



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ενεργειακή ανάλυση θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου Η.Μ.Μ.Υ.  
του Π.Θ. με Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και αντλίες  
θερμότητας αέρα-νερού

---

Μεταπτυχιακή Εργασία

Υπό

Γιανναράκη Μιχαήλ & Παππά-Βαφιά Παναγιώτη

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Βόλος, Μάρτιος 2017

C.O.P.yright© 2016 Γιανναράκης Μιχαήλ & Παππάς-Βαφιάς Παναγιώτης

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

## Εξεταστική Επιτροπή

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος  
Καθηγητής,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Μποντόζογλου Βασίλης  
Καθηγητής,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Σταπουντζής Ερρίκος  
Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, οφείλουμε να ευχαριστήσω θερμά για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

Τον κ.Ανδρίτσο Νικόλαο που μας έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο θέμα και μας καθοδήγησε κατά την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το κ.Ζημέρη που μας βοήθησε με τις πολύτιμες συμβουλές του στην αποπεράτωση της εργασίας.

## **Abstract**

### **Comparative Analysis of heating and cooling in E.C.E building using geothermal heat pumps and air-water heat pumps**

The aim of this thesis is the energy study conduct and the comparison of two modern heating-cooling systems, the geothermal open type heat pump and the heat pump air-water of the building of the department of Electrical and Computer EnginE.E.R.ing in the University of Thessaly. The most important tool of the implementation of this study was the software of H.A.P (Hourly Analysis Program, Carrier).

The first chapter is a presentation on the European Union Energy policy in the building sector and the energy policy of Greece, as the building which will be studied, is located in Volos city and constructed based on European Standards. The second chapter presents all types of heat pumps and constitutes a more extensive reference of the two types of pumps that will be studied in this thesis. The third chapter of this thesis is a fully presentation of all mathematical formulas and calculations used by the H.A.P tool. The fourth chapter is a comprehensive reference of passive elements of the building (properties of building shell, orientation, geographical location) and the presentation of all data entered in the H.A.P tool. The fifth chapter thoroughly examines the results obtained by H.A.P tool and presents a comparison between the two studied methods. Finally, the last chapter gives a conclusion of the study and future research opportunities.

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διεξαγωγή ενεργειακής μελέτης και η σύγκριση δύο σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης-ψύξης, της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανοικτού τύπου και της αντλίας θερμότητας αέρα νερού για το κτίριο του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Π.Θ. Σημαντικό εργαλείο για την διεξαγωγή αυτής της μελέτης αποτελεί το λογισμικό πρόγραμμα H.A.P. 5.0 (Hourly Analysis Program Carrier) .

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση στην ενεργειακή πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο κτιριακό τομέα αλλά και της ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδος καθώς το κτίριο με το οποίο θα ασχοληθούμε βρίσκεται στο Βόλο και κατασκευάστηκε βάση ευρωπαϊκών προτύπων. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται όλοι οι τύποι των αντλιών θερμότητας και γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά στα δύο είδη αντλιών που θα εξετάσουμε στη μελέτη μας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλοι οι μαθηματικοί τύποι αλλά και οι υπολογισμοί που χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα H.A.P., ώστε να γίνει εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά των παθητικών στοιχείων του κτιρίου (κέλυφος, προσανατολισμός, τοποθεσία) αλλά και η παρουσίαση όλων των δεδομένων που εισήχθησαν στο πρόγραμμα. Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζονται ενδελεχώς τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από το πρόγραμμα και γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα και κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## Περιεχόμενα

Εξεταστική Επιτροπή .....	iii
Ευχαριστίες.....	iv
Abstract.....	v
Περίληψη.....	vi
Κατάλογος σχημάτων .....	x
Κατάλογος πινάκων.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον κτιριακό τομέα.....	1
1.2 Η Ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας στον κτιριακό τομέα.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	8
ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	8
2.1 Εισαγωγή .....	8
2.2 Αρχή Λειτουργίας.....	9
2.3 Βαθμός επίδοσης αντλιών θερμότητας.....	10
2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας.....	14
2.5 Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας .....	15
2.5.1 Αντλίες θερμότητας αέρα / αέρα .....	15
2.5.2 Αντλίες θερμότητας αέρα / νερού.....	16
2.5.3 Αντλίες θερμότητας νερού / νερού .....	17
2.5.4 Αντλίες θερμότητας νερού / αέρα.....	18
2.5.5 Αντλίες θερμότητας εδάφους / νερού .....	19
2.5.6 Αντλίες θερμότητας εδάφους / αέρα.....	20
2.6 Αντλίες Θερμότητας Αέρα – Νερού.....	20
2.6.1 Πηγή θερμότητας.....	20
2.6.2 Πως Λειτουργεί η Αντλία Θερμότητας Αέρα – Νερού .....	21
2.6.3 Στοιχεία Αντλιών Θερμότητας Αέρα Νερού .....	22
2.6.4 Αντλίες Θερμότητας τύπου INVERTER.....	24
2.7 Γεωθερμία-Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας.....	25
2.7.1 Ορισμός Κανονικής γεωθερμίας .....	25
2.7.2 Κατάταξη Γεωθερμικών συστημάτων .....	25
2.7.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας .....	27

2.7.4	Είδη γεωθερμικών αντλιών.....	28
2.7.5	Η λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών .....	28
2.7.6	Λειτουργία κλειστών γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας .....	29
2.7.7	Λειτουργία ανοικτών γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας .....	30
2.7.8	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Γεωθερμίας.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....		34
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ .....		34
3.1	Εισαγωγή .....	34
3.1.1	Θερμικά φορτία κλιματισμού .....	35
3.1.2	Εξωτερικά θερμικά κέρδη .....	36
3.1.3	Εσωτερικά θερμικά φορτία.....	36
3.1.4	Το θερμικό κέρδος του χώρου .....	36
3.1.5	Το ψυκτικό φορτίο του χώρου.....	37
3.2	Μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικών φορτίων .....	38
3.3	Μέθοδος CLTD/CLF της ASHRAE.....	39
3.3.1	Εξωτερικές οροφές .....	40
3.3.2	Εξωτερικοί τοίχοι (τοιχοποιίες – δοκοί – υποστυλώματα).....	43
3.3.3	Εξωτερικά παράθυρα.....	43
3.3.4	Εσωτερικά δομικά στοιχεία .....	44
3.3.5	Εσωτερικός φωτισμός.....	45
3.3.6	Άτομα.....	46
3.3.7	Διάφορες συσκευές.....	47
3.3.8	Αερισμός κτιρίου .....	48
3.4	Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας.....	50
3.5	Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ραδιενέργεια.....	52
3.5.1	Θερμική ακτινοβολία.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....		56
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ H.A.P. ....		56
4.1	Το λογισμικό Hourly Analysis Program (HAP 5.0) .....	56
4.2	Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου .....	58
4.3.1	Χαρακτηριστικά Κτιρίου .....	64
4.3.2	Χρονοδιαγράμματα.....	67
4.4	Κλιματολογικά δεδομένα .....	70



4.5 Συστήματα Θέρμανσης Κλιματισμού.....	74
4.5.1 Δεδομένα Γ.Α.Θ. ανοιχτού τύπου.....	75
4.5.2 Αντλίες αέρα –νερού .....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	83
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....	83
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	83
5.2 Σχεδιαστική ανάλυση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας .....	84
5.3 Σχεδιαστική ανάλυση αντλίας Θερμότητας Αέρα-Νερού .....	89
5.4 Ενεργειακή ανάλυση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας .....	93
5.5 Ενεργειακή ανάλυση αντλίας θερμότητας αέρα-νερού .....	96
5.6 Κόστος εγκατάστασης με Αντλία Θερμότητας Αέρα Νερού .....	99
5.7 Κόστος εγκατάστασης με Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας Ανοιχτού τύπου .....	100
5.8 Σύγκριση κόστους θέρμανσης-ψύξης των μεθόδων .....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	105
6.1 Συμπεράσματα .....	105
6.2 Προτάσεις .....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107
Συγγράματα .....	107
Επιστημονικά άρθρα-Δημοσιεύσεις .....	107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	109
Παράρτημα 1 .....	109
Παράρτημα 2 .....	110

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1 : Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τομέα.....	5
Σχήμα 2 : Αρχή λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας ( <a href="http://www.mp-energy.gr/αντλίες-θερμότητας">www.mp-energy.gr/αντλίες-θερμότητας</a> ) .....	10
Σχήμα 3: C.O.P. αντλία θερμότητας.....	11
Σχήμα 4: Αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα ( <a href="http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas">http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas</a> ) .....	16
Σχήμα 5: Κύκλος αντλίας θερμότητας αέρα/νερού ( <a href="http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika">http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika</a> ) .....	17
Σχήμα 6: Αντλία θερμότητας νερού/νερού ( <a href="https://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία_Θερμότητας">https://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία_Θερμότητας</a> ) .....	18
Σχήμα 7: Αντλία θερμότητας νερού/νερού ( <a href="http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika">http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika</a> ) .....	19
Σχήμα 8: Αντλία θερμότητας Compact( <a href="http://www.thermoland.gr/page/projectheatpump1.html">http://www.thermoland.gr/page/projectheatpump1.html</a> ).....	21
Σχήμα 9: Αντλία θερμότητας τύπου Split ( <a href="http://www.zeon.com.gr/permalink/3191.html">http://www.zeon.com.gr/permalink/3191.html</a> ) .....	22
Σχήμα 10: Εξωτερική μονάδα αντλίας θερμότητας (αέρα/νερού <a href="http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika">http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika</a> ) ..	24
Σχήμα 11: Γεωθερμικό κύκλωμα Αντλίας Θερμότητας ( <a href="http://thermansinews.blogspot.gr">thermansinews.blogspot.gr</a> ) .....	30
Σχήμα 12: Ανοικτό Γεωθερμικό Σύστημα οικιστικό ( <a href="http://geoergo.gr/geothermia_egkatastasi.html">http://geoergo.gr/geothermia_egkatastasi.html</a> ) .....	32
Σχήμα 13 : Γεωτρήσεις γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανοικτού τύπου ( <a href="http://airconditioningsolutions.net/geothermal-loop">airconditioningsolutions.net/geothermal-loop</a> ) .....	33
Σχήμα 14: Ρυθμός απορρόφησης θερμικής ακτινοβολίας.....	37
Σχήμα 15: Στιγμιαίο θερμικό κέρδος, ψυκτικό φορτίο και ρυθμός αφαίρεσης θερμότητας σε ένα χώρο .....	38
Σχήμα 16: Ψυχομετρικός χάρτης ( (ASHRAE, 2010).....	50
Σχήμα 17: Περιβάλλον λογισμικού H.A.P. ....	58
Σχήμα 18: Κάτοψη Ισογείου.....	59
Σχήμα 19: Κάτοψη Α' Ορόφου .....	60
Σχήμα 20: Κάτοψη Β' Ορόφου .....	61
Σχήμα 21: Κάτοψη Γ' Ορόφου.....	62
Σχήμα 22: Πρόσοψη .....	63
Σχήμα 23: Εισαγωγή στοιχείων για κάθε χώρο .....	64
Σχήμα 24: Κλιματικές ζώνες Ελλάδος ( (K.EN.A.K., 2008).....	71
Σχήμα 25: Θερμοκρασίες ξηρού και υγρού βολβού για το μήνα .....	73
Σχήμα 26: Συνδεσμολογία Γ.Α.Θ με FCU .....	75
Σχήμα 27 : Συνδεσμολογία Α.Θ Α/Ν με FCU.....	80
Σχήμα 28 : Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης .....	94
Σχήμα 29 : Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης .....	94
Σχήμα 30 : Ετήσια κατανάλωση για όλες τις μέρες του χρόνου (Γ.Α.Θ).....	95
Σχήμα 31 : Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης .....	96
Σχήμα 32: Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης .....	97
Σχήμα 33 : Ετήσια κατανάλωση για όλες τις μέρες του χρόνου .....	98

Σχήμα 34 : Α.Θ Α/Ν ( <a href="http://www.globalclimat.ru/goods/chiller-fancoil-systems/cfs-air-chillers/carrier/30RQS-140/">http://www.globalclimat.ru/goods/chiller-fancoil-systems/cfs-air-chillers/carrier/30RQS-140/</a> ) .....	99
Σχήμα 35 : Γεωθερμική αντλία θερμότητας ( <a href="https://www.google.com/url?hl=el&amp;q=http://carrierrus.ru/product20.html&amp;source=gmail&amp;ust=1489156376146000&amp;usg=AFQjCNGd-HH3FSPBEF_xKN8wHDo7TLpHfKQ">https://www.google.com/url?hl=el&amp;q=http://carrierrus.ru/product20.html&amp;source=gmail&amp;ust=1489156376146000&amp;usg=AFQjCNGd-HH3FSPBEF_xKN8wHDo7TLpHfKQ</a> ) .....	101
Σχήμα 36 : Ετήσιο κόστος θέρμανσης –ψύξης με τις δύο μεθόδους σε ευρώ.....	102
Σχήμα 37 : Κόστος εγκατάστασης σε ευρώ.....	102
Σχήμα 38 : Ετήσιο κόστος θέρμανσης σε ευρώ και διαφορά .....	103

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Στρώματα κελύφους τύπου 1 .....	65
Πίνακας 2: Στρώματα κελύφους τύπου 2 .....	65
Πίνακας 3: Στρώματα κελύφους οροφής.....	66
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά θυρών .....	66
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά παραθύρων .....	66
Πίνακας 6: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή εργασιμων ημερών .....	67
Πίνακας 7: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή διακοπών-αργιών .....	67
Πίνακας 8: Εβδομαδιαία-Μηνιαία Κατανομή .....	68
Πίνακας 9: Ετήσια Κατανομή Αργιών .....	68
Πίνακας 10: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή εργασιμων ημερών (φωτισμός).....	69
Πίνακας 11: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή διακοπών-αργιών (φωτισμός) .....	69
Πίνακας 12: Εβδομαδιαία-Μηνιαία Κατανομή λειτουργίας (φωτισμός) .....	69
Πίνακας 13: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή εργασιμων ημερών (άτομα) .....	69
Πίνακας 14: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή διακοπών-αργιών (άτομα).....	69
Πίνακας 15: Εβδομαδιαία-Μηνιαία Κατανομή λειτουργίας (άτομα).....	70
Πίνακας 16: Κλιματικές ζώνες (Κ.ΕΝ.Α.Κ., 2008).....	71
Πίνακας 17: Παράμετροι Σχεδιασμού.....	72
Πίνακας 18 :Μηνιαίο Μέγιστο κέρδος ηλιακής ακτινοβολίας .....	73
Πίνακας 19: Γενικά χαρακτηριστικά Γ.Α.Θ.....	75
Πίνακας 20 : Δεδομένα κεντρικής εξωτερικής μονάδας .....	76
Πίνακας 21 Απόδοση ανεμιστήρα εξαερισμού .....	76
Πίνακας 22: Ζώνες και χώροι του κτιρίου.....	76
Πίνακας 23 Δεδομένα θερμοστάτη και ζωνών.....	78
Πίνακας 24: Δεδομένα τερματικών μονάδων.....	78
Πίνακας 25 : Δεδομένα διαστασιολόγησης ζωνών και παροχή αέρα.....	78
Πίνακας 26 : Δεδομένα εξοπλισμού μονάδας ψύξης.....	79
Πίνακας 27 :Δεδομένα διαστασιολόγησης εξοπλισμού .....	79
Πίνακας 28: Συστήματα κυκλοφορίας.....	79
Πίνακας 29: Γενικά χαρακτηριστικά Α.ΘΑ/Ν .....	80
Πίνακας 30: Δεδομένα κεντρικής εξωτερικής μονάδας .....	81
Πίνακας 31: Παροχή αέρα.....	81
Πίνακας 32: Δεδομένα θερμοστάτη και ζωνών.....	81
Πίνακας 33 : Δεδομένα τερματικών μονάδων.....	81

Πίνακας 34: Δεδομένα διαστασιολόγησης ζωνών παροχή αέρα.....	82
Πίνακας 35 : Δεδομένα διαστασιολόγησης .....	82
Πίνακας 36 : Δεδομένα μονάδας ψύξης .....	82
Πίνακας 37 : Δεδομένα κεντρικής εξωτερικής μονάδας .....	82
Πίνακας 38 : Δεδομένα αντλίας αέρα-νερού .....	82
Πίνακας 39 : Πληροφορίες συστήματος.....	84
Πίνακας 40 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας.....	84
Πίνακας 41 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας για θέρμανση.....	84
Πίνακας 42 : Προσημείωση αποτελεσμάτων .....	85
Πίνακας 43 : Μηνιαίες καταναλώσεις.....	85
Πίνακας 44 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιανουάριο .....	86
Πίνακας 45 : Ημερήσια Αποτελέσματα για τον Ιανουάριο .....	87
Πίνακας 46 : Συνολικά φορτία σχεδίασης ψύξης –θέρμανσης για την Γ.Α.Θ.....	88
Πίνακας 47 : Πληροφορίες συστήματος.....	89
Πίνακας 48 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας.....	89
Πίνακας 49 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας για θέρμανση.....	89
Πίνακας 50 : Προσημείωση Αποτελεσμάτων τερματικής μονάδας .....	90
Πίνακας 51 : Προσομοίωση αποτελεσμάτων (συνέχεια) .....	90
Πίνακας 52 : Ημερήσια αποτελέσματα για Φεβρουάριο.....	91
Πίνακας 53 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Φεβρουάριο .....	92
Πίνακας 54 : Συνολικά φορτία συστήματος με γεωθερμική αντλία.....	93
Πίνακας 55 : Συνολική κατανάλωση σε kWh .....	93
Πίνακας 56: Συνολική κατανάλωση σε θέρμανση ψύξη.....	95
Πίνακας 57 : Αναλυτική κατανάλωση κτιρίου.....	95
Πίνακας 58 : Συνολικά φορτία συστήματος με αντλία θερμότητας αέρα-νερού .....	96
Πίνακας 59 : Συνολική κατανάλωση σε kWh .....	96
Πίνακας 60 : Συνολική κατανάλωση σε θέρμανση –ψύξη.....	97
Πίνακας 61 : Αναλυτική κατανάλωση σε κτίριο .....	98

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Σύμφωνα με τη Συνθήκη της Λισαβόνας, η ενεργειακή πολιτική της Ε.Ε. επιδιώκει κυρίως την διασφάλιση της λειτουργίας της αγοράς εργασίας, αλλά και την διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης. Επίσης βασικός στόχος αποτελεί η προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και της εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέλος, η προώθηση της διασύνδεσης δικτύων διαδραματίζει με την σειρά του ένα κομβικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. (ΣΛΕΕ, 2010).

Κινητήρια δύναμη της σημερινής πολιτικής ατζέντας είναι η ολοκληρωμένη πολιτική για την προστασία του κλίματος και την ενέργεια, η οποία έλαβε τη στήριξη του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου τον Μάρτιο του 2007 και η οποία προσπαθεί να επιτύχει τα εξής έως το 2020.

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% τουλάχιστον, σε σχέση με το 1990
- αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση σε 20%
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η εξάλειψη της σπατάλης ενέργειας αποκτούν διαρκώς αυξανόμενη σημασία στην Ε.Ε. Οι ηγέτες της Ε.Ε. αποφάσισαν το 2007 να θέσουν ως στόχο για το 2020 τη μείωση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας στην Ένωση κατά 20%. Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως μέσο όχι μόνο για την επίτευξη βιώσιμου ενεργειακού εφοδιασμού, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τη βελτίωση της ασφάλειας του εφοδιασμού και τη μείωση των δαπανών για εισαγωγές, αλλά και για την προαγωγή της ανταγωνιστικότητας των ευρωπαϊκών οικονομιών.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο της 20ής και 21ης Μαρτίου 2014 τόνισε την αποτελεσματικότητα της ενεργειακής απόδοσης όσον αφορά τη μείωση του κόστους ενέργειας και της ενεργειακής εξάρτησης. Η Ε.Ε. έχει θέσει ελάχιστα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και κανόνες σχετικά με την επισημάνση και την οικολογική σχεδίαση των προϊόντων, των υπηρεσιών και των υποδομών. Τα μέτρα αυτά αποσκοπούν στη βελτίωση της απόδοσης σε όλα τα στάδια της ενεργειακής αλυσίδας, από τον ενεργειακό εφοδιασμό έως τη χρήση της ενέργειας από τους καταναλωτές.

Στην Ευρώπη το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, περίπου 40%, οφείλεται στον κτιριακό τομέα, ενώ ευθύνεται για το 40% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Με την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε αυτόν τον τομέα να αποτελεί προτεραιότητα και στο πλαίσιο των τριών βασικών στρατηγικών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) έως το 2020.

Όπως, σημαντική είναι και η συνεισφορά συστημάτων που αξιοποιούν της Α.Π.Ε. και εγκαθίστανται στις υποδομές των κτιρίων και κατοικιών. Με σκοπό να καλύψουν στο μέγιστο δυνατό τις ανάγκες σε θέρμανση/ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται από τους χρήστες. Η Ε.Ε., ήδη από το 1993, με την Οδηγία SAVE 93/76/ΕΟΚ έχει δώσει προτεραιότητα στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσα από την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στα κράτη μέλη της.

Για το λόγο αυτό, η εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης εντάσσονται στις βασικές προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής πολιτικής, 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.

Από το 1986, ο ρυθμός ζήτησης ενέργειας στα 27 κράτη μέλη είναι ανοδικός κατά 1% με 2% ετησίως, γεγονός που καθιστά αδύναμη την Ευρώπη να αντισταθμίσει τα ποσά ενέργειας που καταναλώνει με αυτά που παράγει, παρόλο που υπάρχει δυνατή λύση μέσω της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η εξοικονόμηση ενέργειας έχει αναδειχθεί σε μείζονα πολιτική προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ταυτόχρονα όμως θα πρέπει να γίνει μια συνολική προσπάθεια των καταναλωτών για μείωση της κατασπατάλησης ενέργειας. Τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι άνισα κατανεμημένα 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, το κτιριακό απόθεμα κτιρίων καταναλώνει (ουσιαστικά υπερκαταναλώνει) τεράστιες ποσότητες ενέργειας και απαιτείται γενικά 30% περισσότερη ενέργεια για την ικανοποίηση των συνθηκών θερμικής άνεσης, ιδιαίτερα στα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1980 (πριν την έναρξη ισχύος του Κανονισμού Θερμομόνωσης). Την τελευταία πενταετία μάλιστα, είχαμε αύξηση κατά 25% της συνολικής τελικής ενέργειας που χρειάζονται τα κτίρια (Σταυρόπουλος Μ. 1980).

Στον οικιακό τομέα, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία, η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά ελληνικό νοικοκυριό είναι περίπου 17.000 kWh (ή 1,45 τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου). Σε σύγκριση με άλλες μεσογειακές χώρες, παρουσιάζουμε ενεργειακή κατανάλωση σχεδόν 30% μεγαλύτερη της Ισπανίας και περίπου 50% μεγαλύτερη της Πορτογαλίας. Επίσης, η ενεργειακή θερμική κατανάλωση είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από βορειότερες χώρες, όπως η Δανία, η Γερμανία και η Βρετανία. Η ενέργεια στα ελληνικά νοικοκυριά δαπανάται κυρίως για θερμικές χρήσεις και συγκεκριμένα για θέρμανση των χώρων (περίπου 59% του συνόλου).

Αντίστοιχα υψηλή είναι και η περιβαλλοντική επιβάρυνση σε αέριους ρύπους εκπομπών CO<sub>2</sub>. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, οι κατοικίες στην Ελλάδα παράγουν περίπου 12 - 13 τόνους CO<sub>2</sub>/ κάτοικο / έτος , τιμή συγκριτικά μεγαλύτερη από όλες τις άλλες μεσογειακές χώρες, μεγαλύτερη και από πολύ βορειότερες χώρες όπως η Νορβηγία. Ανάλογα με τη χρήση, έχουμε δύο ειδών διαφοροποιήσεις στον κτηριακό τομέα (Σανταμούρης Μ. 2011).

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει κτήρια κατοικιών, ενώ η δεύτερη κτήρια τριτογενούς τομέα. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης και της Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας, τα κτήρια οικιακού τομέα στην Ελλάδα αποτελούν το 77% του συνολικού κτηριακού αποθέματος, ενώ το υπόλοιπο 23% αποτελείται από κτήρια διαφόρων χρήσεων του τριτογενή τομέα.

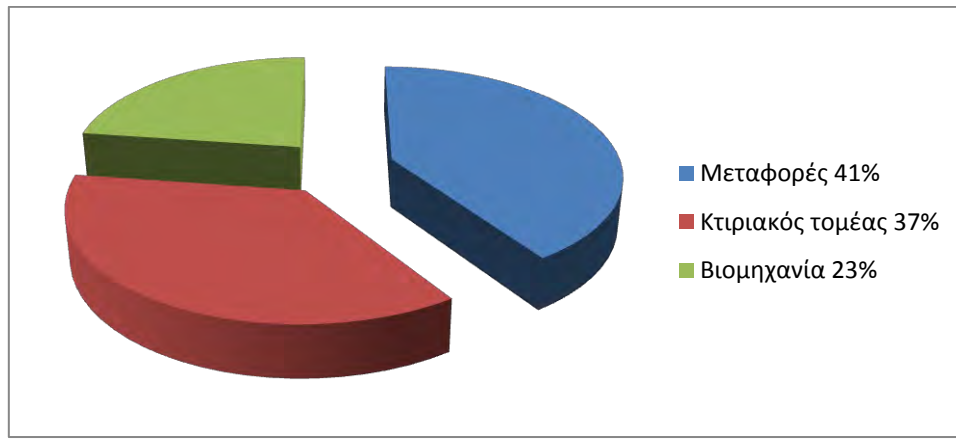
Τα κτίρια που δε χρησιμοποιούνται ως κατοικίες στην Ελλάδα, αποτελούν περίπου το 5% του συνόλου των κτιρίων και αντιπροσωπεύουν το 26% της συνολικής επιφάνειας του κτιριακού αποθέματος. Από αυτά, περίπου το 57% είναι κτίρια γραφείων και εμπορικής χρήσης, το 19% εκπαιδευτικά κτίρια, το 16% ξενοδοχεία και περίπου 8% νοσοκομεία και κλινικές. Το ενεργειακά τυπικό κτίριο κλιματιζόμενων γραφείων καταναλώνει περίπου 138 kWh/m<sup>2</sup>/έτος (τελική κατανάλωση, 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).

Στην Ελλάδα, το μοντέλο της παραγωγής και της ανάπτυξης απαιτεί νέες μεθόδους αναβάθμισης του τρόπου και της ποιότητας δόμησης, καινοτομίες στον τρόπο και στα υλικά κατασκευής, εφαρμογή νέων ενεργειακών τεχνολογιών και νέες επενδυτικές προοπτικές που θα δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας. Επίσης, έχει την δυνατότητα, εκμεταλλευόμενη τα γεωγραφικά και γεωλογικά πλεονεκτήματα που διαθέτει, να αυξήσει τη συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας όπου σήμερα κυμαίνεται γύρω από ένα ποσοστό της τάξης του 10% για την ηλεκτροπαραγωγή. Ειδικότερα στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) έχουν καθοριστεί οι εξής στρατηγικοί στόχοι:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 4% μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπών του 2005.
- Αύξηση σε 18% του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση μέχρι το 2020.
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην τελική χρήση κατά 9% μέχρι το 2018.



- Για το 2020 ο στόχος συμμετοχής των Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για την Ελλάδα εξειδικεύεται σε 18% (σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/EK).
- Πλέον, σύμφωνα και με τον πρόσφατο νόμο που εγκρίθηκε στο κοινοβούλιο, Ν3851/10, ο εθνικός στόχος για το 2020 συμμετοχής των Α.Π.Ε. στη συνολική κατανάλωση ενέργειας τίθεται στο 20%, με επιμέρους στόχους 40% στην ηλεκτροπαραγωγή και 20% σε θέρμανση και ψύξη.



**Σχήμα 1 : Ενεργειακές καταναλώσεις ανά τομέα**

Έχει αποδειχτεί ότι απαιτείται μέχρι και 30% περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για τη διασφάλιση κατάλληλων συνθηκών θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα στα κτήρια στην Ελλάδα, τα οποία διαπιστώνεται ότι στη πλειονότητα τους «πάσχουν» από έλλειψη επαρκούς μόνωσης, ιδιαίτερα όσα κατασκευάστηκαν πριν από το 1980.

Από τα πλέον ενεργοβόρα στην Ε.Ε., τα ελληνικά κτήρια έχουν μεγάλες θερμικές απώλειες με αποτέλεσμα να κατασπαταλούν πολύτιμη ενέργεια και να επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με επικίνδυνους ρύπους. Σε αριθμούς, ο κτηριακός τομέας εκπέμπει το 45% του διοξειδίου του άνθρακα της χώρας.

Μάλιστα, μόνο μέσα στην τελευταία πενταετία αυξήθηκε κατά 25% το ποσοστό ενέργειας που χρειάζονται τα κτήρια μας για να θερμανθούν, να ψυχθούν και να ηλεκτροδοτηθούν. Άξιο προσοχής είναι ότι η Ελλάδα, μαζί με την Ισπανία, σημειώνει τη μεγαλύτερη αύξηση μεταξύ των κρατών μελών στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση.

Αντίθετα χώρες βορειότερα στο ημισφαίριο που πλήττονται από δριμύτερους χειμώνες κατάφεραν να μειώσουν κατά 5% την ενεργειακή τους κατανάλωση.

Στην Ελλάδα, μια χώρα εύκρατη με πολύ λιγότερες θερμικές απαιτήσεις λόγω του ήπιου χειμώνα, οι ανάγκες για θέρμανση κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, όπου χρησιμοποιείται ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου.

Το υπόλοιπο 64,5% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρικό ρεύμα και καυσόξυλα. Σε αντίθεση με το σύνολο της Ε.Ε., στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια παρουσιάζει αυξητική τάση με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 7%.

Ο Ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης (Κ.Θ.Κ) τέθηκε σε ισχύ το 1979, αντιγράφοντας τον πρώτο Γερμανικό Κανονισμό, καθορίζοντας τα μέγιστα όρια για τη θερμοπερατότητα των διαφόρων στοιχείων (τοίχοι, οροφή, παράθυρα) και του κελύφους του κτηρίου.

Σαν αποτέλεσμα αυτού είναι ότι ένα μεγάλο ποσοστό των κτηρίων δεν έχουν θερμομόνωση. Επίσης, κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας της εφαρμογής του ΚΘΚ (1980-1990), η πλειοψηφία των κτηρίων δεν είχαν πλήρη μόνωση και μόνο οι νεότερες κατασκευές έχουν θερμομόνωση του φέροντα οργανισμού για την αποφυγή των θερμογέφυρων. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης στην Ελλάδα από τα κτήρια, το 30% έχει πλήρη ή μερική θερμομόνωση, ενώ το 70% δεν έχει καθόλου. Στα κτήρια με μερική θερμομόνωση, το 35% έχει θερμομόνωση οροφής, το 34% θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων, το 20% θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων και οροφής, το 11% πλήρη θερμομόνωση, εκτός από το φέροντα οργανισμό και το 3% πλήρη θερμομόνωση, εκτός από το φέροντα οργανισμό και την οροφή. Επιπλέον μόνο το 2.1% των κτηρίων έχουν διπλά τζάμια και μόνο το 4.2% έχουν μόνωση σωλήνων στην εγκατάσταση θέρμανσης.

Η κατανομή της μέσης ετήσιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα ελληνικά κτήρια είναι περίπου 3.800.000 KWh. Η συγκριτική αυτή παρουσίαση είναι ενδεικτική, αφού δε λαμβάνεται υπόψη η ποιότητα του εσωτερικού χώρου, δηλαδή οι εσωτερικές συνθήκες σε συνδυασμό με τη γεωγραφική περιοχή και τη λειτουργία των διαφόρων κτηρίων. Η ολοκληρωμένη σύγκριση της ενεργειακής συμπεριφοράς των

κτηρίων γίνεται σε συνάρτηση με την επίτευξη των εσωτερικών συνθηκών άνεσης. Ωστόσο σύμφωνα με μελέτη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία χρήσης για τον τριτογενή τομέα παρουσιάζεται παρακάτω.

### ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Οι αντλίες θερμότητας είναι μια λύση θέρμανσης που προσελκύει ολοένα και περισσότερο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Η αντλία θερμότητας είναι η συσκευή που αντλεί θερμική ενέργεια από μια θερμή δεξαμενή (αναφέρεται ως πηγή) που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία και τη μεταφέρει σε μια καταβόθρα (συνήθως αέρας ή νερό) που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία είτε με την χρήση μηχανικού έργου είτε με την βοήθεια μιας θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας.

Η παραπάνω διατύπωση αποτελεί ένα βασικό συμπέρασμα του 2ου Θερμοδυναμικού αξιώματος, δηλαδή ότι η θερμότητα μεταδίδεται μόνη της από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα χαμηλότερης και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ταυτόχρονα είναι και μια διαπίστωση που ο άνθρωπος έκανε στα πρώτα στάδια της εξέλιξής του και συνεχώς επαληθεύεται μέσα από την καθημερινή πρακτική. Ξεκινώντας τη μελέτη πάνω στη λειτουργία των αντλιών θερμότητας έρχεται κανείς αντιμέτωπος με παράδοξες παρατηρήσεις και συμπεράσματα που μοιάζουν να αντίκεινται στην παραπάνω αρχή. Η χρήση της αντλίας θερμότητας για την ψύξη/θέρμανση ενός χώρου, δείχνει λοιπόν να επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από ένα σύστημα χαμηλής σε ένα σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, αλλά μόνο με τη κατανάλωση κάποιας μορφής ενέργειας.

Η ιστορική εξέλιξη των αντλιών θερμότητας ξεκινά και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επινόηση και τεχνολογική εξέλιξη των ψυκτικών μηχανών. Άλλωστε η αντλία θερμότητας είναι η ίδια μια ψυκτική μηχανή. Σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα, η πρώτη ψυκτική μηχανή κατασκευάστηκε από τον J.Perkins το 1820. Τέσσερα χρόνια αργότερα ο S.Carnot πέτυχε τη θεωρητική της θεμελίωση. Ο Kelvin ήταν ο πρώτος που το 1852 διαπίστωσε στην πράξη ότι μια ψυκτική μηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση. Η πρώτη εμπειρική εγκατάσταση αντλίας θερμότητας, έγινε στη Σκωτία το 1927. Το 1940 ο Robert C.Webber κατά τη διάρκεια πειραμάτων ισχυρής ψύξης παρατήρησε ότι οι σωλήνες ψυκτικού ρευστού στην έξοδο του

συμπυκνωτή ανέπτυσαν υψηλές θερμοκρασίες. Το γεγονός αυτό τον οδήγησε στη διαμόρφωση των βασικών μηχανισμών της αντλίας θερμότητας. Αρχικά συνέδεσε τους σωλήνες του ζεστού ψυκτικού ρευστού σε ένα δοχείο νερού, δημιουργώντας στην ουσία έναν εναλλάκτη θερμότητας που έδινε τη δυνατότητα παραγωγής ζεστού νερού. Στη συνέχεια, συνέδεσε το θερμοδοχείο σε ένα βρόχο σωληνώσεων απ' όπου κυκλοφορούσε το ζεστό νερό και, χρησιμοποιώντας ένα μικρό ανεμιστήρα, άρχισε να εισάγει ζεστό αέρα μέσα στο κτίριο. Από το 1950 και έπειτα, πραγματοποιήθηκαν αρκετές βελτιώσεις στο σχεδιασμό και τα συστήματα ελέγχου και οι αντλίες θερμότητας εισήχθησαν στην αγορά. Παρά τα οικονομικά πλεονεκτήματα που φάνηκε να προσφέρουν οι πρώτες αντλίες θερμότητας, οι τεχνικές αδυναμίες που προέκυπταν κατά τη λειτουργία τους κλόνισαν την εμπιστοσύνη των πρώτων καταναλωτών, με αποτέλεσμα την ύφεση στην παραγωγή και στη χρήση των συσκευών αυτών, όχι όμως και στην τεχνολογική τους βελτίωση (Β.Η.Σελούντος, 2002).

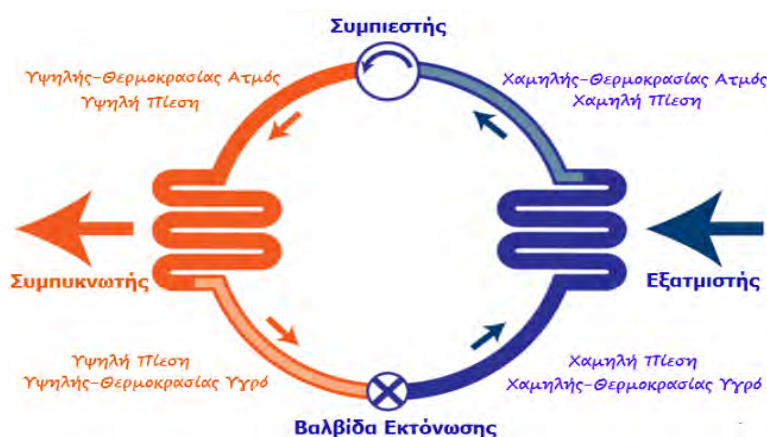
## 2.2 Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας (Σχήμα 2) πρωτοεμφανίστηκε ως επί το πλείστον στα συνήθη ψυγεία και καταψύκτες, τα κλιματιστικά και εν συνεχεία σε συσκευές παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (Y.Cengel & M.Bones 1998). Πολλές φορές ταυτίζεται ο όρος Αντλία Θερμότητας με το κλιματιστικό. Η διαφορά μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας και ενός κοινού κλιματιστικού είναι ότι η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη λειτουργώντας βάση του ίδιου θερμοδυναμικού κύκλου του οποίου η λειτουργία μπορεί να αντιστραφεί ανάλογα με την ανάγκη (θέρμανση ή ψύξη).

Για ψυχρά κλίματα είναι σύνηθες να κατασκευάζονται και να κυκλοφορούν στην αγορά αντλίες θερμότητας μόνο θέρμανσης ενώ για θερμότερα κλίματα τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

Ο όρος αντλία θερμότητας αναφέρεται σε μηχανές που λειτουργούν με την χρήση συμπιεσμένου αερίου ως μέσο μεταφοράς της ενέργειας ανάμεσα σε πηγή και καταβόθρα. Η μηχανή αυτή αποτελείται από κυκλοφορητή, συμπιεστή, βαλβίδα εκτόνωσης και εναλλάκτες θερμότητας (Σχήμα 2), ώστε η κατεύθυνση άντλησης της

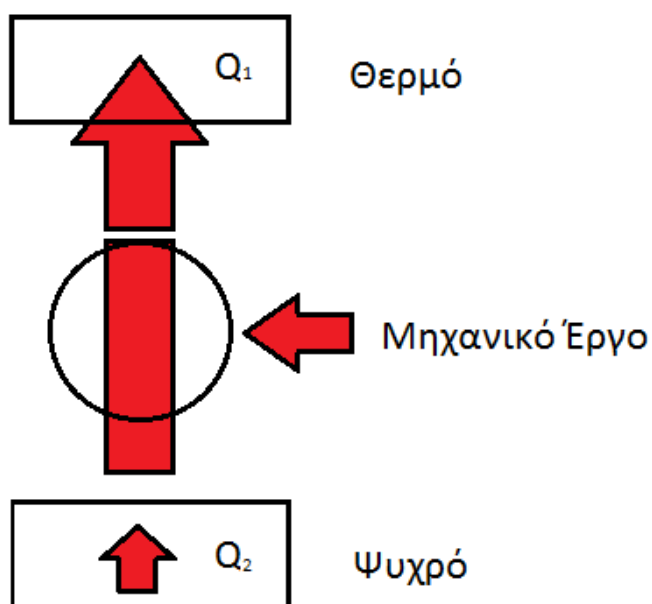
θερμικής ενέργειας να μπορεί να αντιστραφεί. Για το λόγο αυτό συνήθως παρέχει θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων αλλά και ζεστό νερό χρήσης. Οι πιο κοινές πηγές άντλησης θερμότητας για τέτοιες μηχανές είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας και το έδαφος. Ανάλογα με την φύση της πηγής και αντίστοιχα της καταβόθρας οι αντλίες θερμότητας διαχωρίζονται σε αέρα-αέρα, αέρα-νερού, νερού-αέρα, νερού-νερού, εδάφους-αέρα και εδάφους-νερού.



**Σχήμα 2 : Αρχή λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας ([www.mp-energy.gr/αντλιεσ-θερμοτητας](http://www.mp-energy.gr/αντλιεσ-θερμοτητας))**

### 2.3 Βαθμός επίδοσης αντλιών θερμότητας

Η ποιότητα μιας αντλίας σε κατάσταση θέρμανσης, χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς (επίδοση) C.O.P. (Coefficient of Performance). Η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας (ενέργειας)  $Q_1$ , προσθέτει μηχανικό έργο  $W$  στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας  $Q_2$  στον ψυχρό χώρο (Σχήμα 3). Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, το ζητούμενο είναι το  $Q_2$ , ενώ όταν αυτή λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης, το ζητούμενο είναι το  $Q_1$ .



**Σχήμα 3: C.O.P. αντλία θερμότητας**

Ο ενεργειακός ισολογισμός στην Σχήμα , απαιτεί :

$$Q_2 = Q_1 + W$$

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

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

και για ιδανικές συνθήκες ισχύει η εξίσωση

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

όπου

$T_\theta$  είναι η θερμοκρασία του θερμού χώρου και  $T_\psi$  είναι η θερμοκρασία του ψυχρού (περιβάλλον), από την οποία προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά  $T_\theta - T_\psi$  ο C.O.P. βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία  $T_\theta$  και ότι όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά

$T_{\theta} - T_{\psi}$  μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής C.O.P..

Τα συμπεράσματα αυτά δείχνουν ότι οι αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν πολύ αποδοτικά (με μεγάλους βαθμούς απόδοσης) στη χώρα μας, λόγω των ήπιων κλιματολογικών συνθηκών.

Αν επιστρέψουμε στην εξίσωση ορισμού του συντελεστή C.O.P. βλέπουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης ισούται με το έργο που μεταφέραμε στον χώρο, δια το έργο που καταναλώσαμε στον συμπιεστή. Μια αντλία λοιπόν με συντελεστή C.O.P.=4, μεταφέρει 4kW ενέργειας καταλώνοντας 1kW ηλεκτρισμού, ή αλλιώς, η μεταφορά ενέργειας κοστίζει 25% με την αντλία αυτήν.

Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι ο συντελεστής 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.

Οι θερμοκρασίες αυτές είναι για τη θέρμανση:

Θερμοκρασία θερμού 20°C και

Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7°C

Αυτό σημαίνει ότι η εν λόγω αντλία, θα έχει τον συντελεστή C.O.P. που αναφέρει ο κατασκευαστής, όταν η θερμοκρασία χώρου είναι 20°C και η θερμοκρασία περιβάλλοντος 7°C. Σε οποιοσδήποτε άλλες συνθήκες, ο παράγοντας C.O.P. είναι διαφορετικός, και αυτό είναι το σημαντικότερο που πρέπει να κοιτάξει κανείς σε μια αντλία θερμότητας εκτός από τον ονομαστικό συντελεστή C.O.P. της, διότι είναι προτιμότερη μια αντλία με λίγο χαμηλότερο C.O.P. που παραμένει όμως σταθερό από μια αντλία με υψηλότερο C.O.P. που μειώνεται σημαντικά αν οι συνθήκες αλλάξουν.

Για την θερινή λειτουργία της ψύξης, χρησιμοποιείται ο λόγος ενεργειακής απόδοσης E.E.R. (Energy Efficiency Ratio), που ορίζεται ως:



$$E. E. R. = \frac{\text{Ψυκτική Ισχύς Εξατμιστή } (\frac{\text{btu}}{\text{h}})}{\text{Ηλεκτρική Ισχύς Συμπιεστή (W)}}$$

ή

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

Ο συντελεστής E.E.R. μετράται σε τυποποιημένες συνθήκες Eurovent, θερμοκρασία θερμού 27°C και θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35°C.

Ειδικά στην ψύξη χρησιμοποιείται και ένας ακόμη δείκτης απόδοσης, ο εποχιακός βαθμός απόδοσης SE.E.R. που ορίζεται σαν κλάσμα της ενέργειας που μεταφέρθηκε στην καλοκαιρινή περίοδο δια της ενέργειας που δαπανήθηκε στον συμπιεστή για την ίδια περίοδο.

## 2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των αντλιών θερμότητας είναι τα ακόλουθα

- Δεν συμβάλουν στη ρύπανση του περιβάλλοντος
- Εξοικονομούν κόστος που απαιτείται για εισαγωγές ορυκτών καυσίμων
- Η εγκατάστασή τους δεν απαιτεί μεγάλους χώρους
- Η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη απορροφάται κατά 70% από το περιβάλλον. Το υπόλοιπο 30% λαμβάνεται με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας
- Έχει την ικανότητα να θερμαίνει ή να ψύχει ένα χώρο ανάλογα με τις απαιτήσεις του καταναλωτή, πράγμα που δε προσφέρουν όλα τα σύνηθες συστήματα

Εκτός όμως από πλεονεκτήματα έχουν και μερικά μειονεκτήματα

- Το κόστος εγκατάστασης μιας αντλίας θερμότητας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος ενός συμβατικού συστήματος
- Ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας μειώνεται κατά πολύ σε περιόδους που οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγάλες. Έτσι, ενώ ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας είναι συνήθως 3,5 για 7°C στο εξωτερικό περιβάλλον και 20°C στο εσωτερικό, ο βαθμός αυτός πέφτει κάτω του 1,5 όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω από τους -6°C. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται αντιστάσεις θερμάνσεως οι οποίες θα καλύψουν το επιπλέον φορτίο.

## 2.5 Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας

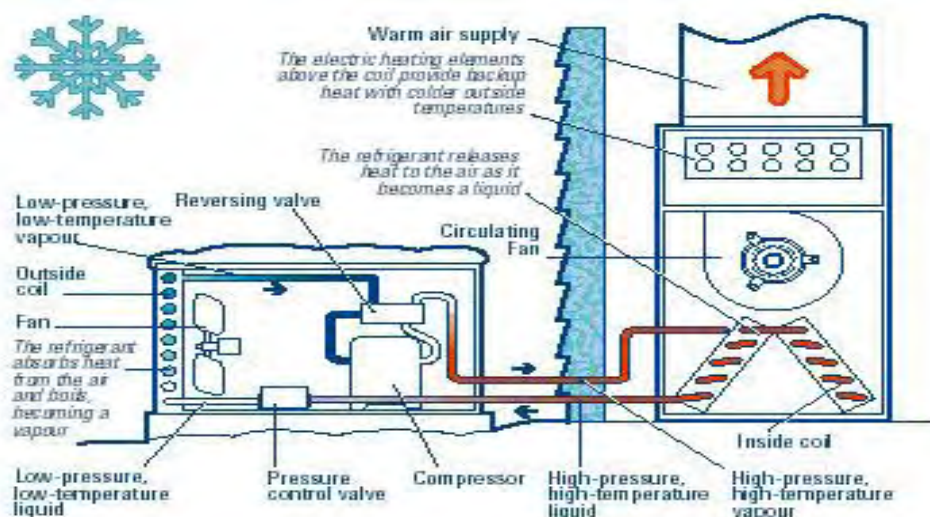
### 2.5.1 Αντλίες θερμότητας αέρα / αέρα

Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντλίας και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την θέρμανση και ψύξη κατοικιών, γραφείων και μικρών εμπορικών καταστημάτων. Κατά τη λειτουργία 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), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Γενικά, στην περίπτωση της θέρμανσης ο βαθμός επίδοσης C.O.P της αντλίας αέρα-αέρα εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος όσο και από τη θερμοκρασία του αέρα που θερμαίνεται. Η τιμή του C.O.P. αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και με τη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα. Με την αντιστροφή του λειτουργικού της κύκλου η αντλία θερμότητας μπορεί να ψύξει τον αέρα του χώρου. Σε αυτή τη περίπτωση 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. στην περίπτωση της ψύξης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα που ψύχεται και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του ψυχομένου αέρα τόσο αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης και όσο η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται, πάλι αυξάνεται ο βαθμός επίδοσης.

Η πιο χαρακτηριστική εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι οι κλιματιστικές συσκευές για την ψύξη των χώρων κατά τους θερινούς μήνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για θέρμανση το χειμώνα.

Το κύριο μειονέκτημα των αντλιών θερμότητας αυτού του τύπου είναι, ότι κατά την διάρκεια του χειμώνα και ειδικότερα στις μέρες που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, η απόδοσή τους μειώνεται δραστικά με αποτέλεσμα να αδυνατούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες θέρμανσης. 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.



**Σχήμα 4: Αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα**  
(<http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas>)

### 2.5.2 Αντλίες θερμότητας αέρα / νερού

Χρησιμοποιούνται σε συστήματα κεντρικού κλιματισμού μεγάλων κτηρίων, όπου είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε κάθε κλιματιστική ζώνη. Επίσης εγκαθίστανται και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή θερμού και ψυχρού νερού για θέρμανση ή δροσισμό χώρων. 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.(Sharpico 2013). Στο δευτερεύον κύκλωμα, δηλαδή στην πλευρά του νερού, υπάρχει υδρόψυκτος εναλλάκτης που τροφοδοτεί το δίκτυο σωληνώσεων με θερμό/ψυχρό νερό (Σχήμα 5).

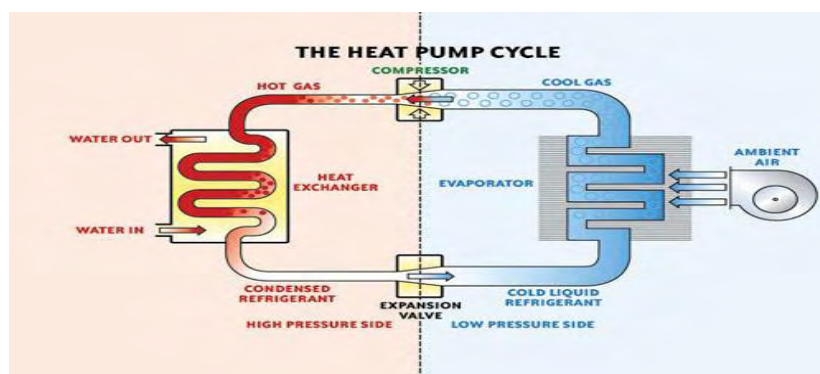
Στην περίπτωση της θέρμανσης ενός χώρου, η αντλία θερμότητας απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα και θερμαίνει νερό σε μία εγκατάσταση κλιματισμού. Ο βαθμός επίδοσης εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

όσο και από τη θερμοκρασία του νερού που θερμαίνεται στο συμπυκνωτή. Η τιμή του C.O.P. αυξάνεται:

- με την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- με τη μείωση της θερμοκρασίας του νερού.

Με την αντιστροφή του κύκλου λειτουργίας, η αντλία θερμότητας ψύχει το νερό της εγκατάστασης και απορρίπτει τη θερμότητα στον εξωτερικό αέρα. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού που ψύχεται στον εξατμιστή και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (WESC 2013). Η τιμή του E.E.R. αυξάνεται:

- όσο η θερμοκρασία του ψυχρού νερού είναι μεγαλύτερη
- όσο η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται.

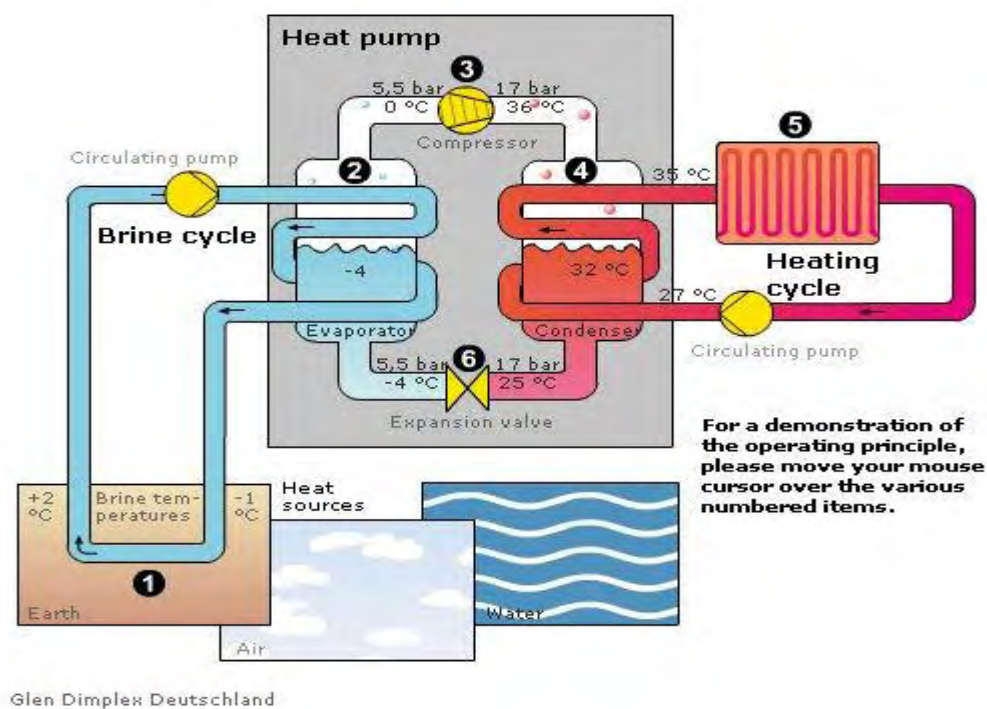


**Σχήμα 5: Κύκλος αντλίας θερμότητας αέρα/νερού**  
(<http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika>)

### 2.5.3 Αντλίες θερμότητας νερού / νερού

Χρησιμοποιούν το νερό ως πηγή-αποδέκτη θερμότητας, τόσο στη θερμαντική όσο και στην ψυκτική τους λειτουργία. Το πρωτεύον κύκλωμα τροφοδοτείται με νερό από το περιβάλλον ενώ το δευτερεύον συνδέεται με τοπικές μονάδες (fan-coil units ή

καλοριφέρ) ή με στοιχεία κεντρικών κλιματιστικών μονάδων(Σχήμα 6). Το θερμό/ψυχρό νερό του δευτερεύοντος κυκλώματος εξασφαλίζει τις επιθυμητές συνθήκες κλιματισμού κάθε χώρου.

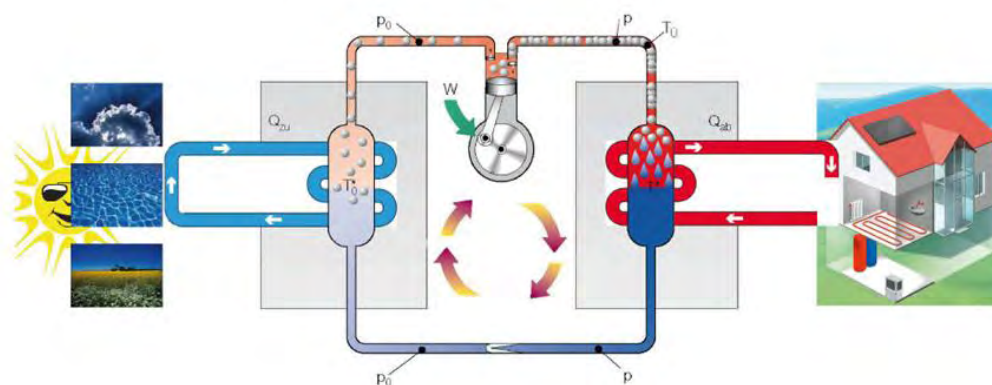


**Σχήμα 6: Αντλία θερμότητας νερού/νερού**  
([https://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία\\_Θερμότητας](https://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία_Θερμότητας))

#### 2.5.4 Αντλίες θερμότητας νερού / αέρα

Χρησιμοποιούν το νερό, ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας, και τον αέρα για να μεταφέρουν ή να απάγουν 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 τετράοδης βαλβίδας. Ως πηγή-αποδέκτης θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο υπεδafικό 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 7: Αντλία θερμότητας νερού/νερού**  
(<http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika>)

### 2.5.5 Αντλίες θερμότητας εδάφους / νερού

Χρησιμοποιούν την αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους (θερμοχωρητικότητα εδάφους) για τον κλιματισμό ή τη θέρμανση κτηρίων κάθε μεγέθους. Για να επιτευχθεί αυτό κατασκευάζεται στο έδαφος ένα κλειστό δίκτυο πλαστικών σωλήνων, που ονομάζεται γεωεναλλάκτης, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί αποσκληρυμένο νερό ή διάλυμα νερού /αντιπηκτικού. Με την βοήθεια του γεωεναλλάκτη ο εξατμιστής/συμπυκνωτής του πρωτεύοντος κυκλώματος της αντλίας θερμότητας απορροφά ή απορρίπτει θερμότητα στο έδαφος. Ανάλογα με την κατασκευή του συνεργαζόμενου γεωεναλλάκτη τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε οριζόντια, κατακόρυφα ή σπειροειδή. Ανάλογα με το είδος του συνεργαζόμενου γεωεναλλάκτη, οι αντλίες θερμότητας εδάφους διακρίνονται σε τρεις τύπους:



- ανοιχτού κυκλώματος
- κλειστού κυκλώματος, στις οποίες ένα δευτερεύον κύκλωμα με αντιπηκτικό διάλυμα ή νερό συνδέει το έδαφος με το κύκλωμα ψυκτικού μέσου της Α.Θ.
- απευθείας εκτόνωσης, στις οποίες το ψυκτικό μέσο της αντλίας κυκλοφορεί στις σωληνώσεις του εδάφους.

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας εδάφους/νερού παρουσιάζουν σήμερα υψηλά ποσοστά εγκατάστασης σε προηγμένες χώρες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους υψηλότερους βαθμούς επίδοσης που παρουσιάζουν σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους αντλιών θερμότητας, αλλά και στην φιλικότερη προς το περιβάλλον συμπεριφορά που εκφράζεται με την μειωμένη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

#### **2.5.6 Αντλίες θερμότητας εδάφους / αέρα**

Οι αντλίες θερμότητας εδάφους-αέρα έχουν λειτουργικά και κατασκευαστικά το ίδιο πρωτεύον κύκλωμα με τις αντλίες θερμότητας εδάφους/νερού. Στο δευτερεύον κύκλωμά τους όμως αντί του υδρόψυκτου εναλλάκτη (συμπυκνωτή/εξατμιστή), υπάρχει ανεμιστήρας και αερόψυκτος συμπυκνωτής/εξατμιστής, που τροφοδοτούν με θερμό ή ψυχρό αέρα το δίκτυο αεραγωγών κλιματισμού του κτηρίου

## **2.6 Αντλίες Θερμότητας Αέρα – Νερού**

### **2.6.1 Πηγή θερμότητας**

Οι αντλίες θερμότητας αέρα νερού είναι οι πιο διαδεδομένες αντλίες, χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε κτήρια κατοικιών και σε μικρά ή μεσαία εμπορικά κτήρια, μιας και ο αέρας βρίσκεται παντού και σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Για τη μεταφορά της θερμότητας ανάμεσα στον αέρα και το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται αερόψυκτοι εξατμιστές/συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.



### 2.6.2 Πως Λειτουργεί η Αντλία Θερμότητας Αέρα – Νερού

Ένας ανεμιστήρας ωθεί τον εξωτερικό αέρα στην αντλία θερμότητας όπου συναντά τον εξατμιστή. Αυτός είναι συνδεδεμένος σε ένα κλειστό σύστημα που περιέχει ένα ψυκτικό μέσο που μπορεί να μετατραπεί σε αέριο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (Σελούντος 2002). Όταν ο εξωτερικός αέρας έρχεται σε επαφή με τον εξατμιστή το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ένα συμπιεστή, όπου το αέριο φτάνει σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία στην οποία μπορεί να μεταφερθεί στο συμπυκνωτή του συστήματος θέρμανσης του σπιτιού. Ταυτόχρονα, το ψυκτικό μέσο με τη βοήθεια του συμπυκνωτή επανέρχεται στην υγρή μορφή, έτοιμο να μετατραπεί σε αέριο για να συλλέξει νέα θερμότητα.

Το καλοκαίρι, το κύκλωμα ψύξης είναι ικανό να λειτουργήσει αντίστροφα ώστε να παρέχει ψύξη για όσο του ζητηθεί.

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων στοιχείων τους, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact ή self-contained) όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος (Σχήμα 8).



**Σχήμα 8: Αντλία θερμότητας Compact**(<http://www.thermoland.gr/page/projectheatpump1.html>)

- Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units) όπου ο συμπυκνωτής είναι ανεξάρτητος του υπόλοιπου συστήματος (Σχήμα 9).



**Σχήμα 9: Αντλία θερμότητας τύπου Split**  
(<http://www.zeon.com.gr/permalink/3191.html>)

### 2.6.3 Στοιχεία Αντλιών Θερμότητας Αέρα Νερού

Στην πράξη τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όσο στη θεωρία, οι αντλίες θερμότητας δεν είναι τόσο απλά μηχανήματα όσο απλή είναι η αρχή λειτουργίας τους. Εκτός από τα παραπάνω βασικά εξαρτήματα, μια αντλία θερμότητας αέρα νερού περιέχει ηλεκτρονικές πλακέτες που επιτηρούν τη λειτουργία των τμημάτων της συσκευής, αισθητήρια για να μετράται η θερμοκρασία και η πίεση του ψυκτικού μέσου πριν και μετά το συμπιεστή, επιτηρητή φάσεων για την διακρίβωση της σωστής ηλεκτρικής παροχής, εξαρτήματα αυτοματισμού, χειριστήρια και οθόνες ενδείξεων, τα οποία στα σύγχρονα εξελιγμένα μηχανήματα επεκτείνονται σε ρύθμιση στροφών των ανεμιστήρων των στοιχείων και διαθέτουν ενσωματωμένη ηλεκτρονική λογική για να αποφασίζουν κάθε στιγμή τις βέλτιστες ρυθμίσεις (Μητσάκης Ε. 2012). Τα συστατικά μέρη μιας σύγχρονης αντλίας θερμότητας αέρος νερού με αναστροφή κύκλου είναι:

1. Ο συμπιεστής (κομπρεσέρ) που συμπιέζει το αέριο και του αυξάνει τη θερμοκρασία. Ουσιαστικά χρησιμοποιείται για να ωθήσει την ψυκτική ουσία μέσω του συστήματος. Σε αυτό το τμήμα προσδίδεται η ενέργεια. Λειτουργεί με ηλεκτρικό κινητήρα ή κάποιες φορές με μηχανή εσωτερικής καύσης. Πρόκειται για μια περιστρεφόμενη μηχανή με λεπίδες που συμπιέζουν το μέσο. Τόσο η θερμοκρασία όσο και η πίεση του μέσου καθώς περνάει από αυτόν αυξάνονται.
2. Ο συμπυκνωτής, πρόκειται για τον εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται για την αποβολή της θερμότητας. Το συμπιεσμένο μέσο που είναι σε μορφή ατμού ρέει στον συμπυκνωτή όπου και συμπυκνώνεται σε υγρό. Η θερμότητα που απελευθερώνεται με αυτή τη διαδικασία λαμβάνεται από ένα άλλο μέσο, συνήθως τον περιβάλλοντα αέρα. Αυτός ο θερμός αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση χώρου, για εργοστασιακή ξήρανση ή την θέρμανση κάποιας άλλης διεργασίας. Η θερμότητα μπορεί όμως να είναι και ανεπιθύμητη οπότε και πρέπει να απαλλαχθούμε από αυτή, στην περίπτωση της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας για ψύξη.
3. Ο ανεμιστήρας του συμπυκνωτή που κινεί τον αέρα του περιβάλλοντος στο στοιχείο του συμπυκνωτή για να αποβάλλει το ψυκτικό την ενέργεια του (κατάσταση ψύξης)
4. Η βαλβίδα εκτόνωσης από την οποία διέρχεται το υγρό μετά τον συμπυκνωτή και με την εκτόνωση του σε αυτή ψύχεται ακόμα περισσότερο. Εδώ παρατηρούμε μια πτώση πίεσης και η ενέργεια που χάνεται θα μπορούσε να ανακτηθεί με τη χρήση ενός στροβίλου αντί μιας βαλβίδας επέκτασης για να προκαλέσει την ίδια επίδραση. Αυτό όμως θα αύξανε τις δαπάνες αρκετά, ενώ η ενεργειακή επίδραση είναι οριακή, για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιείται στην πράξη.
5. Ο εξατμιστής (ο εναλλάκτης νερού όπου εξατμίζεται το ψυκτικό υγρό και απορροφά ενέργεια από το νερό) όπου ψύχεται το νερό.
6. Ο κυκλοφορητής που θέτει σε κίνηση το νερό ώστε να ψυχθεί στον εναλλάκτη από το εξατμιζόμενο ψυκτικό μέσο.
7. Η τετράοδη βάννα που αναστρέφει τον κύκλο (και κατ' επέκταση τη φορά μεταφοράς της ενέργειας).

8. Τα αισθητήρια θερμοκρασίας και πίεσης στο συμπιεστή και τον εξαμιστήρα.
9. Οι πλακέτα που επιτηρεί με τη βοήθεια των αισθητηρίων τη συνολική λειτουργία της αντλίας θερμότητας, την προστατεύει από φθορά και καταστροφή, και εκτελεί τις απαιτούμενες ρυθμίσεις στην τετράοδη, τις εκτονωτικές και τους ανεμιστήρες ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.
10. Το κέλυφος της αντλίας με τη βάση στήριξης.
11. Το χειριστήριο των τμημάτων του μηχανήματος.



**Σχήμα 10: Εξωτερική μονάδα αντλίας θερμότητας  
(αέρα/νερού <http://www.monachos.gr/forum/content.php/300-andlies-thermotitas-genika>)**

#### **2.6.4 Αντλίες Θερμότητας τύπου INVERTER**

Οι αντλίες θερμότητας τύπου inverter έχουν τη δυνατότητα αυξομείωσης των στροφών του συμπιεστή με τη χρήση μιας ειδικής διάταξης. Στην ουσία είναι αντλίες θερμότητας μεταβλητού φορτίου και αυξομειώνουν την ενέργεια που μεταφέρουν, αυξομειώνοντας την παροχή του ψυκτικού μέσου.

## 2.7 Γεωθερμία-Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

### 2.7.1 Ορισμός Κανονικής γεωθερμίας

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια (Μ.Βραχόπουλος, 2015).

Η Ελλάδα ως γεωγραφική τοποθεσία διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές, σε σχετικά μικρά βάθη (100 - 1500 m). 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.

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(παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμικές εφαρμογές κ.α.)( Banks D. 2012).

### 2.7.2 Κατάταξη Γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας αλλά και με το αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα (Τ.Ε.Ε, 2011)(Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών).

Α) Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων που περιγράφονται συνοπτικά ως εξής:

- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- Τα μαγματικά συστήματα (magma systems) αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.

B) Η μετάδοση θερμότητας (Cengel Y. 2005) πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό  $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$
- Με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

### 2.7.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Τα συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού χρησιμοποιούν γεωθερμικές αντλίες, οι οποίες είναι μονάδες που χρησιμοποιούν τον κύκλο ψύξης για 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 ( Karagiorgas M.et al 2004).

Τα συστήματα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας αποτελούνται από τρία κύρια μέρη που λειτουργούν κατά τη διάρκεια όλων των κύκλων μιας αντλίας θερμότητας και έναν προαιρετικό τέταρτο βρόχο (υπερθερμαντήρας) που προθερμαίνει εσωτερικό ζεστό νερό. Τα τρία βασικά μέρη είναι:

- Τον γεωεναλλάκτη (σύστημα σωληνώσεων, που τοποθετείται μέσα στο έδαφος ή σε κάποιο υπόγειο ή επιφανειακό υδάτινο σχηματισμό ή κάποιος ανοικτός βρόχος που ανταλλάσει θερμότητα με υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα.)
- Την αντλία θερμότητας, η οποία αυξάνει ή μειώνει τη θερμοκρασία, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες.
- Το σύστημα μεταφοράς και διανομής της θερμότητας στο κτίριο, δηλαδή το σύστημα θέρμανσης ή και ψύξης (αεραγωγοί, fan coils και άλλα).

#### 2.7.4 Είδη γεωθερμικών αντλιών

Οι γεωθερμικές αντλίες που συναντάμε τις περισσότερες φορές σε διατάξεις γεωθερμικού κλιματισμού (Ochsner K. 2008) ,είναι οι ακόλουθες:

α) γεωθερμική αντλία νερού-νερού. Ο τύπος αυτός της αντλίας είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος 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).

β) γεωθερμική αντλία νερού-αέρος. Το νερό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του εναλλάκτη παίρνει από τη γεωθερμική αντλία και αέρας που φιλτράρεται προς και από το χώρο είτε δροσίζεται είτε ψύχεται.

γ) 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.

#### 2.7.5 Η λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών

Με μια πρώτη ματιά, τα γεωθερμικά συστήματα φαίνεται ότι απαιτούν αρκετά μεγαλύτερες αντλίες για να ανταποκριθούν στην πτώση πίεσης από τον βρόγχο εδάφους. Εντούτοις, τα γεωθερμικά συστήματα δεν έχουν έναν πύργο ψύξης ή ένα λέβητα πτώσης πίεσης. Εκτός από τους βρόγχους που έχουν σχεδιαστεί προσεκτικά ώστε να ελαχιστοποιούν την πτώση πίεσης, η χρήση σωληνώσεων αντίστροφης ροής, κοινών κεφαλών και η προσεκτική διαστασιολόγηση των σωληνώσεων μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της πτώσης πίεσης. Δεν είναι ασυνήθιστο για ένα γεωθερμικό σύστημα να βρίσκεται κάτω από τα 35 m μανομετρικού ύψους και όχι αρκετά πιο πάνω από ένα σύστημα λέβητα/πύργου.



### 2.7.6 Λειτουργία κλειστών γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες κλειστού τύπου αποτελούνται από τα εξής μέρη

**Βρόχος διανομής:** είναι ο βρόχος που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το βρόχο ψυκτικών ουσιών με τη βοήθεια ενός βρόχου αέρα (που θερμαίνεται ή ψύχεται) ή ενός βρόχου νερού (που θερμαίνεται ή ψύχεται), για το κλιματισμό χώρων. Βρόχος αέρα, ονομάζεται ο βρόχος που χρησιμοποιείται για να διανείμει το ρυθμισμένο αέρα στα διάφορα τμήματα του κτιρίου. Ένας ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τον αέρα μέσω ενός συστήματος διανομής αγωγών. Οι αγωγοί έχουν ως σκοπό να διανέμουν το ρυθμισμένο αέρα στις συγκεκριμένες θέσεις ανάλογα με την απώλεια θερμότητας ή το κέρδος τους.

**Βρόχος νερού:** είναι ο βρόχος που χρησιμοποιείται για να διανείμει το κρύο ή ζεστό νερό στις μινώδες σπειρών των αεριστήρων (fan coil) ή στην ενδοδαπέδια θέρμανση και τα συστήματα ψύξης. Ένας μικρός τροφοδοτούμενος κυκλοφορητής ρευστού κινεί ένα ρευστό προς κάθε ζώνη κλιματισμού. Τα μεμονωμένα δωμάτια μπορούν να έχουν ελεγχόμενη θερμοκρασία. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αντλιών θερμότητας, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από έναν βρόχο σε άλλο για να παρέχει τη θέρμανση, τη ψύξη, και την εσωτερική προθέρμανση ζεστού νερού.

**Βρόχος ψυκτικών ουσιών:** είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από σημείο σε σημείο στο κύκλωμα. Η ροή ψυκτικών ουσιών κυκλοφορεί μέσω του κυκλώματος από έναν συμπιεστή που βρίσκεται στο κομμάτι της ατμοποιημένης φάσης του ρευστού του βρόχου.

**Επίγειος βρόχος:** είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος του νερού ή του διαλύματος αντιψυκτικού που κυκλοφορεί κάτω από τη γήινη επιφάνεια, απορροφά τη θερμότητα από την περιβάλλουσα γη το χειμώνα και απορρίπτει τη θερμότητα το καλοκαίρι. Το ρευστό με τη βοήθεια μιας χαμηλής ισχύος αντλίας κυκλοφορεί στο κύκλωμα.

**Εσωτερικός βρόχος ζεστού νερού:** είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος που κυκλοφορεί το νερό από την εσωτερική

καυτή δεξαμενή νερού μιας αντλίας θερμότητας στον υπερθερμαντήρα για να προθερμαίνει εσωτερικό ζεστό νερό. Το εσωτερικό ζεστό νερό σε αυτόν τον βρόχο κυκλοφορεί από μια χαμηλής ισχύος αντλία. Οι νεώτερες αντλίες θερμότητας μπορούν να έχουν την πλήρη συμπίκνωση (ολόκληρη η ικανότητα της αντλίας θερμότητας να είναι διαθέσιμη για τη θέρμανση νερού) που παρέχει 100% εσωτερικό ζεστό νερό.



**Σχήμα 11: Γεωθερμικό κύκλωμα Αντλίας Θερμότητας**  
([thermansinews.blogspot.gr](http://thermansinews.blogspot.gr))

#### **2.7.7 Λειτουργία ανοικτών γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας**

Στο σύστημα αυτό γίνεται εκμετάλλευση της θερμοκρασίας των υπόγειων υδάτων, μέσω δύο ή περισσότερων υδρογεωτρήσεων. Από τη μία αντλείται με αντλίες το νερό που κυκλοφορεί στον εναλλάκτη και ονομάζεται υδρογεώτρηση άντλησης και από την άλλη επιστρέφεται το νερό πίσω στον υδροφόρο ορίζοντα αφού έχει γίνει η απαγωγή της θερμότητάς του και ονομάζεται υδρογεώτρηση εμπλουτισμού. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή ενός τέτοιου κυκλώματος είναι η ύπαρξη πλούσιας και συνεχούς υπόγειας υδροφορίας στην περιοχή της εγκατάστασης. Σε περιοχές κοντά σε θάλασσα που υπάρχει υφάλμυρο νερό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτό στο γεωθερμικό σύστημα με την επιπρόσθετη τοποθέτηση εξοπλισμού

προστασίας από τα άλατα. Αν δε, το σημείο που απαιτείται γεωθερμικό σύστημα γειτονεύει με θάλασσα ή λίμνη μπορεί το νερό να αντληθεί από εκεί με κυκλοφορητές (Sanner B. 2003).

Στα συστήματα ανοιχτού βρόγχου, το υπόγειο νερό αντλείται από τον υδροφορέα μέσω του φρεατίου άντλησης και εισάγεται στην αντλία θερμότητας, η οποία δρα ως πηγή/δεξαμενή θερμότητας στη διαδικασία θέρμανσης-ψύξης. Αφού το νερό διέλθει μέσω της αντλίας θερμότητας, επιστρέφεται στον υδροφορέα μέσω του φρεατίου φόρτισης. Η μόνη διαφορά ανάμεσα στο αντλούμενο και στο επιστρεφόμενο νερό είναι η θερμοκρασία. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε συνδυασμό με τη μακρόχρονη εμπειρία εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος, δείχνουν ότι η απαραίτητη ικανότητα του συστήματος για αποτελεσματική εναλλαγή θερμότητας είναι γύρω στα 8 με 11 l/min. Από τη στιγμή που η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή, τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου, αποτελούν δημοφιλή επιλογή σε περιοχές που επιτρέπεται η εγκατάστασή τους. Παρόλο βέβαια που χρησιμοποιούνται λιγότερο απ' ότι του κλειστού κυκλώματος, μπορεί να αποδειχθούν αρκετά πιο αποδοτικά στον τομέα του κόστους υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το νερό υπάρχει σε αφθονία. Περιοριστικό βέβαια ρόλο στην εφαρμογή και εγκατάστασή τους έχουν και οι τοπικές περιβαλλοντικές αρχές με τους θεσπισμένους νόμους, κώδικες, διατάγματα καθώς και τις απαιτήσεις.

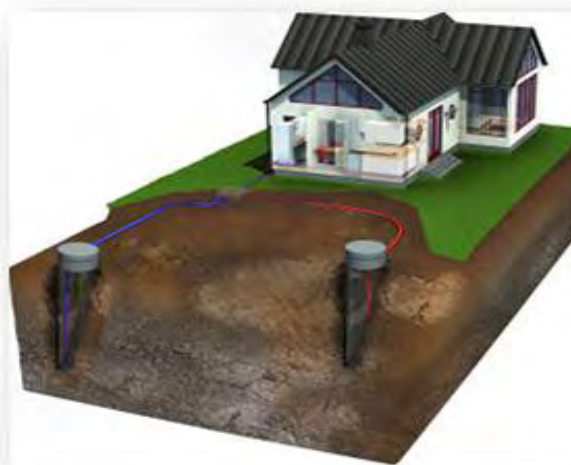
Ταυτόχρονα θα πρέπει να επισημανθεί ότι από την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος, δεν προκύπτει καμία περιβαλλοντική ζημιά, δεδομένου ότι το νερό που αντλείται επιστρέφεται στον υδροφορέα. Η μόνη διαφορά που προκύπτει είναι μία μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του χρησιμοποιούμενου νερού από το φρεάτιο άντλησης στο φρεάτιο φόρτισης. Σημαντικό επίσης παράγοντα για τη λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού βρόγχου, αποτελεί η απόσταση μεταξύ των φρεατίων άντλησης και επαναφόρτισης. Η αποφυγή της ροής από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης δεν είναι απαραίτητη, θα πρέπει όμως να επιβεβαιωθεί ότι η κυκλοφορία του νερού μεταξύ των φρεατίων είναι επαρκώς χαμηλή, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης, να είναι σχεδόν ίδια με τη θερμοκρασία του υδροφορέα.

Όσον αφορά τις διαστάσεις του φρεατίου, αυτό θα πρέπει να είναι μήκους 85 με 200

περίπου μέτρα(m), ανάλογα βέβαια το μέγιστο ψυκτικό ή θερμικό φορτίο του συστήματος, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου, καθώς και από το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφορέα. Εάν δε ληφθεί η απαραίτητη προσοχή στο συγκεκριμένο παράγοντα σχεδιασμού, τότε μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφορέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών.



**Σχήμα 12: Ανοικτό Γεωθερμικό Σύστημα οικιστικό**  
([http://geoergo.gr/geothermia\\_egkatastasi.html](http://geoergo.gr/geothermia_egkatastasi.html))



**Σχήμα 13 : Γεωτρήσεις γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανοικτού τύπου  
([airconditioningsolutions.net/geothermal-loop](http://airconditioningsolutions.net/geothermal-loop))**

### **2.7.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Γεωθερμίας**

Πλεονεκτήματα:

- Με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, δεν απαιτείται καμία καύση ορυκτών καυσίμων
- Σε αντίθεση με την ηλιακή και αιολική ενέργεια, γεωθερμική ενέργεια είναι πάντα διαθέσιμη, 365 ημέρες το χρόνο
- Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα σημερινά γεωθερμικά πεδία παράγουν ελάχιστο CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας .
- Η θερμότητα που παράγεται από γεωθερμικά ρευστά είναι σημαντικά φτηνότερη από εκείνη που παράγεται από την καύση πετρελαίου θέρμανση, ακόμη και από εκείνη που παράγεται από την καύση φυσικού αερίου.
- Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν τουλάχιστον κατά 30% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα αερόψυκτα συστήματα.

Μειονεκτήματα:

- Εμφανίζονται προβλήματα διάβρωσης και δημιουργίας αποθέσεων, κυρίως στις σωληνώσεις μεταφοράς ρευστών.
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού.
- Οι περισσότεροι προμηθευτές των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης-κλιματισμού δεν ενδιαφέρονται να ασχοληθούν με συστήματα τα οποία είναι αρκετά σύγχρονα και σύνθετα απαιτούν αρκετή μελέτη και νέα εκπαίδευση.
- Υπάρχουν πολύ λίγες εξειδικευμένες εταιρείες και έμπειρο προσωπικό για διάνοιξη γεωτρήσεων και κατασκευή κατακόρυφων εναλλακτών εδάφους, με αποτέλεσμα το κόστος να είναι πολύ μεγάλο.

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η επιλογή του κατάλληλου και σωστού συστήματος αερισμού, θερμάνσεως ή κλιματισμού για ένα συγκεκριμένο χώρο ή κτίριο απαιτεί και τον ορθό υπολογισμό των ψυκτικών και θερμικών φορτίων. Οι υπολογισμοί των φορτίων αυτών βασίζονται ως προς το επιστημονικό τους μέρος, στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας και της μεταφοράς μάζας. Γενικά στις εφαρμογές σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι ανάλογα την εκάστοτε χώρα και τους εκάστοτε ενεργειακούς κανονισμούς. Οι μέθοδοι αυτοί περιλαμβάνουν απλουστευμένες μαθηματικές εξισώσεις με αποτέλεσμα τα πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα να απλουστεύονται και μόνο η επίδραση βασικών μεγεθών να λαμβάνεται υπόψη. Στην συγκεκριμένη διπλωματική αναλύονται κυρίως οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό H.A.P. και την εταιρεία Carrier.

Κατά την περίοδο του θέρους το ψυκτικό φορτίο ορίζεται από την απαίτηση αφαίρεσης θερμότητας από τον χώρο με σκοπό την κάλυψη των εισροών θερμότητας που δημιουργούνται λόγω του θερμού περιβάλλοντος αλλά και των αναπτυσσόμενων και παραγόμενων εντός του χώρου ποσοτήτων θερμότητας. Οι υπολογισμοί των ψυκτικών φορτίων επηρεάζονται πάρα πολλές μεταβλητές, που συνήθως είναι δύσκολο να ορισθούν με ακρίβεια και πάντοτε σχετίζονται μεταξύ τους με πολύπλοκο τρόπο (ASHRAE 2010).

Όταν σε ένα χώρο έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία παρατηρούνται απώλειες θερμότητος 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  $Q_C = Q_L + Q_S$ , όπου  $Q_S$  είναι το αισθητό φορτίο (το οποίο μεταβάλλει τη

θερμοκρασία του χώρου και το  $Q_L$  είναι το λανθάνον φορτίο (το οποίο μεταβάλλει την υγρασία του χώρου).

Σημαντικό στοιχείο για την μελέτη και τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων είναι ότι οι τιμές τους μεταβάλλονται περιοδικά ανάλογα με τους παράγοντες που τα επηρεάζουν αλλά και με τις διάφορες ώρες κατά την διάρκεια της ημέρας. Χαρακτηριστικό είναι ότι το ψυκτικό φορτίο έχει μια μέγιστη τιμή η οποία συνήθως εξαρτάται από τον προσανατολισμό του χώρου.

### 3.1.1 Θερμικά φορτία κλιματισμού

Στην περίπτωση του κλιματισμού, η εγκατάσταση είναι υποχρεωμένη να αντιμετωπίσει διαδικασία θερμάνσεως τον χειμώνα (προσθήκη θερμικών φορτίων ) και διαδικασία δροσισμού (αφαίρεση θερμικών φορτίων από τους χώρους ) το καλοκαίρι. Ακόμη, στην περίπτωση του κλιματισμού, παράλληλα με την ρύθμιση της θερμοκρασίας των χώρων, γίνεται προσπάθεια να προσαρμοστεί και η υγρασία του αέρα των χώρων σύμφωνα με κάποια επιθυμητά πρότυπα.

Επειδή στις εγκαταστάσεις κεντρικού κλιματισμού γίνεται προσαγωγή και απαγωγή αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους, είναι επί πλέον δυνατή η βελτίωση της ποιότητας (καθαρότητός του).

Οι εγκαταστάσεις κλιματισμού αποτελούν συστήματα υψηλής τεχνολογικής στάθμης και απαιτούν λεπτομερειακή εξέταση πλειάδος παραγόντων και δεδομένων. Τα κεντρικά συστήματα κλιματισμού, στα οποία κυρίως θα αναφερθούμε, απαιτούν σημαντική στάθμη γνώσεως και εμπειρίας, τόσο από τον μελετητή, όσο και από τον κατασκευαστή.

Η υψηλή δαπάνη κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων κλιματισμού, δικαιολογεί απόλυτα κάποια σχολαστικότητα και συνειδητή επιμονή, τόσο στην προδιαγραφή των παραδοχών όσο και στους μετέπειτα υπολογισμούς .

Τα ψυκτικά και τα θερμικά (κέρδη ) φορτία του κλιματισμού και γενικότερα μπορεί να χωριστούν σε εξωτερικά θερμικά κέρδη και σε εσωτερικά θερμικά φορτία.



### 3.1.2 Εξωτερικά θερμικά κέρδη

1. Άμεση και δι' αγωγής μεταφερόμενη ηλιακή ακτινοβολία, από ηλιοφανή παράθυρα
2. Μεταφορά θερμότητας μέσω τοιχωμάτων, θυρών, παραθύρων (λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα.
3. Μεταφορά θερμότητας λόγω άμεσης προσβολής (υπερθερμάνσεως) ηλιοφανών τοιχωμάτων ή άλλων στοιχείων του περιβλήματος της οικοδομής
4. Θερμικά κέρδη τα οποία οφείλονται στην εισροή θερμού αέρα διά των ανοιγμάτων και χαραμιάδων του χώρου.

### 3.1.3 Εσωτερικά θερμικά φορτία

1. Θερμικά κέρδη λόγω λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροφωτισμού (θερμές πηγές φωτός )
2. Θερμικά φορτία τα οποία οφείλονται στον φυσικό μεταβολισμό των ατόμων (ή άλλων ζωντανών οργανισμών ) που βρίσκονται στο χώρο .
3. Θερμικά φορτία τα οποία προκαλούνται εξαιτίας της λειτουργίας θερμικών ή ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών συσκευών ή μηχανών, στον κλιματιζόμενο χώρο
4. Θερμικά φορτία τα οποία δημιουργούνται από άτομα ή μηχανές λόγω δραστηριοτήτων ή διαδικασιών παραγωγής έργου

Η ακριβής εκτίμηση όλων των παραπάνω παραγόντων είναι πρακτικά αδύνατη γιατί όπως προαναφέρθηκε εξαρτάται από πολλούς μεταβλητούς παράγοντες, π.χ. η παρουσία των εργαζομένων στο χώρο καθώς και η ένταση της εργασίας κατά τις κρίσιμες ώρες που εμφανίζει αιχμή το θερμικό φορτίο είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με μεγάλη αξιοπιστία.

### 3.1.4 Το θερμικό κέρδος του χώρου

Η είσοδος θερμού αέρα από το περιβάλλον στον κλιματιστικό χώρο (πέραν της ποσότητας η οποία προστίθεται στην κύρια κλιματιστική μονάδα για την ανανέωση του αέρα των χώρων ), είναι αναπόφευκτη και πραγματοποιείται κατά τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, όπως και από σχισμές και χαραμιάδες. Σε περιπτώσεις νηνεμίας και για καλές δομικές κατασκευές, τα φορτία λόγω κυκλοφορίας (εισροής) αέρα είναι συνήθως μικρά. Όταν όμως η ταχύτητα του αέρα υπερβεί τα 16 km/h το σχετικό θερμικό κέρδος γίνεται σημαντικό. Επίσης

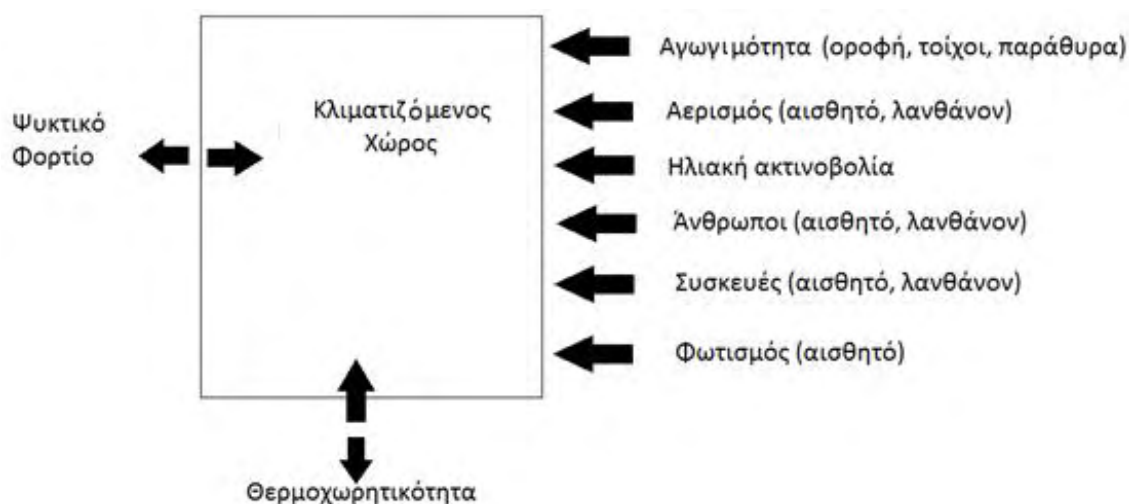


και το θερμικό κέρδος ενός χώρου όπως και το ψυκτικό φορτίο αποτελείται από το αισθητό φορτίο και το λανθάνον φορτίο χώρου. Το αισθητό θερμικό φορτίο εισρέει στον χώρο με αγωγιμότητα ,συναγωγή ή ακτινοβολία, ενώ το λανθάνον θερμικό φορτίο δημιουργείται όταν προστίθενται στο χώρο υδρατμοί (Ιωαννίδης Δ. et al 2006)

### 3.1.5 Το ψυκτικό φορτίο του χώρου

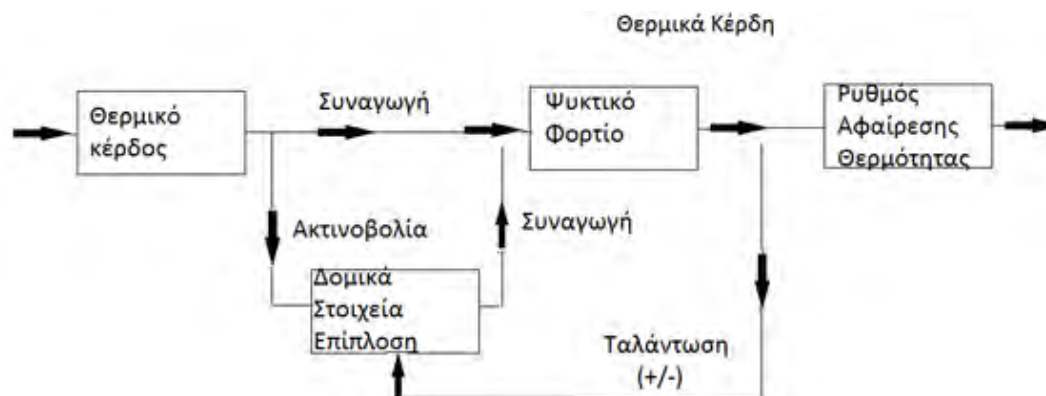
Όσον αφορά το ψυκτικό φορτίο χώρου αναλύθηκε επαρκώς στις προηγούμενες παραγράφους. Ένα επιπλέον στοιχείο όμως που πρέπει να προστεθεί είναι ότι το συνολικό άθροισμα των θερμικών κερδών σε ένα χώρο δεν σημαίνει ότι θα είναι ίσο με το άθροισμα των ψυκτικών φορτίων του χώρου αυτού, καθώς ένας επιπλέον παράγοντας που προστίθεται είναι η θερμότητα με την μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία με την σειρά της δεν μετατρέπεται άμεσα σε ψυκτικό φορτίο.

Η ηλιακή ακτινοβολία λοιπόν αρχικά απορροφάται από τις επιφάνειες που περιβάλλουν το χώρο και πιο συγκεκριμένα από τους τοίχους, τα δάπεδα και τις οροφές. Οι παραπάνω επιφάνειες όταν θερμαίνονται περισσότερο από την θερμοκρασία του χώρου ,ένα μέρος της θερμότητας του μεταφέρεται με συναγωγή στον αέρα του χώρου. Ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα υπό μορφή ακτινοβολίας θα απορροφηθεί και στη συνέχεια θα αποδοθεί ως ψυκτικό φορτίο καθορίζεται από τον συντελεστή θερμοχωρητικότητας των υλικών .



Σχήμα 14: Ρυθμός απορρόφησης θερμικής ακτινοβολίας

Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας η ψυκτική συσκευή λειτουργεί περιοδικά και το σύστημα ελέγχου συνήθως επιτρέπει μια μικρή διακύμανση της θερμοκρασίας του χώρου.



Σχήμα 15: Στιγμαίο θερμικό κέρδος, ψυκτικό φορτίο και ρυθμός αφαίρεσης θερμότητας σε ένα χώρο

Μετά των παραδοχών θερμοκρασιών, υγρασίας και ανέμου, με δεδομένα τα κτιριοδομικά στοιχεία εξετάζονται προσεκτικά (ποιοτικά και αναλυτικά ) όλοι οι παράγοντες, ανά χώρο, που απαιτούν ή συνεισφέρουν θερμικά φορτία, κατά τρόπο ανάλογο με αυτόν που εξετάθη για τον θερινό κλιματισμό.

### 3.2 Μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικών φορτίων

Η διαδικασία υπολογισμού των θερινών και χειμερινών φορτίων κλιματισμού και ψύξης ,αποτελεί την αφετηρία επιτυχίας ή αποτυχίας μιας εγκαταστάσεως. Η σχετική εργασία είναι εξαιρετικά κοπιώδης και χρειάζεται συνεχή εγρήγορση για να μην υπερτιμηθούν ή υποτιμηθούν κάποιοι παράγοντες.

Για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων σχεδιασμού λοιπόν ,υπάρχουν συγκεκριμένες μέθοδοι , οι οποίες στοχεύουν στον εντοπισμό των μέγιστων φορτίων που οδηγούν στην ορθή διαστασιολόγηση των μηχανημάτων ψύξης. Επειδή λοιπόν οι υπολογισμοί πρέπει να είναι ακριβής λαμβάνονται υπόψη κυρίως και οι ακραίες συνθήκες λειτουργίας στις οποίες οφείλουν να ανταποκριθούν οι συσκευές με κύριο στόχο την ικανοποίηση των θερμικών αναγκών του εκάστοτε κτιρίου. Όμως σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει το πρόβλημα της υπερδιαστασιολόγησης των μηχανημάτων ψύξης έτσι ώστε τα συστήματα αυτά να καλύπτουν επαρκώς τις αιχμές φορτίων.

Οι μέθοδοι για την ανάλυση και των υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον καλύπτουν επαρκώς αυτές τις ανάγκες. Σημαντικό στοιχείο εδώ βέβαια είναι ότι μια μέθοδος προσδιορίζεται περισσότερο από τον τρόπο αντιμετώπισης των διαφόρων παραγόντων που επιδρούν στα φορτία και λιγότερο από τον προσδιορισμό του προβλεπόμενου φορτίου. Φυσικά καθοριστικό και βαρυσήμαντο ρόλο αποτελεί και η εμπειρία του μηχανικού, ο οποίος πρέπει να συνυπολογίσει και συνεκτιμήσει πολλούς διαφορετικούς παράγοντες με τρόπο τέτοιο ώστε να μην οδηγηθούμε σε μια υπερδυσχεραιοποίηση του συστήματος λόγω εσφαλμένων υπολογισμών. Επομένως ανεξαρτήτως ποια μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί το σημαντικότερο στοιχείο είναι ο σωστός και ακριβής υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων έτσι ώστε να αποφευχθεί η υπερδυσχεραιοποίηση και να έχουμε σωστή λειτουργία του συστήματος κλιματισμού. Κάτι τέτοιο όμως φαντάζει αδύνατο λόγω της μη ελεγχόμενης συμπεριφοράς των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του υλικού, των αστοχιών κατασκευής και τέλος της αβεβαιότητας στον τρόπο λειτουργίας του κτιρίου (F.C.McQuinston, 1994).

Αν και ο σχεδιαστής του συστήματος κλιματισμού χρησιμοποιεί συνήθως λογικές εκτιμήσεις για να λάβει υπόψη του αυτούς τους παράγοντες, οι υπολογισμοί ποτέ δεν μπορούν να δώσουν ένα αποτέλεσμα καλύτερο από μία καλή εκτίμηση του πραγματικού ψυκτικού φορτίου.

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

### **3.3 Μέθοδος CLTD/CLF της ASHRAE**

Το λογισμικό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την συγκεκριμένη διπλωματική ακολουθεί την μέθοδο CLTD/CLF της ASHRAE. Η συγκεκριμένη μέθοδος η οποία

προσαρμόστηκε ειδικότερα για τις κλιματολογικές συνθήκες των Η.Π.Α. αποτελεί μια από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους για τον υπολογισμό ψυκτικών φορτίων με μεγάλο εύρος κλιματολογικών συνθηκών και είναι παγκόσμιας εφαρμογής. Γενικά όλες οι μέθοδοι υπολογισμού των ψυκτικών φορτίων έχουν την ίδια δομή όσον αφορά τους υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων κλιματισμού. Η δομή αυτή 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

### 3.3.1 Εξωτερικές οροφές

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

$$q_{\dot{o}\rho} = K_{o\rho} \cdot A_{o\rho} \cdot CLTD_{corr}$$

όπου:

$K_{op}$  : συντελεστής θερμοπερατότητας της εξωτερικής οροφής [ $W/m^2K$ ]

$A_{op}$  : εμβαδόν της επιφάνειας της εξωτερικής οροφής [ $m^2$ ]

$CLTD_{corr}$  : 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:

α. Υπάρχουν 13 τύποι οροφών, οι οποίοι δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Σε κάθε τύπο οροφής δίνεται η μάζα της σε [ $kg/m^2$ ] και η θερμοπερατότητας της σε [ $W/m^2K$ ]

β. 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.

γ. Από ειδικούς πίνακες, για τη συγκεκριμένη κατηγορία οροφής και για την ώρα (ηλιακή) που θέλουμε να υπολογίσουμε το ψυκτικό φορτίο, επιλέγουμε την CLTD.

Στον πίνακα (Παράρτημα 1) γίνεται διάκριση ανάμεσα σε οροφές χωρίς ψευδοροφή και σε οροφές με ψευδοροφή.

Διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού φορτίου CLTD για υπολογισμό ψυκτικού φορτίου σε επίπεδες οροφές

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  $t_{amax}$

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

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

όπου:

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:

K : 1.0 για σκουρόχρωμες οροφές ή οροφές σε βιομηχανικές περιοχές

K : 0.5 για μόνιμα ανοιχτόχρωμες οροφές

f : Συντελεστής που εξαρτάται από το αν υπάρχουν ανεμιστήρες ή αεραγωγοί στην ψευδοροφή και παίρνει τις τιμές:

- f : 1.0 εάν δεν υπάρχουν ανεμιστήρες ή αεραγωγοί
- 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:

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

όπου:

DR : ημερήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας

$t_{amax}$  : μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου [°C]

### 3.3.2 Εξωτερικοί τοίχοι (τοιχοποιίες – δοκοί – υποστυλώματα)

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

$$\dot{q}_T = K_T \cdot A_T \cdot CLTD_{corr}$$

όπου:

$K_T$ : συντελεστής θερμοπερατότητας του εξωτερικού τοίχου [W/m<sup>2</sup>K]

$A_T$ : εμβαδόν της επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου [m<sup>2</sup>]

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

### 3.3.3 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:

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

όπου:

$K_\Pi$ : συντελεστής θερμοπερατότητας παραθύρου [W/m<sup>2</sup>K]

$A_\Pi$ : εμβαδόν της επιφάνειας του παραθύρου [m<sup>2</sup>]

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

β) ψυκτικό φορτίο από ηλιακή ακτινοβολία

Υπολογίζεται από τη σχέση:

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

όπου:

$A_H$ : το εμβαδόν της επιφάνειας του παραθύρου [ $m^2$ ]

SC : ο 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].

### 3.3.4 Εσωτερικά δομικά στοιχεία

Τα εσωτερικά δομικά στοιχεία είναι εκείνα που βρίσκονται σε επαφή με χώρους που δεν κλιματίζονται και συνεπώς υπάρχει ροή θερμότητας από αυτούς προς το χώρο, για τον οποίο κάνουμε τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι εσωτερικοί τοίχοι, εσωτερικές οροφές, εσωτερικά δάπεδα, καθώς και εσωτερικές πόρτες. Εξαιρούνται 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:

$$\dot{q}_{\varepsilon\sigma} = K_{\varepsilon\sigma} \cdot A_{\varepsilon\sigma} \cdot TD$$

όπου:

$K_{\varepsilon\sigma}$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου [ $W/m^2K$ ]

$A_{\varepsilon\sigma}$  : το εμβαδόν της επιφάνειας του δομικού στοιχείου [ $m^2$ ]

TD : η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τον γειτονικό μη κλιματιζόμενο χώρο [K]

Για τη θερμοκρασιακή διαφορά ισχύει:

$$TD = t_b - t_i$$

όπου:



$t_b$  : 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:

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

όπου:

$t_{amax}$  : 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

### 3.3.5 Εσωτερικός φωτισμός

Η λειτουργία των λαμπτήρων φωτισμού έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται αξιοσημείωτα θερμικά και ψυκτικά φορτία επομένως πρέπει να υπολογίζεται το μέγεθός τους. Οι λαμπτήρες φωτισμού αποδίδουν στον αέρα του χώρου ποσά θερμότητας τα οποία μπορούν εύκολα να υπολογιστούν, όταν είναι με ακρίβεια γνωστά τα στοιχεία και η χρήση της σχετικής εγκαταστάσεως.

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.

### 3.3.6 Άτομα

Άτομα που βρίσκονται μέσα στον χώρο δημιουργούν σημαντικά πρόσθετα φορτία. Τα φορτία αυτά είναι τόσο μεγαλύτερα όσο περισσότερο εντατικά δραστηριοποιούνται τα άτομα π.χ. (εργασία, άθληση).

Τα λανθάνοντα φορτία από ανθρώπους μπορούν να θεωρηθούν ως στιγμιαία ψυκτικά φορτία. Αντίθετα τα αισθητά φορτία δεν μετατρέπονται άμεσα σε ψυκτικό φορτίο.

Το στιγμιαίο αισθητό ψυκτικό φορτίο από ανθρώπους υπολογίζεται:

$$q_{αν,αισθ} = NP \cdot SenHG \cdot CLF$$

όπου:

- 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:

$$q_{αν,λαν} = NP \cdot LatHG$$

όπου:

- 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.

### 3.3.7 Διάφορες συσκευές

Ψυκτικά φορτία προκύπτουν από όλες τις καταναλώσεις ισχύος που λαμβάνουν χώρα μέσα στους εκάστοτε χώρους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στις εργομηχανές, μετατρέπεται σε θερμότητα η συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια. Πρέπει όμως πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη, ότι η παρουσία μιας μηχανής ή συσκευής σε ένα χώρο ,δεν συνεπάγεται τη συνεχή λειτουργία της και μάλιστα υπό πλήρες φορτίο.

Το στιγμιαίο αισθητό ψυκτικό φορτίο από συσκευές δίνεται από:

$$q_{\sigma\sigma,\sigma\sigma\theta} = HEATGAIN_{Sen} \cdot CLF$$

όπου:

- $HEATGAIN_{Sen}$  : 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 χοάνη 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 :

$$q_{\sigma\sigma,\lambda\alpha\nu} = HEATGAIN_{Lat}$$

όπου:

- $HEATGAIN_{Lat}$  : η στιγμιαία λανθάνουσα θερμική ισχύς που παράγεται στο χώρο. • Όταν πάνω από μία συσκευή υπάρχει χοάνη απαγωγής,  $HEATGAIN_{Lat} = 0$ .

- 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.

### 3.3.8 Αερισμός κτιρίου

Η μικρή υπερπίεση που αναπτύσσεται στους θερμαινόμενους χώρους, ωθεί προς τα έξω αέρα του χώρου δια των χαραμάδων των κουφωμάτων ή περισσότερο έντονα όταν ανοίγουν πόρτες ή παράθυρα. Την ποσότητα αυτή θερμού αέρα αντικαθιστούν ρεύματα ψυχρού αέρα τα οποία εισδύουν στα χαμηλότερα επίπεδα (κοντά στο δάπεδο) και προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ποσότητες αυτές

νωπού αέρα όταν είναι μικρές είναι απόλυτα αναγκαίες για την ανανέωση του αέρα των χώρων και η θερμική επιβάρυνση που δημιουργούν είναι μικρή. Όταν όμως οι χαραμάδες θυρών και παραθύρων είναι μεγάλες έχουμε σημαντικές δαπάνες στην ενέργεια .

Ο αερισμός λοιπόν ενός κτιρίου και πιο συγκεκριμένα ενός χώρου είναι απαραίτητος 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:

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

Όπου ,

$q_{s,a}$ : 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)

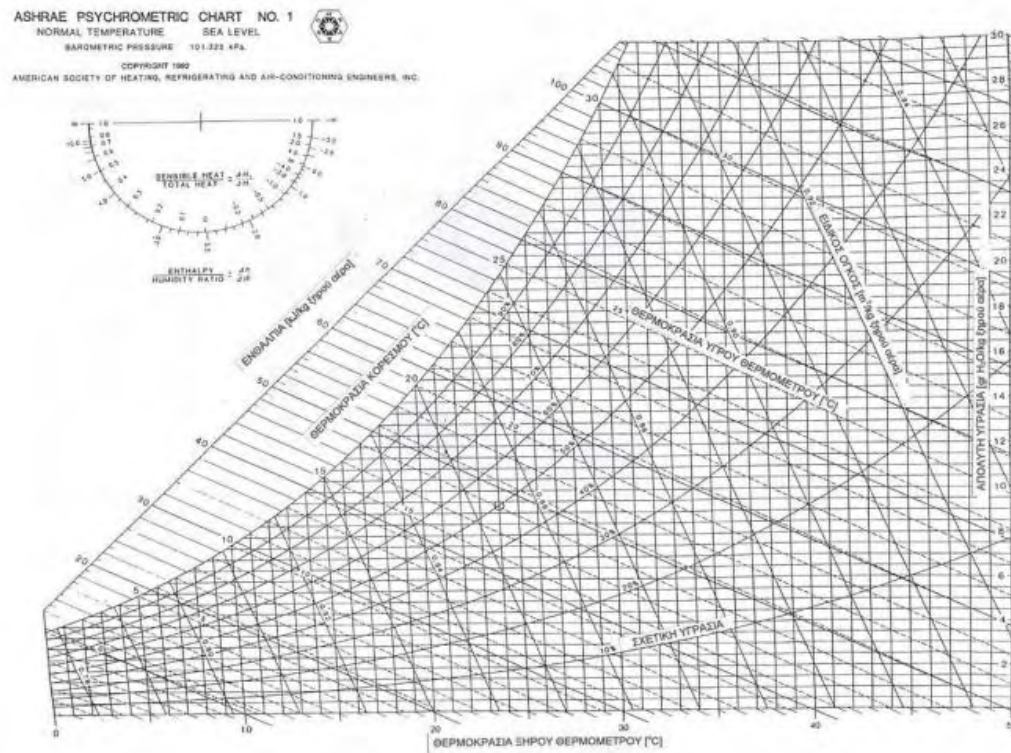
$\rho$  : η πυκνότητα του αέρα (1.2 kg/m<sup>3</sup> )

$c_p$  : 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)



Σχήμα 16: Ψυχομετρικός χάρτης (ASHRAE, 2010)

### 3.4 Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας

Στις περισσότερες κατασκευές (κυρίως σε μικρά κτίρια) ,συναντώνται σοβαρές αποκλίσεις σε σχέση με τις οδηγίες και τους κανονισμούς. Για τις περιπτώσεις αυτές στις οποίες δεν θα δώσουμε ιδιαίτερη έμφαση, καθώς το κτίριο που θα μελετήσουμε είναι μεγαλύτερο, ο συντελεστής θερμοπερατότητας πρέπει να υπολογιστεί σε κάθε περίπτωση με τις αναλυτικές σχέσεις (Μαχιάς Α. 2002).

Σημαντικό στοιχείο για την ενεργειακή ανάλυση ενός κτιρίου αποτελεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  που υπολογίζεται στην συγκεκριμένη εργασία με την βοήθεια του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε και θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Ακολουθούν οι βασικές ορολογίες και οι μέθοδοι υπολογισμών των συντελεστών θερμοπερατότητας και αποτελεσματικής θερμοχωρητικότητας.

**Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-Value):** Είναι η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από  $1 \text{ m}^2$  στοιχείου κατασκευής με πάχος  $d$  (m) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με  $10\text{K}$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

**Θερμική Αντίσταση (R):** Είναι η αντίσταση των στοιχείων στην ροή θερμότητας διαμέσου ομοιογενούς υλικού για διαφορά θερμοκρασίας στις δυο πλευρές του στοιχείου  $10\text{K}$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )

**Εσωτερική Επιφανειακή Αντίσταση ( $R_{si}$ ):** Είναι η αντίσταση στη ροή θερμότητας πάνω στην εσωτερική επιφάνεια του κατασκευαστικού στοιχείου ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ).

**Εξωτερική Επιφανειακή Αντίσταση ( $R_{se}$ ):** Είναι η αντίσταση στη ροή θερμότητας πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του κατασκευαστικού στοιχείου ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ).

Μεθοδολογία υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

Γενικά ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου γίνεται για κάθε ένα δομικό στοιχείο ξεχωριστά (τοίχοι, πατώματα, οροφές και στέγες), σύμφωνα με το πρότυπο CYS EN ISO 6946: 2007.

Για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου που αποτελούνται από ομοιογενείς στρώσεις υλικών<sup>1</sup> και διαχωρίζουν το εσωτερικό από το εξωτερικό περιβάλλον, ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_i$  δίνεται από τη σχέση:

$$U_i = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

όπου ,

$R_{si} [\text{m}^2 \text{ K} / \text{W}]$  : η εσωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εσωτερικό περιβάλλον και στην εσωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου)

$R_{se} [m^2 K / W]$  : η εξωτερική επιφανειακή αντίσταση (ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και στην εξωτερική επίπεδη επιφάνεια του στοιχείου)

$d$  : Πάχος του υλικού (m)

$\lambda$  : Τυπικός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m K)

Θερμική αντίσταση στρώματος αέρα ( $R_a$ )

Η επόμενη περίπτωση είναι όταν το στρώμα αέρα βρίσκεται εγκλωβισμένο μεταξύ δομικών αδιαφανών στοιχείων, η θερμική αντίσταση του στρώματος αέρα ( $R_a$ ) επιλέγεται από τους Πίνακες ανάλογα με την περίπτωση και ανάλογα με τη διεύθυνση της ροής θερμότητας και το ποσοστό αερισμού έτσι η παραπάνω σχέση γίνεται :

$$U_i = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_a + R_{se}}$$

### 3.5 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ραδιενέργεια

Στους χώρους παραμονής ανθρώπων είναι αναγκαίο να εξεταστεί και η επίδραση των διαφόρων ακτινοβολιών οι οποίες μπορεί να προέρχονται είτε από το φυσικό περιβάλλον την παρουσία υλικών ή την λειτουργία μηχανημάτων και συσκευών όπως έχει προαναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Επομένως σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με την ηλιακή ακτινοβολία και την ηλιακή ενέργεια (Twidell J & Weir T. 2006) .

Λόγω της συνεχούς μεταβολής της ηλεκτρονικής δομής και της ενεργειακής κατάστασης των ηλεκτρονίων, ατόμων και μορίων τα επιταχυνόμενα φορτία ή μεταβαλλόμενα ρεύματα εκπέμπουν η/μ ακτινοβολία καθώς επιδρούν άμεσα

Τα η/μ κύματα είναι οι φορείς της ενέργειας που εκπέμπει η ύλη (αέρια, υγρά, στερεά) και διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός (Maxwell, 1864). Επίσης,



ανέφερε ότι το ίδιο το φως είναι στη μορφή ενός η/μ κύματος. Η θεωρία του Maxwell επαληθεύθηκε πειραματικά από τον Hertz.

Με τη κλασσική προσέγγιση η ακτινοβολία μπορεί να μελετηθεί με βάση τη θεωρία μεταφοράς ενέργειας με η/μ κύματα. Όμως απαιτείται να μελετηθεί η φασματική κατανομή της ενέργειας που εκπέμπεται από ένα σώμα ή οι ιδιότητες ακτινοβολίας των αερίων.

### 3.5.1 Θερμική ακτινοβολία

#### A) ακτινοβολία «μελανού σώματος»

Σε κάθε σώμα παρατηρείται εκπομπή και παραλαβή ενέργειας υπό μορφή ακτινοβολίας (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος από 0,02 μέχρι 800μm). Η ποσότητα της θερμικής ακτινοβολίας  $Q$  που εκπέμπει ένα σώμα από κάθε μονάδα της επιφάνειας του, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την απόλυτη θερμοκρασία του και ένα ειδικό συντελεστή ακτινοβολίας  $c$  (νόμος Stefan Boltzmann) :

$$Q = c \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (\text{σε W/m}^2)$$

Ο συντελεστής ακτινοβολίας  $c$  εξαρτάται από την φύση κάθε σώματος, την κατάσταση της επιφάνειας του και τη θερμοκρασία. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή ακτινοβολίας εμφανίζεται στην επιφάνεια «μαύρου σώματος» οπότε παίρνει την τιμή :  $c=5,67 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 = 4,9 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \text{ h K}^4)$

#### B) Ακτινοβολία πραγματικού σώματος

Το «μέλαν ή μαύρο σώμα» απορροφά (θεωρητικά τουλάχιστον) το σύνολο της θερμικής ακτινοβολίας που πέφτει επάνω του. Κάθε άλλο σώμα απορροφά ποσοστό αυτής της ακτινοβολίας :

$$c = \varepsilon \cdot c_0$$

Εκτός λοιπόν από το «μαύρο σώμα» το οποίο απορροφά το σύνολο της ακτινοβολίας που πέφτει σε αυτό ( $\varepsilon=1$ ), μπορούμε χονδρικά να διακρίνουμε τις περιπτώσεις :

- Λευκό σώμα : αντανακλά το σύνολο της ακτινοβολίας απάνω του ( $\varepsilon=0$ )
- Φαίο σώμα : απορροφά το ίδιο ποσοστό από όλα τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που πέφτει επάνω του
- Έγχρωμο σώμα : απορροφά επιλεκτικά την ακτινοβολία ορισμένου μήκους κύματος

Κατά τον νόμο του Kirchhoff ,για την επιφάνεια που βρίσκεται σε θερμοκρασιακή ισορροπία με το περιβάλλον ,ισχύει ότι ο βαθμός εκπομπής ( $\varepsilon$ ) είναι ίσος με το βαθμό απορροφήσεως ( $\alpha$ ).

### Γ) Κατανομή της ακτινοβολίας στο χώρο

Η στοιχειώδης επιφάνεια ενός «μαύρου σώματος» εκπέμπει ενέργεια (με την μορφή ακτινοβολίας) προς όλες τις κατευθύνσεις. Κατά τον νόμο Lambert,η ακτινοβολουμένη ενέργεια  $\Delta W_\phi$  από μια στοιχειώδη επιφάνεια  $\Delta F$ , προς μια κατεύθυνση που ορίζεται από την γωνία  $\phi$  ,ως προς κάθετη διεύθυνση  $h$  και την στερεά γωνία  $\Delta\omega$  είναι :

$$\Delta W_\phi = Q_n \cdot \cos\phi \cdot \Delta\omega \cdot \Delta F$$

Στους πρακτικούς υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι συντελεστές  $\varepsilon$  για την συνολική ακτινοβολία εκπομπής ,  $\varepsilon_n$  για την ακτινοβολία σε διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια και  $\varepsilon_\phi$  για διεύθυνση που σχηματίζει γωνία  $\phi$  με το  $n$ .

Με βάση τον νόμο του Planck ,προσδιορίζεται η μεταβολή της εντάσεως της ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος για «μαύρο σώμα» :

$$Q_{o\lambda} = (c_1 \cdot \lambda) / (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)$$

Όπου ,

$\lambda$  : το μήκος κύματος σε (m)

$c_1$ : σταθερά ίση με  $3,74 \times 10^6 \text{ W/m}^2$

$c_2$ : σταθερά ίση με  $1,44 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$

$e$ : βάση των λογαρίθμων (=2,718281)

$T$ : απόλυτη θερμοκρασία σε K

Δ) ακτινοβολία από σώμα σε σώμα

Στην περίπτωση δύο σωμάτων (1) εκπέμπει ακτινοβολία σε όλο τον χώρο και επομένως και προς ένα σώμα (2) του ίδιου χώρου. Η ενέργεια που δέχεται το σώμα (2), εξαρτάται από την σχετική θέση και την μορφή των δύο σωμάτων, όπως και από την απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειάς τους.

Στις περιπτώσεις αυτές, πρέπει να προσδιοριστεί ένας νέος συντελεστής  $c_{1,2}$  που εξαρτάται από τις τιμές  $c_1$  και  $c_2$  και την γεωμετρική σχέση και τοποθέτηση των δύο σωμάτων. Έτσι, όταν δέκτης της θερμικής ενέργειας είναι επίπεδη επιφάνεια  $F_2$  με συντελεστή  $c_2$  παράλληλη προς άλλη επίπεδη επιφάνεια  $F_1$  προκύπτει :

$$Q_{1 \rightarrow 2} = F_2 \cdot c_{1,2} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Για να ισχύει η παραπάνω σχέση, πρέπει οι γραμμικές διαστάσεις των επιφανειών να είναι αρκετά μεγαλύτερες από την μεταξύ τους απόσταση.

- Για δύο παράλληλες επίπεδες επιφάνειες από φαιά σώματα, ικανότητας εκπομπής  $\varepsilon_1$  και  $\varepsilon_2$  προκύπτει :

$$c_{1,2} = c \left[ \left( \frac{1}{\varepsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\varepsilon_2} \right) - 1 \right]$$

- Στην περίπτωση δύο ομόκεντρων σωλήνων με  $F_1 \ll F_2$  είναι  $c_{1,2} = \varepsilon_1 \cdot c$
- Σε ομόκεντρους σωλήνες  $F_1 = F_2$

$$c_{1,2} = c \left[ \left( \frac{1}{\varepsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\varepsilon_2} \right) - 1 \right]$$

Έτσι στα προβλήματα συναλλαγής ενέργειας με ακτινοβολία, η δυσκολία εντοπίζεται στον υπολογισμό των κατάλληλων κατά την περίπτωση αριθμών ακτινοβολίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ H.A.P.

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

Το πρόγραμμα Ωριαίας Ανάλυσης της Carrier (**HAP**) είναι ένα εργαλείο πληροφορικής που βοηθά τους μηχανικούς στο σχεδιασμό συστημάτων κλιματισμού σε σύγχρονα κτίρια και εμπορικές εγκαταστάσεις.

Το **HAP** ενσωματώνει δύο εργαλεία σε ένα. Πρώτον, ένα λογισμικό για την εκτίμηση των ψυκτικών και θερμικών φορτίων για το σχεδιασμό συστημάτων κλιματισμού και δεύτερον, ένα εργαλείο για την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και τον υπολογισμό της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Δεδομένης της ενεργειακής προσομοίωσης που παρέχει, το HAP αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τον ενεργειακό σχεδιασμό και την αξιολόγηση κατά LEED® και KENAK.

Το **HAP** απευθύνεται σε μηχανικούς σχεδιασμού και κατασκευής κτιριακών εγκαταστάσεων, μελετητές, εργολάβους και άλλους επαγγελματίες, που ασχολούνται με τον κλιματισμό κτιρίων και εμπορικών εφαρμογών.

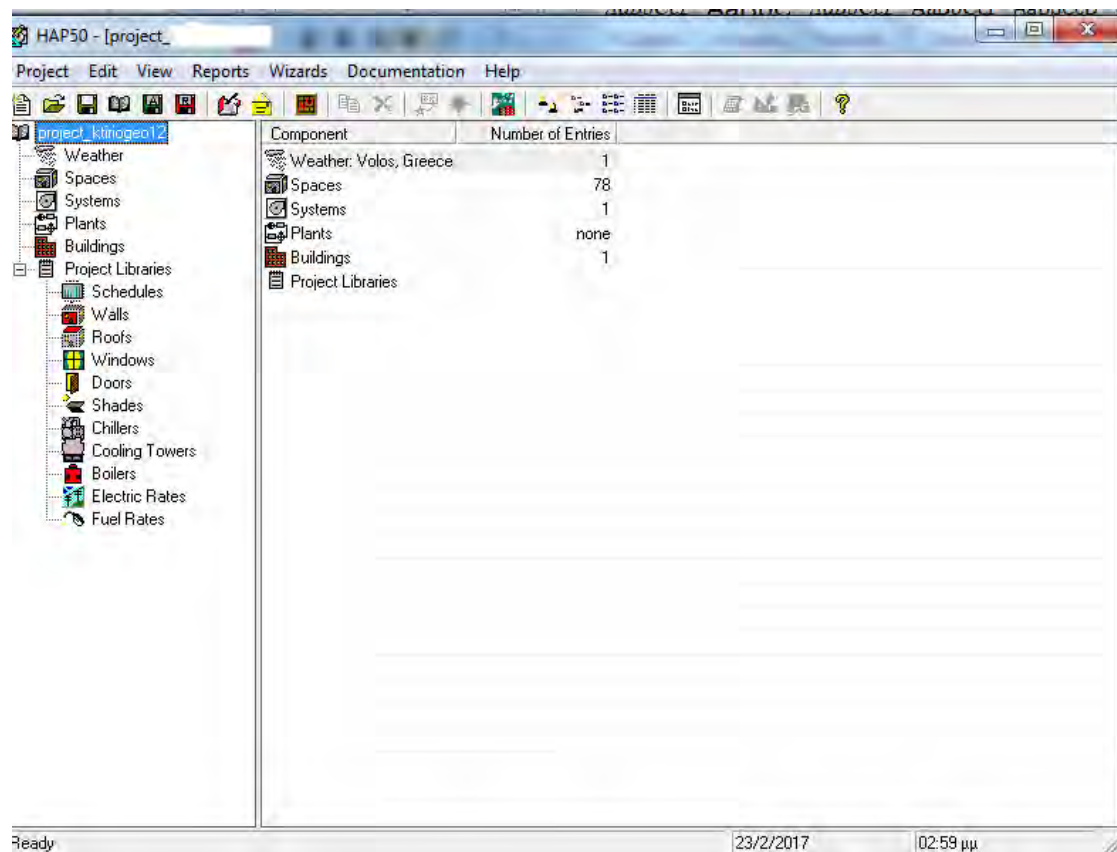
Το **HAP** λειτουργεί σε λειτουργικό περιβάλλον windows και χρησιμοποιεί τη Μέθοδο Ροής Θερμικών Φορτίων της **ASHRAE**. Υπολογίζει και διαστασιολογεί το επιθυμητό σύστημα κλιματισμού του μελετητή, όπως κεντρικές ή τοπικές κλιματιστικές μονάδες νερού, υγραντές, στοιχεία με αναθέρμανση, συστήματα απευθείας εκτόνωσης DX ενιαίου ή διαιρούμενου τύπου (Split / Packaged DX), καθώς και συστήματα CAV, VAV, Water Source Heat Pumps.

Το **HAP** εκτελεί Ωριαία Ενεργειακή Ανάλυση 8760 Ωρών (Hour by Hour Energy Analysis) προσομοιώνοντας τη συμπεριφορά του κτιρίου σε όλες τις καιρικές συνθήκες και τις εσωτερικές παραμέτρους λειτουργίας.

Η Ενεργειακή Κατανάλωση και το λειτουργικό κόστος του επιλεγμένου συστήματος κλιματισμού αναλύονται με βάση τα κόστη του ενεργειακού καύσιμου, που χρησιμοποιείται (Ηλεκτρική Ενέργεια, Φυσικό Αέριο, Νερό κ.α.)

Το **HAP** παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες του να προσδιορίσουν για ένα προτεινόμενο έργο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενεργειακής απόδοσης ή συμπαραγωγής ενέργειας, εάν είναι οικονομικά σκόπιμο και ωφέλιμο να διεξαχθεί. Με αυτό τον τρόπο, το HAP αποτελεί ένα γρήγορο, φιλικό προς το χρήστη και χαμηλό σε κόστος μέσο να αντιληφθεί ο μελετητής την βιωσιμότητα και το επιχειρηματικό ρίσκο ενός προσχεδιασμένου έργου μέσω της ενεργειακής ανάλυσης του.

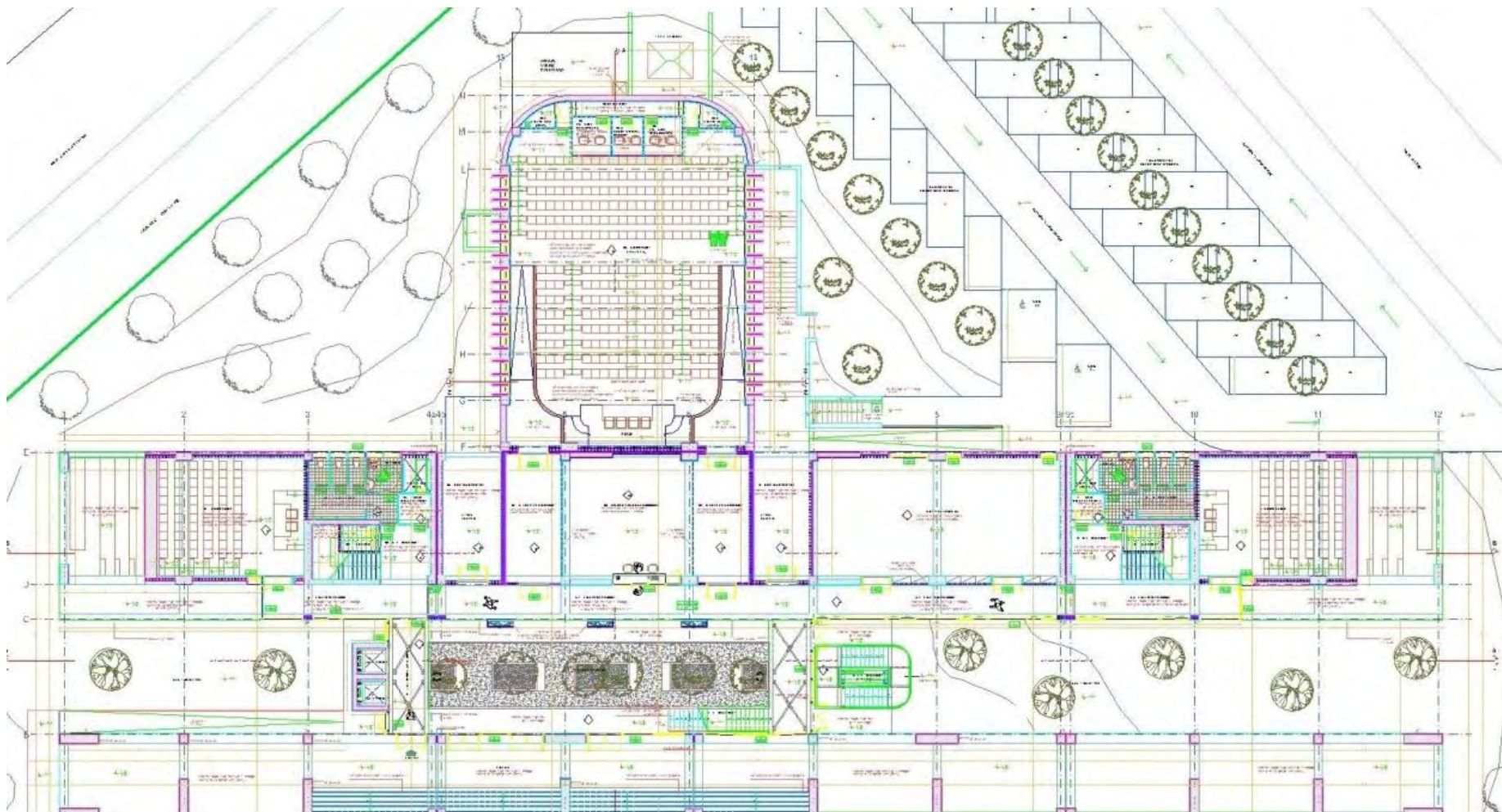
Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα διεξαχθεί μελέτη στο κτίριο του τμήματος ΗΜΜΥ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τεσσάρων ορόφων με βόρεια όψη 2896 τ.μ. Η ενεργειακή ανάλυση θα διεξαχθεί με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος **HAP** το οποίο παρουσιάστηκε παραπάνω. Ακολουθεί ενότητα στην οποία περιγράφονται εκτενώς τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου κτιρίου στο οποίο διεξήχθη η μελέτη:



Σχήμα 17: Περιβάλλον λογισμικού H.A.P.

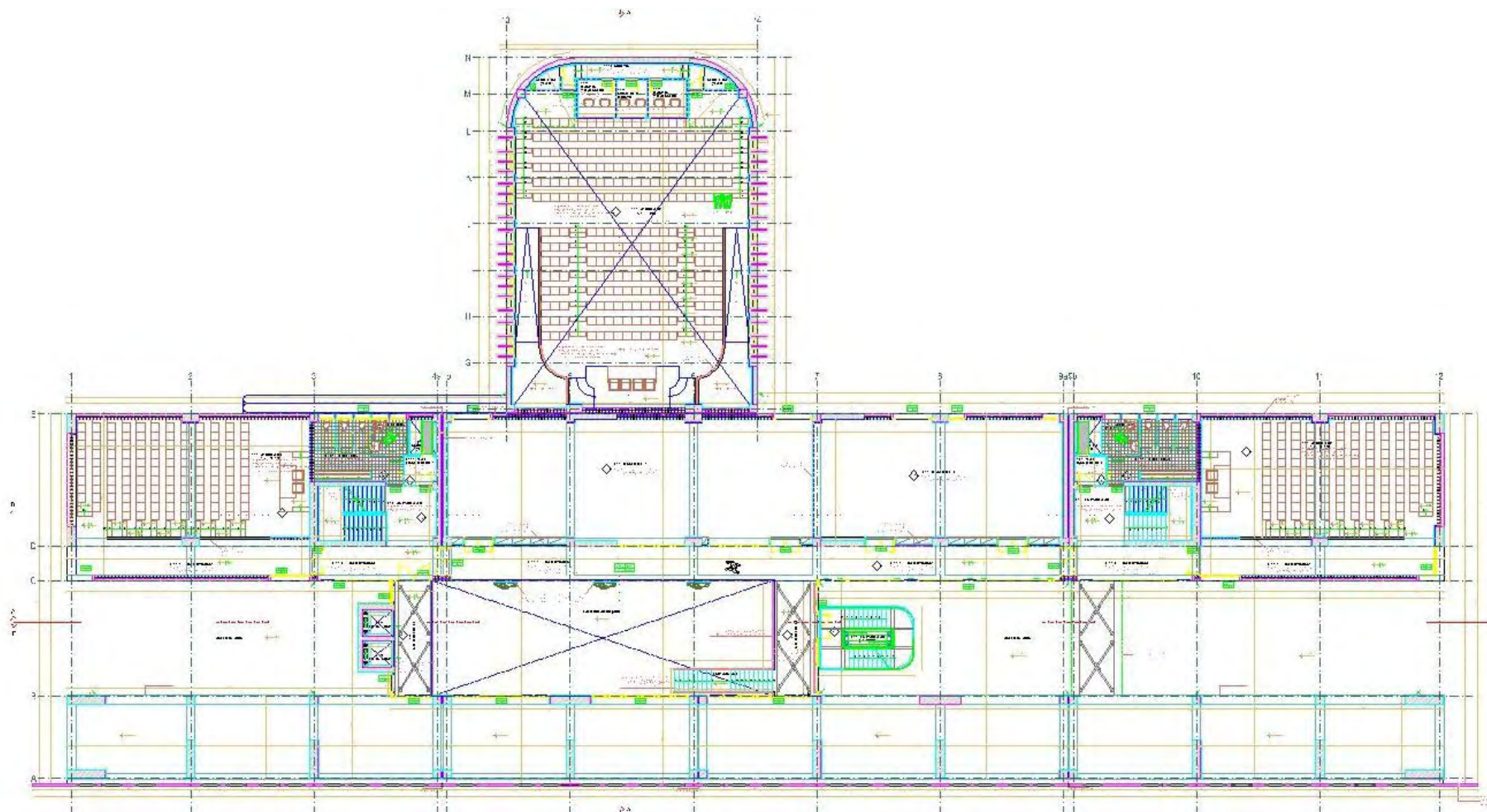
## 4.2 Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου

Στα Σχήματα 18 μέχρι 22 παρατίθεται τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου (κατόψεις – πρόσοψη).



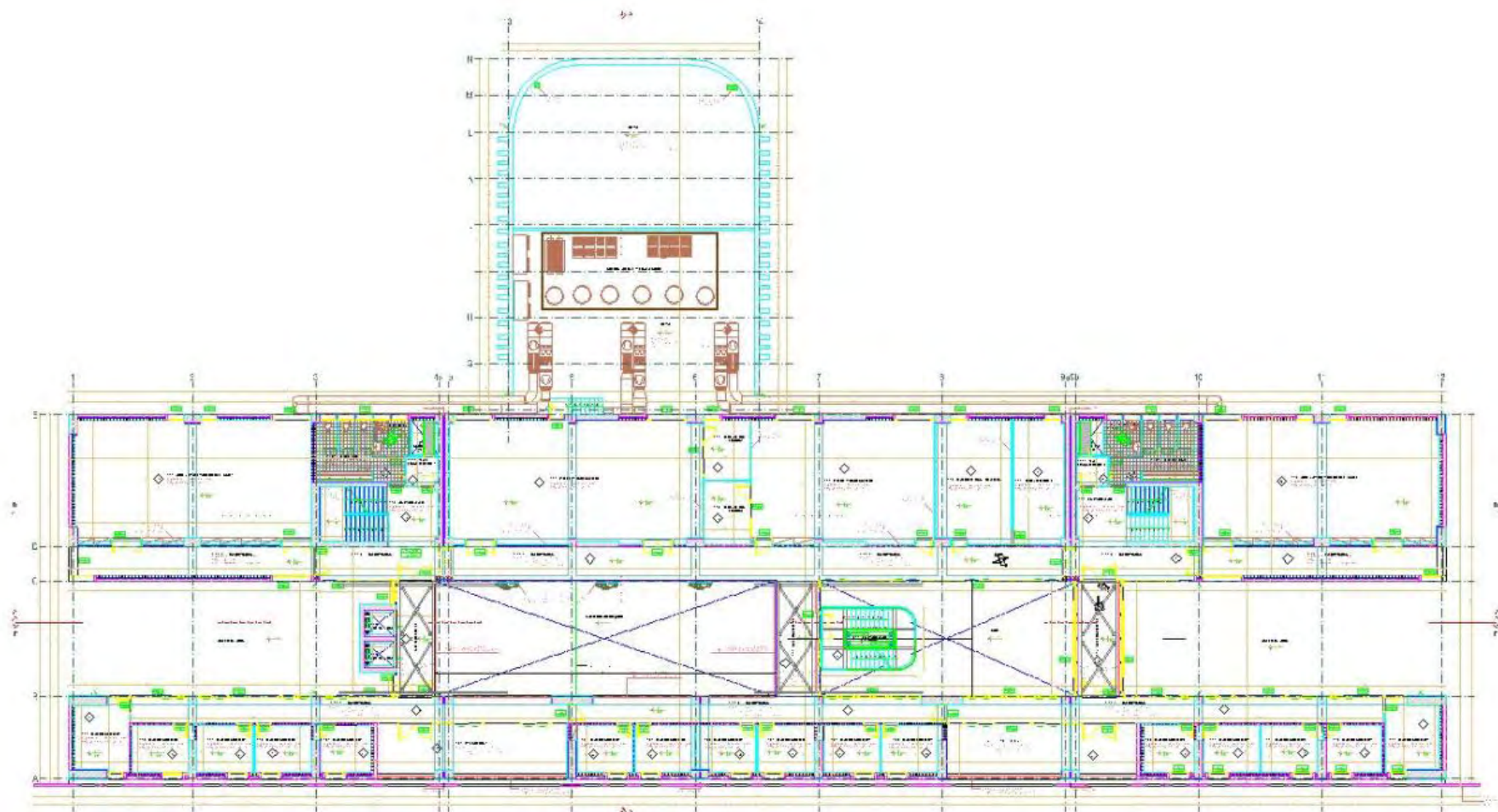
Σχήμα 18: Κάτοψη Ισογείου



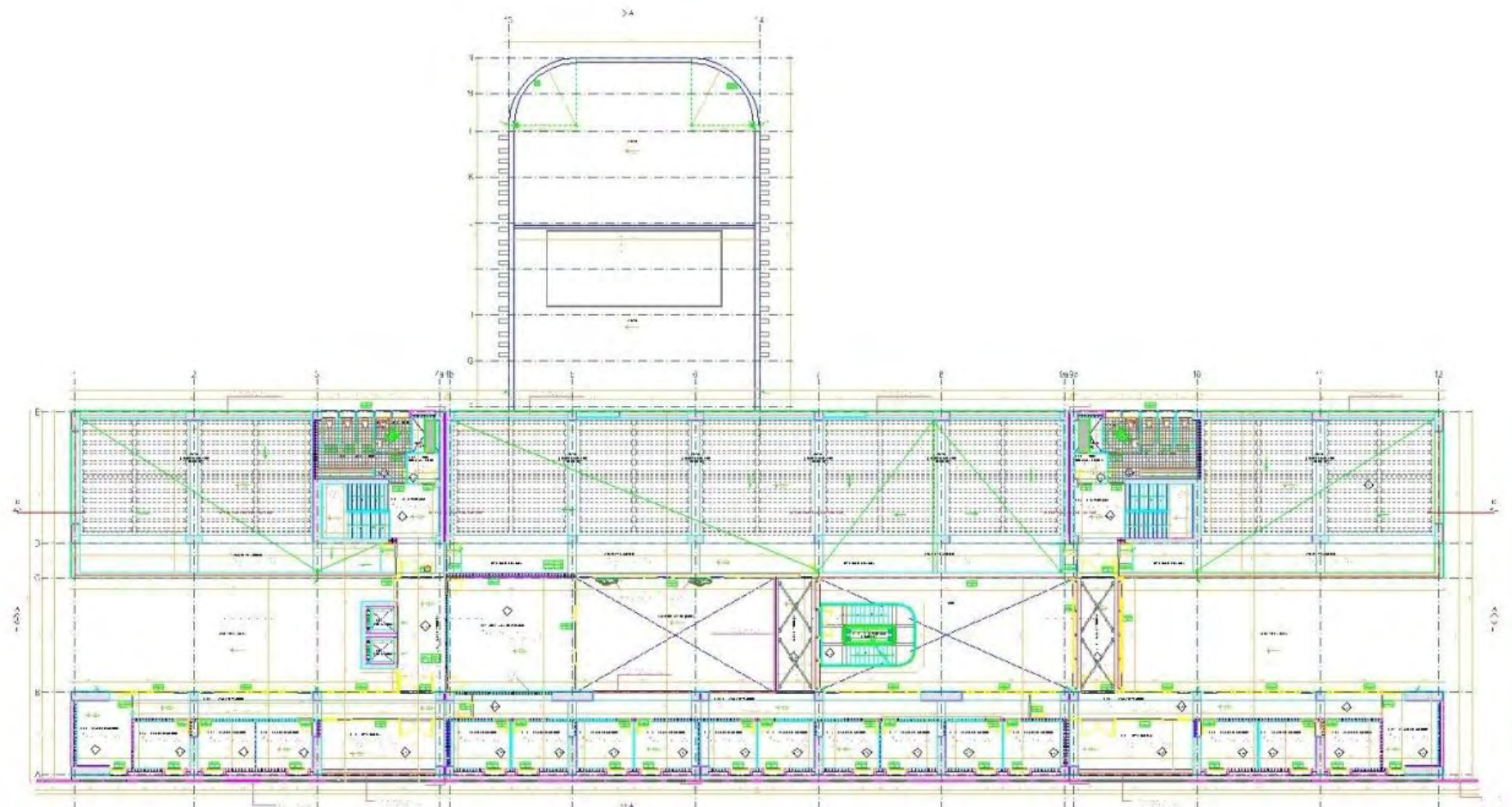


Σχήμα 19: Κάτοψη Α' Ορόφου





Σχήμα 20: Κάτοψη Β' Ορόφου



Σχήμα 21: Κάτοψη Γ' Ορόφου



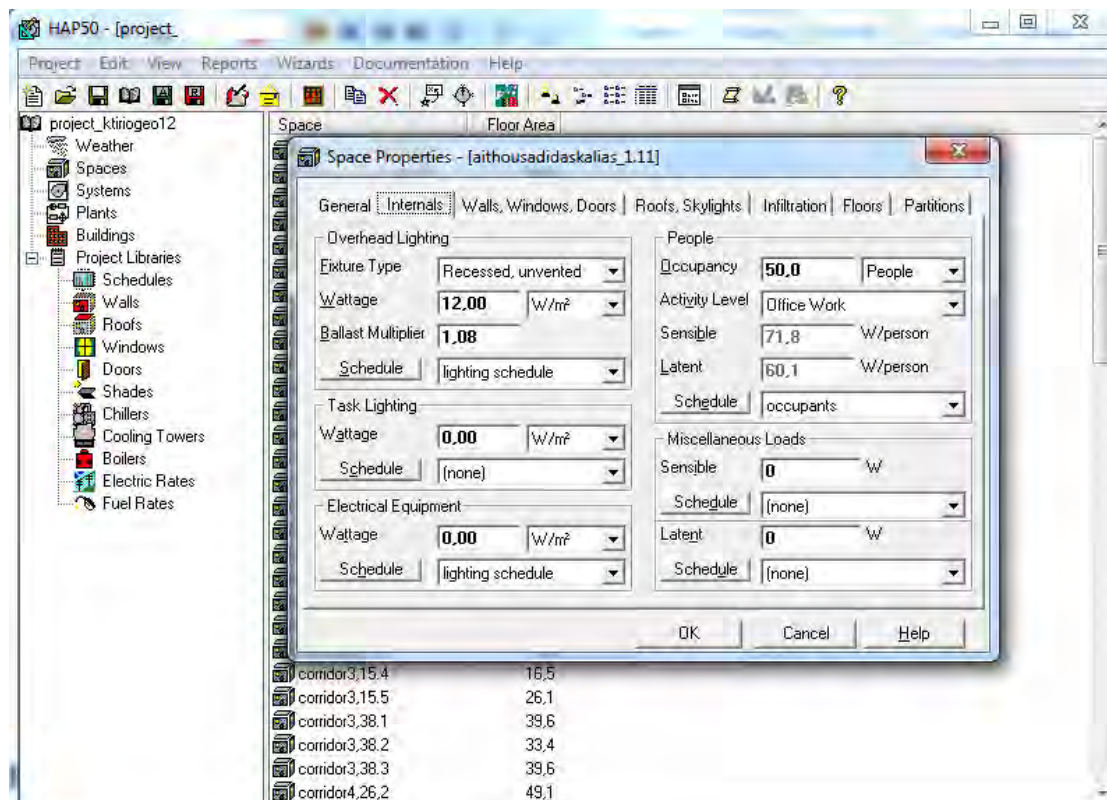
Σχήμα 22: Πρόσοψη



### 4.3.1 Χαρακτηριστικά Κτιρίου

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθούν οι ενεργειακές ανάγκες του νεόκτιστου κτιρίου του τμήματος ΗΜΜΥ του πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στο Βόλο. Το συνολικό εμβαδόν του κτιρίου είναι 2644,5 m<sup>2</sup>, έχει βόρεια όψη και είναι τετραώροφο. Ο υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών γίνεται σύμφωνα με το υπολογιστικό πρόγραμμα HAP που χρησιμοποιείται και έχει αναλυθεί παραπάνω.

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του κελύφους, της οροφής και των παραθύρων του κτιρίου και ορίζονται οι αρχιτεκτονικές κατασκευαστικές του ιδιότητες. Ουσιαστικά δηλαδή σε αυτήν την ενότητα θα μελετηθεί η παθητική μόνωση του κτιρίου.



Σχήμα 23: Εισαγωγή στοιχείων για κάθε χώρο

Πίνακας 1: Στρώματα κελύφους τύπου 1

		Πάχος	Πυκνότητα	Specific Ht.	R-Value	Βάρος
		Mm	kg/m <sup>3</sup>	kJ/(kg K)	(m <sup>2</sup> ·K)/W	kg/m <sup>2</sup>
Στρώματα	Συντελεστής εσωτερικής επιφάνειας	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
	203mmHW σκυρόδεμα	203,200	2242,6	0,84	0,11741	455,7
	Θερμομονωτικό υλικό-ορυκτοβάμβακα	65,480	8,0	0,84	6,77347	2,4
	13mm επίχρισμα τσιμεντοκονίαμα	12,700	720,8	1,34	0,05645	9,2
	Στρώμα αέρα	0,000	0,0	0,00	0,16026	0,0
	Συντελεστής εξωτερικής επιφάνειας	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
	<b>Συνολικά</b>	<b>520,700</b>	<b>-</b>		<b>7,28686</b>	<b>467,3</b>
	U-Τιμή W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,371</b>				
	Απορροφητικότητα	<b>0,450</b>				

Πίνακας 2: Στρώματα κελύφους τύπου 2

		Πάχος	Πυκνότητα	Specific Ht.	R-Value	Βάρος
		mm	kg/m <sup>3</sup>	kJ/(kgK)	(m <sup>2</sup> ·K)/W	kg/m <sup>2</sup>
Στρώματα	Συντελεστής εσωτερικής επιφάνειας	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
	Πολύτρυπτο τούβλο	203,200	1922,2	0,84	0,27954	390,6
	Θερμομονωτικό υλικό-ορυκτοβάμβακα	30,480	8,0	0,84	6,77347	2,4
	13mm επίχρισμα τσιμεντοκονίαμα	12,700	720,8	1,34	0,05645	9,2
	Στρώμα αέρα	0,000	0,0	0,00	0,16026	0,0
	Συντελεστής εξωτερικής επιφάνειας	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
	<b>Συνολικά</b>	<b>520,700</b>	<b>-</b>		<b>7,44899</b>	<b>402,2</b>
	U-Τιμή W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,314</b>				
	Απορροφητικότητα	<b>0,450</b>				

Στους πίνακες 1 και 2 διακρίνονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και εισήχθησαν στο λογισμικό για την κατασκευή των τοιχοποιών. Χαρακτηριστικό είναι ότι έχουμε δύο τύπους κελυφών, ο ένας είναι με πολύτρυπτο τούβλο και ο άλλος με 203mm σκυρόδεμα. Αυτά τα δύο υλικά αποτελούν τα πλέον διαδεδομένα για την κατασκευή κελυφών τοιχοποιών στην Ελλάδα.

Πίνακας 3: Στρώματα κελύφους οροφής

Στρώματα	Πάχος mm	Πυκνότητα kg/m <sup>3</sup>	Specific Ht. kJ / (kg K)	R-Value (m <sup>2</sup> ·K)/W	Βάρος kg/m <sup>2</sup>
Συντελεστής εσωτερικής επιφάνειας	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
Επίχρισμα Τσιμεντοκονίαμα	0,853	7833,0	0,50	0,00002	6,7
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	25,400	32,0	0,92	1,22291	0,8
Σκυρόδεμα Μέσης Πυκνότητας	9,540	1121,3	1,47	0,05847	10,7
Συντελεστής εξωτερικής επιφάνειας	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
<b>Συνολικά</b>	<b>35,794</b>	<b>-</b>		<b>1,46067</b>	<b>18,2</b>
<b>Χαρακτηριστικά Οροφής</b>					
Εξωτερικό χρώμα κελύφους	<b>Dark (σκούρο)</b>				
Απορροφητικότητα	<b>0,900</b>				
U-Τιμή W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,685</b>				

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά θυρών

Είδη θυρών		1	2	3	4
<b>Χαρακτηριστικά Πορτών</b>	Επιφάνεια Πόρτας m <sup>2</sup>	4,2	4,0	5,4	2,0
	U-Τιμή Πόρτας	1,703	1,703	1,703	1,703
<b>Λεπτομέρειες Υαλοστασίου</b>	Επιφάνεια Γυαλιού m <sup>2</sup>	3,8	3,0	2,5	1,7
	U-Τιμή W/(m <sup>2</sup> ·K)	3,293	3,293	3,293	3,293
	Συντελεστής Σκίασης Γυαλιού	0,880	0,880	0,880	0,880

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά παραθύρων

Χαρακτηριστικά Παραθύρων	1	2	3	4	5	6	7	8
Ύψος m	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,10
Πλάτος m	1,00	2,36	3,80	4,50	1,45	5,80	6,80	2,70
Τύπος Πλαισίου	Αλουμίνιο με φράγμα θερμότητας	—	—	—	—	—	—	
U-Τιμή W/(m <sup>2</sup> ·K)	2,730	2,746	2,731	2,728	2,771	2,723	2,721	2,751
Συνολικός Συντελεστής Σκίασης	0,747	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683

#### 4.3.2 Χρονοδιαγράμματα

Όπως προαναφέρθηκε το κτίριο στο οποίο γίνεται η διεξαγωγή της μελέτης είναι ένα πανεπιστημιακό ίδρυμα, κατά συνέπεια τηρεί ως επί το πλείστον το ακαδημαϊκό ημερολόγιο του κάθε έτους ,με μερικές αποκλίσεις. Στους παρακάτω πίνακες(6,7) γίνεται αναλυτική περιγραφή των ωραρίων καθώς και των ημερών λειτουργίας.

**Πίνακας 6: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή εργασιμων ημερών**

Ωρα	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Τιμή	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	U	U	U

**Πίνακας 7: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή διακοπών-αργιών**

Ωρα	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Τιμή	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U

Στους πίνακες 6,7 παρουσιάζονται οι ώρες που πρέπει να λειτουργεί το σύστημα μας ημερήσια βάση του θερμοστάτη. Στις ώρες με O (Occupied) το πανεπιστήμιο είναι σε πλήρη λειτουργία (διδάσκονται μαθήματα ,λειτουργούν εργαστήρια, γραφεία κ.τ.λ.) , ενώ στις ώρες με U (Unoccupied) στις αίθουσες του κτιρίου βρίσκονται ελάχιστα άτομα.

### Πίνακας 8: Εβδομαδιαία-Μηνιαία Κατανομή

[illegible]

Στον πίνακα 8 απεικονίζεται στο κάθε μήνα οι μέρες κανονικής λειτουργίας του κτιρίου (1) και οι μέρες μερικής λειτουργίας (2). Ως διακοπές έχουν υπολογιστεί οι επίσημες διακοπές και αργίες του ακαδημαϊκού ημερολογίου του έτους (Πίνακας 9).

### Πίνακας 9: Ετήσια Κατανομή Αργιών

[illegible]

Στους παρακάτω πίνακες (10,11) ακολουθούν ενδεικτικά τα ποσοστιαία schedules (χρονοδιαγράμματα) αρχικά για το φωτισμό και έπειτα για τα άτομα που βρίσκονται στο κτίριο.



Πίνακας 10: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή εργασιμων ημερών (φωτισμός)

Ωρα	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Τιμή	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	10	10	10

Πίνακας 11: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή διακοπών-αργιών (φωτισμός)

Ωρα	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Τιμή	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 12: Εβδομαδιαία-Μηνιαία Κατανομή λειτουργίας (φωτισμός)

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μα	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Δευτέρα	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Τρίτη	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Τετάρτη	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Πέμπτη	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Παρασκευή	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Σάββατο	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Κυριακή	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Διακοπές	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Πίνακας 13: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή εργασιμων ημερών (άτομα)

Ωρα	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Τιμή	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	90	100	100	100	100	30	30	80	80	80	80	30	0	0

Πίνακας 14: Ημερήσια Ωριαία Κατανομή διακοπών-αργιών (άτομα)

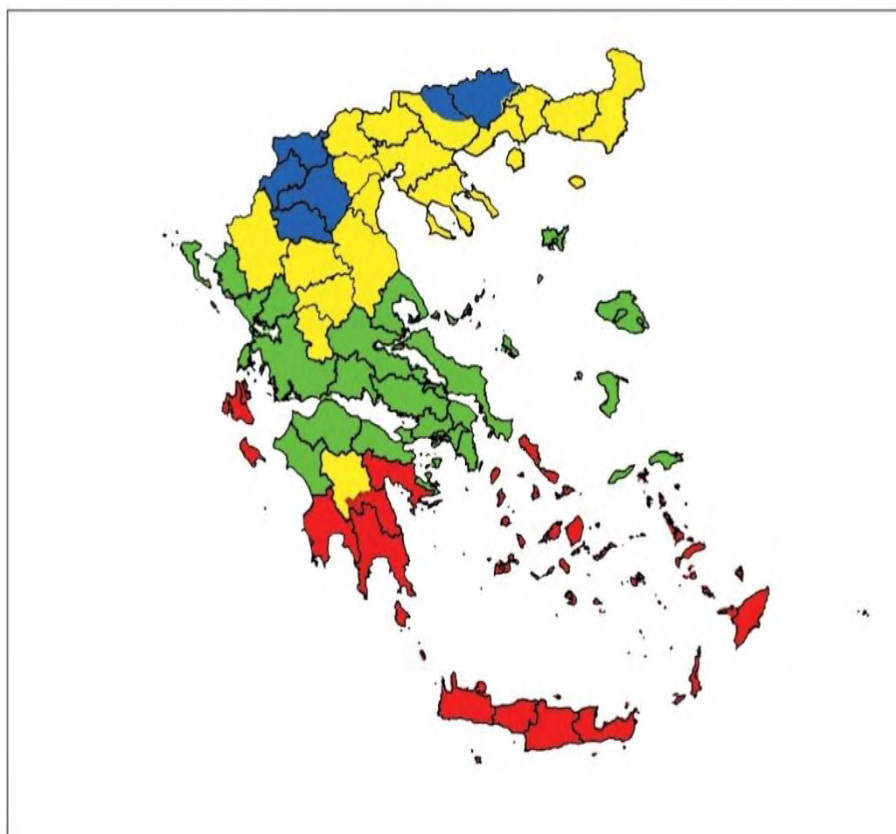
Ωρα	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Τιμή	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	15	15	15	15	5	5	5	5	5	5	0	0	0

Πίνακας 15: Εβδομαδιαία-Μηνιαία Κατανομή λειτουργίας (άτομα)

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μα	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>Δευτέρα</b>	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
<b>Τρίτη</b>	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
<b>Τετάρτη</b>	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
<b>Πέμπτη</b>	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
<b>Παρασκευή</b>	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
<b>Σάββατο</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Κυριακή</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Διακοπές</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

#### 4.4 Κλιματολογικά δεδομένα

Σύμφωνα με το Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ), για την εκπόνηση μελέτης ενεργειακής ανάλυσης κτιρίου, η ελληνική επικράτεια ομαδοποιείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες αναλόγως με τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Στο Σχήμα 23 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 πίνακα 16 αναγράφεται σε ποια ζώνη ανήκει ο κάθε Νομός της Ελλάδος.



Σχήμα 24: Κλιματικές ζώνες Ελλάδος (Κ.Ε.Ν.Α.Κ., 2008)

Πίνακας 16: Κλιματικές ζώνες (Κ.Ε.Ν.Α.Κ., 2008)

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

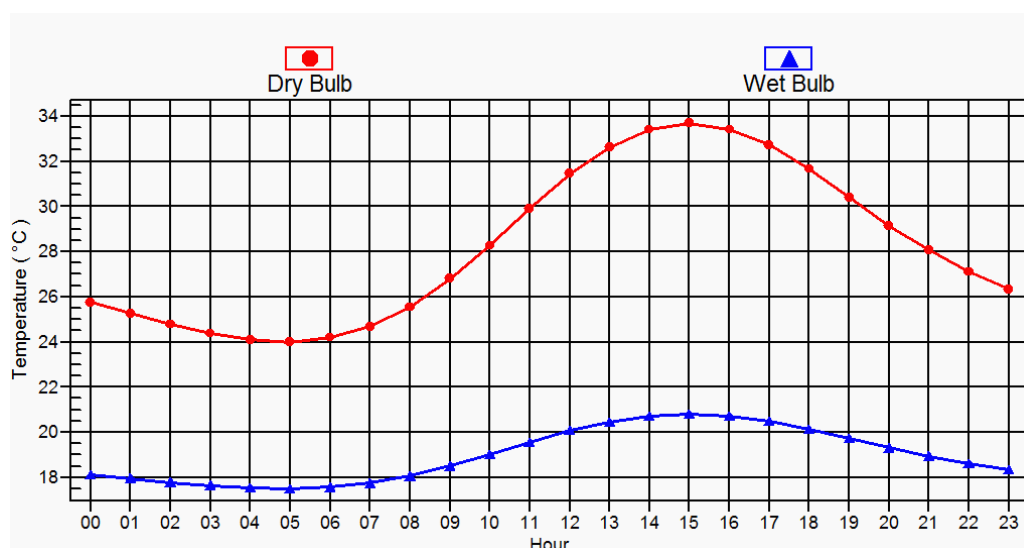
**Πίνακας 17: Παράμετροι Σχεδιασμού**

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 υαλοστάσιο 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>

Στο πίνακα 17 παρουσιάζονται οι παράμετροι σχεδιασμού για την γεωγραφική θέση του Βόλου και τα κλιματολογικά δεδομένα του.

Πίνακας 18 :Μηνιαίο Μέγιστο κέρδος ηλιακής ακτινοβολίας

Μήνας	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
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
Οκτώμβριος	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
Οκτώμβριος	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



Σχήμα 25: Θερμοκρασίες ξηρού και υγρού βολβού για το μήνα

## 4.5 Συστήματα Θέρμανσης Κλιματισμού

Για τη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου εφαρμόζονται δύο ανεξάρτητα συστήματα θέρμανσης κλιματισμού με απώτερο σκοπό τη σύγκριση των δύο συστημάτων. Το πρώτο σύστημα είναι η γεωθερμική αντλία θερμότητας ανοιχτού κυκλώματος και το δεύτερο η αντλία θερμότητας αέρα-νερού διαιρούμενου τύπου (split unit).

Εισάγοντας στο λογισμικό Hourly analysis program (H.A.P 5.0) τα δεδομένα για χαρακτηριστικά κελύφους (οροφής, παραθύρων, θυρών και τοιχοποιίας) για κάθε χώρο ξεχωριστά και επιπλέον συνυπολογίζοντας τα κλιματολογικά δεδομένα και το ακαδημαϊκό πρόγραμμα λειτουργίας, λαμβάνουμε τις απαραίτητες πληροφορίες για να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για το εκάστοτε σύστημα.

Ο νωπός αέρας είναι απαραίτητος στα κτίρια για να αναπληρώνουν με οξυγόνο που απαιτείται για την αναπνοή και να αραιωθεί το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα απόβλητα που παράγονται από τα άτομα που βρίσκονται στο χώρο. Σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να καθαριστεί ή να φιλτραριστεί ο εισερχόμενος νωπός αέρας να μειωθεί η πηγή και να επιτευχθεί καλή διανομή αέρα. Το σχέδιο ενός κατάλληλου συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού για τον καθαρισμό αέρα είναι συχνά το τελικό βήμα στην βεβαίωση ότι ένα σύστημα HVAC θα παράσχει υγιές και καθαρό εσωτερικό περιβάλλον (Splitter J.D. 2013).

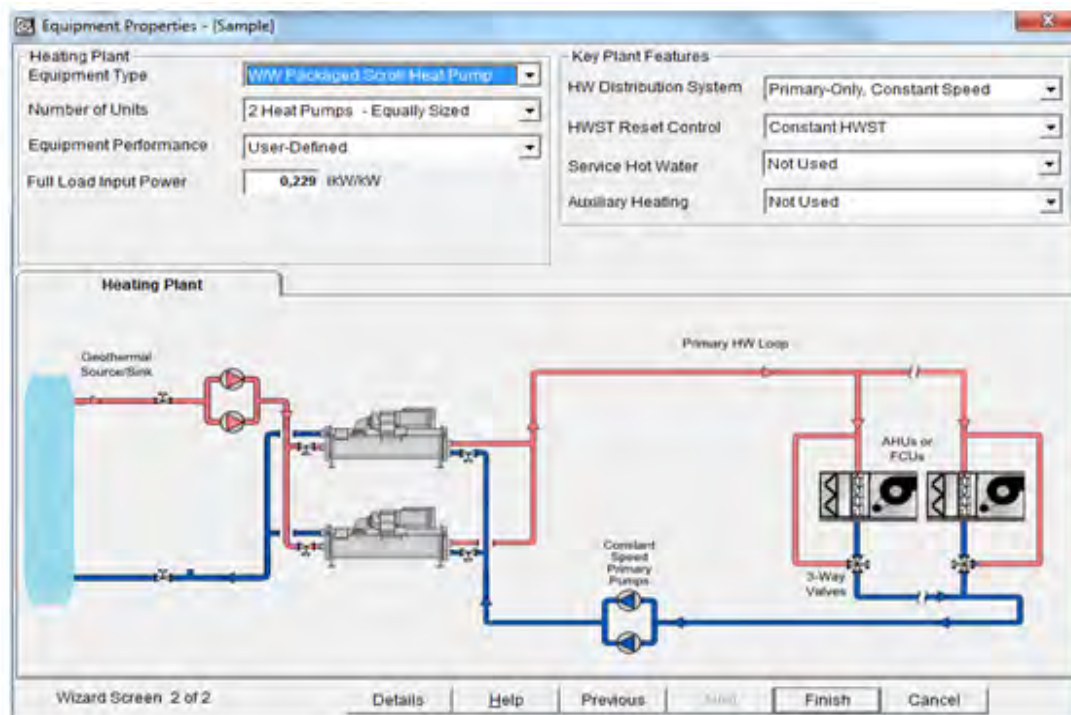
Η μέθοδος και το σύστημα εξαερισμού λοιπόν για μια τέτοιου είδους μελέτη είναι κομβικά σημεία, καθώς πρόκειται για κτίριο τριτογενή τομέα (πανεπιστημιακό ίδρυμα). Για τον αερισμό του κτιρίου λοιπόν επιλέχθηκε και στις δύο περιπτώσεις εξωτερική κεντρική μονάδα (D.O.A.S) σύμφωνα πάντα με τα πρότυπα του ΚΕΝΑΚ.

Στους πίνακες 20,21 παρουσιάζονται μερικά κύρια στοιχεία χαρακτηριστικών του συστήματος εξαερισμού του κτιρίου

#### 4.5.1 Δεδομένα Γ.Α.Θ. ανοιχτού τύπου

Πίνακας 19: Γενικά χαρακτηριστικά Γ.Α.Θ

Air System Name	<b>GWHP</b>
Air System Type	<b>Γεωθερμική αντλία θερμότητας</b>
Αριθμός ζωνών	<b>2</b>



Σχήμα 26: Συνδεσμολογία Γ.Α.Θ με FCU

Πίνακας 20 : Δεδομένα κεντρικής εξωτερικής μονάδας

Παροχή αέρα (Air flow) control	<b>Constant ventilation airflow</b>
Μέθοδος διαστασιολόγησης αερισμού	<b>ASHRAE Std 62.1-2010</b>
Dumper leak rate	5%
Outdoor Air CO2 Level	<b>400 ppm</b>
Fan type (ανεμιστήρας εξαερισμού)	<b>Forward Curved</b>
Fan performance	<b>747 Pa</b>
Overall efficiency fan	<b>48 %</b>

Πίνακας 21 Απόδοση ανεμιστήρα εξαερισμού

% Airflow	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
% kW	100	91	81	72	61	54	46	40	33	27	21

Πίνακας 22: Ζώνες και χώροι του κτιρίου

Ζώνη Α		Ζώνη Β			
Αίθουσα	τ.μ	Αίθουσα	τ.μ	Αίθουσα	τ.μ
αίθουσα διδασκαλίας_1.11	109,4	αίθουσα διδασκαλίας_3.0 1	105,6	γραφείο3.2 2	10,2
αμφιθέατρο1_106	312,4	αίθουσα διδασκαλίας_3.0 8	81,7	γραφείο3.2 3	10,5
διάδρομος 1.16	123,9	αίθουσα διδασκαλίας_3.0 9	33,9	γραφείο3.2 4	10,4
διάδρομος 1.18.2	16,6	αίθουσα διδασκαλίας_3.1 0	23,4	γραφείο3.2 5	10,0
διάδρομος 1.18.3	31,7	αίθουσα διδασκαλίας_3.1 4	105,6	γραφείο3.2 6	10,3
διάδρομος 1.19	16,6	διάδρομος 3,15.1	26,1	γραφείο3.2 7	10,2
είσοδος 1.07	25,9	διάδρομος 3,15.2	16,5	γραφείο3.2 9	9,0
είσοδος 1.09	25,9	διάδρομος 3,15.3	78,0	γραφείο3.3 0	10,3



χώρος υγιεινής1.02	20,0	διάδρομος 3,15.4	16,5	γραφείο3.31	10,3
χώρος υγιεινής1.13	20,0	διάδρομος 3,15.5	26,1	γραφείο3.32	9,9
αμφιθέατρο2_101	81,7	διάδρομος 3,38.1	39,6	γραφείο3.33	13,9
αμφιθέατρο3_1.15	81,7	διάδρομος 3,38.2	33,4	γραφείο4,09	10,2
αίθουσα διδασκαλίας_2.04	109,4	διάδρομος 3,38.3	39,6	γραφείο4,13	10,0
διάδρομος 2.10	140,9	διάδρομος 4,26,2	49,1	γραφείο4,19	10,0
διάδρομος 2.11	16,6	διάδρομος 4.26,1	30,9	γραφείο4,22	10,2
διάδρομος 2.12	16,6	διάδρομος 4.26.3	32,1	γραφείο4,25	13,9
εργαστήριο H/Y_2.05	164,3	εργαστήριο H/Y_3.05	112,7	γραφείο4.07	9,9
χώρος υγιεινής2.02	20,0	γραφείο 4,08	10,3	γραφείο4.12	10,3
χώρος υγιεινής2.08	20,0	γραφείο 4.11	10,6	γραφείο4.14	11,1
χώρος υγιεινής4.01	20,0	γραφείο 4.20	10,6	γραφείο4.15	9,9
χώρος υγιεινής4.28	20,0	γραφείο_4.06	13,9	γραφείο4.16	10,0
χώρος υγιεινής3.02	20,0	γραφείο3.16	13,9	γραφείο4.17	10,3
χώρος υγιεινής3.12	20,0	γραφείο3.17	10,2	γραφείο4.18	10,3
γραφείο4.24	9,9	γραφείο3.18	10,0	γραφείο4.23	10,3
		γραφείο3.19	10,0	γραφείο3.20	9,3
Συνολικά	1443,5	Συνολικά	1201		

Στο πίνακα 22 παρουσιάζονται αναλυτικά οι δύο ζώνες στις οποίες έχουμε χωρίσει το κτίριο, οι χώροι από τους οποίους αποτελείται η κάθε μία, καθώς και το εμβαδό τους (m<sup>2</sup>).

Πίνακας 23 Δεδομένα θερμοστάτη και ζωνών

Ζώνη	A,B
Ψύξη T-stat Occ	23,9 °C
Ψύξη T-stat Unocc	26.7 °C
Θέρμανση T-stat Occ.	21.1 °C
Θέρμανση T-stat Unocc	18.3 °C
Thermostat Schedule	Πίνακες (4.6,4.7,4.8)

Πίνακας 24: Δεδομένα τερματικών μονάδων

Τύπος τερματικής μονάδας	Fan coil
<b>Σωληνοειδές ψυκτικό στοιχείο(cooling coil) :</b>	
Design supply temperature	14.4°C
Ψυκτική πηγή	Υδρόψυκτο DX
Schedule	****MJJAS***
<b>Θερμαντικός σωλήνας (heating coil):</b>	
Design supply temperature	55.0°C
Πηγή θέρμανσης	Water Source Αντλία θερμότητας
Schedule	JFMA*****OND
<b>Hydronic Sizing Specifications:</b>	
ΔT ψυχρού νερού	5.6 °C
ΔT ζεστού νερού χρήσης	11.1 °C

Βασιζόμενοι στα χρονοδιαγράμματα που εισαγάγαμε στο πρόγραμμα αλλά και βάση των κλιματικών δεδομένων της περιοχής, θεωρήθηκε σωστό η Γ.Α.Θ να λειτουργεί με το κύκλο θέρμανσης του μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο και Οκτώβρη έως και Δεκέμβρη. Όλους τους υπόλοιπους μήνες θεωρούμε ότι λειτουργεί στον κλιματισμό.

Πίνακας 25 : Δεδομένα διαστασιολόγησης ζωνών και παροχή αέρα

Ζώνη	Supply Παροχή αέρα (L/s)	Αερισμός (L/s)
A	11878,8	6313,3
B	12764,6	4970,3

Στον πίνακα 25 έχουμε την συνολική παροχή αέρα σε λίτρα /sec ,αλλά και τα δεδομένα αερισμού για κάθε ζώνη.

Πίνακας 26 : Δεδομένα εξοπλισμού μονάδας ψύξης

Ζώνη	Εκτιμώμενο μέγιστο φορτίο (kW)	Σχεδίαση EWT (°C)	Διαστασιολόγηση συστημάτων εξοπλισμού	ISO / ARI Performance Rating	Units
1	128,9	15,0	User-Defined	4,748	E.E.R.
2	145,4	15,0	User-Defined	4,748	E.E.R.

Πίνακας 27 : Δεδομένα διαστασιολόγησης εξοπλισμού

Ζώνη	Εκτιμώμενο μέγιστο φορτίο (kW)	Σχεδίαση EWT (°C)	Διαστασιολόγηση συστημάτων εξοπλισμού	ISO / ARI Performance Rating	Units
1	119,2	10,0	User-Defined	3,600	C.O.P.
2	118,2	10,0	User-Defined	3,600	C.O.P.

Στους Πίνακες 26 και 27 αναγράφονται τα δεδομένα εξοπλισμού για τις κεντρικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης. Όπως τονίζεται πρόκειται για γεωθερμική αντλία θερμότητας με απόδοση C.O.P. 3,600 και E.E.R. 4,748. Επιπλέον σημαντικό στοιχείο αποτελεί η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού στο σύστημα (EWT) (entering water temperature), όπου για την ψύξη είναι 15 °C και για την θέρμανση 10 °C. Επίσης αναγράφεται στους πίνακες και το εκάστοτε εκτιμώμενο μέγιστο φορτίο για κάθε ζώνη.

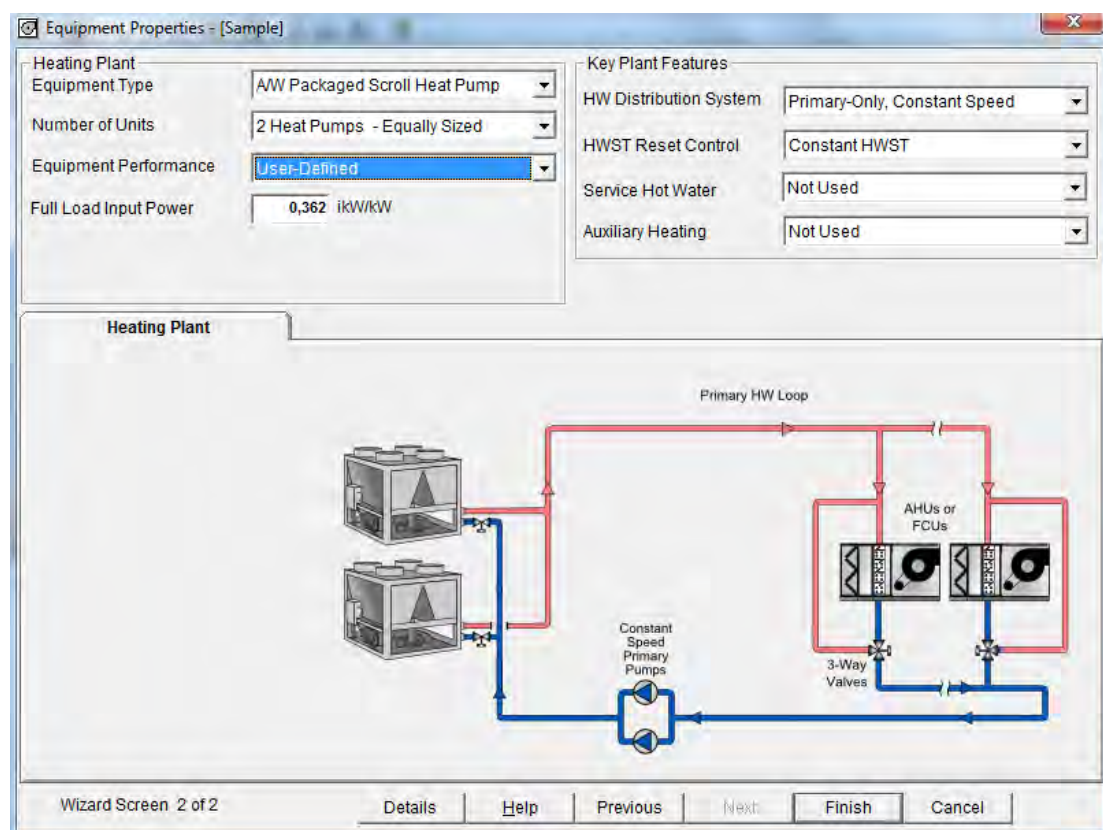
Πίνακας 28: Συστήματα κυκλοφορίας

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

#### 4.5.2 Αντλίες αέρα –νερού

Πίνακας 29: Γενικά χαρακτηριστικά Α.ΘΑ/Ν

Air System Name	<b>AWHP</b>
Air System Type	<b>Αντλία θερμότητας αέρα-νερού</b>
Αριθμός ζωνών	<b>2</b>



Σχήμα 27 : Συνδεσμολογία Α.Θ Α/Ν με FCU

Πίνακας 30 : Δεδομένα εξαερισμού

Ελεγχος παροχής αέρα	<b>Constant Ventilation Παροχή αέρα</b>
Μέθοδος διαστασιολόγησης αερισμού	<b>ASHRAE Std 62.1-2010</b>
Outdoor Air CO2 Level	<b>400 ppm</b>

**Πίνακας 30: Δεδομένα κεντρικής εξωτερικής μονάδας**

Δεδομένα σωληνοειδούς ψυκτικό στοιχείου :	
Ψυκτική πηγή	Αερόψυκτο DX
Schedule	Ιαν -Δεκ
Δεδομένα Θερμαντικού σωλήνα :	
Schedule	Ιαν -Δεκ
Δεδομένα ανεμιστήρα εξαερισμού:	
Είδος ανεμιστήρα (fan)	Forward Curved with Variable Frequency Drive
Απόδοση ανεμιστήρα	747 Pa
Συνολική απόδοση	48%

Στους πίνακες 31, 32, 33 παρουσιάζονται τα δεδομένα εξαερισμού ,παροχής αέρα και κεντρικής μονάδας εξαερισμού για το σύστημα της αντλίας αέρα-νερού.

**Πίνακας 31: Παροχή αέρα**

% Airflow	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
% kW	100	91	81	72	61	54	46	40	33	27	21

**Πίνακας 32: Δεδομένα θερμοστάτη και ζωνών**

Ζώνη	A,B
Ψύξη T-stat Occ	23,9 °C
Ψύξη T-stat Unocc	26.7 °C
Θέρμανση T-stat Occ.	21.1 °C
Θέρμανση T-stat Unocc	18.3 °C
Thermostat Schedule	Πίνακες (4.6,4.7,4.8)

**Πίνακας 33 : Δεδομένα τερματικών μονάδων**

Τύπος τερματικής μονάδας	Fan coil
Απόδοση fan coil unit	125 Pa
Σωληνοειδές ψυκτικό στοιχείο(cooling coil) :	
Design supply temperature	14.4°C
Ψυκτική πηγή	Υδρόψυκτο
Schedule	****MJJAS***
Θερμαντικός σωλήνας (heating coil):	
Design supply temperature	55.0°C
Πηγή θέρμανσης	Αντλία θερμότητας A/N
Schedule	JFMA****OND
Hydronic Sizing Specifications:	
ΔT ψυχρού νερού	5.6 °C
ΔT ζεστού νερού χρήσης	11.1 °C

**Πίνακας 34: Δεδομένα διαστασιολόγησης ζωνών παροχή αέρα**

<b>Ζώνη</b>	<b>Supply Παροχή αέρα (L/s)</b>	<b>Αερισμός (L/s)</b>
<b>A</b>	11878,8	6313,3
<b>B</b>	12764,6	4970,3

**Πίνακας 35 : Δεδομένα διαστασιολόγησης**

<b>Δεδομένα διαστασιολόγησης :</b>	
Θερμοκρασία περιβάλλοντος ψύξης	14.4 °C
Θερμοκρασία περιβάλλοντος θέρμανσης	55 °C
<b>Hydronic Sizing Specifications:</b>	
ΔT ψυχρού νερού	5.6 °C
ΔT ζεστού νερού χρήσης	11.1 °C

**Πίνακας 36 : Δεδομένα μονάδας ψύξης**

Διαστασιολόγηση συστημάτων εξοπλισμού	<b>276 kW</b>
Σχεδίαση OADB	<b>35.0 °C</b>
AHRI Performance Rating	<b>3.194 E.E.R.</b>

**Πίνακας 37 : Δεδομένα κεντρικής εξωτερικής μονάδας**

Διαστασιολόγηση συστημάτων εξοπλισμού	<b>238 kW</b>
Σχεδίαση OADB	<b>8.3 °C</b>
AHRI Performance Rating	<b>3.30 C.O.P.</b>

**Πίνακας 38 : Δεδομένα αντλίας αέρα-νερού**

Αντλία θερμότητας Cutoff OADB	<b>-20.0 °C</b>
Heat Recovery Used	<b>Yes</b>
Τύπος συμπληρωματικής θέρμανσης	<b>Ηλεκτρικές Αντιστάσεις</b>
Τύπος συμπληρωματικής θέρμανσης	<b>21.1 °C</b>

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έπειτα από την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό και την επιλογή του εκάστοτε συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί, είναι επιθυμητή η εκτίμηση της απαιτούμενης ποσότητας ενέργειας για την θέρμανση και την ψύξη της κατασκευής. πάντοτε υπό τις οδηγίες του ενεργειακού κανονισμού Κ.ΕΝ.Α.Κ. Αυτή η διαδικασία γενικά είναι εντελώς διαφορετική από τους υπολογισμούς φορτίου σχεδίασης που συνήθως διεξάγεται για τον προσδιορισμό του μεγέθους ή της ικανότητας για ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών σχεδίασης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις, όπως η ηλιακή επίδραση μεταβάλλονται μέσα σε ολόκληρη την περίοδο της πρόβλεψης, καθιστώντας τους υπολογισμούς που λαμβάνουν υπόψη όλες τις μεταβολές αρκετά πολύπλοκους. Επομένως αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο οι υπολογισμοί εκτελούνται με ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιώντας κάποιο αντίστοιχο λογισμικό.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται ενδελεχώς τα αποτελέσματα των ενεργειακών υπολογισμών και των προσομοιώσεων που υπολογίστηκαν μέσω του λογισμικού συστήματος Η.Α.Ρ. Αναλυτικότερα παρατίθενται αρχικά για την γεωθερμική αντλία θερμότητας και για την αντλία θερμότητας αέρα –νερού τα συνολικά φορτία που θα καλυφθούν για θέρμανση και ψύξη από τα συγκεκριμένα συστήματα , η μηνιαία ζήτηση είτε για θέρμανση είτε για ψύξη του κτιρίου. Επίσης παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση , ενδεικτικά η ημερήσια κατανάλωση για συγκεκριμένους μήνες.

Επίσης βασιζόμενοι στα κόστη αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) , γίνεται ένας υπολογισμός των ετήσιων ενεργειακών δαπανών(φωτισμός, θέρμανση, ψύξη, εξαερισμός, λοιπός ηλεκτρικός εξοπλισμός) πάντοτε και για τα δύο συστήματα.

Τέλος, διεξάγεται μια τεχνοοικονομική συγκριτική μελέτη των δύο μεθόδων ώστε να λάβουμε τις απαραίτητες πληροφορίες με σκοπό να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα τα οποία θα αναλυθούν στο τελευταίο κεφάλαιο.

## 5.2 Σχεδιαστική ανάλυση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Πίνακας 39 : Πληροφορίες συστήματος

Όνομα Συστήματος	GWHP
Αριθμός Ζωνών	2
Εμβαδόν του χώρου	2644,5 m <sup>2</sup>
Τοποθεσία	Βόλος Ελλάδα
Μήνες για υπολογισμό	Ιανουάριος - Δεκέμβριος

Πίνακας 40 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας

Όνομα Ζώνης	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> )
Ζώνη Α	128,9	126,6	28,4 / 21,7	19,6 / 18,9	Jun 1400	8,23
Ζώνη Β	145,4	132,0	27,7 / 21,4	19,1 / 18,5	Jun 1400	10,63

Πίνακας 41 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας για θέρμανση

	Συνολικό Φορτίο Θέρμανσης (kW)	Heating Coil Ent/Lvg DB (°C)	Παροχή Αέρα Ανεμιστήρα (L/s)	Κινητήρας Ανεμιστήρα (BHP)	Κινητήρας Ανεμιστήρα (kW)	OA Vent Design Airflow (L/s)
Ζώνη Α	119,2	15,7 / 24,0	11879	3,744	2,970	6313
Ζώνη Β	118,4	17,2 / 24,9	12765	4,023	3,191	4970



Πίνακας 42 : Προσημείωση αποτελεσμάτων

Μήνας	WSHP Cooling Coil Load (kWh)	WSHP Eqpt Cooling Load (kWh)	WSHP Clg Compressor (kWh)	WSHP Heating Coil Load (kWh)	WSHP Eqpt Heating Load (kWh)	WSHP Htg Compressor (kWh)
January	0	0	0	51772	51772	15270
February	0	0	0	36086	36086	10681
March	0	0	0	17504	17504	5224
April	0	0	0	7293	7293	2199
May	34493	34493	8163	0	0	0
June	68302	67935	15663	0	0	0
July	54892	54891	13037	0	0	0
August	50043	50043	11915	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0
October	0	0	0	1681	1681	511
November	0	0	0	15709	15709	4703
December	0	0	0	49029	49029	14414
Total	207730	207362	48778	179075	179075	53003

Πίνακας 43 : Μηνιαίες καταναλώσεις

Μήνας	Ανεμιστήρας Εξαερισμού (kWh)	Terminal Fan (kWh)	WSHP Loop Water Pump (kWh)	Lighting (kWh)	Ηλεκτρικός εξοπλισμός (kWh)
January	4338	1712	3798	8293	2899
February	4566	1713	3082	8365	2844
March	4566	1648	2145	8601	2978
April	2739	988	1202	6057	2296
May	4794	1700	1699	8909	3058
June	4794	1841	2653	8830	3013
July	0	754	3279	2439	1384
August	0	674	3110	2439	1384
September	5022	1762	0	9138	3093
October	5022	1764	463	9217	3138
November	4566	1644	2201	8522	2934
December	3653	1500	3590	7368	2659
Total	44060	17699	27222	88178	31681

Πίνακας 44 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Ιανουάριο

Ημέρα	WSHP Eqpt Cooling Load (kWh)	WSHP Clg Compressor (kWh)	WSHP Eqpt Heating Load (kWh)	WSHP Htg Compressor (kWh)
1	0	0	869	869
2	0	0	1583	1583
3	0	0	1527	1527
4	0	0	1840	1840
5	0	0	2257	2257
6	0	0	2569	2569
7	0	0	1956	1956
8	0	0	1483	1483
9	0	0	1826	1826
10	0	0	1832	1832
11	0	0	1271	1271
12	0	0	3781	3781
13	0	0	3171	3171
14	0	0	2412	2412
15	0	0	2841	2841
16	0	0	2117	2117
17	0	0	1534	1534
18	0	0	946	946
19	0	0	1391	1391
20	0	0	1572	1572
21	0	0	907	907
22	0	0	547	547
23	0	0	1096	1096
24	0	0	1792	1792
25	0	0	1018	1018
26	0	0	1026	1026
27	0	0	1401	1401
28	0	0	1540	1540
29	0	0	1369	1369
30	0	0	1411	1411
31	0	0	890	890
<b>Σύνολο</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>51772</b>	<b>51772</b>

Πίνακας 45 : Ημερήσια Αποτελέσματα για τον Ιανουάριο

Ημέρα	Εξαερισμός Ανεμιστήρα (kWh)	Terminal Fan (kWh)	Φωτισμός (kWh)	Ηλεκτρικός Εξοπλισμός (kWh)
1	0	5	85	79
2	0	9	135	79
3	0	9	124	79
4	0	11	135	79
5	0	13	135	79
6	0	15	135	79
7	228	87	119	387
8	228	82	135	387
9	228	84	135	387
10	228	84	130	387
11	0	7	124	79
12	0	22	135	79
13	228	91	135	387
14	228	87	135	387
15	228	87	135	387
16	228	86	119	387
17	228	82	124	387
18	0	5	135	79
19	0	8	107	79
20	228	85	130	387
21	228	83	119	387
22	228	80	79	387
23	228	81	113	387
24	228	83	130	387
25	0	6	96	79
26	0	6	73	79
27	228	84	130	387
28	228	83	130	387
29	228	82	135	387
30	228	83	124	387
31	228	82	119	387
<b>Σύνολο</b>	<b>4338</b>	<b>1712</b>	<b>3798</b>	<b>8293</b>

Πίνακας 46 : Συνολικά φορτία σχεδίασης ψύξης –θέρμανσης για την Γ.Α.Θ.

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Sep 1400			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 32,3 °C / 20,1 °C			HEATING OA DB / WB -2,7 °C / -5,1 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	602 m²	43457	-	602 m²	-	-
Wall Transmission	2657 m²	4563	-	2657 m²	27867	-
Roof Transmission	2860 m²	1268	-	2860 m²	9343	-
Window Transmission	602 m²	11009	-	602 m²	42927	-
Door Loads	60 m²	7467	-	60 m²	4468	-
Floor Transmission	1802 m²	0	-	1802 m²	12119	-
Overhead Lighting	27391 W	15914	-	0	0	-
Electric Equipment	8919 W	8236	-	0	0	-
People	1426	73291	84684	0	0	0
>> Total Zone Loads	-	165205	84684	-	96724	0
Zone Conditioning	-	177354	84684	-	99214	0
Plenum Wall Load	20%	1471	-	0	0	-
Plenum Roof Load	70%	2959	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	30%	8217	-	0	0	-
Exhaust Fan Load	11284 L/s	0	-	11284 L/s	0	-
Ventilation Load	11284 L/s	44935	-69198	11284 L/s	162032	0
Ventilation Fan Load	11284 L/s	17561	-	11284 L/s	-17561	-
Space Fan Coil Fans	-	6161	-	-	-6161	-
>> Total System Loads	-	258657	15485	-	237524	0
Terminal Unit Cooling	-	258657	15591	-	0	0
Terminal Unit Heating	-	0	-	-	237524	-
>> Total Conditioning	-	258657	15591	-	237524	0
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

### 5.3 Σχεδιαστική ανάλυση αντλίας Θερμότητας Αέρα-Νερού

Πίνακας 47 : Πληροφορίες συστήματος

Όνομα Συστήματος	AWHP
Αριθμός Ζωνών	2
Εμβαδόν του χώρου	2644,5 m <sup>2</sup>
Τοποθεσία	Βόλος Ελλάδα
Μήνες για υπολογισμό	Ιανουάριος - Δεκέμβριος

Πίνακας 48 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας

Όνομα Ζώνης	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>Ζώνη Α</b>	128,9	126,6	28,4 / 21,7	19,6 / 18,9	Jun 1400	8,23
<b>Ζώνη Β</b>	145,4	132,0	27,7 / 21,4	19,1 / 18,5	Jun 1400	10,63

Πίνακας 49 : Μέγεθος δεδομένων τερματικής μονάδας για θέρμανση

Όνομα Ζώνης	Συνολικό Φορτίο Θέρμανσης (kW)	Heating Coil Ent/Lvg DB (°C)	Παροχή Αέρα Ανεμιστήρα (L/s)	Κινητήρας Ανεμιστήρα (BHP)	Κινητήρας Ανεμιστήρα (kW)
<b>Ζώνη Α</b>	121,7	13,3 / 24,8	2,62	8720	2,638
<b>Ζώνη Β</b>	131,5	16,5 / 24,9	2,83	13047	3,947

Πίνακας 50 : Προσημείωση Αποτελεσμάτων τερματικής μονάδας

Month	Terminal Cooling Coil Load (kWh)	Terminal Cooling Eqpt Load (kWh)	Terminal Unit Clg Input (kWh)	Terminal Heating Coil Load (kWh)	Terminal Heating Eqpt Load (kWh)	Terminal Unit Htg Input (kWh)
January	0	0	0	58659	35827	10167
February	0	0	0	40706	21489	6189
March	0	0	0	19530	9237	2545
April	0	0	0	8255	5249	1290
May	41007	41007	10129	0	0	0
June	80667	79347	20669	0	0	0
July	62428	62428	18019	0	0	0
August	57081	57081	16248	0	0	0
September	56142	56056	13754	0	0	0
October	0	0	0	2091	623	142
November	0	0	0	17814	8559	2260
December	0	0	0	55282	41149	11922
<b>Total</b>	<b>297325</b>	<b>295920</b>	<b>78819</b>	<b>202338</b>	<b>122133</b>	<b>34514</b>

Πίνακας 51 : Προσομοίωση αποτελεσμάτων (συνέχεια)

Month	Terminal Fan (kWh)	Φωτισμός (kWh)	Ανεμιστήρας Εξαερισμού (kWh)	Electric Equipment (kWh)
January	1727	8293	4338	2899
February	1723	8365	4566	2844
March	1657	8601	4566	2978
April	995	6057	2739	2296
May	1724	8909	4794	3058
June	1916	8830	4794	3013
July	1005	2439	0	1384
August	916	2439	0	1384
September	1855	9138	5022	3093
October	1772	9217	5022	3138
November	1653	8522	4566	2934
December	1521	7368	3653	2659
<b>Total</b>	<b>18464</b>	<b>88178</b>	<b>44060</b>	<b>31681</b>

Πίνακας 52 : Ημερήσια αποτελέσματα για Φεβρουάριο

Day	Terminal Unit Clg Input (kWh)	Terminal Heating Coil Load (kWh)	Terminal Heating Eqpt Load (kWh)	Terminal Unit Htg Input (kWh)	Ventilation Fan (kWh)
1	0	1006	1010	240	0
2	0	1717	1725	430	0
3	0	1698	1705	430	0
4	0	1986	1994	517	0
5	0	2430	2440	647	0
6	0	2759	2771	759	0
7	0	1267	1280	389	126
8	0	425	429	114	126
9	0	693	712	200	126
10	0	842	857	251	126
11	0	1475	1493	415	0
12	0	4010	3893	1282	0
13	0	1957	1635	552	126
14	0	1172	1198	380	126
15	0	1175	1212	392	126
16	0	1097	1118	374	126
17	0	475	484	136	126
18	0	1106	1111	284	0
19	0	1537	1543	410	0
20	0	883	887	236	126
21	0	506	508	131	126
22	0	63	63	15	126
23	0	209	211	55	126
24	0	615	632	182	126
25	0	1176	1197	354	0
26	0	1147	1159	325	0
27	0	673	676	173	126
28	0	526	530	141	126
29	0	453	454	117	126
30	0	568	576	157	126
31	0	325	326	80	126
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>35970</b>	<b>35827</b>	<b>10167</b>	<b>2386</b>

Πίνακας 53 : Ημερήσια αποτελέσματα για τον Φεβρουάριο

Day	Terminal Fan (kWh)	Lighting (kWh)	Electric Equipment (kWh)
1	6	79	62
2	10	79	62
3	10	79	62
4	12	79	62
5	14	79	62
6	16	79	62
7	87	387	131
8	83	387	131
9	84	387	131
10	85	387	131
11	9	79	62
12	23	79	62
13	91	387	131
14	87	387	131
15	87	387	131
16	86	387	131
17	83	387	131
18	6	79	62
19	9	79	62
20	85	387	131
21	83	387	131
22	81	387	131
23	81	387	131
24	84	387	131
25	7	79	62
26	7	79	62
27	84	387	131
28	83	387	131
29	83	387	131
30	83	387	131
31	82	387	131
<b>Total</b>	<b>1727</b>	<b>8293</b>	<b>3232</b>



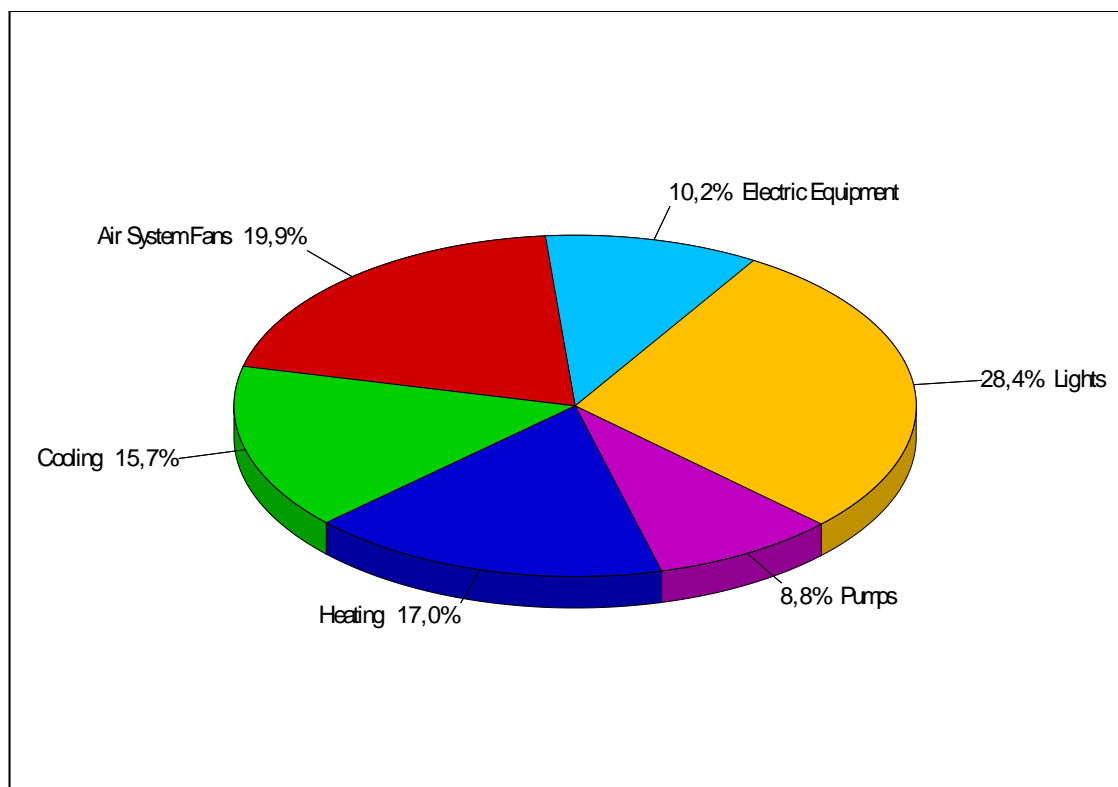
## 5.4 Ενεργειακή ανάλυση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Πίνακας 54 : Συνολικά φορτία συστήματος με γεωθερμική αντλία

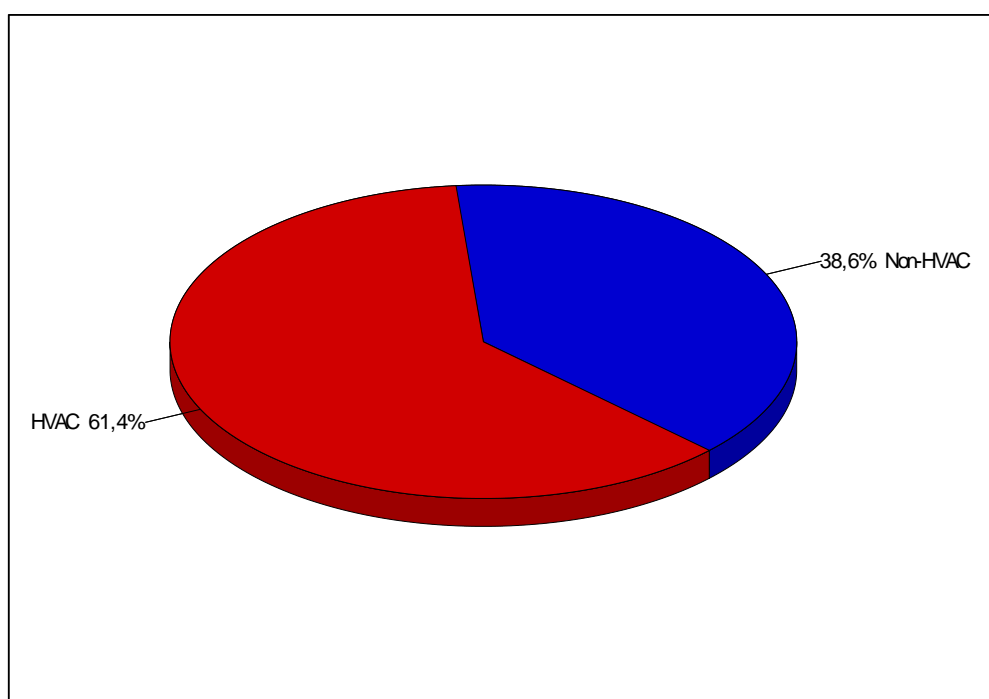
Component	GWHP Building (€)	GWHP Building (€/m <sup>2</sup> )	GWHP Building (%)
Air System Fans	6.891	2,606	19,9
Cooling	5.444	2,058	15,7
Heating	5.901	2,231	17,0
Pumps	3.036	1,148	8,8
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>21271</b>	<b>8,044</b>	<b>61,4</b>
Lights	9841	3,721	28,4
Electric Equipment	3536	1,337	10,2
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>13377</b>	<b>5,059</b>	<b>38,6</b>
<b>Grand Total</b>	<b>34648</b>	<b>13,102</b>	<b>100,0</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )		2644,5	

Πίνακας 55 : Συνολική κατανάλωση σε kWh

Component	
<b>HVAC Components (kWh)</b>	190763
<b>Non-HVAC Components (kWh)</b>	119858
<b>Totals (kWh)</b>	310621



Σχήμα 28 : Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης



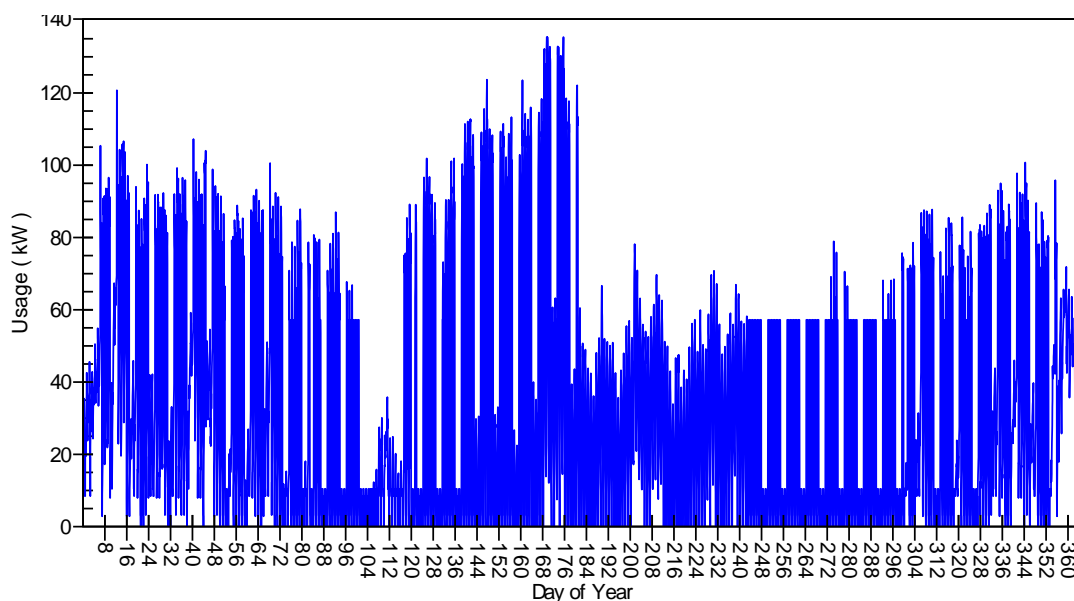
Σχήμα 29 : Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης

Πίνακας 56: Συνολική κατανάλωση σε θέρμανση ψύξη

Component	Load (kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	207.730	78,552
Heating Coil Loads	179.075	67,716
<b>Grand Total</b>	<b>386.805</b>	<b>146,268</b>

Πίνακας 57 : Αναλυτική κατανάλωση κτιρίου

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
Air System Fans	61.757	23,353	220.561	83,404
Cooling	48.776	18,444	174.200	65,873
Heating	53.000	20,042	189.287	71,578
Pumps	27.220	10,293	97.216	36,732
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>190.754</b>	<b>72,132</b>	<b>681.264</b>	<b>257,616</b>
Lights	88.174	33,343	314.908	119,081
Electric Equipment	31.679	11,979	113.141	42,783
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>119.854</b>	<b>45,322</b>	<b>428.049</b>	<b>161,864</b>
<b>Grand Total</b>	<b>310.608</b>	<b>117,454</b>	<b>1.109.313</b>	<b>419,480</b>



Σχήμα 30 : Ετήσια κατανάλωση για όλες τις μέρες του χρόνου (Γ.Α.Θ)

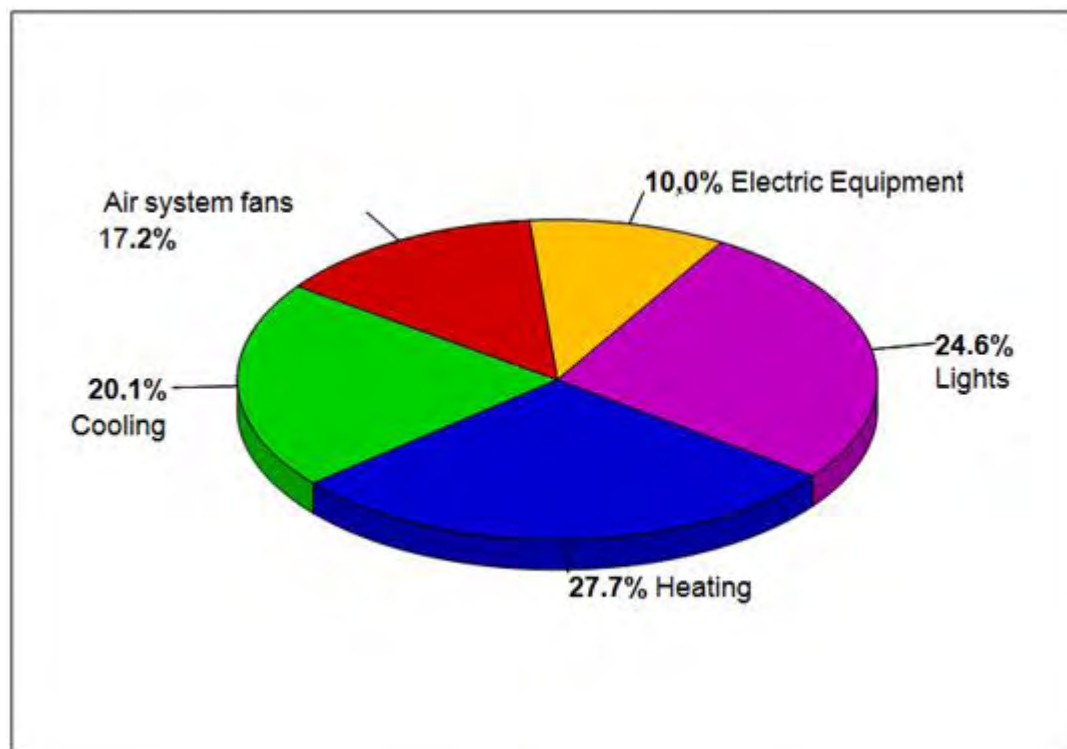
## 5.5 Ενεργειακή ανάλυση αντλίας θερμότητας αέρα-νερού

Πίνακας 58 : Συνολικά φορτία συστήματος με αντλία θερμότητας αέρα-νερού

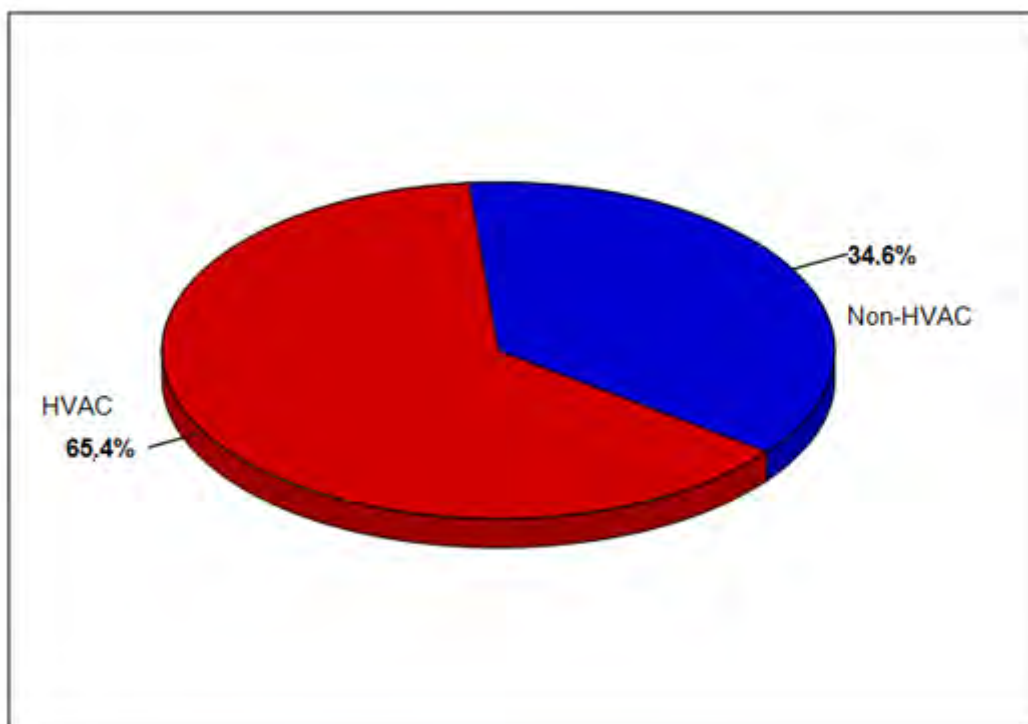
Component	ASHP Building(€)	ASHP Building (€/m <sup>2</sup> )	ASHP Building (%)
Air System Fans	6.891	2,606	17,2
Cooling	8.202	3,012	20,5
Heating	11.061	5,983	27,7
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>26.153</b>	<b>11,601</b>	<b>65,4</b>
Lights	9.818	3,713	24,6
Electric Equipment	4.000	1,513	10
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>13.818</b>	<b>5,225</b>	<b>34,6</b>
<b>Grand Total</b>	<b>39.971</b>	<b>16,826</b>	<b>100,0</b>
Gross Floor Area (m <sup>2</sup> )		2644,5	

Πίνακας 59 : Συνολική κατανάλωση σε kWh

Component	
<b>HVAC Components ( kWh)</b>	220.656
<b>Non-HVAC Components ( kWh)</b>	119.858
<b>Totals ( kWh)</b>	340.514



Σχήμα 31 : Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης



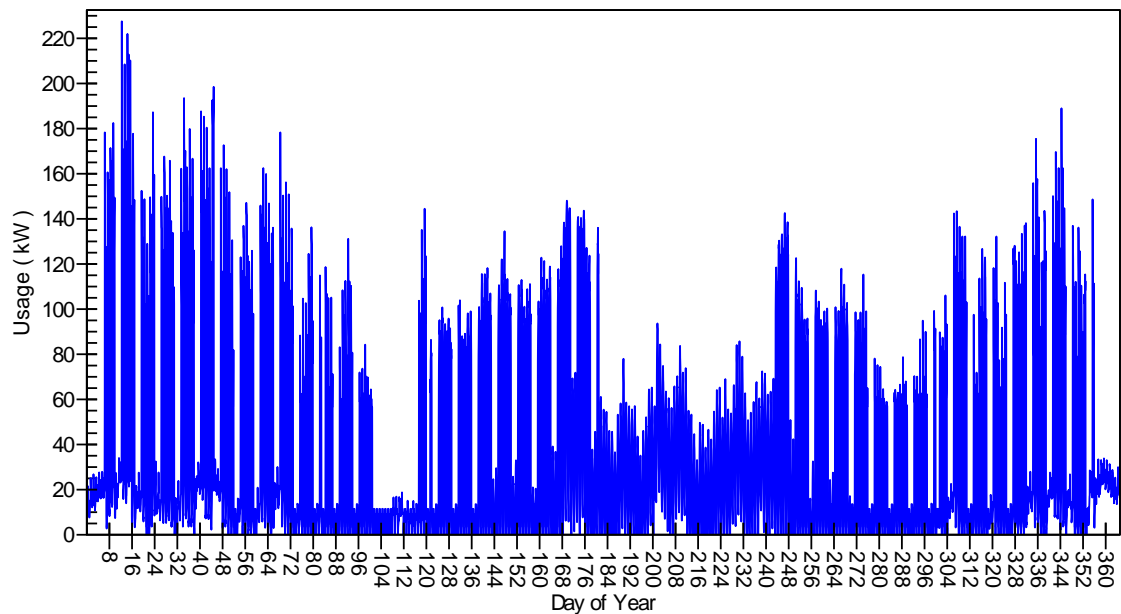
Σχήμα 32: Ετήσια ποσοστά κατανάλωσης

Πίνακας 60 : Συνολική κατανάλωση σε θέρμανση –ψύξη

Component	Load	
	(kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )
Cooling Coil Loads	299.331	108,579
Heating Coil Loads	206.162	74,783
<b>Grand Total</b>	<b>505.492</b>	<b>183,362</b>

Πίνακας 61 : Αναλυτική κατανάλωση σε κτίριο

Component	Site Energy (kWh)	Site Energy (kWh/m <sup>2</sup> )	Source Energy (kWh)	Source Energy (kWh/m <sup>2</sup> )
Air System Fans	61.757	23,353	220.561	83,404
Cooling	73.548	26,679	262.671	95,281
Heating	116.148	42,132	371.852	134,885
<b>HVAC Sub-Total</b>	<b>251.453</b>	<b>92,163</b>	<b>855.083</b>	<b>313,570</b>
Lights	88.174	33,343	314.908	119,081
Electric Equipment	35.918	13,582	128.278	48,507
<b>Non-HVAC Sub-Total</b>	<b>124.092</b>	<b>46,925</b>	<b>443.186</b>	<b>167,588</b>
<b>Grand Total</b>	<b>375.545</b>	<b>139,088</b>	<b>1.298.268</b>	<b>481,158</b>



Σχήμα 33 : Ετήσια κατανάλωση για όλες τις μέρες του χρόνου

## 5.6 Κόστος εγκατάστασης με Αντλία Θερμότητας Αέρα Νερού

Για τη κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης των δύο ζωνών όπως αναφέραμε και παραπάνω, χρειάζονται δύο αντλίες θερμότητας. Η αντλία για τη ζώνη Α θα πρέπει να καλύπτει φορτίο 119,2kW για θέρμανση και 128,9kW για ψύξη, ενώ για τη ζώνη Β 118,4kW για θέρμανση και 145,4kW για ψύξη.

Για τη συγκριτική μελέτη της διπλωματικής εργασίας μας , χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία και τα δεδομένα μια αντλίας θερμότητας αέρα νερού που κυκλοφορεί στην αγορά. Πιο συγκεκριμένα, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε δύο αντλίες της εταιρείας Carrier (Carrier 30RQS 140A) οι οποίες καλύπτουν φορτία 132kW για θέρμανση και 146 kW για ψύξη η κάθε μια . Το κόστος της κάθε μιας αντλίας μαζί με κάποια ακόμα απαραίτητα εξαρτήματα (υδροστάσιο με αντλία υψηλής πίεσης, δοχείο διαστολής και σύστημα αντιπαγετικής προστασίας) ανέρχεται στα 23188€. Επίσης το κόστος της ψυκτικής σύνδεσης της αντλίας υπολογίζεται στα 500 € και της ηλεκτρολογικής μαζί με τις ρυθμίσεις 300 €. Συνοψίζοντας το κόστος εγκατάστασης της κάθε μίας αντλίας θερμότητας ανέρχεται στα 23988 €. Συγκεντρωτικά το συνολικό κόστος για τις δύο αντλίες θερμότητας αέρα νερού, μαζί με το κόστος για την εγκατάστασή τους και κάποια απαραίτητα εξαρτήματα εκτιμάται στα 47976€.



Σχήμα 34 :Α.Θ Α/Ν (<http://www.globalclimat.ru/goods/chiller-fancoil-systems/cfs-air-chillers/carrier/30RQS-140/>)

## 5.7 Κόστος εγκατάστασης με Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας Ανοιχτού τύπου

Για τη κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης των δύο ζωνών όπως αναφέραμε και παραπάνω, χρειάζονται δύο αντλίες θερμότητας. Η αντλία για τη ζώνη Α θα πρέπει να καλύπτει φορτίο 119,2kW για θέρμανση και 128,9kW για ψύξη, ενώ για τη ζώνη Β 118,4kW για θέρμανση και 145,4kW για ψύξη.

Για τη συγκριτική μελέτη της διπλωματικής εργασίας μας , χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία και τα δεδομένα μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανοιχτού τύπου που κυκλοφορεί στην αγορά. Πιο συγκεκριμένα, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε δύο αντλίες της εταιρείας Carrier (Carrier 30WG0120) οι οποίες καλύπτουν φορτία 155kW για θέρμανση και 147kW για ψύξη η κάθε μια . Το κόστος της κάθε μιας αντλίας μαζί με κάποια ακόμα απαραίτητα εξαρτήματα (γενικός διακόπτης, μόνωση συμπτυκνωτή, υδροστάσιο εξατμιστή με αντλία υψηλής πίεσης) ανέρχεται στα 22754€. Επίσης το κόστος της ψυκτικής σύνδεσης της αντλίας υπολογίζεται στα 500 € και της ηλεκτρολογικής μαζί με τις ρυθμίσεις 300 €. Επιπλέον, θα χρειαστεί ένας εναλλάκτης τιτανίου 200 kW κόστους 2500€, όπως βεβαίως θα χρειαστούν και δύο γεωτρήσεις μαζί με το σωλήνα που θα εισχωρήσει σε αυτές και τη στήριξη του, οι οποίες θα στοιχίσουν 8000€. Συνοψίζοντας το κόστος εγκατάστασης της κάθε μίας αντλίας θερμότητας ανέρχεται στα 34054 €. Συγκεντρωτικά το συνολικό κόστος για τις δύο γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, μαζί με το κόστος για την εγκατάσταση τους και κάποια απαραίτητα εξαρτήματα εκτιμάται στα 68108€.

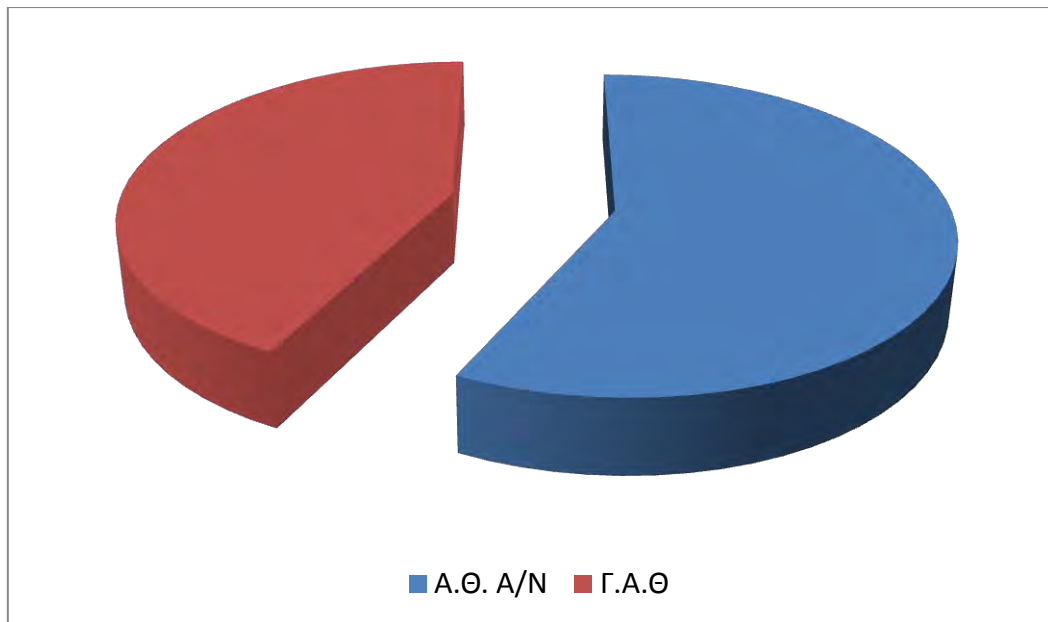




Σχήμα 35 : Γεωθερμική αντλία θερμότητας  
(<https://www.google.com/url?hl=el&q=http://carrirrus.ru/product20.html&source=gmail&ust=1489156376146000&usg=AFQjCNGd-HH3FSPBEFfxKN8wHD07TLpHfKQ>)

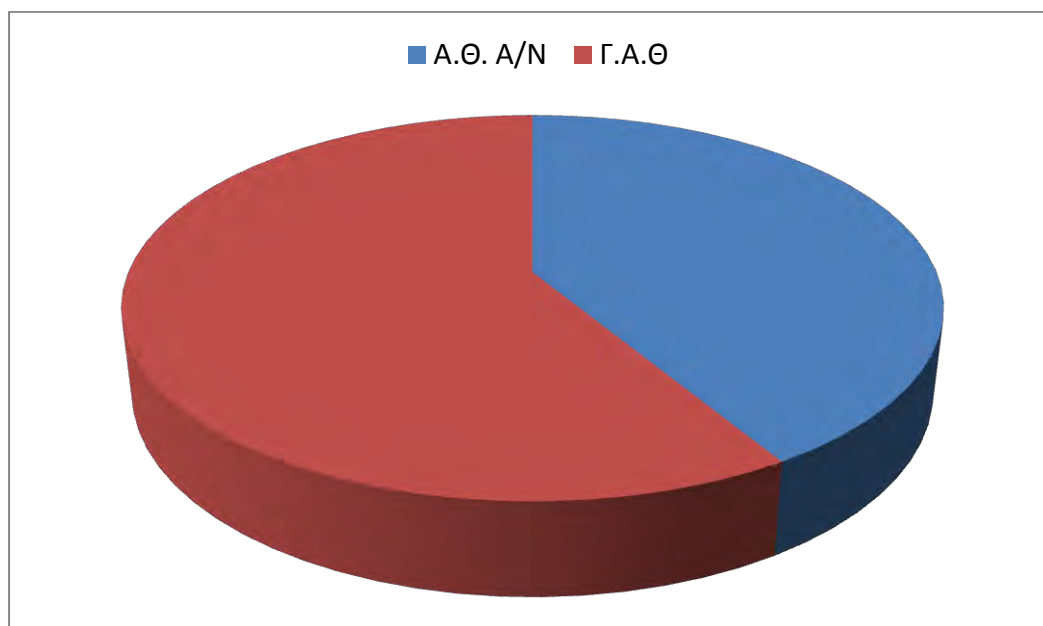
### 5.8 Σύγκριση κόστους θέρμανσης-ψύξης των μεθόδων

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των δύο μεθόδων μεταξύ τους για να υπολογισθεί ποια μέθοδος είναι πιο συμφέρουσα. Επίσης θα γίνει σύγκριση των μεθόδων μεταξύ τους ώστε να μπορεί ο κάθε ένας να επιλέξει αυτό που θέλει αναλόγως με τα χρήματα που θέλει να δώσει αλλά και το χρόνο που μπορεί να περιμένει ώστε να τα αποσβέσει την διαφορά του κόστους εγκατάστασης .



Σχήμα 36 : Ετήσιο κόστος θέρμανσης –ψύξης με τις δύο μεθόδους σε ευρώ

Όπως φαίνεται στο σχήμα 36 η γεωθερμική αντλία θερμότητας έχει χαμηλότερο κόστος θέρμανσης – ψύξης ετησίως 14380 € εν αντιθέσει με την αντλία θερμότητας αέρα νερού που έχει ετήσιο κόστος θέρμανσης - ψύξης 19262 € . Σύμφωνα όμως με το σχήμα 37 η Γ.Α.Θ. έχει κόστος εγκατάστασης 68108 € ενώ η αέρα –νερού έχει κόστος εγκατάστασης 47976 €. Στα επόμενα υποκεφάλαια θα εξεταστεί η δυνατότητα απόσβεσης της διαφοράς του συνολικού κόστους εγκατάστασης της Γ.Α.Θ. συγκριτικά με την αντλία θερμότητας αέρα-νερού.

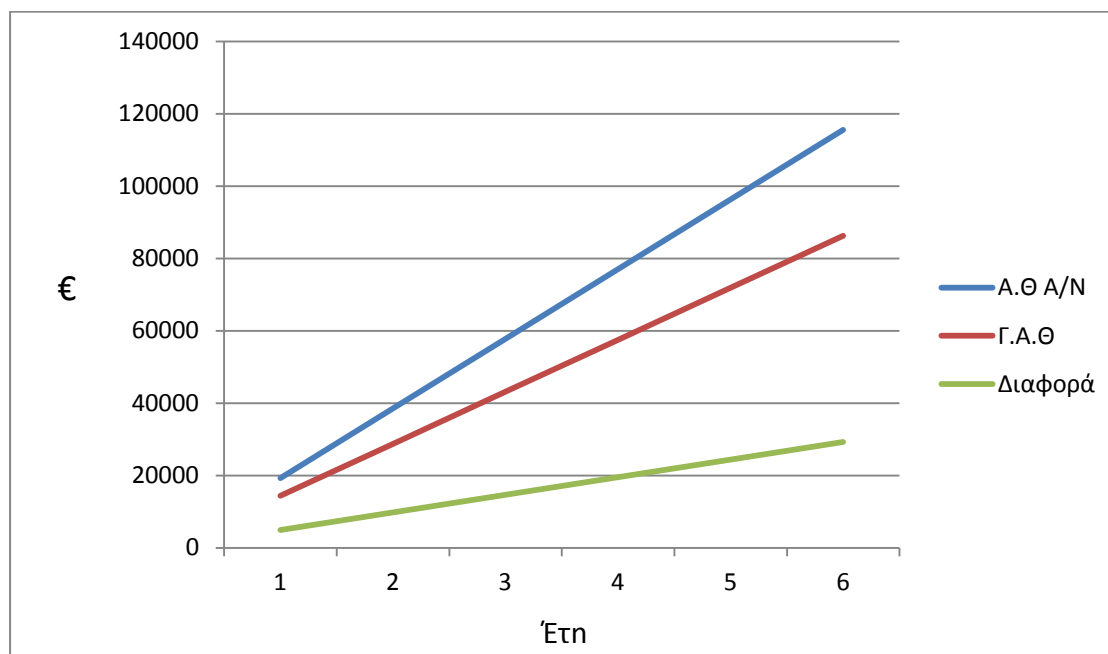


Σχήμα 37 : Κόστος εγκατάστασης σε ευρώ

Όπως προαναφέρθηκε το κόστος εγκατάστασης των αντλιών θερμότητας αέρα νερού για την κάλυψη των αναγκών ψύξης-θέρμανσης κτιρίου είναι 47976 €, ενώ το κόστος εγκατάστασης με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ανοικτού τύπου είναι 68108 €. Όμως η ετήσια κατανάλωση με αντλία θερμότητας Α/Ν υπολογίζεται στα 19262 €, ενώ με γεωθερμική στα 14380 €. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως η εγκατάσταση με γεωθερμική αντλία θερμότητας κοστίζει 20.132 € περισσότερα από την αντλία θερμότητας αέρα νερού, αλλά η Γ.Α.Θ καταναλώνει 4.882 € λιγότερα ετησίως.

Στη συνέχεια θα υπολογισθεί ο χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση της διαφοράς του κόστους εγκατάστασης της Γ.Α.Θ. συγκριτικά με την αντλία θερμότητας αέρα-νερού.

( Κόστος εγκατάστασης με γεωθερμική αντλία θερμότητας - Κόστος εγκατάστασης με αντλία θερμότητας αέρα νερού ) / ( ετήσιο κόστος θέρμανσης-ψύξης με Α.Θ Α/Ν - ετήσιο κόστος θέρμανσης-ψύξης με Γ.Α.Θ ) = ( 68108-47976 ) / ( 19262 – 14380 ) = 4,124 χρόνια, δηλαδή 4 χρόνια και 45 ημέρες.



**Σχήμα 38 : Ετήσιο κόστος θέρμανσης σε ευρώ και διαφορά**

Στο σχήμα 38 με τη μπλε γραμμή φαίνετε το ετήσιο κόστος θέρμανσης-ψύξης με αντλία θερμότητας A/N, με τη κόκκινη γραμμή το ετήσιο κόστος θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας και με τη πράσινη γραμμή η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο. Όπως γίνεται αντιληπτό η διαφορά είναι αρκετά μεγάλη. Σε περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα να πληρωθεί η διαφορά, τότε θα έχουμε μία απόσβεση των χρημάτων της διαφοράς σε 4,124 χρόνια, δηλαδή σε τέσσερα χρόνια και λίγο παραπάνω από ενάμιση μήνες.

### 6.1 Συμπεράσματα

Μετά την ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης και την τεχνοοικονομική μελέτη που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια προέκυψαν μερικά ασφαλή συμπεράσματα τα οποία θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο.

Αρχικά, ένας κύριος λόγος διεξαγωγής της παρούσας μελέτης αποτελεί η οικονομική σύγκριση των δύο συστημάτων θέρμανσης-ψύξης ώστε να έχουμε την δυνατότητα της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος.

Βασιζόμενοι, πλέον στα αποτελέσματα που προέκυψαν στο κεφάλαιο 5, ότι δηλαδή σε περίπτωση εγκατάστασης δύο γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανοικτού τύπου το κόστος εγκατάστασης είναι 20.132 € περισσότερα από την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας αέρα-νερού, αλλά και συνυπολογίζοντας ότι η συγκεκριμένη διαφορά κόστους είναι εφικτό να αποσβεσθεί σε λιγότερο από τέσσερα χρόνια και δύο μήνες, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα.

Πρώτον, για ένα κτίριο τόσο μεγάλου μεγέθους αλλά και για μια τόσο μεγάλη οικονομικά επένδυση, η επίτευξη της απόσβεσης της διαφοράς κόστους σε περίπου τέσσερα χρόνια, κάνει την επένδυση να φαντάζει μια ορθή επιλογή. Όλα αυτά βέβαια σε περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης του επιπλέον κεφαλαίου που θα επενδυθεί.

Ένας άλλος λόγος που θεωρούμε ότι αξίζει η εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος, αποτελεί ότι το συγκεκριμένο κτίριο ανήκει σε μια πολυτεχνική σχολή. Επομένως θα ήταν ορθό σε ένα πολυτεχνικό τμήμα που αφιερώνουν το περισσότερο χρόνο τους οι υποψήφιοι μηχανικοί, να υπάρχει ένα αρκετά σύγχρονο και μη διαδεδομένο σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού που πολύ πιθανό σε περίπτωση που δεν υπήρχε πολλοί να μη το συναντούσαν άμεσα στην επαγγελματική τους σταδιοδρομία. Με αυτό τον τρόπο θα αποκτήσουν μια οικειότητα με το συγκεκριμένο σύστημα, αλλά και μία δυνατότητα περεταίρω εκμάθησής του.

Επίσης λόγω της γεωγραφικής τοποθεσίας του Βόλου και της δυνατότητας στη συγκεκριμένη περιοχή άντλησης υπόγειων υδάτων επαρκούς ποσότητας σε μικρό σχετικά βάθος, καθιστά την γεωθερμία μια βέλτιστη επιλογή.

Παρ' όλα αυτά, εάν δεν υπάρχει δυνατότητα κάλυψης του κόστους εγκατάστασης ενός γεωθερμικού συστήματος, η αντλία θερμότητας αέρα-νερού αποτελεί ένα αρκετά σύγχρονο σύστημα θέρμανσης-ψύξης που συγκριτικά με άλλα συνήθη συστήματα θέρμανσης-κλιματισμού έχει αρκετά οικονομικό κόστος λειτουργίας.

## 6.2 Προτάσεις

Αρχικά στην παρούσα διπλωματική διατριβή μελετήθηκε η δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου εξετάζοντας δύο διαφορετικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης.

Οι ενεργειακές ανάγκες του συγκεκριμένου κτιρίου είναι αρκετά μικρές αναλογικά με το μέγεθός του. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη πολλή καλή θερμομόνωση του, η οποία υπερβαίνει κατά πολύ τα βασικά μεγέθη μόνωσης του ενεργειακού κανονισμού. Μια πρόταση μας για επιπλέον μελέτη αποτελεί η συγγραφή κάποιας διπλωματικής εργασίας με κύριο στόχο τη σύγκριση της απλής μόνωσης ενός κτιρίου σε σχέση με μια υπέρ-ενισχυμένη.

Μια άλλη σύγκριση που θα μπορούσε να γίνει στο μέλλον, είναι αυτή της γεωθερμίας με ένα συνδυαστικό σύστημα που θα καλύπτει ένα βασικό ποσοστό μέσω της γεωθερμίας και τις επιπλέον ανάγκες θα τις καλύπτει ένα άλλο σύστημα, όπως η αντλία θερμότητας αέρα-αέρα ή αέρα-νερού ή ένας λέβητας φυσικού αερίου.

Επίσης, μια απορία που μας δημιουργήθηκε κατά την έρευνα μας, είναι αν θα ήταν δυνατόν να καλυφθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα των συστημάτων μας θέρμανσης μέσω κάποιων φωτοβολταϊκών συλλεκτών και αν αυτό είναι οικονομικά ορθό.

## BIBΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Συγγράματα

1. Βραχόπουλος.Μ, Κούκου Μ., Καρύτσα , Κανονική Γεωθερμία ,Αρχή Σχεδιασμού Γεωθερμικών Συστημάτων και Εφαρμογών ,Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράματα και Βοηθήματα, ,2015
2. Βραχόπουλος.Μ, 'Ψυκτικές διατάξεις', ΙΩΝ, 2000
3. Μαχιάς Α., Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις , Ζαμπάρα, 2002
4. Σελούντος Β.Η., Θέρμανση-Κλιματισμός, Μελέτη, Κατασκευή, Εγκαταστάσεις, Υλικά, Δίκτυα, Εξοπλισμός , Γ΄ Έκδοση,ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ ΣΕΛΚΑ-4Μ, 2002
5. Σταυρόπουλος Α., Το Ενεργειακό Πρόβλημα. Το Παρόν και το Μέλλον, Καραμπερόπουλος, 1980
6. Ιωαννίδης Δ., Γεωργακάκης Μ., Θερμάνσεις, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2006
7. ASHRAE, Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, 2010
8. Banks, D. An introduction to thermogeology-ground source heating and cooling 2<sup>nd</sup> edition 2012, Wiley-Blackwell
9. Cengel Y, Μεταφορά Θερμότητας, Μια πρακτική Προσέγγιση, Τζιόλα ,2005
10. Cengel Y., Boles M., Θερμοδυναμική για Μηχανικούς Γ' Έκδοση, Τζιόλα ,Θεσσαλονίκη ,1998
11. McQuinston F.C., J.D. Parker, J.D. Splitter, Heating, Ventilation, Air conditioning: Analysis and Design, 4<sup>th</sup> edition, Wiley, 1994
12. Ochsner K. Geothermal Heat Pumps A guide for planning and installing, Earthscan, 2008
13. Twidell, J and Weir. T ,Renewable Energy Resources, 2<sup>nd</sup> Edition ,Taylor & Francis, 2006
14. Anonymous, National electric cooperative association Oklahoma State University I.G.S.H.P.A, Closed Loop / Ground Source Heat Pump Systems ,2004

### Επιστημονικά άρθρα-Δημοσιεύσεις

1. Γαγλία Α.Γ., Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων– Κτίριο Αναφοράς, Προσυνεδριακή Εκδήλωση «Εξοικονόμηση & Διαχείριση Ενέργειας στα Κτίρια», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας & Περιφερειακό Τμήμα Νομού Κέρκυρας του ΤΕΕ. Κέρκυρα, Ιούλιος, 2009
2. Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, *Συνθήκη της Λειτουργίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. Λισαβόνα: Ευρωπαϊκή Ένωση, 2010

3. Καρύτσας Κ. και Δ.Μενδρινός, «Αξιοποίηση της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση». Παρουσιάστηκε στο 10ο διεθνές συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Απρίλιος 2004
4. Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών εκπαιδευτικό υλικό , Α' επιθεώρηση κτιρίων τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας Α' έκδοση, 2011
5. Κατσιμιάς Σ., Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Ετήσια απόδοση συστημάτων θέρμανσης με Λέβητες και Αντλίες Θερμότητας ,Ημερίδα ΠΣΔΜ-Η, Αθήνα 2013
6. Κ.ΕΝ.Α.Κ. *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων* . Τ.Ε.Ε., 2008
7. Μητσάκης Ε. , Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Αντλίες θερμότητας αέρα – νερού, Σεμινάριο Θερμογκάζ, Αθήνα, 2012
8. Πασπαλάς, Κ. , Καυστήρες- Λέβητες , Σύλλογος Μηχανολόγων – Ηλεκτρολόγων Β. Ελλάδος ΤΕΕ-ΤΚΜ, Θεσσαλονίκη, 2001
9. Σανταμούρης Μ., Εξοικονόμηση ενέργειας στο κτιριακό τομέα στην Ελλάδα, ΚΑΠΕ-ΕΚΠΑ, Αθήνα,  
[http://www.iene.gr/energydevelopment2011/articlefiles/6session\\_partA/sadamouris.pdf](http://www.iene.gr/energydevelopment2011/articlefiles/6session_partA/sadamouris.pdf)
10. Karagiorgas.M, Mendrinos.D, Karytsas.C, Solar and Geothermal Heating and Cooling of the European Centre for Public Law Building in Greece, Renewable Energy Journal, Vol29, No4, pp461-470, April 2004,  
<http://www.bonair.gr/data/241.pdf>
11. 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,  
[http://www.lowex.net/guidebook/additionalinformation/lowexx/3lowexxpaper\\_gr.pdf](http://www.lowex.net/guidebook/additionalinformation/lowexx/3lowexxpaper_gr.pdf)
12. Sanner.B, Current status of ground-source Heat pumps in Europe,Paper fromconference“Futurestock2003“,Warsaw,Poland,<http://www.buildingphysics.com/Futurestock%201.pdf>
13. Shapiro.C, Puttagundas S. and Owens D., Measure guideline :Heat Pump Water Heaters in New and Existing Homes,U.S Department of Energy ,2012
14. Spitler J.D., Liu.X ,SIMULATION AND OPTIMIZATION OF GROUND SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS, Oklahoma State University,  
<http://www.cres.gr/kape/pdf/geotherm/14.pdf>
15. Western Environmental Services Corporation, Design considerations for commercial air-to-water heat pumps, 2013,  
<http://www.wescorhvac.com/Aermec%20AWHP%20White%20paper%20Final%208-30-13.pdf>



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## Παράρτημα 1

ΑΝΩ ΟΡΟΦΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΒΑΡΟΣ kg/m²	W/m²·°C	ΗΛΙΑΚΗ ΔΡΑ																	ΣΥΝΑ ΜΕ- ΓΕΙΟΥ
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Χ Ω Ρ Ι Σ Ψ Ε Υ Δ Ο Ρ Ο Φ Η																					
1	Φύλλο γύψου με 25 mm (ή 50 mm ) μόνωση	34 (39)	1.21 (0.70)	-2	3	11	19	27	34	40	43	44	43	39	33	25	17	10	7	14	
2	25 mm ξύλο με 25 mm μόνωση	39	0.97	-2	-1	2	8	15	22	29	35	39	41	41	39	35	29	21	15	16	
3	100 mm ελαφρύ μπετόν	88	1.21	-2	-2	1	5	11	18	25	31	36	39	40	40	37	32	25	19	16	
4	50 mm βαρύ μπετόν με 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	142	1.17 (0.69)	-1	0	2	6	11	17	23	28	33	36	37	37	34	30	25	20	16	
5	25 mm ξύλο με 50 mm μόνωση	44	0.62	-4	-4	-2	3	9	15	22	27	32	35	36	35	32	27	20	14	16	
6	150 mm ελαφρύ μπετόν	117	0.90	2	1	0	2	4	8	13	18	24	29	33	35	36	35	32	28	18	
7	60 mm ξύλο με 25 mm μόνωση	63	0.74	6	4	3	4	5	8	11	15	19	23	27	29	31	31	30	27	19	
8	200 mm ελαφρύ μπετόν	151	0.72	8	6	5	4	4	5	7	11	14	18	22	25	28	30	30	29	20	
9	100 mm βαρύ μπετόν με 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	254 (254)	1.14 (0.68)	5	4	4	6	8	11	15	18	22	25	28	29	30	29	27	24	18	
10	60 mm ξύλο με 50 mm μόνωση	63	0.53	8	6	5	5	5	7	10	13	17	21	24	27	28	29	29	27	19	
11	Οροφή συστήματος ταράτσας	366	0.60	11	9	8	7	8	8	10	12	15	18	20	22	24	25	26	25	20	
12	100 mm βαρύ μπετόν + 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	366 (366)	1.10 (0.66)	10	9	8	8	9	10	12	15	17	20	22	24	25	25	25	24	19	
13	100 mm ξύλο με 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	83 (88)	0.60 (0.44)	14	13	11	10	9	9	9	10	12	14	16	18	20	22	23	24	21	
Μ Ε Ψ Ε Υ Δ Ο Ρ Ο Φ Η																					
1	Φύλλο γύψου με 25 mm (ή 50 mm ) μόνωση	44 (49)	0.76 (0.52)	-3	0	5	13	20	28	35	40	43	43	41	37	31	23	15	10	15	
2	25 mm ξύλο με 25 mm μόνωση	49	0.65	2	1	2	4	7	12	17	22	27	31	33	35	34	32	28	24	17	
3	100 mm ελαφρύ μπετόν	97	0.76	1	0	0	2	6	10	16	21	27	31	34	36	36	34	30	26	17	
4	50 mm βαρύ μπετόν με 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	146	0.74	8	7	7	8	9	11	14	17	19	22	24	25	26	26	25	23	18	
5	25 mm ξύλο με 50 mm μόνωση	49	0.47	4	3	3	4	6	10	14	18	23	27	30	31	32	31	29	26	18	
6	150 mm ελαφρύ μπετόν	127	0.62	7	6	4	4	4	6	9	12	16	20	24	27	29	30	30	28	20	
7	60 mm ξύλο με 25 mm μόνωση	73	0.55	12	10	9	8	8	9	10	12	14	17	19	21	23	24	25	24	20	
8	200 mm ελαφρύ μπετόν	161	0.53	13	11	10	9	8	8	8	9	11	14	16	19	21	23	25	25	20	
9	100 mm βαρύ μπετόν με 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	259 (264)	0.73 (0.51)	13	12	11	11	11	12	13	15	16	18	19	20	21	21	21	21	19	
10	60 mm ξύλο με 50 mm μόνωση	73	0.41	13	12	11	10	10	10	11	12	14	16	18	19	21	22	23	23	21	
11	Οροφή συστήματος ταράτσας	376	0.47	14	13	13	13	12	12	13	13	14	15	16	16	17	18	18	19	21	
12	100 mm βαρύ μπετόν + 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	376 (376)	0.71 (0.50)	13	13	12	12	12	12	13	14	15	16	17	18	18	19	19	19	20	
13	100 mm ξύλο με 25 mm (ή 50 mm) μόνωση	93 (97)	0.47 (0.36)	16	15	14	14	13	12	12	12	12	13	14	15	16	18	19	20	21	

## Παράρτημα 2



# HAP e-Help

HAP e-Help 002

V4.20a

October 1, 2005



Turn to the Expert

### How to Model WSHP/GSHP Systems Using Carrier's HAP Software

**FAQ #1:** *I'm developing an energy analysis model for a conventional closed loop WSHP system. How do I model this type of system?*

**FAQ #2:** *How do I model an open-loop WSHP system that uses well water?*

**FAQ #3:** *I'm evaluating high-efficiency HVAC systems to support LEED certification. One of the alternatives is a ground-coupled GSHP system where heat is rejected to a buried heat exchanger in the earth. How do I model this type of system with HAP?*

**Answer:** Each of the three WSHP/GSHP systems can be modeled with Carrier's Hourly Analysis Program (HAP) as described below.

#### **A. Conventional Closed Loop WSHP System**

This system consists of WSHP units connected in parallel to a common closed water loop. A cooling tower and an auxiliary boiler are also connected to the loop. When the majority of WSHP units are in cooling mode, heat rejection to the water loop will cause the water temperature to rise. The cooling tower will be energized to maintain the loop water temperature below the maximum set point condition. When most of the WSHP units are in the heating mode, heat extraction from the loop will cause the water temperature to fall. At this point, the auxiliary boiler will be energized to maintain the loop temperature above the minimum setpoint condition.



**Conventional Closed Loop WSHP System**

To model this system:

1. Create and save the cooling tower and the hot water boiler before creating the WSHP system.
2. Create a new air system. Use Equipment Type = Terminal Units and System Type = Water Source Heat Pumps.
3. Each zone represents a separate WSHP unit. Therefore, the number of zones must equal the number of heat pumps in the system.
4. Enter data for the WSHP system on the General, Vent System Components, Zone Components and Sizing tabs.
5. On the Equipment Tab, press the "Terminal Cooling Units" button to enter cooling mode performance data from the manufacturer's catalog data for each heat pump.
6. On the Equipment Tab, press the "Terminal Heating Units" button to enter heating mode performance data from the manufacturer's catalog data for each heat pump.
7. On the Equipment Tab, press the "Miscellaneous Components" to describe the system configuration. Specify a "Closed Loop" system. Enter the maximum and minimum loop water set points. Link the cooling tower and boiler created in step #1 to the system.
8. Finally, save the system.



This system consists of WSHP units connected in parallel to an open water source. This water is obtained from a well, river, pond or municipal water supply. If the WSHP unit capacity in heating mode is insufficient to meet a load, an auxiliary electric heater in the WSHP unit is used.

The diagram illustrates a geothermal system. A building is shown on the surface. A well is drilled into the ground, and a heat exchanger loop is installed. The loop consists of two pipes: one for circulating fluid from the ground to the building (heating) and another for returning the fluid to the ground (cooling). The ground is shown with a cross-section, and the fluid is represented by red and blue arrows indicating the flow direction.

### Open Loop WSHP System

1. Create and save a "cooling tower" before creating the system model. Choose the "River, Sea or Well Water" modeling method for the Cooling Tower Properties shown in Figure 1. Input the average source water temperature (Ave. ECWT) for each month of the year.
2. Create a new air system. Use Equipment Type = Terminal Units and System Type = Water Source Heat Pumps.
3. Each zone represents a separate WSHP unit. Therefore, the number of zones must equal the number of WSHP units in the system.
4. Enter data for the WSHP system on the General, Vent System Components, Zone Components and Sizing tabs.
5. On the Equipment Tab, press the "Terminal Cooling Units" button to enter cooling mode performance data from the manufacturer's catalog data for each heat pump.
6. On the Equipment Tab, press the "Terminal Heating Units" button to enter heating mode performance data from the manufacturer's catalog data for each heat pump.
7. On the Equipment Tab, press the "Miscellaneous Components" to describe the system configuration. Specify an "Open Loop WSHP" system configuration. Link the "cooling tower" created in step #1 to the system. Note that the program assumes electric auxiliary heaters, if auxiliary heating is needed. No inputs are required to define these auxiliary heaters.
8. Finally, save the system.

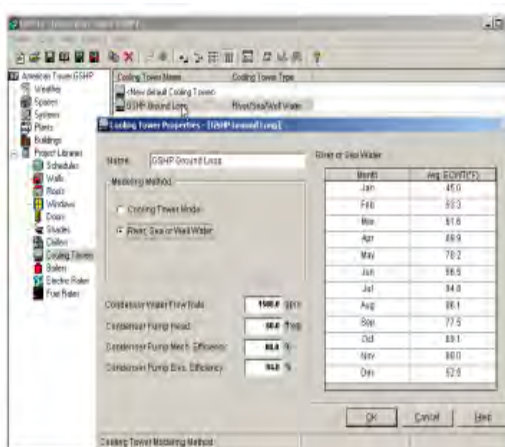


Figure 1

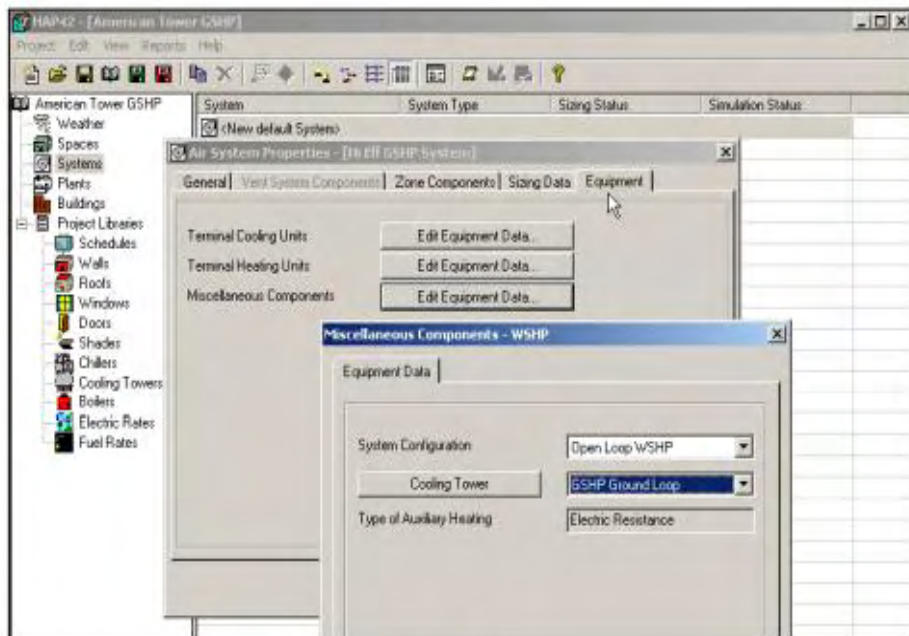
### C. Ground-Coupled WSHP System

A ground-coupled WSHP system (also known as a ground source heat pump system) consists of WSHP units connected in parallel to a closed water loop. Loop water is circulated to each WSHP unit from piping that is buried in the earth known as the ground heat exchanger. This heat exchanger either rejects or extracts heat from the earth. If the capacity of the WSHP units in heating mode is insufficient to meet the load, an auxiliary electric heater in the WSHP unit is energized. Currently, HAP does not provide a performance model for the ground heat exchanger, so the system configuration cannot be directly modeled. However, using an "Open Loop WSHP" system configuration as shown in Figure 2 can approximate performance of this system.

This simulates the loop water temperature for the WSHP units as a function of time of year. An average loop water temperature for each month must be entered for the "Cooling Tower Properties." In the actual system, the loop water temperature for a ground-coupled system is a function both of time of year and the hourly heat rejection or heat extraction. However, using the "Open Loop WSHP" system model shown in Figure 2 allows a general approximation of system performance. See Section B on page 2 for steps to model an "Open Loop WSHP" System.



**Ground-Coupled WSHP System**



**Figure 2**