



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Προσομοίωση και ενεργειακή αξιολόγηση γεωθερμικής αντλίας
θερμότητας για θέρμανση και ψύξη σε κτίριο κατοικίας
σε κλιματικές ζώνες της Ελλάδας**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΡΙΚΕΛΑΣ

A.M.: 461272017037

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΝΑΖΟΣ

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΜΑΪΤΟΣ

Αιγάλεω, Μάρτιος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

**Simulation and energy evaluation of geothermal heat pump for heating
and cooling in residential building in climatic zones of Greece**

GEORGIOS KRIKELAS

R.N.: 461272017037

SUPERVISORS:

ANTONIOS NAZOS

ANTONIOS MAITOS

Egaleo, March 2024

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
Αντώνιος Νάζος	
Αντώνιος Μαιτός	
Ευάγγελος Σακελλαρίου	

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Κρικέλας Γεώργιος, Μάρτιος, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κρικέλας Γεώργιος του Ηλία, με αριθμό μητρώου 461272017037 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Κρικέλας Γεώργιος



Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου, κ. Νάζο Αντώνιο για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε, καθώς και τον κ. Μαϊτό Αντώνιο για την πολύωρη ενασχόληση που μου αφιέρωσε. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που κάνει τα πάντα για να με στηρίζει στη ζωή μου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται ενεργειακή αξιολόγηση μέσω μοντελοποίησης και προσομοίωσης μίας διώροφης μονοκατοικίας στις κλιματικές ζώνες Α', Β', Γ' και Δ', η οποία διαθέτει ως σύστημα θέρμανσης και ψύξης γεωθερμική αντλία θερμότητας. Αρχικά, γίνεται επεξήγηση των εισαγωγικών εννοιών όπως η αρχή λειτουργίας αντλιών θερμότητας και τα μέρη από τα οποία αποτελούνται. Περιγράφονται οι κατηγορίες των αντλιών θερμότητας και οι πηγές θερμότητας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αβαθή γεωθερμία και στους τύπους των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε συστήματος, όπως και συμπεράσματα και αποτελέσματα από συγκριτικές μελέτες αντλιών θερμότητας που έχουν γίνει ανά τον κόσμο. Στη συνέχεια περιγράφονται οι χρήσεις και οι σκοποί των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική. Τα λογισμικά αυτά είναι το EnergyPlus, SketchUp, OpenStudio και το DesignBuilder. Έπειτα γίνεται η μοντελοποίηση του κτιριακού κελύφους της κάθε ζώνης. Αρχικά, δημιουργείται η γεωμετρία και τα δομικά στοιχεία, καθώς και εισάγονται τα απαραίτητα μετεωρολογικά αρχεία, με τα καιρικά δεδομένα που οφείλονται στις κλιματικές συνθήκες της κάθε ζώνης. Ακολούθως εισάγονται τα φορτία του κτιρίου λόγω ατόμων, φυσικού αερισμού και αθέμιτης διείσδυσης αέρα από χαραμάδες με τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα (προφίλ χρήσης). Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης πραγματοποιείται προσομοίωση των κτιριακών κελυφών ώστε να προσδιορισθούν οι απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη για το καθένα. Βάσει των αποτελεσμάτων, επιλέγεται η αντλία θερμότητας και ο γεωεναλλάκτης των κτιρίων. Τα κτιριακά κελύφη μαζί με τις εκάστοτε αντλίες θερμότητας προσομοιώνονται και εξάγονται ενεργειακά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται ανά κλιματική ζώνη.

Λέξεις κλειδιά: Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, Γεωθερμικός εναλλάκτης, Αβαθής γεωθερμία, Ενεργειακή μοντελοποίηση, Ενεργειακή προσομοίωση, Βαθμός απόδοσης COP, Βαθμός απόδοσης EER

Abstract

The subject of this thesis is an energy assessment through modeling and simulation of a two-storey house in the Greek climate zones A, B, C and D. The house has a geothermal heat pump as a heating and cooling system. Initially, introductory concepts such as the operating principle of heat pumps and their components are explained. The categories of heat pumps and heat sources are described. Special emphasis is placed on shallow geothermal energy and the types of geothermal heat pumps. The advantages and disadvantages of each system are mentioned, as well as conclusions and results from comparative studies of heat pumps conducted around the world. The uses and purposes of the software used in the thesis are then described. The software platforms used are EnergyPlus, SketchUp, OpenStudio and DesignBuilder. The building envelope of each house is then modeled. First, the geometry and structural elements are created, and the necessary meteorological files are imported, with the weather data corresponding to the climatic conditions of each zone. Next, the building loads due to people, natural ventilation and air infiltration through cracks are entered with the corresponding schedules. Once the modeling is complete, the building envelopes are simulated to determine the heating and cooling requirements for each one. Based on the results, the heat pump and the ground heat exchanger for each building is selected. The building envelopes with the respective heat pumps are simulated and energy results are derived. These results are compared by climate zone.

Keywords: Geothermal heat pumps, Ground heat exchanger, Shallow geothermal energy, Energy modeling, Energy simulation, Coefficient of Performance (COP), Energy Efficiency Ratio (EER)

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	10
1.1 Η παρούσα κατάσταση.....	10
1.2 Αρχή λειτουργίας αντλιών θερμότητας.....	12
1.3 Κύρια μέρη συστήματος αντλίας θερμότητας.....	17
1.4 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας και πηγές θερμότητας.....	20
1.5 Αβαθής γεωθερμία και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	22
1.6 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	28
1.7 Βιβλιογραφική ανασκόπηση συγκρίσεων αντλιών θερμότητας και τεχνολογικές εξελίξεις.....	30
1.8 Νομοθεσία - Πολιτική της Ελλάδας και της ΕΕ.....	33
Κεφάλαιο 2: Λογισμικά προσομοίωσης.....	36
2.1 Περιγραφή λογισμικού ενεργειακής προσομοίωσης EnergyPlus.....	36
2.2 Περιγραφή προγράμματος σχεδιασμού SketchUp.....	39
2.3 Περιγραφή προγράμματος OpenStudio.....	40
2.4 Περιγραφή προγράμματος DesignBuilder.....	41
Κεφάλαιο 3: Μοντελοποίηση κτιριακού κελύφους.....	43
3.1 Γενικά στοιχεία κτιριακού κελύφους.....	43
3.2 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων και κτιρίου για κάθε κλιματική ζώνη.....	46
3.3 Σχεδιασμός κτιριακού κελύφους και δεδομένα εισαγωγής στο DesignBuilder.....	56
3.4 Υπολογισμός θερμικών απωλειών και ψυκτικών φορτίων.....	75
Κεφάλαιο 4: Μοντελοποίηση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.....	78
4.1 Παράμετροι μοντελοποίησης συστήματος θέρμανσης και ψύξης.....	78
4.2 Παράμετροι μοντελοποίησης γεωθερμικού εναλλάκτη.....	84
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....	91
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	106
Αναφορές - Βιβλιογραφία.....	108
Παράρτημα Α.....	112
Παράρτημα Β.....	127

1. Εισαγωγή

1.1 Η παρούσα κατάσταση

Η τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των συστημάτων Θ.Ψ.Κ. (Θέρμανσης, Ψύξης, Κλιματισμού) στον κτιριακό τομέα έχει αναθεωρήσει τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουμε τη θέρμανση, τη ψύξη, και τον αερισμό των κτηρίων. Οι τελευταίες δεκαετίες έχουν φέρει σημαντικές εξελίξεις στις τεχνολογίες των Θ.Ψ.Κ. συστημάτων, επηρεάζοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα, τη βιωσιμότητα και την ποιότητα του αέρα στα κτίρια.

Τα συστήματα HVAC αποτελούν την καρδιά της άνεσης στα κτήρια. Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει δυνατή τη βελτίωση της αποδοτικότητας αυτών των συστημάτων. Οι πιο πρόσφατες τάσεις επικεντρώνονται στα εξής κύρια θέματα:

- Ενεργειακή Αποδοτικότητα

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι μια από τις κύριες προτεραιότητες. Η χρήση προηγμένων υλικών και τεχνολογιών όπως οι ψηφιακοί ελεγκτές και οι υψηλής απόδοσης συμπιεστές έχει βελτιώσει την απόδοση των HVAC συστημάτων.

- Βιωσιμότητα

Εξίσου σημαντική προτεραιότητα έχει γίνει η βιώσιμη λειτουργία των κτηρίων. Η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον ψυκτικών μέσων και η ενσωμάτωση συστημάτων που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συντελούν στη μείωση της επίπτωσης στο περιβάλλον.

- Ποιότητα Αέρα

Η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία. Τα σύγχρονα HVAC συστήματα ενσωματώνουν προηγμένα φίλτρα και τεχνολογίες αντιβακτηριακής και αντιμυκητιακής επεξεργασίας για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

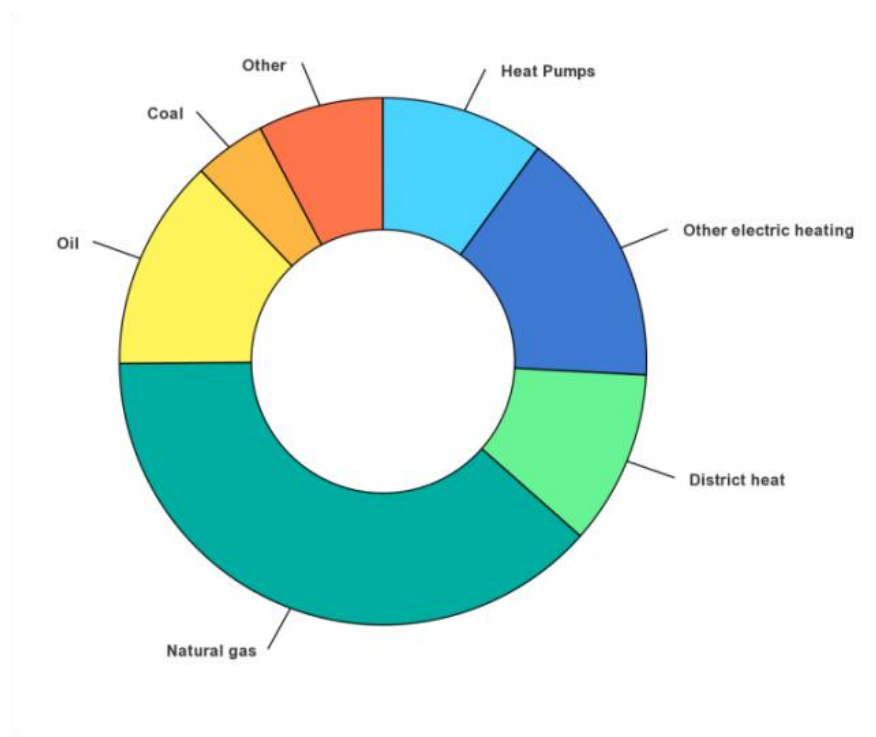
- Μείωση κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας

Οι εταιρείες επιδιώκουν να μειώσουν το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας στα νέα συστήματα Θ.Ψ.Κ. μέσω καινοτόμων σχεδιασμών, αποδοτικών τεχνολογιών, και εξοικονόμησης ενέργειας. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η επένδυση στην εκπαίδευση του προσωπικού συμβάλλουν στη δημιουργία οικονομικών και αποδοτικών λύσεων στον τομέα αυτόν.

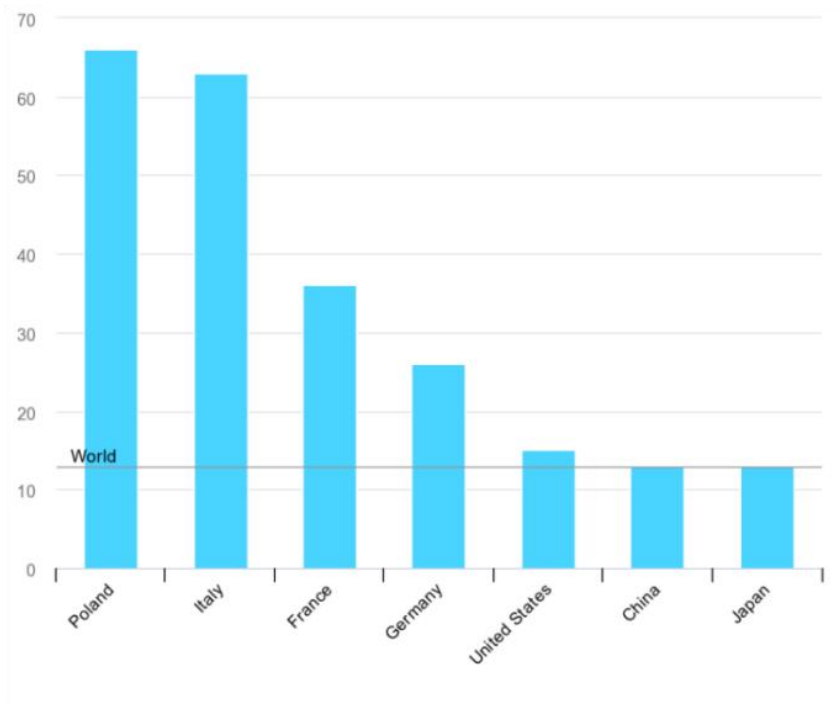
Από την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970, η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελούσε πάντα ένα σοβαρό θέμα για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους επαγγελματίες παγκοσμίως. Σήμερα, η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια αντιπροσωπεύει περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας [1]. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για βελτιωμένη θερμική άνεση στα κτίρια, η χρήση ενέργειας για θέρμανση, αερισμό και κλιματισμού αντιπροσωπεύει σχεδόν το ήμισυ της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να αυξηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων Θ.Ψ.Κ., προκειμένου να ικανοποιηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας και η χαμηλή εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα.

Οι αντλίες θερμότητας είναι η κεντρική τεχνολογία στην παγκόσμια μετάβαση προς την ασφαλή και βιώσιμη θέρμανση και ψύξη. Οι αντλίες θερμότητας που διατίθενται σήμερα στην αγορά είναι τρεις έως πέντε φορές πιο ενεργειακά αποδοτικές από τους λέβητες φυσικού αερίου [2]. Μπορούν επίσης να καλύψουν τις ανάγκες θέρμανσης στη βιομηχανία. Οι μεγάλες αντλίες θερμότητας μπορούν να παρέχουν θερμότητα έως και 140-160 °C σήμερα, με υψηλότερες θερμοκρασίες, δυνατές μέσω καινοτομίας και βελτιωμένων σχεδιασμών. Οι πιο κοινές βιομηχανικές αντλίες θερμότητας σήμερα παρέχουν θερμότητα χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Πάνω από το ένα έκτο της παγκόσμιας ζήτησης φυσικού αερίου αφορά την θέρμανση σε κτίρια. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο αριθμός αυτός είναι το ένα τρίτο. Πολλές αντλίες θερμότητας μπορούν επίσης να παρέχουν ψύξη, γεγονός που εξαλείφει την ανάγκη για ξεχωριστό κλιματιστικό για τα 2,6 δισεκατομμύρια ανθρώπους που θα ζουν σε περιοχές που χρειάζονται θέρμανση και ψύξη έως το 2050. Η θέρμανση στα κτίρια είναι υπεύθυνη για 4 γιγατόνους (Gt) εκπομπών CO₂ ετησίως. Ποσό που αντιστοιχεί στο 10% των παγκόσμιων εκπομπών. [2]



Εικόνα 1.1: Κάλυψη θερμικών απαιτήσεων κτηρίων στην Ε.Ε. ανά τεχνολογία. [2]



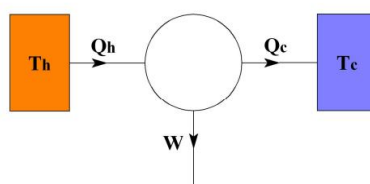
Εικόνα 1.2: Ρυθμός ανάπτυξης πωλήσεων αντλιών θερμότητας. [2]

Περίπου το 10% των αναγκών θέρμανσης χώρων παγκοσμίως καλύφθηκε από αντλίες θερμότητας το 2021, αλλά ο ρυθμός εγκατάστασης αυξάνεται ραγδαία. Σε ορισμένες χώρες, οι αντλίες θερμότητας είναι ήδη η μεγαλύτερη πηγή θέρμανσης. Στη Νορβηγία, το 60% των κτιρίων είναι εξοπλισμένα με αντλίες θερμότητας, με τη Σουηδία και τη Φινλανδία να υπερβαίνουν το 40%, υπονομεύοντας το επιχειρήμα ότι οι αντλίες θερμότητας είναι ακατάλληλες για ψυχρά κλίματα. Οι παγκόσμιες πωλήσεις αυξήθηκαν κατά σχεδόν 15% το 2021, διπλάσιο από τον μέσο όρο της τελευταίας δεκαετίας. [2]

1.2 Αρχή λειτουργίας αντλιών θερμότητας

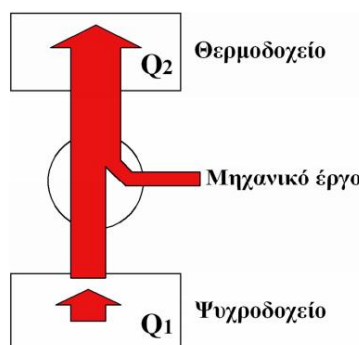
Αντλία θερμότητας είναι η διάταξη ή συσκευή, η οποία χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια για να μεταφέρει θερμότητα από ένα χώρο («πηγή») χαμηλής θερμοκρασίας, προς άλλο χώρο («δεξαμενή θερμότητας») υψηλότερης θερμοκρασίας”.

Η αρχή λειτουργίας στην οποία βασίζεται η αντλία θερμότητας είναι ο θεωρητικός κύκλος της μηχανής Carnot. Ο κύκλος Carnot είναι ουσιαστικά μία κυκλική θερμοδυναμική αντιστρεπτή διεργασία, όπου η θερμότητα αντλείται από θερμοδοχείο (υψηλής θερμοκρασίας- T_h) και αποβάλλεται σε ψυχοδοχείο (χαμηλής θερμοκρασίας- T_c) με παράλληλη παραγωγή μηχανικού έργου. (Εικόνα 1.3)



Εικόνα 1.3: Συναλλαγή θερμότητας και έργου σε θερμοδυναμική διεργασία κύκλου Carnot. [4]

Με την αντιστροφή του κύκλου Carnot αποτυπώνεται η λειτουργία της ΑΘ. Κατά την διαδικασία αυτή, καταναλώνεται μηχανικό έργο με αποτέλεσμα την άντληση ή απορρόφηση θερμότητας από το ψυχοδοχείο στο θερμοδοχείο (ψυκτικός κύκλος). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως η ΑΘ μεταφέρει την θερμότητα και δεν την παράγει.

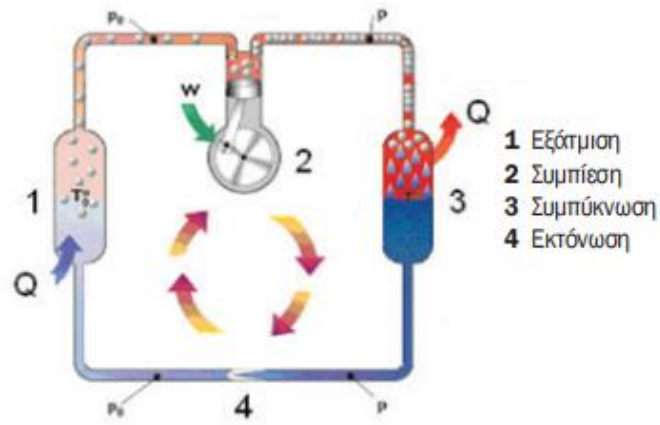


Εικόνα 1.4: Ροή ενέργειας σε αντλία θερμότητας. [4]

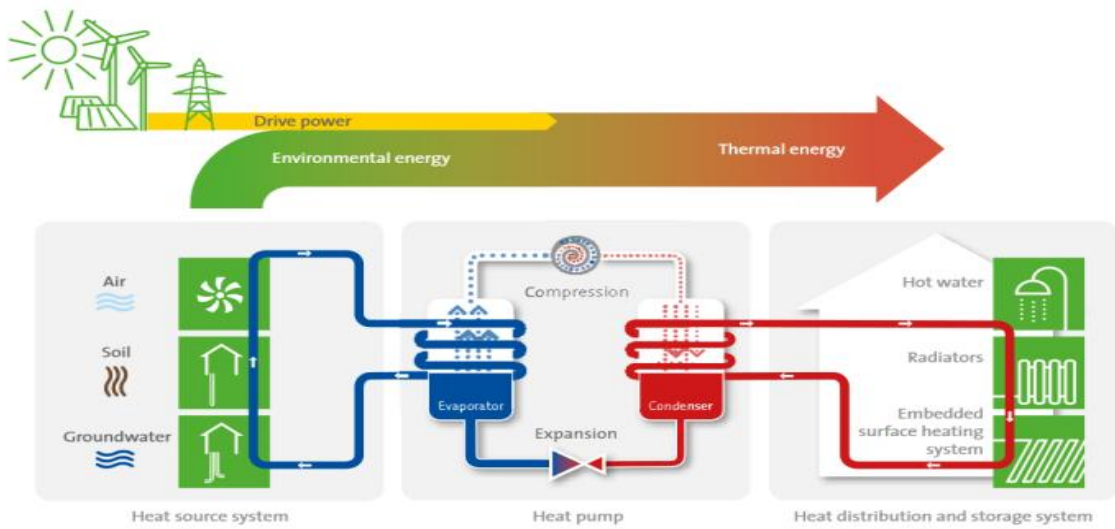
Οι συνηθέστεροι θερμοδυναμικοί κύκλοι βάσει των οποίων πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας από από το ψυχοδοχείο στο θερμοδοχείο είναι αυτή της συμπίεσης ατμών και του κύκλου απορρόφησης.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος των αντλιών θερμότητας συμπίεσης χωρίζεται στα παρακάτω κύρια βήματα:

1. Ατμοποίηση – Χρησιμοποιώντας ενέργεια από την πηγή θερμότητας πραγματοποιείται ατμοποίηση του ψυκτικού ρευστού υπό χαμηλή πίεση και θερμοκρασία.
2. Συμπίεση – Με την χρήση του (ηλεκτρικού) συμπιεστή ο ατμός του ψυκτικού ρευστού συμπιέζεται σε μεγαλύτερη πίεση και οδηγείται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία.
3. Συμπύκνωση – Το ψυκτικό ρευστό εκλύει θερμότητα με αποτέλεσμα ο ατμός υψηλής πίεσης να συμπυκνώνεται υπό υψηλή θερμοκρασία.
4. Εκτόνωση – Το υγρό ψυκτικό ρευστό από κατάσταση υψηλής πίεσης διαστέλλεται απότομα (εκτονώνεται) σε κατάσταση χαμηλής πίεσης και πραγματοποιείται απότομη πτώση της θερμοκρασίας. Έτσι, ο ψυκτικός κύκλος μπορεί να ξεκινήσει και πάλι από την ατμοποίηση.

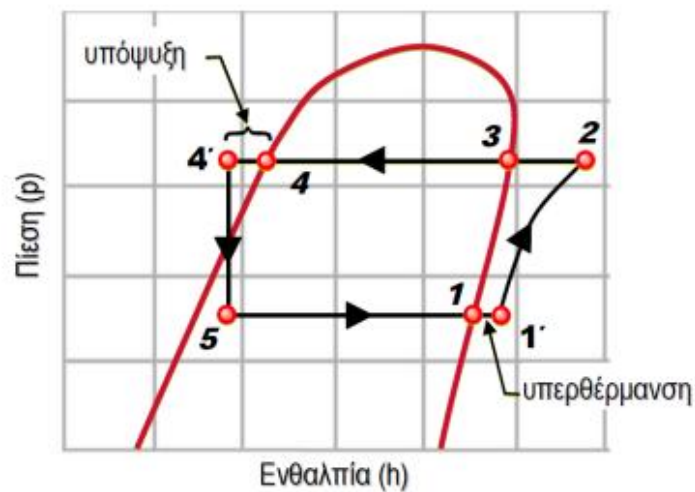


Εικόνα 1.5: Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας. [5]



Εικόνα 1.6: Αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας [6]

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας του ψυκτικού κύκλου με επεξήγηση των επιμέρους μεταβολών:



Εικόνα 1.7: Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας ψυκτικού κύκλου [7]

Μεταβολή 1'-2: Στην κατάσταση 1' το ψυκτικό ρευστό εξέρχεται από τον ατμοποιητή σε κατάσταση ατμού με ελαφρά υπερθέρμανση σε χαμηλή πίεση. Έπειτα εισέρχεται στον συμπιεστή. Το ρευστό συμπιέζεται με κατανάλωση μηχανικού έργου W έως την κατάσταση 2, όπου βρίσκεται σε φάση υπέρθερμου ατμού και υψηλής πίεσης. Μέρος του μηχανικού έργου μετατρέπεται σε θερμότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενθαλπίας και της θερμοκρασίας του ψυκτικού ρευστού.

Μεταβολή 2-4: Οι υπέρθερμοι ατμοί της κατάστασης 2 εισέρχονται στον συμπυκνωτή (εναλλάκτης θερμότητας), όπου και ψύχονται υπό σταθερή πίεση (υψηλή πίεση). Για να πραγματοποιηθεί η συμπύκνωση στον συμπυκνωτή, θα πρέπει η θερμοκρασία του μέσου που απορροφά την θερμότητα συμπύκνωσης (αέρας ή νερό) να είναι μικρότερη από την θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού. Η μεταβολή 2-3 αποτυπώνει την ψύξη των υπέρθερμων ατμών έως το σημείο κορεσμού τους 3, ενώ στην κατάσταση 4 έχει πραγματοποιηθεί πλήρης υγροποίηση.

Μεταβολή 4-4': Το κορεσμένο υγρό ψυκτικό ρευστό (κατάσταση 4) ψύχεται επιπλέον, και φθάνει στην κατάσταση 4' όπου είναι υπόψυκτο υγρό. Οι λόγοι για τους οποίους γίνεται η υπόψυξη είναι κυρίως για να αυξηθεί η ψυκτική ισχύς του ατμοποιητή, αλλά και για να μην υπάρξει σχηματισμός ατμού πριν από την εκτονωτική βαλβίδα.

Μεταβολή 4'-5: Το υγρό ψυκτικό ρευστό (κατάσταση 4') εισέρχεται στην εκτονωτική βαλβίδα και φθάνει στην κατάσταση του υγρού ατμού (κατάσταση 5) χωρίς αλλαγή στην ενθαλπία του αλλά σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία.

Μεταβολή 5-1: Το ψυκτικό ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση μίγματος υγρού-ατμού (κατάσταση 5). Εισέρχεται στον ατμοποιητή (εναλλάκτης θερμότητας) όπου απορροφά θερμότητα από το μέσο του (νερό ή αέρας), υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία, και ατμοποιείται πλήρως (κεκορεσμένος ατμός της κατάστασης 1). Αντίστοιχα με τον συμπυκνωτή, για να πραγματοποιηθεί η θέρμανση στον ατμοποιητή, θα πρέπει η θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου του ατμοποιητή να είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού.

Μεταβολή 1-1': Ο κεκορεσμένος ατμός (κατάσταση 1), λόγω της συνήθους επιφάνειας του ατμοποιητή, υπερθερμαίνεται μέχρι την κατάσταση 1'. Αυτό συμβαίνει για να μην σχηματισθούν σταγόνες υγρού στον συμπιεστή και για να εξασφαλισθεί η καλή λειτουργία του. [7]

Σε κατάσταση θέρμανσης, η ποιότητα της αντλίας θερμότητας αποτυπώνεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς ή επίδοσης COP (Coefficient of Performance). Όπως φαίνεται και από την εικόνα 1.3, η ΑΘ αντλεί θερμότητα Q_1 από το ψυχοδοχείο (ψυχρό περιβάλλον), προσθέτει στο συμπιεστή μηχανικό έργο W και αποδίδει στο ψυχρό χώρο ποσό θερμότητας Q_2 .

Με βάση τα παραπάνω, ο ενεργειακός ισολογισμός της εικόνας 1.3 έχει ως εξής:

$$Q_2 = Q_1 + W \quad (1.1)$$

Σε κατάσταση θέρμανσης, ο θεωρητικός συντελεστής επίδοσης COP μιας αντλίας θερμότητας, ισούται με:

$$\text{COP}_{\text{th},\theta} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} \quad (1.2)$$

Η παραπάνω σχέση 1.2 για ιδανικές συνθήκες. Όπως ο κύκλος Carnot, μπορεί να γραφτεί:

$$\text{COP}_{\text{th},\theta} = \frac{T_h}{T_h - T_c} \quad (1.3)$$

όπου:

T_h : η θερμοκρασία του θερμού χώρου σε K

T_c : η θερμοκρασία του ψυχρού χώρου σε K

Σημειώνεται ότι σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ο πραγματικός συντελεστής επίδοσης COP είναι ο εξής:

$$\text{COP} = \frac{Q_2}{W_{\text{in}}} \quad (1.4)$$

όπου:

Q_2 : η αποδιδόμενη θερμική ισχύς σε kW από την ΑΘ υπό ορισμένες συνθήκες λειτουργίας

W_{in} : η συνολική ηλεκτρική ισχύς, σε kW, που απορροφάται υπό τις ίδιες συνθήκες στο συμπιεστή, στους ανεμιστήρες, στους αυτοματισμούς κλπ της ΑΘ, κατά τη λειτουργία ψύξης.

Ένας ακόμα αντιπροσωπευτικός δείκτης αποδοτικότητας στην θέρμανση μιας ΑΘ είναι ο εποχιακός συντελεστής συμπεριφοράς - SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Ο SCOP αντικατοπτρίζει μια καθορισμένη εποχή θέρμανσης. Υπολογίζεται διαιρώντας την παραγόμενη θερμική ενέργεια Q (kWh/έτος) με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας W για θέρμανση την ίδια περίοδο (kWh/έτος).

Αντίστοιχα, για την λειτουργία ψύξης σε θερινές περιόδους, η ΑΘ αντλεί θερμότητα από τον χώρο ποσότητας Q_1 , προσθέτει μηχανικό έργο W_{in} , και αποδίδει στο περιβάλλον ποσό θερμότητας Q_2 . Έτσι, ορίζεται ο λόγος ενεργειακής απόδοσης - EER (Energy Efficiency Ratio) που υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{EER} = \frac{Q_1}{W_{\text{in}}} \quad (1.5)$$

όπου:

Q_1 : η αποδιδόμενη ψυκτική ισχύς σε kW από την ΑΘ υπό ορισμένες συνθήκες λειτουργίας

W_{in} : η συνολική ηλεκτρική ισχύς, σε kW, που απορροφάται υπό τις ίδιες συνθήκες στο συμπιεστή, στους ανεμιστήρες, στους αυτοματισμούς κλπ της ΑΘ, κατά τη λειτουργία ψύξης.

Αντίστοιχα και πάλι με την θέρμανση, Στην λειτουργία ψύξης μιας ΑΘ χρησιμοποιείται ο εποχιακός λόγος ενεργειακής απόδοσης - SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio). Ο SEER υπολογίζεται διαιρώντας την ενέργεια που μεταφέρθηκε

στην καλοκαιρινή περίοδο (kWh/έτος) προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συνολικά στη διάταξη για την ίδια περίοδο (kWh/έτος).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συντελεστές COP και EER δεν είναι σταθεροί και εξαρτώνται από της θερμοκρασίες του ψυχρού και θερμού χώρου. Οι συντελεστές που αναγράφονται συνήθως στα φυλλάδια των κατασκευαστών είναι μετρημένοι σε τυποποιημένες συνθήκες βάσει του προτύπου Eurovent και είναι οι εξής:

Για την θέρμανση:

- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7 °C DB / 6 °C WB
- Θερμοκρασία θερμού περιβάλλοντος (αέρα χώρου) 20 °C DB

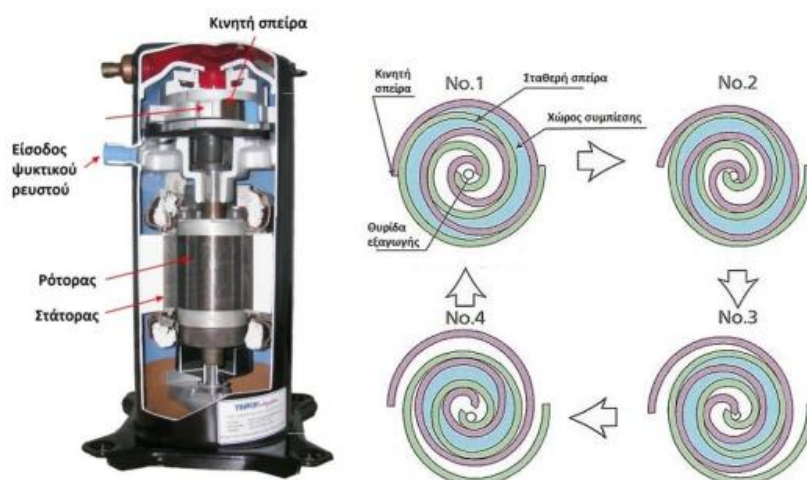
Για την ψύξη:

- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35 °C DB
- Θερμοκρασία ψυχρού περιβάλλοντος (αέρα χώρου) 27 °C DB / 19 °C WB

1.3 Κύρια μέρη συστήματος αντλίας θερμότητας

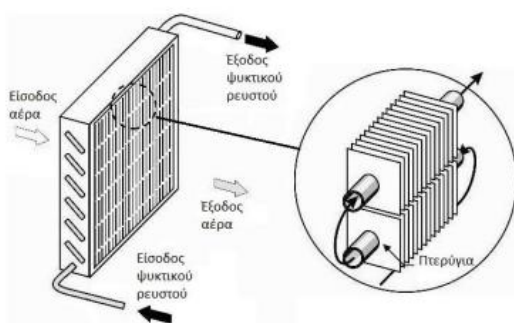
Συνοψίζοντας τα προαναφερθέντα, τα σημαντικότερα μέρη από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι τα εξής:

Συμπιεστής: είναι το μέρος του συστήματος που συμπιέζει το ψυκτικό ρευστό σε υπέρθερμο ατμό. Σκοπός του συμπιεστή είναι να αυξήσει την θερμοκρασία και την πίεση του ψυκτικού ρευστού, αλλά και να καλύψει την πτώση πίεσης στις σωληνώσεις και τα εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου. Οι βασικοί τύποι συμπιεστών χωρίζονται σε κοχλιωτούς (screw), σπειροειδείς (scroll), περιστροφικούς (rotary), παλινδρομικούς (reciprocating) και φυγοκεντρικούς (centrifugal). Οι πιο κοινός συμπιεστές, ιδιαίτερα σε εφαρμογές κατοικιών και γραφείων είναι οι περιστροφικοί, το πλεονέκτημα τους είναι η αθόρυβη λειτουργία, οι υψηλές αποδόσεις και η έλλειψη κραδασμών.

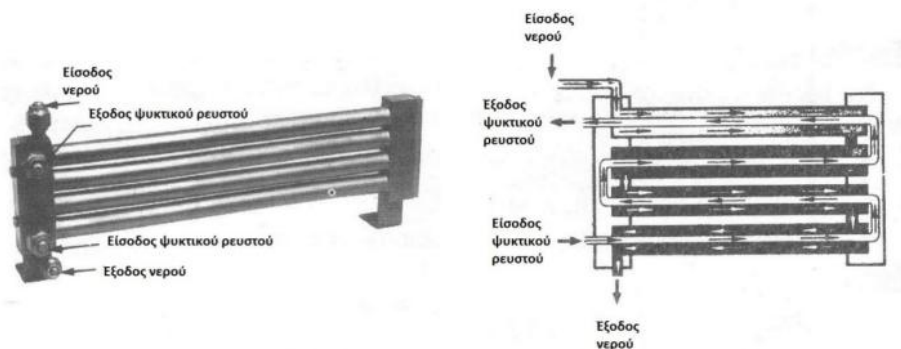


Εικόνα 1.8: Σπειροειδής συμπιεστής [7]

Συμπυκνωτής: πρόκειται για έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου σκοπός του είναι η αποβολή θερμότητας από το ψυκτικό ρευστό στο μέσο του εναλλάκτη, όπου συνήθως είναι νερό (υδρόψυκτος συμπυκνωτής) ή αέρας (αερόψυκτος συμπυκνωτής). Η αποβολή θερμότητας στον συμπυκνωτή χωρίζεται σε τρία (3) στάδια: την ψύξη του υπέρθερμου ατμού που εξέρχεται από τον συμπιεστή (αφυπερθέρμανση), την συμπύκνωση και την υπόψυξη, προκειμένου να μην υπάρξουν φυσαλίδες κατά την είσοδο στην εκτονωτική βαλβίδα. Στην λειτουργία ψύξης, ο συμπυκνωτής μπορεί να βρίσκεται εκτός του χώρου, ενώ εντός του χώρου στην περίπτωση της θέρμανσης. Η απόδοση ενός συμπυκνωτή διαφέρει ανάλογα με το είδος του υλικού του. Το συνηθέστερο υλικό είναι ο χαλκός λόγω του υψηλού συντελεστή αγωγιμότητας και της αντοχής του στην διάβρωση.



Εικόνα 1.9: Αερόψυκτος συμπυκνωτής [7]



Εικόνα 1.10: Υδρόψυκτος συμπυκνωτής διπλού σωλήνα [7]

Εκτονωτική βαλβίδα: σκοπός της είναι η διατήρηση τη διαφορά πίεσης μεταξύ των μερών της υψηλής και της χαμηλής πίεσης του ψυκτικού κύκλου καθώς και ο έλεγχος της εισόδου του ψυκτικού υγρού από τον συμπυκνωτή στον ατμοποιητή. Όταν το ψυκτικό υγρό διέρχεται μέσω της εκτονωτικής βαλβίδας, η πίεση μειώνεται και μέρος του ψυκτικού υγρού μετατρέπεται σε αέριο. Ο συνηθέστερος τύπος εκτονωτικής βαλβίδας που χρησιμοποιείται σε ΑΘ είναι η θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης. Ο συγκεκριμένος τύπος βαλβίδας έχει καλές ιδιότητες ελέγχου μέσα σε σχετικά μεγάλο εύρος παραμέτρων λειτουργίας. Αποτελείται από ένα αισθητήριο θερμοκρασίας (βολβός) για την ανίχνευση της υπερθέρμανσης. Με αυτό τον τρόπο η βαλβίδα ανοίγει ή κλείνει, ρυθμίζοντας έτσι τη ροή του ψυκτικού υγρού. Έτσι, ρυθμίζει την ισχύ και αυξάνει την προστασία στα υπόλοιπα εξαρτήματα της ΑΘ.



Εικόνα 1.11: Θερμοστατική βαλβίδα εκτόνωσης με εξωτερική εξίσωση πίεσης. [5]

Ατμοποιητής: πρόκειται για έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου σκοπός του είναι η μεταφορά θερμότητας από το μέσο του εναλλάκτη στο ψυκτικό ρευστό. Αντίστοιχα με τον συμπυκνωτή, στην λειτουργία ψύξης, ο ατμοποιητής μπορεί να βρίσκεται εντός του χώρου και εκτός του χώρου στην περίπτωση της θέρμανσης. Και εδώ, η απόδοση ενός ατμοποιητή διαφέρει ανάλογα με το είδος του υλικού του, με συνηθέστερο υλικό να είναι και πάλι ο χαλκός λόγω του υψηλού συντελεστή αγωγιμότητας. Ακόμα, οι ατμοποιητές χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τους αερόψυκτους και τους υδρόψυκτους, ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για να απορροφήσουν θερμότητα και να την προσδώσουν στο ψυκτικό ρευστό.



Εικόνα 1.12: Αερόψυκτος ατμοποιητής [7]

Τετράοδη βαλβίδα: είναι το μέρος του συστήματος που αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού ρευστού. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η εναλλαγή μεταξύ της λειτουργίας ψύξης και θέρμανσης και αντιστρέφονται οι ρόλοι του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή.



Εικόνα 1.13: Τετράοδη βαλβίδα ανάμιξης.

1.4 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας και πηγές θερμότητας

Γενικότερα οι ΑΘ διαχωρίζονται σε τέσσερις (4) κύριες κατηγορίες ανάλογα:

1. Με το μέσο συναλλαγής θερμότητας (πηγή και αποδέκτης). Οι πιο χαρακτηριστικές πηγές και αποδέκτες θερμότητας είναι ο αέρας, το νερό, το έδαφος. Έτσι, οι ΑΘ διακρίνονται σε: αέρα-αέρα, αέρα-νερού, νερού-αέρα, νερού-νερού, εδάφους-αέρα, εδάφους-νερού.

Όλες οι προαναφερθείσες ΑΘ μπορούν να λειτουργήσουν με αντιστρέψιμο κύκλο για παροχή ψύξης και θέρμανσης. Οι πιο διαδεδομένες λύσεις εμπορικά είναι αυτές των αέρα-αέρα και αέρα-νερού. Κυρίως λόγω της ευκολίας στην εγκατάσταση σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Οι πρώτες, έχουν την δυνατότητα να αντλούν την θερμότητα του εξωτερικού αέρα και να αποδίδουν θερμό αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, όπως για παράδειγμα ένα συνηθισμένο κλιματιστικό, ενώ οι δεύτερες αποδίδουν την αντλούμενη θερμότητα του εξωτερικού αέρα σε εσωτερικό υδραυλικό σύστημα για να ζεστάνουν το νερό. Οι ΑΘ νερού-αέρα και νερού-νερού αντλούν και οι δύο την θερμότητα από μια “πηγή” νερού και την αποδίδουν σε εσωτερικό δίκτυο αεραγωγών και σε εσωτερικό υδραυλικό δίκτυο αντίστοιχα. Τέλος, σημαντική ανάπτυξη παρουσιάζεται στις ΑΘ εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού όπου έχουν τη δυνατότητα να αντλούν τη θερμότητα του εδάφους και να την αποδίδουν σε δίκτυο αέρα ή νερού αντίστοιχα.

2. Με το είδος της κινητήριας μηχανής. Μπορεί να είναι ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές, συμπιεστές κινούμενοι από ΜΕΚ (Μηχανές Εσωτερικής Καύσης), μονάδες απορρόφησης και προσρόφησης.

3. Με την διάταξη των επιμέρους μηχανισμών. Δηλαδή, σε compact όπου όλοι οι μηχανισμοί να βρίσκονται σε κοινό, ενιαίο κέλυφος και σε διαιρούμενες (split), όπου ο ατμοποιητής και ο συμπυκνωτής είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.

4. Με τον τρόπο εναλλαγής της λειτουργίας των στοιχείων τους, όπως σταθερού κυκλώματος (σταθερή κατεύθυνση ροής του ψυκτικού μέσου και εναλλαγή της θέσης των στοιχείων απαγωγής ή προσαγωγής θερμότητας) και μεταβλητού κυκλώματος (αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου) μέσω τετράοδης βαλβίδας. [3]

Για την άντληση θερμότητας υπάρχουν αρκετές πηγές με τις κυριότερες να είναι ο αέρας, το νερό και το έδαφος.

Αέρας

Οι ΑΘ με πηγή τον αέρα (Air Source Heat Pumps - ASHP) είναι η τεχνολογία με τις περισσότερες εφαρμογές, ιδιαίτερα σε κτίρια κατοικιών αλλά και σε μικρά ή μεσαία εμπορικά κτίρια. Αυτό συμβαίνει λόγω της αφθονίας του αέρα. Αποτελούν σήμερα την οικονομικότερη εγκατάσταση σε σχέση με τις υπόλοιπες. Για τη μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στον αέρα και το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας (περυγιοφόροι σωλήνες) μεγάλης επιφάνειας με βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα από ανεμιστήρες (τεχνητό ρεύμα). Αναλόγως το ρευστό (αέρας ή νερό) στο οποίο προσδίδουν θερμότητα κατά τη θέρμανση και απάγουν θερμότητα κατά την ψύξη, χωρίζονται σε ΑΘ αέρος-αέρος και αέρος-νερού. Κατά την επιλογή και τον σχεδιασμό μιας ASHP, κύρια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι

η μεταβολή και η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά την διάρκεια του έτους (ή και ετών). Η πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφέρει πτώση στην θερμαντική ισχύ της ΑΘ, και κατά συνέπεια μείωση της αποδοτικότητας και αύξηση του λειτουργικού κόστους. Για αυτό τον λόγο σε περιπτώσεις ακραία χαμηλών θερμοκρασιών κρίνεται αναγκαία η χρήση βοηθητικής πηγής θερμότητας, όπως λέβητας ή ηλεκτρική αντίσταση, ώστε να καλύπτονται τα φορτία αιχμής.

Νερό

Το νερό έχει περίπου 23 φορές μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από τον αέρα, οπότε και είναι σαφώς καλύτερη πηγή θερμότητας. Το κύριο πρόβλημα όμως που παρουσιάζεται στην εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού. Οι ΑΘ με πηγή το νερό μπορεί να χρησιμοποιούν νερό από υπόγεια ύδατα αλλά και επιφανειακό νερό από λίμνες, ποτάμια ακόμα και από τη θάλασσα. Στην πρώτη περίπτωση, το νερό των υπογείων υδάτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της σχετικά σταθερής και υψηλής θερμοκρασίας του κατά τη διάρκεια του χρόνου (περίπου 10 έως 20 °C), γεγονός που επιφέρει υψηλούς βαθμούς απόδοσης. Παρόλα αυτά η κακή ποιότητα του νερού μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των εναλλακτών και σχηματισμό αλάτων. Για την εγκατάστασή τους απαιτείται συχνά η διάνοιξη γεωτρήσεων, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το αρχικό κόστος. Στην περίπτωση των επιφανειακών υδάτων, κατά τους χειμερινούς μήνες πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην μείωση της θερμοκρασίας, η οποία μειώνει τον βαθμό απόδοσης. Ακόμα, οι θερμοκρασίες στην είσοδο και στην έξοδο πρέπει να περιορίζονται για να αποφευχθεί η εμφάνιση πάγου στον εναλλάκτη. Αναλόγως και πάλι το ρευστό (αέρας ή νερό) στο οποίο οι ΑΘ προσδίδουν/απάγουν θερμότητα κατά τη θέρμανση/ψύξη, χωρίζονται σε ΑΘ νερού-αέρα και νερού-νερού.

Εδαφος

Το έδαφος έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας που μπορεί να προέρχονται από τον ήλιο, τη βροχή ή τον αέρα. Οι ΑΘ με πηγή το έδαφος (Ground Source Heat Pumps - GSHP) ή αλλιώς γεωθερμικές ΑΘ χρησιμοποιούν εναλλάκτες θερμότητας θαμμένους οριζόντια είτε κάθετα εντός του εδάφους (γεωεναλλάκτες). Όμως η σύνθεση του εδάφους είναι μεταβλητή και μπορεί να διαφοροποιείται από υγρή άργυλο έως άμμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζουν οι θερμικές ιδιότητες και κατά συνέπεια και οι επιδόσεις. Κύρια παράμετρος είναι η θερμική διαχυτότητα του εδάφους που είναι ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς το γινόμενο της πυκνότητας και της θερμοχωρητικότητας. Οι επιφανειακές μέσες θερμοκρασίες του εδάφους ακολουθούν προσεγγιστικά τις μέσες θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα. Ενώ γενικά όσο αυξάνεται το βάθος του εδάφους, μειώνεται το εύρος διακύμανσης των θερμοκρασιών. Εκτός από πραγματικά δεδομένα μετρήσεων θερμοκρασιών του εδάφους για διάφορα βάθη, προσεγγιστικές τιμές μπορούν να δώσουν εμπειρικές εξισώσεις όπως π.χ. του Labs, του Givoni και των Kusuda & Achenbach. Η εγκατάσταση τέτοιων ΑΘ παρουσιάζει όμως προβλήματα όσον αφορά την συντήρηση των γεωεναλλακτών, την αντιμετώπιση της διάβρωσης και των διαρροών των σωληνώσεων, καθώς και την απαιτούμενη μεγάλη έκταση γης για την ανταλλαγή θερμότητας. Το υλικό των σωληνώσεων των γεωεναλλακτών είναι συνήθως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Εντός των σωληνώσεων κυκλοφορεί νερό ή διάλυμα νερού-αντιπηκτικού (brine) για την αποφυγή εμφάνισης πάγου. Οι γεωθερμικές ΑΘ χωρίζονται σε τρεις (3) κατηγορίες οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω: ανοιχτού κυκλώματος, κλειστού κυκλώματος και

απευθείας εκτόνωσης. Τέλος με το ρευστό (αέρας ή νερό) στο οποίο προσδίδουν/απάγουν θερμότητα κατά τη θέρμανση/ψύξη, χωρίζονται σε ΑΘ εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού.

1.5 Αβαθής γεωθερμία και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

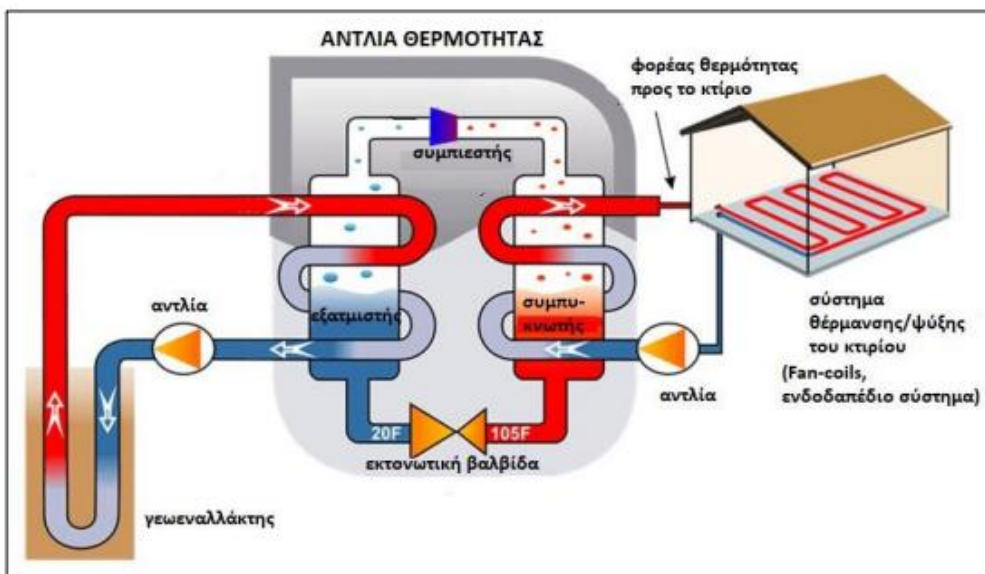
Σύμφωνα με το άρθρο 2 της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/EK ως γεωθερμική ενέργεια ορίζεται “η ενέργεια που αποθηκεύεται υπό μορφή θερμότητας κάτω από τη στερεή επιφάνεια της γης” [8]. Κατανέμεται διαφορετικά ανάλογα το βάθος, και αναδύεται μέσω φυσικών μηχανισμών με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη πηγή και συνδέεται με τις γεωλογικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, όπου οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 15 έως 25 °C περίπου, σημαντικό παράγοντα παίζει η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Στις περιπτώσεις όπου το βάθος εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι έως περίπου τα 150m χρησιμοποιείται ο όρος “αβαθής (ή κανονική) γεωθερμία”.

Κύριο χαρακτηριστικό της κανονικής γεωθερμίας είναι το σχετικά μικρό εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους σε όλη τη διάρκεια τους έτους, σε ορισμένα βάθη, κυρίως λόγω της θερμοχωρητικότητας του εδάφους. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας αποθηκεύεται στο έδαφος, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες αφαιρείται από αυτό. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία αυτή συμβαίνει με κάποια χρονική υστέρηση, διαφορετική ανάλογα το βάθος. Σε βάθη έως 2m η υστέρηση είναι μικρή όμως το εύρος διακύμανσης των θερμοκρασιών σχετικά μεγάλο. Όσο αυξάνεται το βάθος, αυξάνεται η χρονική υστέρηση και μειώνεται το εύρος των θερμοκρασιών. Με αυτόν τον τρόπο σε βάθη από 10 έως 100m, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στις θερμοκρασίες 18 έως 22 °C περίπου, καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους.

Η γεωθερμική ΑΘ είναι ένα σύστημα που εκμεταλλεύεται την κανονική γεωθερμία και αποτελείται από:

- I) Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός του εδάφους, όπως είναι ο γεωεναλλάκτης θερμότητας ή η υδρογεώτρηση,
- II) Την γεωθερμική ΑΘ.
- III) Το σύστημα θέρμανσης και ψύξης χαμηλών θερμοκρασιών εντός του κτηρίου.

Κατά τους χειμερινούς μήνες το ρευστό που κυκλοφορεί στον γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και τη μεταφέρει στην ΑΘ, όπου στην συνέχεια μεταφέρεται εντός του κτιρίου. Ενώ κατά τους θερινούς μήνες η θερμότητα εντός του κτιρίου απάγεται μέσω της ΑΘ και μεταφέρεται στον γεωεναλλάκτη όπου απορρίπτεται στο έδαφος. Οι γεωθερμικές ΑΘ έχουν τη δυνατότητα παραγωγής και ζεστού νερού χρήσης. Τα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως τα R134a, R407c, R410 και R410a καθώς δεν είναι τοξικά, διαβρωτικά, εύφλεκτα και είναι σταθερά στις θερμοκρασίες εφαρμογής. Ακόμα παρουσιάζουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης με τον μέσο COP να είναι περίπου 3 για εγκατεστημένες μονάδες και μεγαλύτερος του 4 για τις νέες.

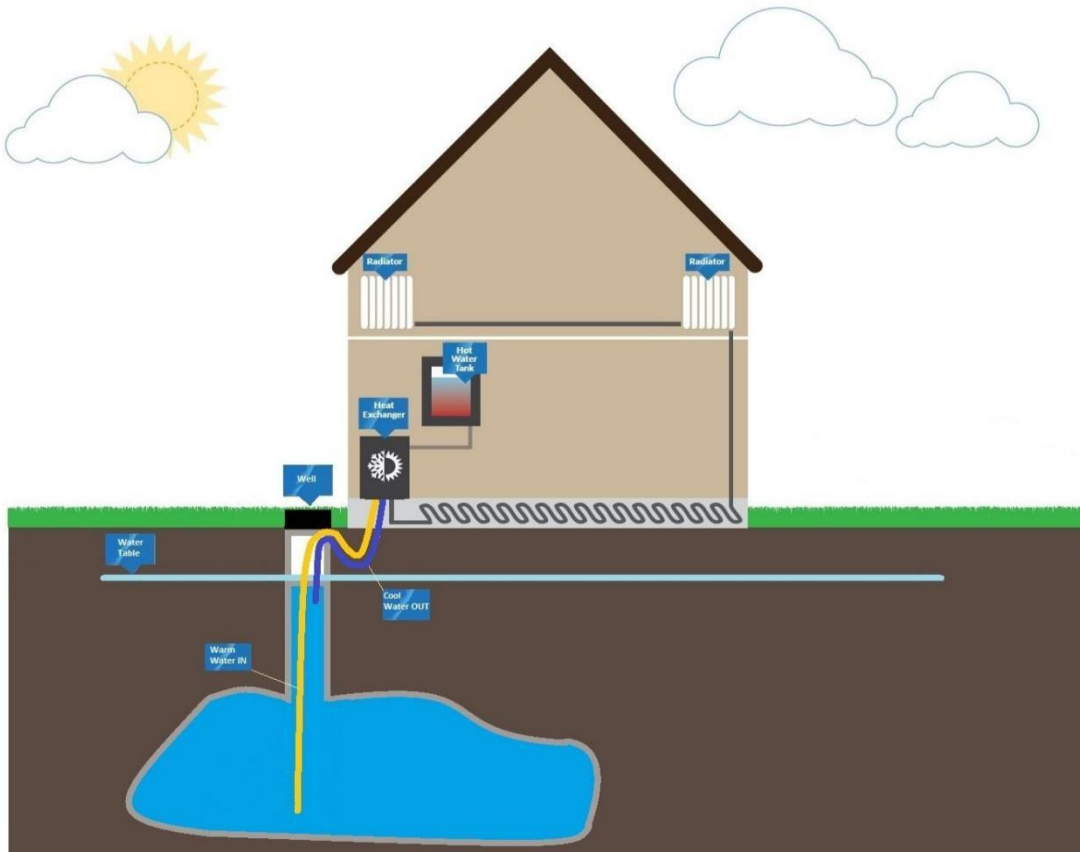


Εικόνα 1.14: Σχηματική απεικόνιση γεωθερμικού συστήματος [9]

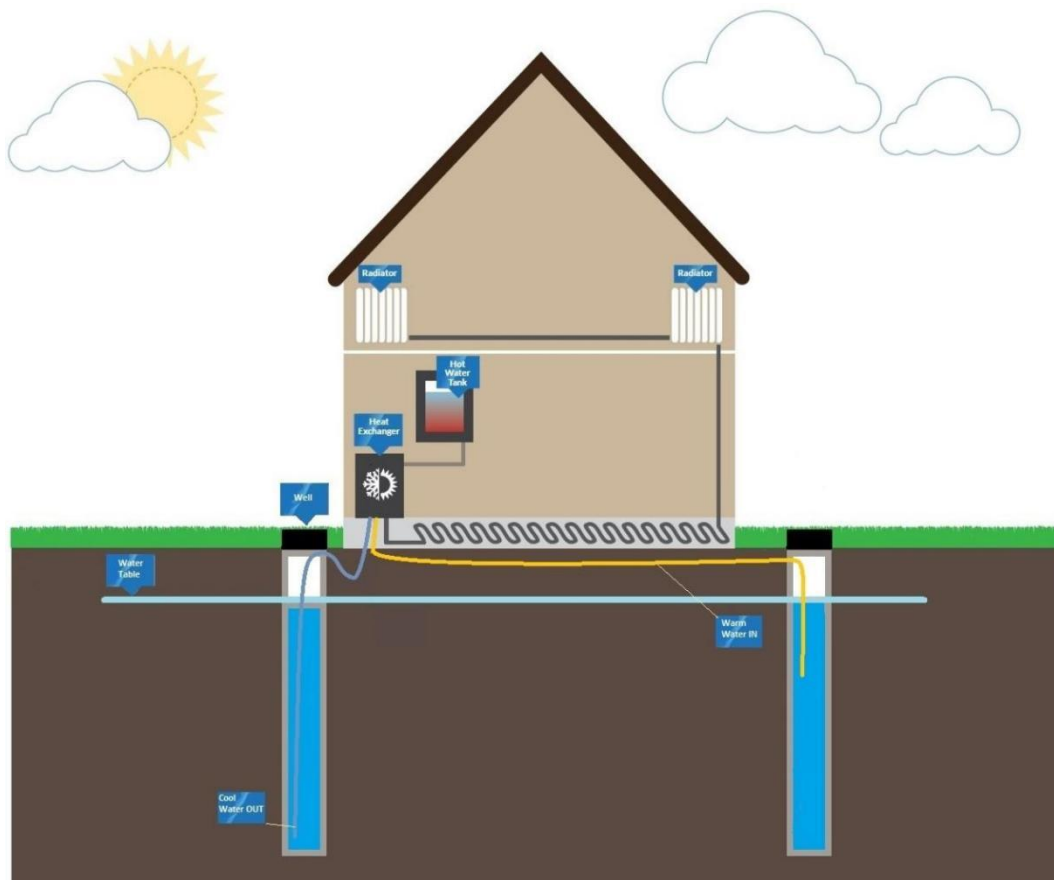
Οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται την κανονική γεωθερμία, όπως οι γεωθερμικές ΑΘ, χωρίζονται σε δύο (2) κύριες κατηγορίες: τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος (open loop systems) και τα συστήματα κλειστού κυκλώματος (closed loop systems).

Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος αντλούν υπόγεια ρευστά αξιοποιώντας την σταθερότητα της θερμοκρασίας. Η θερμότητα των ρευστών, που μπορεί να προέρχεται από ποτάμι, λίμνη, πηγάδι, γεώτρηση, εναλλάσσεται με το πρωτεύον κύκλωμα της ΑΘ (ατμοποιητή). Στη συνέχεια επανεισάγεται στο σημείο της πηγής όπου αντλήθηκε ή σε γειτονικό υδροφόρο στρώμα που είναι διαθέσιμο στην περιοχή. Τα συστήματα αυτά ενδείκνυνται για περιοχές που διαθέτουν ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα. Για την ορθή λειτουργία της ΑΘ πρέπει να διατίθενται οι απαραίτητες ποσότητες νερού σε όλη την διάρκεια του έτους.

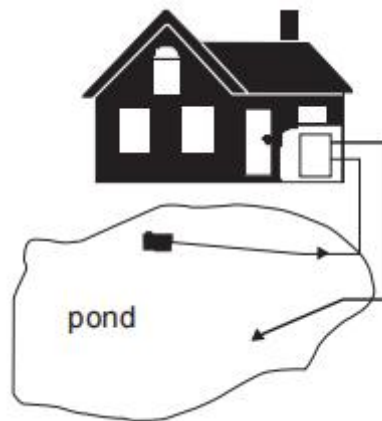
Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος χωρίζονται σε τρεις (3) κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους: 1) τα συστήματα φρέατος, 2) τα επιφανειακά συστήματα και 3) τα μεικτά συστήματα. Στα συστήματα φρέατος, το νερό αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω γεώτρησης και αφού ολοκληρωθεί ο κύκλος ανταλλαγής θερμότητας, απορρίπτεται είτε στο ίδιο φρέαρ είτε σε διαφορετικό φρέαρ του ίδιου υδροφορέα. Στα επιφανειακά συστήματα το νερό αντλείται από μία επιφανειακή πηγή (ποτάμι, λίμνη, θάλασσα) για τη λειτουργία του πρωτεύοντος κυκλώματος και αφού ανταλλάξει τη θερμότητα, απορρίπτεται στην ίδια επιφανειακή πηγή. Στα μικτά επιφανειακά συστήματα γίνεται ένας συνδυασμός των παραπάνω. Δηλαδή το νερό μπορεί να αντληθεί και να απορριφθεί από/σε διαφορετικούς υδροφόρους σχηματισμούς. Για παράδειγμα το νερό μπορεί να αντληθεί από φρέαρ και να απορριφθεί σε επιφανειακή πηγή, αλλά και αντίστροφα.



Εικόνα 1.15: Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος μονού φρέατος [10]



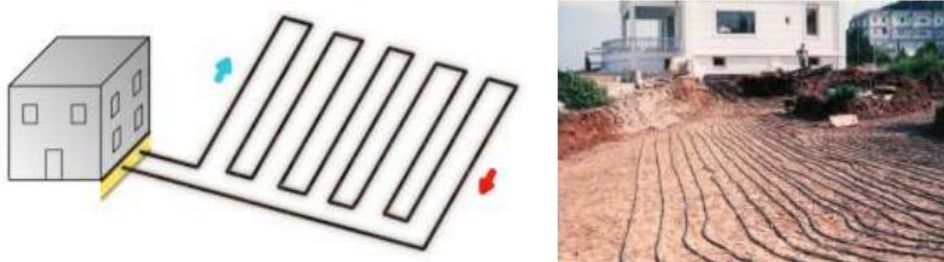
Εικόνα 1.16 : Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος διπλού φρέατος [10]



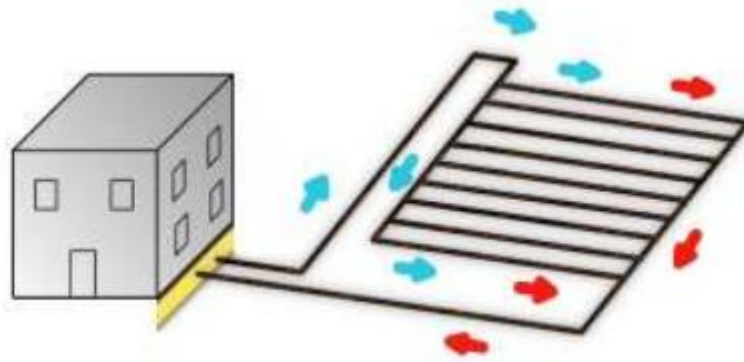
Εικόνα 1.17: Επιφανειακό σύστημα ανοιχτού κυκλώματος [11]

Τα συστήματα κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιούν έναν γεωεναλλάκτη, δηλαδή ένα κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων θαμμένο εντός του εδάφους. Το υλικό των σωληνώσεων είναι συνήθως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (High density polyethylene - HDPE) και σπανιότερα πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (Low density polyethylene - LDPE). Εντός του γεωεναλλάκτη κυκλοφορεί νερό ή μίγμα νερού/αντιπηκτικού (brine) π.χ. νερού και αιθυλενογλυκόλης, όπου και ανταλλάσσεται θερμότητα με το έδαφος. Τα συστήματα κλειστού κυκλώματος διακρίνονται σε δύο (2) κατηγορίες: 1) τα οριζόντια κλειστά συστήματα και 2) τα κατακόρυφα κλειστά συστήματα.

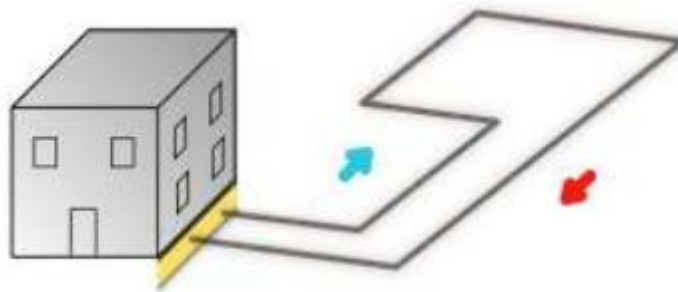
Στα οριζόντια κλειστά συστήματα, ο γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος 0,6 έως 3 m και η απόσταση μεταξύ των σωληνώσεων είναι 0,35 έως 0,5 m συνήθως. Βρίσκουν συνήθως εφαρμογή σε κτίρια μικρής κλίμακας, όπως κατοικίες. Το αρχικό τους κόστος είναι μικρότερο σχετικά με τα υπόλοιπα συστήματα, καθώς δεν χρειάζονται γεώτρηση, έχουν ευκολότερη εγκατάσταση και σχετικά μεγάλο χρόνο ζωής. Κύρια μειονεκτήματά τους είναι πως απαιτούν μεγάλη επιφάνεια χωροθέτησης και μεγαλύτερο μήκος σωληνώσεων, έχουν μειωμένη απόδοση στην ψύξη και υπάρχουν περιορισμοί όσον αφορά την φύτευση και την βλάστηση στον χώρο τοποθέτησης. Η απόδοσή τους εξαρτάται από την εποχή, τη βροχόπτωση, το βάθος ταφής και την ξηρότητα του εδάφους. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι εγκατάστασης, από διατάξεις απλών σωλήνων (μονού βρόγχου) έως διατάξεις πολλαπλών σωλήνων (πολλαπλών βρόγχων). Ακόμα, οι σωληνώσεις μπορεί να διατάσσονται σε σειρά, παράλληλα ή σπειροειδώς (slinky). Αυτές οι διατάξεις μπορεί να είναι χωροθετημένες οριζόντια σε διευρυμένη τάφρο (η μία δίπλα στην άλλη) ή κατακόρυφα σε στενή τάφρο (η μία κάτω από την άλλη).



Εικόνα 1.18: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη απλής μορφής σε σειρά. [12]



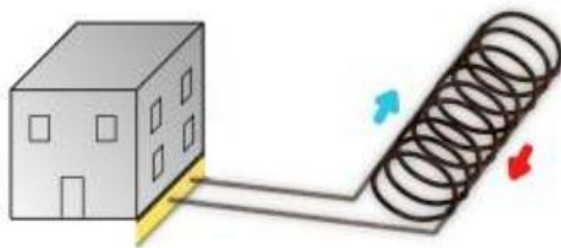
Εικόνα 1.19: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη απλής μορφής παράλληλα. [12]



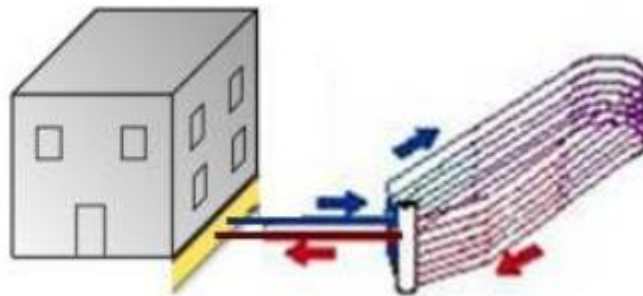
Εικόνα 1.20: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη απλής μορφής ενός βρόχου. [12]



Εικόνα 1.21: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη με σπειροειδή διάταξη (slinky) – Οριζόντια τοποθέτηση. [12]

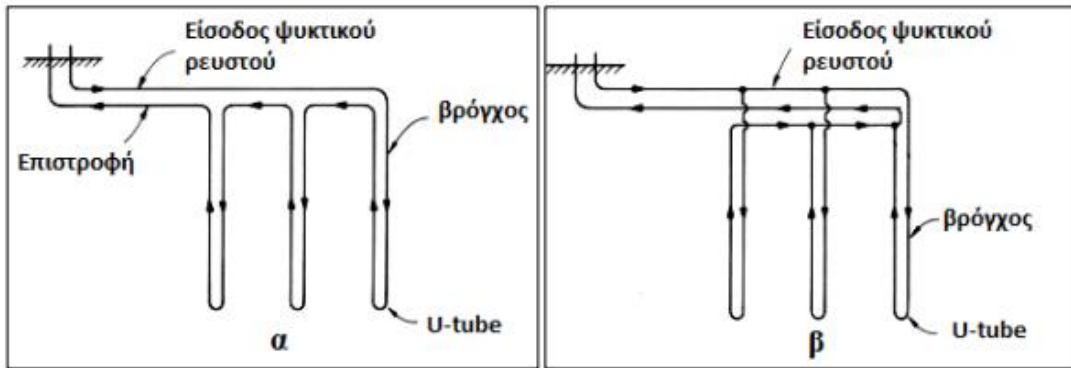


Εικόνα 1.22: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη με σπειροειδή διάταξη (slinky) – Κατακόρυφη τοποθέτηση. [12]

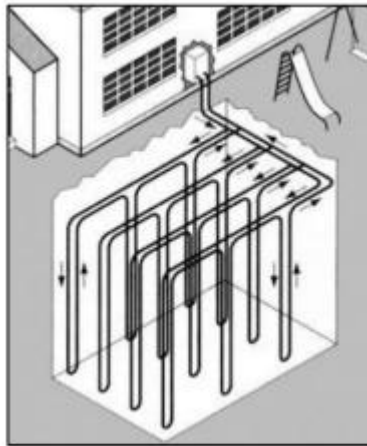


Εικόνα 1.23: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη με διάταξη κατακόρυφης τοποθέτησης [12]

Στα κατακόρυφα συστήματα κλειστού κυκλώματος ο γεωεναλλάκτης τοποθετείται κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους μέσω γεώτρησης ή γεωτρήσεων βάθους 40 έως 200 m με συνηθέστερο το βάθος έως τα 100 m. Οι γεωτρήσεις μπορεί να είναι κατακόρυφες ή υπό γωνία. Ο γεωεναλλάκτης είναι συνήθως σχήματος U, ενώ σπανιότερα μπορεί να εγκατασταθεί ομοαξονικός γεωεναλλάκτης. Απαιτούν μικρή επιφάνεια χωροθέτησης, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, δεν επηρεάζονται από τα καιρικά φαινόμενα και έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι το υψηλό αρχικό κόστος, κυρίως λόγω της διάνοιξης των γεωτρήσεων και οι ηλεκτρικές και υδραυλικές συντηρήσεις που απαιτούνται. Όπως και στους οριζόντιους γεωεναλλάκτες, οι κατακόρυφοι μπορεί να διατάσσονται σε σειρά ή παράλληλα. Στην διάταξη σε σειρά το ρευστό ρέει σε όλο το μήκος των σωληνώσεων. Στην παράλληλη διάταξη ο συλλέκτης διανέμει το ρευστό στους επιμέρους βρόγχους και στην συνέχεια δεύτερος συλλέκτης συλλέγει το ρευστό από τους βρόγχους για να το οδηγήσει στην ΑΘ. Υπάρχει και η περίπτωση του μικτού συστήματος όπου είναι συνδυασμός των δύο προηγούμενων.



Εικόνα 1.24: Κατακόρυφο σύστημα με α) γεωναλλάκτη σε σειρά και β) με παράλληλο γεωναλλάκτη [9]



Εικόνα 1.25: Κατακόρυφο σύστημα με γεωναλλάκτη μικτού τύπου [9]

1.6 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπως κάθε ΘΨΚ σύστημα, παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα συμβατικά HVAC συστήματα. Παρακάτω παρατίθενται τα σημαντικότερα τεχνικά, ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Τεχνικά πλεονεκτήματα:

- Ευελιξία: οι γεωθερμικές ΑΘ μπορούν να εκτελούν τόσο λειτουργία θέρμανσης όσο και ψύξης. Μπορούν επίσης να ενσωματωθούν με νέα ή υφιστάμενα συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης, τοπικές μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan-coil units), ή γενικότερα υδραυλικής θέρμανσης.
- Ζωνοποίηση: επιτρέπουν τη δημιουργία ανεξάρτητων θερμικών ζωνών, δίνοντας εξατομικευμένο έλεγχο της θερμοκρασίας σε διάφορους χώρους ενός κτιρίου, βελτιώνοντας την άνεση και την αποδοτικότητα.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής: συχνά ξεπερνούν τα 20 χρόνια με την κατάλληλη συντήρηση.

Τεχνικά μειονεκτήματα:

- Απαιτήση χώρου: οι γεωθερμικές ΑΘ απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερο χώρο για την εγκατάστασή του γεωεναλλάκτη, παράγοντας που μπορεί να είναι αποτρεπτικός για την εγκατάστασή τους, ιδιαίτερα σε αστικά περιβάλλοντα.
- Ανεπάρκεια εξειδικευμένων επαγγελματιών: επειδή οι γεωθερμικές ΑΘ δεν είναι τόσο καθιερωμένες όσο αλλά συστήματα, η ζήτηση για εγκατάσταση είναι μικρότερη. Υπάρχουν λίγες εξειδικευμένες εταιρείες με καταρτισμένους επαγγελματίες για την εγκατάσταση των γεωεναλλακτών και την διάνοιξη γεωτρήσεων.

Ενεργειακά πλεονεκτήματα:

- Υψηλή απόδοση: μπορούν να πετύχουν υψηλότερους συντελεστές COP και EER από τα συμβατικά συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι παρέχουν περισσότερη θερμική ή ψυκτική ισχύ από την εισερχόμενη ηλεκτρική.

Ενεργειακά μειονεκτήματα:

- Εξάρτηση από τον τύπο του εδάφους: τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η σύσταση, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα, η υγρασία και το βάθος εγκατάστασης επηρεάζουν την αποδοτικότητα του γεωεναλλάκτη.

Οικονομικά πλεονεκτήματα:

- Φθηνότερη παραγωγή θερμότητας: η θερμική ενέργεια που αντλείται από το έδαφος είναι σημαντικά πιο φθηνή από την θερμότητα μέσω καύσης πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής: με την σωστή συντήρηση οι γεωθερμικές ΑΘ μπορούν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από πολλά άλλα συστήματα HVAC, μειώνοντας το κόστος αντικατάστασης και συντήρησης.

Οικονομικά μειονεκτήματα:

- Αρχικό κόστος εγκατάστασης: το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να είναι σχετικά υψηλό λόγω της διάνοιξης γεωτρήσεων ή τάφρων για τον γεωεναλλάκτη και λόγω της ανάγκης εξειδικευμένων επαγγελματιών για την εγκατάσταση.

Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα

- Χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα: συμβάλλουν σε ένα χαμηλότερο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα σε σύγκριση με συστήματα που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, καθώς δεν υπάρχει καύση, οπότε και δεν υπάρχουν άμεσες εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον.

Περιβαλλοντικά μειονεκτήματα

- Θερμική ρύπανση: σε ορισμένες περιπτώσεις, η άντληση και απόρριψη θερμότητας από ή στο έδαφος μπορεί να προκαλέσει τοπικές μεταβολές της θερμοκρασίας. Αυτό θα μπορεί να επηρεάσει τα οικοσυστήματα και τους μικροοργανισμούς στο έδαφος, αν και συνήθως η έκταση των εγκαταστάσεων μπορεί να αποφέρει ελάχιστη επίπτωση.

1.7 Βιβλιογραφική ανασκόπηση συγκρίσεων αντλιών θερμότητας και τεχνολογικές εξελίξεις

Οι αντλίες θερμότητας είναι ευπροσάρμοστα συστήματα που μπορούν να παρέχουν θέρμανση, ψύξη και ZNX, γεγονός που τις καθιστά όλο και πιο δημοφιλείς σε διάφορα κλίματα. Ωστόσο, η απόδοσή και η λειτουργία τους επηρεάζεται από την τοποθεσία, τις εξωτερικές συνθήκες (πχ θερμοκρασία και υγρασία), την επιλογή της “πηγής” θερμότητας (αέρας, νερό έδαφος κτλ), αλλά και τις “δεξαμενές” (αέρας, νερό κτλ) στις οποίες αποθηκεύεται ή διαχέεται η ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο οδηγούνται σε διαφορές στην απόδοση και την λειτουργία μεταξύ των κλιματικών ζωνών.

Για παράδειγμα στο [13] μελετήθηκαν αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα (ASHP). Πιο συγκεκριμένα, σε μια από τις περιπτώσεις μελετήθηκε η απόδοση ΑΘ αέρα-αέρα για θέρμανση στην πόλη Χαρμπίν της Κίνας, πόλη με εξαιρετικά ψυχρό κλίμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν η ΑΘ μπορεί να εφαρμοστεί για σκοπούς θέρμανσης, με αποδεκτό COP, αλλά η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα πρέπει να διακυμαίνεται εντός 41 °C για θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -20,9 °C έως 10,4 °C.

Σε άλλο άρθρο [14] αντικείμενο της μελέτης ήταν αντλία θερμότητας αέρος νερού για θέρμανση κτιρίων κατοικιών σε αντίστοιχες ψυχρές περιοχές της βόρειας Κίνας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ΑΘ αέρα-αέρα έχουν μεγαλύτερη θερμαντική ικανότητα από τις αντίστοιχες αέρα-νερού, σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και ψυχρού κλίματος στην περιοχή της βόρειας Κίνας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η περιορισμένη θερμική χωρητικότητα των δεξαμενών νερού περιορίζει τον χρόνο λειτουργίας της αντλίας θερμότητας αέρα-νερού και η υψηλότερη θερμοκρασία συμπίκνωσης της ΑΘ αέρα-νερού μείωσε τον COP της σε σύγκριση με την ΑΘ αέρα-αέρα σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας. Γενικότερα, αναφέρεται ότι η αποτελεσματικότητα των ASHP μειώνεται καθώς η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται σε ψυχρές συνθήκες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι λιγότερη θερμική ενέργεια μπορεί να απορροφηθεί στον ατμοποιητή από τον περιβάλλοντα αέρα όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή κατά τους χειμερινούς μήνες. Επιπλέον, ο σχηματισμός παγετού είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος κατά την επιλογή μιας ASHP. Κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, όταν η επιφανειακή θερμοκρασία του εναλλάκτη του ατμοποιητή είναι κάτω από 0 °C, σχηματίζεται παγετός. Ο πάγος στη σερπαντίνα του ατμοποιητή εμποδίζει τη ροή του αέρα και λειτουργεί ως φράγμα θερμότητας, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της απόδοσης του συστήματος. Για αυτόν τον λόγο, πολλές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη λειτουργία απόψυξης των ASHP για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης του συστήματος.

Όσον αφορά την Ελλάδα, σε συγκριτική ανάλυση των SCOP σε θέρμανση σε αντλίες θερμότητα αέρα – νερού (από δώδεκα (12) κατασκευαστικές εταιρείες) στις πόλεις Ιεράπετρα (Ζώνη Α), Αθήνα (Ζώνη Β), Θεσσαλονίκη (Ζώνη Γ), Φλώρινα (Ζώνη Δ) τα αποτελέσματα παρουσιάζουν εξαιρετική σημασία [15]. Το δείγμα περιλαμβάνει εκατό (100) μοντέλα με θερμική ισχύ έως 50 kW. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα για αυτά τα μοντέλα, ανά πόλη και κλιματική ζώνη, και αφορούν την συνολική διακύμανση του SCOP, το εύρος των τιμών του SCOP για θερμική ισχύ έως 20 kW για θερμοκρασία νερού προσαγωγής στο σύστημα θέρμανσης 35 °C και 45 °C αντίστοιχα, καθώς και το εύρος των τιμών του SCOP για θερμική ισχύ από 20 kW έως 50 kW για θερμοκρασία νερού προσαγωγής στο σύστημα θέρμανσης 35 °C και 45 °C αντίστοιχα.

Πίνακας 1.1α: Σύνοψη αποτελεσμάτων [15]

Ζώνη	Πόλη	Θερμοκρασία Σχεδιασμού Tdes (C)	Συνολική διακύμανση SCOP
A	Ιεράπετρα	7	2,17 - 4,2
B	Αθήνα	2	2,08 - 4,64
Γ	Θεσσαλονίκη	-2	1,97 - 4,52
Δ	Φλώρινα	-7,5	1,67 - 4,03

Πίνακας 1.1β: Σύνοψη αποτελεσμάτων [15]

Ζώνη	Πόλη	SCOP για θερμική ισχύ έως και 20 kW και θερμοκρασία νερού προσαγωγής 35 C στο σύστημα θέρμανσης	SCOP για θερμική ισχύ έως και 20 kW και θερμοκρασία νερού προσαγωγής 45 C στο σύστημα θέρμανσης
A	Ιεράπετρα	2,71 - 4,2	2,17 - 3,58
B	Αθήνα	2,6 - 4,64	2,1 - 4,02
Γ	Θεσσαλονίκη	2,4 - 4,52	1,96 - 3,93
Δ	Φλώρινα	2,07 - 4,03	1,67 - 3,51

Πίνακας 1.1γ: Σύνοψη αποτελεσμάτων [15]

Ζώνη	Πόλη	SCOP για θερμική ισχύ από 20 kW έως 50 kW και θερμοκρασία νερού προσαγωγής 35 C στο σύστημα θέρμανσης	SCOP για θερμική ισχύ από 20 kW έως 50 kW και θερμοκρασία νερού προσαγωγής 45 C στο σύστημα θέρμανσης
A	Ιεράπετρα	2,62 - 3,68	2,2 - 3,15
B	Αθήνα	2,52 - 4,15	2,08 - 3,62
Γ	Θεσσαλονίκη	2,39 - 3,93	1,97 - 3,44
Δ	Φλώρινα	2,41 - 3,53	1,82 - 3,03

Τα συμπεράσματά που εξήχθησαν ήταν τα εξής:

Οι ΑΘ με θερμική ισχύ έως 20 kW είχαν μεγαλύτερο εύρος τιμών SCOP, αλλά και μεγαλύτερες μέγιστες τιμές σε σχέση με τις ΑΘ θερμικής ισχύος από 20kW έως 50 kW. Παρατηρήθηκε επίσης ότι στις περιοχές όπου η εξωτερική θερμοκρασία ήταν μικρότερη από την θερμοκρασία σχεδιασμού για μεγάλο αριθμό ωρών (για την

περίοδο θέρμανσης), αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο SCOP να μειωθεί σημαντικά. Αυτό συνέβη λόγω της χρήσης βοηθητικής πηγής θέρμανσης (ηλεκτρικές αντιστάσεις). Σημαντική είναι η αύξηση του SCOP όταν η θερμοκρασία εισαγωγής είναι στους 35 °C. Όταν αυτό μάλιστα συνδυάζεται με εφαρμογή αντιστάθμισης και με συμπιεστή μεταβαλλόμενων στροφών (inverter) η αύξηση των τιμών του SCOP είναι ακόμα εντονότερη.

Σε μελέτη του Marcic [16] σημειώνεται ότι οι ASHP με ενσωματωμένο εξοικονομητή (economiser) σπειροειδούς συμπιεστή μπορούν να παρέχουν υψηλής αποδοτικότητας θερμότητα και ZNX με μέσο COP στο 3,16 ακόμη και σε συνθήκες πολύ χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών (0 °C). Τεχνικοοικονομική μελέτη με θέμα την ανακαίνιση κτιρίων κατοικιών με χρήση ΑΘ αέρος-νερού δείχνει μείωση κατά 36% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα ορυκτών καυσίμων [17]. Ωστόσο, σημειώνεται ότι ο COP των εν λόγω αντλιών θερμότητας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή και ως εκ τούτου, η αξιολόγηση της εποχιακής απόδοσης είναι δύσκολη.

Όσον αφορά τις ΑΘ με πηγή το νερό (WSHP), σε άρθρο Τούρκων ερευνητών [18] προτάθηκε ένα πειραματικό πολυλειτουργικό σύστημα αντλίας θερμότητας για τη διερεύνηση της διακύμανσης της απόδοσης τεσσάρων (4) διαφορετικών αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν αέρα και νερό ως “πηγή” και “δεξαμενή” θερμότητας για σκοπούς θέρμανσης. Οι τέσσερις (4) ΑΘ ήταν αέρα-αέρα, αέρα-νερού, νερού-αέρα και νερού-νερού. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακές συνθήκες, με την θερμοκρασία του αέρα στους 20-22 °C και την σχετική υγρασία στο 30-40%. Οι δοκιμές έγιναν για διάφορες τιμές όσον αφορά τις μεταβολές της θερμοκρασίας και του ρυθμού ροής μάζας του ρευστού του ατμοποιητή που χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας. Με βάση τα παραπάνω, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερες επιτεύξιμες τιμές COP για κάθε ΑΘ (με αριθμητική σειρά) ήταν 3,94 για την ΑΘ νερού-αέρα, 3,73 για την ΑΘ νερού-νερού, 3,54 για την ΑΘ αέρα-αέρα και 3,4 για την ΑΘ αέρα-νερού.

Σε σύγκριση με τις αντλίες θερμότητας πηγής αέρα, οι αντλίες θερμότητας πηγής νερού παράγουν λιγότερες εκπομπές CO₂, καθώς και έχουν σημαντική εξοικονόμηση κόστους. Σε αντίθεση με τις ASHP, οι εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος δεν επηρεάζουν σημαντικά τις επιδόσεις των WSHP. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα και έτσι η θερμοκρασία του υδάτινου σώματος αυξομειώνεται λιγότερο από εκείνη του αέρα. Οι WSHP χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, αλλά οι εφαρμογές τους είναι περιορισμένες λόγω της απαίτησης μεγάλων υδάτινων σωμάτων ή δεξαμενών αποθήκευσης κοντά σε κατοικίες. Επιπλέον, η ανάγκη τήρησης ορισμένων περιβαλλοντικών κανονισμών μπορεί να επιφέρει δυσκολίες στην εφαρμογή των WSHP.

Όπως είναι ήδη γνωστό, οι ΑΘ νερού-αέρα χρησιμοποιούν το νερό ως πηγή θερμότητας και χρησιμοποιούν αέρα για τη μεταφορά της θερμότητας, για ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης. Το νερό μπορεί επίσης να προέρχεται από το υπέδαφος ή από την επιφάνεια της γης όπως λίμνες ή ποτάμια. Τα κτίρια που βρίσκονται κοντά σε τέτοιου είδους υδάτινα σώματα μπορούν να επωφεληθούν από την εκμετάλλευση αυτών. Ιδιαίτερα τα υπόγεια ύδατα είναι ιδιαίτερα ελκυστικά ως πηγή ή αποδέκτης θερμότητας λόγω της σταθερής θερμοκρασίας τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Οι ΑΘ επιφανειακών υδάτων ταξινομούνται σε δύο (2) τύπους: ανοικτού και κλειστού βρόγχου. Στο σύστημα ανοικτού βρόγχου, το νερό από τον ποταμό ή τη λίμνη αντλείται μέσω του εναλλάκτη θερμότητας των αντλιών θερμότητας και επιστρέφει στους ποταμούς ή τις λίμνες σε απόσταση σε σχέση με την περιοχή άντλησης. Στο σύστημα κλειστού βρόγχου, ένας εναλλάκτης θερμότητας εγκαθίσταται συνήθως στην επιφάνεια του υδάτινου σώματος.

Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει την ενεργειακή απόδοση των ΑΘ με πηγή το νερό. Για παράδειγμα, στο ιστορικό κτίριο Crucifers Convent στο κέντρο της Βενετίας μελετήθηκε ένα σύστημα ΑΘ ανοικτού βρόγχου, με πηγή θερμότητας το νερό της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, για ανάγκες θέρμανσης, ψύξης και ΖΝΧ. Έπειτα συγκρίθηκε με μια ASHP, έναν αερόψυκτο ψύκτη και ένα συμβατικό λέβητα. [19]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εν λόγω ΑΘ είχε μέση τιμή COP στο 3,66, ο οποίος είναι 36% υψηλότερος από τον αντίστοιχο της συγκρίσιμης ASHP κατά την περίοδο θέρμανσης. Ο μέσος EER της ΑΘ ήταν 4,13, ο οποίος είναι 14% υψηλότερος από την ASHP. Επίσης, σημειώθηκε 37% ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα.

Όσον αφορά τις γεωθερμικές ΑΘ (ΓΑΘ), σε μελέτη στην πόλη Σακάτα της βόρειας Ιαπωνίας [20], συγκρίθηκαν μία γεωθερμική ΑΘ και μία ΑΘ αέρα-νερού με fan coil σε δύο (2) θερμοκήπια αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο μέσος COP της ΑΘ αέρα-νερού ήταν 3,4 και κυμαινόταν σε εύρος τιμών από 2,2 έως 4,5 για θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα από -1,4 °C έως 12 °C. Αντίστοιχα, για τις ίδιες θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα ο μέσος COP της ΓΑΘ ήταν 4,9 και κυμαινόταν σε εύρος τιμών από 4,0 έως 5,7. Η θερμοκρασία εισαγωγής του υπόγειου νερού που αντλήθηκε στο εναλλάκτη θερμότητας ήταν περίπου 14 °C, με πολλή μικρή διακύμανση καθ όλη την διάρκεια του έτους. Ομοίως και η θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη θερμότητας παρέμεινε σχεδόν σταθερή στους 11,5 °C. Έτσι, συμπεραίνεται ότι ο COP της ΑΘ αέρα νερού παρουσιάζει μείωση με την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Ενώ για τον COP της ΓΑΘ δεν παρατηρείται μείωση με την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Τέλος ο μέσος COP της ΓΑΘ είναι σημαντικά μεγαλύτερος από της ΑΘ αέρα νερού.

1.8 Νομοθεσία - Πολιτική της Ελλάδας και της ΕΕ

Η νομοθεσία σχετικά με τις αντλίες θερμότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εμπίπτει κυρίως στις ευρύτερες πολιτικές ενεργειακών και περιβαλλοντικών πολιτικών της ΕΕ. Αυτές οι πολιτικές στοχεύουν στην προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη μετάβαση σε πιο καθαρές πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των αντλιών θερμότητας. Ορισμένες από τις κυριότερες νομοθετικές πράξεις της ΕΕ περιλαμβάνουν [21-23]:

- Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive)

Ορίζει πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια και ενθαρρύνει τη χρήση αντλιών θερμότητας ως αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

- Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ)

- Οδηγία 2009/125/EK για τον οικολογικό σχεδιασμό, όσον αφορά στα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα. (Ecodesign Directive)
Η ΕΕ έχει θεσπίσει κανονισμούς οικολογικού σχεδιασμού, παροχής πληροφοριών (ενεργειακή σήμανση κτλ) και απαιτήσεων για τον κατασκευαστή για διάφορα προϊόντα. Οι εν λόγω κανονισμοί καθορίζουν ελάχιστα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης, επιλογής υλικών, κατασκευής, κύκλου ζωής προϊόντος και απαιτούν ετικέτες ενεργειακές, κατασκευαστικές κτλ για την ενημέρωση των καταναλωτών.

- Οδηγία 2012/27/EK για την ενεργειακή αποδοτικότητα (Energy Efficiency Directive)

Καθορίζει μέτρα για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στην ΕΕ, μεταξύ άλλων στα κτίρια. Ενθαρρύνει τη χρήση αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, στα οποία περιλαμβάνονται και οι αντλίες θερμότητας. Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να εφαρμόζουν πολιτικές και μέτρα για την προώθηση της αποδοτικής χρήσης της ενέργειας στη θέρμανση και την ψύξη.

- Οδηγία 2018/2001/EK για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (αναδιατύπωση) (Renewable Energy Directive)

Καθορίζει στόχους για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ. Ενθαρρύνει την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης αντλιών θερμότητας που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια, όπως όπως ηλιακή ενέργεια και γεωθερμία, για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα.

- Ορίζοντας Ευρώπη (Horizon Europe)

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα-πλαίσιο έρευνας και καινοτομίας της ΕΕ, που υποστηρίζει την έρευνα και την ανάπτυξη σε τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης. Υπάρχουν προοπτικές χρηματοδότησης για έργα που προωθούν την τεχνολογία των αντλιών θερμότητας και την ενσωμάτωσή της με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στην Ελλάδα η πρώτη προσπάθεια για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων έγινε το 1979 με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ.). Έπειτα ο Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ) αντικατέστησε τον Κ.Θ.Κ. το 1998. Ύστερα, επήλθαν οι ευρωπαϊκές οδηγίες 2002/91/EK (Energy Performance of Buildings Directive) και 2012/27/EK (Energy Efficiency Directive), τις οποίες η Ελλάδα έπρεπε να τις ενσωματώσει στην εθνική νομοθεσία. Έτσι τέθηκε σε ισχύ ο νέος Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) το 2010, και το 2017 τροποποιήθηκε στην τελική του μορφή έως σήμερα. Μαζί με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ., το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (Τ.Ε.Ε.), εξέδωσε και τις απαραίτητες τεχνικές οδηγίες για την εφαρμογή του. Επιγραμματικά παρατίθενται οι εν λόγω τεχνικές οδηγίες στην τελευταία τους έκδοση έως σήμερα:

α) TOTEE 20701–1/2017: «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»

β) TOTEE 20701–2/2017: «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»

γ) TOTEE 20701–3/2017: «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών»

δ) TOTEE 20701–4/2017: «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού»

ε) TOTEE 20701- 5/2012. «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτίρια»

Επιπροσθέτως, η Ελλάδα έχει εναρμονιστεί και με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ, η οποία αντιστοιχίζεται στον εθνικό Νόμο 4122/2013 για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων. Στον Νόμο 4122/2013 προβλέπεται μεταξύ άλλων και αύξηση του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση (Κ.Σ.Μ.Κ.Ε ή nZEB).

Τέλος, όσον αφορά τις εγκαταστάσεις γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, ισχύει η Υπουργική Απόφαση Αριθ. Δ9Β,Δ/Φ166/ΟΙΚ 18508/5552/207 «Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό»

2. Λογισμικά προσομοίωσης

2.1 Περιγραφή λογισμικού ενεργειακής προσομοίωσης *EnergyPlus*

Το EnergyPlus™ είναι ένα πρόγραμμα δυναμικής προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης κτιρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές για να μοντελοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας λόγω θέρμανσης, ψύξης, εξαερισμού, φωτισμού, φορτίων σύνδεσης και διεργασιών κτλ, αλλά και για τη χρήση νερού στα κτίρια. Βασίζεται στην ταυτόχρονη λειτουργία πολλών επιμέρους προγραμμάτων με σκοπό τον υπολογισμό διαφόρων θερμοφυσικών μεταβλητών του κτιρίου όπως η θερμοκρασία της κάθε θερμικής ζώνης και κάθε επιφάνειας, τα ψυκτικά φορτία και οι θερμικές απώλειες για την θερμική άνεση του κτιρίου, την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου κτλ.

Για την διαδικασία της μοντελοποίησης, ο χρήστης εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με την γεωμετρία του κτιρίου, τα δομικά του υλικά και τα δομικά στοιχεία καθώς τα HVAC συστήματα. Για την δημιουργία και την επεξεργασία των αρχείων εισόδου (Input Data Files), αλλά και την εκτέλεση της προσομοίωσης, το EnergyPlus παρέχει τα υποπρογράμματα IDF Editor και EP-Launch. Οι υπολογισμοί πίσω από την μηχανή προσομοίωσης του EnergyPlus βασίζονται κυρίως στις θεμελιώδεις αρχές της μεταφοράς θερμότητας και στην μηχανική των ρευστών.

Το EnergyPlus είναι ελεύθερο λογισμικό (freeware), ανοιχτού κώδικα (open source), προγραμματισμένο σε γλώσσα C++ (Fortran90 σε παλαιότερες εκδόσεις) και ανεξάρτητο πλατφόρμας (cross-platform). Έχει τις ρίζες του στις προσπάθειες του αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας (Department of Energy - DOE) να αναπτύξει ένα προηγμένο εργαλείο ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων που θα μπορούσε να ξεπεράσει τους περιορισμούς προηγούμενων λογισμικών, όπως το BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) και το DOE-2. Το έργο ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '70 και μετά από χρόνια ανάπτυξης, το 2001 έγινε η πρώτη δημόσια έκδοση του EnergyPlus, ενώ το 2014 αναπρογραμματίστηκε στην σημερινή γλώσσα C++. Από τότε, συνεχίζει να εξελίσσεται και να βελτιώνεται με κάθε επόμενη έκδοση.

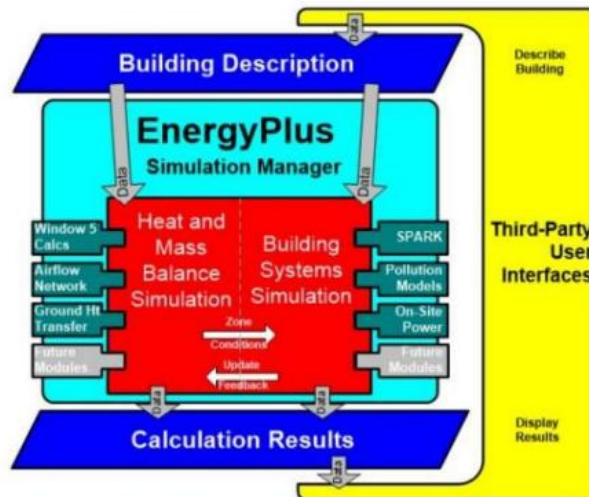
Μερικά από τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά και δυνατότητες του EnergyPlus περιλαμβάνουν [24]:

- Ολοκληρωμένη, ταυτόχρονη επίλυση των συνθηκών της θερμικής ζώνης και της απόκρισης του συστήματος HVAC χωρίς να απαιτείται ότι το σύστημα HVAC μπορεί να ανταποκριθεί στα φορτία ζώνης και μπορεί να προσομοιώσει μη κλιματιζόμενες και υπο-κλιματιζόμενους χώρους.
- Λύση με βάση το ισοζύγιο θερμότητας των επιδράσεων ακτινοβολίας και συναγωγής που παράγουν επιφανειακές θερμοκρασίες, θερμική άνεση και υπολογισμούς συμπύκνωσης.
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που λαμβάνει υπόψη την κίνηση του αέρα μεταξύ των ζωνών.

- Προηγμένα μοντέλα υαλοστασίων, συμπεριλαμβανομένων ελεγχόμενων περσίδων παραθύρων, ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και ισοζύγια θερμότητας ανά στρώμα που υπολογίζουν την ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τους υαλοπίνακες των παραθύρων.
- Υπολογισμοί φωτισμού και θάμβωσης για την αναφορά της οπτικής άνεσης και τον έλεγχο του φωτισμού.
- HVAC με βάση τα στοιχεία που υποστηρίζουν τόσο τυπικές όσο και νέες διαμορφώσεις συστημάτων.
- Μεγάλος αριθμός ενσωματωμένων στρατηγικών ελέγχου HVAC και φωτισμού και επεκτάσιμος χρόνος εκτέλεσης συστήματος σεναρίων για έλεγχο που καθορίζεται από τον χρήστη.
- Τυποποιημένες, συνοπτικές και λεπτομερείς αναφορές εξόδου, καθώς και αναφορές που καθορίζονται από τον χρήστη με δυνατότητα επιλογής χρονικού βήματος από ετήσιο έως βήματος λεπτών.

Επιπλέον:

- αρχεία καιρού, εισόδου και εξόδου με βάση το κείμενο ASCII που περιλαμβάνουν ωριαίες ή υποωριαίες περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και τυποποιημένες αναφορές αλλά και αναφορές που μπορούν να οριστούν από τον χρήστη.
- Μεταβατική θερμική αγωγιμότητα μέσω δομικών στοιχείων, όπως τοίχοι, οροφές, δάπεδα κ.λπ. με τη χρήση συναρτήσεων μεταφοράς αγωγιμότητας.
- Μοντέλα θερμικής άνεσης με βάση τη δραστηριότητα, την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου, την υγρασία, κ.λπ.
- Μοντέλο ανισοτροπικού ουρανού για βελτιωμένο υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες.
- Υπολογισμοί ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω CO₂, SO_x, NO_x, CO, αιωρούμενων μικροσωματιδίων.
- Το EnergyPlus μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υπολογισμούς φορτίου κτιρίου και διαστασιολόγηση εξοπλισμού. Σωστή διαστασιολόγηση του εξοπλισμού χωρίς υπερδιαστασιολόγηση, ώστε ο εξοπλισμός να λειτουργεί πιο κοντά στα βέλτιστα φορτία.
- Το EnergyPlus τρέχει σε υπολογιστές Windows, MacOS και Linux.



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση του λογισμικού EnergyPlus [24]



Εικόνα 2.2: Η δομή του EnergyPlus [25]

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του Energyplus σε σχέση με παρόμοια λογισμικά, μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Πλεονεκτήματα:

- **Ακρίβεια:** Το EnergyPlus φημίζεται για το υψηλό επίπεδο ακρίβειάς του. Χρησιμοποιεί μια λεπτομερή μέθοδο ισοζυγίου θερμότητας, η οποία διασφαλίζει ότι οι προσομοιώσεις αντικατοπτρίζουν επακριβώς την πραγματική απόδοση του κτιρίου. Αυτό το καθιστά μια αξιόπιστη επιλογή για ακριβή ενεργειακή ανάλυση.
- **Ανοιχτός κώδικας (open source) και κοινοτική υποστήριξη (community support):** Καθώς είναι ανοικτού κώδικα, το EnergyPlus επωφελείται από μια αφοσιωμένη και ενεργή κοινότητα χρηστών. Αυτή η κοινότητα όχι μόνο συμβάλλει στην

ανάπτυξη του λογισμικού, αλλά παρέχει επίσης εκτεταμένη υποστήριξη μέσω φόρουμ, τεκμηρίωσης και πολύτιμων πρόσθετων λειτουργιών και επεκτάσεων.

- Ευελιξία και επεκτασιμότητα (extensibility): Το EnergyPlus προσφέρει ευελιξία στους χρήστες. Επιτρέπει προσαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας μοναδικών συστημάτων HVAC, αλγορίθμων ελέγχου και ροών εργασίας προσομοίωσης. Επιπλέον, μπορεί να ενσωματωθεί με άλλα εργαλεία λογισμικού και γλώσσες σεναρίων για την κάλυψη συγκεκριμένων ερευνητικών αναγκών.
- Πλήρης τεκμηρίωση: Το EnergyPlus συνοδεύεται από διεξοδική τεκμηρίωση, η οποία περιλαμβάνει λεπτομερείς περιγραφές εισόδου, οδηγίες μοντελοποίησης και παραδείγματα. Αυτό το καθιστά προσιτό τόσο σε αρχάριους όσο και σε έμπειρους χρήστες, διευκολύνοντας μια ομαλότερη καμπύλη εκμάθησης.

Μειονεκτήματα:

- Καμπύλη εκμάθησης (learning curve): το EnergyPlus έχει μια απότομη καμπύλη εκμάθησης, ειδικά για τους νεοεισερχόμενους στην ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων, λόγω της πολυπλοκότητας και της πληθώρας των χαρακτηριστικών του.
- Υπολογιστικοί πόροι: Οι προσομοιώσεις με το EnergyPlus μπορεί να είναι απαιτητικές σε πόρους, απαιτώντας ισχυρό hardware για μεγάλα ή λεπτομερή μοντέλα.
- Δεν είναι φιλικό στον χρήστη: Το EnergyPlus βασίζεται κυρίως σε αρχεία εισόδου βασισμένα σε κείμενο (text-based input files) και δεν διαθέτει φιλικό προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον (Graphical User Interface - GUI),

2.2 Περιγραφή προγράμματος σχεδιασμού SketchUp

Το SketchUp είναι ένα λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης που αναπτύχθηκε από την Trimble Inc. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία, την οπτικοποίηση και τον χειρισμό τρισδιάστατων μοντέλων. Το SketchUp είναι γνωστό για το φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας του, καθιστώντας το προσιτό τόσο σε αρχάριους όσο και σε έμπειρους σχεδιαστές, συμπεριλαμβανομένων αρχιτεκτόνων, μηχανικών, σχεδιαστών εσωτερικών χώρων, αλλά και σχεδιαστών παιχνιδιών και ταινιών. Το SketchUp έχει ενσωματωμένη την τεχνολογία BIM (Building Information Modeling) στον πυρήνα του. Με αυτόν τον τρόπο παρέχει στους χρήστες μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα σχεδίασης όπου κάθε στοιχείο που σχεδιάζεται έχει ενσωματωμένες όλες τις πληροφορίες που το συνοδεύουν, όπως η γεωμετρία, η θέση του, το υλικό και μία σειρά από άλλες παραμέτρους και χαρακτηριστικά [26].

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες του SketchUp περιλαμβάνουν:

- Μοντελοποίηση 3D: το SketchUp επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων, κτιρίων, τοπίων και πολλά άλλα.

- Σχεδίαση και εννοιολογικός σχεδιασμός: το SketchUp είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για γρήγορο σκίτσο και επανάληψη σχεδιαστικών ιδεών, διευκολύνοντας τη διερεύνηση διαφόρων ιδεών.

- Γεωχωρική ενσωμάτωση: το λογισμικό μπορεί να ενσωματωθεί με το Google Earth, επιτρέποντας τη γεωχωρική μοντελοποίηση και την ανάλυση χώρων, η οποία είναι χρήσιμη για τον αστικό σχεδιασμό και τα έργα που αφορούν συγκεκριμένες τοποθεσίες.

- Επεκτάσεις και plug-ins: το SketchUp διαθέτει μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη επεκτάσεων και plug-ins, τα οποία ενισχύουν τις δυνατότητές του και ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες ανάγκες σχεδιασμού και ανάλυσης, καθώς έχουν την δυνατότητα επικοινωνίας και με άλλες εφαρμογές. Το plug-in που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής είναι OpenStudio SketchUp Plug-In, καθώς έχει την δυνατότητα, μέσω του SketchUp, να μοντελοποιηθεί το κτίριο γρήγορα και εποπτικά με σκοπό την ενεργειακή του ανάλυση στο OpenStudio.

2.3 Περιγραφή προγράμματος OpenStudio

Το OpenStudio είναι μια συλλογή εργαλείων λογισμικού πολλαπλών πλατφορμών (Windows, Mac και Linux) για την υποστήριξη της ενεργειακής μοντελοποίησης ολόκληρου του κτιρίου με τη χρήση του EnergyPlus και της προηγμένης ανάλυσης του φωτός ημέρας με τη χρήση του Radiance. Το OpenStudio αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (National Renewable Energy Laboratory - NREL) και είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα. Το OpenStudio είναι ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής του χρήστη (GUI) με το EnergyPlus, χωρίς να περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες και τις επιλογές του τελευταίου. Αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του προγράμματος σχεδιασμού SketchUp και αυτού της προσομοίωσης EnergyPlus.

Το OpenStudio SDK είναι τόσο ένα Σετ Εργαλείων Ανάπτυξης Λογισμικού (Software Development Kit, SDK) όσο και μια διεπαφή γραμμής εντολών (CLI). Εννοιολογικά, το OpenStudio SDK παρέχει μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API) για την πρόσβαση στη μηχανή μοντελοποίησης EnergyPlus. Οι γραφικές εφαρμογές που περιλαμβάνει είναι το OpenStudio SketchUp Plug-in, την εφαρμογή OpenStudio και το εργαλείο παραμετρικής ανάλυσης (Parametric Analysis Tool - PAT). Το SketchUp Plug-in και η εφαρμογή Openstudio Application συντηρούνται από την OpenStudio Coalition, η οποία ιδρύθηκε για να συντηρεί και να αναπτύσσει αυτές τις γραφικές εφαρμογές για την κοινότητα της ενεργειακής μοντελοποίησης κτιρίων. Το SketchUp Plug-in είναι μια επέκταση του δημοφιλούς εργαλείου τρισδιάστατης μοντελοποίησης SketchUp της Trimble που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν γρήγορα τη γεωμετρία που απαιτείται για το EnergyPlus. Επιπλέον, το OpenStudio υποστηρίζει την εισαγωγή gbXML και IFC αρχείων για τη δημιουργία γεωμετρίας. Η εφαρμογή OpenStudio Application είναι ένα πλήρως εξοπλισμένο γραφικό περιβάλλον για τα μοντέλα OpenStudio, συμπεριλαμβανομένων του περιβλήματος, των φορτίων, των προγραμμάτων και του HVAC. Το ResultsViewer επιτρέπει την περιήγηση, την απεικόνιση και τη σύγκριση δεδομένων εξόδου προσομοίωσης, ιδίως χρονοσειρών. Το εργαλείο παραμετρικής ανάλυσης που διαθέτει το OpenStudio, επιτρέπει τη μελέτη των επιπτώσεων της εφαρμογής

πολλαπλών συνδυασμών των μέτρων του OpenStudio σε ένα βασικό μοντέλο, καθώς και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης για την υποβολή EDAPT [27].

Η χρησιμότητα του OpenStudio έγκειται στα εξής:

- Αξιολογεί της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου.
- Δίνει τη δυνατότητα σε αρχιτέκτονες και μηχανικούς να βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, καθοδηγώντας τις αποφάσεις σχεδιασμού προς ενεργειακά και περιβαλλοντικά αποδοτικές λύσεις.
- Επιτρέπει την αξιολόγηση της βιωσιμότητας του κτιρίου. Το λογισμικό συμβάλλει καθοριστικά στην αξιολόγηση του οικολογικού αποτυπώματος ενός κτιρίου και στην ευθυγράμμιση των επιλογών σχεδιασμού με τους στόχους βιωσιμότητας.
- Τέλος, οι δυνατότητες παραμετρικής ανάλυσης του OpenStudio επιτρέπουν επαναληπτικές βελτιώσεις του σχεδιασμού, οδηγώντας στη δημιουργία ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικών κτιρίων.

2.4 Περιγραφή προγράμματος *DesignBuilder*

Το DesignBuilder είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό προσομοίωσης της απόδοσης κτιρίου που αναπτύχθηκε από την DesignBuilder Software Ltd. Χρησιμοποιείται ως εργαλείο στους τομείς της αρχιτεκτονικής και της μηχανικής, επιτρέποντας στους επαγγελματίες να μοντελοποιούν, να αναλύουν και να βελτιστοποιούν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αποτελεί ένα εργαλείο που προσφέρει την δυνατότητα μοντελοποίησης και τρισδιάστατου σχεδιασμού για πληθώρα κλιματικών δεδομένων, τον λεπτομερή σχεδιασμό συστημάτων θέρμανσης ψύξης - κλιματισμού, την οπτικοποίηση του μοντέλου καθώς και τη λεπτομερή ανάλυση της απόδοσης, άνεσης, περιβαλλοντικού αποτυπώματος και κόστους των κτιρίων, με σκοπό τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού τους. Μπορεί να δημιουργεί μοντέλα οικοδόμησης κτιρίων μέσω CFD (Computational Fluid Dynamics). Το λογισμικό χρησιμοποιεί τους αλγόριθμους και τον κώδικα και του EnergyPlus για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Ακόμα, το DesignBuilder παρέχει ένα πολύ εύχρηστο και φιλικό γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface), με αποτέλεσμα να μπορεί να κάνει την ενεργειακή προσομοίωση και μοντελοποίηση ευκολότερη και πιο γρήγορη ακόμα και για αρχάριους χρήστες. Όσον αφορά την μοντελοποίηση των HVAC συστημάτων, το DesignBuilder προσφέρει πολλά διακριτά πλεονεκτήματα. Η φιλική προς το χρήστη διεπαφή του, τα ολοκληρωμένα χαρακτηριστικά του και η απρόσκοπτη ενσωμάτωση με την ενεργειακή μοντελοποίηση το καθιστούν ισχυρή επιλογή για το σχεδιασμό αυτών των συστημάτων. Ενσωματώνει εργαλεία και οδηγούς για την σχεδίαση των συστημάτων HVAC, με αποτέλεσμα οι χρήστες να μπορούν εύκολα να ρυθμίσουν μονάδες χειρισμού αέρα (Air Handling Units - AHU), αεραγωγούς και άλλα εξαρτήματα HVAC μέσα στο λογισμικό. Αυτό απλοποιεί τη διαδικασία σχεδιασμού και μειώνει την ανάγκη για εξωτερικό λογισμικό ή εκτεταμένη τεχνογνωσία HVAC.

Συνοπτικά, ορισμένες τυπικές χρήσεις του DesignBuilder είναι οι εξής [28]:

- Υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου.
- Αξιολόγηση επιλογών πρόσοψης (façade design) για υπερθέρμανση και οπτική εμφάνιση.
- Θερμική προσομοίωση κτιρίων με φυσικό αερισμό.

- Φωτισμός ημέρας - μοντελοποίηση συστημάτων ελέγχου φωτισμού και υπολογισμός εξοικονόμησης στον ηλεκτρικό φωτισμό.
- Οπτικοποίηση χωροθετήσεων και ηλιακής σκίασης.
- Υπολογισμός μεγεθών εξοπλισμού θέρμανσης και ψύξης.
- Βοήθημα επικοινωνίας σε συναντήσεις σχεδιασμού.
- Εκπαιδευτικό εργαλείο.

Το DesignBuilder και το OpenStudio είναι δύο ισχυρά εργαλεία προσομοίωσης της απόδοσης κτιρίων που χρησιμοποιούνται στους τομείς της αρχιτεκτονικής και της μηχανικής για το σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών και βιώσιμων κτιρίων. Μοιράζονται κοινούς στόχους αλλά διαφέρουν σε διάφορες πτυχές.

Το DesignBuilder, ένα φιλικό προς το χρήστη λογισμικό, είναι γνωστό για το διαισθητικό περιβάλλον εργασίας του και για το ευρύ φάσμα προ-δημιουργημένων βιβλιοθηκών και προτύπων, γεγονός που το καθιστά ελκυστική επιλογή για αρχάριους και μικρότερα έργα σχεδιασμού. Ενσωματώνει την ενεργειακή μοντελοποίηση, τον σχεδιασμό συστημάτων HVAC και την ανάλυση CFD (Computational Fluid Dynamics) σε ένα πακέτο, απλοποιώντας τη διαδικασία σχεδιασμού.

Το OpenStudio, από την άλλη πλευρά, είναι μια πλατφόρμα ανοικτού κώδικα που αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ. Προσφέρει εκτεταμένη ευελιξία και προτιμάται από πιο έμπειρους χρήστες και ερευνητές. Το OpenStudio επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν και να προσαρμόζουν ενεργειακά μοντέλα κτιρίων, να εκτελούν παραμετρικές αναλύσεις και να αναπτύσσουν προσαρμοσμένα μέτρα, καθιστώντας το προτιμώμενη επιλογή για εμπειριτωμένη έρευνα και έργα μεγάλης κλίμακας.

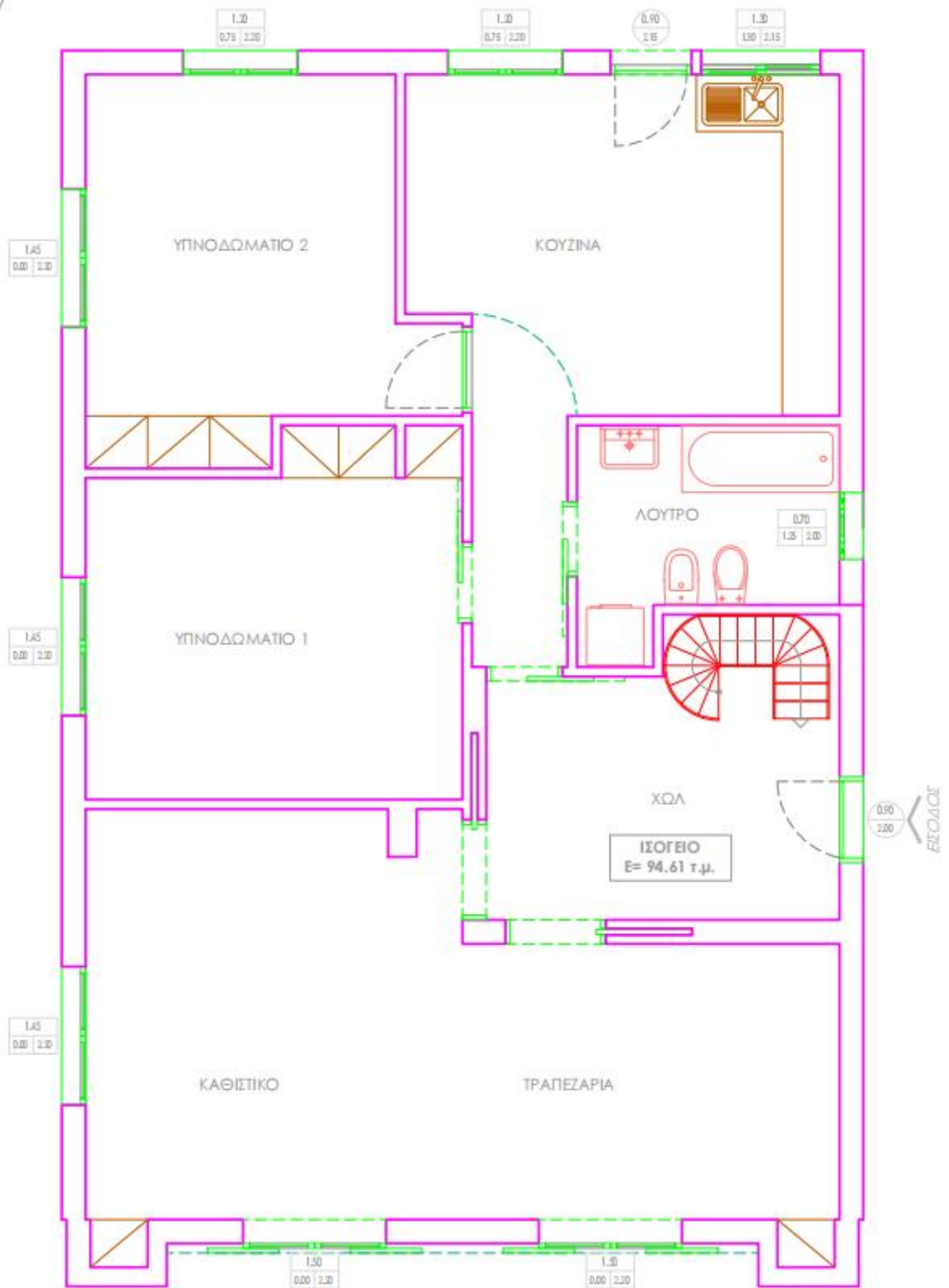
Συνοπτικά, το DesignBuilder παρέχει μια φιλική προς το χρήστη εμπειρία με έμφαση στην αποτελεσματικότητα, ενώ το OpenStudio προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και έλεγχο, ιδανικό για έργα προσανατολισμένα στην έρευνα ή πολύπλοκα έργα. Η επιλογή μεταξύ των δύο εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του έργου και το επίπεδο της τεχνογνωσίας του χρήστη.

3. Μοντελοποίηση κτιριακού κελύφους

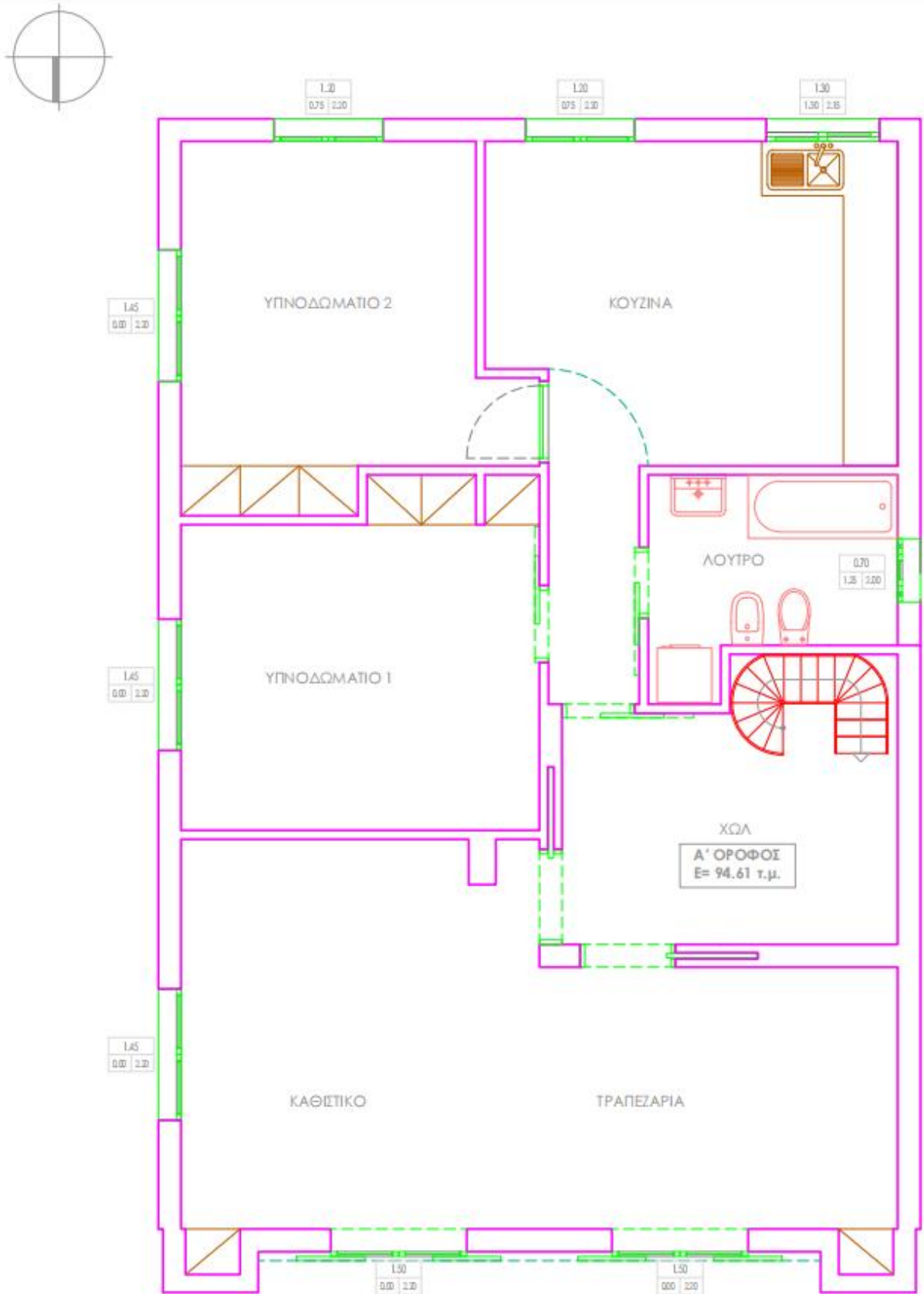
3.1 Γενικά στοιχεία κτιριακού κελύφους

Το κτίριο που σχεδιάστηκε για της ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει κύρια χρήση κατοικίας με εμβαδόν 189,22 m². Πρόκειται για νεόδμητο κτίριο θα ανεγερθεί στις περιοχές του Ηρακλείου Κρήτης (Κλιματική ζώνη Α'), του Ελληνικού Αττικής (Κλιματική ζώνη Β'), της Θεσσαλονίκης (Κλιματική ζώνη Γ') και της Καστοριάς (Κλιματική ζώνη Δ'). Αποτελείται από δύο (2) ορόφους, ισόγειο και Α' όροφο, ύψους 2,74 m (από άνω πλάκα δαπέδου έως άνω πλάκα οροφής) ο καθένας. Οι όροφοι είναι όμοιοι και ο καθένας έχει έξι (6) χώρους: έναν (1) ενιαίο χώρο καθιστικού-τραπεζαρίας, ένα (1) χολ με κλιμακοστάσιο, δύο (2) υπνοδωμάτια, ένα (1) λουτρό και μία (1) κουζίνα. Ο προσανατολισμός της τοιχοποιίας με τις τέσσερις (4) μπαλκονόπορτες του καθιστικού-τραπεζαρίας (δύο (2) στο ισόγειο και δύο (2) στον Α' όροφο) έχει προσανατολισμό βόρειο 0°. Όλοι οι χώροι απομονώνονται μεταξύ τους μέσω εσωτερικών τοίχων και εσωτερικών πορτών. Όλοι οι χώροι είναι θερμαινόμενοι και ψυχωμένοι, οπότε και δεν υπάρχει κανένας μη θερμαινόμενος χώρος. Για την μοντελοποίηση και την προσομοίωση που θα επέλθει όλοι οι χώροι αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές θερμικές ζώνες. Βρίσκεται σε ελεύθερο περιβάλλον και δεν υπάρχουν κτίρια σε επαφή και κτίρια που να προκαλούν σκιάσεις. Η βόρεια και η νότια τοιχοποιία έχουν μήκος 7,90 m, ενώ η ανατολική και η δυτική έχουν μήκος 12,40 m.

Το κτίριο, γεωμετρικά, παραμένει ίδιο σε όλες τις κλιματικές ζώνες. Όσον αφορά τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα αδιαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή τοιχοποιία, δάπεδο και οροφή, παραμένουν ίδια ως υλικά (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας) και διαστρωμάτωση. Όμως, αλλάζει το πάχος της μόνωσής τους και κατά συνέπεια ο συντελεστής θερμοπερατότητας του εκάστοτε δομικού στοιχείου. Εξαιρέση αποτελούν οι πόρτες σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα στις οποίες διαφοροποιείται ο συντελεστής θερμοπερατότητας τους από ζώνη σε ζώνη, με τις διαστάσεις τους να παραμένουν σταθερές. Στα διαφανή δομικά στοιχεία, δηλαδή παράθυρα και μπαλκονόπορτες, επίσης διαφοροποιείται ο συντελεστής θερμοπερατότητας, με τις διαστάσεις τους επίσης να παραμένουν σταθερές.



Εικόνα 3.1α: Κάτοψη Ισογείου.



Εικόνα 3.1β: Κάτοψη Α' ορόφου.

3.2 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων και κτιρίου για κάθε κλιματική ζώνη

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η θερμομονωτική επάρκεια των δομικών στοιχείων και των κτιρίων.

Με βάση τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ. [29] όλοι οι συντελεστές θερμοπερατότητας U των δομικών στοιχείων ενός νεόδμητου κτιρίου πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις του πίνακα 5α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 [30]

Πίνακας 5α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου (πηγή: Κ.Ε.ν.Α.Κ.).[30]

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Ταυτόχρονα, η τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m του υπό εξέταση κτιρίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια του πίνακα 6α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 [30]

Πίνακας 6α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας ενός κτηρίου ανά κλιματική ζώνη συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου (πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.). [30]

Λόγος A/V [m ⁻¹]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U _m [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
≤ 0,2	1,25	1,13	1,04	0,95
0,3	1,17	1,05	0,96	0,88
0,4	1,10	0,99	0,91	0,83
0,5	1,04	0,93	0,86	0,78
0,6	0,98	0,89	0,81	0,73
0,7	0,92	0,83	0,76	0,68
0,8	0,86	0,77	0,71	0,63
0,9	0,80	0,73	0,65	0,59
≥ 1,0	0,77	0,69	0,62	0,55

Ο έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας πραγματοποιείται σε δύο (2) σκέλη.

1. Υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας U για κάθε δομικό στοιχείο και ελέγχεται η αποδεκτικότητα του βάσει του πίνακα 5α.
2. Υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου U_m και ελέγχεται η αποδεκτικότητα του βάσει του πίνακα 6α.

1) Θερμομονωτική επάρκεια δομικών στοιχείων

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου η στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_s + R_a} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (3.1)$$

όπου:

U [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

d [m] το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,

λ [W/(m·K)] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,

R_s [m²·K/W] η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

R_i [m²·K/W] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_a [m²·K/W] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των αδιαφανών δομικών στοιχείων με την επιλεγμένη διαστρωμάτωση και τον υπολογισμό του εκάστοτε συντελεστή θερμοπερατότητας, ενδεικτικά για το κέλυφος της Β' ζώνης (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα):

Πίνακας 3.1: Εξωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Β'.

Εξωτερική τοιχοποιία/Exterior wall					
			Πάχος d (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,040
Εξω	1	Acrylic paint	Ακρυλική μπογιά		
	2	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870
	3	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,070	0,040
	4	Brickwork (18 cm)	Μπατική τοιχοποιία	0,180	0,580
Μέσα	5	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,130
					2,276
			0,290		
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,439
					0,450

Πίνακας 3.2: Δάπεδο κελύφους κλιματικής ζώνης Β'.

Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος/Floor in contact with the ground					
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,000
Εξω	1	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460
	2	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230
	3	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,040	0,040
	4	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500
	5	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400
Μέσα	6	Cement tiles	Κεραμικά πλακίδια	0,010	1,840
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,170
					1,338
			0,272		
		Ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,747
					0,800

Πίνακας 3.3: Οροφή κελύφους κλιματικής ζώνης Β΄.

Οριζόντια οροφή σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον/Horizontal roof in contact with the external environment						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος R _a			0,040	
Εξω	1	Sidewalk slabs	Πλάκες πεζοδρομίου	0,030	1,500	0,020
	2	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400	0,029
	3	Geotextile	Γεωϋφασμα	0,001	0,040	0,025
	4	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230	0,009
	5	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460	0,065
	6	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,090	0,040	2,250
	7	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500	0,060
Μέσα	8	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος R _i			0,100	
				0,363	2,620	U _{max} KENAK
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,382	0,400

Πίνακας 3.4: Εσωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Β΄.

Εσωτερική τοιχοποιία/Interior wall						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
Εξω	1	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023
	2	Brickwork (9 cm)	Δομική τοιχοποιία	0,090	0,450	0,200
Μέσα	3	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023
				0,130		0,246
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)				4,065

Σημειώσεις:

- Οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας λ για κάθε δομικό υλικό ελήφθησαν από τον πίνακα 1. “Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (τιμές σχεδιασμού), ειδικής θερμοχωρητικότητας και συντελεστών αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017.

- Οι τιμές των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος R_a και θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος R_i ελήφθησαν από τον πίνακα 2β. “Τιμές συντελεστών θερμικής μετάβασης και αντιστάσεων θερμικής μετάβασης κατά το ISO 6946, εξειδικευμένες ανά δομικό στοιχείο (πηγή: πρωτότυπος πίνακας, επεξεργασμένος βάσει του ISO 6946)” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017.

- Δεν υπολογίσθηκαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας των υποστυλωμάτων και των περιμετρικών δοκαριών και κατά συνέπεια δεν συμπεριλήφθησαν στον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου.

Αντίστοιχα ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός διαφανούς δομικού στοιχείου, με μονό, διπλό ή τριπλό υαλοπίνακα επί ενιαίου πλαισίου (μονού κουφώματος) προκύπτει από τον τύπο:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \Psi_g}{A_f + A_g} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3.2)$$

όπου:

U_w [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,

U_f [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος,

U_g [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος (μονού, διπλού ή περισσότερων φύλλων),

A_f [m²] το εμβαδόν επιφάνειας του πλαισίου του κουφώματος,

A_g [m²] το εμβαδόν επιφάνειας του υαλοπίνακα του κουφώματος,

l_g [m] το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (το μήκος συναρμογής πλαισίου - υαλοπίνακα, δηλαδή η περίμετρος του υαλοπίνακα),

Ψ_g [W/(m·K)] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των διαφανών δομικών στοιχείων και των πορτών για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας, ενδεικτικά για το κέλυφος της Β' ζώνης (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα):

Πίνακας 3.5: Παράθυρα και μπαλκονόπορτες κελύφους κλιματικής ζώνης Β΄.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΟΡΟΦΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Ag (m ²)	Af (m ²)	Aw (m ²)	Ug (W/m ² K)	Uf (W/m ² K)	lg (m)	Ψg (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Uw,average, παραθ. (W/m ² K)	Uw,average, μπαλκ. (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	2,6	4,5	0,11	2,597	2,593		2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	2,6	4,5	0,11	2,597			2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	2,3	3,5	0,11	2,584			2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	2,1	2,1	0,11	2,592			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3	6,6	0,11	2,590	2,594		2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3	6,6	0,11	2,590			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3	6,5	0,11	2,597			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3	6,5	0,11	2,597			2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	2,6	4,5	0,11	2,597	2,593		2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	2,6	4,5	0,11	2,597			2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	2,3	3,5	0,11	2,584			2,6
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	2,1	2,1	0,11	2,592			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3	6,6	0,11	2,590	2,594		2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3	6,6	0,11	2,590			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3	6,5	0,11	2,597			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3	6,5	0,11	2,597			2,6
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3	6,5	0,11	2,597			2,6

Πίνακας 3.6: Πόρτες κελύφους κλιματικής ζώνης Β΄.

ΤΥΠΟΣ ΑΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΟΡΟΦΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Af (m ²)	Aw (m ²)	Uf (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΔΥΤΙΚΑ	2	0,9	1,8	1,8	2,58	2,580	2,6
ΠΟΡΤΑ	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	2,15	0,9	1,935	1,935	2,58	2,580	2,6

Σημειώσεις:

- Οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος U_g για τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες, ελήφθησαν από τον πίνακα 9. “Τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας υαλοπινάκων (πηγή: EN ISO 10077-1)” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, για διπλή υάλωση, υαλοπίνακα με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου, συντελεστή εκπομπής $\leq 0,10$, διαστάσεων 4-8-4 mm, και τύπο αερίου στο διάκενο των υαλοπινάκων: αέρα.

- Οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος U_f , για τα παράθυρα, τις μπαλκονόπορτες και τις πόρτες, ελήφθησαν από τον πίνακα 10. “Τυπικές τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας πλαισίου (πηγή: EN ISO 10077-1)” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, για μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή.

- Το πλάτος του πλαισίου είναι 10 cm. Με βάση αυτό υπολογίζεται το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος l_g .

- Οι τιμές του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος Ψ_g , για τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες, ελήφθησαν από τον πίνακα 11α. “Τυπικές τιμές γραμμικής θερμοπερατότητας Ψ_g στη συναρμογή πλαισίου - υαλοπίνακα για συνήθεις τύπους αποστάτη. (Πηγή: EN ISO 10077-1)” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, για για μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή και διπλή υάλωση με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου.

- Υπολογίσθηκαν οι μέσοι όροι των συντελεστών θερμοπερατότητας για τα παράθυρα και τις μπαλκονόπορτες αντίστοιχα. Αυτό συνέβη ώστε μετέπειτα στην μοντελοποίηση να δοθεί η ίδια τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας (μέσος όρος) για κάθε παράθυρο και όχι η επιμέρους, διευκολύνοντας έτσι την μοντελοποίηση. Το ίδιο ισχύει και για τις μπαλκονόπορτες.

- Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας για τις πόρτες U_w , έγινε μέσω της σχέσης 3.2 θέτοντας όπου U_g , A_g , l_g και Ψ_g το μηδέν (0). Άρα προκύπτει ότι $U_w = U_f$ και οι τιμές λαμβάνονται κατευθείαν από τον πίνακα 10. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017.

Σε κάθε περίπτωση ισχύει:

$$U_{\xi\epsilon\tau\alpha\zeta} \leq U_{\max} \quad (3.3)$$

Όπου:

$U_{\xi\epsilon\tau\alpha\zeta}$ ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου όπως υπολογίσθηκε από τις σχέσεις 3.1 και 3.2

U_{\max} η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για το δομικό στοιχείο βάσει του προαναφερθέντος πίνακα 5α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017.

2) Θερμομονωτική επάρκεια κτιρίου

Εφόσον κάθε δομικό στοιχείο ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πίνακα 5α, θα πρέπει και το κτίριο στο σύνολό του να μην υπερβαίνει τα όρια που θέτει ο κανονισμός για κάθε κτήριο όσον αφορά τη μέση τιμή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου κτηρίου (U_m). Στη γενική του έκφραση ο υπολογισμός του U_m προκύπτει από τον τύπο:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b_j + \sum_{i=1}^v l_i \cdot \Psi_i \cdot b_{\theta\gamma}}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (3.4)$$

όπου:

U_m [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους όλου του κτηρίου,

n [-] το πλήθος των επί μέρους δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτηρίου,

v [-] το πλήθος των θερμογεφυρών που αναπτύσσονται στα εξωτερικά ή εσωτερικά όρια κάθε επιφάνειας A_j του κελύφους,

A_j [m^2] το εμβαδόν επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στη συνολική επιφάνεια του κελύφους του κτηρίου,

U_m [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου j του κελύφους του κτηρίου,

l_j [m] το συνολικό μήκος του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,

Ψ_j [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του κάθε τύπου θερμογέφυρας που αναπτύσσεται στο περίβλημα του κτηρίου,

b_j [-] μειωτικός συντελεστής,

$b_{\theta\gamma}$ [-] μειωτικός συντελεστής του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας (Ψ) σε κάθε θέση θερμογέφυρας.

Σημειώσεις:

- Ο μειωτικός συντελεστής b_j , λαμβάνεται ίσος με ένα (1) για επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και για επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος, βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017.

- Ο όρος $\sum_{i=1}^v l_i \cdot \Psi_i \cdot b_{\theta\gamma}$ για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών λαμβάνεται στο 10% του όρου $\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b_j$ για κάθε κέλυφος της κάθε κλιματικής ζώνης, κατόπιν απλοποίησης.

- Οι συντελεστές U_m για κάθε κέλυφος της κάθε κλιματικής ζώνης, υπολογίζονται όσον πιο κοντά γίνεται στο 7,4% κάτω από το αντίστοιχο όριο $U_{m,\max}$ του πίνακα 6α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017. Αυτό συμβαίνει ώστε όλα τα κελύφη των κλιματικών ζωνών να έχουν την ίδια περίπου ενεργειακή κατανάλωση.

Για τον υπολογισμό του U_m του κτιρίου κατασκευάζονται αρχικά πίνακες υπολογισμού του γινομένου $A_j \cdot U_j$ για κάθε προσανατολισμό. Ενδεικτικά παρατίθενται οι προσανατολισμοί για το κέλυφος της Β' κλιματικής ζώνης (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα):

Πίνακας 3.7: Υπολογισμός του γινομένου $A_j \cdot U_j$ για κάθε προσανατολισμό του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β'.

ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m2K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,439	7,90	5,49	43,34	13,20	30,14	13,242
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,590	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	8,546
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,590	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	8,546
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,590	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	8,546
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,590	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	8,546
ΣΥΝΟΛΟ							47,426

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m2K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,439	12,40	5,49	68,03	19,14	48,89	21,478
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,597	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,285
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,597	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,285
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,597	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,285
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,597	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,285
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,597	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,285
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,597	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,285
ΣΥΝΟΛΟ							71,188

ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m2K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,439	7,90	5,49	43,34	11,11	32,24	14,162
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,597	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,519
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,597	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,519
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,584	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	2,855
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,597	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,519
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,597	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,519
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,584	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	2,855
ΠΟΡΤΑ	2,580	0,90	2,15	1,94	0,00	1,94	4,992
ΣΥΝΟΛΟ							42,940

ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m2K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,439	12,40	5,49	68,03	2,85	65,18	28,635
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,592	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,361
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,592	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,361
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	2,580	0,90	2,00	1,80	0,00	1,80	4,644
ΣΥΝΟΛΟ							36,001

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τις σημαντικότερες επιφάνειες του κελύφους της Β' κλιματικής ζώνης, μαζί με τον όγκο της οικοδομής, για τον υπολογισμό του λόγου A/V της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτηρίου προς τον όγκο του σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου, και κατά συνέπεια της εύρεσης της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας $U_{m,max}$ (από πίνακα 6α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017). Για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα.

Πίνακας 3.8: Υπολογισμός του λόγου A/V του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β'.

1	Επιφάνεια εξωτερικών τοίχων F_w	176,45	m^2
2	Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα – πόρτες) F_F	46,30	m^2
3	Επιφάνεια οροφής F_D	94,61	m^2
4	Επιφάνεια δαπέδου ισογείου ή οροφή υπογείου F_G	94,61	m^2
5	Επιφάνεια οροφής ΠΥΛΩΤΗΣ F_{DL}	-	m^2
6	Επιφάνεια τοίχων διαχωρισμού F_{AB}	-	m^2
7	Ολική εξωτερική επιφάνεια οικοδομής	411,97	m^2
8	Όγκος οικοδομής	519,07	m^3
9	Λόγος F/V	0,794	m^{-1}
	U_m, max	0,770	W/m^2K

Τέλος, βάσει των πινάκων 3.7 και 3.8 παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας για τον υπολογισμό του U_m του κελύφους της Β' κλιματικής ζώνης (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα):

Πίνακας 3.9: Υπολογισμός του U_m του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β'.

Είδος	ΣΑ (m^2)	Σ($b*U*A$), Σ($b*\Psi*I$) (W/K)		
Κατακόρυφα Αδιαφανή ΔΣ	180,19	87,153		
Οροφή	94,61	36,104		
Δάπεδο	94,61	35,006		
Διαφανή ΔΣ	42,56	110,402		
Θερμογέφυρες	-	26,866		
Σύνολα	411,96784	295,531		
U_m (W/m^2K)		0,717	Αποδεκτός U_m κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ	Διαφορά % από το U_m, max
			ΝΑΙ	-6,84%

Σημειώσεις:

- Οι θερμογέφυρες, όπως προαναφέρθηκε, λαμβάνονται στο 10% του αθροίσματος των υπολοίπων.
- Σύμφωνα με την παράγραφο 2.1.6 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017 στον υπολογισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m , δεν υπεισέρχεται ο ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U του δαπέδου (πιν. 3.2), αλλά γίνεται χρήση του ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας U' του δαπέδου, ο οποίος όταν πρόκειται για οριζόντιο δομικό στοιχείο υπολογίζεται συναρτήσει:
 - του ονομαστικού συντελεστή θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου,
 - του βάθους έδρασης z του δομικού στοιχείου και
 - της χαρακτηριστικής διάστασης της πλάκας (B').

Η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας, B' (σε m) ορίζεται το διπλάσιο του λόγου του εμβαδού της πλάκας, A (σε m^2) προς την εκτεθειμένη περίμετρό της, Π (σε m):

$$B' = 2 \cdot \frac{A}{\pi} \quad [\text{m}] \quad (3.5)$$

Για το κέλυφος της Β' κλιματικής ζώνης η χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας, Β' είναι: $B' = 2 \cdot \frac{94,61}{40,6} \rightarrow B' = 4,661 \text{ m}$. (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα).

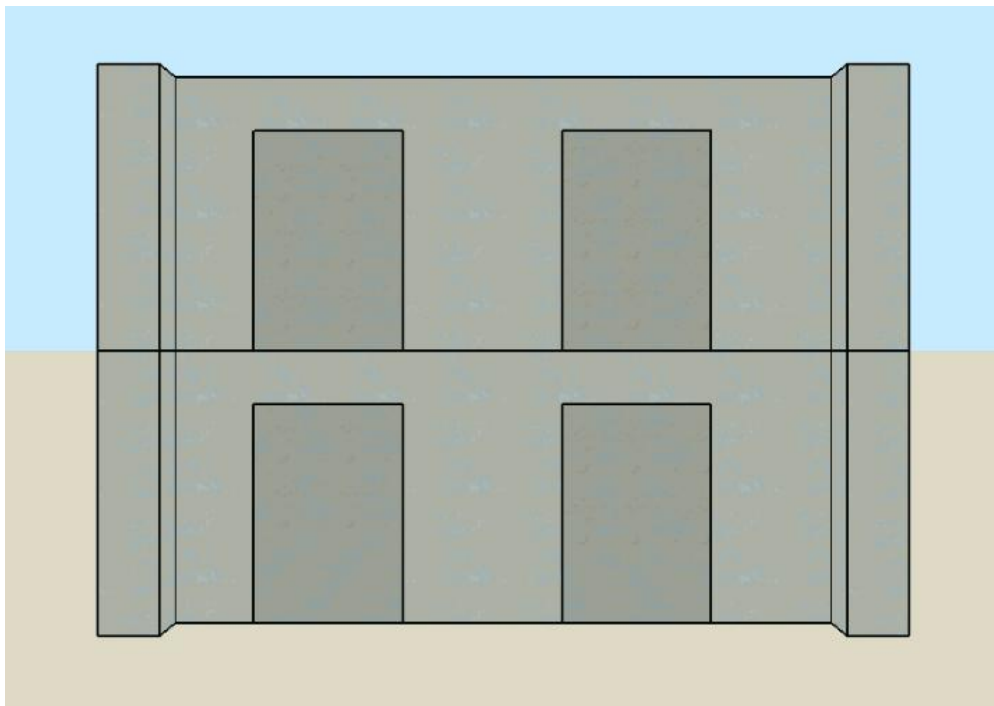
Οπότε με βάση τον πίνακα 8α “Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας οριζόντιου δομικού στοιχείου (πλάκας) σε επαφή με το έδαφος U' [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, ο ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' του δαπέδου είναι $U'=0,37 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Τέλος, ισχύει ότι $U_m \leq U_{m,\max}$, άρα το κέλυφος της Β' κλιματικής ζώνης είναι θερμομονωτικά επαρκές. Με την ίδια μεθοδολογία καθίστανται όλα τα υπόλοιπα κελύφη θερμομονωτικά επαρκή, 7,4% κάτω περίπου από το αντίστοιχο όριο του Κ.ΕΝ.Α.Κ. (βλέπε παράρτημα).

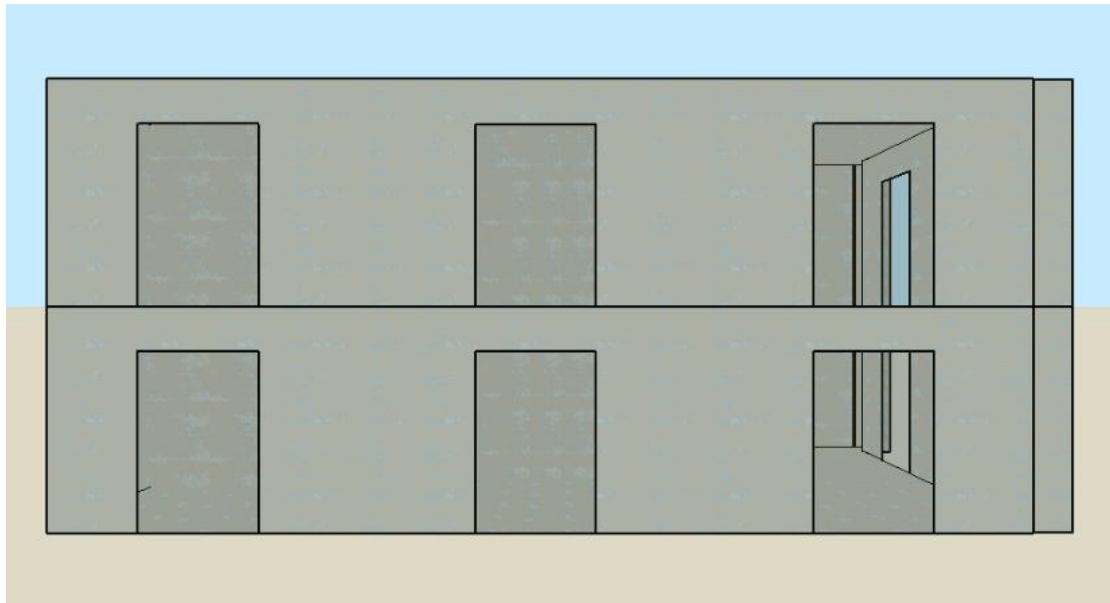
3.3 Σχεδιασμός κτιριακού κελύφους και δεδομένα εισαγωγής στο *DesignBuilder*

Τα κελύφη σχεδιάστηκαν σε περιβάλλον SketchUp με τη βοήθεια του OpenStudio SketchUp Plug-In και ύστερα εισήχθησαν στο OpenStudio. Εκεί, προσδιορίστηκε κάθε ένας από τους δώδεκα (12) χώρους του κτιρίου, ως ξεχωριστός χώρος (space), ξεχωριστός τύπος χώρου (space type) και ξεχωριστή θερμική ζώνη (thermal zone).

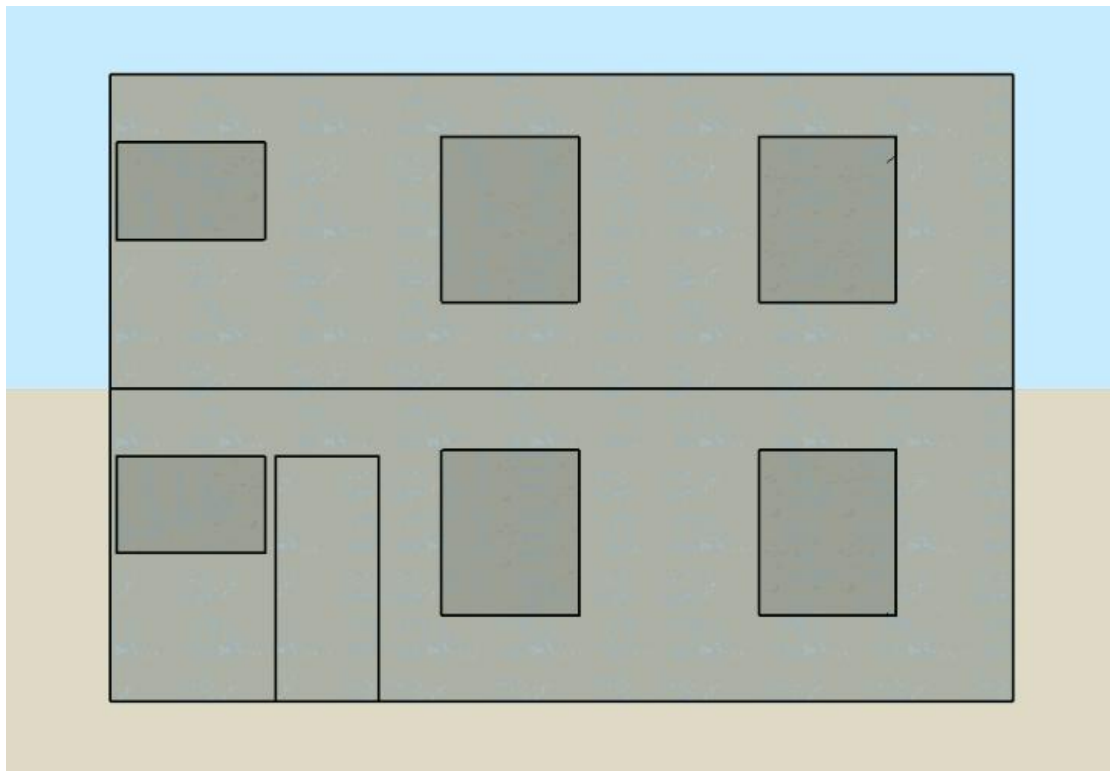
Το αρχείο του κελύφους εισέρχεται στο DesignBuilder για την μοντελοποίηση των απαραίτητων παραμέτρων.



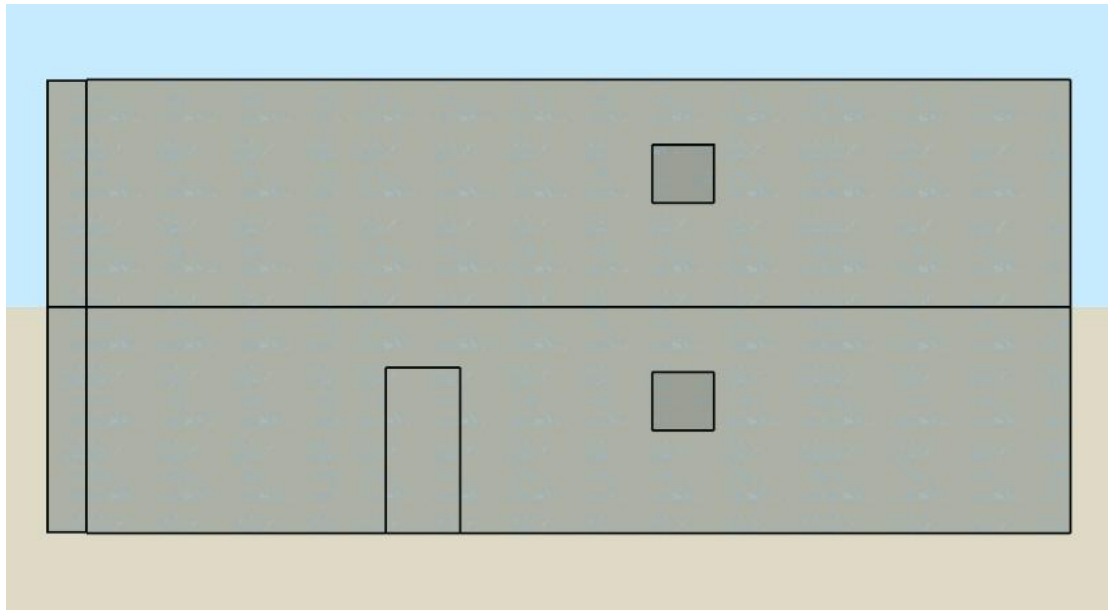
Εικόνα 3.2: Βόρεια όψη κτιρίου σε περιβάλλον DesignBuilder.



Εικόνα 3.3: Ανατολική όψη κτιρίου σε περιβάλλον DesignBuilder.

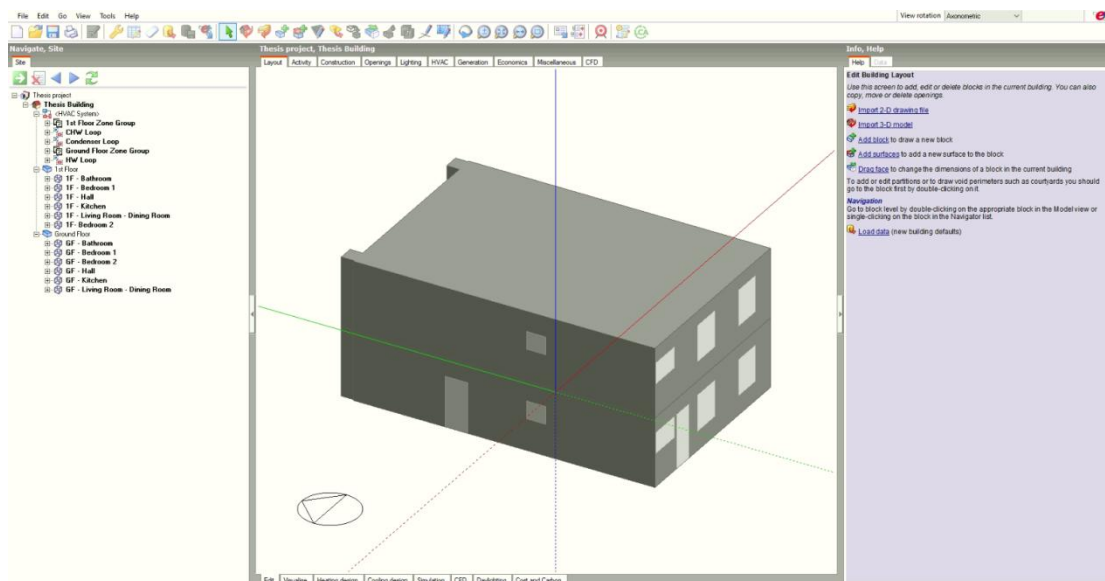


Εικόνα 3.4: Νότια όψη κτιρίου σε περιβάλλον DesignBuilder.



Εικόνα 3.5: Δυτική όψη κτιρίου σε περιβάλλον DesignBuilder.

Στο περιβάλλον σχεδίασης του DesignBuilder υπάρχει ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με το βέλος προσανατολισμού, στο πάνω μέρος της οθόνης βρίσκεται η μπάρα των εργαλείων, στο αριστερό μέρος η στήλη πλοήγησης που δείχνει σε ποιο επίπεδο και σε ποια θερμική ζώνη βρίσκεται ο χρήστης και στο δεξιό τμήμα η στήλη πληροφοριών και η στήλη βοήθειας.

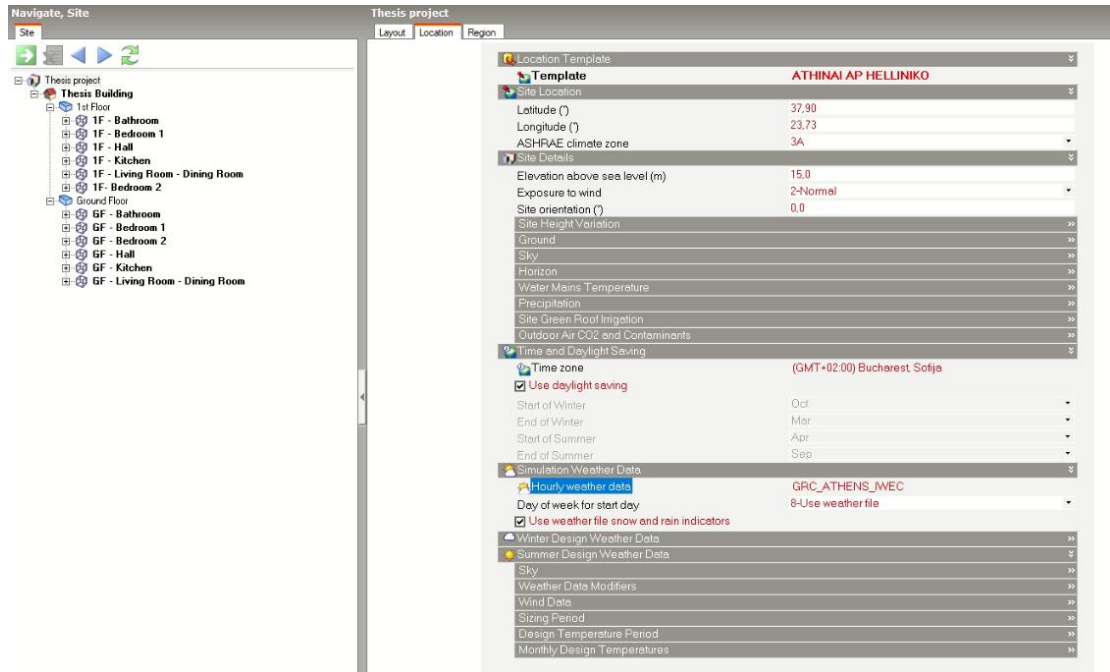


Εικόνα 3.6: Περιβάλλον σχεδίασης DesignBuilder.

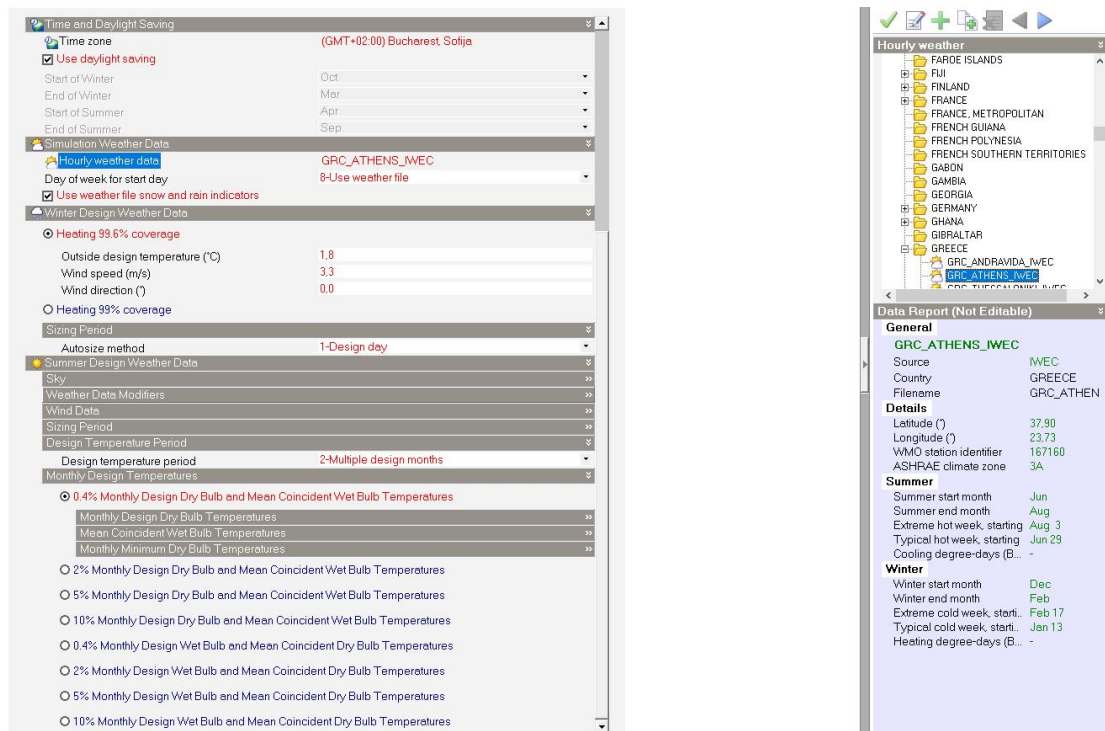
Αριστερά στη στήλη πλοήγησης διακρίνονται οι δώδεκα (12) θερμικές ζώνες. Το ισόγειο έχει έξι (6) θερμικές ζώνες: GF - Living Room-Dining Room, GF - Hall, GF - Bedroom 1, GF - Bathroom, GF - Bedroom 2 και GF - Kitchen. Ο Α΄ όροφος έχει και αυτός έξι (6) θερμικές ζώνες: 1F - Living Room-Dining Room, 1F - Hall, 1F - Bedroom 1, 1F - Bathroom, 1F - Bedroom 2 και 1F - Kitchen.

Η εισαγωγή των υπολοίπων παραμέτρων της μοντελοποίησης ξεκινάει από τη πρώτη γραμμή της στήλης πλοήγησης, το επίπεδο τοποθεσίας (site level), στην οποία

καταχωρούνται τα δεδομένα τοποθεσίας (site data). Τα δεδομένα τοποθεσίας αντιπροσωπεύουν πληροφορίες σχετικά με τον τοποθεσία, συμπεριλαμβανομένης της θέσης του, των συνθηκών του εδάφους, τις καιρικές συνθήκες, τη νομοθετική περιοχή και τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές U για τα νέα κτίρια. Κάνοντας κλικ στη καρτέλα “Location” καταχωρούνται δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία. Στις εικόνες 3.7 και 3.8 φαίνονται τα δεδομένα σχετικά με την κλιματική ζώνη Β’.



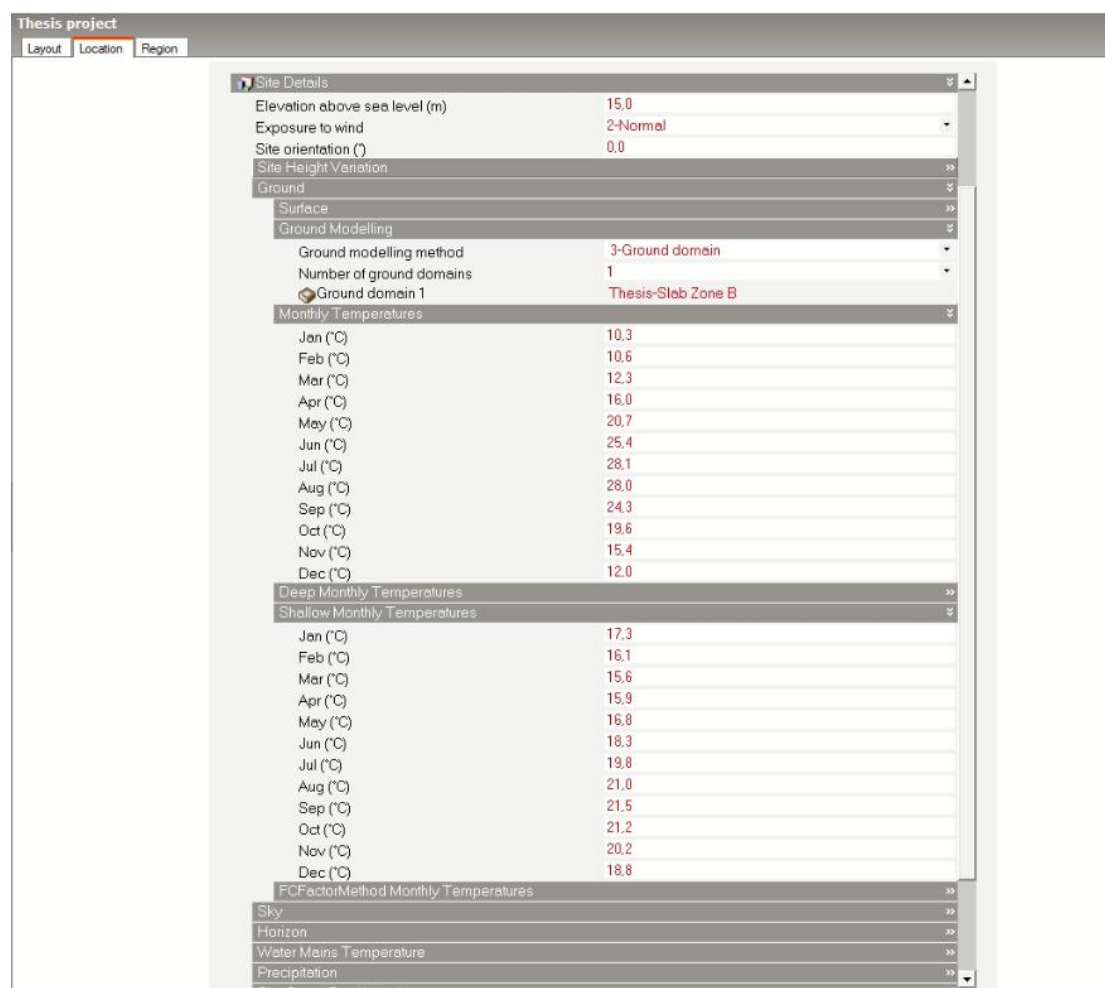
Εικόνα 3.7: Δεδομένα καρτέλας “Location” για την κλιματική ζώνη Β’.



Εικόνα 3.8: Δεδομένα καρτέλας “Location” για την κλιματική ζώνη Β’ (συνέχεια).

Επιλέγοντας το template “ATHINAI AP HELLINIKO” συμπληρώνονται όλες οι υπόλοιπες γραμμές, βάσει των δεδομένων της βιβλιοθήκης του DesignBuilder για το Ελληνικό. Σημειώνεται ότι συμπληρώνεται επίσης η γραμμή εισαγωγής δεδομένων καιρού - Simulation Weather Data (Εικ. 3.8) με ένα αρχείο κατάληξης “.erw” στο οποίο παρέχονται τα απαραίτητα δεδομένα καιρού, για την προσομοίωση.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να μοντελοποιηθούν οι ιδιότητες του εδάφους. Αυτό πραγματοποιείται στην γραμμή “Ground” της γραμμής “Site details”.



Εικόνα 3.9: Δεδομένα γραμμής “Ground” για την κλιματική ζώνη Β’.

Αρχικά καταχωρούνται οι ρηχές θερμοκρασίες εδάφους (Shallow Monthly Temperatures), οι οποίες αναφέρονται σε βάθος 2m, όπου και θα εγκατασταθεί ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης (θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια). Καθώς δεν υπάρχουν πραγματικές μετρήσεις, για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών, χρησιμοποιείται η μαθηματική σχέση του Labs από την T.O.T.E.E. 20701-3/2010 [32], η οποία είναι η εξής:

$$T(z, t) = T_m - A_s \exp \left[-z \left(\frac{\pi}{365 \cdot \alpha} \right)^{1/2} \right] \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \left(\frac{365}{\pi \cdot \alpha} \right)^{1/2} \right) \right] \quad (3.6)$$

όπου:

$T(z, t)$ (°C) η θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος z ,

z (m) το βάθος,
 t [Ημέρα του έτους (1-365 ή 366)] ο χρόνος στον οποίο υπολογίζεται η θερμοκρασία $T(z,t)$,
 T_m (°C) η μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας εδάφους,
 A_s (°C) το πλάτος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους,
 α ($\text{m}^2 \cdot \text{ημέρα}^{-1}$) ο συντελεστής θερμικής διάχυσης του εδάφους,
 t_0 [Ημέρα (1-365 ή 366)] η ημέρα του έτους κατά την οποία η θερμοκρασία επιφανείας του εδάφους λαμβάνει τη χαμηλότερη τιμή της.

Με βάσει τις παρατηρήσεις της T.O.T.E.E. 20701-3/2010 επί της σχέσης του Labs, υπολογίζονται όλες οι σταθερές παράμετροι της εξίσωσης ενδεικτικά για την Β' κλιματική ζώνη (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα):

- $T_m = 18,56$ °C
- $A_s = 7,17$ °C
- $t_0 = 30$
- $\alpha = 0,0454$ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- $z = 2$ m (ορίζεται)

Οι τιμές Shallow Monthly Temperatures για κάθε μήνα, της εικόνα 3.9, είναι ο μέσος όρος των ημερήσιων τιμών του κάθε μήνα που υπολογίζονται από την σχέση του Labs.

Σημειώνεται ότι για τον συντελεστή θερμικής διάχυσης του εδάφους α ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) χρησιμοποιήθηκε η σχέση (5.2) της T.O.T.E.E. 20701-3/2010, η οποία είναι η εξής:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (3.7)$$

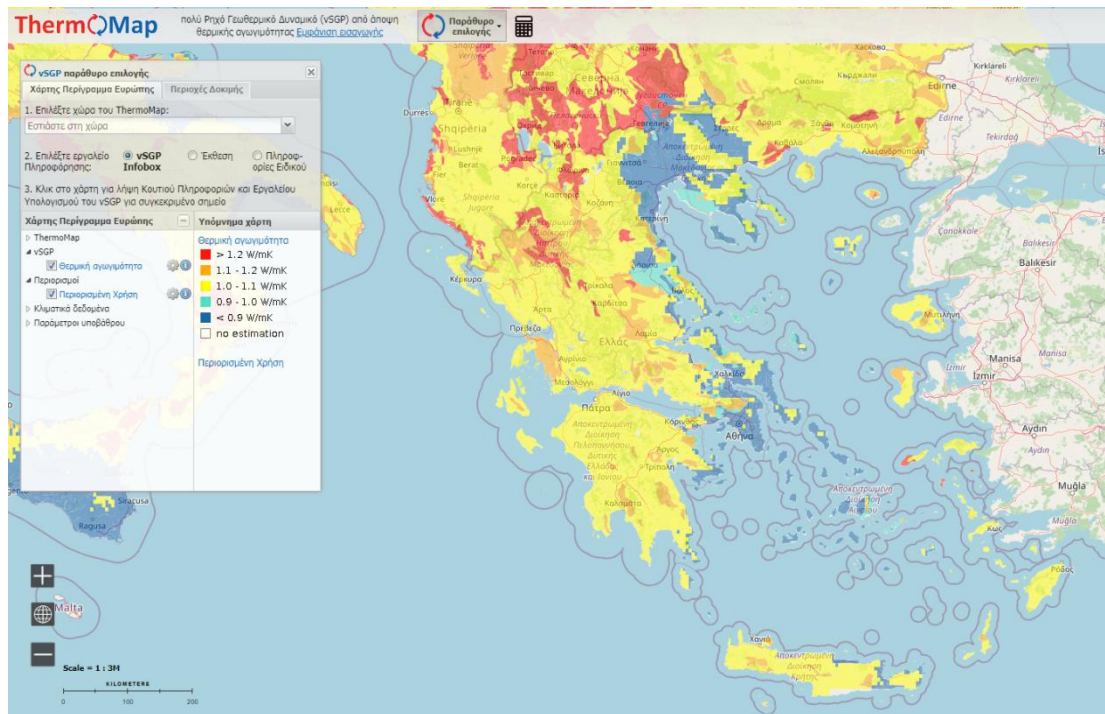
όπου:

k ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους,

ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) η πυκνότητα του εδάφους,

c_p ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ο συντελεστής ειδικής θερμότητας υπό σταθερή πίεση του εδάφους.

Οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους, της πυκνότητας του εδάφους και του συντελεστή ειδικής θερμότητας υπό σταθερή πίεση του εδάφους, λαμβάνονται από την ιστοσελίδα του ευρωπαϊκού προγράμματος Thermomap [33]. Οι τιμές αυτές για την κλιματική ζώνη Β' και στην περιοχή του Ελληνικού είναι οι εξής (για τις υπόλοιπες βλέπε παράρτημα): $k = 0,83$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $\rho = 1300$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ και $c_p = 1215,18$ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Άρα από την σχέση 3.7 προκύπτει ότι $\alpha = 0,0454$ $\text{m}^2 \cdot \text{ημέρα}^{-1}$. Το Thermomap παρέχει μία έγκυρη βάση δεδομένων, καθώς και εργαλεία υπολογισμού, σχετικά με το ρηχό γεωθερμικό δυναμικό των ευρωπαϊκών χωρών (βάθους έως 10 m από την επιφάνεια του εδάφους).



Εικόνα 3.10: Thermommap - χάρτης πολύ Ρηχού Γεωθερμικού Δυναμικού (vSGP) από άποψη θερμικής αγωγιμότητας [33].

Οι τιμές Monthly Temperatures της εικόνας 3.9 είναι οι θερμοκρασίες της επιφάνειας του εδάφους και καταχωρούνται προσεγγιστικά από τον πίνακα 3.1 “Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου [°C]” της T.O.T.E.E. 20701-3/2010 για “Αθήνα (Ελληνικό)” (αντίστοιχα τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες).

Πατώντας την επιλογή “Ground domain 1” δίνεται η δυνατότητα να προσδιορισθούν οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους στην υποκαρτέλα “Soil”. Εκεί καταχωρούνται οι τιμές για τη θερμική αγωγιμότητα, την πυκνότητα και τον συντελεστή ειδικής θερμότητας του εδάφους όπως προαναφέρθηκαν (Εικ. 3.11) (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα).

Edit material - Thesis Soil - Zone B (Hellinikon)	
Materials	
General Surface properties Green roof Embodied carbon Phase change Cost	
General	
Name	Thesis Soil - Zone B (Hellinikon)
Description	
Source	Thermommap.eu
Category	Sands, stones and soils
Region	GREECE
Material Layer Thickness	
<input type="checkbox"/> Force thickness	
Thermal Properties	
Detailed properties	
Thermal Bulk Properties	
Conductivity (W/m-K)	0.8300
Specific Heat (J/kg-K)	1215.38
Density (kg/m3)	1300.00
Resistance (R-value)	
Vapour Resistance	>>
Moisture Transfer	>>

Εικόνα 3.11: Θερμικές ιδιότητες του εδάφους κλιματικής ζώνης Β’ (Ελληνικό)

Επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία της δεύτερης γραμμής της στήλης πλοήγησης, που είναι τα δεδομένα μοντέλου κτιρίου (Building Model Data). Οι καρτέλες στις οποίες επεξεργάζονται τα δεδομένα του μοντέλου του κτιρίου είναι οι εξής:

- Activity (Δραστηριότητα)
- Construction (Κατασκευή)
- Openings (Ανοίγματα)
- Lighting (Φωτισμός)
- HVAC (Συστήματα θέρμανσης - αερισμού - κλιματισμού)
- Generation (Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας)
- Miscellaneous (Διάφορα)
- CFD (Υπολογιστική ρευστοδυναμική)

Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες δεδομένων έχει προεπιλεγμένο πρότυπο (template) στην κορυφή της καρτέλας που επιτρέπει τη γρήγορη φόρτωση των δεδομένων.

Καρτέλα Activity (Δραστηριότητα)

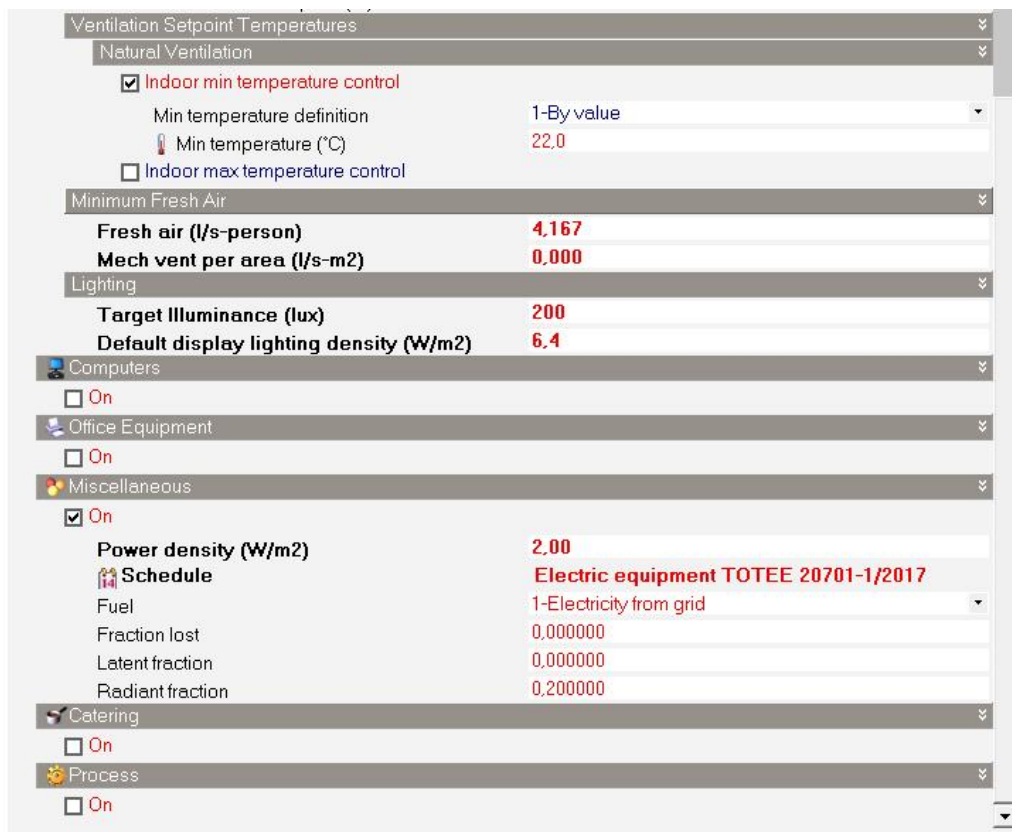
Στη συγκεκριμένη καρτέλα καθορίζεται η δραστηριότητα (χρήση) των ζωνών. Μπορούν να συμπεριληφθούν πληροφορίες σχετικά με τα εξής:

- Τύπος ζώνης, μόνο σε επίπεδο μπλοκ και ζώνης (Zone Type)
- Πολλαπλασιαστής ζώνης (Zone Multiplier)
- Συμπερίληψη ζώνης (Include zone)
- Επιφάνειες και όγκοι ορόφων (Floor Areas and Volumes)
- Πληρότητα (Occupancy)
- Παραγωγή και απομάκρυνση ρύπων (Contaminant Generation and Removal)
- Διακοπές, μόνο σε επίπεδο του κτιρίου (Holidays)
- Περιβαλλοντικός έλεγχος (Environmental control)
- Ζεστό νερό χρήσης (ZNX) (Domestic Hot Water (DHW))
- Θερμικά κέρδη υπολογιστών (Computer gains)
- Θερμικά κέρδη εξοπλισμού γραφείου (Office equipment gains)
- Διάφορα θερμικά κέρδη (Miscellaneous gains)
- Θερμικά κέρδη από εστίαση (Catering gains)
- Θερμικά κέρδη διεργασιών (Process gains)

Για λόγους ευκολίας, τα δεδομένα αυτά φορτώνονται συνήθως από ένα προκαθορισμένο activity template. Στη συγκεκριμένη διπλωματική, έγινε ένα αντίγραφο του template κατά ASHRAE με τίτλο “Residential - Dwelling unit (with kitchen)” και ονομάστηκε “Thesis - Building”. Αυτό συνέβη πατώντας κλικ στο “Activity Template” στη συνέχεια κλικ στις τρεις τελείες (⋮) στο “Template” και μετά στον φάκελο “ASHRAE”. Όλες οι παρακάτω τιμές του template παραμένουν ίδιες για όλες τις κλιματικές ζώνες.

Activity Template	
Template	Thesis - Building
Sector	General
Zone multiplier	1
<input checked="" type="checkbox"/> Include zone in thermal calculations	
<input checked="" type="checkbox"/> Include zone in Radiance daylighting calculations	
Floor Areas and Volumes	
Occupancy	
<input checked="" type="checkbox"/> Occupied?	
Occupancy density (people/m2)	0,0500
Schedule	Occupancy TOTEE 20701-1/2017
Metabolic	
Activity	Activity TOTEE 20701-1/2017
Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75)	1,00
CO2 generation rate (m3/s-W)	0,0000000382
Clothing	
Clothing schedule definition	1-Generic summer and winter clothing
Winter clothing (clo)	1,00
Summer clothing (clo)	0,50
Comfort Radiant Temperature Weighting	
Calculation type	1-Zone averaged
Air Velocity	
Air velocity schedule	Default Air Velocity for Comfort Calculations
Contaminant Generation and Removal	
<input type="checkbox"/> Contaminant generation/removal	
Holidays	
<input checked="" type="checkbox"/> Holidays	
Holidays per year	5
Holiday schedule	General holidays
DHW	
Consumption rate (l/m2-day)	0,000
Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	20,0
Heating set back (°C)	13,0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	26,0
Cooling set back (°C)	32,0
Humidity Control	
RH Humidification setpoint (%)	10,0
RH Dehumidification setpoint (%)	90,0
Ventilation Setpoint Temperatures	

Εικόνα 3.12: Καρτέλα “Activity”.



Εικόνα 3.13: Καρτέλα “Activity” (συνέχεια).

Όμως στο template “Thesis - Building” έχουν γίνει αλλαγές σε σχέση με το αντίστοιχο κατά ASHRAE, με στόχο να συμβαδίζει με τον Κ.Ε.Ν.Α.Κ. και τις αντίστοιχες τεχνικές οδηγίες του Τ.Ε.Ε. Αυτές οι αλλαγές είναι οι εξής:

- Στην πληρότητα των ατόμων (Occupancy) έχει δοθεί η τιμή $0,05 \text{ people/m}^2$, βάσει του πίνακα 2.3 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [31], για “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)”. Το χρονοδιάγραμμα (schedule) ορίστηκε με βάση το τυπικό ωράριο λειτουργίας μονοκατοικίας (πίνακας 2.1 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, για “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)”, δηλαδή για 18 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα, 12 μήνες τον χρόνο.

- Στο πεδίο “Activity” της γραμμής “Metabolic” ορίστηκε στα 80 Watt/person , από τον πίνακα 2.7 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, για “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)”.

- Στο πεδίο “Minimum Fresh Air” της γραμμής “Environmental Control”, δόθηκε η τιμή $4,167 \text{ l/s-person}$ στον φρέσκο αέρα (Fresh air), βάσει του πίνακα 2.3 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, στήλη “Νωπός αέρας” για “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)” ($15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{άτομο} = 4,167 \text{ l/s}/\text{άτομο}$).

- Στο πεδίο “Lighting” της γραμμής “Environmental Control”, δόθηκε η τιμή 200 lux για τιμή στόχου έντασης φωτισμού (target illuminance), από τον πίνακα 2.4 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, για “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)”. Στην προεπιλεγμένη πυκνότητα ισχύος (Default Display Lighting Density) δόθηκε η τιμή $6,4 \text{ W/m}^2$, από τον πίνακα 2.4α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017,

για 200 lx “Στάθμη φωτισμού” και για “Ισχύς για κτήριο αναφοράς” καθώς στη σελίδα 43 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 αναφέρεται ότι “Η εγκατεστημένη ισχύς των φωτιστικών (πίνακας 2.4) λαμβάνεται η ίδια τόσο για τα το κτήριο αναφοράς όσο και για το υπό μελέτη/επιθεώρηση κτήριο”.

- Στο πεδίο “Miscellaneous” (Διάφορα θερμικά κέρδη) ορίστηκε ως ισχύς ανά επιφάνεια (Power density) η τιμή 2 W/m², βάσει του πίνακα 2.8 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, στήλη “Ετεροχρον. ισχύς εξοπλ.” για “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)”. Το προφίλ χρήσης (schedule) ορίστηκε σταθερό με τιμή 0,75 (75% της τιμής ισχύος ανά επιφάνεια) για όλες τις ώρες της ημέρας και για όλες της ημέρες του χρόνου βάσει και πάλι του πίνακα 2.8 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 “Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)”.

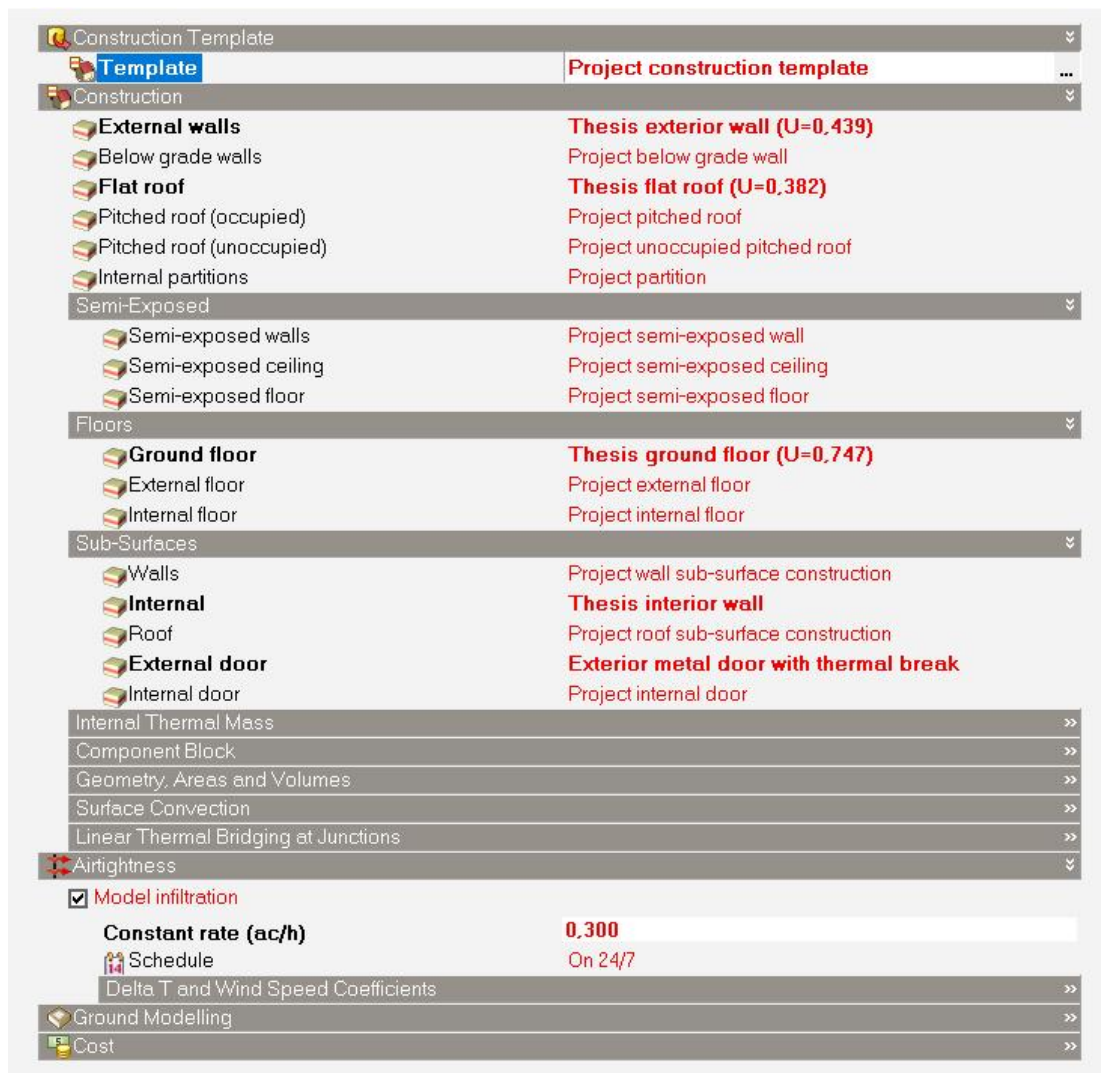
Καρτέλα Construction (Κατασκευή)

Σε αυτή τη καρτέλα το DesignBuilder χρησιμοποιεί τα κατασκευαστικά στοιχεία για να μοντελοποιήσει την μετάδοση θερμότητας μέσω των τοιχοποιιών, των οροφών, του εδάφους και άλλων αδιαφανών στοιχείων του κελύφους. Τα κατασκευαστικά στοιχεία μπορούν να οριστούν στην καρτέλα δεδομένων του μοντέλου “Constructions” για να καθορίσουν τις θερμοφυσικές και οπτικές ιδιότητες των διαφόρων εσωτερικών και εξωτερικών στοιχείων του κτιρίου, αλλά και των υλικών από τα οποία αποτελούνται. Από την καρτέλα δεδομένων “Constructions”, δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα σχετικά με:

- Κατασκευή (Construction)
- Αεροστεγανότητα (Airtightness)
- Κόστος κατασκευής (Construction Cost)

Στο πεδίο “Construction” είναι δυνατή η επεξεργασία των θερμοφυσικών και οπτικών ιδιοτήτων κάθε είδους αδιαφανούς δομικού στοιχείου, καθώς και των δομικών υλικών αυτού.

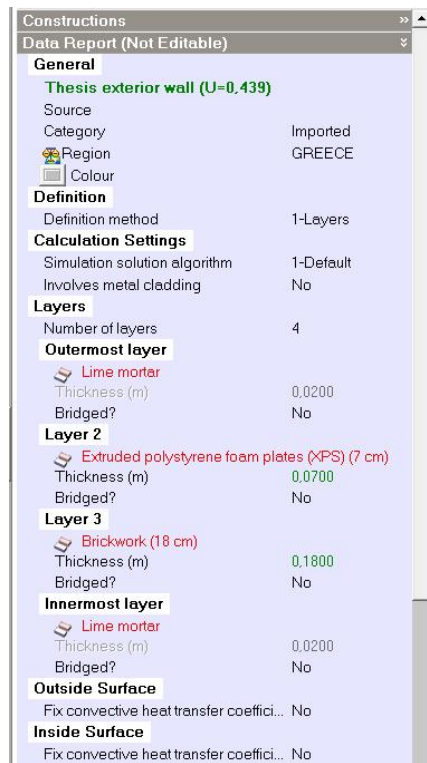
Στην εικόνα 3.14 παρουσιάζονται οι καταχωρήσεις που έγιναν, ενδεικτικά για το κέλυφος της κλιματικής ζώνης Β΄.



Εικόνα 3.14: Καρτέλα “Construction” για την κλιματική ζώνη Β’.

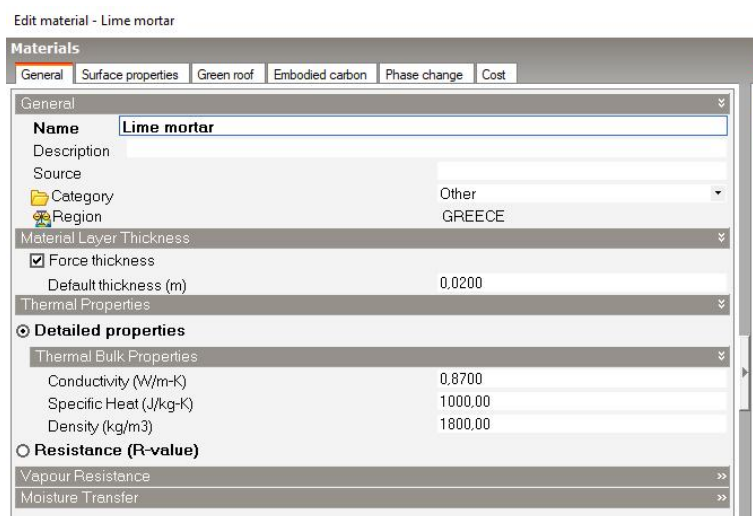
Στη καρτέλα “Construction” χρησιμοποιείται το προεπιλεγμένο construction template. Οι αλλαγές που γίνονται είναι οι εξής:

1) Ως εξωτερική τοιχοποιία (External walls) καταχωρείται η τοιχοποιία της Β’ κλιματικής ζώνης όπως ορίστηκε στο κεφάλαιο 3.2 (πίν. 3.1) με συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0,439 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.



Εικόνα 3.15: Διαστρωμάτωση εξωτερικής τοιχοποιίας κελύφους κλιματικής ζώνης Β', όπως εμφανίζεται στη στήλη πληροφοριών και βοήθειας.

Σημείωση: Όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε δομικό στοιχείο (παρατέθηκαν στο κεφάλαιο 3.2 για τη Β' κλιματική ζώνη και στο παράρτημα για τις υπόλοιπες ζώνες), δημιουργήθηκαν ξεχωριστά στη βιβλιοθήκη του DesignBuilder. Στα δομικά υλικά, οι τιμές για θερμική αγωγιμότητα (conductivity), ειδική θερμοχωρητικότητα (specific heat) και πυκνότητα (density) ελήφθησαν από τον Πίνακα 1. “Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (τιμές σχεδιασμού), ειδικής θερμοχωρητικότητας και συντελεστών αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών.” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017. Για παράδειγμα, πατώντας πάνω στο “Lime mortar” (Ασβεστοκονίαμα) της εικόνας 3.15 εμφανίζονται οι προαναφερθείσες τιμές (Εικ. 3.16).



Εικόνα. 3.16: Θερμοφυσικά δεδομένα ασβεστοκονιάματος.

Π) Με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στο Ι) για την εξωτερική τοιχοποιία, καταχωρήθηκε η οριζόντια οροφή (flat roof) με τα δεδομένα του πίνακα 3.3 (κεφ. 3.2) και συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0,382 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Όμοια το δάπεδο σε επαφή με το έδαφος (ground floor) με τα δεδομένα του πίνακα 3.2 (κεφ. 3.2) και συντελεστή θερμοπερατότητας $U=0,747 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

ΙΙΙ) Στις υπο-επιφάνειες (sub-surfaces) ο εσωτερικός τοίχος ορίστηκε από τα δεδομένα του πίνακα 3.4 (κεφ. 3.2). Η εξωτερική πόρτα (external door) ορίστηκε από τα δεδομένα του πίνακα 3.6 (κεφ. 3.2). Πρόκειται για μεταλλική πόρτα με θερμοδιακοπή.

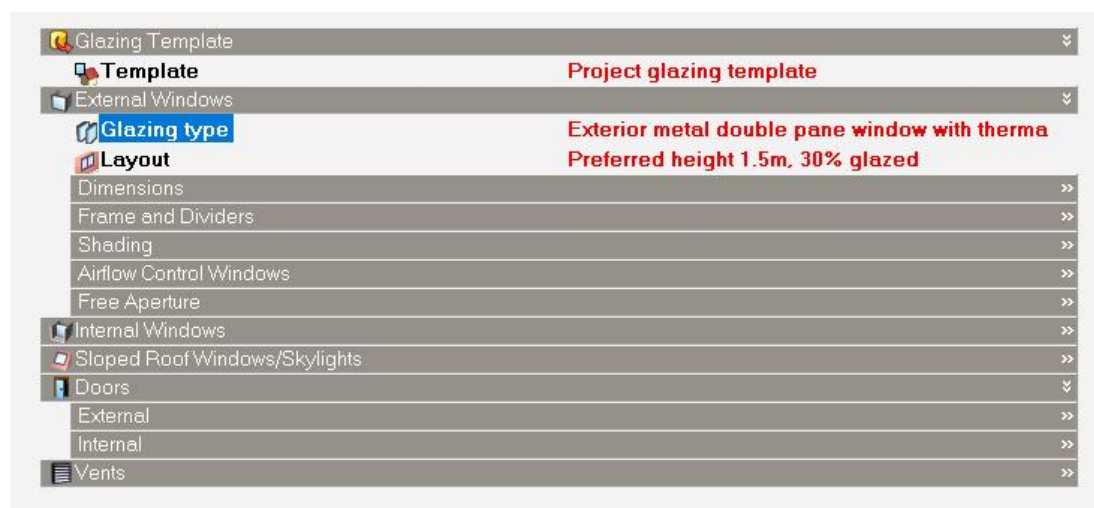
ΙV) Στην αεροστεγανότητα (airtightness), ως διείσδυση αέρα καταχωρήθηκε η τιμή 0,3 ac/h. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το κτίριο είναι νεόδμητο, μία τέτοια τιμή είναι πιθανή με καλή τεχνικά κατασκευή και κουφώματα με υψηλή κλάση αεροπερατότητας και πιστοποίηση κατά EN 12207. Το χρονοδιάγραμμα (schedule) της διείσδυσης αέρα ορίζεται σταθερό και ίσο με 1 (100% της τιμής) με λειτουργία 24/7.

Σημείωση: οι αλλαγές Ι, ΙΙ, ΙΙΙ γίνονται και στα κελύφη των κλιματικών ζωνών Α, Γ, Δ με τους αντίστοιχους πίνακες του παραρτήματος για κάθε ζώνη. Η αλλαγή ΙV παραμένει ίδια σε κάθε κλιματική ζώνη.

Καρτέλα Openings (Ανοίγματα)

Υπάρχουν πέντε τύποι ανοιγμάτων:

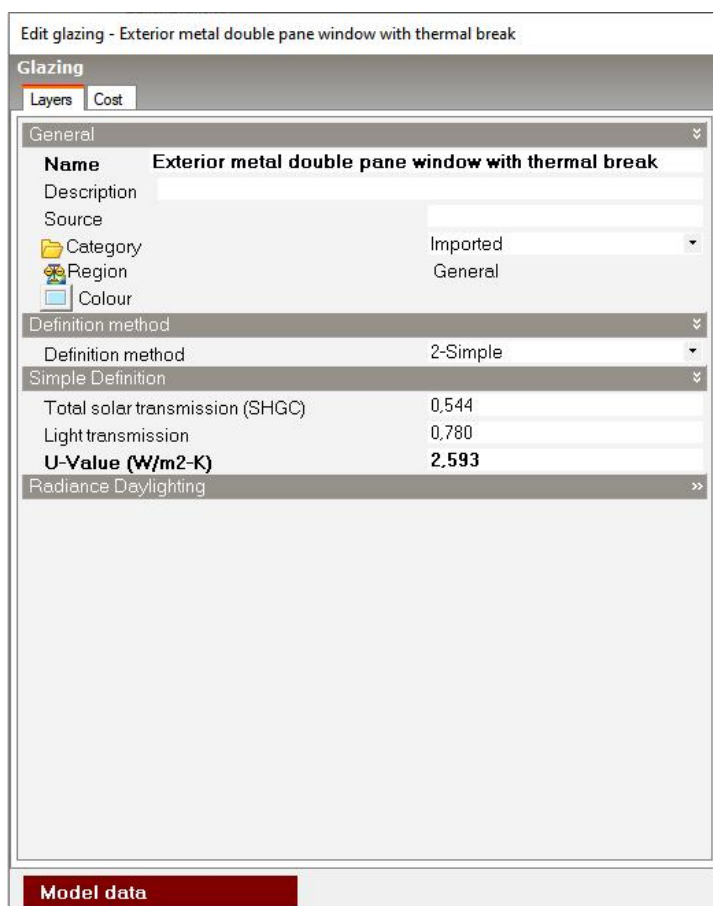
- Παράθυρα
- Υποεπιφάνειες (τα δεδομένα τους καταχωρούνται στην καρτέλα “Construction”)
- Τρύπες (ελεύθερα ανοίγματα)
- Πόρτες
- Ανοίγματα αερισμού



Εικόνα 3.17: Καρτέλα “Openings” για την κλιματική ζώνη Β’.

Ενδεικτικά για το κέλυφος της κλιματικής ζώνης Β’, στα εξωτερικά παράθυρα (external windows) καταχωρήθηκαν τα δεδομένα από τον πίνακα 3.5 (κεφ. 3.2) για τα

παράθυρα. Από τον πίν.3.5 ο μέσος όρος των συντελεστών θερμοπερατότητας των παραθύρων είναι $U=2,593 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Αυτή είναι και η τιμή που καταχωρείται (εικ. 3.18). Όπως έχει προαναφερθεί και στο κεφάλαιο 3.2 τα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες είναι διπλή υάλωσης, με υαλοπίνακα με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου, συντελεστή εκπομπής $\leq 0,10$, διαστάσεων 4-8-4 mm, και τύπο αερίου στο διάκενο των υαλοπινάκων: αέρα.



Εικόνα 3.18: Παράθυρο επεξεργασίας (edit) του καταχωρημένου τύπου υάλωσης των παραθύρων (glazing type).

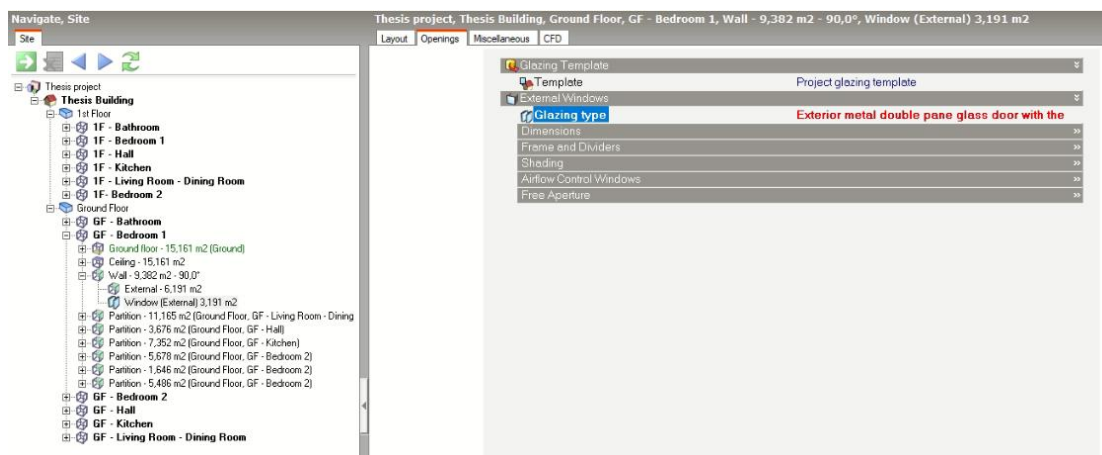
Σημειώσεις:

- Η τιμή του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους του κουφώματος (Solar Heat Gain Coefficient - SHGC) υπολογίζεται από τη σχέση 3.9, σελίδα 83, της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, για ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα $F_f = 20\%$ και συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα $g_{gl} = 0,68$ (από πίνακα 3.17. “Τυπικές τιμές της συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση και της μέσης διαπερατότητας g_{gl} , για διάφορους τύπους υαλοπινάκων” της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 για διπλό υαλοπίνακα).

- Η τιμή της οπτικής διαπερατότητας (light transmission) καταχωρήθηκε 0,78. Η τιμή αυτή είναι τυπική για διπλό υαλοπίνακα, βάσει της βιβλιογραφίας.

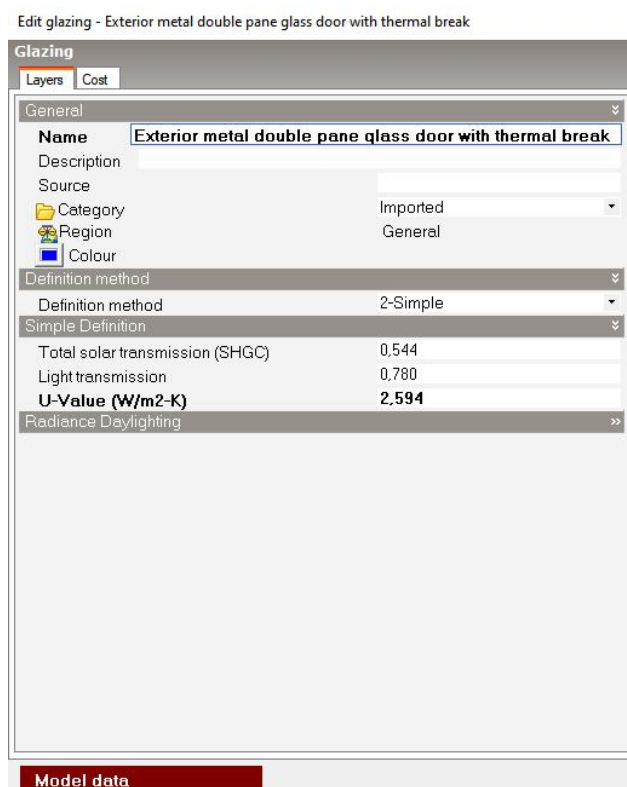
- Οι μπαλκονόπορτες καταχωρήθηκαν ως παράθυρα, καθώς δεν υπάρχει ξεχωριστή επιλογή στο DesignBuilder για καταχώριση πορτών με υάλωση. Έτσι η καταχώριση των μπαλκονοπορτών έγινε αλλάζοντας μεμονωμένα σε κάθε θερμική ζώνη τον

καταχωρημένο τύπο παραθύρων με τον τύπο των μπαλκονοπορτών, με τη βοήθεια της στήλης πλοήγησης. Στην εικόνα 3.19 φαίνεται η αλλαγή για το υποδομάτιο 1 του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β'.



Εικόνα 3.19: Καταχώριση μπαλκονόπορτας για το το υποδομάτιο 1 του ισογείου του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β'.

- Όπως και με τα παράθυρα, για τις μπαλκονόπορτες καταχωρήθηκαν τα δεδομένα από τον πίνακα 3.5 (κεφ. 3.2) για τις μπαλκονόπορτες μόνο. Από τον πίν.3.5 ο μέσος όρος των συντελεστών θερμοπερατότητας των μπαλκονοπορτών είναι $U=2,594 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Αυτή είναι και η τιμή που καταχωρείται (εικ. 3.20).



Εικόνα 3.20: Παράθυρο επεξεργασίας (edit) του καταχωρημένου τύπου υάλωσης των μπαλκονοπορτών (glazing type).

- Οι καταχωρήσεις που έγιναν στην καρτέλα “Openings” για το κέλυφος της Β΄ κλιματικής ζώνης, γίνονται και στις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες με δεδομένα από τους αντίστοιχους πίνακες του παραρτήματος.

Καρτέλα Lighting (Φωτισμός)

Στην καρτέλα “Lighting” εισάγονται δεδομένα σχετικά με:

- Τον γενικό φωτισμό (General Lighting)
- Τον έλεγχο φωτισμού (Lighting Control)
- Τον φωτισμό χώρων εργασίας (Task and Display Lighting)
- Τον εξωτερικό φωτισμό (External Lighting)
- Το κόστος φωτισμού (Lighting Cost)

Στην εικόνα 3.21 παρουσιάζονται οι καταχωρήσεις των τιμών της καρτέλας Lighting, που είναι ίδιες για όλα τα κελύφη των κλιματικών ζωνών.



Εικόνα 3.21: Καρτέλα “Lighting” για όλα τα κελύφη των κλιματικών ζωνών.

Σημειώσεις:

- Η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (Power Density) ορίζεται στα 6,4 W/m², από τον πίνακα 2.4α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, 200 lx “Στάθμη φωτισμού” και για “Ισχύς για κτήριο αναφοράς” καθώς στη σελίδα 43 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 αναφέρεται ότι “Η εγκατεστημένη ισχύς των φωτιστικών (πίνακας 2.4) λαμβάνεται η ίδια τόσο για τα το κτήριο αναφοράς όσο και για το υπό μελέτη/επιθεώρηση κτήριο”.

- Το προφίλ χρήσης (schedule) ορίστηκε σταθερό με τιμή 0,1 για όλες τις ώρες και μέρες του χρόνου, καθώς στη σελίδα 43 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 αναφέρεται ότι “Ιδιαίτερα για τα κτήρια κατοικιών ο συνυπολογισμός των εσωτερικών κερδών από ηλεκτροφωτισμό στα φορτία του κτηρίου γίνεται βάσει του συντελεστή ετεροχρονισμού (0,1), μέσω του οποίου αντιστοιχίζεται η πραγματική –κατά μέσο όρο– λειτουργία του φωτισμού στους χώρους κατοικίας κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ημέρας”.

Καρτέλα HVAC (Σύστημα Θέρμανσης, Εξαερισμού και Κλιματισμού)

Στην καρτέλα “HVAC” δύνεται η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων σχετικά με:

- Τον μηχανικό αερισμό (Mechanical Ventilation)
- Την θέρμανση (Heating)
- Την ψύξη (Cooling)
- Τον έλεγχο υγρασίας (Humidity Control)
- Το ζεστό νερό χρήσης (DHW)
- Τον φυσικό αερισμό
- Τον γεωεναλλάκτη εδάφους-αέρα (Earth Tubes)
- Την κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα (Air Temperature Distribution)
- Τους παράγοντες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Factors)
- Το κόστος (Cost)

Σημειώνεται πως σε αυτή την καρτέλα δεν μοντελοποιήθηκε το σύστημα HVAC εξ’ ολοκλήρου, αλλά ορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας στην θέρμανση, ψύξη και στον φυσικό αερισμό. Η μοντελοποίηση του HVAC συστήματος πραγματοποιείται στο επόμενο κεφάλαιο.

Στην εικόνα 3.22 παρουσιάζονται οι καταχωρήσεις των τιμών της καρτέλας HVAC, που είναι ίδιες για όλα τα κελύφη των κλιματικών ζωνών.



Εικόνα 3.22: Καρτέλα “HVAC” για όλα τα κελύφη των κλιματικών ζωνών.

Σημειώσεις:

- Τα χρονοδιάγραμμα λειτουργίας (operation) για την θέρμανση και την ψύξη ορίστηκε από το πρότυπο ASHRAE 90.1-2007, μέσω της βιβλιοθήκης. Αναγράφει τις θερμοκρασίες-στόχου του εκάστοτε συστήματος για κάθε ώρα της ημέρας (Εικ. 3.23α και 3.23β).

General	
HtgSPSBTemp_default 6:00 - 18:00 Mon - Fri	
Heating Thermostat Setpoints Setbackpoints	
Source	b.i.g. Bechtold
Category	ASHRAE 90.1-2007
Region	General
Schedule type	2-Compact Schedule
Profiles	
Schedule: Compact	
HtgSPSBTemp_default	
Temperature,	
Through: 31 Dec,	
For: Weekdays SummerDesignDay,	
Until: 06:00,	13,
Until: 18:00,	20,
Until: 24:00,	13,
For: WinterDesignDay,	
Until: 24:00,	20,
For: Weekends,	
Until: 24:00,	13,
For: AllOtherDays,	
Until: 24:00,	13 ;

Εικόνα 3.23α: Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας στη θέρμανση.

General	
ClgSPSBTemp_default 6:00 - 18:00 Mon - Fri	
Cooling Thermostat Setpoints Setbackpoints	
Source	b.i.g. Bechtold
Category	ASHRAE 90.1-2007
Region	General
Schedule type	2-Compact Schedule
Profiles	
Schedule: Compact	
ClgSPSBTemp,	
Temperature,	
Through: 31 Dec,	
For: Weekdays SummerDesignDay WinterDesignDay,	
Until: 06:00,	32,
Until: 18:00,	26,
Until: 24:00,	32,
For: Weekends,	
Until: 24:00,	32,
For: AllOtherDays,	
Until: 24:00,	32 ;

Εικόνα 3.23β: Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας στη ψύξη.

- Στον φυσικό αερισμό (Natural Ventilation) ορίζεται η μέθοδος της ελάχιστου φρέσκου αέρα (minimum fresh air) όπως υπολογίστηκε στην καρτέλα “Activity”, δηλαδή 4,167 l/s-person. Εξαιρέση αποτελούν οι χώροι των κουζινών και των λουτρών όπου εκεί ο φυσικός αερισμός ορίστηκε ως 1,5 ach (air changes per hour). Όλα τα χρονοδιαγράμματα (schedules) του φυσικού αερισμού ορίστηκαν σταθερά 1 για 18 ώρες του εικοσιτετράωρου και 0 για τις υπόλοιπες έξι (6) ώρες, καθώς στην σελίδα 96 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 αναγράφεται ότι ο αερισμός για την επίτευξη αποδεκτών συνθηκών ποιότητας αέρα πραγματοποιείται μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας του κτηρίου”.

3.4 Υπολογισμός θερμικών απωλειών και ψυκτικών φορτίων

Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης των κελυφών των κλιματικών ζωνών, επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών και των ψυκτικών φορτίων. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών πραγματοποιείται στην καρτέλα “Heating Design” που βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης, κάνοντας ενημέρωση δεδομένων (update data), ενώ ο υπολογισμός των ψυκτικών απωλειών πραγματοποιείται στην αντίστοιχη καρτέλα “Cooling Design”. Σημειώνεται ότι στους υπολογισμούς δεν περιλαμβάνονται τα φορτία λόγω φώτων και ηλεκτρικού εξοπλισμού.



Εικόνα 3.24: Καρτέλες “Heating Design” και “Cooling Design”.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για κάθε κλιματική ζώνη:

Block /	Zone	Comfort Temperature (°C)	Steady...	Design Capacity (kW)	Design Capacity [...]	Glazing Ga...	Wall Gains ...	Floor Gains...	Roof and C...	Ventilation ...	Infiltration ...
Thesis: Building Total Design Heating Capacity = 7,640 (kW)											
[-] 1st Floor Total Design Heating Capacity = 3,770 (kW)											
1st Floor	1F - Bedroom 1	18,95	0,38	0,47	30,9874	-0,109	-0,062	0,005	-0,090	-0,057	-0,062
1st Floor	1F - Hall	19,16	0,24	0,30	31,7312	0,000	-0,092	0,001	-0,069	-0,036	-0,047
1st Floor	1F - Living Room ...	18,55	0,92	1,15	38,3962	-0,319	-0,207	0,017	-0,171	-0,112	-0,123
1st Floor	1F - Bedroom 2	18,71	0,43	0,54	39,5128	-0,166	-0,084	0,007	-0,079	-0,051	-0,056
1st Floor	1F - Bathroom	19,19	0,31	0,39	50,5814	-0,019	-0,056	0,001	-0,046	-0,158	-0,032
1st Floor	1F - Kitchen	18,97	0,73	0,92	54,3959	-0,101	-0,120	0,004	-0,100	-0,347	-0,069
[-] Ground Floor Total Design Heating Capacity = 3,870 (kW)											
Ground Floor	GF - Hall	19,06	0,28	0,35	30,9019	0,000	-0,125	-0,068	-0,001	-0,043	-0,047
Ground Floor	GF - Bedroom 1	18,89	0,38	0,47	31,3212	-0,107	-0,063	-0,085	-0,005	-0,057	-0,062
Ground Floor	GF - Living Room ...	18,49	0,93	1,16	38,7223	-0,314	-0,208	-0,150	-0,017	-0,112	-0,123
Ground Floor	GF - Bedroom 2	18,66	0,43	0,54	39,9219	-0,163	-0,086	-0,072	-0,007	-0,051	-0,056
Ground Floor	GF - Bathroom	19,13	0,31	0,39	51,1936	-0,019	-0,059	-0,046	-0,001	-0,157	-0,031
Ground Floor	GF - Kitchen	18,89	0,77	0,96	57,1850	-0,098	-0,157	-0,095	-0,004	-0,347	-0,069

Εικόνα 3.25: Πίνακας θερμικών απωλειών των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Α΄.

Zone	Block	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m3/s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)
Thesis Building								
GF - Living Room - Dinin...	Ground Floor	0,97	0,054	0,84	0,79	0,05	26,00	43,4
GF - Bedroom 1	Ground Floor	0,58	0,034	0,50	0,49	0,01	26,00	42,3
GF - Hall	Ground Floor	0,23	0,012	0,20	0,18	0,02	26,00	44,4
GF - Kitchen	Ground Floor	0,59	0,033	0,51	0,48	0,03	26,00	43,5
GF - Bathroom	Ground Floor	0,20	0,010	0,17	0,15	0,02	26,00	45,0
GF - Bedroom 2	Ground Floor	0,67	0,038	0,58	0,56	0,02	26,00	42,8
1F - Living Room - Dining...	1st Floor	1,12	0,063	0,98	0,93	0,05	26,00	43,2
1F - Hall	1st Floor	0,26	0,014	0,23	0,21	0,02	26,00	43,8
1F - Bedroom 1	1st Floor	0,66	0,039	0,58	0,57	0,01	26,00	42,3
1F - Kitchen	1st Floor	0,66	0,037	0,57	0,54	0,03	26,00	43,3
1F - Bathroom	1st Floor	0,24	0,013	0,21	0,20	0,01	26,00	43,5
1F - Bedroom 2	1st Floor	0,74	0,042	0,64	0,62	0,02	26,00	42,7
Totals	-	6,92	0,390	6,02	5,72	0,30	26,00	43,2

Εικόνα 3.26: Πίνακας ψυκτικών φορτίων των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Α΄.

Block /	Zone	Comfort Temperature (°C)	Steady-State...	Design Capacity (kW)	Design Capacity (...)	Glazing G...	Wall Gains...	Floor Gain...	Roof and ...	Ventilatio...	Infiltration ...
Thesis Building Total Design Heating Capacity = 9.320 (kW)											
1st Floor Total Design Heating Capacity = 4.660 (kW)											
1st Floor	1F - Bedroom 1	18,80	0,46	0,58	38,1403	-0,127	-0,071	0,009	-0,118	-0,074	-0,081
1st Floor	1F - Living Room ...	18,34	1,12	1,40	47,0027	-0,376	-0,239	0,026	-0,225	-0,146	-0,160
1st Floor	1F - Hall	19,04	0,30	0,38	39,1316	0,000	-0,104	0,003	-0,090	-0,047	-0,062
1st Floor	1F - Bathroom	19,08	0,39	0,49	63,7727	-0,022	-0,064	0,003	-0,060	-0,205	-0,041
1st Floor	1F - Bedroom 2	18,53	0,53	0,66	48,2292	-0,194	-0,098	0,010	-0,104	-0,067	-0,073
1st Floor	1F - Kitchen	18,83	0,92	1,15	68,2730	-0,116	-0,138	0,007	-0,131	-0,452	-0,090
Ground Floor Total Design Heating Capacity = 4.660 (kW)											
Ground Floor	GF - Bedroom 1	18,78	0,45	0,56	37,1338	-0,125	-0,073	-0,088	-0,009	-0,074	-0,081
Ground Floor	GF - Living Room ...	18,32	1,10	1,38	46,0802	-0,371	-0,241	-0,157	-0,026	-0,146	-0,160
Ground Floor	GF - Hall	18,99	0,33	0,42	36,5344	0,000	-0,145	-0,069	-0,003	-0,056	-0,061
Ground Floor	GF - Bathroom	19,06	0,38	0,48	62,8866	-0,022	-0,067	-0,047	-0,003	-0,205	-0,041
Ground Floor	GF - Bedroom 2	18,51	0,52	0,64	47,3003	-0,191	-0,100	-0,075	-0,010	-0,067	-0,073
Ground Floor	GF - Kitchen	18,78	0,94	1,18	70,0925	-0,114	-0,182	-0,098	-0,007	-0,452	-0,090

Εικόνα 3.27: Πίνακας θερμικών απωλειών των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β΄.

Zone	Block	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m3/s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)
Thesis Building								
GF - Living Room - Dinin...	Ground Floor	1,13	0,064	0,98	0,94	0,04	26,00	43,0
GF - Bedroom 1	Ground Floor	0,65	0,038	0,56	0,56	0,01	26,00	42,1
GF - Kitchen	Ground Floor	0,65	0,037	0,56	0,54	0,03	26,00	43,1
GF - Bedroom 2	Ground Floor	0,75	0,044	0,65	0,65	0,00	26,00	41,7
GF - Bathroom	Ground Floor	0,22	0,013	0,20	0,18	0,01	26,00	43,3
GF - Hall	Ground Floor	0,27	0,015	0,23	0,22	0,02	26,00	43,7
1F - Hall	1st Floor	0,29	0,016	0,25	0,24	0,01	26,00	43,3
1F - Living Room - Dining...	1st Floor	1,26	0,071	1,10	1,05	0,05	26,00	42,9
1F - Bedroom 1	1st Floor	0,72	0,042	0,63	0,62	0,01	26,00	42,0
1F - Kitchen	1st Floor	0,69	0,039	0,60	0,58	0,03	26,00	43,0
1F - Bedroom 2	1st Floor	0,80	0,047	0,70	0,70	0,00	26,00	41,7
1F - Bathroom	1st Floor	0,27	0,015	0,23	0,22	0,01	26,00	43,1
Totals	-	7,70	0,440	6,69	6,48	0,21	26,00	42,7

Εικόνα 3.28: Πίνακας ψυκτικών φορτίων των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Β΄.

Block /	Zone	Comfort Temperature (°C)	Steady-State Hea...	Design Capacity (kW)	Design Capacity (...)	Glazing G...	Wall Gain...	Floor Gain...	Roof and ...	Ventilatio...	Infiltration ...
Thesis Building Total Design Heating Capacity = 11.540 (kW)											
1st Floor Total Design Heating Capacity = 5.730 (kW)											
1st Floor	1F - Bedroom 1	18,63	0,57	0,71	46,8179	-0,150	-0,080	0,009	-0,145	-0,096	-0,106
1st Floor	1F - Living Room ...	18,11	1,37	1,71	57,2727	-0,443	-0,275	0,027	-0,277	-0,190	-0,208
1st Floor	1F - Hall	18,91	0,37	0,46	47,9934	0,000	-0,119	0,003	-0,111	-0,061	-0,080
1st Floor	1F - Bathroom	18,96	0,49	0,61	80,1282	-0,026	-0,073	0,003	-0,074	-0,267	-0,053
1st Floor	1F - Bedroom 2	18,33	0,64	0,80	58,6983	-0,228	-0,113	0,011	-0,128	-0,087	-0,095
1st Floor	1F - Kitchen	18,68	1,15	1,44	85,5145	-0,136	-0,158	0,007	-0,161	-0,588	-0,118
Ground Floor Total Design Heating Capacity = 5.810 (kW)											
Ground Floor	GF - Bedroom 1	18,58	0,56	0,70	46,1491	-0,147	-0,082	-0,119	-0,009	-0,096	-0,106
Ground Floor	GF - Living Room ...	18,05	1,36	1,70	56,7768	-0,436	-0,276	-0,219	-0,027	-0,190	-0,208
Ground Floor	GF - Hall	18,82	0,42	0,52	45,5297	0,000	-0,169	-0,093	-0,003	-0,073	-0,080
Ground Floor	GF - Bathroom	18,91	0,49	0,61	79,6144	-0,025	-0,076	-0,063	-0,003	-0,267	-0,053
Ground Floor	GF - Bedroom 2	18,28	0,63	0,79	58,1570	-0,224	-0,114	-0,103	-0,011	-0,087	-0,095
Ground Floor	GF - Kitchen	18,59	1,19	1,49	88,3810	-0,133	-0,212	-0,133	-0,007	-0,587	-0,117

Εικόνα 3.29: Πίνακας θερμικών απωλειών των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Γ΄.

Zone	Block	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m ³ /s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)
Thesis Building								
GF - Living Room - Dinin...	Ground Floor	1,06	0,058	0,93	0,86	0,07	26,00	43,8
GF - Bedroom 1	Ground Floor	0,63	0,035	0,54	0,52	0,02	26,00	42,8
GF - Kitchen	Ground Floor	0,60	0,034	0,52	0,50	0,03	26,00	43,2
GF - Bedroom 2	Ground Floor	0,72	0,040	0,62	0,59	0,03	26,00	43,2
GF - Bathroom	Ground Floor	0,21	0,011	0,18	0,17	0,02	26,00	44,4
GF - Hall	Ground Floor	0,24	0,013	0,21	0,19	0,02	26,00	45,1
1F - Hall	1st Floor	0,27	0,015	0,24	0,22	0,02	26,00	44,5
1F - Living Room - Dining...	1st Floor	1,20	0,066	1,04	0,97	0,07	26,00	43,6
1F - Bedroom 1	1st Floor	0,70	0,040	0,61	0,58	0,02	26,00	42,6
1F - Kitchen	1st Floor	0,66	0,036	0,57	0,53	0,04	26,00	43,6
1F - Bedroom 2	1st Floor	0,77	0,044	0,67	0,65	0,02	26,00	42,5
1F - Bathroom	1st Floor	0,25	0,014	0,22	0,20	0,02	26,00	44,0
Totals	-	7,31	0,406	6,36	5,99	0,37	26,00	43,6

Εικόνα 3.30: Πίνακας ψυκτικών φορτίων των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Γ΄.

Block /	Zone	Comfort Temperature (°C)	Steady-State Heat Los.	Design Capacity (kW)	Design Capacity (W/...	Glazing Gains	Wall Gains (kW)	Floor Gains (k...	Roof and Ceil.	Ventilation Gai.	Infiltration Gain.
Thesis Building Total Design Heating Capacity = 13.040 (kW)											
1st Floor Total Design Heating Capacity = 6.530 (kW)											
1st Floor	1F - Bedroom 1	18,49	0,65	0,81	53,4694	-0,168	-0,084	0,012	-0,175	-0,112	-0,122
1st Floor	1F - Living Room - Di...	17,93	1,55	1,94	64,9237	-0,502	-0,283	0,035	-0,337	-0,220	-0,241
1st Floor	1F - Hall	18,82	0,42	0,52	54,5838	0,000	-0,125	0,004	-0,134	-0,071	-0,093
1st Floor	1F - Bathroom	18,86	0,56	0,70	91,7938	-0,029	-0,076	0,004	-0,090	-0,309	-0,062
1st Floor	1F - Bedroom 2	18,17	0,72	0,91	66,4886	-0,257	-0,116	0,014	-0,155	-0,100	-0,110
1st Floor	1F - Kitchen	18,55	1,32	1,65	97,7800	-0,153	-0,164	0,010	-0,195	-0,680	-0,136
Ground Floor Total Design Heating Capacity = 6.510 (kW)											
Ground Floor	GF - Bedroom 1	18,48	0,63	0,78	51,5837	-0,166	-0,086	-0,127	-0,012	-0,112	-0,122
Ground Floor	GF - Living Room - Di...	17,90	1,51	1,89	63,2255	-0,495	-0,284	-0,236	-0,034	-0,220	-0,241
Ground Floor	GF - Hall	18,75	0,47	0,58	50,9419	0,000	-0,187	-0,099	-0,004	-0,084	-0,092
Ground Floor	GF - Bathroom	18,85	0,55	0,69	89,9030	-0,029	-0,080	-0,067	-0,004	-0,309	-0,062
Ground Floor	GF - Bedroom 2	18,15	0,71	0,88	64,7372	-0,254	-0,117	-0,111	-0,014	-0,100	-0,110
Ground Floor	GF - Kitchen	18,50	1,35	1,69	100,0887	-0,151	-0,230	-0,142	-0,010	-0,680	-0,136

Εικόνα 3.31: Πίνακας θερμικών απωλειών των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Δ΄.

Zone	Block	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m ³ /s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)
Thesis Building								
GF - Living Room - Dinin...	Ground Floor	0,77	0,046	0,67	0,62	0,05	26,00	43,6
GF - Bedroom 1	Ground Floor	0,49	0,030	0,43	0,41	0,02	26,00	42,8
GF - Kitchen	Ground Floor	0,45	0,027	0,39	0,37	0,02	26,00	43,5
GF - Bedroom 2	Ground Floor	0,58	0,036	0,51	0,49	0,02	26,00	42,9
GF - Bathroom	Ground Floor	0,15	0,009	0,13	0,12	0,01	26,00	44,1
GF - Hall	Ground Floor	0,16	0,009	0,14	0,12	0,02	26,00	44,9
1F - Hall	1st Floor	0,19	0,011	0,17	0,15	0,01	26,00	44,1
1F - Living Room - Dining...	1st Floor	0,88	0,053	0,77	0,72	0,05	26,00	43,4
1F - Bedroom 1	1st Floor	0,55	0,034	0,48	0,46	0,02	26,00	42,7
1F - Kitchen	1st Floor	0,51	0,031	0,44	0,42	0,02	26,00	43,3
1F - Bedroom 2	1st Floor	0,62	0,038	0,54	0,52	0,02	26,00	42,5
1F - Bathroom	1st Floor	0,19	0,012	0,17	0,16	0,01	26,00	43,6
Totals	-	5,54	0,338	4,82	4,55	0,27	26,00	43,4

Εικόνα 3.32: Πίνακας ψυκτικών φορτίων των χώρων του κελύφους της κλιματικής ζώνης Δ΄.

Σημείωση:

- Οι παραπάνω πίνακες παρουσιάζουν την μέγιστη πιθανή θερμική και ψυκτική απαίτηση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε ποσοστό 99,6%. Δηλαδή, υπάρχει 0,4% πιθανότητα να εμφανιστεί υψηλότερη θερμική η ψυκτική απαίτηση σε όλη την διάρκεια του έτους σε σχέση με τις συνολικές τιμές που αναγράφονται σε κάθε πίνακα.

- Μόνο για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων και των θερμικών απωλειών του κελύφους της Δ΄ κλιματικής ζώνης εισήχθησαν δεδομένα σχεδιασμού από την πόλη της Οχρίδας της Β. Μακεδονίας. Αυτό συνέβη καθώς το DesignBuilder δεν διαθέτει στην βιβλιοθήκη του δεδομένα σχεδιασμού για καμία πόλη της κλιματικής ζώνης Δ΄. Όμως η Καστοριά και η Οχρίδα έχουν τον ίδιο κλιματικό τύπο (Cfa) με βάση την κατηγοριοποίηση Koppen. Οπότε γίνεται η παραδοχή ότι οι δύο πόλεις έχουν κοντινές θερμοκρασίες σχεδιασμού για να γίνουν οι παραπάνω υπολογισμοί των εικόνων 3.31 και 3.32.

4. Μοντελοποίηση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

4.1 Παράμετροι μοντελοποίησης συστήματος θέρμανσης και ψύξης

Στο DesignBuilder ο όρος "HVAC" αναφέρεται σε όλα τα στοιχεία του κτιρίου των οποίων η λειτουργία είναι να παρέχει θέρμανση, ψύξη και αερισμό για να παρέχει άνεση στους ενοίκους.

Ένα πρότυπο HVAC σύστημα διαμορφώνεται μέσω βρόγχων αέρα (air loops) ή βρόγχων υγρού (plant loops), οι οποίοι συνδέονται με τις τερματικές μονάδες της επιλεγμένης ομάδας θερμικών ζωνών (zone group). Οι βρόχοι μπορούν, ακόμα, να συνδέονται και μεταξύ τους μέσω εξαρτημάτων. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στην είσοδο ή στην έξοδο ενός βρόγχου χρησιμοποιείται το εξάρτημα “setpoint manager”.

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής δημιουργήθηκε ένα πρότυπο (template) HVAC σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με οριζόντιο γεωεναλλάκτη. Ως τερματικές μονάδες του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (Fan Coil Units) σε κάθε χώρο του κτιρίου. Όπως έχει προαναφερθεί κάθε χώρος του κτιρίου αποτελεί ξεχωριστή θερμική ζώνη. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται το εν λόγω πρότυπο.

Τα κύρια μέρη του συστήματος HVAC της εικόνα 4.1 είναι:

- Ο βρόγχος ψυχρού νερού (Chilled water loop)

Αποτελείται από το εξάρτημα “Heat Pump Cooling”, δηλαδή την ΑΘ σε λειτουργία ψύξης, έναν κυκλοφορητή και ένα setpoint manager στην έξοδο της ΑΘ.

- Ο βρόγχος ζεστού νερού (Hot water loop)

Αποτελείται από το εξάρτημα “Heat Pump Heating”, δηλαδή την ΑΘ σε λειτουργία θέρμανσης, έναν κυκλοφορητή και ένα setpoint manager στην έξοδο της ΑΘ.

- Ο βρόγχος συμπυκνωτή (Condenser loop)

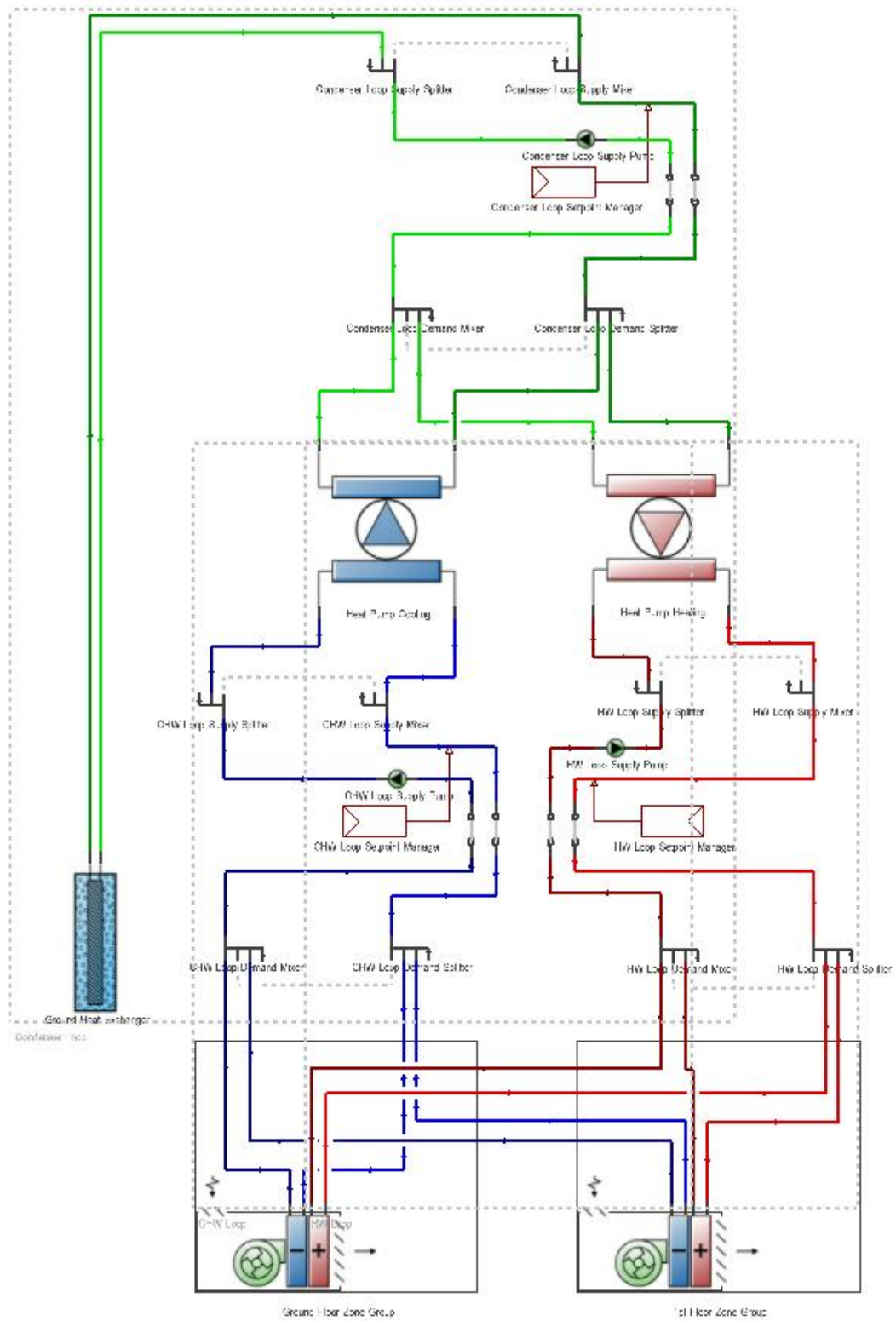
Είναι το κύκλωμα της ΑΘ που αποτελείται από τον γεωεναλλάκτη, έναν κυκλοφορητή και ένα setpoint manager στην επιστροφή του νερού από τον γεωεναλλάκτη στη ΑΘ.

- Ομάδα ζώνης Ισογείου (Ground floor zone group)

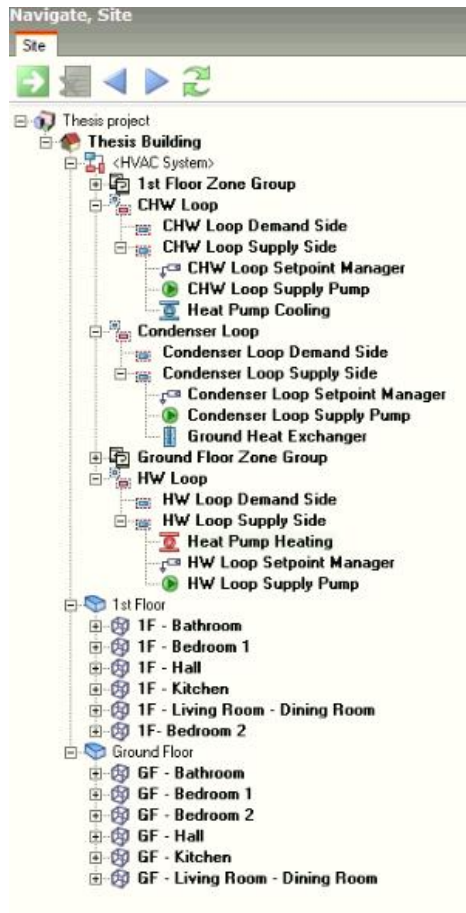
Αποτελείται από τις θερμικές ζώνες του ισόγειου, όπου σε κάθε μία υπάρχει ένα fan coil.

- Ομάδα ζώνης Α' ορόφου (1st floor zone group)

Αποτελείται από τις θερμικές ζώνες του Α' ορόφου, όπου σε κάθε μία υπάρχει ένα fan coil.



Εικόνα 4.1: HVAC σύστημα με γεωθερμική αντλία θερμότητας, οριζόντιο γεωεναλλάκτη και fan coil units.



Εικόνα 4.2: Στήλη πλοήγησης.

Με βάσει τα αποτελέσματα των θερμικών απωλειών και των ψυκτικών φορτίων για κάθε κέλυφος επιλέγεται το μοντέλο της ΑΘ που να καλύπτει τις απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη. Από την βιβλιοθήκη του DesignBuilder επιλέγεται η Carrier AQUAZONE 50PSW036 με ονομαστική θερμική ισχύ 12,6 kW και ονομαστική ψυκτική ισχύ 10,8 kW και χρησιμοποιείται σε όλα τα υπό μελέτη κελύφη. Τα στοιχεία της για τα εξαρτήματα “Heat Pump Heating” και “Heat Pump Cooling” φαίνονται στις εικόνες 4.3α και 4.3β.

Σημειώνεται πως η συγκεκριμένη ΑΘ χρησιμοποιείται για θέρμανση και στην Δ΄ ζώνη παρόλο που τα αποτελέσματα των θερμικών απωλειών είναι 13,04 kW. Αυτό συνέβη για δύο λόγους. Πρώτον, διότι το επόμενο διαθέσιμο μοντέλο είχε αρκετά μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ. Δεύτερον επειδή τα αποτελέσματα των εικόνων 3.25 έως 3.32 υπολογίζονται με βάσει τις θερμοκρασίες σχεδιασμού της κάθε περιοχής, οι οποίες είναι μια ακραία συνθήκη που παρατηρείται ελάχιστες ώρες ή ημέρες, ενώ στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της περιόδου θέρμανσης η ΑΘ λειτουργεί σε μερικό φορτίο.

Edit Water-to-water heat pump heating -

Water-to-water heat pump heating

General

General	
Name	Heat Pump Heating
Template	Carrier 50PSW036 - heating
Type	1-Equation Fit
Rated flow rate and capacity	
Rated load side flow rate (m3/s)	0,000570
Rated source side flow rate (m3/s)	0,000570
Rated heating capacity (W)	12600,0
Rated heating power consumption (W)	2800,0
Heating Capacity Coefficients	
Heating capacity coefficient 1	-3,11274005
Heating capacity coefficient 2	-0,61017176
Heating capacity coefficient 3	4,42759614
Heating capacity coefficient 4	0,02324898
Heating capacity coefficient 5	0,07701521
Heating Compressor Power Coefficients	
Heating compressor power coefficient 1	-4,18379112
Heating compressor power coefficient 2	4,09159257
Heating compressor power coefficient 3	0,47868975
Heating compressor power coefficient 4	-0,09723743
Heating compressor power coefficient 5	0,02362350
Advanced	
Cycle time (hr)	0,01610

Εικόνα 4.3α: Στοιχεία “Heat Pump Heating”.

General	
Name	Heat Pump Cooling
Template	Carrier 50PSW036 - cooling
Type	1-Equation Fit
Rated flow rate and capacity	
Rated load side flow rate (m3/s)	0,000570
Rated source side flow rate (m3/s)	0,000570
Rated cooling capacity (W)	10800,0
Rated cooling power consumption (W)	2900,0
Cooling Capacity Coefficients	
Cooling capacity coefficient 1	-1,35716540
Cooling capacity coefficient 2	4,78943542
Cooling capacity coefficient 3	-2,81706599
Cooling capacity coefficient 4	0,08284629
Cooling capacity coefficient 5	0,07670773
Cooling Compressor Power Coefficients	
Cooling compressor power coefficient 1	-3,70149074
Cooling compressor power coefficient 2	0,18179504
Cooling compressor power coefficient 3	4,00763549
Cooling compressor power coefficient 4	0,00839901
Cooling compressor power coefficient 5	-0,13874054
Advanced	
Cycle time (hr)	0,01610

Εικόνα 4.3β: Στοιχεία “Heat Pump Cooling”.

Στην συνέχεια εισάγονται τα δεδομένα του βρόγχου ψυχρού νερού:

The screenshot shows the 'Edit Plant loop' dialog box with the following configuration:

Plant loop	
General	
Name	CHW Loop
Fluid type	1-Water
Plant loop volume (m3)	Autocalculate
Flow Type	
Plant loop flow type	2-Variable flow
Temperature	
Maximum loop temperature (°C)	80,00
Minimum loop temperature (°C)	0,00
Flow Rate	
Maximum loop flow rate (m3/s)	Autosize
Minimum loop flow rate (m3/s)	0,000000
Load distribution scheme	1-Sequential
Plant loop demand calculation scheme	1-SingleSetPoint
Sizing	
Design loop exit temperature (°C)	7,00
Loop design temperature difference (deltaC)	5,00
Operation	
Availability schedule	Occupancy TOTEE 20701-1/2017
Outside Temperature Operation	
<input type="checkbox"/> Outside temperature operation	

Εικόνα 4.4: Δεδομένα βρόγχου ψυχρού νερού (Chilled water loop)

Σημειώσεις:

- Η θερμοκρασία σχεδίασης εξόδου του νερού από την ΑΘ (Design loop exit temperature) ορίζεται στους 7 °C και είναι η θερμοκρασία εισαγωγής στα fan coil. Η θερμοκρασία σχεδίασης εξόδου από τα fan coil είναι 12 °C ($\Delta T=5$ °C), για αυτό και ορίζεται ως θερμοκρασιακή διαφορά του βρόγχου 5°C (Loop design temperature difference). Οι παραπάνω θερμοκρασίες είναι τυπικές για τα εμπορικά fan coil στην λειτουργία ψύξης.

- Το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας λειτουργίας της ΑΘ (Availability schedule) είναι το ίδιο με το χρονοδιάγραμμα της παρουσίας των ατόμων. Δηλαδή η ΑΘ λειτουργεί τις ώρες που υπάρχουν άτομα στο κτίριο.

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας εξόδου του ψυχρού νερού από την ΑΘ γίνεται επεξεργασία του εξαρτήματος “setpoint manager” του βρόγχου και καταχωρείται σταθερή θερμοκρασία 7 °C.

Αντίστοιχα, εισάγονται τα δεδομένα του βρόγχου ζεστού νερού:

Edit Plant loop -

Plant loop

General Plant Equipment Operation

General

Name	HW Loop
Fluid type	1-Water
Plant loop volume (m3)	Autocalculate

Flow Type

Plant loop flow type	2-Variable flow
----------------------	-----------------

Temperature

Maximum loop temperature (°C)	80,00
Minimum loop temperature (°C)	0,00

Flow Rate

Maximum loop flow rate (m3/s)	Autosize
Minimum loop flow rate (m3/s)	0,000000
Load distribution scheme	1-Sequential
Plant loop demand calculation scheme	1-SingleSetPoint

Sizing

Design loop exit temperature (°C)	50,00
Loop design temperature difference (deltaC)	5,00

Operation

Availability schedule	Occupancy TOTEE 20701-1/2017
-----------------------	------------------------------

Outside Temperature Operation

Outside temperature operation

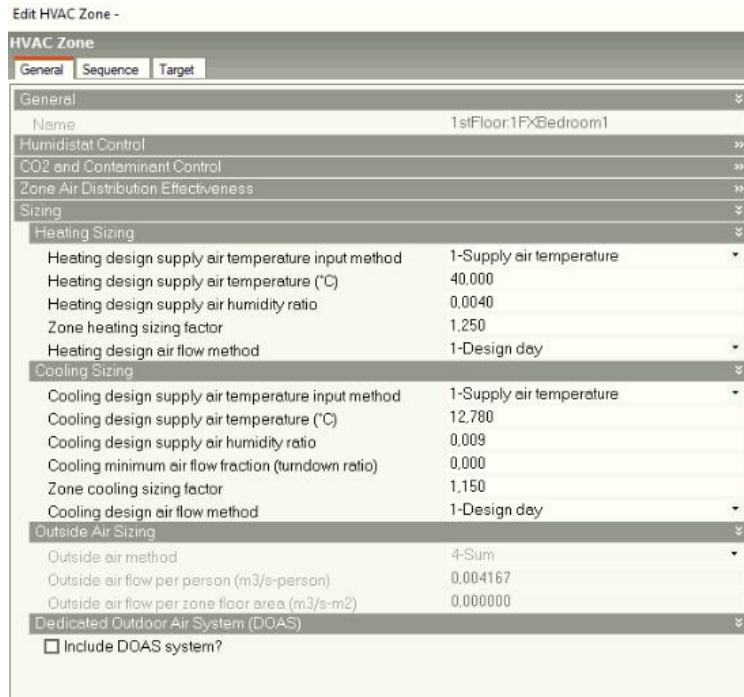
Εικόνα 4.5: Δεδομένα βρόγχου ζεστού νερού (Hot water loop).

Σημειώσεις:

- Η θερμοκρασία σχεδίασης εξόδου του νερού από την ΑΘ (Design loop exit temperature) για την λειτουργία της θέρμανσης ορίζεται στους 50 °C και είναι η θερμοκρασία εισαγωγής στα fan coil. Η θερμοκρασία σχεδίασης εξόδου από τα fan coil είναι 45 °C ($\Delta T=5$ °C), για αυτό και ορίζεται ως θερμοκρασιακή διαφορά του βρόγχου 5°C (Loop design temperature difference). Αυτές οι θερμοκρασίες είναι συνήθεις για fan coil που τροφοδοτούνται από ΑΘ μεσαίων και χαμηλών θερμοκρασιών.

Και εδώ, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας εξόδου του ζεστού νερού από την ΑΘ γίνεται επεξεργασία του εξαρτήματος “setpoint manager” του βρόγχου και καταχωρείται σταθερή θερμοκρασία 50 °C.

Τέλος, όσον αφορά την θερμοκρασία σχεδιασμού προσαγωγής αέρα από τις μονάδες των fan coil στην θερμική ζώνη, καταχωρείται θερμοκρασία 40 °C στην λειτουργία θέρμανσης και 12,78 °C στην λειτουργία ψύξης. Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι καταχωρήσεις για την θερμική ζώνη του υπνοδωματίου 1 του Α΄ ορόφου.



Εικόνα 4.6: Επεξεργασία δεδομένων θερμικής ζώνης υποδοματίου 1 του Α΄όροφου.

4.2 Παράμετροι μοντελοποίησης γεωθερμικού εναλλάκτη

Εφόσον ορίστηκαν οι παράμετροι της ΑΘ σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης, στο επόμενο βήμα θα πρέπει να διαστασιολογηθεί ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης. Η διαδικασία που αναλύεται παρακάτω αφορά ενδεικτικά το κέλυφος της Β΄ κλιματικής ζώνης, καθώς με τον ίδιο τρόπο διαστασιολογούνται οι γεωεναλλάκτες των κελυφών των υπολοίπων κλιματικών ζωνών (βλέπε παράρτημα). Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία [34].

Αρχικά, το απαιτούμενο μήκος του γεωθερμικού εναλλάκτη για την θέρμανση υπολογίζεται τη σχέση 4.1. Αντίστοιχα για την ψύξη από από την σχέση 4.2.

$$L_h = \dot{m}_{wh} \cdot c_p \cdot R_{total-h} \cdot \ln\left(\frac{t_{wo}}{t_{wi}}\right) \quad (4.1)$$

$$L_c = \dot{m}_{wc} \cdot c_p \cdot R_{total-c} \cdot \ln\left(\frac{t_{wi}}{t_{wo}}\right) \quad (4.2)$$

όπου:

\dot{m}_w (kg/s) η παροχή μάζας νερού,

C_p [kJ/(kg·K)] η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού,

t_{wi} (K) η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη,

t_{wo} (K) η θερμοκρασία εξόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη,

R_{tot} (m·K/W) η συνολική θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος.

Οι δείκτες h και c αναφέρονται στην θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα. Το τελικό μήκος του γεωεναλλάκτη έχει την μεγαλύτερη τιμή από τις σχέσεις 4.1 και 4.2.

Η ονομαστική παροχή όγκου του νερού μέσα στην σωλήνωση του γεωθερμικού εναλλάκτη για την επιλεγμένη ΑΘ είναι ίση με 0,00057 m³/sec (Rated source side flow rate από εικόνες 4.3α και 4.3β).

Η θερμοκρασιακή διαφορά του νερού μέσα στην είσοδο και στην έξοδο του νερού από τον γεωθερμικό εναλλάκτη για την θέρμανση και την ψύξη είναι η εξής:

$$t_{wo} - t_{wi} = \frac{q_{lh}}{c_p \cdot \dot{m}_{wh}} \quad (4.3)$$

$$t_{wi} - t_{wo} = \frac{q_{lc}}{c_p \cdot \dot{m}_{wc}} \quad (4.4)$$

όπου:

$q_{lh} = 9,32$ kW η μεταφερόμενη ισχύς του εργαζόμενου μέσου (λαμβάνεται από εικ. 3.27)

$q_{lc} = 7,70$ kW η μεταφερόμενη ισχύς του εργαζόμενου μέσου (λαμβάνεται από εικ. 3.28)

Οπότε $t_{wo} - t_{wi} = 3,90$ K και $t_{wi} - t_{wo} = 3,24$ K

Με βάση τα αποτελέσματα των θερμοκρασιακών διαφορών εκλέγονται οι θερμοκρασίες:

Για θέρμανση: $t_{wi} = 11$ K και $t_{wo} = 14,90$ K

Για ψύξη: $t_{wi} = 27$ K και $t_{wo} = 23,76$ K

Με βάση τις μέσες τιμές των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου για κάθε λειτουργία υπολογίζονται τα μεγέθη:

Για θέρμανση: $C_p = 4,2$ kJ/(kg·K), $\dot{m}_{wh} = 0,570$ kg/sec

Για ψύξη: $C_p = 4,18$ kJ/(kg·K), $\dot{m}_{wh} = 0,568$ kg/sec

Σημειώνεται ότι η παροχή μάζας υπολογίζεται από την σχέση:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad (4.5)$$

όπου:

ρ (kg/m³) η πυκνότητα του νερού για την μέση θερμοκρασία είσοδο/εξόδου στον γεωεναλλάκτη.

$\dot{V} = 0,00057$ m³/sec η παροχή όγκου του νερού μέσα στην σωλήνωση.

Η ταχύτητα ροής εντός της σωλήνωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec.

Οπότε εκλέγεται ίση με $u=0,85$ m/sec.

Η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης δίνεται από την σχέση:

$$D_i = \sqrt{\frac{4\dot{V}}{u \cdot \pi}} \quad (4.6)$$

Όπου και προκύπτει $D_i=0,0292$ m. Επιλέγεται εμπορική σωλήνωση πολυαιθυλενίου PE DN40 PN12 με εξωτερική διάμετρο 40mm, πάχος τοιχώματος 3,7 mm και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0,42 W/(mK).

Με γνωστή τη διάμετρο της σωλήνωσης και τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μπορούν να υπολογιστούν οι θερμικές αντιστάσεις συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος:

$$R_{tot-h} = R_{con-h} + R_{pipe} + R_{soil} \quad (4.7)$$

$$R_{tot-c} = R_{con-c} + R_{pipe} + R_{soil} \quad (4.8)$$

όπου:

R_{con} (m·K/W) η θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση,

R_{pipe} (m·K/W) η θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης,

R_{soil} (m·K/W) η θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση (R_{con}):

$$R_{con-h} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{w-h}} \quad (4.9)$$

$$R_{con-c} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{w-c}} \quad (4.10)$$

όπου:

h_w (W/m²·K) ο συντελεστής συναγωγής του νερού

$$\text{Ισχύει: } h_w = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{D_i} \quad (4.11)$$

όπου:

$\lambda_w = 0,68$ W/(m·K) ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του νερού για μέση τιμή θερμοκρασίας νερού 5 - 45°C,

Nu ο συντελεστής Nusselt

Από την εμπειρική σχέση Dittus - Boelter, για $Re > 10.000$ και $0,6 < Pr < 160$, ισχύει [34]:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (4.12)$$

όπου:

n_n παράμετρος υπολογισμού όπου ισούται με 0,4 για θέρμανση και 0,3 για ψύξη

Re ο αριθμός Reynolds

$$\text{Ισχύει: } Re = \frac{u \cdot D_i}{v_w} \quad (4.13)$$

όπου:

$v_w = 1,4087 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ στην θέρμανση και $v_w = 7,61 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$ στην ψύξη το κινηματικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη.

Οπότε $Re = 19670,62$ στην θέρμανση και $Re = 36426,98$ στην ψύξη.

$$\text{Ισχύει: } Pr = \frac{c_p \cdot \mu_w}{\lambda_w} \quad (4.14)$$

όπου:

$\mu_w = 0,0014084 \text{ N} \cdot \text{sec}/\text{m}^2$ στην θέρμανση και $\mu_w = 0,0007568 \text{ N} \cdot \text{sec}/\text{m}^2$ στην ψύξη το δυναμικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη.

Οπότε $Pr = 8,699$ στην θέρμανση και $Pr = 4,652$ στην ψύξη.

Με βάσει τα παραπάνω προκύπτει ότι $Nu = 148,79$ στην θέρμανση και $Nu = 162,62$ στην ψύξη.

Άρα τελικά $R_{\text{con-h}} = 0,0031461 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$ και $R_{\text{con-c}} = 0,0028786 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$

Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης (R_{pipe}):

$$R_{\text{pipe}} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{pipe}}} \quad (4.15)$$

όπου:

D_o η εξωτερική διάμετρος της σωλήνωσης

λ_{pipe} ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της σωλήνωσης

Τελικά $R_{\text{pipe}} = 0,0775 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$

Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος (R_{soil}):

$$R_{\text{soil}} = \frac{1}{S \cdot \lambda_{\text{soil}}} \quad (4.16)$$

όπου:

$\lambda_{\text{soil}} = 0,83 \text{ W}/(\text{mK})$ η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους [33],

S ο συντελεστής διαμόρφωσης αγωγιμότητας (conduction shape factor)

$$\text{Ισχύει: } S = \frac{2 \cdot \pi}{\ln\left[\frac{2d}{D_o} + \sqrt{\left(\frac{2d}{D_o}\right)^2 - 1}\right]} \quad (4.17)$$

όπου:

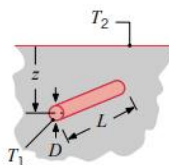
$d=2 \text{ m}$ το βάθος τοποθέτησης του οριζοντίου γεωεναλλάκτη

Προκύπτει ότι $S = 1,186$.

Η σχέση 4.17 επαληθεύεται και από τις εξισώσεις υπολογισμού του conduction shape factor σύμφωνα με τους Incropera et.al [35].

Case 2

Horizontal isothermal cylinder of length L buried in a semi-infinite medium



$$L \gg D$$

$$\frac{2\pi L}{\cosh^{-1}(2z/D)}$$

$$L \gg D$$

$$z > 3D/2$$

$$\frac{2\pi L}{\ln(4z/D)}$$

Εικόνα 4.7: Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού conduction shape factor [35].

Για $L = 1$ m ισχύει:

$$S = \frac{2\pi L}{\ln(4z/D)} = \frac{2\pi \cdot (1\text{m})}{\ln[4 \cdot (2\text{m})/(0,04\text{m})]} = 1,186$$

Τελικά $R_{\text{soil}} = 1,01596$ mK/W

Με την σύγκριση των τιμών $R_{\text{con-h}}$, $R_{\text{con-c}}$, R_{pipe} , R_{soil} προκύπτει ότι η τιμή R_{soil} είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες. Σημειώνεται ότι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους λ_{soil} είναι κρίσιμη παράμετρος για τον υπολογισμό του μήκους του γεωεναλλάκτη και πρέπει να υπολογίζεται με προσοχή, να μετριέται ή να προέρχεται από έγκυρη πηγή.

Με βάση όλα τα παραπάνω από τις σχέσεις 4.7 και 4.8 προκύπτει ότι

$$R_{\text{total-h}} = 1,09663 \text{ mK/W} \text{ και } R_{\text{total-c}} = 1,09636 \text{ mK/W}$$

Τέλος, από τις σχέσεις 4.1 και 4.2 υπολογίζεται το απαιτούμενο μήκος του γεωεναλλάκτη: $L_h = 795,40$ m και $L_c = 333,10$ m.

Από τις δύο τιμές επιλέγεται η μεγαλύτερη (795,40 m) ως το συνολικό μήκος του γεωεναλλάκτη.

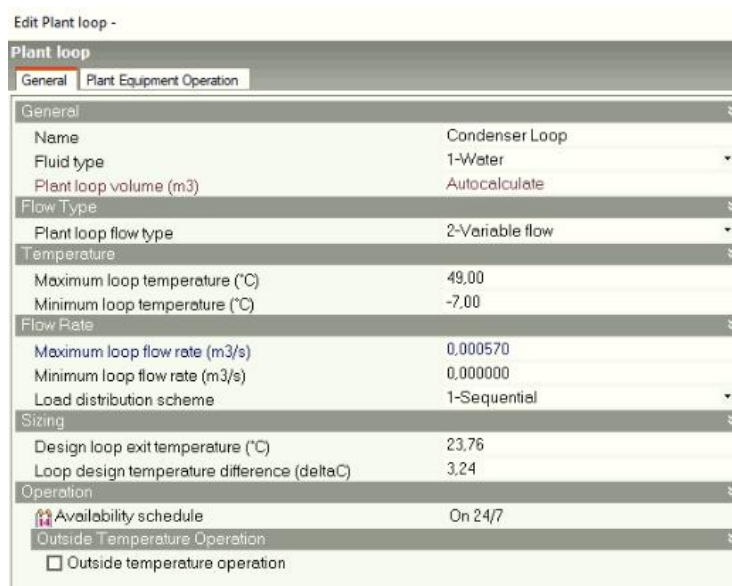
Συμπερασματικά, για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη θα χρησιμοποιηθούν 800 m μήκος σωλήνωσης, εξωτερικής διαμέτρου 0,04 m, πάχους σωλήνωσης 0,0037 m, εσωτερικής διαμέτρου 0,0326 m, σε 25 παράλληλες σειρές απόστασης 0,5 m μεταξύ τους, με το μήκος της κάθε σειράς να ισούται με $800/25 = 32$ m και το πλάτος της εγκατάστασης να ισούται με $0,5 \cdot (25-1) = 12$ m. Άρα η απαιτούμενη έκταση εγκατάστασης του γεωθερμικού εναλλάκτη είναι $32 \cdot 12 = 384$ m².

Στην εικόνα 4.8 παρουσιάζονται τα δεδομένα που καταχωρήθηκαν στην επεξεργασία του γεωθερμικού εναλλάκτη στην περίπτωση της κλιματικής ζώνης Β' (για τις υπόλοιπες κλιματικές ζώνες βλέπε παράρτημα).



Εικόνα 4.8: Δεδομένα γεωθερμικού εναλλάκτη. στην περίπτωση της κλιματικής ζώνης Β΄.

Εφόσον έχουν υπολογισθεί τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του γεωεναλλάκτη, στην συνέχεια εισάγονται τα δεδομένα του βρόγχου συμπυκνωτή (condenser loop).

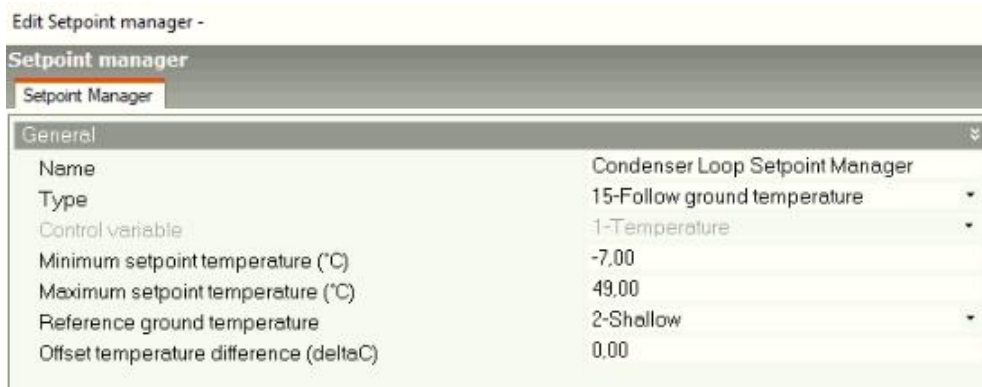


Εικόνα 4.9: Δεδομένα βρόγχου βρόγχου συμπυκνωτή (condenser loop).

Σημειώσεις:

- Η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του βρόγχου (Maximum loop temperature και Minimum loop temperature) καταχωρείται από το τεχνικό εγχειρίδιο του κατασκευαστή [36].
- Η θερμοκρασία σχεδίασης εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη (Design loop exit temperature) και η θερμοκρασιακή διαφορά σχεδίασης στον γεωεναλλάκτη (Loop design temperature difference) καταχωρείται από τους υπολογισμούς της διαστασιολόγησης του γεωεναλλάκτη. Βέβαια οι παραπάνω τιμές διαφοροποιούνται ανάλογα με την εποχή λειτουργίας της ΑΘ και την θερμοκρασία του εδάφους.

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωθερμικό εναλλάκτη γίνεται επεξεργασία του εξαρτήματος “setpoint manager” του βρόγχου.



Εικόνα 4.10: Δεδομένα setpoint manager του βρόγχου συμπυκνωτή.

Σημειώσεις:

- Ο τύπος του συγκεκριμένου setpoint manager καταχωρείται ώστε να επηρεάζεται τις θερμοκρασίες εδάφους. Οι θερμοκρασίες αναφοράς του εδάφους είναι οι ρηχές θερμοκρασίες εδάφους (Shallow Monthly Temperatures), δηλαδή σε βάθος 2m όπου τοποθετείται ο γεωεναλλάκτης, που υπολογίστηκαν μέσω της σχέσης του Labs (εικ 3.9).

- Το έδαφος τοπικά στην περιοχή του γεωθερμικού εναλλάκτη μπορεί να παρουσιάζει θερμική ανισορροπία (soil thermal imbalance) [37], λόγω της άντλησης και της απόρριψης θερμότητας κατά την λειτουργία θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα. Αυτό, ανάλογα την περιοχή της μελέτης, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορές από τις υπολογιζόμενες τιμές της μη διαταραγμένης θερμοκρασίας εδάφους (undisturbed ground temperature), που υπολογίζονται από την σχέση του Labs στην συγκεκριμένη περίπτωση. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα, έχουν προταθεί πολλές λύσεις. Μία από τις σημαντικότερες λύσεις είναι η θερμική επαναφόρτιση του εδάφους (soil recharging) μέσω γεωθερμικής ΑΘ υποβοηθούμενης από ηλιακή ενέργεια (solar assisted ground source heat pump) [37-38].

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την διαδικασία της προσομοίωσης, γίνεται η παραδοχή ότι η επαναφόρτιση του εδάφους γίνεται με φυσικό τρόπο (natural recharging), οπότε και οι θερμοκρασίες του εδάφους στην περιοχή του γεωεναλλάκτη επιστρέφουν στις υπολογισμένες τιμές της μη διαταραγμένης θερμοκρασίας εδάφους. Άρα ως αποτέλεσμα θεωρείται ότι δεν υπάρχει θερμική ανισορροπία στο έδαφος σε βραχυπρόθεσμη χρονική περίοδο αλλά και ούτε σε μακροπρόθεσμη.

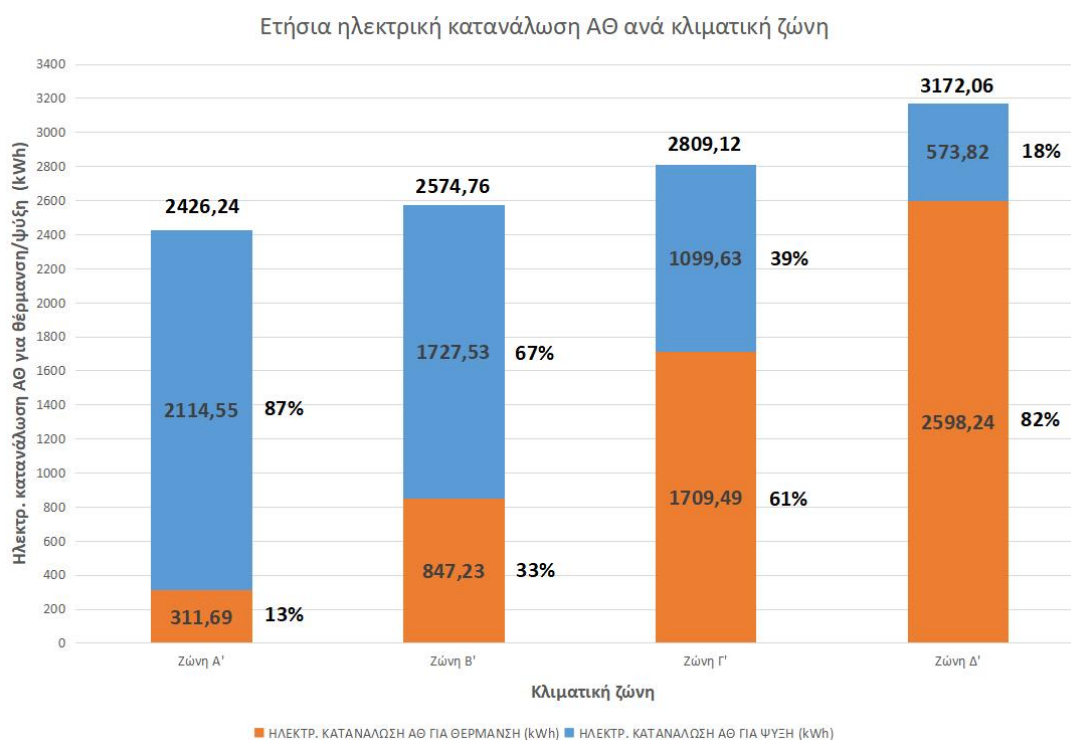
5. Αποτελέσματα

Με το πέρας της μοντελοποίησης του κελύφους και της ΑΘ για κάθε κλιματική ζώνη, τελευταίο βήμα είναι η προσομοίωση. Σημειώνεται ότι στις προσομοιώσεις των κελυφών δεν συμπεριελήφθησαν υπόψιν τα φορτία λόγω φώτων και ηλεκτρικού εξοπλισμού. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα.

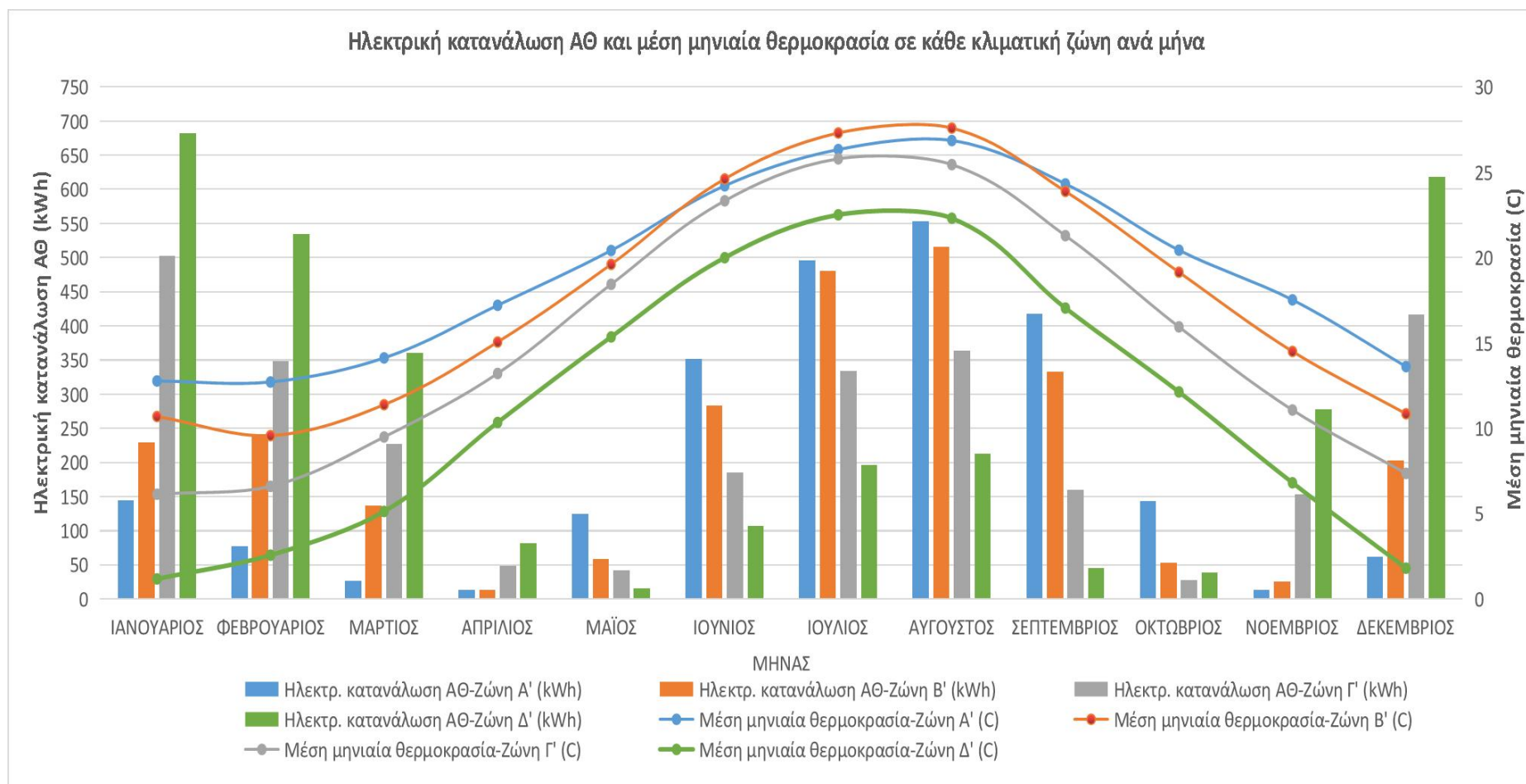
Πίνακας 5.1: Ετήσια ανηγμένη ενεργειακή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά κλιματική ζώνη.

Ετήσια ανηγμένη ενεργειακή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά κλιματική ζώνη (kWh/m ² a)			
A'	B'	Γ'	Δ'
44,84	47,25	50,92	57,22

Από τον πίνακα 5.1 διαπιστώνεται ότι στην κλιματική ζώνη Δ' υπάρχει η υψηλότερη ετήσια ανηγμένη ενεργειακή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Αυτό συμβαίνει καθώς το κτίριο της Δ' ζώνης έχει την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας στην ΑΘ (από διαγράμματα 5.1 και 5.2), λόγω της υψηλής απαίτησης σε θέρμανση.



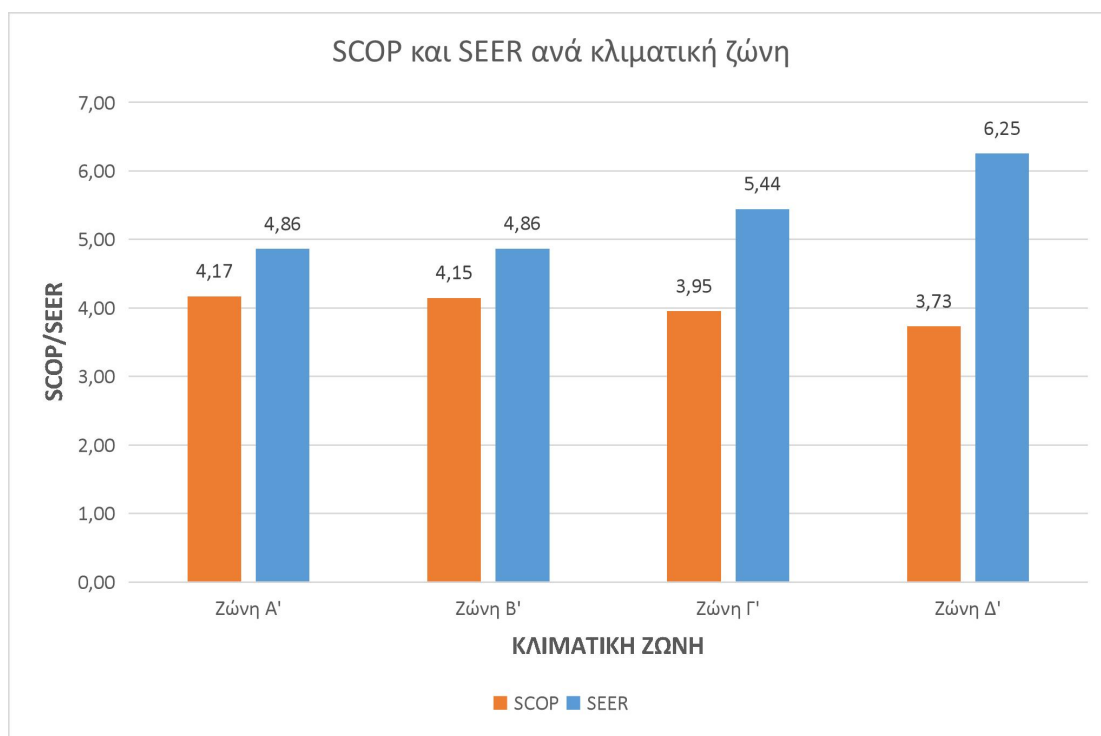
Διάγραμμα 5.1: Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ για θέρμανση και ψύξη ανά κλιματική ζώνη.



Διάγραμμα 5.2: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ και μέση μηνιαία θερμοκρασία σε κάθε κλιματική ζώνη ανά μήνα.

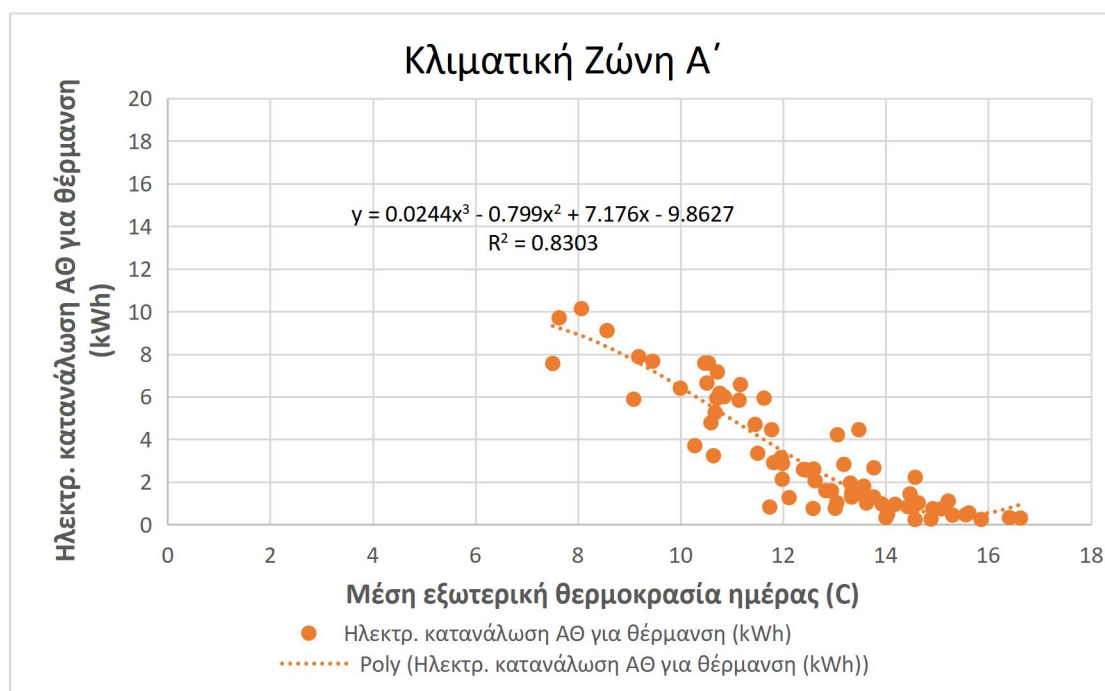
Από το διάγραμμα 5.1 παρατηρείται ότι η κατανάλωση σε θέρμανση αυξάνεται από την Α΄ ζώνη έως την Δ΄, ενώ η κατανάλωση σε ψύξη μειώνεται. Αυτό είναι προφανές, καθώς από την ζώνη Α΄ έως την Δ΄ το κλίμα γίνεται ψυχρότερο, με τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες να μειώνονται, άρα η θερμική απαίτηση αυξάνεται και η ψυκτική απαίτηση μειώνεται. Αντίστοιχα, το έδαφος γίνεται ψυχρότερο από την ζώνη Α΄ έως την Δ΄, με αποτέλεσμα η λήψη θερμότητας από το έδαφος να μειώνεται στην λειτουργία της θέρμανσης και η απόρριψη θερμότητας να αυξάνεται στην λειτουργία της ψύξης. Παρατηρείται ότι η ποσοστιαία διαφορά στην ηλεκτρική κατανάλωση της ΑΘ για θέρμανση στις ζώνες Α΄ και Β΄ είναι 20% (αντίστοιχα και για την ψύξη). Όμοια η ίδια διαφορά για τις ζώνες Γ΄ και Δ΄ είναι 21%, ενώ ανάμεσα στις ζώνες Β΄ και Γ΄ είναι 28%. Ακόμα όσον αφορά την συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ΑΘ (για θέρμανση και ψύξη) υπάρχει 5,8% αύξηση από την ζώνη Α΄ στην ζώνη Β΄, 8,3% αύξηση από την ζώνη Β΄ στην ζώνη Γ΄ και 11,4% αύξηση από την ζώνη Γ΄ στην ζώνη Δ΄.

Στο διάγραμμα 5.2 γίνεται εμφανής η συσχέτιση της ηλεκτρικής κατανάλωσης της ΑΘ με την μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά τους χειμερινούς μήνες όπου στην κλιματική ζώνη Δ΄ υπάρχουν οι μικρότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες παρατηρείται η μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΑΘ. Κατά τους θερινούς μήνες και ειδικότερα Ιούνιο έως Αύγουστο, ενώ παρατηρείται ότι στην Β΄ κλιματική ζώνη εμφανίζονται οι μέγιστες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, η κατανάλωση της ΑΘ είναι υψηλότερη στην κλιματική ζώνη Α΄. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει μικρότερη διακύμανση της θερμοκρασίας (από την μέγιστη έως την ελάχιστη) κατά την διάρκεια της ημέρας στην ζώνη Α΄. Οπότε υπάρχουν και περισσότερες ώρες που λειτουργεί η ΑΘ. Ακόμα, παρατηρείται ότι η ΑΘ καταναλώνει την μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια για την περίοδο της ψύξης το Αύγουστο σε όλες τις ζώνες, λόγω της εμφάνισης των μέγιστων μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών.

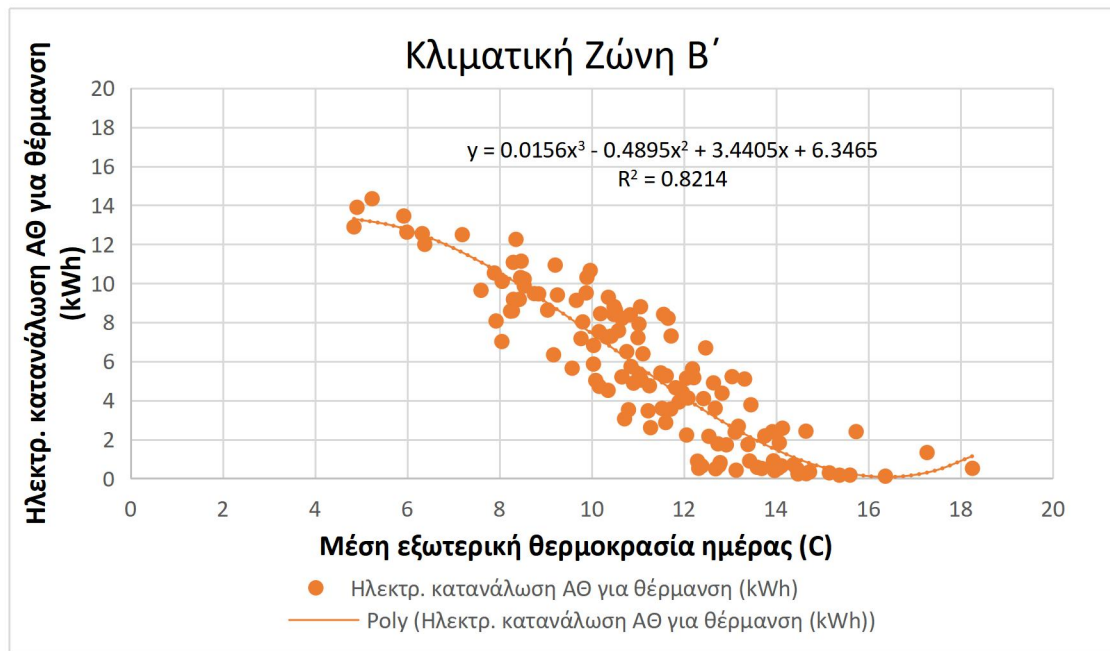


Διάγραμμα 5.3: SCOP και SEER ανά κλιματική ζώνη.

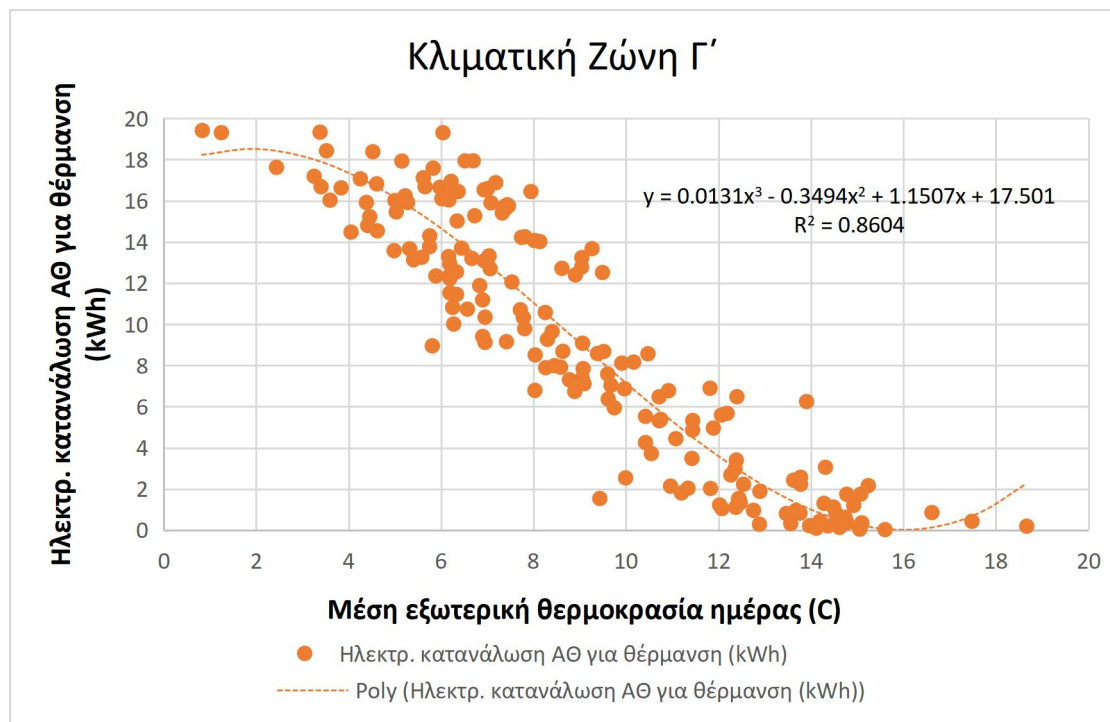
Στο διάγραμμα 5.3 φαίνεται ότι η συμπεριφορά της ΑΘ στην θέρμανση και στην ψύξη για την Α΄ και την Β΄ ζώνη είναι σχεδόν ίδια. Στην ζώνη Δ΄ παρουσιάζεται η ελάχιστη τιμή για SEER και η μέγιστη για SCOP. Συμπεραίνεται ότι μεταβαίνοντας από την ζώνη Α΄ μέχρι την ζώνη Δ΄ οι εποχιακοί βαθμοί απόδοσης SCOP μειώνονται. Από την Α΄ ζώνη στην Β΄ ζώνη η μείωση είναι 0,5%, από την Β΄ ζώνη στην Γ΄ ζώνη 5,1%, ενώ από την Γ΄ ζώνη στην Δ΄ ζώνη 5,9%. Αυτό συμβαίνει διότι μεταβαίνοντας από το θερμότερο κλίμα (ζώνη Α΄) στο ψυχρότερο (ζώνη Δ΄) εμφανίζονται συχνότερα χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά από την εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού (20 °C), οπότε και να μειώνεται ο βαθμός απόδοσης. Αντίστοιχα οι εποχιακοί βαθμοί απόδοσης SEER αυξάνονται. Από την Α΄ ζώνη στην Β΄ ζώνη δεν υπάρχει αύξηση, από την Β΄ ζώνη στην Γ΄ ζώνη η αύξηση είναι 10,7%, ενώ από την Γ΄ ζώνη στην Δ΄ ζώνη η αύξηση είναι 13%. Με τον ίδιο τρόπο, αυτό συμβαίνει διότι όσο ψυχραίνει το κλίμα τόσο πιο κοντά είναι οι εξωτερικές θερμοκρασίες στην εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού για την ψύξη (26 °C). Αξίζει να σημειωθεί πως κατά την μοντελοποίηση δεν εισήχθησαν οι καμπύλες λειτουργίας της ΑΘ σε μερικό φορτίο, με αποτελέσματα τα εν λόγω αποτελέσματα να έχουν πιθανή απόκλιση από τα πραγματικά.



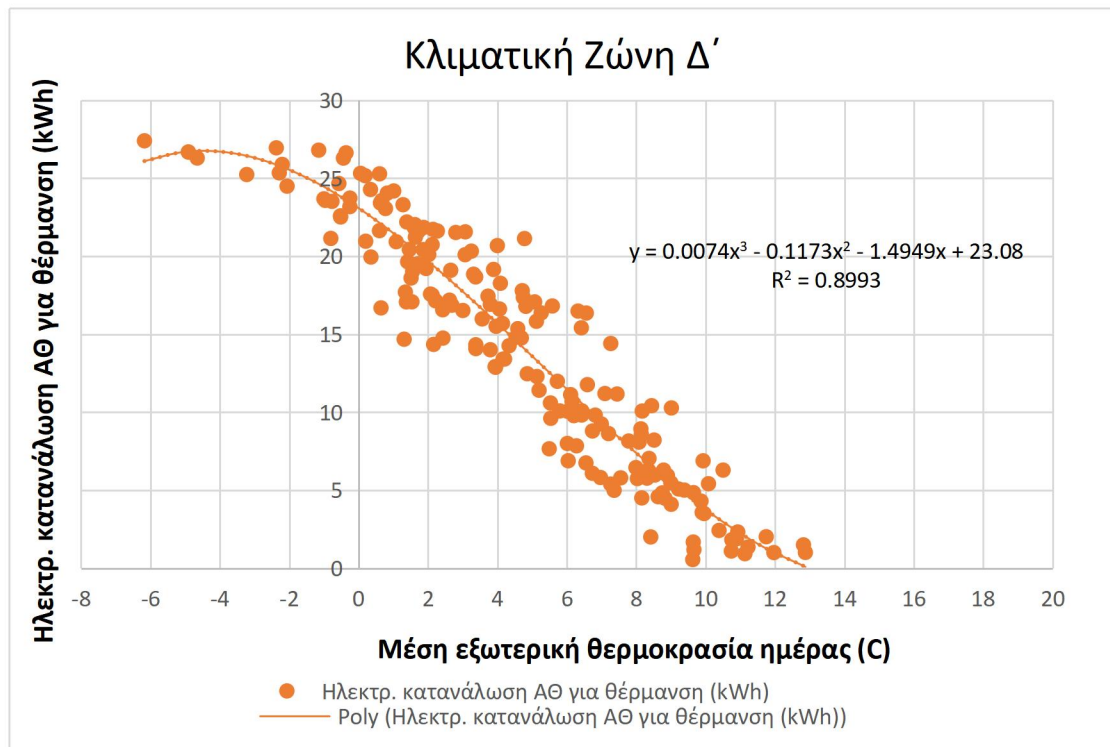
Διάγραμμα 5.4: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε θέρμανση συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Α΄.



Διάγραμμα 5.5: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε θέρμανση συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Β΄.



Διάγραμμα 5.6: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε θέρμανση συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Γ΄.



Διάγραμμα 5.7: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε θέρμανση συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Δ΄.

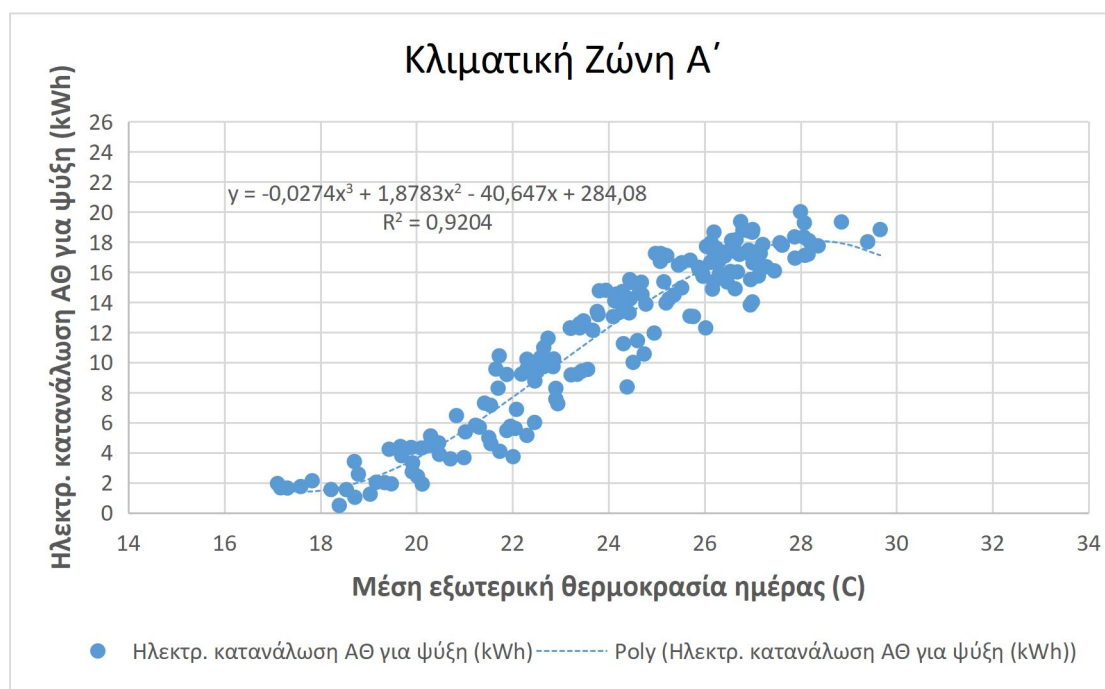
Στα διαγράμματα 5.4 έως 5.7 απεικονίζεται η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση της ΑΘ σε θέρμανση συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα ανά κλιματική ζώνη. Παρατηρείται ότι οι τιμές προσεγγίζουν πολυωνυμική συνάρτηση τρίτου βαθμού. Γίνεται αντιληπτό ότι η ΑΘ λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μεταβαίνοντας από την θερμότερη ζώνη Α΄ έως την ψυχρότερη ζώνη Δ΄, με αποτέλεσμα η ενεργειακή κατανάλωση να αυξάνεται. Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν πολλά σημεία όπου για την ίδια περίπου μέση εξωτερική θερμοκρασία ημέρας η ηλεκτρική κατανάλωση διαφέρει εντελώς. Κύριος λόγος που οφείλεται αυτό είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους και πιο συγκεκριμένα η υστέρηση του παρουσιάζει η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε σχέση με την μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασία. Η ΑΘ για να επιτύχει την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία, πρέπει να αποδώσει ένα ποσό θερμότητας Q_2 . Αυτό το ποσό προέρχεται, θεωρητικά, από την θερμότητα Q_1 που αντλεί από το έδαφος και την ηλεκτρική κατανάλωση της ΑΘ W_{in} (που απεικονίζεται στα διαγράμματα 5.4 με 5.7). Ισχύει ότι $Q_2 = Q_1 + W_{in}$. Έτσι, μπορεί να υπάρξουν ημέρες με ίσες θερμοκρασίες σε διαφορετικούς μήνες του έτους (άρα το ποσό θερμότητας Q_2 να είναι το ίδιο) όπου η θερμοκρασία του εδάφους να είναι διαφορετική λόγω της χρονικής υστέρησης. Οπότε το ποσό θερμότητας Q_1 θα διαφέρει, με αποτέλεσμα να διαφέρει και η κατανάλωση της ΑΘ W_{in} .

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται ανά κλιματική ζώνη οι μέσες μηνιαίες εξωτερικές θερμοκρασίες αέρα και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες εδάφους όπως υπολογίζονται από την σχέση Labs σε βάθος 2 m όπου τοποθετείται ο γεωθερμικός εναλλάκτης.

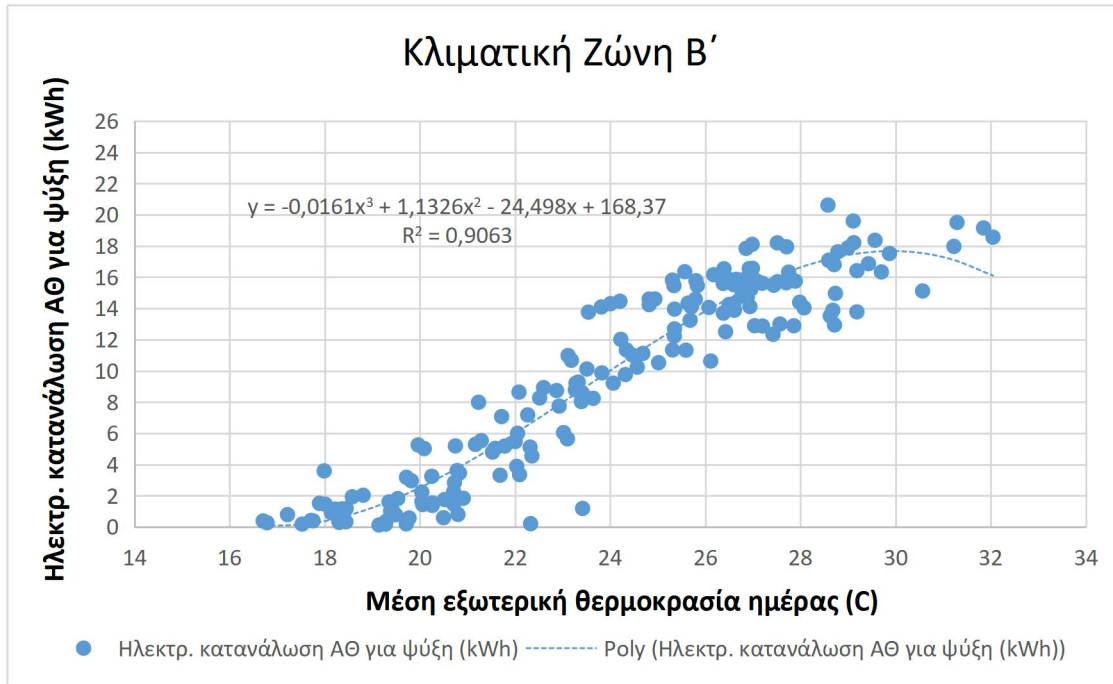
Πίνακας 5.2: Μέσες μηνιαίες εξωτερικές θερμοκρασίες αέρα και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες εδάφους ανά κλιματική ζώνη.

	Κλιματική ζώνη Α'		Κλιματική ζώνη Β'		Κλιματική ζώνη Γ'	
	Μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία (C)	Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους (σχ. Labs) (C)	Μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία (C)	Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους (σχ. Labs) (C)	Μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία (C)	Μέση μηνιαία θερμοκρασία εδάφους (σχ. Labs) (C)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	12,78	17,64	10,70	17,25	6,15	14,07
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,72	16,66	9,58	16,11	6,61	12,60
ΜΑΡΤΙΟΣ	14,13	16,22	11,39	15,61	9,50	11,95
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	17,21	16,44	15,06	15,86	13,22	12,29
ΜΑΪΟΣ	20,42	17,29	19,61	16,84	18,44	13,58
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,21	18,55	24,61	18,29	23,33	15,47
ΙΟΥΛΙΟΣ	26,33	19,87	27,30	19,80	25,79	17,44
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26,86	20,91	27,59	21,00	25,45	18,99
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,32	21,36	23,88	21,52	21,29	19,66
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	20,44	21,11	19,15	21,23	15,95	19,28
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	17,53	20,24	14,51	20,23	11,08	17,96
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	13,62	18,98	10,86	18,78	7,37	16,06

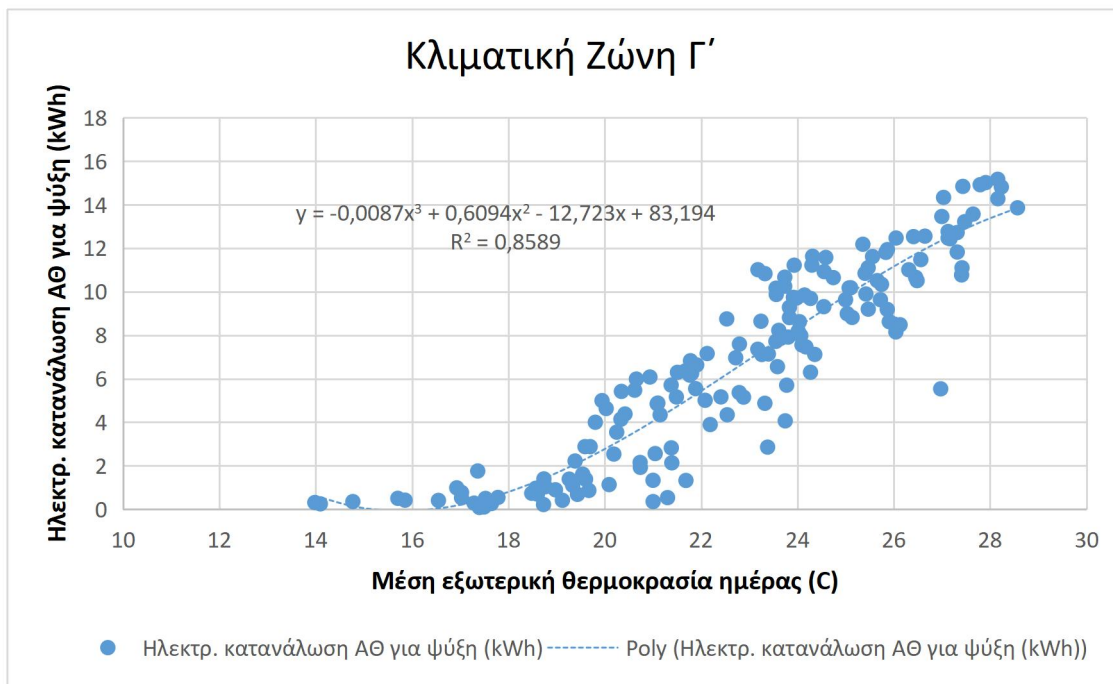
Ακόμα, στην κλιματική ζώνη Δ' παρουσιάζονται περισσότερα σημεία με υψηλότερες καταναλώσεις καθώς υπάρχουν περισσότερες ημέρες με χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες.



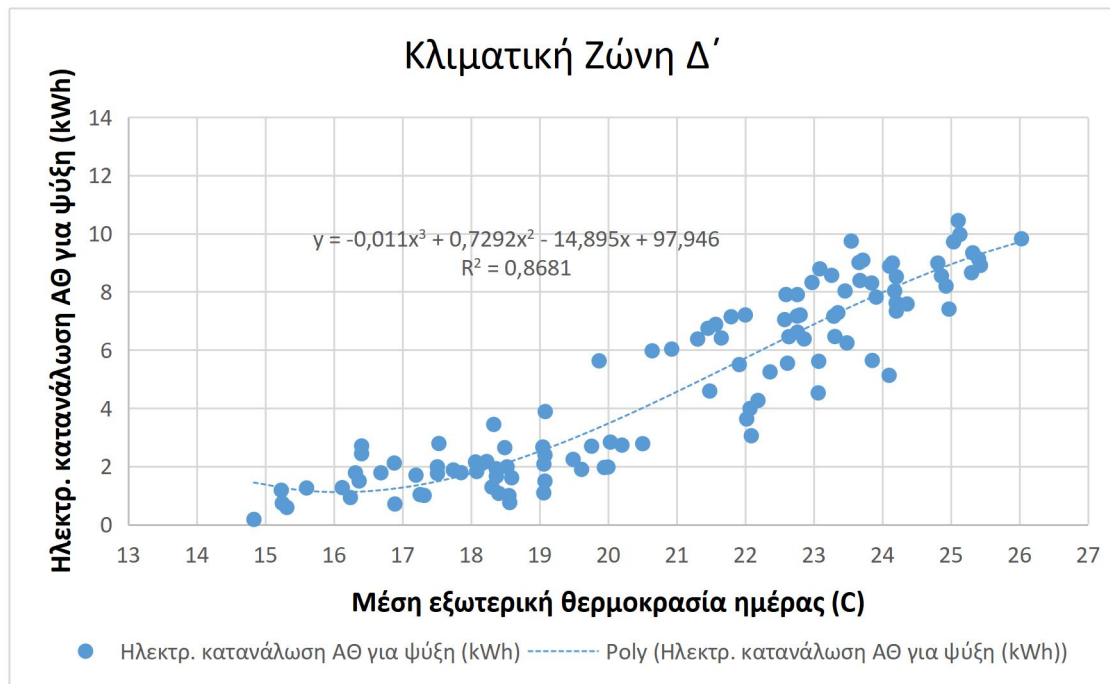
Διάγραμμα 5.8: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε ψύξη συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Α'.



Διάγραμμα 5.9: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε ψύξη συναρτήσκει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Β΄.

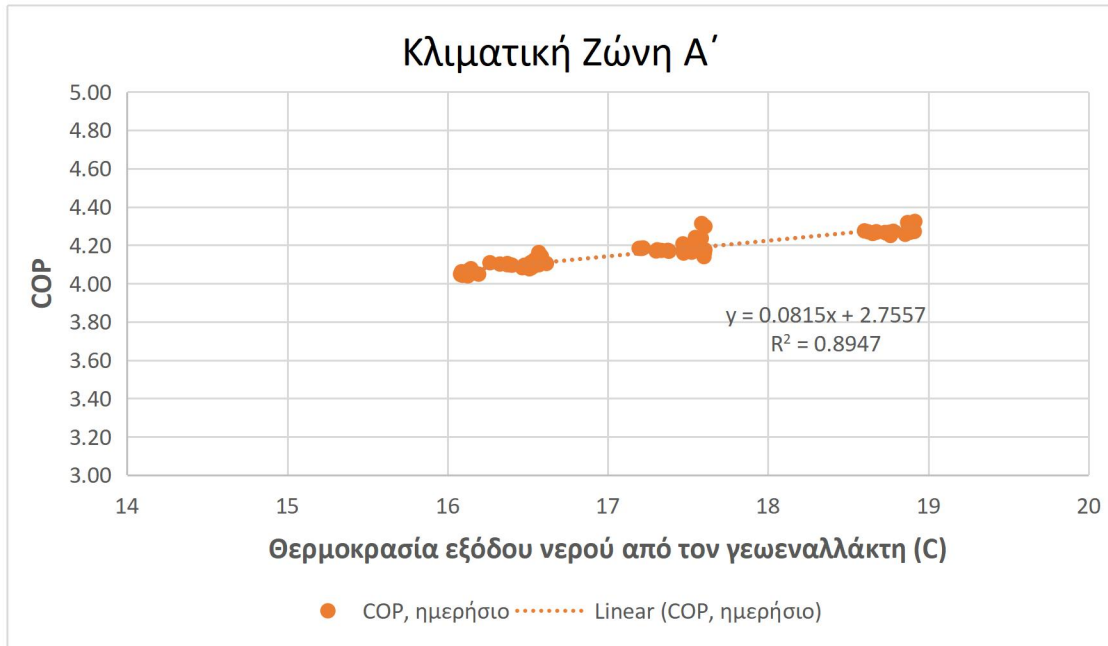


Διάγραμμα 5.10: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε ψύξη συναρτήσκει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Γ΄.

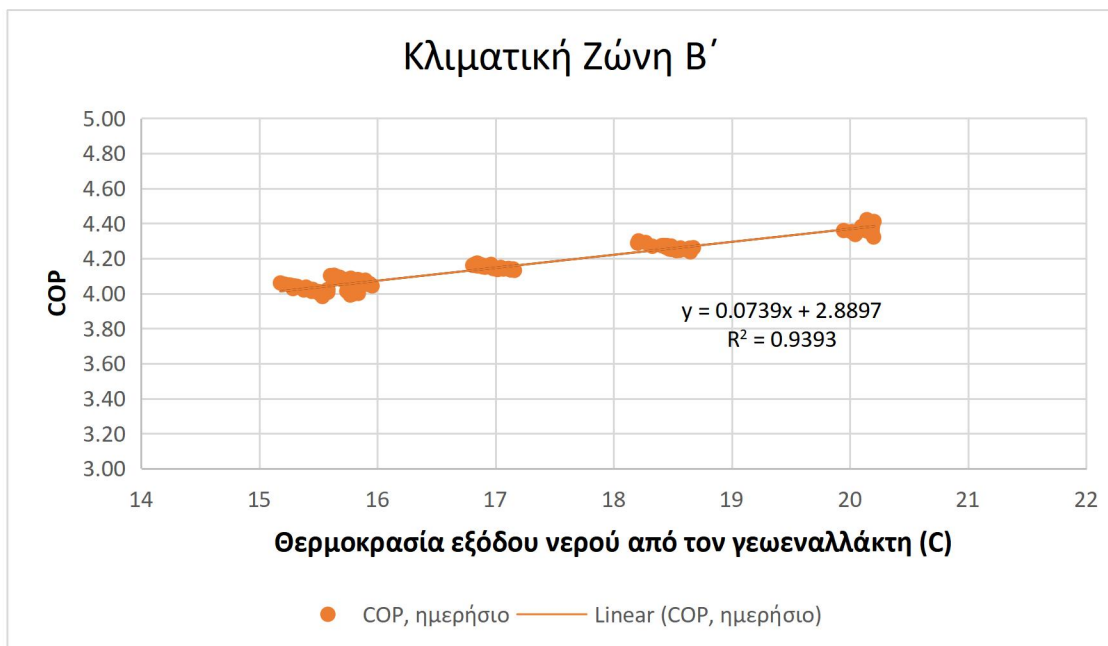


Διάγραμμα 5.11: Ηλεκτρική κατανάλωση ΑΘ σε ψύξη συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα για την κλιματική ζώνη Δ΄.

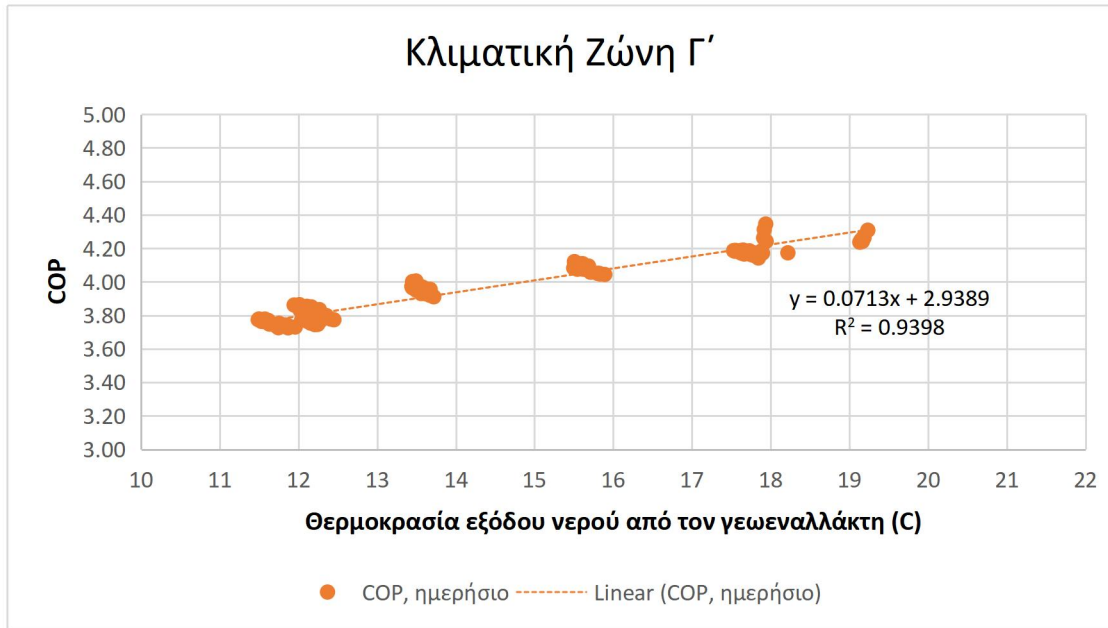
Στα διαγράμματα 5.8 έως 5.11 απεικονίζεται η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση της ΑΘ σε ψύξη συναρτήσει της μέσης ημερήσιας εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα ανά κλιματική ζώνη. Όπως και στην περίπτωση της θέρμανσης, οι τιμές προσεγγίζουν πολυωνυμική συνάρτηση τρίτου βαθμού, με υψηλούς συντελεστές προσδιορισμού. Ακόμα φαίνεται και στην περίπτωση της ψύξης ότι η ΑΘ λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μεταβαίνοντας από την θερμότερη ζώνη Α΄ έως την ψυχρότερη ζώνη Δ΄. Βέβαια, παρατηρείται ότι στην ζώνη Α΄ η ΑΘ λειτουργεί σε μικρότερο εύρος θερμοκρασιών σε σχέση με την ζώνη Β΄. Αυτό συμβαίνει, καθώς όπως προαναφέρθηκε, στην ζώνη Α΄ η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη. Αντίστοιχα, υπάρχουν πολλά σημεία όπου για την ίδια περίπου μέση εξωτερική θερμοκρασία ημέρας η ηλεκτρική κατανάλωση διαφέρει πολύ. Ο λόγος είναι και εδώ η υστέρηση του παρουσιάζει η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε σχέση με την μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας.



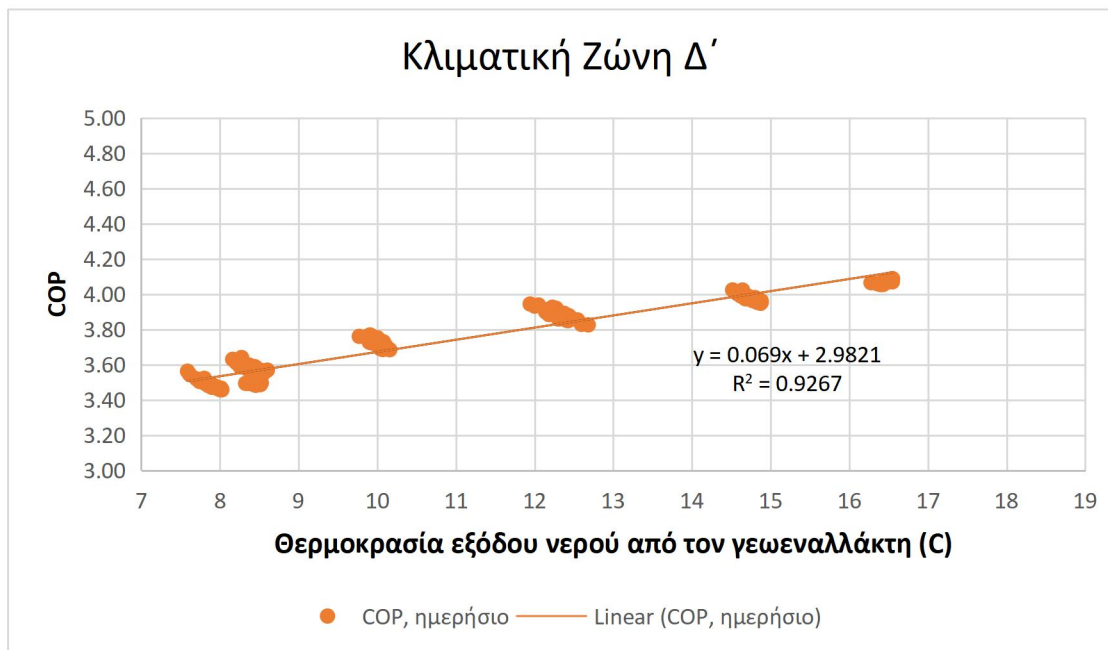
Διάγραμμα 5.12: COP της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Α΄.



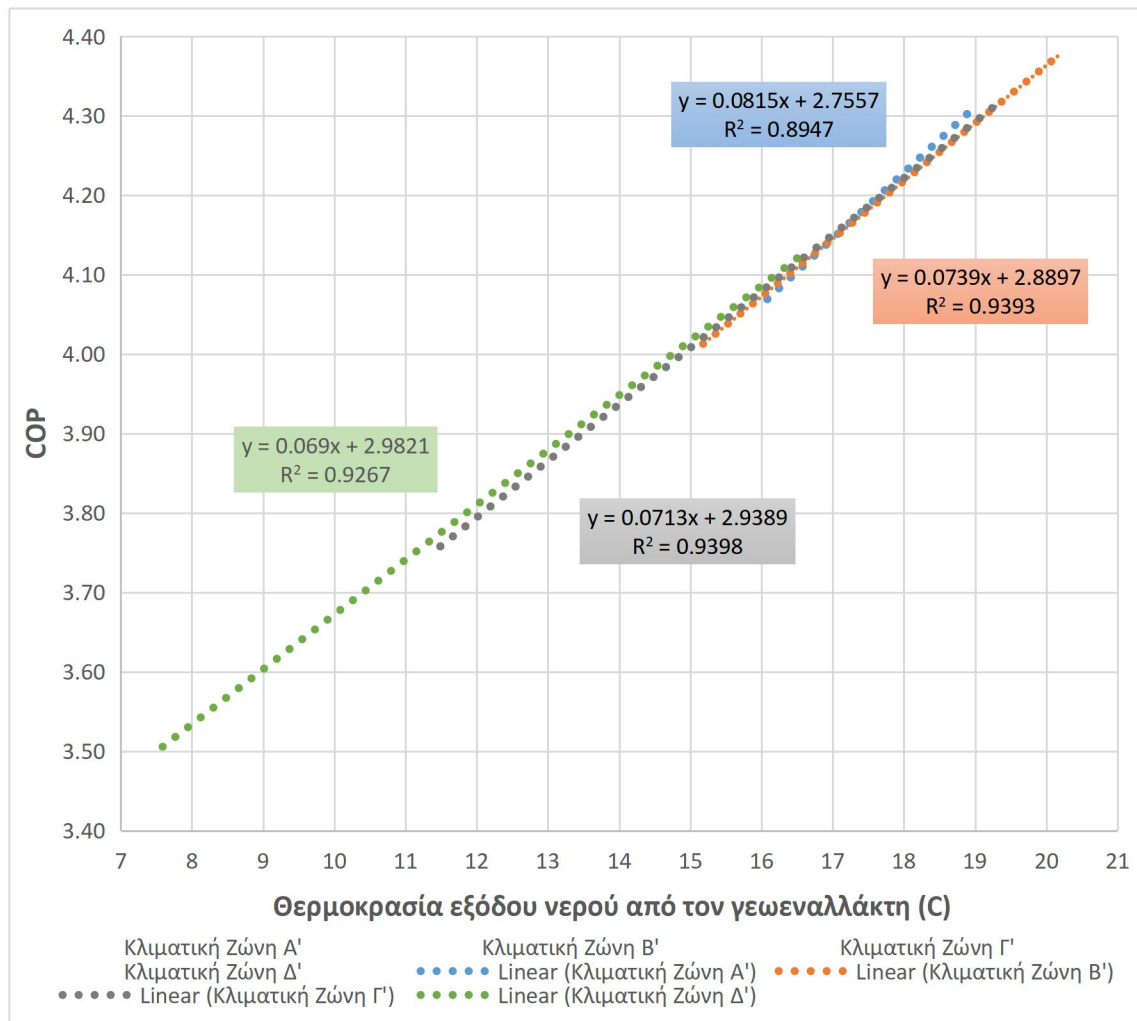
Διάγραμμα 5.13: COP της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Β΄.



Διάγραμμα 5.14: COP της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Γ΄.

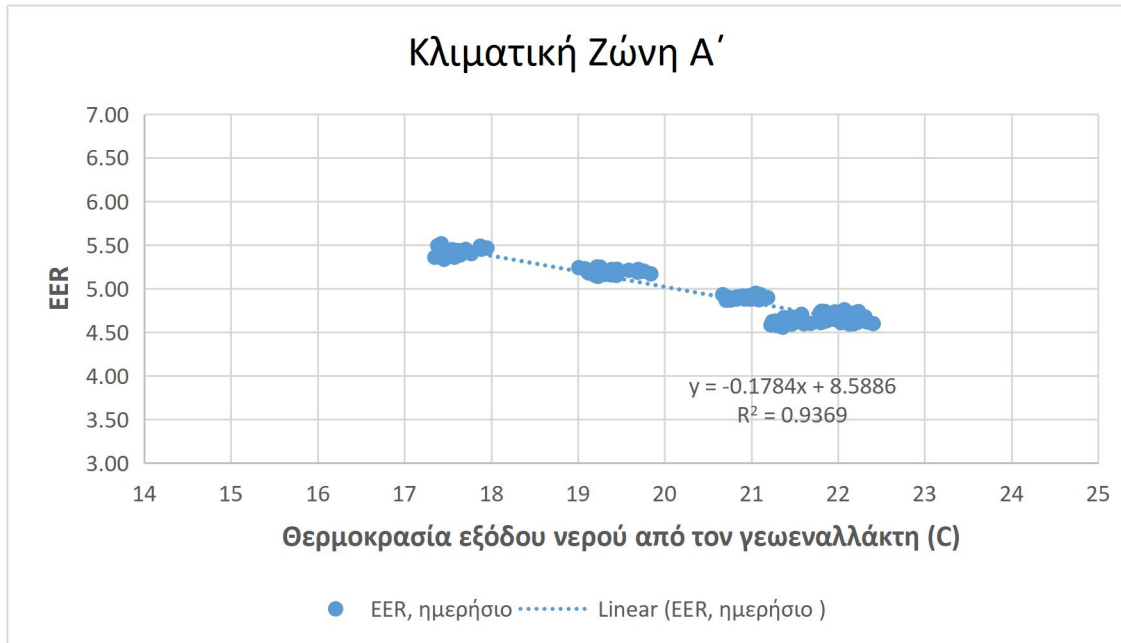


Διάγραμμα 5.15: COP της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Δ΄.

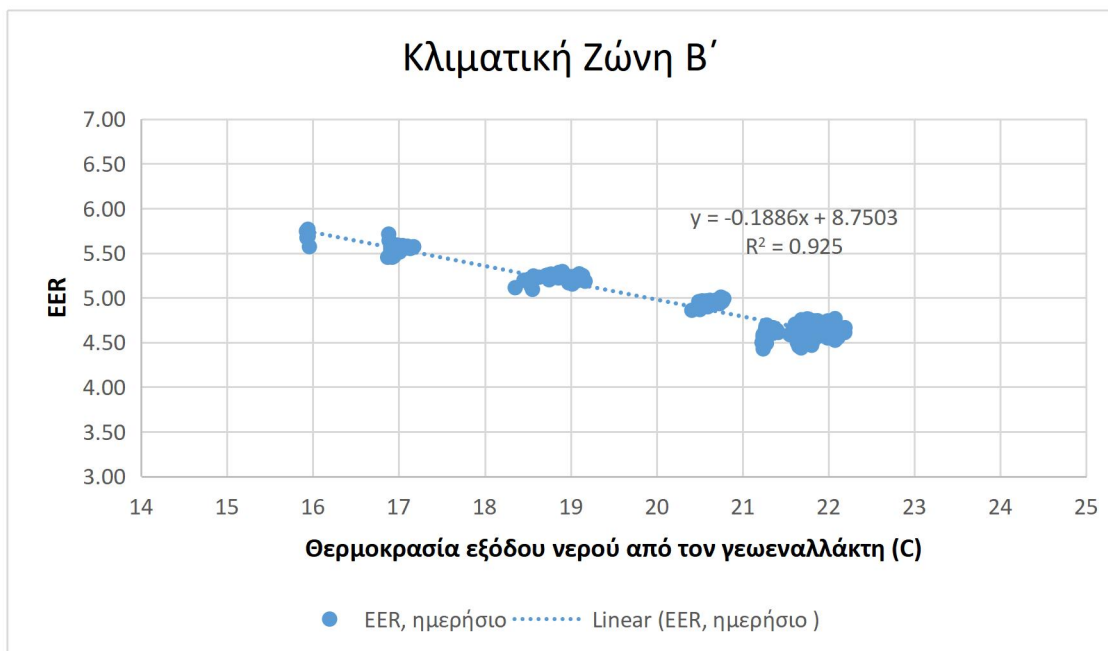


Διάγραμμα 5.16: Σύγκριση των COP της ΑΘ κάθε κλιματικής ζώνης συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη.

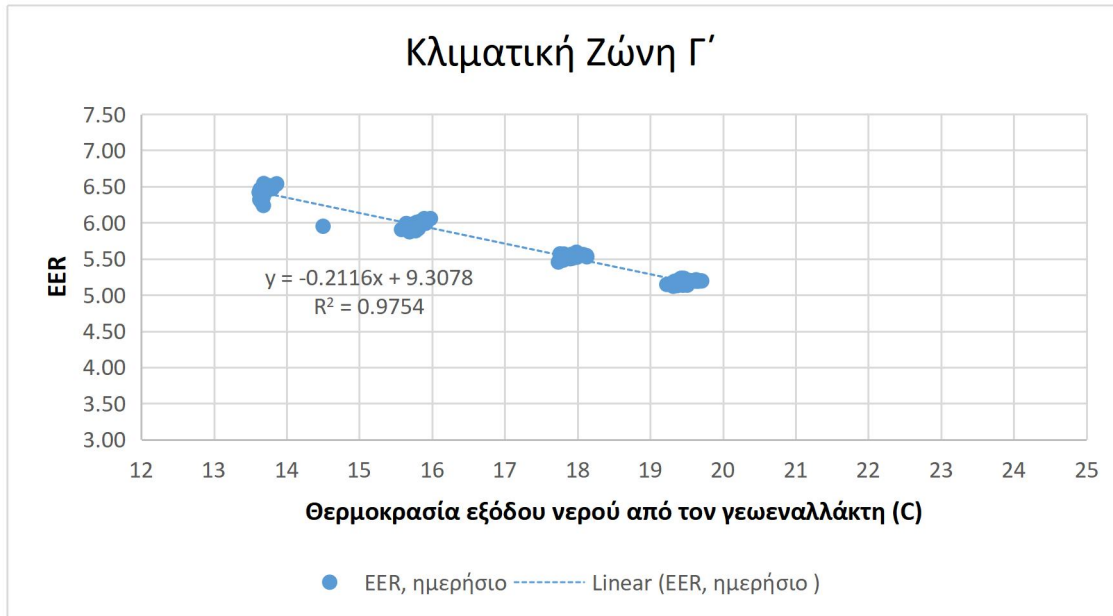
Στο διάγραμμα 5.16 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα επιμέρους διαγράμματα 5.12 έως 5.15. Είναι εμφανής η σχεδόν γραμμική συσχέτιση του μέσου ημερήσιου βαθμού απόδοσης COP και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη. Παρατηρείται ότι η λειτουργία της ΑΘ είναι παρόμοια στην Α' και Β' κλιματική ζώνη, κυρίως λόγω κοντινών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και εδάφους (πιν. 5.2). Στην Δ' ζώνη η ΑΘ λειτουργεί με μικρότερα COP καθώς η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη κυμαίνεται σε χαμηλότερες τιμές. Η ΑΘ αντλεί μικρότερα ποσά θερμότητας από το έδαφος με αποτελέσματα να καταναλώνει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια (διάγραμμα 5.7) για να αποδώσει την απαιτούμενη θερμική ενέργεια στον εσωτερικό χώρο.



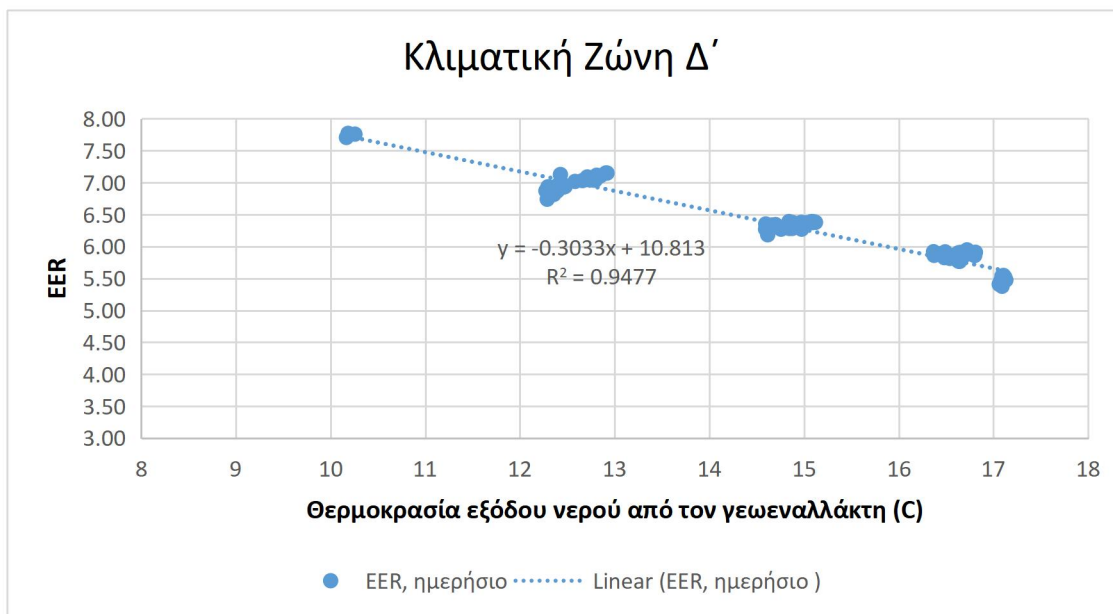
Διάγραμμα 5.17: EER της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Α΄.



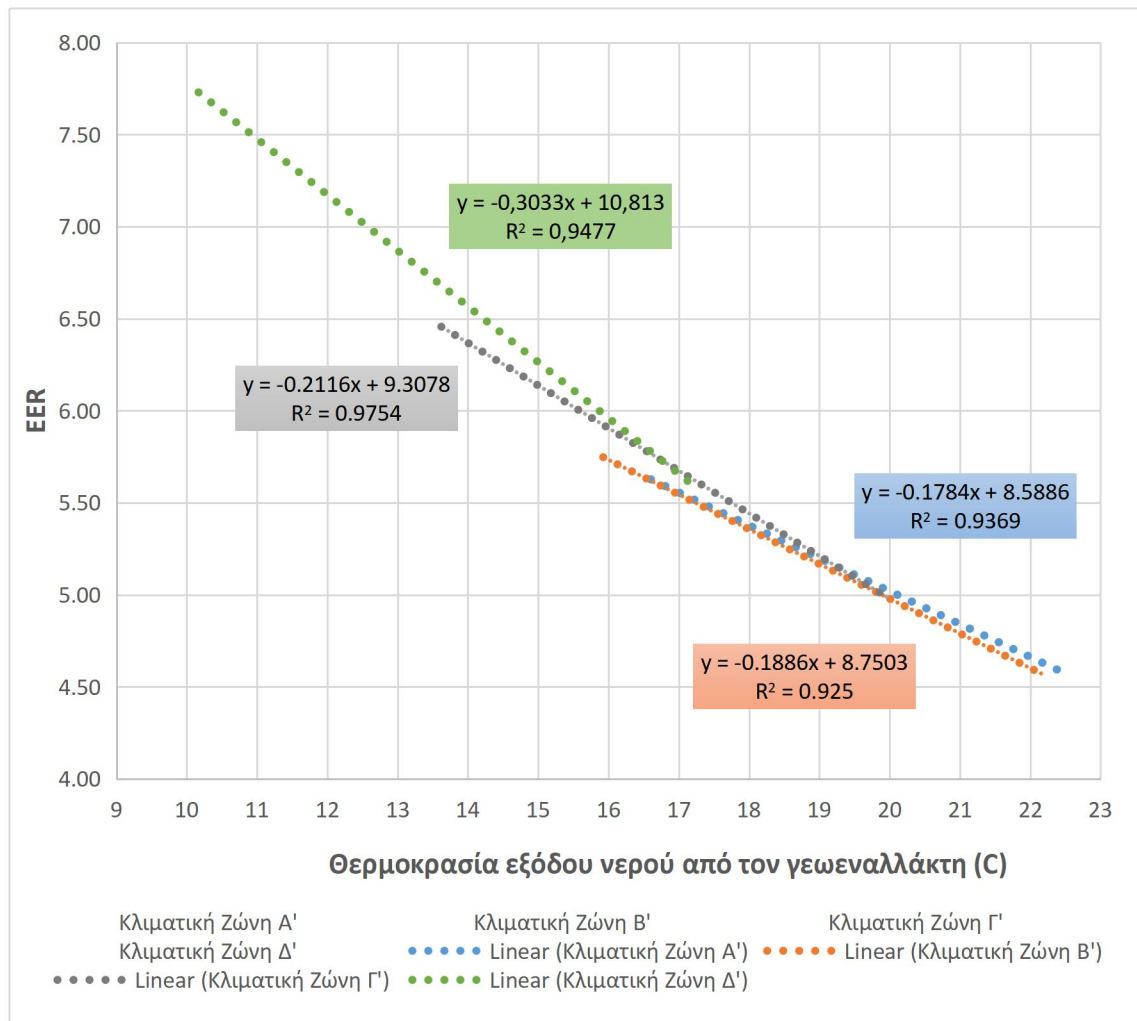
Διάγραμμα 5.18: EER της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Β΄.



Διάγραμμα 5.19: EER της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Γ'.



Διάγραμμα 5.20: EER της ΑΘ συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη για την κλιματική ζώνη Δ'.



Διάγραμμα 5.21: Σύγκριση των EER της ΑΘ κάθε κλιματικής ζώνης συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη.

Στο διάγραμμα 5.21 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα επιμέρους διαγράμματα 5.17 έως 5.20. Όπως και στη θέρμανση, υπάρχει έντονη γραμμική συσχέτιση του βαθμού απόδοσης EER και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη. Η λειτουργία της ΑΘ στην ψύξη για τις ζώνες Α' και Β' είναι και πάλι παρόμοια, κυρίως λόγω κοντινών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και εδάφους. Γενικότερα, παρατηρείται ίδια συμπεριφορά και για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες σε εύρος θερμοκρασιών 18÷22 °C. Στην Δ' ζώνη η ΑΘ επιτυγχάνει υψηλότερα EER καθώς οι μέσες εξωτερικές θερμοκρασίες και οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη είναι χαμηλότερες την θερινή περίοδο σε σχέση με τις υπόλοιπες ζώνες.

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση τεσσάρων (4) διώροφων κτιρίων μονοκατοικίας, το καθένα για μία από τις κλιματικές ζώνες Α', Β', Γ' και Δ'. Τα κτίρια είναι ίδια γεωμετρικά, καθώς και ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας U_m του κάθε κτιρίου είναι περίπου 7,4% κάτω από το αντίστοιχο όριο της κλιματικής ζώνης. Στην συνέχεια μοντελοποιήθηκε για κάθε κτίριο γεωθερμική αντλία θερμότητας με οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη, ονομαστικής θερμικής ισχύος 12,6 kW και ονομαστικής ψυκτικής ισχύος 10,8 kW. Τα μοντέλα του κάθε κτιρίου προσομοιώθηκαν με το λογισμικό DesignBuilder και εξήχθησαν τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 5.

Συνοψίζοντας, συμπεραίνεται ότι μεταβαίνοντας από την θερμότερη κλιματική ζώνη Α' στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη Δ' οι ηλεκτρικές καταναλώσεις σε θέρμανση αυξάνονται και οι ηλεκτρικές καταναλώσεις σε ψύξη μειώνονται. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών από την Α' ζώνη στην Δ' ζώνη. Η ποσοστιαία διαφορά στην ηλεκτρική κατανάλωση της ΑΘ για θέρμανση και αντίστοιχα για ψύξη είναι 20% ανάμεσα στις ζώνες Α' και Β', 28% στις ζώνες Β' και Γ' και 21% στις ζώνες Γ' και Δ'. Όσον αφορά την συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ΑΘ (για θέρμανση και ψύξη) υπάρχει 5,8% αύξηση από την ζώνη Α' στην ζώνη Β', 8,3% αύξηση από την ζώνη Β' στην ζώνη Γ' και 11,4% αύξηση από την ζώνη Γ' στην ζώνη Δ'. Ταυτόχρονα οι βαθμοί απόδοσης COP μειώνονται καθώς η ΑΘ λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα οι θερμοκρασιακές διαφορές σε σχέση με την εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού (20 °C) να αυξάνονται, άρα να μειώνεται ο βαθμός απόδοσης.

Αντίστοιχα, κατά την λειτουργία της ψύξης οι βαθμοί απόδοσης EER αυξάνονται από ζώνη σε ζώνη καθώς με την μείωση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών η ΑΘ λειτουργεί σε εξωτερικές θερμοκρασίες που είναι πιο κοντά στην εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού (26 °C). Άρα, γενικότερα, όταν οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες βρίσκονται πιο κοντά στις θερμοκρασίες σχεδιασμού, τότε οι βαθμοί απόδοσης COP και EER αυξάνονται. Επίσης, παρατηρείται ότι οι παραπάνω βαθμοί απόδοσης είναι υψηλότεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους αντλιών θερμότητας με πηγή τον αέρα που έχουν γίνει σε άλλες έρευνες. Ενώ, βρίσκονται μέσα στα εύρη διακύμανσης εποχιακών βαθμών απόδοσης σε έρευνες που έχουν γίνει σε παρόμοια συστήματα γεωθερμικών ΑΘ.

Οι θερμοκρασίες του εδάφους για κάθε ζώνη, υπολογίστηκαν μέσω της σχέσης του Labs. Με βάση την σύγκριση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του εξωτερικού περιβάλλοντος και του εδάφους, παρατηρείται χρονική υστέρηση στην μεταβολή των θερμοκρασιών του εδάφους όταν μεταβάλλονται οι εξωτερικές θερμοκρασίες. Παρατηρείται ότι και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του εδάφους μειώνονται από την θερμότερη ζώνη Α' έως την ψυχρότερη ζώνη Δ'. Ακόμα λόγω της ισχυρά γραμμικής συσχέτισης της θερμοκρασίας εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη με τους ημερήσιους βαθμούς απόδοσης COP και EER, συμπεραίνεται ότι είναι μείζονος σημασίας η σωστή μοντελοποίηση του εδάφους, ώστε τα αποτελέσματα που παράγει η προσομοίωση να είναι αξιόπιστα. Για την διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη, κρίσιμη παράμετρος είναι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, οπότε και η τιμή της θα πρέπει να υπολογισθεί σωστά ή να μετρηθεί ή να αντληθεί από έγκυρη πηγή. Στις ζώνες Α' και Β' υπάρχει παρόμοιο

εύρος ημερήσιων COP $4,05 \div 4,30$ και $4,0 \div 4,35$ αντίστοιχα, ενώ στην Γ' ζώνη το εύρος είναι $3,75 \div 4,30$ και στην Δ' ζώνη $3,50 \div 4,10$. Άρα όταν μειώνεται η μέση ημερήσια θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη (από την κλιματική ζώνη Α' έως την κλιματική ζώνη Δ'), τότε μειώνεται και ο μέσος ημερήσιος βαθμός απόδοσης COP. Στην λειτουργία της ψύξης η ΑΘ λειτουργεί με υψηλότερους βαθμούς απόδοσης EER. Υπάρχει παρόμοιο εύρος ημερήσιων EER στις ζώνες Α' και Β' ($4,5 \div 5,5$), στην ζώνη Γ' το εύρος είναι $5 \div 6,5$, ενώ στην Δ' ζώνη $5,5 \div 7,55$. Συμπεραίνεται ότι όταν μειώνεται η μέση ημερήσια θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον γεωεναλλάκτη (από την κλιματική ζώνη Α' έως την κλιματική ζώνη Δ'), τότε αυξάνεται και ο μέσος ημερήσιος βαθμός απόδοσης EER.

Με το τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτείνονται μερικά θέματα για περαιτέρω διερεύνηση:

- Μελέτη των καταναλώσεων και των αποδόσεων των κελυφών με την προσθήκη συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.
- Ενεργειακή αξιολόγηση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη σε κτίριο κατοικίας που δεν είναι θερμομονωτικά επαρκές κατά Κ.ΕΝ.Α.Κ., σε κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.
- Τεχνικοοικονομική ανάλυση συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε κτίριο κατοικίας ανά κλιματική ζώνη. Σύγκριση οικονομικής βιωσιμότητας σε σχέση με συμβατικό σύστημα.
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής με αντίστοιχη στην οποία να εφαρμόζεται διαφορετικός γεωθερμικός εναλλάκτης, όπως πχ slinky ή κάθετος.
- Διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη και μοντελοποίηση του εδάφους με την χρήση αντίστοιχων λογισμικών.

Αναφορές - Βιβλιογραφία

- [1] Global Alliance for Buildings and Construction. 2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. In United Nations Environment Programme and the International Energy Agency, editors. COP25 press conference [conference on internet]. Madrid: 2019. [cited 2023 October 6]; Available from: https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf
- [2] IEA. The Future of Heat Pumps - Analysis [Internet]. Paris: IEA; 2022 [cited 2023 October 6]. Available from: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
- [3] Μουραντίδη, Χ. Διερεύνηση καταναλώσεων ψύξης-θέρμανσης κατοικιών με αντλίες θερμότητας γεωθερμικές και μη [Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία]. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών; 2020.
- [4] Κατσαπρακάκης Δ, Μονιάκης Μ. Θέρμανση - Ψύξη - Κλιματισμός [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις; 2015.
- [5] Μαλαματένιος, Χ. “Γεωθερμία – Ηλιοθερμία” - Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας. Αθήνα: Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων Γενική Συνομοσπονδία Παγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας; 2014.
- [6] Lyons, L., Georgakaki, A., Kuokkanen, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Joanny Ordonez, G., Eulaerts, O. and Grabowska, M., Clean Energy Technology Observatory: Heat Pumps in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2022 0 [cited 2023 October 6]. Available from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d82fc57b-657d-11ed-9f85-01aa75ed71a1/language-en>
- [7] Γιαννάκος, Ν. Αντλίες θερμότητας σε συστήματα θέρμανσης - Σχεδιασμός-Ενεργειακή αξιολόγηση [Διπλωματική εργασία]. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης; 2014.
- [8] Οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Απριλίου 2009, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ. [παρατίθεται 25 Ιανουαρίου 2024]. Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EL:PDF>
- [9] Παπαμίχος, Ο. Παραμετρική ανάλυση των συντελεστών απόδοσης σε θέρμανση και ψύξη και εκτίμηση των εποχιακών βαθμών απόδοσης για θέρμανση σε αντλίες θερμότητας εδάφους νερού για τις 4 κλιματικές ζώνες της Ελλάδας [Διπλωματική εργασία]. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης; 2019.

[10] HE RENEWABLE ENERGY HUB UK. A Quick Guide to Ground Source Heat Pumps [Internet]. [cited 2024 January 25]. Available from: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/heat-pumps-information/ground-source-heat-pumps>

[11] Hepbasli A. Ground-Source Heat Pumps. Encyclopedia of Energy. 2004: p. 97-106 [cited 2024 January 25]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012176480X003491>

[12] Βραχόπουλος Μ. Κούκου Μ. Καρύτσας Ν. Κανονική γεωθερμία - αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές. Αθήνα: Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις; 2015.

[13] Zhang Y, Ma Q, Li B, Fan X, Fu Z. Application of an air source heat pump (ASHP) for heating in Harbin, the coldest provincial capital of China. Energy and Buildings. 2017; 138: 96–103.

[14] Xiao B, He L, Zhang S, Kong T, Hu B, Wang RZ. Comparison and analysis on air-to-air and air-to-water heat pump heating systems. Renewable Energy. 2020; 146: 1888–96.

[15] Μουζεβίρης Γ, Παπακώστας Κ. Συγκριτική ανάλυση εποχιακών συντελεστών αποδοτικότητας σε θέρμανση (SCOP) σε αντλίες θερμότητας αέρα – νερού. Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής. 12ο εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχρούδη; 2021; 603-616.

[16] Marcic M. Long-term performance of central heat pumps in Slovenian homes. Energy and Buildings. 2004; 36(2): 185–93.

[17] Asaee SR, Ugursal VI, Beausoleil-Morrison I. Techno-economic feasibility evaluation of air to water heat pump retrofit in the Canadian housing stock. Applied Thermal Engineering. 2017; 111: 936–49.

[18] Çakır U, Çomaklı K, Çomaklı Ö, Karlı S. An experimental exergetic comparison of four different heat pump systems working at same conditions: As air to air, air to water, water to water and water to air. Energy. 2013; 58: 210–9.

[19] Schibuola L, Scarpa M. Experimental analysis of the performances of a surface water source heat pump. Energy and Buildings. 2016; 113: 182–8.

[20] Furuno S, Okushima L, Sase S. Comparison of coefficient of performance (COP) between an underground water source heat pump system and an air source heat pump system for greenhouse heating in cold and snowy areas in Japan. J Agric Meteorol. 2016; 72(3–4): 173–7.

[21] Γαϊτανίδης Α. Διερεύνηση ενεργειακής απόδοσης και εκπομπών CO₂ συστημάτων αερισμού σε πειραματικά κτίρια. [Διπλωματική εργασία]. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης; 2022.

- [22] Απταλίδου Φ. Η νέα πρόκληση: Κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. [Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία]. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης; 2018.
- [23] European Union. Your gateway to the EU, News, Highlights [homepage on the internet]. [cited 2023 October 6]. Available from: https://european-union.europa.eu/index_en
- [24] U.S. Department of Energy. EnergyPlus Essentials. Washington DC: U.S. Department of Energy; 2021 [cited 2023 October 11]. Available from: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v23.2.0/EnergyPlusEssentials.pdf
- [25] Γιαννόπουλος Γ. Α. Αξιολόγηση συστήματος θέρμανσης και ψύξης σε μοντέλο κτηρίου σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, με προσομοίωση. [Διπλωματική εργασία]. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής; 2023.
- [26] Trimble. 3D Design Software | 3D Modeling on the Web | SketchUp [homepage on the internet]. [cited 2023 October 12]. Available from: <https://www.sketchup.com/>
- [27] OpenStudio. OpenStudio [homepage on the internet]. [cited 2023 October 12]. Available from: <https://openstudio.net/>
- [28] DesignBuilder Software Ltd, editor. DesignBuilder 2.1 User's Manual [Internet]. Stroud, Gloucestershire, U.K.: DesignBuilder Software Ltd; 2009 [cited 2023 October 15]. Available from: https://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf
- [29] Φ. Β2367, Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. 2017.
- [30] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017 Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων σύμφωνα με την αναθεώρηση του Κ.Ε.Ν.Α.Κ. Α΄ έκδοση. Αθήνα: 2017.
- [31] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017 Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την εκδοσή του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. Α΄ έκδοση. Αθήνα: 2017.
- [32] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών. Γ΄ έκδοση. Αθήνα: 2014.
- [33] ThermoMap MapViewer [homepage on the internet]. [cited 2024 March 9]. Available from: <https://www.thermomap.eu/index.html?lang=gr#>
- [34] Κατσαπρακάκης Δ. Καινότεμες Τεχνολογίες Εφαρμογών Α.Π.Ε. και Εξοικονόμησης Ενέργειας-Γεωθερμία-Διαστασιολόγηση κάθετου και οριζοντίου γεωθερμικού εναλλάκτη. Κρήτη: Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθησης (Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Τ.Ε.Ι. Αθήνας); 2015.

[35] Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS. Fundamentals of heat and mass transfer. 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley; 2007.

[36] Carrier. Product Data - AQUAZONE™ 50PSW036-360 Water-to-Water Water Source Heat Pump with PURON® Refrigerant (R-410A) 50 Hz - 8.6 to 68.2 Nominal kW. Syracuse, New York: Carrier Corporation; 2011.

[37] You T, Wu W, Shi W, Wang B, Li X. An overview of the problems and solutions of soil thermal imbalance of ground-coupled heat pumps in cold regions. Applied Energy. 2016; 177: 515–36.

[38] Sakellariou E. Energetic study of a solar assisted ground source heat pump system for domestic heating with parametric analyses via simulation. [Ph.D. Thesis]. Leicester: De Montfort University; 2020.

Παράρτημα Α

Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων και κτιρίου για τις κλιματικές ζώνες Α', Γ' και Δ'

Πίνακας 1: Εξωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Α'.

Εξωτερική τοιχοποιία/Exterior wall						
			Πάχος d (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
	Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra				0,040	
Έξω	1 Acrylic paint	Ακρυλική μπογιά				
	2 Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023	
	3 Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,060	0,040	1,500	
	4 Brickwork (18 cm)	Μπατική τοιχοποιία	0,180	0,580	0,310	
Μέσα	5 Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023	
	Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri				0,130	
			0,280		2,026	U _{max} KENAK
	Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)				0,494	0,550

Πίνακας 2: Δάπεδο κελύφους κλιματικής ζώνης Α'.

Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος/Floor in contact with the ground						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
	Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra				0,000	
Έξω	1 Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460	0,065	
	2 Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230	0,009	
	3 Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,030	0,040	0,750	
	4 Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500	0,060	
	5 Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400	0,029	
Μέσα	6 Cement tiles	Κεραμικά πλακίδια	0,010	1,840	0,005	
	Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri				0,170	
			0,262		1,088	U _{max} KENAK
	Ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)				0,919	1,100

Πίνακας 3: Υπολογισμός ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου U', κλιματικής ζώνης Α'.

Εμβαδόν πλάκας - A (m ²)	94,610
Εκτεθειμένη περίμετρος πλάκας - Π (m)	40,600
Χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας - Β' (m)	4,661
Βάθος έδρασης του ΔΣ - z (m)	0,000
Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' (W/m ² K)	0,43

Πίνακας 4: Οροφή κελύφους κλιματικής ζώνης Α'.

Οριζόντια οροφή σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον/Horizontal roof in contact with the external environment						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,040	
Έξω	1	Sidewalk slabs	Πλάκες πεζοδρομίου	0,030	1,500	0,020
	2	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400	0,029
	3	Geotextile	Γεωϋφασμα	0,001	0,040	0,025
	4	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230	0,009
	5	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460	0,065
	6	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,080	0,040	2,000
	7	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500	0,060
Μέσα	8	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,100	
				0,353	2,370	U _{max} KENAK
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,422	0,450

Πίνακας 5: Εσωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Α'.

Εσωτερική τοιχοποιία/Interior wall						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
Έξω	1	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,870	0,011
	2	Brickwork (9 cm)	Δρομική τοιχοποιία	0,090	0,450	0,200
Μέσα	3	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,870	0,011
				0,110		0,223
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)				4,485

Πίνακας 6: Παράθυρα και μπαλκονόπορτες κελύφους κλιματικής ζώνης Α΄.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΟΡΟΦΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Ag (m ²)	Af (m ²)	Aw (m ²)	Ug (W/m ² K)	Uf (W/m ² K)	lg (m)	Ψg (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Uw,average, παραθ. (W/m ² K)	Uw,average, μπαλκ. (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	3,3	4,5	0,11	2,794	2,792		2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	3,3	4,5	0,11	2,794			2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	2,9	3,5	0,11	2,795			2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	2,5	2,1	0,11	2,783			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3,9	6,6	0,11	2,781	2,787		2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3,9	6,6	0,11	2,781			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3,9	6,5	0,11	2,792			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3,9	6,5	0,11	2,792			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3,9	6,5	0,11	2,792	2,792		2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	3,3	4,5	0,11	2,794			2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	3,3	4,5	0,11	2,794			2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	2,9	3,5	0,11	2,795			2,8
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	2,5	2,1	0,11	2,783	2,787		2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3,9	6,6	0,11	2,781			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	3,9	6,6	0,11	2,781			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3,9	6,5	0,11	2,792			2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3,9	6,5	0,11	2,792	2,787		2,8
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	3,9	6,5	0,11	2,792			2,8

Πίνακας 7: Πόρτες κελύφους κλιματικής ζώνης Α΄.

ΤΥΠΟΣ ΑΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΟΡΟΦΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Af (m ²)	Aw (m ²)	Uf (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΔΥΤΙΚΑ	2	0,9	1,8	1,8	2,78	2,780	2,8
ΠΟΡΤΑ	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	2,15	0,9	1,935	1,935	2,78	2,780	2,8

Πίνακας 8: Υπολογισμός του γινομένου $A_j \cdot U_j$ για κάθε προσανατολισμό του κελύφους της κλιματικής ζώνης Α'.

ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,494	7,90	5,49	43,34	13,20	30,14	14,876
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,781	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	9,176
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,781	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	9,176
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,781	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	9,176
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,781	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	9,176
ΣΥΝΟΛΟ							51,580
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,494	12,40	5,49	68,03	19,14	48,89	24,128
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,792	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,906
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,792	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,906
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,792	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,906
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,792	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,906
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,792	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,906
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,792	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	8,906
ΣΥΝΟΛΟ							77,564
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,494	7,90	5,49	43,34	11,11	32,24	15,909
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,794	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,862
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,794	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,862
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,795	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	3,089
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,794	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,862
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,794	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,862
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,795	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	3,089
ΠΟΡΤΑ	2,780	0,90	2,15	1,94	0,00	1,94	5,379
ΣΥΝΟΛΟ							46,915
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,494	12,40	5,49	68,03	2,85	65,18	32,167
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,783	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,461
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,783	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,461
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	2,780	0,90	2,00	1,80	0,00	1,80	5,004
ΣΥΝΟΛΟ							40,093

Πίνακας 9: Υπολογισμός του λόγου A/V του κελύφους της κλιματικής ζώνης Α'.

1	Επιφάνεια εξωτερικών τοίχων F _w	176,45	m ²
2	Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα – πόρτες) F _F	46,30	m ²
3	Επιφάνεια οροφής F _D	94,61	m ²
4	Επιφάνεια δαπέδου ισογείου ή οροφή υπογείου F _G	94,61	m ²
5	Επιφάνεια οροφής ΠΥΛΩΤΗΣ F _{DL}	-	m ²
6	Επιφάνεια τοίχων διαχωρισμού F _{AB}	-	m ²
7	Ολική εξωτερική επιφάνεια οικοδομής	411,97	m ²
8	Όγκος οικοδομής	519,07	m ³
9	Λόγος F/V	0,794	m ² (-1)
	U _{m,max}	0,86	W/m ² K

Πίνακας 10: Υπολογισμός του U_m του κελύφους της κλιματικής ζώνης Α΄.

Είδος	ΣΑ (m ²)	Σ(b*U*A), Σ(b*Ψ*I) (W/K)		
Κατακόρυφα Αδιαφανή ΔΣ	180,19	97,464		
Οροφή	94,61	39,912		
Δάπεδο	94,61	40,682		
Διαφανή ΔΣ	42,56	118,688		
Θερμογέφυρες	-	29,675		
Σύνολα	411,96784	326,420		
U_m (W/m ² K)		0,792	Αποδεκτός U_m κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ	Διαφορά % από το $U_{m,max}$
			ΝΑΙ	-7,87%

Πίνακας 11: Εξωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Γ΄.

Εξωτερική τοιχοποιία/Exterior wall					
			Πάχος d (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος R _a			0,040
Εξω	1	Acrylic paint	Ακρυλική μπογιά		
	2	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870
	3	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,080	0,040
	4	Brickwork (18 cm)	Μπατική τοιχοποιία	0,180	0,580
Μέσα	5	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος R _i			0,130
			0,300		2,526
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,396

Πίνακας 12: Δάπεδο κελύφους κλιματικής ζώνης Γ΄.

Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος/Floor in contact with the ground					
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,000
Έξω	1	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460
	2	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230
	3	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,050	0,040
	4	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500
	5	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400
Μέσα	6	Cement tiles	Κεραμικά πλακίδια	0,010	1,840
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,170
				0,282	1,588
		Ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,630

Πίνακας 13: Υπολογισμός ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου U', κλιματικής ζώνης Γ΄.

Έμβαδόν πλάκας - A (m ²)	94,610
Εκτεθειμένη περίμετρος πλάκας - Π (m)	40,600
Χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας - Β' (m)	4,661
Βάθος έδρασης του ΔΣ - z (m)	0,000
Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' (W/m ² K)	0,34

Πίνακας 14: Οροφή κελύφους κλιματικής ζώνης Γ΄.

Οριζόντια οροφή σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον/Horizontal roof in contact with the external environment						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,040	
Έξω	1	Sidewalk slabs	Πλάκες πεζοδρομίου	0,030	1,500	0,020
	2	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400	0,029
	3	Geotextile	Γεωϋφασμα	0,001	0,040	0,025
	4	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230	0,009
	5	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460	0,065
	6	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,100	0,040	2,500
	7	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500	0,060
Μέσα	8	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,100	
				0,373	2,870	
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,348	

Πίνακας 15: Εσωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Γ΄.

Εσωτερική τοιχοποιία/Interior wall						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
Έξω	1	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,870	0,011
	2	Brickwork (9 cm)	Δρομική τοιχοποιία	0,090	0,450	0,200
Μέσα	3	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,870	0,011
				0,110	0,223	
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			4,485	

Πίνακας 16: Παράθυρα και μπαλκονόπορτες κελύφους κλιματικής ζώνης Γ΄.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Ag (m ²)	Af (m ²)	Aw (m ²)	Ug (W/m ² K)	Uf (W/m ² K)	lg (m)	Ψg (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Uw,average, παραθ. (W/m ² K)	Uw,average, μπαλκ. (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,8	4,5	0,11	2,372	2,367		2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,8	4,5	0,11	2,372			2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	1,7	3,5	0,11	2,372			2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	1,6	2,1	0,11	2,354			2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	2,1	6,6	0,11	2,399	2,388		2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	2,1	6,6	0,11	2,399			2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	2	6,5	0,11	2,381			2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	2	6,5	0,11	2,381			2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,8	4,5	0,11	2,372	2,367		2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,8	4,5	0,11	2,372			2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	1,7	3,5	0,11	2,372			2,4
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	1,6	2,1	0,11	2,354			2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	2,1	6,6	0,11	2,399	2,388		2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	2,1	6,6	0,11	2,399			2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	2	6,5	0,11	2,381			2,4
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	2	6,5	0,11	2,381			2,4

Πίνακας 17: Πόρτες κελύφους κλιματικής ζώνης Γ΄.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΟΡΟΦΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Af (m ²)	Aw (m ²)	Uf (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Uw,average (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΔΥΤΙΚΑ	2	0,9	1,8	1,8	2,38	2,380	2,380	2,4
ΠΟΡΤΑ	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	2,15	0,9	1,935	1,935	2,38	2,380		2,4

Πίνακας 18: Υπολογισμός του γινομένου $A_j \cdot U_j$ για κάθε προσανατολισμό του κελύφους της κλιματικής ζώνης Γ'.

ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,396	7,90	5,49	43,34	13,20	30,14	11,931
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,399	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,916
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,399	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,916
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,399	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,916
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,399	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,916
ΣΥΝΟΛΟ							43,595
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,396	12,40	5,49	68,03	19,14	48,89	19,353
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,381	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	7,595
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,381	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	7,595
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,381	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	7,595
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,381	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	7,595
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,381	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	7,595
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,381	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	7,595
ΣΥΝΟΛΟ							64,923
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,396	7,90	5,49	43,34	11,11	32,24	12,761
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,372	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,127
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,372	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,127
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,372	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	2,621
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,372	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,127
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,372	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	4,127
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,372	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	2,621
ΠΟΡΤΑ	2,380	0,90	2,15	1,94	0,00	1,94	4,605
ΣΥΝΟΛΟ							39,116
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,396	12,40	5,49	68,03	2,85	65,18	25,801
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,354	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,236
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,354	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,236
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	2,380	0,90	2,00	1,80	0,00	1,80	4,284
ΣΥΝΟΛΟ							32,557

Πίνακας 19: Υπολογισμός του λόγου A/V του κελύφους της κλιματικής ζώνης Γ'.

1	Επιφάνεια εξωτερικών τοίχων F _w	176,45	m ²
2	Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα – πόρτες) F _F	46,30	m ²
3	Επιφάνεια οροφής F _D	94,61	m ²
4	Επιφάνεια δαπέδου ισογείου ή οροφή υπογείου F _G	94,61	m ²
5	Επιφάνεια οροφής ΠΥΛΩΤΗΣ F _{DL}	-	m ²
6	Επιφάνεια τοίχων διαχωρισμού F _{AB}	-	m ²
7	Ολική εξωτερική επιφάνεια οικοδομής	411,97	m ²
8	Όγκος οικοδομής	519,07	m ³
9	Λόγος F/V	0,794	m ² (-1)
	U _{m,max}	0,71	W/m ² K

Πίνακας 20: Υπολογισμός του U_m του κελύφους της κλιματικής ζώνης Γ'.

Είδος	ΣΑ (m ²)	Σ(b*U*A), Σ(b*Ψ*I) (W/K)		
Κατακόρυφα Αδιαφανή ΔΣ	180,19	78,735		
Οροφή	94,61	32,960		
Δάπεδο	94,61	32,167		
Διαφανή ΔΣ	42,56	101,456		
Θερμογέφυρες	-	24,532		
Σύνολα	411,96784	269,850		
U_m (W/m ² K)		0,655	Αποδεκτός U_m κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ	Διαφορά % από το $U_{m,max}$
			ΝΑΙ	-7,74%

Πίνακας 21: Εξωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Δ'.

Εξωτερική τοιχοποιία/Exterior wall					
			Πάχος d (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,040
Εξω	1	Acrylic paint	Ακρυλική μπογιά		
	2	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870
	3	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,100	2,500
	4	Brickwork (18 cm)	Μπατική τοιχοποιία	0,180	0,310
Μέσα	5	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,130
			0,320		3,026
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,330

Πίνακας 22: Δάπεδο κελύφους κλιματικής ζώνης Δ'.

Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος/Floor in contact with the ground					
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,000
Έξω	1	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460
	2	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230
	3	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,060	0,040
	4	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500
	5	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400
Μέσα	6	Cement tiles	Κεραμικά πλακίδια	0,010	1,840
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,170
				0,292	1,838
		Ονομαστικός συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,544

Πίνακας 23: Υπολογισμός ισοδύναμου συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου U', κλιματικής ζώνης Δ'.

Έμβαδόν πλάκας - A (m ²)	94,610
Εκτεθειμένη περίμετρος πλάκας - Π (m)	40,600
Χαρακτηριστική διάσταση της πλάκας - Β' (m)	4,661
Βάθος έδρασης του ΔΣ - z (m)	0,000
Ισοδύναμος συντελεστής θερμοπερατότητας U' (W/m ² K)	0,34

Πίνακας 24: Οροφή κελύφους κλιματικής ζώνης Δ'.

Οριζόντια οροφή σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον/Horizontal roof in contact with the external environment						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εξωτερικού στρώματος Ra			0,040	
Έξω	1	Sidewalk slabs	Πλάκες πεζοδρομίου	0,030	1,500	0,020
	2	Cement mortar	Τσιμεντοκονίαμα	0,040	1,400	0,029
	3	Geotextile	Γεωϋφασμα	0,001	0,040	0,025
	4	Asphalt cloth	Ασφαλτόπανο	0,002	0,230	0,009
	5	Light concrete (Kisirodema)	Κισηρόδεμα	0,030	0,460	0,065
	6	Extruded polystyrene foam plates	Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	0,120	0,040	3,000
	7	Reinforced concrete	Οπλισμένο σκυρόδεμα (2% σίδηρος)	0,150	2,500	0,060
Μέσα	8	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,020	0,870	0,023
		Αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικού στρώματος Ri			0,100	
				0,393	3,370	
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			0,297	

Πίνακας 25: Εσωτερική τοιχοποιία κελύφους κλιματικής ζώνης Δ'.

Εσωτερική τοιχοποιία/Interior wall						
			Πάχος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/(m·K))	Αντίσταση στην θερμοδιαφυγή R (m ² K/W)	
Έξω	1	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,870	0,011
	2	Brickwork (9 cm)	Δρομική τοιχοποιία	0,090	0,450	0,200
Μέσα	3	Lime mortar	Ασβεστοκονίαμα	0,010	0,870	0,011
				0,110	0,223	
		Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/m ² K)			4,485	

Πίνακας 26: Παράθυρα και μπαλκονόπορτες κελύφους κλιματικής ζώνης Δ'.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Ag (m ²)	Af (m ²)	Aw (m ²)	Ug (W/m ² K)	Uf (W/m ² K)	lg (m)	Ψg (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Uw,average, παραθ. (W/m ² K)	Uw,average, μπαλκ. (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,1	4,5	0,11	2,175	2,156		2,2
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,1	4,5	0,11	2,175			2,2
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	1,1	3,5	0,11	2,160			2,2
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	1,1	2,1	0,11	2,116			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	1	6,6	0,11	2,165	2,165		2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	1	6,6	0,11	2,165			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	1	6,5	0,11	2,165			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	1	6,5	0,11	2,165			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	1	6,5	0,11	2,165	2,2	2,2	
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,1	4,5	0,11	2,175	2,156		2,2
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	1,45	1,2	1,25	0,49	1,74	2,2	1,1	4,5	0,11	2,175			2,2
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΝΟΤΙΑ	0,85	1,3	0,715	0,39	1,105	2,2	1,1	3,5	0,11	2,160			2,2
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	Operable Window	ΔΥΤΙΚΑ	0,75	0,7	0,275	0,25	0,525	2,2	1,1	2,1	0,11	2,116			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	1	6,6	0,11	2,165	2,165		2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΒΟΡΕΙΑ	2,2	1,5	2,6	0,7	3,3	2,2	1	6,6	0,11	2,165			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	1	6,5	0,11	2,165			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	1	6,5	0,11	2,165			2,2
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	Glass Door	ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2,2	1,45	2,5	0,69	3,19	2,2	1	6,5	0,11	2,165	2,2	2,2	

Πίνακας 27: Πόρτες κελύφους κλιματικής ζώνης Δ'.

ΤΥΠΟΣ ΑΔΙΑΦΑΝΟΥΣ ΔΣ		ΟΡΟΦΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ	Af (m ²)	Aw (m ²)	Uf (W/m ² K)	Uw (W/m ² K)	Uw,average (W/m ² K)	Umax KENAK
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΔΥΤΙΚΑ	2	0,9	1,8	1,8	2,18	2,180	2,180	2,2
ΠΟΡΤΑ	Door	ΙΣΟΓΕΙΟ	ΝΟΤΙΑ	2,15	0,9	1,935	1,935	2,18	2,180		2,2

Πίνακας 28: Υπολογισμός του γινομένου $A_j \cdot U_j$ για κάθε προσανατολισμό του κελύφους της κλιματικής ζώνης Δ'.

ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,330	7,90	5,49	43,34	13,20	30,14	9,960
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,146
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,146
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,146
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,50	2,20	3,30	0,00	3,30	7,146
ΣΥΝΟΛΟ							38,544
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,330	12,40	5,49	68,03	19,14	48,89	16,155
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	6,905
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	6,905
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	6,905
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	6,905
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	6,905
ΜΠΑΛΚΟΝΟΠΟΡΤΑ	2,165	1,45	2,20	3,19	0,00	3,19	6,905
ΣΥΝΟΛΟ							57,585
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,330	7,90	5,49	43,34	11,11	32,24	10,652
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,175	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	3,784
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,175	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	3,784
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,160	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	2,387
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,175	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	3,784
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,175	1,20	1,45	1,74	0,00	1,74	3,784
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,160	1,30	0,85	1,11	0,00	1,11	2,387
ΠΟΡΤΑ	2,180	0,90	2,15	1,94	0,00	1,94	4,218
ΣΥΝΟΛΟ							34,781
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ							
	U (W/m ² K)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m ²)	Υπολογιζόμενη Επιφάνεια A (m ²)	U*A (W/K)
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	0,330	12,40	5,49	68,03	2,85	65,18	21,538
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,116	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,111
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,116	0,70	0,75	0,53	0,00	0,53	1,111
ΠΟΡΤΑ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	2,180	0,90	2,00	1,80	0,00	1,80	3,924
ΣΥΝΟΛΟ							27,684

Πίνακας 29: Υπολογισμός του λόγου A/V του κελύφους της κλιματικής ζώνης Δ'.

1	Επιφάνεια εξωτερικών τοίχων F _w	176,45	m ²
2	Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα – πόρτες) F _F	46,30	m ²
3	Επιφάνεια οροφής F _D	94,61	m ²
4	Επιφάνεια δαπέδου ισογείου ή οροφή υπογείου F _G	94,61	m ²
5	Επιφάνεια οροφής ΠΥΛΩΤΗΣ F _{DL}	-	m ²
6	Επιφάνεια τοίχων διαχωρισμού F _{AB}	-	m ²
7	Ολική εξωτερική επιφάνεια οικοδομής	411,97	m ²
8	Όγκος οικοδομής	519,07	m ³
9	Λόγος F/V	0,794	m ⁻¹
	U _{m,max}	0,63	W/m ² K

Πίνακας 30: Υπολογισμός του U_m του κελύφους της κλιματικής ζώνης Δ'.

Είδος	ΣΑ (m ²)	Σ(b*U*A), Σ(b*ψ*I) (W/K)		
Κατακόρυφα Αδιαφανή ΔΣ	180,19	66,448		
Οροφή	94,61	28,070		
Δάπεδο	94,61	32,167		
Διαφανή ΔΣ	42,56	92,146		
Θερμογέφυρες	-	21,883		
Σύνολα	411,96784	240,715		
U_m (W/m ² K)		0,584	Αποδεκτός U_m κτιρίου κατά ΚΕΝΑΚ	Διαφορά % από το $U_{m,max}$
			ΝΑΙ	-7,25%

Παράρτημα Β

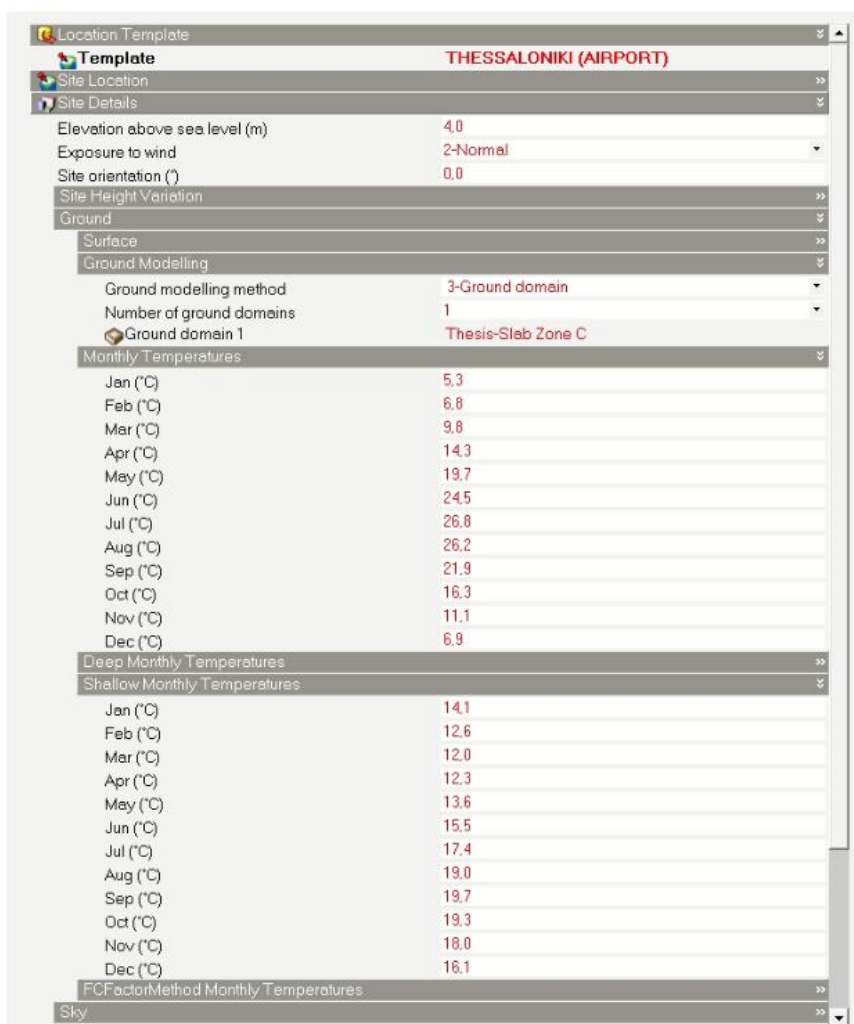
Δεδομένα εδάφους και γεωθερμικού εναλλάκτη για τις περιπτώσεις των κλιματικών ζωνών Α', Γ' και Δ'

HERAKLION (AIRPORT)	
Elevation above sea level (m)	39,0
Exposure to wind	2-Normal
Site orientation (°)	0,0
Ground	
Surface	
Ground Modelling	
Ground modelling method	3-Ground domain
Number of ground domains	1
Ground domain 1	Thesis-Slab Zone A
Monthly Temperatures	
Jan (°C)	12,1
Feb (°C)	12,2
Mar (°C)	13,5
Apr (°C)	16,5
May (°C)	20,3
Jun (°C)	24,4
Jul (°C)	26,2
Aug (°C)	26,1
Sep (°C)	23,6
Oct (°C)	20,1
Nov (°C)	16,7
Dec (°C)	13,7
Deep Monthly Temperatures	
Shallow Monthly Temperatures	
Jan (°C)	17,6
Feb (°C)	16,7
Mar (°C)	16,2
Apr (°C)	16,4
May (°C)	17,3
Jun (°C)	18,6
Jul (°C)	19,9
Aug (°C)	20,9
Sep (°C)	21,4
Oct (°C)	21,1
Nov (°C)	20,2
Dec (°C)	19,0
FCFactorMethod Monthly Temperatures	
Sky	

Εικόνα 1: Monthly Temperatures και Shallow Monthly Temperatures κλιματικής ζώνης Α' (Ηράκλειο)

Πίνακας 31: Παράμετροι σχέσης Labs για την περιοχή του Ηρακλείου (κλιματική ζώνη Α').

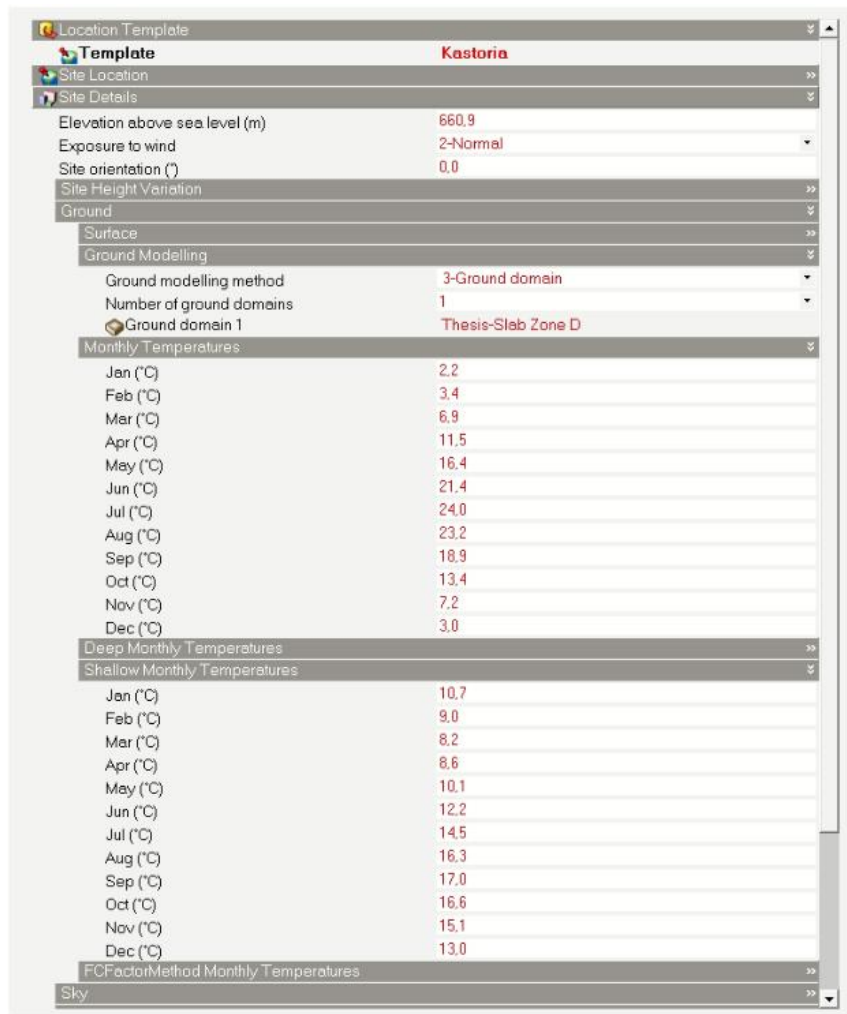
Μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας εδάφους Tm (C)	Πλάτος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους As (C)	Ημέρα του έτους κατά την οποία η θερμοκρασία επιφανείας του εδάφους λαμβάνει τη χαμηλότερη τιμή της t0 (ημέρα)	Συντελεστής θερμικής διάχυσης του εδάφους α (m ² /day)	Βάθος (m)	Θερμική αγωγιμότητα εδάφους k (W/mk)	Πυκνότητα εδάφους ρ (kg/m ³)	Συντελεστής ειδικής θερμότητας εδάφους Cp (J/kgK)
18,78	6,23	30	0,045387342	2	0,83	1300	1215,38



Εικόνα 2: Monthly Temperatures και Shallow Monthly Temperatures κλιματικής ζώνης Γ' (Θεσσαλονίκη).

Πίνακας 32: Παράμετροι σχέσης Labs για την περιοχή της Θεσσαλονίκης (κλιματική ζώνη Γ').

Μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας εδάφους T_m (C)	Πλάτος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους A_s (C)	Ημέρα του έτους κατά την οποία η θερμοκρασία επιφανείας του εδάφους λαμβάνει τη χαμηλότερη τιμή της t_0 (ημέρα)	Συντελεστής θερμικής διάχυσης του εδάφους α (m^2/day)	Βάθος (m)	Θερμική αγωγιμότητα εδάφους k (W/mk)	Πυκνότητα εδάφους ρ (kg/m^3)	Συντελεστής ειδικής θερμότητας εδάφους C_p (J/kgK)
15,80	9,28	30	0,046048352	2	0,97	1300	1400



Εικόνα 3: Monthly Temperatures και Shallow Monthly Temperatures κλιματικής ζώνης Δ' (Καστοριά).

Πίνακας 33: Παράμετροι σχέσης Labs για την περιοχή της Καστοριάς (κλιματική ζώνη Δ').

Μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας εδάφους T_m (C)	Πλάτος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους A_s (C)	Ημέρα του έτους κατά την οποία η θερμοκρασία επιφανείας του εδάφους λαμβάνει τη χαμηλότερη τιμή της t_0 (ημέρα)	Συντελεστής θερμικής διάχυσης του εδάφους α (m^2/day)	Βάθος (m)	Θερμική αγωγιμότητα εδάφους k (W/mk)	Πυκνότητα εδάφους ρ (kg/m^3)	Συντελεστής ειδικής θερμότητας εδάφους C_p (J/kgK)
12,63	10,68	30	0,045218692	2	1,12	1300	1646,15

Πίνακας 34: Υπολογισμός απαιτούμενου μήκους γεωναλλάκτη για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Α΄.

	Μέγιστα φορτία θέρμανσης/ψύξης qh/qc (kW)	Απαιτούμενο μήκος γεωναλλάκτη Lh/Lc (m)	Παροχή μάζας νερού $\dot{m} \cdot w$ (kg/s)	Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού Cr για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωναλλάκτη (kJ/kg*K)	Θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωναλλάκτη twi (K)	Θερμοκρασία εξόδου του νερού στο γεωναλλάκτη two (K)	Απόλυτη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου του νερού στο γεωναλλάκτη ΔT (K)	Παροχή όγκου $\dot{V}w$ (m3/sec)	Θερμικές αντιστάσεις συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος Rtot (mK/W)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	7,64	668,71	0,569601	4,2	11,00	14,19	3,19	0,00057	1,096628007
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	6,92	297,35	0,567891	4,18	27,00	24,08	2,92	0,00057	1,096360502
Διαστασιολόγηση συστήματος		668,71	0,569601					0,00057	

Πίνακας 35: Υπολογισμός εσωτερικής/εξωτερικής διαμέτρου σωλήνωσης για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Α΄.

	Παροχή όγκου $\dot{V}w$ (m3/sec)	Εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης Di (m)	Τυποποιημένη εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης Di (m)	Τυποποιημένη εξωτερική διάμετρος σωλήνωσης Do (m)	Τύπος σωλήνωσης	Συντελεστής θερμική αγωγιμότητας σωλήνωσης λripe (W/(m·K))	Ταχύτητα ροής u (m/s)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN 12	0,42	0,85
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN 12	0,42	0,85
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN 12	0,42	0,85

Πίνακας 36: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Α΄.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση R_{con} (m ² K/W)	Συντελεστής συναγωγής νερού h_w (W/m ² ·K)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας νερού λ_w (W/m·K)	Συντελεστής Nusselt Nu	Παράμετρος υπολογισμού για θέρμανση/ψύξη np	Αριθμός Reynolds Re	Αριθμός Prandtl Pr	Κινηματικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη ν_w (m ² /sec)	Δυναμικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη μ_w (N·sec/m ²)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	0,003146099	3103,559781	0,68	148,7883072	0,4	19670,6183	8,698941176	1,4087E-06	0,0014084
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	0,002878594	3391,971418	0,68	162,6151003	0,3	36426,97515	4,652094118	7,61E-07	0,0007568

Πίνακας 37: Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Α΄.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης R_{pipe} (m ² K/W)
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,077518751

Πίνακας 38: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Α΄.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος R_{soil} (m ² K/W)	Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους λ_{soil} (W/(m·K))	Conduction shape factor (Συντελεστής σχήματος) S	Βάθος τοποθέτησης οριζοντίου γεωεναλλάκτη d (m)
Διαστασιολόγηση συστήματος	1,015963157	0,83	1,185888749	2

Πίνακας 39: Υπολογισμός εμβαδού εγκατάστασης γεωεναλλάκτη για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Α'.

Βάθος τοποθέτησης οριζοντίου γεωεναλλάκτη (m)	Απόσταση μεταξύ των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη (πλάτος μίας παράλληλης σειράς) (m)	Απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη (m)	Εγκαταστάσιμο μήκος γεωεναλλάκτη (m)	Παράλληλες σειρές	Μήκος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (μήκος μίας παράλληλης σειράς) (m)	Πλάτος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (m)	Εμβαδόν εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (m ²)
2	0,5	668,71	670	25	26,8	12	321,6

Πίνακας 40: Υπολογισμός απαιτούμενου μήκους γεωεναλλάκτη για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ'.

	Μέγιστα φορτία θέρμανσης/ψύξης qh/qc (kW)	Απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη Lh/Lc (m)	Παροχή μάζας νερού \dot{m} (kg/s)	Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού Cr για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη (kJ/kg*K)	Θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη twi (K)	Θερμοκρασία εξόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη two (K)	Απόλυτη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη ΔT	Παροχή όγκου Vw (m ³ /sec)	Θερμικές αντιστάσεις συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος Rtot (mK/W)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	11,54	953,95	0,569601	4,2	11,00	15,82	4,82	0,00057	1,096628007
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	7,31	315,11	0,569601	4,18	27,00	23,93	3,07	0,00057	1,096360502
Διαστασιολόγηση συστήματος		953,95	0,569601					0,00057	

Πίνακας 41: Υπολογισμός εσωτερικής/εξωτερικής διαμέτρου σωλήνωσης για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ'.

	Παροχή όγκου \dot{V}_w (m ³ /sec)	Εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης D_i (m)	Τυποποιημένη εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης D_i (m)	Τυποποιημένη εξωτερική διάμετρος σωλήνωσης D_o (m)	Τύπος σωλήνωσης	Συντελεστής θερμική αγωγιμότητας σωλήνωσης λ_{pipe} (W/(m·K))	Ταχύτητα ροής u (m/s)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN 12	0,42	0,85
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN 12	0,42	0,85
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN 12	0,42	0,85

Πίνακας 42: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ'.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση R_{con} (m ² ·K/W)	Συντελεστής συναγωγής νερού h_w (W/m ² ·K)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας νερού λ_w (W/m·K)	Συντελεστής Nusselt Nu	Παράμετρος υπολογισμού για θέρμανση/ψύξη n	Αριθμός Reynolds Re	Αριθμός Prandtl Pr	Κινηματικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη ν_w (m ² /sec)	Δυναμικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη μ_w (N·sec/m ²)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	0,003146099	3103,559781	0,68	148,7883072	0,4	19670,6183	8,698941176	1,4087E-06	0,0014084
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	0,002878594	3391,971418	0,68	162,6151003	0,3	36426,97515	4,652094118	7,61E-07	0,0007568

Πίνακας 43: Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ'.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης R_{pipe} (m*K/W)
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,077518751

Πίνακας 44: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ'.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος R_{soil} (m*K/W)	Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους λ _{soil} (W/(m*K))	Conduction shape factor (Συντελεστής σχήματος) S	Βάθος τοποθέτησης οριζοντίου γεωεναλλάκτη d (m)
Διαστασιολόγηση συστήματος	1,015963157	0,83	1,185888749	2

Πίνακας 45: Υπολογισμός εμβαδού εγκατάστασης γεωεναλλάκτη για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Γ'.

Βάθος τοποθέτησης οριζοντίου γεωεναλλάκτη (m)	Απόσταση μεταξύ των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη (πλάτος μίας παράλληλης σειράς) (m)	Απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη (m)	Εγκαταστάσιμο μήκος γεωεναλλάκτη (m)	Παράλληλες σειρές	Μήκος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (μήκος μίας παράλληλης σειράς) (m)	Πλάτος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (m)	Εμβαδόν εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (m ²)
2	0,5	953,95	960	25	38,4	12	460,8

Πίνακας 46: Υπολογισμός απαιτούμενου μήκους γεωεναλλάκτη για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Δ'.

	Μέγιστα φορτία θέρμανσης/ψύξης qh/qc (kW)	Απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη Lh/Lc (m)	Παροχή μάζας νερού $\dot{m} \cdot w$ (kg/s)	Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού Cr για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη (kJ/kg·K)	Θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη twi (K)	Θερμοκρασία εξόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη two (K)	Απόλυτη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου του νερού στο γεωεναλλάκτη ΔT (K)	Παροχή όγκου $\dot{V}w$ (m ³ /sec)	Θερμικές αντιστάσεις συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος Rtot (mK/W)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	13,04	802,60	0,569601	4,2	11,00	16,45	5,45	0,00057	0,833566118
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	5,54	178,83	0,567891	4,18	27,00	24,67	2,33	0,00057	0,833298613
Διαστασιολόγηση συστήματος		802,60	0,569601					0,00057	

Πίνακας 47: Υπολογισμός εσωτερικής/εξωτερικής διαμέτρου σωλήνωσης για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Δ'.

	Παροχή όγκου $\dot{V}w$ (m ³ /sec)	Εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης Di (m)	Τυποποιημένη εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης Di (m)	Τυποποιημένη εξωτερική διάμετρος σωλήνωσης Do (m)	Τύπος σωλήνωσης	Συντελεστής θερμική αγωγιμότητας σωλήνωσης λripe (W/(m·K))	Ταχύτητα ροής u (m/s)	Θερμικές αντιστάσεις συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος Rtot (mK/W)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN12	0,42	0,85	0,833566118
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN12	0,42	0,85	0,833298613
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,00057	0,029220189	0,0326	0,04	PE DN40 PN12	0,42	0,85	

Πίνακας 48: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Δ'.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση R_{con} (m ² ·K/W)	Συντελεστής συναγωγής νερού h_w (W/m ² ·K)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας νερού λ_w (W/m·K)	Συντελεστής Nusselt Nu	Παράμετρος υπολογισμού για θέρμανση/ψύξη np	Αριθμός Reynolds Re	Αριθμός Prandtl Pr	Κινηματικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη ν_w (m ² /sec)	Δυναμικό ιξώδες νερού για μέση θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στον γεωεναλλάκτη μ_w (N·sec/m ²)
Διαστασιολόγηση για λειτουργία θέρμανσης	0,003146099	3103,559781	0,68	148,7883072	0,4	19670,6183	8,698941176	1,4087E-06	0,0014084
Διαστασιολόγηση για λειτουργία ψύξης	0,002878594	3391,971418	0,68	162,6151003	0,3	36426,97515	4,652094118	7,61E-07	0,0007568

Πίνακας 49: Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Δ'.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης R_{pipe} (m ² ·K/W)
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,077518751

Πίνακας 50: Υπολογισμός θερμικής αντίστασης μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Δ'.

	Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος R_{soil} (m ² ·K/W)	Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους λ_{soil} (W/(m·K))	Conduction shape factor (Συντελεστής σχήματος) S	Βάθος τοποθέτησης οριζοντίου γεωεναλλάκτη d (m)
Διαστασιολόγηση συστήματος	0,752901268	1,12	1,185888749	2

Πίνακας 51: Υπολογισμός εμβαδού εγκατάστασης γεωεναλλάκτη για την περίπτωση της κλιματικής ζώνης Δ'.

Βάθος τοποθέτησης οριζοντίου γεωεναλλάκτη (m)	Απόσταση μεταξύ των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη (πλάτος μίας παράλληλης σειράς) (m)	Απαιτούμενο μήκος γεωεναλλάκτη (m)	Εγκαταστάσιμο μήκος γεωεναλλάκτη (m)	Παράλληλες σειρές	Μήκος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (μήκος μίας παράλληλης σειράς) (m)	Πλάτος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (m)	Εμβαδόν εγκατάστασης γεωεναλλάκτη (m ²)
2	0,5	802,60	810	25	32,4	12	388,8