



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**“Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου”**

**“Building energy analysis”**

---

Διπλωματική Εργασία

Κουρνούτος Φοίβος-Φανούριος

Επιβλέποντες :

Δρ. Τσουκαλάς Ελευθέριος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ. Χούστης Ηλίας Ομότιμος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Βόλος, 2017

## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μου τον κ. Τσουκαλά Ελευθέριο και κ. Χούστη Ηλία, που μου έδωσαν την δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και για την καθοδήγηση τους που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια της εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ζημέρη ο οποίος με τα πλούσια πνευματικά προσόντα και το ήθος του συνέβαλε ουσιαστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω θερμά όλους τους φίλους μου που πίστεψαν σε μένα και με ενθάρρυναν σε κάθε στάδιο των σπουδών μου, καθώς και όσους συναδέλφους συμφοιτητές συνέβαλαν με τα σχόλια, την κριτική και τις γνώσεις τους στην αντιμετώπιση των δυσκολιών.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς την οικογένειά μου για την διαχρονική συμπαράστασή τους και την υλική και ηθική στήριξη των επιλογών μου.

## Abstract

The following diploma thesis refers to the energy analysis and comparison of two contemporary and widespread systems of heating and cooling in a building, examined through a particular example. Specifically, the two mentioned systems are the geothermal heat pump (or ground source heat pump / GSHP) and the variable refrigerant volume (VRV). The building, in which these systems are used, is located in the city of Volos and hosts the office spaces of a company. The research is based on the use of the software program H.A.P. 5.0 (Hourly Analysis Program Carrier).

The analysis is focused primarily in the energy policies of the European Union and Greece in the construction sector. Consequently all types of geothermal heat pumps are outlined, two of which are selected and examined in detail. After the presentation of mathematical formulas and calculations, used by the software program, is following the analysis of the particular building and the data needed to import to the program for the right estimation of the results. In addition comes the quotation of the results and the comparison of the two energy systems, based on them. The final part of the thesis includes the conclusions generated through the whole research.

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην ενεργειακή ανάλυση και σύγκριση δύο σύγχρονων και ευρέως διαδεδομένων συστημάτων για τη θέρμανση και την ψύξη ενός κτιρίου. Τα συστήματα που αναλύονται είναι το σύστημα της γεωθερμικής αντλίας θερμότητάς και το σύστημα κεντρικού κλιματισμού άμεσης εκτονώσεως με μεταβλητό όγκο ψυκτικού ρευστού (variable refrigerant volume – VRV) σε ένα κτίριο. Το κτίριο βρίσκεται στον Βόλο και στεγάζει τα γραφεία μιας εταιρίας. Με την χρήση του λογισμικού προγράμματος H.A.P. 5.0 (Hourly Analysis Program Carrier) πραγματοποιείται αυτή η μελέτη.

Αρχικά γίνεται αναφορά στην ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελλάδας στον κτιριακό τομέα. Έπειτα παρατίθενται όλοι οι τύποι των αντλιών θερμότητας και γίνεται εκτενέστερη αναφορά στα δύο είδη αντλιών που θα εξετάσουμε στη μελέτη μας. Ακολούθως γίνεται η παρουσίαση των μαθηματικών τύπων και των υπολογισμών που χρησιμοποιήθηκαν από το λογισμικό. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στο κτίριο καθώς και τα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα για τον σωστό υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Επιπλέον γίνεται η παράθεση των αποτελεσμάτων του προγράμματος και βάση αυτών η σύγκριση των δύο συστημάτων. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα αυτής της πτυχιακής εργασίας.

## Contents

|   |    |
|---|----|
| Ευχαριστίες .....   | 3  |
| Abstract .....  | 4  |
| Περίληψη .....  | 5  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....  | 9  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....  | 9  |
| 1.1 Η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον κτιριακό τομέα ..... | 9  |
| 1.2 Η Ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας στον κτιριακό τομέα .....           | 11 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....  | 14 |
| ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....  | 14 |
| 2.1 Ορισμός .....   | 14 |
| 2.2 Η ιστορία της αντλίας θερμότητας .....                                | 14 |
| 2.3 Αρχή Λειτουργίας των αντλιών θερμότητας .....                         | 15 |
| 2.4 Βαθμός επίδοσης αντλιών θερμότητας .....                              | 17 |
| 2.5 Είδη Αντλιών Θερμότητας .....   | 20 |
| 2.5.1 Αερόψυκτες μονάδες .....  | 21 |
| 2.5.2 Γεωθερμικές υδρόψυκτες - μονάδες .....                              | 26 |
| 2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Αντλιών θερμότητας .....          | 31 |
| 2.7 Ανάλυση Αντλίας Θερμότητας Αέρα- Ψυκτικού υγρού .....                 | 32 |
| 2.8 Γεωθερμία και Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας .....                    | 34 |
| 2.8.1 Ανάλυση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας .....                        | 36 |
| 2.8.2 Είδη γεωθερμικών συστημάτων .....                                   | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 2.9 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Γεωθερμίας .....                   | 44 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....   | 46 |
| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ .....        | 46 |
| 3.1 Εισαγωγή.....  | 46 |
| 3.2.Θερμικά φορτία.....  | 47 |
| 3.3 Ψυκτικό φορτίο χώρου.....  | 49 |
| 3.4 Μέθοδος CLTD/CLF (Cooling Load Temperature Difference) της ASHRAE..... | 52 |
| 3.4.1 Εξωτερικές οροφές.....   | 53 |
| 3.4.2 Εξωτερικοί τοίχοι .....  | 55 |
| 3.4.3 Εξωτερικά παράθυρα.....  | 56 |
| 3.4.4 Εσωτερικά δομικά υλικά .....   | 57 |
| 3.4.5 Εσωτερικός φωτισμός.....   | 59 |
| 3.4.6 Άτομα .....  | 60 |
| 3.4.7 Διάφορες συσκευές.....   | 61 |
| 3.4.8 Αερισμός κτιρίου .....   | 62 |
| 3.5 Μέθοδος TFM (Transfer Function Method) της ASHRAE.....                 | 64 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....   | 69 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ H.A.P.....                                | 69 |
| 4.1 Το λογισμικό Hourly Analysis Program (HAP 5.0) .....                   | 69 |
| 4.2 Περιγραφή κτιρίου .....  | 72 |
| 4.2.1 Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου .....                                   | 72 |
| 4.2.2 Χαρακτηριστικά κτιρίου.....  | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| .....   | 79  |
| .....   | 79  |
| 4.2.3 Χρονοδιαγράμματα .....  | 81  |
| 4.3 Τα Κλιματολογικά δεδομένα του Βόλου .....                       | 83  |
| 4.4 Συστήματα Θέρμανσης Κλιματισμού .....                           | 88  |
| 4.4.1 Σύστημα Γεωθερμίας.....                                       | 89  |
| 4.4.2 Σύστημα VRF.....  | 92  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....  | 95  |
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....                                       | 95  |
| 5.1 Εισαγωγή.....   | 95  |
| 5.2 Σχεδιαστική ανάλυση των δύο συστημάτων.....                     | 96  |
| 5.2.1 Σύστημα Γεωθερμίας.....                                       | 96  |
| 5.2.2 Σύστημα κλιματισμού με ψυκτικό υγρό μεταβλητού όγκου VRF..... | 108 |
| 5.3 Ενεργειακή Ανάλυση των δύο συστημάτων .....                     | 119 |
| 5.3.1 Σύστημα Γεωθερμίας.....                                       | 119 |
| 5.3.2 Σύστημα κλιματισμού με ψυκτικό υγρό μεταβλητού όγκου VRF..... | 123 |
| 5.4 Σύγκριση των δύο συστημάτων .....                               | 125 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....  | 127 |
| 6.1 Συμπέρασμα .....  | 127 |
| Bibliography .....  | 129 |



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον κτιριακό τομέα

Λόγω της συνεχούς υποβάθμισης του περιβάλλοντος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες η ΕΕ προσπαθεί να συμβάλει ενεργά στην προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός η ΕΕ ενεργά λαμβάνει μέρος στο σχεδιασμό δράσεων που θα ακολουθήσουν όλες οι χώρες της. Παράλληλα με αυτές τις ενέργειες η ΕΕ προσπάθησε να συνεργαστεί και με κράτη που είναι εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για να δημιουργηθεί μια κοινή προσπάθεια για την διατήρηση του περιβάλλοντος.

Στο Ρίο της Βραζιλίας το 1992 πραγματοποιήθηκε μια Διάσκεψη για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (UNCED). Τότε από 178 κράτη μέλη του ΟΗΕ υπογράφηκε η «Agenda 21», για να βρεθούν λύσεις σε περιβαλλοντικά αναπτυξιακά και αναπτυξιακά προβλήματα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Μέσα στην «Agenda 21» γίνεται λόγος για την αειφόρο δόμηση και την υποχρεωτική παροχή ρυθμιστικών μέτρων στις κατοικίες μέσω υιοθέτησης προτύπων, που στοχεύει στην αύξηση της χρήσης των ενεργειακά αποδοτικών σχεδίων και τεχνολογιών. Η ΕΟΚ από το 1991 είχε θεσπίσει το πρόγραμμα “SAVE” για την χρήση ενέργειας στην Κοινότητα, στην Οδηγία 93/76/ΕΟΚ, με σκοπό να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών είναι η Οδηγία 2002/91/ΕΚ με την οποία η ΕΕ έχει σαν στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Κοινότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες και τις εξωτερικές κλιματολογικές. Ακόμα έχει σαν παραμέτρους τη σχέση κόστους/οφέλους και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων.

Το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη , περίπου 40%, οφείλεται στον κτιριακό τομέα, και έχει σαν αποτέλεσμα να ευθύνεται για το 40% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) είναι να μειώσει κατά 20% της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας , αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση σε 20% και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% σε αυτόν τον τομέα έως το 2020. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι δημιουργήθηκε το «Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού» και διασφαλίστηκε με την συνέχεια του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια–Ευρώπη» που κατοχυρώθηκε με την η απόφαση αριθ. 1639/2006/ΕΚ . Το 2008 έγινε επισκόπηση της ενεργειακής πολιτικής και παρουσιάστηκε το Σχέδιο Δράσης της ΕΕ για την ενεργειακή ασφάλεια και αλληλεγγύη με σκοπό να χαράξει πολιτικό πρόγραμμα για το 2030 και όραμα για το 2050.

Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποτελεί το βασικό νομικό κείμενο της ΕΕ ,η οποία συμπληρώνεται από την Οδηγία 2009/125/ΕΚ, και καθορίζουν την δημιουργία ενός πλαίσιο για τη θέσπιση κοινοτικών απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού. Ακόμα πολλά προϊόντα έχουν σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας μέσω καλύτερου σχεδιασμού. Σημαντική Οδηγία για την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με τη χρήση ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί και η Οδηγία 2009/28/ΕΚ, η οποία παράλληλα θέτει και εθνικούς στόχους για 37 το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2020. Με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ θεσπίζονται απαιτήσεις που αφορούν τα κτίρια κι έχουν σαν στόχο την διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και οικολογικού σχεδιασμού. Επιπρόσθετα στοχεύει στο κοινό γενικό πλαίσιο για μια μεθοδολογία υπολογισμού της συνολικής ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων και νέων κτιριακών μονάδων. Σημαντικός σκοπός είναι η εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση για την προστασία του περιβάλλοντος το οποίο ασπάζεται κάθε χώρα την ΕΕ με εθνικά σχέδια για την αύξηση του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση

ενέργειας. Με την θέσπιση αυτής της οδηγίας είναι απαραίτητη η ενεργειακή πιστοποίηση των κτιρίων και η υποχρεωτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και Κλιματισμού αυτό των κτιρίων. Επιπλέον σημαντικός στόχος της Οδηγίας είναι έως το τέλος του 2020 όλα τα νέα κτίρια να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε η κατανάλωση ενέργειας τους να είναι μηδενική.

Με όλες αυτές τις ενέργειες η ΕΕ έχει σαν στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας εντάσσονται αυτές τις προτεραιότητες στην Ευρωπαϊκή πολιτική, γεγονός που εκφράζεται από μια σειρά οδηγιών και κατευθύνσεων με αποδέκτες τα κράτη-μέλη. Η αυξημένη ενεργειακή απόδοση αποτελεί άλλωστε σημαντικό μέρος της δέσμης των πολιτικών και των μέτρων που απαιτούνται για τη συμμόρφωση της Ε.Ε. με τις δεσμεύσεις που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Ταυτόχρονα όμως εκτός από την ΕΕ θα πρέπει να γίνουν παρόμοιες ενέργειες και από τα υπόλοιπα κράτη με παρόμοια πλαίσια για μια συνολική προσπάθεια των καταναλωτών για μείωση της κατασπατάλησης ενέργειας. Τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι άνισα κατανομημένα σε όλο τον κόσμο, με τα μεγαλύτερα αποθέματα να εντοπίζονται σε πολιτικά ή οικονομικά μη ασφαλείς περιοχές (Μέση Ανατολή). Τα κοιτάσματα της Βόρειας Θάλασσας έχουν ήδη αξιοποιηθεί, αφήνοντας την Ε.Ε. εξαρτημένη από μη κοινοτικές χώρες για την κάλυψη των μελλοντικών της αναγκών

## 1.2 Η Ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας στον κτιριακό τομέα

Στην Ελλάδα, οι ποσότητες κατανάλωσης ενέργειας από τα κτίρια είναι τεράστιες και αυτό φανερώνεται από τις απαιτήσεις που είναι 30% περισσότερες σε ενέργεια για την ικανοποίηση των συνθηκών θερμικής άνεσης, ιδιαίτερα στα κτίρια που

κατασκευάστηκαν πριν το 1980 (πριν την έναρξη ισχύος του Κανονισμού Θερμομόνωσης). Ακόμα παρατηρήθηκε πως την τελευταία πενταετία υπήρξε αύξηση κατά 25% της συνολικής τελικής ενέργειας που χρειάζονται τα κτίρια. Στον οικιακό τομέα, η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά ελληνικό νοικοκυριό είναι περίπου 17.000 kWh (ή 1,45 τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου). Η κατανάλωση αυτή είναι 30% μεγαλύτερη σε σύγκριση με άλλες χώρες που έχουν παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες με την Ελλάδα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουμε ενεργειακή κατανάλωση σχεδόν 50% μεγαλύτερη της Πορτογαλίας και περίπου 30% μεγαλύτερη της Ισπανίας. Ακόμα, η ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερη από βορειότερες χώρες, όπως η Βρετανία και η Γερμανία.

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση σε αέριους ρύπους εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι εξίσου υψηλή στη Ελλάδα, με τις κατοικίες να παράγουν περίπου 12 - 13 τόνους CO<sub>2</sub>/ κάτοικο / έτος. Αυτή η κατανάλωση είναι υψηλότερη από την Ισπανία και την Πορτογαλία που βρίσκονται κι αυτές στην μεσόγειο. Ακόμα η παραγωγή ρύπων στα ελληνικά νοικοκυριά είναι μεγαλύτερη και από χώρες που έχουν πιο ψυχρό κλίμα όπως η Σουηδία.

Τα κτίρια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την χρήση τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει κτήρια κατοικιών, ενώ η δεύτερη κτήρια τριτογενούς τομέα. Στην Ελλάδα τα κτίρια με σκοπό την κατοικία αποτελούν το 77% των συνολικών κτιρίων στην χώρα, ενώ το 23% των κτιρίων αυτών είναι για χρήσεις που αφορούν τον τριτογενή τομέα, σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης. Μόνο το 5% των κτιρίων στην Ελλάδα είναι που δε χρησιμοποιούνται ως κατοικίες, τα οποία καταλαμβάνουν το 26% της συνολικής επιφάνειας του κτιριακού αποθέματος. Από αυτά περίπου το 57% είναι κτίρια γραφείων και εμπορικής χρήσης, το 19% εκπαιδευτικά κτίρια, το 16% ξενοδοχεία και περίπου 8% νοσοκομεία και κλινικές. Το ενεργειακά τυπικό κτίριο κλιματιζόμενων γραφείων καταναλώνει περίπου 138 kWh/m<sup>2</sup>/έτος (από τις οποίες 35kWh/m<sup>2</sup>/έτος για κλιματισμό και 85 kWh/m<sup>2</sup>/έτος για θέρμανση). Η μέση κατανάλωση των μη κλιματιζόμενων κτιρίων γραφείων κυμαίνεται περί τις 75kWh/m<sup>2</sup>/έτος (57 kWh/m<sup>2</sup>/έτος για θέρμανση).

Για να επιτευχθεί ο στόχος της ενεργειακής πολιτικής των κτιρίων στην Ελλάδα θεσπίστηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK ). Ο νέος κανονισμός έχει σαν στόχο την μείωση της ενέργειας που καταναλώνει το κάθε κτίριο αλλά και τις απώλειες ενέργειας , αυτό επιτυγχάνεται με την μόνωση των κτιρίων , την χρήση εξελιγμένων ενεργειακών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων που βοηθάνε στην μείωση κατανάλωσης ενέργειας. Ο KENAK ισχύει από την 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 2010 και είναι απαραίτητος για την έκδοση οικοδομικής άδειας κάθε κτιρίου , ο οποίος αντικαθιστά την μελέτη της θερμομόνωσης. Σύμφωνα με αυτόν τον κανονισμό η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων πρέπει να περιλαμβάνει τα θερμικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του εκάστοτε κτιρίου, την εγκατάσταση θέρμανσης και τροφοδοσίας θερμού νερού. Ακόμα είναι απαραίτητη η εγκατάσταση κλιματισμού και η ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού σε κτίρια άλλων χρήσεων , εκτός της κατοικίας. Πολύ σημαντικό στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι να συμπεριληφθεί στην μελέτη η θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου αλλά και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Επομένως η Ενεργειακή πολιτική σήμερα στον κτιριακό τομέα είναι σχεδιασμός κτιρίων που να εξασφαλίζουν εξοικονόμηση ενέργειας γι' αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η χρήση νέων ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων αλλά και η μεγαλύτερη χρήση ανανεώσιμων πηγών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

#### 2.1 Ορισμός

Αντλία θερμότητας ονομάζεται η συσκευή που αντλεί θερμική ενέργεια από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας προς ένα άλλο υψηλότερης θερμοκρασίας. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με την βοήθεια μιας θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας ή με την χρήση μηχανικού έργου. Οι αντλίες θερμότητας και τα ψυγεία βασίζονται στην ίδια διαδικασία λειτουργίας γιατί έχουν τον ίδιο κύκλο αλλά η λειτουργία του ενός είναι αντίστροφη και του άλλου, αυτό γίνεται κατανοητό από το γεγονός ότι το ψυγείο έχει σαν στόχο την διατήρηση της ψύξης ενός χώρου , να το διατηρήσει σε χαμηλή θερμοκρασία, αφαιρώντας θερμότητα ενώ αντίθετα η αντλία θερμότητας προσπαθεί να διατηρήσει τον χώρο σε υψηλή θερμοκρασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αντλία θερμότητας έχει την δυνατότητα να λειτουργεί και στον κύκλο ψύξης επομένως εκτός από τον ζεστό αέρα να παράγει και ψυχρό. Η θερμότητα έχει φυσική ροή με αποτέλεσμα να μεταβαίνει από υψηλότερες θερμοκρασίες σε χαμηλότερες , το σύστημα της αντλίας έχει την ικανότητα να πραγματοποιήσει την αντίστροφη διαδικασία δηλαδή της φυσικής ροής.

#### 2.2 Η ιστορία της αντλίας θερμότητας

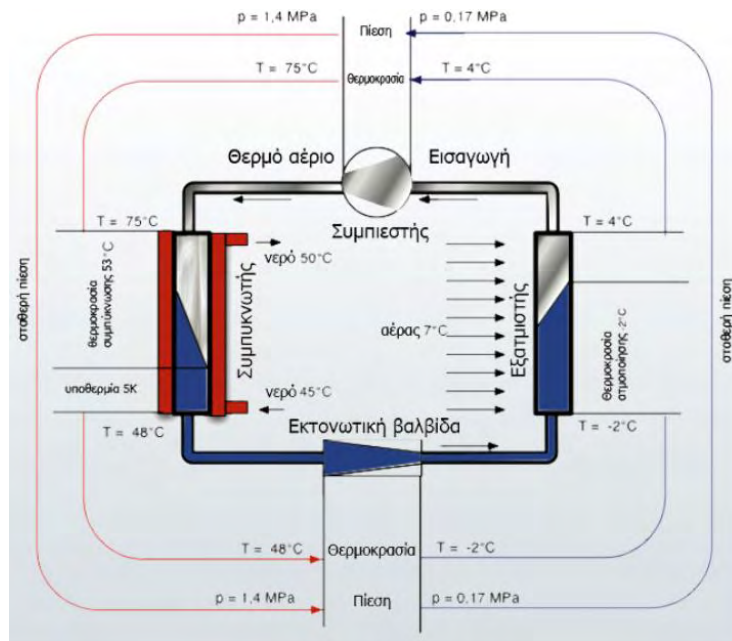
Το 1824 ο Γάλλος μηχανικός Sadi Carnot είχε μελετήσει την έννοια της θερμοδυναμικής κατασκευάζοντας θεωρητικά μια θερμική μηχανή , εκεί βασίστηκε ο Kelvin και το 1852 διαπίστωσε στην πράξη πως μια ψυκτική , μηχανή έχει την δυνατότητα

να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση. Ο Robert C. Webber το 1940 παρατήρησε πως οι σωλήνες ψυκτικού στην έξοδο του συμπυκνωτή ανέπτυσαν υψηλές θερμοκρασίες και αυτό τον οδήγησε στη υλοποίηση των βασικών μηχανισμών της αντλίας θερμότητας. Σε ένα δοχείο νερού συνέδεσε τους σωλήνες, έτσι δημιούργησε έναν εναλλάκτη δημιουργώντας έτσι ζεστό νερό, έπειτα συνέδεσε το δοχείο με τους σωλήνες και χρησιμοποίησε έναν ανεμιστήρα για να εξαναγκάσει το ζεστό νερό να εισαχθεί στο κτίριο. Με το πέρασμα των χρόνων γίνανε βελτιστοποιήσεις στο σχεδιασμό και οι αντλίες θερμότητας μπορούσαν να βγούνε στην παραγωγή που ξεκίνησε το 1950. Έως το 1960 δεν αναγνώρισαν ευρεία αποδοχή λόγω της αμφιλεγόμενης αξιοπιστίας τους αλλά το 1970 λόγω του υψηλού κόστους ηλεκτρισμού και της συνεχούς βελτίωσης τους ξεκίνησε η χρήση των αντλιών να είναι μεγαλύτερη. Ακόμα ένας λόγος που βοήθησε στην αναγνώριση των θερμικών αντλιών είναι η κρίση του πετρελαίου και είχε σαν αποτέλεσμα την χρήση τους με διάφορες πηγές όπως το νερό ή ο αέρας και σε συνδυασμό με άλλα συστήματα όπως την ηλιακή ενέργεια. Κατά την διάρκεια του 1996 υλοποιήθηκε η μεγαλύτερη εγκατάσταση Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας παγκοσμίως για λογαριασμό της στρατιωτικής βάσης στο Leesville, Louisiana. Αυτή η εγκατάσταση είχε 3243 αντλίες θερμότητα αέρος και 760 συστήματα κεντρικού κλιματισμού για 4003 κτήρια, τα οποία ήταν από 84 έως 130 τετραγωνικά μέτρα. Κάθε αντλία θερμότητας έχει το δικό της εναλλάκτη στο έδαφος τύπου U από σωλήνα πολυαιθυλενίου και κάθε μία έχει 4 ίντσες διάμετρο και βάθος από 30 έως 137 μέτρα.

### 2.3 Αρχή Λειτουργίας των αντλιών θερμότητας

Η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την θέρμανση είτε για την ψύξη, αυτό επιτυγχάνεται στον ίδιο θερμοδυναμικό κύκλο όπου η λειτουργία μπορεί να

αντιστραφεί ανάλογα με την ανάγκη της θέρμανσης η ψύξης. Στη ψύξη για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία ο κύκλος χρειάζεται ένα ψυκτικό μέσο, το οποίο θα απορροφά τη θερμότητα για να την απελευθερώσει στη συνέχεια, το οποίο κάνει ένα συνεχή κύκλο μέσα στα βασικά μέρη μίας αντλίας τα οποία είναι ένας συμπιεστής, ένας συμπυκνωτής, ένας εξατμιστής και μία βαλβίδα εκτόνωσης (Σχήμα 1). Η λειτουργία αυτή δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από να σημείο σε ένα άλλο είναι που έδωσε το όνομα "Αντλίες θερμότητας" στις συσκευές που λειτουργούν με βάση τον ψυκτικό κύκλο. Στην θέρμανση για την λειτουργία της αντλίας εκτελείται ακριβώς ο κύκλος ψύξης μόνο που σε αυτή την περίπτωση το στοιχείο που εκτελούσε την ατμοποίηση, σε αυτή την περίπτωση εκτελεί την συμπύκνωση και το στοιχείο που εκτελεί την συμπύκνωση, εδώ εκτελεί την ατμοποίηση. Η μετατροπή του ψυκτικού κύκλου σε κύκλο θέρμανσης γίνεται με την βοήθεια της τετράοδης βαλβίδας, που οδηγεί το ψυκτικό υγρό μετά την έξοδο του από τον συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου.

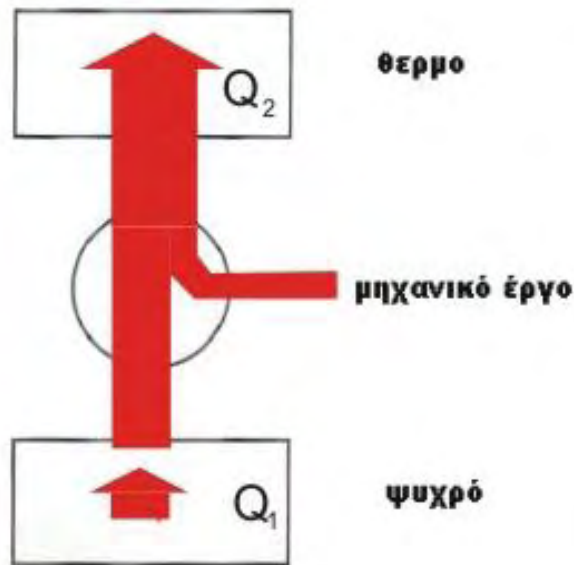


Σχήμα 1: Αρχή λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας



## 2.4 Βαθμός επίδοσης αντλιών θερμότητας

Σε κατάσταση θέρμανσης η ποιότητα μιας αντλίας χαρακτηρίζεται από την συντελεστή συμπεριφοράς (επίδοσης) C.O.P (Coefficient of Performance). Η αντλία απορροφάει από το περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας  $Q_1$ , βάζει επιπλέον μηχανικό έργο  $W$  στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας  $Q_2$  (Σχήμα 3). Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης, το ζητούμενο είναι το  $Q_1$ , αντίθετα όταν λειτουργεί στην κατάσταση θέρμανσης το ζητούμενο είναι το  $Q_2$ .



Σχήμα 2: Ροή ενέργειας στις αντλίες θερμότητας

Ο συντελεστής επίδοσης C.O.P. μιας αντλίας θερμότητας σε κατάσταση θέρμανσης, ισούται με

$$\text{C. O. P.} = \frac{Q_2}{W}$$

και λόγω του ενεργειακού ισολογισμού

$$Q_2 = Q_1 + W$$

προκύπτει

$$\text{C. O. P.} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

και για ιδανικές συνθήκες ισχύει η εξίσωση :

$$\text{C. O. P.} = \frac{T_\theta}{T_\theta - T_\psi}$$

όπου  $T_\theta$  είναι η θερμοκρασία του θερμού χώρου,  $T_\psi$  είναι η θερμοκρασία του ψυχρού και από την εξίσωση προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά  $T_\theta - T_\psi$  ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία  $T_\theta$ .

Στην εξίσωση του C.O.P. παρατηρούμε ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι ίσος με το έργο που μεταφέραμε στον χώρο, δια το έργο που καταναλώσαμε στον συμπιεστή. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής επίδοσης C.O.P. εξαρτάται από τις θερμοκρασίες ψυχρού και θερμού χώρου και δεν είναι σε καμία περίπτωση σταθερός. Οι συντελεστές που δίνουν τα φυλλάδια των κατασκευαστών, είναι μετρημένοι συντελεστές επίδοσης, σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, τυποποιημένες με το πρότυπο Eurovent. Στην θέρμανση η θερμοκρασία θερμού = 20°C και η θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7°C / 6°C WB, από αυτό γίνεται κατανοητό ότι η συγκεκριμένη αντλία θα έχει συντελεστή C.O.P. που καταγράφει ο κατασκευαστής με τα συγκεκριμένα δεδομένα. Σε διαφορετικές συνθήκες ο συντελεστής αυτός είναι διαφορετικός, γι' αυτό το λόγο είναι εξίσου σημαντικό ο πελάτης να παρατηρήσει εκτός από την συντελεστή και τις συνθήκες που αναφέρει ο κατασκευαστής, επειδή είναι αποδοτικότερη μια αντλία με λίγο χαμηλότερο C.O.P. που παραμένει όμως σταθερό σε διαφορετικές συνθήκες από ότι μια αντλία που έχει μεγαλύτερο C.O.P. αλλά μειώνετε σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Στην λειτουργία της ψύξης ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ονομάζεται βαθμός ενεργειακής απόδοσης της E.E.R (Energy Efficiency Ratio) και ορίζεται με τον τύπο :

$$E. E. R. = \frac{Q_1}{W}$$

Ο συντελεστής E.E.R. μετριέται σε τυποποιημένες συνθήκες Eurovent, θερμοκρασία θερμού 27°C και θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35°C αλλά εξαρτάται κι αυτός από τις θερμοκρασίες δηλαδή αν αυτές αλλάξουν μεταβάλλεται το E.E.R.. Στην ψύξη ειδικότερα χρησιμοποιείται και ένας ακόμη δείκτης απόδοσης, ο εποχιακός βαθμός απόδοσης, (SEER) που ορίζεται σαν κλάσμα της ενέργειας που μεταφέρθηκε στην

καλοκαιρινή περίοδο δια της ενέργειας που δαπανήθηκε στον συμπιεστή για την ίδια περίοδο.

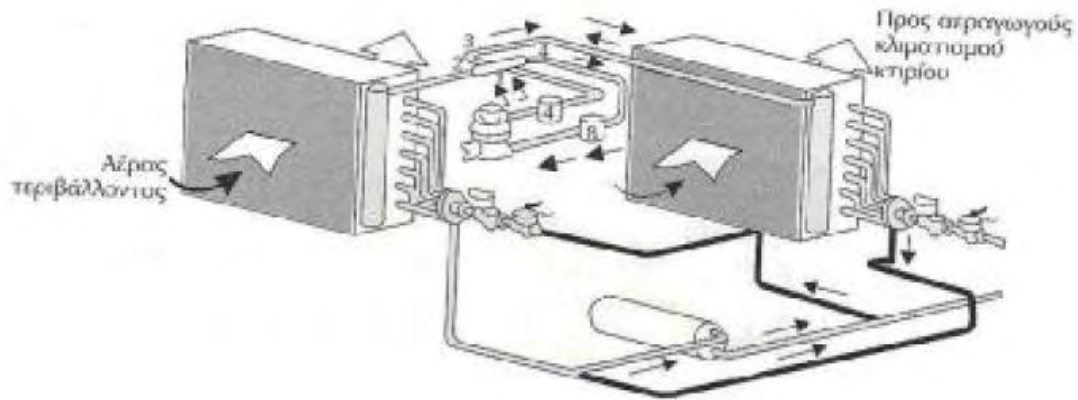
## 2.5 Είδη Αντλιών Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) την ενέργεια η αντλία στα σημεία του συμπυκνωτή και εξατμιστή του ψυκτικού κύκλου και ταξινομούνται

- σε αερόψυκτες μονάδες (αντλούν θερμότητα από τον αέρα)
  1. Αέρα - Αέρα (A – A )
  2. Αέρα - Νερού (A – N )
  
- γεωθερμικές υδρόψυκτες - μονάδες (αντλούν θερμότητα από τη γη)
  1. Νερού - Νερού ( N – N )
  2. Νερού – Αέρα ( N – A )
  3. Εδάφους – Αέρα ( E – A )
  4. Εδάφους – Νερού ( E - N)

## 2.5.1 Αερόψυκτες μονάδες

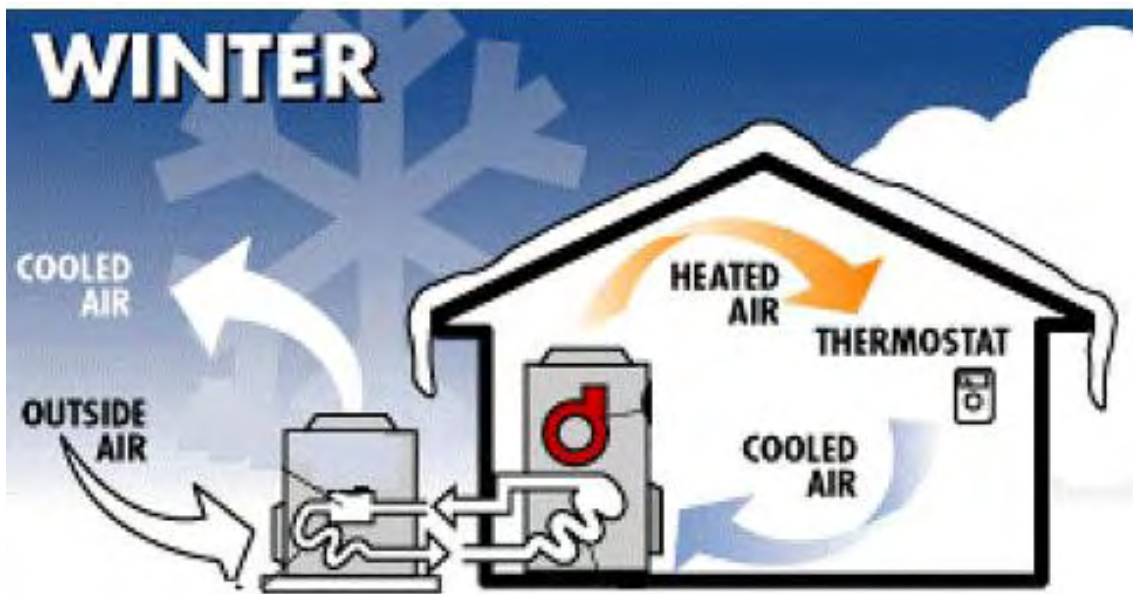
### 1). Αντλίες θερμότητας αέρα - αέρα



Σχήμα 3: Αντλίες θερμότητας Αέρα – Αέρα

Οι αντλίες θερμότητας αέρα - αέρα είναι οι πιο συνηθισμένες για την ψύξη και θέρμανση κτιρίων, οι οποίες έχουν ως πηγή "άντλησης" ενέργειας και ως μέσο απόδοσης της ενέργειας τον αέρα, αυτό γίνεται κατανοητό διότι στην πρώτη περίπτωση έχουν τον εξωτερικό αέρα και στην δεύτερη τον εσωτερικό ή και ένα μέρος εξωτερικού για ταυτόχρονο εξαερισμό του χώρου.

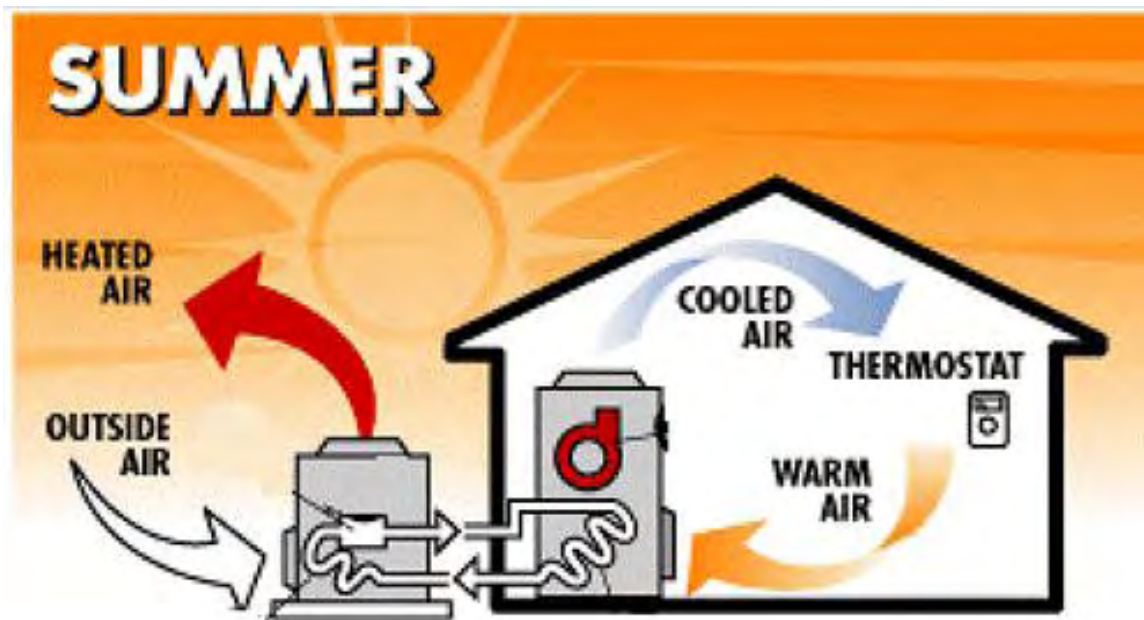
Κατά τη λειτουργία της θέρμανσης, ο εξατμιστής απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα του περιβάλλοντος και την στέλνει μέσω του συμπυκνωτή στον αέρα του χώρου που θερμαίνεται (εσωτερικός αέρας). Ο βαθμός επίδοσης C.O.P της αντλίας στην θέρμανση εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος όσο και από τη θερμοκρασία του αέρα που θερμαίνεται, επομένως η τιμή του C.O.P. αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή με τη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα.



Σχήμα 4 : Λειτουργία θέρμανσης

<http://acrepairmiramar.com/miramar-heat-pump-repair/>

Κατά τη λειτουργία της ψύξης, ο συμπυκνωτής γίνεται εξατμιστής, απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα και την αποστέλλει μέσω του εξατμιστή, που γίνεται συμπυκνωτής, στο εξωτερικό περιβάλλον. Ο βαθμός επίδοσης E.E.R. της αντλίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα που ψύχεται και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, άρα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του ψυχομένου αέρα η όταν μειώνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται.



Σχήμα 5 : Λειτουργία ψύξης

<http://acrepairmiramar.com/miramar-heat-pump-repair/>

Το κύριο μειονέκτημα των αντλιών θερμότητας αυτού του τύπου είναι η θέρμανση κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, γι' αυτό τον λόγο αυτού του είδους τα συστήματα εγκαθίστανται συνήθως σε ήπια κλίματα, όπου οι θερμοκρασίες κατά το χειμώνα δεν πέφτουν κάτω από τους  $-12^{\circ}\text{C}$ . Η αντλία θερμότητας αέρος-αέρος απορροφάει θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα, οπότε στη περίπτωση που η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα μειωθεί αρκετά, τότε θα είναι δύσκολο να απορροφήσει θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο εξατμιστής πρέπει να είναι πιο ψυχρός από τον εξωτερικό αέρα, για να απορροφήσει θερμότητα από τον, επομένως στις ψυχρές κλιματολογικές συνθήκες ο εξατμιστής της αντλίας θερμότητας θα είναι  $10 - 15^{\circ}\text{C}$  ψυχρότερος από τον αέρα που θα απορροφήσει θερμότητα. Για παράδειγμα αν χρησιμοποιήσουμε μια θερμοκρασιακή διαφορά  $14^{\circ}\text{C}$ , κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι  $-12^{\circ}\text{C}$ , ο εξατμιστής της αντλίας θερμότητας θα ατμοποιήσει το υγρό ψυκτικό μέσο  $14^{\circ}\text{C}$  κάτω από την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Με λίγα λόγια, η θερμοκρασία ατμοποίησης του ψυκτικού μέσου θα είναι  $-26^{\circ}\text{C}$ . Καθώς η θερμοκρασία του εξατμιστή μειώνεται, ο συμπιεστής χάνει σε απόδοση. Η αντλία θερμότητας χάνει σε απόδοση επίσης καθώς αυξάνονται οι ανάγκες του θερμαινόμενου χώρου. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό τοποθετούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις, που χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματική πηγή θερμικής ενέργειας. Οι αντιστάσεις αυτές τοποθετούνται στην μονάδα διαχείρισης του αέρα και ενεργοποιούνται αυτόματα όταν είναι αναγκαίες. Το πρόβλημα με τις αντιστάσεις είναι πως όταν ενεργοποιούνται αυξάνεται αισθητά η κατανάλωση.

## 2). Αντλίες θερμότητας αέρα - νερού

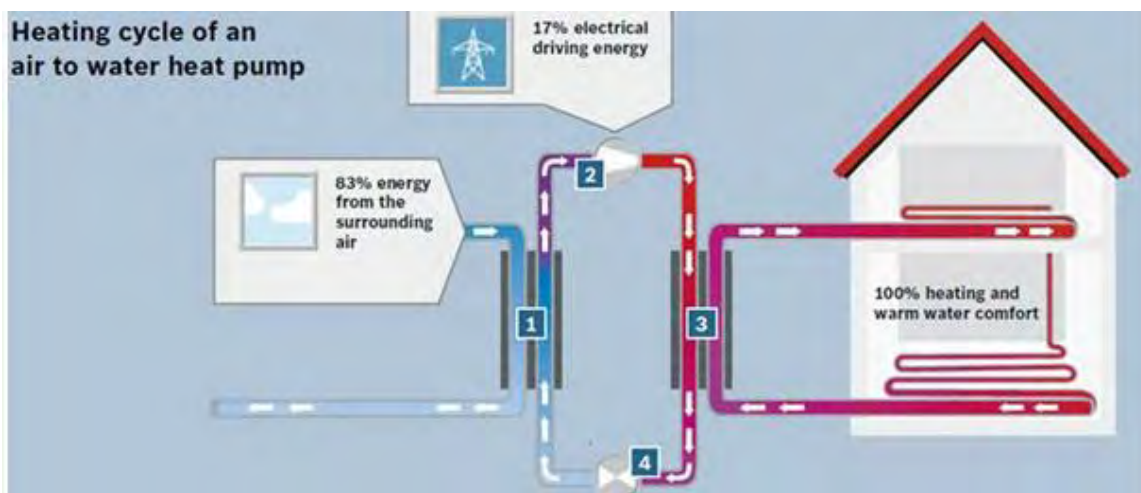
Σε αυτό το σύστημα η άντληση και η απόρριψη θερμότητας από τον εξωτερικό αέρα, γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην αντλία θερμότητας αέρα/αέρα, δηλαδή με αερόψυκτο συμπυκνωτή/εξατμιστή. Το θερμικό μέσο απόδοσης ενέργειας αυτού του τύπου αντλίας είναι συνήθως το νερό που μπορεί κυκλοφορεί στο δίκτυο θέρμανσης ή σε



κάποιο εναλλάκτη απο θερμοδοχείο με ενσωματωμένη αντλία θερμότητας . Οι αντλίες θερμότητας αέρα – νερού λειτουργούν τόσο σε υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες όσο και σε θερμοκρασίες μέχρι  $-20^{\circ}\text{C}$  , χρησιμοποιούνται σε συστήματα κεντρικού κλιματισμού μεγάλων κτηρίων, στα οποία είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε κάθε κλιματιστική ζώνη και εγκαθίστανται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Κατά την λειτουργία θέρμανσης η αντλία θερμότητας απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα και θερμαίνει νερό σε μία εγκατάσταση κλιματισμού. Ο βαθμός επίδοσης εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος όσο και από τη θερμοκρασία του νερού που θερμαίνεται στο συμπυκνωτή. Επομένως με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή με τη μείωση της θερμοκρασίας του νερού ο συντελεστής επίδοσης C.O.P. αυξάνεται.

Στην λειτουργία της ψύξης που επιτυγχάνεται με την αντιστροφή του κύκλου λειτουργίας, η αντλία θερμότητας ψύχει το νερό της εγκατάστασης και αποβάλλει τη θερμότητα στον εξωτερικό αέρα. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και από τη θερμοκρασία του νερού που ψύχεται στον εξατμιστή , συνεπώς τιμή του E.E.R. αυξάνεται με την μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή με την αύξηση της θερμοκρασία του ψυχρού νερού.

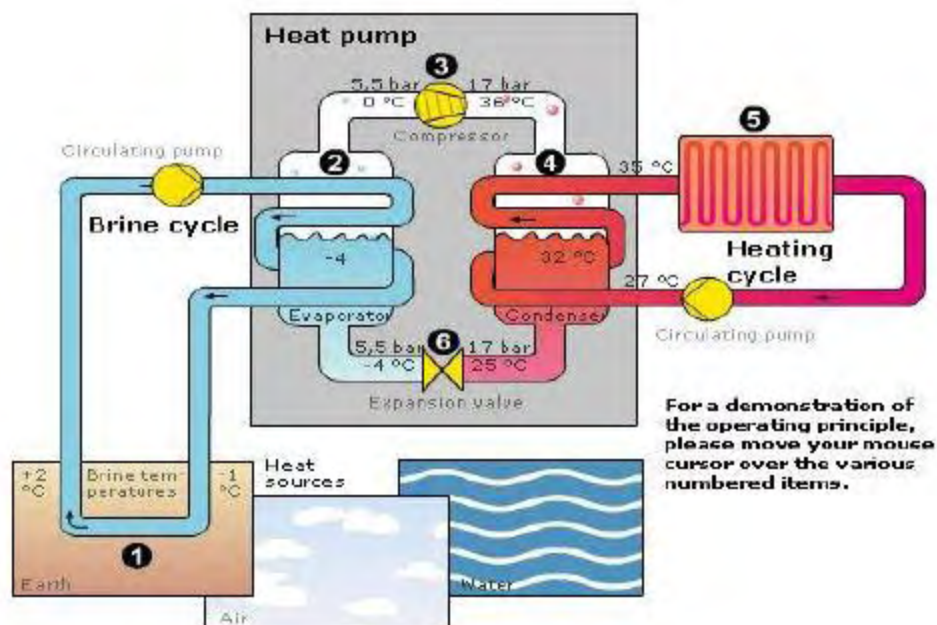


Σχήμα 6 : Λειτουργία θέρμανσης αντλίας θερμότητας αέρα- νερό

## 2.5.2 Γεωθερμικές υδρόψυκτες - μονάδες

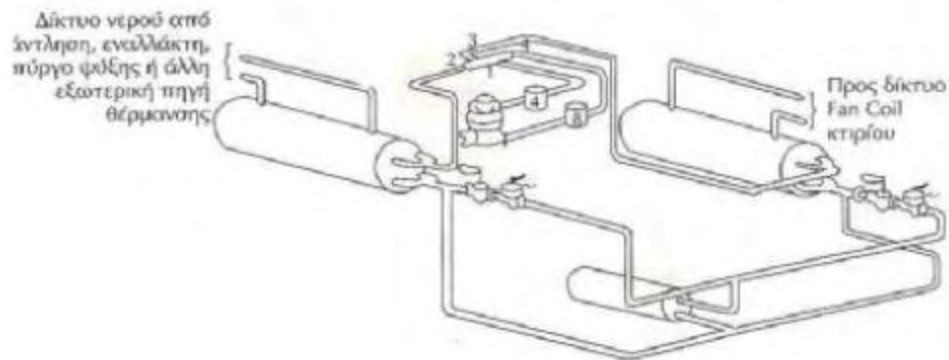
### 1). Αντλίες θερμότητας νερού - νερού

Σε αυτή την κατηγορία εκτός από το δεύτερο κύκλωμα κυκλοφορεί νερό και στο πρώτο κύκλωμα, ακόμα η πηγή "άντλησης" ενέργειας προέρχεται από το έδαφος με οριζόντιους ή κάθετους εναλλάκτες οι οποίοι μεταφέρουν την ενέργεια του υπεδάφους στην αντλία. Το πρωτεύον κύκλωμα τροφοδοτείται με νερό από το περιβάλλον ενώ το δευτερεύον συνδέεται με τοπικές μονάδες ή με στοιχεία κεντρικών κλιματιστικών μονάδων.



Σχήμα 7 : Αντλία θερμότητας νερού - νερού

Ο βαθμός απόδοσης C.O.P. μιας τέτοιας αντλίας θερμότητας είναι 4,0 έως 5,5, ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης από τα άλλα είδη αντλιών θερμότητας και η λειτουργία της γίνεται σε οποιοσδήποτε καιρικές και θερμοκρασιακές συνθήκες (  $-6^{\circ}\text{C}$  -  $50^{\circ}\text{C}$  ).

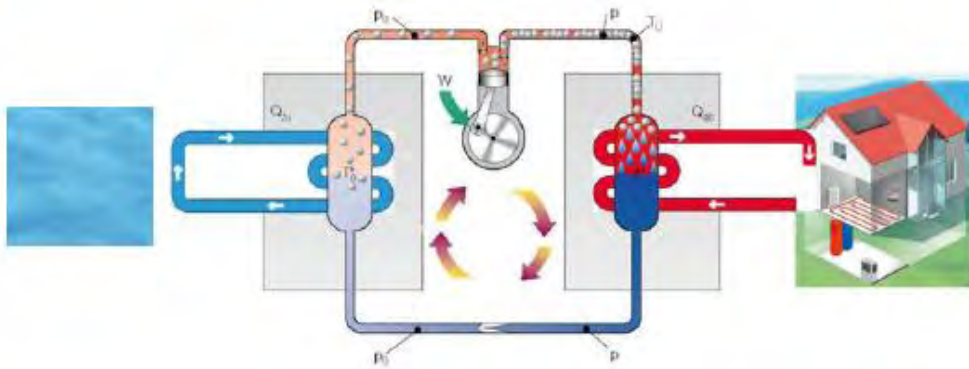


Σχήμα 8 : Αντλίες θερμότητας νερού - νερού

## 2). Αντλίες θερμότητας νερού - αέρα

Στις αντλίες θερμότητας νερού-αέρα υπάρχει το νερό ως μέσω πηγής και αποδέκτης θερμότητας, ενώ ο αέρας χρησιμοποιείται για την μεταφορά ή την απαγωγή θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Οι συσκευές αυτού του τύπου τροφοδοτούνται με νερό μέσω κατάλληλου δικτύου και συνδέονται με δίκτυο αεραγωγών, για την προσαγωγή/απαγωγή

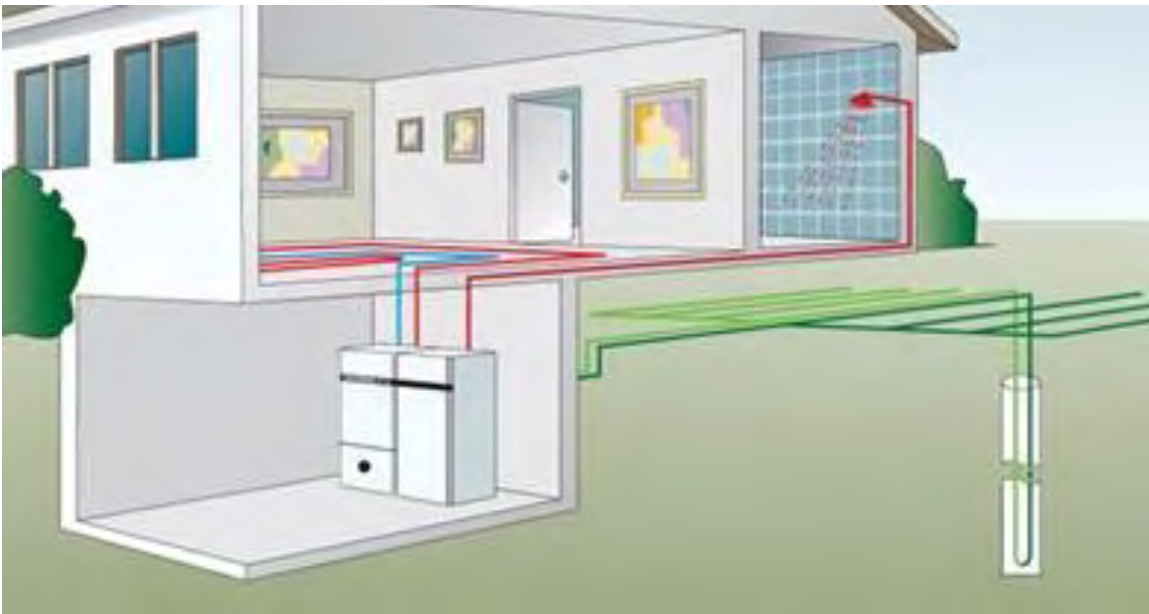
του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους. Η εναλλαγή του κύκλου λειτουργίας της αντλίας από ψύξη σε θέρμανση, γίνεται με αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου μέσω τετραόδης βαλβίδας. Ως πηγή-αποδέκτης θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο υπεδαφικό όσο και επιφανειακό νερό, καθώς και απόνερα. Οι εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας νερού/αέρα χρησιμοποιούν νερό πηγής, λίμνης, ποταμού ή σπανιότερα θάλασσας για την προσαγωγή/απαγωγή θερμότητας. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση θαλασσινού νερού, μεταξύ της πηγής και της αντλίας θερμότητας παρεμβάλλεται ένας εναλλάκτης θερμότητας που εξασφαλίζει προστασία από διάβρωση. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντλία θερμότητας ειδικής κατασκευής, με μεταλλικά μέρη που αντέχουν στην διάβρωση. Στις περιπτώσεις αυτές το κόστος είναι αρκετά υψηλό, γι' αυτό οι εγκαταστάσεις αυτές είναι συνήθως μεγάλου μεγέθους.



Σχήμα 8 : Αντλία θερμότητας νερού – αέρα

### 3). Αντλίες θερμότητας εδάφους - νερού

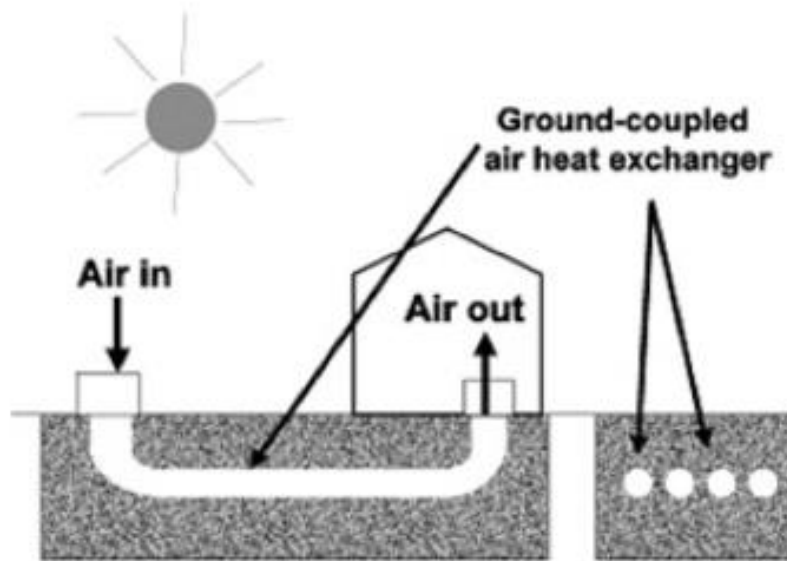
Σε αυτή την κατηγορία οι αντλίες χρησιμοποιούν την ενέργεια του εδάφους για την θέρμανση ή ψύξη κτηρίων. Πρέπει να κατασκευαστεί ένας γεωεναλλάκτης στο έδαφος κλειστού τύπου συστήματος με πλαστικούς σωλήνες μέσα στο οποίο αποσκληρυμένο νερό ή διάλυμα νερού - αντιπηκτικού. Στο πρώτο κύκλωμα ο εξατμιστής ή συμπυκνωτής ανάλογα με την λειτουργία που έχει να απορροφά ή να απορρίπτει θερμότητα στο έδαφος με την βοήθεια του γεωεναλλάκτη, ο οποίος ανάλογα με την διαστασιολόγηση του χωρίζεται το σύστημα σε δύο κατηγορίες στην οριζόντια και στην κατακόρυφη. Ακόμα σύμφωνα με το είδος του οι αντλίες διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες , ανοιχτού κυκλώματος, κλειστού κυκλώματος και απευθείας εκτόνωσης. Επειδή έχει υψηλότερο βαθμό επίδοσης σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες αντλιών θερμότητας έχει αυξηθεί η προτίμηση του για την κλιματιστική εγκατάσταση σε κτίρια.



Σχήμα 9 : Αντλίες θερμότητας εδάφους – νερού

#### 4). Αντλίες θερμότητας εδάφους - αέρα

Στο πρωτεύον κύκλωμα οι αντλίες θερμότητας εδάφους-αέρα είναι ίδιες με τις αντλίες θερμότητας εδάφους/νερού. Ενώ στο δευτερεύον κύκλωμά τους υπάρχει ανεμιστήρας και αερόψυκτος συμπυκνωτής/εξατμιστής, που τροφοδοτούν με θερμό ή ψυχρό αέρα το δίκτυο αεραγωγών κλιματισμού του κτηρίου.



Σχήμα 10 : Γενική απεικόνιση εγκατάστασης εναλλάκτη θερμότητας αέρα-εδάφους.

## 2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας

Η αντλία θερμότητας λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών της και του κύκλου λειτουργίας της έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης - κλιματισμού και τα τελευταία χρόνια η χρήση της έχει αυξηθεί. Αρχικά, σε αυτό το σύστημα η κατανάλωση ρεύματος είναι χαμηλότερη από ότι σε συμβατικά συστήματα θέρμανσης, αυτό γίνεται κατανοητό γιατί η εξοικονόμηση φτάνει στο 50% σε σχέση με το κόστος λειτουργίας για την θέρμανση με φυσικό αέριο. Επιπλέον το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης είναι ελάχιστο και στα οικιακά σύστημα ο έλεγχος της συντήρησης μπορεί να γίνει από τον ιδιοκτήτη εύκολα, στις επαγγελματικές εγκαταστάσεις, από την άλλη μεριά, πρέπει να ελέγχεται κάθε τρία ή πέντε χρόνια. Αξίζει, επιπλέον να αναφερθεί η αντλία θερμότητας είναι ασφαλέστερη από τα συστήματα με καύση όπως είναι το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο. Επίσης το σύστημα αντλίας θερμότητας μειώνει τις εκπομπές άνθρακα και έχει έναν αποτελεσματικό ρυθμό μετατροπής ενέργειας για θέρμανση, συγκεκριμένα οι αντλίες θερμότητας πηγής νερού επιτυγχάνουν αρκετά υψηλές αποδόσεις, κοντά στο 600%. Ακόμα, λόγω της εύκολης αναστροφής του κύκλου λειτουργίας μπορεί να επιτυγχάνει είτε ψύξη είτε θέρμανση στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου. Θα αποτελούσε σοβαρή παράλειψη να μην τονίσουμε ότι το σύστημα της αντλίας θερμότητας έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, μέχρι 50 χρόνια, ωστόσο η μέση διάρκεια ζωής είναι κάπου μεταξύ 14 και 15 ετών και αυτό φανερώνει πως είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και σταθερή πηγή θερμότητας. Τέλος, με την τοποθέτηση αυτό του συστήματος εξοικονομείται χώρος καθώς μία αντλία θερμότητας δεν απαιτεί λεβητοστάσιο και δεξαμενή καυσίμου.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και πολλά μειονεκτήματα όσον αφορά την αντλία θερμότητας που αξίζει να καταγραφούν. Σημαντικό είναι το κόστος εγκατάστασης διότι μια αντλία θερμότητας έχει 50 με 60% πιο ακριβό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με μια συμβατική εγκατάσταση θέρμανσης. Εξίσου σημαντική για αναφορά είναι η δυσκολία στην εγκατάσταση, οι αντλίες θερμότητας είναι δύσκολες στην εγκατάσταση

τους δεδομένου ότι πρέπει να γίνει έρευνα για να κατανοήσουμε την κίνηση της θερμότητας, την τοπική γεωλογία, ειδικότερα στις αντλίες θερμότητας εδάφους και τις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης για το νοικοκυριό σας. Ακόμα ένα μειονέκτημα είναι ότι σε περιοχές με ακραίες καιρικές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει ζημία στο σύστημα με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση του. Παρόλο που υπάρχουν δυνατότητες ενός αναβαθμισμένου συστήματος αντλίας θερμότητας που ξεπερνά αυτό το πρόβλημα.

## 2.7 Ανάλυση Αντλίας Θερμότητας Αέρα- Ψυκτικού υγρού

Μια αντλία θερμότητας περιλαμβάνει ηλεκτρονικές πλακέτες για να ελέγχουν την ομαλή διαδικασία των προγραμματισμένων λειτουργιών της συσκευής, ακόμα υπάρχουν τοποθετημένοι αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασία και την πίεση του ψυκτικού υγρού όχι μόνο πριν τον συμπιεστή αλλά και μετά την χρήση του. Επιπλέον περιέχει επιτηρητή φάσεων που ελέγχει την ομαλή ηλεκτρική παροχή και σε συνδυασμό με χειριστήρια και οθόνες που προβάλλουν ενδείξεις γίνεται δυνατή η ρύθμιση των στροφών των ανεμιστήρων.

Η αντλία θερμότητας αποτελείται από διάφορα μέρη, όλα εξίσου σημαντικά. Αρχικά περιέχει τον συμπιεστή (κομπρεσέρ) που είναι απαραίτητος για την συμπίεση της ψυκτικής ουσίας και μέσα από αυτή την διαδικασία επιτυγχάνεται η αύξηση της θερμοκρασία της. Ο συμπιεστής είναι μια μηχανή που περιστρέφεται έχοντας λεπίδες, οι οποίες συμπιέζουν την ψυκτική ουσία, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση της. Επιπλέον υπάρχει ο συμπυκνωτής που συμπυκνώνει το συμπιεσμένο αέριο και αυτός στην συνέχεια υγροποιείται εκλύοντας θερμότητα. Αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα άλλο μέσο που χρησιμοποιείται για την θέρμανση εσωτερικών χώρων κατά την χειμερινή περίοδο. Όταν όμως η αντλία θερμότητας λειτουργεί για την ψύξη στους θερινούς μήνες η θερμότητα αυτή δεν είναι επιθυμητή. Ένα άλλο συστατικό μέρος της αντλίας θερμότητας είναι ο



ανεμιστήρας του συμπυκνωτή που είναι απαραίτητος για την αποβολή της ενέργειας από το ψυκτικό μέσο στην διαδικασία της ψύξης. Μετά τον ανεμιστήρα στον κύκλο λειτουργίας βρίσκεται η βαλβίδα εκτόνωσης στην οποία διέρχεται το ψυκτικό μέσο για να εκτονωθεί και να μετατραπεί από υγρό σε αέριο ενώ παράλληλα μειώνεται η θερμοκρασία του . Μετέπειτα υπάρχει ο εξατμιστής που εξατμίζει το ψυκτικό υγρό και αυτό απορροφάει ενέργεια από το νερό που ψύχεται . Η ψύξη του νερού επιτυγχάνεται στον κυκλοφορητή που το βάζει σε κίνηση ενώ παράλληλα ψύχεται στον εναλλάκτη από το μέσο. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει η τετράοδη βάννα που μπορεί να αναστρέψει τον κύκλο. Στον συμπιεστή και στον εξατμιστή υπάρχουν αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασίας και σε συνδυασμό με την πλακέτα επιβλέπουν την ομαλή λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Η πλακέτα είναι αυτή που ρυθμίζει την τετράοδη βάννα και τους ανεμιστήρες για να πραγματοποιηθεί το κατάλληλο αποτέλεσμα. Άλλο ένα μέρος της αντλίας είναι το κέλυφος της αντλίας με την βάση στήριξης και τέλος το χειριστήριο των τμημάτων του μηχανήματος.

Στις αντλίες θερμότητας υπάρχει η δυνατότητα της τεχνολογίας inverter . Αυτή η τεχνολογία δίνει την δυνατότητα στην αυξομείωση των στροφών στο συμπιεστή και αυτό δίνει την ικανότητα στην παροχή του ψυκτικού μέσου να μπορεί είτε να αυξάνεται είτε να μειώνεται και αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της ενέργειας που μεταφέρεται.

## 2.8 Γεωθερμία και Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων, αναλόγως με τη γεωγραφική τοποθεσία, τις γεωλογικές συνθήκες αλλά και την ηφαιστειότητα της κάθε περιοχής. Αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με είτε με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04 - 0,06 W/m<sup>2</sup> , είτε με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις. Η Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10<sup>6</sup> kWh/yr. Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως). Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Η Ελλάδα, εξαιτίας της σύνθετης γεωλογικής της δομής, έχει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μ). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση. Παρ' όλα αυτά και ενώ φαντάζει μια ιδιαίτερα ελκυστική επένδυση από οικονομικής απόψεως, οι περιπτώσεις εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι ελάχιστες και τις περισσότερες φορές αφορούν μικρές κυρίως

εγκαταστάσεις (θέρμανση θερμοκηπίων ,ιχθυοτροφία, καθώς και αποξήρανση λαχανικών και φρούτων).

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να διακριθούν σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το είδος των γεωθερμικών πόρων. Αυτές οι πέντε κατηγορίες είναι οι εξής:

1. Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι, δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα ουσιαστικά είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται.
2. Αβαθής γεωθερμία (earth energy), κατά την οποία λαμβάνονται (ή και απορρίπτονται) ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.
3. Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα (enhanced geothermal systems) αναφέρονται στα θερμά πετρώματα σε βάθος 2 - 10 km, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια, μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.
4. Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα (geopressured systems) αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική
5. Τα μαγματικά συστήματα (magma systems) αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.

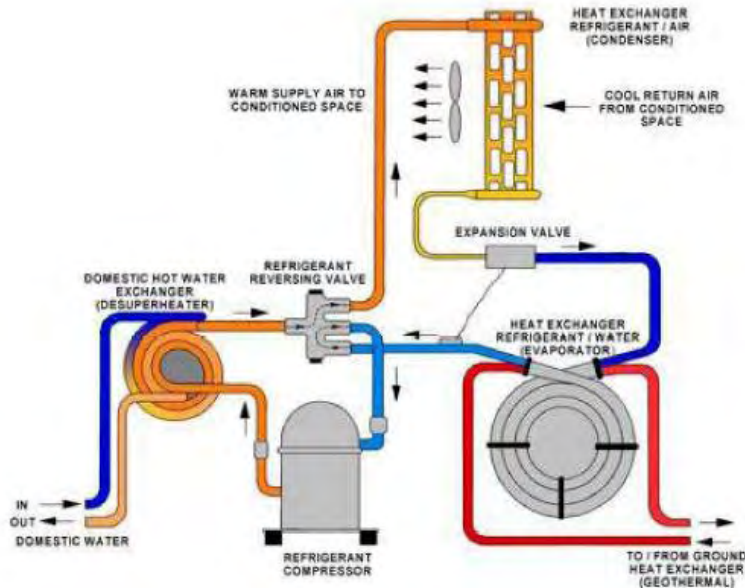
### 2.8.1 Ανάλυση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Τα συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού χρησιμοποιούν γεωθερμικές αντλίες, οι οποίες είναι μονάδες που χρησιμοποιούν τον κύκλο ψύξης για να αυξήσουν ή να ζεστάνουν ένα μέσο (αέρας ή νερό), χρησιμοποιώντας το έδαφος ως δεξαμενή (δροσισμός) ή ως πηγή θερμότητας (θέρμανση). Ο κύκλος ψύξης είναι αναστρέψιμος για αυτό και γεωθερμικές αντλίες μπορούν και να θερμάνουν αλλά και να ψύχουν. Ένα γεωθερμικό σύστημα αντλιών περιλαμβάνει τον γεωεναλλάκτη που είναι ένα σύστημα σωληνώσεων και βρίσκεται στο έδαφος για να απορροφά θερμότητα μέσω του αντιπηκτικού, που κυκλοφορεί στους σωλήνες. Ακόμα υπάρχει η αντλία θερμότητας που ρυθμίζει την θέρμανση ή ψύξη και αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του ζεστού ή κρύου νερού στην εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης. Επιπρόσθετα, είναι το σύστημα μεταφοράς και διανομής για την θέρμανση ή ψύξη των εσωτερικών χώρων. Τέλος, σε μερικά συστήματα εντάσσεται ένας τέταρτος βρόχος (υπερθερμαντηρας) που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του εσωτερικού ζεστού νερού.

Τα είδη των γεωθερμικών αντλιών που υπάρχουν σε διατάξεις γεωθερμικού κλιματισμού είναι οι εξής :

1. Η γεωθερμική αντλία νερού-νερού η οποία είναι η πιο συνηθισμένη σε διατάξεις γεωθερμικού κλιματισμού. Το νερό στο κύκλωμα του εναλλάκτη περνάει από τον ατμοποιητή της αντλίας και είτε ψύχει το νερό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του fan coil είτε θερμαίνει το νερό που κυκλοφορεί στο σύστημα θέρμανσης (π.χ. ενδοδαπέδια θέρμανση).
2. Η γεωθερμική αντλία νερού-αέρος. Το νερό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του εναλλάκτη παίρνει θερμότητα από τη γεωθερμική αντλία και αέρας που φιλτράρεται προς και από το χώρο είτε δροσίζεται είτε ψύχεται.
3. γεωθερμική αντλία νερού-αέρος (split type). Το νερό στο κύκλωμα του εναλλάκτη κυκλοφορεί στην αντλία διαιρώντας το τμήμα του συμπιεστή -

ατμοποιητή . Παράλληλα σωλήνες με ψυκτικό υγρό ενώνουν αυτό το τμήμα με μία φορητή στραγγαλιστική βαλβίδα , η οποία ζεσταίνει ή ψύχει τον αέρα που φιλτράρεται από το χώρο.



Σχήμα 11: Σχηματικό διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιείται για θέρμανση

## 2.8.2 Είδη γεωθερμικών συστημάτων

Οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης, χρησιμοποιούνται για την θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Ο εξοπλισμός αυτός έχει ιδιαίτερα μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας αλλά το κύριο του χαρακτηριστικό είναι η σταθερή λειτουργία με μεγάλη ενεργειακή απόδοση. Ως πηγή θερμότητας μπορεί να είναι η γη δηλαδή το έδαφος , μια λίμνη , η

θάλασσα ή το πηγάδι και αυτή η θερμότητα που αποβάλεται ή απορροφάται την χρησιμοποιεί μία αντλία θερμότητας υπόγειας σύζευξης που αποτελείται από ένα κλασικό σύστημα συμπίεσης με ένα συμπιεστή, έναν εξατμιστήρα, ένα συμπυκνωτή, μία βαλβίδα εκτόνωσης και άλλα εξαρτήματα ελέγχου και ρύθμισης. Η ιδιαιτερότητα του συστήματος υπόγειας σύζευξης είναι ότι ο εξατμιστήρας είναι θαμμένος μέσα στο έδαφος, γεγονός που επιφέρει μια σειρά οφέλη.

Τα δύο είδη γεωθερμικών συστημάτων είναι

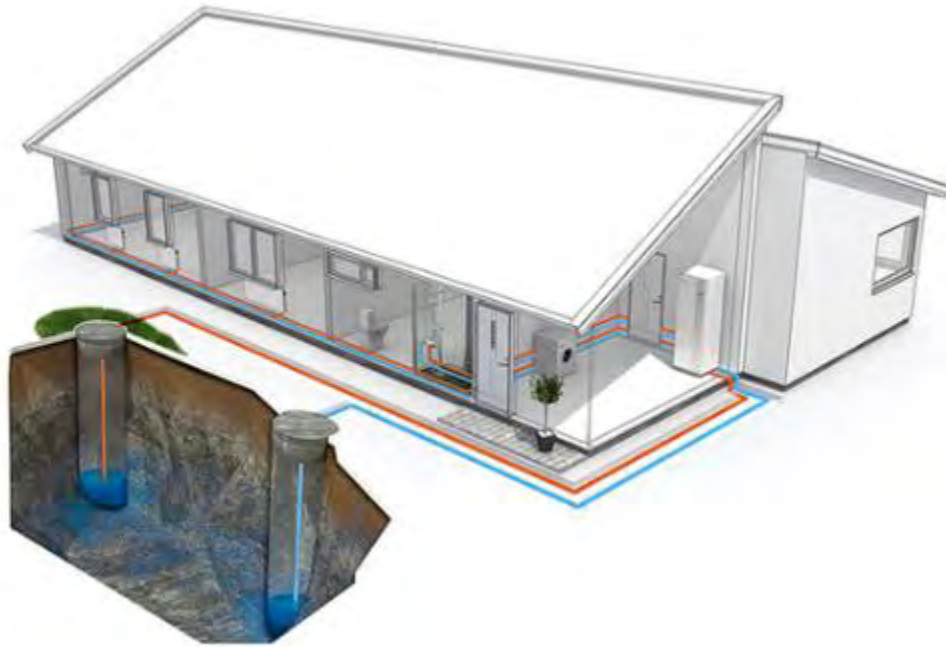
- συστήματα ανοικτού βρόχου (open loop systems)
- συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop systems).

## Συστήματα ανοικτού βρόχου

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου εφαρμόζονται σε περιοχές που υπάρχουν υπόγεια νερά ή γεωτρήσεις. Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαίες δύο γεωτρήσεις μια παραγωγική και μια επανεισαγωγής, η πρώτη είναι απαραίτητη διότι το νερό που αντλείται από αυτή, εισάγεται μέσα σε ένα εναλλάκτη θερμότητας στην αντλία θερμότητας και μετέπειτα οδηγείται πάλι στο έδαφος χρησιμοποιώντας την δεύτερη γεώτρηση. Με αυτή την διαδικασία δημιουργείται ένα ανοιχτό κύκλωμα στο οποίο μεταφέρεται θερμότητα μέσω του νερού που κυκλοφορεί.

Σε αυτό το σύστημα όμως είναι απαραίτητο το νερό να έχει καλή ποιότητα, ακόμα ο ανταλλακτήρας θερμότητας έχει πιθανότητα να σαπίσει ή να μπλοκάρει. Επιπρόσθετα το νερό πρέπει να είναι σε μια ορισμένη ποσότητα μεταξύ του 0,03 και 0,05 l/s/kW. Όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν, η χρήση του συστήματος ανοικτού βρόχου αποτελεί τη

βέλτιστη επιλογή ανάμεσα στα άλλα συστήματα υπόγειας σύζευξης. Αυτό συμβαίνει όχι μόνο επειδή η μελέτη είναι εύκολη και απλή αλλά τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας παραμένουν χαμηλά στην περίπτωση που το νερό αντλείται για άλλους λόγους. Τέλος επειδή σε αρκετές περιοχές η ποσότητα του νερού δεν είναι ικανή το σύστημα ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιείται αρκετά σπάνια.

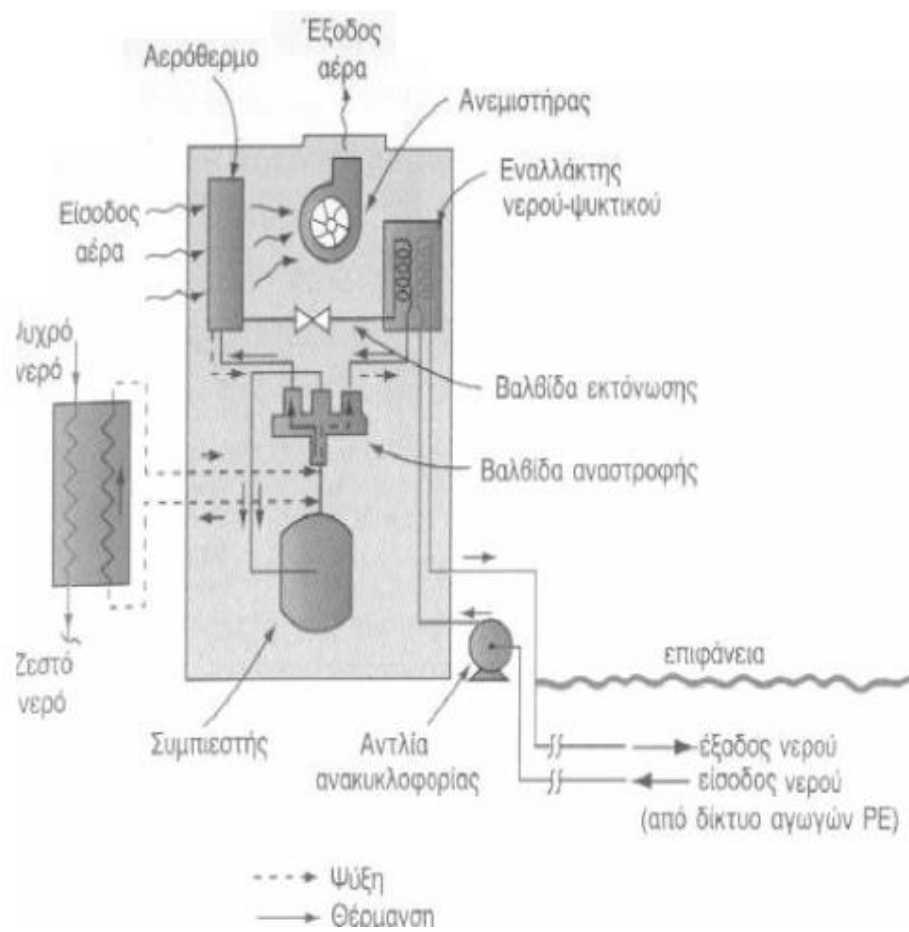


Σχήμα 12: Σύστημα αβαθούς γεωθερμίας ανοιχτού τύπου

## Συστήματα κλειστού βρόχου

Τα συστήματα κλειστού βρόχου αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο στεγανών, πλαστικούς σωλήνες που έχουν μεγάλη αντοχή και χρησιμοποιούνται ως ανταλλακτήρες θερμότητας. Οι σωλήνες είναι γεμάτοι με νερό ή με ένα διάλυμα νερού και αντιψυκτικού. Παράλληλα οι σωλήνες αυτοί δεν έχουν επικοινωνία με τα υπόγεια ύδατα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους όπως η διάρκεια ζωής τους, το κόστος συντήρησης, η ισχύς της άντλησης, το κόστος κεφαλαίου καθώς και η απόδοση της αντλίας θερμότητας εξαρτώνται από το υλικό με το οποίο είναι κατασκευασμένοι. Συνεπώς θεωρείται αναγκαίο να υπάρχει ειδική μελέτη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή όσο αφορά το υλικό και την αντοχή των σωλήνων. Ιδιαίτερα διαδεδόμενες είναι οι σωληνώσεις από πολυαιθυλένιο ή πολυβουτυλένιο υψηλής πυκνότητας και με διαμέτρους σωλήνων μεταξύ 20 και 40 mm. Είναι σημαντικό ότι τα υλικά αυτά είναι εύκαμπτα με αποτέλεσμα οι ενώσεις των σωλήνων να μπορούν να γίνουν εύκολα με τη μέθοδο της θερμικής σύντηξης, με σκοπό τη δημιουργία δικτύων στεγανών, αξιόπιστων, που δεν παρουσιάζουν διαρροές ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις ανάγκες συντήρησης. Η διάταξη των κλειστών βρόχων γίνεται με διάφορες πρακτικές. Ευρέως συναντώνται όμως η οριζόντια και η κάθετη διάταξη.

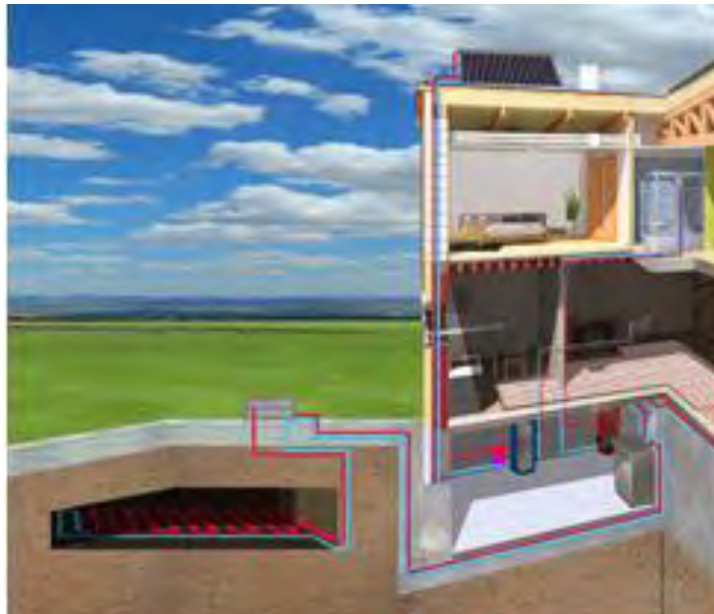




Σχήμα 13: Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού κυκλώματος

Οριζόντια διάταξη.

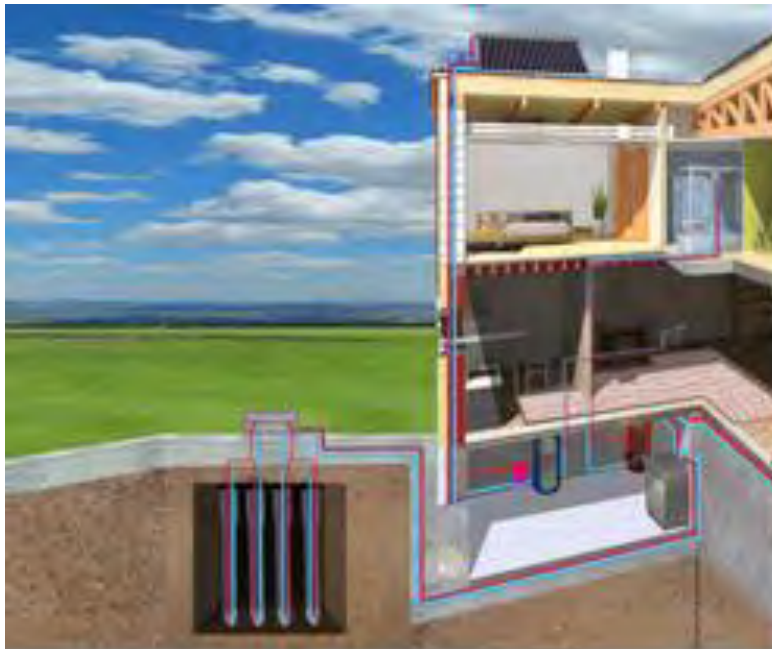
Σε αυτή τη διάταξη οι σωληνώσεις βρίσκονται μέσα σε ορύγματα βάθους 1,2 έως 3,0 μέτρων ενώ παράλληλα το μήκος τους κυμαίνεται από 9 έως 35 μέτρα λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του εδάφους και τον αριθμό των σωλήνων που τοποθετούνται μέσα σε αυτά. Τα σκάμματα αυτά συνήθως έχουν απόσταση μεταξύ τους 2 έως 4 μέτρα. Το οριζόντιο σύστημα αποτελούμενο από κυκλώματα σωλήνων τοποθετείται στο πυθμένα, καλύπτεται με άμμο και στη συνέχεια με το χώμα της εκσκαφής. Για την αποφυγή αστοχιών λόγω καθιζήσεων η κατασκευή ποτίζεται και συμπιέζεται. Είναι συνηθισμένο τα συστήματα αυτά να συναντώνται κάτω από χώρους πράσινους ή στάθμευσης. Οι λόγοι προτίμησης της συγκεκριμένης διάταξης αφορούν το κόστος εκσκαφής, που είναι σημαντικά μειωμένο και η πληθώρα επιλογών για τη δημιουργία της εγκατάστασης. Από την άλλη στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η δέσμευση μεγαλύτερου διαθέσιμου χώρου και η αλλοίωση του εδάφους λόγω των αλλαγών στα επίπεδα θερμοκρασίας και ξηρασίας λόγω της εγγύτητας με την επιφάνεια.



Σχήμα 14 : Γεωθερμία κλειστού τύπου με οριζόντιο γεωεναλλάκτη

## Κάθετη διάταξη.

Η κατακόρυφη διάταξη κλειστού τύπου χρησιμοποιείται σε κτίρια που έχουν περιορισμένη εξωτερική ή σε περιοχές που είναι δύσκολη η παροχή νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα. Οι γεωτρήσεις πρέπει να γίνουν σε βάθος από 20 μέχρι 100 μέτρα και οι αποστάσεις μεταξύ τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 6 μέτρα. Οι αγωγοί κλειστού βρόχου εισάγονται στο κάθετο πηγάδι. Οι σωληνώσεις για να αποφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα υποχρεούνται να έχουν μήκος από 17 μέχρι 52 μέτρα/k. Ένα θετικό αυτής της διάταξης είναι το μικρό μήκος των αγωγών. Τέλος η θερμοκρασία του υπεδάφους δεν εξαρτάται από την μεταβολή της θερμοκρασίας ανάλογα με την εποχή. Αξίζει να σημειωθεί πάντως πως η δαπάνη των γεωτρήσεων σε αυτή τη διάταξη είναι περισσότερη σε σχέση με την οριζόντια διάταξη και για την υλοποίηση της εγκατάστασης απαιτούνται εξειδικευμένα μηχανήματα.



Σχήμα 15 : Γεωθερμία κλειστού τύπου με κάθετο γεωεναλλάκτη

## 2.9 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Γεωθερμίας

Πλεονεκτήματα γεωθερμίας :

- Η γεωθερμική ενέργεια εξάγεται από τη γη χωρίς καύση ορυκτών καυσίμων και τα γεωθερμικά πεδία δεν παράγουν πρακτικά καμία εκπομπή.
- Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να είναι πολύ επωφελής, καθώς μπορείτε να πετύχετε εξοικονόμηση μέχρι 80% σε σχέση με τη συμβατική χρήση ενέργειας.
- Είναι η πιο αξιόπιστη πηγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι μια σχετικά σταθερή πηγή ενέργειας, που σημαίνει ότι δεν εξαρτάται ούτε από τον άνεμο ούτε από τον ήλιο, αλλά διατίθεται όλο το χρόνο.
- Χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση και χαμηλή συντήρηση, τα συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας χρησιμοποιούν 25% έως 50% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια ως συμβατικά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης και με τον ευέλικτο σχεδιασμό τους μπορούν να σχεδιάζονται σε διαφορετικές καταστάσεις και απαιτούν λιγότερους χώρους για το υλικό σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Λόγω του γεγονότος ότι τα γεωθερμικά συστήματα έχουν μόνο λίγα κινούμενα μέρη και τα τμήματα αυτά είναι προστατευμένα μέσα σε ένα κτίριο, η διάρκεια ζωής των γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας είναι σχετικά υψηλή, οι σωληνώσεις έχουν ακόμη εγγυήσεις μεταξύ 25 και 50 ετών, ενώ η αντλία μπορεί συνήθως να έχει διάρκεια ζωής για τουλάχιστον 20 χρόνια.
- Τα γεωθερμικά συστήματα είναι βολικά και φιλικά προς το χρήστη, καθώς τα συστατικά που χρειάζονται για τον τελικό χρήστη είναι εύκολα προσβάσιμα.
- Χωρίς εξωτερικές μονάδες συμπύκνωσης, σε αντίθεση με τα κανονικά κλιματιστικά, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν προκαλούν.

### Μειονεκτήματα γεωθερμίας :

- Περιβαλλοντικές ανησυχίες, ανεξάρτητα από τη φήμη ότι είναι μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική πηγή ενέργειας, η γεωθερμική ενέργεια προκαλεί επίσης κάποιες ανησυχίες όσον αφορά το περιβάλλον. Η εξαγωγή της γεωθερμικής ενέργειας από τα εδάφη οδηγεί σε απελευθέρωση υδρόθειου, το οποίο δημιουργεί μια όχι τόσο ευχάριστη οσμή.
- Υπάρχει η δυνατότητα εξάντλησης , αν και θεωρείται μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια, οι πιθανότητες είναι ότι συγκεκριμένες τοποθεσίες ενδέχεται να δροσιστούν μετά από καιρό, καθιστώντας αδύνατη σε ένα πιθανό μέλλον τη συγκομιδή περισσότερης γεωθερμικής ενέργειας.
- Υψηλά επενδυτικά έξοδα και απαιτήσεις για εγκατάσταση δηλαδή είναι υψηλό το αρχικό επενδυτικό κόστος για μεμονωμένα νοικοκυριά
- Η απαιτούμενη ποσότητα γης πρέπει να είναι επαρκής για την εγκατάσταση του συστήματος, καθιστώντας αδύνατη την εφαρμογή γεωθερμικών συστημάτων για τους ιδιοκτήτες κατοικιών στις μεγάλες πόλεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

### 3.1 Εισαγωγή

Σε ένα κτίριο είναι πολύ σημαντική η επιλογή της σωστής κλιματιστικής μονάδας για την σωστή λειτουργία του στις εκάστοτε απαιτήσεις της εποχής. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των ψυκτικών και θερμικών φορτίων που βασίζεται στον νόμο της μετάδοσης θερμότητας και της μεταφοράς μάζας. Σε κάθε χώρα οι ενεργειακοί κανόνες διαφέρουν γι' αυτό το λόγο η κατασκευή μεγάλων κτιριακών εγκαταστάσεων διαφέρουν.

Τους χειμερινούς μήνες που η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι λιγότερη από την θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων που θερμαίνονται, υπάρχει ροή θερμότητας από τους εσωτερικούς χώρους στο περιβάλλον επειδή βρίσκονται σε υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτή η διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας ονομάζεται θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων και περιγράφεται από τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής που εξηγεί πως η θερμότητα ρέει πάντα από χώρους ή σώματα υψηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης προς χώρους ή σώματα χαμηλότερης θερμοκρασιακής κατάστασης.

Αντίθετα τους καλοκαιρινούς μήνες το περιβάλλον έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τους εσωτερικούς χώρους και συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία δηλαδή εισροή θερμότητας από εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου και αυτή η διαδικασία ονομάζεται θερμικά κέρδη των εσωτερικών χώρων.

Για να μειωθούν οι θερμικές απώλειες ή τα θερμικά κέρδη εφαρμόζεται η θερμομόνωση στα κτίρια . Η θερμομόνωση αποτελείται από την τοιχοποιία, τα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης, την οροφή, τους υαλοπίνακες, τα πλαίσια και τις θερμογέφυρες. Ακόμα σε ένα κτίριο που κατασκευάζεται πρέπει να γίνει έλεγχος της θερμομόνωσης με βάση τις απαιτήσεις του ελληνικού Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ). Το αποτέλεσμα της θωράκισης των κτιρίων είναι η μείωση παραγωγής ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη , με λίγα λόγια μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος χρήσης αλλά και η εκπομπή ρύπων. Το ζητούμενο είναι η σωστή μελέτη και τοποθέτηση των κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν χαμηλότερη κατανάλωση.

### 3.2.Θερμικά φορτία

Ο κλιματισμός ενός κτιρίου είναι απαραίτητος γιατί είτε έχει σαν στόχο την αύξηση της θερμότητας των εσωτερικών χώρων δηλαδή θέρμανση στους χειμερινούς μήνες είτε την μείωση της θερμότητας των εσωτερικών χώρων δηλαδή την ψύξη το καλοκαίρι. Άλλη μια δυνατότητα του κλιματισμού είναι η ρύθμιση της υγρασίας των χώρων.

Το θερμικό κέρδος σε ένα χώρο είναι η ποσότητα θερμότητας που εισχωρεί ή παράγεται στο χώρο αυτό. Η είσοδος θερμότητας που είναι ανεπιθύμητη από το εξωτερικό περιβάλλον δεν γίνεται να αποφευχθεί και συμβαίνει από την χρήση των πορτών ή των παραθύρων αλλά και από διάφορες χαραμάδες. Επιπρόσθετα το θερμικό κέρδος σε ένα χώρο απαρτίζεται από το αισθητό φορτίο και το λανθάνον φορτίο χώρου. Το αισθητό θερμικό φορτίο εισέρχεται στο εσωτερικό είτε με αγωγιμότητα είτε με ακτινοβολία, σε αντίθεση με το λανθάνον φορτίο που παράγεται από την πρόσθεση υδρατμών στο χώρο από τον άνθρωπο, από τις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές και αέρα που εισέρχεται. Τα θερμικά κέρδη μπορούν να διακριθούν σε εξωτερικά θερμικά κέρδη και σε εσωτερικά θερμικά φορτία.

## Εξωτερικά θερμικά κέρδη

Εξωτερικά θερμικά κέρδη είναι δυνατόν να μεταφερθούν μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας από τα παράθυρα. Ακόμα μπορεί να μεταφερθεί θερμότητα από τα τοιχώματα, τις πόρτες και τα παράθυρα εξαιτίας της ροής θερμότητας αν οι εσωτερικοί χώροι έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί θερμικό κέρδος λόγω της προβολής των εξωτερικών τοίχων στον ήλιο. Τέλος μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταφορά θερμότητας από διάφορα ανοίγματα η χαραμάδες.

## Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Εσωτερικά θερμικά κέρδη μπορούν να οφείλονται στον φωτισμό που εκλύουν θερμότητα κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους. Θερμότητα παράγεται από τον άνθρωπο που την απελευθερώνει στο περιβάλλον που βρίσκεται, άρα το εσωτερικό κέρδος αυξάνεται από τον πληθυσμό των ατόμων που βρίσκονται σε ένα εσωτερικό χώρο. Ακόμα οι ηλεκτρονικές συσκευές παράγουν θερμικά φορτία που προκαλούνται από την λειτουργία τους. Τέλος από την παραγωγή έργου ατόμων ή διαφόρων μηχανημάτων που είναι σε λειτουργία.



| <b>ΠΗΓΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ</b>   | <b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>      | <b>ΕΙΔΟΣ</b>              |
|--|-----------------------|---------------------------|
| <b>Αγωγιμότητα από εξωτερικά τοιχώματα (τοιχους, οροφές, δάπεδα, τζάμια)</b> | Εξωτερικά             | Αισθητά Μόνο              |
| <b>Αγωγιμότητα από εσωτερικά τοιχώματα</b>                                   | Εξωτερικά             | Αισθητά Μόνο              |
| <b>Ηλιακή ακτινοβολία διαμέσου τζαμιών</b>                                   | Εξωτερικά             | Αισθητά Μόνο              |
| <b>Φωτισμός</b>  | Εσωτερικά             | Αισθητά Μόνο              |
| <b>Άτομα</b>   | Εσωτερικά             | Αισθητά και Λανθάνοντα    |
| <b>Συσκευές και εξοπλισμός</b>   | Εσωτερικά             | Αισθητά ή/ και Λανθάνοντα |
| <b>Ηλεκτροκινητήρες</b>  | Εσωτερικά             | Αισθητά Μόνο              |
| <b>Εισαγωγή εξωτερικού αέρα</b>  | Εσωτερικά ή Εξωτερικά | Αισθητά και Λανθάνοντα    |

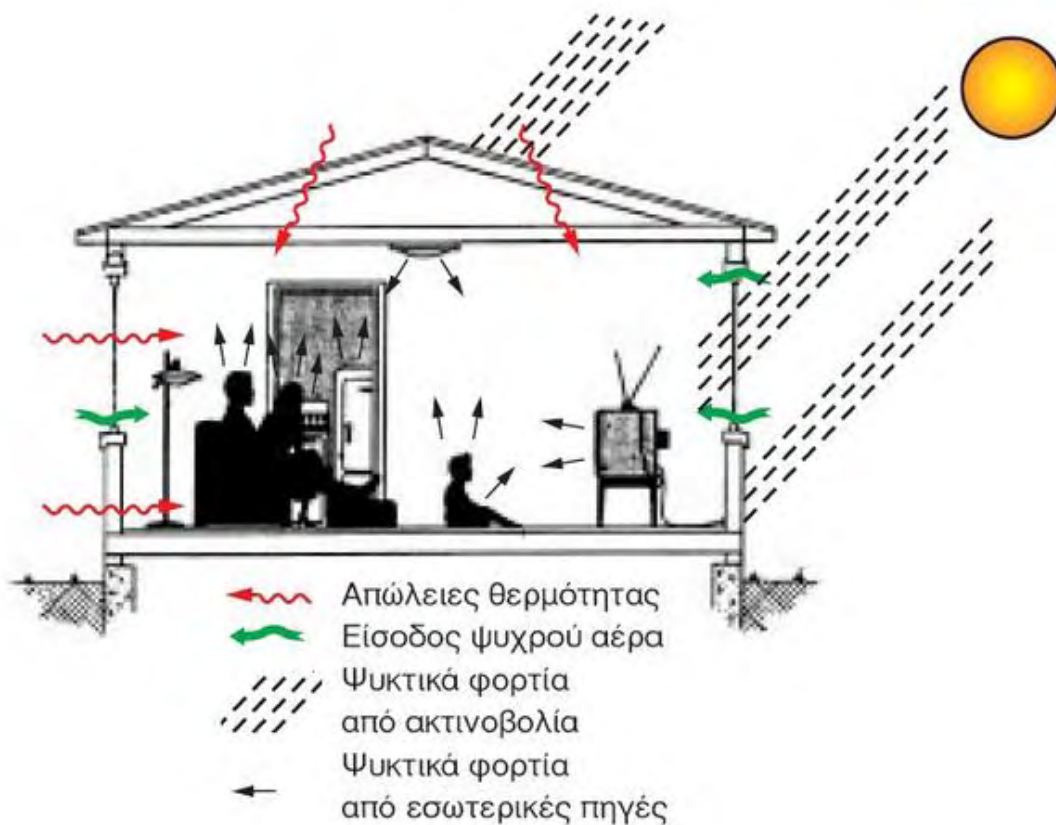
### 3.3 Ψυκτικό φορτίο χώρου

Ψυκτικό φορτίο ορίζεται το ποσό θερμότητας, που αφαιρείται από ένα κτίριο, για να παραμείνει στους εσωτερικούς χώρους η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία ή οι οποιεσδήποτε άλλες ειδικές απαιτήσεις που έχουν επιλεγεί, όταν στο εξωτερικό

περιβάλλον επικρατούν οι συνθήκες σχεδιασμού θέρους. Όταν σε ένα χώρο έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία παρατηρούνται απώλειες θερμότητας από τον χώρο αυτό προς κάθε γειτονικό, χαμηλότερης θερμοκρασίας και βέβαια προς το ψυχρό περιβάλλον. Γενικά το ψυκτικό φορτίο χώρου υπολογίζεται για κάθε χώρο ξεχωριστά. Το συνολικό ψυκτικό φορτίο κάθε χώρου υπολογίζεται από τον τύπο

$$Q_C = Q_L + Q_S$$

- $Q_S$  είναι το αισθητό φορτίο, το οποίο μεταβάλλει τη θερμοκρασία του χώρου
- $Q_L$  είναι το λανθάνον φορτίο, το οποίο μεταβάλλει την υγρασία του χώρου.



Σχήμα 17 : Παράσταση των ψυκτικών φορτίων ενός χώρου

Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων πραγματοποιείται με συγκριμένες μεθόδους, για να επιτευχθεί ο σωστός υπολογισμός των φορτίων και κυρίως ο υπολογισμός των ακραίων τιμών των φορτίων που οδηγούν στην κατάλληλη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης. Ένα κτίριο πρέπει να είναι λειτουργικό όλο το έτος και για να πραγματοποιηθεί αυτό ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη του την λειτουργία του κτιρίου σε ακραίες συνθήκες υπολογίζοντας τις θερμικές ανάγκες του. Πολλές φορές όμως παρατηρείται το πρόβλημα της υπερδιαστασιολόγησης των μηχανημάτων ψύξης για να είναι ικανά να καλύψουν τις απαιτούμενες ανάγκες στις ακραίες περιπτώσεις .

Οι μέθοδοι υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων που χρησιμοποιούνται καλύπτουν αυτές τις ανάγκες. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αυτές τις μεθόδους σημαντικότερο ρόλο έχει η αντιμετώπιση των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν τα φορτία. Καθοριστικός παράγοντας σε αυτούς τους υπολογισμούς έχει ο μηχανικός και κυρίως η εμπειρία που έχει διότι πρέπει να λάβει υπόψη του διάφορους συντελεστές για να αποφευχθεί η διαστασιολόγηση του συστήματος. Άρα είναι απαραίτητη η σωστή και μελέτη και ο κατάλληλος υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων για την σωστή επιλογή της διαστασιολόγησης του κλιματιστικού συστήματος. Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό που είναι δύσκολο να θεωρηθεί με βεβαιότητα ορθός καθώς επηρεάζεται από την λειτουργία του κτιρίου και από τους συντελεστές θερμοπερατότητας που είναι ευμετάβλητοι .

Οι πλέον γνωστές μέθοδοι υπολογισμού είναι:

α) η μέθοδος TETD (Total Equivalent Temperature Differential Method) της ASHRAE

β) η μέθοδος TFM (Transfer Function Method) της ASHRAE

γ) η μέθοδος CLTD/CLF (Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factor) της ASHRAE

δ) η μέθοδος HB (Heat Balance) της ASHRAE

ε) η μέθοδος RTS (Radiant Time Series) της ASHRAE

### 3.4 Μέθοδος CLTD/CLF (Cooling Load Temperature Difference) της ASHRAE

Η μέθοδος CLTD / CLF της ASHRAE θεωρείται ως μια εύλογα ακριβής προσέγγιση των συνολικών θερμικών κερδών μέσω ενός κελύφους του κτιρίου για τους σκοπούς του μεγέθους του εξοπλισμού HVAC. Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε ως μια απλούστερη εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού σε δύσκολες και δύσκαμπτες μεθόδους υπολογισμού.

Η μέθοδος CLTD / CLF χρησιμοποιεί προκαθορισμένο σύνολο δεδομένων για να επιταχύνει και να απλοποιήσει τη διαδικασία προσέγγισης ψύξης / θέρμανσης. Τα δεδομένα χωρίζονται σε πολλά διαφορετικά τμήματα που βασίζονται σε πολλές διαφορετικές μεταβλητές. Αυτές οι μεταβλητές περιλαμβάνουν το οικοδομικό υλικό του φακέλου, το πάχος των δομικών υλικών, την ημέρα του έτους, την ώρα της ημέρας, τον προσανατολισμό της επιφάνειας, Για να αναφέρουμε μερικά. Προκειμένου να καθοριστεί το σύνολο των δεδομένων CLTD / CLF που πρέπει να εξεταστούν, πρέπει να οριστούν όλες οι απαραίτητες μεταβλητές.

Η δομή για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων από τις μεθόδους είναι η ίδια η οποία είναι :

- α) Υπολογισμός των εξωτερικών φορτίων
- β) Υπολογισμός των εσωτερικών φορτίων
- γ) Υπολογισμός φορτίων αερισμού.

Η μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό ψυκτικών φορτίων που προκύπτουν για ένα χώρο σε συνάρτηση με τα παρακάτω στοιχεία:

- Εξωτερικές οροφές
- Εξωτερικοί τοίχοι
- Παράθυρα
- Εσωτερικά δομικά στοιχεία
- Εσωτερικός φωτισμός
- Άνθρωποι-Άτομα
- Διάφορες συσκευές
- Ηλεκτροκινητήρες
- Αερισμός

### 3.4.1 Εξωτερικές οροφές

Τα ψυκτικά φορτία ενός χώρου μέσα από μία εξωτερική οροφή δίνονται από τη σχέση:

$$q_{op} = K_{op} \cdot A_{op} \cdot CLTD_{corr}$$

- $K_{op}$  : συντελεστής θερμοπερατότητας της εξωτερικής οροφής [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_{op}$  : εμβαδόν της επιφάνειας της εξωτερικής οροφής [m<sup>2</sup>]

- $CLTD_{corr}$  : η διορθωμένη διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού φορτίου (Corrected Cooling Load Temperature Difference) [K]

Τα μεγέθη  $K_{op}$  και  $A_{op}$  είναι χαρακτηριστικά της οροφής ενώ το μέγεθος  $CLTD_{corr}$  υπολογίζεται ως εξής:

1. Υπάρχουν 13 τύποι οροφών, οι οποίοι δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Σε κάθε τύπο οροφής δίνεται η μάζα της σε [kg /m<sup>2</sup> ] και η θερμοπερατότητας της σε [W/m<sup>2</sup>K]
2. Την εξωτερική οροφή του κτιρίου για το οποίο υπολογίζουμε τα ψυκτικά φορτία, εντάσσουμε σε μία από τις 13 κατηγορίες με κριτήριο την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιότητά της στα παραπάνω δύο μεγέθη με τα αντίστοιχα της κατηγορίας.
3. Από ειδικούς πίνακες, για τη συγκεκριμένη κατηγορία οροφής και για την ώρα (ηλιακή) που θέλουμε να υπολογίσουμε το ψυκτικό φορτίο, επιλέγουμε την CLTD.

Οι τιμές της CLTD που δίνονται στον πίνακα είναι υπολογισμένες για τις εξής συνθήκες:

- Σκουρόχρωμη επίπεδη εξωτερική οροφή
- Εσωτερική θερμοκρασία χώρου  $t_i$
- Μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία  $t_{max}$

Για διαφορετικές συνθήκες από τις παραπάνω, πρέπει να κάνουμε τις ακόλουθες διορθώσεις:

$$CLTD_{corr} = [(CLTD + LM) \cdot K + (25,5 - t_i) + (t_m - 29.4)] \cdot f$$

- LM : Διόρθωση γεωγραφικού πλάτους και μήνα, για το συγκεκριμένο μήνα και γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο.
- K : Συντελεστής χρώματος που παίρνει τις τιμές:
  - a) K : 1.0 για σκουρόχρωμες οροφές ή οροφές σε βιομηχανικές περιοχές
  - b) K : 0.5 για μόνιμα ανοιχτόχρωμες οροφές
- f : Συντελεστής που εξαρτάται από το αν υπάρχουν ανεμιστήρες ή αεραγωγοί στην ψευδοροφή και παίρνει τις τιμές:
  - a) f : 1.0 εάν δεν υπάρχουν ανεμιστήρες ή αεραγωγοί
  - b) f : 0.75 εάν υπάρχει θετικός αερισμός (ανεμιστήρας ή στόμια αέρα που αναρροφούν αέρα μέσα από την ψευδοροφή)

Η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_m = t_{amax} - \frac{DR}{2}$$

- DR : ημερήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας
- $t_{amax}$  : μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου [°C]

### 3.4.2 Εξωτερικοί τοίχοι

Τα ψυκτικά φορτία ενός χώρου μέσα από τους εξωτερικούς τοίχους δίνονται από τη σχέση:

$$q_T = K_T \cdot A_T \cdot CLTD_{corr}$$

- $K_T$  : συντελεστής θερμοπερατότητας του εξωτερικού τοίχου [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_T$  : εμβαδόν της επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου [m<sup>2</sup>]

- CLTD<sub>corr</sub> : η διορθωμένη διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού φορτίου (Corrected Cooling Load Temperature Difference) [K]

### 3.4.3 Εξωτερικά παράθυρα

Το ψυκτικό φορτίο ενός χώρου μέσα από τα εξωτερικά παράθυρα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

α) ψυκτικό φορτίο από αγωγιμότητα

Υπολογίζεται από τη σχέση

$$\dot{q}_\Pi = K_\Pi \cdot A_\Pi \cdot CLTD_{corr}$$

- $K_\Pi$ : συντελεστής θερμοπερατότητας παραθύρου [ W/m<sup>2</sup>K ]
- $A_\Pi$ : εμβαδόν της επιφάνειας του παραθύρου [ m<sup>2</sup> ]
- CLTD<sub>corr</sub> : η διορθωμένη διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού φορτίου (Corrected Cooling Load Temperature Difference) [K]

β) ψυκτικό φορτίο από ηλιακή ακτινοβολία

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\dot{q}_{\eta\lambda} = A_\Pi \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF$$



- $A_{\Pi}$  : το εμβαδόν της επιφάνειας του παραθύρου [m<sup>2</sup> ]
- $SC$  : συντελεστής σκίασης του παραθύρου, που είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του παραθύρου και εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα και από το είδος της εσωτερικής σκίασης [αδιάστατος].

### 3.4.4 Εσωτερικά δομικά υλικά

Εσωτερικά δομικά στοιχεία θεωρούνται τα στοιχεία εκείνα που βρίσκονται σε επαφή με χώρους που δεν κλιματίζονται με αποτέλεσμα την ύπαρξη ροής θερμότητας από αυτούς προς το χώρο, για τον οποίο υπολογίζουμε το ψυκτικό φορτίο. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται σε εσωτερικούς τοίχους, εσωτερικές οροφές, εσωτερικά δάπεδα, όπως επίσης και εσωτερικές πόρτες. Σε αυτά δεν περιλαμβάνονται τα δάπεδα που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος

Τα ψυκτικά φορτία ενός χώρου μέσα από τα εσωτερικά δομικά στοιχεία δίνονται από τη σχέση:

$$q_{\epsilon\sigma} = K_{\epsilon\sigma} \cdot A_{\epsilon\sigma} \cdot TD$$

- $K_{\epsilon\sigma}$  : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_{\epsilon\sigma}$ : το εμβαδόν της επιφάνειας του δομικού στοιχείου [m<sup>2</sup> ]
- $TD$  : η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τον γειτονικό μη κλιματιζόμενο χώρο [K]

Για τη θερμοκρασιακή διαφορά ισχύει:

$$TD = t_b - t_i$$

- $t_b$  : η θερμοκρασία του μη κλιματιζόμενου χώρου
- $t_i$ : η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου

Όταν δεν είναι γνωστή η  $t_b$  και εφόσον ο γειτονικός χώρος δεν περιέχει σημαντικές πηγές θερμότητας που να ανεβάζουν σημαντικά τη θερμοκρασία του, ως  $t_b$  λαμβάνεται η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα το κατά τη συγκεκριμένη ώρα υπολογισμού ελαττωμένη κατά 3K.

Η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα σε κάθε ώρα της ημέρας το υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_o = t_{amax} - \frac{DR \cdot \text{Ποσοστό διακύμανσης θερμοκρασίας}}{100}$$

- $t_{amax}$  : η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου [°C]
- DR : η ημερήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας

Ποσοστό διακύμανσης θερμοκρασίας : το ποσοστό της ημερήσιας διακύμανσης που αναλογεί στη συγκεκριμένη ώρα

### 3.4.5 Εσωτερικός φωτισμός

Η λειτουργία των λαμπτήρων φωτισμού έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση αξιοσημείωτων θερμικών και ψυκτικών φορτίων των οποίων το μέγεθος είναι απαραίτητο να υπολογίζεται. Στο χώρο και συγκεκριμένα στον αέρα απονέμονται πόσα θερμότητας λόγω των λαμπτήρων. Ο υπολογισμός τους μπορεί να γίνει με ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία και τη χρήση της σχετικής εγκατάστασης.

Τα ψυκτικά φορτία ενός χώρου που προέρχονται από τον εσωτερικό φωτισμό δίνονται από τη σχέση:

$$q_{\phi\omega\tau} = \text{Συνολική ισχύς φωτιστικών} * \text{συντελεστής χρήσης} * \text{ειδ. συντελεστής} \\ * CLF$$

Η ισχύς των φωτιστικών αναγράφεται σ' αυτά και δίνεται σε [W]. Όταν δεν είναι γνωστή η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού, γίνεται μία εκτίμηση σε [W/m<sup>2</sup>] επιφάνειας δαπέδου χώρου. Ο συντελεστής χρήσης είναι ο λόγος των Wattage σε χρήση προς τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ.

Ο ειδικός συντελεστής έχει εισαχθεί ως μέγεθος για τους λαμπτήρες φθορισμού και γενικά για λαμπτήρες που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από την αναγραφόμενη ισχύ τους. Για φωτιστικό π.χ. με δύο λάμπες φθορισμού 40 W η τιμή του συντελεστή είναι 1.18. Για λαμπτήρες πυράκτωσης η τιμή του συντελεστή είναι 1.

Ο συντελεστής ψυκτικού φορτίου CLF μετατρέπει το θερμικό κέρδος σε ψυκτικό φορτίο, και εξαρτάται από το πόσες ώρες συνολικά είναι αναμμένα τα φωτιστικά. Επίσης εξαρτάται και από τα μεγέθη "α" και "b" και από την ώρα υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου. Ο συντελεστής "α" εξαρτάται από την επίπλωση του χώρου, από το αν το δάπεδο

καλύπτεται με χαλί ή όχι, από τον τρόπο παροχής και επιστροφής του αέρα καθώς και από τον τύπο των φωτιστικών. Ο συντελεστής “α” παίρνει τις τιμές 0.45, 0.55, 0.65 ή 0.75.

Ο συντελεστής “b” εξαρτάται από την μάζα του πατώματος σε kg/m<sup>2</sup> και από το ρυθμό κυκλοφορίας της προαγωγής και της επιστροφής του αέρα στο χώρο.

### 3.4.6 Άτομα

Τα άτομα που βρίσκονται μέσα σε ένα χώρο δημιουργούν σημαντικά πρόσθετα φορτία. Όσο πιο έντονα δραστηριοποιούνται τα άτομα, για παράδειγμα αν εργάζονται ή αθλούνται, τόσο μεγαλύτερα είναι και τα φορτία που αυτά εκλύουν.

Τα λανθάνοντα φορτία από ανθρώπους μπορούν να θεωρηθούν ως στιγμιαία ψυκτικά φορτία. Από την άλλη μεριά, τα αισθητά φορτία δεν μετατρέπονται άμεσα σε ψυκτικό φορτίο.

Το στιγμιαίο αισθητό ψυκτικό φορτίο από ανθρώπους υπολογίζεται:

$$Q_{αν,αισθ} = NP \cdot SensHG \cdot CLF$$

- NP : ο αριθμός των ανθρώπων που βρίσκεται στο χώρο
- SensHG : το αισθητό φορτίο κάθε ατόμου, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του χώρου και από την εργασία που εκτελεί το άτομο
- CLF : ο συντελεστής ψυκτικού φορτίου, που μετατρέπει το θερμικό κέρδος από ακτινοβολία σε ψυκτικό φορτίο.

Το στιγμιαίο λανθάνον ψυκτικό φορτίο από ανθρώπους είναι ίσο με το λανθάνον θερμικό κέρδος και δίνεται από τη σχέση:

$$q_{αν,λαν} = NP \cdot LatHG$$

- NP : ο αριθμός των ανθρώπων που βρίσκεται στο χώρο
- LatHG : το λανθάνον φορτίο κάθε ατόμου, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του χώρου και από την εργασία που εκτελεί το άτομο, καθώς και από τη σχετική υγρασία του χώρου.

### 3.4.7 Διάφορες συσκευές

Οι καταναλώσεις ισχύος που συμβαίνουν μέσα στο χώρο αποδίδουν σε αυτόν ψυκτικά φορτία. Ειδικότερα, στις εργομηχανές γίνεται φανερή η μετατροπή της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας σε θερμότητα. Βέβαια, είναι σημαντικό να επισημανθεί το γεγονός ότι η τοποθέτηση μιας μηχανής ή συσκευής στο χώρο δε σημαίνει απαραίτητα τη συνεχή λειτουργία της και μάλιστα υπό πλήρες φορτίο..

Το στιγμιαίο αισθητό ψυκτικό φορτίο από συσκευές δίνεται από:

$$q_{συσ,αισθ} = HEATGAIN_{sen} \cdot CLF$$

- *HEATGAIN<sub>sen</sub>* : η στιγμιαία θερμική ισχύς που παράγεται στο χώρο. Αυτή είναι η ονομαστική ισχύς όλων των συσκευών του χώρου επί ένα συντελεστή χρήσης. Όταν πάνω από τις συσκευές υπάρχει σύστημα εξαερισμού και χροάνη απαγωγής

(απορροφητήρας), η παραγόμενη στο χώρο θερμική ισχύς της συσκευής ελαττώνεται κατά 50%.

- CLF: ο συντελεστής ψυκτικού φορτίου, που μετατρέπει το θερμικό κέρδος σε ψυκτικό φορτίο.
- Η τιμή του εξαρτάται από τις συνολικές ώρες λειτουργίας των συσκευών στο χώρο και από το πόσες ώρες έχουν περάσει από την έναρξη λειτουργίας των συσκευών έως την ώρα υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου.

Το στιγμιαίο λανθάνον ψυκτικό φορτίο από συσκευές δίνεται από :

$$q_{\text{συσ,λαν}} = \text{HEATGAIN}_{\text{Lat}}$$

- $\text{HEATGAIN}_{\text{Lat}}$  : η στιγμιαία λανθάνουσα θερμική ισχύς που παράγεται στο χώρο, όταν πάνω από μία συσκευή υπάρχει χοάνη απαγωγής,  $\text{HEATGAIN}_{\text{Lat}} = 0$ .
- Εάν η θερμοκρασία του χώρου δεν διατηρείται σταθερή σε όλο το 24ωρο (π.χ. εάν το σύστημα κλιματισμού είναι κλειστό κατά τη διάρκεια της νύχτας) τότε ο CLF = 1.

### 3.4.8 Αερισμός κτιρίου

Στους θερμαινόμενους χώρους δημιουργείται μια μικρή υπερπίεση η οποία έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του αέρα από το χώρο τόσο μέσω των κουφωμάτων αλλά ακόμη περισσότερο όταν ανοίγουν πόρτες ή παράθυρα. Η απώλεια του θερμού αυτού αέρα αντισταθμίζεται από ρεύματα ψυχρού αέρα τα οποία εισέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον και κατευθύνονται προς τα χαμηλότερα επίπεδα (κοντά στο δάπεδο). Έτσι, ο αέρας στο χώρο ανανεώνεται ενώ η θερμική επιβάρυνση που δημιουργείται παραμένει μικρή. Σε περίπτωση όμως που αυτές οι ποσότητες αέρα είναι μεγάλες λόγω αστοχιών στα

ανοίγματα (χαραμάδες σε πόρτες και παράθυρα) προκαλούνται αξοσημείωτες ενεργειακές δαπάνες.

Ο αερισμός λοιπόν ενός κτιρίου και πιο συγκεκριμένα ενός χώρου είναι αναγκαίος για την αραίωση των αέριων ρύπων και για την παροχή του απαραίτητου οξυγόνου της αναπνοής

Το αισθητό ψυκτικό φορτίο για τον αερισμό δίνεται από τη σχέση:

$$q_{s,a} = c_p \cdot V_a \cdot \rho \cdot (t_o - t_i)$$

Το λανθάνον ψυκτικό φορτίο για τον αερισμό δίνεται από τη σχέση:

$$q_{l,a} = V_a \cdot \rho \cdot (W_o - W_i) \cdot h_{fg}$$

Το συνολικό ψυκτικό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$q_{t,a} = V_a \cdot \rho \cdot (h_o - h_i)$$

- $q_{s,a}$  : η ενέργεια για την ψύξη του αέρα, (W)
- $q_{l,a}$  : η ενέργεια για την αφύγρανση του αέρα, (W)
- $V_a$  : η παροχή του νωπού εξωτερικού αέρα, (l/s)
- $t_i$  : η επιθυμητή θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του χώρου, (°C)
- $t_a$  : η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου του εξωτερικού αέρα, (°C)
- $W_i$  : η περιεκτικότητα σε νερό του αέρα του χώρου, (kgH<sub>2</sub>O/kg ξηρού αέρα)
- $W_a$  : η περιεκτικότητα σε νερό του εξωτερικού αέρα, (kgH<sub>2</sub>O/kg ξηρού αέρα)
- $\rho$  : η πυκνότητα του αέρα (1.2 kg/m<sup>3</sup> )

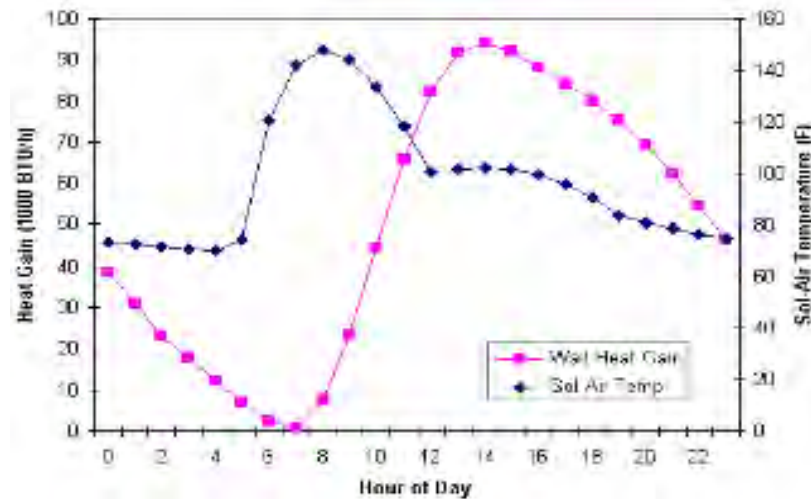
- $C_p$  : η ειδική θερμότητα του αέρα (1.0 kJ/kgK)
- $h_{fg}$  : η ενθαλπία εξάτμισης του νερού (2500 kJ/kg)
- $h_i$ : η ενθαλπία του αέρα του χώρου (kJ/kg)
- $h_a$  : η ενθαλπία του εξωτερικού αέρα (kJ/kg)

### 3.5 Μέθοδος TFM (Transfer Function Method) της ASHRAE

Η Μεθοδολογία Λειτουργίας Μεταφοράς (TFM) είναι ένα δυναμικό μέσο λογιστικής για μεταφορά θερμότητας. Το πρόγραμμα της HAP χρησιμοποιεί TFM για τους υπολογισμούς διότι αυτό επεκτείνει την ανάλυση για τις συμπεριφορές του συστήματος, δηλαδή για τον έλεγχο του αέρα θερμοκρασίας στις ζώνες του θερμοστάτη.

Η μετάδοση και η μεταφορά ακτινοβολίας είναι οι κύριοι κινητήριοι μοχλοί της μεταφορά θερμότητας προς ή από τον αέρα στο δωμάτιο. Τα αποτελέσματα της θερμοκρασία του αέρα δωματίου μπορούν να υπολογιστούν. Τα φορτία που αναφέρονται στο HAP υποδεικνύουν πόση ψύξη ή θέρμανση απαιτείται για την διατήρηση της θερμοκρασία σε ένα δωμάτιο. Αυτό που περιγράφεται παρακάτω μπορεί να είναι ένας νέος τρόπος υπολογισμού του κέρδους θερμότητας και του φορτίου ψύξης σε σύγκριση με προηγούμενες μεθόδους υπολογισμού. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από το HAP ευθυγραμμίζονται με Μέθοδος υπολογισμού ASHRAE.

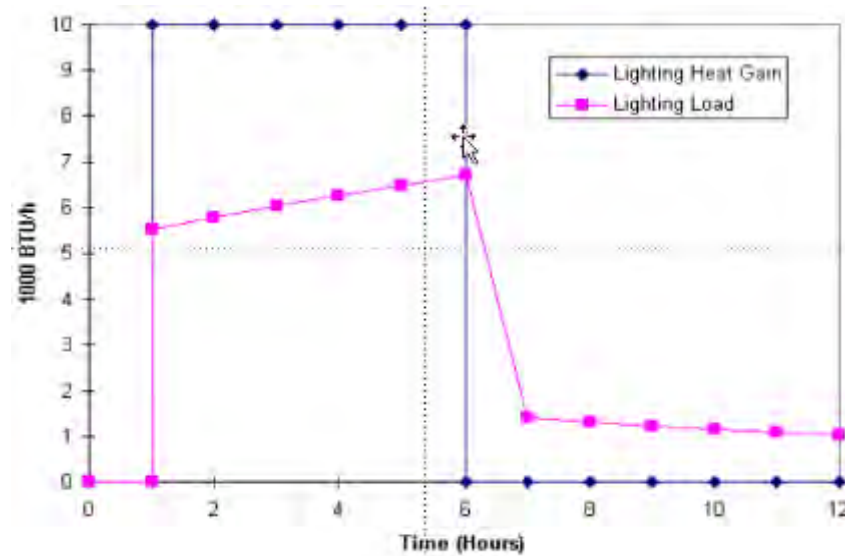




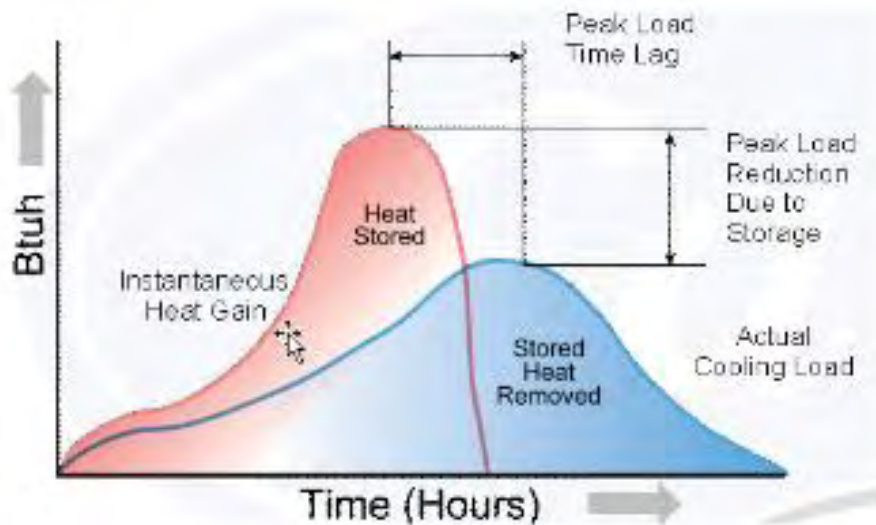
Σχήμα 18 : Παράδειγμα θερμικού κέρδους στην τοιχοποιία

Η δυναμική του κέρδους θερμότητας με την πάροδο του χρόνου είναι περιγράφεται καλύτερα γραφικά. Γιατί ανατολικά ( σχήμα 18) χρησιμοποιείται στο για παράδειγμα, η καμπύλη θερμοκρασίας αέρα-θερμικό κέρδος και δείχνει τα αποτελέσματα της μεγάλης θερμότητας το πρωί και τα κέρδη λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας να μειώνονται το απόγευμα λόγω της μειωμένης ηλιοφάνειας. Η καμπύλη απόδοσης θερμότητας αποκαλύπτει τη παροδική διαδικασία μεταφοράς θερμότητας, ενώ οι θερμοκρασίες αέρα-Θερμοτητα που κερδίζεται να είναι οι υψηλότερες στις 8 π.μ., τα κέρδη θερμότητας του εσωτερικού τοίχου δεν κορυφώνεται μέχρι τις 2 μ.μ. Αυτό αποκαλύπτει το χρόνο που απαιτείται για την μεταφορά θερμότητας μέσω αυτού του ειδικού τύπου τοίχου κατασκευή. Τα κέρδη θερμότητας της ακτινοβολίας από πηγές όπως τον ήλιο ,τα φώτα και ακόμη από τους ανθρώπους χρειάζονται χρόνο για να γίνουν φορτία. Η θερμότητα ακτινοβολίας πρέπει αρχικά να ζεστάνει το κτίριο, τα περιεχόμενα του και μετά απελευθερώνεται με την πάροδο του χρόνου στον αέρα του δωματίου μέσω της μεταφερόμενης διαδικασίες. Αυτή η διαδικασία για να επιτευχθεί έχει κάποια καθυστέρηση ανάμεσα στο θερμικό κέρδος και το χρόνο που απαιτείται για να γίνει αισθητή ως φορτίο ψύξης.

Το σχήμα 3 δείχνει το θερμικό κέρδος από τα φώτα που αυξάνεται για έξι ώρες. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι τα φορτία είναι μικρότερα από τα θερμικά κέρδη ενώ τα φώτα είναι αναμμένα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεγάλο μέρος του θερμικού κέρδους είναι θερμική ακτινοβολία. Τα φορτία ψύξης συνεχίζονται να αυξάνονται μετά την απενεργοποίηση των φώτων, αυτό οφείλεται στην ακτινοβολία της θερμότητας και τα αποτελέσματα της αποθήκευσης της θερμότητας.



Σχήμα 19 : Παράδειγμα θερμικού κέρδους στον φωτισμό



Σχήμα 20 Παροδική συσσώρευση και εκφόρτιση θερμότητας σε ένα κτίριο

Το Σχήμα 20 δείχνει ότι η Μέθοδος Λειτουργίας Μεταφοράς μοντελοποιεί την παροδική συσσώρευση και εκφόρτωση θερμότητας σε ένα κτίριο. Η διαδικασία της μεταφοράς διέπεται από τη θερμοκρασία και την διαφορά μεταξύ της μάζας και του αέρα του δωματίου. Η μεταφορά μειώνεται όσο ο αέρας του δωματίου αυξάνεται και αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία του χώρου μειώνεται. Υπολογισμός με αυτή τη μέθοδο υποθέτει πως σε μια σταθερή θερμοκρασία αέρα στο δωμάτιο για όλες τις ώρες για να απλοποιηθεί αυτή η σύνθετη διαδικασία.. Κατά την διάρκεια της νύχτας ή της μη ψύξης των χώρων μπορεί να πραγματοποιηθεί αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου και μείωση της μεταφοράς θερμότητας , με αποτέλεσμα να αποθηκευτεί θερμότητα για απελευθερωθεί αργότερα.

Το TFM μπορεί να υπολογίσει την επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα διάφορους χώρους ανάλογα με τις απαιτήσεις της ψύξης και θέρμανσης. Αυτό έγινε με τη χρήση της μεθόδου που περιγράφει την μεταφορά του αέρα σε άλλους χώρους και αποκαλείται Θερμική Επεξεργασία έλξης

Η μέθοδος της μεταφοράς με θερμότητας υλοποιείται σε τρία στάδια :

Το πρώτο στάδιο : Οι εξισώσεις αγωγιμότητας χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της ροής θερμότητας μέσω τοίχων και οροφών.

Το δεύτερο στάδιο : Η μέθοδος της μεταφοράς χρησιμοποιείται στους χώρους για να γίνεται ανάλυση της ακτινοβολίας και της αποθήκευσης θερμότητας στα δομικά στοιχεία. Από αυτά τα δομικά στοιχεία απελευθερώνεται η θερμότητα με την πάροδο του χρόνου.

Το τρίτο στάδιο: Οι λειτουργίες μεταφοράς θερμοκρασίας του αέρα στο χώρο χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα στο δωμάτιο και τη ροή της θερμικής ροής από μια μάζα στον αέρα του χώρου που συμπεριλαμβάνει τη συμπεριφορά του δωματίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ Η.Α.Ρ.

#### 4.1 Το λογισμικό Hourly Analysis Program (HAP 5.0)

Το πρόγραμμα ωριαίας ανάλυσης της Carrier είναι δύο ισχυρά εργαλεία σε ένα πακέτο. Το HAP παρέχει ευέλικτα χαρακτηριστικά για το σχεδιασμό συστημάτων HVAC για εμπορικά κτίρια. Προσφέρει επίσης ισχυρές δυνατότητες ανάλυσης ενέργειας για τη σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους λειτουργίας των εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού. Συνδυάζοντας και τα δύο εργαλεία σε ένα πακέτο επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση χρόνου. Τα δεδομένα εισόδου και τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς σχεδιασμού του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε μελέτες ενέργειας.

Το HAP είναι σχεδιασμένο για συμβούλους μηχανικούς, εργολάβους σχεδιασμού / κατασκευής, εργολάβους HVAC, μηχανικούς εγκαταστάσεων και άλλους επαγγελματίες που εμπλέκονται στο σχεδιασμό και την ανάλυση των εμπορικών συστημάτων HVAC κτιρίων.

Επιπλέον, οι δυνατότητες ανάλυσης ενέργειας 8700 ωρών της HAP είναι πολύ χρήσιμες για το σχεδιασμό των πράσινων κτιρίων. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης της ενέργειας HAP γίνονται αποδεκτά από το Συμβούλιο Οικολογικών Κατασκευών των Η.Π.Α. για το σύστημα βαθμολόγησης LEED™ (Leadership in Energy and Environmental Design)

Το πρόγραμμα είναι ένα ισχυρό εργαλείο για το σχεδιασμό συστημάτων και τη διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων του συστήματος. Το HAP μπορεί εύκολα να χειριστεί έργα που περιλαμβάνουν.

Μικρά έως μεγάλα εμπορικά κτίρια. Συστήματα που περιλαμβάνουν συσκευασμένες στέγες, συσκευασμένα και δομημένα κεντρικά χειριστήρια αέρα, πηνία ανεμιστήρων και ΡΤΑC και πολλά άλλα. Πολλοί τύποι συστημάτων ελέγχου σταθερού όγκου και VAV. Μικρά κτίρια γραφείων, καταστήματα λιανικής πώλησης, εμπορικά κέντρα, σχολεία, εκκλησίες, εστιατόρια, μεγάλα κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα, νοσοκομεία, εργοστάσια και κτήρια πολλαπλών χρήσεων. Νέο έργο σχεδίασης, εκσυγχρονισμού ή εξοικονόμησης ενέργειας.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική θα γίνει η ανάλυση ενός κτιρίου που αποτελείται από γραφεία και βρίσκεται στον Βόλο. Το κτίριο αποτελείται από τρεις ορόφους και έχει έκταση 1846,4m<sup>2</sup>. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η περιγραφή των χαρακτηριστικών και η ενεργειακή μελέτη του κτιρίου.

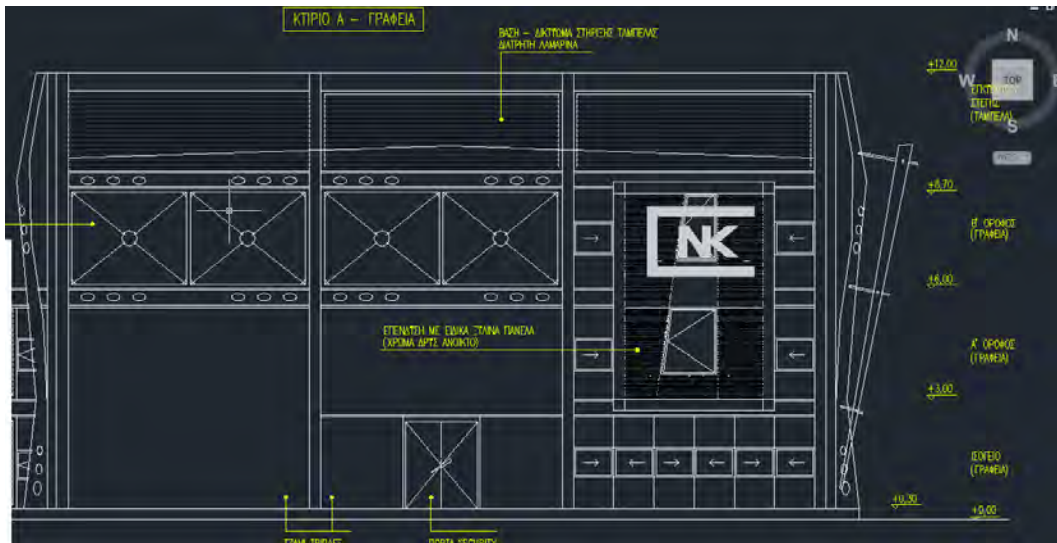
Project Edit View Reports Wizards Documentation Help

| Component              | Number of Entries |
|------------------------|-------------------|
| Weather: Volos, Greece | 1                 |
| Spaces                 | 57                |
| Systems                | 2                 |
| Plants                 | none              |
| Buildings              | 2                 |
| Project Libraries      |                   |
| Schedule               |                   |
| Walls                  |                   |
| Roofs                  |                   |
| Windows                |                   |
| Doors                  |                   |
| Shades                 |                   |
| Chillers               |                   |
| Cooling                |                   |
| Boilers                |                   |
| Electric               |                   |
| Fuel Rat               |                   |

Σχήμα 21 : Τα χαρακτηριστικά κτηρίου στο HAP

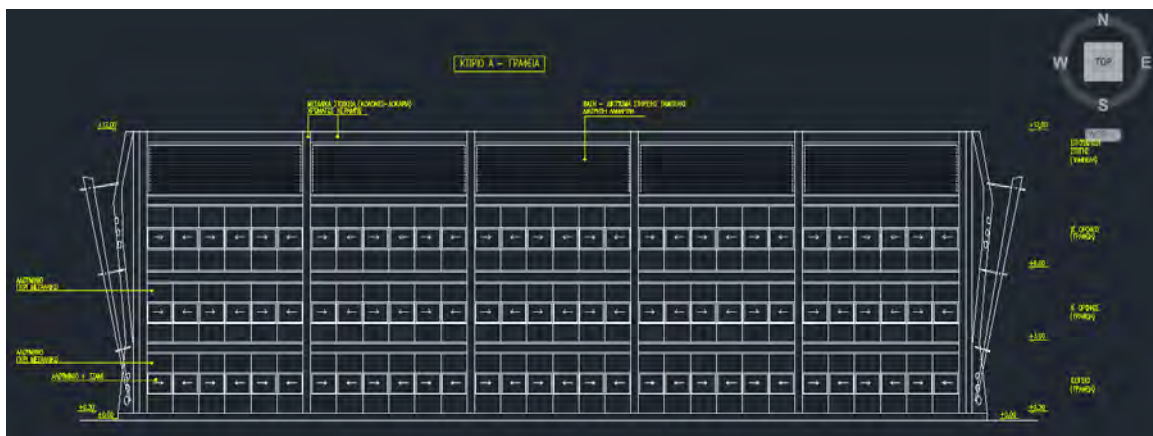
## 4.2 Περιγραφή κτιρίου

### 4.2.1 Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου

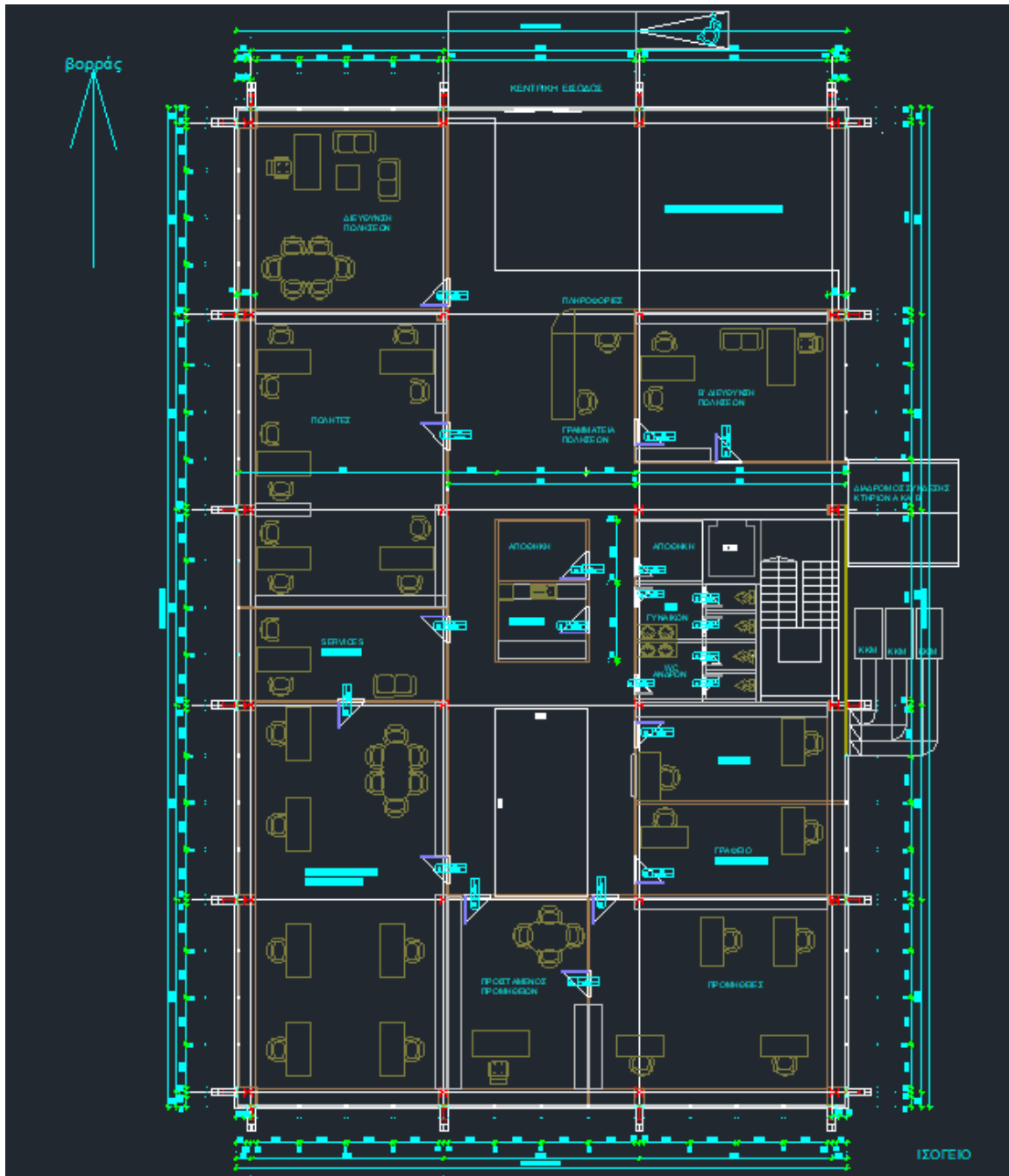


Σχήμα 22 : Βόρεια όψη

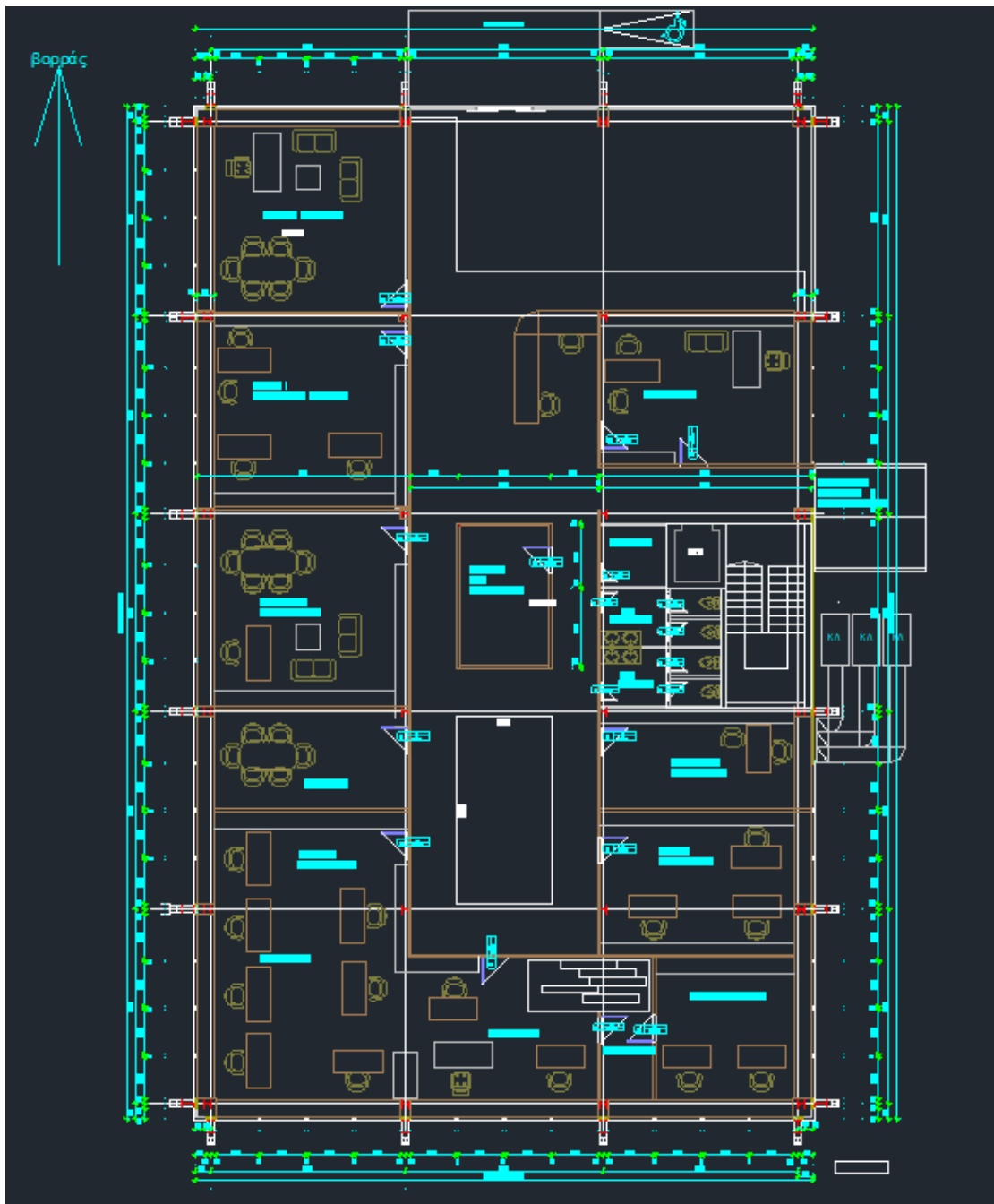
Σχήμα 23 : Δυτική όψη







Σχήμα 23 : Κάτοψη Ισογείου



Σχήμα 24 : Κάτοψη πρώτο ορόφου

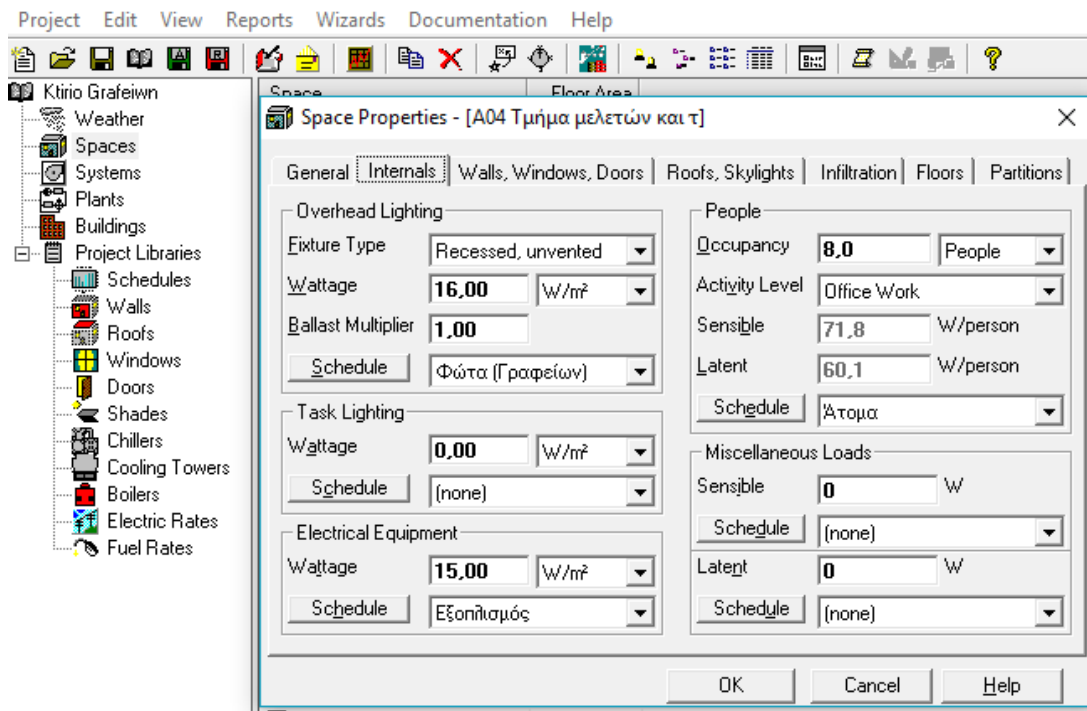


Σχήμα 24 : Κάτοψη δευτέρου ορόφου

## 4.2.2 Χαρακτηριστικά κτιρίου

Το κτίριο που μελετάται σε αυτή την διπλωματική είναι μια μεταλλική κατασκευή στην οποία ο κυρίως σκελετός του κτιρίου αποτελείται από μεταλλικές δοκούς και τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για τις φέρουσες κατασκευές είναι κατασκευασμένα από χάλυβα.

Στο πρόγραμμα πρέπει να εισαχθούν δεδομένα για τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Αρχικά πρέπει να οριστούν οι τοιχοποιίες, τα παράθυρα και τις πόρτες του κτιρίου. Έπειτα είναι απαραίτητη η δημιουργία κάθε χώρου στο πρόγραμμα συμπληρώνοντας την εξωτερική τοιχοποιία και τον προσανατολισμό. Ακόμα στον κάθε χώρο πρέπει να προστεθούν οι απαιτήσεις αερισμού και τα φορτία που οφείλονται στον φωτισμό, τον πληθυσμό των ατόμων και τις ηλεκτρικές συσκευές.



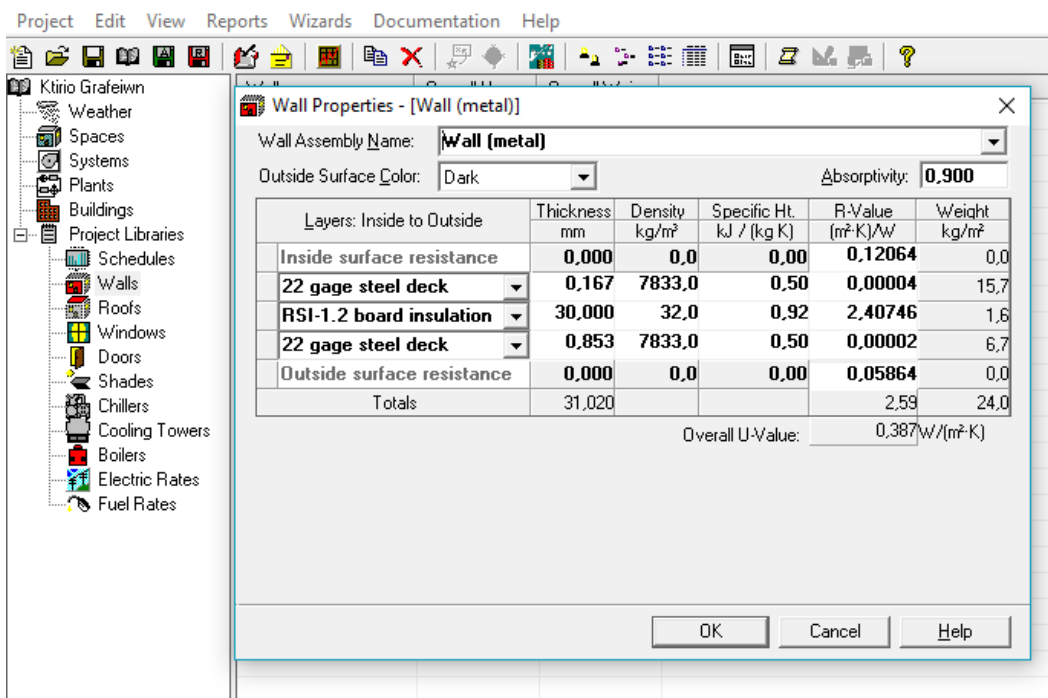
Σχήμα 25 : Εισαγωγή στοιχείων σε κάθε χώρο

HAP50 - [Ktirikio Grafeiwon]

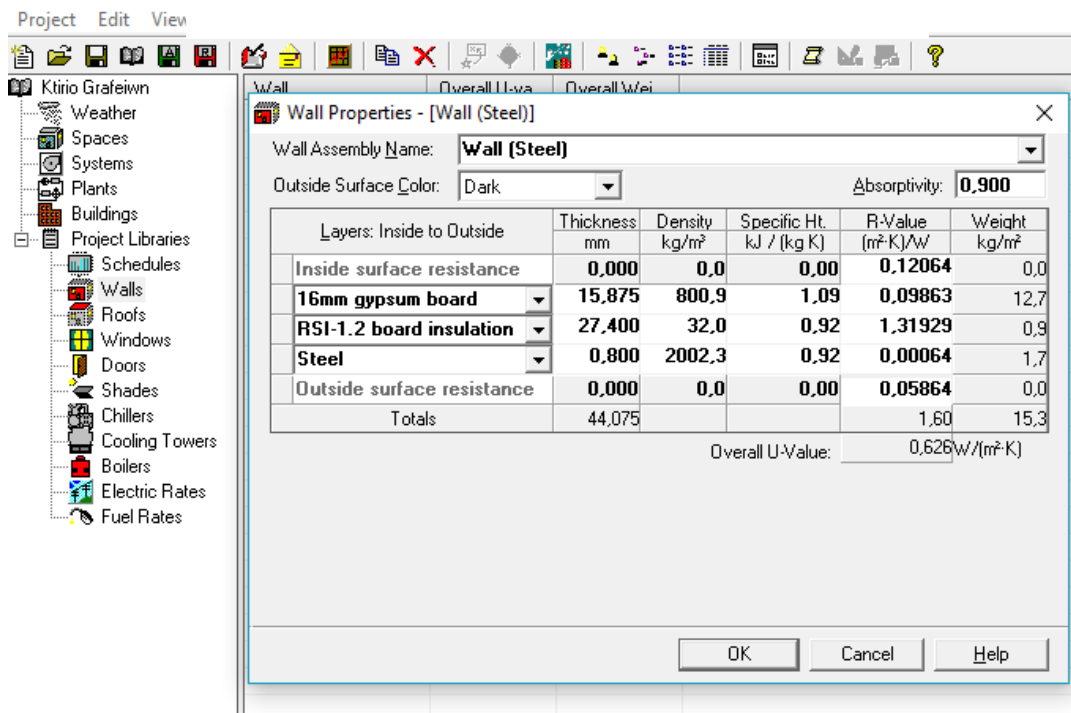
Project Edit View Reports Wizards Documentation Help

| Space                    | Floor Area |
|--------------------------|------------|
| <New default Space>      |            |
| A01 Dieuthhnsh Pwlhsewn  | 40,1       |
| A02 Pwlhtes              | 55,8       |
| A03 Services Pelatwn     | 19,8       |
| A04 Tmhma meletwn kai    | 78,8       |
| A05 Proistamenos Promhth | 30,1       |
| A06 Promhthies           | 52,0       |
| A07 Grafeio ekswter.     | 19,9       |
| A08 Tameio               | 18,4       |
| A09 WC Men               | 7,6        |
| A10 WC Women             | 7,6        |
| A11 Apothhkh             | 4,4        |
| A12 Skales               | 13,8       |
| A13 B' Dieuthunsh Pl.    | 32,0       |
| A14 Kouzina              | 7,5        |
| A15 Apothhkh             | 5,9        |
| A16 Diadromos (Aithriou) | 66,7       |
| A17 Drasthriothtes Etair | 82,3       |
| A18 Plhrofories-Grammat. | 32,8       |
| A19 Diadromos B ktiriou  | 46,5       |
| B01 Nomikh Yphresia      | 40,1       |
| B02 Tm Esvterikwn Elegx. | 40,9       |
| B03 Dieuthunsh Oikonon.  | 42,0       |
| B04 Elegktes             | 21,6       |
| B05 Voith.Oikon.Logisthr | 78,0       |
| B06 Ektupwtes            | 8,8        |
| B07 Mhxanografish        | 22,0       |
| B08 Tmhma Proswpikou     | 30,8       |
| B09 Dieythunsh Proswpik. | 21,0       |
| B10 WC Antrwn            | 7,6        |
| B11 WC gunaikwn          | 7,6        |
| B12 Skales               | 13,8       |
| B13 Apothhkh             | 4,4        |
| B14 Grammatia            | 32,0       |
| B15 Service UPS          | 13,7       |
| B16 Diadromos (Aithrio)  | 77,1       |
| B17 Xol                  | 82,3       |
| B18 Plhrofories-Gramm.   | 32,8       |
| B19 Diadromos gia B ktir | 46,5       |
| C01 Genikh Dieuthunsh    | 51,5       |

Σχήμα 26 : Μερικοί χώροι του κτιρίου



Σχήμα 27 : Τοιχοποιία για τον σκελετό του κτιρίου



Σχήμα 28 : Τοιχοποιία για την πλάγια κάλυψη

Project Edit View Reports Wizards Documentation Help

| Window                         | Overall U-va... | Overall Shade Coef... |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|
| <New default Window>           |                 |                       |
| Τζάμι                          | 3,368           | 0,751                 |
| Τζάμι για Αίθριο (Α όροφος)(Α) | 1,795           | 0,777                 |
| Τζάμι για Αίθριο (Α όροφος)(Β) | 1,795           | 0,777                 |
| Τζάμι για Αίθριο (Β όροφος)(Α) | 1,795           | 0,777                 |
| Τζάμι για Αίθριο (Β όροφος)(Β) | 1,795           | 0,777                 |
| Τζάμι για Αίθριο (Ισόγειο)(Α)  | 1,795           | 0,777                 |
| Τζάμι για Αίθριο (Ισόγειο)(Β)  | 1,795           | 0,777                 |
| Τζαμι Εισόδου(Δίπλο από Πόρτα) | 3,000           | 0,887                 |
| Τζάμι Μεγάλο Βορράς (Β όροφος) | 3,000           | 0,811                 |
| Τζάμι Μεγάλο Βορράς (Α όροφος) | 3,000           | 0,811                 |
| Τζάμι Μεγάλο Βορράς (Ισόγειο)  | 3,000           | 0,811                 |

Σχήμα 29 : Δήλωση παραθύρων στο πρόγραμμα

Window Properties - [Τζάμι για Αίθριο (Β όροφος)(A)]

Window Details:

Name:

Detailed Input:

Height:  m Width:  m

Frame Type:

Internal Shade Type:

Overall U-Value:  W/(m<sup>2</sup>K)

Overall Shade Coefficient:

Glass Details:

| Glazing       | Glass Type | Transmissivity | Reflectivity | Absorptivity |
|---------------|------------|----------------|--------------|--------------|
| Outer Glazing | 5mm clear  | 0,810          | 0,083        | 0,107        |
| Glazing #2    | 5mm clear  | 0,810          | 0,083        | 0,107        |
| Glazing #3    | 5mm clear  | 0,810          | 0,083        | 0,107        |

Gap Type:

OK Cancel Help

Σχήμα 30: Χαρακτηριστικά ενός παραθύρου

Door Properties - [Πόρτα (Security)]

Door Details:

Name:

Gross Area:  m<sup>2</sup>

Door U-Value:  W/(m<sup>2</sup>K)

Glass Details:

Glass Area:  m<sup>2</sup>

Glass U-Value:  W/(m<sup>2</sup>K)

Glass Shade Coefficient:

Glass Shaded All Day:

OK Cancel Help

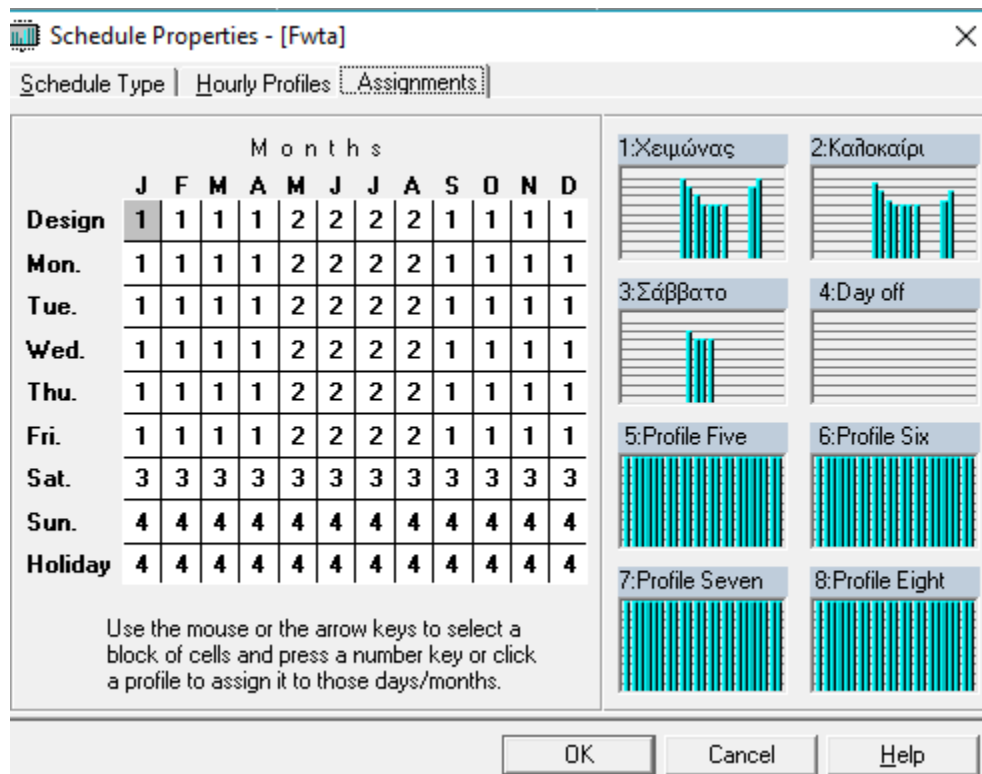
Σχήμα 31: Χαρακτηριστικά μιας θύρας



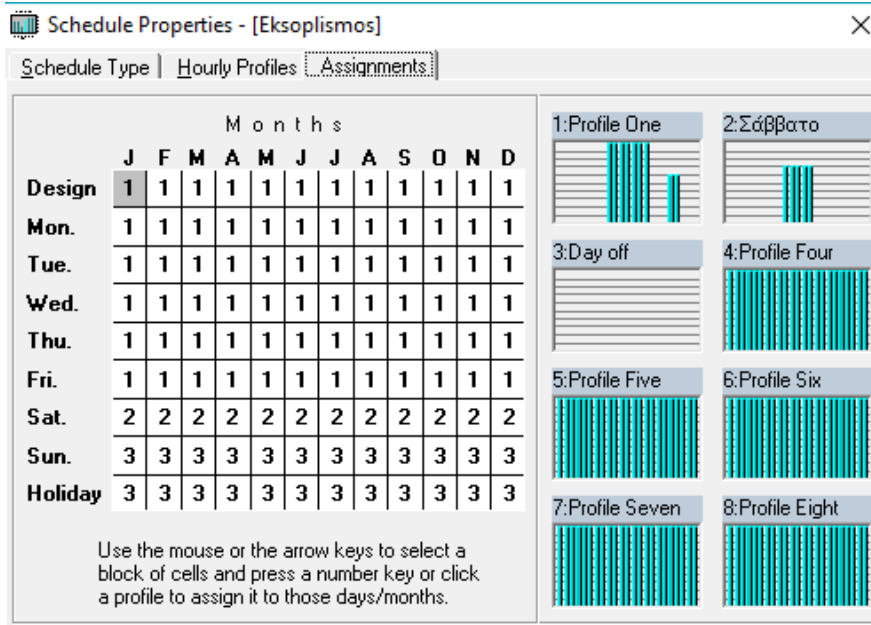
### 4.2.3 Χρονοδιαγράμματα

Στο πρόγραμμα είναι απαραίτητη η δημιουργία χρονοδιαγραμμάτων για το κτίριο. Αυτά τα χρονοδιαγράμματα δημιουργούνται ανάλογα την χρήση του κτιρίου δηλαδή με τις ώρες που είναι σε λειτουργία το κτίριο. Το συγκεκριμένο κτίριο αποτελείται από γραφεία. Υπάρχουν τα εξής είδη χρονοδιαγραμμάτων :

1. Χρονοδιάγραμμα για τον φωτισμό. Αναφέρεται στις ώρες λειτουργίας και το μεγάλο βαθμό έχει ο φωτισμός.
2. Χρονοδιάγραμμα για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Αναφέρεται στις ώρες λειτουργίας των ηλεκτρονικών συσκευών.
3. Χρονοδιάγραμμα για τα άτομα. Ορίζεται για την χρήση ενός χώρου από άτομα.
4. Χρονοδιάγραμμα για την κλιματιστική μονάδα. Ορίζεται για τις ώρες λειτουργίας της κλιματιστικής μονάδας.

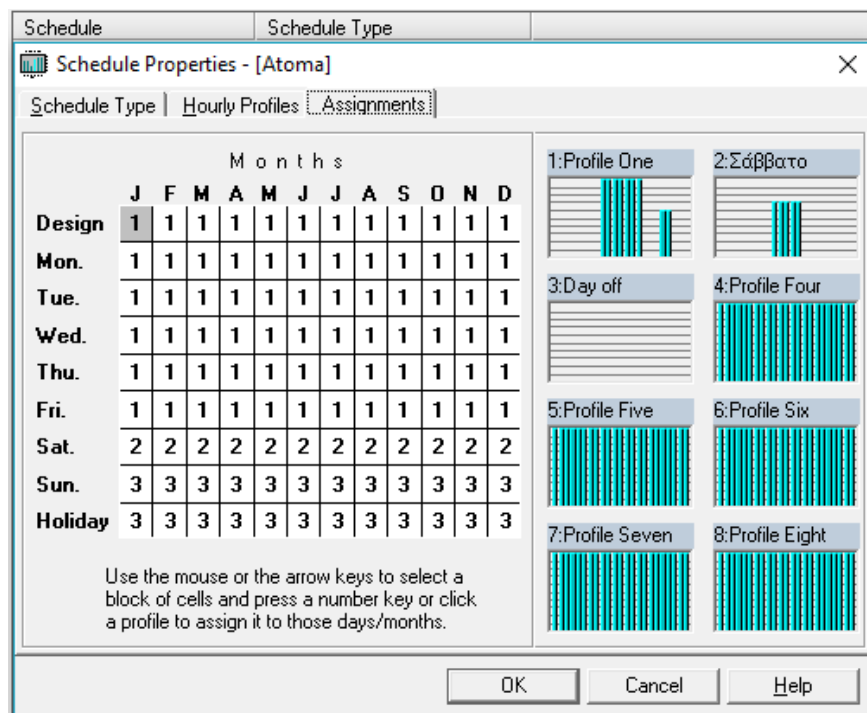


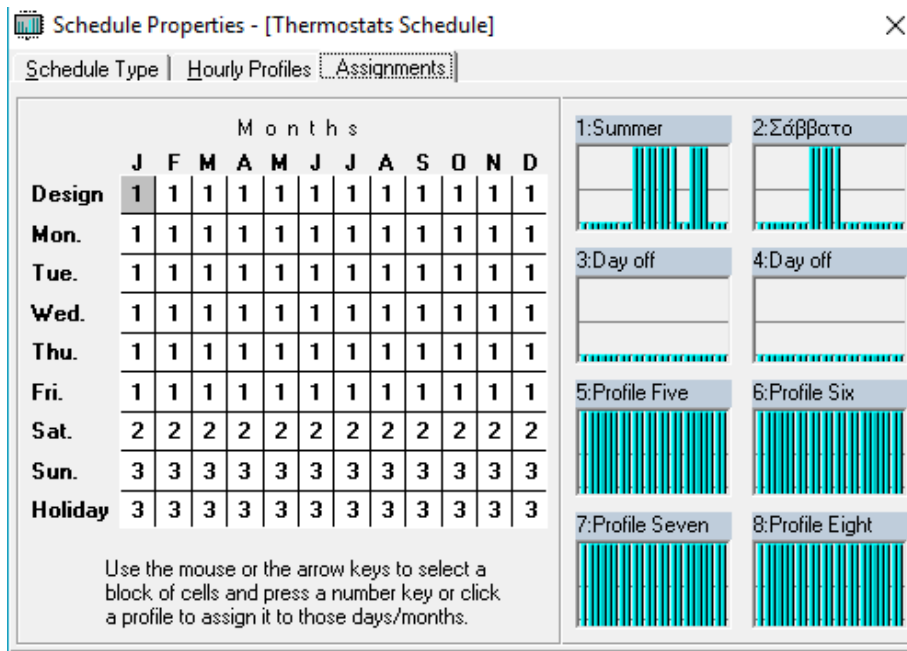
Σχήμα 32 : Χρονοδιάγραμμα για τον φωτισμό



Σχήμα 33 : Χρονοδιάγραμμα για του ηλεκτρονικού εξοπλισμού

Σχήμα 34 : Χρονοδιάγραμμα για τα άτομα

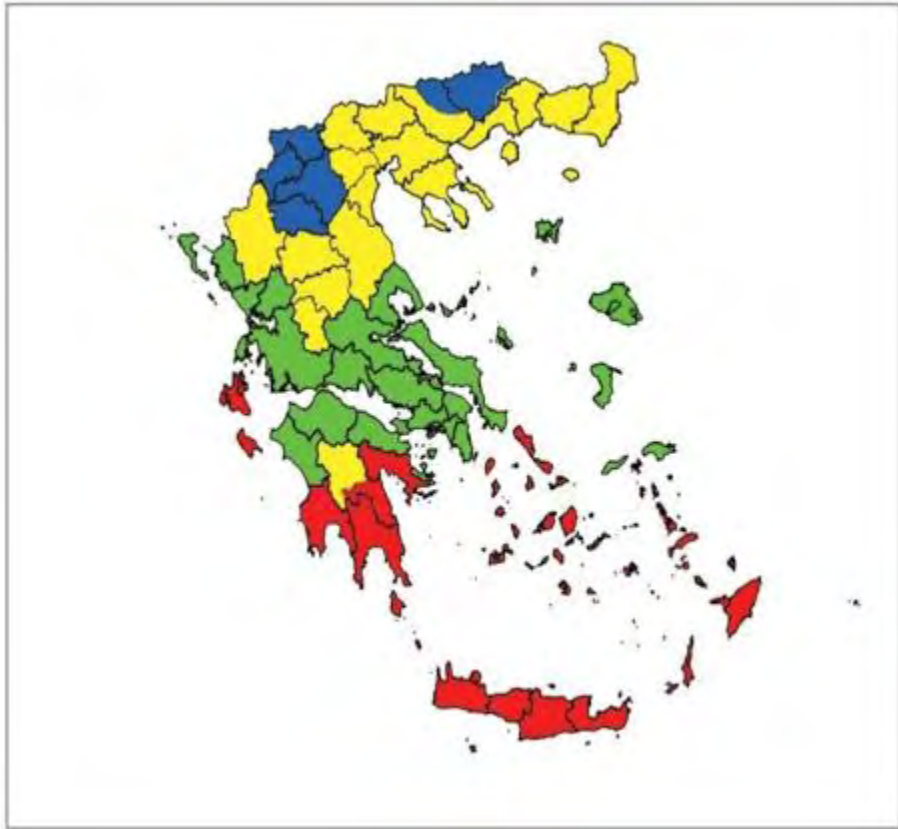




Σχήμα 35 : Χρονοδιάγραμμα για την λειτουργία της κλιματιστικής μονάδας

### 4.3 Τα Κλιματολογικά δεδομένα του Βόλου

Σύμφωνα με το Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ), για την μελέτη ενεργειακής ανάλυσης κτιρίων, η Ελλάδα ομαδοποιείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες αναλόγως με τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Στο Σχήμα 36 με το κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η κλιματική ζώνη Α, με το πράσινο η ζώνη Β, με το κίτρινο η ζώνη Γ και με το μπλε η Δ. Στο σχήμα αναφέρεται σε ποια ζώνη ανήκει ο κάθε Νομός της Ελλάδος



Σχήμα 36 : Κλιματικές ζώνες Ελλάδος (Κ.ΕΝ.Α.Κ.)

| Κλιματική Ζώνη | Νομοί   |
|----------------|---|
| Ζώνη Α         | Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη  |
| Ζώνη Β         | Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα              |
| Ζώνη Γ         | Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος |
| Ζώνη Δ         | Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα  |

Πίνακας 1 : Κλιματικές ζώνες

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Όνομα πόλης                                      | <b>Βόλος</b>                    |
| Τοποθεσία  | <b>Ελλάδα</b>                   |
| Γεωγραφικό Πλάτος                                | <b>39,2 Deg.</b>                |
| Γεωγραφικό Μήκος                                 | <b>-23,0 Deg</b>                |
| Υψόμετρο   | <b>5,0 m</b>                    |
| Summer Design Dry-Bulb                           | <b>33,6 °C</b>                  |
| Summer Coincident Wet-Bulb                       | <b>20,9 °C</b>                  |
| Summer Daily Range                               | <b>10,5 K</b>                   |
| Winter Design Dry-Bulb                           | <b>-2,7 °C</b>                  |
| Winter Design Wet-Bulb                           | <b>-5,1 °C</b>                  |
| Atmospheric Τριπλό ναλοστάσιο καθαρό ness Number | <b>1,00</b>                     |
| Average Ground Reflectance                       | <b>0,20</b>                     |
| Soil Conductivity                                | <b>1,385 W/(m K)</b>            |
| Local Time Zone (GMT +/- N hours)                | <b>2,0 hours</b>                |
| Simulation Weather Data                          | <b>(EXT)</b>                    |
| Design Cooling Μήνας                             | <b>Ιανουάριος με Δεκέμβριος</b> |

Πίνακας 2 :Τα κλιματικά δεδομένα του Βόλου

| Μήνας       | N     | NE    | E     | SE    | S     | SW    | WSW   | W     | WNW   | NW | NNW | HOR | Mult |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|-----|-----|------|
| Ιανουάριος  | 63,0  | 63,0  | 63,0  | 253,8 | 494,0 | 645,9 | 766,7 | 799,4 | 800,7 |    |     |     |      |
| Φεβρουάριος | 76,7  | 76,7  | 173,6 | 399,9 | 605,5 | 741,2 | 784,9 | 770,6 | 753,5 |    |     |     |      |
| Μάρτιος     | 91,9  | 94,4  | 302,6 | 540,4 | 686,0 | 754,0 | 739,5 | 674,2 | 641,7 |    |     |     |      |
| Απρίλιος    | 107,0 | 224,0 | 446,8 | 600,7 | 706,1 | 704,1 | 636,1 | 529,9 | 474,3 |    |     |     |      |
| Μάιος       | 117,5 | 319,1 | 523,2 | 644,1 | 691,3 | 653,9 | 543,9 | 408,8 | 342,2 |    |     |     |      |
| Ιούνιος     | 150,0 | 358,4 | 544,9 | 648,2 | 679,5 | 623,7 | 500,9 | 355,2 | 289,0 |    |     |     |      |
| Ιούλιος     | 120,3 | 326,2 | 512,9 | 626,5 | 681,7 | 635,2 | 531,2 | 396,0 | 332,1 |    |     |     |      |
| Αύγουστος   | 112,4 | 226,1 | 427,7 | 587,5 | 682,2 | 674,1 | 613,7 | 511,0 | 458,4 |    |     |     |      |
| Σεπτέμβριος | 95,4  | 95,4  | 290,0 | 503,3 | 655,1 | 709,7 | 713,8 | 656,4 | 622,2 |    |     |     |      |
| Οκτώβριος   | 79,2  | 79,2  | 140,5 | 396,6 | 581,6 | 706,3 | 758,8 | 748,5 | 729,9 |    |     |     |      |
| Νοέμβριος   | 63,9  | 63,9  | 63,9  | 260,6 | 474,4 | 653,2 | 745,4 | 778,7 | 787,0 |    |     |     |      |
| Δεκέμβριος  | 56,9  | 56,9  | 56,9  | 189,9 | 438,0 | 602,6 | 739,4 | 788,6 | 800,4 |    |     |     |      |
| Μήνας       | SSW   | SW    | WSW   | W     | WNW   | NW    | NNW   | HOR   | Mult  |    |     |     |      |
| Ιανουάριος  | 792,4 | 761,6 | 663,9 | 487,9 | 257,7 | 63,0  | 63,0  | 433,0 | 1,00  |    |     |     |      |
| Φεβρουάριος | 771,6 | 784,8 | 736,1 | 603,9 | 415,3 | 145,9 | 76,7  | 578,7 | 1,00  |    |     |     |      |
| Μάρτιος     | 678,4 | 743,7 | 744,3 | 692,1 | 534,1 | 310,7 | 92,9  | 712,1 | 1,00  |    |     |     |      |
| Απρίλιος    | 528,5 | 635,6 | 699,7 | 707,2 | 606,9 | 441,4 | 228,2 | 800,7 | 1,00  |    |     |     |      |
| Μάιος       | 407,4 | 544,8 | 650,0 | 696,1 | 637,7 | 520,1 | 327,2 | 840,7 | 1,00  |    |     |     |      |
| Ιούνιος     | 355,1 | 501,0 | 623,4 | 680,0 | 647,3 | 544,7 | 359,1 | 847,4 | 1,00  |    |     |     |      |
| Ιούλιος     | 397,1 | 530,7 | 638,3 | 678,6 | 629,9 | 515,7 | 321,0 | 830,7 | 1,00  |    |     |     |      |
| Αύγουστος   | 511,3 | 613,8 | 675,2 | 682,2 | 586,4 | 429,1 | 225,5 | 786,2 | 1,00  |    |     |     |      |
| Σεπτέμβριος | 650,9 | 704,6 | 722,8 | 639,8 | 508,6 | 293,1 | 95,4  | 688,0 | 1,00  |    |     |     |      |
| Οκτώβριος   | 748,8 | 760,9 | 708,4 | 586,4 | 370,2 | 169,0 | 79,2  | 567,1 | 1,00  |    |     |     |      |
| Νοέμβριος   | 787,3 | 752,5 | 640,3 | 481,7 | 258,3 | 63,9  | 63,9  | 429,9 | 1,00  |    |     |     |      |
| Δεκέμβριος  | 790,1 | 739,2 | 604,3 | 436,3 | 198,5 | 56,9  | 56,9  | 370,6 | 1,00  |    |     |     |      |

Πίνακας 3 : Μηνιαίο Μέγιστο κέρδος ηλιακής ακτινοβολίας

#### 4.4 Συστήματα Θέρμανσης Κλιματισμού

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν τα δυο ανεξάρτητα συστήματα που εφαρμόζονται στο κτίριο για την κάλυψη των ψυκτικών και θερμικών φορτίων. Το πρώτο σύστημα είναι η γεωθερμία και το δεύτερο το σύστημα VRF.

Για την σωστή μελέτη του κτιρίου απαραίτητος είναι ο υπολογισμός του νωπού αέρα. Η παροχή του νωπού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου είναι αναγκαία για την ανανέωση του οξυγόνου, την αραίωση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από τα άτομα. Γι' αυτό το λόγο η ποσότητα νωπού αέρα που χρειάζεται ένας χώρος υπολογίζεται ανά άτομο. Το σχέδιο ενός κατάλληλου συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού για τον καθαρισμό αέρα είναι συχνά το τελικό βήμα στην βεβαίωση ότι ένα σύστημα θα παράσχει υγιές και καθαρό εσωτερικό περιβάλλον. Στα δύο συστήματα κλιματισμού για τον αερισμό του κτιρίου θα τοποθετηθεί εξωτερική κεντρική μονάδα (D.O.A.S).



#### 4.4.1 Σύστημα Γεωθερμίας

|                  |   |
|------------------|---|
| Όνομα Συστήματος | <b>GWSHP</b>                                |
| Τύπος Συστήματος | <b>Γεωθερμική αντλία θερμότητας</b>         |
| Αριθμός ζωνών    | <b>3</b>                                    |
| Εξαερισμός       | <b>Εξωτερική Κεντρική Μονάδα (D.O.A.S.)</b> |
| Τύπος Εξοπλισμού | <b>Τερματικά Στοιχεία (Fan coils)</b>       |

Πίνακας 3 : Χαρακτηριστικά της Γεωθερμίας

The screenshot shows a software dialog box titled "Air System Properties - [Geothermia]". It has a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are five tabs: "General", "DOAS Components", "Zone Components", "Sizing Data", and "Equipment". The "General" tab is selected. The dialog contains the following fields and options:

- Air System Name:** A text box containing "Geothermia".
- Equipment Type:** A dropdown menu with "Terminal Units" selected.
- Air System Type:** A dropdown menu with "Groundwater Source Heat Pump" selected.
- Number of Zones:** A text box containing "3".
- Ventilation:** Two radio button options: "Direct Ventilation" (unselected) and "Dedicated Outdoor Air System (DOAS)" (selected).

At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Σχήμα 37: Δήλωση Γ.Α.Θ στο λογισμικό

Πίνακας 4 : Δεδομένα για την εξωτερική κεντρική μονάδα

|                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Έλεγχος παροχής αερισμού          | <b>Scheduled</b>                |
| Μέθοδος διαστασιολόγησης αερισμού | <b>Sum of Space OA Airflows</b> |
| Θέση διαφράγματος σε αδράνεια     | <b>Κλειστό</b>                  |
| Ποσοστό διαρροής Διαφράγματος     | <b>5%</b>                       |
| Επίπεδα CO2 εξωτερικού αέρα       | <b>400 ppm</b>                  |

Πίνακας 5 : Απόδοση ανεμιστήρα εξαερισμού

|                  |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>% Airflow</b> | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0  |
| <b>% kW</b>      | 100 | 91 | 81 | 72 | 61 | 54 | 46 | 40 | 33 | 27 | 21 |

Πίνακας 6 : Δεδομένα θερμοστάτη και ζωνών

| Ζώνη                  | All Zones      |
|-----------------------|----------------|
| Ψύξη T-stat Occ       | <b>23,9 °C</b> |
| Ψύξη T-stat Unocc     | <b>26.7 °C</b> |
| Θέρμανση T-stat Occ.  | <b>21.1 °C</b> |
| Θέρμανση T-stat Unocc | <b>18.3 °C</b> |

Πίνακας 7 : Σύστημα κυκλοφορίας

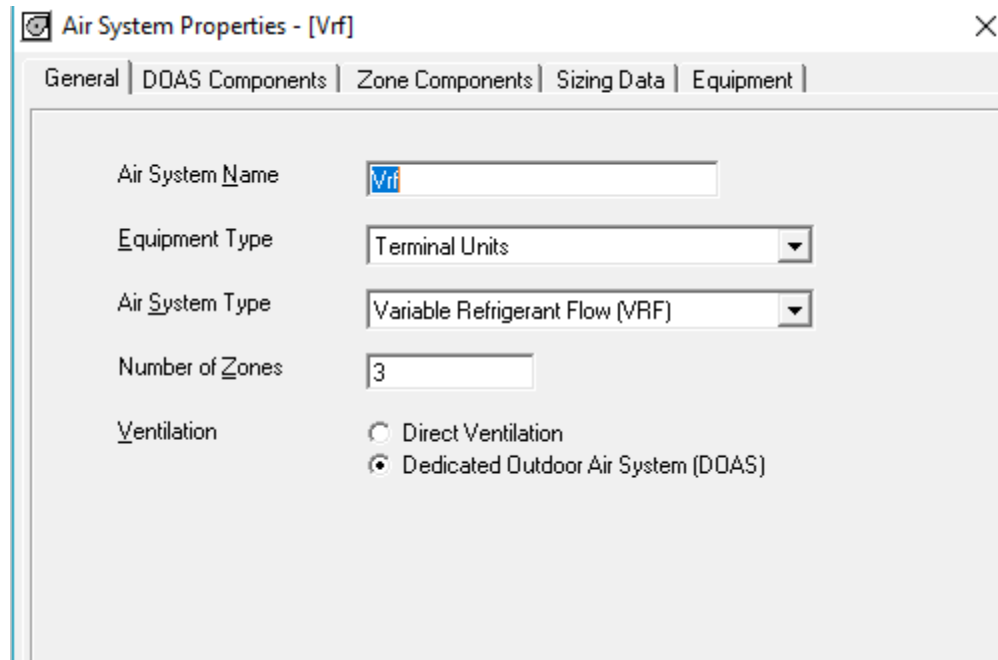
| Πηγή νερού                                     | Πύργος ψύξης                  |
|--|-------------------------------|
| Συμπληρωματική θέρμανση                        | <b>Ηλεκτρικές αντιστάσεις</b> |
| <b>Δεδομένα κυκλοφορητών:</b>                  |                               |
| Απόδοση κυκλοφορητών                           | <b>301,2 W/(L/s)</b>          |
| Απόδοση συντελεστή μηχανικού έργου κυκλοφορητή | <b>70,0 %</b>                 |
| Απόδοση ηλεκτρικού κινητήρα κυκλοφορητή        | <b>94 %</b>                   |

- Η γεωθερμική αντλία θερμότητας έχει απόδοση C.O.P. 3,600 και E.E.R. 4,748
- Η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού στο σύστημα (EWT) (entering water temperature) για την ψύξη είναι 15 °C και για την θέρμανση 10 °C

#### 4.4.2 Σύστημα VRF

|                  |   |
|------------------|---|
| Όνομα Συστήματος | <b>VRF</b>                                  |
| Τύπος Συστήματος | <b>Variable Refrigerant Flow (VRF)</b>      |
| Αριθμός Ζωνών    | <b>3</b>                                    |
| Εξαερισμός       | <b>Εξωτερική Κεντρική Μονάδα (D.O.A.S.)</b> |
| Τύπος Εξοπλισμού | <b>Τερματικά Στοιχεία (Fan coils)</b>       |

Πίνακας 8 : Χαρακτηριστικά του συστήματος VRF



Σχήμα 38: Δήλωση στο σύστημα

Πίνακας 9 : Δεδομένα για την εξωτερική κεντρική μονάδα

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Έλεγχος παροχής αερισμού                | <b>Scheduled</b>                |
| Μέθοδος διαστασιολόγησης αερισμού       | <b>Sum of Space OA Airflows</b> |
| Θέση διαφράγματος σε αδράνεια           | <b>Κλειστό</b>                  |
| Ποσοστό διαρροής Διαφράγματος           | <b>5%</b>                       |
| Επίπεδα CO <sub>2</sub> εξωτερικού αέρα | <b>400 ppm</b>                  |

|                  |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>% Airflow</b> | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0  |
| <b>% kW</b>      | 100 | 91 | 81 | 72 | 61 | 54 | 46 | 40 | 33 | 27 | 21 |

Πίνακας 10 : Απόδοση ανεμιστήρα εξαερισμού

- Η γεωθερμική αντλία θερμότητας έχει απόδοση C.O.P. 3,300 και E.E.R. 3,194

Πίνακας 11 : Δεδομένα θερμοστάτη και ζωνών

| <b>Ζώνη</b>           | <b>All Zones</b> |
|-----------------------|------------------|
| Ψύξη T-stat Occ       | <b>23,9 °C</b>   |
| Ψύξη T-stat Unocc     | <b>26.7 °C</b>   |
| Θέρμανση T-stat Occ.  | <b>21.1 °C</b>   |
| Θέρμανση T-stat Unocc | <b>18.3 °C</b>   |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

#### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ενεργειακοί υπολογισμοί που οφείλονται στην προσομοίωση του λογισμικού συστήματος της Η.Α.Ρ. . Είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων από το πρόγραμμα, διότι η ηλιακή επίδραση μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της περιόδου, καθιστώντας την μελέτη αρκετά πολύπλοκη.

Αξίζει να σημειωθεί πως θα παρατεθούν τα αποτελέσματα του λογισμικού για τα δύο συστήματα κλιματισμού του κτιρίου. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα συνολικά φορτία θέρμανσης και ψύξης των δύο συστημάτων για την κάλυψη των απαιτήσεων των χώρων. Ακόμα θα αναλυθούν οι μηνιαίες καταναλώσεις και ημερήσιες καταναλώσεις για συγκεκριμένους μήνες.

## 5.2 Σχεδιαστική ανάλυση των δύο συστημάτων

### 5.2.1 Σύστημα Γεωθερμίας

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Όνομα Συστήματος     | GWSHP                   |
| Αριθμός Ζωνών        | 3                       |
| Εμβαδόν του χώρου    | 1824,8 m <sup>2</sup>   |
| Τοποθεσία            | Βόλος, Ελλάδα           |
| Μήνες για υπολογισμό | Ιανουάριος - Δεκέμβριος |

Πίνακας 12 : Πληροφορίες συστήματος

Πίνακας 13 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας

| Zone Name       | Συνολικό Φορτίο (kW) | Αισθητό Συνολικό Φορτίο (kW) | Coil Entering DB/WB (°C) | Coil Leaving DB/WB (°C) | Time of Peak Coil Load | Zone L/(s·m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| <b>Isogeio</b>  | 31,1                 | 30                           | 24,9 / 17,7              | 14,4 / 13,8             | Jun 1400               | 3,82                       |
| <b>A orofos</b> | 33,2                 | 32                           | 24,8 / 17,7              | 14,4 / 13,8             | Jun 1400               | 4.12                       |
| <b>B orofos</b> | 39,8                 | 38.3                         | 24,9 / 17,7              | 14,4 / 13,8             | Jun 1400               | 5.25                       |

Πίνακας 14 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας για θέρμανση

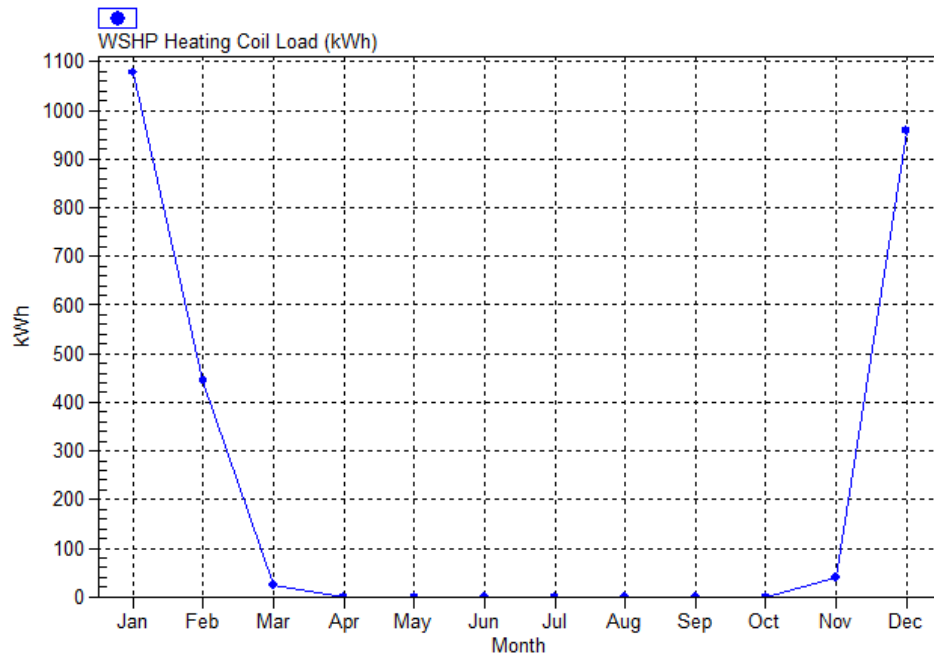
| Zone Name       | Heating Coil Load (kW) | Heating Coil Ent/Lvg DB (°C) | Fan Design Airflow (L/s) | Fan Motor (BHP) | Fan Motor (kW) | OA Vent Design Airflow (L/s) |
|-----------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| <b>Isogeio</b>  | 6,5                    | 21,2 / 23,5                  | 2377                     | 0,749           | 0,594          | 883                          |
| <b>A orofos</b> | 7,2                    | 21,2 / 23,6                  | 2564                     | 0,808           | 0,641          | 883                          |
| <b>B orofos</b> | 11,2                   | 21,3 / 24,4                  | 3046                     | 0,960           | 0,762          | 796                          |



| Month        | WSHP Clg Compressor (kWh) | WSHP Heating Coil Load (kWh) | WSHP Eqpt Heating Load (kWh) | WSHP Htg Compressor (kWh) | Ventilation Fan (kWh) |
|--------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| January      | 0                         | 1077                         | 1077                         | 209                       | 121                   |
| February     | 0                         | 444                          | 444                          | 86                        | 106                   |
| March        | 0                         | 23                           | 23                           | 5                         | 113                   |
| April        | 0                         | 0                            | 0                            | 0                         | 116                   |
| May          | 5286                      | 0                            | 0                            | 0                         | 117                   |
| June         | 6228                      | 0                            | 0                            | 0                         | 111                   |
| July         | 7187                      | 0                            | 0                            | 0                         | 121                   |
| August       | 6646                      | 0                            | 0                            | 0                         | 113                   |
| September    | 4647                      | 0                            | 0                            | 0                         | 116                   |
| October      | 0                         | 0                            | 0                            | 0                         | 121                   |
| November     | 0                         | 39                           | 39                           | 8                         | 108                   |
| December     | 0                         | 958                          | 958                          | 185                       | 121                   |
| <b>Total</b> | <b>29993</b>              | <b>2542</b>                  | <b>2542</b>                  | <b>492</b>                | <b>1380</b>           |

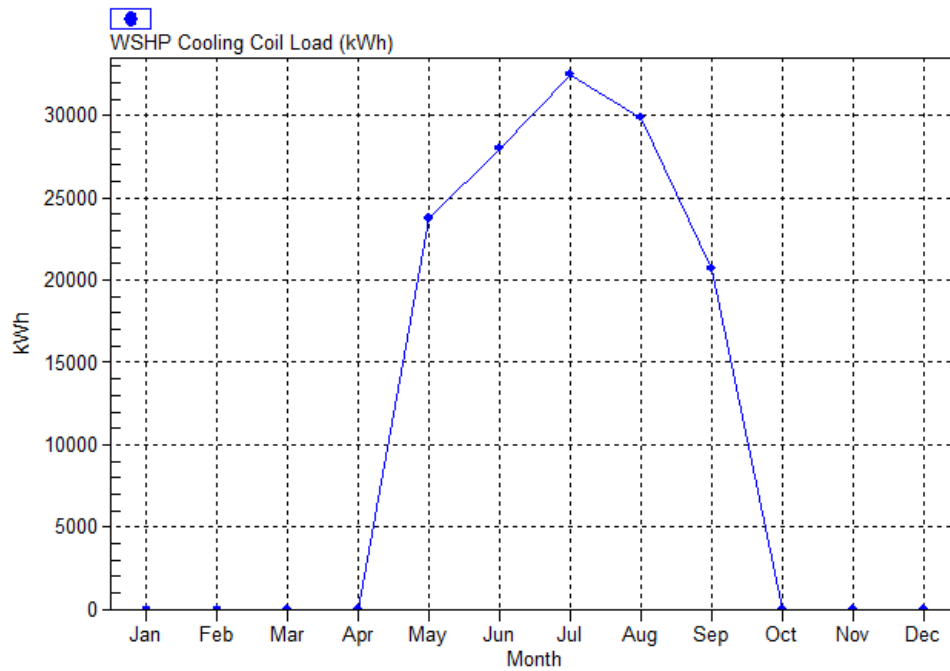
Πίνακας 15 : Μηνιαία αποτελέσματα για την θέρμανση

Σχήμα 38



Πίνακας 16: Μηνιαία απαίτηση θέρμανσης

| Month        | Precool Coil Load (kWh) | Precool Eqpt Load (kWh) | Preheat Coil Load (kWh) | Preheat Coil Input (kWh) | WSHP Cooling Coil Load (kWh) | WSHP Eqpt Cooling Load (kWh) |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| January      | 0                       | 0                       | 3041                    | 3041                     | 0                            | 0                            |
| February     | 0                       | 0                       | 2042                    | 2042                     | 0                            | 0                            |
| March        | 0                       | 0                       | 601                     | 601                      | 0                            | 0                            |
| April        | 0                       | 0                       | 23                      | 23                       | 0                            | 0                            |
| May          | 3141                    | 3122                    | 1934                    | 1934                     | 23777                        | 23663                        |
| June         | 6977                    | 6092                    | 3267                    | 3267                     | 28001                        | 27880                        |
| July         | 10621                   | 9241                    | 5079                    | 5079                     | 32491                        | 32230                        |
| August       | 10493                   | 8972                    | 4952                    | 4952                     | 29876                        | 29724                        |
| September    | 5630                    | 4964                    | 3026                    | 3026                     | 20700                        | 20696                        |
| October      | 0                       | 0                       | 16                      | 16                       | 0                            | 0                            |
| November     | 0                       | 0                       | 474                     | 474                      | 0                            | 0                            |
| December     | 0                       | 0                       | 2435                    | 2435                     | 0                            | 0                            |
| <b>Total</b> | <b>36862</b>            | <b>32391</b>            | <b>26889</b>            | <b>26889</b>             | <b>134847</b>                | <b>134193</b>                |

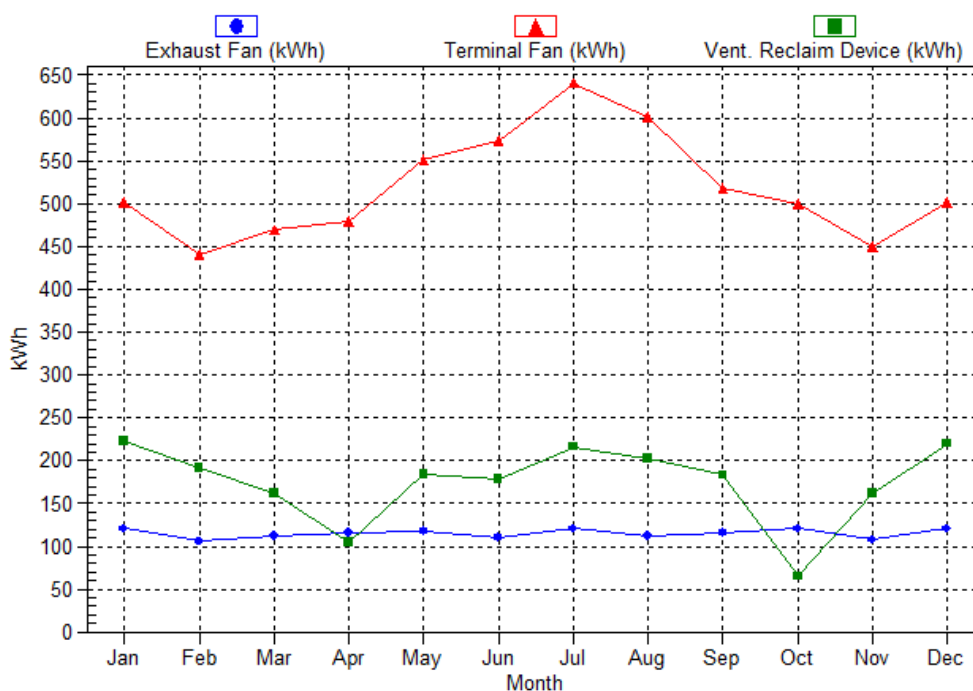


Σχήμα 39 : Γράφημα για την θέρμανση

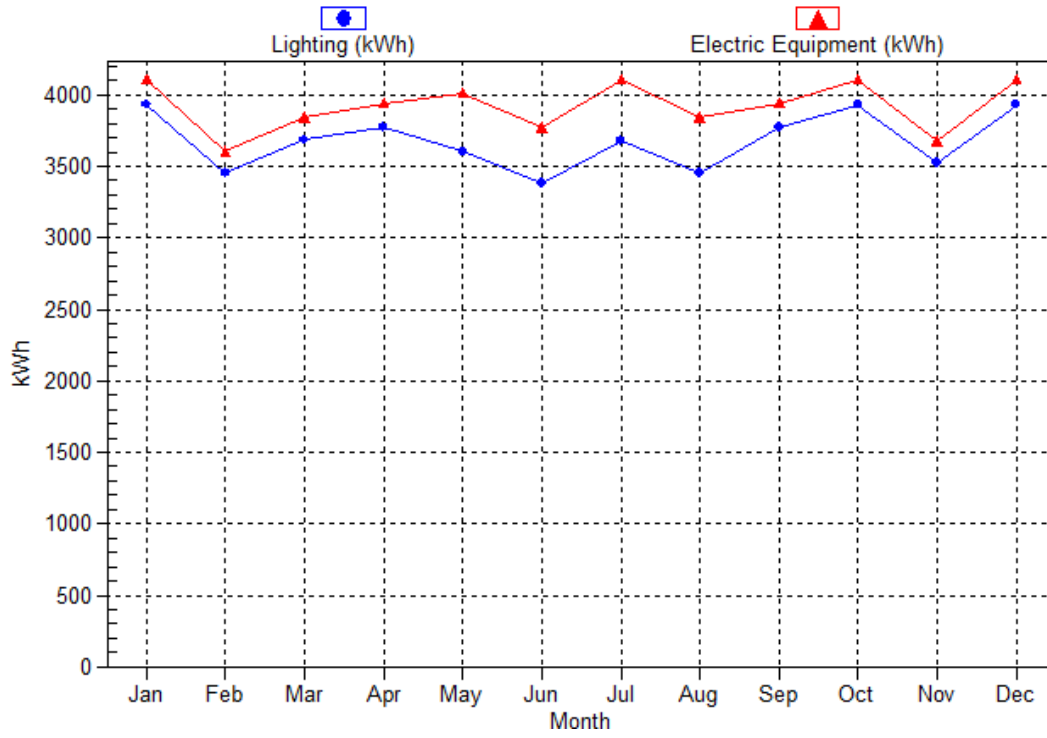
| Month        | Exhaust Fan (kWh) | Terminal Fan (kWh) | Vent. Reclaim Device (kWh) | WSHP Loop Water Pump (kWh) | Lighting (kWh) | Electric Equipment (kWh) |
|--------------|-------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| January      | 121               | 502                | 223                        | 415                        | 3931           | 4108                     |
| February     | 106               | 440                | 191                        | 236                        | 3455           | 3610                     |
| March        | 113               | 469                | 162                        | 47                         | 3685           | 3847                     |
| April        | 116               | 479                | 104                        | 0                          | 3773           | 3942                     |
| May          | 117               | 552                | 184                        | 849                        | 3602           | 4013                     |
| June         | 111               | 573                | 179                        | 1090                       | 3383           | 3776                     |
| July         | 121               | 641                | 216                        | 1237                       | 3679           | 4108                     |
| August       | 113               | 601                | 202                        | 1224                       | 3454           | 3847                     |
| September    | 116               | 518                | 184                        | 719                        | 3773           | 3942                     |
| October      | 121               | 499                | 65                         | 0                          | 3931           | 4108                     |
| November     | 108               | 449                | 162                        | 68                         | 3526           | 3681                     |
| December     | 121               | 502                | 220                        | 378                        | 3931           | 4108                     |
| <b>Total</b> | <b>1380</b>       | <b>6226</b>        | <b>2092</b>                | <b>6264</b>                | <b>44124</b>   | <b>47091</b>             |

Πίνακας 17 : Μηνιαία Αποτελέσματα

Σχήμα 40



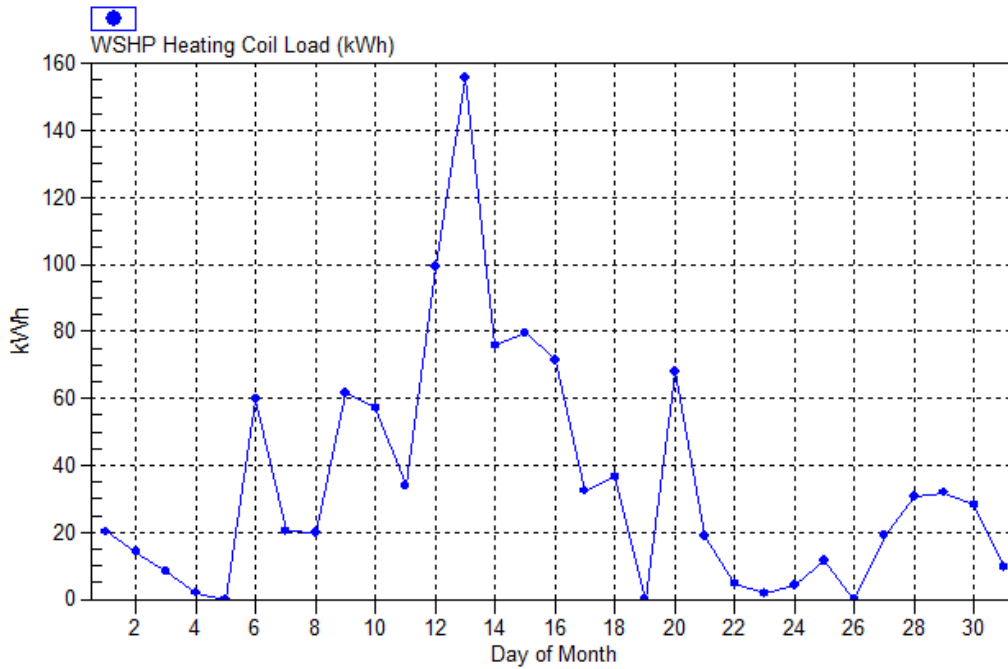
Σχήμα 41



Πίνακας 18 : Ημερήσια αποτελέσματα για Ιανουάριο

| Day          | Heating Coil Load (kWh) | Heating Load (kWh) | WSHP Htg Compressor (kWh) | Ventilation Fan (kWh) |
|--------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1            | 20                      | 20                 | 4                         | 5                     |
| 2            | 14                      | 14                 | 3                         | 5                     |
| 3            | 8                       | 8                  | 2                         | 5                     |
| 4            | 2                       | 2                  | 0                         | 2                     |
| 5            | 0                       | 0                  | 0                         | 0                     |
| 6            | 60                      | 60                 | 12                        | 5                     |
| 7            | 20                      | 20                 | 4                         | 5                     |
| 8            | 20                      | 20                 | 4                         | 5                     |
| 9            | 62                      | 62                 | 12                        | 5                     |
| 10           | 57                      | 57                 | 11                        | 5                     |
| 11           | 34                      | 34                 | 6                         | 2                     |
| 12           | 99                      | 99                 | 19                        | 0                     |
| 13           | 156                     | 156                | 29                        | 5                     |
| 14           | 76                      | 76                 | 15                        | 5                     |
| 15           | 80                      | 80                 | 15                        | 5                     |
| 16           | 71                      | 71                 | 14                        | 5                     |
| 17           | 32                      | 32                 | 7                         | 5                     |
| 18           | 36                      | 36                 | 7                         | 2                     |
| 19           | 0                       | 0                  | 0                         | 0                     |
| 20           | 68                      | 68                 | 13                        | 5                     |
| 21           | 19                      | 19                 | 4                         | 5                     |
| 22           | 5                       | 5                  | 1                         | 5                     |
| 23           | 2                       | 2                  | 0                         | 5                     |
| 24           | 4                       | 4                  | 1                         | 5                     |
| 25           | 11                      | 11                 | 2                         | 2                     |
| 26           | 0                       | 0                  | 0                         | 0                     |
| 27           | 19                      | 19                 | 4                         | 5                     |
| 28           | 31                      | 31                 | 6                         | 5                     |
| 29           | 32                      | 32                 | 6                         | 5                     |
| 30           | 28                      | 28                 | 6                         | 5                     |
| 31           | 10                      | 10                 | 2                         | 5                     |
| <b>Total</b> | <b>1077</b>             | <b>1077</b>        | <b>209</b>                | <b>121</b>            |

Σχήμα 42 : Ημερήσια αποτελέσματα για Ιανουάριο

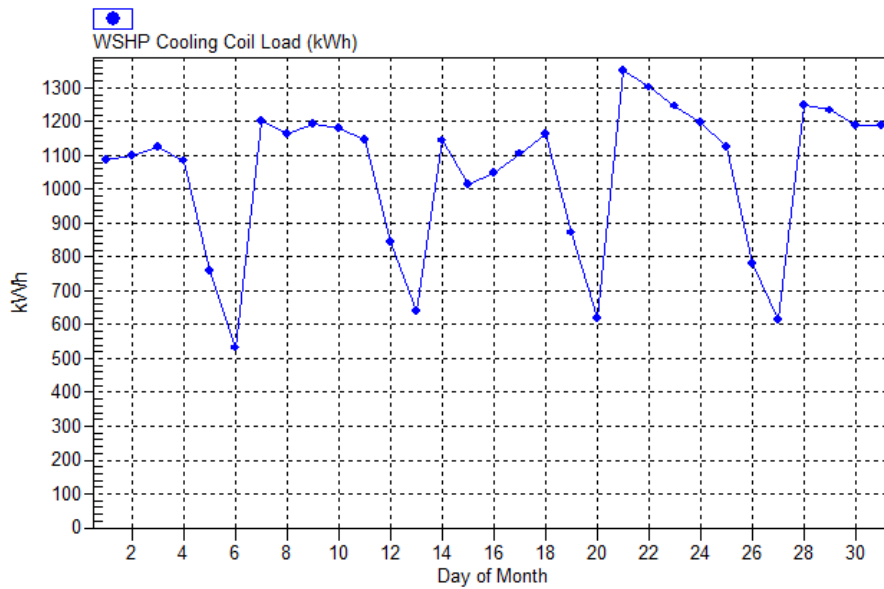


Πίνακας 19 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιούλιο

| Day | WSHP Cooling Coil Load (kWh) | WSHP Eqpt Cooling Load (kWh) | WSHP Clg Compressor (kWh) | Ventilation Fan (kWh) |
|-----|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 1086                         | 1078                         | 238                       | 5                     |
| 2   | 1100                         | 1094                         | 241                       | 5                     |
| 3   | 1124                         | 1117                         | 246                       | 5                     |
| 4   | 1084                         | 1080                         | 237                       | 5                     |
| 5   | 758                          | 758                          | 173                       | 2                     |
| 6   | 531                          | 531                          | 127                       | 0                     |
| 7   | 1201                         | 1186                         | 262                       | 5                     |
| 8   | 1163                         | 1152                         | 254                       | 5                     |
| 9   | 1192                         | 1178                         | 260                       | 5                     |
| 10  | 1179                         | 1170                         | 258                       | 5                     |
| 11  | 1147                         | 1142                         | 252                       | 5                     |

|              |              |              |             |            |
|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|
| 12           | 844          | 844          | 193         | 2          |
| 13           | 639          | 639          | 153         | 0          |
| 14           | 1144         | 1142         | 253         | 5          |
| 15           | 1015         | 1014         | 224         | 5          |
| 16           | 1049         | 1048         | 231         | 5          |
| 17           | 1105         | 1099         | 242         | 5          |
| 18           | 1162         | 1151         | 254         | 5          |
| 19           | 871          | 870          | 198         | 2          |
| 20           | 619          | 619          | 148         | 0          |
| 21           | 1350         | 1321         | 293         | 5          |
| 22           | 1302         | 1279         | 284         | 5          |
| 23           | 1246         | 1228         | 272         | 5          |
| 24           | 1198         | 1181         | 261         | 5          |
| 25           | 1125         | 1120         | 247         | 5          |
| 26           | 780          | 779          | 178         | 2          |
| 27           | 615          | 615          | 147         | 0          |
| 28           | 1249         | 1231         | 273         | 5          |
| 29           | 1234         | 1216         | 269         | 5          |
| 30           | 1190         | 1177         | 260         | 5          |
| 31           | 1189         | 1174         | 260         | 5          |
| <b>Total</b> | <b>32491</b> | <b>32230</b> | <b>7187</b> | <b>121</b> |

Σχήμα 43

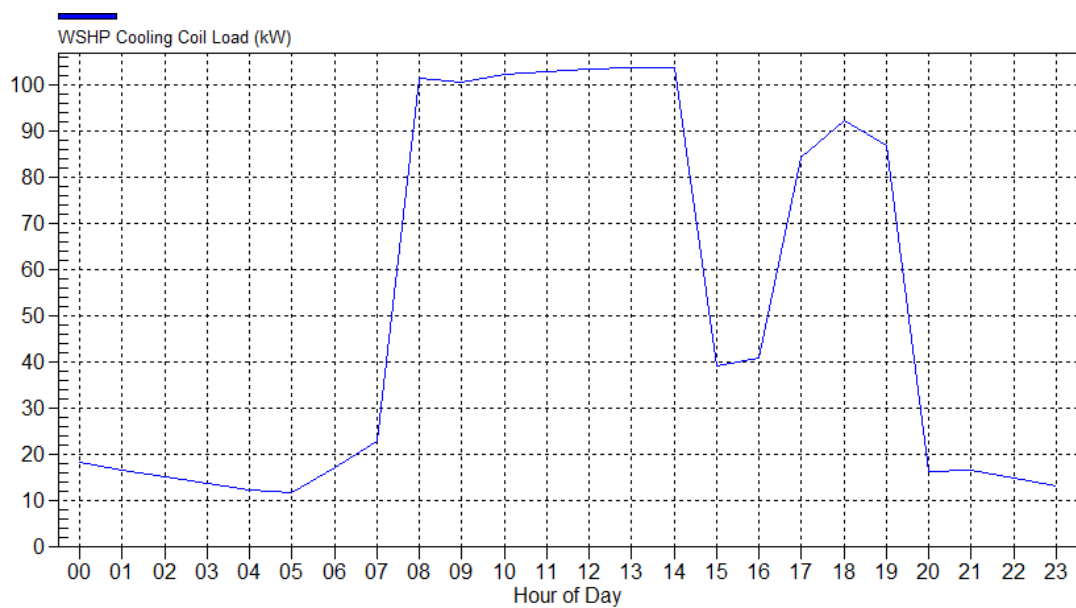


| <b>Hour</b>  | <b>Dry-Bulb Temp (°C)</b> | <b>WSHP Cooling Coil Load (kW)</b> | <b>WSHP Eqpt Cooling Load (kW)</b> | <b>WSHP Clg Compressor (kW)</b> |
|--------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>0000</b>  | <b>26,3</b>               | 18,3                               | 18,3                               | 4,5                             |
| <b>0100</b>  | <b>25,5</b>               | 16,5                               | 16,5                               | 4,1                             |
| <b>0200</b>  | <b>25,1</b>               | 15,0                               | 15,0                               | 3,7                             |
| <b>0300</b>  | <b>24,7</b>               | 13,6                               | 13,6                               | 3,4                             |
| <b>0400</b>  | <b>24,4</b>               | 12,3                               | 12,3                               | 3,0                             |
| <b>0500</b>  | <b>24,5</b>               | 11,6                               | 11,6                               | 2,9                             |
| <b>0600</b>  | <b>25,5</b>               | 17,1                               | 17,1                               | 4,2                             |
| <b>0700</b>  | <b>27,0</b>               | 22,7                               | 22,7                               | 5,5                             |
| <b>0800</b>  | <b>28,5</b>               | 101,3                              | 99,8                               | 21,5                            |
| <b>0900</b>  | <b>30,0</b>               | 100,4                              | 98,8                               | 21,3                            |
| <b>1000</b>  | <b>31,0</b>               | 102,3                              | 100,2                              | 21,6                            |
| <b>1100</b>  | <b>32,2</b>               | 102,9                              | 100,2                              | 21,6                            |
| <b>1200</b>  | <b>33,3</b>               | 103,5                              | 100,2                              | 21,6                            |
| <b>1300</b>  | <b>33,9</b>               | 103,8                              | 100,2                              | 21,6                            |
| <b>1400</b>  | <b>34,0</b>               | 103,7                              | 100,2                              | 21,6                            |
| <b>1500</b>  | <b>33,8</b>               | 39,0                               | 39,0                               | 9,2                             |
| <b>1600</b>  | <b>33,6</b>               | 40,8                               | 40,8                               | 9,6                             |
| <b>1700</b>  | <b>32,8</b>               | 84,3                               | 84,3                               | 18,5                            |
| <b>1800</b>  | <b>31,8</b>               | 92,4                               | 92,2                               | 20,0                            |
| <b>1900</b>  | <b>30,7</b>               | 86,9                               | 86,9                               | 19,0                            |
| <b>2000</b>  | <b>29,8</b>               | 16,2                               | 16,2                               | 4,0                             |
| <b>2100</b>  | <b>28,8</b>               | 16,5                               | 16,5                               | 4,1                             |
| <b>2200</b>  | <b>27,8</b>               | 14,9                               | 14,9                               | 3,7                             |
| <b>2300</b>  | <b>26,8</b>               | 13,2                               | 13,2                               | 3,3                             |
| <b>Total</b> |                           | <b>1249,3</b>                      | <b>1231,0</b>                      | <b>273,2</b>                    |

Πίνακας 20 : Ωριαία αποτελέσματα για την 28<sup>η</sup> Ιουλίου



Σχήμα 44 : Ωριαία αποτελέσματα για την 28<sup>η</sup> Ιουλίου

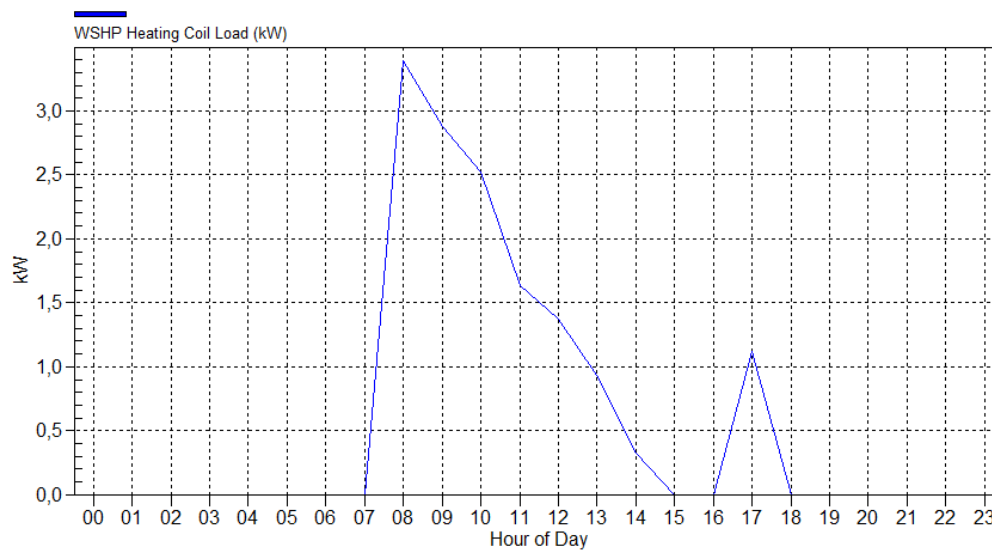


Πίνακας 21 : Ωριαία αποτελέσματα για την 2<sup>η</sup> Ιανουαρίου

| Hour | Dry-Bulb Temp (°C) | WSHP Heating Coil Load (kW) | WSHP Htg Compressor (kW) | WSHP Loop Water Pump (kW) |
|------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0000 | 10,2               | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0100 | 9,5                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0200 | 8,8                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0300 | 8,4                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0400 | 8,1                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0500 | 7,8                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0600 | 7,5                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |
| 0700 | 7,5                | 0,0                         | 0,0                      | 0,0                       |

|              |             |             |            |             |
|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| <b>0800</b>  | <b>8,2</b>  | 3,4         | 0,7        | 1,7         |
| <b>0900</b>  | <b>8,9</b>  | 2,9         | 0,6        | 1,7         |
| <b>1000</b>  | <b>9,5</b>  | 2,5         | 0,5        | 1,7         |
| <b>1100</b>  | <b>11,1</b> | 1,6         | 0,3        | 1,7         |
| <b>1200</b>  | <b>11,5</b> | 1,4         | 0,3        | 1,7         |
| <b>1300</b>  | <b>11,8</b> | 0,9         | 0,2        | 1,7         |
| <b>1400</b>  | <b>12,1</b> | 0,3         | 0,1        | 1,7         |
| <b>1500</b>  | <b>12,1</b> | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>1600</b>  | <b>11,8</b> | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>1700</b>  | <b>11,0</b> | 1,1         | 0,2        | 1,7         |
| <b>1800</b>  | <b>10,5</b> | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>1900</b>  | <b>10,1</b> | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>2000</b>  | <b>9,6</b>  | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>2100</b>  | <b>9,2</b>  | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>2200</b>  | <b>8,7</b>  | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>2300</b>  | <b>8,3</b>  | 0,0         | 0,0        | 0,0         |
| <b>Total</b> |             | <b>14,2</b> | <b>2,9</b> | <b>13,5</b> |

Σχήμα 45 : Ωριαία αποτελέσματα για την 2<sup>η</sup> Ιανουαρίου



|                               | DESIGN COOLING   |              |            | DESIGN HEATING   |              |            |
|-------------------------------|--|--------------|------------|--|--------------|------------|
|                               | COOLING DATA AT Jul 1400<br>COOLING OA DB / WB 33,6 °C / 20,5 °C |              |            | HEATING DATA AT DES HTG<br>HEATING OA DB / WB 1,1 °C / -1,8 °C |              |            |
| ZONE LOADS                    | Details  | Sensible (W) | Latent (W) | Details  | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 265 m <sup>2</sup>   | 27473        | -          | 265 m <sup>2</sup>   | -            | -          |
| Wall Transmission             | 619 m <sup>2</sup>   | 8594         | -          | 619 m <sup>2</sup>   | 5647         | -          |
| Roof Transmission             | 580 m <sup>2</sup>   | 9670         | -          | 580 m <sup>2</sup>   | 4578         | -          |
| Window Transmission           | 265 m <sup>2</sup>   | 6868         | -          | 265 m <sup>2</sup>   | 17139        | -          |
| Skylight Transmission         | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          |
| Door Loads                    | 4 m <sup>2</sup>   | 395          | -          | 4 m <sup>2</sup>   | 277          | -          |
| Floor Transmission            | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          |
| Partitions                    | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          |
| Ceiling                       | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          | 0 m <sup>2</sup>   | 0            | -          |
| Overhead Lighting             | 14642 W  | 11566        | -          | 0  | 0            | -          |
| Task Lighting                 | 0 W  | 0            | -          | 0  | 0            | -          |
| Electric Equipment            | 20279 W  | 18085        | -          | 0  | 0            | -          |
| People                        | 134  | 7089         | 9088       | 0  | 0            | 0          |
| Infiltration                  | -  | 0            | 0          | -  | 0            | 0          |
| Miscellaneous                 | -  | 0            | 0          | -  | 0            | 0          |
| Safety Factor                 | 0% / 0%  | 0            | 0          | 0%   | 0            | 0          |
| >> Total Zone Loads           | -  | 89740        | 9088       | -  | 27641        | 0          |
| Zone Conditioning             | -  | 101745       | 9088       | -  | 27160        | 0          |
| Plenum Wall Load              | 0%   | 0            | -          | 0  | 0            | -          |
| Plenum Roof Load              | 0%   | 0            | -          | 0  | 0            | -          |
| Plenum Lighting Load          | 0%   | 0            | -          | 0  | 0            | -          |
| Exhaust Fan Load              | 2562 L/s   | 582          | -          | 2562 L/s   | -582         | -          |
| Ventilation Load              | 2562 L/s   | 12955        | -1928      | 2562 L/s   | 31024        | 0          |
| Ventilation Fan Load          | 2562 L/s   | 582          | -          | 2562 L/s   | -582         | -          |
| Space Fan Coil Fans           | -  | 1997         | -          | -  | -1997        | -          |
| Duct Heat Gain / Loss         | 0%   | 0            | -          | 0%   | 0            | -          |
| >> Total System Loads         | -  | 117861       | 7160       | -  | 55023        | 0          |
| Cooling Coil                  | -  | 48010        | 3267       | -  | 0            | 0          |
| Heating Coil                  | -  | -30381       | -          | -  | 30136        | -          |
| Terminal Unit Cooling         | -  | 100232       | 3909       | -  | 0            | 0          |
| Terminal Unit Heating         | -  | 0            | -          | -  | 24886        | -          |
| >> Total Conditioning         | -  | 117861       | 7176       | -  | 55023        | 0          |

Πίνακας 22 : Συνολικά φορτία σχεδίασης ψύξης – θέρμανσης για την Γεωθερμία.

## 5.2.2 Σύστημα κλιματισμού με ψυκτικό υγρό μεταβλητού όγκου VRF

Πίνακας 23 : Πληροφορίες συστήματος

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Όνομα Συστήματος     | VRF                     |
| Αριθμός Ζωνών        | 3                       |
| Εμβαδόν του χώρου    | 1824,8 m <sup>2</sup>   |
| Τοποθεσία            | Βόλος, Ελλάδα           |
| Μήνες για υπολογισμό | Ιανουάριος - Δεκέμβριος |

Πίνακας 24 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας

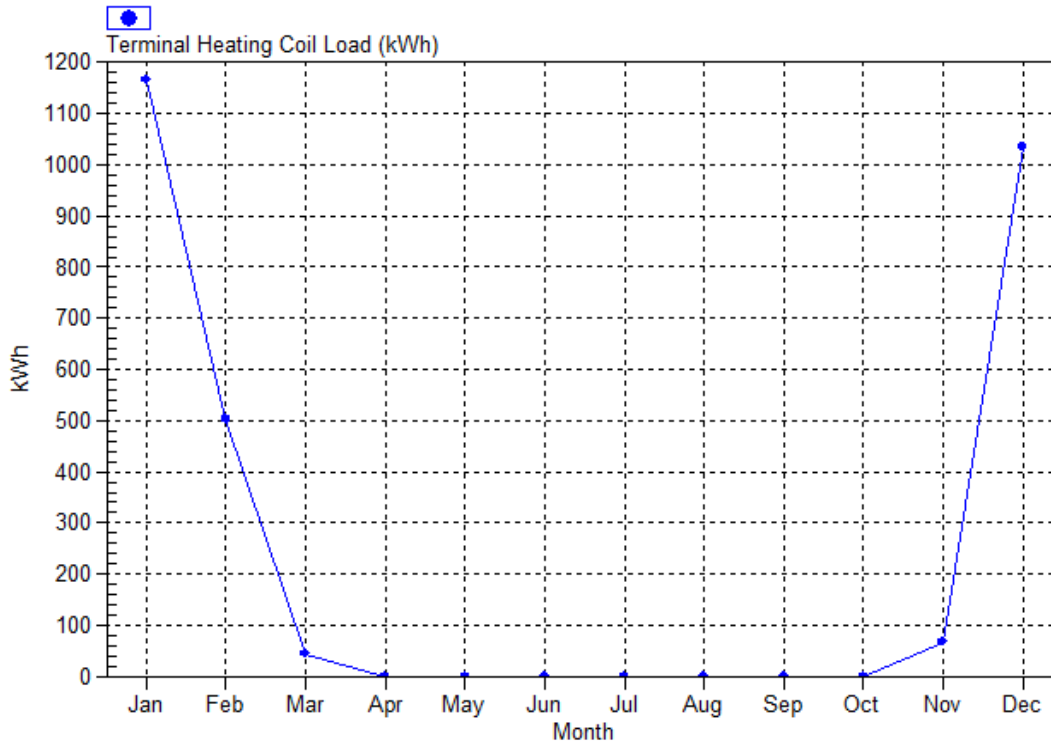
| Zone Name | Total Coil Load (kW) | Sens Coil Load (kW) | Coil Entering DB / WB (°C) | Coil Leaving DB / WB (°C) | Time of Peak Coil Load | Zone L/(s·m <sup>2</sup> ) |
|-----------|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| Isogeio   | 35,2                 | 32,9                | 24,6 / 17,7                | 14,4 / 13,8               | Jul 1400               | 4,31                       |
| A orofos  | 36,3                 | 33,4                | 24,5 / 17,8                | 14,6 / 13,9               | Jun 1000               | 4,46                       |
| B orofos  | 41,2                 | 39,0                | 24,6 / 17,8                | 14,6 / 13,9               | Jul 1200               | 5,57                       |

| Zone Name | Heating Coil Load (kW) | Heating Coil Ent/Lvg DB (°C) | Fan Design Airflow (L/s) | Fan Motor (BHP) | Fan Motor (kW) | OA Vent Design Airflow (L/s) |
|-----------|------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| Isogeio   | 6,5                    | 21,2 / 23,2                  | 2680                     | 0,845           | 0,670          | 883                          |
| A orofos  | 7,3                    | 21,3 / 23,5                  | 2778                     | 0,875           | 0,695          | 848                          |
| B orofos  | 11,6                   | 21,3 / 24,3                  | 3227                     | 1,017           | 0,807          | 796                          |

Πίνακας 25 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας για θέρμανση

Πίνακας 26 : Αποτελέσματα τερματικής μονάδας για θέρμανση

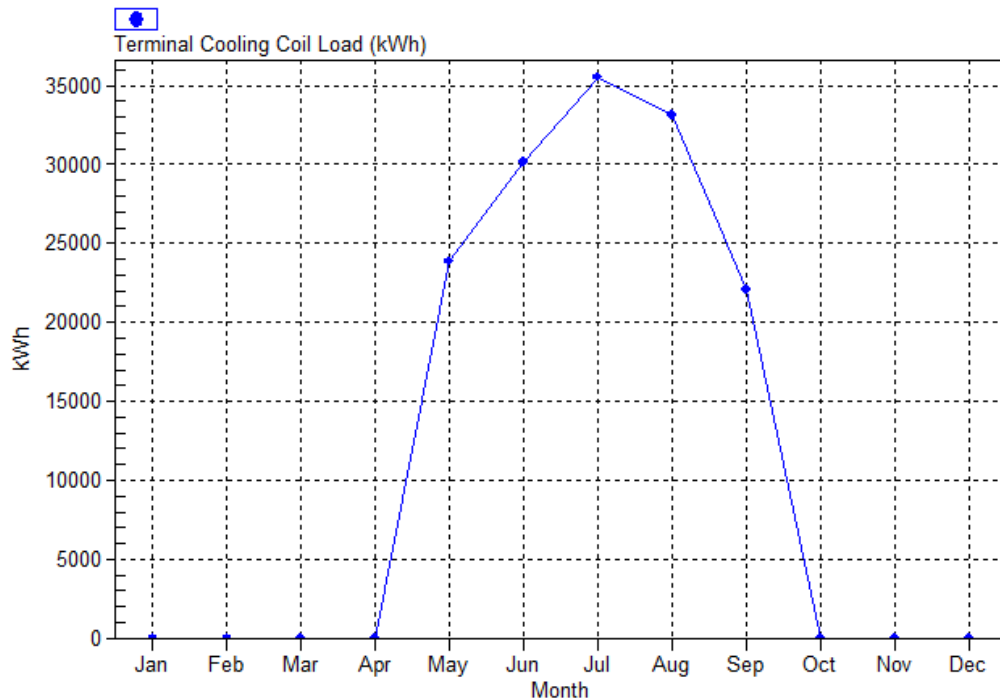
| Month        | Terminal Unit Clg Input (kWh) | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Eqpt Load (kWh) | Terminal Unit Htg Input (kWh) | Ventilation Fan (kWh) |
|--------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| January      | 0                             | 1165                             | 1165                             | 281                           | 144                   |
| February     | 0                             | 502                              | 502                              | 124                           | 126                   |
| March        | 0                             | 44                               | 44                               | 12                            | 135                   |
| April        | 0                             | 0                                | 0                                | 0                             | 138                   |
| May          | 4817                          | 0                                | 0                                | 0                             | 141                   |
| June         | 6908                          | 0                                | 0                                | 0                             | 132                   |
| July         | 8725                          | 0                                | 0                                | 0                             | 144                   |
| August       | 7863                          | 0                                | 0                                | 0                             | 135                   |
| September    | 4343                          | 0                                | 0                                | 0                             | 138                   |
| October      | 0                             | 0                                | 0                                | 0                             | 144                   |
| November     | 0                             | 67                               | 67                               | 18                            | 129                   |
| December     | 0                             | 1035                             | 1035                             | 241                           | 144                   |
| <b>Total</b> | <b>32656</b>                  | <b>2814</b>                      | <b>2814</b>                      | <b>676</b>                    | <b>1649</b>           |



Σχήμα 47 Αποτελέσματα τερματικής μονάδας για θέρμανση

Πίνακας 27: Αποτελέσματα τερματικής μονάδας για ψύξη

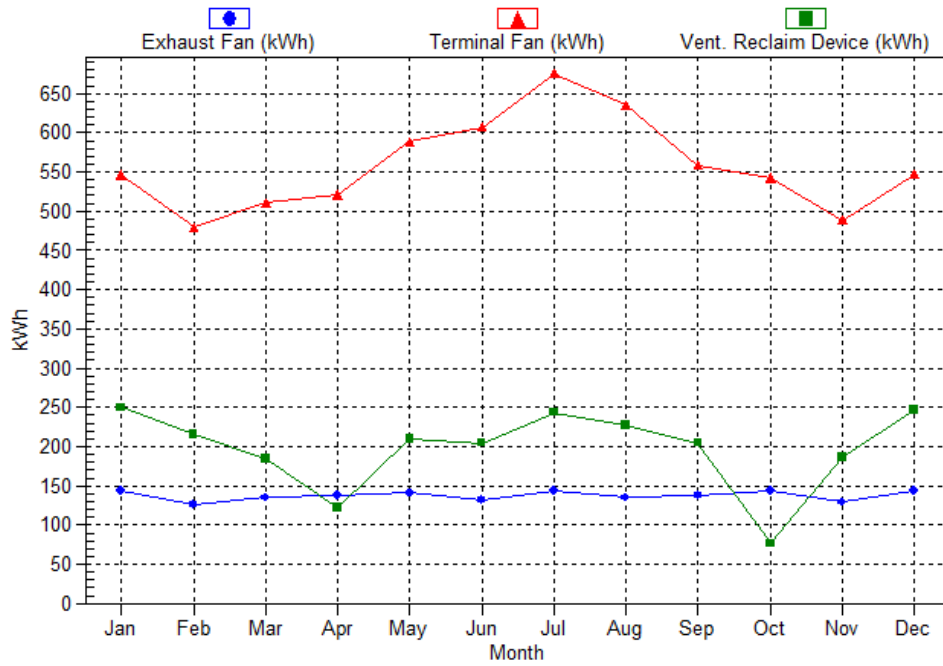
| Month        | Precool Coil Load (kWh) | Precool Unit Clg Input (kWh) | Preheat Coil Load (kWh) | Terminal Cooling Coil Load (kWh) | Terminal Cooling Eqpt Load (kWh) |
|--------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| January      | 0                       | 0                            | 3767                    | 0                                | 0                                |
| February     | 0                       | 0                            | 2542                    | 0                                | 0                                |
| March        | 0                       | 0                            | 788                     | 0                                | 0                                |
| April        | 0                       | 0                            | 14                      | 0                                | 0                                |
| May          | 669                     | 165                          | 0                       | 23869                            | 23825                            |
| June         | 1862                    | 459                          | 0                       | 30116                            | 29064                            |
| July         | 3061                    | 755                          | 0                       | 35500                            | 33783                            |
| August       | 2512                    | 618                          | 0                       | 33111                            | 31502                            |
| September    | 859                     | 209                          | 0                       | 22072                            | 21809                            |
| October      | 0                       | 0                            | 18                      | 0                                | 0                                |
| November     | 0                       | 0                            | 703                     | 0                                | 0                                |
| December     | 0                       | 0                            | 3076                    | 0                                | 0                                |
| <b>Total</b> | <b>8963</b>             | <b>2205</b>                  | <b>10908</b>            | <b>144668</b>                    | <b>139984</b>                    |



Σχήμα 47 : Αποτελέσματα τερματικής μονάδας για ψύξη

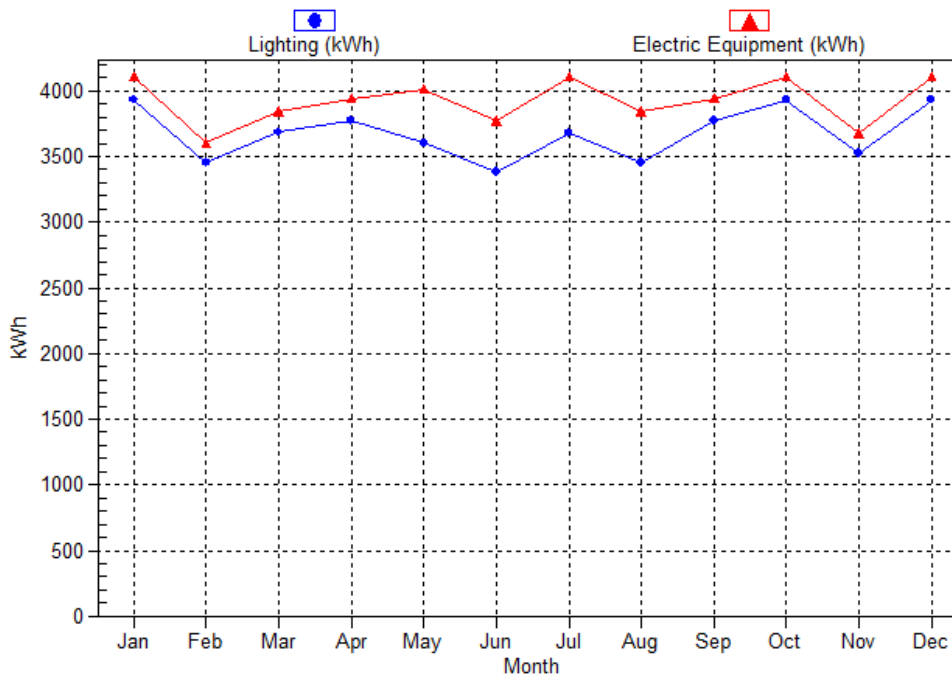
Πίνακας 28 : Αποτελέσματα ανεμιστήρων, φωτισμού και ηλεκτρικού εξοπλισμού

| Month        | Exhaust Fan (kWh) | Terminal Fan (kWh) | Vent. Reclaim Device (kWh) | Lighting (kWh) | Electric Equipment (kWh) |
|--------------|-------------------|--------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| January      | 144               | 547                | 250                        | 3931           | 4108                     |
| February     | 126               | 480                | 215                        | 3455           | 3610                     |
| March        | 135               | 510                | 184                        | 3685           | 3847                     |
| April        | 138               | 521                | 123                        | 3773           | 3942                     |
| May          | 141               | 588                | 210                        | 3602           | 4013                     |
| June         | 132               | 607                | 205                        | 3383           | 3776                     |
| July         | 144               | 675                | 243                        | 3679           | 4108                     |
| August       | 135               | 635                | 227                        | 3454           | 3847                     |
| September    | 138               | 559                | 205                        | 3773           | 3942                     |
| October      | 144               | 543                | 77                         | 3931           | 4108                     |
| November     | 129               | 489                | 187                        | 3526           | 3681                     |
| December     | 144               | 547                | 247                        | 3931           | 4108                     |
| <b>Total</b> | <b>1649</b>       | <b>6701</b>        | <b>2372</b>                | <b>44124</b>   | <b>47091</b>             |



Σχήμα 48 : Αποτελέσματα ανεμιστήρων

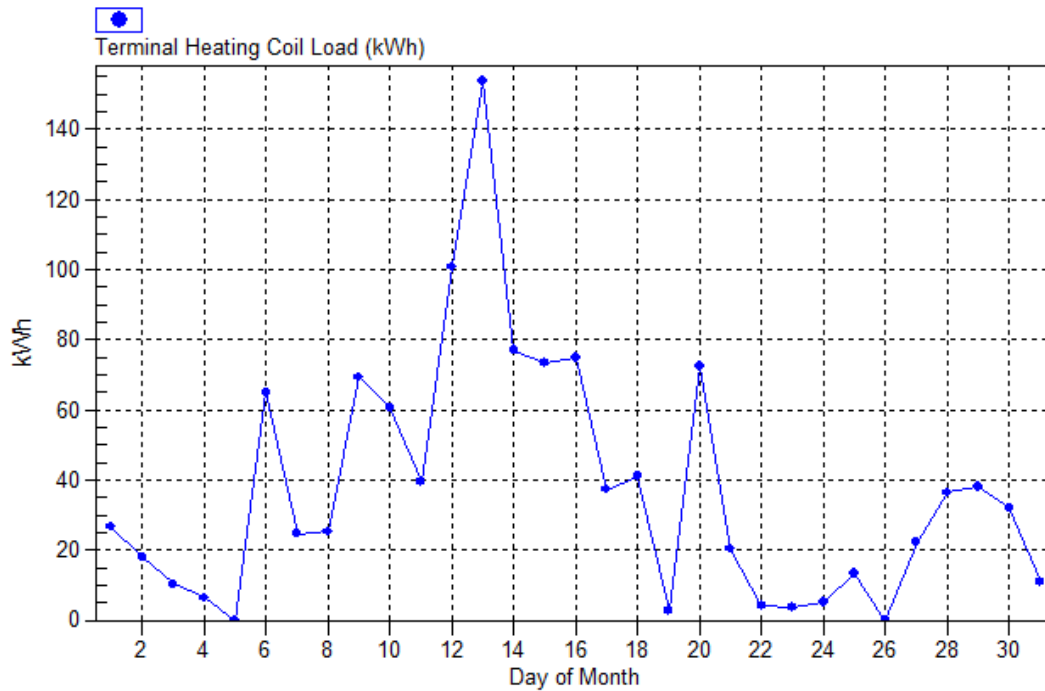
Σχήμα 49 : Αποτελέσματα φωτισμού και ηλεκτρικού εξοπλισμού





Πίνακας 29 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιανουάριο

| Day          | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Eqpt Load (kWh) | Terminal Unit Htg Input (kWh) | Ventilation Fan (kWh) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1            | 27                               | 27                               | 7                             | 6                     |
| 2            | 18                               | 18                               | 5                             | 6                     |
| 3            | 10                               | 10                               | 3                             | 6                     |
| 4            | 6                                | 6                                | 2                             | 3                     |
| 5            | 0                                | 0                                | 0                             | 0                     |
| 6            | 65                               | 65                               | 15                            | 6                     |
| 7            | 25                               | 25                               | 6                             | 6                     |
| 8            | 25                               | 25                               | 6                             | 6                     |
| 9            | 69                               | 69                               | 16                            | 6                     |
| 10           | 61                               | 61                               | 15                            | 6                     |
| 11           | 40                               | 40                               | 10                            | 3                     |
| 12           | 101                              | 101                              | 24                            | 0                     |
| 13           | 154                              | 154                              | 36                            | 6                     |
| 14           | 77                               | 77                               | 20                            | 6                     |
| 15           | 73                               | 73                               | 20                            | 6                     |
| 16           | 75                               | 75                               | 19                            | 6                     |
| 17           | 37                               | 37                               | 10                            | 6                     |
| 18           | 41                               | 41                               | 9                             | 3                     |
| 19           | 3                                | 3                                | 1                             | 0                     |
| 20           | 72                               | 72                               | 16                            | 6                     |
| 21           | 20                               | 20                               | 5                             | 6                     |
| 22           | 4                                | 4                                | 1                             | 6                     |
| 23           | 4                                | 4                                | 1                             | 6                     |
| 24           | 5                                | 5                                | 2                             | 6                     |
| 25           | 13                               | 13                               | 3                             | 3                     |
| 26           | 0                                | 0                                | 0                             | 0                     |
| 27           | 22                               | 22                               | 5                             | 6                     |
| 28           | 36                               | 36                               | 9                             | 6                     |
| 29           | 38                               | 38                               | 9                             | 6                     |
| 30           | 32                               | 32                               | 7                             | 6                     |
| 31           | 11                               | 11                               | 3                             | 6                     |
| <b>Total</b> | <b>1165</b>                      | <b>1165</b>                      | <b>281</b>                    | <b>144</b>            |



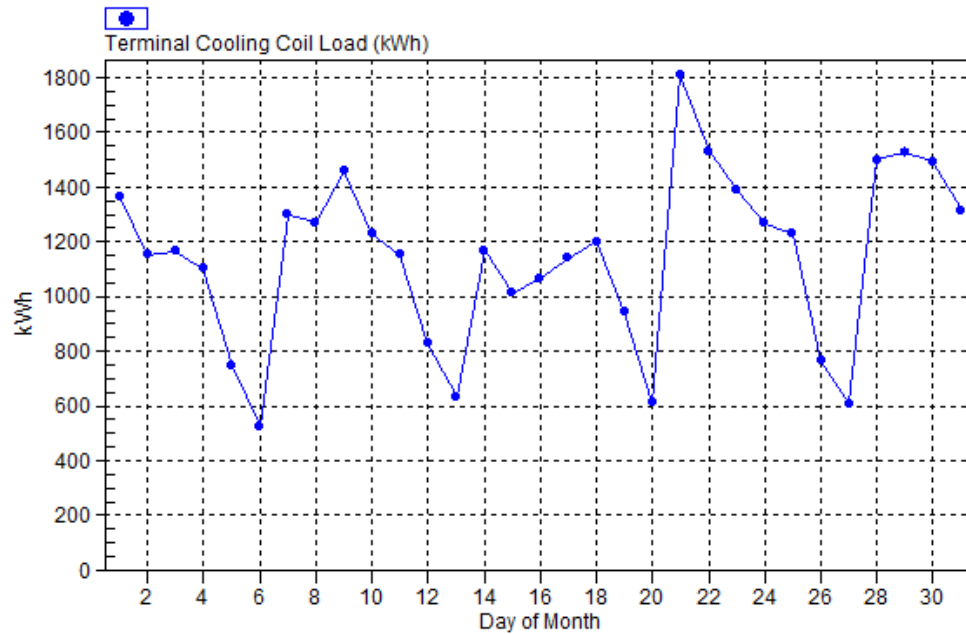
Σχήμα 50 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιανουάριο

Πίνακας 30 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιούλιο

| Day | Precool Coil Load (kWh) | Precool Eqpt Load (kWh) | Precool Unit Clg Input (kWh) | Terminal Cooling Coil Load (kWh) | Terminal Cooling Eqpt Load (kWh) |
|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1   | 94                      | 94                      | 22                           | 1365                             | 1235                             |
| 2   | 111                     | 111                     | 28                           | 1153                             | 1150                             |
| 3   | 120                     | 120                     | 30                           | 1165                             | 1161                             |
| 4   | 81                      | 81                      | 20                           | 1101                             | 1101                             |
| 5   | 36                      | 36                      | 9                            | 747                              | 747                              |
| 6   | 0                       | 0                       | 0                            | 527                              | 527                              |
| 7   | 110                     | 110                     | 28                           | 1299                             | 1275                             |
| 8   | 121                     | 121                     | 30                           | 1270                             | 1235                             |
| 9   | 150                     | 149                     | 37                           | 1457                             | 1294                             |

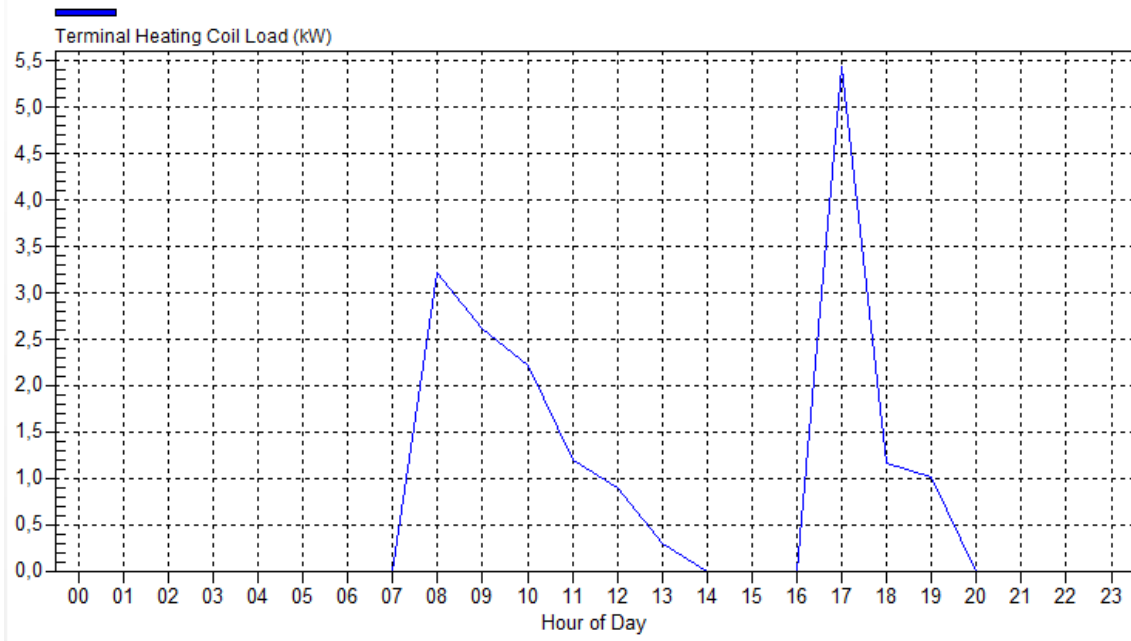
|              |             |             |            |              |              |
|--------------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 10           | 132         | 131         | 33         | 1229         | 1220         |
| 11           | 118         | 118         | 30         | 1153         | 1153         |
| 12           | 49          | 49          | 12         | 827          | 827          |
| 13           | 0           | 0           | 0          | 634          | 634          |
| 14           | 68          | 68          | 17         | 1169         | 1169         |
| 15           | 45          | 45          | 11         | 1011         | 1011         |
| 16           | 93          | 93          | 23         | 1068         | 1068         |
| 17           | 106         | 106         | 26         | 1139         | 1139         |
| 18           | 142         | 140         | 36         | 1201         | 1199         |
| 19           | 61          | 61          | 15         | 943          | 925          |
| 20           | 0           | 0           | 0          | 613          | 613          |
| 21           | 210         | 177         | 46         | 1809         | 1416         |
| 22           | 175         | 166         | 42         | 1532         | 1363         |
| 23           | 155         | 152         | 39         | 1387         | 1294         |
| 24           | 141         | 141         | 36         | 1266         | 1248         |
| 25           | 121         | 121         | 31         | 1228         | 1163         |
| 26           | 38          | 38          | 9          | 765          | 765          |
| 27           | 0           | 0           | 0          | 610          | 610          |
| 28           | 140         | 140         | 35         | 1499         | 1363         |
| 29           | 165         | 159         | 40         | 1526         | 1336         |
| 30           | 127         | 127         | 31         | 1494         | 1296         |
| 31           | 153         | 150         | 38         | 1314         | 1248         |
| <b>Total</b> | <b>3061</b> | <b>3005</b> | <b>755</b> | <b>35500</b> | <b>33783</b> |

Σχήμα 52 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιούλιο



Πίνακας 31 : Ωριαία αποτελέσματα για την 2<sup>η</sup> Ιανουαρίου

| Day          | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Eqpt Load (kWh) | Terminal Unit Htg Input (kWh) | Ventilation Fan (kWh) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1            | 27                               | 27                               | 7                             | 6                     |
| 2            | 18                               | 18                               | 5                             | 6                     |
| 3            | 10                               | 10                               | 3                             | 6                     |
| 4            | 6                                | 6                                | 2                             | 3                     |
| 5            | 0                                | 0                                | 0                             | 0                     |
| 6            | 65                               | 65                               | 15                            | 6                     |
| 7            | 25                               | 25                               | 6                             | 6                     |
| 8            | 25                               | 25                               | 6                             | 6                     |
| 9            | 69                               | 69                               | 16                            | 6                     |
| 10           | 61                               | 61                               | 15                            | 6                     |
| 11           | 40                               | 40                               | 10                            | 3                     |
| 12           | 101                              | 101                              | 24                            | 0                     |
| 13           | 154                              | 154                              | 36                            | 6                     |
| 14           | 77                               | 77                               | 20                            | 6                     |
| 15           | 73                               | 73                               | 20                            | 6                     |
| 16           | 75                               | 75                               | 19                            | 6                     |
| 17           | 37                               | 37                               | 10                            | 6                     |
| 18           | 41                               | 41                               | 9                             | 3                     |
| 19           | 3                                | 3                                | 1                             | 0                     |
| 20           | 72                               | 72                               | 16                            | 6                     |
| 21           | 20                               | 20                               | 5                             | 6                     |
| 22           | 4                                | 4                                | 1                             | 6                     |
| 23           | 4                                | 4                                | 1                             | 6                     |
| 24           | 5                                | 5                                | 2                             | 6                     |
| 25           | 13                               | 13                               | 3                             | 3                     |
| 26           | 0                                | 0                                | 0                             | 0                     |
| 27           | 22                               | 22                               | 5                             | 6                     |
| 28           | 36                               | 36                               | 9                             | 6                     |
| 29           | 38                               | 38                               | 9                             | 6                     |
| 30           | 32                               | 32                               | 7                             | 6                     |
| 31           | 11                               | 11                               | 3                             | 6                     |
| <b>Total</b> | <b>1165</b>                      | <b>1165</b>                      | <b>281</b>                    | <b>144</b>            |



Σχήμα 53 : Ωριαία αποτελέσματα για την 2<sup>η</sup> Ιανουαρίου

Πίνακας 32 : Συνολικά φορτία σχεδίασης ψύξης –θέρμανσης για το σύστημα VRF.

|  | DESIGN COOLING  |                 |               | DESIGN HEATING   |                 |               |
|--|---|-----------------|---------------|--|-----------------|---------------|
|  | COOLING DATA AT Jun 1400<br>COOLING OA DB / WB 33,1 °C<br>/ 20,5 °C |                 |               | HEATING DATA AT DES<br>HTG<br>HEATING OA DB / WB 1,1 °C<br>/ -1,8 °C |                 |               |
| ZONE LOADS                             | Details   | Sensible<br>(W) | Latent<br>(W) | Details  | Sensible<br>(W) | Latent<br>(W) |
| Window & Skylight<br>Solar Loads       | 265 m <sup>2</sup>  | 27884           | -             | 265 m <sup>2</sup>   | -               | -             |
| Wall Transmission                      | 619 m <sup>2</sup>  | 8311            | -             | 619 m <sup>2</sup>   | 5647            | -             |
| Roof Transmission                      | 580 m <sup>2</sup>  | 9710            | -             | 580 m <sup>2</sup>   | 4578            | -             |
| Window<br>Transmission                 | 265 m <sup>2</sup>  | 6392            | -             | 265 m <sup>2</sup>   | 17139           | -             |
| Skylight<br>Transmission               | 0 m <sup>2</sup>  | 0               | -             | 0 m <sup>2</sup>   | 0               | -             |
| Door Loads                             | 4 m <sup>2</sup>  | 411             | -             | 4 m <sup>2</sup>   | 277             | -             |
| Floor Transmission                     | 0 m <sup>2</sup>  | 0               | -             | 0 m <sup>2</sup>   | 0               | -             |
| Partitions                             | 0 m <sup>2</sup>  | 0               | -             | 0 m <sup>2</sup>   | 0               | -             |
| Ceiling                                | 0 m <sup>2</sup>  | 0               | -             | 0 m <sup>2</sup>   | 0               | -             |
| Overhead Lighting                      | 14642 W   | 11566           | -             | 0  | 0               | -             |
| Task Lighting                          | 0 W   | 0               | -             | 0  | 0               | -             |
| Electric Equipment                     | 20279 W   | 18085           | -             | 0  | 0               | -             |
| People                                 | 134   | 7089            | 9088          | 0  | 0               | 0             |
| Infiltration                           | -   | 0               | 0             | -  | 0               | 0             |
| Miscellaneous                          | -   | 0               | 0             | -  | 0               | 0             |
| Safety Factor                          | 0% / 0%   | 0               | 0             | 0%   | 0               | 0             |
| <b>&gt;&gt; Total Zone Loads</b>       | <b>-</b>  | <b>89447</b>    | <b>9088</b>   | <b>-</b>   | <b>27641</b>    | <b>0</b>      |
| Zone Conditioning                      | -   | 104912          | 9088          | -  | 27898           | 0             |
| Plenum Wall Load                       | 0%  | 0               | -             | 0  | 0               | -             |
| Plenum Roof Load                       | 0%  | 0               | -             | 0  | 0               | -             |
| Plenum Lighting<br>Load                | 0%  | 0               | -             | 0  | 0               | -             |
| Exhaust Fan Load                       | 2527 L/s  | 574             | -             | 2527 L/s   | -574            | -             |
| Ventilation Load                       | 2527 L/s  | 12351           | -1612         | 2527 L/s   | 30588           | 0             |
| Ventilation Fan Load                   | 2527 L/s  | 574             | -             | 2527 L/s   | -574            | -             |
| Space Fan Coil Fans                    | -   | 2172            | -             | -  | -2172           | -             |
| Duct Heat Gain / Loss                  | 0%  | 0               | -             | 0%   | 0               | -             |
| <b>&gt;&gt; Total System<br/>Loads</b> | <b>-</b>  | <b>120583</b>   | <b>7476</b>   | <b>-</b>   | <b>55165</b>    | <b>0</b>      |
| Cooling Coil                           | -   | 16129           | 0             | -  | 0               | 0             |
| Heating Coil                           | -   | 0               | -             | -  | 29749           | -             |

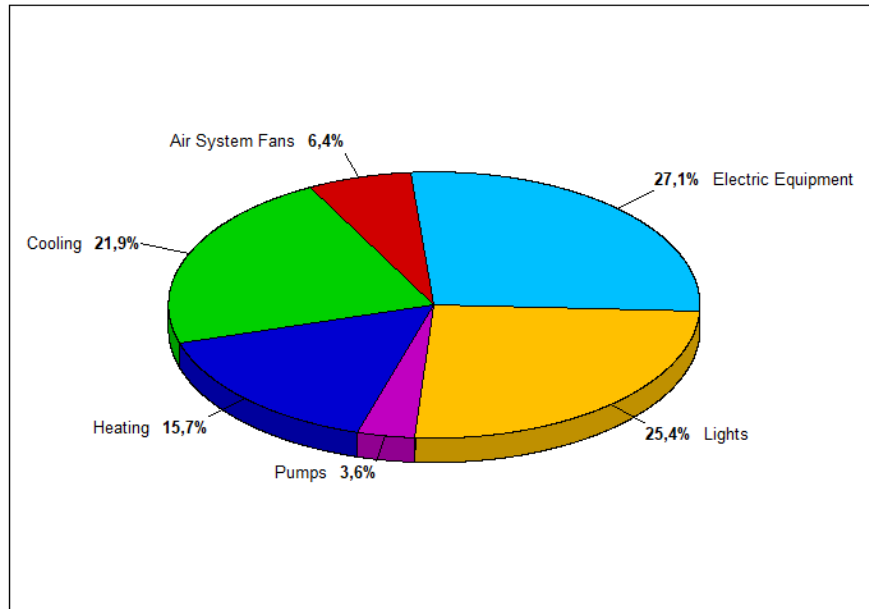
|                                   |      |                                      |               |             |                                      |              |          |
|-----------------------------------|------|--------------------------------------|---------------|-------------|--------------------------------------|--------------|----------|
| Terminal Cooling                  | Unit | -                                    | 104454        | 7449        | -                                    | 0            | 0        |
| Terminal Heating                  | Unit | -                                    | 0             | -           | -                                    | 25417        | -        |
| <b>&gt;&gt;Total Conditioning</b> |      | -                                    | <b>120583</b> | <b>7449</b> | -                                    | <b>55165</b> | <b>0</b> |
| <b>Key:</b>                       |      | <b>Positive values are clg loads</b> |               |             | <b>Positive values are htg loads</b> |              |          |
|                                   |      | <b>Negative values are htg loads</b> |               |             | <b>Negative values are clg loads</b> |              |          |

### 5.3 Ενεργειακή Ανάλυση των δύο συστημάτων

Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα του λογισμικού που περιλαμβάνουν τα ετήσια ενεργειακά κόστη των δύο συστημάτων , ακόμα αναφέρονται τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την ενεργειακή κάλυψη του κτιρίου και στις δύο περιπτώσεις. Επιπρόσθετα παρουσιάζεται σε ποσοστό η ενεργειακή κάλυψη του κτιρίου που αφορά εκτός από την ψύξη και θέρμανση αλλά και την ενέργεια που καταναλώνεται από το φωτισμό και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό

#### 5.3.1 Σύστημα Γεωθερμίας

| <b>Component</b>          | <b>Geothermia (€)</b> | <b>Geothermia (€/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Geothermia (%)</b> |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Air System Fans           | 1.312                 | 0,719                               | 6,4                   |
| Cooling                   | 4.497                 | 2,464                               | 21,9                  |
| Heating                   | 3.223                 | 1,767                               | 15,7                  |
| Pumps                     | 736                   | 0,403                               | 3,6                   |
| Heat Rejection Fans       | 0                     | 0,000                               | 0,0                   |
| <b>HVAC Sub-Total</b>     | <b>9.768</b>          | <b>5,353</b>                        | <b>47,5</b>           |
| Lights                    | 5.229                 | 2,866                               | 25,4                  |
| Electric Equipment        | 5.579                 | 3,058                               | 27,1                  |
| Misc. Electric            | 0                     | 0,000                               | 0,0                   |
| Misc. Fuel Use            | 0                     | 0,000                               | 0,0                   |
| <b>Non-HVAC Sub-Total</b> | <b>10.809</b>         | <b>5,923</b>                        | <b>52,5</b>           |



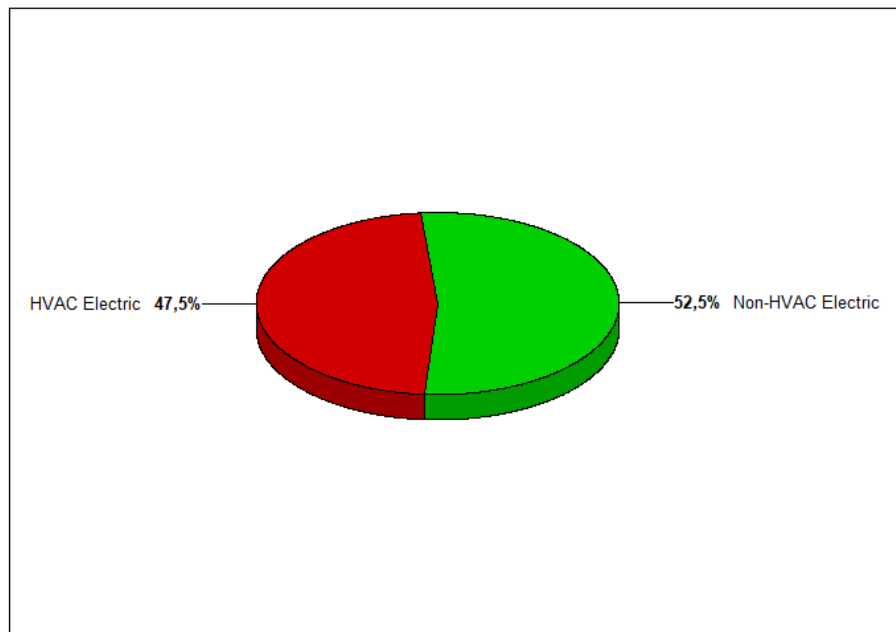
|  |               |               |              |
|--|---------------|---------------|--------------|
| <b>Grand Total</b>                       | <b>20.576</b> | <b>11,276</b> | <b>100,0</b> |
| Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )       |               | 1824,8        |              |
| Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> ) |               | 1824,8        |              |

Πίνακας 33 : Ετήσιο κόστος του συστήματος της γεωθερμίας



Σχήμα 54 : Ετήσιο ποσοστό κατανάλωσης

Σχήμα 55 : Ετήσιο ποσοστό για κλιματισμό και άλλα φορτία



| <b>Component</b>   | <b>Load<br/>(kWh)</b> | <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b> |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|
| Cooling Coil Loads | 171.709               | 94,100                     |
| Heating Coil Loads | 29.432                | 16,129                     |
| <b>Grand Total</b> | <b>201.140</b>        | <b>110,229</b>             |

Πίνακας 34 : Συνολική κατανάλωση θέρμανσης - ψύξης

Πίνακας 35 : Αναλυτική κατανάλωση στο κτίριο

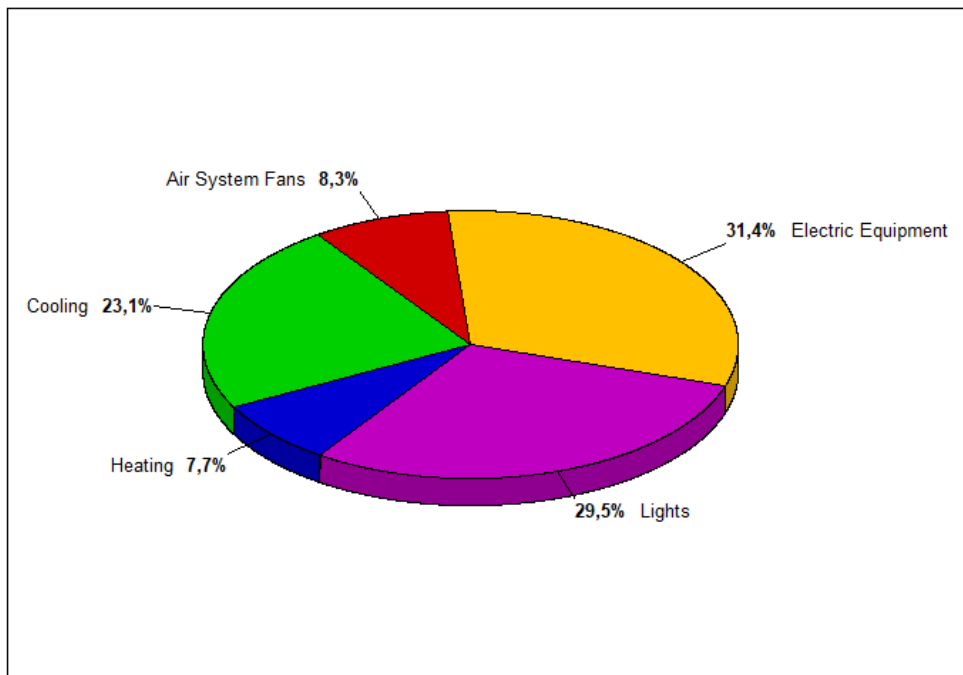
| <b>Component</b>          | <b>Site Energy<br/>(kWh)</b> | <b>Site Energy<br/>(kWh/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Source Energy<br/>(kWh)</b> | <b>Source Energy<br/>(kWh/m<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------|------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Air System Fans           | 11.078                       | 6,071                                      | 39.563                         | 21,682                                       |
| Cooling                   | 38.371                       | 21,028                                     | 137.039                        | 75,100                                       |
| Heating                   | 27.381                       | 15,005                                     | 97.788                         | 53,590                                       |
| Pumps                     | 6.263                        | 3,433                                      | 22.370                         | 12,259                                       |
| Heat Rejection Fans       | 0                            | 0,000                                      | 0                              | 0,000  |
| <b>HVAC Sub-Total</b>     | <b>83.093</b>                | <b>45,537</b>                              | <b>296.760</b>                 | <b>162,630</b>                               |
| Lights                    | 44.122                       | 24,180                                     | 157.580                        | 86,357                                       |
| Electric Equipment        | 47.089                       | 25,806                                     | 168.174                        | 92,163                                       |
| Misc. Electric            | 0                            | 0,000                                      | 0                              | 0,000  |
| Misc. Fuel Use            | 0                            | 0,000                                      | 0                              | 0,000  |
| <b>Non-HVAC Sub-Total</b> | <b>91.211</b>                | <b>49,986</b>                              | <b>325.754</b>                 | <b>178,520</b>                               |
| <b>Grand Total</b>        | <b>174.304</b>               | <b>95,522</b>                              | <b>622.515</b>                 | <b>341,150</b>                               |

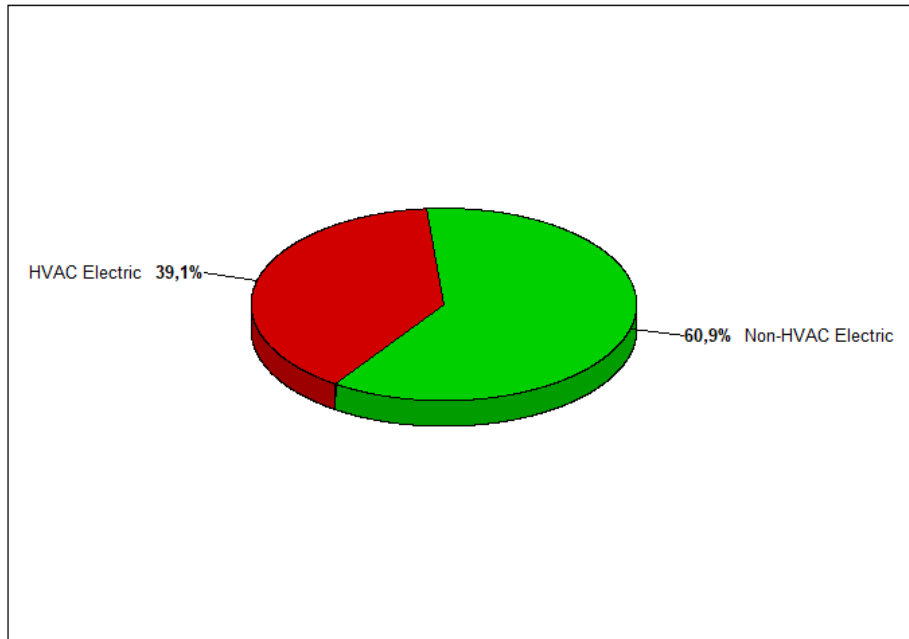
### 5.3.2 Σύστημα κλιματισμού με ψυκτικό υγρό μεταβλητού όγκου VRF

Πίνακας 36 : Ετήσιο κόστος του συστήματος VRF

| Component                                | VRF (€)       | VRF (€/m <sup>2</sup> ) | VRF (%)      |
|--|---------------|-------------------------|--------------|
| Air System Fans                          | 1.467         | 0,804                   | 8,3          |
| Cooling                                  | 4.107         | 2,251                   | 23,1         |
| Heating                                  | 1.375         | 0,754                   | 7,7          |
| Pumps                                    | 0             | 0,000                   | 0,0          |
| Heat Rejection Fans                      | 0             | 0,000                   | 0,0          |
| <b>HVAC Sub-Total</b>                    | <b>6.950</b>  | <b>3,809</b>            | <b>39,1</b>  |
| Lights                                   | 5.238         | 2,871                   | 29,5         |
| Electric Equipment                       | 5.589         | 3,063                   | 31,4         |
| Misc. Electric                           | 0             | 0,000                   | 0,0          |
| Misc. Fuel Use                           | 0             | 0,000                   | 0,0          |
| <b>Non-HVAC Sub-Total</b>                | <b>10.827</b> | <b>5,934</b>            | <b>60,9</b>  |
| <b>Grand Total</b>                       | <b>17.777</b> | <b>9,742</b>            | <b>100,0</b> |
| Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )       |               | 1824,8                  |              |
| Conditioned Floor Area (m <sup>2</sup> ) |               | 1824,8                  |              |

Σχήμα 55 : Ετήσιο ποσοστό για κλιματισμό και άλλα φορτία





Σχήμα 56 : Ετήσιο ποσοστό κατανάλωσης

Πίνακας 37 : Συνολική κατανάλωση θέρμανσης - ψύξης

| <b>Component</b>   | <b>Load (kWh)</b> | <b>(kWh/m<sup>2</sup>)</b> |
|--------------------|-------------------|----------------------------|
| Cooling Coil Loads | 153.630           | 84,193                     |
| Heating Coil Loads | 13.722            | 7,520                      |
| <b>Grand Total</b> | <b>167.353</b>    | <b>91,713</b>              |

| <b>Component</b>          | <b>Site Energy (kWh)</b> | <b>Site Energy (kWh/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Source Energy (kWh)</b> | <b>Source Energy (kWh/m<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------|--------------------------|--|----------------------------|--|
| Air System Fans           | 12.369                   | 6,779                                  | 44.176                     | 24,209                                   |
| Cooling                   | 34.860                   | 19,104                                 | 124.500                    | 68,228                                   |
| Heating                   | 11.584                   | 6,348                                  | 41.370                     | 22,672                                   |
| Pumps                     | 0                        | 0,000                                  | 0                          | 0,000                                    |
| Heat Rejection Fans       | 0                        | 0,000                                  | 0                          | 0,000                                    |
| <b>HVAC Sub-Total</b>     | <b>58.813</b>            | <b>32,231</b>                          | <b>210.046</b>             | <b>115,109</b>                           |
| Lights                    | 44.122                   | 24,180                                 | 157.580                    | 86,357                                   |
| Electric Equipment        | 47.089                   | 25,806                                 | 168.174                    | 92,163                                   |
| Misc. Electric            | 0                        | 0,000                                  | 0                          | 0,000                                    |
| Misc. Fuel Use            | 0                        | 0,000                                  | 0                          | 0,000                                    |
| <b>Non-HVAC Sub-Total</b> | <b>91.211</b>            | <b>49,986</b>                          | <b>325.755</b>             | <b>178,520</b>                           |
| <b>Grand Total</b>        | <b>150.024</b>           | <b>82,216</b>                          | <b>535.800</b>             | <b>293,629</b>                           |

Πίνακας 38 : Αναλυτική κατανάλωση στο κτίριο

#### 5.4 Σύγκριση των δύο συστημάτων

Μετά την παράθεση σε πίνακες και γραφήματα των δύο συστημάτων γίνεται αντιληπτό πως τα ποσοστά της ψύξης είναι σχεδόν ίδια και στους δύο τύπους εγκατάστασης του κτιρίου. Αντίθετα η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας που χρειάζεται το κτίριο τους χειμερινούς μήνες δεν είναι παρόμοια ( σχήματα 54 και 55 ). Παρατηρείται ότι η κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση είναι πολύ μεγαλύτερη στο σύστημα της γεωθερμίας , αυτό οφείλεται διότι στο σύστημα VRF χρησιμοποιούνται τοπικοί εναλλάκτες, οι οποίοι αναμιγνύουν ένα μέρος του ήδη κλιματιζόμενου αέρα με τον νωπό αέρα που εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Αυτός αέρας που πρέπει να έχει την επιθυμητή θερμοκρασία δεν έχει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αλλά μια ενδιάμεση

θερμοκρασία. Σε συνδυασμό με την θερμότητα που εκλύεται από τον φωτισμό και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό οι απαιτήσεις του κτιρίου για θέρμανση μειώνονται αρκετά.

Αντίθετα στο σύστημα της γεωθερμίας , ο νωπός αέρας βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και πρέπει να θερμανθεί εξ ολοκλήρου, αυξάνοντας την ενέργεια που πρέπει να δαπανηθεί για να γίνει αυτή η διαδικασία. Επιπρόσθετα είναι απαραίτητη η χρήση κυκλοφορητών στο σύστημα της γεωθερμίας , οι οποίοι χρειάζονται ενέργεια για την λειτουργία τους, άρα αυξάνεται η κατανάλωση της γεωθερμίας περισσότερο.

Όσο αναφορά στο κόστος χρήσης των δύο συστημάτων ( Πίνακες 33 & 36 ) παρατηρείται πως το VRF είναι πιο οικονομικό. Το ετήσιο κόστος κατανάλωσης στην περίπτωση της γεωθερμίας ανέρχεται στα 20.576 €, ενώ το κόστος στο σύστημα VRF είναι 17.777 €.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1 Συμπέρασμα

Το πιο σημαντικό στην ενεργειακή μελέτη ενός κτιρίου είναι η κατάλληλη μελέτη για τον σωστό υπολογισμό των απαιτήσεων σε θερμικό και ψυκτικό φορτίο που κάνει το κτίριο λειτουργικό. Ακόμα απαραίτητος είναι ο υπολογισμός για τον απαιτούμενο αέρα εισαγωγής. Έπειτα είναι χρήσιμη η σύγκριση μεταξύ διαφόρων συστημάτων κλιματισμού για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος για ένα κτίριο. Για την σωστή επιλογή πρέπει να υπολογιστεί το κόστος εγκατάστασης, απαραίτητος είναι ο ετήσιος υπολογισμός κατανάλωσης του εκάστοτε συστήματος, οι ενεργειακές καταναλώσεις του συστήματος για την κάλυψη των ψυκτικών και θερμικών απαιτήσεων.

Σε αυτή την διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για δύο διαφορετικά συστήματα κλιματισμού. Το πρώτο είναι το σύστημα της γεωθερμίας και το δεύτερο είναι το σύστημα VRF. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο προηγούμενο κεφάλαιο το ετήσιο κόστος ετήσιας κατανάλωσης με την χρήση VRF είναι αρκετά χαμηλότερο από το κόστος στην περίπτωση της γεωθερμίας. Ακόμα το κόστος εγκατάστασής της γεωθερμίας είναι πιο δαπανηρό από το αντίστοιχο του VRF επειδή στην γεωθερμία είναι απαραίτητη η χρήση γεωτρήσεων, κυκλοφορητών για την κίνηση του νερού και εξοπλισμός που αυξάνει κατά πολύ το κόστος εγκατάστασης του. Επιπρόσθετα γίνεται κατανοητό πως το VRF είναι πιο αποδοτικό από την γεωθερμία ειδικά στα θερμικά φορτία που απαιτούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Η ενεργειακή κάλυψη με την χρήση του συστήματος VRF είναι αρκετά χαμηλότερη διότι σε στο συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιούνται εναλλάκτες σε αντίθεση με το σύστημα της γεωθερμίας που δεν τους χρησιμοποιούν. Η λειτουργία των εναλλακτών βοηθάει στην μείωση της ενέργειας που απαιτείται για τη σωστή θερμοκρασία που πρέπει να έχει ο νωπός αέρας που εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους διότι μεταφέρεται θερμότητα σε αυτόν από τον αέρα που εξάγεται από το κτίριο. Ακόμα σε αυτό το σύστημα απουσιάζουν

οι κυκλοφορητές του νερού , που υπάρχουν στο σύστημα της γεωθερμίας, μειώνοντας ακόμα περισσότερο την κατανάλωση ενέργειας.

Γι' αυτούς τους λόγους στο συγκεκριμένο κτίριο η επιλογή του συστήματος VRF είναι η καταλληλότερη γιατί είναι πιο αποδοτικό με χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και ετήσιο κόστος.



## Bibliography

### Συγγράματα

1. Βραχόπουλος,Μ, 'Ψυκτικές διατάξεις', ΙΩΝ, 2000
2. ASHRAE, Handbook of Fundamentals, American Society of Heating,Refrigeration and Air-conditioning EnginE.E.R.s,2010
3. Cengel Y, Μεταφορά Θερμότητας, Μια πρακτική Προσέγγιση, Τζιόλα ,2005
4. Ochsner K. Geothermal Heat Pumps A guide for planning and installing, Earthscan, 2008
5. Βραχόπουλος,Μ, Κούκου Μ., Καρύτσα , Κανονική Γεωθερμία ,Αρχή Σχεδιασμου Γεωθερμικών Συστημάτων και Εφαρμογών ,Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράματα και Βοηθήματα, ,2015
- 6.
7. Σελλούντος Β.Η., Θέρμανση-Κλιματισμός, Μελέτη, Κατασκευή, Εγκαταστάσεις, Υλικά, Δίκτυα, Εξοπλισμός , Γ΄ Έκδοση,ΤεΚΔΟΤΙΚΗ ΣΕΛΚΑ-4Μ, 2002
8. Banks,D. An introduction to thermogeology-ground source heating and cooling 2nd edition 2012, Wiley-Blackwell
9. Λέγγας Σ.Ν., Παρίκος Ν.Ι., Θέρμανση Αερισμός Κλιματισμός, Αθήνα 1992
10. Κ.Χ. Λέφα, «Αερισμός Και κλιματισμός», Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1986
11. Κ.ΕΝ.Α.Κ. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων . Τ.Ε.Ε., 2008
12. Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών εκπαιδευτικό υλικό , Α΄ επιθεώρηση κτιρίων τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας Α΄ έκδοση, 2011
13. Κατσιμίχας Σ., Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Ετήσια απόδοση συστημάτων θέρμανσης με Λέβητες και Αντλίες Θερμότητας ,Ημερίδα ΠΣΔΜ-Η, Αθήνα 2013

14. Μητσάκης Ε. , Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Αντλίες θερμότητας αέρα – νερού, Σεμινάριο Θερμογkάζ, Αθήνα, 2012
15. Mendrinos.D, Karagiorgas.M, Karytsas.C, Use of Geothermal Heat Pumps for Heating of Buildings in Greece, presented in the OPET – Low Temperatures Systems in Existing/ Historical Buildings Workshop, Maastricht,Netherlands,March2002
16. Μπινιάρης Γεώργιος, «Εξοικονόμηση ενέργειας θέρμανσης - κλιματισμού με γεωθερμία σε κατοικία», Διπλωματική εργασία, Ηράκλειο 2012