



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας υπόγειου νερού στη διαστασιολόγηση γεωθερμικού συστήματος ανοικτού κυκλώματος για οικιακή χρήση.

ΥΠΟ

Ζωής Ν. Σαγιά

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

Επιβλέπων: Αν. Καθηγητής Β. Κανακούδης

Βόλος, 2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας υπόγειου νερού στη διαστασιολόγηση γεωθερμικού συστήματος ανοικτού κυκλώματος για οικιακή χρήση.

ΥΠΟ

Ζωής Ν. Σαγιά

**Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού**

Επιβλέπων: Αν. Καθηγητής Β. Κανακούδης

Βόλος, 2015

© 2015 Σαγιά Ζωή

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Βασίλειος Κανακούδης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Κωνσταντίνος Κατσιφάρκας
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Ευάγγελος Κεραμάρης
Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Αφιερώνεται στον μπαμπά μου,

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας να γράφω το κείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αγαπητό μου επιβλέποντα, Αναπληρωτή Καθηγητή της Πολυτεχνικής Σχολής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Βασίλειο Κανακούδη για την καλή του συνεργασία. Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Κατσιφάρακη της Πολυτεχνικής Σχολής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την τιμή που μου έκανε να είναι μέλος της τριμελούς μου επιτροπής καθώς επίσης και τον Λέκτορα Ευάγγελο Κεραμάρη της Πολυτεχνικής Σχολής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Επιθυμώ ακόμα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Αντώνιο Λιακόπουλο για όλη τη βοήθειά του κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στην Πολυτεχνική Σχολή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας καθώς και τον Κοσμήτορα της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου Καθηγητή Ανδρέα Μπουντουβή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τους γονείς μου που με βοήθησαν και με ενθάρρυναν στην προσπάθεια αυτή καθώς επίσης και τους φίλους μου οι οποίοι με τον τρόπο τους διευκόλυναν την ολοκλήρωσή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα Εργαστήρια Μεταφοράς Θερμότητας και Θερμικών Διεργασιών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου για την άδεια χρήσης των λογισμικών.

Πίνακας περιεχομένων

1. Περίληψη	11
1.1 Ελληνική Περίληψη	11
1.2 Αγγλική Περίληψη	13
2. Εισαγωγή – Εννοιολογικό Πλαίσιο	15
3. Μελέτη Περίπτωσης	23
4. Κτίριο Κατοικίας	25
4.1 Σχεδιασμός κτιρίου	25
4.2 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίου	30
4.3 Κλιματικά δεδομένα	51
5. Γεωθερμικό Κύκλωμα	53
6. Αποτελέσματα – Συμπεράσματα	61
7. Βιβλιογραφία	79

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1. Σενάρια Μελέτης	23
Πίνακας 4.1. Συνολικά εμβαδά χώρων του κτιρίου κατοικίας	26
Πίνακας 4.2. Θερμικές ζώνες κτιρίου κατοικίας	31
Πίνακας 4.3. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 1	33
Πίνακας 4.4. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 2	34
Πίνακας 4.5. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 3	35
Πίνακας 4.6. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 4	36
Πίνακας 4.7. Δομικά στοιχεία [23]	45
Πίνακας 4.8. Συντελεστές θερμικής μετάβασης [27, 28]	45
Πίνακας 4.9.α Συντελεστές θερμοπερατότητας κατακόρυφων δομικών στοιχείων.....	46
Πίνακας 4.9.β Συντελεστές θερμοπερατότητας οριζόντιων δομικών στοιχείων.....	46
Πίνακας 4.10. Ιδιότητες διαφανών στοιχείων [16]	47
Πίνακας 4.11. Αερισμός και διείσδυση αέρα θερμικών ζωνών	47
Πίνακας 4.12. Θερμοκρασιακός έλεγχος θερμικών ζωνών [27]	47
Πίνακας 5.1. Παράμετροι γεωθερμικού συστήματος	56
Πίνακας 6.1. Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις Σεναρίων.....	66

Κατάλογος Σχημάτων

Σχ.2.1. Ενεργειακό ισοζύγιο σε θερμικό ταμιευτήρα [7].	15
Σχ.2.2. Γεωθερμικό σύστημα άμεσης χρήσης για τη θέρμανση χώρου [7].	17
Σχ.2.3. Γεωθερμικό σύστημα με αντλία θερμότητας για τη θέρμανση χώρου [7].	18
Σχ.2.4. Γεωθερμικό σύστημα κλειστού κυκλώματος κατακόρυφων γεωεναλλακτών για την ψύξη κτιρίου [7].	19
Σχ.2.5. Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού βρόχου [10].	20
Σχ.2.6. Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος για την ψύξη κτιρίου [7].	21
Σχ.4.1. Προοπτική άποψη του κτιρίου από την εμπρόσθια όψη.	38
Σχ.4.2. Προοπτική άποψη του κτιρίου από την οπίσθια όψη.	39
Σχ.4.3. Νότια όψη του κτιρίου.	40
Σχ.4.4. Βόρεια όψη του κτιρίου.	41
Σχ.4.5. Ανατολική όψη του κτιρίου.	42
Σχ.4.6. Δυτική όψη του κτιρίου.	43
Σχ.4.7. Παράθυρα εργασίας του TRNBuild [16].	49
Σχ.4.8. Διάγραμμα του μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου στο TRNSYS Simulation Studio [16].	50
Σχ.4.9. Παράθυρο METEONORM 6.1 [17].	51
Σχ.5.1. Παράθυρα λογισμικού GLD 2012 [20].	54
Σχ.5.2. Γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος για οικιακή χρήση. ..	55
Σχ.5.3. Μεταβολή των θερμοκρασιών σε εναλλάκτη ομορροής και αντιρροής [30, 32].	58
Σχ.5.4. Εναλλάκτης θερμότητας πλακών [7].	59
Σχ.6.1. Απεικόνιση της ωριαίας διακύμανσης της θερμοκρασίας των θερμικών ζωνών του κτιρίου για το Σενάριο 2, απευθείας από το TRNSYS 17.2.	62
Σχ.6.2. Απεικόνιση της ωριαίας διακύμανσης των ρυθμών μετάδοσης θερμότητας των οροφωδιαμερισμάτων του κτιρίου για το Σενάριο 2, απευθείας από το TRNSYS 17.2.	64

Σχ.6.3. Μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.	66
Σχ.6.4. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 1.....	68
Σχ.6.5. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 1.	70
Σχ.6.6. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την α΄ κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.....	70
Σχ.6.7. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 2.....	71
Σχ.6.8. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 2.	73
Σχ.6.9. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την β΄ κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.....	73
Σχ.6.10. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 3.....	74
Σχ.6.11. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 3.	75
Σχ.6.12. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την γ΄ κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.....	75
Σχ.6.13. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 4.....	76
Σχ.6.14. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 4.	77

Σχ.6.15. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την 8^η κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.77

1. Περίληψη

1.1 Ελληνική Περίληψη

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στις ανθρώπινες δραστηριότητες γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική στις μέρες μας. Η βελτίωση της απόδοσης των τεχνολογικών συστημάτων και η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσε να συμβάλλει σημαντικά στο σκοπό αυτό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η επίδραση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού στη διαστασιολόγηση γεωθερμικού συστήματος ανοικτού κυκλώματος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας κατοικίας. Η χρήση οποιουδήποτε γεωθερμικού συστήματος για το σκοπό αυτό συνιστά εφαρμογή ανανεώσιμης ενέργειας αλλά η επιλογή ανοικτού κυκλώματος αποτελεί μια ακόμα φιλικότερη προς το περιβάλλον λύση με την προϋπόθεση ότι το νερό δεν θα μολυνθεί.

Για την ολοκληρωμένη παρουσίαση του θέματος σχεδιάζεται πρότυπο - τυπικό κτίριο κατοικίας. Θεωρείται τριώροφο, με ένα διαμέρισμα ανα όροφο, το οποίο έχει αυτονομία θέρμανσης-ψύξης. Το κτίριο διαθέτει εξωτερική θερμομόνωση και ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στις οποίες διαιρείται ο Ελλαδικός χώρος. Γίνεται δηλαδή θεώρηση τεσσάρων σεναρίων, όπου στο καθένα έχει μεταβληθεί το πάχος της θερμομόνωσης για να καλυφθούν οι αντίστοιχες απαιτήσεις. Το κτίριο σχεδιάζεται σε περιβάλλον AUTOCAD 2010 και μοντελοποιείται με τη χρήση του λογισμικού TRNSYS 17.2. Γίνεται θεώρηση τεσσάρων θερμικών ζωνών, μια για κάθε διαμέρισμα και μια για το κλιμακοστάσιο. Τα κλιματικά δεδομένα λαμβάνονται από METEONORM 6.1.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω ωριαίας προσομοίωσης διαβάζονται από το λογισμικό GLD2012 με το οποίο διαστασιολογείται το κύκλωμα. Επιλέγεται η κατάλληλη αντλία θερμότητας για κάθε θερμαινόμενη ζώνη, η οποία καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος όταν η απαιτούμενη θερμοκρασία του κυκλοφορούντος νερού δεν επαρκεί και εξισορροπεί το σύστημα.

Επίσης, προσδιορίζονται οι ιδιότητες και η θερμοκρασία του εδάφους και του ρέοντος υπόγειου νερού καθώς και η διάταξη των σωληνώσεων. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα αποτελεί καθοριστική παράμετρο για τη διαστασιολόγηση και την οικονομικότητα του συστήματος. Για το λόγο αυτό μεταβάλλουμε τις

θερμοκρασίες του υπόγειου νερού χειμώνα και καλοκαίρι κατά ένα βαθμό και υπολογίζουμε την απαιτούμενη μεταβολή στην ενεργό επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια.

Προκύπτει ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του χρησιμοποιούμενου ρευστού, εδώ υπόγειου νερού, κατά τη διάρκεια του χειμώνα τόσο μικρότερη συνολική επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας απαιτείται. Το αντίστροφο ισχύει για το καλοκαίρι.

Επιπρόσθετα, για κάθε σενάριο που αναφέρεται σε διαφορετική κλιματική ζώνη και ορισμένο πάχος μόνωσης υπολογίζεται η επίδραση του πάχους της μόνωσης στο ολικό εμβαδό της ενεργού επιφάνειας του εναλλάκτη θερμότητας του κυκλώματος για συγκεκριμένο συνδυασμό θερμοκρασιών του υπόγειου ρέοντος νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους τόσο μικρότερη θα είναι η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας και αυτή θα μειώνεται ακόμα περισσότερο σε συνθήκες με μικρότερες ενεργειακές ανάγκες.

Κλείνοντας αυτήν την εργασία συμπεραίνουμε ότι τόσο η θερμοκρασία του διαθέσιμου προς αξιοποίηση υπόγειου νερού όσο και η ζητούμενη ενεργειακή απαίτηση που καλείται να καλύψει αποτελούν δύο από τους κρισιμότερους παράγοντες στην επιλογή και διαστασιολόγηση ενός ανοικτού κυκλώματος γεωθερμικού συστήματος. Είναι επίσης προφανές, ότι όσο μικρότερο μέγεθος εναλλάκτη θερμότητας επιτευχθεί, τόσο οικονομικότερο και φιλικότερο προς το περιβάλλον καθίσταται το σύστημα.

Σε μελλοντική εργασία θα μπορούσαν επίσης να διερευνηθούν η επίδραση της αντλίας θερμότητας στο κύκλωμα καθώς και μέτρα αποφυγής ρύπανσης του υδροφορέα.

1.2 Αγγλική Περίληψη

Nowadays, the need of energy saving is becoming more and more urgent. For this purpose, the improvement in technological systems efficiency and the use of renewable energy resources can be very helpful.

In the current thesis, the investigation of ground water temperature in the dimensioning of an open circuit geothermal heat pump system for domestic use is presented. The use of every geothermal system is by definition a renewable energy application but, the use of an open circuit geothermal system is an even more environmentally friendly application on condition that the water is not being polluted.

A test residential building is designed for this study. The building has three apartments, each one in a separate floor with autonomous heating and cooling system. The building has external insulation and it meets the requirements of the Greek regulation for the energy performance of buildings for all the four climatic zones of Greece. Four scenarios are considered and at each one the insulation thick is varied so as to satisfy the energy demands. The building is designed by AUTOCAD 2010 and is simulated by TRNSYS 17.2. Four thermal zones are considered; one thermal zone for each apartment and one for the stairwell. The climatic data are calculated by Meteonorm 6.1.

The results of the above hourly simulation are read by GLD 2012 software with which the ground system is dimensioned. The appropriate heat pump is selected for each apartment so as to balance and stabilize the system when the temperature of the flowing ground water is not the desirable.

The properties and temperature of the ground, the flowing ground water as well as the tubes configuration are also determined. Ground water temperature during winter and summer time is a crucial parameter for system's size and its economic viability. For this reason, the change in the active heat exchanger area is calculated for the four studied scenarios by varying the ground water temperature during winter and summer time by one degree.

The higher temperature of the flowing liquid, here the ground water, during winter time is, the smaller area is required. The reverse is applied during summer time.

What is more, for each scenario, which is referred to a different climatic zone, the influence of the insulation thick on the active heat exchanger

area is calculated for a certain combination of ground water winter and summer temperatures.

The thicker insulation is, the smaller area is required and this area becomes even smaller when the energy demands decrease by referring to a milder climate.

To conclude the ground water temperature and the building's energy demand are two of the most important factors which affect the size of an open circuit geothermal heat pump system. It is true, that the smaller size of heat exchanger results to a more economic and environmentally friendly ground system.

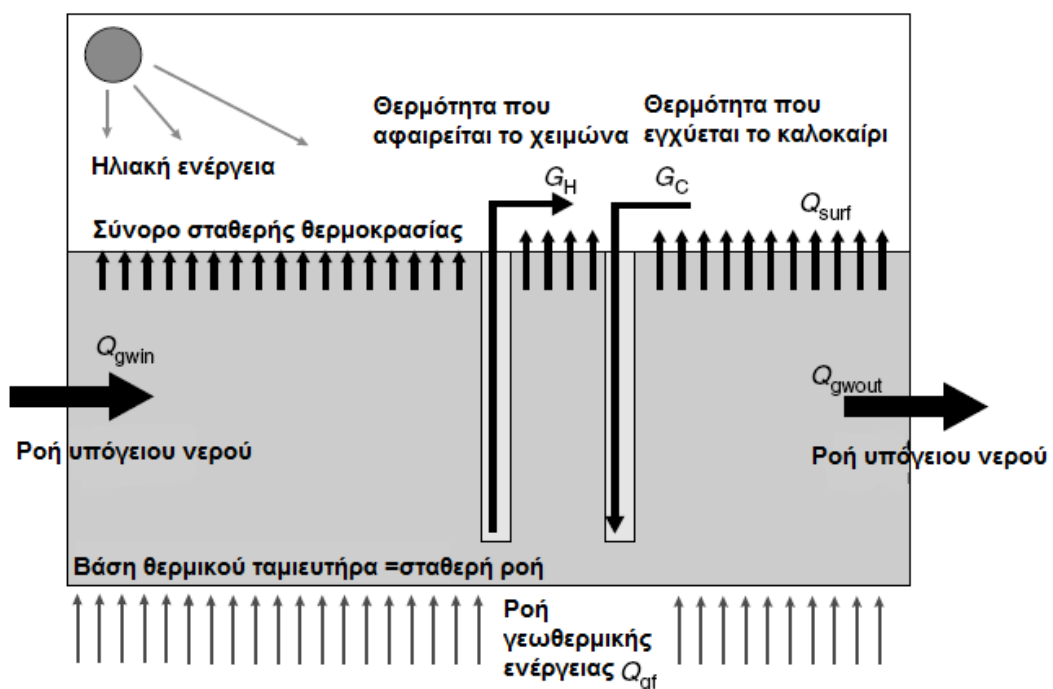
In a future work, heat pump's influence on geothermal system's efficiency as well as actions to avoid the pollution of the aquifer can be investigated.

2. Εισαγωγή – Εννοιολογικό Πλαίσιο

Η αξιοποίηση του φυσικού πλούτου του υπεδάφους αποτελεί μια δυνατότητα του ανθρώπου να εξελιχθεί και να προοδεύσει. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιταχύνει και διευκολύνει αυτή τη δραστηριότητα. Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του γήινου υπεδάφους είναι η δυνατότητά του να αποθηκεύει αξιόλογα ποσά θερμότητας [1-4]. Αυτό συμβαίνει τόσο στα στρώματα που το συνθέτουν όσο και στα ρευστά που κινούνται ή εγκλωβίζονται ανάμεσα σε αυτά. Το πλεονέκτημα αυτό εκμεταλλεύεται ο κλάδος της γεωθερμίας.

Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές του κλάδου είναι η εξοικονομηση ενέργειας κατά τη θέρμανση και ψύξη των κτιρίων [3-6]. Γίνεται εκμετάλλευση της σημαντικά μικρότερης θερμοκρασιακής διακύμανσης των στοιχείων του υπεδάφους κατά τη διάρκεια του έτους σε σχέση με τη μεγάλη θερμοκρασιακή διακύμανση του ατμοσφαιρικού αέρα.

Στο Σχ.2.1 φαίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο σε ένα τμήμα του υπεδάφους το οποίο μπορεί να αποθηκεύει θερμότητα και για το λόγο αυτό το αποκαλούμε θερμικό ταμιευτήρα [7-8]. Η ροή της θερμότητας μπορεί να εισέρχεται μέσω της ροής της γεωθερμικής ενέργειας από τα κατώτερα στρώματα του γήινου φλοιού. Αυτή η ροή μπορεί να θεωρηθεί σταθερή και συνεπώς ότι διαμορφώνει ένα αντίστοιχο θερμικό όριο στη βάση του ταμιευτήρα.



Σχ.2.1. Ενεργειακό ισοζύγιο σε θερμικό ταμιευτήρα [7].

Επίσης, η ροή του υπόγειου νερού, μακροσκοπικά, μπορεί να θεωρηθεί και αυτή σταθερή διαμορφώνοντας επιπλέον όρια σταθερής θερμικής ροής στα άκρα του ταμιευτήρα κατά την είσοδο και την έξοδο της από αυτόν.

Ακόμα, ο ταμιευτήρας μπορεί να κερδίζει ή να χάνει θερμότητα από την επιφάνεια του εδάφους. Σε συνηθισμένες φυσικές συνθήκες και σε μεγάλη χρονική διάρκεια παρατήρησης του φαινομένου, θα υπάρχει μια καθαρή απώλεια ενέργειας ίση με αυτή που εισέρχεται μέσω της γεωθερμικής ροής. Όταν εξάγεται θερμότητα από τον ταμιευτήρα, αυτός ψυχραίνεται και απορροφά θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνειά του. Η κατεύθυνση και το μέγεθος του ποσού θερμότητας προς και από την επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από το εύρος της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και στον αέρα κοντά σε αυτή καθόλη τη διάρκεια του έτους. Σε μακρόχρονη θεώρηση η μέση ετήσια θερμοκρασιακή διαφορά παραμένει σταθερή και για το λόγο αυτό το άνω όριο του θερμικού ταμιευτήρα μπορεί να θεωρηθεί ως σύνορο σταθερής θερμοκρασίας.

Αν δεν λαμβάνει χώρα κάποια σημαντική γεωχημική διεργασία στον ταμιευτήρα τότε ισχύει ο ενεργειακός θερμικός ισολογισμός.

$$Q_{gwout} + Q_{surf} = Q_{gwin} + Q_{gf} \quad (2.1)$$

Με την εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης εισάγονται δύο νέοι όροι στην Εξ.(2.1) του θερμικού ισοζυγίου. Για να διατηρηθεί η θερμική ισορροπία στον ταμιευτήρα θα πρέπει το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από τον ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια του χειμώνα να επανεγχύεται σε αυτό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

$$Q_{gwout} + Q_{surf} + G_H = Q_{gwin} + Q_{gf} + G_C \quad (2.2)$$

Αυτό είναι σπάνιο να συμβαίνει ως αποτέλεσμα των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου. Συνήθως τα φορτία του κτιρίου επιβάλλουν ένα σύστημα στο οποίο επικρατεί μια εκ των δύο λειτουργιών, είτε αυτή της θέρμανσης είτε αυτή της ψύξης. Αν αυτό δεν εκτιμηθεί και δεν αντιμετωπιστεί σωστά από το μηχανικό μελετητή το θερμικό ισοζύγιο θα είναι είτε

$$Q_{gwout} + Q_{surf} + G_H > Q_{gwin} + Q_{gf} + G_C \quad (2.3)$$

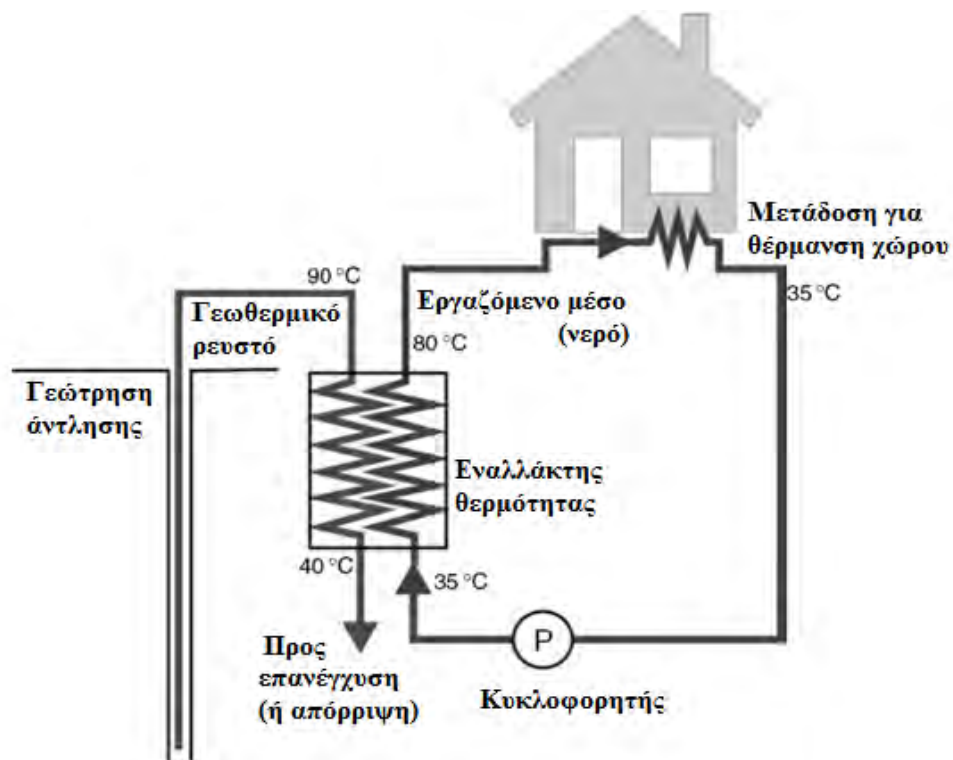
στην περίπτωση της θέρμανσης, είτε

$$Q_{gwout} + Q_{surf} + G_H < Q_{gwin} + Q_{gf} + G_C \quad (2.4)$$

στην περίπτωση της ψύξης. Οι όροι των Εξ.(2.1) - (2.4) δίνονται στο Σχ.2.1.

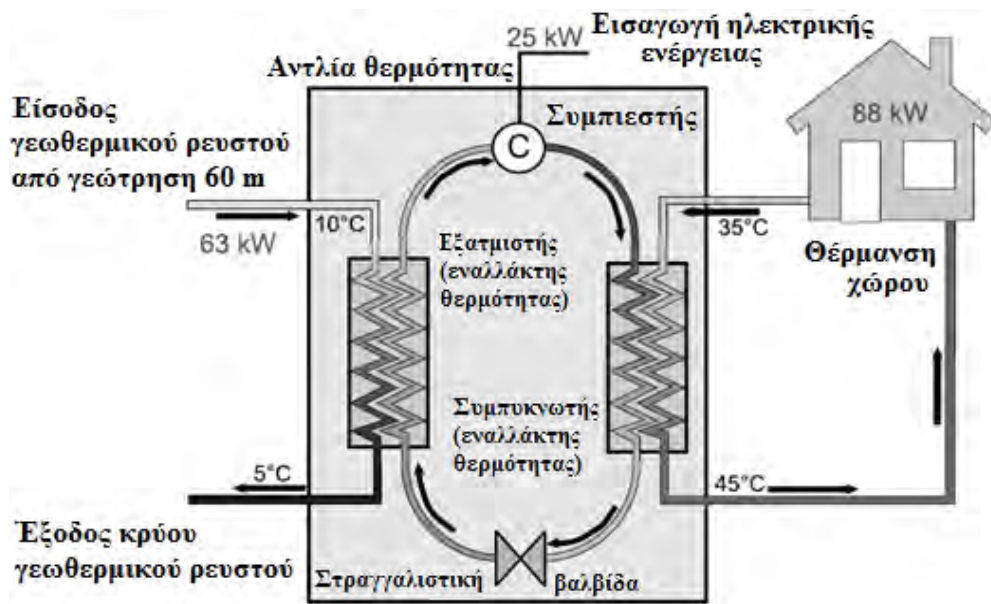
Οι περιπτώσεις των Εξ.(2.3) και (2.4) δεν είναι επιθυμητές καθώς οδηγούν σε μείωση της θερμικής απόκρισης του ταμιευτήρα στις ζητούμενες απαιτήσεις και για να αντιμετωπιστούν λαμβάνονται μέτρα κατά τη διαστασιολόγηση των γεωθερμικών συστημάτων. Επίσης, καλό είναι να αποφεύγονται και για περιβαλλοντικούς λόγους καθώς η διατάραξη της θερμικής ισορροπίας του υπεδάφους διαταράσσει τις βιολογικές λειτουργίες των οργανισμών που ζουν και αναπτύσσονται σε αυτό.

Οι εφαρμογές των γεωθερμικών συστημάτων [7, 9-11] διακρίνονται σε άμεσες και σε αυτές που περιλαμβάνουν αντλία θερμότητας. Στο Σχ.2.2 απεικονίζεται μια εφαρμογή άμεσης χρήσης για τη θέρμανση μιας κατοικίας. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος παρεμβάλλεται ανάμεσα στο γεωθερμικό ρευστό και στο ρευστό του κυκλώματος θέρμανσης. Είναι αρκετά περιορισμένες καθώς προϋποθέτουν δυνατότητα άντλησης σταθερής παροχής γεωθερμικού ρευστού υψηλής θερμοκρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Σχ.2.2. Γεωθερμικό σύστημα άμεσης χρήσης για τη θέρμανση χώρου [7].

Στο Σχ.2.3 απεικονίζεται μια εφαρμογή συστήματος αβαθούς γεωθερμίας για οικιακή χρήση η οποία περιλαμβάνει αντλία θερμότητας. Διακρίνονται τρία κυκλώματα. Το πρώτο αφορά την κυκλοφορία του γεωθερμικού ρευστού το οποίο αντλείται από και επανεγχύεται σε υδροφόρο ορίζοντα. Το δεύτερο είναι το κλειστό κύκλωμα του ψυκτικού μέσου της αντλίας θερμότητας, η αλλαγή φάσης του οποίου χαρακτηρίζει τη λειτουργία της αντλίας. Το τρίτο είναι αυτό του συστήματος διανομής της θέρμανσης στο κτίριο.

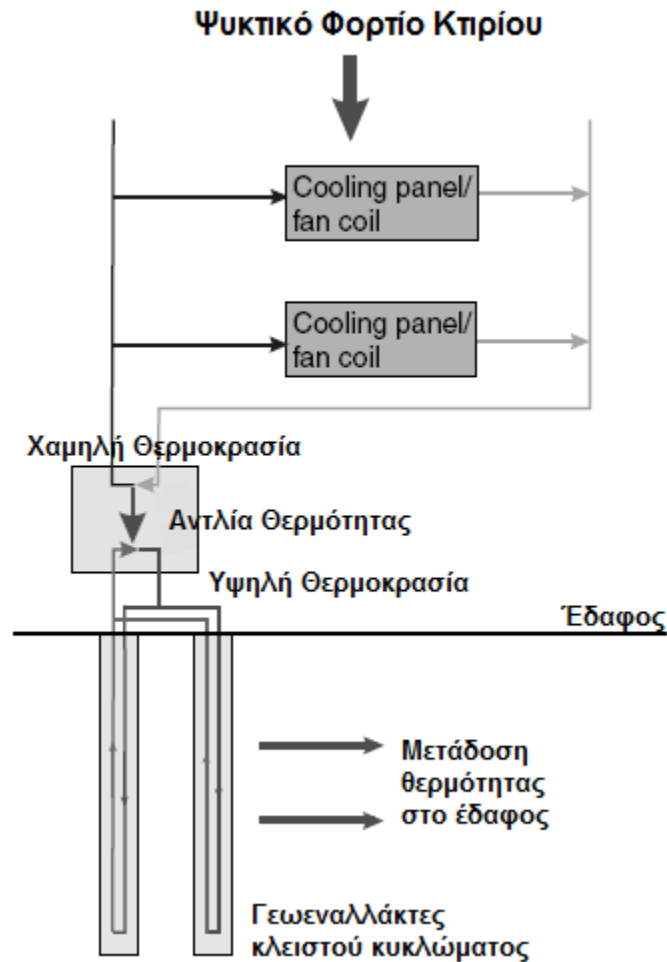


Σχ.2.3. Γεωθερμικό σύστημα με αντλία θερμότητας για τη θέρμανση χώρου [7].

Η αντλία θερμότητας λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και επιτυγχάνει να φέρει το νερό που κυκλοφορεί στο σύστημα θέρμανσης του κτιρίου στην επιθυμητή θερμοκρασία. Στην περίπτωση που το γεωθερμικό ρευστό διατίθεται σε επαρκή ποσότητα και ικανοποιητική θερμοκρασία συνεισφέρει σημαντικά στη λειτουργία της αντλίας και η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται.

Μια άλλη σημαντική διάκριση των γεωθερμικών συστημάτων θέρμανσης-ψύξης είναι [4, 7, 9-11] σε κλειστού και ανοιχτού κυκλώματος. Το γεωθερμικό σύστημα κλειστού κυκλώματος [5, 7, 9-12] είναι η επικρατέστερη εφαρμογή συστήματος αβαθούς γεωθερμίας και ανάλογα με τη διάταξη των κλειστών βρόχων διακρίνεται σε κατακόρυφο και οριζόντιο. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να

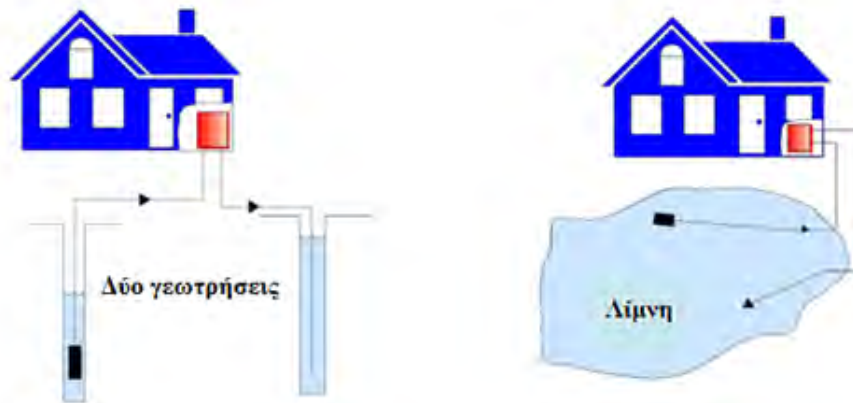
εγκατασταθεί σχεδόν οπουδήποτε. Στο Σχ.2.4 παρουσιάζεται η λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος κλειστού κυκλώματος με δύο κατακόρυφους γεωεναλλάκτες U-tube. Η εφαρμογή είναι για τη λειτουργία της ψύξης. Η θερμότητα που απάγεται από το κτίριο αποθηκεύεται στο έδαφος.



Σχ.2.4. Γεωθερμικό σύστημα κλειστού κυκλώματος κατακόρυφων γεωεναλλακτών για την ψύξη κτιρίου [7].

Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος [7, 10-11, 13-14] προϋποθέτουν την ύπαρξη νερού από κάποια πηγή. Το νερό αυτό μπορεί να προέρχεται από ποτάμι, λίμνη ή θάλασσα. Στο πλαίσιο τη θερμογεωλογίας, το νερό αυτό μπορεί επίσης, να προέρχεται από πηγές, να αντλείται από πηγάδια ή από ειδικές για το σκοπό αυτό γεωτρήσεις. Στο Σχ.2.5 φαίνονται δύο διαφορετικές εφαρμογές συστημάτων ανοικτού βρόχου. Η πρώτη περιλαμβάνει δύο γεωτρήσεις, μια άντλησης από και μια

επανέγχυσης στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, ενώ η δεύτερη αξιοποιεί την ύπαρξη ενός επιφανειακού ταμιευτήρα, μιας λίμνης.

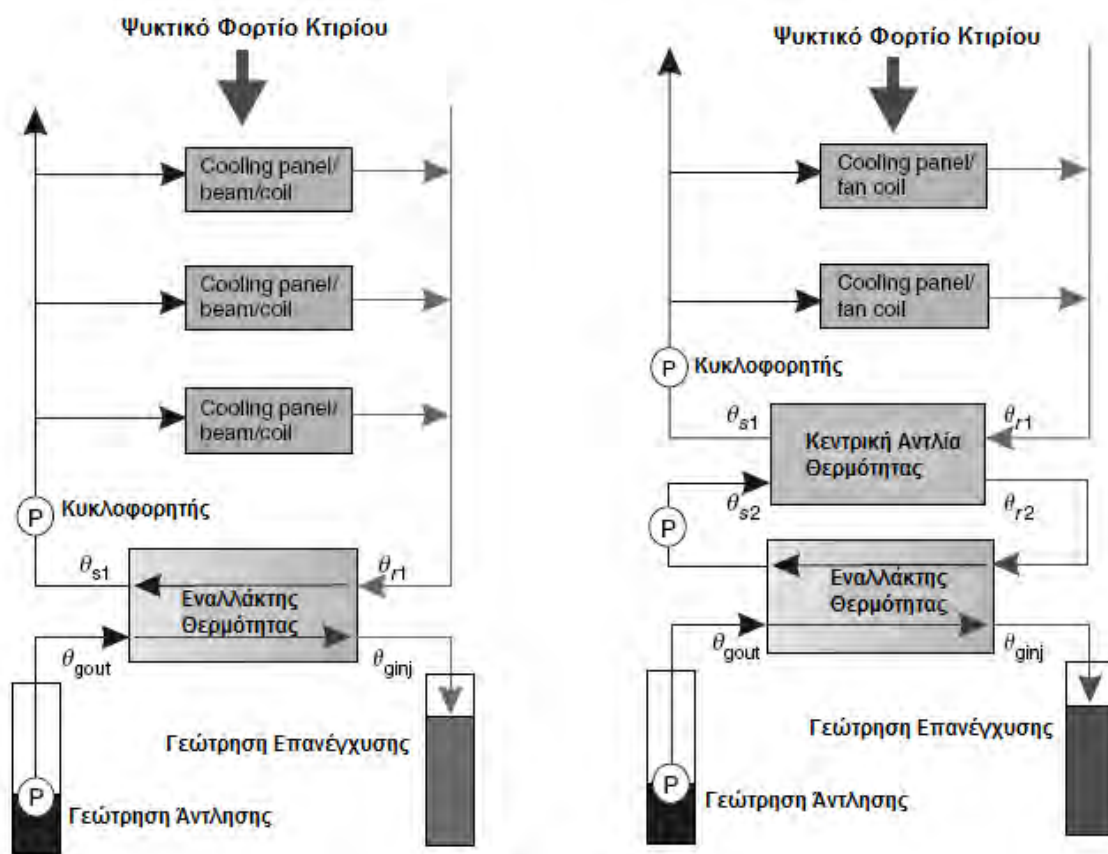


Σχ.2.5. Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού βρόχου [10].

Στο Σχ.2.6 παρουσιάζονται δύο γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος για την ψύξη του κτιρίου. Η διαφορά τους βρίσκεται στην ύπαρξη κεντρικής αντλίας θερμότητας η οποία καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου όταν η θερμοκρασιακή διαφορά $\theta_{\text{gout}} - \theta_{\text{ginj}}$ δεν επαρκεί. Παρατηρείται ακόμα ότι η συνδεσμολογία του Σχ.2.6 διαφοροποιείται από αυτή του Σχ.2.3 στην ύπαρξη του εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος διαχωρίζει το κύκλωμα στο οποίο ρέει το γεωθερμικό ρευστό από το ρευστό που διέρχεται από την αντλία θερμότητας. Η παρουσία του εναλλάκτη θερμότητας είναι απαραίτητη για να αποφευχθούν σημαντικοί κινδυνοί κατά τη λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος όπως [7, 11]:

- να φράξουν οι σωληνώσεις της αντλίας θερμότητας από την ύπαρξη ογκωδών σωματιδίων στο υπόγειο νερό,
- να κατακρημνιστούν στον εξαμιστή της αντλίας θερμότητας ορυκτά όπως ο ασβεστίτης ή το όξυ-υδροξείδιο του σιδήρου,
- να προκληθεί διάβρωση των σωλήνων της αντλίας αν το υπόγειο νερό είναι αρκετά αλατούχο, αλκαλικό ή περιέχει σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αερίων όπως CO_2 και H_2S ,
- η κυκλοφορία του υπόγειου νερού μπορεί να ενισχύσει τον ανεπιθύμητο σχηματισμό φιλμ μικροοργανισμών στην αντλία θερμότητας.

Άλλωστε, δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι η αντλία θερμότητας είναι αρκετά ακριβότερη από τον εναλλάκτη και άρα σε περίπτωση βλάβης προτιμάται να αντικατασταθεί ο εναλλάκτης από την αντλία θερμότητας στο σύστημα.



Σχ.2.6. Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος για την ψύξη κτιρίου [7].

Τα μειονεκτήματα των γεωθερμικών συστημάτων ανοικτού κυκλώματος με αντλία θερμότητας συνοψίζονται στα ακόλουθα [7, 11]:

- εξαρτώνται από την ύπαρξη επαρκούς υδάτινου αποθέματος για την ομαλή λειτουργία τους,
- απαιτούν τη γνώση σημαντικών δεδομένων υδρογεωλογίας της περιοχής,
- απαιτούν μια ή περισσότερες καλά διαμορφωμένες και σταθερά δομημένες (συνεπώς ακριβές) γεωτρήσεις με όλους τους μηχανισμούς άντλησης και παρακολούθησης της ροής του ύδατος,
- έχουν αυξημένο κόστος λειτουργίας των μηχανισμών άντλησης,
- δημιουργούν ένα χρησιμοποιημένο νερό το οποίο πρέπει να απορριφθεί ή να διατεθεί κάπου με νόμιμο τρόπο,
- συνήθως απαιτείται επίσημη κρατική άδεια για την άντληση υπόγειου νερού, τη χρήση του και την επανέγχυσή του στον

υδροφόρο ορίζοντα, η οποία μπορεί να απαιτεί και χρηματικό αντίτιμο,

- η σύσταση του μπορεί να χρειάζεται χημική παρακολούθηση.

Από την άλλη πλευρά, τα πλεονεκτήματα των γεωθερμικών συστημάτων ανοικτού κυκλώματος με αντλία θερμότητας για θέρμανση και ψύξη είναι εξίσου σημαντικά [7, 11]:

- χρησιμοποιούν ένα φυσικό μέσο, το υπόγειο νερό, το οποίο βρίσκεται στο υπέδαφος και έχει τεράστια ειδική θερμότητα της τάξης των 4.180 kJ/l K,
- η θερμότητα μεταδίδεται μέσω της συναγωγής, λόγω της κυκλοφορίας του υπόγειου νερού και όχι μέσω αγωγής,
- το υπόγειο νερό που αντλείται, αν δεν είναι επιθυμητή η επανέγχυσή του στον υδροφόρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς όπως στη βιομηχανία,
- για εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης χώρου η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού δεν είναι σημαντική αρκεί να υπάρχουν μέτρα προστασίας της καλής λειτουργίας του εναλλάκτη και της αντλίας θερμότητας,
- μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και θαλασινό νερό.

3. Μελέτη Περίπτωσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται ένα γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος το οποίο διαστασιολογείται για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου κατοικιών. Στην συγκεκριμένη μοντελοποίηση δεν υπάρχει πρόβλεψη για το ζεστό νερό χρήσης, που αποτελεί μια σημαντική ενεργειακή κατανάλωση του οικιακού τομέα αλλά θα μπορούσε εν δυνάμει να προβλεφθεί κάλυψη σε μελλοντικό επανασχεδιασμό του γεωθερμικού συστήματος.

Για το σκοπό αυτό, σχεδιάζεται σε περιβάλλον AUTOCAD 2010 [15] ένα τριώροφο κτίριο, σε κάθε όροφο του οποίου υπάρχει μια ξεχωριστή ιδιοκτησία-διαμέρισμα. Τα διαμερίσματα έχουν διαφορετικά εμβαδά και καθένα θεωρείται ξεχωριστή θερμική ζώνη με αυτονομία θέρμανσης και ψύξης. Η επιλογή αυτού του σχεδιασμού γίνεται σκόπιμα έτσι ώστε να δικαιολογείται η θεώρηση διαφορετικής θερμικής ζώνης για κάθε διαμέρισμα. Η προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και ο υπολογισμός των ενεργειακών του αναγκών για θέρμανση και ψύξη γίνεται με τη χρήση του λογισμικού TRNSYS 17.2 [16]. Τα αρχεία των κλιματικών δεδομένων υπολογίζονται από το λογισμικό METEONORM 6.1 [17].

Θεωρούνται τέσσερα Σενάρια τα οποία τοποθετούν το κτίριο σε διαφορετική πόλη του ελλαδικού χώρου, η κάθε μια από τις οποίες ανήκει σε διαφορετική κλιματική ζώνη. Όλα τα δομικά στοιχεία του κτιρίου είναι εξωτερικά θερμομονωμένα. Το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης μεταβάλλεται ανάλογα με την πόλη όπου βρίσκεται το κτίριο έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της ελληνικής νομοθεσίας σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) [18, 19]. Ο Πίνακας 3.1 συγκεντρώνει τα τέσσερα αυτά Σενάρια μελέτης.

Πίνακας 3.1. Σενάρια Μελέτης

Σενάριο	Κλιματική ζώνη	Πόλη - Περιοχή
Σενάριο 1	α΄	Κως
Σενάριο 2	β΄	Πρέβεζα
Σενάριο 3	γ΄	Καβάλα
Σενάριο 4	δ΄	Καστοριά

Για κάθε εξεταζόμενο Σενάριο διαστασιολογείται ένα γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος, το οποίο θα καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου για θέρμανση και ψύξη. Η διαστασιολόγηση και η

προσομοίωση της λειτουργίας του γεωθερμικού συστήματος γίνεται με τη χρήση του λογισμικού GLD 2012 [20].

Στη συνέχεια πραγματοποιείται παραμετρική μελέτη μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι κατά ένα βαθμό. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται για κάθενα από τα εξεταζόμενα Σενάρια. Διερευνάται, με τον τρόπο αυτό, η επίδραση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού στην υπολογιζόμενη ενεργό επιφάνεια του απαιτούμενου εναλλάκτη θερμότητας πλακών. Επιχειρείται δηλαδή να αποτιμηθεί η επίδραση θερμοκρασιακών διαφορών, με δεδομένο φορτίο, στην ενεργό επιφάνεια του εναλλάκτη.

Τέλος, επιλέγονται δύο από τους μελετώμενους συνδυασμούς θερμοκρασιών υπόγειου νερού για χειμώνα και καλοκαίρι, για κάθε Σενάριο, για τους οποίους μεταβάλλεται το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου και υπολογίζεται η επίδραση αυτής στην υπολογιζόμενη ενεργό επιφάνεια. Εδώ, εξετάζεται η επίδραση της αλλαγής του φορτίου, με δεδομένες θερμοκρασιακές διαφορές, στο εμβαδό της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας.

4. Κτίριο Κατοικίας

4.1 Σχεδιασμός κτιρίου

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας σχεδιάζεται ένα κτίριο κατοικίας σε περιβάλλον AUTOCAD 2010 [15]. Το κτίριο χωροθετείται στο κέντρο μεγάλου οικοπέδου και είναι πανταχόθεν ελεύθερο. Επίσης, θεωρείται ότι απέχει τόση απόσταση από τα γειτονικά του κτίσματα ώστε ουσιαστικά να μην σκιάζεται από αυτά ή να δέχεται πολύ μικρό ποσοστό σκίασης για μικρή διάρκεια μέσα στο εικοσιτετράωρο. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αμεληθεί κατά τους ενεργειακούς υπολογισμούς του φορτίου.

Θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι έχουν υποτεθεί συνθήκες που επιτρέπουν πλήρη ελευθερία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου και συνεπώς μπορούν να προταθούν άπειρες σχεδιαστικές λύσεις. Ακόμα, επειδή διανύουμε την εποχή όπου κυριαρχεί η τάση της εξοικονόμησης ενέργειας, τόσο γενικά όσο και στον κτιριακό τομέα, δίνεται η δυνατότητα να σχεδιάσουμε ένα κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης σε σημείο που αυτή να τείνει σε μη αξιόλογη τιμή και για αυτό να χαρακτηρίζεται το κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ή ενδεχομένως και «πράσινο» [21]. Όμως, ενώ όλες αυτές οι δυνατότητες παραμένουν αληθείς, στην παρούσα εργασία σχεδιάζεται ένα κτίριο το οποίο θα εξυπηρετεί το σκοπό του παρόντος αντικειμένου μελέτης.

Μέσα από το σχεδιασμό αυτό επιχειρείται, πρώτον, να προβληθούν συγκεκριμένα στοιχεία ενεργειακής μοντελοποίησης κατά την ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου για τον υπολογισμό των αναγκών του για θέρμανση και ψύξη. Δεύτερον, επιδιώκεται η διαδικασία αυτή να είναι σύντομη αλλά ταυτοχρόνως και περιεκτική ώστε να μην αναλωθεί όλη η παρούσα διπλωματική στον σχεδιασμό ή στην κατασκευή ή στη λειτουργία ενός κτιρίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, που θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο άλλων εργασιών. Τρίτον, μειώνεται ο υπολογιστικός χρόνος των χρησιμοποιούμενων μοντέλων, με το να είναι απλούστερα και να δίνουν άμεσα αποτελέσματα στο ερώτημα της μελέτης, που είναι η διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας υπόγειου νερού στη διαστασιολόγηση γεωθερμικού συστήματος ανοικτού κυκλώματος.

Το πρότυπο-τυπικό κτίριο μελέτης που σχεδιάζεται έχει νότιο προσανατολισμό, βρίσκεται πάνω σε πιλοτή και αποτελείται από τρία οροφοδιαμερίσματα όπου το καθένα έχει περίπου το ήμισυ του εμβαδού του διαμερίσματος του προηγούμενου ορόφου του. Ο Πίνακας 4.1 συνοψίζει τα συνολικά εμβαδά των χώρων του κτιρίου.

Πίνακας 4.1. Συνολικά εμβαδά χώρων του κτιρίου κατοικίας

Χώρος	Εμβαδό (m ²)
Διαμέρισμα πρώτου ορόφου	250
Διαμέρισμα δευτέρου ορόφου	126.5
Διαμέρισμα τρίτου ορόφου	65.5
Κλιμακοστάσιο	130

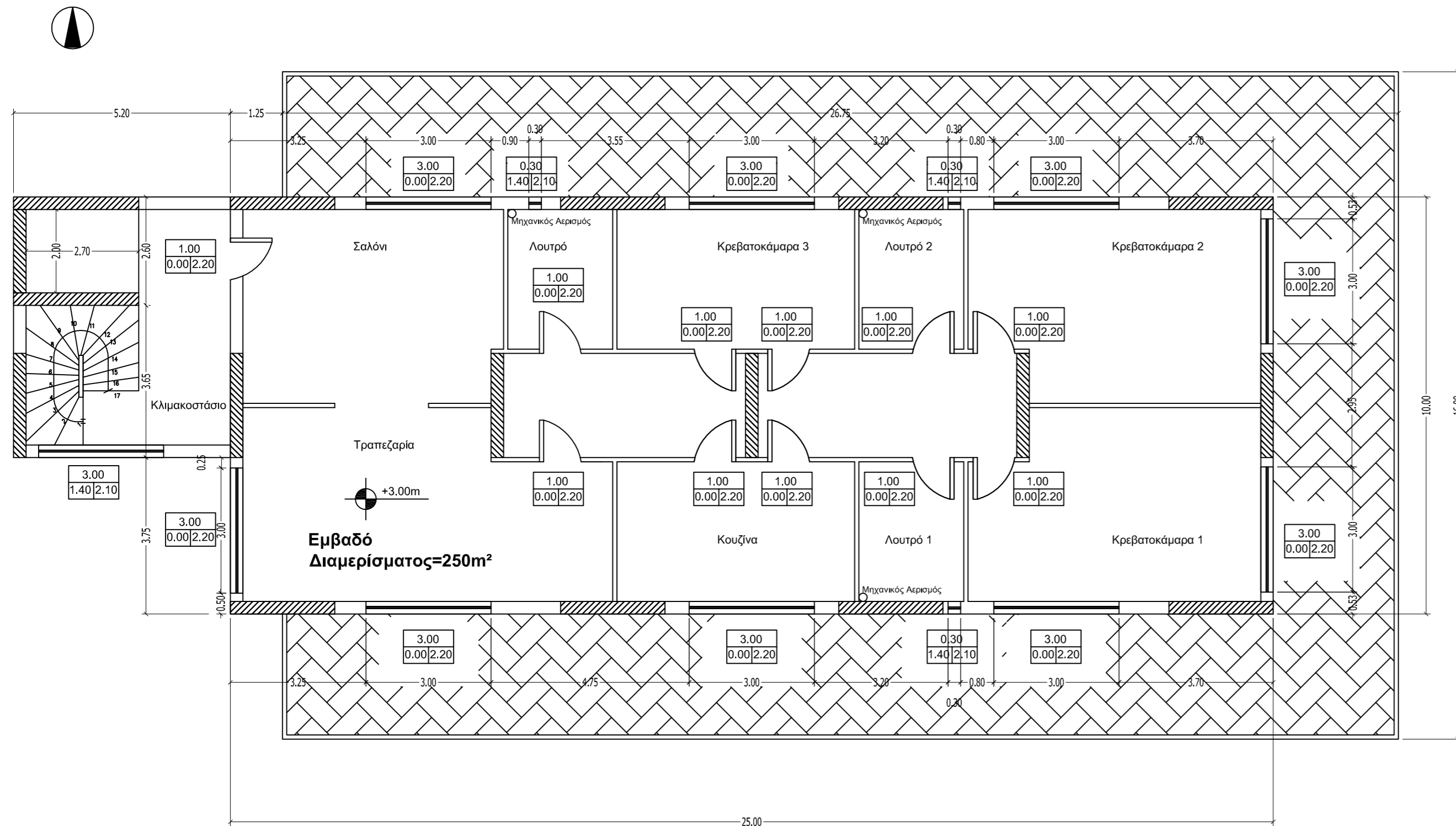
Οι χώροι αποθηκών και μηχανολογικού εξοπλισμού είναι υπόγειοι και δεν λαμβάνονται υπόψη στους ενεργειακούς υπολογισμούς της παρούσας εργασίας, για αυτό δεν παρατίθενται.

Τα ανοίγματα του κτιρίου ικανοποιούν τους περιορισμούς του οικοδομικού κανονισμού [22] για φυσικό φωτισμό και αερισμό των χώρων του, δηλαδή το εμβαδό των ανοιγμάτων να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το 10% του εμβαδού του χώρου στον οποίο αντιστοιχούν για φυσικό φωτισμό και μεγαλύτερο ή ίσο του 5% για φυσικό αερισμό. Τα ποσοστά των ανοιγμάτων ανά όψη δίνονται στη συνέχεια, στους Πίνακες 4.3, 4.4, 4.5 και 4.6, οι οποίοι ορίζουν αναλυτικά τις θερμικές ζώνες.

Το διαμέρισμα του πρώτου ορόφου διαθέτει μεγάλη βεράντα η οποία διατρέχει όλη την ελεύθερη περίμετρό του, ενώ τα διαμερίσματα του δεύτερου και του τρίτου ορόφου μπορούν να έχουν, επιπλέον, στη διάθεσή τους όλο τον υπόλοιπο χώρο της οροφής του διαμερίσματος το οποίο βρίσκεται από κάτω τους. Οι χώροι αυτοί είναι αρκετά μεγάλοι και τμήμα τους θα μπορούσε να φέρει φύτευση, διαμορφώνοντας τμήματα φυτεμένου δώματος ή και ηλιακούς συλλέκτες αλλά στην παρούσα φάση αυτές οι λύσεις δεν εξετάζονται. Ακόμα δεν γίνεται πρόβλεψη για το σκιασμό των ανοιγμάτων γεγονός που αυξάνει την απαίτηση του κτιρίου για ψύξη και ιδίως μέσω των νότιων ανοιγμάτων του.

Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι το σχεδιαζόμενο κτίριο ικανοποιεί κάποιες από τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού [23, 24] όπως η επιλογή του νότιου προσανατολισμού του και η χωροθέτηση κάποιων χρήσεων (ανατολικές κρεβατοκάμαρες, δυτικό σαλόνι). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την εφαρμογή γεωθερμικού κύκλωματος για την κάλυψη των απαιτήσεών του σε θέρμανση και ψύξη δείχνει ότι υλοποιείται σε αυτό πολιτική εξοικονόμησης ενέργειας, χωρίς όμως αυτή να ολοκληρώνεται αξιοποιώντας όλες τις δυνατότητές του κτιρίου και χωρίς να βελτιστοποιείται.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι κατόψεις των τριών ορόφων σε κλίμακα 1:100 στις οποίες εμφανίζονται μόνο τα αναγκαία για την ενεργειακή προσομοίωση στοιχεία.

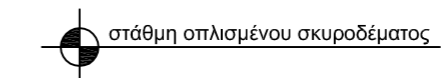


ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ

- 1. Στοιχείο Οπλισμένου Σκυροδέματος
- 2. Στοιχείο οπτοπλινθοδομής
- 3. Επίστρωση κεραμικών πλακιδίων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ

πλάτος
 ποδιά/ύψος



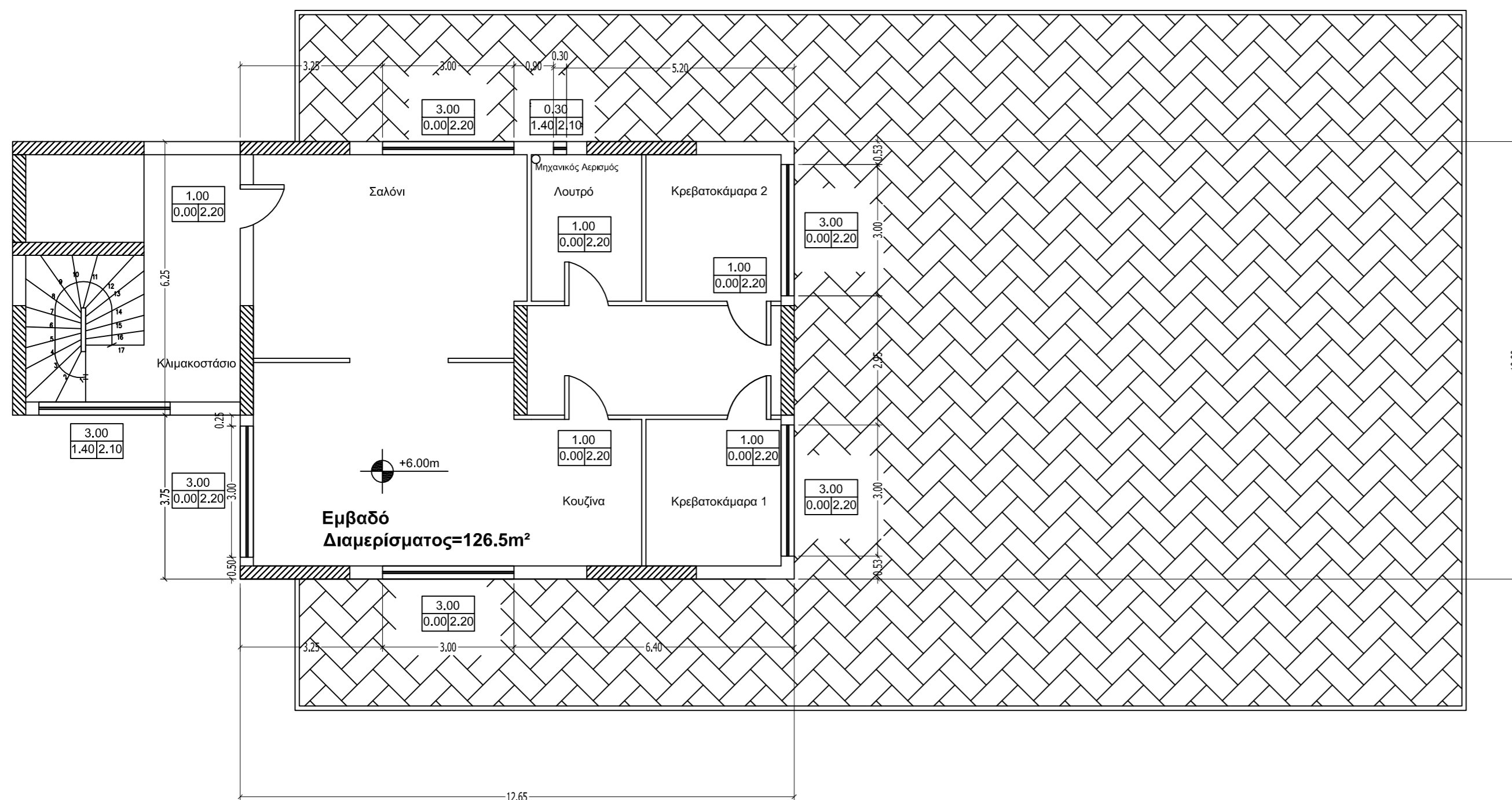
στάθμη οπλισμένου σκυροδέματος

ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ


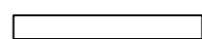
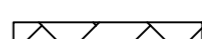
1. Σαλόνι: 28,67 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 10%*28,67 m² = 2,87 m²
2. Τραπεζαρία: 37,44 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 10%*37,44 m² = 3,74 m²
3. Κουζίνα: 19,10 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 10%*19,10 m² = 1,91 m²
4. Κρεβατοκάμαρα 1: 30,72 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 10%*30,72 m² = 3,07 m²
5. Κρεβατοκάμαρα 2: 30,72 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 10%*30,72 m² = 3,07 m²
6. Κρεβατοκάμαρα 3: 19,10 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 10%*19,10 m² = 1,91 m²
7. Κλιμακοστάσιο: 27,69 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 2,10 m² > 0,50 m²

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

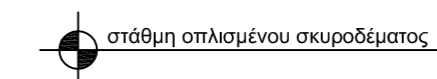
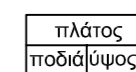
1. Σαλόνι: 28,67 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 5%* 28,67 m² = 1,43 m²
2. Τραπεζαρία: 37,44 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 5%*37,44 m² = 1,87 m²
3. Κουζίνα: 19,10 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 5%*19,10 m² = 0,96 m²
4. Κρεβατοκάμαρα 1: 30,72 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 5%*30,72 m² = 1,54 m²
5. Κρεβατοκάμαρα 2: 30,72 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 5%*30,72 m² = 1,54 m²
6. Κρεβατοκάμαρα 3: 19,10 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 5%*19,10 m² = 0,96 m²
7. Κλιμακοστάσιο: 27,69 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 2,10 m² > 0,20 m²



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ

- 1. Στοιχείο Οπλισμένου Σκυροδέματος 
- 2. Στοιχείο οπτοπλινθοδομής 
- 3. Επίστρωση κεραμικών πλακιδίων 

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ

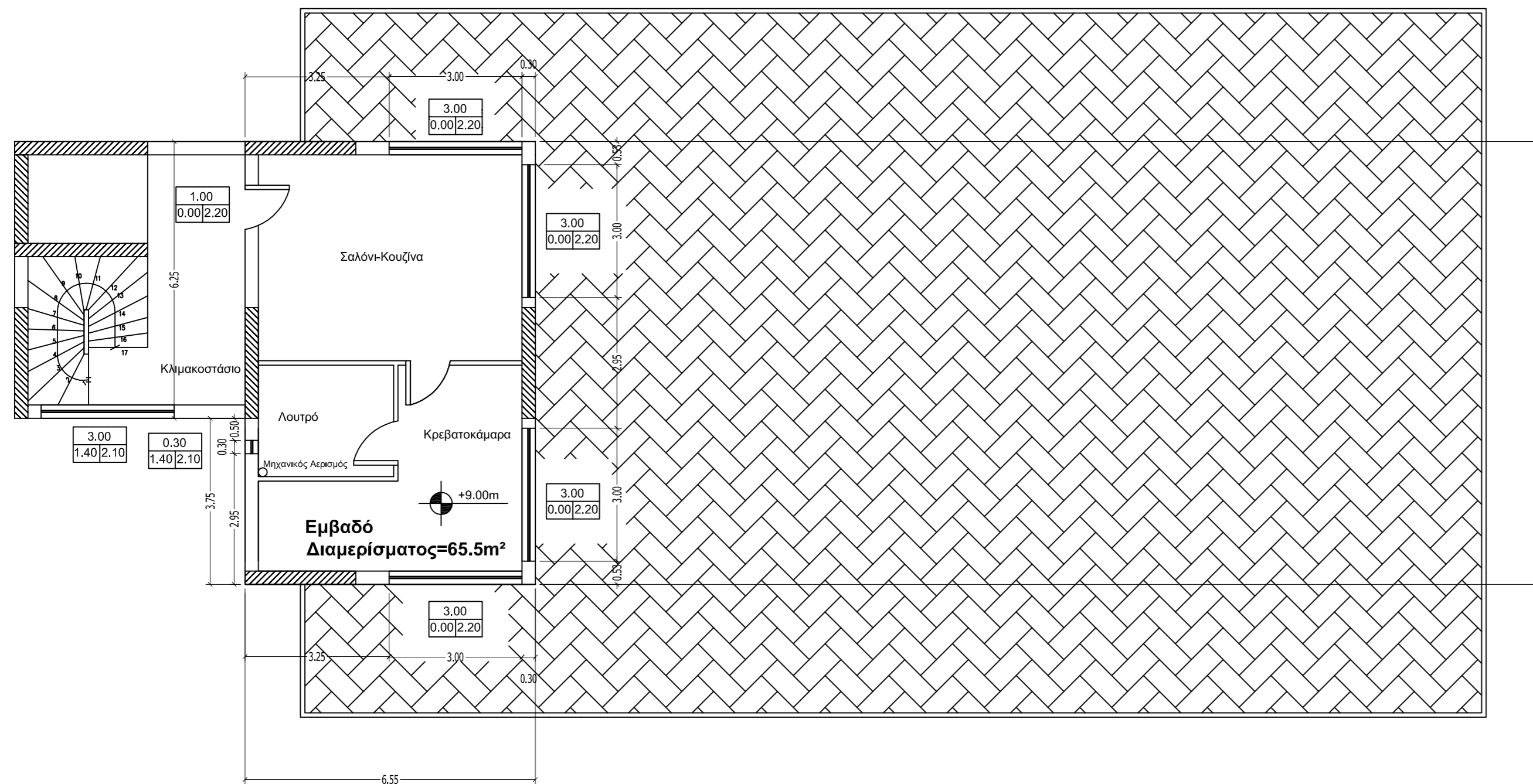


ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

- 1. Σαλόνι: 28,67 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 10%*28,67 m² = 2,87 m²
- 2. Κουζίνα: 37,44 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 10%*37,44 m² = 3,74 m²
- 3. Κρεβατοκάμαρα 1: 10,33 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 10%*10,33 m² = 1,03 m²
- 4. Κρεβατοκάμαρα 2: 10,33 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 10%*10,33 m² = 1,03 m²
- 5. Κλιμακοστάσιο: 27,69 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 2,10 m² > 0,50 m²

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

- 1. Σαλόνι: 28,67 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 5%* 28,67 m² = 1,43 m²
- 2. Κουζίνα: 37,44 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 5%*37,44 m² = 1,87 m²
- 3. Κρεβατοκάμαρα 1: 10,33 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 5%*10,33 m² = 0,52 m²
- 4. Κρεβατοκάμαρα 2: 10,33 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 6,60 m² > 5%*10,33 m² = 0,52 m²
- 5. Κλιμακοστάσιο: 27,69 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 2,10 m² > 0,20 m²

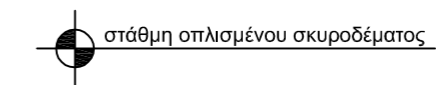


ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ

1. Στοιχείο Οπλισμένου Σκυροδέματος
2. Στοιχείο οπτοπλινθοδομής
3. Επίστρωση κεραμικών πλακιδίων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ

πλάτος
ποδιά/ύψος



ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

1. Σαλόνι-Κουζίνα: 28,67 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 10%*28,67 m² = 2,87 m²
2. Κρεβατοκάμαρα: 19,42 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 10%*19,42 m² = 1,94m²
3. Κλιμακοστάσιο: 27,69 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 2,10 m² > 0,50 m²

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

1. Σαλόνι-Κουζίνα: 28,67 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 5%*28,67 m² = 1,43 m²
2. Κρεβατοκάμαρα: 19,42 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 13,20 m² > 5%*19,42 m² = 0,97 m²
3. Κλιμακοστάσιο: 27,69 m², Είναι εμβαδό ανοιγμάτων: 2,10 m² > 0,20 m²

4.2 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίου

Το πρώτο βήμα για την ενεργειακή μοντελοποίηση ενός κτιρίου είναι ο καθορισμός των θερμικών ζωνών. Στο σημείο αυτό συχνά επικρατεί μια σύγχυση εννοιών τόσο στο ευρύ κοινό όσο και στους μηχανικούς διαφορετικών ειδικοτήτων που απασχολούνται στον κτιριακό τομέα.

Ήδη από τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων του 1979 [25] έχει προταθεί η τοποθέτηση θερμομόνωσης στο τμήμα του κτιρίου το οποίο θερμαίνεται ώστε να περιορίζονται οι θερμικές του απώλειες. Η σημερινή μορφή αυτού του κανονισμού, ο λεγόμενος Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) [18, 19] προβλέπει επίσης, τον διαχωρισμό των θερμαινόμενων από τους μη θερμαινόμενους χώρους, λαμβάνει αυστηρότερα μέτρα θερμομονωτικής προστασίας του κελύφους και προτείνει έναν τρόπο διαχωρισμού θερμικών ζωνών μέσα σε μια πολυκατοικία, οι οποίες όμως δεν συναλλάσσουν θερμότητα μεταξύ τους.

Το λογισμικό TRNSYS 17.2. [16] που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία για την ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου δίνει τη δυνατότητα να άρουμε τους περιορισμούς των κανονισμών και να μοτελοποιήσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει μπροστά μας.

Ορίζεται ως θερμική ζώνη ο όγκος εκείνος του οποίου οι συναλλαγές ποσών θερμότητας με το περιβάλλον του εξετάζονται. Ο όγκος αυτός συναλλάσει θερμότητα με το περιβάλλον του μέσω των εξωτερικών επιφανειών που τον ορίζουν και αυτές στην περίπτωση κτιριακής εφαρμογής είναι τα δομικά στοιχεία. Είναι λογικό οι εξωτερικές αυτές επιφάνειες να τον οριοθετούν πλήρως και για την περίπτωση της κτιριακής εφαρμογής οφείλει να κλείνει πλήρως με δομικά στοιχεία. Μόνο σε ειδικές περιπτώσεις ενδιαφέρει κάποια από τις εξωτερικές επιφάνειες να ορίζεται ως στρώμα αέρα, αλλά αυτό όχι μόνο δεν μελετάται στην παρούσα εργασία αλλά και γενικά δεν βρίσκει άμεση εφαρμογή στις Μελέτες Ενεργειακής Απόδοσης.

Επίσης, η θερμική ζώνη μπορεί να έχει ή να μην έχει θερμοκρασιακό έλεγχο το καλοκαίρι ή το χειμώνα. Με άλλα λόγια, μπορεί να είναι ή να μην είναι θερμαινόμενη ή ψυχόμενη αλλά ο μελετητής να θέλει να υπολογίσει και να αποτιμήσει τα ποσά θερμότητας που συναλλάσει με το περιβάλλον της, γεγονός που λαμβάνει χώρα ως φυσικό φαινόμενο καθόλη τη διάρκεια του έτους λόγω διαφοράς θερμοκρασίας στο εσωτερικό της με το εξωτερικό περιβάλλον.

Το εξωτερικό περιβάλλον της θερμικής ζώνης είναι αυτό με το οποίο έρχονται σε επαφή οι εξωτερικές επιφάνειες που την ορίζουν και όχι απαραίτητα ο εξωτερικός αέρας. Η θερμική ζώνη συχνά γειτνιάζει με άλλη θερμική ζώνη και μεταξύ τους συνήθως συναλλάσσονται ποσά θερμότητας διότι, το δομικό στοιχείο που τις διαχωρίζει έχει διαφορετικές θερμοκρασίες στα άκρα του.

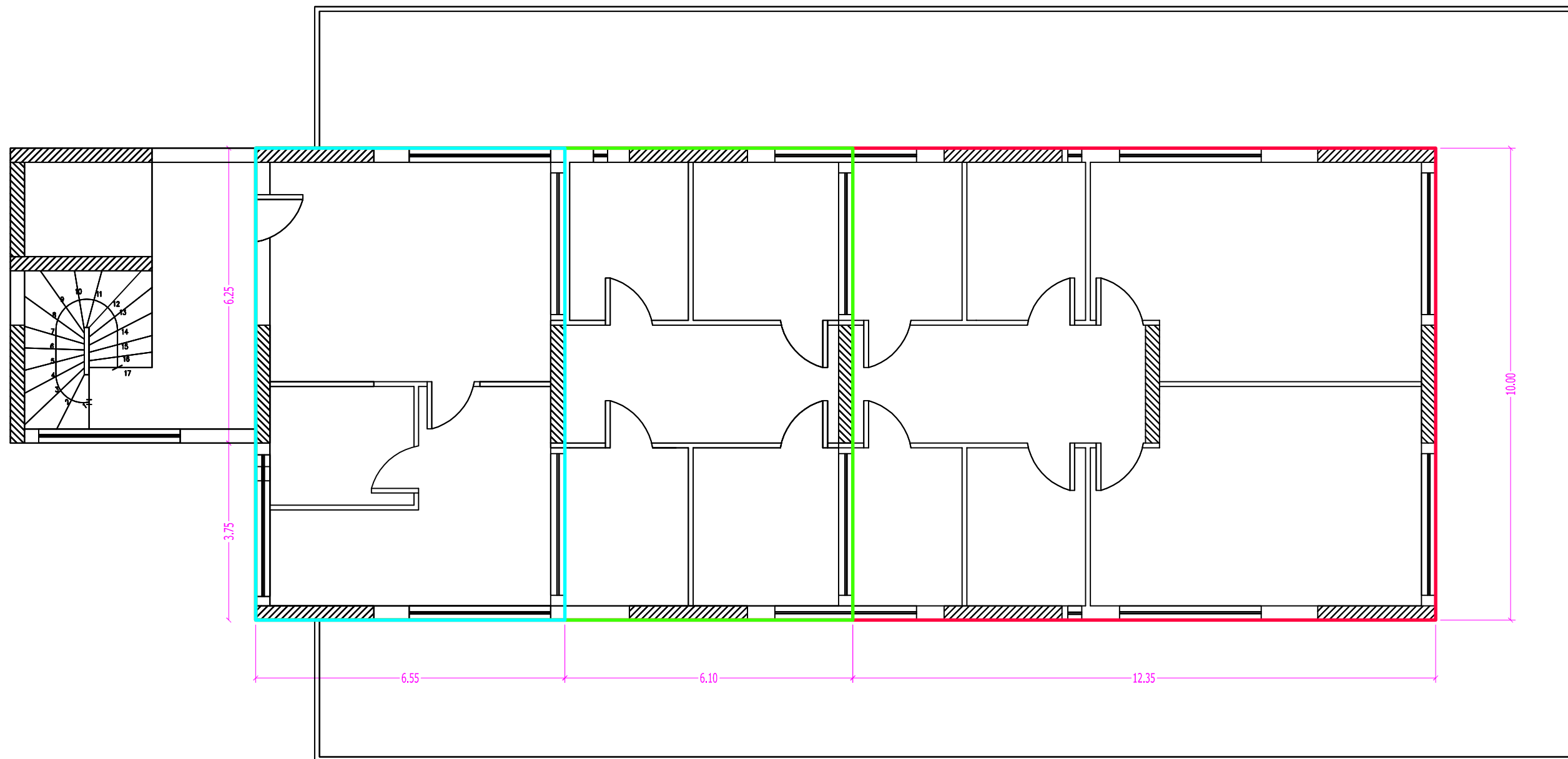
Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε το κτίριο κατοικίας χωρίζεται σε τέσσερις θερμικές ζώνες οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Θερμικές ζώνες κτιρίου κατοικίας

Χώρος	Θερμική Ζώνη
Διαμέρισμα πρώτου ορόφου	1
Διαμέρισμα δευτέρου ορόφου	2
Διαμέρισμα τρίτου ορόφου	3
Κλιμακοστάσιο	4

Οι τρεις πρώτες εκτείνονται οριζόντια, ανά όροφο, ενώ η τέταρτη καθ' ύψος. Για να γίνει περισσότερο αντιληπτή η γειτνίαση των εξεταζόμενων θερμικών ζωνών δίνεται σχέδιο σε κλίμακα 1:100 στο οποίο έχει γίνει επίθεση των τριών πρώτων και στο οποίο αναγράφονται οι βασικές διαστάσεις τους. Με κόκκινο χρώμα περιγράφεται η πρώτη θερμική ζώνη, με πράσινο η δεύτερη και με γαλάζιο η τρίτη.

Στους Πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η πλήρης εμβαδομέτρηση των θερμικών ζωνών, όπως αυτή εισάγεται στο λογισμικό TRNSYS 17.2 [16]. Οι διαστάσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι εξωτερικές διαστάσεις των σχεδίων για τους λόγους που αναλύθηκαν ανωτέρω. Ο Πίνακας 4.3 αναφέρεται στην πρώτη θερμική ζώνη, ο Πίνακας 4.4 στη δεύτερη, ο Πίνακας 4.5 στην τρίτη και ο Πίνακας 4.6 στην τέταρτη.



Πίνακας 4.3. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 1

Α ΟΡΟΦΟΣ

	A/A	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟ (m ²)
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ		25.00	3.00	75.00
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	3.00	3.00	2.20	19.80
	1.00	0.30	0.70	0.21
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				20.01
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				26.68
ΒΟΡΕΙΑ		25.00	3.00	75.00
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	3.00	3.00	2.20	19.80
	2.00	0.30	0.70	0.42
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				20.22
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				26.96
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ		10.00	3.00	30.00
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	2.00	3.00	2.20	13.20
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				13.20
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				44.00
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ		3.75	3.00	11.25
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	3.00	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				6.60
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				58.67
ΓΕΙΤΝΙΑΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟ	6.25	3.00	18.75
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 2			126.50
ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΟΡΟΦΗ ΖΩΝΗΣ			123.50
	ΔΑΠΕΔΟ ΖΩΝΗΣ			250.00

Πίνακας 4.4. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 2

Β ΟΡΟΦΟΣ

	A/A	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟ (m ²)
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ		12.65	3.00	37.95
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	3.00	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				6.60
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				17.39

ΒΟΡΕΙΑ		12.65	3.00	37.95
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	3.00	2.20	6.60
	1.00	0.30	0.70	0.21
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				6.81
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				17.94

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ		10.00	3.00	30.00
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	2.00	3.00	2.20	13.20
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				13.20
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				44.00

ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ		3.75	3.00	11.25
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	3.00	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				6.60
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				58.67

ΓΕΙΤΝΙΑΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟ	6.25	3.00	18.75
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 1			126.50
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 3			65.50

ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΟΡΟΦΗ ΖΩΝΗΣ			61.00
------------------------------------	-------------	--	--	-------

Πίνακας 4.5. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 3

Γ ΟΡΟΦΟΣ

	A/A	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟ (m ²)
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ		6.55	3.20	20.96
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	3.00	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				6.60
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				31.49

ΒΟΡΕΙΑ		6.55	3.20	20.96
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	3.00	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				6.60
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				31.49

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ		10.00	3.20	32.00
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	2.00	3.00	2.20	13.20
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				13.20
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				41.25

ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ		3.75	3.20	12.00
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	1.00	0.30	0.70	0.21
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				0.21
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				1.75

ΓΕΙΤΝΙΑΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 4	6.25	3.20	20.00
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 2			65.50

ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΟΡΟΦΗ ΖΩΝΗΣ			65.50
------------------------------------	-------------	--	--	-------

Πίνακας 4.6. Εμβαδομέτρηση Θερμικής Ζώνης 4

ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟ

	A/A	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟ (m ²)
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ		5.20	12.00	62.40
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ	4.00	3.00	0.70	8.40
	1.00	1.00	2.20	2.20
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ				10.60
ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (%)				16.99
ΒΟΡΕΙΑ		5.20	12.00	62.40
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ		6.25	2.80	17.50
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ		6.25	12.00	75.00
ΓΕΙΤΝΙΑΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ				
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 1	6.25	3.00	18.75
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 2	6.25	3.00	18.75
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ 3	6.25	3.20	20.00
ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ (ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΥΠΟΓΕΙΟ)				
	ΟΡΟΦΗ ΖΩΝΗΣ			32.50
	ΔΑΠΕΔΟ ΖΩΝΗΣ			32.50

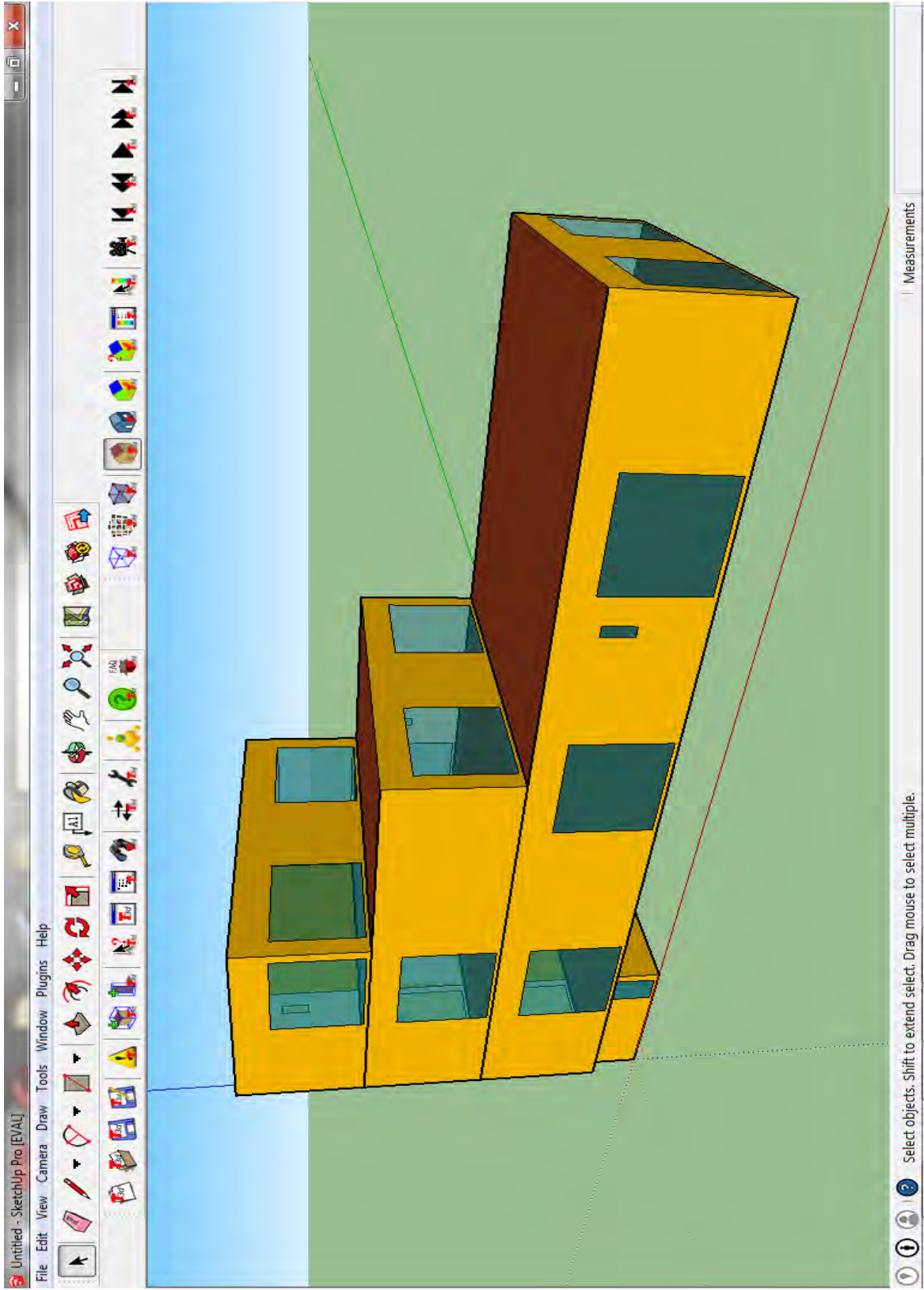
Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο λογισμικό TRNSYS 17.2 [16] μέσω του plug in TRNSYS 3d, με το οποίο δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη του προγράμματος να εισάγει τα δεδομένα σχεδιαστικά. Αυτό γίνεται με τη χρήση του Google Sketch Up 2014 [26] στο οποίο το κτίριο επανασχεδιάζεται σε τρεις διαστάσεις. Στο σημείο αυτό πρέπει διευκρινιστεί και να τονιστεί ότι η συγκεκριμένη σχεδίαση παρότι δίνει τρισδιάστη απεικόνιση του κτιρίου δεν πρέπει να συγχέεται με τη φωτορεαλιστική απεικόνισή του η οποία θα μπορούσε να δοθεί είτε από το Google Sketch Up 2014, χωρίς όμως το plug in TRNSYS 3d, είτε από οποιοδήποτε άλλο περισσότερο εξειδικευμένο για το σκοπό αυτό αρχιτεκτονικό λογισμικό.

Η σχεδίαση πραγματοποιείται στο περιβάλλον που ενεργοποιείται από το plug in TRNSYS 3d έχοντας πάντα ως γνώμονα τον καθορισμό των τεσσάρων εξεταζόμενων θερμικών ζωνών και μόνο αυτών, των οποίων ορίζονται οι ακριβείς εξωτερικές διαστάσεις.

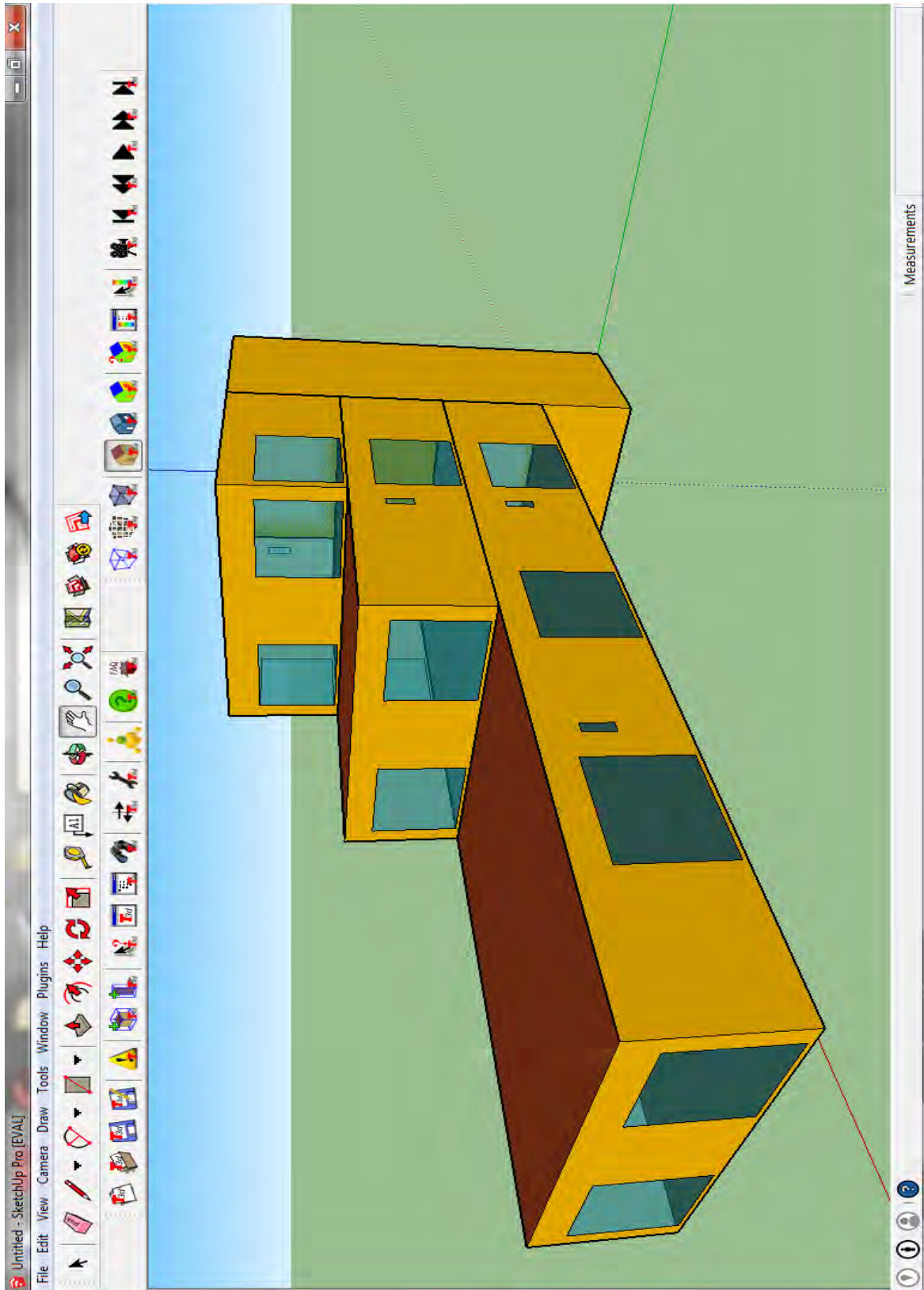
Στα Σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται το τριδιάστατο μοντέλο του κτιρίου το οποίο θα εισαχθεί στο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης. Είναι εμφανές ότι απουσιάζει το τμήμα των υποστυλωμάτων της πιλοτής καθώς και οι βεράντες-πρόβολοι των ορόφων. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τον παραπάνω σχεδιασμό αγνοείται η θερμική συμβολή αυτών των στοιχείων. Στην πραγματικότητα λειτουργούν ως πτερύγια, με όρους μετάδοσης θερμότητας, αλλά συνήθως αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη.

Στα Σχ.4.1 και 4.2 απεικονίζεται το κτίριο προοπτικά από την εμπρόσθια και οπίσθια όψη του. Ο πράσινος άξονας δείχνει το βορρά, ο κόκκινος την ανατολή, ενώ ο μπλε είναι κάθετος σε αυτούς και συμπληρώνει το τρισσορθογώνιο σύστημα.

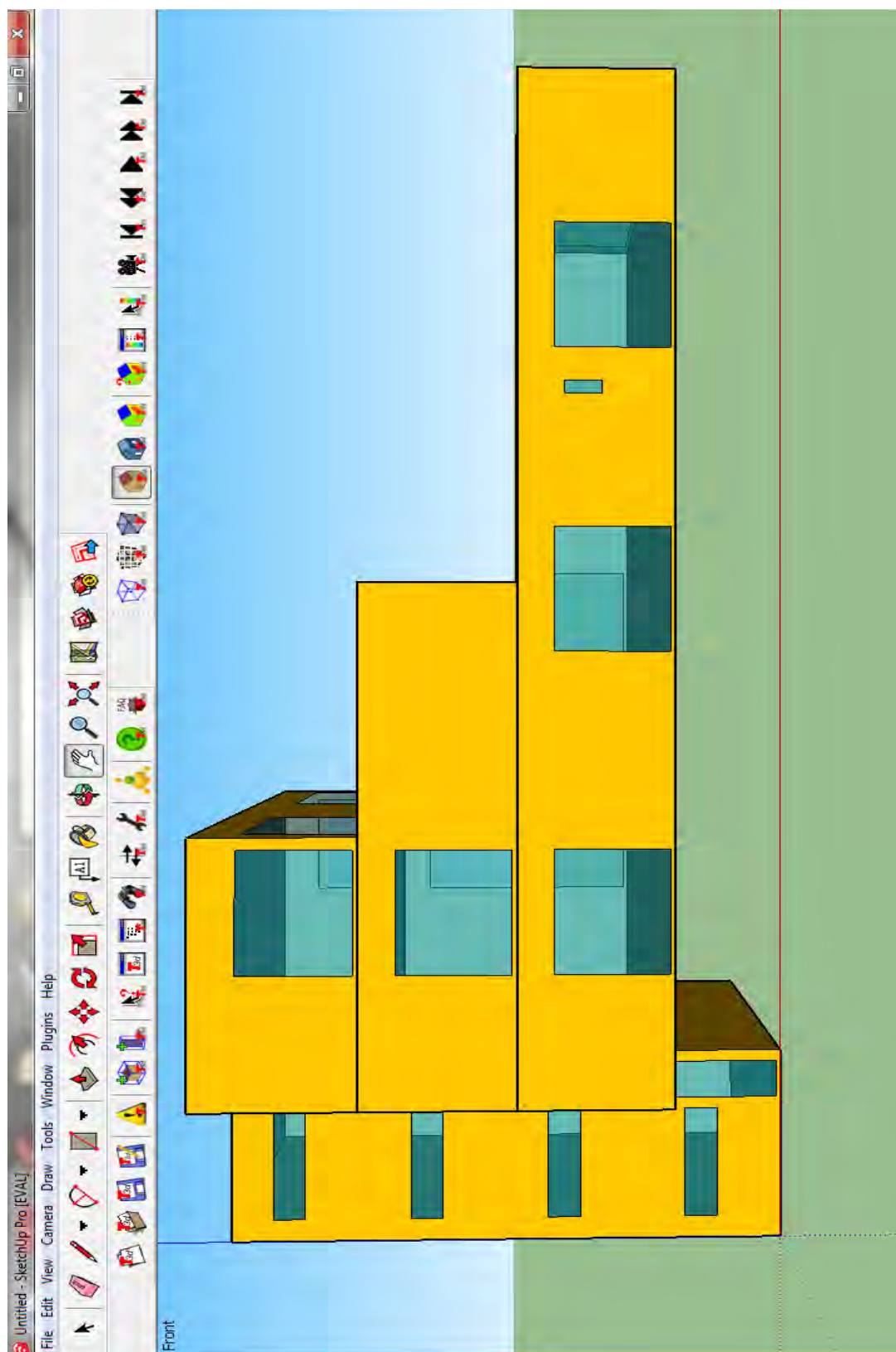
Το Σχ.4.3 δείχνει τη νότια όψη του κτιρίου που συμπίπτει με την πρόοψη, το Σχ.4.4 τη βόρεια όψη, το Σχ.4.5 την ανατολική και το Σχ.4.6 τη δυτική.



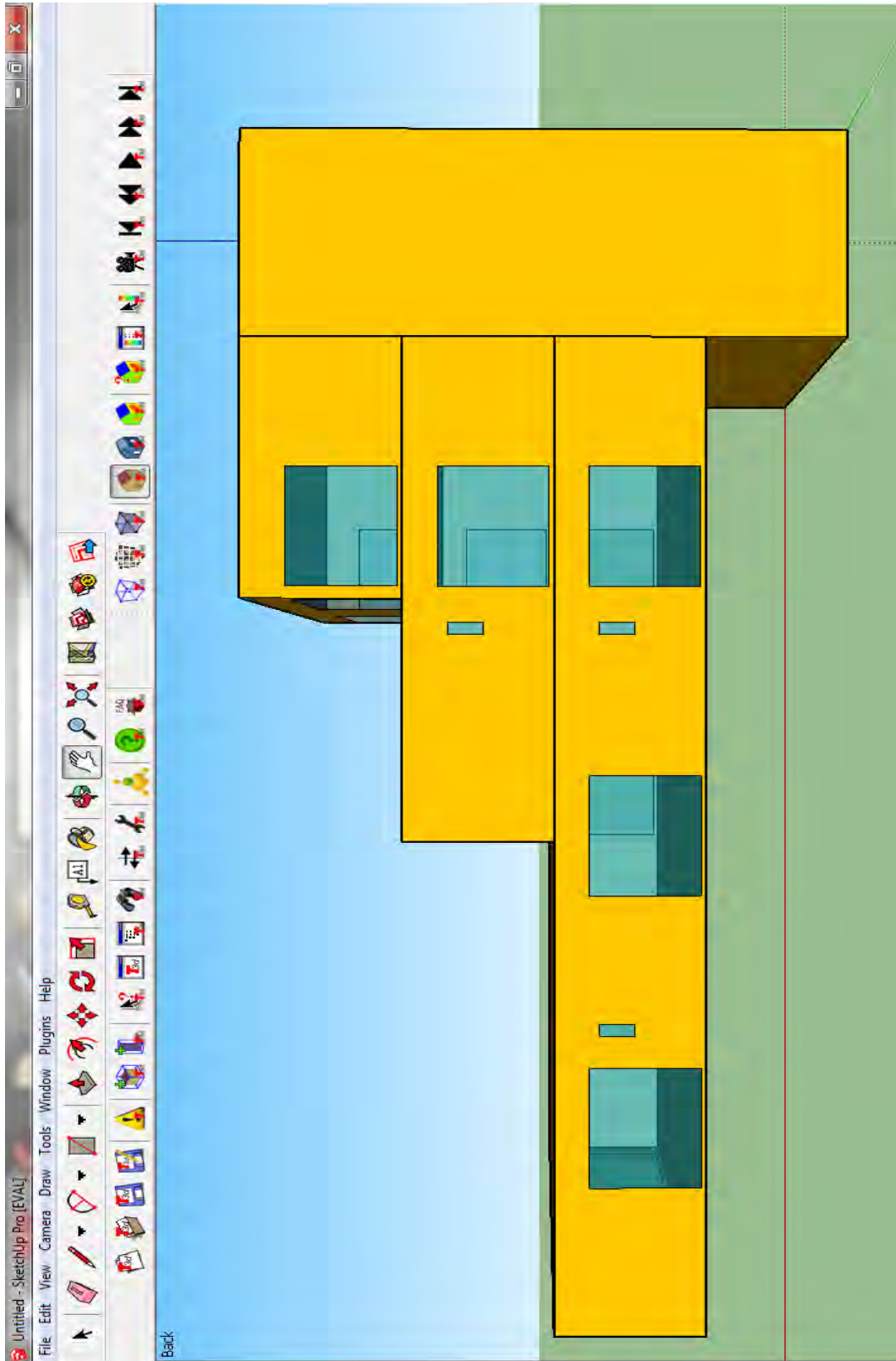
Σχ.4.1. Προοπτική άποψη του κτιρίου από την εμπρόσθια όψη.



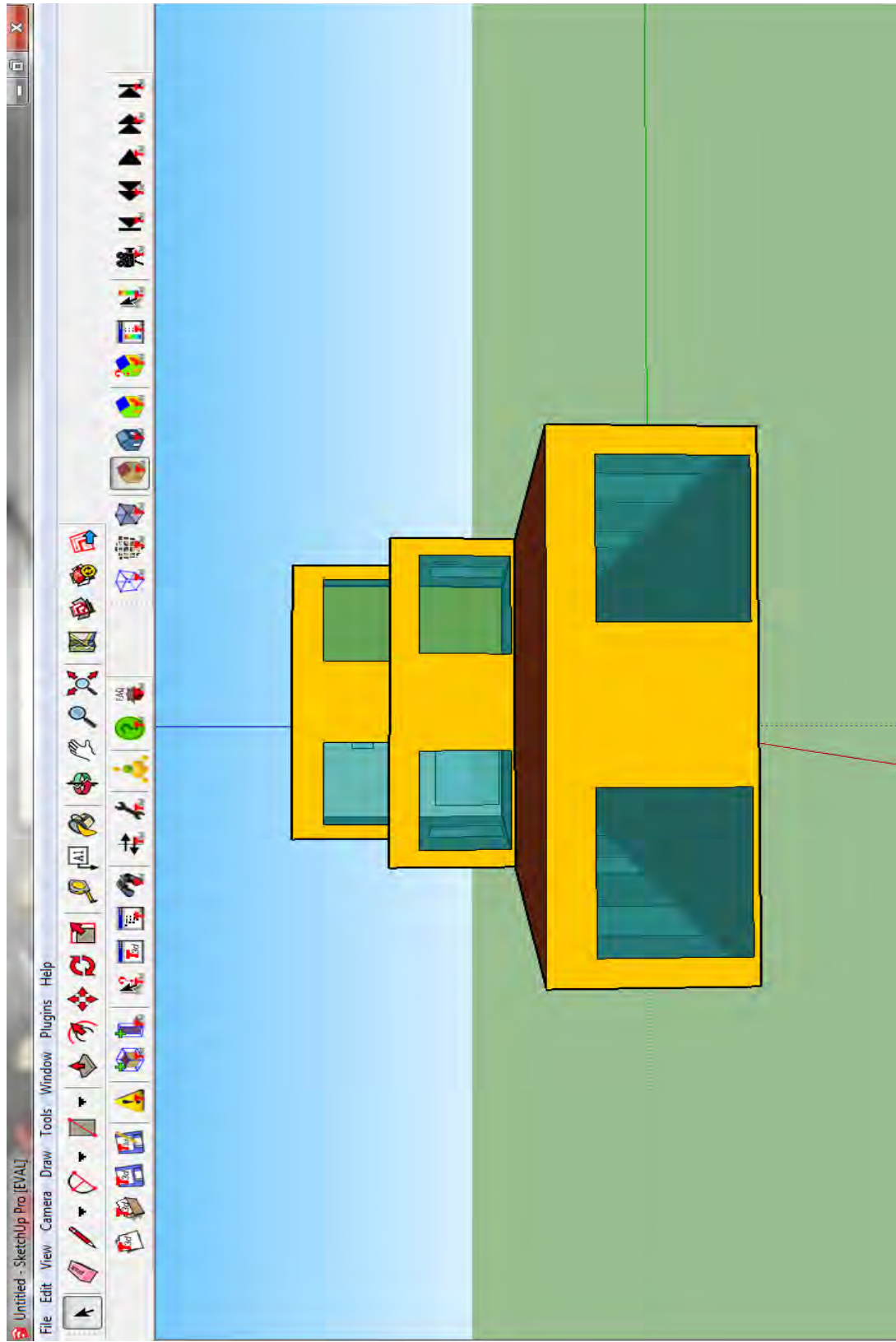
ΣΧ.4.2. Προοπτική άποψη του κτιρίου από την οπίσθια όψη.



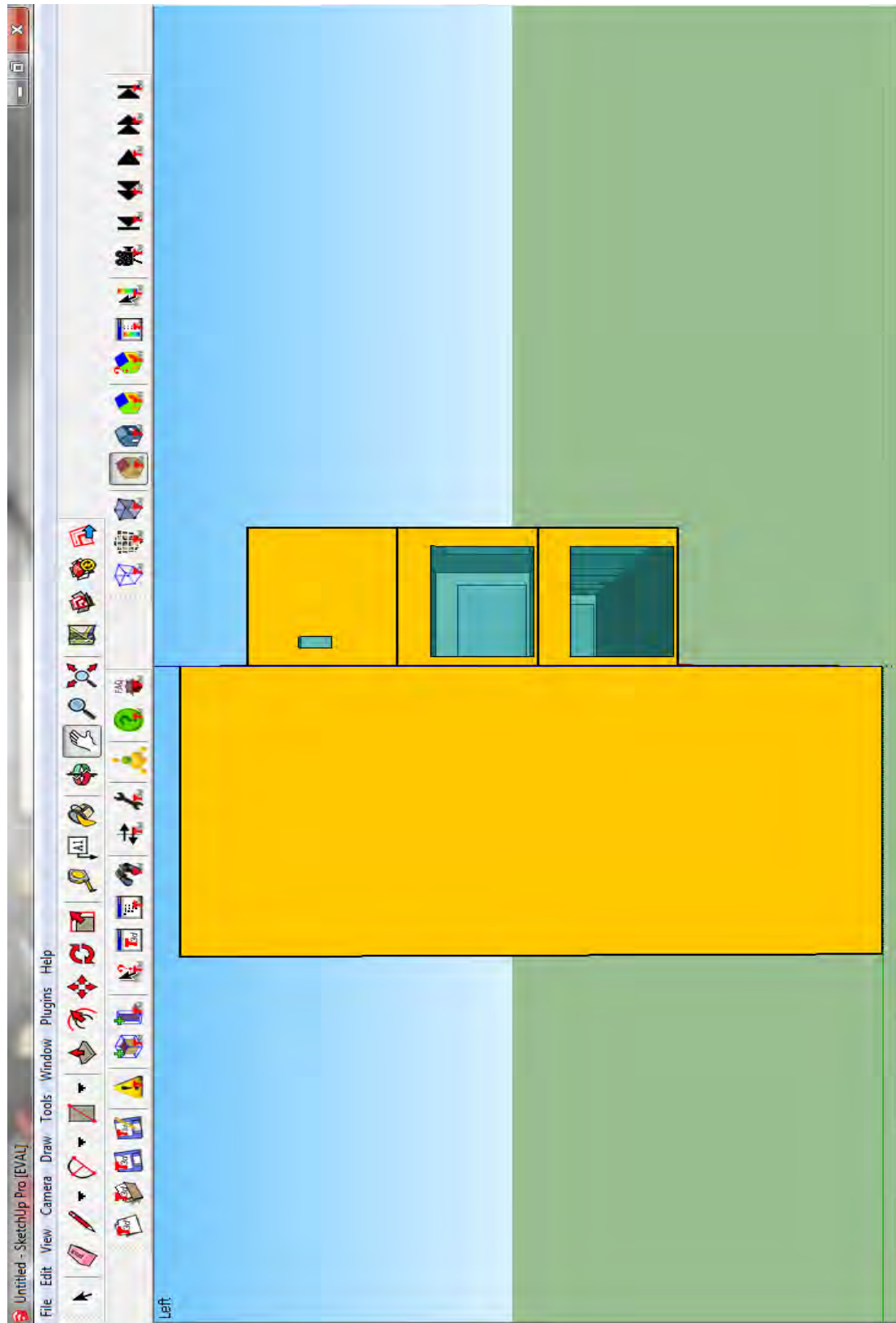
Σχ.4.3. Νότια όψη του κτιρίου.



Σχ.4.4. Βόρεια όψη του κτιρίου.



Σχ.4.5. Ανατολική όψη του κτιρίου.



Σχ.4.4.6. Δυτική όψη του κτιρίου.

Στη συνέχεια, το τρισδιάστο αυτό μοντέλο του κτιρίου διαβάζεται από το TRNSYS 17.2 [16] και συγκεκριμένα από το TRNBuild και δημιουργείται το αντίστοιχο file.bui. Το αρχείο αυτό περιέχει την αναλυτική εμβαδομέτρηση του κτιρίου και σε αυτό εισάγονται όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των θερμικών ζωνών. Στις παλαιότερες εκδόσεις του λογισμικού το σύνολο των γεωμετρικών δεδομένων εισάγονταν χειροκίνητα και η εμβαδομέτρηση γινόταν από τον χρήστη ο οποίος υπολόγιζε τα ζητούμενα εμβαδά από τα αρχιτεκτονικά σχέδια. Στην έκδοση 17, η διαδικασία αυτή έχει επιταχυνθεί σημαντικά. Ωστόσο, ο χρήστης οφείλει σε κάθε περίπτωση να επαληθεύει την ορθή εισαγωγή της γεωμετρικής πληροφορίας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι το λογισμικό αντιλαμβάνεται εμβαδά επιφανειών. Η διαίρεση της κάθε όψης σε τμήματα διαφορετικού συντελεστή θερμοπερατότητας, ο οποίος οφείλεται στη διαφοροποίηση των στρώσεων των υλικών, θα πρέπει να δίνεται με τη μορφή ξεχωριστών επιφανειών, το σύνολο των οποίων θα αποτελούν την όψη. Η διαδικασία αυτή είτε γίνεται χειροκίνητα είτε υλοποιείται κατά τον τριδιάστατο σχεδιασμό του κτιρίου κατά τον οποίο κάθε όψη διαιρείται εξ αρχής στις αντίστοιχες επιφάνειες που συνήθως είναι τα φέροντα και τα μη φέροντα δομικά στοιχεία της κατασκευής. Ακόμα, σημειώνεται ότι η διαδικασία αυτή δεν αφορά τα κουφώματα τα οποία εισάγονται ξεχωριστά.

Τέλος, σε κάθε περίπτωση, ο ορισμός των δομικών στοιχείων και η αντιστοίχιση αυτών με τις επιφάνειες που έχουν καταχωρηθεί ως εμβαδά γίνεται από τον χρήστη χειροκίνητα και στην έκδοση 17.2 και θέλει μεγάλη προσοχή.

Στην παρούσα εργασία, μετά το σχεδιασμό του κτιρίου, οι θερμικές ζώνες εμβαδομετρήθηκαν από τα αρχιτεκτονικά σχέδια και η πληροφορία καταγράφηκε στους Πίνακες 4.3 - 4.6. Στη συνέχεια το κτίριο σχεδιάστηκε σε τρεις διαστάσεις και εισήχθη στο λογισμικό. Πραγματοποιήθηκε διασταύρωση των στοιχείων που καταχωρήθηκαν αυτόματα στο file.bui με αυτά που θα εισάγονταν χειροκίνητα και βρέθηκε ότι συμπίπτουν και είναι ορθά.

Έπειτα έγινε αντιστοίχιση των εμβαδών των επιφανειών με τα δομικά στοιχεία. Το κτίριο είναι σχεδιασμένο έχοντας περιμετρικά, διαδοχικά μεγάλα ανοίγματα. Η διάταξη αυτή δικαιολογεί ότι τα κυρίαρχα αδιαφανή δομικά στοιχεία στις όψεις του είναι τα φέροντα δομικά στοιχεία, δηλαδή τα υποστυλώματα και οι δοκοί τα οποία κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για το λόγο αυτό, κατά παραδοχή στην παρούσα μοντελοποίηση, αγνοούνται τα τμήματα με οπτοπλινθοδομή, δεν γίνεται διαίρεση των επιφανειών των όψεων αλλά αυτές θεωρούνται ενιαίες ως

τοίχος από σκυρόδεμα. Στον Πίνακα 4.7 [23] δίνονται τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν την κατασκευή. Η σειρά των στρώσεων των υλικών που αναφέρονται αρχίζει από το εσωτερικό της θερμικής ζώνης προς το εξωτερικό της περιβάλλον. Οι συντελεστές θερμικής μετάβασης δίνονται στον Πίνακα 4.8 [27, 28].

Πίνακας 4.7. Δομικά στοιχεία [23]

Δομικό Στοιχείο	Στρώσεις υλικών	Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	Συντελεστής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/m K)	Ειδική θερμότητα c_p (kJ/kg K)
Τοίχος	Επίχρισμα μαρμαροκονίας	1800	0.87	1
	Στύλος ή δοκός από οπλισμένο σκυρόδεμα	2300	2.3	1
	Μεμβράνη πολυαιθυλενίου	980	0.5	1.8
	Θερμομονωτική στρώση από πλάκες πολυουρεθάνης	60	0.023	1.45
	Ασφαλτόπανο	1100	0.23	1
	Μεταλικό πλέγμα νερβομετάλλ	1800	0.87	1
	Επίχρισμα μαρμαροκονίας	1800	0.87	1
Δάπεδο	Τελική επίστρωση δαπέδου με κεραμικά πλακίδια	2300	1.3	0.84
	Συνδετικό κονίαμα	2000	1.4	1.1
	Γαρμπιλομπετόν	1700	0.81	1
	Μεμβράνη πολυαιθυλενίου	980	0.5	1.8
	Θερμομονωτική στρώση από πλάκες πολυουρεθάνης	60	0.023	1.45
	Ασφαλτόπανο	1100	0.23	1
	Τσιμεντοκονία 450 kg	2000	1.4	1.1
	Πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα	2300	2.3	1
	Επίχρισμα μαρμαροκονίας	1800	0.87	1

Πίνακας 4.8. Συντελεστές θερμικής μετάβασης [27, 28]

Κατεύθυνση θερμικής ροής	Αντιστάσεις θερμικής μετάβασης (m ² K)/W	
	Εσωτερικό Περιβάλλον	Εξωτερικός Αέρας
Οριζόντια θερμική ροή	0.13	0.04
Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα άνω	0.10	0.04
Κατακόρυφη θερμική ροή προς τα κάτω	0.17	0.04

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δημιουργούνται τέσσερα διαφορετικά Σενάρια για το εξεταζόμενο κτίριο σύμφωνα με τα οποία το πάχος της εξωτερικής του θερμομόνωσης μεταβάλλεται. Ο Πίνακας 4.9α συνοψίζει τα πάχη και τους συντελεστές θερμοπερατότητας των κατακόρυφων δομικών στοιχείων της κατασκευής που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα για τα τέσσερα Σενάρια μελέτης, ενώ ο Πίνακας 4.9β αυτά των οριζόντιων. Οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων συγκρίνονται με αυτούς που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ. για κάθε κλιματική ζώνη και διαπιστώνεται ορθά ότι είναι μικρότεροι από τους προτεινόμενους.

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι τα δομικά στοιχεία που αναφέρονται στους Πίνακες 4.7, 4.9α και 4.9β είναι αυτά που συνθέτουν το κέλυφος των εξεταζόμενων θερμικών ζωνών και τις διαχωρίζουν μεταξύ τους. Διαπιστώνει κανείς ότι έχει γίνει πρόβλεψη θερμομονωτικής προστασίας και για το κλιμακοστάσιο καθώς και ότι υπάρχει θερμομόνωση μεταξύ των διαμερισμάτων. Τα εσωτερικά δομικά στοιχεία των θερμικών ζωνών δεν αναφέρονται και η συμπεριφορά τους δεν αποτιμάται στην θερμική απόκριση της κατασκευής.

Πίνακας 4.9.α Συντελεστές θερμοπερατότητας κατακόρυφων δομικών στοιχείων

Σενάρια	Πάχος μόνωσης (cm)	Πάχος τοίχου (cm)	Συντελεστής Θερμοπερατότητας κατακόρυφης επιφάνειας σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα U (W/m ² K)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή Συντελεστή Θερμοπερατότητας κατακόρυφης επιφάνειας σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (W/m ² K)
Σενάριο 1	4	37.5	0.478	0.6
Σενάριο 2	6	39.5	0.337	0.5
Σενάριο 3	8	41.5	0.261	0.45
Σενάριο 4	10	43.5	0.213	0.4

Πίνακας 4.9.β Συντελεστές θερμοπερατότητας οριζόντιων δομικών στοιχείων

Σενάρια	Πάχος μόνωσης (cm)	Πάχος τοίχου (cm)	Συντελεστής Θερμοπερατότητας οριζόντιας επιφάνειας σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα U (W/m ² K)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή Συντελεστή Θερμοπερατότητας οριζόντιας επιφάνειας σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (W/m ² K)
Σενάριο 1	4	24	0.486	0.5
Σενάριο 2	6	26	0.342	0.45
Σενάριο 3	8	28	0.263	0.4
Σενάριο 4	10	30	0.214	0.35

Η ηλιακή απορροφητικότητα [27] των επιφανειών των δομικών στοιχείων που εκτίθενται στο εξωτερικό περιβάλλον θεωρείται ίση με 0.4 και των επιφανειών τους που εκτίθενται σε εσωτερικό χώρο ίση με 0.

Ο Πίνακας 4.10 παρουσιάζει τις ιδιότητες των διαφανών στοιχείων του κτιρίου. Κατά παραδοχή χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος υαλοπίνακα σε όλα τα ανοίγματα. Ο υαλοπίνακας έχει επιλεγεί από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού. Το κάθε κούφωμα έχει 15% πλαίσιο αλουμινίου.

Πίνακας 4.10. Ιδιότητες διαφανών στοιχείων [16]

Χαρακτηριστικά διπλού υαλοπίνακα (4/16/4)	Τιμές
Συντελεστής θερμοπερατότητας u-value ($W/m^2 K$)	2.83
Συνολική διαπερατότητα ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση g-value	0.755

Στη συνέχεια καταχωρούνται τα στοιχεία για τον αερισμό, τη διείσδυση αέρα και το θερμοκρασιακό έλεγχο των θερμικών ζωνών. Τα στοιχεία αυτά έχουν υπολογιστεί με βάση την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 [27] ή λαμβάνονται κατευθείαν από τους αντίστοιχους πίνακες αυτής και εισάγονται στο λογισμικό. Ο Πίνακας 4.11 παρουσιάζει τα στοιχεία για τον αερισμό και τη διείσδυση αέρα. Ο Πίνακας 4.12 συνοψίζει τον έλεγχο της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους στις τέσσερις εξεταζόμενες θερμικές ζώνες.

Πίνακας 4.11. Αερισμός και διείσδυση αέρα θερμικών ζωνών

Θερμική ζώνη	Αερισμός (1/h)	Διείσδυση αέρα (1/h)
Θερμική ζώνη 1	0.10	0.18
Θερμική ζώνη 2	0.16	0.34
Θερμική ζώνη 3	0.14	0.51
Θερμική ζώνη 4	0.23	0.08

Πίνακας 4.12. Θερμοκρασιακός έλεγχος θερμικών ζωνών [27]

Θερμική ζώνη	Χειμώνας		Καλοκαίρι	
	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία(%)	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία(%)
Θερμική ζώνη 1	20	40	26	45
Θερμική ζώνη 2	20	40	26	45
Θερμική ζώνη 3	20	40	26	45
Θερμική ζώνη 4	-	-	-	-

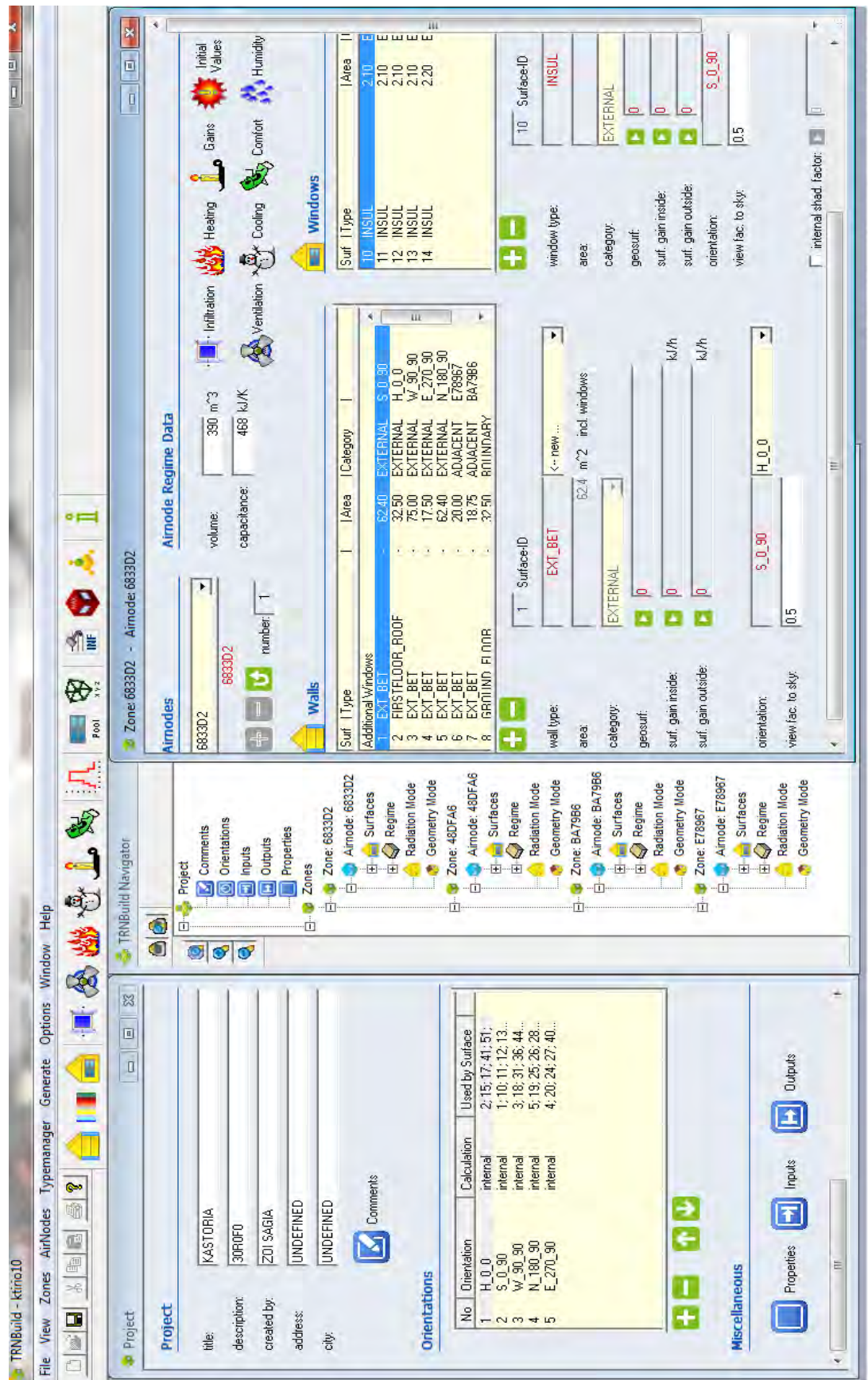
Τα στοιχεία των Πινάκων 4.10, 4.11 και 4.12 παραμένουν ίδια και για τα τέσσερα Σενάρια. Αφού ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση του κτιρίου κατοικίας στο TRNBuild, σχεδιάζεται το διάγραμμα υπολογισμού της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου στο TRNSYS Simulation Studio [16].

Στο Σχ.4.7 δίνεται μια απεικόνιση των παραθύρων του TRNBuild [16] μέσω των οποίων ο χρήστης μοντελοποιεί το κτίριό του.

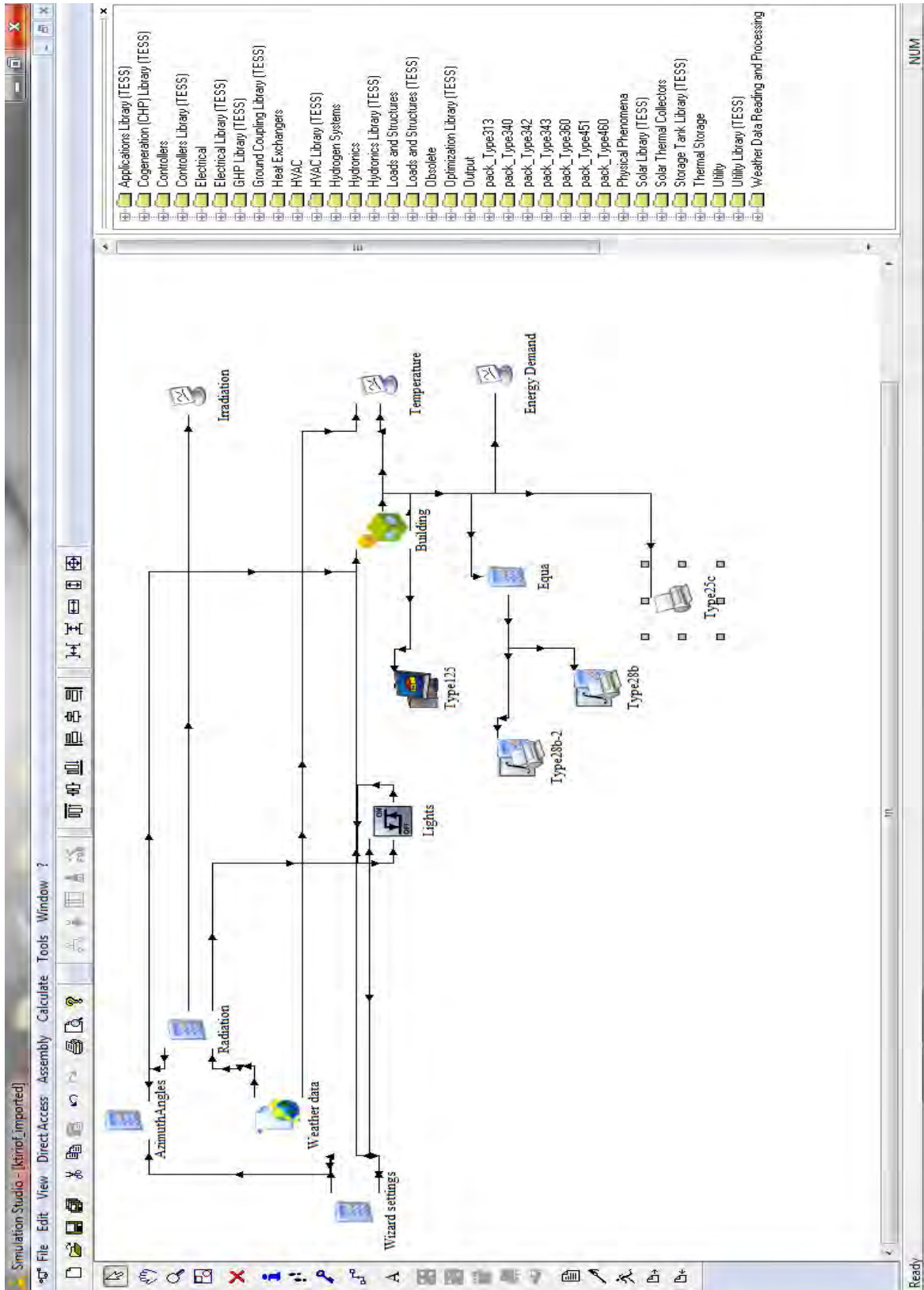
Στο Σχ.4.8 απεικονίζεται το διάγραμμα υπολογισμού της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου όπως σχεδιάστηκε στο περιβάλλον του Simulation Studio [16]. Το διάγραμμα αποτυπώνει τη σειρά με την οποία διαβάζονται τα δεδομένα και υπολογίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Περιλαμβάνει έναν αναγνώστη (reader) του αρχείου των κλιματικών δεδομένων, έναν αναγνώστη (reader) του file.bui καθώς και τον επιθυμητό αριθμό εκτυπωτών (plotters) οι οποίοι καταγράφουν και δίνουν τα αποτελέσματα της υπολογιστικής διαδικασίας στη μορφή που ο χρήστης ζητάει.

Για καθένα από τα εξεταζόμενα Σενάρια, δημιουργείται ξεχωριστό file.trf στο TRNSYS Simulation Studio, το οποίο διαβάζει τα δικά του αρχεία δεδομένων (κλιματικό αρχείο και αρχείο μοντελοποίησης κτιρίου, file.bui) εκτελείται και αποθηκεύει τα αποτελέσματά του. Προσομοιώνεται ένας χρόνος λειτουργίας του κτιρίου και το βήμα της προσομοίωσης είναι ωριαίο.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, κατά το οποίο μεταβάλλεται το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης, σε κάθε εξεταζόμενο σενάριο τροποποιείται ανάλογα το αρχείο μοντελοποίησης του κτιρίου δηλαδή το file.bui. Σε αυτό, η μόνη μεταβολή είναι στο πάχος των δομικών στοιχείων η οποία επιδρά στο συντελεστή θερμοπερατότητας και συνεπώς στο υπολογιζόμενο ενεργειακό φορτίο του κτιρίου δηλαδή στο άθροισμα των ενεργειακών του αναγκών για θέρμανση και ψύξη.



Σχ.4.7. Παράθυρα εργασίας του TRNBuild [16].



Σχ.4.8. Διάγραμμα του μοντέλου ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου στο TRNSYS Simulation Studio [16].

4.3 Κλιματικά δεδομένα

Σύμφωνα με τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί η δημιουργία αρχείου κλιματικών δεδομένων είναι απαραίτητη για την υλοποίηση των υπολογισμών.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το λογισμικό METEONORM 6.1 [17]. Στο Σχ.4.9 φαίνεται ένα παράθυρο του προγράμματος μέσω του οποίου ο χρήστης διαμορφώνει το επιθυμητό αρχείο.



Σχ.4.9. Παράθυρο METEONORM 6.1 [17].

Αρχικά ο χρήστης επιλέγει την τοποθεσία ενδιαφέροντος από την καρτέλα site, στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο που θα χρησιμοποιήσει από την καρτέλα data, έπειτα προσδιορίζει τη μορφή των αποτελεσμάτων στην καρτέλα format και στο τέλος ολοκληρώνει και αποθηκεύει τους υπολογισμούς του από την καρτέλα calculations.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς για όλες τις περιοχές στη βάση δεδομένων του προγράμματος. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται γραμμική παρεμβολή

των δεδομένων των γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών των οποίων τα στοιχεία είναι διαθέσιμα.

Έτσι υπολογίζονται τα κλιματικά αρχεία των περιοχών που μελετώνται και τα οποία αφορούν την περιοχή της Κω, της Πρέβεζας, της Καβάλας και της Καστοριάς.

Τα αρχεία αυτά είναι σε μορφή Τυπικού Μετεωρολογικού Χρόνου (ΤΜΥ) [17].

5. Γεωθερμικό Κύκλωμα

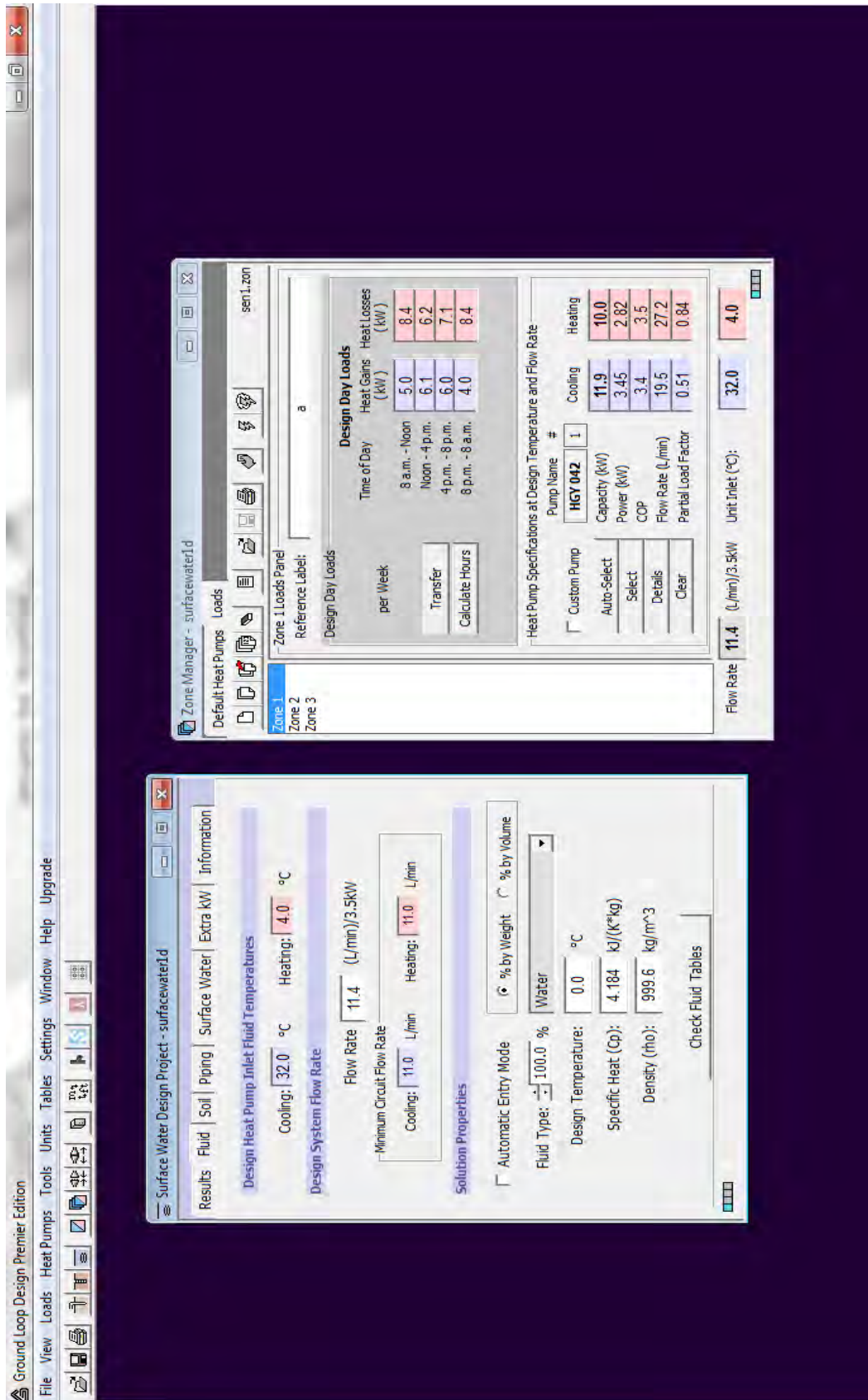
Μετά την ολοκλήρωση του υπολογισμού των φορτίων του κτιρίου για θέρμανση και ψύξη, διαστασιολογείται το γεωθερμικό σύστημα που θα καλύψει τις ανάγκες αυτές. Η διαστασιολόγηση γίνεται με τη χρήση του λογισμικού GLD 2012 [20] καθώς και επιπλέον υπολογισμών.

Αρχικά, εισάγονται στο GLD 2012 [20] οι ωριαίες τιμές φορτίων για ένα έτος, οι οποίες έχουν υπολογιστεί από TRNSYS 17.2 [16] για κάθε διαμέρισμα. Στη συνέχεια, επιλέγεται για κάθε διαμέρισμα η κατάλληλη αντλία θερμότητας από τη βιβλιοθήκη του GLD 2012, η οποία θα μπορούσε σε περίπτωση αδυναμίας του γεωθερμικού κυκλώματος να καλύψει τα φορτία του. Με τις πληροφορίες αυτές διαμορφώνονται ξεχωριστά αρχεία Zone Manager για κάθε Σενάριο και για κάθε εξεταζόμενο συνδυασμό διαφορετικού πάχους μόνωσης και συνεπώς διαφορετικών ενεργειακών καταναλώσεων. Τα αρχεία αυτά κατά την προσομοίωση του γεωθερμικού συστήματος συνδέονται με τα project files και δίνουν τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης.

Το project file περιέχει πληροφορίες για τα όρια των θερμοκρασιών με τα οποία λειτουργεί η κάθε αντλία θερμότητας, τη ροή και το είδος του ρευστού στο κύκλωμα, τη θερμοκρασία του εδάφους και του υπόγειου νερού, τη διάσταση των σωλήνων και τις καταναλώσεις των επιπλέον στοιχείων του κυκλώματος, όπως οι κυκλοφορητές.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί ότι το GLD 2012 [20] χρησιμοποιείται κυρίως για τη μοντελοποίηση γεωθερμικών συστημάτων κλειστού κυκλώματος με διάφορες διατάξεις σωλήνων. Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να μοντελοποιηθεί σύστημα ανοικτού κυκλώματος. Για το λόγο αυτό, υπολογίζονται κάποια ισόδυναμα μέτρα σωλήνα κλειστού κυκλώματος με τη βοήθεια του Surface Water Menu και στη συνέχεια με αναλυτικούς υπολογισμούς στο Excel προσδιορίζεται το εμβαδό της απαιτούμενης επιφάνειας πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος συναλλάζει τη θερμότητα μεταξύ του γεωθερμικού ρευστού που αντλείται από το έδαφος και του συστήματος θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου.

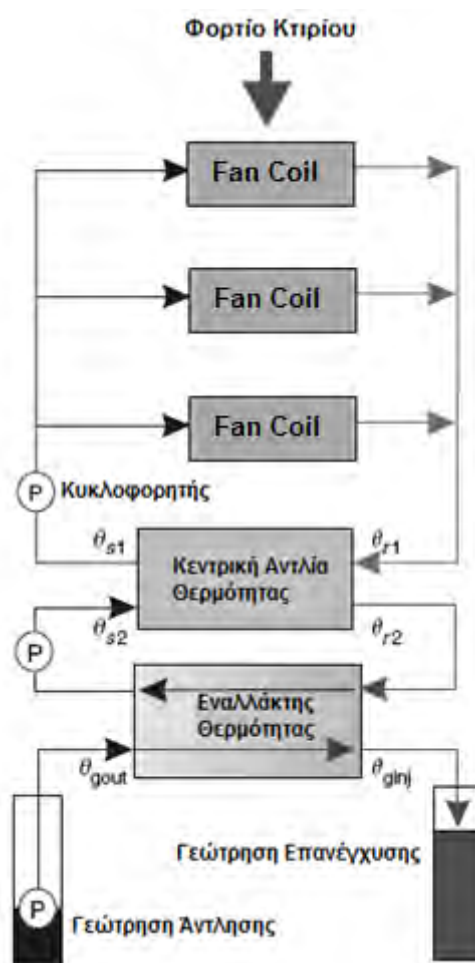
Στο Σχ.5.1 απεικονίζονται τα παράθυρα διαλόγου του GLD 2012 [20]. Επίσης, ο Πίνακας 5.1 συνοψίζει τα δεδομένα που εισάγονται σε αυτό. Αξίζει να επισημανθεί ότι το GLD 2012 βλέπει κυρίως ενεργειακούς ισολογισμούς, θερμοκρασιακές διαφορές και ροές στο κύκλωμα εναλλάκτη – αντλίας θερμότητας. Για το λόγο αυτό μπορεί να διευκολύνει μέρος της υπολογιστικής διαδικασίας.



Σχ.5.1. Παράθυρα λογισμικού GLD 2012 [20].

Πίνακας 5.1. Παράμετροι γεωθερμικού συστήματος

Παράμετρος	Τιμή
Θερμοκρασία σχεδιασμού ρευστού εισόδου στην αντλία θερμότητας για τη λειτουργία της ψύξης	32 °C
Θερμοκρασία σχεδιασμού ρευστού εισόδου στην αντλία θερμότητας για τη λειτουργία της θέρμανσης	4 °C
Ρευστό κυκλώματος ενάλλακτη-αντλίας θερμότητας	νερό
Παροχή σχεδιασμού	11.4 (L/min)/3.5 kW
Διάμετρος ισοδύναμου σωλήνα	1 in (2.54 cm)
Είδος ροής	τυρβώδης
Αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους για το Σενάριο 1	19 °C
Αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους για το Σενάριο 2	17 °C
Αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους για το Σενάριο 3	15 °C
Αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους για το Σενάριο 4	13 °C
Ισχύς κυκλοφορητών	1.9 kW



Σχ.5.2. Γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος για οικιακή χρήση.

Σημειώνεται ότι για τον προσδιορισμό της αδιατάρακτης θερμοκρασίας εδάφους έχει γίνει η παραδοχή ότι αυτή συμπίπτει με τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα [7, 5, 10] σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα του METEONORM 6.1 [17] και έχει στρογγυλοποιηθεί στην πλησιέστερη ακέραια τιμή.

Στο Σχ.5.2 παρουσιάζεται το εξεταζόμενο γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος για οικιακή χρήση. Η απεικόνιση αυτή είναι ανάλογη με την απεικόνιση του Σχ.2.6 όπου αναλύθηκαν οι διαφορετικές συνδεσμολογίες αντίστοιχων συστημάτων.

Ο εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται στα συστήματα αυτά είναι πλακοειδής. Γνωρίζοντας τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού στο κύκλωμα εναλλάκτη-αντλίας θερμότητας, δηλαδή τις θερμοκρασίες θ_{r2} και θ_{s2} (βλ. Σχ.5.2) καθώς και την παροχή του νερού σε αυτό και τη θερμοκρασία εισόδου του γεωθερμικού ρευστού θ_{gout} μπορεί να εκτιμηθεί η θερμοκρασία θ_{ginj} για διάφορες παροχές άντλησης.

Στην παρούσα εργασία τόσο το ρευστό μεταξύ εναλλάκτη-αντλίας θερμότητας όσο και το γεωθερμικό ρευστό έχει προσομοιωθεί με νερό. Στην πραγματικότητα το ρευστό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα εναλλάκτη-αντλίας θερμότητας [7, 9, 12] είναι υδατικό διάλυμα με αντιψυκτικές ουσίες για να μην παγώνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος. Επίσης, το γεωθερμικό ρευστό [7] ένδεχεται και αυτό να διαφοροποιεί τη συμπεριφορά του από το νερό λόγω των διαλυμένων μετάλλων ή άλλων προσμίξεων που μπορεί να περιέχει.

Είναι συνήθης πρακτική [7, 9-10] ο χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης θερμότητας να προστατεύεται από τις προσμίξεις αυτές με την εισαγωγή αφαιρούμενων προστατευτικών φίλτρων πριν την είσοδο του γεωθερμικού ρευστού σε αυτόν. Ο κίνδυνος της χημικής ή βιολογικής βλάβης στον εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να μειωθεί [7]:

- διατηρώντας μια υψηλή πίεση στο κύκλωμα του υπόγειου νερού ώστε να αποφευχθεί η απελευθέρωση του CO₂ μέσα σε αυτόν,
- εμποδίζοντας την επαφή του υπόγειου νερού με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας,
- προσθέτοντας μικρές ποσότητες δηλητηριωδών χημικών ουσιών ώστε να εμποδιστεί η ανάπτυξη φιλμ μικροοργανισμών ο μεταβολισμός των οποίων προκαλεί οξειδώσεις στα μεταλλικά στοιχεία,
- συντηρώντας επιμελώς σε τακτικά χρονικά διαστήματα την εγκατάσταση.

Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι αν η παροχή άντλησης του υπόγειου νερού θεωρηθεί ίση με τη ροή του ρευστού στο κύκλωμα εναλλάκτη-αντλίας θερμότητας, για έναν ιδανικό εναλλάκτη θερμότητας, η θερμοκρασιακή διαφορά $\theta_{r2} - \theta_{s2}$ θα ισούται με τη θερμοκρασιακή διαφορά $\theta_{gout} - \theta_{ginj}$ (βλ. Σχ.5.2). Στην πράξη [7, 29-32] πρέπει να υπολογίζεται μια απώλεια θερμοκρασιακής διαφοράς της τάξης των δύο βαθμών.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία LMTD [29-32] ή αλλιώς τη μεθοδολογία της μέσης λογαριθμικής θερμοκρασιακής διαφοράς ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία επίλυσης.

Εφαρμόζεται η γενική εξίσωση

$$Q = \dot{m}_h c_h (T_{hi} - T_{ho}) = \dot{m}_c c_c (T_{co} - T_{ci}) \quad (5.1)$$

που οδηγεί στον υπολογισμό της άγνωστης κάθε φορά θερμοκρασίας.

Q είναι το ολικό ρεύμα θερμότητας το οποίο μεταφέρεται από το θερμό (hot) στο ψυχρό (cold) ρευστό και οι δείκτες i και o αναφέρονται στις συνθήκες στην είσοδο και την έξοδο του εναλλάκτη. c_h είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του θερμού ρευστού και c_c του ψυχρού. Στην Εξ.(5.1) με \dot{m} συμβολίζεται η παροχή μάζας και με T η θερμοκρασία.

Στο Σχ.5.3 παρουσιάζεται η λειτουργία και τα διαγράμματα θερμοκρασίας του εναλλακτών θερμότητας ομορροής και αντιρροής.

Τόσο στους εναλλάκτες ομορροής όσο και στους εναλλάκτες αντιρροής ισχύει η ακόλουθη σχέση:

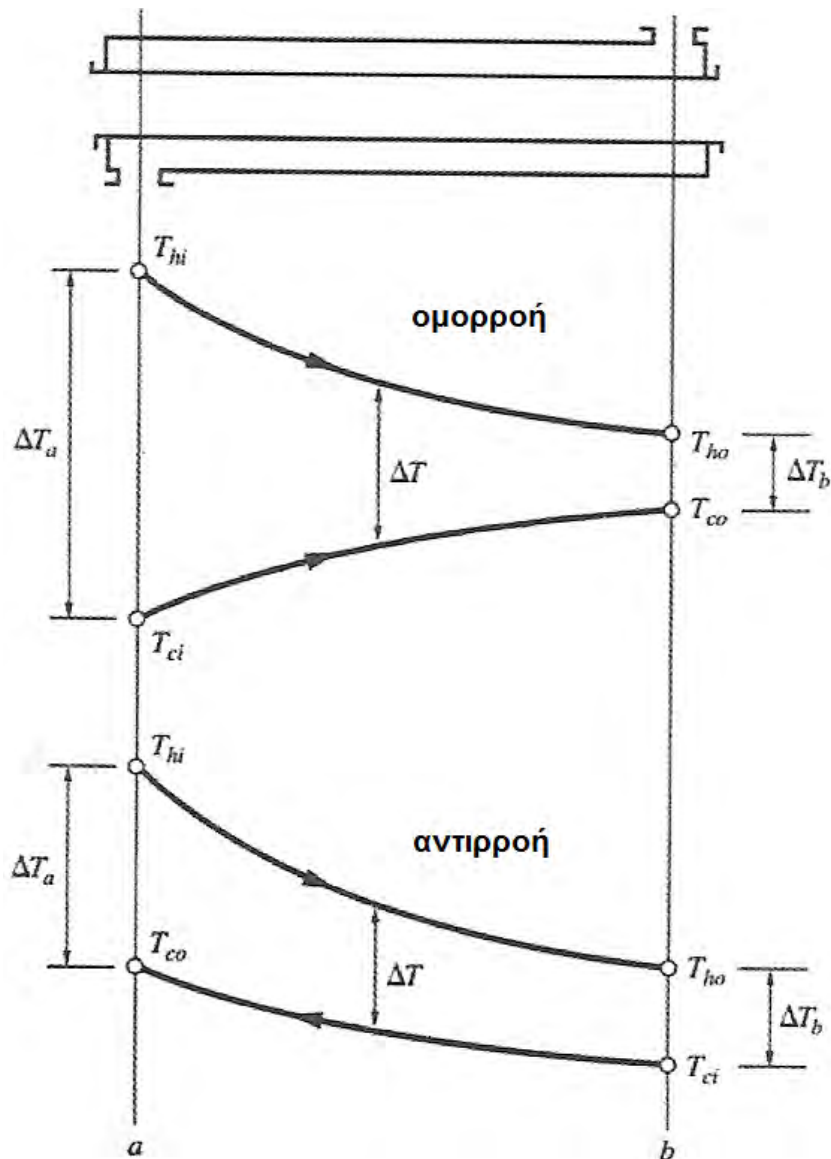
$$Q = UA\Delta T_{lm} \quad (5.2)$$

Όπου:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}}, \quad (5.3)$$

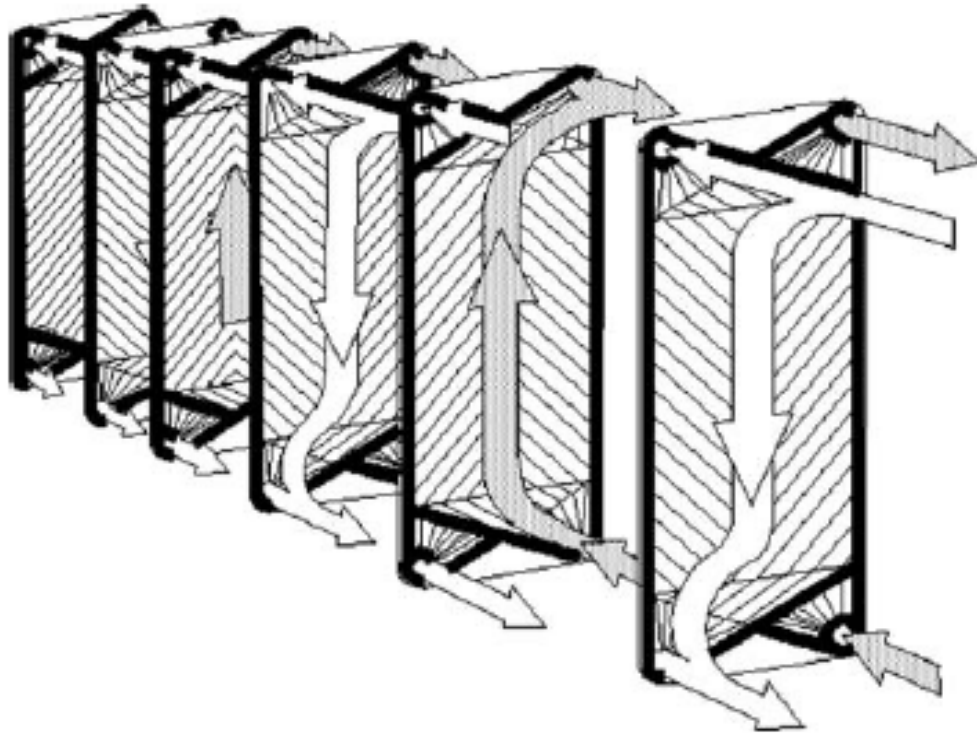
είναι η λογαριθμική μέση θερμοκρασιακή διαφορά.

ΔT_a είναι η θερμοκρασιακή διαφορά των ρευστών στην είσοδο του εναλλάκτη και ΔT_b η θερμοκρασιακή διαφορά των ρευστών στην έξοδο του εναλλάκτη. A είναι η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας και U ο συντελεστής θερμοπερατότητας.



Σχ.5.3. Μεταβολή των θερμοκρασιών σε εναλλάκτη ομορροής και αντιρροής [30, 32]

Θεωρώντας την ανωτέρω περίπτωση, του ιδανικού εναλλάκτη, υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας που οφείλει να έχει ο πλακοειδής εναλλάκτης που μελετάται. Στο Σχ.5.4 φαίνεται ένας πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας καθώς και οι διαδρομές του κρύου και του θερμού ρεύματος σε αυτόν.



Σχ.5.4. Εναλλάκτης θερμότητας πλακών [7].

Επισημαίνεται ότι οι εναλλάκτες πλακών [29-32] αποτελούνται από διαμορφωμένα ελάσματα τα οποία συναρμολογούνται σε ένα πακέτο πλακών. Η διαμόρφωση καναλιών ροής στα ελάσματα επηρεάζει όχι μόνο το συντελεστή θερμοπερατότητας αλλά και τη συμπεριφορά του εναλλάκτη ως προς τον καθορισμό της μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς.

Οι εναλλάκτες πλακών έχουν το πλεονέκτημα υψηλών συντελεστών θερμοπερατότητας καθώς και της υψηλής τιμής της επιφάνειας συναλλαγής ανά μονάδα όγκου του εναλλάκτη. Μπορεί να αυξηθεί η επιφάνεια συναλλαγής τους προσθέτοντας επιπλέον πλάκες. Οι εναλλάκτες αυτοί μπορούν να εργάζονται κατ' αντιστροφή με μικρή θερμοκρασιακή διαφορά. Για τους παραπάνω λόγους επιλέγονται ως εναλλάκτες θερμότητας στα γεωθερικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος. Η επιλογή κατασκευής του υλικού του εναλλάκτη πλακών εξαρτάται από το είδος των ρευστών και τις αναμενόμενες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Η επιλογή του βέλτιστου εναλλάκτη πλακών για καθορισμένο πρόβλημα απαιτεί προσεκτική ανάλυση.

Πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού για κάθε Σενάριο. Η επιλογή των θερμοκρασιών αυτών γίνεται γύρω από την τιμή της αδιατάρακτης θερμοκρασίας εδάφους με βήμα ένα βαθμό. Εξετάζεται και η περίπτωση διαφοροποίησης της τιμής της

θερμοκρασίας του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι κατά ένα βαθμό. Αυτό είναι πιθανό να συμβεί όταν ο υδροφόρος δεν βρίσκεται σε σημαντικό βάθος.

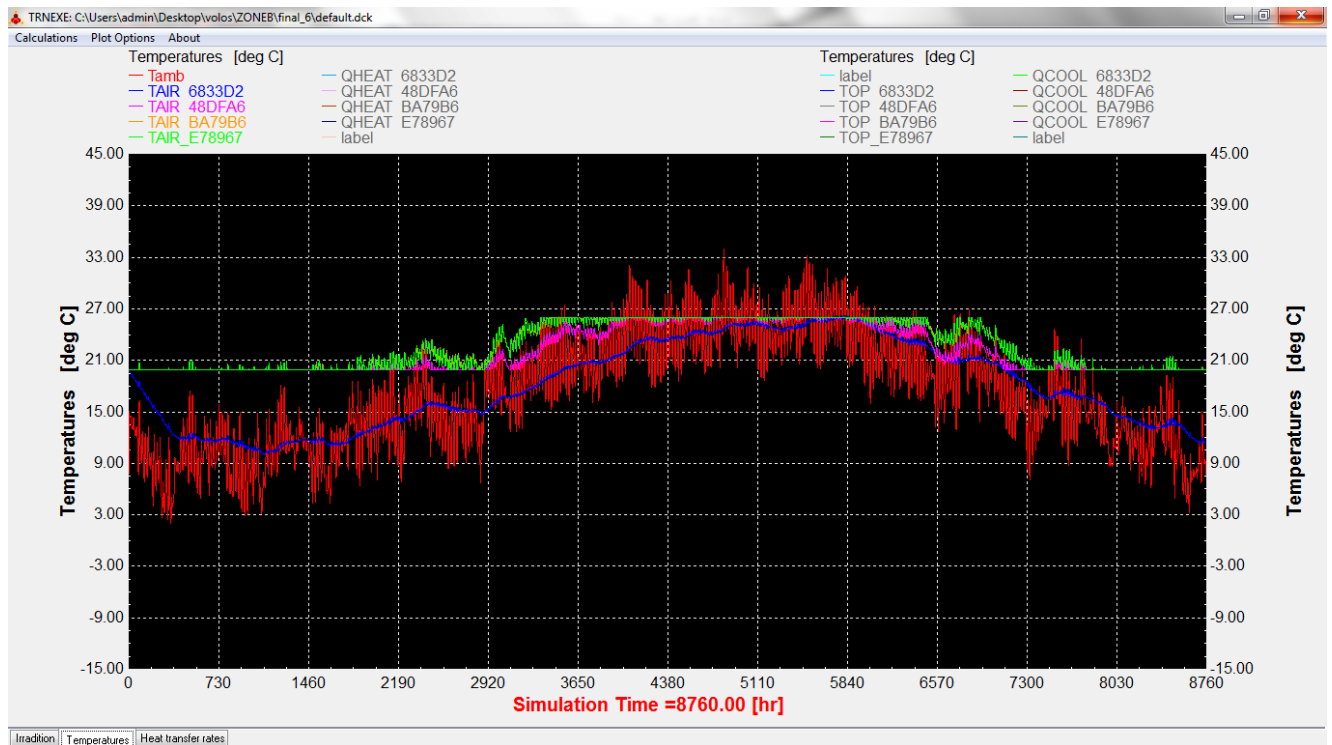
Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι η πλήρης διαστασιολόγηση του εναλλάκτη θερμότητας δεν συμβαίνει στην παρούσα εργασία καθώς ο αναλυτικός υπολογισμός του αποτελεί αντικείμενο Μηχανολόγου Μηχανικού. Επιπλέον σε μια πραγματική εγκατάσταση θα πραγματοποιούσαμε, ανάλογα και με τις δυνατότητες του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, παραπάνω από μια γεωτρήσεις και συνεπώς θα είχαμε παραπάνω από έναν εναλλάκτης θερμότητας. Ουσιαστικά στην παρούσα δουλειά εκτιμάται η επιφάνεια του ισοδύναμου εναλλάκτη ο οποίος συναλλάσσει το σύνολο του κτιριακού φορτίου. Το ίδιο ισχύει και για τις αντλίες θερμότητας. Στο λογισμικό έχουμε εισαγάγει τρεις αντλίες μια για κάθε διαμέρισμα το οποίο έχει ανεξαρτησία θέρμανσης και ψύξης. Στο διάγραμμα του κυκλώματος που απεικονίζεται στο Σχ.5.2 αντιπροσωπεύονται από μια κεντρική αντλία θερμότητας σε αντιστοιχία με τον κεντρικό εναλλάκτη θερμότητας.

Τέλος, οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες άντλησης του υπόγειου νερού δεν εξετάζονται στο παρόν κείμενο αλλά αποτελούν αντικείμενο μιας μελλοντικής εργασίας.

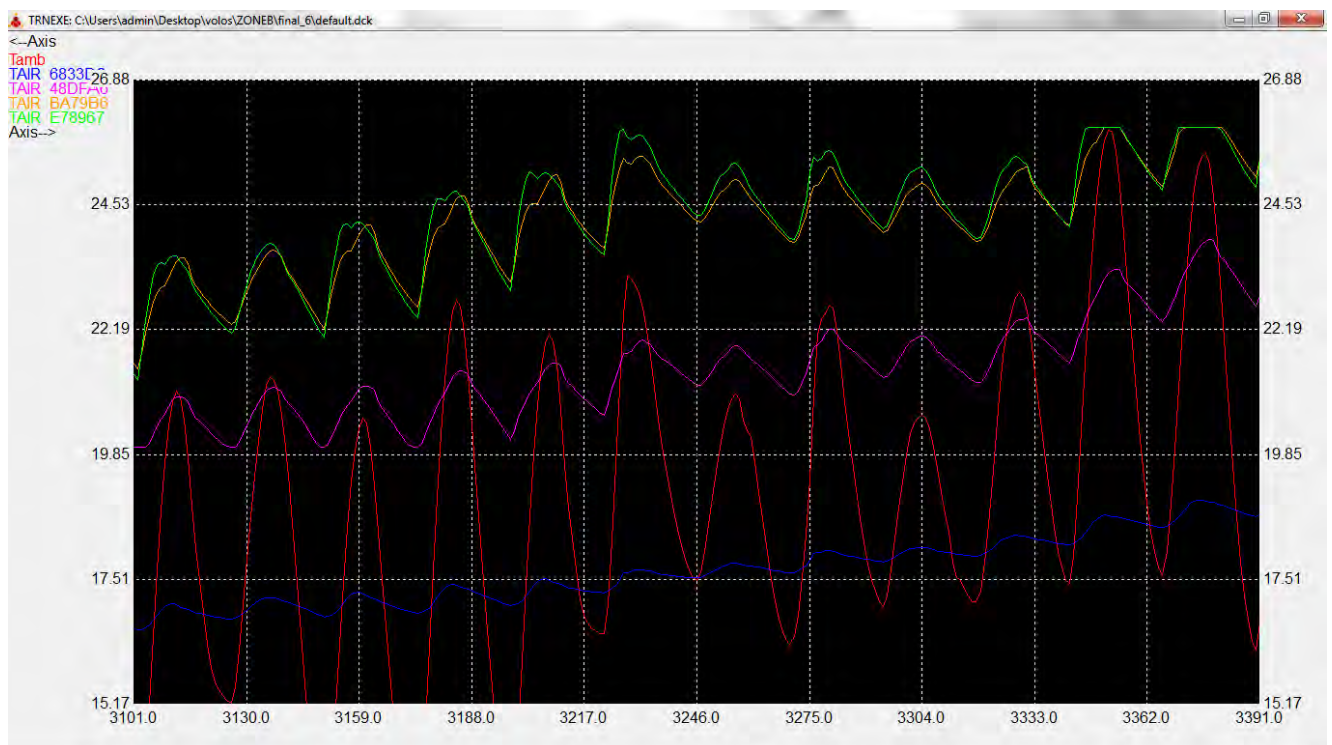
6. Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Τα πρώτα αποτελέσματα της εργασίας προέρχονται από τη δυναμική προσομοίωση του πρότυπου κτιρίου με διάφορα πάχη μόνωσης και για τέσσερα διαφορετικά αρχεία κλιματικών δεδομένων, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε μια από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η προσομοίωση είναι ωριαία και συνεπώς η πρωτογενής μορφή των αποτελεσμάτων είναι ωριαία και μπορεί να απεικονίζεται σε on line plotter κατά τη διάρκεια του τρεξίματος. Αφορά ένα ημερολογιακό έτος και αντιστοιχεί σε 8760 ώρες (simulation time). Ο υπολογιστικός χρόνος ολοκλήρωσης της προσομοίωσης εξαρτάται από το πόσο σύνθετο είναι το μοντέλο και από τις δυνατότητες του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αφού ολοκληρωθεί, τα διαγράμματα παραμένουν στην οθόνη του χρήστη για περαιτέρω επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων. Υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης απεικόνισης περισσότερων του ενός διαγραμμάτων τα οποία αφορούν διαφορετικά φυσικά μεγέθη της προσομοιωτικής διαδικασίας. Ενδεικτικά, παρατίθενται δύο τέτοια διαγράμματα τα οποία αναφέρονται στο Σενάριο 2, δηλαδή στην περίπτωση όπου το κτίριο έχει πάχος μόνωσης 6cm και βρίσκεται στην β' κλιματική ζώνη και συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή της Πρέβεζας.

Στο Σχ.6.1 παρουσιάζεται η ωριαία διακύμανση της θερμοκρασίας. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, με μπλέ η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του κλιμακοστασίου, με μωβ η θερμοκρασία του οροφωδιαμερίσματος του πρώτου όροφου, με πορτοκαλί του δεύτερου και με πράσινο του τρίτου. Στο Σχ.6.1α φαίνεται ολόκληρη η προσομοίωση, δηλαδή 8760 τιμές θερμοκρασίας για κάθε θερμική ζώνη καθώς και τα δεδομένα του κλιματικού αρχείου και στο Σχ.6.1β δίνεται μια μεγέθυνση σε ένα τυχαίο σημείο του διαγράμματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας δεν είναι αποτελέσματα τα οποία χρησιμοποιούνται αυτούσια ως δεδομένα στην προσομοίωση του γεωθερμικού συστήματος αλλά, αποτελούν ένα εποπτικό μέσο με το οποίο ελέγχεται και ταξινομείται η εξαγωγή των θερμικών φορτίων του κτιρίου. Αρχικά, επαληθεύεται ο περιορισμός των θερμοκρασιών του αέρα του εσωτερικού χώρου των θερμικών ζωνών των οποίων η θερμοκρασία ελέγχεται δηλαδή, των τριών οροφωδιαμερισμάτων. Είναι φανερό ότι καθόλη τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία σε αυτές κυμαίνεται από 20-26°C. Η τιμή των 20°C είναι ουσιαστικά το κατώτατο όριο για το χειμώνα και η τιμή των 26°C είναι το ανώτατο για το καλοκαίρι.



(α)



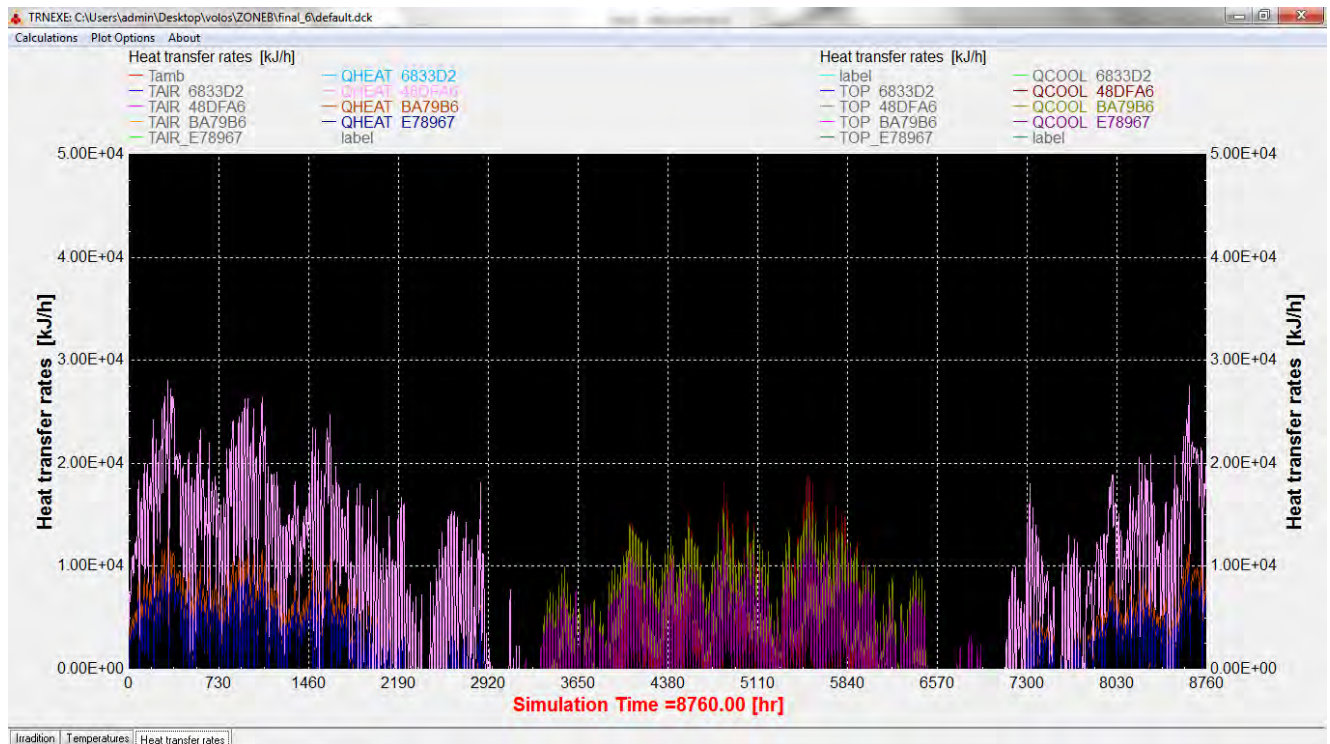
(β)

Σχ.6.1. Απεικόνιση της ωριαίας διακύμανσης της θερμοκρασίας των θερμικών ζωνών του κτιρίου για το Σενάριο 2, απευθείας από το TRNSYS 17.2.

Με την επαλήθευση αυτή διαπιστώνεται ότι τα ζητούμενα αποτελέσματα της προσομοίωσης, δηλαδή τα θερμικά φορτία, έχουν προκύψει για τις σωστές θερμοκρασιακές απαιτήσεις. Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Δίνεται με αυτό τον τρόπο η θερμοκρασιακή διαφορά για την οποία υπολογίζονται τα φορτία του κτιρίου. Είναι ακόμα εμφανές το πότε ενεργοποιείται το θερμοκρασιακό όριο των 20°C για την περίοδο θέρμανσης (χειμώνας) και το όριο των 26°C για την περίοδο ψύξης (καλοκαίρι). Η θερμοκρασιακή διακύμανση για τις τρεις εξεταζόμενες θερμικές ζώνες είναι αρκετά κοντά και παρόμοιας μορφής. Συγκεκριμένα, η διακύμανση αυτή διαφοροποιείται λίγο για το διαμέρισμα του πρώτου όροφου, το οποίο έχει μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις το χειμώνα καθώς είναι περισσότερο εκτεθειμένο και μπορεί να χαρακτηριστεί πιο κρύο, ενώ για τα διαμερίσματα του δεύτερου και του τρίτου ορόφου η θερμοκρασιακή διακύμανση σχεδόν συμπίπτει. Τέλος, απεικονίζεται η θερμοκρασιακή μεταβολή του αέρα της θερμικής ζώνης που δεν υπόκειται σε θερμοκρασιακό έλεγχο, δηλαδή του κλιμακοστασίου. Εδώ, η μορφή της καμπύλης ακολουθεί αυτή της μεταβολής της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα και αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο, αφού δεν υπάρχει έλεγχος. Ωστόσο, οι τιμές θερμοκρασίας του αέρα του κλιμακοστασίου είναι αισθητά μεγαλύτερες από αυτές του εξωτερικού αέρα κατά την περίοδο θέρμανσης και αισθητά μικρότερες κατά την περίοδο ψύξης γεγονός που οφείλεται στο ότι ο χώρος είναι κλειστός και προστατευμένος ενώ διαθέτει αρκετό πάχος μόνωσης (6 cm). Συνοψίζοντας και ολοκληρώνοντας το σχολιασμό για το Σχ.6.1 αξίζει να αναφερθεί ότι παρά το γεγονός ότι δεν αποτελεί ενδιάμεσο ή τελικό αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας παρουσιάζει το έναυσμα για την κεντρική ιδέα της παρούσας εργασίας, δηλαδή πως θα επιτευχθεί εναλλακτικά η ζητούμενη θερμοκρασιακή διαφορά για να αισθάνεται ο χρήστης του χώρου ικανοποιημένος.

Στη συνέχεια, στο Σχ.6.2 παρουσιάζονται τα θερμικά φορτία του κτιρίου όπως προκύπτουν απευθείας από τον plotter του TRNSYS 17.2 κατά τη διάρκεια του τρεξίματος. Είναι το δεύτερο διάγραμμα, που αναφέρεται επίσης στο Σενάριο 2, και δίνει αποτελέσματα προσομοίωσης τα οποία χρησιμοποιούνται αυτούσια στην πρωτογενή τους μορφή ως δεδομένα για τη διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος. Με ανοικτό ρόζ απεικονίζεται ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας για το διαμέρισμα του πρώτου ορόφου κατά την περίοδο της θέρμανσης (χειμώνας), με ανοιχτό καφέ του δεύτερου και με μπλέ του τρίτου. Με σκούρο καφέ-κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας για το διαμέρισμα του πρώτου ορόφου κατά την περίοδο της ψύξης (καλοκαίρι), με πράσινο του δεύτερου και με μωβ του τρίτου. Για τη θερμική ζώνη του κλιμακοστασίου η οποία δεν ελέγχεται θερμοκρασιακά, δεν

παρουσιάζονται οι ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας και δεν καταμετρούνται φορτία. Το πόσο υψηλές ή χαμηλές είναι οι τιμές των φορτίων εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά του αέρα του εσωτερικού χώρου με τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην παρούσα εργασία έχουν τεθεί για όλες τις ζώνες σταθερές θερμοκρασίες εσωτερικού χώρου των διαμερισμάτων οπότε, η διακύμανση των φορτίων είναι ανάλογη με αυτή της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Έτσι για την α΄ κλιματική ζώνη τα φορτία της θέρμανσης είναι χαμηλότερα από αυτά της β΄ ενώ αντίστοιχα, τα φορτία της ψύξης υψηλότερα. Ακόμα, για την γ΄ κλιματική ζώνη τα φορτία θέρμανσης είναι ακόμα υψηλότερα και τα φορτία ψύξης ακόμα μικρότερα από αυτά της β΄ κλιματικής ζώνης. Το αντίστοιχο ισχύει και για τη δ΄ ζώνη όπου τα φορτία έχουν ακόμα μεγαλύτερη απόκλιση το χειμώνα από το καλοκαίρι.



Σχ.6.2. Απεικόνιση της ωριαίας διακύμανσης των ρυθμών μετάδοσης θερμότητας των οροφδιαμερισμάτων του κτιρίου για το Σενάριο 2, απευθείας από το TRNSYS 17.2.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη ανηγμένες στο θερμαινόμενο εμβαδό του κτιρίου που είναι 442 m², για ένα έτος. Οι απαιτήσεις για το Σενάριο 1 και 2 είναι αρκετά κοντά σαν άθροισμα γεγονός που οφείλεται στην επιλογή του

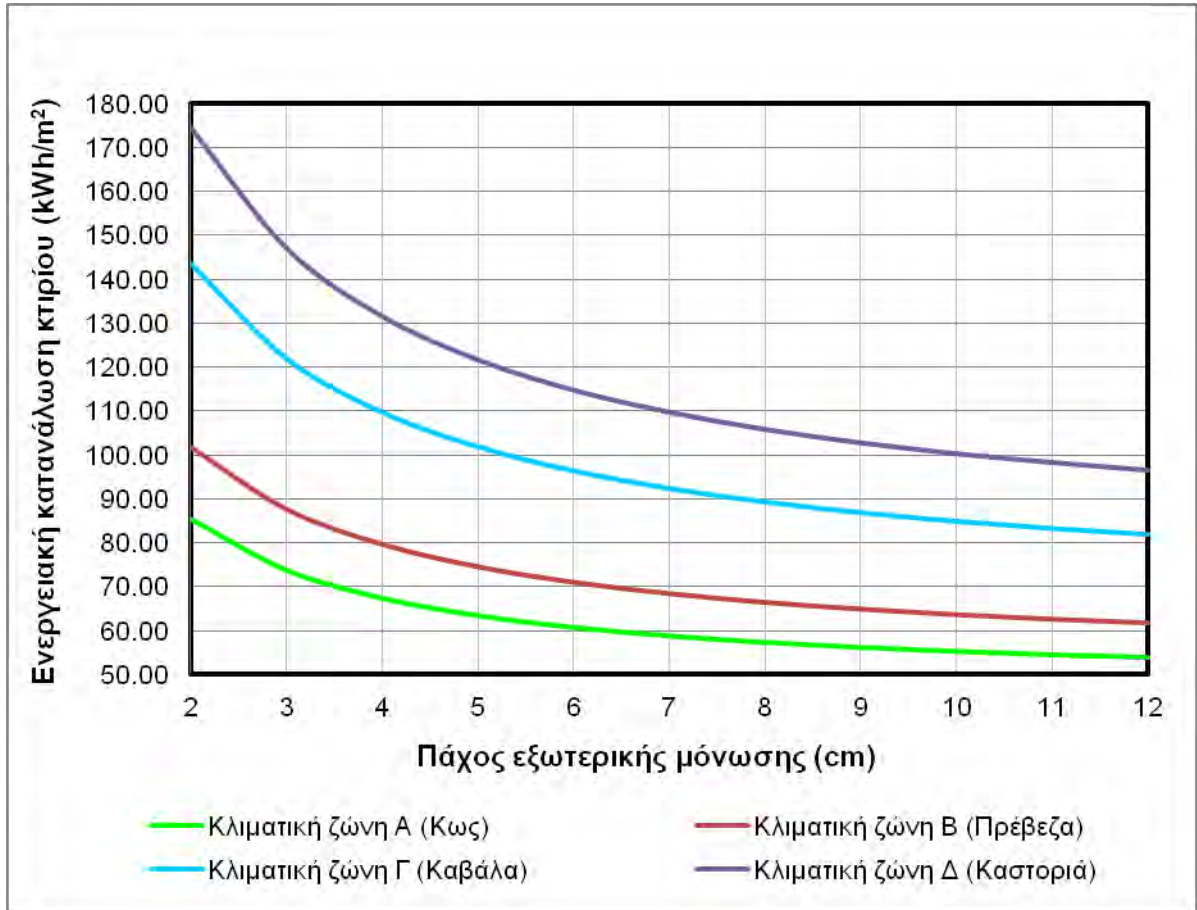
πάχους της εξωτερικής θερμομόνωσης, ενώ για τα Σενάρια 3 και 4 η διαφοροποίηση είναι περισσότερο εμφανής παρά το αρκετό πάχος της μόνωσης. Ωστόσο, αν και η συνολική ενεργειακή απαίτηση δύο σεναρίων είναι κοντά η διαφοροποίηση των απαιτήσεων ανά περίοδο χειμώνα και θέρους μπορεί να είναι αισθητή.

Πίνακας 6.1. Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις Σεναρίων

Σενάριο	Ετήσια ενεργειακή απαίτηση (kWh/m ²)
Σενάριο 1	67.44
Σενάριο 2	70.98
Σενάριο 3	89.41
Σενάριο 4	100.35

Για να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στο πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης και στην μείωση που αυτή προκαλεί στο συνολικό ενεργειακό φορτίο του κτιρίου, γίνεται προσομοίωση μέσω του TRNSYS 17.2 για κάθε κλιματική ζώνη και για 11 διαφορετικά πάχη μόνωσης για το εξεταζόμενο πρότυπο κτίριο μελέτης. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτουν οι καμπύλες του Σχ.6.3. Είναι φανερό ότι η συνολική ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται τόσο με την αύξηση του πάχους της εξωτερικής θερμομόνωσης όσο και με το ηπιότερο κλίμα στο οποίο βρίσκεται το πρότυπο κτίριο δηλαδή με τις μειωμένες θερμοκρασιακές διαφορές εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. Αν και η σειρά μετατόπισης των καμπυλών είναι σταθερή ως προς την κατάταξη των κλιματικών ζωνών, το εύρος της μετατόπισης επηρεάζεται και από την επιλογή της περιοχής-πόλης. Ενδεχομένως δηλαδή, να είχε επιλεγεί μια πιο κρύα πόλη της β΄ κλιματικής ζώνης και μια πιο ζεστή της γ΄ και οι καμπύλες να απείχαν λιγότερο. Για το λόγο αυτό στο διάγραμμα αναφέρονται τα ονόματα των περιοχών. Επιπλέον, αξίζει κάποιος να παρατηρήσει ότι ο ρυθμός μείωσης της ενεργειακής απαίτησης-κατανάλωσης, θεωρώντας ότι η απαίτηση αυτή ικανοποιείται, δεν είναι σταθερός. Σε μικρά πάχη μόνωσης είναι μεγάλος, ενώ από μια τιμή πάχους και πέρα μειώνεται αισθητά γεγονός που οδηγεί στη διαπίστωση ότι περαιτέρω μείωση δεν συμφέρει από τεchnοοικονομικής άποψης και άρα πρέπει να ληφθούν άλλα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς, για την περιοχή της Καστοριάς η αύξηση του πάχους της μόνωσης από 2 cm σε 3 cm μειώνει την ετήσια συνολική ενεργειακή απαίτηση, η οποία είναι κατά κύριο λόγο απαίτηση θέρμανσης, περίπου 16%. Για την ίδια περιοχή, η αύξηση του πάχους της μόνωσης από 9 cm σε 10 cm μειώνει την ετήσια συνολική ενεργειακή απαίτηση περίπου 2,5%. Στο σημείο αυτό δικαιολογείται και η επιλογή του πάχους εξωτερικής θερμομόνωσης

για καθένα από τα εξεταζόμενα Σενάρια στα οποία δόθηκε έμφαση για τη διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος ανοικτού κυκλώματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού. Η επιλογή έχει γίνει όχι μόνο για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για τους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κελύφους αλλά, και για να θεωρείται το κρίσιμο πάχος μέχρι το οποίο ο ρυθμός



Σχ.6.3. Μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.

μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων είναι αξιόλογος καθώς επίσης, και για να δίνεται μια πρόταση-κατεύθυνση για εφαρμογή αυξημένης θερμομονωτικής προστασίας στον κτιριακό τομέα. Ακόμα, πρέπει να αναφερθεί ότι και στην περίπτωση του κρίσιμου πάχους θερμομόνωσης περαιτέρω αύξηση του οποίου δεν οδηγεί σε σημαντική μείωση των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου η επιλογή της πόλης ανά κλιματική ζώνη είναι σημαντική και ενδεχομένως υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα σε περιοχές της ίδιας κλιματικής ζώνης. Παρόλα αυτά, θεωρώντας ένα εύρος 1 cm μόνωσης γύρω από την

επιλεχθείσα για κάθε κλιματική ζώνη τιμή, η παραδοχή μας θεωρείται ασφαλής.

Κλείνοντας την παρουσίαση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης για το πρότυπο κτίριο μελέτης πρέπει να τονίσουμε ότι τόσο το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης όσο και οι ενεργειακές καταναλώσεις αυτού το χειμώνα και το καλοκαίρι εξαρτώνται από το σύνολο των παραμέτρων που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4 και σημαντικές μεταβολές σε αυτές, όπως λόγω χάρη μεταβολή του είδους και των χαρακτηριστικών των κουφωμάτων, μπορεί να επιφέρει σημαντικές μεταβολές στα εξεταζόμενα μεγέθη. Για να υπάρχει ένα μετρο σύγκρισης οι υπόλοιπες παράμετροι της μοντελοποίησης του κτιρίου διατηρούνται σταθερές και επίσης, αναφερόμαστε σε διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων παραγόντων και όχι στη βελτιστοποίηση κυκλωμάτων.

Συνεχίζοντας στα τελικά αποτελέσματα της εργασίας, παρουσιάζονται αυτά που προκύπτουν από τη διαστασιολόγηση των γεωθερμικών συστημάτων. Στο Σχ.6.4 απεικονίζεται η μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι, για το Σενάριο 1, που αναφέρεται στην α΄ κλιματική ζώνη και στο οποίο το κτίριο φέρει εξωτερική θερμομόνωση πάχους 4 cm. Με τον όρο ενεργός επιφάνεια εννοείται η επιφάνεια του πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας η οποία απαιτείται για τη συναλλαγή ενέργειας κατά την περίοδο λειτουργίας του γεωθερμικού συστήματος. Η απαιτούμενη αυτή τιμή επιφάνειας μπορεί να μεταβάλλεται κάθε χρονική στιγμή ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού και τις ανάγκες του κτιρίου εκείνη την εξεταζόμενη στιγμή. Με άλλα λόγια, η επιφάνεια αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασιακή διαφορά που πρέπει να καλύψει κάθε φορά ο χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης θερμότητας. Υπενθυμίζεται ότι από τις βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας η ζητούμενη προσδιοριστέα επιφάνεια εναλλάκτη θερμότητας για να καλύψει δεδομένο φορτίο εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά, τις θερμοφυσικές ιδιότητες και τις ποσότητες των συνεργαζομένων μέσων καθώς και από το υλικό της επιφάνειας, προσδιορίζοντας έτσι κατάλληλο συντελεστή ειδικής θερμοπερατότητας. Από το Σχ.6.4 είναι φανερό η αύξηση της ενεργού επιφάνειας του εναλλάκτη θερμότητας κατά την περίοδο της ψύξης και, η αντίστοιχη μείωσή της κατά την περίοδο της θέρμανσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού. Με άλλα λόγια, για την κάλυψη συγκεκριμένου φορτίου του κτιρίου η μείωση της θερμοκρασιακής διαφοράς των συνεργαζομένων μέσων αυξάνει την απαιτούμενη επιφάνεια συναλλαγής. Υπενθυμίζεται ότι έχει θεωρηθεί πως η θερμοκρασία του υπόγειου νερού μεταβάλλεται μόνο κατά ένα βαθμό το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι, ενώ εξετάζεται και η

περίπτωση κατά την οποία η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι σταθερή καθόλη τη διάρκεια του έτους και ίση με την αδιατάρακτη θερμοκρασία του εδάφους.



Σχ.6.4. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 1.

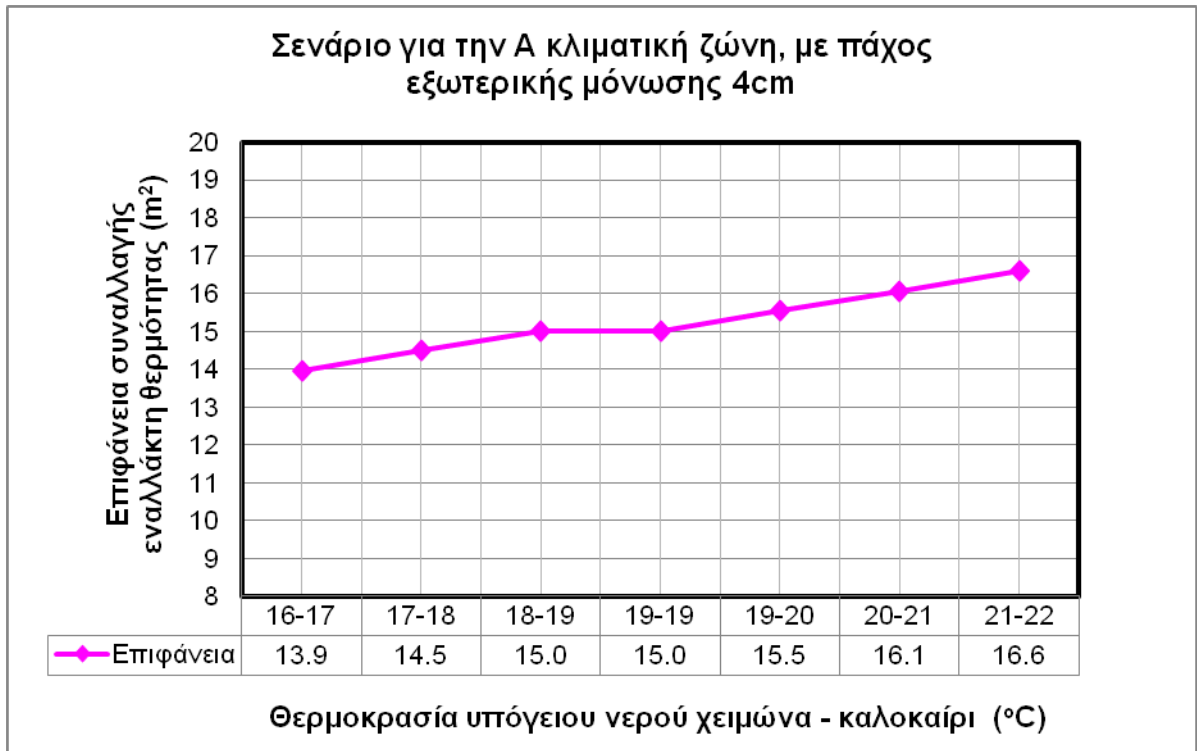
Επίσης, σημειώνεται ότι η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος με το λογισμικό GLD 2012 γίνεται κάθε φορά με βάση τη δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή την περίπτωση εκείνη όπου ο συνδυασμός φορτίου και θερμοκρασιακής διαφοράς συνεργαζόμενων μέσων δίνει το δυσμενέστερο-μεγαλύτερο απαιτούμενο μήκος σωλήνα. Άρα, στους υπολογισμούς στο Excel λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη-μεγαλύτερη επιφάνεια συναλλαγής. Για την K_w , η δυσμενέστερη περίπτωση συμβαίνει κατά τη λειτουργία της ψύξης με αποτέλεσμα το ψυκτικό κύκλωμα να καθορίζει την επιφάνεια συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας που εγκαθίσταται. Αυτό συμβαίνει και στους επτά εξεταζόμενους συνδυασμούς θερμοκρασιών υπόγειου νερού χειμώνα και καλοκαίρι. Είναι εμφανές ότι το μπλέ μήκος που αντιπροσωπεύει την ενεργό επιφάνεια συναλλαγής την περίοδο του καλοκαιριού είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόκκινο μήκος το οποίο αναφέρεται στην περίοδο του χειμώνα. Παρά το γεγονός ότι οι τιμές του διαγράμματος των ενεργών επιφανειών θα μπορούσαν να διαφοροποιηθούν με άλλη

θεώρηση διαφοράς θερμοκρασίας υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι, η βασική αρχή μετάδοσης θερμότητας θα τηρείται.

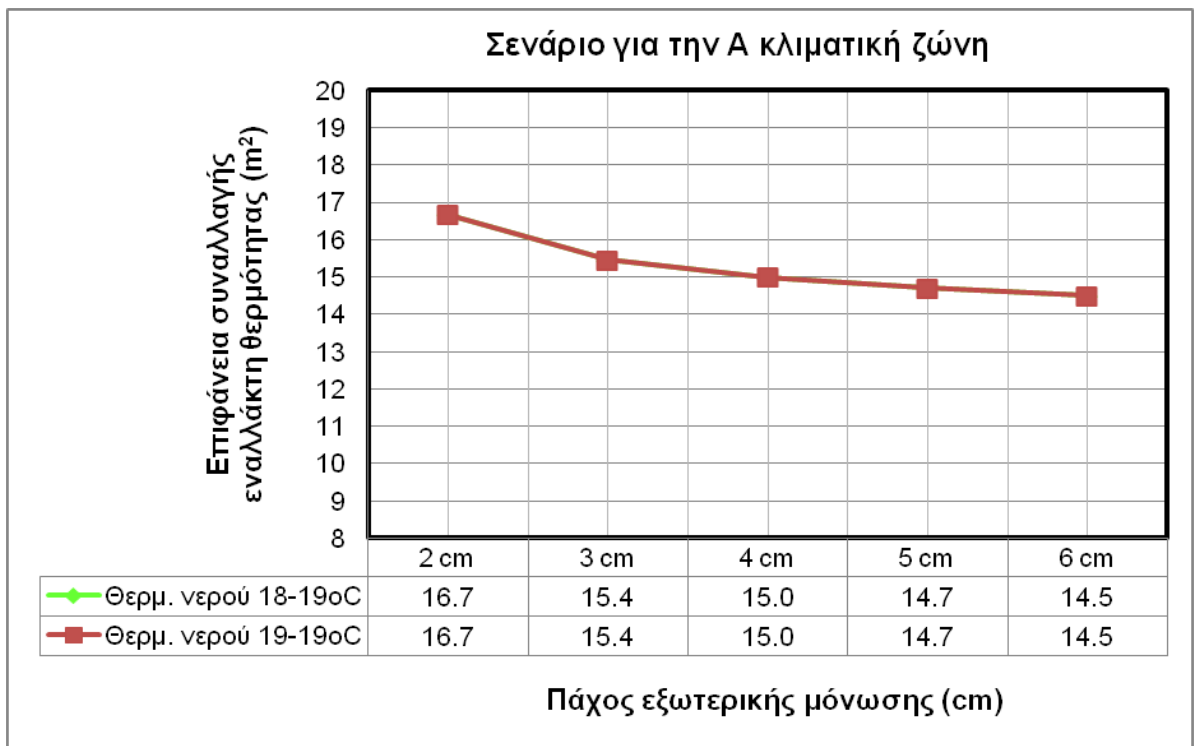
Στο Σχ.6.5 παρουσιάζονται οι εγκαθιστάμενες επιφάνειες συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας για κάθε εξεταζόμενο συνδυασμό θερμοκρασιών υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για την α΄ κλιματική ζώνη. Απεικονίζεται η αύξηση της εγκαθιστάμενης κάθε φορά επιφάνειας συναλλαγής με την αύξηση της θερμοκρασίας του υπογείου νερού κατά ένα βαθμό. Η αύξηση αυτή είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας την οποία έχει το υπόγειο νερό το καλοκαίρι. Αυτό δηλώνεται και από το ότι η γραμμή του διαγράμματος γίνεται παράλληλη με τον άξονα των x και η τιμή της επιφάνειας παραμένει σταθερή, ίση με 15 m^2 για τους συνδυασμούς θερμοκρασιών υπόγειου νερού $18-19^\circ\text{C}$ και $19-19^\circ\text{C}$, όπου η δεύτερη τιμή θερμοκρασίας αναφέρεται στη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το καλοκαίρι. Επαληθεύεται και εδώ ότι η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος έχει γίνει για την ψύξη που αναφέρεται στην περίοδο του θέρους.

Στο Σχ.6.6 δίνεται η μεταβολή της επιφάνειας του εναλλάκτη για δεδομένους συνδυασμούς θερμοκρασιών υπογείου νερού χειμώνα-καλοκαίρι σε συνάρτηση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κελύφους για την α΄ κλιματική ζώνη. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται κάθε φορά μια σταθερή θερμοκρασιακή διαφορά και η επιφάνεια του εναλλάκτη μεταβάλλεται σε σχέση με το φορτίο. Για πάχος μόνωσης 6 cm , το οποίο αντιστοιχεί στο μικρότερο φορτίο, η επιφάνεια συναλλαγής του εναλλάκτη λαμβάνει τη μικρότερη τιμή δηλαδή 14.5 m^2 . Παρατηρείται ότι και για τους δύο εξεταζόμενους συνδυασμούς θερμοκρασίας υπόγειου νερού χειμώνα-καλοκαίρι δηλαδή $18-19^\circ\text{C}$ και $19-19^\circ\text{C}$, οι υπολογιζόμενες επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας παραμένουν σταθερές και η πράσινη με την καφέ γραμμή του διαγράμματος συμπίπτουν. Η εξήγηση είναι όμοια με αυτή που δόθηκε παραπάνω ότι δηλαδή η διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος έχει γίνει για τη λειτουργία της ψύξης και επειδή οι δύο συνδυασμοί έχουν την ίδια θερμοκρασία υπόγειου νερού για το καλοκαίρι η υπολογιζόμενη επιφάνεια παραμένει η ίδια.

Αντίστοιχα διαγράμματα προκύπτουν και για τις άλλες κλιματικές ζώνες. Τα Σχ.6.7, 6.8 και 6.9 αναφέρονται στην β΄ κλιματική ζώνη. Το Σχ.6.7 είναι αντίστοιχο με το Σχ.6.4 και παρουσιάζει τη μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας για το Σενάριο 2 στο οποίο το κτίριο φέρει εξωτερική μόνωση πάχους 6 cm . Σε κάθε διάγραμμα αυτού του τύπου αναφέρεται το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης διότι αυτό καθορίζει στους ενεργειακούς υπολογισμούς του κτιρίου το φορτίο που οφείλει να καλύψει το γεωθερμικό σύστημα και



Σχ.6.5. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 1.



Σχ.6.6. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την α΄ κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.

κατά προτίμηση ο εναλλάκτης πλακών και όχι η αντλία θερμότητας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι τόσο κατά τον προηγούμενο σχολιασμό της ενότητας των αποτελεσμάτων όσο και κατά τον επόμενο τείνουμε να συνδέουμε το φορτίο που προέρχεται από τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου με την επιφάνεια συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας. Στην πραγματικότητα μέρος του φορτίου αυτού καλύπτεται από την αντλία θερμότητας και αυτό είναι αναμενόμενο. Η κάλυψη αυτή αφορά τόσο τη λειτουργία της θέρμανσης όσο και της ψύξης, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και τη διαθέσιμη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού. Στην προσομοίωση του γεωθερμικού συστήματος ανοικτού κυκλώματος ο ρόλος της αντλίας θερμότητας έχει ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς ωστόσο δεν δίνεται έμφαση σε αυτό στην παρούσα εργασία για τρεις κυρίως λόγους. Πρώτον, ο ρόλος και η λειτουργία της αντλίας θερμότητας σε ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου είναι αντικείμενο Μηχανολόγου Μηχανικού και δεν θα αναλυθεί στην παρούσα φάση. Δεύτερον, στην εφαρμογή της γεωθερμίας είναι επιθυμητό να δοθεί έμφαση στο κομμάτι που τη χαρακτηρίζει ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και όχι σε αυτό που χρήζει μηχανικής υποστήριξης.

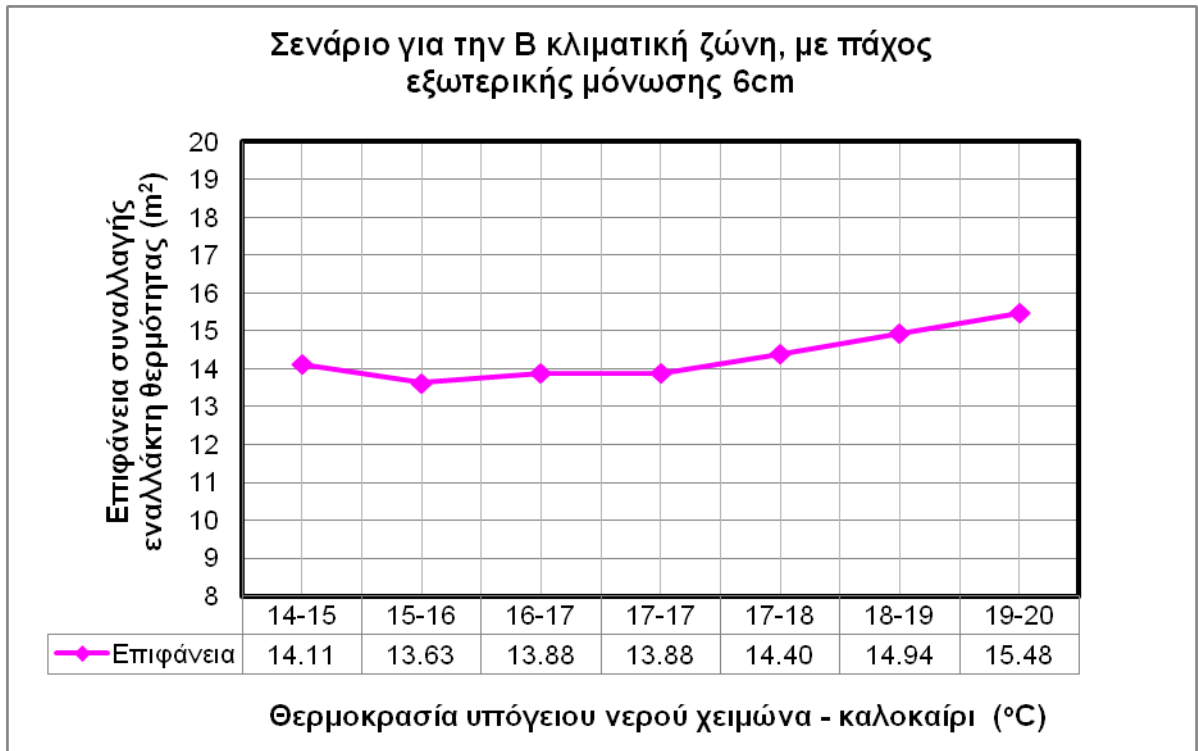


Σχ.6.7. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 2.

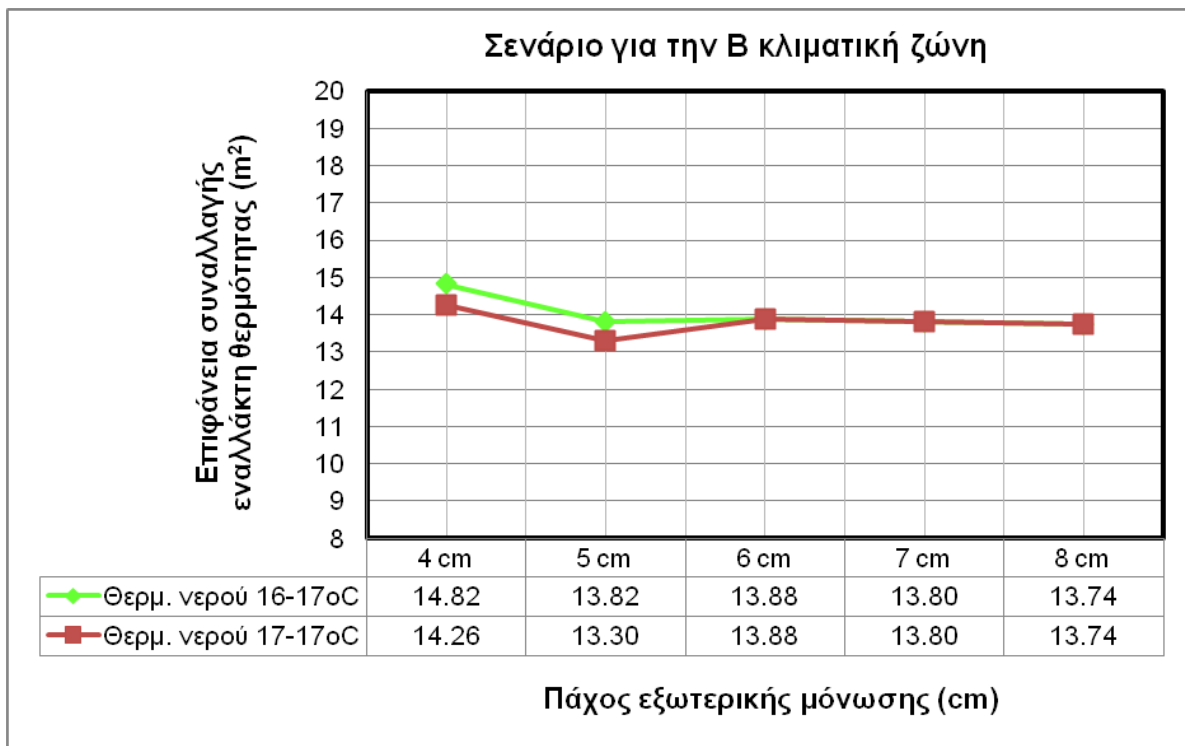
Θεωρητικά, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι το σύστημα δύναται να διαστασιολογηθεί με ακόμα μεγαλύτερες επιφάνειες εναλλάκτη πλακών και με απουσία αντλίας θερμότητας, όταν οι θερμοκρασιακές διαφορές το επιτρέπουν, αλλά στην πράξη αυτό δεν συμβαίνει γιατί δεν είναι τεχνοοικονομικά αποδεκτό και υπάρχει σημαντική πιθανότητα να αφήσει τον χρήστη του χώρου δυσαρεστημένο. Τρίτον, ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων παραμένει ορθός διότι κατά τη διαστασιολόγηση των γεωθερμικών συστημάτων τόσο στην παρούσα μοντελοποίηση όσο και γενικότερα υπάρχει η πρόβλεψη για τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητας του γεωθερμικού ρευστού ως κύριου μέσου κάλυψης των φορτίων.

Για την περιοχή της Πρέβεζας, η οποία επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης για τη β' κλιματική ζώνη, ο δυσμενέστερος συνδυασμός φορτίου και θερμοκρασιακής διαφοράς συνεργαζομένων μέσων που δίνει τη μεγαλύτερη απαιτούμενη επιφάνεια εναλλάκτη μεταβάλλεται για τους διαφορετικούς εξεταζόμενους συνδυασμούς θερμοκρασίας υπόγειου νερού χειμώνα-καλοκαίρι. Έτσι για τους συνδυασμούς 14-15°C και 15-16°C το κύκλωμα και συνεπώς ο εναλλάκτης διαστασιολογείται για τη λειτουργία της θέρμανσης, ενώ για τους υπόλοιπους για τη λειτουργία της ψύξης. Αυτό γίνεται φανερό στο Σχ.6.8 όπου η υπολογιζόμενη επιφάνεια του εναλλάκτη για θερμοκρασία υπόγειου νερού χειμώνα-καλοκαίρι 14-15°C είναι 14.11 m², ενώ για θερμοκρασία υπόγειου νερού χειμώνα-καλοκαίρι 15-16°C μειώνεται σε 13.63 m². Η αύξηση δηλαδή της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού κατά ένα βαθμό τη χειμερινή περίοδο μειώνει την απαιτούμενη επιφάνεια του εναλλάκτη για τη συναλλαγή θερμότητας και την κάλυψη του φορτίου. Μεταβαίνοντας στο συνδυασμό των 16-17°C η επιφάνεια του εναλλάκτη αντί να μειώνεται αυξάνεται και πάλι. Αυτό συμβαίνει διότι για τις συγκεκριμένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το γεωθερμικό σύστημα διαστασιολογείται για τη λειτουργία της ψύξης, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το συνδυασμό των 17-17°C. Για τους δύο αυτούς τελευταίους συνδυασμούς θερμοκρασίας υπογείου νερού, η θερινή τιμή του υπόγειου νερού παραμένει σταθερή και ίση με 17°C όπως και η υπολογιζόμενη επιφάνεια του εναλλάκτη που είναι 13.88 m².

Ακόμα αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι οι επιλεγείσες τιμές θερμοκρασίας για το υπόγειο νερό το χειμώνα και το καλοκαίρι μεταβάλλονται γύρω από την αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους κάθε Σεναρίου και αυτό είναι λογικό. Φυσικά, θα μπορούσε να υπάρχει και σημαντικά μεγαλύτερη απόκλιση τόσο στο θερμοκρασιακό προφίλ του εδάφους όσο και του υπόγειου νερού αλλά εδώ δεν εξετάζεται.



Σχ.6.8. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 2.



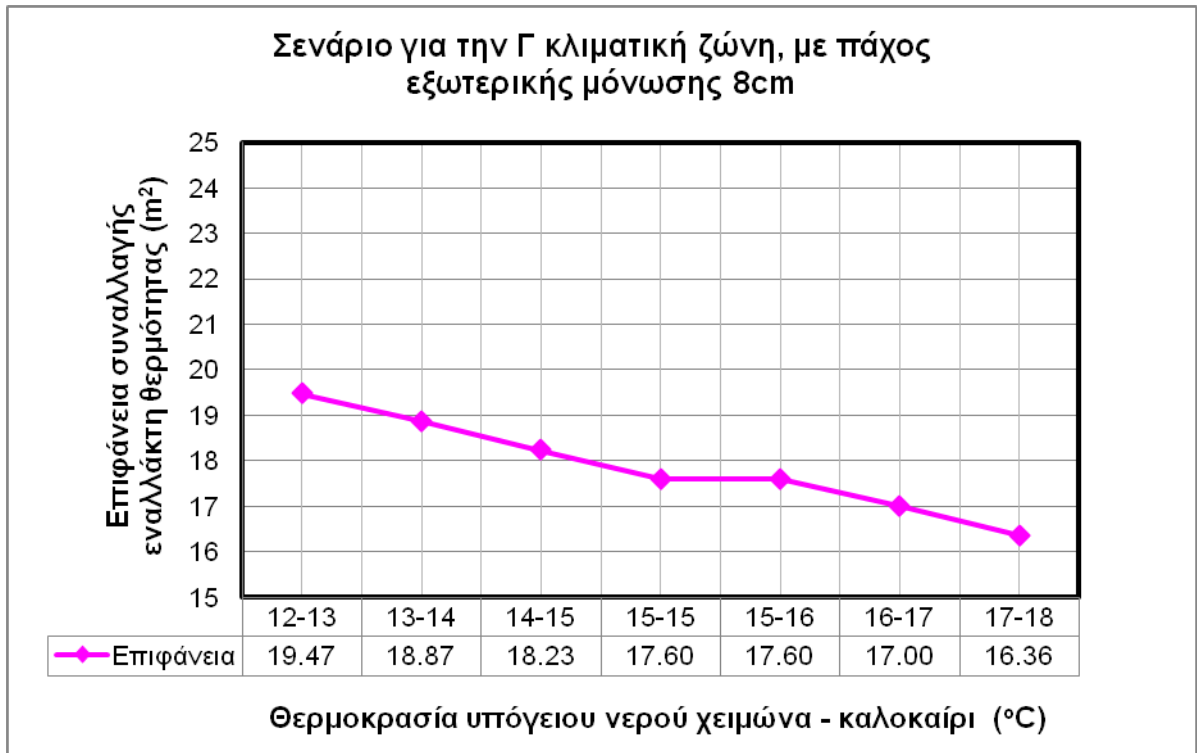
Σχ.6.9. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την β' κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Στο Σχ.6.9 γίνεται επίσης εμφανής η διαφορετική περίοδος λειτουργίας με βάση την οποία διαστασιολογούνται τα γεωθερμικά συστήματα. Για πάχος εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους 4 cm και 5 cm η δυσμενέστερη λειτουργία είναι αυτή της θέρμανσης, ενώ για μεγαλύτερα πάχη μόνωσης είναι αυτή της ψύξης. Η διαφοροποίηση σε αυτή την περίπτωση οφείλεται στο φορτίο που προσδιορίζεται σύμφωνα με το αντίστοιχο πάχος μόνωσης.

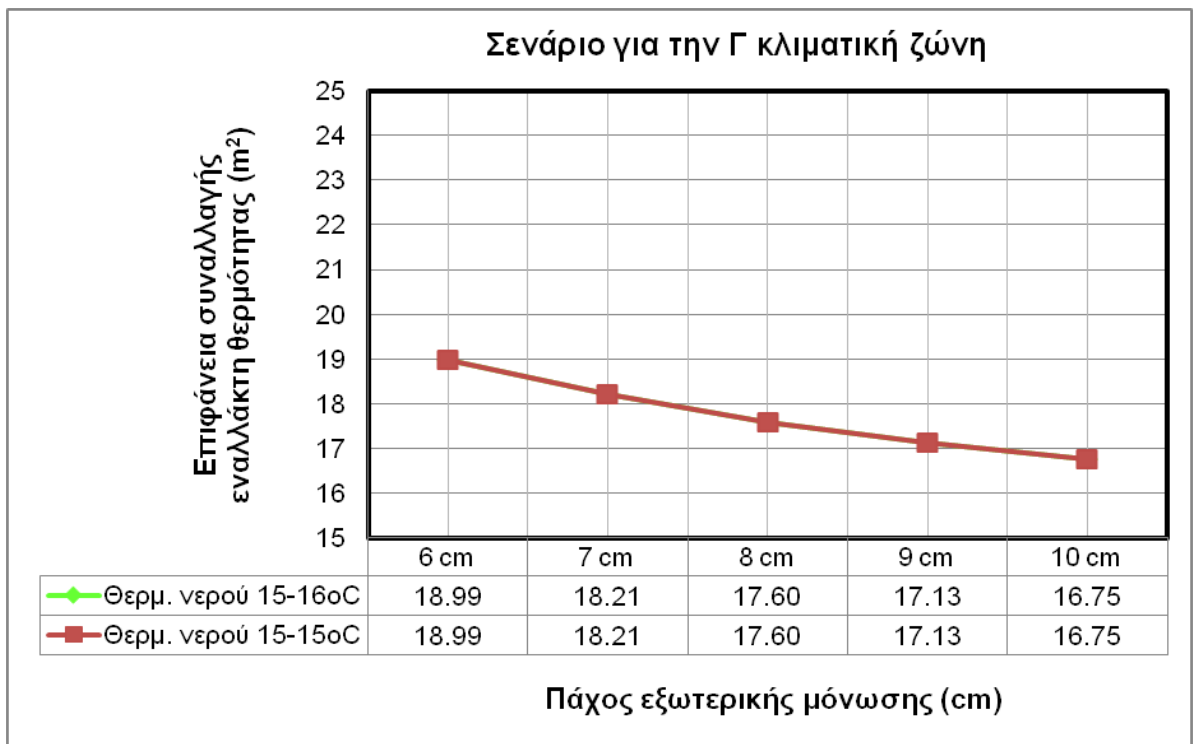
Τα Σχ.6.10, 6.11 και 6.12 αναφέρονται στην γ' κλιματική ζώνη. Η μεταβολή της ενεργού επιφάνειας του εναλλάκτη σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 3 δίνεται στο Σχ.6.10. Οι τελικά εγκαθιστάμενες επιφάνειες συναλλαγής εναλλάκτη θερμότητας για τους εξεταζόμενους συνδυασμούς θερμοκρασίας υπόγειου νερού χειμώνα-καλοκαίρι δίνονται στο Σχ.6.11. Παρατηρείται ότι για την ευρύτερη περιοχή της Καβάλας που μελετήθηκε και για όλους τους συνδυασμούς θερμοκρασιών υπόγειου νερού το γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος διαστασιολογείται με βάση τη λειτουργία της θέρμανσης.



Σχ.6.10. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 3.



Σχ.6.11. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 3.



Σχ.6.12. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την γ' κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.

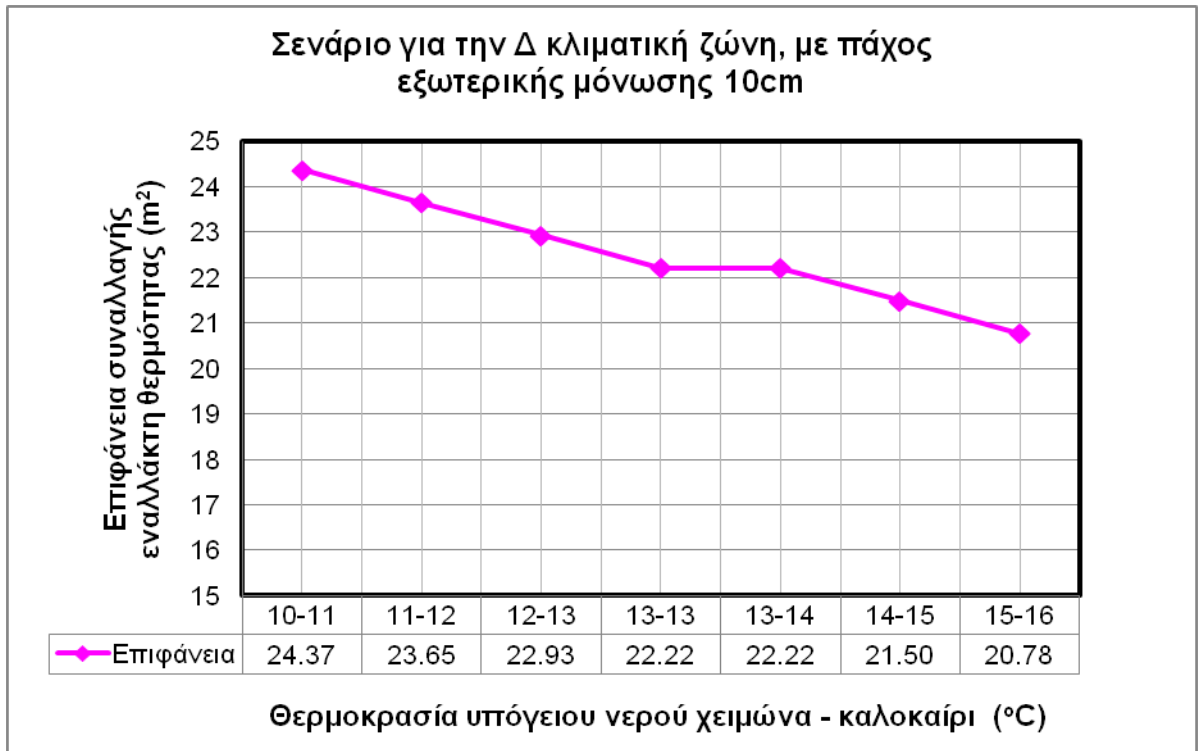
Στο Σχ. 6.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της επιφάνειας του εναλλάκτη σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Επίσης, η λειτουργία της θέρμανσης καθορίζει την επιφάνεια του εναλλάκτη σε όλες τις περιπτώσεις. Σημειώνεται ότι τα πάχη της θερμομόνωσης που διαφοροποιούν το συνολικό φορτίο του κτιρίου σε κάθε Σενάριο μεταβάλλονται κατά ένα εκατοστό γύρω από την αρχικά επιλεγείσα τιμή πάχους μόνωσης για το συγκεκριμένο σενάριο. Συνεπώς, για την γ΄ κλιματική ζώνη το εύρος της μόνωσης κυμαίνεται από 6-10 cm.

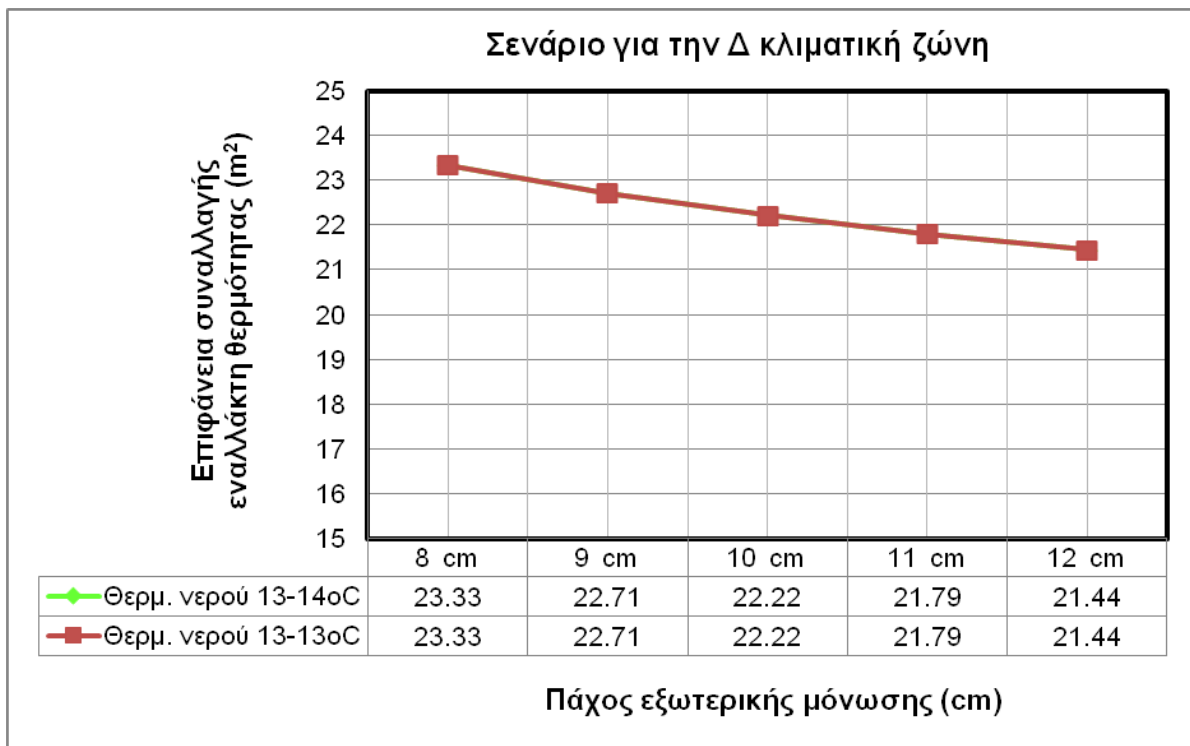
Τα Σχ.6.13, 6.14 και 6.15 αναφέρονται στην δ΄ κλιματική ζώνη. Η μεταβολή της ενεργού επιφάνειας του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 4 δίνεται στο Σχ.6.13 και οι τελικά εγκαθιστάμενες επιφάνειες εναλλάκτη για τους εξεταζόμενους συνδυασμούς θερμοκρασίας υπογείου νερού χειμώνα-καλοκαίρι δίνονται στο Σχ.6.14.



Σχ.6.13. Μεταβολή της ενεργού επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 4.



Σχ.6.14. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι για το Σενάριο 4.



Σχ.6.15. Μεταβολή της επιφάνειας συναλλαγής του εναλλάκτη θερμότητας σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιρίου για την δ' κλιματική ζώνη, με δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Διαπιστώνεται ότι για την ευρύτερη περιοχή της Καστοριάς και για όλους τους συνδυασμούς θερμοκρασιών υπόγειου νερού που εξετάστηκαν το γεωθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος διαστασιοποιείται με βάση τη λειτουργία της θέρμανσης, όπως και στην περίπτωση της Καβάλας. Στο Σχ. 6.15 απεικονίζεται η μεταβολή της επιφάνειας του εναλλάκτη θερμότητας πλακών σε σχέση με το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης για δεδομένες θερμοκρασίες υπόγειου νερού το χειμώνα και το καλοκαίρι. Η πράσινη και η καφέ γραμμή συμπίπτουν και αυτό δηλώνει ότι σε όλες τις περιπτώσεις η λειτουργία της θέρμανσης διαστασιοποιεί το γεωθερμικό κύκλωμα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 5, η διαστασιολόγηση ενός γεωθερμικού συστήματος εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων. Στην παρούσα εργασία διατηρούμε ένα σημαντικό αριθμό από αυτούς σταθερούς για να μπορούμε να έχουμε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του χρησιμοποιούμενου ρευστού, κατά τη διάρκεια του χειμώνα τόσο μικρότερη επιφάνεια εναλλάκτη θερμότητας απαιτείται. Το αντίστροφο ισχύει για το καλοκαίρι. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της εξωτερικής θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους τόσο μικρότερη θα είναι η απαιτούμενη επιφάνεια εναλλάκτη θερμότητας και αυτή θα μειώνεται ακόμα περισσότερο σε συνθήκες με μικρότερες ενεργειακές ανάγκες. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι στην α΄ κλιματική ζώνη έχουμε σημαντικά μικρότερες επιφάνειες εναλλάκτη από ότι στη δ΄ κλιματική ζώνη. Συνοψίζοντας ακόμα περισσότερο τα αποτελέσματα-συμπεράσματα της εργασίας, επαναλαμβάνουμε τη γενική αρχή διαστασιολόγησης γεωθερμικών συστημάτων. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός φορτίου και θερμοκρασιακής διαφοράς συνεργαζόμενων μέσων σε κάθε προσομοίωση δίνει τη δυσμενέστερη-μεγαλύτερη απαιτούμενη επιφάνεια εναλλάκτη.

Σε μελλοντική εργασία θα μπορούσαν να διερευνηθούν η επίδραση της αντλίας θερμότητας στο γεωθερμικό σύστημα, προτάσεις για εναλλακτικά γεωθερμικά συστήματα, μέτρα αποφυγής ρύπανσης του υδροφορέα και του υπεδάφους καθώς και προτεινόμενες μέθοδοι άντλησης υπόγειου νερού. Ακόμα, θα μπορούσε να γίνει και πλήρης διαστασιολόγηση του απαιτούμενου εναλλάκτη θερμότητας.

7. Βιβλιογραφία

- [1] Kanakoudis, V.; Tsitsifli, S. Using the Bimonthly WB of a Non-Fully Monitored Water Distribution Network with Seasonal Water Demand Peaks to define its Actual NRW Level: The case of Kos Town, Greece. *Urban Water, Taylor&Francis*, **2014**, 11(5), 348-360.
- [2] Kanakoudis, V.; Muhammetoglu, H. Urban water pipe networks management towards NRW reduction: two case studies from Greece & Turkey. *CLEAN – Soil, Air, Water*, **2014**, 42(7), Willey, 880-892.
- [3] Tselepidou, K.; Katsifarakis, K. Optimization of the exploitation system of a low enthalpy geothermal aquifer with zones of different transmissivities and temperatures. *Renewable Energy*, **2010**, 35, 1408-1413.
- [4] Florides, G.; Kalogirou, S. Ground heat exchangers - a review of systems, models and applications. *Renewable Energy*, **2007**, 32, 2461–2478.
- [5] Sagia, Z.; Stegou, A.; Rakopoulos, C. Parametric Analysis of Geothermal Residential Heating and Cooling Application. *International Journal of Energy and Environment*, **2012**, 3(5), 701-714.
- [6] Gunes, H.; Liakopoulos, A. Three - dimensional convective cooling in a vertical channel with flush - mounted heat sources. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **2003**, 46(5), 791-808.
- [7] Banks, D. *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*, Blackwell Publishing, **2008**.
- [8] Pechlivanidis, G.; Keramaris, E.; Pechlivanidis, I. Experimental Study of the Effects of Permeable Bed (Grass Vegetation and Gravel Bed) on the Turbulent Flow Using Particle Image Velocimetry. *Journal of Turbulence*, **2015**, 16(1), 1-16.
- [9] Self, S.; Reddy, B.; Rosen, M. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied Energy*, **2013**, 101, 341–348.
- [10] Curtis, R.; Lund, J.; Sanner, B.; Rybach, L.; Hellström, G. *Ground Source Heat Pumps – Geothermal Energy for Anyone, Anywhere: Current Worldwide Activity*, Proceedings of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, April 24–29, **2005**.
- [11] Banks, D. Thermogeological assessment of open-loop well-doublet schemes: a review and synthesis of analytical approaches. *Hydrogeology Journal*, **2009**, 17, 1149–1155.

- [12]Sagia, Z.; Stegou, A.; Rakopoulos, C. Borehole Resistance and Heat Conduction around Vertical Ground Heat Exchangers. *The Open Chemical Engineering Journal*, **2012**, 6, 32-40.
- [13]Woods, K.; Ortega, A. The thermal response of an infinite line of open loop wells for ground coupled heat pump systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **2011**, 54, 5574–5587.
- [14]Lo Russo, S.; Civita, M.V. Open-loop groundwater heat pumps development for large buildings: A case study. *Geothermics*, **2009**, 38, 335–345.
- [15]AUTOCAD **2010**, AutoDesk.
- [16]TRNSYS Software, v.17.2, **2014**.
- [17]METEONORM Software, v.6.1, **2010**.
- [18]Προεδρικό Διάταγμα 100/2010. «Ενεργειακοί Επιθεωρητές Κτιρίων, Λεβήτων και Εγκαταστάσεων Θέρμανσης και Εγκαταστάσεων Κλιματισμού» (ΦΕΚ 177/Α/6.10.2010), **2010**.
- [19]ΝΟΜΟΣ ΥΠ’ ΑΡΙΘ. 4122. «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 42/Α/19.2.2013), **2013**.
- [20]GLD Software **2012**, Gaia Geothermal.
- [21]ΟΔΗΓΙΑ 2010/31/ΕΕ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων,**19-5-2010**.
- [22]ΝΟΜΟΣ ΥΠ’ ΑΡΙΘ. 4067. «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός» (ΦΕΚ 79/Α/9.4.2012), **2012**.
- [23]Αθανασόπουλος, Χ. *Κατασκευή Κτιρίων Σύνοψη και Τεχνολογία*, Ζ΄ έκδοση, Γραφικές Τέχνες: Αθήνα, **2007**.
- [24]Neufert, E. *Οικοδομική και αρχιτεκτονική σύνοψη*, Εκδόσεις Γκιούρδας Μ.: Αθήνα, **2010**.
- [25]ΔΙΑΤΑΓΜΑΤΑ. «Περί εγκρίσεως κανονισμού δια την θερμομόνωσιν των κτιρίων» (ΦΕΚ 362/Δ/4.7.1979), **1979**.
- [26]Google SketchUpPro, v.14.1, **2014**.
- [27]ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ. *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. **20701-1/2010**, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ

ΑΛΛΑΓΗΣ – Υ.Π.Ε.Κ.Α. Απόφαση 17178/2010, Προεδρικό Διάταγμα 1387/Β/9-2-2010.

[28] ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ. *Θερμοφυσικές Ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων*, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. **20701-2/2010**, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ – Υ.Π.Ε.Κ.Α. Απόφαση 17178/2010, Προεδρικό Διάταγμα 1387/Β/9-2-2010.

[29] Holman, J.P. *Heat Transfer*, 9th ed., McGraw Hill Companies Inc.: New York, **2002**.

[30] Κακάτσιος, Ξ. *Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης*, Εκδόσεις Συμεών: Αθήνα, **2006**.

[31] Πασπαλάς, Κ. *Μετάδοση Θερμότητας*, 3η έκδοση, Σύλλογος Μηχανολόγων - Ηλεκτρολόγων Βορείου Ελλάδος: Θεσσαλονίκη, **2008**.

[32] Κορωνάκη, Ε.; Σαγιά, Ζ.; Τερτίπης, Δ. *Στοιχεία Θερμοδυναμικής και Μετάδοσης Θερμότητας*, Α΄ έκδοση, Εκπαιδευτικό υλικό για την κατάρτιση των Ενεργειακών Επιθεωρητών, ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ: Αθήνα, **2011**.