με τις ανάγκες ενώ παράλληλα θερμαίνει ή ψύχει το νερό του υδρονικού συστήματος που ρέει μέσα στην Α/Θ. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο κύκλος ψύξης ενός τέτοιου συστήματος (Σχήμα 1.9).

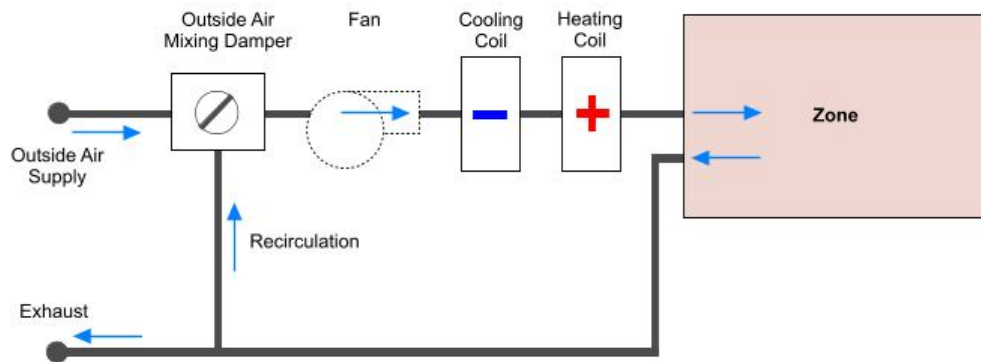


Σχήμα 1.9: Κύκλος ψύξης Α/Θ νερού – νερού^[6]

1.3 Fan Coils

Τα fan coils είναι υδρονικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Αποτελούνται από ένα coil θέρμανσης, ένα coil ψύξης έναν αναμικτή εξωτερικού αέρα και έναν ανεμιστήρα. Κάθε coil συνδέεται και στην αντίστοιχη παροχή (θέρμανση – ψύξη). Ανάλογα με την ανάγκη ένα από τα δύο coils είναι ανενεργό και έτσι καλύπτονται τα απαιτούμενα φορτία (Σχήμα 1.10). Η απλή τους λειτουργία τα κάνει ιδιαίτερα δημοφιλή σε οικιακές και επαγγελματικές χρήσεις.

Fan Coil Compact HVAC Airflow Schematic



Notes:

1. The Fan Coil Unit system supplies one zone only.
2. Cooling coil and Heating coil are optional.

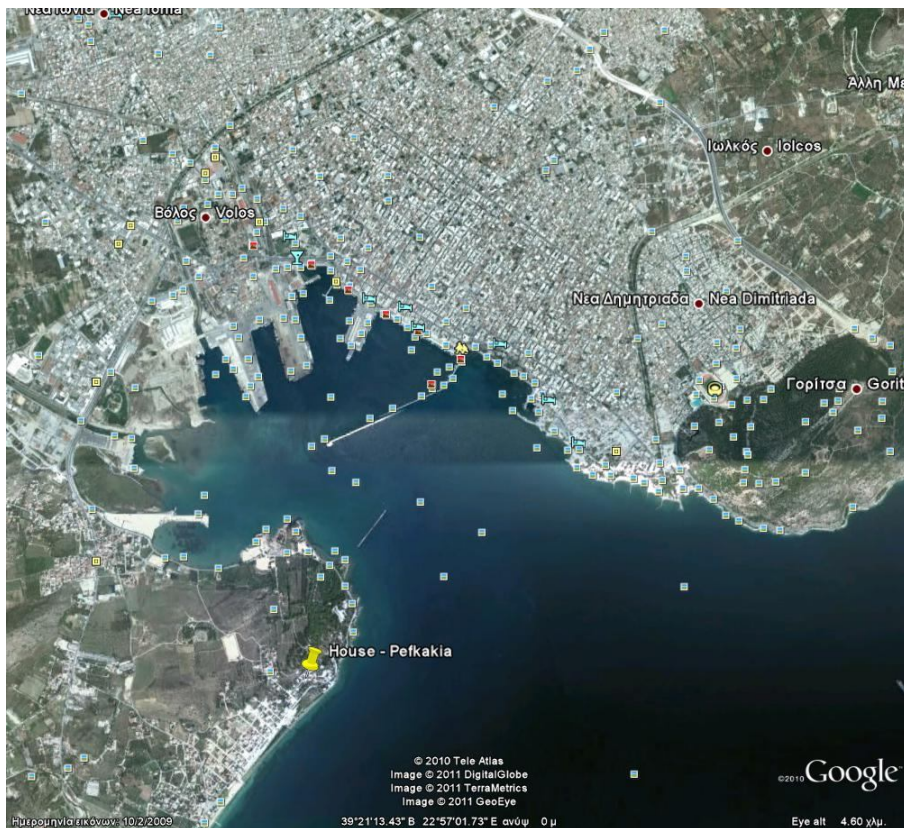
Σχήμα 1.10: Διάγραμμα λειτουργίας fan coil¹¹⁾

Κεφάλαιο 2: Περιγραφή οικίας

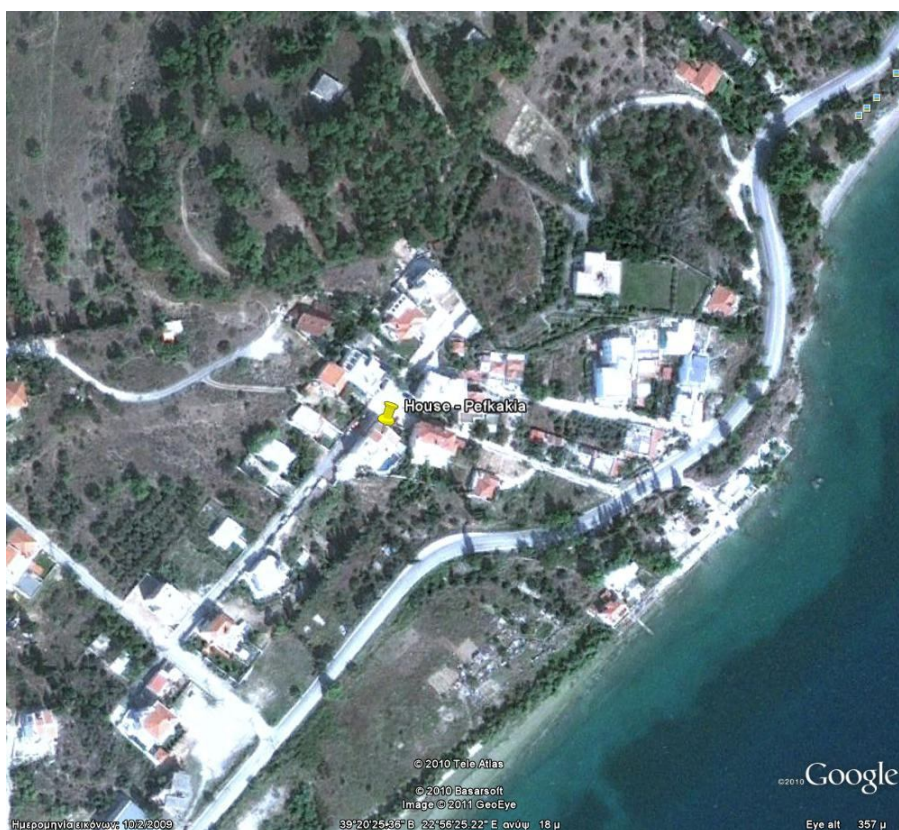
Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της οικίας του γράφοντος η οποία και θα προσομοιωθεί. Αρχικά, παρουσιάζονται οι αεροφωτογραφίες της περιοχής και τα κλιματολογικά δεδομένα της. Έπειτα, παρουσιάζονται τα αρχιτεκτονικά σχέδια βάσει των οποίων έγινε η ψηφιακή αποτύπωση και τέλος, τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι θερμικές του ιδιότητες.

2.1 Τοποθεσία

Η οικία που θα εξεταστεί βρίσκεται στα Πευκάκια, μια περιοχή σε απόσταση 10 λεπτών από το αστικό συγκρότημα του Βόλου. Η απόσταση της από την θάλασσα σε ευθεία γραμμή είναι περίπου στα 100 μέτρα και το υψόμετρο της είναι περίπου 20 μέτρα. Η τοποθεσία σημειώνεται στην χάρτη παρακάτω (Σχήμα 2.1 & 2.2).



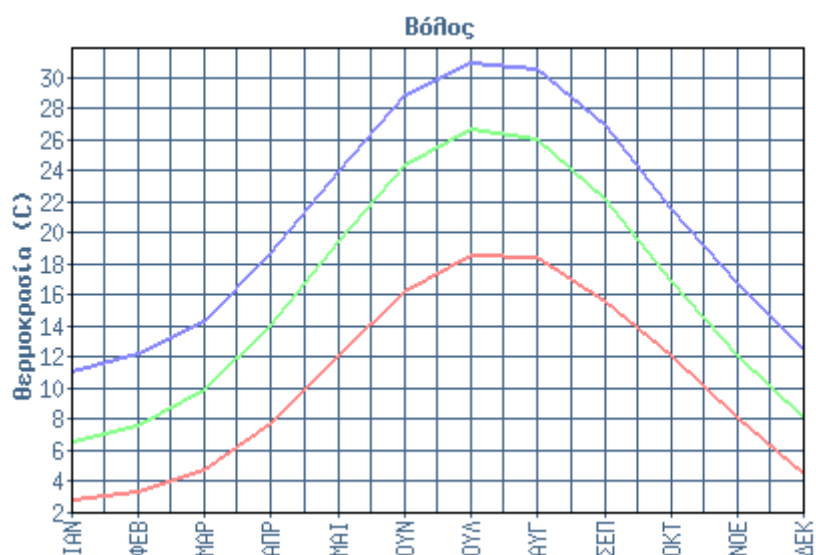
Σχήμα 2.1: Φωτογραφία πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου



Σχήμα 2.2: Κοντινή λήψη οικίας

2.2 Κλιματολογικά δεδομένα

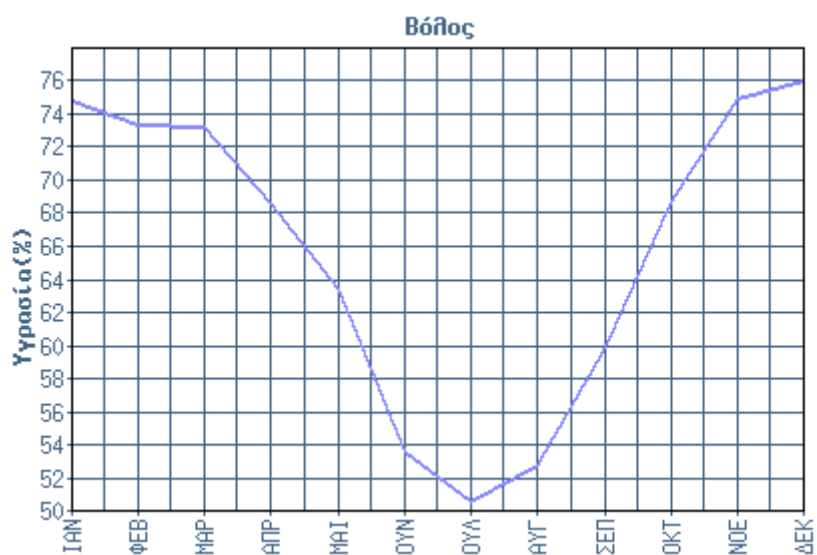
Τα κλιματολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα (2.3-6) και πίνακες (2.1-4)^[7]. Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν από τα προγράμματα προσομοίωσης για να δημιουργήσουν τις συνθήκες του περιβάλλοντος γύρω από την οικία και κατ' επέκταση, να υπολογίσουν τις απώλειες της οικίας και τα θερμικά φορτία της.



Σχήμα 2.3: Θερμοκρασία έτους

Πίνακας 2.1: Μέσες τιμές θερμοκρασίας

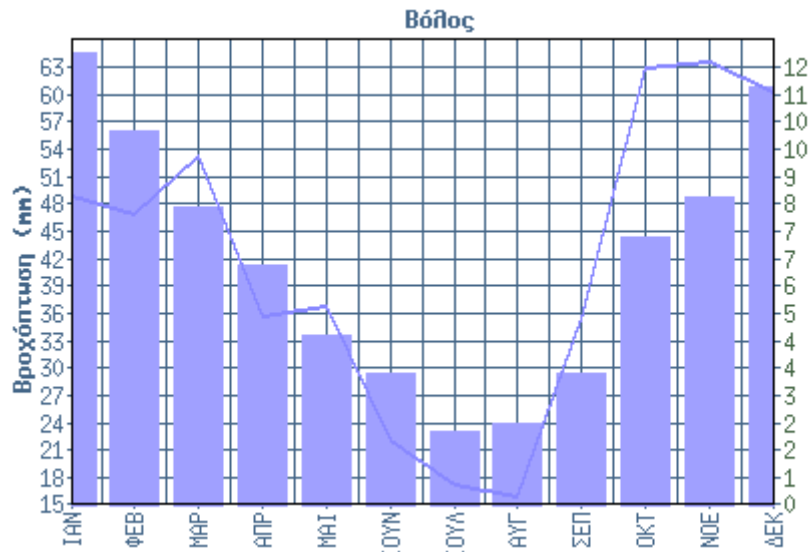
1ο Εξάμηνο	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία	2,8	3,4	4,8	7,7	12,1	16,3
Μέση μηνιαία θερμοκρασία	6,6	7,6	9,9	14,1	19,5	24,5
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία	11,1	12,3	14,3	18,8	24,0	29,0
2ο Εξάμηνο	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία	18,6	18,5	15,7	12,1	8,2	4,5
Μέση μηνιαία θερμοκρασία	26,8	26,1	22,2	16,9	12,1	8,2
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία	31,0	30,7	27,0	21,6	16,8	12,6



Σχήμα 2.4: Υγρασία έτους

Πίνακας 2.2: Μέσες τιμές υγρασίας

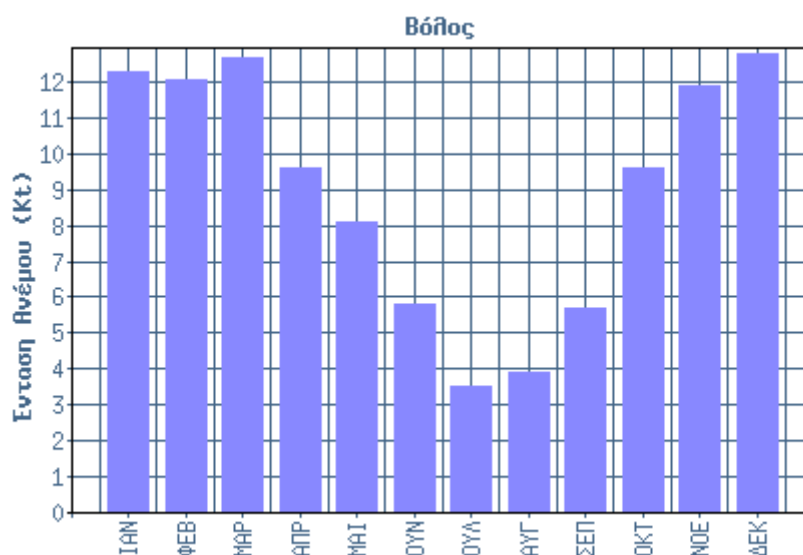
1ο Εξάμηνο	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Μέση μηνιαία υγρασία	74,8	73,3	73,2	68,7	63,5	53,7
2ο Εξάμηνο	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Μέση μηνιαία υγρασία	50,7	52,8	60,0	68,8	74,9	76,0



Σχήμα 2.5: Βροχόπτωση έτους

Πίνακας 2.3: Μέσες τιμές βροχόπτωσης

1ο Εξάμηνο	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Μέση μηνιαία βροχόπτωση	49,0	46,9	53,3	35,8	36,8	22,1
Συνολικές μέρες βροχής	12,3	0,2	8,1	6,5	4,6	3,6
2ο Εξάμηνο	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Μέση μηνιαία βροχόπτωση	17,4	15,9	35,6	63,1	63,6	60,5
Συνολικές μέρες βροχής	2,0	2,2	3,6	7,3	8,4	11,4



Σχήμα 2.6: Άνεμοι έτους

Πίνακας 2.4: Μέσες τιμές ανέμου

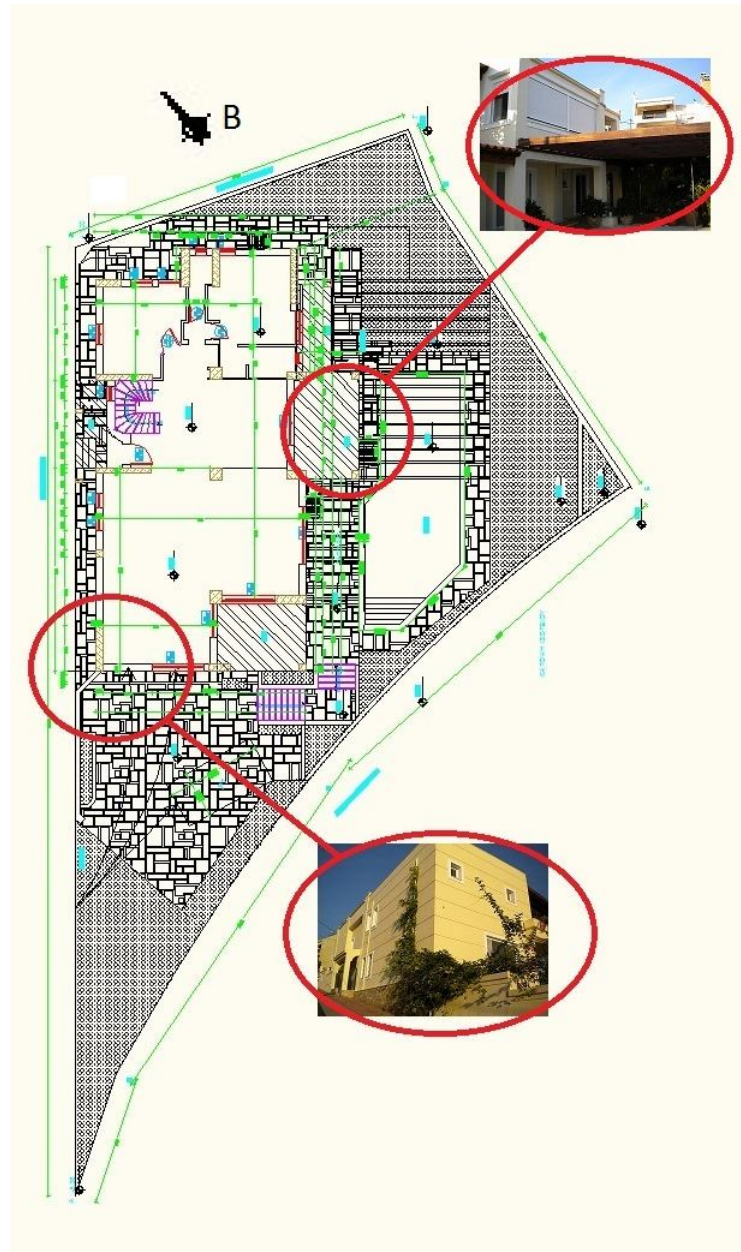
1ο Εξάμηνο	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	ΒΔ	Δ	Α	Α	Α	Α
Μέση μηνιαία ένταση ανέμων	12,3	12,1	12,7	9,6	8,1	5,8
2ο Εξάμηνο	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	Α	Α	Α	Α	Δ	ΒΔ
Μέση μηνιαία ένταση ανέμων	3,5	3,9	5,7	9,6	11,9	12,8

2.4 Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου – φωτογραφίες

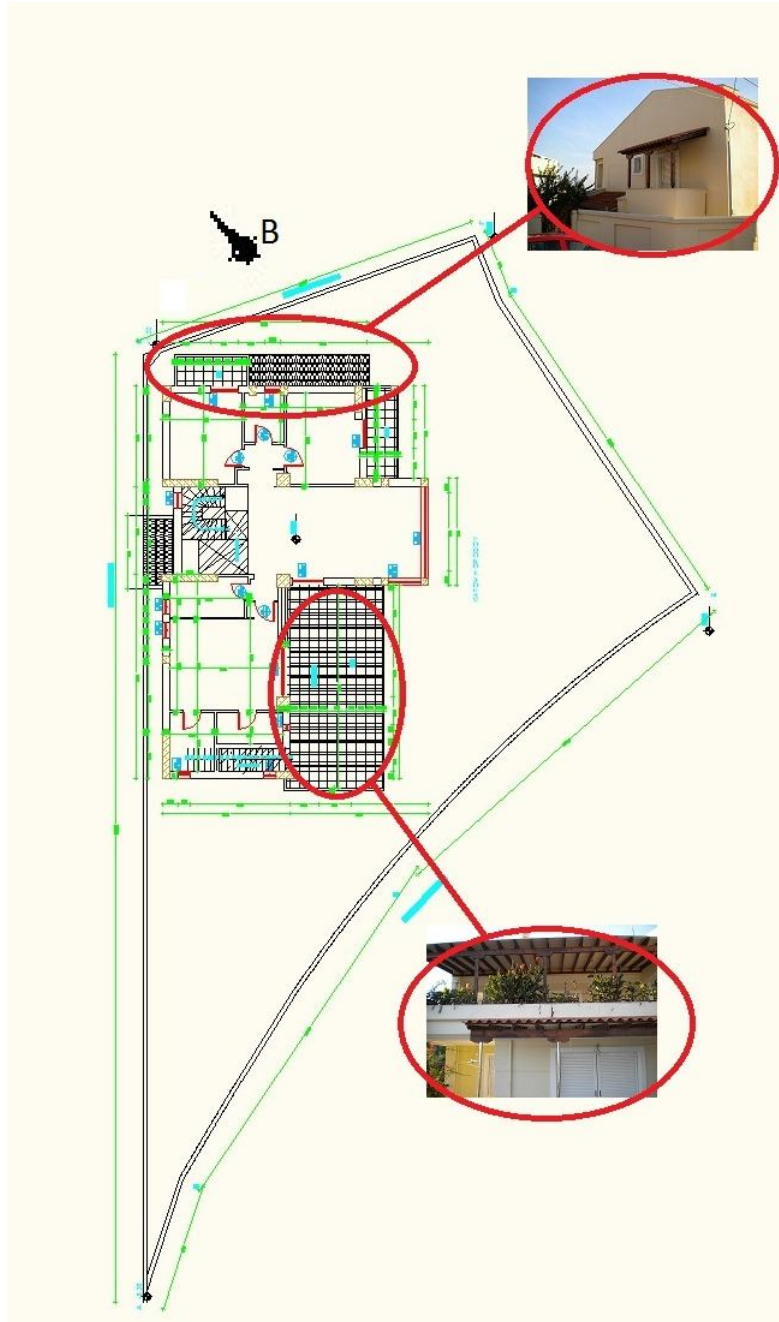
Παραθέτονται παρακάτω τα αρχιτεκτονικά σχέδια^[8] των κατόψεων, κάθε ορόφου του κτιρίου (Σχήματα 2.12-15). Πάνω σε αυτά τα σχέδια βασίστηκε η ψηφιακή τρισδιάστατη αποτύπωση της οικίας στα προγράμματα.



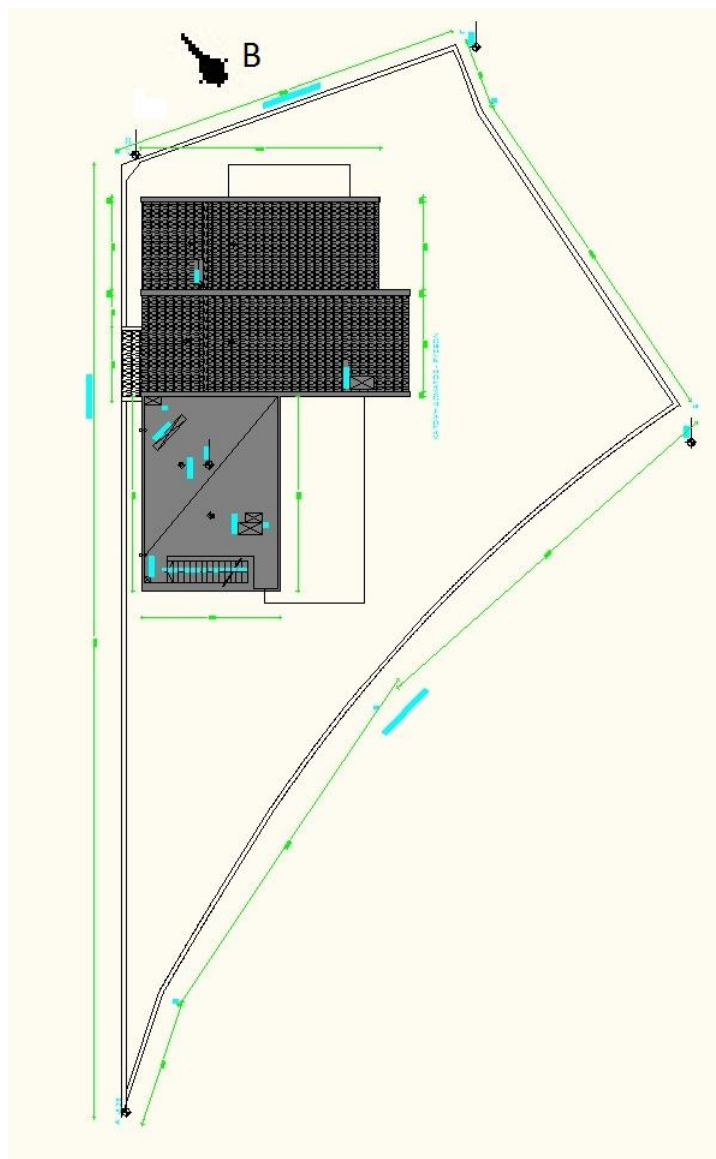
Σχήμα 2.12: Κάτοψη υπογείου



Σχήμα 2.13: Κάτοψη ισογείου



Σχήμα 2.14: Κάτοψη ορόφου



Σχήμα 2.15: Κάτοψη ταράτσας

2.5 Υλικά κατασκευής

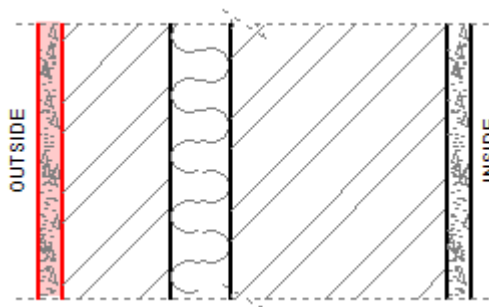
Στην υποενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα δομικά υλικά του κτιρίου^[8] μαζί με της θερμικές τους ιδιότητες^[9]. Ανάλογα με τις ιδιότητες των υλικών αλλάζει και η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου και ως συνέπεια, τα φορτία θέρμανσης και ψύξης.

Τοιχοποιία

Η συνολική τοιχοποιία της οικίας, αποτελείται από 5 διαφορετικούς τοίχους. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δοκάρια (εξωτερικά – εσωτερικά), και τοίχοι (εξωτερικοί –

εσωτερικοί – υπογείου). Κύρια διαφορά μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών στοιχείων είναι η μόνωση που υπάρχει μόνο στα εξωτερικά.

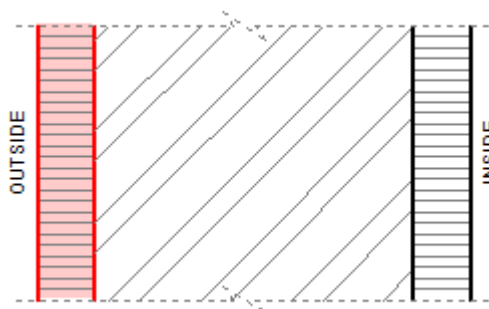
Ακολουθούν τα σχήματα 2.16, 2.17, 2.18 για τους τοίχους και 2.19 και 2.20 για τα δοκάρια. Αντίστοιχα, οι πίνακες 2.5, 2.6, 2.7 και 2.8.



Σχήμα 2.16: Τοίχος εξωτερικός

Πίνακας 2.5: Ιδιότητες στοιχείων (τοίχος εξωτερικός)

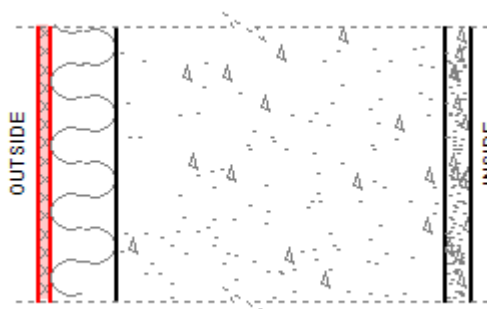
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Σοφάς	20	1570	1000	0,87
Τούβλο	90	1200	900	0,52
XPS	50	25	1210	0,034
Τούβλο	180	1200	900	0,52
Σοφάς	20	1570	1000	0,87



Σχήμα 2.17: Τοίχος εσωτερικός

Πίνακας 2.6: Ιδιότητες στοιχείων (τοίχος εσωτερικός)

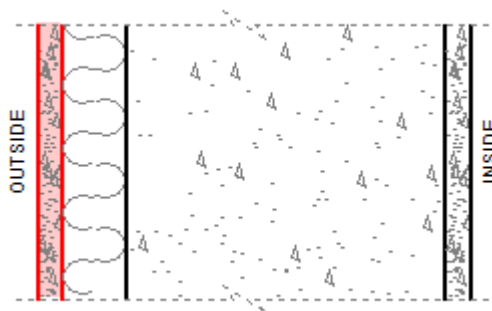
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Σοφάς	20	1570	1000	0,87
Τούβλο	110	1200	900	0,52
Σοφάς	20	1570	1000	0,87



Σχήμα 2.18: Τοίχος υπογείου

Πίνακας 2.7: Ιδιότητες στοιχείων (τοίχος υπογείου)

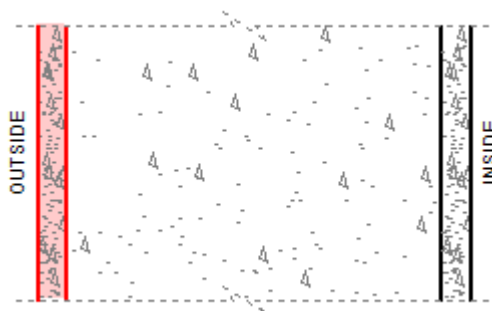
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Φράγμα υδρατμών	10	1800	1255	0,209
XPS	50	25	1210	0,034
Σκυρόδεμα	250	2400	820	2,03
Σοφάς	20	1570	1000	0,87



Σχήμα 2.19: Δοκάρι εξωτερικό

Πίνακας 2.8: Ιδιότητες στοιχείων (δοκάρι εξωτερικό)

Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Σοφάς	20	1570	1000	0,87
XPS	50	25	1210	0,034
Σκυρόδεμα	250	2400	820	2,03
Σοφάς	20	1570	1000	0,87



Σχήμα 2.20: Δοκάρι εσωτερικό

Πίνακας 2.9: Ιδιότητες στοιχείων (δοκάρι εσωτερικό)

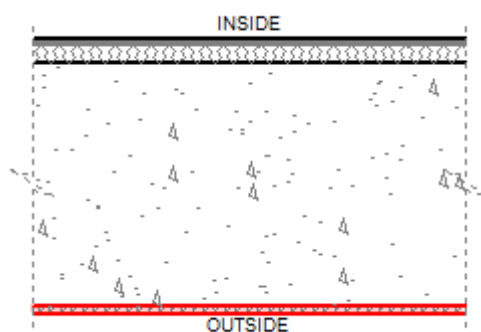
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Σοφάς	20	1570	1000	0,87

Σκυρόδεμα	250	2400	820	2,03
Σοφάς	20	1570	1000	0,87

Δάπεδα – δώματα – σκεπή

Στα δάπεδα, υπάρχουν 4 διαφορετικά είδη κατασκευής. Το δάπεδο του υπογείου είναι μοναδικό ενώ τα δάπεδα από το ισόγειο και τους ορόφους έχουν διαφοροποίηση μόνο στο τελικό υλικό (είτε μάρμαρο, είτε πλάκα, είτε ξύλο) ανάλογα με το σημείο που βρίσκονται. Στα δώματα υπάρχει διαφορά σε αυτό που βρίσκεται σε επαφή με το περιβάλλον και σε αυτό που βρίσκεται κάτω από τη στέγη.

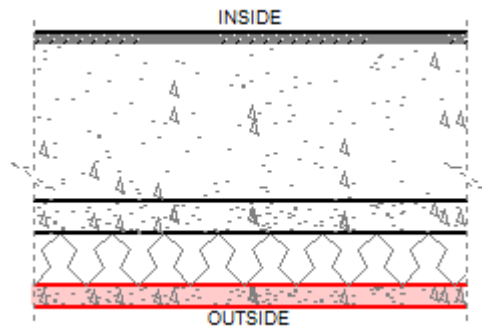
Για τα δάπεδα, υπάρχουν τα σχήματα 2.21, 2.22 και οι πίνακες 2.10, 2.11. Για τα δώματα, 2.23, 2.24 και 2.12, 2.13 αντίστοιχα. Για τη σκεπή υπάρχει το σχήμα 2.25 και ο πίνακας 2.14.



Σχήμα 2.21: Δάπεδο υπογείου

Πίνακας 2.10: Ιδιότητες στοιχείων (δάπεδο υπογείου)

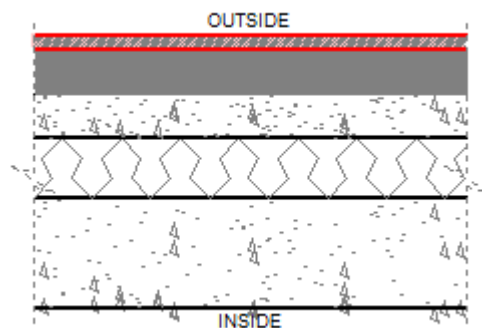
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Φράγμα υδρατμών	10	1800	1255	0,209
Σκυρόδεμα	400	2400	820	2,03
Υαλοβάμβακας	30	48	843	0,037
Πλάκες	10	1600	2000	0,3



Σχήμα 2.22: Δάπεδο ισογείου/ορόφου

Πίνακας 2.11: Ιδιότητες στοιχείων (δάπεδο ισογείου/ορόφου)

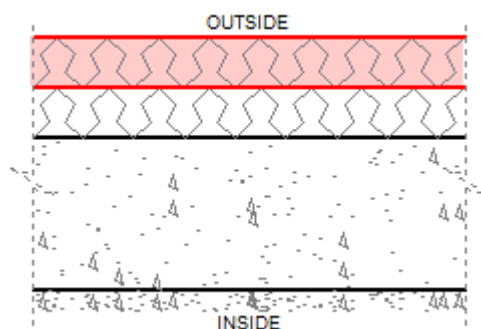
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Σοφάς	20	1570	1000	0,87
XPS	50	25	1210	0,034
Τσιμεντοκονία	30	1200	1000	0,58
Σκυρόδεμα	150	2400	820	2,03
Μάρμαρο (1)	10	2750	840	2,9
Πλάκες (2)	10	1600	2000	0,3
Ξύλο (3)	10	850	1200	0,14



Σχήμα 2.23: Δώμα

Πίνακας 2.12: Ιδιότητες στοιχείων (δώμα)

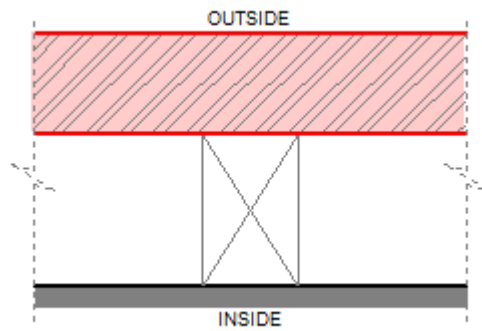
Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Μάρμαρο	20	2750	840	2,9
Άσφαλτος	60	2300	1700	1,2
Τσιμεντοκονία	30	1200	1000	0,58
XPS	80	25	1210	0,034
Σκυρόδεμα	150	2400	820	2,03
Σοφάς	20	1570	1000	0,87



Σχήμα 2.24: Δώμα υπό στέγης

Πίνακας 2.13: Ιδιότητες στοιχείων (δώμα υπό στέγης)

Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Υαλοβάμβακας	50	48	843	0,037
Υαλοβάμβακας	50	48	843	0,037
Σκυρόδεμα	150	2400	820	2,03
Σοφάς	20	1570	1000	0,87



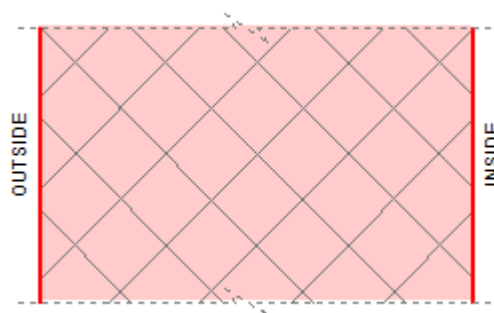
Σχήμα 2.25: Σκεπή

Πίνακας 2.14: Ιδιότητες στοιχείων (σκεπή)

Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Κεραμίδια	50	2760	836	18,28
Αέρας	75	1,3	1004	5,56
Γύψος	10	1250	1088	4,31

Πόρτες – παράθυρα

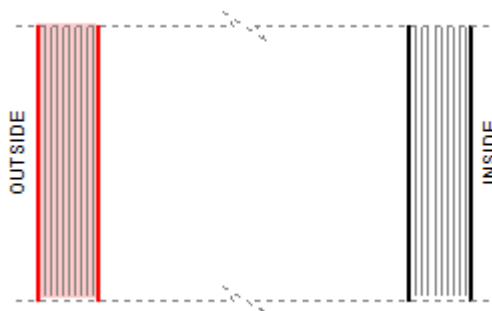
Στις πόρτες χρησιμοποιήθηκε ξύλο βελανιδιάς (σχήμα 3.26, πίνακας 3.15) ενώ τα παράθυρα είναι διπλά αλουμινίου (σχήμα 3.27, πίνακας 3.16).



Σχήμα 2.26: Πόρτες

Πίνακας 2.15: Ιδιότητες στοιχείων (πόρτες)

Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Ξύλο	40	825	2385	0,209



Σχήμα 2.27: Παράθυρα

Πίνακας 2.16: Ιδιότητες στοιχείων (παράθυρα)

Υλικό	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	Αγωγιμότητα (W/mK)
Γυαλί	6	2300	836	1,046
Αέρας	30	1,3	1004	5,56
Γυαλί	6	2300	836	1,046

Θερμικές ιδιότητες υλικών

Υλικό	U-value (W/m ² K)	Αγωγιμότητα (W/m ² K)	Απορρόφηση ηλ. ακτινοβολίας
Τοίχος εξ.	0.45	4.44	0.29
Τοίχος εσ.	2.3	4.1	0.24
Τοίχος υπογείου	0.54	5.67	0.24
Δοκάρι εξ.	0.55	5.67	0.29
Δοκάρι εσ.	2.88	5.6	0.23
Δάπεδο υπ.	0.79	2.22	0.322
Δάπεδο ισ./ορ.	0.56/0.55/0.54	6.51/5.6/4.52	0.27
Δώμα	0.36	6.46	0.368
Δώμα υπό στέγης	0.31	5.98	0.368
Σκεπή	3.1	3.1	0.6
Πόρτα	2.26	3.19	0.46

Υλικό	U-value (W/m ² K)	Αγωγιμότητα (W/m ² K)	Συντελεστής κέρδους ηλ. θερμότητας
Παράθυρο	2.7	2.8	0.81

Κεφάλαιο 3: Ψηφιακή αποτύπωση οικίας – εισαγωγή δομικών στοιχείων

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το Ecotect^[10] είναι ένα από τα πολλά πλέον προγράμματα που προσομοιώνουν και αναλύουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου. Βασικό πλεονέκτημα του προγράμματος είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση που προσφέρει καθώς και το εύκολο μενού χρήσης. Ο σχεδιασμός ενός κτιρίου είναι εύκολος, η επιλογή δομικών υλικών επίσης, ενώ η διαδικασία εισαγωγής των διαφόρων schedules (φώτα, εσωτερικά κέρδη κ.ο.κ.) είναι σχετικά γρήγορη. Το πρόγραμμα φημίζεται για την ακριβή αποτύπωση των ηλιακών κερδών μια οικίας και του σκιασμού της, αλλά τελικά, δεν προσφέρει κάτι παραπάνω.

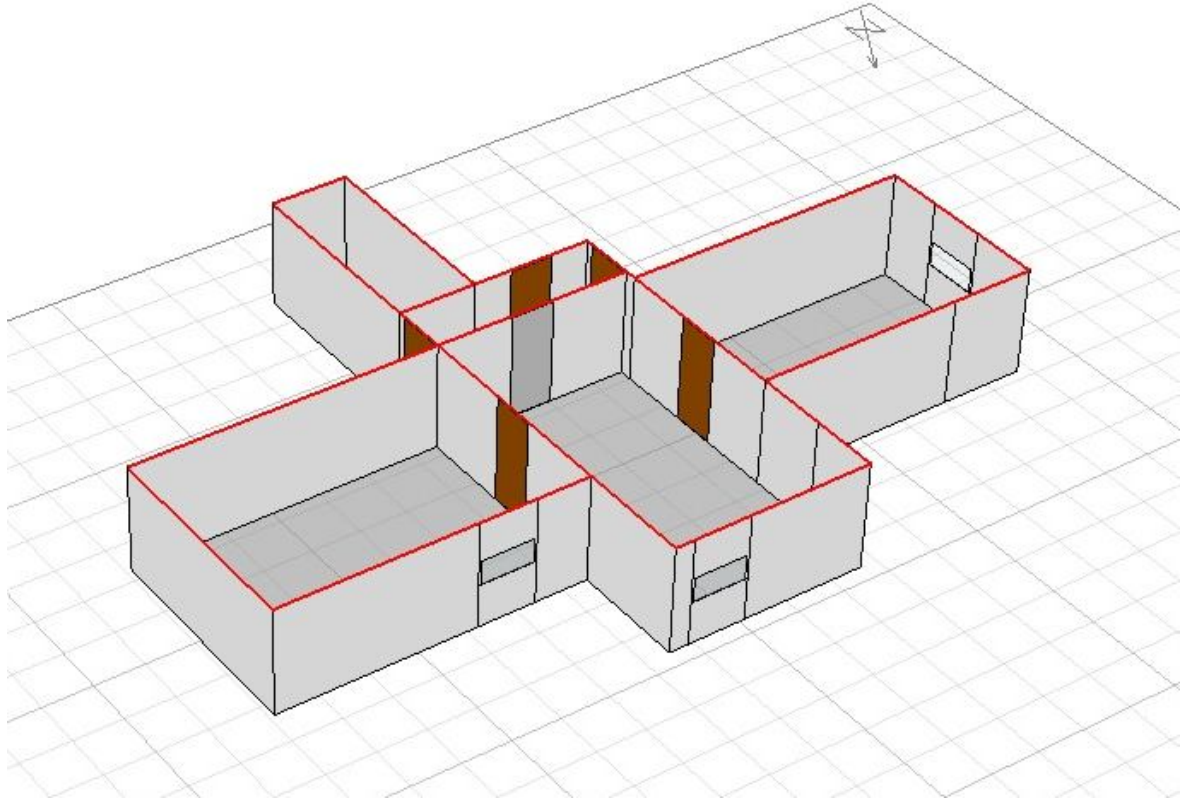
Οι ενεργειακές αναλύσεις που γίνονται από το πρόγραμμα είναι σχετικά απλοϊκές, καθώς απλά δίνονται τιμές χωρίς να έχει σημασία τι σύστημα θέρμανσης/ψύξης χρησιμοποιείται. Οι εξισώσεις μέσω των οποίων γίνονται οι υπολογισμοί δεν αναφέρονται κάπου στο πρόγραμμα ή σε συνοδευτικό εγχειρίδιο. Εφόσον είναι αδύνατη η επιλογή συστήματος, είναι αδύνατη και η παραμετροποίηση με συνέπεια τα αποτελέσματα να απέχουν αρκετά από την πραγματικότητα. Επίσης, το πρόγραμμα δεν λαμβάνει υπόψη απώλειες και κέρδη λόγω συναγωγής, έλλειψη αρκετά σοβαρή για μια σωστή θερμική ανάλυση.

Ωστόσο, η τρισδιάστατη απεικόνιση που προσφέρει είναι αρκετή ώστε να χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη εργασία, όπως και έγινε.

3.2 Σχεδίαση οικίας

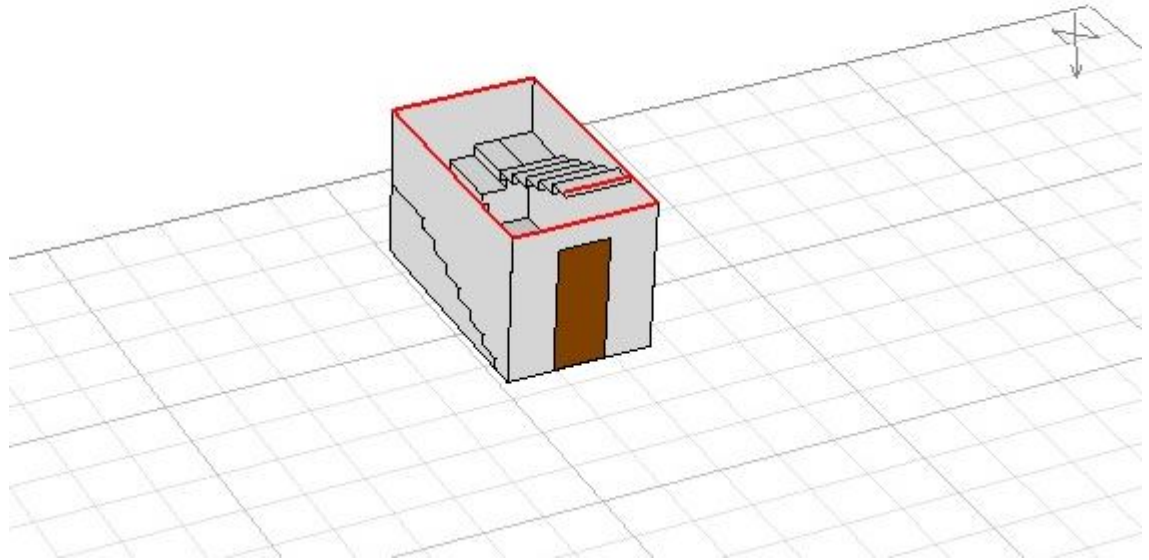
Το σχεδιαστικό περιβάλλον του Ecotect όπως αναφέρθηκε είναι πολύ απλό. Στο αρχικό του παράθυρο, υπάρχει ένα κενό πλέγμα πάνω στο οποίο μπορούμε να σχεδιάσουμε αυτά που επιθυμούμε. Με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια ο σχεδιασμός είναι εύκολος καθώς το μόνο που απαιτείται είναι να δημιουργηθούν οι τοίχοι πάνω στις γραμμές του σχεδίου. Αφού δημιουργηθεί το κέλυφος, τότε διαγράφονται τα αρχιτεκτονικά σχέδια και έρχεται η σειρά της δημιουργίας ζωνών. Κάθε ζώνη θεωρείται ξεχωριστή, με δικά της προγράμματα χρήσης, αερισμού κλπ.

Για την οικία υπό εξέταση δημιουργήθηκαν 4 θερμικές ζώνες και 2 μη θερμικές. Η πρώτη θερμική ζώνη είναι η ζώνη του υπογείου που περιλαμβάνει τρία δωμάτια και μια μικρή κουζίνα (Σχήμα 3.1)

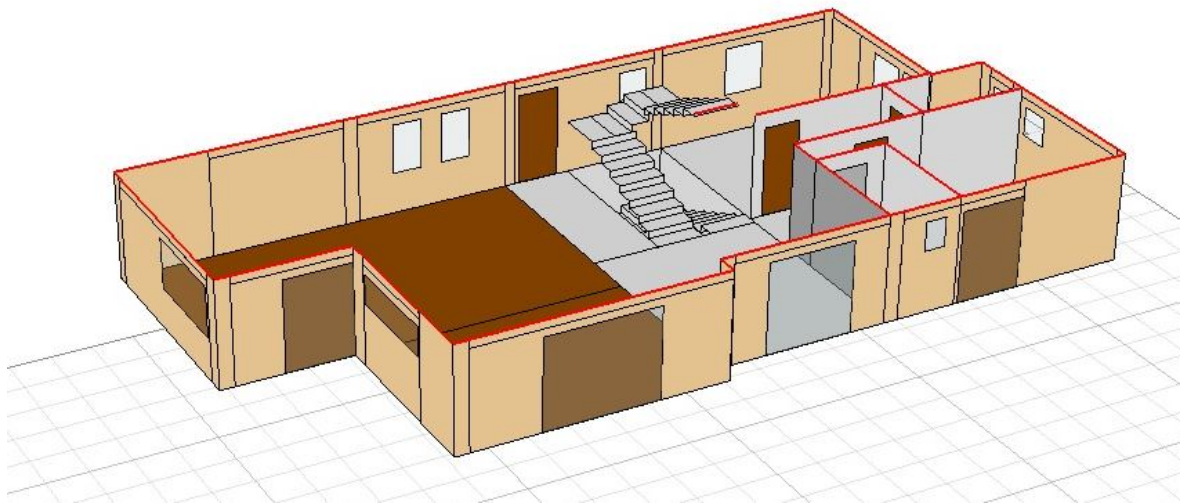


Σχήμα 3.1: Τομή της ζώνης υπογείου

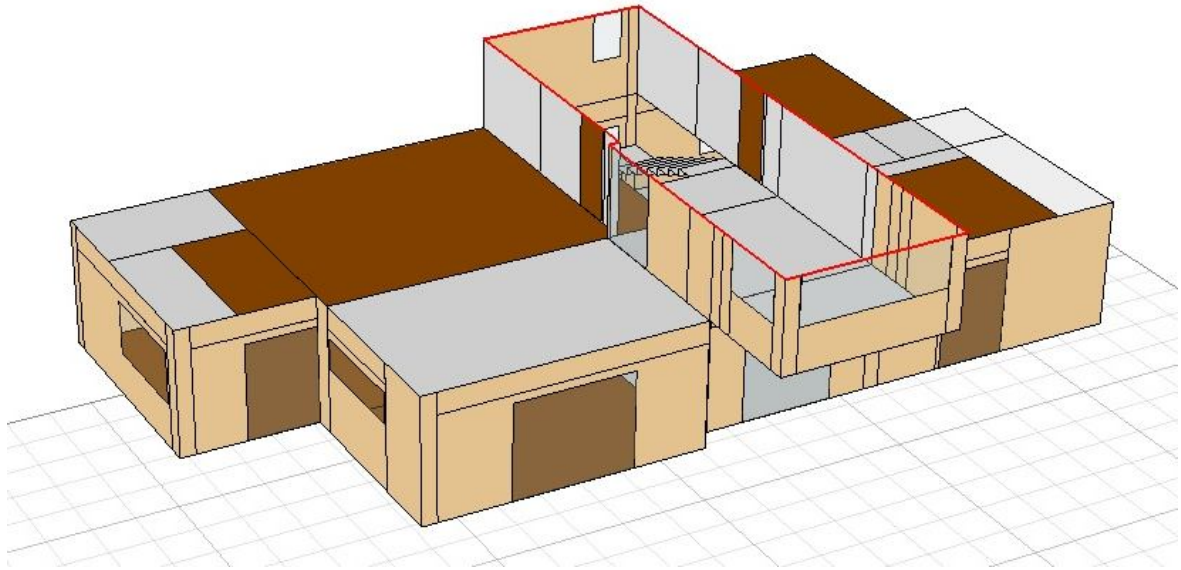
Η επόμενη ζώνη είναι η ζώνη του ισογείου, που είναι και η μεγαλύτερη του σπιτιού. Βασική προϋπόθεση του προγράμματος είναι χώροι που 'μοιράζονται' τον ίδιο αέρα να είναι και στην ίδια θερμική ζώνη. Ο χώρος του ισογείου είναι κατά ενιαίος με την εσωτερική σκάλα και με το καθιστικό του πρώτου ορόφου. Έτσι, αυτή η ζώνη εκτείνεται και στους 3 ορόφους του κτιρίου. (Σχήμα 4.2-4).



Σχήμα 3.2: Τομή ζώνης ισογείου (τμήμα υπογείου)

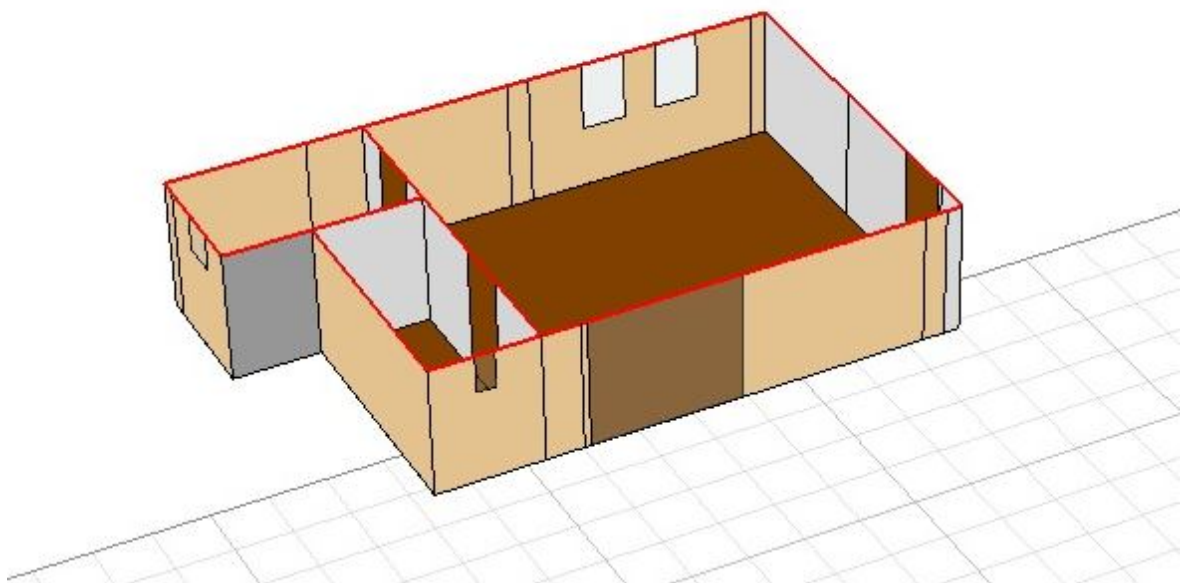


Σχήμα 3.3: Τομή ζώνης ισογείου (τμήμα ισογείου)

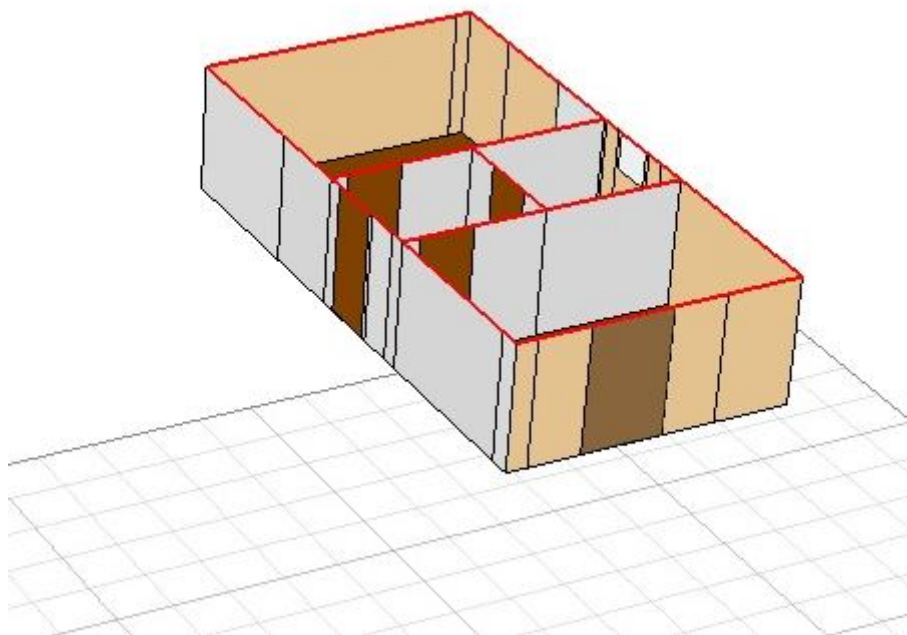


Σχήμα 3.4: Τομή ζώνης ισογείου (τμήμα 1^{ου} ορόφου)

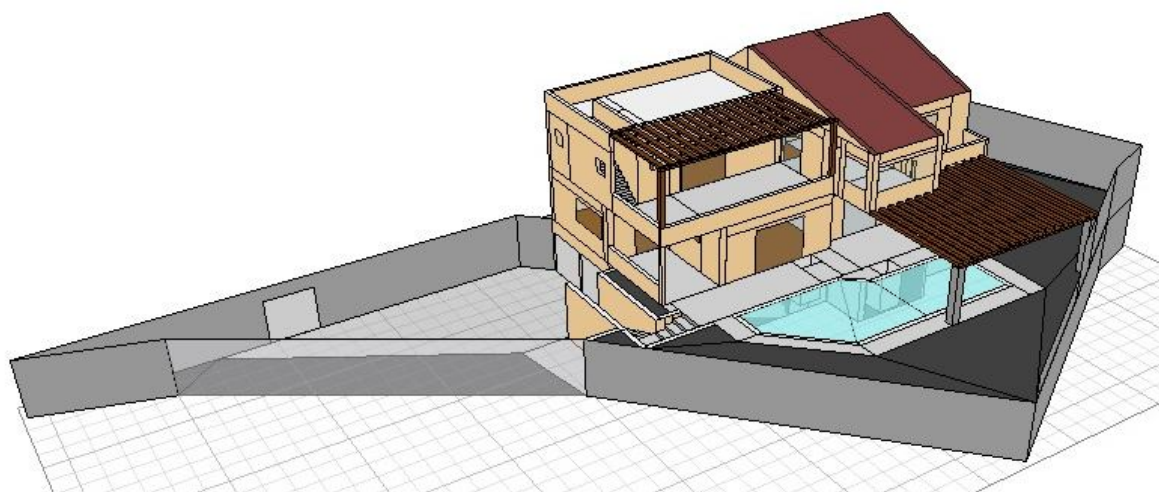
Τέλος, στον πρώτο όροφο υπάρχουν δύο ακόμα θερμικές ζώνες, μια στα αριστερά του καθιστικού (Σχήμα 3.5) και μία στα δεξιά (Σχήμα 3.6). Η συνολική αποτύπωση της οικίας φαίνεται στο Σχήμα 3.7. Οι δύο μη θερμικές ζώνες περιλαμβάνουν τον χώρο κάτω από τη στέγη και το σύνολο του περιβάλλοντα χώρου.



Σχήμα 3.5: Τομή ζώνης ορόφου (1)



Σχήμα 3.6: Τομή ζώνης ορόφου (2)



Σχήμα 3.7: Ψηφιακή αποτύπωση οικίας

Αφού η αποτύπωση της οικίας έχει ολοκληρωθεί, μένει η εισαγωγή των υλικών. Τα υλικά έχουν ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο ενώ να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί έγιναν βάσει το προγράμματος αυτού.

Τέλος, εισάγουμε τα προγράμματα χρήσης της οικίας για κάθε ζώνη και για κάθε τύπο. Ακόμα και αν οι κατασκευαστές του προγράμματος ισχυρίζονται ότι τα προγράμματα χρήσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσια στο EnergyPlus, εν

τούτοις αυτό δεν συνέβη με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η εισαγωγή τους ξανά χειροκίνητα.

Σε αυτό το σημείο, το θερμικό μοντέλο είναι έτοιμο και μπορεί να δώσει αποτελέσματα. Για τους λόγους όμως που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή του κεφαλαίου, δεν θα γίνει κάποια περαιτέρω θερμική ανάλυση και θα χρησιμοποιηθεί διαφορετικό πρόγραμμα από εδώ και στο εξής.

Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση συμβατικού συστήματος

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το πρόγραμμα EnergyPlus (E+)^[11] είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης κτιριακής λειτουργίας με απώτερο σκοπό την βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και νερού. Οι διαθέσιμες επιλογές προσομοίωσης καλύπτουν σχεδόν κάθε φάσμα των κτιριακών λειτουργιών που υπάρχουν σήμερα.

Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το πρόγραμμα γίνεται μέσω κελιών που ο χρήστης συμπληρώνει με τα επιθυμητά στοιχεία. Δεν παρέχεται καμία οπτική απεικόνιση για διευκόλυνση και αυτό είναι το μεγαλύτερο μειονέκτημα του προγράμματος. Ένας μη γνώστης, θα δυσκολευτεί πολύ αρχικά μέχρι να γίνει κατανοητή η φιλοσοφία πίσω από τις διάφορες λειτουργίες του προγράμματος.

Στην παρούσα εργασία, το E+ χρησιμοποιήθηκε για προσομοίωση της οικίας με συμβατικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης, και έπειτα, προσθήκη γεωεναλλάκτη θερμότητας με A/Θ και σύγκριση αποτελεσμάτων.

4.2 Εισαγωγή μοντέλου

Η πρώτη κίνηση που γίνεται στο πρόγραμμα κανονικά θα ήταν να αποτυπωθούν όλα τα δομικά στοιχεία του και η γεωμετρία του. Χωρίς την ύπαρξη μιας τρισδιάστατης απεικόνισης και ενός σχεδιαστικού εργαλείου, αυτό το κομμάτι θα ήταν με διαφορά το δυσκολότερο της προσομοίωσης. Κάθε επιφάνεια θα έπρεπε να προσδιοριστεί στο χώρο με συντεταγμένες, να προσδιοριστεί το υλικό της, η ζώνη της, ο τύπος και αρκετά άλλα στοιχεία, πράγματα που απαιτούν ώρες δουλειάς και ενασχόλησης.

Έχοντας σχεδιάσει την οικία στο Ecotect όμως, μπορούμε να μεταφέρουμε όλη την γεωμετρία και τα δομικά υλικά στο E+ πολύ εύκολα. Το μόνο που χρειάζεται είναι να ζητηθεί από το Ecotect να μετατρέψει το αρχείο του σε αρχείο που να μπορεί να διαβάσει το E+.

Έπειτα, όλα τα κελιά που αφορούν την δομή και τα υλικά του κτιρίου είναι συμπληρωμένα και το μόνο που μένει από τον χρήστη είναι να δημιουργήσει τα διάφορα προγράμματα χρήσης της οικίας. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο,

στην μετάβαση από το ένα πρόγραμμα στο άλλο θα έπρεπε να υπήρχαν και αυτά τα στοιχεία αλλά εμφανώς υπάρχει πρόβλημα συμβατότητας.

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή στο πρόγραμμα των προγραμμάτων λειτουργίας (schedules). Συνολικά υπάρχουν 5 τύποι:

- Εσωτερικά κέρδη (συσκευές)
- Φώτα
- Αριθμός ατόμων
- Δραστηριότητα ατόμων
- Εναλλαγές αέρα

Για το E+, τα schedules ξεκινάνε από μέρες. Για κάθε ώρα της ημέρας πρέπει να υπάρχει και μια τιμή. Έπειτα, το επόμενο βήμα είναι η εβδομάδα όπου ορίζεται το πρόγραμμα για κάθε μέρα χρήσης. Και τέλος, είναι το έτος όπου υπάρχει το πρόγραμμα κάθε βδομάδας. Τα προγράμματα για την οικία υπάρχουν στο παράρτημα Π.1.

Το πρόγραμμα αυτή τη στιγμή έχει δημιουργήσει το θερμικό του μοντέλο αλλά ακόμα δεν προσφέρεται για καμία ανάλυση (σε αντίθεση με το Ecotect) καθώς του λείπουν όλα τα στοιχεία για το σύστημα θέρμανσης-ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί.

4.3 Προσομοίωση συμβατικού συστήματος

Πρώτη κίνηση του χρήστη σε αυτή τη φάση, είναι η εισαγωγή θερμοστατών για κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου. Στην οικία υπάρχουν 4 θερμικές ζώνες με κάθε μια να έχει ρυθμισμένο τον θερμοστάτη θέρμανσης στους 21°C (13 °C για το υπόγειο) και στους 25 °C για ψύξη (Σχήμα 4.4).

Το πρόγραμμα των θερμοστατών είναι να υπάρχει διπλή λειτουργία ολόκληρο το έτος. Τον χειμώνα όμως η ρύθμιση της ψύξης αυξάνει στους 40 °C και το καλοκαίρι, η θέρμανση μειώνεται στους 13 °C. Μια τέτοια ρύθμιση βοηθάει το σπίτι να θερμάνει ή να δροσίσει εάν οι συνθήκες το επιτρέπουν χωρίς να χαλάσει όμως πολύ η θερμική άνεση των ενοίκων. Η ρύθμιση του υπογείου για 13 °C είναι διότι θεωρείται ότι το υπόγειο δεν χρησιμοποιείται το χειμώνα και δεν υπάρχει λόγος ο θερμοστάτης να είναι τόσο υψηλός όσο η υπόλοιπη οικία.

Πίνακας 4.1: Ρυθμίσεις θερμοστατών

Θέρμανση υπογείου	Θέρμανση ισόγειου – 1 ^{ου}	Ψύξη υπ. – ισ. – 1 ^{ου}
Σύνολο έτους	Μέρα σχεδιασμού, καλοκαίρι	Μέρα σχεδιασμού, καλοκαίρι
13 °C	13 °C	25 °C
	Μέρα σχεδιασμού, χειμώνας	Μέρα σχεδιασμού, χειμώνας
	21 °C	40 °C
	Υπόλοιπες μέρες	Υπόλοιπες μέρες
	21 °C	25 °C

Έπειτα, πρέπει να ορισθεί ο τρόπος με τον οποίο θα ψύχεται και θερμαίνεται κάθε ζώνη. Στην οικία αυτή τη στιγμή υπάρχουν fan coil στο ισόγειο και καλοριφέρ στο υπόγειο και στον 1^ο όροφο. Σε αυτό το σημείο, η προσομοίωση διαφοροποιείται του πραγματικού μοντέλου και αυτό λόγω της γεωθερμίας. Για να αποδώσει ένα γεωθερμικό σύστημα, είναι προτιμότερη η ύπαρξη fan coil και όχι καλοριφέρ υψηλής θερμοκρασίας. Έτσι, σε κάθε ζώνη της οικίας υπάρχουν τώρα fan coils.

Στο πρόγραμμα υπάρχει η επιλογή για fan coil τεσσάρων σωλήνων που χρησιμοποιούνται και για θέρμανση και για ψύξη. Επίσης, για το πρόγραμμα η τοποθέτηση των συστημάτων δεν έχει σημασία στην προσομοίωση. Για αυτό το λόγο υπάρχει η ύπαρξη μόνο ενός θερμαντικού-ψυκτικού στοιχείου ανά ζώνη. Στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο είναι μη αποδεκτό αλλά για τις συνθήκες προσομοίωσης είναι θεμιτό.

Το κάθε fan coil για να ορισθεί μέσα στο πρόγραμμα απαιτεί ορισμένα στοιχεία (Πίνακας 4.2). Στην περίπτωση μας, καθώς δεν ξέρουμε ακριβώς τα μεγέθη των φορτίων και των ροών του νερού, μπορούμε να ζητήσουμε από το πρόγραμμα να τα υπολογίσει μόνο του.

Εξίσωση 4.1: Υπολογισμός θερμικών φορτίων^[11]

$$C_z \frac{\Delta T_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys}$$

όπου (κατά σειρά οι όροι):

- η εσωτερική ενέργεια του αέρα ($C_z = \rho_{air} C_p C_T$, ρ_{air} η πυκνότητα του αέρα, C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα, C_T ο συντελεστής λανθάνουσας θερμότητας, T_z η θερμοκρασία της ζώνης)
- το άθροισμα των εσωτερικών κερδών (Q_i τα εσωτερικά κέρδη)
- μετάδοση θερμότητας από τις επιφάνειες της ζώνης (h_i η αγωγιμότητα της επιφάνειας, A_i το μέγεθος της επιφάνειας, T_{si} η θερμοκρασία την επιφάνειας)
- μετάδοση θερμότητας μέσω αερισμού μεταξύ των ζωνών (m_i η ροή αέρα, C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα, T_{zi} η θερμοκρασία αέρα)
- μετάδοση θερμότητας μέσω εξωτερικού αερισμού (m_{inf} η ροή εξωτερικού αέρα, C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του εξωτερικού αέρα, T_∞ η θερμοκρασία εξωτερικού αέρα)
- παροχή συστημάτων (Q_{sys} η θερμότητα των συστημάτων)

Πίνακας 4.2: Ρυθμίσεις fancoil ζωνών

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Μέγιστη ροή αέρα (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Μέγιστη ροή εξωτερικού αέρα (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Μέγιστη ροή νερού ψύξης (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Ελάχιστη ροή νερού ψύξης (m ³ /hr)	0	0	0	0
Μέγιστη ροή νερού θέρμανσης (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Ελάχιστη ροή νερού θέρμανσης (m ³ /hr)	0	0	0	0

Συγκεκριμένα, ζητάμε από το πρόγραμμα να υπολογίσει την μέγιστη ροή αέρα, τη μέγιστη ροή εξωτερικού αέρα, τη μέγιστη ροή νερού θέρμανσης και τη μέγιστη ροή νερού ψύξης.

Εξίσωση 4.2: Υπολογισμός μέγιστης ροής αέρα^[11]

$$\dot{V}_{air,max} = Max(DesCoolVolFlow_{zone}, DesHeatVolFlow_{zone})$$

όπου:

- $DesCoolVolFlow_{zone}$ η ογκομετρική παροχή αέρα ψύξης [m³/s]
- $DesHeatVolFlow_{zone}$ η ογκομετρική παροχή αέρα θέρμανσης [m³/s]

Εξίσωση 4.3: Υπολογισμός παροχών αέρα θέρμανσης – ψύξης^[11]

$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$$

Εξίσωση 4.4: Υπολογισμός μέγιστης ροής εξωτερικού αέρα^[11]

$$\dot{V}_{outsideair,max} = Min(MinOA_{zone}, \dot{V}_{air,max})$$

όπου:

- $MinOA_{zone}$ η ελάχιστη παροχή εξωτερικού αέρα (κατά ASHRAE) [0,00944m³/s/άτομο]

Εξίσωση 4.5: Υπολογισμός μέγιστης ροής νερού θέρμανσης^[11]

$$T_{coil,in} = DesHeatCoilInTemp_{zone}$$

$$T_{coil,out} = HeatDesTemp_{zone}$$

$$\dot{Q}_{coil,des} = C_{p,air} \times DesHeatMassFlow_{zone} \times (T_{out,coil} - T_{in,coil})$$

$$\dot{V}_{max,hw} = \frac{\dot{Q}_{coil,des}}{C_{p,w} \times \rho_w \times \Delta T_{loop,des}}$$

όπου:

- $C_{p,air}$ είναι υπολογισμένο στο μέσο της θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου και στο ποσοστό υγρασίας στην έξοδο
- $DesHeatCoilInTemp_{zone}$ η θερμοκρασία σχεδιασμού εισόδου αέρα (επιλεγμένη από χρήστη) [°C]
- $HeatDesTemp_{zone}$ η θερμοκρασία σχεδιασμού εξόδου αέρα (επιλεγμένη από χρήστη) [°C]
- $DesHeatMassFlow_{zone}$ η ροή αέρα σχεδιασμού [kg/s]

Εξίσωση 4.6: Υπολογισμός μέγιστης ροής νερού ψύξης^[11]

$$T_{coil,in} = DesColdCoilInTemp_{zone}$$

$$T_{coil,out} = ColdDesTemp_{zone}$$

$$W_{coil,in} = DesCoolCoilInHumRat_{zone}$$

$$W_{coil,out} = CoolDesHumRat_{zone}$$

$$H_{coil,in} = PsyHFTdnW(T_{coil,in}, W_{coil,in})$$

$$H_{coil,out} = PsyHFTdnW(T_{coil,out}, W_{coil,out})$$

$$\dot{Q}_{coil,des} = DesCoolMassFlow_{zone} \times (h_{in,coil} - h_{out,coil})$$

$$\dot{V}_{max,cw} = \frac{\dot{Q}_{coil,des}}{C_{p,w} \times \rho_w \times \Delta T_{loop,des}}$$

όπου:

- $C_{p,air}$ είναι υπολογισμένο στο μέσο της θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου και στο ποσοστό υγρασίας στην έξοδο
- $DesColdCoilInTemp_{zone}$ η θερμοκρασία σχεδιασμού εισόδου αέρα [°C]
- $ColdDesTemp_{zone}$ η θερμοκρασία σχεδιασμού εξόδου αέρα [°C]
- $DesCoolCoilInHumRat_{zone}$ η υγρασία σχεδιασμού εισόδου αέρα [kg/kg]
- $CoolDesHumRat_{zone}$ η υγρασία σχεδιασμού εξόδου αέρα (κατά ASHRAE) [kg/kg]
- $DesCoolMassFlow_{zone}$ η ροή αέρα σχεδιασμού [kg/s]

Για τον πλήρη ορισμό των στοιχείων αυτών, χρειάζεται και η επιμέρους ρύθμιση των coil θέρμανσης (Πίνακας 4.4), των coil ψύξης (Πίνακας 4.3) και των ανεμιστήρων (Πίνακας 4.5). Στα coils θέρμανσης θέτουμε στο σύστημα θερμοκρασίες εισόδου νερού 82 °C, αέρα 16 °C και θερμοκρασίες εξόδου 71 °C και 32 °C αντίστοιχα, ζητώντας από το πρόγραμμα τη μέγιστη ροή και την αγωγιμότητα του σώματος. Στα coils ψύξης ζητάμε από το πρόγραμμα τις μέγιστες ροές νερού – αέρα, θερμοκρασίες και υγρασία εισόδου – εξόδου αέρα και θερμοκρασία εισόδου νερού.. Στους ανεμιστήρες του κάθε fan coil ζητάμε τη μέγιστη ροή ενώ δηλώνουμε αύξηση πίεσης 75Pa, απόδοση κινητήρα 0,9 και ανεμιστήρα 0,5. Οι παραπάνω τιμές ήταν μέσα στα αρχεία του E+ ως παραδείγματα σωστής λειτουργίας.

Πίνακας 4.3: Ρυθμίσεις coils ψύξης

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Ροή νερού (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Ροή αέρα (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	autosize	autosize	autosize	autosize
Θερμοκρασία εισόδου αέρα (°C)	autosize	autosize	autosize	autosize
Θερμοκρασία εξόδου αέρα (°C)	autosize	autosize	autosize	autosize
Υγρασία αέρα εισόδου (kg _{H2O} /kg _{air})	0,0118	0,0111	0,0105	0,0107
Υγρασία αέρα εξόδου (kg _{H2O} /kg _{air})	0,008	0,008	0,008	0,008

Πίνακας 4.4: Ρυθμίσεις coils θέρμανσης

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Αγωγιμότητα (W/m)	autosize	autosize	autosize	autosize
Μέγιστη ροή νερού (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Ισχύς (W)	autosize	autosize	autosize	autosize
Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	82	82	82	82

Θερμοκρασία εισόδου αέρα (°C)	16.6	16.6	16.6	16.6
Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	71	71	71	71
Θερμοκρασία εξόδου αέρα (°C)	32.2	32.2	32.2	32.2

Πίνακας 4.5: Ρυθμίσεις ανεμιστήρα fancoil

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Απόδοση ανεμιστήρα	0,5	0,5	0,5	0,5
Αύξηση πίεσης (Pa)	75	75	75	75
Μέγιστη ροή αέρα (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize	autosize
Απόδοση κινητήρα	0,9	0,9	0,9	0,9

Στο συμβατικό μοντέλο, η θέρμανση του νερού θα γίνεται μέσω ενός λέβητα ενώ η ψύξη θα γίνεται μέσω ενός chiller. Ο λέβητας που επιλέγουμε είναι μεταβλητής ροής, καύσιμου diesel, με απόδοση 0,8 και θερμοκρασία εξόδου νερού 82°C. Ζητάμε από το πρόγραμμα να υπολογίσει την ισχύ του λέβητα και την μέγιστη ροή νερού (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6: Ρυθμίσεις λέβητα

Στοιχείο	Λέβητας ζεστού νερού
Καύσιμο	Diesel
Ισχύς (W)	autosize

Θερμική απόδοση	0.8
Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	82
Ροή νερού (m ³ /hr)	autosize
Μέγιστη θερμοκρασία νερού (°C)	99
Τύπος ροής	Μεταβλητή ροή

Εξίσωση 4.7: Υπολογισμός ισχύος λέβητα^[11]

$$\dot{Q}_{boiler,nom} = C_{p,w} \times \rho_w \times \Delta T_{loop,des} \times \dot{V}_{loop,des}$$

όπου:

- $C_{p,w}$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού στους 5° [J/kg/k]
- ρ_w η πυκνότητα του νερού στους 5,05° [kg/m³]
- $\Delta T_{loop,des}$ η διαφορά θερμοκρασίας σχεδιασμού του κύκλου (επιλεγμένη από χρήστη) [K]
- $\dot{V}_{loop,des}$ η ογκομετρική παροχή σχεδιασμού του κύκλου (υπολογισμένη από τα coils θέρμανσης) [m³/s]

Ο chiller είναι ηλεκτρικός, μεταβλητής ροής με COP 3.2 και θερμοκρασία εξόδου νερού 7°C. Και εδώ, ζητάμε την μέγιστη ροή νερού και την ισχύ (Πίνακας 5.7). Για να λειτουργήσει όμως ο chiller χρειάζεται και έναν εναλλάκτη θερμότητας νερού – αέρα (Πίνακας 5.8). Το πρόγραμμα θα υπολογίσει ροή αέρα και νερού, ισχύ ανεμιστήρα και συνολική αγωγιμότητα.

Πίνακας 5.7: Ρυθμίσεις chiller

Στοιχείο	Chiller
Τύπος εναλλάκτη	Νερό
Ισχύς (W)	autosize
COP	3.2
Θερμοκρασία εισόδου εναλλάκτη (°C)	29
Συντελεστής αύξησης θερμοκρασίας	2.68
Θερμοκρασία εξόδου νερού (°C)	7.2

Ροή νερού (chiller) (m ³ /hr)	autosize
Ροή νερού (εναλλάκτης) (m ³ /hr)	autosize
Ελάχιστη θερμοκρασία νερού (°C)	5
Τύπος ροής	Μεταβλητής ροής

Εξίσωση 4.8: Υπολογισμός ισχύος chiller^[11]

$$\dot{Q}_{chiller,nom} = C_{p,w} \times \rho_w \times \Delta T_{loop,des} \times \dot{V}_{loop,des}$$

όπου:

- $C_{p,w}$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού στους 5° [J/kg/k]
- ρ_w η πυκνότητα του νερού στους 5,05° [kg/m³]
- $\Delta T_{loop,des}$ η διαφορά θερμοκρασίας σχεδιασμού του κύκλου (επιλεγμένη από χρήστη) [K]
- $\dot{V}_{loop,des}$ η ογκομετρική παροχή σχεδιασμού του κύκλου (υπολογισμένη από τα coils ψύξης) [m³/s]

Εξίσωση 4.9: Υπολογισμός ογκομετρικής παροχής νερού (εναλλάκτης)^[11]

$$\dot{V}_{cond,des} = \frac{\dot{Q}_{chiller,nom} \times (1 + 1/COP_{chiller,nom})}{\Delta T_{loop,des} \times C_{p,w} \times \rho_w}$$

όπου:

- $C_{p,w}$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού στη θερμοκρασία εισόδου [J/kg/k]
- ρ_w η πυκνότητα του νερού στους 5,05° [kg/m³]
- $\Delta T_{loop,des}$ η διαφορά θερμοκρασίας σχεδιασμού του κύκλου (επιλεγμένη από χρήστη) [K]
- $COP_{chiller,nom}$ η ονομαστική απόδοση του chiller (επιλεγμένη από χρήστη)

Πίνακας 5.8: Ρυθμίσεις εναλλάκτη

Στοιχείο	A/Θ νερού – αέρα
Ροή νερού (m ³ /hr)	autosize
Ροή αέρα (m ³ /hr)	autosize
Ισχύς ανεμιστήρα (W)	autosize
Αγωγιμότητα (W/m)	autosize

Τελικό βήμα του σχεδιασμού είναι η ένωση όλων των παραπάνω στοιχείων μεταξύ τους. Θα δημιουργηθούν 3 'κύκλοι'. Ο κύκλος θέρμανσης, ο κύκλος ψύξης και ο κύκλος του εναλλάκτη (Πίνακας 4.9). Για να γίνει αυτό, το πρόγραμμα απαιτεί τη δημιουργία κλάδων υδρονικού δικτύου (Πίνακας 4.10) που ενώνονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Ο κάθε κύκλος απαιτεί και τον δικό του κυκλοφορητή (Πίνακας 4.11).

Οι ρυθμίσεις που κάναμε και για τους 3 κύκλους είναι η επιλογή από το πρόγραμμα της μέγιστης παροχής νερού και ο συνολικός όγκος νερού που υπάρχει. Όσον αφορά τις επιμέρους αντλίες, ζητάμε τη μέγιστη ροή και την απαιτούμενη ισχύ.

Η συνολική συνδεσμολογία του συστήματος περιγράφεται στο Παράρτημα 2.

Πίνακας 4.9 Ρυθμίσεις κύκλου θέρμανσης – ψύξης – εναλλάκτη

Στοιχείο	Κύκλος θέρμανσης	Κύκλος ψύξης	Κύκλος εναλλάκτη
Τύπος ρευστού	Νερό	Νερό	Νερό
Μέγιστη θερμοκρασία κύκλου (°C)	100	20	40
Ελάχιστη θερμοκρασία κύκλου (°C)	10	1	10
Μέγιστη ροή νερού (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize
Ελάχιστη ροή νερού (m ³ /hr)	0	0	0
Όγκος νερού κύκλου (m ³)	autocalculate	autocalculate	autocalculate

Πίνακας 4.10: Ρυθμίσεις κλάδων υδρονικού δικτύου (παραδείγματα)

Στοιχείο	Κλάδος chiller	Κλάδος σωλήνα	Κλάδος bypass	Κλάδος fancoil
Τύπος	Chiller: Ηλεκτρικός	Σωλήνας: Αδιαβατικός	Σωλήνας: Αδιαβατικός	FanCoil
Όνομα	Chiller	Σωλήνας εξόδου	Bypass ζωνών	FanCoil υπ.
Τύπος ελέγχου	Ενεργό	Παθητικό	Bypass	Ενεργό

Πίνακας 4.11: Ρυθμίσεις κυκλοφορητών

Στοιχείο	Κυκλοφορητής θέρμανσης	Κυκλοφορητής ψύξης	Κυκλοφορητής εναλλάκτη
Ροή νερού (m ³ /hr)	autosize	autosize	autosize
Αύξηση πίεσης (Pa)	179352	179352	179352
Κατανάλωση ενέργειας (W)	autosize	autosize	autosize
Απόδοση κινητήρα	0.9	0.9	0.9

Αποτελέσματα

Για την προσομοίωση, η περίοδος έχει ρυθμιστεί για ένα έτος και ζητάμε από το πρόγραμμα εκτός του υπολογισμού των στοιχείων παραπάνω (πίνακες 4.12-20), τις θερμοκρασίες χώρων (σχήματα 4.2-5), τα φορτία των κύκλων θέρμανσης και ψύξης (σχήματα 4.6-7), την κατανάλωση diesel από τον λέβητα και τις καταναλώσεις ηλεκτρικού από το chiller.

Πίνακας 4.12: Υπολογισμένα στοιχεία fan coils

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Ροή αέρα (m ³ /hr)	1624,21	4706,06	571,17	1336,5
Ροή εξωτερικού αέρα (m ³ /hr)	135,93	135,93	67,96	67,96
Ροή νερού ψύξης (m ³ /hr)	1,82	4,77	0,56	1,31
Ροή νερού θέρμανσης (m ³ /hr)	0,39	2,74	0,39	0,71

Πίνακας 4.13: Υπολογισμένα στοιχεία heating coils

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Ισχύς (kW)	5,06	35,09	4,68	9,14
Ροή νερού (m ³ /hr)	0,39	2,74	0,39	0,71
Αγωγιμότητα (W/K)	114,03	895,88	115,66	230,86

Πίνακας 4.14: Υπολογισμένα στοιχεία cooling coils

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Ροή νερού (m ³ /hr)	1,82	4,77	0,56	1,31
Ροή αέρα (m ³ /hr)	1624,21	4706,06	571,17	1336,5
Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	7	7	7	7

Θερμοκρασία εισόδου αέρα (°C)	25,92	25,3	26,32	25,55
Θερμοκρασία εξόδου αέρα (°C)	12	12	12	12
Υγρασία αέρα εισόδου (kg_{H2O}/kg_{air})	0,0118	0,0111	0,0105	0,0107
Υγρασία αέρα εξόδου (kg_{H2O}/kg_{air})	0,008	0,008	0,008	0,008

Πίνακας 4.15: Υπολογισμένα στοιχεία fans

Στοιχείο	FanCoil υπ.	FanCoil ισ.	FanCoil 1 ^{ου} (1)	FanCoil 1 ^{ου} (2)
Ροή αέρα (m³/hr)	1624,21	4706,06	571,17	1336,5

Πίνακας 4.16: Υπολογισμένα στοιχεία λέβητα

Στοιχείο	Λέβητας
Ισχύς (kW)	47.52
Ροή νερού (m³/hr)	4,22
Κατανάλωση καυσίμου (lt/έτος)	6347,35

Πίνακας 4.17: Υπολογισμένα στοιχεία chiller

Στοιχείο	Chiller
Ισχύς (kW)	53.04
Ροή νερού (κύκλος ψύξης) (m³/hr)	8,46
Ροή νερού (κύκλος εναλλάκτη) (m³/hr)	2,82

Κατανάλωση ρεύματος (kWh/έτος)25558

Το μέγεθος του υπολογισμένου chiller είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο. Αυτό συμβαίνει διότι το E+ προσπαθεί να αντιδράσει σε ξαφνικές ακμές τις θερμοκρασίας με ακραία αύξηση της ισχύος. Κοιτώντας τα νούμερα του φορτίου ψύξης, ένας chiller 35kW θα ήταν αρκετός.

Πίνακας 4.18: Υπολογισμένα στοιχεία A/Θ νερού – αέρα

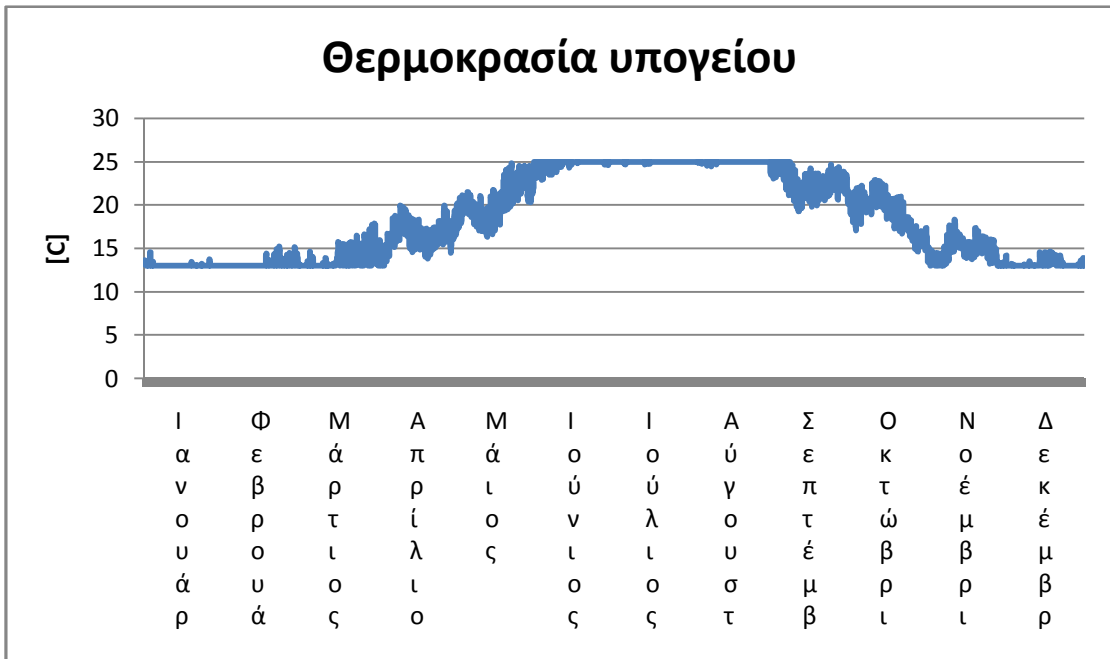
Στοιχείο	A/Θ νερού – αέρα
Ροή αέρα (m ³ /hr)	7086,81
Ροή νερού (m ³ /hr)	9,99
Ισχύς ανεμιστήρα (W)	730
Αγωγιμότητα (W/K)	4459,13

Πίνακας 4.19: Υπολογισμένα στοιχεία κυκλοφορητών

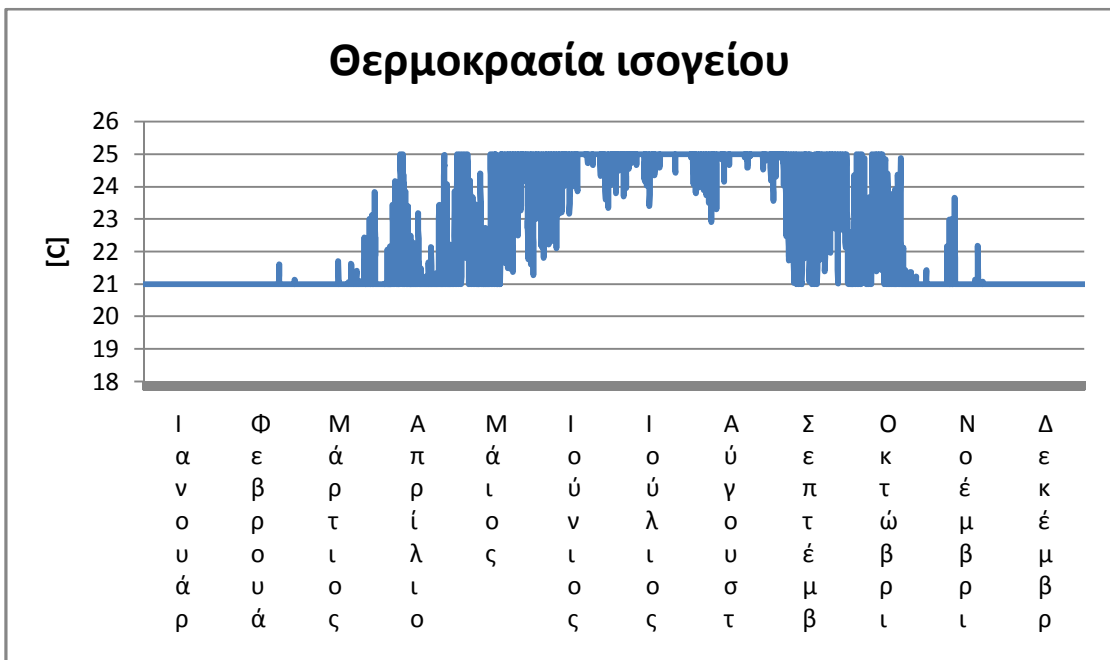
Στοιχείο	Κύκλ. ψύξης	Κύκλ. θέρμανσης	Κύκλ. εναλλάκτη
Ροή νερού (m ³ /hr)	8,46	4,22	2,82
Ισχύς (W)	601,09	300,01	200,6

Πίνακας 4.20: Υπολογισμένα στοιχεία κύκλων

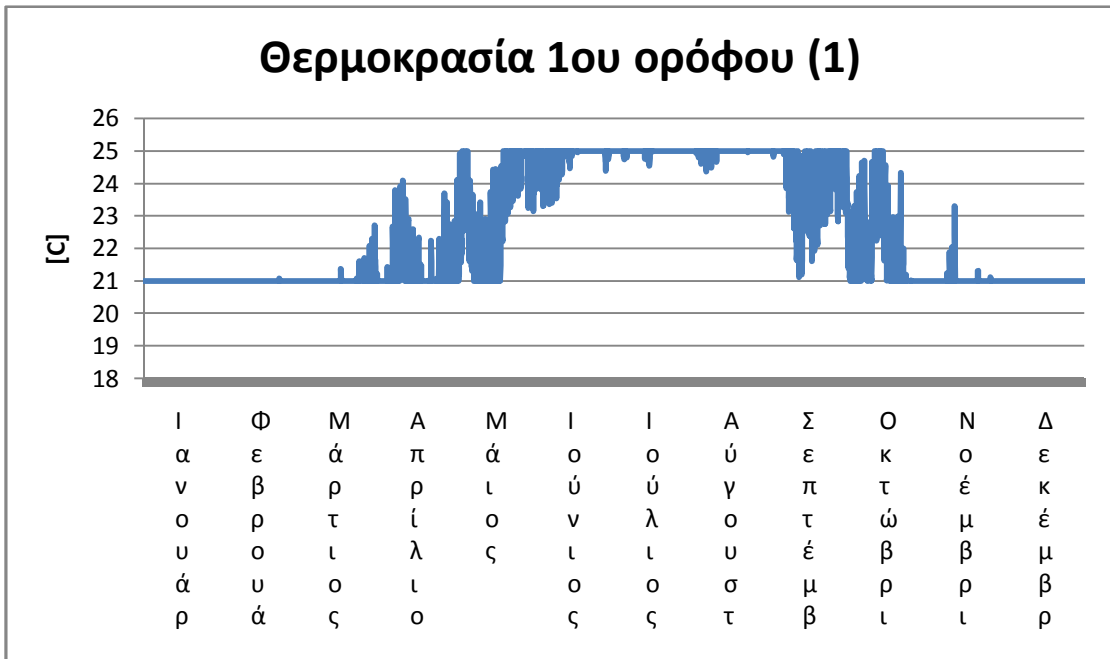
Στοιχείο	Κύκλ. ψύξης	Κύκλ. θέρμανσης	Κύκλ. εναλλάκτη
Ροή νερού (m ³ /hr)	8,46	4,22	2,82
Όγκος νερού (m ³)	0,88	1,76	0,58



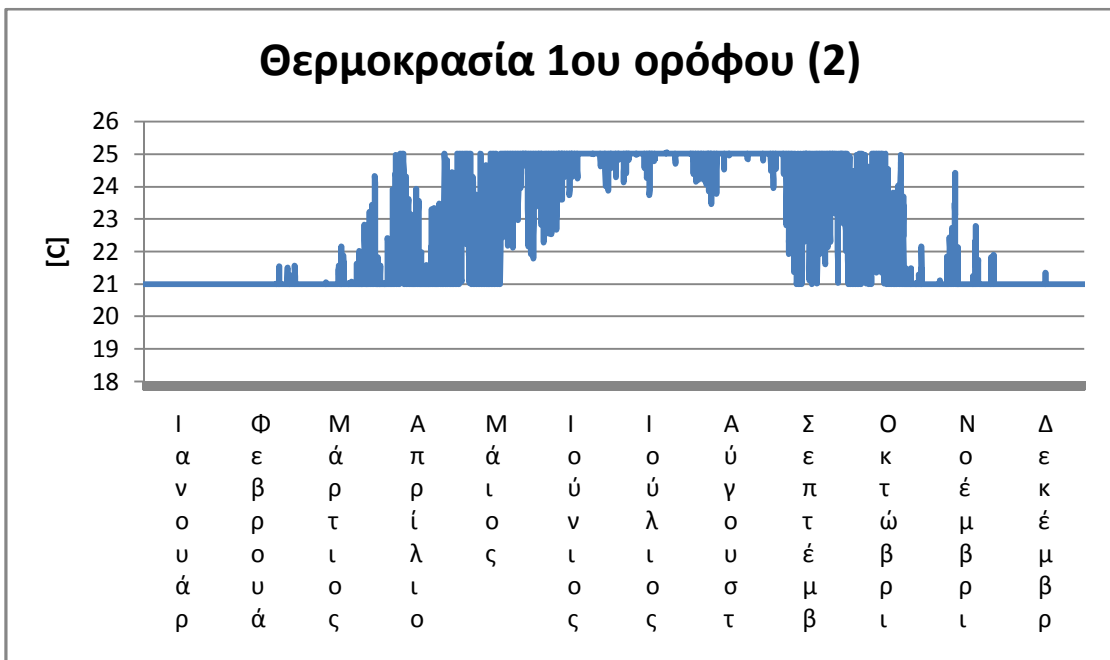
Σχήμα 4.1: Θερμοκρασία υπογείου



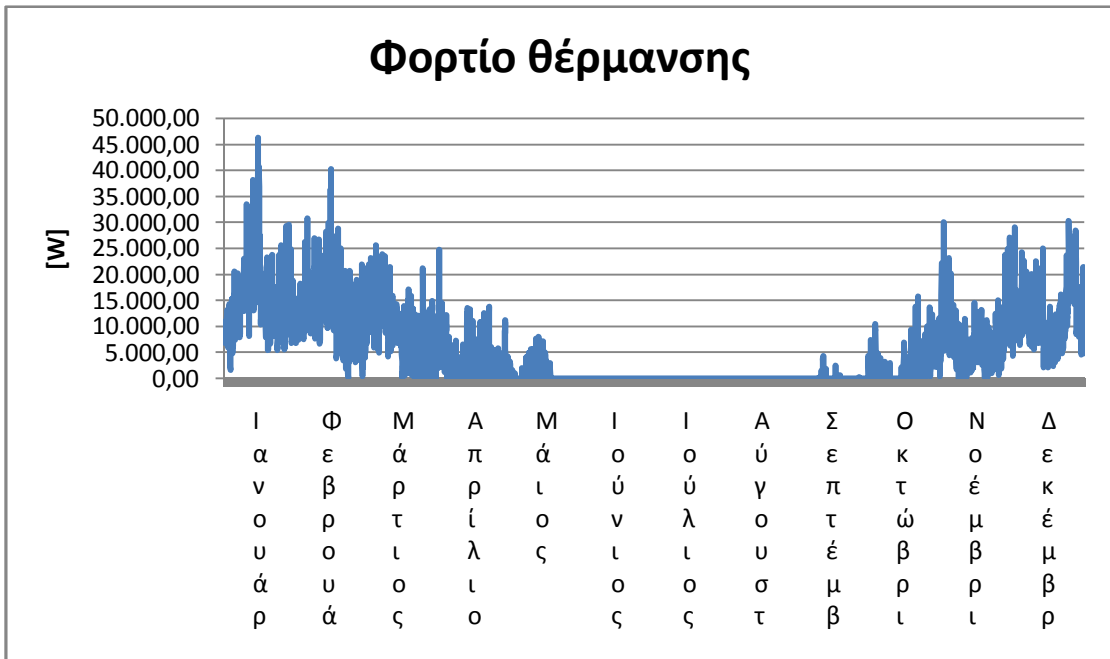
Σχήμα 4.2: Θερμοκρασία ισογείου



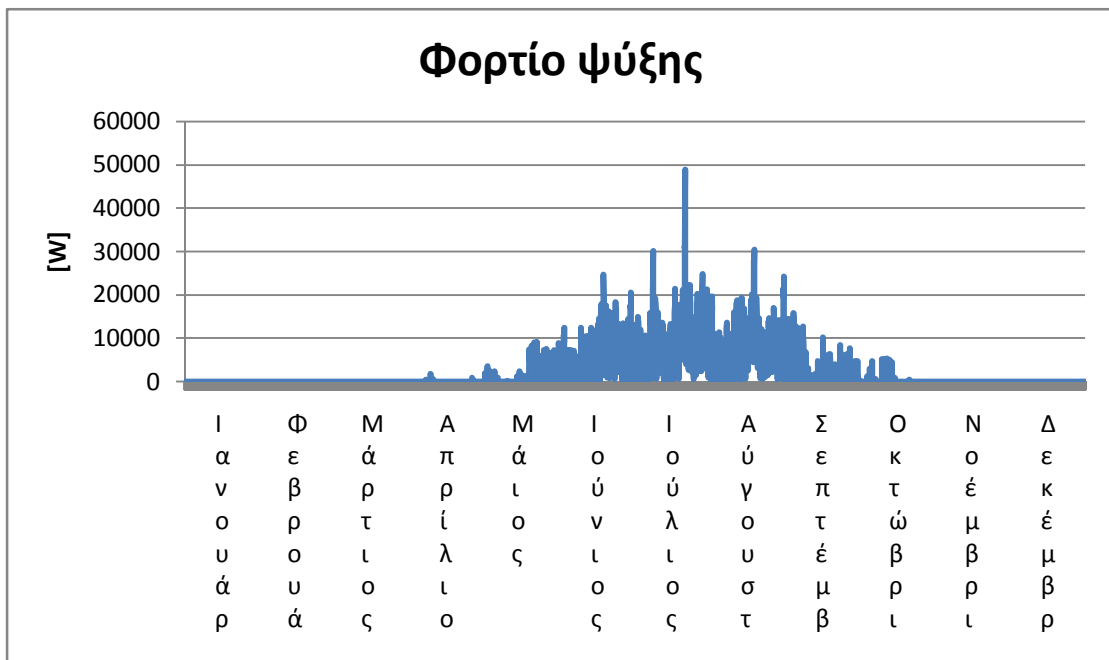
Σχήμα 4.3: Θερμοκρασία 1^{ου} ορόφου (1)



Σχήμα 4.4: Θερμοκρασία 1^{ου} ορόφου (2)



Σχήμα 4.5: Φορτίο κύκλου θέρμανσης



Σχήμα 4.6: Φορτίο κύκλου ψύξης

Κεφάλαιο 5: Διαστασιολόγηση συστήματος γεωθερμίας

5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το πρόγραμμα RETScreen^[5] βασίζεται πάνω σε μακροεντολές του υπολογιστικού προγράμματος Excel. Σκοπός του προγράμματος είναι η αποτίμηση της ενεργειακής παραγωγής ενός κτιρίου, εξοικονόμηση ενέργειας, κόστος κύκλου ζωής, μείωση εκπομπών ρύπων και η οικονομική ανάλυση ΑΠΕ.

Το πρόγραμμα είναι σχετικά απλό καθώς απαιτεί από τον χρήστη μόνο να συμπληρώσει κάποια κελιά με τιμές και έπειτα αναλύει και παρουσιάζει τα αποτελέσματα σε άλλα κελιά. Απαιτείται ήδη κάποια προεργασία, όπως για παράδειγμα, ο υπολογισμών των θερμικών απωλειών ενός κτιρίου ή η ισχύς των στοιχείων ενός κύκλου θέρμανσης.

Το E+ δεν μπορεί να υπολογίσει μόνο του δεδομένα για συστήματα που περιέχουν αντλίες θερμότητας και γεωεναλλάκτες. Ο ρόλος του RETScreen είναι να κάνει την διαστασιολόγηση του εναλλάκτη ώστε να συμπεριληφθούν τα δεδομένα στο ενεργειακό μοντέλο του E+.

5.2 Σχεδίαση συστήματος

Στην αρχική εικόνα του προγράμματος, μας ζητείται ο τύπος του έργου, η θερμογόνος ικανότητα αναφοράς και η συνθήκες τοποθεσίας. Επιλέγουμε 'Συμπααραγωγή θερμότητας και ψύξης', 'Ανώτερη θερμογόνο ικανότητα' και για κλιματικά, επιλέγουμε από την λίστα την περιοχή της Αγριάς Βόλου που έχει ακριβώς τις ίδιες κλιματολογικές συνθήκες.

Έπειτα, αυτό που θέλουμε από το πρόγραμμα είναι να μας δώσει στοιχεία για το μήκος της ισχύ του γεωεναλλάκτη που επιθυμούμε. Επιλέγουμε αυθαίρετα 20kW και για θέρμανση και για ψύξη με μέσο φορτίο το 70% της ισχύος. Παρατηρώντας τα φορτία θέρμανσης και ψύξης (Σχήμα 4.5-6), φαίνεται ότι η ισχύς των 20kW είναι πάνω από το μέσο όρο φορτίου. Έτσι ο λέβητας θα χρησιμοποιείται όταν πραγματικά χρειάζεται και θα υπάρχει ικανοποιητική εξοικονόμηση καυσίμου και κατά συνέπεια, κόστους.

Στο τύπο εδάφους βάζουμε ‘ελαφρύ χώμα – υγρό’ και θερμοκρασία 16°C. Ο τύπος του εναλλάκτη είναι ‘κλειστός κάθετος βρόχος’ και σαν μήκος αναφοράς, έχουμε το μήκος που απαιτείται για την ψύξη.

Εξίσωση 5.1: Υπολογισμός μήκους γεωεναλλάκτη^[5]

$$L_h = q_{d,heat} \left[\frac{\frac{(COP_h - 1)}{COP_h} (R_f + R_s F_h)}{T_{g,min} - T_{ewt,min}} \right]$$

όπου:

- COP_h ο επιθυμητός βαθμός απόδοσης
- R_p η θερμική αντίσταση του σωλήνα [°C/W]
- R_s η θερμική αντίσταση του εδάφους [°C/W]
- F_h το μέσο φορτίο της αντλίας θερμότητας [W]
- $T_{g,min}$ η ελάχιστη θερμοκρασία εδάφους [°C]
- $T_{ewt,min}$ η ελάχιστη θερμοκρασία εισόδου στον γεωεναλλάκτη [°C]

Το αποτέλεσμα είναι να χρειαζόμαστε 3.819m γεωεναλλάκτη σε μια επιφάνεια εδάφους 180m². Η επιλογή του εναλλάκτη στη συνέχεια ήταν ένας των 3.840m με 20 γεωτρήσεις των 96m η κάθε μία.

Από το πρόγραμμα δεν χρησιμοποιήσαμε καθόλου τις καρτέλες ‘Φορτίο & δίκτυο’ και ‘Ενεργειακό μοντέλο’. Και αυτό γιατί, εκεί γίνεται ανάλυση της ενεργειακής ανάγκης ενός κτιρίου, κάτι το οποίο δεν μας χρειάζεται καθώς τα δεδομένα αυτά έχουν ήδη υπολογιστεί από το E+.

Κεφάλαιο 6: Προσομοίωση γεωθερμικού συστήματος

6.1 Εισαγωγή μοντέλου

Μετά την διαστασιολόγηση του συστήματος γεωθερμίας από το πρόγραμμα RETScreen, απαιτείται η εισαγωγή αυτών των στοιχείων στο E+ και οι επακόλουθες προσομοιώσεις.

Στο κομμάτι αυτή της εργασίας, προστίθεται στην οικία ένα σύστημα γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας συνδεδεμένο με μια αντλία θερμότητας για θέρμανσης και ψύξη του χώρου. Η ύπαρξη ενός τέτοιου συστήματος προϋποθέτει την μη χρήση συστήματος ψύξης και την χρήση ενός δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης. Υπό κανονικές συνθήκες, η A/Θ θα συνδεόταν παράλληλα με τον λέβητα και με χρήση ηλεκτροβάνας, θα περνούσε νερό από τον λέβητα όταν το φορτίο θέρμανσης ξεπερνούσε τις δυνατότητες της A/Θ.

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό. Η A/Θ πρέπει να λειτουργεί σε θερμοκρασίες χαμηλές ενώ ο λέβητας μόνο σε υψηλές. Στο ίδιο κύκλο δεν γίνεται να υπάρχουν δύο διαφορετικές θερμοκρασίες εξόδου. Άρα, η μόνη λύση είναι η δημιουργία δύο ξεχωριστών κύκλων για της A/Θ, μία για την θέρμανση και μία για την ψύξη. Άμεση συνέπεια είναι και η ύπαρξη διπλού αριθμού fan coil στο σπίτι καθώς τα ήδη υπάρχοντα δεν μπορούν να αποτελούν μέρος και δεύτερου κύκλου.

Όσον αφορά τα νέα fan coil, οι ρυθμίσεις είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτά του συμβατικού συστήματος. Μόνη διαφορά είναι ότι στη θέρμανση η θερμοκρασία εισόδου είναι στους 40°C. Ο λέβητας έχει πλέον ισχύ 25kW ενώ οι μέγιστες ροές νερού θέρμανσης και ψύξης έμειναν ίσες.

6.2 Προσομοίωση γεωθερμικού συστήματος

Για να προσομοιωθεί ένα τέτοιο σύστημα, χρειάζεται ξεχωριστή ρύθμιση της A/Θ για την θέρμανσης, της A/Θ για την ψύξη και του γεωεναλλάκτη θερμότητας. Στην A/Θ θέρμανσης ορίζουμε ως μέγιστη ροή στην πλευρά των fan coil τα 4,22m³/hr, μέγιστη ροή στην πλευρά του εναλλάκτη τα 6,8 m³/hr, και ισχύ 20kW (επιλεγμένη τιμή στο

RETScreen). Στην A/Θ ψύξης η μέγιστη ροή στα fan coil είναι 8,46 m³/hr ενώ η ροή στο εναλλάκτη και η ισχύς είναι ίση με την θέρμανση (Πίνακας 6.1). Οι τιμές ροής για θέρμανση και ψύξη είναι οι τιμές που υπολόγισε το πρόγραμμα στο συμβατικό σύστημα ενώ η ροή του εναλλάκτη βγαίνει από μαθηματικό τύπο (3gallons/min/RT).

Πίνακας 6.1: Ρυθμίσεις A/Θ (θέρμανσης – ψύξης)

Στοιχείο	A/Θ θέρμανσης	A/Θ ψύξης
Μέγιστο COP	5	5
Ισχύς (kW)	20	20
Ροή κυκλ. γεωεναλλάκτη (m ³ /hr)	6.8	6.8
Ροή κυκλ. οικίας (m ³ /hr)	4.22	8.46
Αγωγιμότητα κυκλ. γεωεναλλάκτη (W/K)	3998	3998
Αγωγιμότητα κυκλ. οικίας (W/K)	7761	7761

Εξίσωση 6.1: Υπολογισμός ισοζυγίου ενέργειας A/Θ^[11]

$$\dot{Q}_s = \dot{Q}_t + \dot{W}$$

όπου:

- \dot{Q}_s ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας (φορτίο) [W]
- \dot{Q}_t ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας (πηγή) [W]
- \dot{W} η ισχύς της αντλίας θερμότητας [W]

Οι ρυθμίσεις του γεωεναλλάκτη είναι πιο σύνθετες. Η μέγιστη ροή του είναι στα 6,8 m³/hr (3gallons/min/RT*9RT) και αποτελείται από 20 τρύπες των 96 μέτρων η μία. Οι σωλήνες είναι από πλαστικό με διάμετρο 0,0381m και αγωγιμότητα 0,391312W/mK. Το έδαφος έχει αγωγιμότητα ίση με 2,493 W/mK και θερμοχωρητικότητα 2347kJ/m³K. Το γέμισμα από τις τρύπες έχει αγωγιμότητα 0,744W/mK , ενώ το ρευστό έχει 0,602836W/mK (σχήμα 5.23). Για ρευστό, χρησιμοποιήθηκε νερό, χωρίς προσθήκη αντιψυκτικού, συνολικού όγκου 4,37m³. Οι τιμές που επιλέχθηκαν είναι διαθέσιμες από το

ίδιο το πρόγραμμα και αντιστοιχούν σε τιμές στεγνού χώματος και κοινών πλαστικών σωλήνων

Πίνακας 6.2: Ρυθμίσεις γεωεναλλάκτη

Στοιχείο	Γεωθερμικός εναλλάκτης
Μέγιστη ροή νερού (m ³ /hr)	6,8
Αριθμός τρυπών	20
Μήκος σωλήνων (m)	96
Διάμετρος τρυπών (m)	0,0635
Αγωγιμότητα εδάφους (W/mk)	2,493
Θερμοχωρητικότητα νερού (J/kgK)	4182
Θερμοκρασία εδάφους (°C)	16
Αγωγιμότητα χώματος τρυπών (W/mk)	0,744
Αγωγιμότητα σωλήνα (W/mk)	0,3913
Αγωγιμότητα νερού (W/mk)	0,6026
Πυκνότητα νερού (kg/m ³)	998,2
Ιξώδες νερού (Ns/m ²)	0,00098
Διάμετρος σωλήνα (m)	0,0381

Εξίσωση 6.2: Υπολογισμός θερμοκρασία εξόδου γεωεναλλάκτη^[11]

$$\begin{aligned}
 T_{nts} = T_{ground} &+ \sum_{m=1}^{calb} \left[\frac{\bar{q}_m - \bar{q}_{m-1}}{2\pi\kappa_{ground}} g \left(\frac{t_{nts} - t_{mb[m-1]}}{t_s}, \frac{r_b}{H} \right) \right] \\
 &+ \sum_{n=nh-[calb(mb)+sh]}^{nh-sh} \left[\frac{\bar{q}_n - \bar{q}_{n-1}}{2\pi\kappa_{ground}} g \left(\frac{t_{nts} - t_{n-1}}{t_s}, \frac{r_b}{H} \right) \right] \\
 &+ \sum_{p=nts-sh}^{nts} \left[\frac{\bar{q}_p - \bar{q}_{p-1}}{2\pi\kappa_{ground}} g \left(\frac{t_{nts} - t_p}{t_s}, \frac{r_b}{H} \right) \right]
 \end{aligned}$$

όπου:

- q'' το μέσο μηνιαίο φορτίο [W]
- q' το μέσο ωριαίο φορτίο [W]
- m ο αριθμός των μηνιαίων κελιών

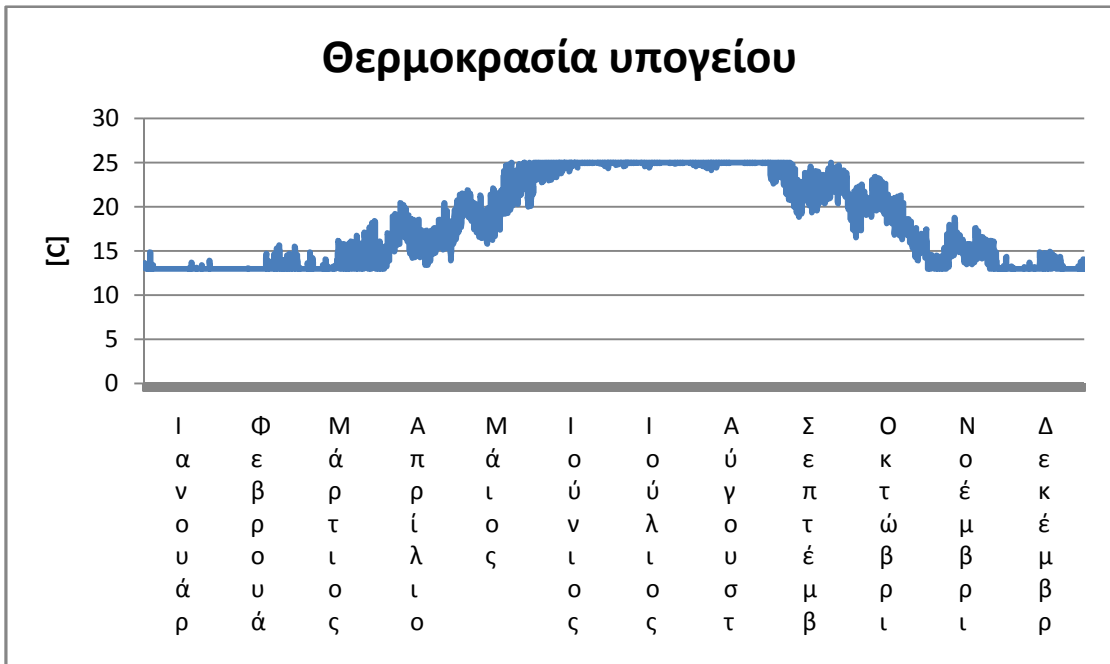
- p ο αλγόριθμος φορτίων κάτω από 1 ώρα
- t ο χρόνος [s]
- t_p τα χρονικά βήματα σε όλο το ιστορικό
- r_b η διάμετρος της τρύπας [m]
- H το μήκος της τρύπας [m]

Συνολικά η συνδεσμολογία περιγράφεται στο Παράρτημα 2.

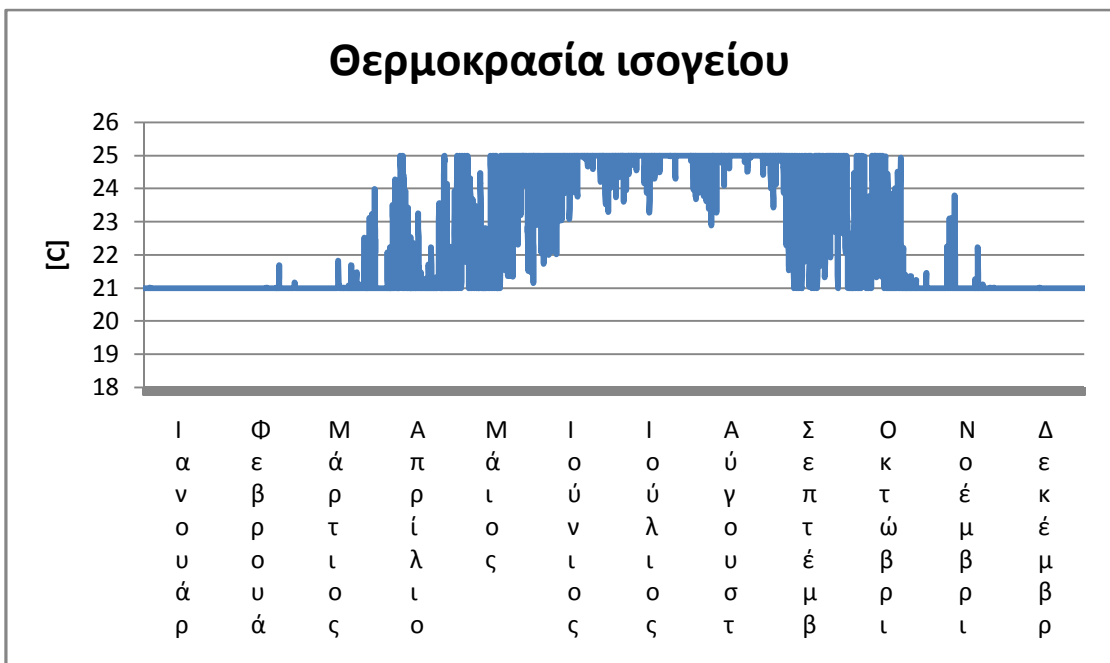
Αποτελέσματα

Δεν υπάρχει κάποια διαφορά σε σχέση με την προηγούμενη προσομοίωση. Η περίοδος εξακολουθεί να είναι 1 έτος, ζητάμε θερμοκρασίες χώρων (σχήματα 6.1-4) και φορτία θέρμανσης ψύξης (σχήματα 6.5-6). Στην περίπτωση αυτή όμως, χρειάζονται και κάποια ακόμα στοιχεία. Το ποσοστό χρήσης του λέβητα (σχήμα 6.7), οι θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου του γεωεναλλάκτη (σχήματα 6.8-9) καθώς και η εποχιακή απόδοση (SEER) της A/Θ για θέρμανση και ψύξη (πίνακας 6.3). Επίσης, υπολογίζεται και η κατανάλωση ρεύματος της A/Θ (πίνακας 6.4) και η κατανάλωση καυσίμου του λέβητα (πίνακας 6.5).

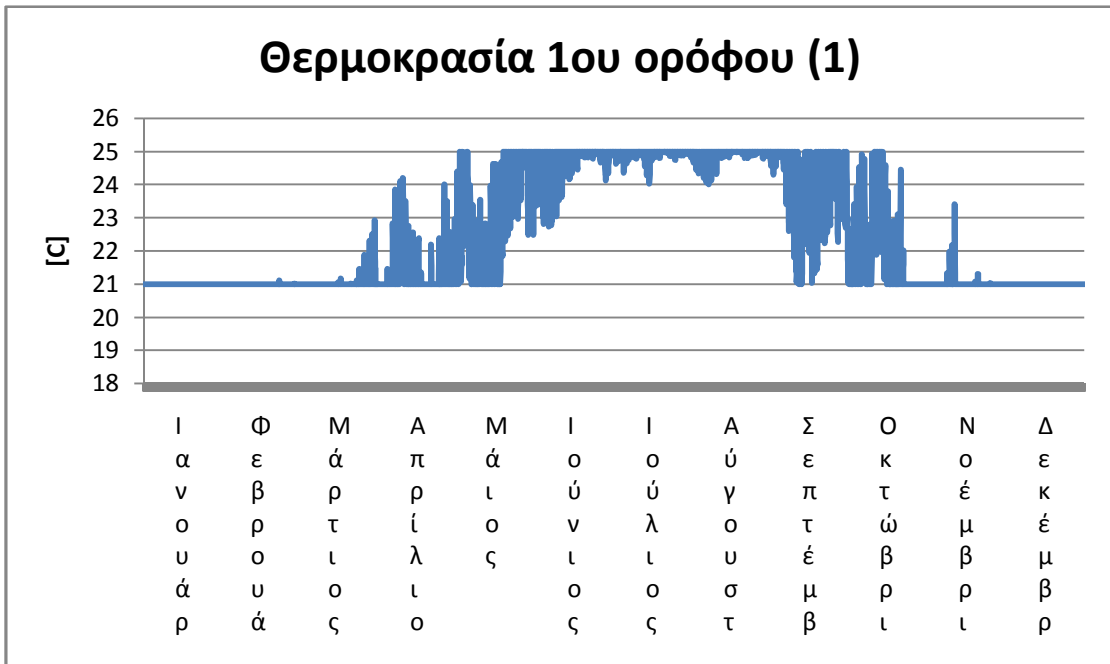
Ο λόγος για τον οποίο γίνεται ανάλυση και του εποχιακού βαθμού απόδοσης είναι για να φανεί εάν και κατά πόσο η λειτουργία της A/Θ είναι σύμφωνη με τα σημερινά δεδομένα. Για να θεωρείται ικανοποιητική η απόδοση πρέπει το SEER να είναι ανώτερο του 14, το EER μεγαλύτερο του 11.5 και το COP μεγαλύτερο από 2.5. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε θερμοκρασία εδάφους 25°C.



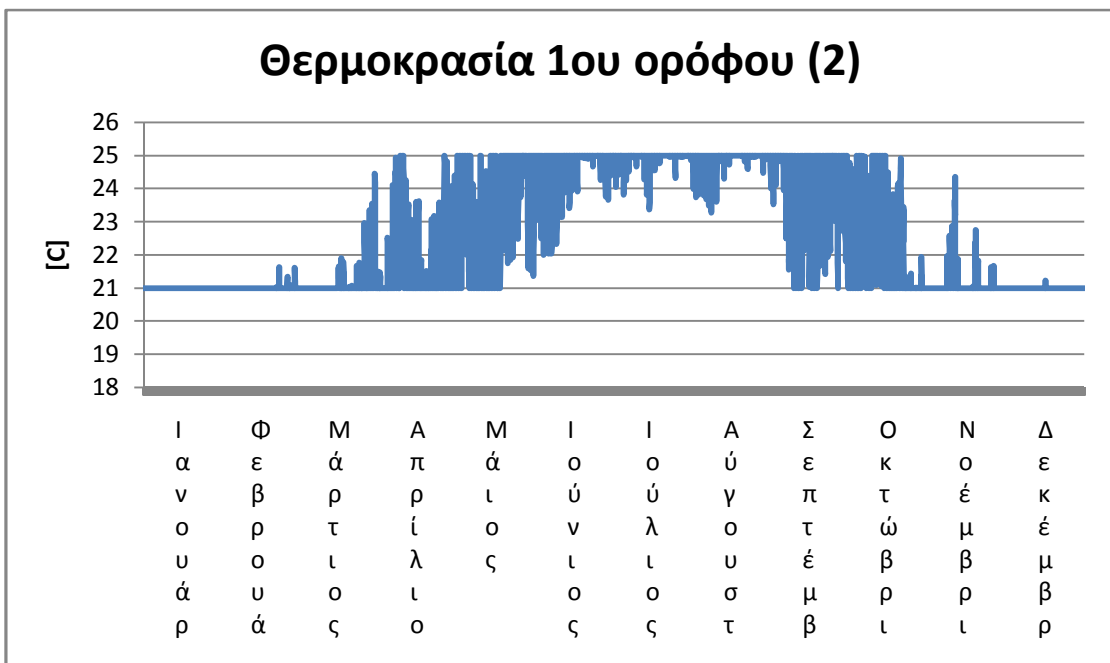
Σχήμα 6.1: Θερμοκρασία υπογείου



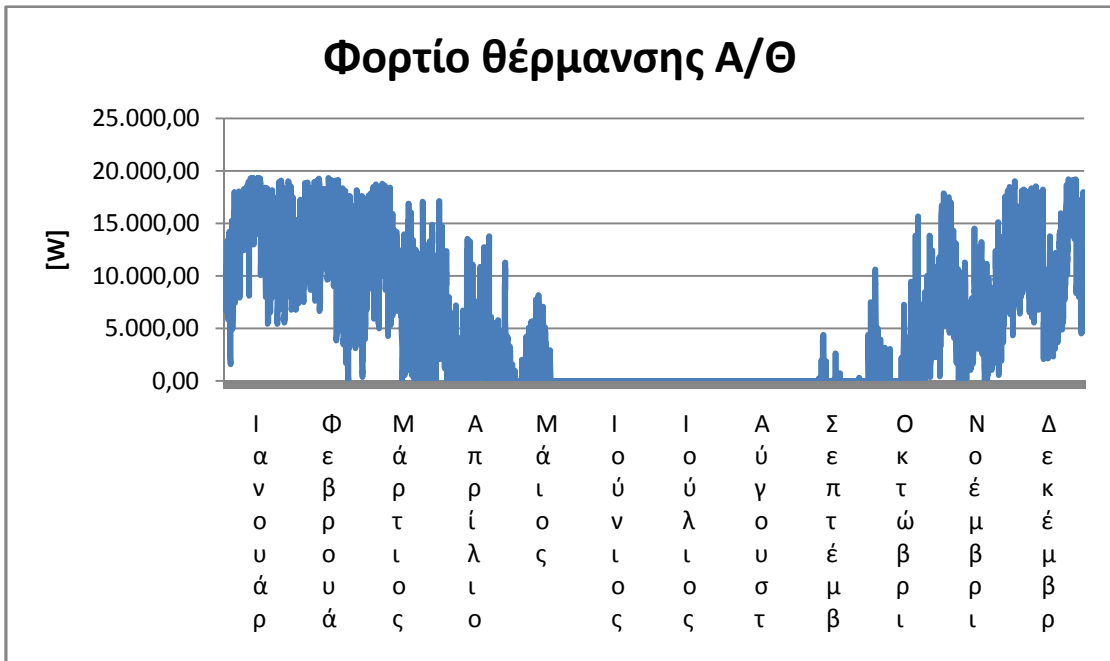
Σχήμα 6.2: Θερμοκρασία ισογείου



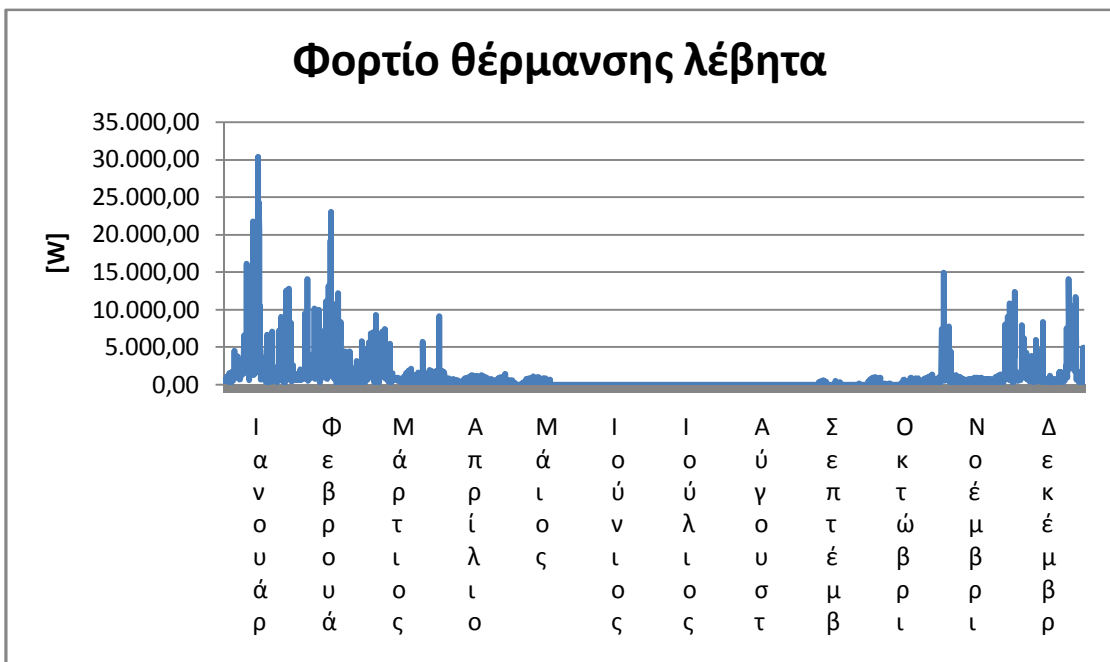
Σχήμα 6.3: Θερμοκρασία 1^{ου} ορόφου (1)



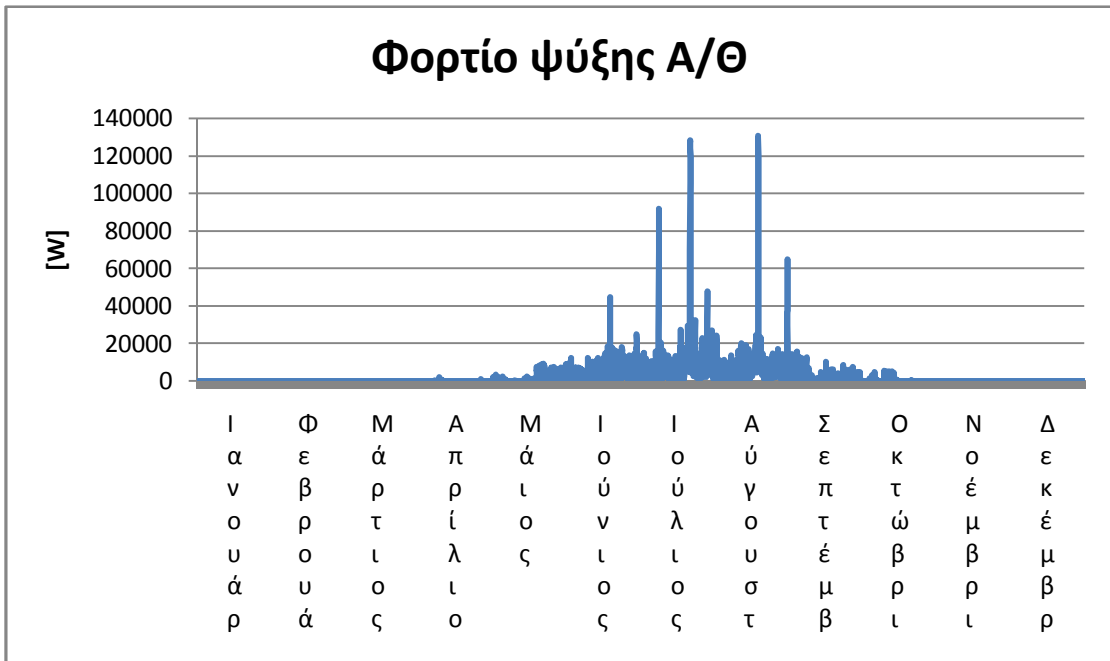
Σχήμα 6.4: Θερμοκρασία 1^{ου} ορόφου (2)



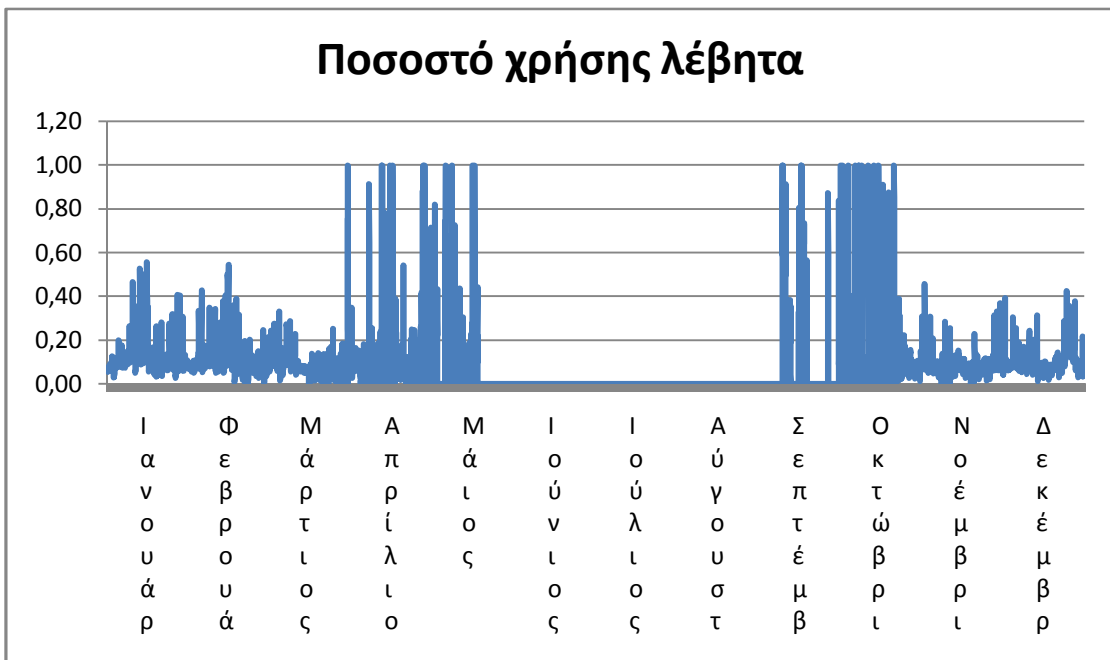
Σχήμα 6.5: Φορτίο θέρμανσης Α/Θ



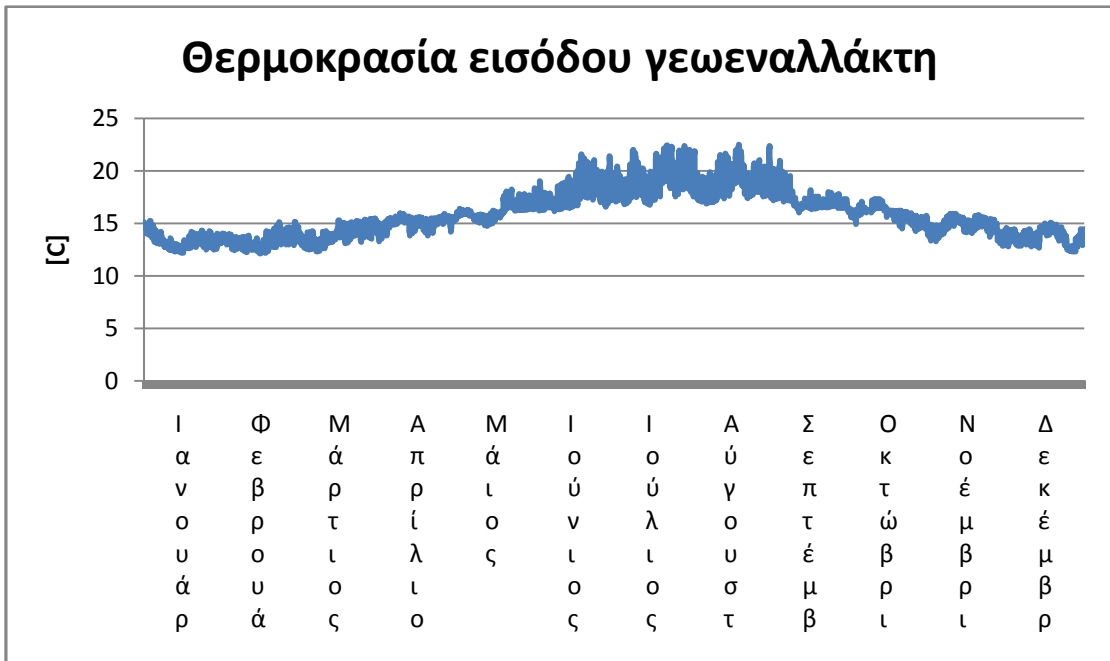
Σχήμα 6.6: Φορτίο θέρμανσης λέβητα



Σχήμα 6.7: Φορτίο ψύξης A/Θ (λόγω προβλήματος του E+, οι ακραίες τιμές δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα)



Σχήμα 6.8: Ποσοστό χρήσης λέβητα (σε μικρά φορτία, το πρόγραμμα ξεκινά με τον λέβητα για πιο γρήγορη αντίδραση)



Σχήμα 6.9: Θερμοκρασία εισόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 6.10: Θερμοκρασία εξόδου γεωεναλλάκτη

Πίνακας 6.3: Τιμές απόδοσης A/Θ

	SEER	EER	COP
Θέρμανση	12,882	11,1089	3,25491
Ψύξη	13,9877	11,7531	3,44366

Πίνακας 6.4: Κατανάλωση ρεύματος A/Θ

	kWh/έτος
Θέρμανση	11007,68944
Ψύξη	4470,161169

Πίνακας 6.5: Κατανάλωση καυσίμου λέβητα

	lt/έτος
Λέβητας	836,80

Κεφάλαιο 7: Σύγκριση αποτελεσμάτων

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες μέσα στην οικία, παρατηρούμε ότι και τα δύο συστήματα μπορούν να ικανοποιήσουν τους θερμοστάτες. Όμως, για να επιτευχθεί αυτό από το συμβατικό σύστημα απαιτούνται πολύ μεγάλες ποσότητες καυσίμου και ηλεκτρική ενέργειας συγκριτικά με το σύστημα γεωθερμικού εναλλάκτη.

Συγκεκριμένα, η κατανάλωση του λέβητα είναι 6347,35lt και η κατανάλωση ρεύματος του chiller είναι 25518,04kWh για όλη τη διάρκεια του έτους. Στο γεωθερμικό κύκλωμα απαιτούνται 836,8lt για το λέβητα και 15477,85kWh συνολικά για την Α/Θ. Η εγκατάσταση ενός γεωθερμικού συστήματος όμως απαιτεί αρκετά μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο. Έτσι με μια πρόχειρη οικονομική μελέτη^[12] προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (πίνακες 7.1-2). Δεν περιλαμβάνεται το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των fancoil αφού θα είναι ίδια και στις 2 περιπτώσεις και δεν θα αλλάξουν τον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης.

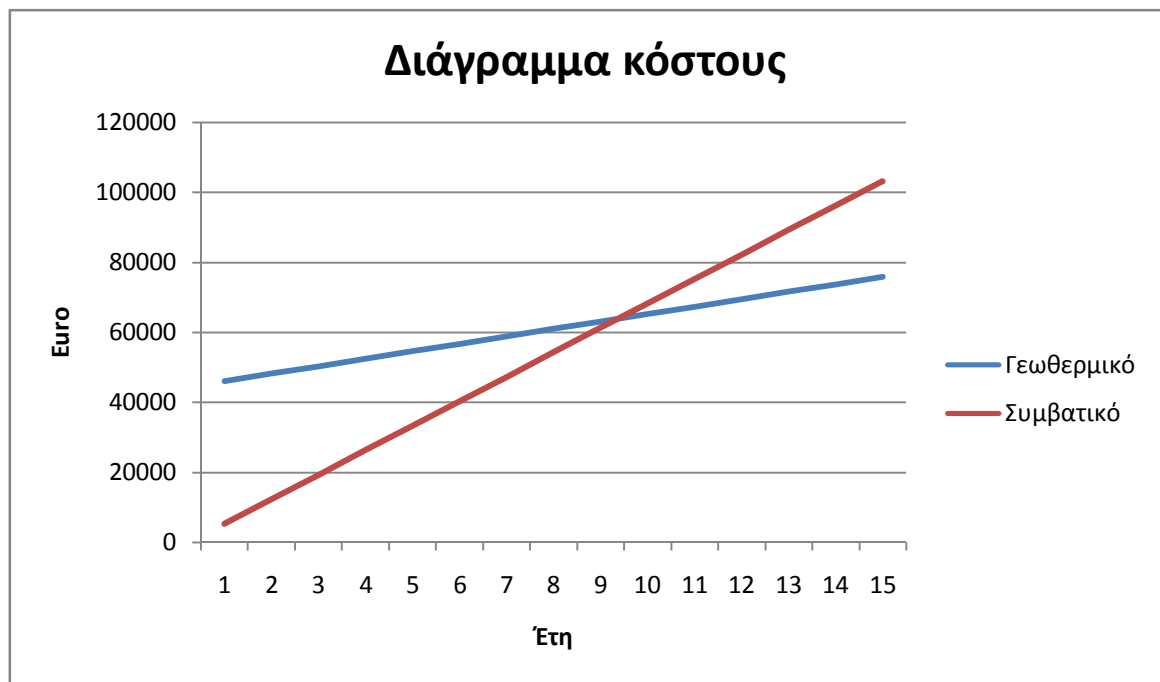
Πίνακας 7.1: Κόστος εγκατάστασης γεωθερμικού κυκλώματος

Εξάρτημα	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος
Κυκλοφορητής	150	1	150
Α/Θ	9000	1	9000
Λέβητας	1100	1	1100
Τρυπήματα	15/m	1920m	28800
Σωλήνες	1,82/m	3840m	6988,8
		Σύνολο	46038,8

Πίνακας 7.2: Κόστος εγκατάστασης συμβατικού κυκλώματος

Εξάρτημα	Τιμή	Ποσότητα	Κόστος
Λέβητας	1700	1	1700
Chiller	3600	1	3600
		Σύνολο	5300

Με τιμή ηλεκτρικού ρεύματος 0,1€/kWh και πετρελαίου 0,7€/lt, το ετήσιο κόστος για το γεωθερμικό κύκλωμα είναι 2133,54€ και για το συμβατικό 6994,94€. Έτσι προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα κόστους (σχήμα 7.1). Η παραδοχή που γίνεται είναι ότι οι τιμές πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος θα παραμείνουν σταθερές όσο περνάνε τα έτη.



Σχήμα 7.1: Διάγραμμα κόστους συστημάτων

Βάσει αυτού του σχήματος, φαίνεται ότι η απόσβεση μιας γεωθερμικής εγκατάστασης θα έρθει σε 9,38 έτη.

Κεφάλαιο 8: Παραμετρικές μελέτες

Εκτός του βασικού μοντέλου προσομοίωσης, έγιναν και κάποιες παραμετρικές μελέτες για να φανούν οι επιδράσεις κάποιων στοιχείων στα αποτελέσματα. Οι αλλαγές έγιναν στην διάμετρο των σωληνώσεων, στην ροή του υγρού στον εναλλάκτη, στην σύνθεση του υγρού, στη θερμοκρασία εδάφους και στον τύπο εδάφους.

Συνήθως, η διάμετρος των σωληνώσεων κυμαίνεται από 1,5-2in ενώ η ροή είναι περίπου 3gallons/min ανά ψυκτικό τόνο^[13]. Η ποσότητα αντιψυκτικού είναι ανάμεσα στο 15 με 25%^[14] και η θερμοκρασία εδάφους για την νότια Ευρώπη είναι στους 15-18°C^[15].

Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν μόνο τον κύκλο του εναλλάκτη θερμότητας. Οι απαιτήσεις του κύκλου θέρμανσης παραμένουν σταθερές, ενώ αλλάζει η συμπεριφορά της αντλίας θερμότητας (κατανάλωση ρεύματος – SEER). Παρακάτω, υπάρχουν διαγράμματα μεταβολής θερμοκρασιών εισόδου-εξόδου γεωεναλλάκτη, απαιτήσεις ηλεκτρικού ρεύματος A/Θ, τιμές κατανάλωσης αντλίας γεωεναλλάκτη και τιμές SEER για κάθε σετ μελετών.

Εξίσωση 8.1: Υπολογισμός πτώσης πίεσης αντλιών

$$\Delta p = \zeta \times \frac{L}{D} \times \frac{\rho}{2} \times \bar{w}^2$$

όπου:

- ζ ο συντελεστής τριβής του σωλήνα
- L/D ο λόγος μήκους προς διάμετρο σωλήνα [m/m]
- ρ η πυκνότητα του υγρού [kg/m³]
- w η ταχύτητα ροής του υγρού [m/sec]

Εξίσωση 8.2: Υπολογισμός κατανάλωσης ρεύματος αντλιών

$$E = \Delta p \times Q \times (\text{hour}) \times \text{eff}$$

όπου:

- Δp η πτώση πίεσης [Pa]
- Q η παροχή της αντλίας [m³/hr]
- (hour) οι ώρες λειτουργίας
- eff η απόδοση της αντλίας

8.1 Διάμετρος σωληνώσεων

Στο πρώτο σετ παραμετρικών μελετών, διαφοροποιείται η διάμετρος των σωληνών που εισέρχονται στο έδαφος. Οι προσομοιώσεις έγιναν με την χρήση σωληνώσεων 0,75in, 1in, 1,25in και 1,5in που είναι και η αρχική διάμετρος. Αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής είναι και η διαφοροποίηση στη ποσότητα του ρευστού που υπάρχει στον εναλλάκτη.

Συνοπτικά:

- 0,75in με 1,09m³ νερού
- 1in με 1,94m³ νερού
- 1,25in με 3,04m³ νερού
- 1,5in με 4,37m³ νερού (βασικό μοντέλο)

Ακολουθούν οι τιμές απόδοσης για θέρμανση και ψύξη (Πίνακες 8.1-.2), καταναλώσεις ρεύματος αντλιών και Α/Θ (Πίνακας 8.3-4) και τα διαγράμματα θερμοκρασία εισόδου – εξόδου γεωεναλλάκτη (Σχήματα 8.1, 8.2) και τα φορτία θέρμανσης και ψύξης (Σχήματα 8.3, 8.4).

Πίνακας 8.1: Τιμές απόδοσης θέρμανσης

Διάμετρος	SEER	EER	COP
0,75in	12,7557	11,0322	3,23244
1in	12,8185	11,0705	3,24364
1,25in	12,8565	11,0935	3,25039
1,5in (β.μ.)	12,882	11,1089	3,25491

Πίνακας 8.2: Τιμές απόδοσης ψύξης

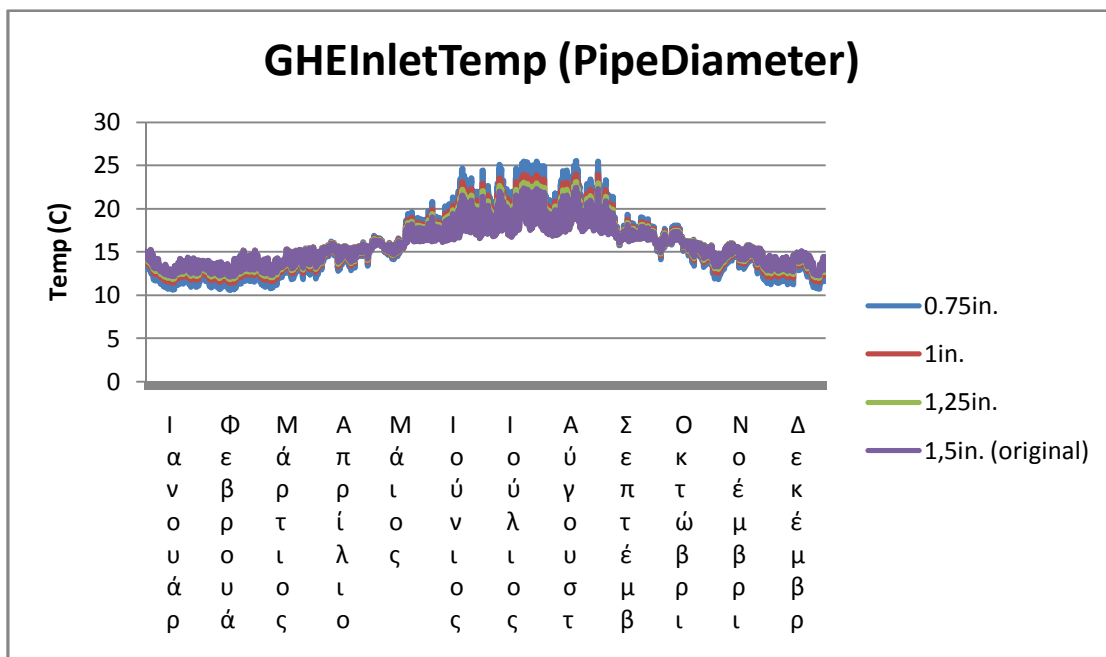
Διάμετρος	SEER	EER	COP
0,75in	13,3905	11,4113	3,3435
1in	13,686	11,5822	3,39358
1,25in	13,8665	11,6849	3,42368
1,5in (β.μ.)	13,9877	11,7531	3,44366

Πίνακας 8.3: Τιμές κατανάλωσης αντλιών

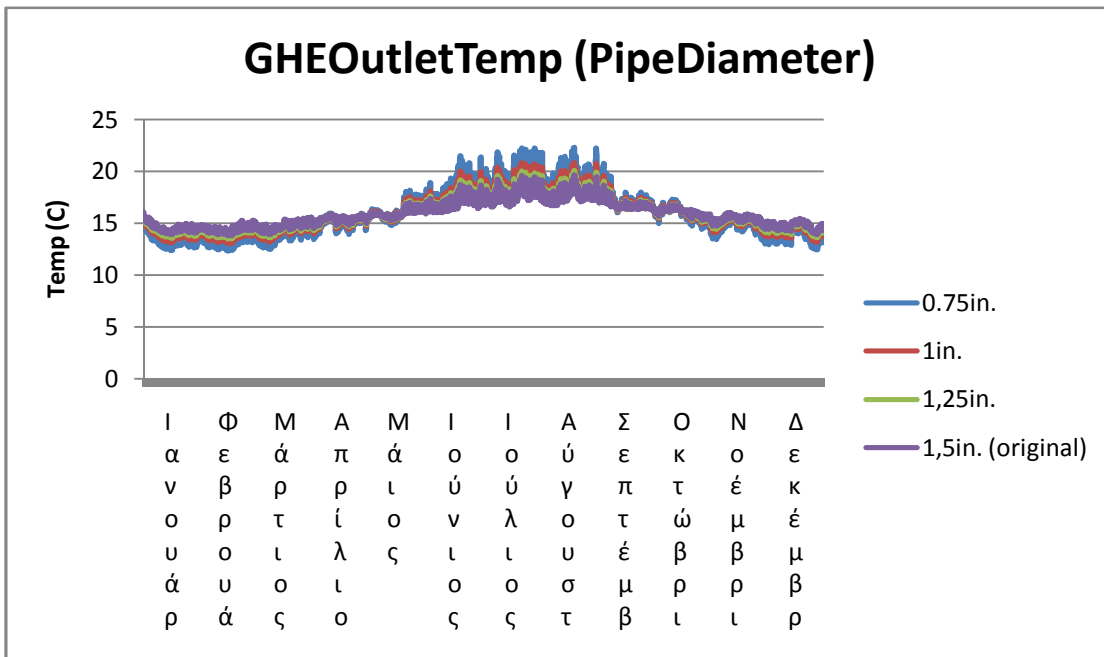
Διάμετρος	Πτώση πίεσης (bar) /κυκλ.	Κατανάλωση (kWh)
0,75in	0,194	254,8893
1in	0,05	65,69313
1,25in	0,017	22,33566
1,5in (β.μ.)	0,007	9,197038

Πίνακας 8.4: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

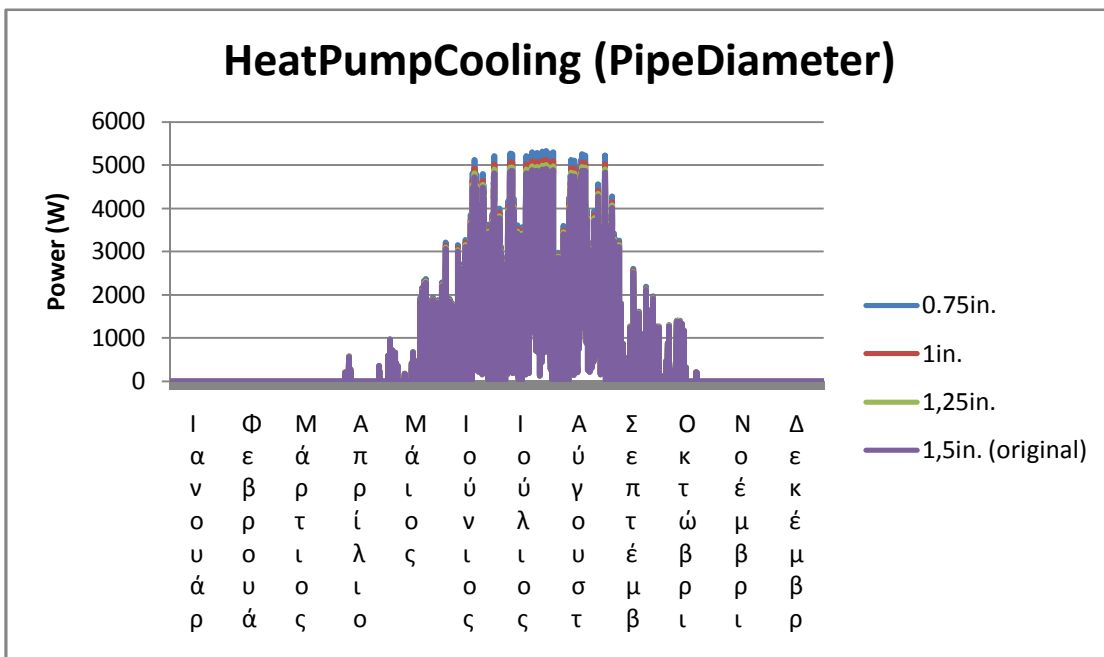
Διάμετρος	Κατανάλωση ρεύματος (kWh)	Κόστος (€)
0,75in	15786,2	1578,62
1in.	15630,9	1563,09
1,25in.	15538,7	1553,87
1,5in. (β.μ.)	15477,9	1547,79



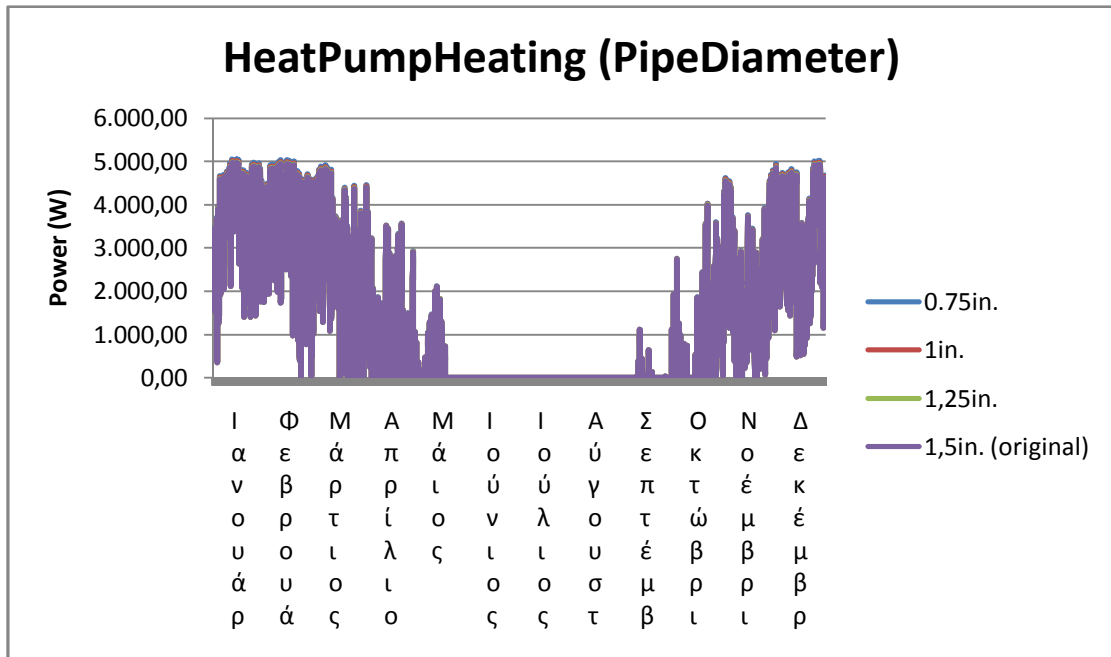
Σχήμα 8.1: Θερμοκρασίες εισόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.2: Θερμοκρασίες εξόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.3: Φορτία ψύξης



Σχήμα 8.4: Φορτία θέρμανσης

Συμπεράσματα

Φαίνεται καθαρά ότι όταν αυξάνουμε την διάμετρο (και άρα την ποσότητα του ρευστού), μικραίνει η διασπορά της θερμοκρασίας στον κύκλο του γεωεναλλάκτη. Άμεση συνέπεια είναι να υπάρχει αρκετή βελτίωση στην απόδοση του κύκλου ψύξης. Ο κύκλος θέρμανσης επίσης ωφελείται αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η κατανάλωση της αντλίας αυξάνεται όσο μικραίνει η διάμετρος καθώς η πτώση πίεσης μεγαλώνει σημαντικά. Ταυτόχρονα όμως, θα υπάρχει μικρότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης λόγω του μειωμένου κόστους σωλήνα. Στο βασικό μοντέλο έχει ήδη επιλεγεί η μεγαλύτερη διάμετρος και συνεπώς, δεν υπάρχει περιθώριο για βελτιστοποίηση.

8.2 Ροή γεωεναλλάκτη

Σε αυτή τη μελέτη, αλλάζει η ροή του ρευστού μέσα στα κυκλώματα του γεωεναλλάκτη. Οι τιμές που επιλέχθηκαν είναι το 50% και το 150% της ροής του αρχικού μοντέλου. Επιπλέον, στις μελέτες αυτές αλλάζει και η ισχύς της αντλίας νερού. Έτσι έχουμε:

- 3,401586m³/h με 0,17kW αντλία
- 6,803172m³/h με 0,38kW αντλία (βασικό μοντέλο)

- 10,20475m³/h με 0,56kW αντλία

Ακολουθούν οι τιμές απόδοσης για θέρμανση και ψύξη (Πίνακες 8.5-6), καταναλώσεις ρεύματος αντλιών και Α/Θ (Πίνακας 8.7-8) και τα διαγράμματα θερμοκρασία εισόδου – εξόδου γεωεναλλάκτη (Σχήματα 8.5, 8.6) και τα φορτία θέρμανσης και ψύξης (Σχήματα 8.7, 8.8).

Πίνακας 8.5: Τιμές απόδοσης θέρμανσης

Ροή	SEER	EER	COP
3,401586m ³ /h	12,6335	10,9574	3,21052
6,803172m ³ /h (β.μ.)	12,882	11,1089	3,25491
10,20475m ³ /h	13,0451	11,207	3,28365

Πίνακας 8.6: Τιμές απόδοσης ψύξης

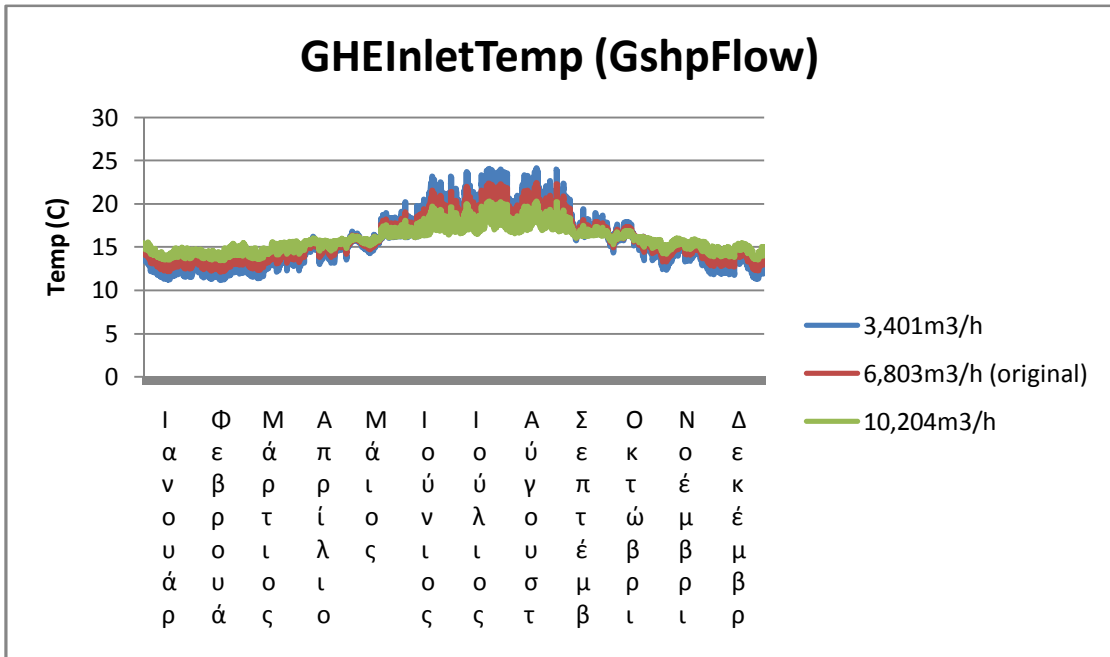
Ροή	SEER	EER	COP
3,401586m ³ /h	13,067	11,2201	3,2875
6,803172m ³ /h (β.μ.)	13,9877	11,7531	3,44366
10,20475m ³ /h	14,6206	12,0998	3,54525

Πίνακας 8.7: Τιμές κατανάλωσης αντλιών

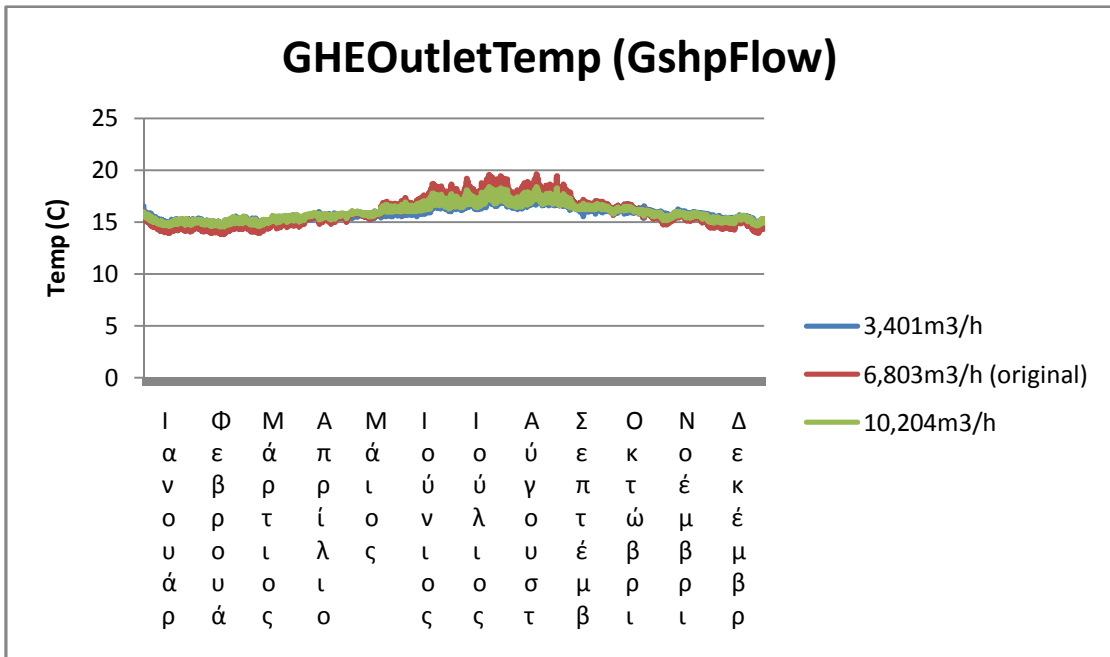
Ροή	Πτώση πίεσης (bar)/κυκλ.	Κατανάλωση (kWh)
3,401586m ³ /h	0,002	2,627725
6,803172m ³ /h (β.μ.)	0,007	9,197038
10,20475m ³ /h	0,015	19,70794

Πίνακας 8.8: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

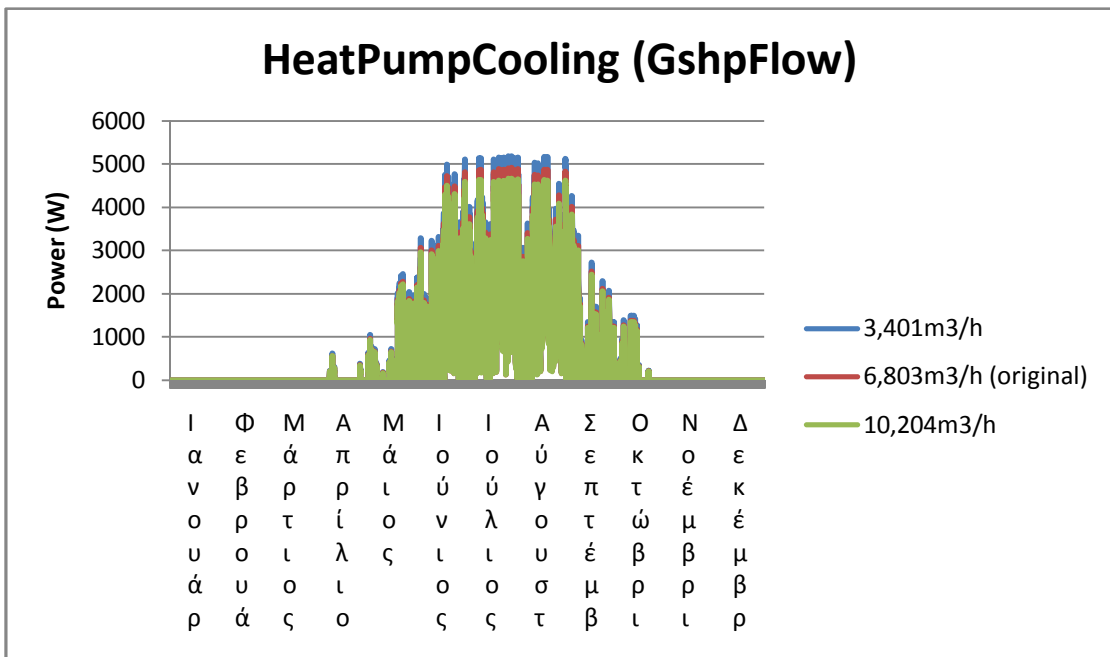
Ροή	Κατανάλωση ρεύματος (kWh)	Κόστος (€)
3,401586m ³ /h	16009,3	1600,93
6,803172m ³ /h (β.μ.)	15477,9	1547,79
10,20475m ³ /h	15146,7	1514,67



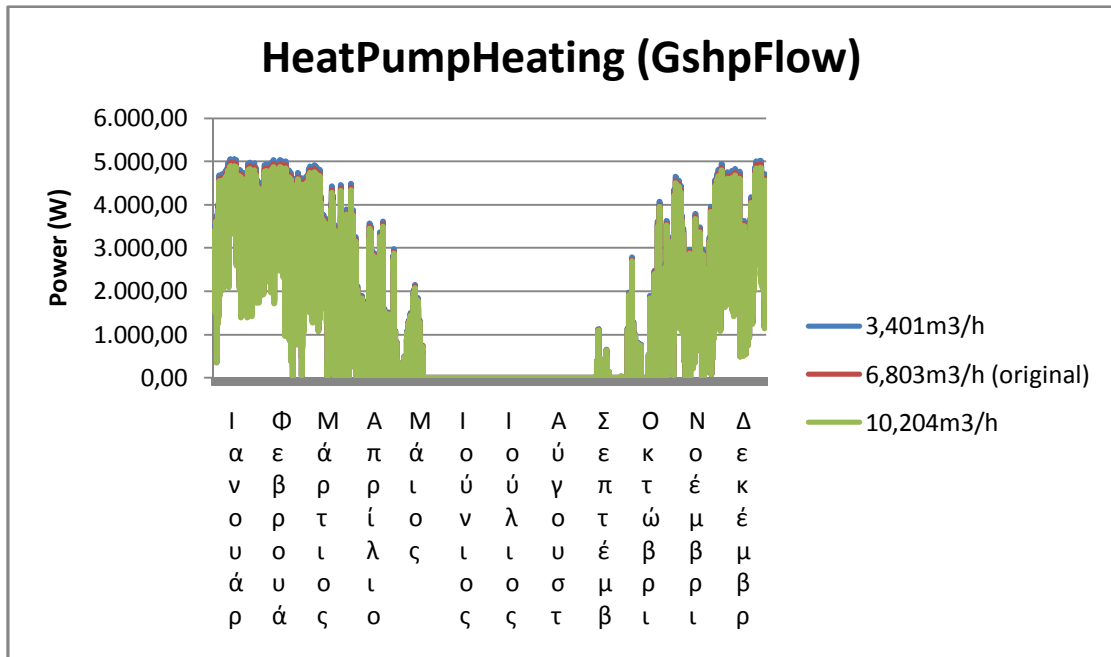
Σχήμα 8.5: Θερμοκρασίες εισόδου γεωenaλλάκτη



Σχήμα 8.6: Θερμοκρασίες εξόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.7: Φορτία ψύξης



Σχήμα 8.8: Φορτία θέρμανσης

Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει η ροή του ρευστού, τόσο καλύτερες αποδόσεις έχουμε. Φυσιολογική συμπεριφορά, παρά το γεγονός ότι έχουμε θερμοκρασία πολύ κοντά στην θερμοκρασία του εδάφους και με μικρή διασπορά στην μικρότερη παροχή. Και αυτό, διότι με την μικρότερη παροχή, η A/Θ αναγκάζεται να καλύψει το φορτίο ρίχνοντας περισσότερο την θερμοκρασία του ρευστού και ως εκ τούτου, να απαιτεί περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα. Όπως φαίνεται (Πίνακας 8.8), μια αύξηση της παροχής θα έκανε την απόσβεση πιο γρήγορη.

8.3 Τύπος ρευστού

Στην περίπτωση αυτή, προσθέτουμε στο νερό κάποια ποσότητα διαιθυλικής γλυκόλης. Οι περιεκτικότητες που επιλέχθηκαν είναι 20%κ.ο., 40% και 60%. Το βασικό μοντέλο αποτελούταν μόνο από νερό. Οι ιδιότητες του αντιψυκτικού είναι οι εξής: C_p 2426,7J/kgK, πυκνότητα 1118,2kg/m³, ιξώδες 0,0357Ns/m², θερμική αγωγιμότητα 0,25W/mK. Παρόλο που υπάρχει αλλαγή στην πυκνότητα του ρευστού, δεν αλλάζει σημαντικά η ισχύς της αντλίας που απαιτείται.

Ακολουθούν οι τιμές απόδοσης για θέρμανση και ψύξη (Πίνακες 8.9-10), καταναλώσεις ρεύματος αντλιών και A/Θ (Πίνακας 8.11-12) και τα διαγράμματα θερμοκρασία εισόδου – εξόδου γεωεναλλάκτη (Σχήματα 8.9, 8.10) και τα φορτία θέρμανσης και ψύξης (Σχήματα 8.11, 8.12).

Πίνακας 8.9: Τιμές απόδοσης θέρμανσης

Ποσοστό αντιψ.	SEER	EER	COP
0% (β.μ.)	12,882	11,1089	3,25491
20%	12,8012	11,0599	3,24056
40%	12,7099	11,0043	3,22425
60%	12,6014	10,9377	3,20474

Πίνακας 8.10: Τιμές απόδοσης ψύξης

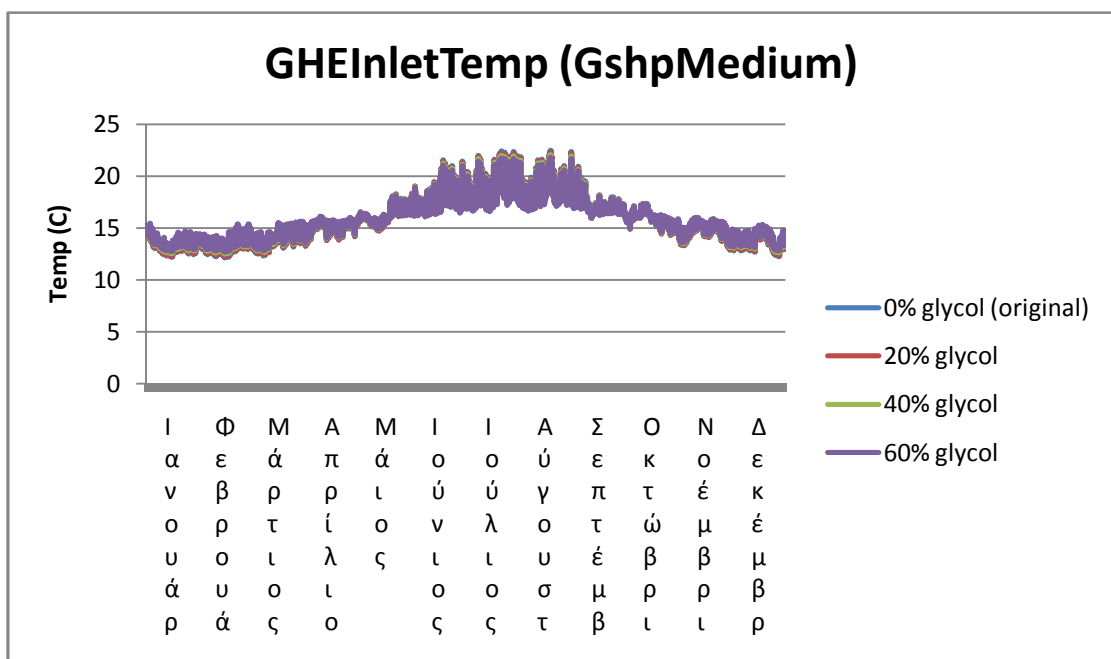
Ποσοστό αντιψ.	SEER	EER	COP
0% (β.μ.)	13,9877	11,7531	3,44366
20%	13,6676	11,5717	3,3905
40%	13,3053	11,3613	3,32887
60%	12,8751	11,1048	3,2537

Πίνακας 8.11: Τιμές κατανάλωσης αντλιών

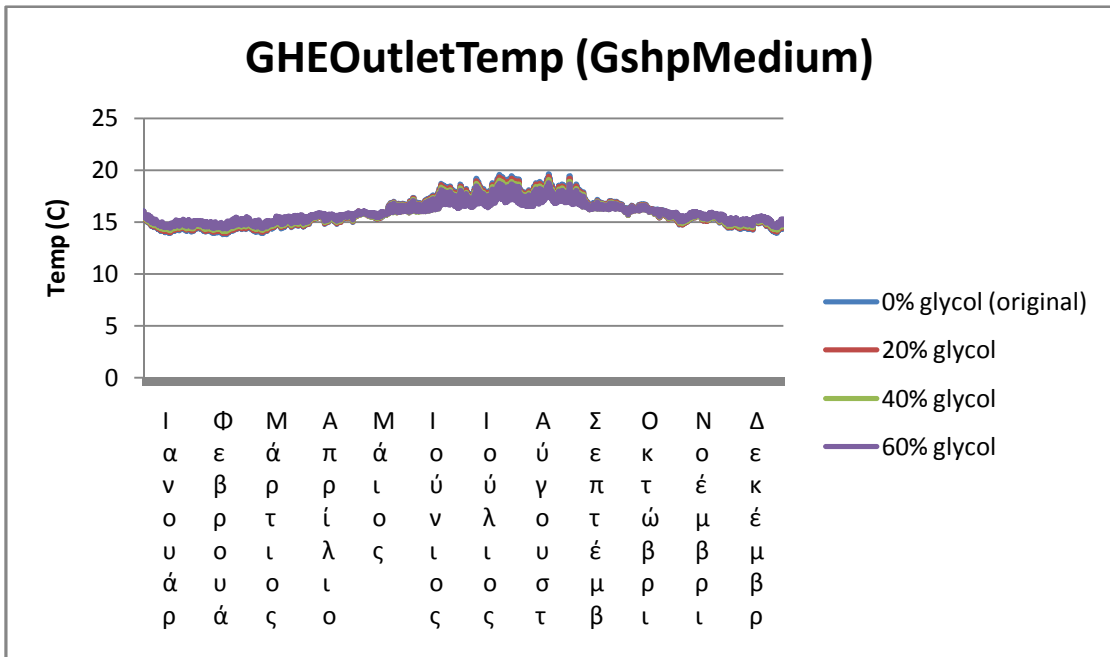
Ποσοστό αντιψ.	Πτώση πίεσης (bar) /κυκλ.	Κατανάλωση (kWh)
0% (β.μ.)	0,007	9,197038
20%	0,028	36,78815
40%	0,04	52,5545
60%	0,077	101,1674

Πίνακας 8.12: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

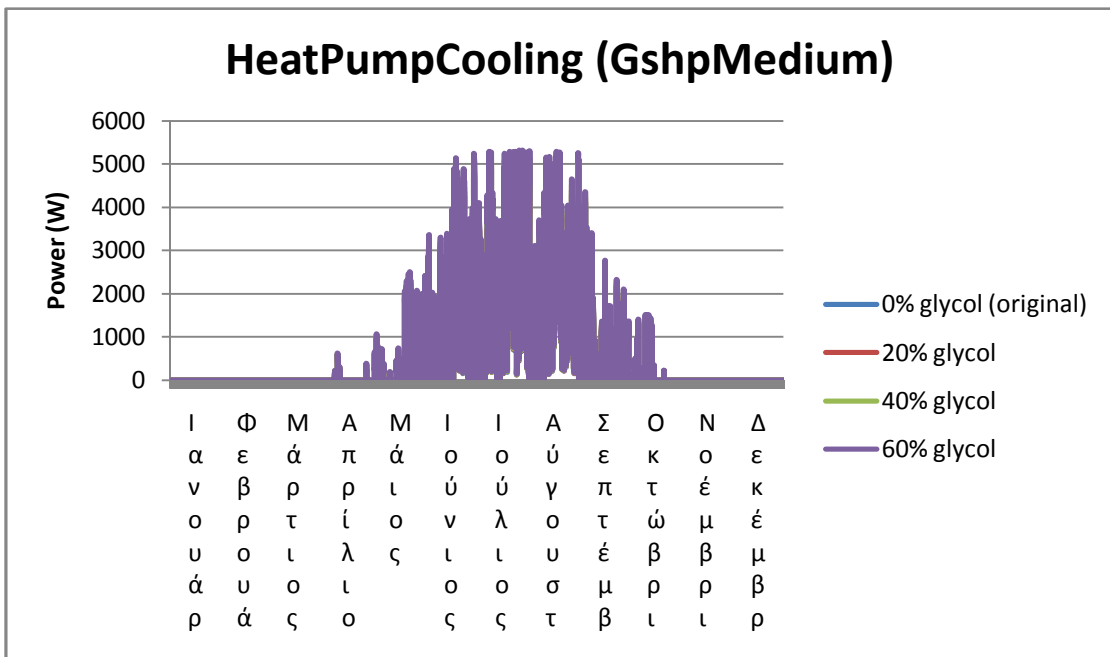
Ποσοστό αντιψ.	Κατανάλωση ρεύματος (kWh)	Κόστος (€)
0% (β.μ)	15477,9	1547,79
20%	15652	1565,2
40%	15856,2	1585,62
60%	16109,2	1610,92



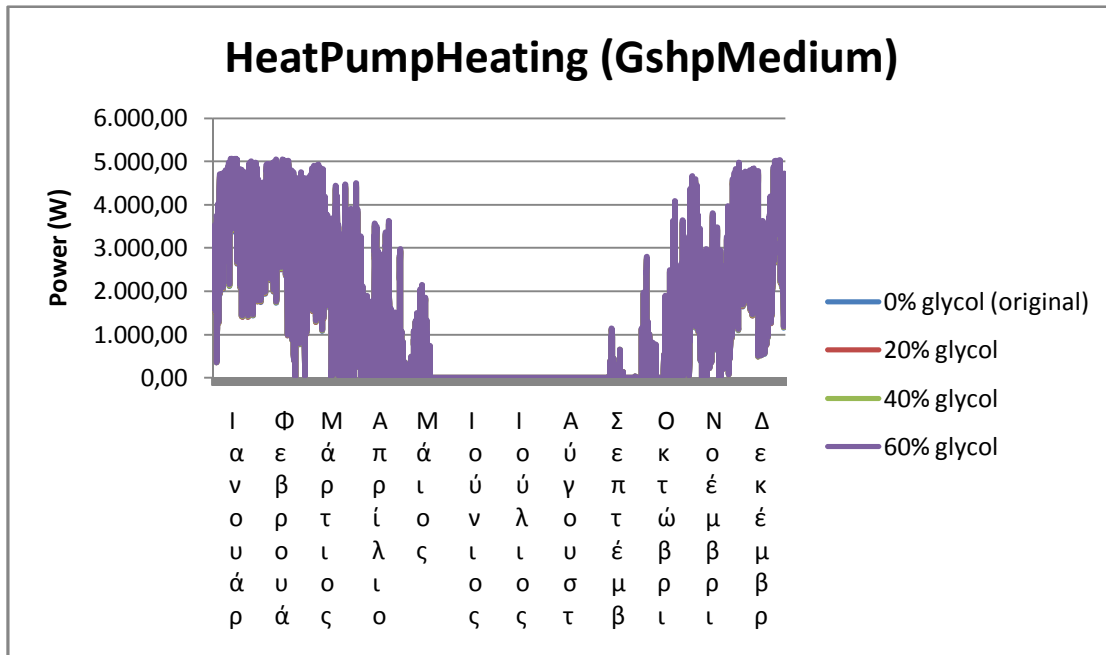
Σχήμα 8.9: Θερμοκρασίες εισόδου γεωenaλλάκτη



Σχήμα 8.10: Θερμοκρασίες εξόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.11: Φορτία ψύξης



Σχήμα 8.12: Φορτία θέρμανσης

Συμπεράσματα

Με την χρήση αντιψυκτικού, μειώνεται η θερμοχωρητικότητα του ρευστού και ως συνέπεια, μειώνεται η απόδοση της Α/Θ. Η ψύξη επηρεάζεται αρκετά περισσότερο από την θέρμανση αλλά όσο το ποσοστό διατηρείται σε συνηθισμένα επίπεδα, δεν είναι τόσο μεγάλες οι απώλειες. Είναι δεδομένο βέβαια, ότι κάποια ποσότητα αντιψυκτικού πρέπει να υπάρχει για την ασφάλεια του όλου συστήματος σε περίπτωση ακραίων θερμοκρασιών. Κάτι τέτοιο θα αύξανε και το κόστος της εγκατάστασης ανάλογα με το ποσότητα (~2300€/m³)^[12]

8.4 Θερμοκρασία εδάφους

Η πιο εύκολη περιμετρική μελέτη που έγινε. Η μόνη αλλαγή είναι η τιμή της θερμοκρασίας του εδάφους κάτω από τα 4m. Οι θερμοκρασίες είναι 13°C και 19 °C με το βασικό μοντέλο να είναι στους 16 °C. Σε αυτό το σετ προσομοιώσεων, δεν προκύπτει αλλαγή στις απαιτήσεις της αντλίας.

Ακολουθούν οι τιμές απόδοσης για θέρμανση και ψύξη (Πίνακες 8.13-14), τιμές κατανάλωσης Α/Θ (Πίνακας 8.15) και τα διαγράμματα θερμοκρασία εισόδου – εξόδου

γεωεναλλάκτη (Σχήματα 8.13, 8.14) και τα φορτία θέρμανσης και ψύξης (Σχήματα 8.15, 8.16).

Πίνακας 8.13: Τιμές απόδοσης θέρμανσης

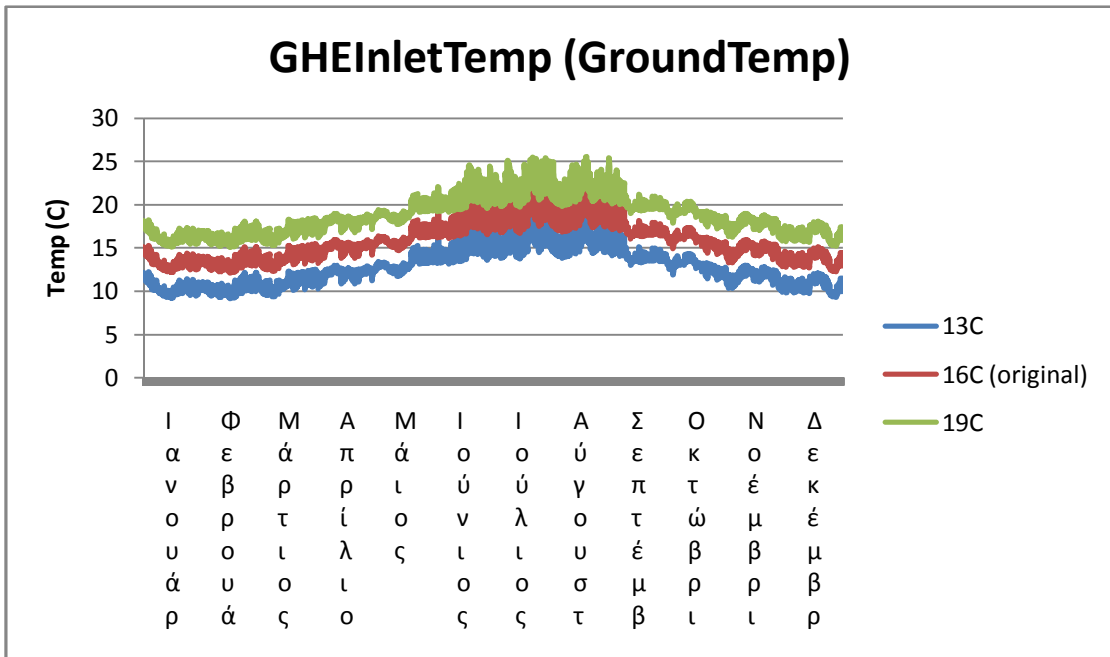
Θερμοκρασία	SEER	EER	COP
13 °C	12,4871	10,867	3,18404
16 °C	12,882	11,1089	3,25491
19 °C	13,2825	11,3479	3,32494

Πίνακας 8.14: Τιμές απόδοσης ψύξης

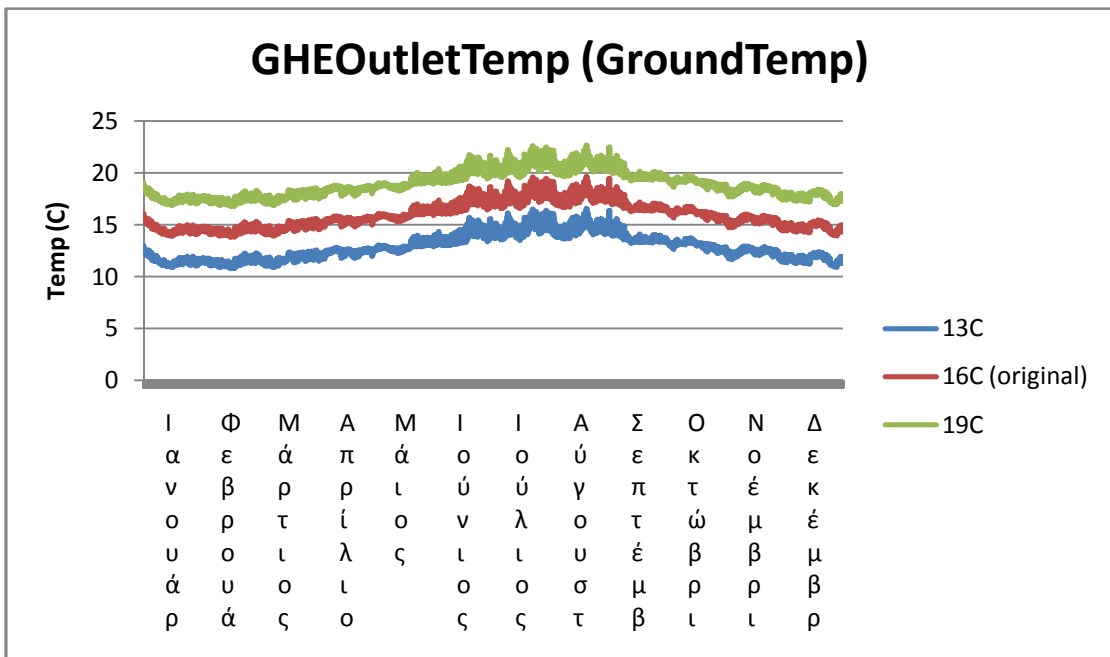
Θερμοκρασία	SEER	EER	COP
13 °C	15,2248	12,4159	3,63785
16 °C	13,9877	11,7531	3,44366
19 °C	12,8983	11,1188	3,25781

Πίνακας 8.15: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

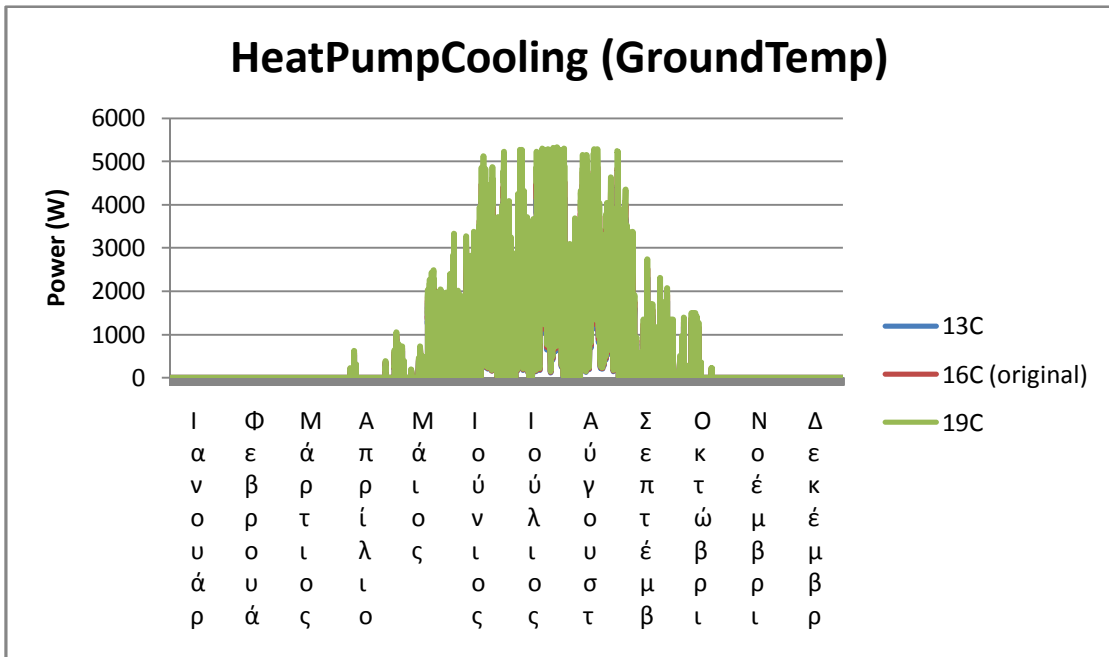
Τύπος	Κατανάλωση ρεύματος (kWh)	Κόστος (€)
13 °C	15462,7	1546,27
16 °C	15477,9	1547,79
19 °C	15523,5	1552,35



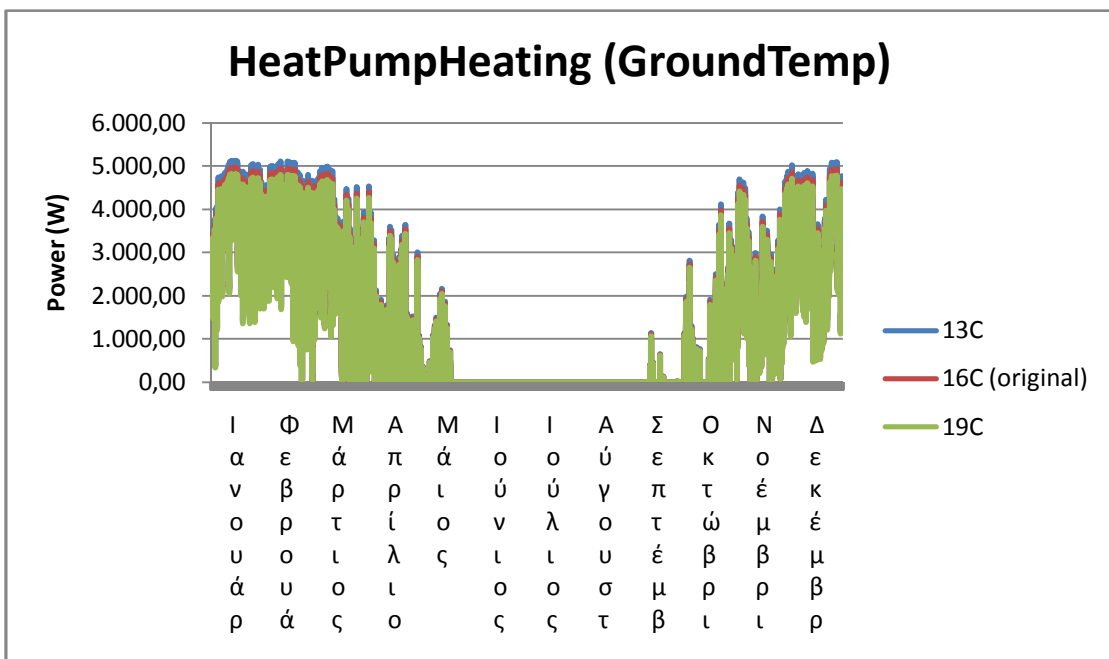
Σχήμα 8.13: Θερμοκρασίες εισόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.14: Θερμοκρασίες εξόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.15: Φορτία ψύξης



Σχήμα 8.16: Φορτία θέρμανσης

Συμπεράσματα

Τα διαγράμματα είναι αρκετά ξεκάθαρα σε αυτή την περίπτωση. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία του εδάφους, έχουμε καλύτερη απόδοση στη θέρμανση και χειρότερη στην

ψύξη και αντίστροφα. Η θερμοκρασία εδάφους επηρεάζεται από τον ίδιο τον γεωεναλλάκτη σε βάθος χρόνου ανάλογα με τη χρήση. Μεγάλα φορτία θέρμανσης θα ρίξουν την θερμοκρασία ενώ μεγάλα φορτία ψύξης θα την αυξήσουν.

8.5 Τύπος εδάφους (επιχωμάτωσης)

Στην τελευταία παραμετρική μελέτη, αλλάχθηκε η θερμική αγωγιμότητα της επιχωμάτωσης των γεωτρήσεων. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι θερμικά ενισχυμένο σκυρόδεμα με θερμική αγωγιμότητα ίση με 1,471W/mK. Ούτε σε αυτή τη περίπτωση έχουμε αλλαγή σε κάτι εκτός των θερμοκρασιών και της απόδοσης.

Ακολουθούν οι τιμές απόδοσης για θέρμανση και ψύξη (Πίνακες 8.16-17), οι τιμές κατανάλωσης A/Θ (Πίνακας 8.18) και τα διαγράμματα θερμοκρασία εισόδου – εξόδου γεωεναλλάκτη (Σχήματα 8.17, 8.18) και τα φορτία θέρμανσης και ψύξης (Σχήματα 8.19, 8.20).

Πίνακας 8.16: Τιμές απόδοσης θέρμανσης

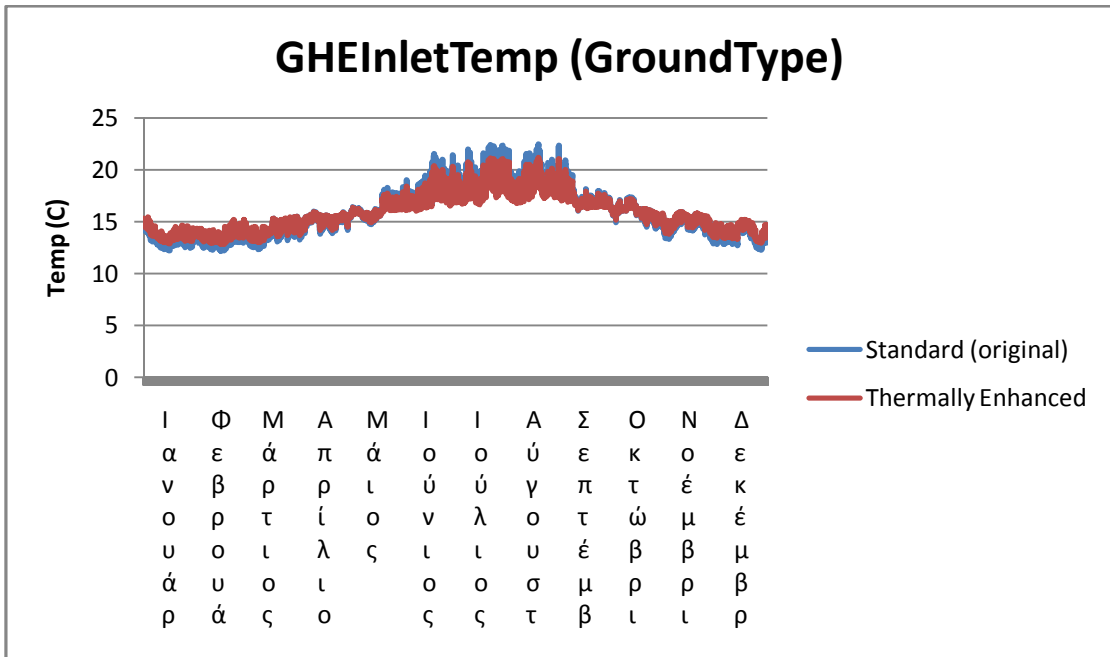
Τύπος	SEER	EER	COP
Κανονικό (β.μ)	12,882	11,1089	3,25491
Ενισχυμένο	12,9391	11,1434	3,265

Πίνακας 8.17: Τιμές απόδοσης ψύξης

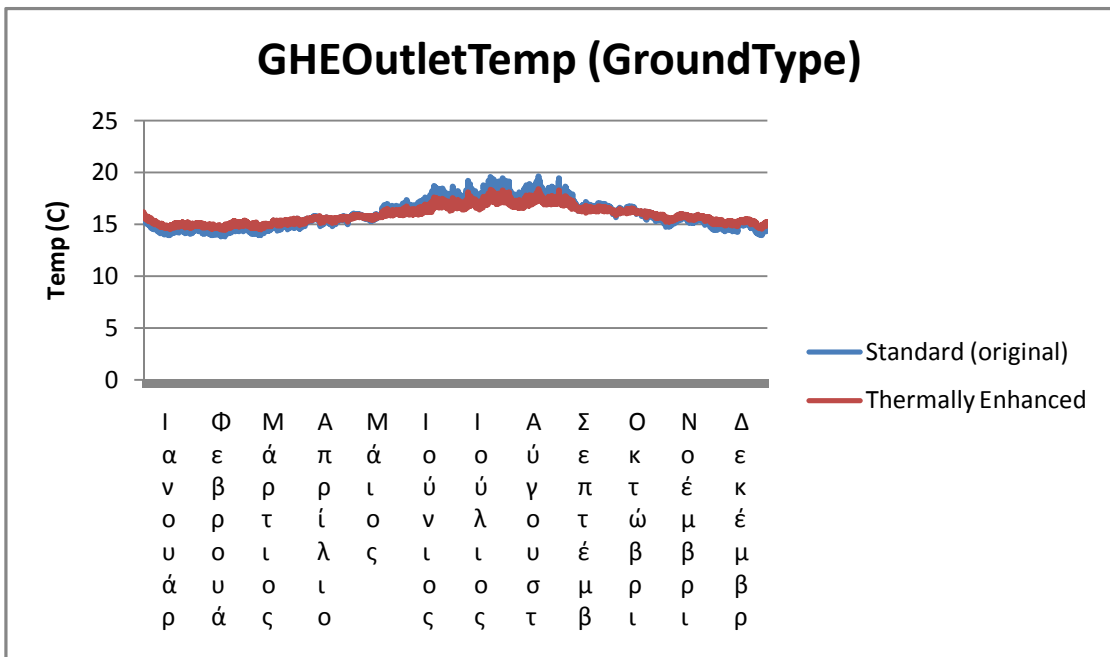
Τύπος	SEER	EER	COP
Κανονικό (β.μ)	13,9877	11,7531	3,44366
Ενισχυμένο	14,2412	11,8939	3,48491

Πίνακας 8.18: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

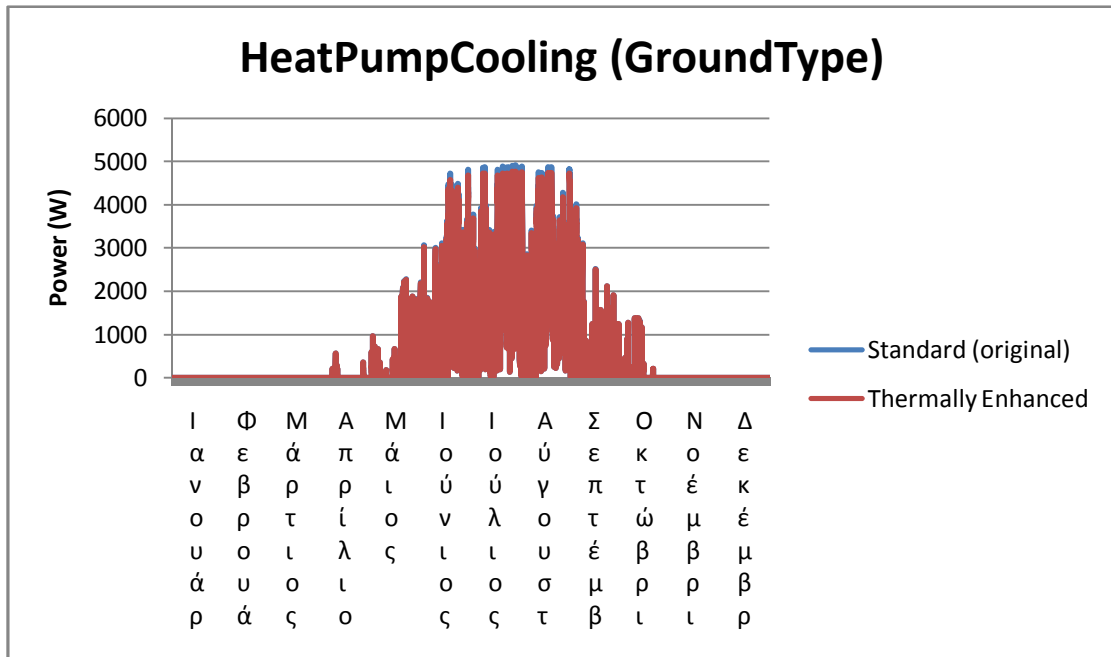
Τύπος	Κατανάλωση ρεύματος (kWh)	Κόστος (€)
Κανονικό (β.μ.)	15477,9	1547,79
Ενισχυμένο	15349,7	1534,97



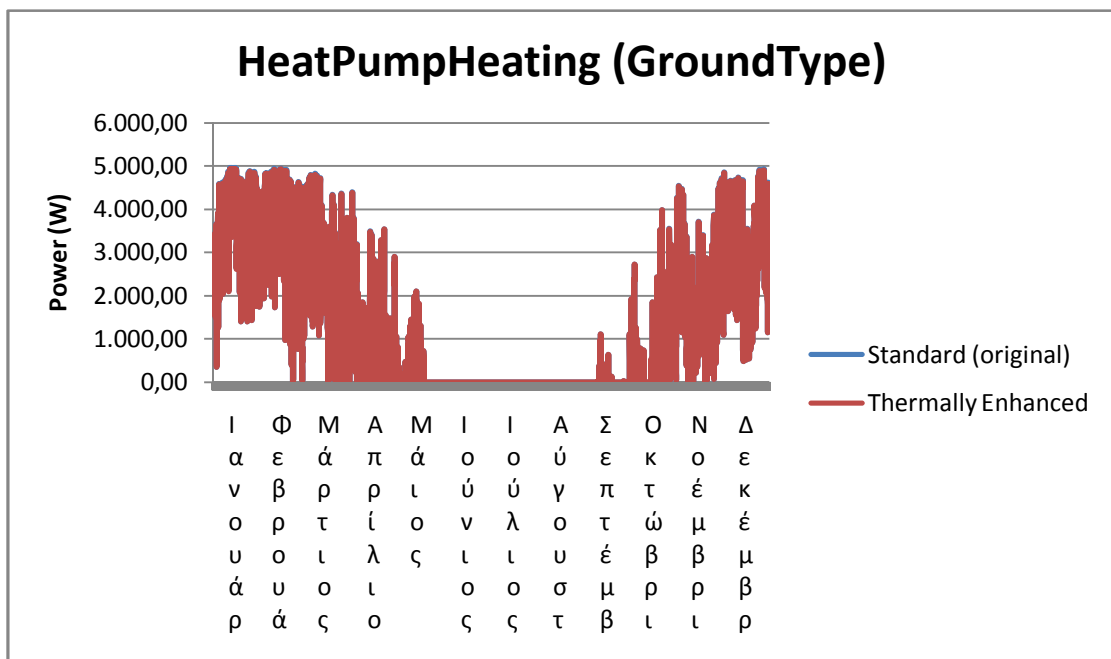
Σχήμα 8.17: Θερμοκρασίες εισόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.18: Θερμοκρασίες εξόδου γεωεναλλάκτη



Σχήμα 8.19: Φορτία ψύξης



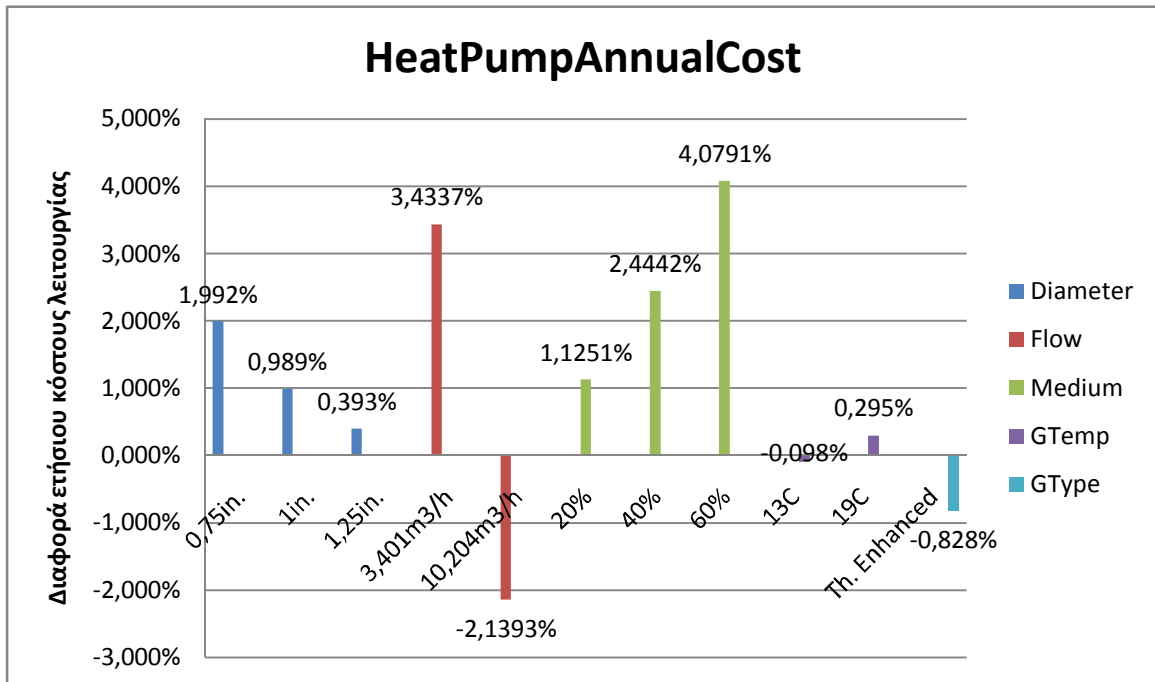
Σχήμα 8.20: Φορτία θέρμανσης

Συμπεράσματα

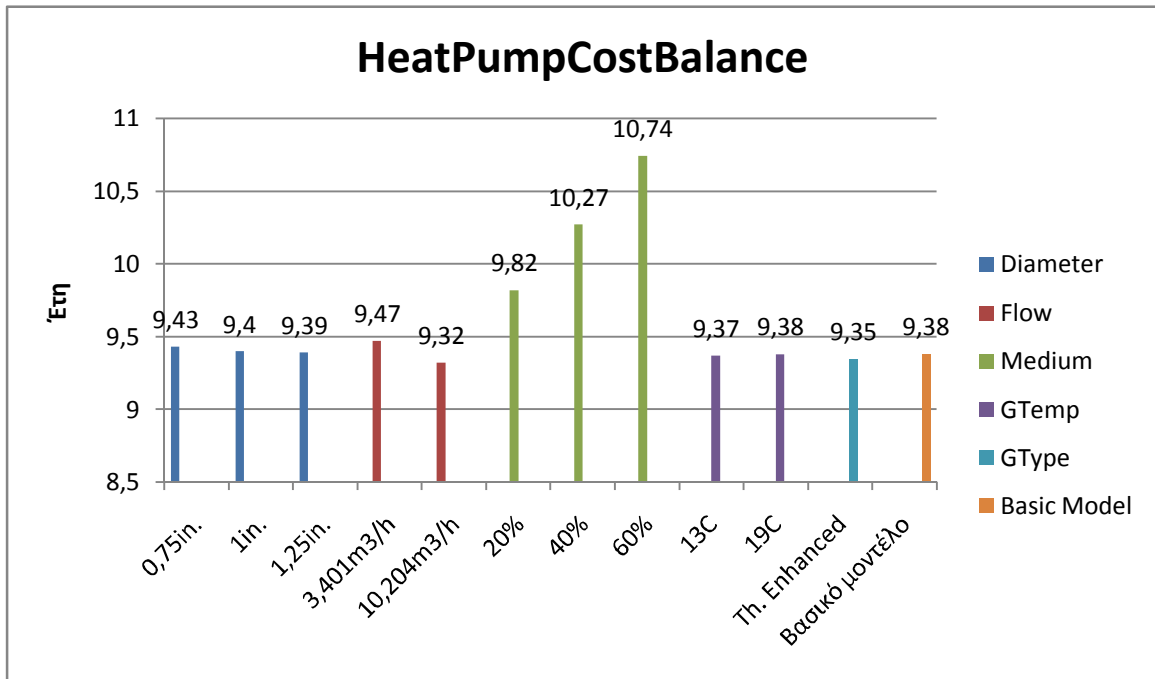
Όπως ήταν αναμενόμενο, η χρήση ενισχυμένου σκυροδέματος θα αύξανε τις αποδόσεις της Α/Θ και στην θέρμανση, και στην ψύξη. Όμως, δεδομένου ότι η νέες

αποδόσεις δεν είναι σημαντικά μεγαλύτερες των παλαιότερων, είναι αμφίβολο εάν αξίζει την αρχική επένδυση μια τέτοια εγκατάσταση. Συνήθως, τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερες/επαγγελματικές εγκαταστάσεις.

Παρακάτω ακολουθεί ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα των ποσοστιαίων μεταβολών κόστους για την παραμετρικές μελέτες που έγιναν (Σχήμα 8.21) καθώς και τα έτη απόσβεσης (Σχήμα 8.22).



Σχήμα 8.21: Ποσοστιαία μεταβολή κόστους



Σχήμα 8.22: Έτη απόσβεσης

Στον υπολογισμό των ετών απόσβεσης, δεν λήφθηκε υπόψη η διαφορά σε αρχικό κόστος λόγω σωληνώσεων και θερμικής ενίσχυσης εδάφους, ενώ υπολογίστηκε το επιπρόσθετο κόστος αντιψυκτικού.

Συμπεράσματα

Μελετώντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, είναι εμφανές ότι η χρήση ενός γεωθερμικού συστήματος για τον κλιματισμό μιας οικίας είναι συμφέρουσα σε βάθος χρόνου. Εάν αναλογιστεί κανείς και την αλματώδη αύξηση στις τιμές του πετρελαίου, τα οικονομικά οφέλη προκύπτουν αρκετά νωρίτερα.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραμετρικές μελέτες, φαίνεται αμέσως ότι μια αύξηση της ροής στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη θα είχε θετικά οφέλη ως προς την απόδοση της Α/Θ. Η αύξηση της κατανάλωσης της αντλίας δεν είναι αρκετή ώστε να μειώσει τα οφέλη. Η θερμική ενίσχυση της επιχωμάτωσης θα αύξανε την απόδοση αλλά όχι αρκετά για να δικαιολογηθεί η αρχική επένδυση. Όσον αφορά την διάμετρο των σωληνώσεων, το βασικό μοντέλο είναι ήδη στο βέλτιστο σημείο όσον αφορά τις παραμετρικές μελέτες και παραπάνω αύξηση της διαμέτρου ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα ροής. Βέβαια, η ύπαρξη κάποιας ποσότητας αντιψυκτικού θα ρίξει τις αποδόσεις χωρίς όμως μεγάλη σημασία.

Κρίνοντας από τα διαγράμματα των φορτίων θέρμανσης και ψύξης στην Α/Θ, φαίνεται ότι μια περαιτέρω αύξηση της ισχύος δεν θα οδηγούσε σε κάποιο όφελος. Η Α/Θ φτάνει λίγες φορές στο όριο της και θα ήταν υπερβολή να αυξηθεί το όριο. Η κατοικία ενδέχεται να μπορεί να βελτιωθεί στα σημεία (πχ χρησιμοποίηση τριπλών τζαμιών με θερμομόνωση, πράσινη ταράτσα) αλλά δεν φαίνεται κάτι που θα μπορούσε να αλλάξει δραστικά την θερμική συμπεριφορά της.

Σαν συνέχεια της εργασίας, θα μπορούσε να είναι η προσομοίωση φωτοβολταϊκού συστήματος στην στέγη της οικίας. Με μια συνήθη εγκατάσταση της τάξης των 10kW, ενδέχεται το γεωθερμικό σύστημα να ήταν τελείως αυτάρκες όσον αφορά το ηλεκτρικό ρεύμα.

Τέλος, όσον αφορά τα προγράμματα, η τελική εμπειρία με το E+ είναι αρκετά θετική. Το πρόγραμμα προσφέρει έναν πολύ μεγάλο αριθμό επιλογών και παραμέτρων ώστε τα μοντέλα του να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα. Με εξαίρεση την δύσκολη εκμάθηση του και κάποιων σφαλμάτων του προγράμματος (αναμενόμενο με τόσες επιλογές), το πρόγραμμα θεωρείται από τα καλύτερα που υπάρχουν. Όσον αφορά τα άλλα δύο προγράμματα, το RETScreen και το Ecotect, αυτά προορίζονται περισσότερο για μέτριες αναλύσεις και όχι για προσομοιώσεις. Σαν βοηθητικά προγράμματα είναι πολύ καλά αλλά σίγουρα δεν επαρκούν για μια σωστή και σφαιρική ανάλυση.

Βιβλιογραφία

1. Enrico Barbier – Geothermal energy technology and current status: an overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, 2002
2. www.boudouri.gr
3. P. Andrew Collins, Carl Orio and Sergio Smiriglio – Geothermal Heat Pump Manual, Department of Design & Construction NY, 2002
4. McQuay – Geothermal Heat Pump Design Manual, Application guide, 2002
5. www.retscreen.net, Πρόγραμμα RETScreen και εγχειρίδια χρήσης
6. National Resources Canada – Heating and Cooling with a Heat Pump, Energy Publications, 2004
7. www.emy.gr, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
8. Λεωνίδας Θεοφίλου, Πολιτικός Μηχανικός, Πολεοδομική μελέτη, 2008
9. Θεόδωρος Θεοδοσίου, Λέκτορας, Σημειώσεις μαθήματος Ενεργειακού Σχεδιασμού
10. www.autodesk.com, Πρόγραμμα Ecotect
11. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, Πρόγραμμα E+ και εγχειρίδια χρήσης
12. Τσοτουλίδης Γεώργιος: Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Συστήματος Θέρμανσης - Κλιματισμού με Αντλία Θερμότητας Επιφανειακών Υδάτων, Διπλωματική εργασία – Τμήμα ΜΜ ΠΔΜ, 2010
13. Δημήτριος Μπούρης, Επίκουρος Καθηγητής, Σημειώσεις μαθήματος Θ.Ψ.Κ.
14. Muhammad Haider Khan: Modeling, Simulation and Optimization of Ground Source Heat Pump Systems, Διπλωματική εργασία – University of Engineering and Technology Pakistan, 2000
15. Dimitrios Mendrinou, Costas Karytsas and Burkhard Sanner: Project GROUND-REACH “Reaching the Kyoto targets by means of a wide introduction of ground coupled heat pumps (GCHP) in the built environment”, Proceeding European Geothermal Congress, 2007
16. Robert Hendron and Cheryn Engebrecht – Building America House Simulation Protocols, US Department of Energy, 2010

Παράρτημα 1: Schedules

Συσκευές

Πίνακας Π1.1 Υπόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας Π1.2 Υπόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	400	400	400	400	400	400	400	400
2	400	400	400	400	400	400	400	400
3	400	400	400	400	400	400	400	400
4	400	400	400	400	400	400	400	400
5	400	400	400	400	400	400	400	400

6	400	400	400	400	400	400	400	400
7	400	400	400	400	400	400	400	400
8	400	400	400	400	400	400	400	400
9	400	400	400	400	400	400	400	400
10	400	400	400	400	400	400	400	400
11	400	400	400	400	400	400	400	400
12	400	400	400	400	400	400	400	400
13	400	400	400	400	400	400	400	400
14	400	400	400	400	400	400	400	400
15	400	400	400	400	400	950	400	400
16	400	400	400	400	400	400	400	400
17	400	400	400	400	400	400	400	400
18	550	550	550	550	550	550	550	550
19	550	550	550	550	550	550	550	550
20	550	550	550	550	550	550	550	550
21	400	400	400	400	400	400	400	400
22	400	400	400	400	400	400	400	400
23	550	550	550	550	550	550	550	550
24	550	550	550	550	550	550	550	550

Πίνακας Π1.3 Ισόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	700	700	700	700	700	700	700	700
2	700	700	700	700	700	700	700	700
3	700	700	700	700	700	700	700	700
4	700	700	700	700	700	700	700	700
5	700	700	700	700	700	700	700	700
6	700	700	700	700	700	700	700	700
7	700	700	700	700	700	700	700	700
8	900	900	900	900	900	900	700	900
9	700	700	700	700	700	700	700	700
10	700	700	700	700	700	700	700	700
11	700	700	700	700	700	700	700	700
12	700	700	700	700	700	700	700	700
13	700	700	700	700	700	700	700	700
14	2200	2200	2200	2200	2200	2200	700	2200
15	2200	2200	2200	2200	2200	2750	700	2200
16	700	700	700	700	700	700	700	700
17	700	700	700	700	700	700	700	700

18	700	700	700	700	700	700	700	700
19	700	700	700	700	700	700	700	700
20	700	700	700	700	700	1090	700	700
21	2200	2200	2200	2200	2200	1090	940	2200
22	1090	1090	1090	1090	1090	700	940	1090
23	1090	1090	1090	1090	1090	700	940	1090
24	1090	1090	1090	1090	1090	700	940	1090

Πίνακας Π1.4 Ισόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	700	700	700	700	700	700	700	700
2	700	700	700	700	700	700	700	700
3	700	700	700	700	700	700	700	700
4	700	700	700	700	700	700	700	700
5	700	700	700	700	700	700	700	700
6	700	700	700	700	700	700	700	700
7	700	700	700	700	700	700	700	700
8	900	900	900	900	900	900	700	900
9	700	700	700	700	700	700	700	700
10	700	700	700	700	700	700	700	700
11	700	700	700	700	700	700	700	700
12	700	700	700	700	700	700	700	700
13	700	700	700	700	700	700	700	700
14	2200	2200	2200	2200	2200	2200	700	2200
15	2200	2200	2200	2200	2200	2750	700	2200
16	700	700	700	700	700	700	700	700
17	700	700	700	700	700	700	700	700
18	700	700	700	700	700	700	700	700
19	700	700	700	700	700	700	700	700
20	700	700	700	700	700	1090	700	700
21	2200	2200	2200	2200	2200	1090	940	2200
22	1090	1090	1090	1090	1090	700	940	1090
23	1090	1090	1090	1090	1090	700	940	1090
24	1090	1090	1090	1090	1090	700	940	1090

Πίνακας Π1.5 1^{ος} Όροφος(1) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0

2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	250	250	250	250	250	250	0	250
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	250	250	250	250	250	800	0	250
16	250	250	250	250	250	250	250	250
17	250	250	250	250	250	250	250	250
18	0	0	0	0	0	0	250	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	250	250	250	250	250	0	0	250
23	250	250	250	250	250	0	0	250
24	250	250	250	250	250	0	0	250

Πίνακας Π1.6 1^{ος} Όροφος(1) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	250	250	250	250	250	250	0	250
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0

14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	250	250	250	250	250	800	0	250
16	250	250	250	250	250	250	250	250
17	250	250	250	250	250	250	250	250
18	0	0	0	0	0	0	250	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	250	250	250	250	250	0	0	250
23	250	250	250	250	250	0	0	250
24	250	250	250	250	250	0	0	250

Πίνακας Π1.7 1^{ος} Όροφος(2) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	450	450	450	450	450	450	450	450
2	0	0	0	0	0	450	450	0
3	0	0	0	0	0	450	450	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	450	450	450	450	450	450	450	450
10	450	450	450	450	450	450	450	450
11	450	450	450	450	450	450	450	450
12	450	450	450	450	450	450	450	450
13	450	450	450	450	450	450	450	450
14	450	450	450	450	450	950	950	450
15	450	450	450	450	450	450	1000	450
16	450	450	450	450	450	450	450	450
17	450	450	450	450	450	450	450	450
18	450	450	450	450	450	450	450	450
19	450	450	450	450	450	1450	1450	450
20	450	450	450	450	450	450	450	450
21	450	450	450	450	450	450	450	450
22	450	450	450	450	450	450	450	450
23	450	450	450	450	450	450	450	450
24	450	450	450	450	450	450	450	450

Πίνακας Π1.8 1^{ος} Όροφος(2) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	450	450	450	450	450	450	450	450
2	450	450	450	450	450	450	450	450
3	450	450	450	450	450	450	450	450
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	450	450	450	450	450	450	450	450
10	450	450	450	450	450	450	450	450
11	450	450	450	450	450	450	450	450
12	450	450	450	450	450	450	450	450
13	450	450	450	450	450	450	450	450
14	450	450	450	450	450	950	950	450
15	450	450	450	450	450	450	1000	450
16	450	450	450	450	450	450	450	450
17	450	450	450	450	450	450	450	450
18	450	450	450	450	450	450	450	450
19	450	450	450	450	450	1450	1450	450
20	450	450	450	450	450	450	450	450
21	450	450	450	450	450	450	450	450
22	450	450	450	450	450	450	450	450
23	450	450	450	450	450	450	450	450
24	450	450	450	450	450	450	450	450

Φώτα

Πίνακας Π1.9 Υπόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας Π1.10 Υπόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	97	97	97	97	97	97	97	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	97	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	70	70	70	70	70	70	70	70
19	70	70	70	70	70	70	70	70
20	70	70	70	70	70	70	70	70

21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	70	70	70	70	70	70	70	70
24	97	97	97	97	97	97	97	97

Πίνακας Π1.11 Ισόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	142	142	142	142	142	142	142	142
19	142	142	142	142	142	142	142	142
20	142	142	142	142	142	142	142	142
21	162	162	162	162	162	0	162	162
22	142	142	142	142	142	0	142	142
23	142	142	142	142	142	0	142	142
24	142	142	142	142	142	0	142	142

Πίνακας Π1.12 Ισόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0

5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	162	162	162	162	162	0	162	162
22	142	142	142	142	142	0	142	142
23	142	142	142	142	142	0	142	142
24	142	142	142	142	142	0	142	142

Πίνακας Π1.13 1^{ος} Όροφος(1) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0

17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	20	20	20	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	20	20	20	20	20	0	0	20
22	20	20	20	20	20	0	0	20
23	20	20	20	20	20	0	0	20
24	47	47	47	47	47	47	47	47

Πίνακας Π1.14 1^{ος} Όροφος(1) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	20	20	20	20	20	0	0	20
22	20	20	20	20	20	0	0	20
23	20	20	20	20	20	0	0	20
24	47	47	47	47	47	47	47	47

Πίνακας Π1.15 1^{ος} Όροφος(2) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
----------	---------	-------	---------	--------	-----------	---------	---------	------------

1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	40	40	40	40	40	40	40	40
19	40	40	40	40	40	40	40	40
20	40	40	40	40	40	40	40	40
21	40	40	40	40	40	40	40	40
22	40	40	40	40	40	0	40	40
23	40	40	40	40	40	0	40	40
24	67	67	67	67	67	67	67	67

Πίνακας Π1.16 1^{ος} Οροφος(2) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	40	40	40	40	40	40	40	40
2	40	40	40	40	40	40	40	40
3	67	67	67	67	67	67	67	67
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0

13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	40	40	40	40	40	0	40	40
22	40	40	40	40	40	0	40	40
23	40	40	40	40	40	0	40	40
24	40	40	40	40	40	0	40	40

Επίπεδο δραστηριότητας

Πίνακας Π1.17 Υπόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας Π1.18 Υπόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	312	312	312	312	312	312	312	312
2	312	312	312	312	312	312	312	312
3	312	312	312	312	312	312	312	312
4	312	312	312	312	312	312	312	312
5	312	312	312	312	312	312	312	312
6	312	312	312	312	312	312	312	312
7	312	312	312	312	312	312	312	312
8	312	312	312	312	312	312	312	312
9	828	828	828	828	828	828	828	828
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	207	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	432	432	432	432	432	432	432	432
19	432	432	432	432	432	432	432	432
20	432	432	432	432	432	432	432	432
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	432	432	432	432	432	432	432	432
24	432	432	432	432	432	432	432	432

Πίνακας Π1.19 Ισόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0

7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	828	828	828	828	828	414	0	828
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	432	432	432	432	432	432	0	432
15	432	432	432	432	432	432	0	432
16	0	0	0	0	0	207	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	432	432	432	432	432	0	432	432
22	432	432	432	432	432	0	432	432
23	432	432	432	432	432	0	432	432
24	432	432	432	432	432	0	432	432

Πίνακας Π1.20 Ισόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	828	828	828	828	828	414	0	828
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	432	432	432	432	432	432	0	432
15	432	432	432	432	432	432	0	432
16	0	0	0	0	0	207	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0

19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	432	432	432	432	432	0	432	432
22	432	432	432	432	432	0	432	432
23	432	432	432	432	432	0	432	432
24	432	432	432	432	432	0	432	432

Πίνακας Π1.21 1^{ος} Όροφος(1) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	156	156	156	156	156	156	156	156
2	156	156	156	156	156	156	156	156
3	156	156	156	156	156	156	156	156
4	156	156	156	156	156	156	156	156
5	156	156	156	156	156	156	156	156
6	156	156	156	156	156	156	156	156
7	156	156	156	156	156	156	156	156
8	414	414	414	414	414	414	156	414
9	0	0	0	0	0	0	156	0
10	0	0	0	0	0	0	414	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	156	156	156	156	156	285	0	156
16	156	156	156	156	156	156	0	156
17	156	156	156	156	156	156	0	156
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	216	216	216	216	216	0	0	216
23	216	216	216	216	216	0	0	216
24	216	216	216	216	216	0	0	216

Πίνακας Π1.22 1^{ος} Όροφος(1) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	156	156	156	156	156	156	156	156
2	156	156	156	156	156	156	156	156

3	156	156	156	156	156	156	156	156
4	156	156	156	156	156	156	156	156
5	156	156	156	156	156	156	156	156
6	156	156	156	156	156	156	156	156
7	156	156	156	156	156	156	156	156
8	414	414	414	414	414	414	156	414
9	0	0	0	0	0	0	156	0
10	0	0	0	0	0	0	414	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	156	156	156	156	156	285	0	156
16	156	156	156	156	156	156	0	156
17	156	156	156	156	156	156	0	156
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	216	216	216	216	216	0	0	216
23	216	216	216	216	216	0	0	216
24	216	216	216	216	216	0	0	216

Πίνακας Π1.23 1^{ος} Οροφος(2) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	156	156	156	156	156	216	216	156
2	156	156	156	156	156	216	216	156
3	156	156	156	156	156	216	216	156
4	156	156	156	156	156	156	156	156
5	156	156	156	156	156	156	156	156
6	156	156	156	156	156	156	156	156
7	156	156	156	156	156	156	156	156
8	414	414	414	414	414	156	156	414
9	0	0	0	0	0	156	156	0
10	0	0	0	0	0	156	156	0
11	0	0	0	0	0	414	414	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0

15	216	216	216	216	216	414	216	216
16	216	216	216	216	216	216	216	216
17	216	216	216	216	216	216	216	216
18	216	216	216	216	216	216	216	216
19	216	216	216	216	216	216	216	216
20	216	216	216	216	216	216	216	216
21	216	216	216	216	216	0	216	216
22	216	216	216	216	216	0	216	216
23	216	216	216	216	216	0	216	216
24	216	216	216	216	216	0	216	216

Πίνακας Π1.24 1^{ος} Οροφος(2) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	216	216	216	216	216	216	216	216
2	216	216	216	216	216	216	216	216
3	216	216	216	216	216	216	216	216
4	156	156	156	156	156	156	156	156
5	156	156	156	156	156	156	156	156
6	156	156	156	156	156	156	156	156
7	156	156	156	156	156	156	156	156
8	156	156	156	156	156	156	156	156
9	156	156	156	156	156	156	156	156
10	156	156	156	156	156	156	156	156
11	414	414	414	414	414	414	414	414
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	216	216	216	216	216	414	216	216
16	216	216	216	216	216	216	216	216
17	216	216	216	216	216	216	216	216
18	216	216	216	216	216	216	216	216
19	216	216	216	216	216	216	216	216
20	216	216	216	216	216	216	216	216
21	216	216	216	216	216	0	216	216
22	216	216	216	216	216	0	216	216
23	216	216	216	216	216	0	216	216
24	216	216	216	216	216	0	216	216

Αριθμός ατόμων

Πίνακας Π1.25 Υπόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας Π1.26 Υπόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	4	4	4	4	4	4	4	4
2	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	4	4	4	4
7	4	4	4	4	4	4	4	4
8	4	4	4	4	4	4	4	4

9	4	4	4	4	4	4	4	4
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	1	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4	4	4	4	4	4	4	4
19	4	4	4	4	4	4	4	4
20	4	4	4	4	4	4	4	4
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	4	4	4	4	4	4	4	4
24	4	4	4	4	4	4	4	4

Πίνακας Π1.27 Ισόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	4	4	4	4	4	4	0	4
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	4	4	4	4	4	4	0	4
15	4	4	4	4	4	4	0	4
16	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0

21	4	4	4	4	4	0	4	4
22	4	4	4	4	4	0	4	4
23	4	4	4	4	4	0	4	4
24	4	4	4	4	4	0	4	4

Πίνακας Π1.28 Ισόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	4	4	4	4	4	4	0	4
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	4	4	4	4	4	4	0	4
15	4	4	4	4	4	4	0	4
16	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	4	4	4	4	4	0	4	4
22	4	4	4	4	4	0	4	4
23	4	4	4	4	4	0	4	4
24	4	4	4	4	4	0	4	4

Πίνακας Π1.29 1^{ος} Όροφος(1) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2

5	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2
9	0	0	0	0	0	0	2	0
10	0	0	0	0	0	0	2	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	2	2	2	2	2	0	2
16	2	2	2	2	2	2	0	2
17	2	2	2	2	2	2	0	2
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	2	2	2	2	2	0	0	2
23	2	2	2	2	2	0	0	2
24	2	2	2	2	2	0	0	2

Πίνακας Π1.30 1^{ος} Όροφος(1) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2
9	0	0	0	0	0	0	2	0
10	0	0	0	0	0	0	2	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	2	2	2	2	2	0	2
16	2	2	2	2	2	2	0	2

17	2	2	2	2	2	2	0	2
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	2	2	2	2	2	0	0	2
23	2	2	2	2	2	0	0	2
24	2	2	2	2	2	0	0	2

Πίνακας Π1.31 1^{ος} Όροφος(2) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2
9	0	0	0	0	0	2	2	0
10	0	0	0	0	0	2	2	0
11	0	0	0	0	0	2	2	0
12	0	0	0	0	0	0	2	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	2	2	2	2	2	2	2
16	2	2	2	2	2	2	2	2
17	2	2	2	2	2	2	2	2
18	2	2	2	2	2	2	2	2
19	2	2	2	2	2	2	2	2
20	2	2	2	2	2	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	2
22	0	0	0	0	0	0	0	2
23	0	0	0	0	0	0	0	2
24	450	450	450	450	450	450	450	450

Πίνακας Π1.32 1^{ος} Όροφος(2) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
----------	---------	-------	---------	--------	-----------	---------	---------	------------

1	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2
11	2	2	2	2	2	2	2	2
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	2	2	2	2	2	2	2
16	2	2	2	2	2	2	2	2
17	2	2	2	2	2	2	2	2
18	2	2	2	2	2	2	2	2
19	2	2	2	2	2	2	2	2
20	2	2	2	2	2	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Εναλλαγές αέρα

Πίνακας Π1.33 Υπόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
9	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
10	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

11	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
12	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
13	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
14	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
15	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
18	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
19	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
20	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
21	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
22	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
23	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
24	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Πίνακας Π1.34 Υπόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
9	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
10	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
11	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
12	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
13	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
14	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
15	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
18	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
19	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
20	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
21	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
22	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

23	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
24	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

Πίνακας Π1.35 Ισόγειο(χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
2	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
3	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
4	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
5	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
6	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
7	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
8	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
9	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
10	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
11	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
12	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
13	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
14	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
15	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,25	2,25
16	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
17	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
18	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
19	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
20	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
21	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
22	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
23	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Πίνακας Π1.36 Ισόγειο(καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
2	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
3	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
4	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
5	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
6	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

7	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
8	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
9	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
10	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
11	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
12	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
13	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
14	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
15	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
16	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
17	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
18	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
19	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
20	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
21	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
22	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
23	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
24	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25

Πίνακας Π1.37 1^{ος} Οροφος(1) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
9	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
10	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
11	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
12	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
13	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
14	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
15	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	0,75	1,75
16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

18	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
19	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
20	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
21	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
22	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
23	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
24	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Πίνακας Π1.38 1^{ος} Όροφος(1) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
9	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
10	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
11	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
12	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
13	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
14	0,75	0,75	0,58	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
15	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
18	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
19	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
20	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
21	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
22	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
23	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
24	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

Πίνακας Π1.39 1^{ος} Όροφος(2) (χειμώνας)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
9	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
10	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
11	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
12	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
13	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
14	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
15	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	0,75	1,75
16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
18	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
19	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
20	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
21	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
22	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
23	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
24	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

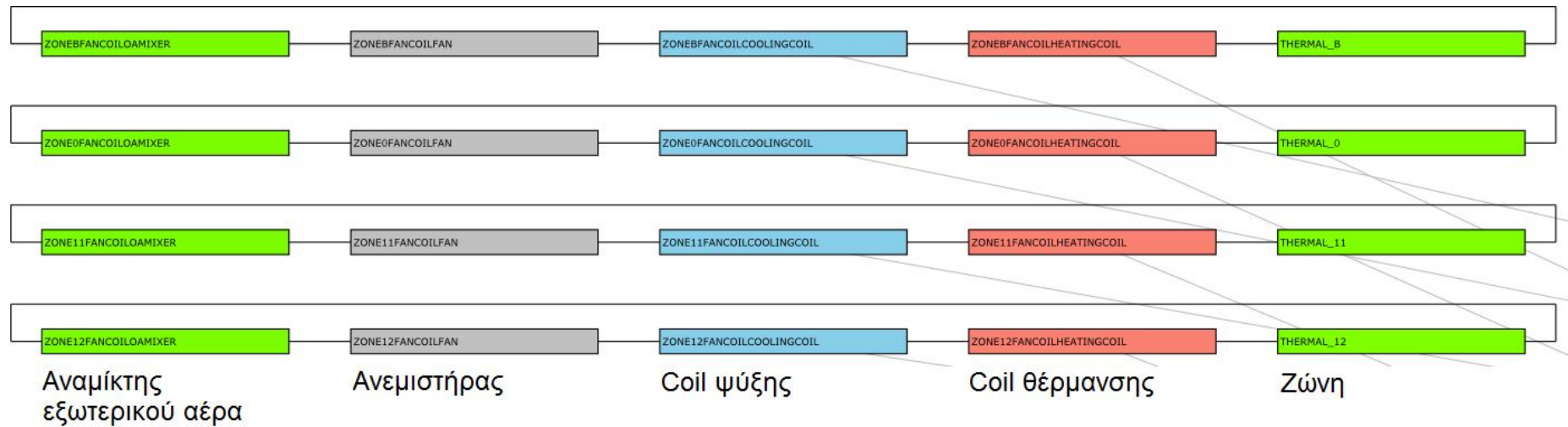
Πίνακας Π1.40 1^{ος} Οροφος(2) (καλοκαίρι)

Ωρα/Μέρα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Design Day
1	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
9	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
10	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
11	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
12	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
13	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

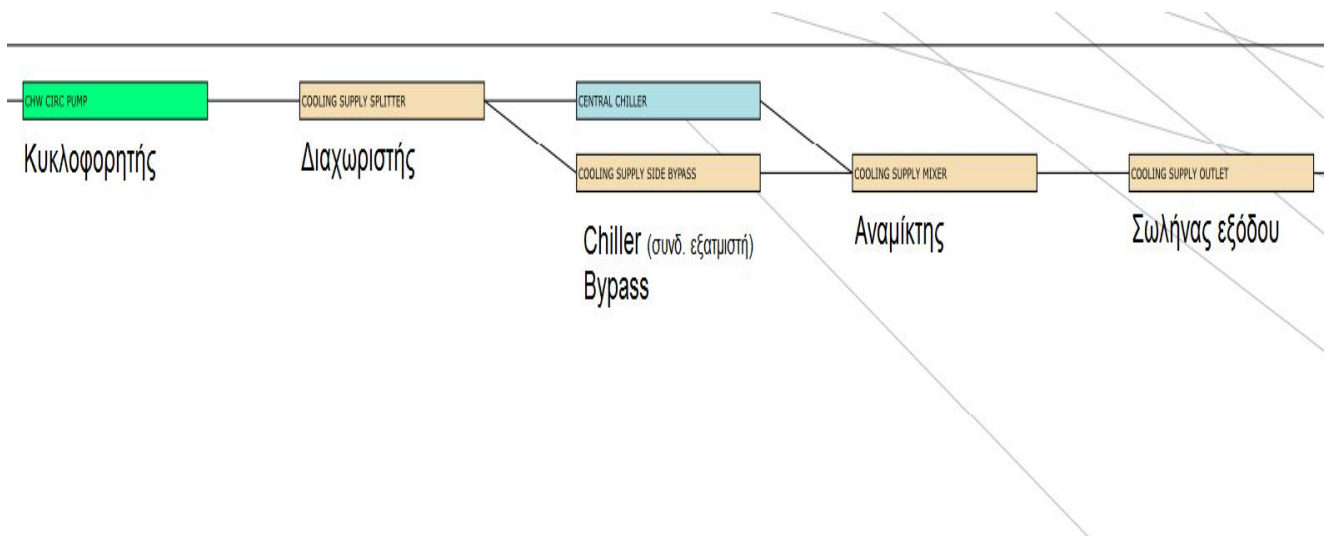
14	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
15	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
16	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
18	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
19	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
20	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
21	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
22	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
23	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
24	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

Παράρτημα 2: Συνδεσμολογία συστημάτων

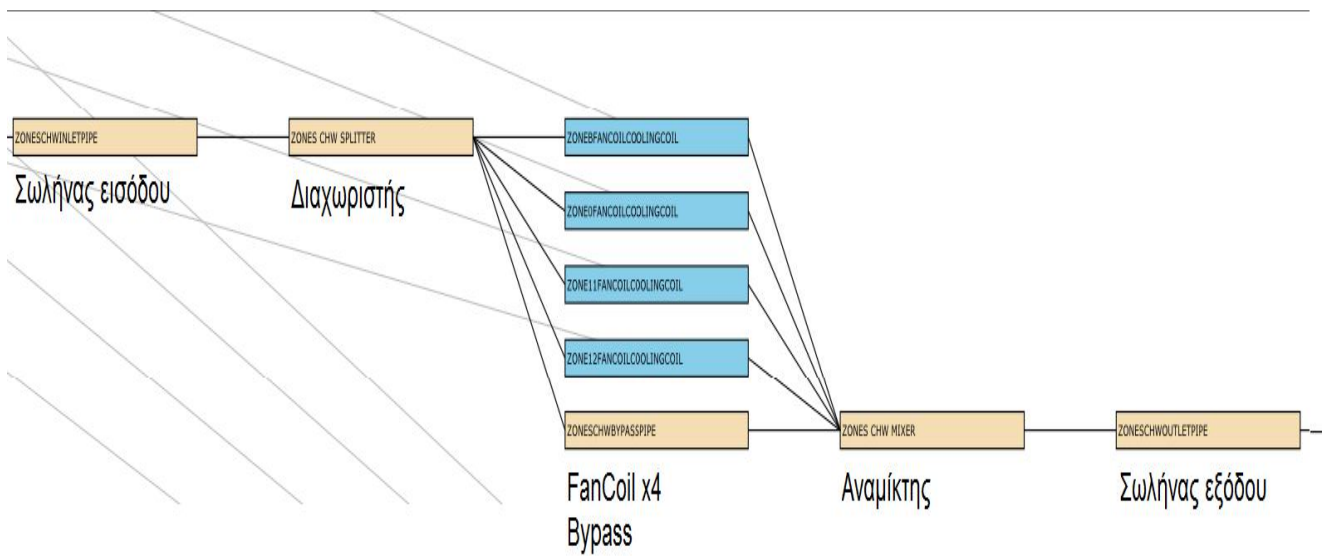
Θέρμανση – ψύξη – εναλλάκτες – FanCoil



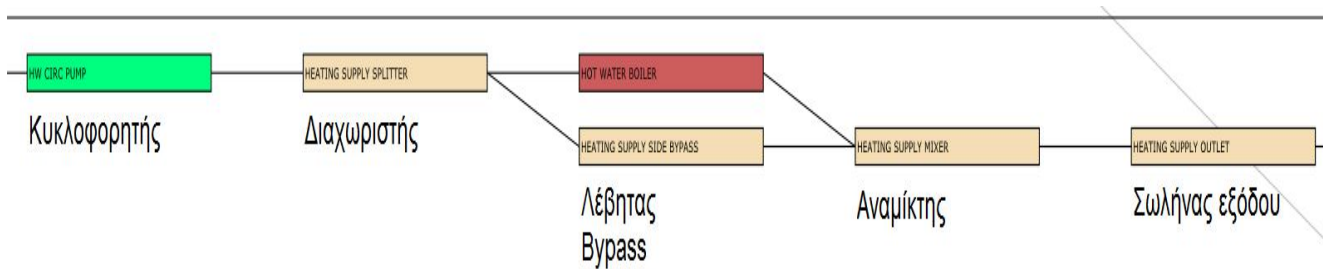
Σχήμα Π2.1: Συνδεσμολογία fan coil



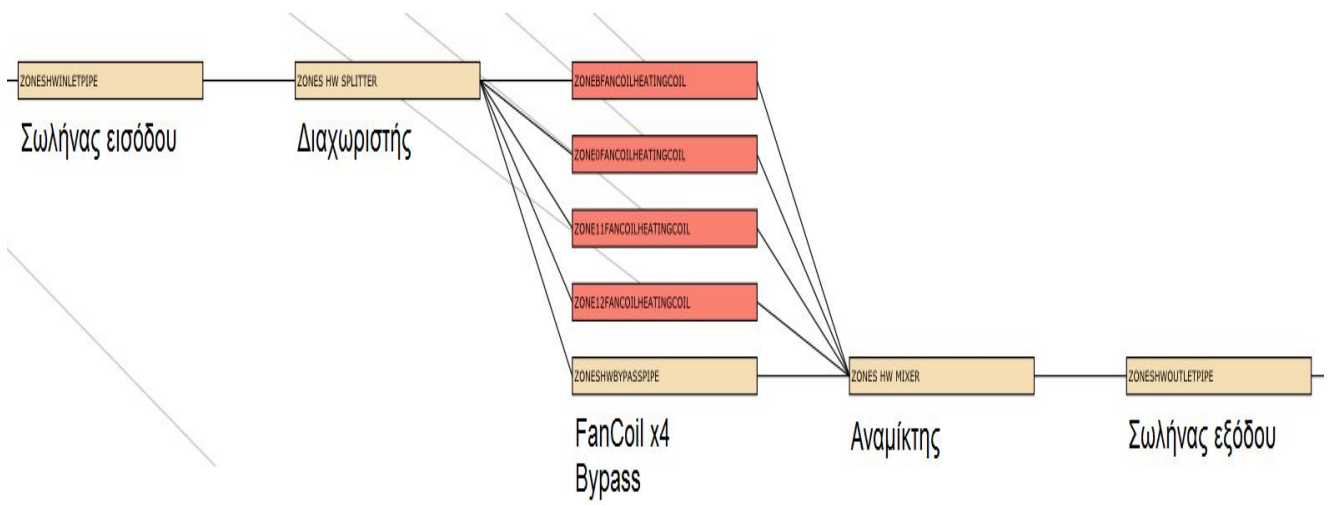
Σχήμα Π2.2: Συνδεσμολογία κύκλου ψύξης (chiller)



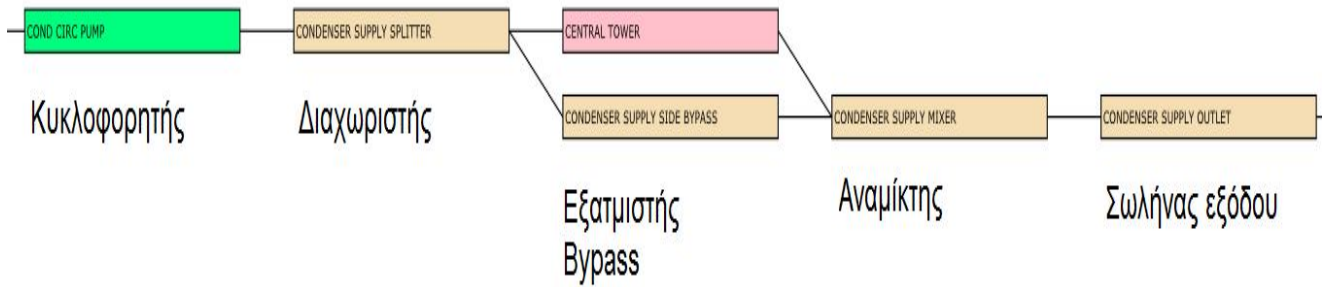
Σχήμα Π2.3: Συνδεσμολογία κύκλου ψύξης (ζώνες)



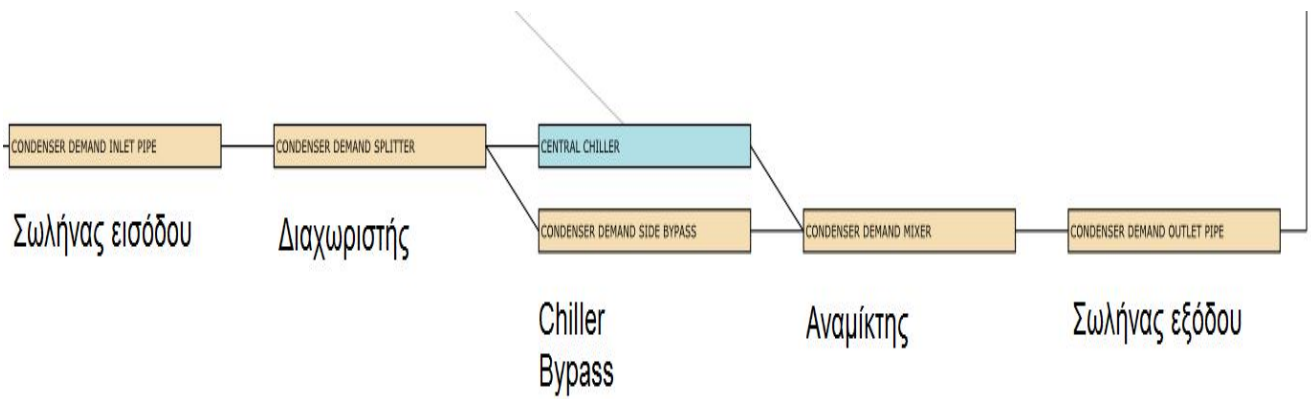
Σχήμα Π2.4: Συνδεσμολογία κύκλου θέρμανσης (λέβητας)



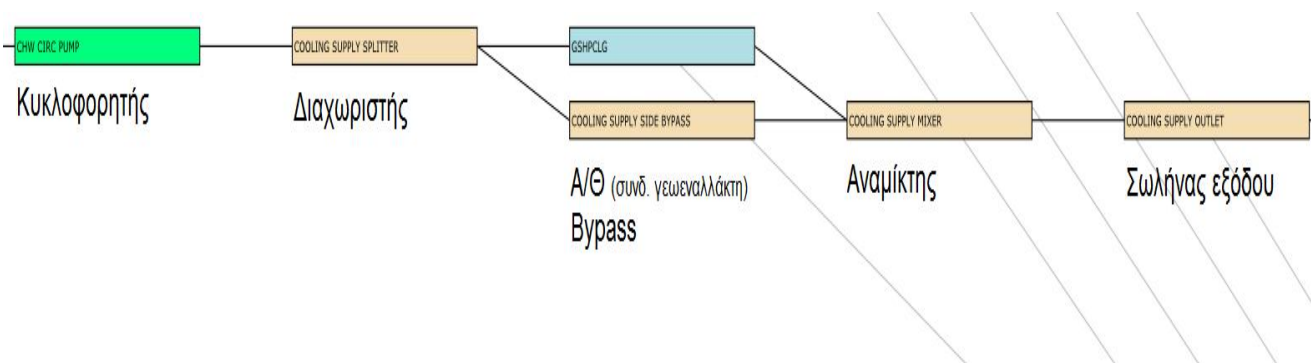
Σχήμα Π2.5: Συνδεσμολογία κύκλου θέρμανσης (ζώνες)



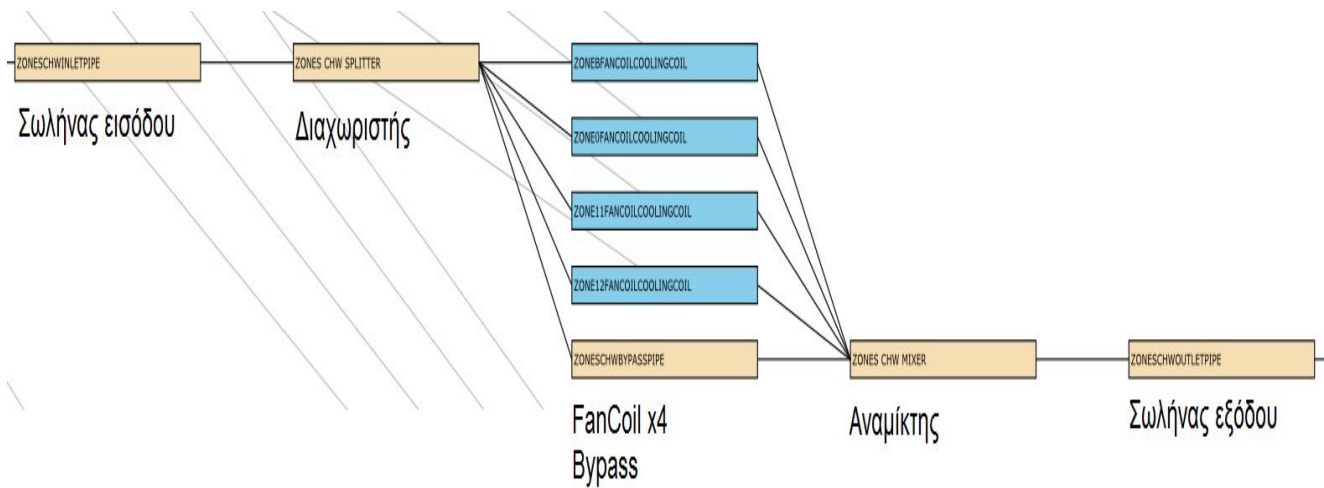
Σχήμα Π2.6: Συνδεσμολογία κύκλου εναλλάκτη (εξατμιστής)



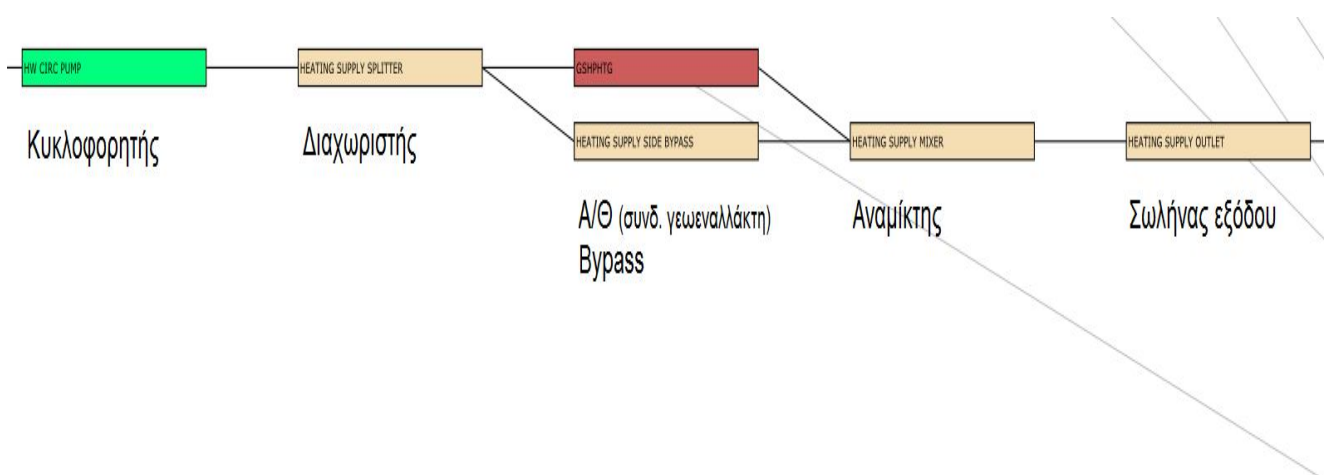
Σχήμα Π2.7: Συνδεσμολογία κύκλου εναλλάκτη (chiller)



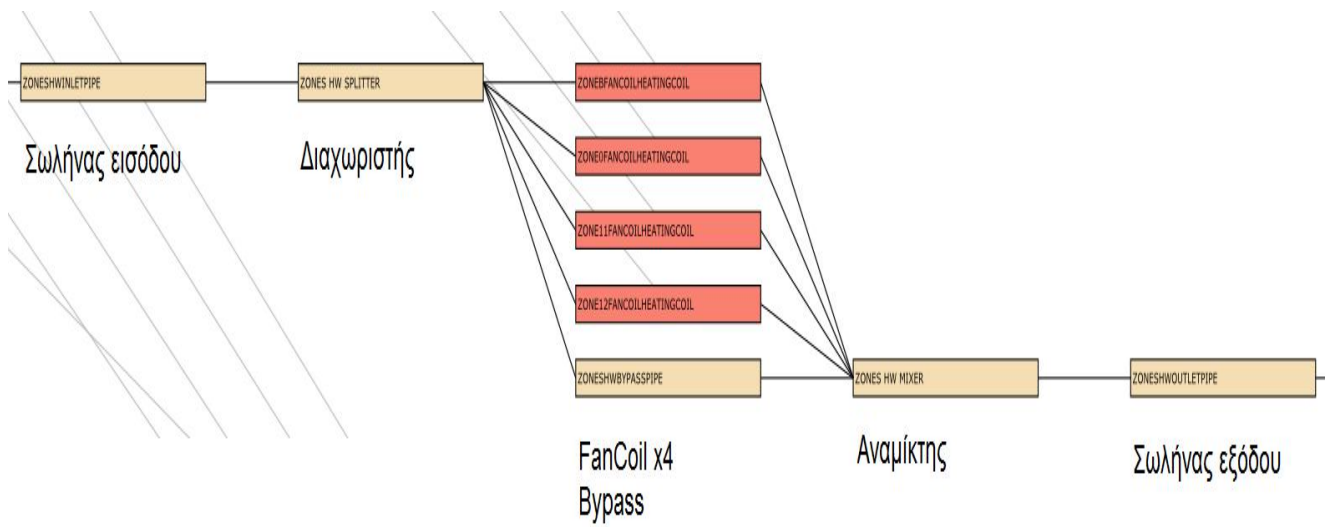
Σχήμα Π2.8: Συνδεσμολογία κύκλου ψύξης (A/Θ)



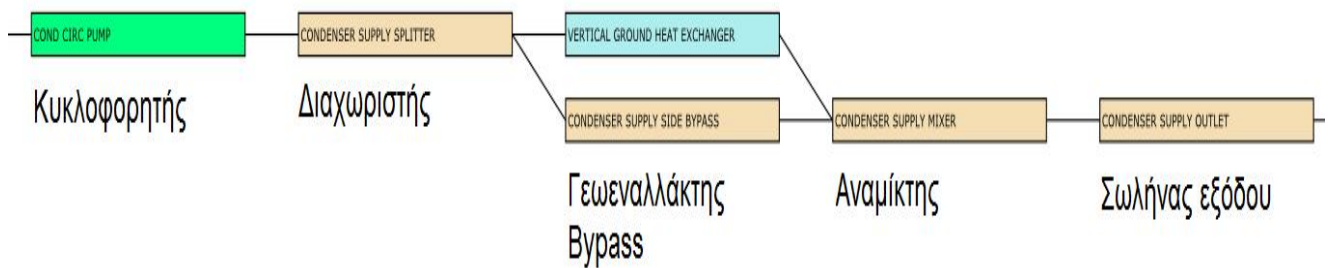
Σχήμα Π2.9: Συνδεσμολογία κύκλου ψύξης (ζώνες)



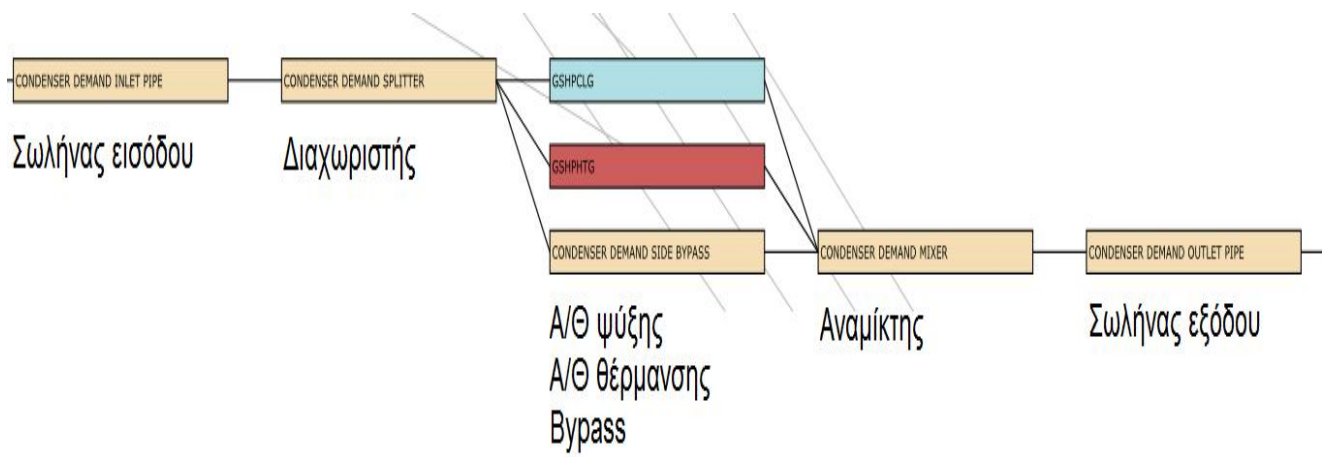
Σχήμα Π2.10: Συνδεσμολογία κύκλου θέρμανσης (Α/Θ)



Σχήμα Π2.11: Συνδεσμολογία κύκλου θέρμανσης (ζώνες)

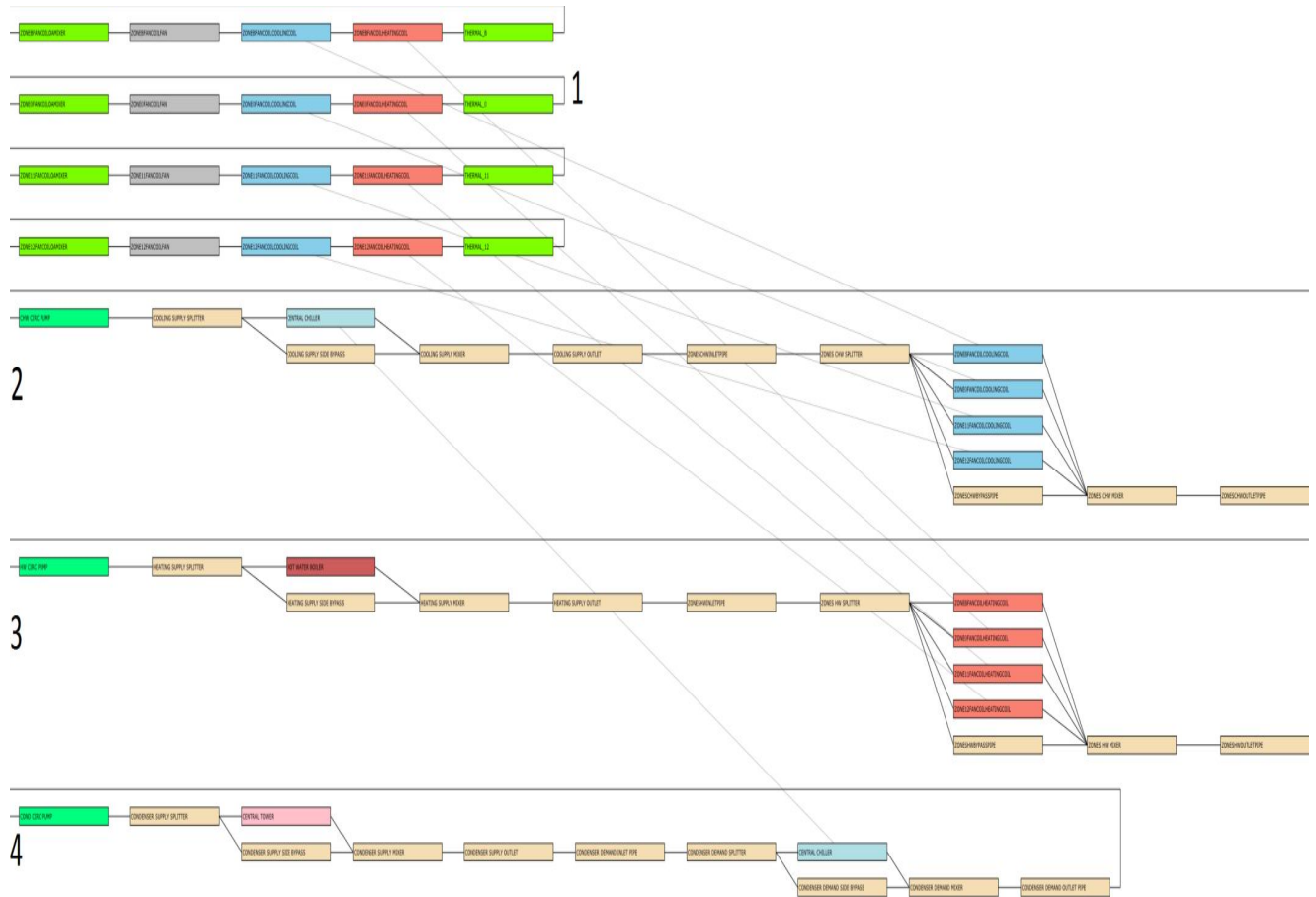


Σχήμα Π2.12: Συνδεσμολογία κύκλου γεωεναλλάκτη (γεωεναλλάκτης)



Σχήμα Π2.13: Συνδεσμολογία κύκλου γεωεναλλάκτη (A/Θ)

Ολοκληρωμένα συστήματα



Σχήμα Π2.14: Συνολική συνδεσμολογία συμβατικού συστήματος (1.FanCoil, 2.Ψύξη, 3.Θέρμανση, 4.Εναλλάκτης)



Σχήμα Π2.15: Συνολική συνδεσμολογία γεωθερμικού συστήματος (1. FanCoil, 2. Ψύξη(A/Θ), 3. Θέρμανση(A/Θ), 4. Γεωενάλκτης, 5. Θέρμανση(Λέβητας))