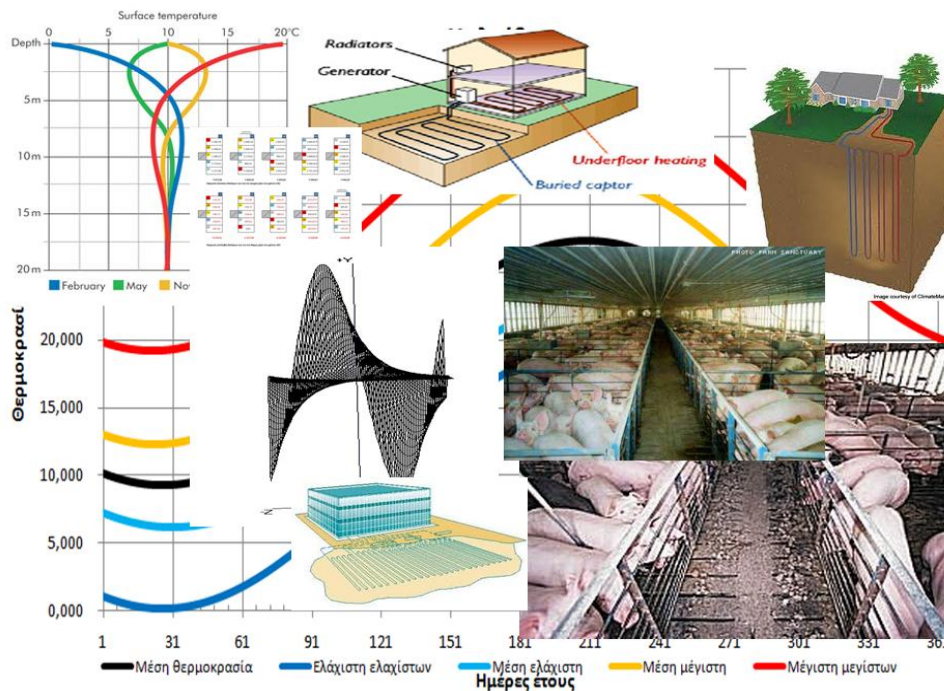


Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΕΙΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ



Ιωάννης Φ. Παπαγεωργίου

Επιβλέπων: καθ. Γρηγόριος Λαμπρινός

Αθήνα 2010

**Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ
ΑΞΙΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ**

Ιωάννης Φ. Παπαγεωργίου

Επιβλέπων: καθ. Γρηγόριος Λαμπρινός

Αθήνα 2010

Μεταπτυχιακή Διατριβή

ΧΡΗΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Ιωάννης Φ. Παπαγεωργίου

Επιβλέπων: Καθ. Γρηγόριος Λαμπρινός

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής:

Γρηγόριος Λαμπρινός – Καθηγητής

Γεώργιος Παπαδάκης – Καθηγητής

Παναγιώτης Παναγάκης – Επίκουρος Καθηγητής

Σύνοψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση των δυνατοτήτων χρήσεως των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στον Ελλαδικό αγροτικό χώρο και συγκεκριμένα σε χοιροτροφική μονάδα την οποία μελετάμε σε τρεις διαφορετικές κλιματολογικά περιοχές.

Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου θέματος γίνεται με σκοπό να διερευνήσει τις λύσεις που παρέχουν σήμερα οι γεωθερμικές αντλίες οι οποίες κατακτούν ολοένα και περισσότερο έδαφος στις προτιμήσεις τόσο για τη ρύθμιση του εσωτερικού τεχνητού περιβάλλοντος σε οικιστικές εφαρμογές όσο και σε βιομηχανικές.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δύο μέρη τα οποία είναι το γενικό και το ερευνητικό.

Γενικό μέρος: Στο γενικό μέρος παρατίθενται οι βασικές αρχές της γεωθερμίας ενώ δίδεται έμφαση στο ζήτημα της αβαθούς γεωθερμίας η οποία αποτελεί άλλωστε και το υπόβαθρο λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών. Παράλληλα εξετάζεται το πρόβλημα του προσδιορισμού της θερμοκρασίας του εδάφους σε διάφορα βάθη καθώς αποτελεί αν όχι το βασικότερο ένα από τα πλέον βασικά ζητήματα που απαιτούν σωστή διερεύνηση για την ορθολογική λήψη αποφάσεων περί εγκατάστασης ή μη γεωθερμικών αντλιών, σε διάφορες εφαρμογές. Παράλληλα με το καθαρά γεωθερμικό σκέλος, το γενικό μέρος περιλαμβάνει εκτενή αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά μιας σύγχρονης χοιροτροφικής μονάδας καθώς αυτή αποτελεί το πεδίο πάνω στο οποίο θα αξιολογηθεί η δυνατότητα χρήσεως της γεωθερμικής αντλίας. Με δεδομένη τη διαφορετική σημασία που έχουν τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των χοίρων, οι αναφορές του γενικού μέρους επικεντρώνονται στο στάδιο της πρώτης ανάπτυξης καθώς αυτό αποτελεί το πλέον σημαντικό στάδιο για την ομαλή και οικονομικά συμφέρουσα μετάβαση των χοίρων από τον απογαλακτισμό στη φάση της εμπορικής εκμετάλλευσης. Επιπλέον θέματα που παρατίθενται στο γενικό μέρος, αφορούν το Ελλαδικό κλίμα και ειδικότερα τις μεταβολές της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της ειδικής ενθαλπίας του αέρα, καθώς πάνω σε αυτά έχει βασισθεί το μεγαλύτερο μέρος του ερευνητικού σκέλους της παρούσας εργασίας στην προσπάθεια να διαστασιολογηθούν οι σχετικές εγκαταστάσεις

Ερευνητικό μέρος: Στο ερευνητικό μέρος τίθεται το πρόβλημα σχεδιασμού γεωθερμικής αντλίας σε υποθετικά χοιροστάσια βιομηχανικού τύπου με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία θεωρούμε ότι εγκαθίστανται σε τρεις διαφορετικές κλιματολογικά περιοχές της Ελλάδας. Οι περιοχές αυτές είναι η Φλώρινα, η Χαλκίδα και η Ιεράπετρα. Η επιλογή τους έγινε με βάση τη διαφοροποίηση που παρουσιάζουν σε σχέση με το κλίμα ώστε να εξετασθεί το πώς επηρεάζονται οι διαστάσεις της αντλίας θερμότητας και του γεωθερμικού εναλλάκτη. Στα χοιροστάσια αυτά η γεωθερμική αντλία έρχεται να καλύψει τις ανάγκες ψύξης/θέρμανσης των χώρων που στεγάζουν τα χοιρίδια πρώτης ανάπτυξης. Για κάθε μια εγκατάσταση υπολογίζονται οι ανάγκες χειμώνα και θέρους ώστε μέσω αυτών να διαστασιολογηθούν όλα τα μέρη του συστήματος. Σε ότι αφορά το έδαφος οι παραδοχές γίνονται για τις πλέον πτωχές θερμοφυσικά δομές ώστε η έρευνα να καλύψει τις ακραίες συνθήκες στις οποίες θα κληθεί να λειτουργήσει μια γεωθερμική αντλία. Μετά το τέλος των τεχνικών αναλύσεων και υπολογισμών, γίνεται οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων ώστε να εξαχθεί το συμπέρασμα εάν και κατά πόσο είναι συμφέρουσα μια τέτοια η επένδυση σε μια σύγχρονη χοιροτροφική μονάδα.

Λέξεις κλειδιά: Γεωθερμία, γεωθερμική αντλία θερμότητας, έδαφος, θερμοκρασία εδάφους, χοιροστάσια

Application of Ground Coupled Heat Pump for Heating and Cooling of Swine Farms

Summary

The object of the current thesis is to evaluate the use of ground coupled heat pumps within the Greek Agricultural Sector and more specifically in a Swine farm which is considered to be located in three different climate areas.

The current thesis comprises of two main sections which are the “General Section” and “Research Section”.

General Section: The general section includes the basic principles of geothermal energy and more especially the ones related with the so called “Shallow depth” geothermal energy, since this is of fundamental importance for the development and the applications of ground coupled heat pumps. The general section is focused on the problem of temperature estimation in different depths below ground surface since this estimation is critical within the scope of decision making towards the use of ground coupled heat pumps.

Research section: The research section examines the problem of designing and dimensioning a ground coupled heat pump at three hypothetical industrial swine farms. The farms are considered to be in three different climate zones of Greece which are Florina, Halkida and Ierapetra. The choice of three areas was made in order to enable research on how different climatic zones affect the heating and cooling demands as well as the size of the ground heat exchanger. The research has been based on the worst case scenarios in terms of climate and ground’s thermo - physical properties. Following the end of calculations and analysis, the ground coupled heat pump is subjected to investment appraisal in order to enable decision making for installations of similar systems in modern industrial swine farms.

Key words: Geothermal energy, Ground coupled heat pump, soil, soil temperature, swine farms.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή και επιβλέποντα Καθηγητή μου κο Γρηγόριο Λαμπρινό, για την πολύτιμη υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά κυρίως κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κάτωθι:

Τα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής της Μεταπτυχιακής μου Διατριβής Καθηγητή κ. Γιώργο Παπαδάκη και Επίκουρο Καθηγητή κ. Παναγιώτη Παναγάκη για τις παρατηρήσεις και τα σχόλια τους. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή Παναγιώτη Παναγάκη για τις πληροφορίες που μου έδωσε σε θέματα οργάνωσης χοιροστασιών κατά το αρχικό στάδιο εκπόνησης της διατριβής μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους εξής:

1. Τον κο Γιώργο Πολυμενόπουλο Διπλ. Μηχανολόγο Μηχανικό – στέλεχος εταιρείας HELESCO για την ανταλλαγή πληροφοριών και απόψεων πάνω σε ενεργειακά ζητήματα σχετιζόμενα με χοιροτροφικές μονάδες.
2. Τον κο Βασίλη Κάνταρο – Στέλεχος πωλήσεων της εταιρείας REHAU για τις τεχνικές πληροφορίες που μου έδωσε σχετικά για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.
3. Τον κο Σταύρο Γιαννακόπουλο – Στέλεχος της εταιρείας CORUS A.E. για τις πληροφορίες που μου έδωσε σχετικά με διάφορα δομικά υλικά.
4. Τον κο Σπύρο Σολδάτο – Διοικητικό Στέλεχος της εταιρείας ΣΟΛΔΑΤΟΣ Α.Ε. για τις πληροφορίες που μου έδωσε σχετικά με εξοπλισμό κλιματισμού.

*Αφιερώνω την παρούσα διατριβή
στη σύζυγο μου Σοφία
και στα παιδιά μου
Μαριάννα και Φραγκίσκο – Χρίστο*

*...ας δημιουργήσουμε εμείς,
όσο η βαστάει ακόμα
η θερμοκρασία τούτη της Γής...*

Νίκος Καζαντζάκης - Ασκητική

Περιεχόμενα

Σύνοψη	4
Summary	5
ΜΕΡΟΣ 1^ο : ΓΕΝΙΚΟ	16
1.1 Βασικά στοιχεία γεωθερμικής ενέργειας	16
1.1.1 Ορισμός της γεωθερμίας	16
1.1.2 Βασικές ιδιότητες της Γεωθερμικής Ενέργειας	16
1.1.3 Βασικοί στόχοι της γεωθερμίας	16
1.1.4 Γεωλογικό υπόβαθρο γεωθερμικής ενέργειας	17
1.1.5 Η θερμότητα του εσωτερικού της γης	19
1.1.6 Μετάδοση της θερμότητας της γης και τρόποι μέτρησης της	20
1.1.7 Γεωθερμικά πεδία	22
1.1.8 επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας της γης	22
1.1.9 Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων	23
1.1.10 Παράμετροι αξιοποίησης γεωθερμικών πεδίων	25
1.1.11 Ταξινόμηση και χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας	25
1.2 Έδαφος & αβαθής γεωθερμία	27
1.2.1 Το έδαφος	27
1.2.2 Οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες του εδάφους	27
1.2.3 Τα θερμικά χαρακτηριστικά του εδάφους	34
1.2.4 Αβαθής γεωθερμία	40
1.2.5 Ενεργειακή αξιοποίηση εδάφους συναρτήσει του βάθους	40
1.3 Αντλίες θερμότητας	43
1.3.1 Ιδανική αντλία θερμότητας	45
1.3.2 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας	45
1.3.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	46
1.3.4 Το συγκριτικό πλεονέκτημα μεταξύ συμβατικών και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	47
1.3.5 Κατηγορίες γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	48
1.3.6 Μεγιστοποίηση της απόδοσης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	56
1.3.7 Χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα και θερμομεταφορικά ρευστά	61
1.3.8 Το πρόβλημα της ακριβούς διαστασιολόγησης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας	61
1.3.9 Εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας	61
1.3.10 Εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε αγροτικές χρήσεις	63
1.4 Βασικές έννοιες σχετικές με το κλίμα	64
1.5 Χοιροστάσια	66
1.5.1 Επιχειρηματική οργάνωση και ορθολογική χρήση ενέργειας στα σύγχρονα χοιροτροφία	67
ΜΕΡΟΣ 2^ο - ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ	69
2.1 Εισαγωγή – Σκοπός	69
2.1.1 Γενική έρευνα σε θέματα γεωθερμικών αντλιών και αβαθούς γεωθερμίας	69
2.1.2 Ειδική έρευνα σε θέματα αξιοποίησης της γεωθερμίας στον κλιματισμό χοιροστασίων	70
2.2 Υλικά - Μεθοδολογία - Παραδοχές	71
2.3 Αποτελέσματα και σχόλια	73
2.3.1 Οργάνωση χοιροστασίου	73
2.3.2 Υλικά κατασκευής μονάδας πρώτης ανάπτυξης	75
2.3.3 Θερμικά κέρδη και απώλειες στις τοιχοποιίες του χοιροστασίου	76
2.3.4 Ενεργειακό ισοζύγιο θαλάμων	77
2.3.5 Δυσμενέστερες ενεργειακά συνθήκες θαλάμων	79

2.4 Υπολογισμός μέγιστων φορτίων χειμώνα και θέρους	96
2.5 Χάραξη κύκλων ισχύος ψύξης & θέρμανσης σε διάγραμμα Mollier	98
2.5.1 Διαστασιολόγηση συμπιεστών	103
2.5.2 Διαστασιολόγηση εναλλακτών θερμότητας στο εσωτερικό των θαλάμων (fan coils)	108
2.5.3 Διαστασιολόγηση ανεμιστήρων ανανέωσης αέρα στο εσωτερικό των θαλάμων	108
2.6 Έδαφος και σχεδιασμός γεωεναλλάκτη	109
2.6.1 Έδαφος	109
2.6.2 Διαστασιολόγηση γεωεναλλάκτη	113
2.7 Κοστολόγηση έργου	117
2.7.1 Βασικά στοιχεία κοστολόγησης	117
2.7.2 Οικονομική Αξιολόγηση επένδυσης	118
2.8 Συμπεράσματα	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	123
Π1 Μέγιστη και ελάχιστη τιμή ειδικής ενθαλπίας ατμοσφαιρικού αέρα	123
Βιβλιογραφία	125

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Η Δομή της γης.....	18
Σχήμα 2: Περιοχές της γης με έντονη γεωθερμική δραστηριότητα	18
Σχήμα 3: Οι λιθοσφαιρικές πλάκες	19
Σχήμα 4: Διαγράμματα γεωθερμικών βαθμίδων από επτά γεωτρήσεις του πεδίου Σουσακίου Κορινθίας... 21	21
Σχήμα 5: Χάρτης κατανομής θερμικής ροής στο φλοιό της γης	22
Σχήμα 6: Τυπική τομή γεωθερμικού πεδίου	23
Σχήμα 7: Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας.....	26
Σχήμα 8: Διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών βάσει συστήματος Η.Π.Α.	28
Σχήμα 9: Σχηματική αναπαράσταση του πίνακα χρωμάτων εδάφους του Munsell.....	31
Σχήμα 10: Παγκόσμιος χάρτης θερμοκρασιών εδάφους (www.nrcs.usda.gov).....	32
Σχήμα 11: Παγκόσμιος χάρτης εδαφικής ικανότητας κατακράτησης νερού (www.nrcs.usda.gov)	33
Σχήμα 12: Παγκόσμιος χάρτης υγρασίας εδαφών (www.nrcs.usda.gov)	33
Σχήμα 13: Διάγραμμα ενεργειακού ισοζυγίου εδάφους (Διάγραμμα Shankey) (Bever et al 1972).....	34
Σχήμα 14: Κατανομή αλβέδου και ακτινοβολίας εδάφους συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους (Houghton 1954, Baver et al 1972).....	35
Σχήμα 15: Μεταβολή της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα βάθη συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους στο βόρειο ημισφαίριο (Baver et al 1972)	36
Σχήμα 16: Μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος κατά τη διάρκεια του έτους (πηγή: Kasuda, T., and Archenbach, P.R. 1965).....	37
Σχήμα 17: Κατανομή θερμοκρασιών εδάφους σε διάφορα βάθη για τέσσερις χρονικές στιγμές ενός τυπικού έτους (πηγή: τεχνικές πληροφορίες REHAU)	38
Σχήμα 18: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους για διάφορα βάθη, συναρτήσει της χρονικής περιόδου του έτους.....	39
Σχήμα 19: Τυπικές εύρος θερμικών ζωνών υπεδάφους	42
Σχήμα 20: Βασική δομή αντλίας θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης	43
Σχήμα 21: Αναπαράσταση της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα πίεσεως - ενθαλπίας.. 44	44
Σχήμα 22: Σχηματική αναπαράσταση της δομής μιας αντλίας θερμότητας πάνω σε διάγραμμα p-h	44
Σχήμα 23: Η βασική δομή μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Στα αριστερά διακρίνεται η λειτουργία για θέρμανση (χειμώνας) και δεξιά η λειτουργία για ψύξη (καλοκαίρι).....	46
Σχήμα 24: συγκριτικό ενδεικτικό διάγραμμα θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς μεταξύ γεωθερμικής και συμβατικής αντλίας.....	48
Σχήμα 25: Χαρακτηριστικές διατάξεις γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανοικτού βρόχου με φρεάτιο άντλησης και φρεάτιο απόρριψης υδάτων	49
Σχήμα 26: Γεωθερμική αντλία θερμότητας ανοικτού βρόχου με εφαρμογή θέρμανσης δαπέδων κατοικίας.....	49
Σχήμα 27: Συστήματα κλειστού βρόχου οριζόντιας διάταξης (αριστερά) και καθέτου διάταξης (δεξιά).....	51
Σχήμα 28: Παραλλαγές συστημάτων κλειστού βρόχου	51
Σχήμα 29: Τύποι εναλλακτών θερμότητας σε συστήματα κατακόρυφης διάταξης	52
Σχήμα 30: Σύστημα κάθετου διάταξης με περισσότερους από ένα κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας.....	52
Σχήμα 31: Τύποι εναλλακτών θερμότητας σε σύστημα οριζοντίου διάταξης.....	53
Σχήμα 32: Τυπική σπειροειδής διάταξη εναλλάκτη θερμότητας οριζοντίου διάταξης	53
Σχήμα 33: Κατανομή θερμοκρασιών εδάφους συναρτήσει του βάθους	54
Σχήμα 34: Συνοπτικός πίνακας συστημάτων ανοικτού και κλειστού τύπου.....	56
Σχήμα 35: Διάγραμμα μεταβολής του COP συναρτήσει του \dot{Q}_L	58
Σχήμα 36: Σχηματική παράσταση της τοξικότητας και ευφλεκτότητας διαφόρων ψυκτικών ρευστών	59
Σχήμα 37: Ομάδες ασφαλείας ASHRAE 34	60
Σχήμα 38: Αντικαταστάτες του R-22.....	60
Σχήμα 39: Κατανομή εγκαταστημένων γεωθερμικών αντλιών σε διάφορα Ευρωπαϊκά κράτη	62

Σχήμα 40: Κατανομή πωλήσεων αντλιών θερμότητας νερού, αέρα και εδάφους στη Γερμανία	62
Σχήμα 41: Ψυχομετρικό διάγραμμα σε μονάδες SI	64
Σχήμα 42: Κατανομή θερμοκρασίας αέρα στη διάρκεια ενός έτους.....	65
Σχήμα 43: Κατανομή σχετικής υγρασίας στη διάρκεια ενός έτους.....	65
Σχήμα 44: Κατανομή ειδικής ενθαλπίας ατμοσφαιρικού αέρα στη διάρκεια του έτους	66
Σχήμα 45: Κατανομή μέσης θερμοκρασίας ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του έτους στις πόλεις της Φλώρινας, Χαλκίδας και Ιεράπετρας	69
Σχήμα 46: Εμπρόσθια τομή των θαλάμων του κτιρίου πρώτης ανάπτυξης	74
Σχήμα 47: Μεταβολή βάρους χοιριδίων ανά ημέρα	74
Σχήμα 48: Διαρρύθμιση κτιρίου πρώτης ανάπτυξης.....	75
Σχήμα 49:Κατανομή μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στη διάρκεια τους έτους στις περιοχές Φλώρινας, Χαλκίδας & Ιεράπετρας.....	76
Σχήμα 50: Κατανομή μέσης μέγιστης θερμοκρασίας στη διάρκεια τους έτους στις περιοχές Φλώρινας, Χαλκίδας & Ιεράπετρας.....	76
Σχήμα 51: Δυσμενέστεροι θερμικά συνδυασμοί θαλάμων – Φλώρινα	77
Σχήμα 52: Μεταβολή βάρους & θερμικών απωλειών 100 χοιριδίων από τα 7 - 30kg.....	78
Σχήμα 53: Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για την περιοχή Φλώρινας	80
Σχήμα 54: Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για την περιοχή Χαλκίδας.....	80
Σχήμα 55: Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για την περιοχή Ιεράπετρας	80
Σχήμα 56: Κατανομή προσθήκης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – χειμώνας	88
Σχήμα 57: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO ₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – χειμώνας	88
Σχήμα 58: Κατανομή αφαίρεσης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – θέρος.....	89
Σχήμα 59: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO ₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – θέρος.....	89
Σχήμα 60: Κατανομή προσθήκης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – χειμώνας.....	90
Σχήμα 61: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO ₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – χειμώνας.....	90
Σχήμα 62: Κατανομή αφαίρεσης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – θέρος.....	91
Σχήμα 63: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO ₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – θέρος	91
Σχήμα 64: Κατανομή προσθήκης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρας – χειμώνας	92
Σχήμα 65: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO ₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρας – χειμώνας	92
Σχήμα 66: Κατανομή αφαίρεσης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρα – θέρος	93
Σχήμα 67: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO ₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρα – θέρος.....	93

Σχήμα 68: Σύγκριση υπολογισμών προσθήκης θερμότητας - Φλώρινα/χειμώνας.....	94
Σχήμα 69: Σύγκριση υπολογισμών αφαίρεσης θερμότητας - Φλώρινα/θέρος.....	94
Σχήμα 70: Σύγκριση υπολογισμών προσθήκης θερμότητας - Χαλκίδα/χειμώνας.....	94
Σχήμα 71: Σύγκριση υπολογισμών αφαίρεσης θερμότητας - Χαλκίδα/θέρος.....	95
Σχήμα 72: Σύγκριση υπολογισμών προσθήκης θερμότητας - Ιεράπετρα/χειμώνας.....	95
Σχήμα 73: Σύγκριση υπολογισμών αφαίρεσης θερμότητας - Ιεράπετρα/θέρος.....	95
Σχήμα 74: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών θέρμανσης θαλάμων σε κάθε περιοχή.....	96
Σχήμα 75: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών ψύξης θαλάμων σε κάθε περιοχή.....	97
Σχήμα 76: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών χειμώνα - θέρους για κάθε περιοχή.....	97
Σχήμα 77: Κύκλος θέρμανσης χειμώνα - Ψυκτικό ρευστό R407A / Φλώρινα.....	99
Σχήμα 78: Κύκλος θέρμανσης χειμώνα - Ψυκτικό ρευστό R407A / Χαλκίδα.....	99
Σχήμα 79: Κύκλος θέρμανσης χειμώνα - Ψυκτικό ρευστό R407A / Ιεράπετρα.....	100
Σχήμα 80: Κύκλος ψύξης - Ψυκτικό ρευστό R407A / Φλώρινα.....	101
Σχήμα 81: Κύκλος ψύξης θέρους - Ψυκτικό ρευστό R407A / Χαλκίδα.....	101
Σχήμα 82: Κύκλος ψύξης θέρους - Ψυκτικό ρευστό R407A - Ιεράπετρα.....	102
Σχήμα 83: Συγκριτικό διάγραμμα ισχύων συμπτυκωτή και εξατμιστή για κάθε εξεταζόμενη περιοχή.....	103
Σχήμα 84: Θεωρητική παροχή όγκου για το συμπίεστη της Φλώρινας για κάθε ψυκτικό ρευστό.....	104
Σχήμα 85: Θεωρητική παροχή όγκου για το συμπίεστη της Χαλκίδας για κάθε ψυκτικό ρευστό.....	104
Σχήμα 86: Θεωρητική παροχή όγκου για το συμπίεστη της Ιεράπετρας για κάθε ψυκτικό ρευστό.....	104
Σχήμα 87: Σύγκριση μεταξύ ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα - θέρους για το συμπίεστη της Φλώρινας.....	105
Σχήμα 88: Σύγκριση μεταξύ ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα - θέρους για το συμπίεστη της Χαλκίδας.....	106
Σχήμα 89: Σύγκριση μεταξύ ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα - θέρους για το συμπίεστη της Ιεράπετρας.....	106
Σχήμα 90: Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς θέρμανσης για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή.....	107
Σχήμα 91: Σχήμα 92: Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς ψύξης για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή.....	107
Σχήμα 93: Σύστημα ανανέωσης αέρα με αεραγωγό στο κανάλι αποχέτευσης του θαλάμου (Παναγάκης 2009).....	109
Σχήμα 94: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους για την ψυχρότερη μέρα του έτους στη Φλώρινα.....	110
Σχήμα 95: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη θερμότερη μέρα του έτους στη Φλώρινα.....	110
Σχήμα 96: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους για την ψυχρότερη μέρα του έτους στη Χαλκίδα.....	111
Σχήμα 97: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη θερμότερη μέρα του έτους στη Χαλκίδα.....	111
Σχήμα 98: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη ψυχρότερη μέρα του έτους στην Ιεράπετρα.....	112
Σχήμα 99: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη θερμότερη μέρα του έτους στην Ιεράπετρα.....	112
Σχήμα 100: Πλάγια τομή γεωμετρίας γεωεναλλάκτη.....	115
Σχήμα 101: Άνω και κάτω τμήμα γεωεναλλάκτη.....	116
Σχήμα 102: Καμπύλη καθαρής παρούσας αξίας και περιόδου επιστροφής κεφαλαίου.....	120
Σχήμα 103: Επίδραση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του εδάφους στα οικονομικά μεγέθη της εγκατάστασης.....	120
Σχήμα 104: Κατανομή ειδικής ενθαλπίας ατμοσφαιρικού αέρα κατά το έτος 2004 στην πόλη των Αθηνών.....	123
Σχήμα 105: Ωριαίες μεταβολές θερμοκρασίας ξηρού βολβού, σχετικής υγρασίας και ειδικής ενθαλπίας κατά το χειμώνα στην Αθήνα.....	124

Σχήμα 106: Ωριαίες μεταβολές θερμοκρασίας ξηρού βολβού, σχετικής υγρασίας και ειδικής ενθαλπίας κατά το θέρος στην Αθήνα 124

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά ραδιοϊσοτόπων που συνεισφέρουν στην παραγωγή θερμότητας της γης (Turcotte & Schubert 1982).....	19
Πίνακας 2: Μηχανισμοί απώλειας θερμότητας από τη Γή (Verhoogen 1980).....	20
Πίνακας 3: Ταξινόμηση εδαφών.....	27
Πίνακας 4: Ταξινόμηση εδαφών με βάση τη μηχανική τους σύσταση.....	28
Πίνακας 5: Διεθνές σύστημα ταξινόμησης εδαφών - διάμετρος κόκκων.....	28
Πίνακας 6: Ταξινόμηση εδαφών βάσει της δομής τους.....	29
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας συναρτήσει του βάθους.....	41
Πίνακας 8: Θερμικές ιδιότητες συγκεκριμένων τύπων εδαφών και υλικών πλήρωσης.....	55
Πίνακας 9: Τυπικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων εδαφικών υλικών.....	57
Πίνακας 10: Θερμοκρασία και επιθυμητή σχετική υγρασία για κάθε θάλαμο.....	73
Πίνακας 11: Σχηματική αναπαράσταση εναλλαγών θερμότητας στους θαλάμους του χοιροστάσιου...	74
Πίνακας 12: Συντελεστές θερμοπερατότητας τοιχοποιιών κτιρίου πρώτης ανάπτυξης.....	75
Πίνακας 13: Μεθοδολογία συνδυασμού θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας.....	79
Πίνακας 14: Ψυχομετρικά δεδομένα δυσμενέστερων περιόδων για κάθε περιοχή.....	81
Πίνακας 15: Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα για το χοιροστάσιο της Φλώρινας.....	82
Πίνακας 16: Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους για το χοιροστάσιο της Φλώρινας.....	83
Πίνακας 17: Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα για το χοιροστάσιο της Χαλκίδας.....	84
Πίνακας 18: Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους για το χοιροστάσιο της Χαλκίδας.....	85
Πίνακας 19: Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα για το χοιροστάσιο της Ιεράπετρας.....	86
Πίνακας 20: Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους για το χοιροστάσιο της Ιεράπετρας.....	87
Πίνακας 21: Μέγιστες συνολικές ανάγκες χοιροστάσιου για κάθε πόλη με βάση τις δυσμενέστερες συνθήκες.....	96
Πίνακας 22: Αποτελέσματα διερεύνησης κύκλων θέρμανσης (Mollier) για τις τρεις περιοχές και για τρία ψυκτικά ρευστά.....	98
Πίνακας 23: Αποτελέσματα διερεύνησης κύκλων ψύξης (Mollier) για τις τρεις περιοχές και για τρία ψυκτικά ρευστά.....	100
Πίνακας 24: Ισχύς συμπυκνωτών & εξατμιστών με βάση τους κύκλους θέρμανσης/ψύξης κάθε περιοχής.....	102
Πίνακας 25: Θεωρητική παροχή όγκου ψυκτικού ρευστού για κάθε περιοχή και εποχή.....	103
Πίνακας 26: Υπολογισμός ειδικού ογκομετρούμενου έργου.....	105
Πίνακας 27: Συντελεστές συμπεριφοράς θέρμανσης.....	106
Πίνακας 28: Συντελεστές συμπεριφοράς ψύξης.....	107
Πίνακας 29: Επιλογή fan coil για κάθε θάλαμο και περιοχή.....	108
Πίνακας 30: Θερμοκρασίες εδάφους στις τρεις επιλεγείσες πόλεις για τη θερμότερη και την ψυχρότερη μέρα του έτους.....	113
Πίνακας 31: Μήκος σωληνώσεων γεωθερμικού εναλλάκτη με βάση τη ισχύ του συμπυκνωτή και του εξατμιστή και σε συνδυασμό με την προσφερόμενη ανά τετραγωνικό μέτρο ισχύ του εδάφους.....	113
Πίνακας 32: Συνολικός αριθμός κλάδων κυκλώματος και σωληνώσεων γεωθερμικού εναλλάκτη, για τις τρεις εξεταζόμενες περιοχές.....	114
Πίνακας 33: Συγκριτικός πίνακας για δύο διαφορετικές γεωμετρίες εγκατάστασης γεωεναλλάκτη στις τρεις περιοχές.....	114
Πίνακας 34: Υδραυλικοί υπολογισμοί γεωεναλλακτών για τις τρεις περιοχές.....	117
Πίνακας 35: Απαιτούμενες ποσότητες θερμομεταφορικού μέσου για κάθε περιοχή.....	117
Πίνακας 36: Κοστολόγηση εγκαταστάσεων χοιροστάσιου Χαλκίδας.....	118
Πίνακας 37: Αξιολόγηση επένδυσης στην εγκατάσταση Χαλκίδας.....	119

ΜΕΡΟΣ 1^ο : ΓΕΝΙΚΟ

1.1 Βασικά στοιχεία γεωθερμικής ενέργειας

1.1.1 Ορισμός της γεωθερμίας

Η λέξη «γεωθερμία (Geothermics) προέρχεται από τις Ελληνικές λέξεις «γεώ» και «θερμός» και περιγράφει την θερμική ενέργεια, η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στο εσωτερικό της γης. Ο όρος «γεωθερμία» αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία στον εφαρμοσμένο επιστημονικό κλάδο που περιλαμβάνει όλο το φάσμα της έρευνας από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπογείων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της Γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς, επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω καθώς και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής είναι εφικτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο εξασφαλίζουν ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα. Το μέσο τυπικό βάθος μέχρι το οποίο είναι εφικτή η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας φθάνει μέχρι τα 3.000m (Κ.Α.Π.Ε. 2001, Φυτίκας & Ανδρίτσος 2004) Η γεωθερμική ενέργεια συναντάται επίσης σε ξηρά θερμά πετρώματα, που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη σε γεωπεπιεσμένους σχηματισμούς καθώς και στο μάγμα, πλην όμως η αξιοποίηση της είναι δύσκολη με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Τα βάθη αυτά κυμαίνονται από 4.000 – 10.000m (Κ.Α.Π.Ε., 2001)

1.1.2 Βασικές ιδιότητες της Γεωθερμικής Ενέργειας

Είναι γνωστό πως η θερμοκρασία της γης αυξάνεται βαθμιαία από την επιφάνεια προς τον πυρήνα της φθάνοντας μέχρι τους 4.000° C. Ο μέσος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος καλείται γεωθερμική βαθμίδα ενώ από πειραματικές εκτιμήσεις η τιμή του έχει υπολογισθεί στους 30° C/km. Λαμβανομένης υπ' όψιν της διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων στρωμάτων του εσωτερικού της γης, η περιεχόμενη θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή και απελευθερώνεται είτε στην επιφάνεια της είτε μέσα στη θάλασσα. Εκτός από την αγωγή, η μεταφορά θερμότητας συντελείται σε ορισμένες περιπτώσεις με συναγωγή μέσω μάγματος ή ύδατος.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν είναι προφανές πως η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα η οποία μεταφέρεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης λόγω της υφιστάμενης διαφοράς θερμοκρασίας. Ως γεωθερμική ενέργεια θεωρείται επίσης και η θερμότητα που παράγεται στο εσωτερικό της γης από τη διάσπαση στοιχείων όπως το ουράνιο και το θόριο, στοιχεία τα οποία βρίσκονται σε βαθύτερα στρώματα πολύ κάτω από το φλοιό της γης. Η παραγωγή ενέργειας μέσω των διασπάσεων αυτών πραγματοποιείται με ιδιαίτερα χαμηλό ρυθμό και ως εκ τούτου τα φαινόμενα αυτά δεν εξετάζονται παράλληλα με τους κλασικούς μηχανισμούς γένεσης γεωθερμικής ενέργειας (Αξαόπουλος & Γελεγένης, 2005)

1.1.3 Βασικοί στόχοι της γεωθερμίας

Ο βασικός στόχος της γεωθερμίας εστιάζεται στις προσπάθειες εντοπισμού και μελέτης περιοχών στις οποίες παρατηρούνται υψηλές τιμές θερμικής ροής από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης. Το φαινόμενο της αυξημένης θερμικής ροής ονομάζεται και «θερμική ανωμαλία». Οι περιοχές της γης

στις οποίες παρατηρείται αυτού του είδους η ανωμαλία τίθενται σε προτεραιότητα από πλευράς εξέτασης των δυνατοτήτων αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού τους. Ωστόσο η παρουσία γεωθερμικής ανωμαλίας δεν αποτελεί από μόνη της ικανή συνθήκη για την εμπορική αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας. Παράγοντες όπως τα γενικά ενεργειακά χαρακτηριστικά των εκάστοτε περιοχών, το βάθος, η σύσταση του υπεδάφους, η χωροταξία των περιοχών, το κλίμα, και η ανάπτυξη τους αποτελούν μερικά από τα κριτήρια τα οποία καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ενεργειακή αξιοποίηση περιοχών με αυξημένο γεωθερμικό δυναμικό. Η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού σε μεγάλα βάθη έχει διαπιστωθεί πως εμπεριέχει δυσκολίες με αποτέλεσμα ο ρυθμός με τον οποίο αναπτύσσεται η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις δυνατότητες που παρέχει για διείσδυση σε μεγαλύτερα βάθη υπό την προϋπόθεση πάντοτε ότι πληρούνται οι εκάστοτε σχέσεις κόστους οφέλους κάθε περίπτωσης.

Σε αντίθεση με τις δυσκολίες που εμπεριέχει η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας που βρίσκεται σε μεγάλα βάθη, οι δυνατότητες εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας σε μικρότερα βάθη αναπτύσσονται συνεχώς έστω και αν τα ενεργειακά μεγέθη στα βάθη αυτά υπολείπονται κατά πολύ από τα αντίστοιχα στα μεγαλύτερα. Ο ειδικός κλάδος της γεωθερμίας που ασχολείται με την ενεργειακή αξιοποίηση των μικρών βαθών ονομάζεται «αβαθής γεωθερμία». Τα βάθη αυτά κυμαίνονται από μερικά εκατοστά κάτω από την επιφάνεια της γης μέχρι τα 150m. Στα βάθη αυτά δεν είναι μόνο η παρουσία ενός ρευστού σε υψηλή θερμοκρασία η οποία καθιστά τις εκάστοτε περιοχές ελκυστικές για ενεργειακή αξιοποίηση.

Ανεξαρτήτως της παρουσίας ενός παράγοντα θερμικής ανωμαλίας το υπέδαφος χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα της «θερμικής αδράνειας» η οποία θα αναλυθεί σε επόμενες παραγράφους. Χάρης στην ιδιότητα αυτή η θερμοκρασία του υπεδάφους σε μια ζώνη η οποία κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 5 - 15m κάτω από την επιφάνεια δε μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους συγκριτικά με την μεταβολή της θερμοκρασίας που παρατηρείται στην ατμόσφαιρα (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Αυτή η δυνατότητα καθιστά το υπέδαφος ελκυστικό για την αξιοποίηση του με τη μορφή «ενεργειακής δεξαμενής» σταθερής θερμοκρασίας. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως η θερμική αδράνεια αποτελεί ιδιότητα η οποία εξαρτάται κι αυτή από μια σειρά παραγόντων όπως τη σύσταση του εδάφους, την υγρασία καθώς και μια σειρά άλλων παραμέτρων που θα εξετάσουμε στις επόμενες παραγράφους.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ανωτέρω διαπιστώνεται πως η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να συμπεριλάβει τόσο την άμεση αξιοποίηση της θερμότητας η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης όσο και την αξιοποίηση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους ανεξαρτήτως της παρουσίας παραγόντων θερμικής ανωμαλίας.

1.1.4 Γεωλογικό υπόβαθρο γεωθερμικής ενέργειας

Οι βασικές γνώσεις για την κατανόηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων της γεωθερμικής ενέργειας προέρχονται από την επιστήμη της γεωλογίας. Όπως είναι γνωστό η γήινη σφαίρα αποτελείται από τρεις κύριες στοιβάδες που είναι από την επιφάνεια και προχωρώντας προς το εσωτερικό της, ο φλοιός, ο μανδύας και ο πυρήνας. Το πάχος του φλοιού κυμαίνεται από 20 – 60km στις ηπειρωτικές περιοχές με μέσο πάχος τα 35km και μέση πυκνότητα $2,7\text{g/cm}^3$. Στις ωκεάνιες περιοχές το πάχος του φλοιού είναι μικρότερο και κυμαίνεται από 6 – 7km και μέση πυκνότητα $3,3\text{g/cm}^3$. Στις ηπειρωτικές περιοχές η σύσταση του φλοιού είναι κυρίως γρανιτική και εμπλουτισμένη με ορισμένα ελαφρά στοιχεία όπως Si, Al, Na, K καθώς με αρκετά ραδιενεργά στοιχεία όπως U, Th κ.α.. Οι ωκεάνιες περιοχές είναι εμπλουτισμένες κυρίως με Mg και Fe. Ο μανδύας της γης έχει πάχος περίπου 2.900km και μέση πυκνότητα $5,7\text{g/cm}^3$. Η σύσταση του εκτιμάται ότι περιέχει κατά κύριο λόγο πυριτικά υλικά του Mg και του Fe ενώ οι θερμοκρασίες του εκτιμώνται σε ένα εύρος μεταξύ

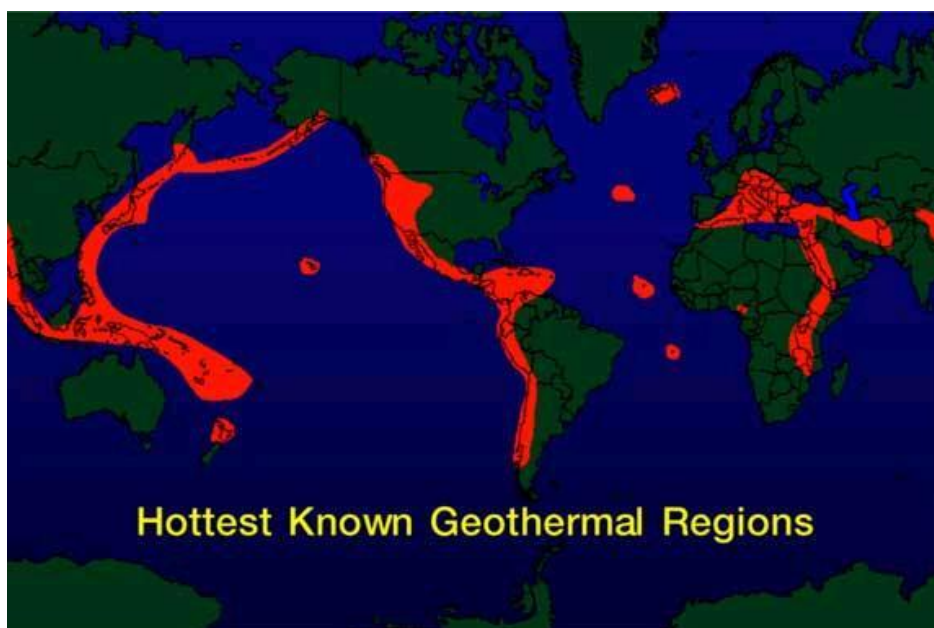
1.000 – 3.000° C. Ο πυρήνας της γης αποτελείται από στερεό στρώμα πυκνότητας 12 – 13g/cm³ με θερμοκρασίες λίγο μεγαλύτερες των 4.000° C.

Οι τρεις κύριες στοιβάδες που αναφέρθηκαν υποδιαιρούνται σε δυο δευτερεύουσες τις οποίες παρουσιάζουμε στο σχήμα 1. Από όλες τις στοιβάδες που συνθέτουν τη γήινη δομή, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ο φλοιός και ειδικότερα η λιθόσφαιρα η οποία αποτελείται από 6 κύριες πλάκες και έναν αριθμό από μικρότερες οι οποίες μετατοπίζονται η μια σε σχέση με την άλλη δημιουργώντας φαινόμενα όπως σεισμοί και ηφαιστεια, ορογενέσεις κλπ.

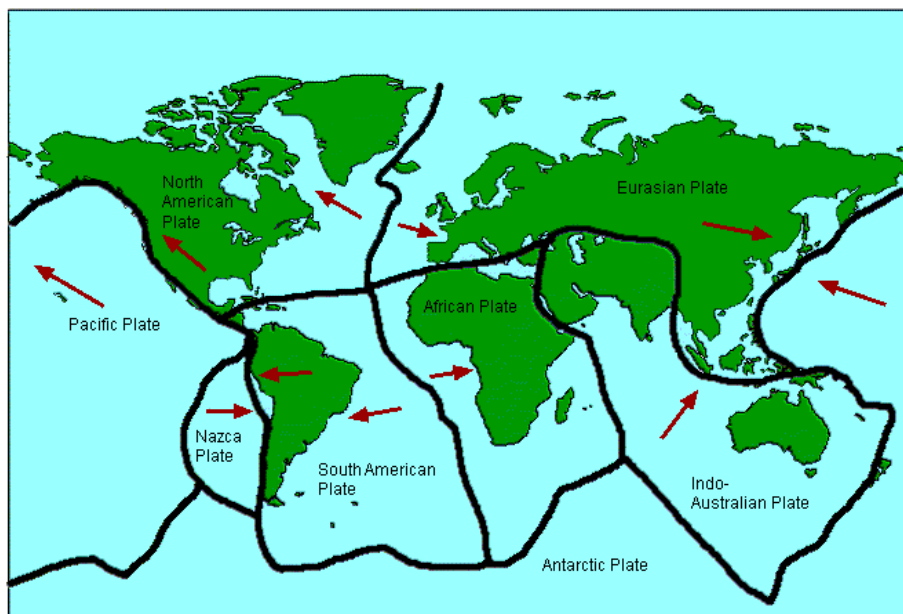


Σχήμα 1: Η Δομή της γης

Από τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν τη δομή της γης είναι προφανές πως οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό της αυξάνονται καθώς κινούμαστε από την επιφάνεια προς τον πυρήνα γεγονός το οποίο αιτιολογεί τη ροή θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια. Ένα επιπλέον σημαντικό γεωλογικό στοιχείο το οποίο σχετίζεται με τη γεωθερμία είναι πως οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στα όρια λιθosphαιρικών πλακών, παρουσιάζουν μεγαλύτερη γεωθερμική δραστηριότητα σε σχέση με περιοχές μακράν των ορίων των λιθosphαιρικών πλακών. Το γεγονός αυτό εξηγείται από την παρουσία μάγματος σε υψηλότερες στάθμες από τις συνηθισμένες, στοιχείο το οποίο δικαιολογεί την αυξημένη θερμική ροή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης.



Σχήμα 2: Περιοχές της γης με έντονη γεωθερμική δραστηριότητα



Σχήμα 3: Οι λιθοσφαιρικές πλάκες

1.1.5 Η θερμότητα του εσωτερικού της γης

Η προέλευση της θερμότητας που εκλύεται από το εσωτερικό της γης δεν είναι γνωστή με ακρίβεια. Υπάρχουν δύο επικρατέστερες θεωρίες οι οποίες αναφέρονται στους μηχανισμούς παραγωγής θερμότητας τους οποίους παρουσιάζουμε συνοπτικά:

i. Διάσπαση ραδιενεργών ορυκτών

Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό η θερμότητα στο εσωτερικό της Γής προέρχεται από τη διάσπαση ορισμένων ορυκτών τα οποία περιέχουν ραδιενεργά ισότοπα με μεγάλο χρόνο ημίσειας ζωής όπως τα ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , και ^{40}K . Ο χρόνος ημίσειας ζωής, η συγκέντρωσή τους και το δυναμικό παραγωγής θερμότητας των στοιχείων αυτών δίδονται στον πίνακα 1. Σύμφωνα με την άποψη μέρους της επιστημονικής κοινότητας ο μηχανισμός διάσπασης ραδιενεργών ισότοπων είναι ο σημαντικότερος μηχανισμός παραγωγής θερμικής ενέργειας στο εσωτερικό της γης.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά ραδιοϊσότοπων που συνεισφέρουν στην παραγωγή θερμότητας της γης (Turcotte & Schubert 1982)			
Ραδιοϊσότοπο	Χρόνος ημίσειας ζωής, 10^9 έτη	Συγκέντρωση $\text{kg/kg} \times 10^{-9}$	Δυναμικό παραγόμενης θερμότητας $\text{W/kg} \times 10^{-5}$
^{238}U	4,47	25,5	9,37
^{235}U	0,0704	0,185	56,9
^{232}Th	14,0	103	2,69
^{40}K	1,25	32,9	2,79

ii. Αστρική προέλευση θερμότητας

Σύμφωνα με την άποψη αυτή η θερμότητα στο εσωτερικό τη γης προέρχεται από τις διεργασίες που οδήγησαν στη δημιουργία της. Το εσωτερικό της γης θεωρείται πως ήταν πάντοτε θερμό ενώ μέχρι σήμερα δεν έχει απολέσει μεγάλο μέρος της θερμότητας του.

Εκτός από τις δύο προαναφερόμενες επικρατέστερες θεωρίες έχουν αναπτυχθεί και ορισμένες άλλες οι οποίες περιγράφουν μηχανισμούς με μικρότερη συνεισφορά στη θερμότητα του εσωτερικού της Γής. Ένας από αυτούς θεωρεί ότι υπάρχει συνεισφορά θερμότητας μέσω της βαρύτητας ενώ σύμφωνα με έναν άλλο μηχανισμό μέρος της συνεισφοράς προέρχεται και από τις παλίρροιες.

Εκτός από τις απώλειες που έχουν διατυπωθεί για τους μηχανισμούς γένεσης θερμότητας, υπάρχουν και οι αντίστοιχες απώλειες σχετικά με την απώλεια θερμότητας της γης. Οι απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια της γης προς την ατμόσφαιρα είναι φαινόμενο γενικευμένο συνεχές και σταθερό σε κάθε σημείο. Οι απώλειες αυτές γίνονται με αργό ρυθμό ανά μονάδα επιφανείας της γης λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας των πετρωμάτων του στερεού φλοιού (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Εκτός από τις απώλειες θερμότητας που λαμβάνουν χώρα λόγω αγωγής και συναγωγής υπάρχουν και ορισμένοι άλλοι μηχανισμοί που συνεισφέρουν στις απώλειες σε μικρότερο βαθμό όπως τα ηφαίστεια, η ενέργεια παραμόρφωσης λόγω των σεισμών, η θερμότητα που καταναλώνεται για την παραμόρφωση πετρωμάτων και η δυναμική ενέργεια λόγω βαρύτητας (ανύψωση οροσειράς). Οι προσεγγιστικές τιμές απώλειας θερμότητας της Γής δίδονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Μηχανισμοί απώλειας θερμότητας από τη Γή (Verhoogen 1980)	
Μηχανισμοί απώλειας θερμότητας	Ενέργεια (W)
Επιφανειακή ροή θερμότητας	$3 - 4 \times 10^{13}$
Θερμότητα από ηφαίστεια	$\sim 8 \times 10^{11}$
Ενέργεια παραμόρφωσης (σεισμοί)	$3 - 10 \times 10^{11}$
Θερμότητα από μεταμόρφωση	8×10^{11}
Δυναμική ενέργεια	7×10^9

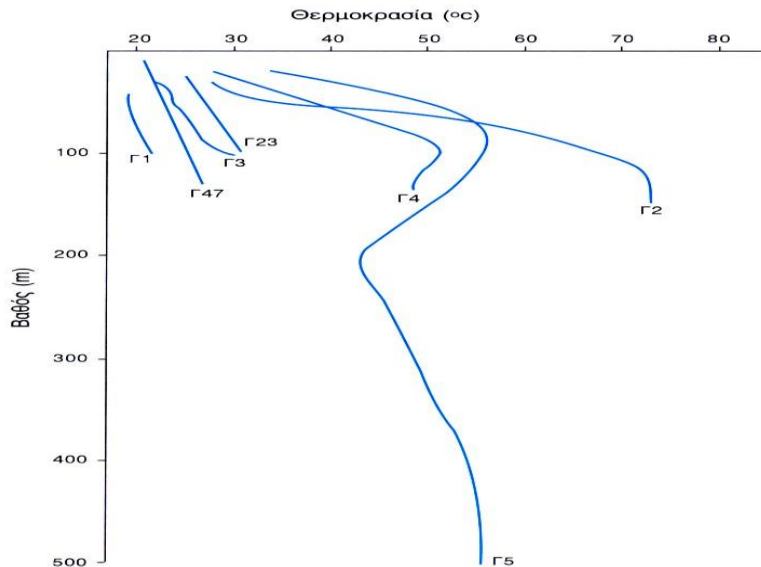
1.1.6 Μετάδοση της θερμότητας της γης και τρόποι μέτρησης της

Είναι γνωστό πως η θερμότητα μεταδίδεται από ένα θερμότερο σώμα προς ένα ψυχρότερο ή γενικότερα από μια στάθμη υψηλής θερμοκρασίας προς μια στάθμη χαμηλότερης. Η θερμότητα που υπάρχει στο εσωτερικό της γης μεταδίδεται από τις κατώτερες στοιβάδες της προς τις ανώτερες. Η μετάδοση γίνεται είτε με αγωγή είτε με συναγωγή. Με δεδομένο ότι η θερμότητα ρέει από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα των γήινων στοιβάδων μέσω μη διαπερατών (κατά κύριο λόγο) πετρωμάτων, είναι προφανές πως ο κυρίαρχος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας είναι η αγωγή. Μια πολύ σημαντική έννοια η οποία κυριαρχεί στη γεωθερμική ενέργεια είναι εκείνη της γεωθερμικής βαθμίδας. Η γεωθερμική βαθμίδα αποτελεί το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας συναρτήσει του βάθους. Από τις μετρήσεις που έχουν γίνει σε διάφορα σημεία του πλανήτη και σε βάθος μόλις λίγων χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γής (<10km), έχει διαπιστωθεί πως η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται στους 30° C/km. Οι τυπικές ακραίες τιμές εκατέρωθεν της τιμής της μέσης γεωθερμικής βαθμίδας είναι της τάξεως των 10° C/km σε σημεία του φλοιού με πολύ μεγάλη τεκτονική ηλικία και 100° C/km σε περιοχές έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας

Η θερμική ροή η οποία εκφράζει ο ποσό θερμότητας που διέρχεται μέσα από μια επιφάνεια στερεού πετρώματος εμβαδού 1m² σε διάστημα 1s είναι ανάλογη με τη γεωθερμική βαθμίδα βάσει μιας σταθεράς αναλογίας η οποία ορίζεται ως η θερμική αγωγιμότητα του στερεού πετρώματος. Η θερμική αγωγιμότητα ορίζεται ως το ποσό θερμότητας που άγεται μέσα από μια επιφάνεια εμβαδού 1m² όταν η γεωθερμική βαθμίδα είναι 1° C/m με φορά κάθετη προς την επιφάνεια. Η ροή θερμότητας στο εσωτερικό της γης εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του υπεδάφους και τη γεωθερμική βαθμίδα και αποτελεί το γινόμενο τους (Barbiero, 2002). Γνωρίζουμε ότι η θερμική αγωγιμότητα συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα «λ» και εκφράζεται σε W/mK (ή Watt ανά μέτρο και βαθμό Κέλβιν). Εάν η γεωθερμική βαθμίδα εκφράζεται σε °C/km και η θερμική αγωγιμότητα σε W/m°C τότε η θερμική ροή θα δίδεται σε W/m². Η μέτρηση της θερμικής ροής αναφέρεται είτε με τις λεγόμενες μονάδες θερμικής

ροής (heat flow units (HFU) = $1 \mu\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}$) είτε προτιμότερα με τη μονάδα W/m^2 ($1 \text{ HFU} = 41,84 \text{ mW}/\text{m}^2$) (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Ο προσδιορισμός της γεωθερμικής βαθμίδας μιας περιοχής γίνεται μέσω γεωτρήσεων σε διάφορα βάθη σε μια περιοχή και λήψη θερμοκρασιών σε κάθε ένα από αυτά. Σε περιπτώσεις εκτεταμένης γεωθερμικής έρευνας πραγματοποιείται μια σειρά γεωτρήσεων έτσι ώστε στο τέλος να δημιουργηθεί μια «δέσμη» γεωθερμικών βαθμίδων και να αποτυπωθεί με τον τρόπο αυτό η μέση γεωθερμική βαθμίδα μιας ευρύτερης περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αποτύπωση των γεωθερμικών βαθμίδων στο Σουσαάκι Κορινθίας η οποία εικονίζεται στο σχ. 4.

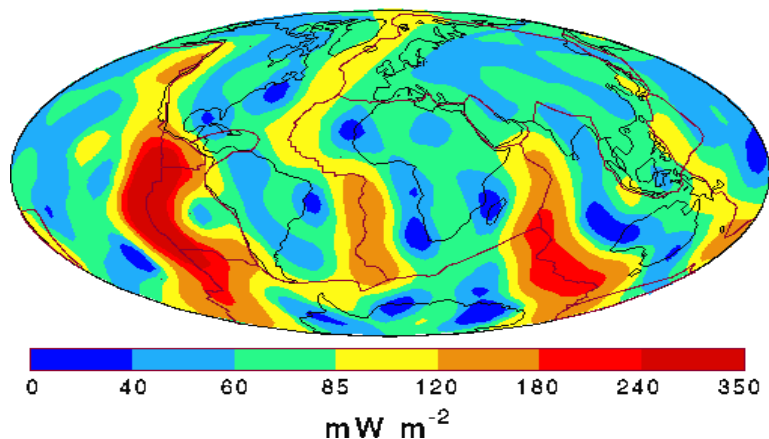


Σχήμα 4: Διαγράμματα γεωθερμικών βαθμίδων από επτά γεωτρήσεις του πεδίου Σουσαάκι Κορινθίας

Η θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων μετράται μέσω εργαστηριακών μετρήσεων σε δείγματα τα οποία λαμβάνονται από το υπέδαφος και ονομάζονται «πυρήνες». Σε ορισμένες περιπτώσεις οι πυρήνες λαμβάνονται από τα σημεία που γίνονται οι γεωτρήσεις για την μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας μιας περιοχής προκειμένου να υπάρχει καλύτερος συσχετισμός μεταξύ των δύο δεδομένων

Από μετρήσεις που έγιναν το παρελθόν σχετικά με τον προσδιορισμό των τιμών θερμικής ροής σε διάφορες περιοχές του φλοιού της γης διαπιστώθηκε πως η μέση θερμική ροή ανέρχεται σε $60 \text{ mW}/\text{m}^2$ τόσο για τον ηπειρωτικό όσο και για τον ωκεάνιο φλοιό (Lee & Uyeda 1965). Στην Ελλάδα η μέση θερμική ροή υπολογίσθηκε σε $58 \text{ mW}/\text{m}^2$ ενώ η μέση τιμή για το σύνολο της Ευρώπης στα $62 \text{ mW}/\text{m}^2$

Heat Flow



Σχήμα 5: Χάρτης κατανομής θερμικής ροής στο φλοιό της γης

1.1.7 Γεωθερμικά πεδία

Η απελευθέρωση της γεωθερμικής ενέργειας συντελείται σε όλη την έκταση της επιφάνειας της γης. Τυπικό μέγεθος το οποίο υπεισέρχεται κατά τη μετάδοση της γεωθερμικής ενέργειας προς την επιφάνεια της γης είναι η θερμική αγωγιμότητα του φλοιού η οποία ανέρχεται σε $2\text{W/m}^{\circ}\text{C}$. Έχει υπολογισθεί ότι η μέση πυκνότητα ροής γεωθερμικής ενέργειας στην επιφάνεια της γης είναι περίπου ίση με 60mW/m^2 . Από το μέγεθος αυτό είναι προφανές πως η λήψη της γεωθερμικής ενέργειας αποκτά χρηστικό ενδιαφέρον μόνο σε σημεία που η πυκνότητα ροής θερμότητας γίνεται με πολύ ταχύτερους ρυθμούς της τάξεως των $10 - 20\text{W/m}^2$. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται «γεωθερμικά πεδία». Ο σχηματισμός ενός γεωθερμικού πεδίου προϋποθέτει ορισμένες συνθήκες οι οποίες καθιστούν δυνατή την απόληψη της γεωθερμικής ενέργειας (Αζαόπουλος & Γελεγένης, 2005). Οι προϋποθέσεις αυτές έχουν ως εξής:

- Ύπαρξη συνεχούς τροφοδοσίας ρευστών
- Ύπαρξη διόδων που επιτρέπουν στα ρευστά να οδηγηθούν σε περιοχές του φλοιού με υψηλή θερμοκρασία
- Ύπαρξη περατού πορώδους πετρώματος το οποίο θα φιλοξενεί το ρευστό για το χρονικό διάστημα που απαιτείται να θερμανθεί, μέχρι να μεταφερθεί στην επιφάνεια της γης. Το πέτρωμα αυτό ονομάζεται γεωθερμικός ταμιευτήρας
- Ύπαρξη μη διαπερατού πετρώματος πάνω από το περατό το οποίο θα εμποδίζει τη διαφυγή του ρευστού δίνοντας του τη δυνατότητα να αποκτήσει την απαιτούμενη θερμοκρασία.

Εκτός από τις προαναφερόμενες προϋποθέσεις υπάρχει και μια επιπλέον η οποία δεν θεωρείται ιδιαίτερα απαραίτητη πλην όμως εάν υφίσταται ενισχύει σημαντικά το γεωθερμικό δυναμικό. Η προϋπόθεση αυτή συνδέεται με την πιθανή παρουσία μάγματος. Η παρουσία του μάγματος προσδίδει ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες στο γεωθερμικό πεδίο γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικό από πλευράς εμπορικής εκμετάλλευσης (Αζαόπουλος & Γελεγένης, 2005)

1.1.8 επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας της γης

Η θερμική κινητικότητα που χαρακτηρίζει το γήινο μανδύα σε συνδυασμό με τις τεκτονικές κινήσεις των σεισμικά ενεργών περιοχών, αποτελούν τα βασικότερα αίτια για τη μεταφορά γεωθερμικών ρευστών σε περιοχές πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τα αποτελέσματα της παρουσίας των γεωθερμικών ρευστών σε περιοχές κοντά στην επιφάνεια του εδάφους έχουν ως εξής (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

- Υδροθερμικοί οι φρεατικοί κρατήρες
Πρόκειται για κρατήρες που σχηματίζονται μετά από έκρηξη υπέρθερμων γεωθερμικών ρευστών τα οποία είναι εγκλωβισμένα σε μικρό βάθος υπό πίεση.
- Θερμές πηγές
Πρόκειται για φυσικές εξόδους ζεστού νερού το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασίες πλησίον του σημείου ζέσεως. Σημαντικό στοιχείο από το οποίο κρίνεται ο βαθμός εκμετάλλευσης των θερμών πηγών είναι η παροχή τους.
- Θερμοπίδακες (geysers)

Οι θερμοπίδακες αποτελούν ειδική περίπτωση θερμών πηγών στις οποίες παρουσιάζεται ροή νερού προς την επιφάνεια του εδάφους το οποίο βρίσκεται σε μικρά βάθη από την επιφάνεια της γης σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού. Τα νερά αυτά αποκτούν περιοδικά υψηλή πίεση ώστε να δημιουργούν πολλές φορές εντυπωσιακές εκρήξεις κατά την άνοδο τους στην επιφάνεια του εδάφους.

➤ Ατμίδες

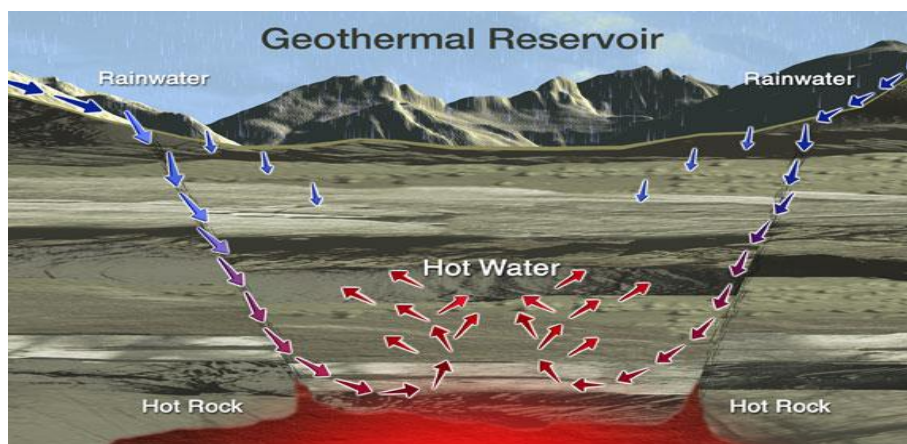
Οι ατμίδες περιλαμβάνουν μίγματα υπέρθερμων ατμών και αερίων τα οποία αναδύονται από ρωγμές του εδάφους χωρίς υψηλή πίεση αλλά με σταθερούς ρυθμούς.

➤ Λεκάνες ιλύος

Οι λεκάνες ιλύος σχηματίζονται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει μεγάλη ροή και πίεση νερού σε μια θερμή πηγή ώστε να μεταφέρει σε μακρινές αποστάσεις τα αργυλοπυριτικά σωματίδια που συμπαρασύρονται από το νερό.

➤ Θερμά εδάφη

Τα θερμά εδάφη σχηματίζονται συνήθως από τη θερμική αγωγή των πετρωμάτων (μη γεωλογικών σχηματισμών που παρεμβάλλονται μεταξύ μερικών σημείων της γης και των υποκείμενων αβαθών και πολύ θερμών ρευστών.



Σχήμα 6: Τοπική τομή γεωθερμικού πεδίου

Στην Ελλάδα ο Νόμος 3175/2003 με τίτλο «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» ορίζει το γεωθερμικό πεδίο καθώς και το γεωθερμικό δυναμικό. Έτσι σύμφωνα με τον ορισμό που δίδεται στο άρθρο 2 του νόμου, ως γεωθερμικό πεδίο ορίζεται ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό. Ως γεωθερμικό δυναμικό ορίζεται το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπογείων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους εικοσιπέντε βαθμούς Κελσίου (25°C). (Νόμος, 3175/2003).

1.1.9 Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων

Το βασικότερο κριτήριο διαχωρισμού των γεωθερμικών πεδίων είναι η θερμοκρασίες που μπορεί να επιτύχουν. Με βάση το μέγεθος αυτό τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται ως εξής:

➤ Υψηλής ενθαλπίας

Τα πεδία αυτά χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες οι οποίες ξεπερνούν τους 150°C και βρίσκονται κυρίως σε περιοχές όπου συναντώνται οι λιθοσφαιρικές πλάκες καθώς και σε σεισμικά επίκεντρα.

➤ Μέσης ενθαλπίας

Τα πεδία αυτά χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες της τάξεως 100 – 150° C.

➤ Χαμηλής ενθαλπίας

Τα πεδία αυτά χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες χαμηλότερες των 100° C και μεγαλύτερες των 25° C.

➤ Ομαλής ενθαλπίας

Στα πεδία αυτά οι θερμοκρασίες είναι της τάξεως των 15 – 25° C

Ένα επιπλέον κριτήριο διαχωρισμού των γεωθερμικών πεδίων είναι η φάση στην οποία βρίσκεται το ρευστό στον ταμιευτήρα τους (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Με βάση το κριτήριο αυτό τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

➤ Γεωθερμικά πεδία νερού

Στα πεδία αυτά, η πίεση συναρτάται από το βάθος αλλά και από τα διαλυμένα συστατικά των ρευστών όπως το SiO₂, το Na, το K, το Ca, το Mg, το Cl, το SO₄, το HCO₃, και το CO₃ τα οποία αποτελούν παράγοντες συμπίκνωσης και υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες, σε αντίθεση με πεδία όπου κυριαρχεί η φάση του ατμού. Στα συστήματα αυτά το βρόχινο νερό περνά στο έδαφος από επιφανειακές εκτάσεις δεκάδων ή και χιλιάδων km² και από εκεί κινείται προς τα κατώτερα στρώματα του φλοιού της γης. Σε βάθη που κυμαίνονται από 2-6km το νερό θερμαίνεται από τα θερμά πετρώματα που συναντά, διαστέλλεται και κινείται ανοδικά. Αν τα υπερκείμενα πετρώματα που συναντά το νερό κατά την ανοδική του πορεία έχουν υψηλή διαπερατότητα τότε φθάνει στην επιφάνεια και διασκορπίζεται ως εκροή θερμών πηγών. Στην αντίθετη περίπτωση όταν δηλαδή συναντήσει μη διαπερατά πετρώματα, εγκλωβίζεται και αποθηκεύεται κάτω από αυτά.

➤ Γεωθερμικά πεδία ατμού

Στα πεδία αυτά η πίεση ελέγχεται από την αέρια φάση. Τα πεδία αυτά περιέχουν υπέρθερμο ή ξηρό ατμό. Ο ατμός συνήθως συνυπάρχει με το νερό μέσα στον ταμιευτήρα αλλά αυτό παρατηρείται συνήθως σε μεγάλα βάθη όπου συμβαίνει συνεχής εξάτμιση του νερού με αποτέλεσμα την ταπείνωση της ελεύθερης στάθμης του. Κατά την εξάτμιση ο ατμός κινείται προς τα ανώτερα στρώματα του ταμιευτήρα οπότε ψύχεται και συμπυκνώνεται. Από το συμπύκνωμα ένα μέρος ακολουθεί καθοδική πορεία και επιστρέφει στην περιοχή που υπάρχει νερό ενώ ένα άλλο μέρος συγκρατείται στους πόρους του πετρώματος λόγω της προσρόφησης.

➤ Θερμά ξηρά πετρώματα

Πρόκειται για πετρώματα μηδενικής διαπερατότητας τα οποία δεν περιέχουν ρευστά. Από τα πετρώματα αυτά ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι γρανίτες οι οποίοι περιέχουν ιζηματογενή πετρώματα μεγάλης πυκνότητας ενώ είναι πλούσιοι σε συγκεντρώσεις ραδιενεργών στοιχείων όπως το U²³⁸, το U²³⁵, το Th²³² και το K⁴⁰.

Ο νόμος 3175/2003 κατατάσσει τα γεωθερμικά πεδία σε δύο κατηγορίες με κριτήριο τη θερμοκρασία του «προϊόντος» τους. Ως προϊόν του γεωθερμικού πεδίου ορίζεται *το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο*. Έτσι τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες που είναι:

αα) Χαμηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25° C – 90° C

ββ) Υψηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90° C

1.1.10 Παράμετροι αξιοποίησης γεωθερμικών πεδίων

Για να καταστεί ένα γεωθερμικό πεδίο εκμεταλλεύσιμο ενεργειακά θα πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις ως εξής :

i. Να διασφαλίζεται η ροή του ρευστού στον ταμιευτήρα.

Η ροή του ρευστού στον ταμιευτήρα μπορεί να επιτευχθεί είτε με φυσικές αυθόρμητες μεθόδους, είτε να υποβοηθηθεί από τεχνικές διευθετήσεις. Στην περίπτωση της φυσικής αναπλήρωσης το ρευστό που ανεβαίνει προς την επιφάνεια της γης αναπληρώνεται μέσω των υδατικών πόρων που μπορεί να υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή του γεωθερμικού πεδίου. Στην περίπτωση υποβοήθησης πραγματοποιείται επανεισαγωγή του ρευστού στον ταμιευτήρα μετά την απόληψη από αυτό της θερμογόνου δύναμης του.

ii. Να διασφαλίζεται η παρουσία θερμότητας μέσα στον ταμιευτήρα.

Η παρουσία θερμότητας στον ταμιευτήρα εξαρτάται από την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τη θερμική αγωγιμότητα του πεδίου. Η θερμότητα του ταμιευτήρα ενισχύεται σημαντικά σε περιπτώσεις που ο τελευταίος βρίσκεται κοντά σε περιοχή που υπάρχει μάγμα το οποίο χάρις στην υψηλή θερμοκρασία του προσδίδει στον ταμιευτήρα υψηλά ποσά θερμότητας σε εξαιρετικά ταχείς ρυθμούς.

1.1.11 Ταξινόμηση και χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια όπως 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, το εάν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κ.α. Σε σχέση με το είδος του ταμιευτήρα διακρίνουμε πέντε βασικές κατηγορίες συστημάτων (Φυντίκας & Ανδρίτσος, 2004):

i. Υδροθερμικά Συστήματα ή Πόροι (Hydrothermal Systems or Resources)

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν υπόγεια θερμά ρευστά τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες και θερμαίνονται από μια εστία θέρμανσης με αποτέλεσμα να εμφανισθούν στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά κυριαρχούν στην πλειονότητα των διαφόρων γεωθερμικών πεδίων παγκοσμίως και είναι τα πλέον αξιοποιήσιμα

ii. Αβαθής γεωθερμία (Earth Energy)

Η αβαθής γεωθερμία περιλαμβάνει την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας που υπάρχει σε μικρά βάθη, αρχίζοντας από 0,5m έως και 100m. Θα πρέπει να σημειωθεί πως από βάθη που κυμαίνονται μεταξύ 0 – 15m η θερμική ενέργεια μπορεί να προέρχεται από τον ήλιο. Από τα 15m και μετά αρχίζει να επιδρά η γεωθερμική ενέργεια. Στην αβαθή γεωθερμία μπορούμε είτε να εκμεταλλευθούμε απευθείας το κυκλοφορούν νερό είτε τη θερμότητα που υπάρχει σε μικρά βάθη χρησιμοποιώντας άλλα μέσα συναγωγής τα οποία κυκλοφορούν σε συστήματα εναλλακτών θερμότητας που εισάγονται για το σκοπό αυτό μέσα στο έδαφος.

iii. Γεωπεπιεσμένα συστήματα (geo pressurized systems)

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλα βάθη και περιορισμένα από μη περατά πετρώματα. Η πίεση των ρευστών αυτών υπερβαίνει την υδροστατική. Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα ονομάζονται και στατικά συστήματα και συνυπάρχουν συνήθως με αέριους υδρογονάνθρακες.

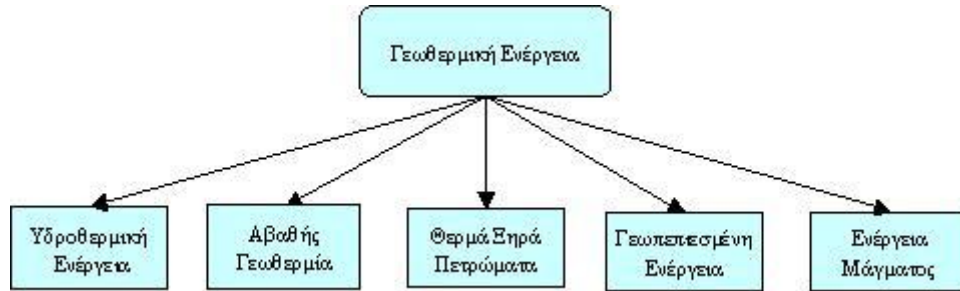
iv. Συστήματα βαθιών θερμών – ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock systems)

Πρόκειται για πετρώματα που βρίσκονται σε βάθη από 3 – 10 km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών. Από τα πετρώματα αυτά μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που

διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων και ανακτάται στη συνέχεια θερμότερο με τη μορφή νερού είτε ατμού μέσω διαφορετικών γεωτρήσεων.

v. Μαγματικά συστήματα (magma systems)

Τα συστήματα αυτά αποτελούν την πλέον ισχυρή πηγή γεωθερμικής ενέργειας. Πρόκειται για συστήματα στα οποία γίνεται απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις από μαγματικές διεισδύσεις που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.



Σχήμα 7: Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί είτε άμεσα, με απευθείας αξιοποίηση της θερμικής ισχύος του ρευστού της, είτε έμμεσα, οπότε μεσολαβεί ένα στοιχείο εναλλαγής θερμότητας μεταξύ γεωθερμικού ρευστού και τελικής χρήσεως. Κριτήριο του τρόπου αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας είναι η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ αντίστοιχα τα πεδία μέσης και χαμηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται σε άλλες εφαρμογές, πλην της παραγωγής ηλεκτρισμού.

1.2 Έδαφος & αβαθής γεωθερμία

1.2.1 Το έδαφος

Ως έδαφος νοείται το χαλαρό υλικό που καλύπτει κατά θέσεις τα πετρώματα που αποτελούν το στερεό φλοιό της γης. Η στερεά φάση του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και από τα υπολείμματα της αποσύνθεσης φυτών και ζώων (Παπαθεοδώρου, 2002). Το έδαφος αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα γεγονός το οποίο επηρεάζει και το ενεργειακό του προφίλ όπως θα δούμε παρακάτω. Οι πέντε πρωταρχικοί παράγοντες που συμμετέχουν στο σχηματισμό του εδάφους είναι το μητρικό του υλικό, το κλίμα, οι ζωντανοί οργανισμοί, οι μορφολογικές συνθήκες και ο χρόνος.

1.2.2 Οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες του εδάφους

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους συνδέονται με την κοκκομετρική του σύσταση, τη δομή του, το πορώδες, τη θερμοκρασία, το χρώμα και τον αερισμό του. Οι χημικές ιδιότητες αφορούν τη φύση των κολλοειδών που περιέχονται σε αυτό, την εναλλακτική του ικανότητα, την οξύτητα, την αλκαλικότητα και τη γονιμότητα του. Μερικές επιπλέον ιδιότητες του εδάφους είναι η μηχανική του σύσταση, η πυκνότητα του και το ποσοστό οργανικών ουσιών που περιέχονται σε αυτό. Η ταξινόμηση των εδαφών γίνεται είτε με βάση τη διάμετρο των κόκκων τους είτε με βάση τη δομή τους. Η κάθε περίπτωση εξετάζεται ξεχωριστά στις επόμενες παραγράφους.

1.2.2.1 Φυσικές ιδιότητες εδάφους

1.2.2.1.1 Διάμετρος κόκκων

Οι κόκκοι του εδάφους διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος τους που είναι:

- i. Κόκκοι διαμέτρου μεγαλύτερης από 0,02mm (λίθοι, χαλίκια, άργιλος)
- ii. Κόκκοι διαμέτρου μικρότερης από 0,02mm (ιλύς και άργιλος)

Για την ταξινόμηση των εδαφών με βάση τη διάμετρο των κόκκων διακρίνονται τρεις κατηγορίες εδαφικών κόκκων που είναι:

- i. η άμμος
- ii. η ιλύς
- iii. η άργιλος

Σε σχέση με την ταξινόμηση που βασίζεται στους κόκκους υπάρχουν δύο βασικά συστήματα που είναι:

i. Το Σύστημα ταξινόμησης του Υπουργείου Γεωργίας των Η.Π.Α

Το σύστημα του υπουργείου γεωργίας των Η.Π.Α. περιλαμβάνει επτά κατηγορίες κόκκων των οποίων οι τιμές δίδονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση εδαφών

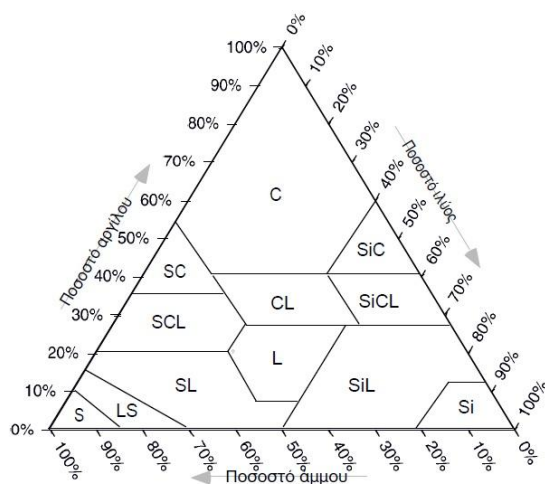
Σύστημα ταξινόμησης εδαφών Υπουργείου Γεωργίας Η.Π.Α. - κατηγορίες διαμέτρου κόκκων							
Διάμετρος κόκκου σε mm	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	0,50 - 0,25	0,25 - 0,10	0,10 - 0,05	0,05 - 0,002	<0,002
Ονομασία	Χαλίκι, Χονδρόκοκκη άμμος	Χονδρόκοκκη άμμος	Μέτρια χονδρόκοκκη άμμος	Λεπτή άμμος	Πολύ λεπτή άμμος	Ιλύς	Άργιλος

Με βάση το ποσοστό συμμετοχής των κατηγοριών του παραπάνω πίνακα, τα εδάφη διακρίνονται σε δώδεκα κατηγορίες μηχανικής σύστασης οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Ταξινόμηση εδαφών με βάση τη μηχανική τους σύσταση

Σύστημα ταξινόμησης εδαφών υπουργείου γεωργίας Η.Π.Α.			
Μηχανική σύσταση εδαφών			
S	Αμμώδεις	SiCL	Ιλυοαργιλοπηλώδεις
LS	Πηλοαμμώδεις	CL	Αργιλοπηλώδεις
SL	Αμμοπηλώδεις	SCL	Αμμοαργιλοπηλώδεις
LS	Πηλώδεις	SCL	Αμμοαργιλώδεις
SiL	Ιλυοπηλώδεις	SiCL	Ιλυοαργιλώδεις
Si	Ιλυώδεις	C	Αργιλώδεις

Από τα στοιχεία του πίνακα 4 προκύπτει το διάγραμμα ταξινόμησης που εικονίζεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8: Διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών βάσει συστήματος Η.Π.Α.

ii. Το διεθνές σύστημα ταξινόμησης

Το διεθνές σύστημα ταξινόμησης ακολουθεί το ίδιο σκεπτικό με το σύστημα του υπουργείου γεωργίας των Η.Π.Α, πλην όμως διαφέρει στο ότι περιλαμβάνει τέσσερις κατηγορίες κόκκων και τέσσερις κατηγορίες μηχανικής σύστασης. Το γεγονός αυτό το καθιστά πιο απλό και πιο εύχρηστο από το αντίστοιχο σύστημα των Η.Π.Α.

Πίνακας 5: Διεθνές σύστημα ταξινόμησης εδαφών - διάμετρος κόκκων

Διεθνές σύστημα ταξινόμησης εδαφών - κατηγορίες διαμέτρου κόκκων				
Διάμετρος κόκκου σε mm	2,00 - 0,20	0,20 - 0,02	0,02 - 0,002	<0,002
Ονομασία	Χονδρή άμμος	Λεπτή άμμος	Ιλύς	Άργιλος

1.2.2.1.2 Δομή εδάφους

Η δομή του εδάφους αφορά τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα δομικά του στοιχεία. Οι δομές των εδαφών ποικίλουν λόγω της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η δημιουργία του κάθε ενός. Σε γενικές γραμμές η δημιουργία της δομής ενός εδάφους εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Μηχανική σύσταση
Τα αμμώδη εδάφη δεν παρουσιάζουν συνοχή με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σαν κόκκοι ασύνδετου υλικού ενώ αντίθετα τα αργιλώδη που έχουν συνοχή παρουσιάζουν μια ποικιλία τύπων δομής.
- Οργανική ουσία
Η οργανική ουσία αποτελεί το σύνολο των οργανικών υλικών που υπάρχουν είτε στην επιφάνεια είτε στο εσωτερικό του εδάφους ανεξάρτητα από το βαθμό αποσύνθεσης τους. Η οργανική ουσία αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για τη δημιουργία συνεκτικής δομής.
- Το είδος των σημαντικότερων κατιόντων του εδάφους
Η περιεκτικότητα σε Ca^{++} προκαλεί τη δημιουργία συνεκτικού εδάφους ενώ αντίθετα η μεγάλη περιεκτικότητα σε Na^+ και K^+ δημιουργεί συνθήκες διασποράς και κακής δομής.
- Η διαβροχή και η ξήρανση
Οι συχνές εναλλαγές μεταξύ διαβροχής και ξήρανσης ευνοούν το σχηματισμό συσσωματωμάτων στα δομικά στοιχεία του εδάφους.
- Η τήξη και η πήξη του εδαφικού νερού
Κατ' αντιστοιχία με τη υγρασία και τη διαβροχή, η πήξη και η τήξη του εδαφικού νερού ευνοεί και αυτή τη δημιουργία συσσωματωμάτων.
- Η αύξηση και η αποσύνθεση των ριζών
Οι ρίζες ευνοούν τις συσσωματώσεις μέσω των πιέσεων που ακούν στους κενούς χώρους που σχηματίζονται μέσα στο έδαφος.
- Οι μικροοργανισμοί του εδάφους
Η παρουσία των μικροοργανισμών επιδρά θετικά στη δημιουργία οργανικών ενώσεων καθώς και στην ανάμειξη τους στοιχεία τα οποία επηρεάζουν με τη σειρά τους θετικά τη δημιουργία συσσωματώσεων

Για την ταξινόμηση των εδαφών με βάση τη δομή έχει καθιερωθεί το σύστημα του υπουργείου γεωργίας των Η.Π.Α το οποίο δίδεται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Ταξινόμηση εδαφών βάσει της δομής τους

Ταξινόμηση εδαφών βάσει της δομής τους Σύστημα Υπουργείου Γεωργίας των Η.Π.Α.		
Κατηγορίες εδάφους	Δομή	Περιγραφή
Έδαφος χωρίς δομή	Μονόκοκκος τύπος	Ψαθυρό έδαφος (ασύνδετοι κόκκοι)
	Συμπαγής τύπος	Το έδαφος εμφανίζεται σαν μια συμπαγής ομοιόμορφη μάζα
Έδαφος με δομή	Πλακοειδής δομή	Η διάταξη των κόκκων και η ανάπτυξη των συσσωμάτων γίνεται σε επάλληλα οριζόντια επίπεδα
	Πρισματική δομή	Οι δομικές μονάδες του εδάφους αναπτύσσονται όπως και στον προηγούμενο τύπο με τη διαφορά ότι το ανώτερο τμήμα τους εμφανίζεται αποστρογγυλεμένο.
	Στυλοειδής δομή	Οι δομικές μονάδες του εδάφους αναπτύσσονται όπως και στον προηγούμενο τύπο με τη διαφορά ότι το ανώτερο τμήμα τους εμφανίζεται αποστρογγυλεμένο
	Κυβοειδής δομή	Οι δομικές μονάδες του εδάφους αναπτύσσονται ομοιόμορφα γύρω από ένα σημείο κατά την έννοια τριών ορθογωνίων αξόνων (σχηματισμό κύβου)
	Ψιχαλωτή δομή	Τα συσσωματώματα στην περίπτωση αυτή έχουν ακανόνιστο σχήμα και αποτελούνται από μαλακό κατά κανόνα υλικό.

1.2.2.1.3 Πυκνότητα εδάφους

Διακρίνονται δύο είδη πυκνότητας εδάφους, η πραγματική και η φαινόμενη. Η πραγματική πυκνότητα αναφέρεται μόνο στα στερεά σωματίδια που υπάρχουν στο έδαφος και ισούται με τη μάζα των στερεών σωματιδίων ανά μονάδα όγκου τους. Σε αντίθεση με την πραγματική πυκνότητα που δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των εδαφών, η φαινόμενη πυκνότητα διαφέρει σημαντικά και εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους τη δομή του, την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και το βαθμό συμπίεσης του (compaction). Τα επιφανειακά στρώματα εδάφους εμφανίζουν κατά κανόνα μικρότερη φαινόμενη πυκνότητα από τα βαθύτερα λόγω του μικρότερου βαθμού συμπίεσης τους και λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας τους σε οργανικές ουσίες.

1.2.2.1.4 Πορώδες του εδάφους

Το πορώδες του εδάφους αντιστοιχεί στο εκατοστιαίο ποσοστό του που δεν καταλαμβάνεται από στερεά συστατικά. Υπολογίζεται από το ειδικό βάρος του εδάφους και τη φαινόμενη πυκνότητα του από τη σχέση:

$$n = 100 \times \left(1 - \frac{\Phi}{B}\right) (1)$$

Το ολικό πορώδες καθώς και η κατανομή του μεγέθους των πόρων μέσα στο έδαφος έχουν ιδιαίτερη πρακτική σημασία για την ανάπτυξη των φυτών καθώς επηρεάζουν άμεσα την ποσότητα του αέρα και την ικανότητα συγκράτησης νερού μέσα στο έδαφος καθώς επίσης και τις μορφές του εδαφικού νερού και την ταχύτητα κίνησης του.

1.2.2.1.5 Αερισμός του εδάφους

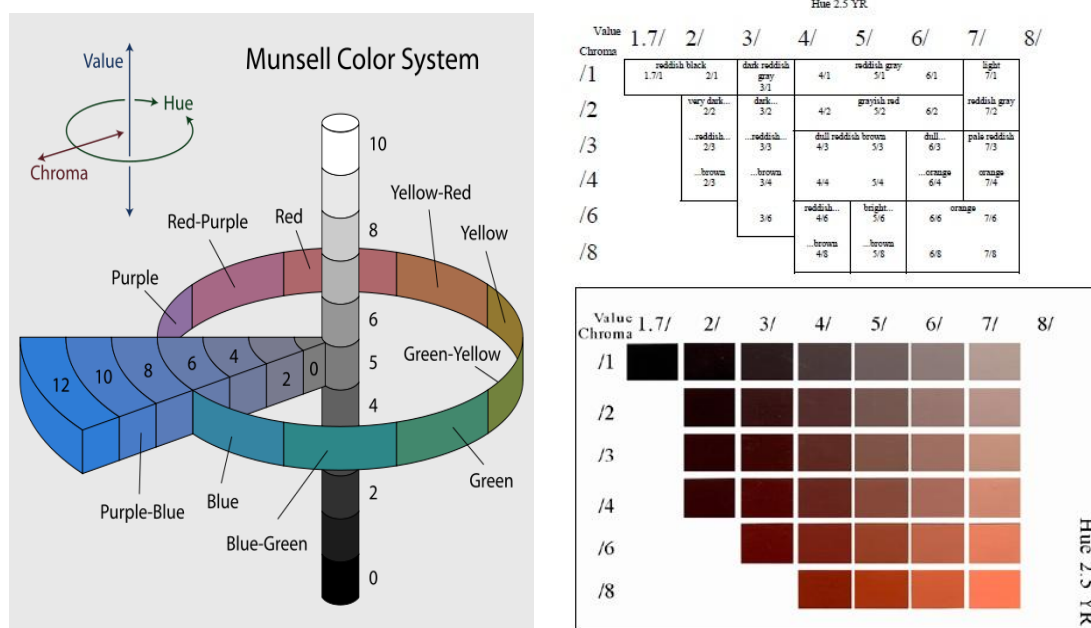
Αερισμός είναι η διαδικασία με την οποία ο αέρας του εδάφους ανταλλάσσεται με τον αέρα της ατμόσφαιρας. Η ανταλλαγή αυτή είναι απαραίτητη για την απομάκρυνση του CO₂ και την ανανέωση του αέρα στο έδαφος. Η ολική ποσότητα αέρα μέσα στο έδαφος μεταβάλλεται συνεχώς και εξαρτάται από το πορώδες και την υγρασία. Ο ανεπαρκής αερισμός του εδάφους έχει τις ακόλουθες επιδράσεις:

- i. Μειώνει την αύξηση και τη δραστηριότητα των ριζών των φυτών
- ii. Μειώνει την ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών ουσιών
- iii. Μειώνει την ικανότητα πρόσληψης νερού
- iv. Δημιουργεί τοξικές ουσίες

Οι συνθήκες αερισμού του εδάφους μπορούν να εκτιμηθούν έμμεσα από τη μηχανική του σύσταση, τη φαινόμενη πυκνότητα, την ταχύτητα διήθησης του νερού καθώς και από το χρώμα του. Κόκκινο ή κίτρινο χρώμα υποδηλώνει καλές συνθήκες αερισμού ενώ αντίθετα το γκριζο γαλάζιο ή πρασινωπό υποδηλώνει έδαφος φτωχό σε οξυγόνο.

1.2.2.1.6 Χρώμα του εδάφους

Το χρώμα των εδαφών οφείλεται στο χρώμα του μητρικού πετρώματος και σε διάφορες εδαφογενετικές διεργασίες. Εξαρτάται κυρίως από το είδος και την κατάσταση οξειδίων του σιδήρου και μαγγανίου καθώς και από την παρουσία οργανικής ουσίας. Η παρουσία αιματίτη (Fe₂O₃) προσδίδει στα εδάφη κόκκινο χρώμα ενώ η παρουσία λειμωνίτη (Fe₂ O₃.H₂O) δίνει στο έδαφος κίτρινο χρώμα. Το διοξείδιο του μαγγανίου MnO₂ δίνει σε εδάφη με καλό αερισμό σκοτεινό χρώμα. Γκρι, ελαιώδες και πρασινωπές αποχρώσεις εμφανίζονται σε υγρά και με κακή αποστράγγιση εδάφη και οφείλονται στην παρουσία δισθενούς σιδήρου. Ο χρωματισμός των επιφανειακών οριζόντων του εδάφους κυμαίνεται από καστανό και σκούρο καστανό έως μαύρο χρώμα λόγω της μεγάλης ποσότητας οργανικής ουσίας. Εδάφη με αποχρώσεις ανοικτού ή γκρι ή λευκού οφείλουν το χρώμα τους σε αποθέσεις ασβεστίου ή σε έκπλυση (διάλυση από υπόγεια νερά και απομάκρυνση) του σιδήρου. Ο προσδιορισμός του χρώματος του εδάφους γίνεται με τη βοήθεια του πίνακα του Munsell. Το χρώμα δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της περιεκτικότητας του εδάφους σε διάφορα στοιχεία, γεγονός που το καθιστά ως κριτήριο του διαχωρισμού των εδαφικών οριζόντων και της ταξινόμησης των εδαφών.



Σχήμα 9: Σχηματική αναπαράσταση του πίνακα χρωμάτων εδάφους του Munsell

1.2.2.1.7 Θερμοκρασία εδάφους

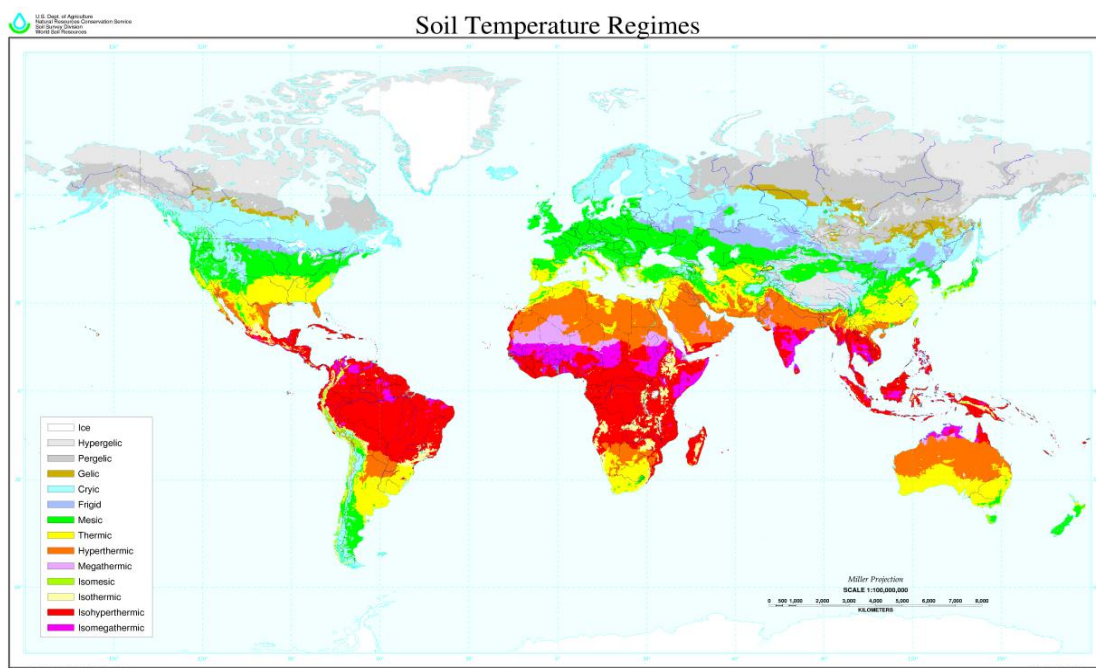
Η θερμοκρασία του εδάφους αποτελεί σημαντική παράμετρο που επηρεάζει τόσο την εξέλιξη του όσο και την ταχύτητα των διαφόρων βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν μέσα του. Ειδικότερα η θερμοκρασία του εδάφους επιδρά στα εξής:

- Στην ταχύτητα των φυσικοχημικών αντιδράσεων και των διάφορων βιολογικών διεργασιών
- Στην ταχύτητα αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας
- Στην ποσότητα του εξατμιζόμενου νερού
- Στην ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών

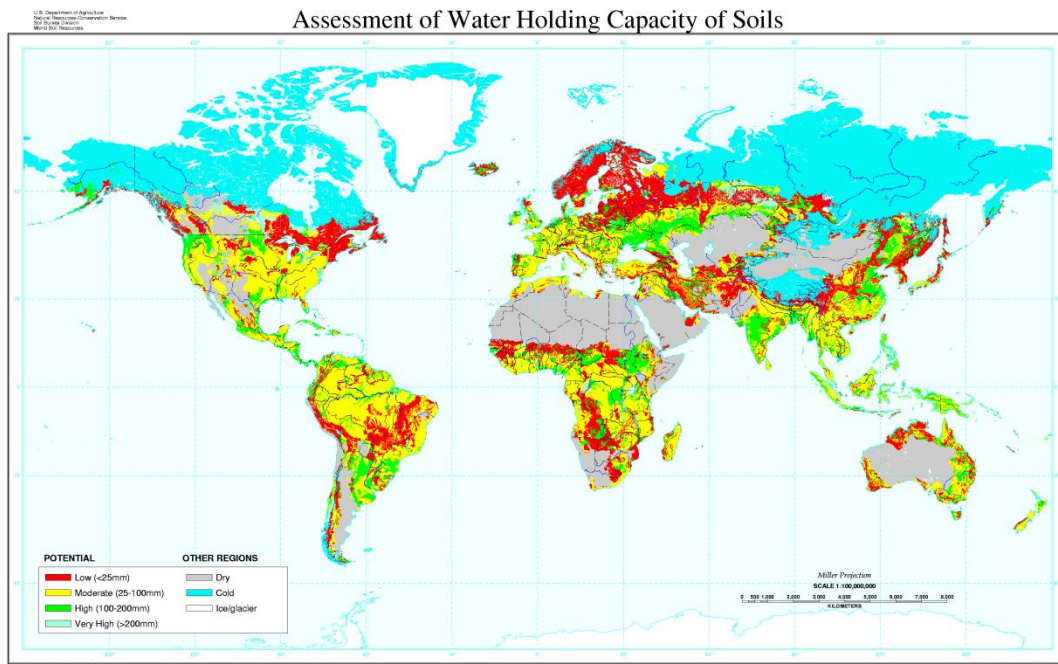
Ωστόσο η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται και αυτή με τη σειρά της από του εξής παράγοντες:

- Την ηλιακή ακτινοβολία Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τον παράγοντα εκείνο με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας του εδάφους και κυρίως στα μικρά βάθη (Floridis & Kalogirou, 2005). Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την θέση του ηλίου, καθώς και τη χρονική στιγμή εντός του εικοσιτετραώρου. Στην ουσία η ηλιακή ακτινοβολία ευθύνεται για τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας του εδάφους σε βάθος το οποίο ξεκινάει από 0 – 5m περίπου αναλόγως της εκάστοτε περιοχής.
- Το κλίμα Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας του εδάφους σε σημαντικό βαθμό. Στα ψυχρά κλίματα τα εδάφη είναι ψυχρότερα ενώ το αντίθετο φαινόμενο παρατηρείται στα θερμά κλίματα. Οι βροχοπτώσεις ενισχύουν το υγρασιακό περιεχόμενο του εδάφους γεγονός που όπως θα δούμε παρακάτω συμβάλει δραστικά στη διαμόρφωση ευνοϊκών ενεργειακών χαρακτηριστικών για την ανάπτυξη των γεωθερμικών αντλιών.
- Την ταχύτητα του ανέμου Ο άνεμος που επικρατεί σε μια περιοχή λειτουργεί ως μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας από, αλλά και προς το έδαφος. Από πειραματικές μετρήσεις έχει διαπιστωθεί πως η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους (Mihalakakou, Santamouris, Lewis, & Asimakopoulos, 1997).

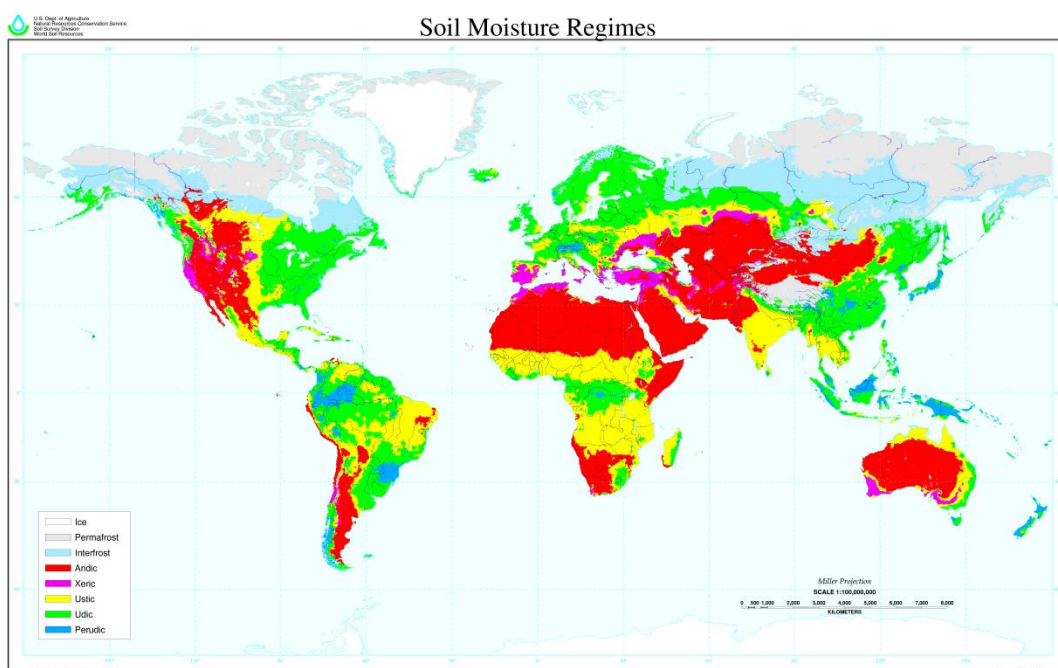
- iv. Την περιεκτικότητα σε νερό. Το νερό του εδάφους επιδρά σε ιδιαίτερα σημαντικό βαθμό στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας του και κυρίως στα χαρακτηριστικά εκείνα που ευνοούν τις εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών. Εκτιμάται ότι η επίδραση του στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας του είναι πέντε φορές περίπου μεγαλύτερη από την επίδραση των στερεών εδαφικών υλικών.
- v. Την ειδική θερμότητα του εδάφους Η ειδική θερμότητα του εδάφους εξαρτάται από τη σύσταση του καθώς και από την παρουσία νερού στο εσωτερικό του. Η ειδική θερμότητα αποτελεί παράγοντα που λαμβάνεται υπ' όψιν σε ιδιαίτερο βαθμό κατά τις εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών
- vi. Το γεωγραφικό πλάτος. Η θερμοκρασία του εδάφους μειώνεται καθώς αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος
- vii. Το υψόμετρο
- viii. Τον προσανατολισμό. Στο βόρειο γεωγραφικό πλάτος η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη στις νότιες εκθέσεις από ότι στις βόρειες.
- ix. Την κλίση. Η αύξηση της κλίσης προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της επίδρασης της έκθεσης. Για το βόρειο ημισφαίριο η αύξηση της κλίσης προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους σε βόρειες κλίσεις και αύξηση σε νότιες.
- x. Την κάλυψη του εδάφους. Η βλάστηση τείνει να περιορίσει τις ακραίες θερμοκρασίες του εδάφους περιορίζοντας τόσο τις ημερήσιες όσο και τις εποχιακές μεταβολές τους.



Σχήμα 10: Παγκόσμιος χάρτης θερμοκρασιών εδάφους (www.nrcs.usda.gov)



Σχήμα 11: Παγκόσμιος χάρτης εδαφικής ικανότητας κατακράτησης νερού (www.nrcs.usda.gov)



Σχήμα 12: Παγκόσμιος χάρτης υγρασίας εδαφών (www.nrcs.usda.gov)

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του εδάφους θα αναλυθούν διεξοδικά στις επόμενες παραγράφους.

1.2.2.1.8 Οι οργανικές ουσίες του εδάφους

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι οργανικές ουσίες συμβάλουν στη λειτουργία εδάφους συνεκτικής δομή. Το οργανικό μέρος των εδαφών κατατάσσεται σε δύο βασικές κατηγορίες προέλευσης που είναι:

- i. Τα πρόσφατα και μερικών ετών αποσυντιθέμενα φυτικά και ζωικά υπολείμματα που συναντώνται κυρίως στην επιφάνεια των εδαφών
- ii. Το χούμο που περιλαμβάνει τα χουμικά οξέα, τις χουμίνες, τα φουλβικά οξέα τα υματομελανικά οξέα καθώς και τα προϊόντα προχωρημένης αποσύνθεσης και μετασχηματισμού των οργανικών υπολειμμάτων.

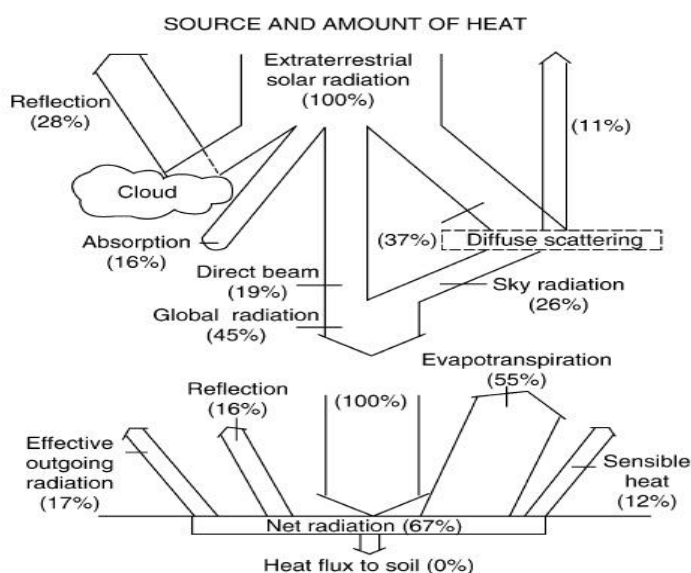
Η παραγωγή οργανικής ουσίας στο έδαφος εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και την υγρασία. Έχει διαπιστωθεί ότι η οργανική ουσία αποσυντιθεται ταχύτερα όταν η μέση θερμοκρασία είναι περί τους 30 – 40° C και η μέση υγρασία περί το 60 – 80% της ιδατοϊκανότητας.

1.2.2.2 Χημικές ιδιότητες του εδάφους

Οι χημικές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν, την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών, την ποιότητα του νερού που περιέχεται σε αυτό, τους μετασχηματισμούς των διαφορών ουσιών του, καθώς επίσης και ορισμένα φαινόμενα όπως τη διάβρωση και την αποικοδόμηση των κατασκευών που τοποθετούνται σε αυτό. Από χημικής απόψεως το έδαφος αποτελεί σύστημα που περιλαμβάνει και τις τρεις φάσεις με την στερεά να κατέχει ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του συνολικού του όγκου. Οι κυριότερες χημικές ιδιότητες του εδάφους είναι, η φύση των κolloειδών του, η εναλλακτική ικανότητα του, η γονιμότητα η οξύτητα και η αλκαλικότητα.

1.2.3 Τα θερμικά χαρακτηριστικά του εδάφους

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι αναγκαίο να εστιάσουμε την προσοχή μας στα θερμικά χαρακτηριστικά του εδάφους καθώς αυτά επιδρούν καθοριστικά στους υπολογισμούς που θα γίνουν στο ερευνητικό μέρος σε σχέση με την αξιολόγηση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Από γεωλογικής καθαρά πλευράς η εξέταση του θερμικού προφίλ του εδάφους αποτελεί πεδίο στο οποίο εξετάζονται οι θερμοκρασιακές του μεταβολές ωστόσο η ανάλυση αυτή δεν εμβαθύνει σε ζητήματα που αφορούν τις ενεργειακές πηγές που το επηρεάζουν. Στο σχήμα 13 παρατίθεται το διάγραμμα ενεργειακής ροής (ή διάγραμμα Shankey¹) μεταξύ εδάφους και ατμόσφαιρας με ενδιάμεσο όριο την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 13: Διάγραμμα ενεργειακού ισοζυγίου εδάφους (Διάγραμμα Shankey) (Bever et al 1972)

¹ Τα διαγράμματα αυτά έλαβαν το όνομα τους από τον Ιρλανδό Πλοίαρχο και Μηχανικό Henry Phineas Riall Shankey ο οποίος το 1898 δημοσίευσε εργασία στην οποία τα χρησιμοποίησε για την αναπαράσταση της ενεργειακής ροής.

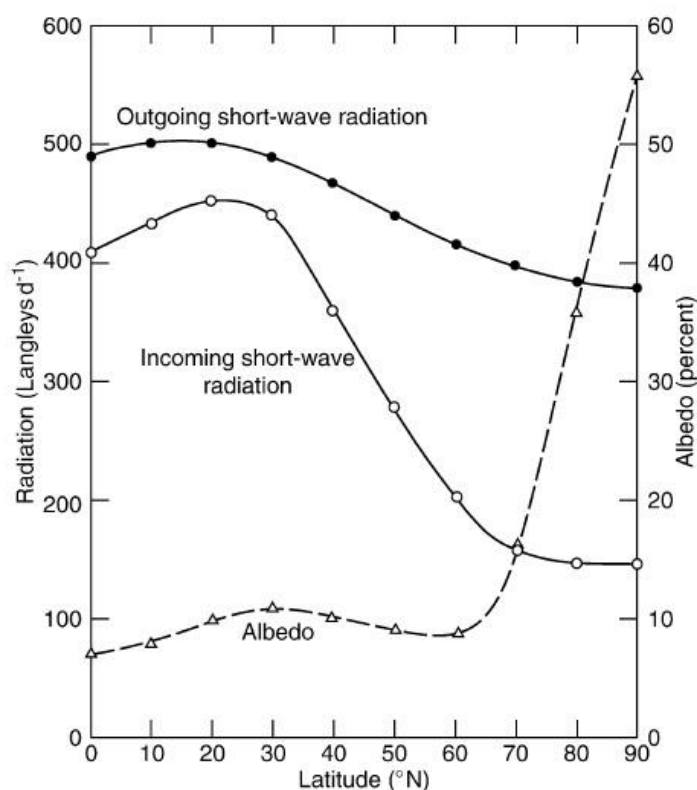
Η ροή θερμότητας από και προς το έδαφος αποτελεί διεργασία μεταφοράς ενέργειας από την οποία καθορίζεται ενεργειακό του καθεστώ. Το βασικότερο στοιχείο στη θερμική συμπεριφορά του εδάφους είναι η θερμοκρασία η οποία για δεδομένη περιοχή και τύπο εδάφους έχει διαπιστωθεί ότι εξαρτάται από τους παράγοντες $i - x$, που εξετάσαμε στην παράγραφο 1.2.2.1.7.

1.2.3.1 Το προφίλ θερμοκρασιών του εδάφους

Τα επίπεδα θερμοκρασίας του εδάφους ή αλλιώς το θερμοκρασιακό του προφίλ εξαρτώνται από τη θερμική ροή και ονομαστικά από τη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους «λ» και την θερμοχωρητικότητα του «C». Διακρίνουμε δύο θερμοκρασιακά προφίλ τα οποία είναι το παγκόσμιο (global pattern) και το κατά τόπους ή τοπικό (local pattern).

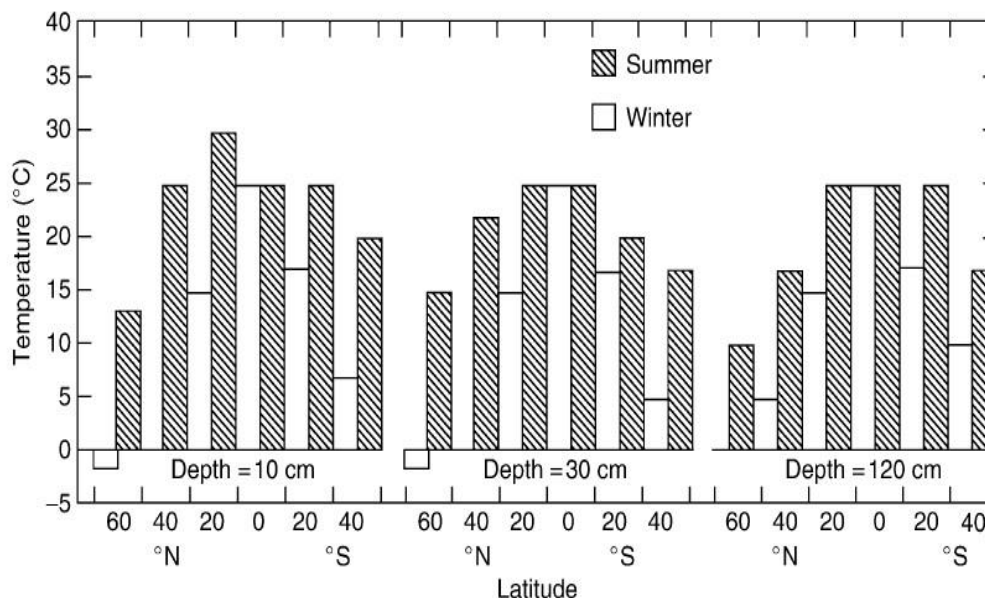
1.2.3.1.1 Παγκόσμιο θερμοκρασιακό προφίλ εδάφους

Από παρατηρήσεις έχει διαπιστωθεί πως στα μικρά γεωγραφικά πλάτη η κοσμική ακτινοβολία παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές ενώ το αλβέδον² τις μικρότερες. Το αντίθετο φαινόμενο παρατηρείται στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (Chaseworth, 2008). Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον πως οι θερμοκρασία του εδάφους πέραν του βάθους των 10cm είναι η ίδια κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού για όλα σχεδόν τα εδάφη σε γεωγραφικά πλάτη 20° Β ή Ν, πλην όμως στα 10cm είναι κάπως υψηλότερη σε πλάτος 40° Β από ότι σε πλάτος 40° Ν. Επιπλέον παρατηρήθηκε πως η θερμοκρασία των εδαφών αυξάνεται σε όλα τα βάθη από τα υψηλά γεωγραφικά πλάτη έως τον ισημερινό ωστόσο είναι κατά ένα ποσοστό μικρότερες σε πλάτος 40° Β από ότι στο αντίστοιχο 40° Ν.



Σχήμα 14: Κατανομή αλβέδου και ακτινοβολίας εδάφους συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους (Houghton 1954, Baver et al 1972)

² Το ποσοστό φωτεινής ακτινοβολίας που ανακλάται από μια επιφάνεια



Σχήμα 15: Μεταβολή της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα βάθη συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους στο βόρειο ημισφαίριο (Baver et al 1972)

1.2.3.1.2 Κατά τόπους θερμοκρασιακό προφίλ εδάφους

Το κατά τόπους θερμοκρασιακό προφίλ του εδάφους αποτελεί στην ουσία το σύνολο των πληροφοριών που συλλέγονται σε σχέση με αυτό για μια συγκεκριμένη περιοχή. Από τις μέχρι σήμερα έρευνες έχουν εξαχθεί χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το πώς συμπεριφέρεται η θερμοκρασία του εδάφους ωστόσο δεν υπάρχει (τουλάχιστον στην Ελλάδα) πλήρης οδηγός στον οποίο να περιέχονται στοιχεία θερμοκρασιών σε διάφορα βάθη και σε εκτεταμένο αριθμό περιοχών της επικράτειας. Σε μερικές ωστόσο περιπτώσεις έχουν γίνει σοβαρές προσπάθειες ώστε να δημιουργηθούν πίνακες δεδομένων θερμοκρασίας για τα εδάφη διαφόρων περιοχών, χωρίς όμως να έχουν γενικευτεί καταλήγοντας σε μια εκτενή θερμοκρασιακή χαρτογράφηση περιοχών με σχετικό ενδιαφέρον αξιοποίησης. Βασικοί λόγοι πίσω από αυτή τη δυσκολία είναι το κόστος των ερευνών και η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτούν.

Παρά την έλλειψη θερμοκρασιακών δεδομένων υπάρχει αρκετά σημαντικό γνωστικό υλικό μέσω του οποίου και με τις κατάλληλες δειγματοληπτικές μετρήσεις μπορεί να καταστεί δυνατή και με σημαντική ακρίβεια η μέτρηση των θερμοκρασιών του εδάφους σε διάφορα βάθη καθώς και η καταγραφή της θερμοκρασιακής του συμπεριφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο.

Έχει παρατηρηθεί πως η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται σταδιακά μετά την ανατολή του ηλίου και μειώνεται σταδιακά καθώς ο ήλιος δύει. Η θερμική αδράνεια που παρουσιάζει το κάνει να ανταποκρίνεται στις μεταβολές της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος με σχετική υστέρηση.

Το 1968 ο Kasuda εισήγαγε τον τύπο που δίδει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος, τη θερμική του διαχυτότητα και τη χρονική στιγμή μέσα στη διάρκεια ενός έτους. Ο συγκεκριμένος τύπος έχει ως εξής:

$$T_g(X_s, t) = \bar{T}_g - A_s e^{\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)} \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[t - t_0 - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right] \right\} \quad (2)$$

Όπου:

T_g = το πλάτος της θερμοκρασία του εδάφους

X_s = το βάθος του εδάφους σε m

A_s = το εύρος της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους σε °C

α = η θερμική διαχυτότητα σε m²/day

t = η ημέρα του έτους (1 – 365)

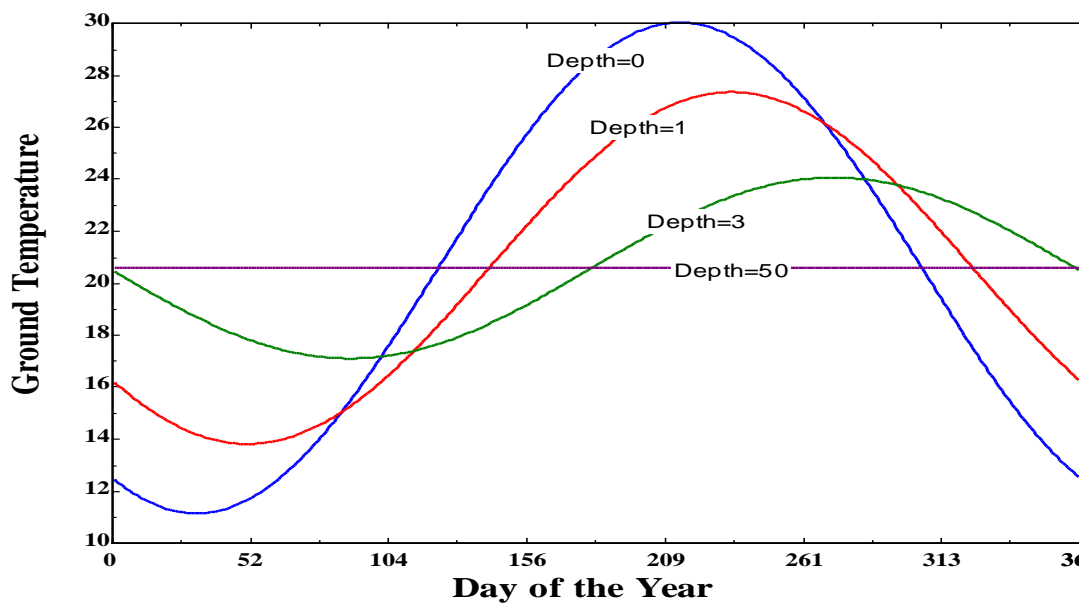
t_0 = η σταθερά φάσης εκφρασμένη σε ημέρες

Από την εξίσωση (2) μπορεί να εξαχθούν οι σχέσεις που δίδουν την μέγιστη $T_{g,max}$ και την ελάχιστη θερμοκρασία $T_{g,min}$ του εδάφους για κάθε βάθος. Οι σχέσεις αυτές είναι:

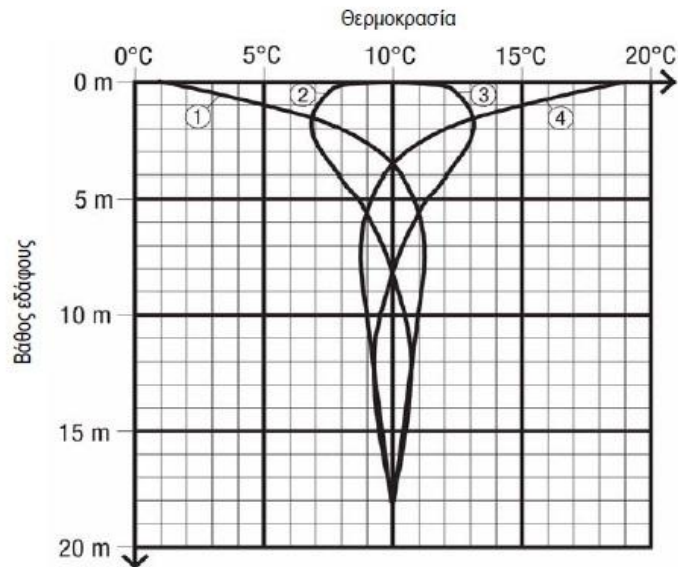
$$T_{g,min} = \bar{T}_g - A_s e^{\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)} \quad (3)$$

$$T_{g,max} = \bar{T}_g + A_s e^{\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)} \quad (4)$$

Η μεταβολή της θερμοκρασία του εδάφους συναρτήσει του χρόνου μέσα στη διάρκεια του έτους και του βάθους γίνεται καλύτερα αντιληπτή με γραφική μέθοδο. Στο σχήμα 17 δίδονται οι γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους για δεδομένα βάθη για τη διάρκεια ενός έτους ενώ στο σχήμα 18 οι μεταβολές της θερμοκρασίας του εδάφους για διάφορα βάθη σε τέσσερις ενδεικτικές χρονικά περιόδους του έτους.



Σχήμα 16: Μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος κατά τη διάρκεια του έτους (πηγή Kasuda, T., and Archenbach, P.R. 1965)



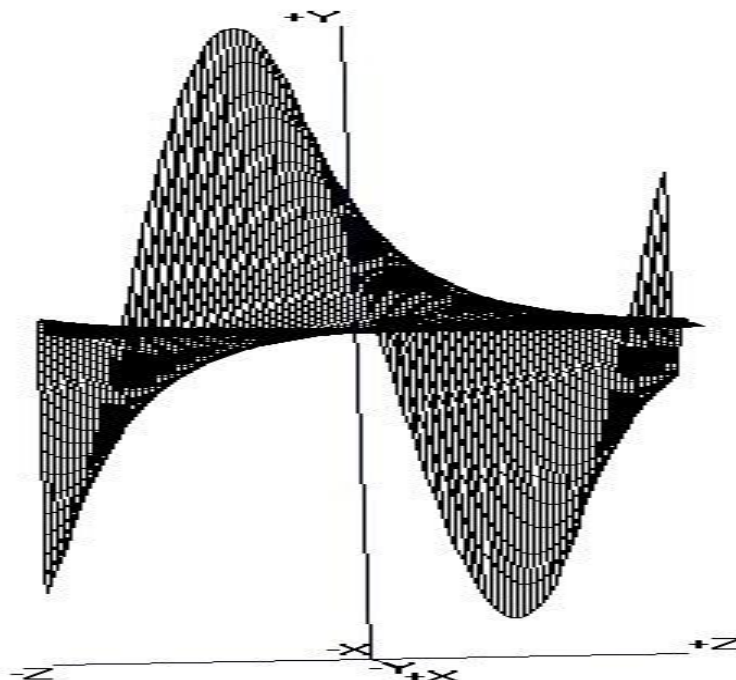
Επίπεδο μέσης ετήσιας θερμοκρασίας σε διαφορετικά βάθη εδάφους
 Καμπύλη 1 = 1η Φεβρουαρίου
 Καμπύλη 2 = 1η Μαΐου
 Καμπύλη 3 = 1η Νοεμβρίου
 Καμπύλη 4 = 1η Αυγούστου

Σχήμα 17: Κατανομή θερμοκρασιών εδάφους σε διάφορα βάθη για τέσσερις χρονικές στιγμές ενός τυπικού έτους (πηγή: τεχνικές πληροφορίες REHAU)

Από το διάγραμμα του σχήματος 16 παρατηρούμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την ημιτονοειδή μορφή. Ανάλογη μορφή έχει και η μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια ενός τυπικού έτους (μπλε καμπύλη “depth 0”)

Από το διάγραμμα του σχήματος 17 παρατηρούμε πως την 1^η Μαΐου που θεωρητικά η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με εκείνη της 1^{ης} Φεβρουαρίου, η θερμοκρασία του εδάφους μειώνεται αρχικά συναρτήσει του βάθους μέχρι και τα 2m για να αρχίσει μετά να αυξάνεται μέχρι τη σταθεροποίηση της που ξεκινά στα 15m. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη θερμική αδράνεια του εδάφους χάρις στην οποία καθυστερεί να βρεθεί στη θερμοκρασία της ατμοσφαιρας στον ίδιο χρόνο. Ανάλογη καθυστέρηση παρατηρείται και στην χρονική περίοδο της 1^{ης} Νοεμβρίου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η καμπύλη στο σχήμα 16 είναι καθαρά ενδεικτική. Η ακρίβεια της χάραξης της θα πρέπει να διασφαλίζεται με δεδομένα τα οποία θα αναφέρονται κάθε φορά στη συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος και σε σχέση με τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτή.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το τρισδιάστατο διάγραμμα που δείχνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους και της ημέρας του έτους. Στο σχήμα 18 παρατηρούμε την μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του χρόνου ο οποίος παριστάνεται στον άξονα -z,+z. Στον άξονα 0,+x που παριστά τη μεταβολή του βάθους παρατηρούμε τον τρόπο που η καμπύλη εκφυλίζεται καθώς το βάθος μεγαλώνει. Τέλος στον άξονα 0,+y παρατηρούμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας.



Σχήμα 18: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους για διάφορα βάθη, συναρτήσει της χρονικής περιόδου του έτους

1.2.3.2 Το πρόβλημα του ακριβούς προσδιορισμού της θερμοκρασίας του εδάφους

Ο ακριβής προσδιορισμός της θερμοκρασίας του εδάφους σε συνάρτηση με το βάθος και το χρόνο αποτελεί το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα σε σχέση με την ενεργειακή αξιοποίηση του. Η δυσκολία του ακριβούς προσδιορισμού της θερμοκρασίας του εδάφους έγκειται στο πλήθος των στοιχείων που πρέπει να διερευνηθούν και να αναλυθούν ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα τα οποία θα επιτρέψουν με τη σειρά τους την ορθολογική λήψη αποφάσεων σε σχέση με τον τρόπο και τις επιμέρους μεθόδους ενεργειακής αξιοποίησης.

Η εις βάθος ανάλυση του τρόπου με τον οποίο μπορεί να προσδιορισθεί η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους και του χρόνου δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας ωστόσο κρίνεται σκόπιμο να παρουσιασθούν ορισμένες θεμελιώδεις παραδοχές οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν υλικό για περαιτέρω μελέτη στα πλαίσια άλλων εργασιών.

Το βασικό στοιχείο που πρέπει να γίνει γνωστό στα πλαίσια μιας τέτοιας έρευνας είναι η σύσταση του εδάφους. Από αυτή θα προκύψουν δεδομένα όπως τα διάφορα αυλικά που το αποτελούν, το ποσοστό οργανικής ύλης καθώς και οι διάφοροι μικροοργανισμοί που περιέχει. Με βάση τη σύσταση, καθίσταται δυνατός σε σημαντικό βαθμό ο προσδιορισμός της θερμικής αγωγιμότητας (C) καθώς και ο αντίστοιχος της θερμικής διαχυτότητας (α). Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι η γενική γεωλογική σύσταση της περιοχής για την οποία διερευνάται το ενδιαφέρον ενεργειακής αξιοποίησης. Πέραν της γεωλογικής σύστασης είναι απαραίτητη και η γνώση τυχουσών «εισροών» ή «εκροών» μάζας ή ενέργειας «περιμετρικά» καθώς επίσης «πάνω» και «κάτω» από τον εδαφικό χώρο που έχει επιλεγεί προς ενεργειακή αξιοποίηση. Η ύπαρξη υπογείων ρευμάτων νερού, οι μεταβολές της σύστασης μετά από ορισμένο βάθος καθώς και πλήθος άλλων αγνώστων παραγόντων μπορεί να επηρεάσουν την σημαντικά την ενεργειακή συμπεριφορά του εδάφους. Ζητήματα όπως αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικά ειδικά σε περιπτώσεις όπου επιλέγεται η εγκατάσταση κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας.

Σημαντική πηγή πληροφοριών σχετικά με τη γεωλογική σύσταση των περιοχών ενδιαφέροντος αποτελούν οι γεωλογικοί χάρτες διαφόρων περιοχών καθώς και οι χάρτες γεωθερμικού δυναμικού. Στην Ελλάδα, σχετικές εργασίες έχουν διενεργηθεί από το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Τέλος μια εξίσου σημαντική παράμετρος στο πρόβλημα του ακριβούς προσδιορισμού της θερμοκρασίας του εδάφους είναι η γνώση των κλιματικών δεδομένων της περιοχής διαφερόντως. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερης βαρύτητας αν σκεφθούμε τη σημασία που έχει η υγρασία για την δημιουργία ενός ευνοϊκού ενεργειακά εδάφους. Ως εκ τούτου περιοχές στις οποίες υπάρχουν συχνές βροχοπτώσεις ακόμα και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ενδέχεται να εμφανίζουν σημαντικές προοπτικές αξιοποίησης ενεργειακού δυναμικού σε μικρά βάθη, συγκρινόμενες με περιοχές όπου υπάρχουν λιγότερες βροχοπτώσεις και παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας.

1.2.4 Αβαθής γεωθερμία

Η έννοια της «αβαθούς γεωθερμίας» αποδίδεται από σημαντική μερίδα του τεχνικού και επιστημονικού κόσμου στην κατηγορία της γεωθερμικής ενέργειας η οποία εξετάζει τις δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης του εδάφους σε μικρά βάθη. Ωστόσο αρκετοί πιστεύουν πως η ενεργειακή αξιοποίηση του εδάφους στα μικρά βάθη δεν υπάγεται στο πεδίο της γεωθερμίας καθώς συνδέουν την τελευταία με την παρουσία ρευστών υψηλής ή μέσης ενθαλπίας.

Από πρακτικής πλευράς το έδαφος σε χαμηλά βάθη παρουσιάζει ένα σύνθετο ενεργειακό προφίλ καθώς επηρεάζεται τόσο από τη θερμότητα του εσωτερικού της γης όσο και από τη θερμότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία εκτιμούμε πως ο όρος της «αβαθούς γεωθερμίας» επαρκεί ώστε κάτω από τον τίτλο του να παρουσιασθούν οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες του εδάφους και βάσει αυτών να οδηγηθούμε στο ερευνητικό μέρος της εργασίας. Στο ερευνητικό μέρος είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε την θερμική συμπεριφορά του εδάφους σε μικρά βάθη έως και 15m καθώς βάσει αυτή δημιουργούμε το κατάλληλο εδαφικό μοντέλο μέσω του οποίου διερευνούμε την εφαρμογή της γεωθερμικής αντλίας.

1.2.5 Ενεργειακή αξιοποίηση εδάφους συναρτήσει του βάθους

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην 1^η ενότητα της εργασίας, είναι προφανές πως η θερμική συμπεριφορά του εδάφους δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το βάθος του και παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις οι οποίες εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Οι γνώσεις μας για την θερμική συμπεριφορά της γης περιορίζονται μέχρι ενός μικρού σχετικά βάθους το οποίο φθάνει περίπου τα 10km κάτω από την επιφάνεια της. Στην περιοχή αυτή διακρίνουμε τρεις τομείς οι οποίοι έχουν ως εξής:

- i. Τομέας βάθους από 0 – 150m
- ii. Τομέας βάθους από 150 – 3.000m
- iii. Τομέας βάθους από 3.000 – 10.000m

Κάθε ένας από τους παραπάνω τομείς παρουσιάζει μια σειρά ενεργειακών χαρακτηριστικών τα οποία εξαρτώνται από την πλευρά που τα εξετάζουμε. Στον πίνακα 7 της επόμενης σελίδας δίδονται τα χαρακτηριστικά των παραπάνω τομέων.

Πίνακας 7:Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας συναρτήσει του βάθους

Τομείς (m)	Πρόσβαση	Συσσωρευμένες γνώσεις	Ενεργειακό προφίλ	Κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας	Στοιχείο προς ενεργειακή αξιοποίηση	Κόστος αξιοποίησης	Μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης
0 – 150m	Εύκολη	Σημαντικές	Σύνθετο	Αβαθής	Θερμική αδράνεια, ρευστά	Κυμαινόμενο	Αντλίες θερμότητας, άμεση χρήση ρευστών, για θέρμανση
150 – 3.000m	Δύσκολη	Σημαντικές	Λιγότερο σύνθετο	Υδροθερμική, Θερμά ξηρά πετρώματα, γεωπεπιασμένα πετρώματα, ενέργεια μάγματος	Ρευστά, συσσωρευμένη θερμότητα	Υψηλό	Άμεση χρήση ρευστών για θέρμανση, Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος
3.000 – 10.000	Αδύνατη	Λίγες	Απλό	Υδροθερμική, Θερμά ξηρά πετρώματα, γεωπεπιασμένα πετρώματα, ενέργεια μάγματος	Μάγμα, συσσωρευμένη θερμότητα	Πολύ υψηλό	Μη εφικτή με τα σημερινά δεδομένα (2010)

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί ο τομέας από 0 – 150m συσσωρεύει από πλευράς χαρακτηριστικών περισσότερο ενδιαφέρον σε σχέση με τους άλλους δύο τομείς. Το βασικό χαρακτηριστικό του που συμβάλει δραστικά στο θετικό ενεργειακό του προφίλ είναι η θερμική αδράνεια του σε σχέση με τις θερμικές αλλαγές που συντελούνται στη γήινη ατμόσφαιρα. Ωστόσο η θερμική αδράνεια δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος του πρώτου τομέα και παρουσιάζει μεταβλητό χαρακτήρα.

Από τις έρευνες που έχουν γίνει έχει διαπιστωθεί ότι στα βάθη μεταξύ 0 – 150m υπάρχουν τρεις επιμέρους περιοχές οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με το θερμικό του προφίλ.

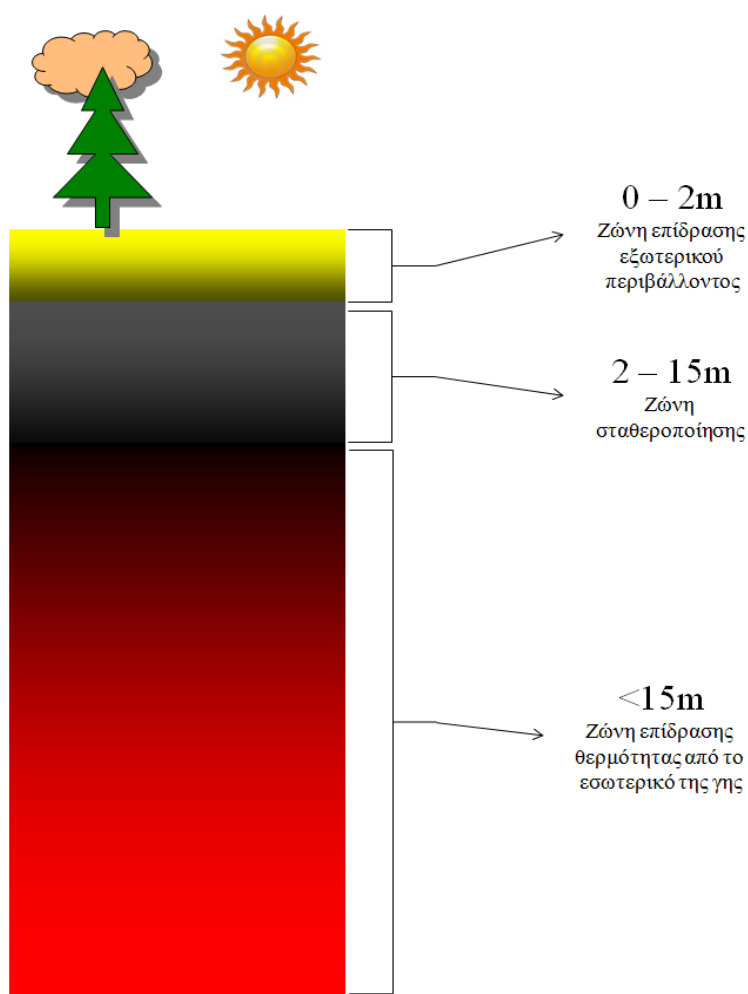
Αυτές είναι:

- 0 – 2m
- 2 – 15m
- 15 – 150m

Στην περιοχή που κυμαίνεται από 0 – 2m περίπου η θερμότητα του εδάφους εξαρτάται άμεσα από την προσπίπτουσα σε αυτό ηλιακή ακτινοβολία. Το εύρος της μπορεί να είναι άλλοτε μικρότερο ή μεγαλύτερο αναλόγως της περιοχής του πλανήτη χωρίς ωστόσο να επεκτείνεται σημαντικά. Στην περιοχή που κυμαίνεται από 2 – 15m η θερμική μεταβολή του εδάφους τείνει να σταθεροποιηθεί. Σε αυτή την περιοχή η θερμότητα επηρεάζεται αφ' ενός από την ηλιακή ακτινοβολία αφ' ετέρου από τη θερμότητα που εκλύεται από το εσωτερικό της γης. Τέλος στην περιοχή που κυμαίνεται από 15 – 150m η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μηδενίζεται και η θερμότητα του εσωτερικού της γης

παραμένει ως ο μόνος παράγοντας που καθορίζει τη θερμική συμπεριφορά του εδάφους. Ουσιαστικά από το βάθος των 15m αρχίζει η επίδραση της γεωθερμικής σύμφωνα με την οποία η μεταβολή της θερμοκρασίας κυμαίνεται κατά μέσο όρο στους 30° C/km.

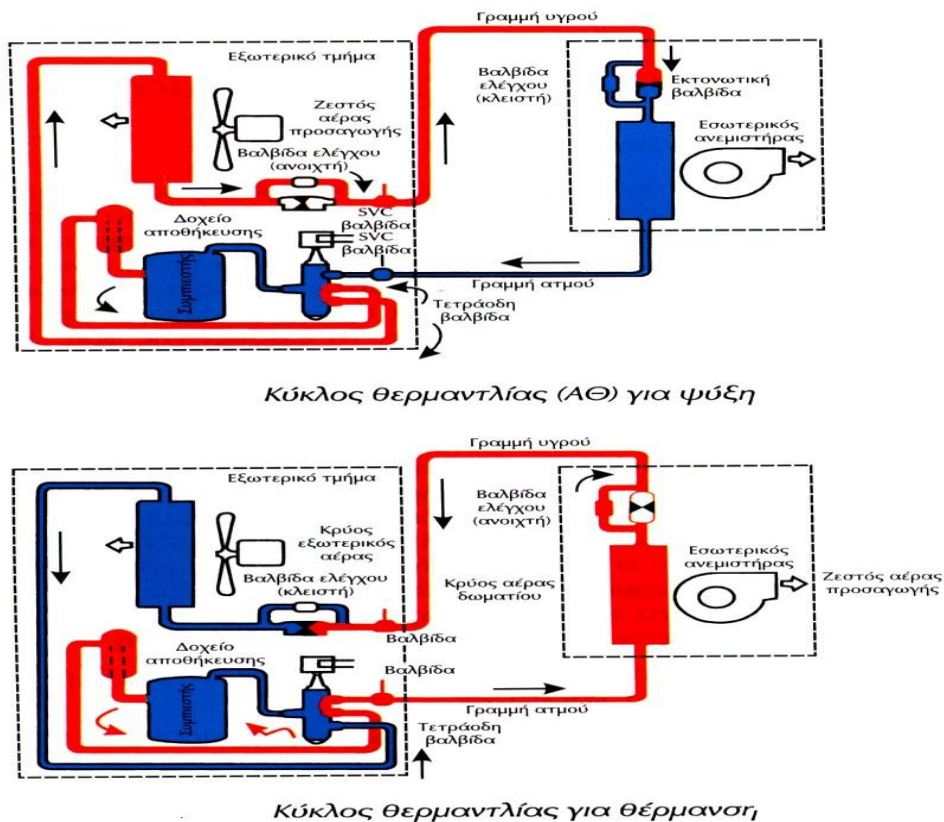
Υπάρχουν ωστόσο ορισμένες περιοχές της γης στις οποίες το θερμικό προφίλ του υπεδάφους διαφοροποιείται ριζικά τόσο σε σχέση με το εύρος των ζωνών που προαναφέραμε όσο και σε σχέση με τις θερμοκρασίες που παρατηρούνται σε αυτές. Φαινόμενα έντονης διαφοροποίησης παρατηρούνται καθώς πλησιάζουμε στους πόλους καθώς και σε περιοχές που υπάρχει έντονη γεωθερμική δραστηριότητα κοντά στην επιφάνεια της γης. Στην τελευταία περίπτωση γίνεται αναφορά στη λεγόμενη «γεωθερμική ανωμαλία». Με την έννοια της γεωθερμικής ανωμαλίας περιγράφεται κάθε παράγοντας που προκαλεί αυξημένη ροή θερμότητας σε μικρά σχετικά βάθη του εδάφους της τάξεως των 100 – 150m.



Σχήμα 19: Τυπικές εύρος θερμικών ζωνών υπεδάφους

1.3 Αντλίες θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές που έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας από ένα μέσο χαμηλής θερμοκρασίας σε ένα μέσο υψηλής θερμοκρασίας. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με τη χρήση κατάλληλου ρευστού το οποίο καλείται εργαζόμενο ρευστό ή ψυκτικό ρευστό. Οι αντλίες θερμότητας έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως ψύκτες, ως θερμαντήρες, ή ως ψύκτες και θερμαντήρες συγχρόνως. Στην πρώτη περίπτωση η λειτουργία τους περιλαμβάνει τη διατήρηση ενός χώρου σε χαμηλή θερμοκρασία. Στην περίπτωση αυτή η αντλία αφαιρεί θερμότητα από το χώρο ο οποίος ψύχεται. Στη δεύτερη περίπτωση η λειτουργία τους περιλαμβάνει τη διατήρηση ενός χώρου σε υψηλή θερμοκρασία με τη λήψη θερμότητας από ένα μέσο (ψυχρή πηγή) το οποίο βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από εκείνη του χώρου που θέλουμε να θερμάνουμε. Στην τρίτη περίπτωση εκμεταλλευόμαστε συγχρόνως και τις δύο πηγές της αντλίας θερμότητας. Τα βασικά μέρη μιας αντλίας θερμότητας καθώς και η λειτουργία της για ψύξη ή θέρμανση δίδονται στο σχήμα 20.



Σχήμα 20: Βασική δομή αντλίας θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης

Τα βασικά μέρη μιας αντλίας θερμότητας έχουν ως εξής:

- Συμπιεστής

Πρόκειται για τη διάταξη που συμπιέζει το εργαζόμενο ρευστό μετατρέποντας το από την ατμώδη φάση στη φάση του συμπιεσμένου υπέρθεμου ατμού

- Συμπυκνωτής

Πρόκειται για έναν εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος αφαιρεί θερμότητα από το εργαζόμενο ρευστό, που βρίσκεται σε αέρια φάση συμπυκνώνοντας το

- Στραγγιστική διάταξη

Πρόκειται για το στοιχείο από το οποίο όταν διέλθει το εργαζόμενο ρευστό, ελαττώνεται η πίεση του.

- Εξατμιστής

Πρόκειται για έναν εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο το εργαζόμενο ρευστό προσλαμβάνει ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα να ατμοποιείται

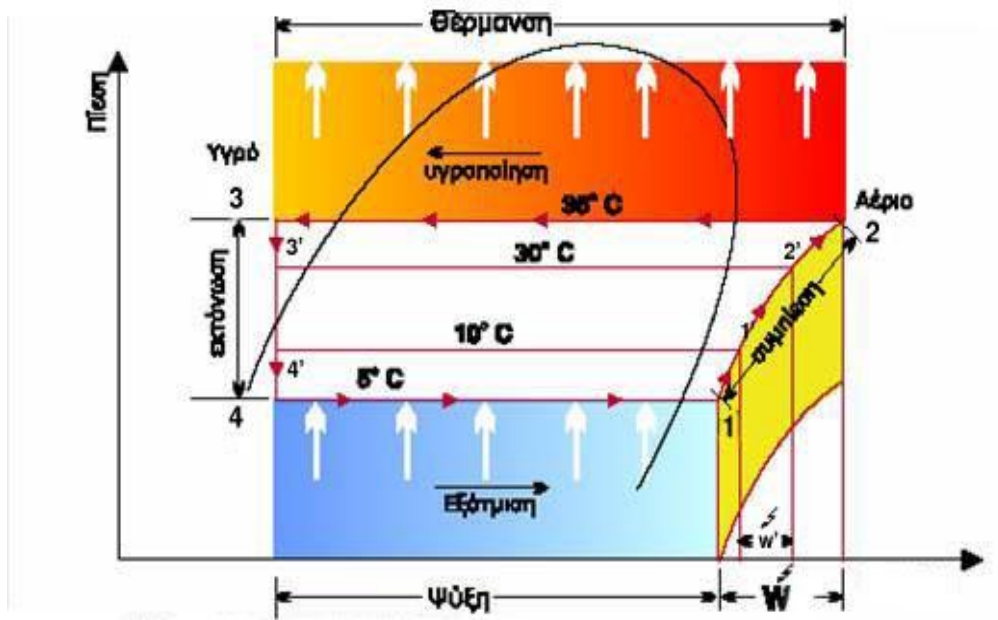
- Αυτοματισμοί

Οι αυτοματισμοί χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας.

- Βαλβίδα αντιστροφής

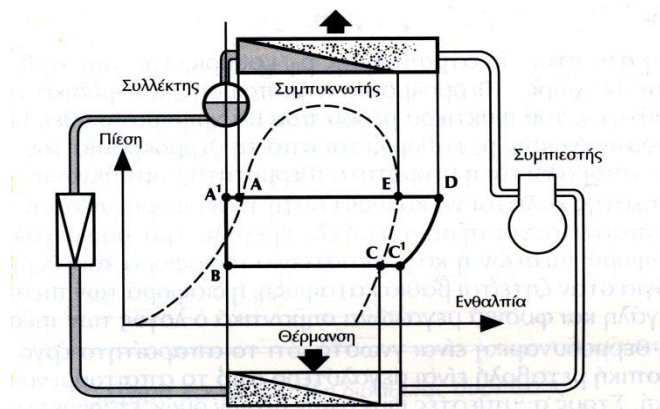
Η βαλβίδα αντιστροφής αλλάζει τη λειτουργία της αντλίας από θέρμανση σε ψύξη και αντίστροφα

Στο σχ. 4 παριστάνεται σχηματικά ο κύκλος λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας σε ένα θερμοδυναμικό διάγραμμα πίεσης – ενθαλπίας.



Σχήμα 21: Αναπαράσταση της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα πίεσης - ενθαλπίας

Στο σχ. 21 δίδεται η αναπαράσταση της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας πάνω σε διάγραμμα $p-h$ μαζί με τα επιμέρους βασικά στοιχεία του κυκλώματος.



Σχήμα 22: Σχηματική αναπαράσταση της δομής μιας αντλίας θερμότητας πάνω σε διάγραμμα $p-h$

1.3.1 Ιδανική αντλία θερμότητας

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται στην αρχή του αντιστρόφου κύκλου. Η απόδοση και η ποιότητα μιας αντλίας θερμότητας χαρακτηρίζεται από το συντελεστή συμπεριφοράς COP (Coefficient Of Performance).

Αναλόγως της λειτουργίας της αντλίας δηλ για θέρμανση ή ψύξη, ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της δίδεται από τις σχέσεις:

$$\text{Λειτουργία θέρμανσης: } \mathbf{COP}_\theta = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{T_\theta}{T_\theta - T_\psi} \quad (5)$$

$$\text{Λειτουργία ψύξης: } \mathbf{COP}_\psi = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{T_\psi}{T_\theta - T_\psi} \quad (6)$$

1.3.2 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας

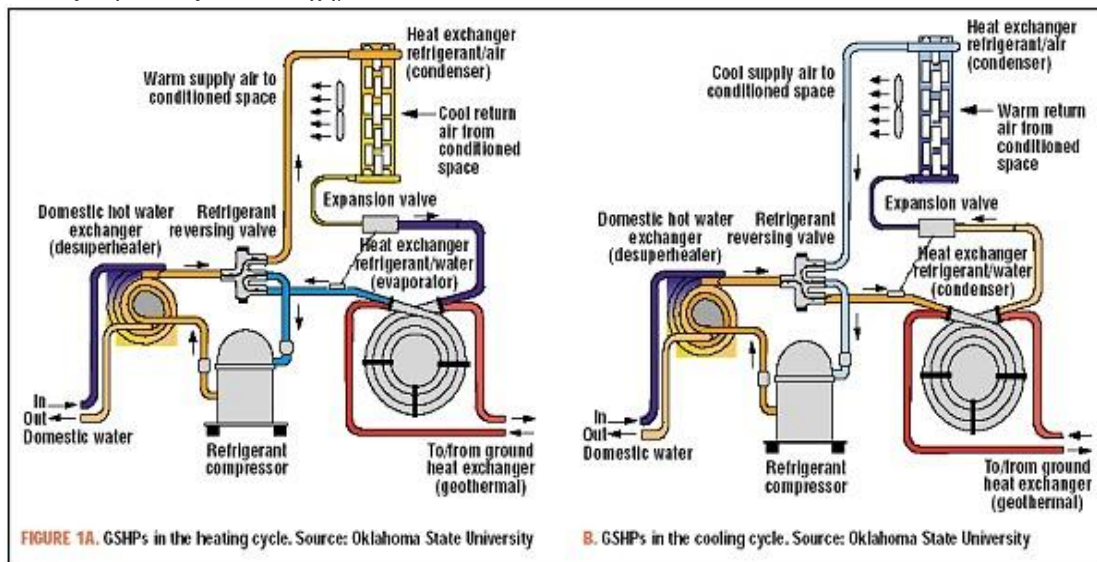
Η κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας γίνεται με βάση τα ακόλουθα στοιχεία:

- i. Ανάλογα με το μέσο από το οποίο αντλείται η θερμότητα και το μέσο στο οποίο αποβάλλεται θερμότητα. Στην κατηγορία αυτή έχουμε τα εξής ζεύγη μέσων:
 - Αέρας – αέρας (αντλία θερμότητας αέρα – αέρα)
 - Αέρας – νερό (αντλία θερμότητας αέρα – νερού)
 - Νερό – νερό (αντλία θερμότητας νερού – νερού)
 - Νερό – αέρας (αντλία θερμότητας νερού – αέρα)
 - Έδαφος – αέρας (αντλία θερμότητας εδάφους – αέρα)
 - Έδαφος – νερό (αντλία θερμότητας εδάφους – νερού)
- ii. Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:
 - Αντλίες θερμότητας με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές (δίθερμες αντλίες θερμότητας)
 - Αντλίες θερμότητας με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (δίθερμες αντλίες θερμότητας)
 - Αντλίες θερμότητας των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε τρίτη θερμική πηγή υψηλής θερμοκρασίας (τρίθερμες αντλίες θερμότητας)
 - Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών τους διακρίνουμε δυο τύπους:
 - Ενιαίες ή αυτόνομες με όλους τους μηχανισμούς σε κοινό κέλυφος
 - Διαιρούμενου ή διμερούς τύπου (ο εξατμιστής και ο συμπιεστής είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, οπότε μιλούμε για εσωτερική και εξωτερική μονάδα)
- iii. Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας τους οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή η ροή του εργαζόμενου μέσου είναι σταθερή και αλλάζει μόνο η θέση των μέσων προσαγωγής και απαγωγής θερμότητας
- Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή έχουμε αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου μέσω τρίοδης βαλβίδας.

1.3.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Γνωρίζουμε πως οι αντλίες θερμότητας είναι διατάξεις οι οποίες μεταφέρουν θερμότητα από μια πηγή χαμηλής θερμοκρασίας σε μια πηγή υψηλής θερμοκρασίας. Οι αντλίες θερμότητας εδάφους – νερού και εδάφους αέρα ή γεωθερμικές αντλίες θερμότητας όπως συνήθως ονομάζονται, ακολουθούν τη βασική δομή των συνήθων αντλιών θερμότητας με τη διαφορά τους να έγκειται στην επιλογή της ψυχρής πηγής, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να είναι το έδαφος, ή τα υπόγεια νερά. Οι πηγές αυτές παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό να διατηρούν σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με αποτέλεσμα να διατηρούν τον συντελεστή συμπεριφοράς των αντλιών σε υψηλά επίπεδα, γεγονός το οποίο οδηγεί στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η βασική δομή μιας γεωθερμικής αντλίας παρουσιάζεται στο σχήμα 23.



Σχήμα 23: Η βασική δομή μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Στα αριστερά διακρίνεται η λειτουργία για θέρμανση (χειμώνας) και δεξιά η λειτουργία για ψύξη (καλοκαίρι)

Η λειτουργία της εικονιζόμενης αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη περιγράφεται ως εξής:

Λειτουργία θέρμανσης

Το εργαζόμενο ρευστό εισάγεται σε κατάσταση κορεσμένου ή υπέρθερμου ατμού στο συμπιεστή (Refrigerant compressor) ο οποίος το συμπιέζει μετατρέποντας το σε υπέρθερμο ατμό, υψηλής πίεσης.

Το εργαζόμενο ρευστό στην κατάσταση του υπέρθερμου ατμού οδηγείται στον από θερμαντήρα (domestic hot water exchanger/desuperheater) όπου αποβάλλει ένα μέρος της αισθητής θερμότητας του (ανάκτηση θερμότητας) για θέρμανση νερού.

Μετά την έξοδο του από τον αποθερμάντηρα το εργαζόμενο ρευστό διέρχεται από τη βαλβίδα αντιστροφής (refrigerant reversing valve) από την οποία οδηγείται στον συμπυκνωτήρα ή εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας αέρα – ρευστού (heat exchanger refrigerant/air). Η θερμότητα που αποβάλλεται

αξιοποιείται για τη θέρμανση του χώρου (λ.χ. θερμοκήπιο δωμάτια οικίας αίθουσες συνάθροισης κοινού, χοιροστάσιο ή πτηνοτροφείο πάχυνσης, κλπ).

Το εργαζόμενο ρευστό σε υγρή μορφή πλέον, μετά τη διέλευση του από την εκτονωτική βαλβίδα, υφίσταται στραγγαλισμό της πίεσης για να εισέλθει στον εξατμιστήρα ή εναλλάκτη θερμότητας του θερμομεταφορικού ρευστού (heat exchanger refrigerant/water). Το θερμομεταφορικό μέσο στην περίπτωση αυτή μπορεί να είναι είτε νερό από γεώτρηση (περίπτωση ανοικτού βρόχου) είτε κάποιο άλλο θερμομεταφορικό μέσο όπως λ.χ. διάλυμα γλυκόλης που κυκλοφορεί οριζόντια ή κατακόρυφα εντός εναλλάκτη στο έδαφος για απορρόφηση και μεταφορά θερμότητας (περίπτωση κλειστού βρόχου). Κατά τη διέλευση του από τον συγκεκριμένο εναλλάκτη το εργαζόμενο μέσο απορροφά θερμότητα από το θερμομεταφορικό ρευστό και εξατμίζεται προκειμένου να ξεκινήσει τον κύκλο του από την αρχή.

Λειτουργία ψύξης

Το εργαζόμενο ρευστό εισάγεται σε κατάσταση κορεσμένου ατμού στο συμπιεστή (Refrigerant compressor) ο οποίος το συμπιέζει μετατρέποντας το σε υπέρθερμο ατμό υψηλής πίεσης.

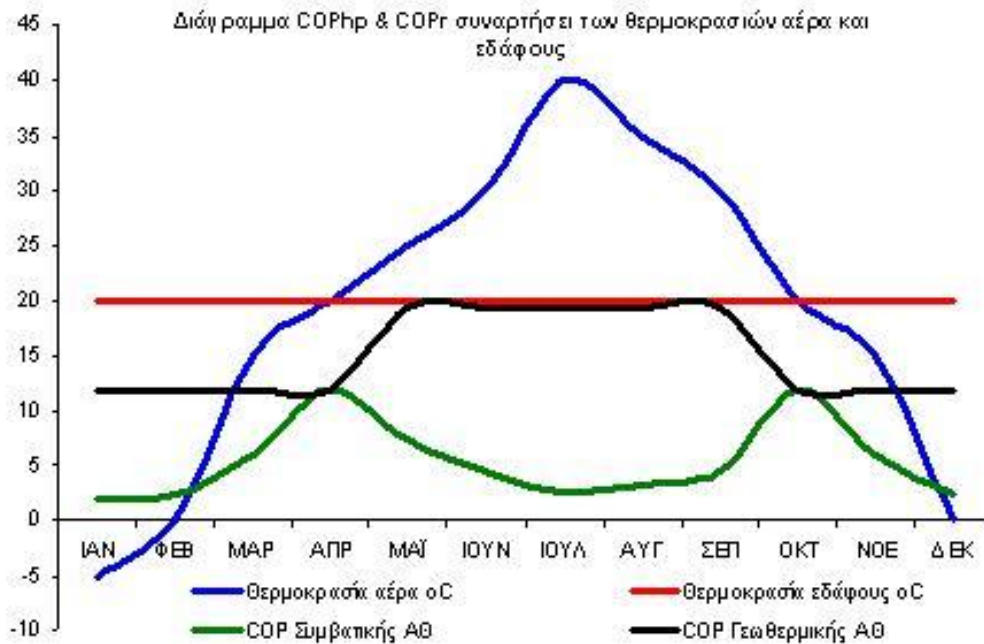
Το εργαζόμενο ρευστό οδηγείται στη συνέχεια στον αποθερμαντήρα (domestic hot water exchanger/desuperheater) όπου αποβάλλει ένα μέρος της θερμότητας του. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η αποβολή θερμότητας αξιοποιείται για θέρμανση νερού όπως και στην περίπτωση της λειτουργίας θέρμανσης, που εξετάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Μετά την έξοδο του από τον αποθερμαντήρα το εργαζόμενο ρευστό διέρχεται από τη βαλβίδα αντιστροφής (refrigerant reversing valve) από την οποία οδηγείται στον συμπυκνωτήρα, εναλλάκτη θερμότητας νερού – ρευστού (heat exchanger refrigerant/water). Για το θερμομεταφορικό μέσο ισχύει ότι και στην περίπτωση της θέρμανσης που περιγράφηκε ανωτέρω. Κατά τη διέλευση του εργαζομένου ρευστού από το συγκεκριμένο εναλλάκτη που λειτουργεί ως συμπυκνωτήρας, ένα μέρος της θερμότητας του αποβάλλεται στο θερμομεταφορικό μέσο οπότε το εργαζόμενο ρευστό μεταβαίνει από την κατάσταση του υπέρθερμου ατμού στη φάση του υγρού.

Μετά την έξοδο του από τον εναλλάκτη θερμότητας του θερμομεταφορικού μέσου το εργαζόμενο μέσο διέρχεται από την εκτονωτική βαλβίδα με αποτέλεσμα την μείωση της πίεσής του. Στη συνέχεια οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας όπου εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα από το χώρο που επιθυμούμε να ψύξουμε. Ο εναλλάκτης αυτός λειτουργεί στην περίπτωση αυτή ως εξατμιστής. Μετά την έξοδο του από τον προαναφερόμενο εναλλάκτη, το εργαζόμενο ρευστό οδηγείται στον συμπιεστή προκειμένου ο κύκλος να ξεκινήσει από την αρχή.

1.3.4 Το συγκριτικό πλεονέκτημα μεταξύ συμβατικών και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Το βασικότερο στοιχείο που διαφοροποιεί την γεωθερμική αντλία θερμότητας από τις λοιπές κατηγορίες αντλιών έγκειται στην σταθερότητα της θερμοκρασίας που χαρακτηρίζει το μέσο από το οποίο αντλείται και αποβάλλεται θερμότητα δηλ το έδαφος ή το νερό (υπόγειο ή επιφανειακό). Στο σχήμα που ακολουθεί παριστάνεται η κατανομή θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του έτους στην επιφάνεια του εδάφους και μέσα σε αυτό σε βάθος 15m. Παράλληλα παριστάνεται και η συμπεριφορά του θεωρητικού συντελεστή συμπεριφοράς μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και μιας συμβατικής (αέρα – αέρα).



Σχήμα 24: συγκριτικό ενδεικτικό διάγραμμα θεωρητικών συντελεστών συμπεριφοράς μεταξύ γεωθερμικής και συμβατικής αντλίας

Παρατηρούμε πως ο συντελεστής συμπεριφοράς της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας εμφανίζεται κατά πολύ βελτιωμένος σε σχέση με τον αντίστοιχο της αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα. Το γεγονός αυτό έχει θετική επίδραση σε θέματα οικονομίας καθώς και μακροζωίας του συστήματος.

Ένα επιπλέον θετικό στοιχείο που απορρέει από τον βελτιωμένο συντελεστή συμπεριφοράς έγκειται στην γενικότερη εξοικονόμηση ενέργειας γεγονός το οποίο καθιστά τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας φιλικότερες προς το περιβάλλον χάρις στην συμβολή τους στη μείωση των ρύπων και των αερίων θερμοκηπίου.

1.3.5 Κατηγορίες γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες που είναι:

- Οι γεωθερμικές αντλίες ανοικτού βρόγχου που λειτουργούν με υπόγεια νερά (ground water open loop systems)
- Οι γεωθερμικές αντλίες κλειστού βρόγχου συνδεδεμένες συνήθως με εναλλάκτη στο υπέδαφος (closed loop ground coupled systems)

Μεταξύ των γεωθερμικών αντλιών ανοικτού βρόγχου μπορούμε να συναντήσουμε και συνδυασμούς όπως λ.χ. γεωθερμικές αντλίες που χρησιμοποιούν νερό από ένα πηγάδι και μετά το απορρίπτουν σε μια λίμνη ή ένα ποταμό ή ακόμα και τη θάλασσα.

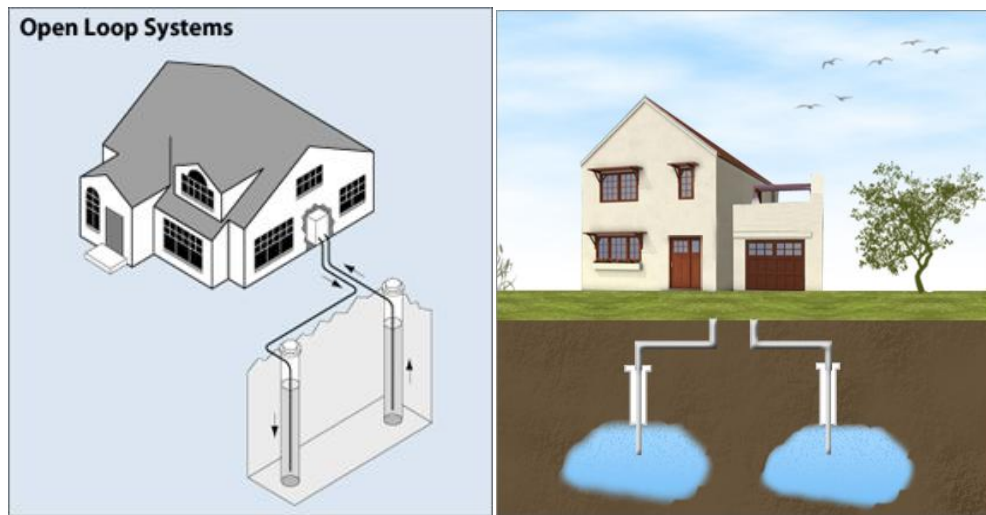
Στις επόμενες παραγράφους εξετάζεται ξεχωριστά κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες.

1.3.5.1 Γεωθερμικές αντλίες ανοικτού βρόγχου

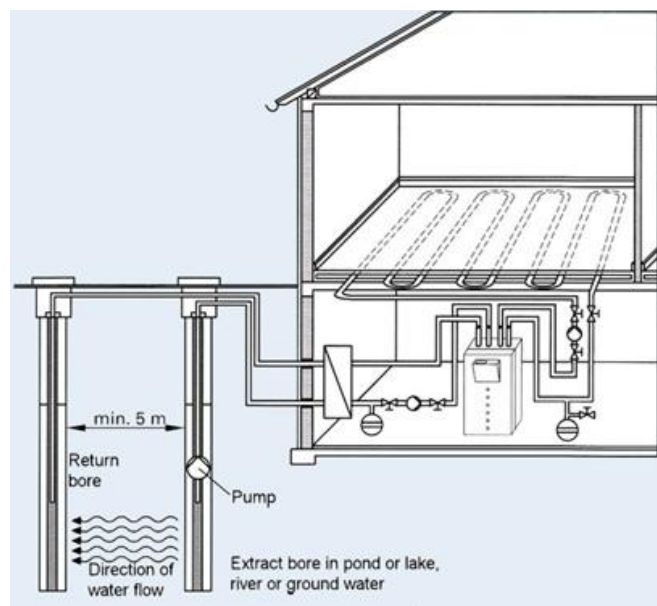
Στην κατηγορία γεωθερμικών αντλιών ανοικτού βρόγχου το νερό που χρησιμοποιείται ως θερμομεταφορικό ρευστό προέρχεται είτε από επιφανειακό είτε από υπόγειο ταμιευτήρα. Η ονομασία

ανοικτός βρόχος αποδίδεται στα συστήματα αυτά καθώς μετά την διέλευση του από τον εναλλάκτη θερμότητας το νερό απορρίπτεται ελεύθερα στο περιβάλλον.

Στην κατηγορία αυτή αξιοποιείται το θερμικό δυναμικό νερού το οποίο βρίσκεται στο υπέδαφος σε υπόγειους ταμιευτήρες. Το πλέον συνηθισμένο σύστημα της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνει δύο φρεάτια (πηγάδια) σε ικανή απόσταση από τα οποία το ένα χρησιμοποιείται για την άντληση νερού ενώ το δεύτερο για την απόρριψη. Μια παραλλαγή του τύπου αυτού αποτελείται από ένα φρεάτιο από το οποίο γίνεται τόσο η άντληση όσο και η απόρριψη. Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης σε σύστημα με ένα φρεάτιο η απόρριψη γίνεται με ψεκασμό στα τοιχώματα του φρεατίου ώστε με τον τρόπο αυτό το νερό να μπορεί ανταλλάξει με αυτά θερμότητα πριν φθάσει στη βάση του φρεατίου (Bloomquist, 1999).



Σχήμα 25: Χαρακτηριστικές διατάξεις γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανοικτού βρόχου με φρεάτιο άντλησης και φρεάτιο απόρριψης υδάτων



Σχήμα 26: Γεωθερμική αντλία θερμότητας ανοικτού βρόχου με εφαρμογή θέρμανσης δαπέδων κατοικίας

1.3.5.1.1 Θέματα ειδικού ενδιαφέροντος στις γεωθερμικές αντλίες ανοικτού βρόχου

Στη λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανοικτού βρόχου υπαισέρχονται ορισμένα ζητήματα τα οποία πρέπει να εξετάζονται διεξοδικά κατά την αξιολόγηση της σκοπιμότητάς τους. Μερικά από αυτά αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους

Προβλήματα στα σημεία απόρριψης του νερού

Σε συστήματα ανοικτού βρόχου δύο φρεατίων μπορεί να παρατηρηθεί σταδιακή αύξηση της πίεσης πλευρικά του φρεατίου απόρριψης από την συνεχή τροφοδοσία του με νερό. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την αύξηση του μεγέθους του φρεατίου (Bloomquist, 1999). Ένα επιπλέον πρόβλημα παρατηρείται από τις εναποθέσεις που σχηματίζονται στον πυθμένα των φρεατίων από φερτά υλικά. Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται είτε η χρήση φίλτρων είτε ο περιοδικός καθαρισμός του φρεατίου από τις εναποθέσεις.

Προβλήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία της αντλίας νερού

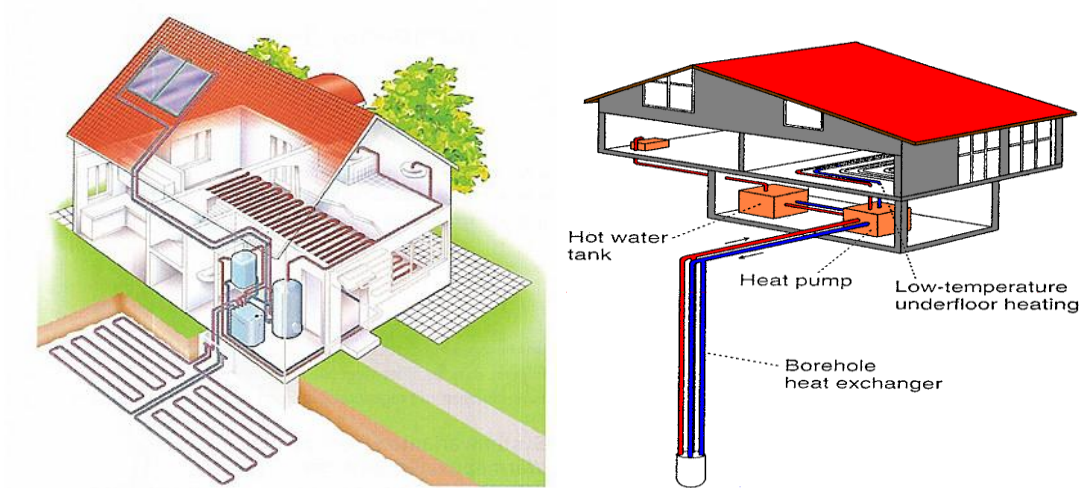
Η αντλία νερού που χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού από τον ταμιευτήρα προς τον εναλλάκτη λειτουργεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα και ορισμένες φορές σε περιβάλλον το οποίο επαυξάνει τους ρυθμούς φθοράς της (Bloomquist, 1999). Ο περιοδικός έλεγχος της και η συντήρηση της θεωρούνται επιβεβλημένες ενέργειες προκειμένου να διασφαλίζεται η ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία της.

Προβλήματα που σχετίζονται με την ψύξη του γεωθερμικού πεδίου

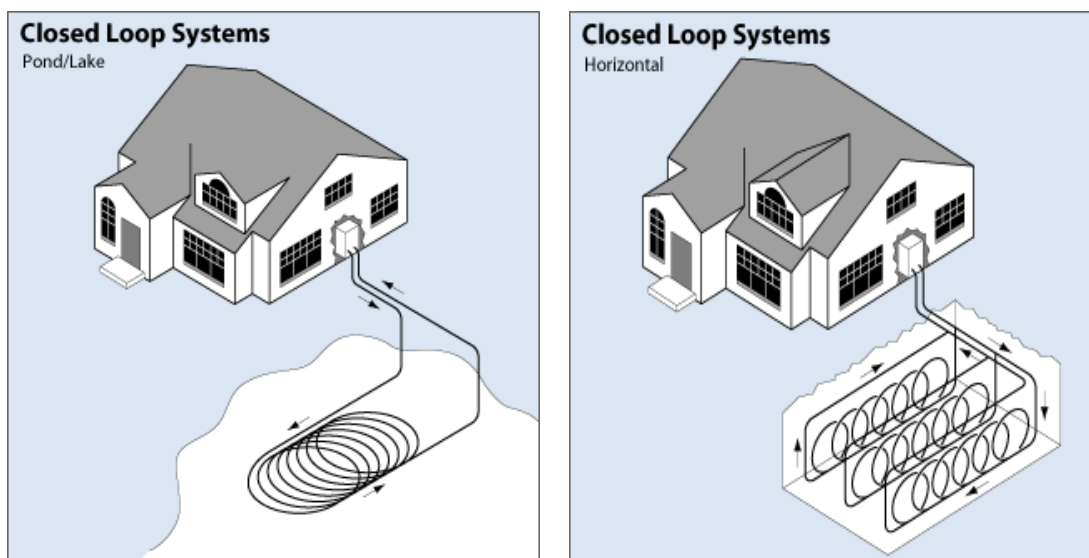
Το πρόβλημα της ψύξης του γεωθερμικού πεδίου μπορεί να παρατηρηθεί σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η θερμότητα που απάγεται από το έδαφος δεν αναπληρώνεται με ικανοποιητικό ρυθμό. Σε καταστάσεις όπως αυτές η θερμοκρασία στο τμήμα του εδάφους από το οποίο γίνεται η άντληση θερμότητας μειώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα το έδαφος να παγώνει. Το φαινόμενο αυτό επιδρά αρνητικά στην απόδοση του συστήματος καθώς τείνει να το εξισώσει με ένα αντίστοιχο του τύπου αέρα – αέρα του οποίου η δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας βρίσκεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Το πρόβλημα όπως αυτό είναι περισσότερο έντονο στα συστήματα που χρησιμοποιούν κατακόρυφους εναλλάκτες. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος ψύξεως του γεωθερμικού πεδίου χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία εισάγονται στο έδαφος περιμετρικά των εναλλακτών με στόχο να ενισχύσουν τη θερμική του αγωγιμότητα και κατά συνέπεια να μεγιστοποιήσουν το ρυθμό αναπλήρωσης της θερμότητας στο έδαφος από την απώλεια που υφίσταται κατά την απαγωγή της από το σύστημα.

1.3.5.2 Γεωθερμικές αντλίες κλειστού βρόχου

Τα συστήματα κλειστού βρόχου αποτελούνται από ένα κλειστό κύκλωμα μέσα στο οποίο κυκλοφορεί θερμομεταφορικό ρευστό το οποίο στην απλούστερη περίπτωση μπορεί να είναι νερό ή μίγμα νερού και αντιψυκτικού (συνήθως γλυκόλης). Το κύκλωμα αυτό είναι στην ουσία ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος αξιοποιεί το θερμικό δυναμικό του εδάφους. Τα συστήματα κλειστού βρόχου διακρίνονται σε κατακόρυφα και οριζόντια ανάλογα με τη διάταξη του εναλλάκτη. Τυπικές μορφές οριζοντίων και κατακόρυφων συστημάτων εικονίζονται στα σχ. 13 και 14 αντίστοιχα.



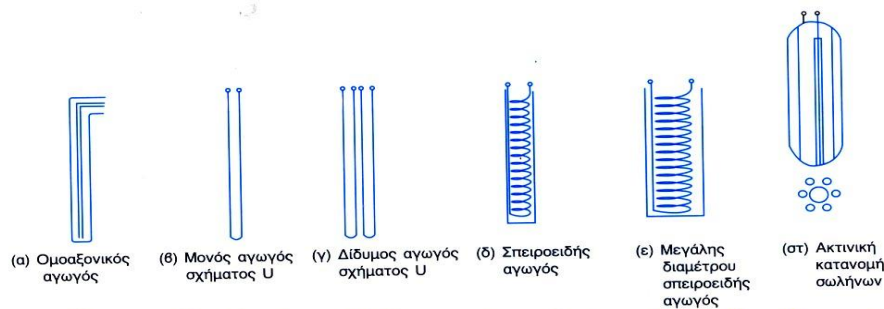
Σχήμα 27: Συστήματα κλειστού βρόχου οριζόντιας διάταξης (αριστερά) και καθέτου διάταξης (δεξιά)



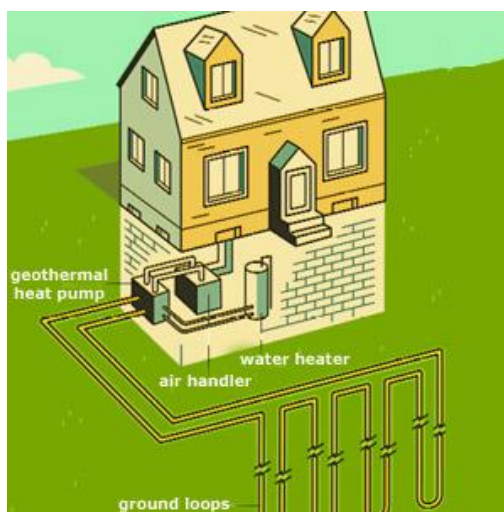
Σχήμα 28: Παραλλαγές συστημάτων κλειστού βρόχου

1.3.5.2.1 Συστήματα κλειστού βρόχου κάθετης διάταξης

Τα συστήματα κάθετης διάταξης αποτελούνται συνήθως από ένα ζεύγος σωληνώσεων μικρής διαμέτρου (20 – 40mm) από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Οι σωληνώσεις μπορεί να τοποθετηθούν σε μια ή περισσότερες κατακόρυφες γεωτρήσεις (βλ. σχ. 29). Το εσωτερικό των γεωτρήσεων γεμίζεται στη συνέχεια από στερεό υλικό. Σε μερικές περιπτώσεις προτιμώνται υλικά τα οποία έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα ώστε να διευκολύνουν με τον τρόπο αυτό την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ της σωληνώσεως και του εδάφους. Τα ζεύγη των σωληνώσεων συνενώνονται στο κατώτερο τμήμα τους με θερμοκόλληση σχηματίζοντας αγωγό σχήματος “U”. Εκτός του σχήματος “U” έχουν εφαρμοστεί διάφορες άλλες γεωμετρίες (σχ. 28) με σκοπό την αύξηση της επιφάνειας του εναλλάκτη όπως τα διπλά ζεύγη σωληνώσεων και η σπειροειδής τοποθέτηση του πλαστικού αγωγού.



Σχήμα 29: Τύποι εναλλακτών θερμότητας σε συστήματα κατακόρυφης διάταξης

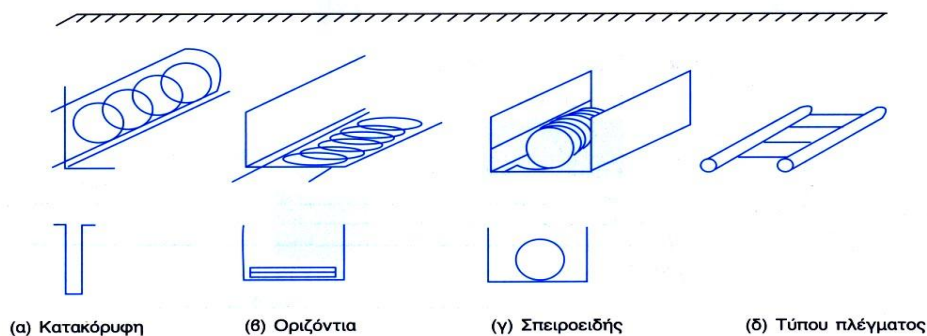


Σχήμα 30: Σύστημα κάθετου διάταξης με περισσότερους από ένα κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας

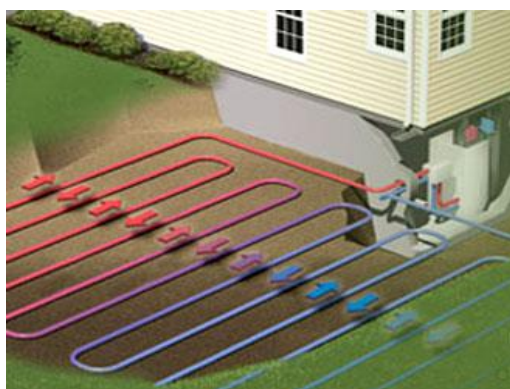
Το βάθος των γεωτρήσεων στα συστήματα κάθετου διάταξης ποικίλλει από 15 – 200m αναλόγως των συνθηκών, του κόστους και της εφαρμογής. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια κάθετες στήλες οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι σχετικά μικρές και κυμαίνονται από 2 – 3m. Η μικρή απόσταση οφείλεται στην μικρή αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ κάθε στήλης. Το γεγονός αυτό επιτρέπει πολλές φορές την ανάπτυξη μεγάλου αριθμού κάθετων στηλών σε περιορισμένη έκταση.

1.3.5.2.2 Συστήματα κλειστού βρόχου οριζοντίου διάταξης

Στα συστήματα οριζόντιας διάταξης χρησιμοποιούνται σωληνώσεις HDPE που τοποθετούνται οριζοντίως σε μικρά βάθη της τάξεως του 1 με 3m και σε διάφορες γεωμετρίες (βλ. σχ. 31 & 32). Σε αρκετές περιπτώσεις το βάθος μπορεί να ξεπεράσει τα 2m εάν το επιτρέπουν οι εδαφολογικές συνθήκες (λ.χ. να μην υπάρχουν σκληρά πετρώματα) και το κόστος. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων βάθους 20 – 60cm.



Σχήμα 31: Τύποι εναλλακτών θερμότητας σε σύστημα οριζοντίου διάταξης (πηγή: Ν. Φυτίκας, Μ. Ανδρίτσος 2004)



Σχήμα 32: Τυπική σπειροειδής διάταξη εναλλάκτη θερμότητας οριζοντίου διάταξης

Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων οριζοντίου διάταξης συγκριτικά με τα κάθετα είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο μειονεκτούν από την άποψη ότι απαιτούν μεγάλες οικοπεδικές εκτάσεις γεγονός που τα κάνει πιο προσιτά για εφαρμογή σε εξοχικές κατοικίες.

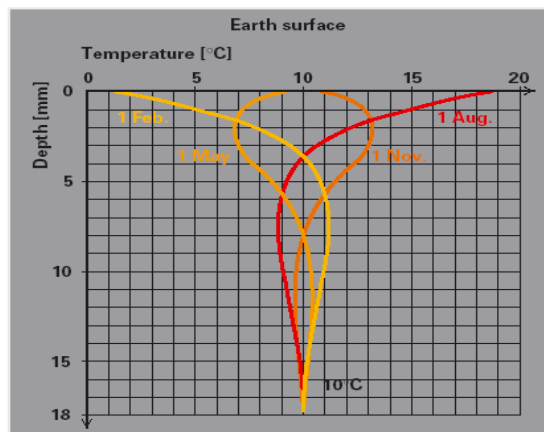
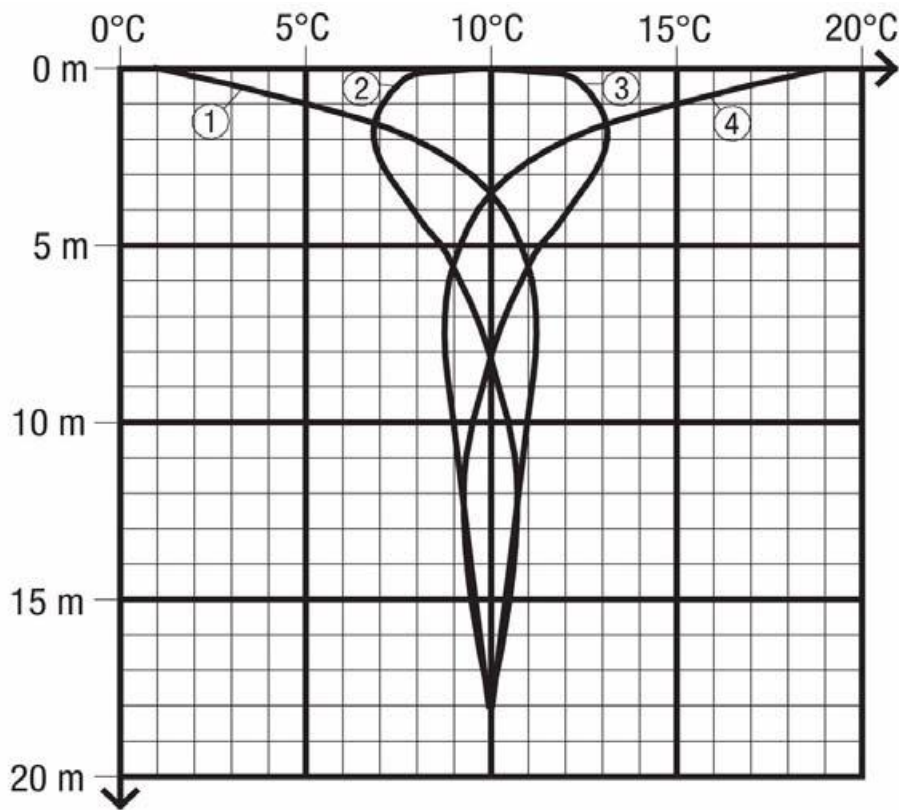
1.3.5.2.3 Θέματα ειδικού ενδιαφέροντος στις γεωθερμικές αντλίες κλειστού βρόχου

Όπως και στα συστήματα ανοικτού βρόχου έτσι και στα αντίστοιχα συστήματα κλειστού βρόχου υπάρχουν ορισμένα ζητήματα τα οποία υπεισέρχονται στη λειτουργία τους όπως:

Χαρακτηριστικά εδάφους

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο χώρο που αναμένεται να εγκατασταθεί μια γεωθερμική αντλία κλειστού βρόχου είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή και κυρίως οικονομική λειτουργία του συστήματος. Το πρώτο στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι το είδος του εδάφους. Οι βραχώδεις περιοχές παρουσιάζουν σημαντική δυσκολία στην εκσκαφή καθώς και στη διατήρηση της υγρασίας η οποία όπως θα δούμε στη συνέχεια παίζει καθοριστικό ρόλο. Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι η κατανομή των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του έτους στον υπεδάφειο χώρο εγκατάστασης του εναλλάκτη κλειστού βρόχου. Επιδίωξη είναι να τοποθετηθεί ο εναλλάκτης σε τέτοιο βάθος που να παρουσιάζει όσο το δυνατόν ηπιότερες θερμοκρασιακές αλλαγές μέσα στη διάρκεια του έτους. Ένα επιπλέον στοιχείο που πρέπει να εξετασθεί είναι το ποσοστό υγρασίας του εδάφους. Σε εδάφη με χαμηλή υγρασία ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θα επηρεαστεί αρνητικά καθώς η ανταλλαγή θερμότητας μέσω του εναλλάκτη δεν θα μπορεί να γίνει με ταχείς ρυθμούς. Αντιθέτως σε εδάφη κορεσμένα η ανταλλαγή θερμότητας είναι ευκολότερη. Σε περίπτωση που τα εδάφη είναι ξηρά απαιτείται η διαβροχή τους με συστήματα στάγδην άρδευσης ώστε να

υπάρχει το ανάλογο υγρασιακό περιεχόμενο που θα επιτρέπει ικανοποιητικούς ρυθμούς εναλλαγής θερμότητας.



Σχήμα 33: Κατανομή θερμοκρασιών εδάφους συναρτήσει του βάθους

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους είναι η διεξαγωγή εργαστηριακών αναλύσεων σε δείγματα από την περιοχή που σχεδιάζεται εγκατάσταση ή η λήψη τιμών θερμοκρασίας για τη διάρκεια ενός τουλάχιστον τυπικού έτους. Μια τέτοια ενέργεια είναι ευκολότερη όταν πρόκειται για μικρά βάθη μέχρι και 15m περίπου. Σε περίπτωση που επιθυμούμε να γνωρίσουμε τα χαρακτηριστικά σε μεγάλα βάθη το κόστος λεπτομερών ελέγχων αναμένεται να είναι υψηλό και ενίοτε απαγορευτικό. Σε περιπτώσεις όπως αυτές ιδιαίτερη συμβολή μπορεί να προσφέρει η υφιστάμενη γεωλογική έρευνα που μπορεί να έχει γίνει στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εφ' όσον δεν έχει διεξαχθεί κάποιου είδους εργαστηριακής ανάλυσης των εδαφικών δεδομένων στις περιοχές ενδιαφέροντος, χρησιμοποιούμε τα στοιχεία που δίνει η ASHRAE σχετικά με τις θερμοφυσικές ιδιότητες των εδαφών βάσει της σύστασης τους. Τα στοιχεία αυτά δίδονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 8:Θερμικές ιδιότητες συγκεκριμένων τύπων εδαφών και υλικών πλήρωσης

(ASHRAE 2007)

Θερμοφυσικές ιδιότητες του εδάφους				
Είδος εδάφους, περιεκτικότητα σε υγρασία		Ξ. Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	Θερμική αγωγιμότητα Κ (W/mK)	Θερμική διαχυτότητα α (m ² /day)
Εδάφος	Βαρύ έδαφος, 15% υγρασία	1925	1,4 - 1,9	0,042 - 0,061
	Βαρύ έδαφος 5% υγρασία	1925	1,0 - 1,4	0,047 - 0,061
	Ελαφρύ έδαφος, 15% υγρασία	1285	0,7 - 1,0	0,055 - 0,047
	Ελαφρύ έδαφος, 5% υγρασία	1285	0,5 - 0,9	0,056 - 0,056
	Βαριά άμμος, 15% υγρασία	1925	2,8 - 3,8	0,084 - 0,11
	Βαριά άμμος, 5% υγρασία	1925	2,1 - 2,3	0,093 - 0,14
	Ελαφριά άμμος, 15% υγρασία	1285	1,0 - 2,1	0,047 - 0,093
	Ελαφριά άμμος, 5% υγρασία	1285	0,9 - 1,9	0,055 - 0,12
Βράχοι	Γρανίτης	2650	2,3 - 2,7	0,084 - 0,13
	Ασβεστόλιθος	2400 - 2800	2,4 - 3,8	0,084 - 0,13
	Αμμόπετρα (με χαλαζία και άμμο)	2570 - 2730	2,1 - 3,5	0,65 - 0,11
	Σχιστόλιθος υγρός		1,4 - 2,4	0,065 - 0,084
	Σχιστόλιθος ξηρός		1,0 - 2,1	0,055 - 0,074
Υλικά πλήρωσης	Μπετονίτης (κολλοειδής απορροφητικός πηλός) (20% - 30%)		0,73 - 0,75	
	Καθαρό τσιμέντο (δεν συνιστάται)		0,69 - 0,78	
	20% μπετονίτης / 80% άμμος SiO ₂		1,47 - 1,64	
	15% μπετονίτης / 85% άμμος SiO ₂		1,00 - 1,10	
	10% μπετονίτης / 90% άμμος SiO ₂		2,08 - 2,42	
	30% σκυρόδεμα (άοπλο) / 70% άμμος SiO ₂		2,08 - 2,42	

Πηγή: Kavanaugh & Rafferty (1997)

Διαστασιολόγηση κλειστού βρόχου

Η επιλογή του σχήματος, του μήκους και της διατομής του κλειστού βρόχου αποτελούν βασικά προβλήματα κατά τη μελέτη ενός συστήματος. Τα προβλήματα αυτά εξετάζονται παράλληλα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους με σκοπό να επιλεγούν οι άριστες διαστάσεις που θα επιτρέπουν την αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

Αστοχίες εναλλάκτη κλειστού βρόχου

Η αξιοπιστία του εναλλάκτη που αποτελεί τον κλειστό βρόχο παίζει με τη σειρά της καθοριστικό ρόλο στη σωστή λειτουργία του όλου συστήματος. Βασικό πρόβλημα στους εναλλάκτες κλειστού βρόχου αποτελούν οι διαρροές που εμφανίζονται συνήθως στις ενώσεις των τμημάτων σωληνώσεων. Αιτία διαρροών μπορεί να είναι είτε η διαβρωτικότητα του εδάφους, είτε διάφορες κακοτεχνίες κατά την εγκατάσταση. Για την ενίσχυση της αξιοπιστίας τόσο του κλειστού βρόχου όσο και του υπόλοιπου

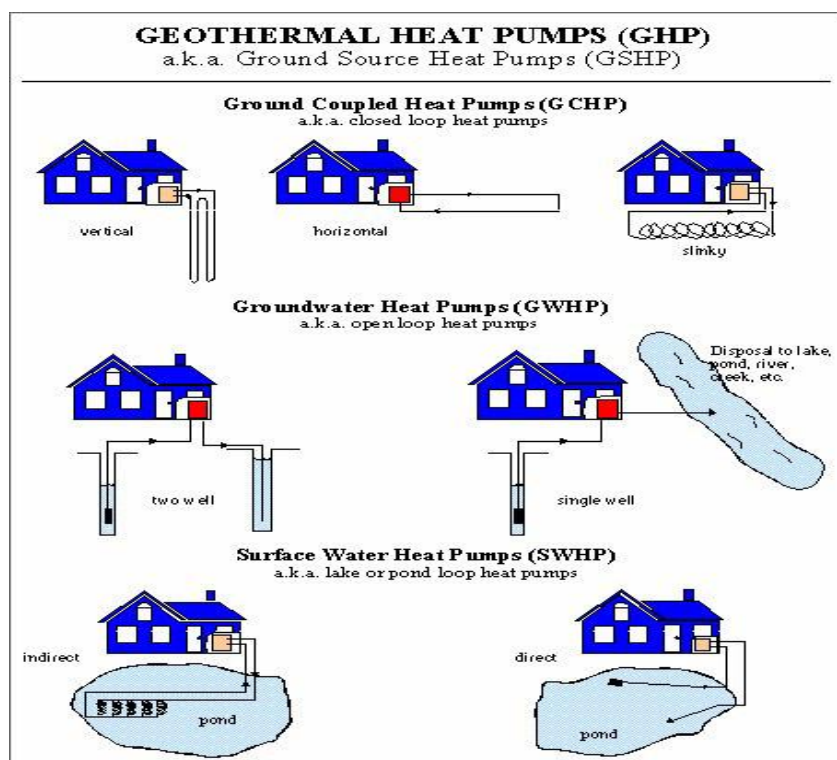
συστήματος απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός και ανάλυση όλων των πιθανών σεναρίων αστοχίας που μπορεί να περιορίσουν τη διαθεσιμότητα της εγκατάστασης.

Ιδιότητες του υλικού του εναλλάκτη (εξατμιστή)

Το υλικό κατασκευής του εναλλάκτη θερμότητας (βρόγχου) και θερμομεταφορικού μέσου θα πρέπει να επιλέγεται με βάση τη θερμική του αγωγιμότητα, την καταλληλότητα του για το εκάστοτε έδαφος στο οποίο θα τοποθετηθεί καθώς και με βάση τις μηχανικές του ιδιότητες και το κόστος του. Το πλέον κατάλληλο υλικό για την κατασκευή εναλλακτών είναι το πολυαιθυλένιο υψηλής περιεκτικότητας (HDPE).

Επιλογή ρευστού για τον εναλλάκτη κλειστού βρόγχου (θερμομεταφορικό ρευστό)

Το ρευστό που χρησιμοποιείται στον εναλλάκτη των συστημάτων κλειστού βρόγχου επιλέγεται ώστε να μπορεί να εναλλάσσει εύκολα θερμότητα με το έδαφος και κυρίως να μην παγώνει. Το πιο απλό μίγμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι άλμη (νερό κορεσμένο σε αλάτι). Συνήθως όμως χρησιμοποιούνται υγρά όπως το διάλυμα αιθυλενογλυκόλης (ethylene glycol) ή προπυλενογλυκόλης (propylene glycol), με το ανάλογο (χαμηλό) σημείο πήξεως. Χαρακτηριστικό αυτών των υγρών είναι το ότι το ιξώδες τους αυξάνεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες γεγονός το οποίο απαιτεί την κατανάλωση περισσότερου μηχανικού έργου από την αντλία που τα κινεί μέσα στον εναλλάκτη. Επιπλέον κριτήρια που υπεισέρχονται στην επιλογή του θερμομεταφορικού μέσου του εναλλάκτη είναι το κόστος τους και οι πιθανές περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.



Σχήμα 34: Συνοπτικός πίνακας συστημάτων ανοικτού και κλειστού τύπου

1.3.6 Μεγιστοποίηση της απόδοσης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Από τη σχέσεις που δίνουν το συντελεστή συμπεριφοράς των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας τόσο σε λειτουργία ψύξης όσο και θέρμανσης μπορούμε να βγάλουμε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με το πώς μπορούμε να βελτιώσουμε την ενεργειακή αποδοτικότητα των εξεταζόμενων συστημάτων. Οι θεωρητικοί συντελεστές συμπεριφοράς για κάθε μια από τις δύο λειτουργίες είναι:

$$\text{Λειτουργία θέρμανσης } COP_{\theta} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

$$COP_{\psi} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Λειτουργία ψύξης

Στις συμβατικές αντλίες θερμότητας αέρα – αέρα οι τιμές του COP μπορεί να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα γεγονός το οποίο οφείλεται στο σχετικά μεγάλο εύρος θερμοκρασιών αέρα μεταξύ ζεστών και ψυχρών εποχών. Αντιθέτως στις γεωθερμικές αντλίες όπου η ανταλλαγή θερμότητας γίνεται από μια πηγή σταθερής θερμοκρασίας ο συντελεστής λειτουργίας εμφανίζεται σημαντικά βελτιωμένος και σταθερός γεγονός το οποίο επιδρά θετικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Για την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερου συντελεστή συμπεριφοράς θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν εκτός από τη θερμοκρασία εδάφους και μια σειρά παραμέτρων όπως:

i. Η υγρασία του εδάφους εάν πρόκειται για σύστημα κλειστού βρόχου

Η σημασία της υγρασίας όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι καθοριστική καθώς η παρουσία της ενισχύει το ρυθμό εναλλαγής θερμότητας μεταξύ εναλλάκτη ρευστού/εδάφους. Σε κάθε εγκατάσταση επιδίωξη πρέπει να είναι είτε η εγκατάσταση του εναλλάκτη σε βάθος με ικανοποιητικό ποσοστό υγρασίας είτε η αύξηση της με τεχνικά μέσα όπου αυτό είναι οικονομικά εφικτό.

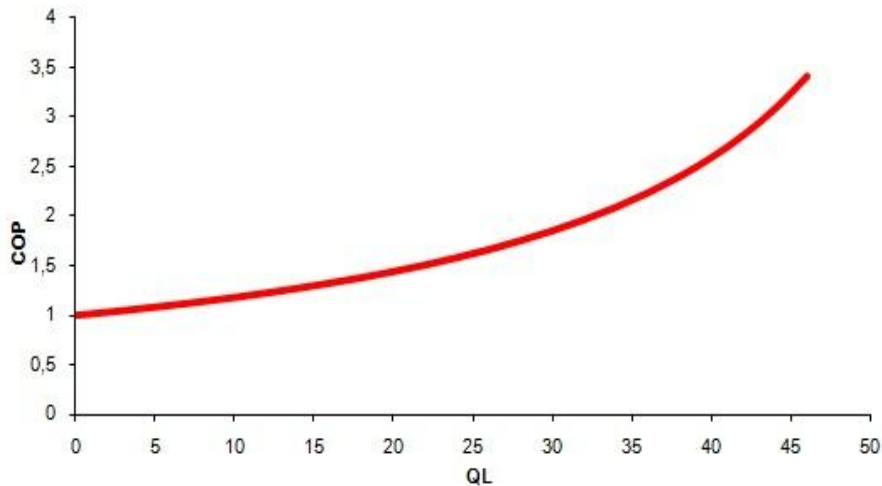
ii. Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται εκτός από την υγρασία, από παράγοντες όπως η σύσταση του και μέγεθος των πετρωμάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις ειδικά στα οριζόντια συστήματα κλειστού βρόχου ενδέχεται να χρειαστεί ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους με την τοποθέτηση ανάλογων υλικών.

Πίνακας 9: Τυπικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων εδαφικών υλικών	
Εδαφικό υλικό	Θερμική αγωγιμότητα W x m ⁻¹ x K ⁻¹
Ιζηματικά εδάφη χαμηλού πορώδους (<30%) όπως η αμμόπετρα	2.2-2.6
Χαλαζίας (με πορώδες 5% & 30%)	6.5, 2.25
Πυριγενή εδάφη, γρανίτες ασβεστόλιθοι	3.0
Σχιστόλιθος	2.9
Χαλαζίτης	5.5
Άμμος, χαλίκι, μουσκεμένη άμμος	0.77, 2.5
Πλύς	1.67
Χώμα μουσκεμένο	1.11, 1.67
Παχύρρεστο χώμα	0.91
(Η παρουσία μετάλλων ενισχύει την θερμική αγωγιμότητα των εδαφών)	Για σύγκριση Νερό = 0.6 Αέρας = 0.0252

Οι δύο προαναφερόμενοι παράγοντες επιδρούν στο ρυθμό εναλλαγής θερμότητας μεταξύ του εναλλάκτη θερμομεταφορικού ρευστού που τοποθετείται είτε στο έδαφος είτε σε υπόγειο ή επιφανειακό ταμειυτήρα νερού. Αν στις σχέσεις που δίνουν το COP αντικαταστήσουμε τις θερμοκρασίες με τους ρυθμούς εναλλαγής θερμότητας (W/m μήκους αγωγού) διαπιστώνουμε πως με

σταδιακή αύξηση του \dot{Q}_L ο COP αυξάνεται σχεδόν με εκθετικό τρόπο (σχήμα 35)



Σχήμα 35: Διάγραμμα μεταβολής του COP συναρτήσει του \dot{Q}_L

iii. Επιλογή ψυκτικού ρευστού

Η επιλογή του ψυκτικού ρευστού στις αντλίες θερμότητας ακολουθεί την βασική μεθοδολογία επιλογής ψυκτικών ρευστών που ακολουθείται και στις συμβατικές αντλίες θερμότητας. Τα κριτήρια επιλογής ταξινομούνται σε βασικές κατηγορίες που είναι τα θερμοδυναμικά, τα κριτήρια τοξικότητας, τα κριτήρια που σχετίζονται με τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς επίσης και τα οικονομικά κριτήρια. Η κάθε κατηγορία εξετάζεται ως ακολούθως (Λεβέντη, 2008):

➤ Θερμοδυναμικά κριτήρια

Κρίσιμη θερμοκρασία : Για να λειτουργεί η ψυκτική μηχανή αποτελεσματικά το ψυκτικό μέσο πρέπει να μεταβάλλεται μακριά την κρίσιμη θερμοκρασία του. Το ψυκτικό ρευστό επιλέγεται πάντοτε έτσι ώστε η κρίσιμη θερμοκρασία του να είναι πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, δηλ. $\theta_{cr} \gg \theta_c$.

Θερμοκρασία βρασμού : Προτείνεται πάντοτε η θερμοκρασία εξάτμισης του εργαζόμενου μέσου να είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία βρασμού σε κανονική πίεση, έτσι όταν $\theta_e > \theta_b$ θα είναι και $P_e > P_{atm}$ οπότε τυχόν διαρροές οδηγούν μόνο σε απώλεια ψυκτικού μέσου. Εάν οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις είναι αντίστροφες, υπάρχει κίνδυνος εισόδου υγρασίας στο ψυκτικό κύκλωμα.

Σχέση συμπίεσης : η σχέση συμπίεσης $r = \frac{P_c}{P_e}$ (7) πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, γιατί η θέρμανση του ψυκτικού μέσου κατά τη συμπίεση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο η σχέση r είναι υψηλότερη (για δεδομένη θερμοκρασία εξάτμισης και θερμοκρασία συμπύκνωσης), Γνωρίζουμε ότι για ένα τέλειο μέσο και για αδιαβατική συμπίεση έχουμε:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_c}{P_e} \left(\frac{\gamma-1}{\gamma} \right) = r \quad (8)$$

Από την προηγούμενη σχέση συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να προτιμώνται τα ψυκτικά μέσο που έχουν χαμηλό λόγο ειδικών θερμοτήτων $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ (9)

Ειδική κατ' όγκο ψυκτική ή θερμική παραγωγή : Χαρακτηρίζεται έτσι η ποσότητα ψύξης ή θέρμανσης που παράγεται ανά μονάδα όγκου ψυκτικού ρευστού (ατμών), που αναρροφάται στο συμπιεστή και δίδεται από τους τύπους:

$$\frac{q_{\psi}}{v_1} = \frac{h_1 - h_4}{v_1} \quad (10)$$

$$\frac{q_{\theta}}{v_1} = \frac{h_2 - h_3}{v_1} \quad (11)$$

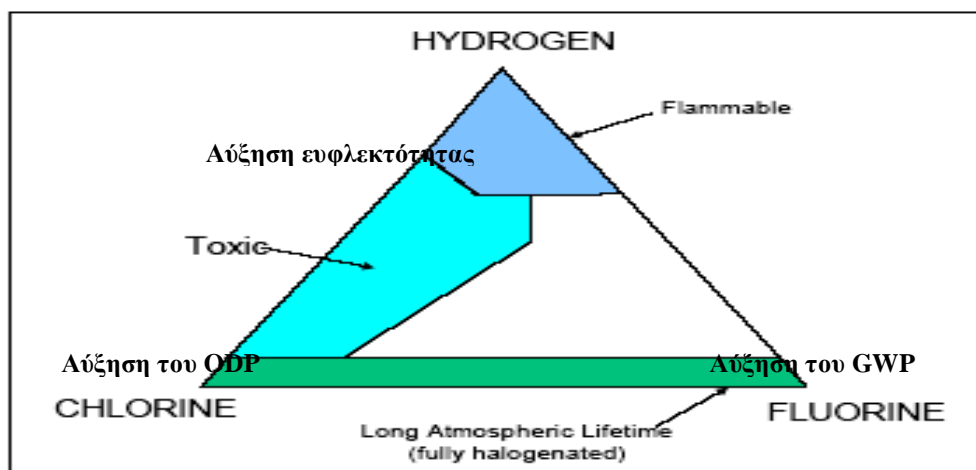
Για μια δεδομένη ψυκτική ή θερμική ισχύ της μηχανής, η παροχή όγκου του συμπιεστή θα είναι τόσο μικρότερη (άρα και το μέγεθος του συμπιεστή) όσο η ειδική κατ' όγκο ψυκτική ή θερμική παραγωγή είναι υψηλότερη. Φυσικά για να συγκρίνουμε τις ειδικές κατ' όγκο ψυκτικές ή θερμικές παραγωγές διαφόρων ψυκτικών ρευστών πρέπει να αναφερόμεθα σε ταυτόσημες συνθήκες λειτουργίας.

Συντελεστής Συμπεριφοράς: Συντελεστής Συμπεριφοράς είναι η πιο χρήσιμη παράμετρος για τον προσδιορισμό της απόδοσης, ορίζεται δε ως ο λόγος του ψυκτικού ή θερμικού αποτελέσματος προς την καταναλισκόμενη ισχύ από το συμπιεστή. Υψηλός συντελεστής συμπεριφοράς στο ψυκτικό συγκρότημα σημαίνει περισσότερη ψύξη ή θέρμανση για δεδομένη ισχύ λειτουργίας, δηλ. το σύστημα είναι οικονομικά πιο αποδοτικό. Ο συντελεστής COP δεν εκφράζεται επί τις εκατό και σπάνια είναι μικρότερος από 1 (μόνο ο COP_ψ). Για τις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές ο συντελεστής κυμαίνεται μεταξύ 2 (για συστήματα με θερμοκρασία εξάτμισης γύρω στους -40°C) και 5 (για συστήματα με θερμοκρασία εξάτμισης γύρω στους 0°C). Ο συντελεστής συμπεριφοράς μπορεί να μεταβάλλεται αισθητά αφού εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τις απαιτούμενες αλλαγές της παραγωγικής διαδικασίας. Ο ορισμός που δόθηκε πιο πάνω είναι βασικός και από τους πιο διαδεδομένους για υπολογισμούς στην βιομηχανία. Οπωσδήποτε όμως, δεν θεωρείται και πλήρης για κάθε ψυκτικό σύστημα. Η απαιτούμενη ενέργεια δεν είναι αυτή μόνο του συμπιεστή αλλά και του υπόλοιπου εξοπλισμού δηλ. των ανεμιστήρων και των αντλιών του.

➤ Κριτήρια τοξικότητας

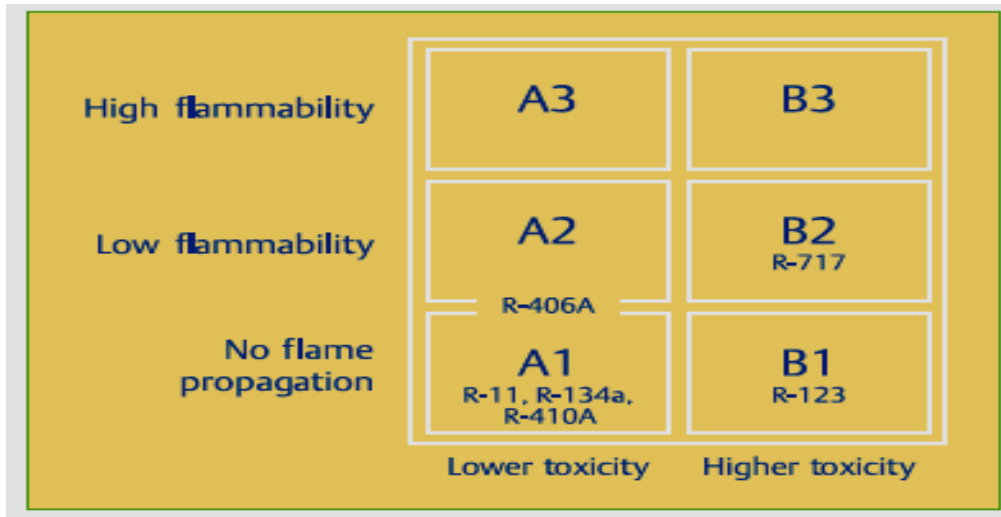
Τοξικότητα (toxicity): Έχει μεγάλη σημασία η τοξικότητα ενός ψυκτικού ρευστού όταν διαρρέυσει στο περιβάλλον. Τα αλογονοπαράγωγα δεν είναι τοξικά σε αντίθεση με ρευστά όπως η αμμωνία.

Ευφλεκτότητα (flammability): τα αλογονοπαράγωγα δεν καίγονται, ενώ αντίθετα ρευστά όπως η αμμωνία καίγονται σε υψηλές περιεκτικότητες στον αέρα.



Σχήμα 36: Σχηματική παράσταση της τοξικότητας και ευφλεκτότητας διαφόρων ψυκτικών ρευστών

(πηγή : Calm D. Didion 1997)



Σχήμα 37: Ομάδες ασφαλείας ASHRAE 34

(πηγή: Warren Beeton et al 2007)

Identification	Ingredients	Glide (°C)	GWP	Toxic/flamable
R-404A	125/143a/134a	0.50	3,260	No
R-134a	134a	0.00	1,300	No
R-410A	32/125	0.11	1,730	No
R-407C	32/125/134a	5.40	1,530	No
R-290	Propane	0.00	<20	Yes
R-717	Ammonia	0.00	1	Yes

Σχήμα 38: Αντικαταστάτες του R-22

(Πηγή: Warren Beeton et al)

➤ Κριτήρια που σχετίζονται με τα φυσικά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ψυκτικών ρευστών

Χημική σταθερότητα : Εξαρτάται από τις συνθήκες και τη φύση των υλικών που έρχονται σε επαφή με το ψυκτικό ρευστό.

Επίδραση στα μέταλλα : Τα αλογονοπαράγωγα αντιδρούν με το μαγνήσιο σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 25, πράμα που δε συμβαίνει στα κράματα αλουμινίου.

Επίδραση του στα καουτσούκ, πλαστικές ύλες και ελαστομερή : Τα αλογονοπαράγωγα ασκούν στα πλαστικά υλικά διάφορες αλλοιώσεις που μπορεί να είναι από ένα απλό φούσκωμα μέχρι και μερική διάλυση τους.

Δράση του στα ψυκτέλαια : Η δράση αυτή μπορεί να είναι φυσική (π.χ. ικανότητα μίξης με το λάδι), ή χημική (π.χ. αποφεύγεται η χρήση λαδιών που σαπωνοποιούνται με κάποιο ψυκτικό ρευστό).

Συμπεριφορά παρουσία υγρασίας : Τα αλογοναπαράγωγα με παρουσία νερού, σχηματίζουν ένυδρα άλατα του τύπου $R \cdot nH_2O$ που επικάθονται σε στερεή μορφή στα σημεία χαμηλών θερμοκρασιών και μπορούν να προκαλέσουν φράξιμο, κύρια στις βαλβίδες.

Συμπεριφορά και ανίχνευση διαρροών : Οι διαρροές είναι πιο συχνές στα θερμά κλίματα λόγω των υψηλότερων πιέσεων συμπίκνωσης. Τα αλογονωμένα ψυκτικά ρευστά ανιχνεύονται δυσκολότερα. Η επίβλεψη και ο έλεγχος της στεγανότητας των εγκαταστάσεων πρέπει να είναι συνεχής, αφενός για την καλή λειτουργία της, αφετέρου λόγω του κόστους των ψυκτικών ρευστών.

➤ Οικονομικά κριτήρια

Κόστος : Πρόκειται για κριτήριο μεγάλης σημασίας. Το R12 είναι το αμέσως ακριβότερο ψυκτικό ρευστό με τιμή 2 έως 3 φορές υψηλότερη και μετά ακολουθούν R22, R25 κτλ.

Διαθεσιμότητα : Το ψυκτικό ρευστό που βρίσκεται ευκολότερα και στις μικρές πόλεις είναι το R12 ενώ η αμμωνία διατίθεται σε αποθήκες μεγάλων πόλεων.

1.3.7 Χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα και θερμομεταφορικά ρευστά

Τα πλέον διαδεδομένα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι το R17a, το R134a, το R407c, το R407A και το R410. Τα ρευστά αυτά πληρούν το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και είναι προσιτά σε λογικό κόστος. Τα θερμομεταφορικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στους εναλλάκτες κλειστού βρόχου είναι συνήθως άλμες, ή γλυκόλες όπως η αιθυλενο-γλυκόλη και η προπυλενο-γλυκόλη. Σε ορισμένες εφαρμογές χρησιμοποιείται επίσης το χλωριούχο ασβέστιο, το οξικό κάλιο κ.α.. Βασικό κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου ρευστού στον εναλλάκτη κλειστού βρόχου είναι η αποφυγή πήξεως του σε περίπτωση που επικρατούν ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό στις ψυχρές περιοχές που η εγκατάσταση του κλειστού βρόχου αποφασίζεται να γίνει σε σχετικά χαμηλό βάθος, θα πρέπει το ρευστό που επιλέγεται να έχει χαμηλότερο σημείο πήξεως από τη χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να παρατηρηθεί στο συγκεκριμένο βάθος.

1.3.8 Το πρόβλημα της ακριβούς διαστασιολόγησης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

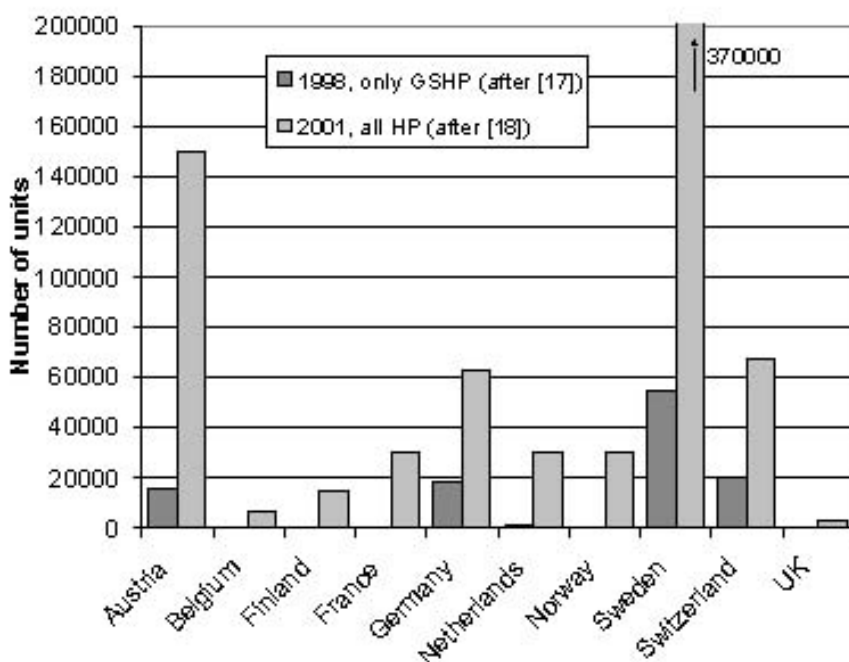
Από τη στιγμή που οι βασικές αρχές σχεδιασμού ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας είναι γνωστές το πρόβλημα που τίθεται είναι το πώς θα διαστασιολογηθεί σωστά ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης με αποτελεσματικό και κυρίως με οικονομικό τρόπο.

Μπορούμε να θεωρήσουμε πως το πρόβλημα της ακριβούς διαστασιολόγησης μιας γεωθερμικής αντλίας περιλαμβάνει δύο αλληλένδετα σκέλη. Στο πρώτο σκέλος έχουμε τον προσδιορισμό των θερμικών/ψυκτικών αναγκών και στο δεύτερο την επιλογή του τύπου του γεωεναλλάκτη μαζί με τη σχετική διαστασιολόγηση του.

1.3.9 Εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

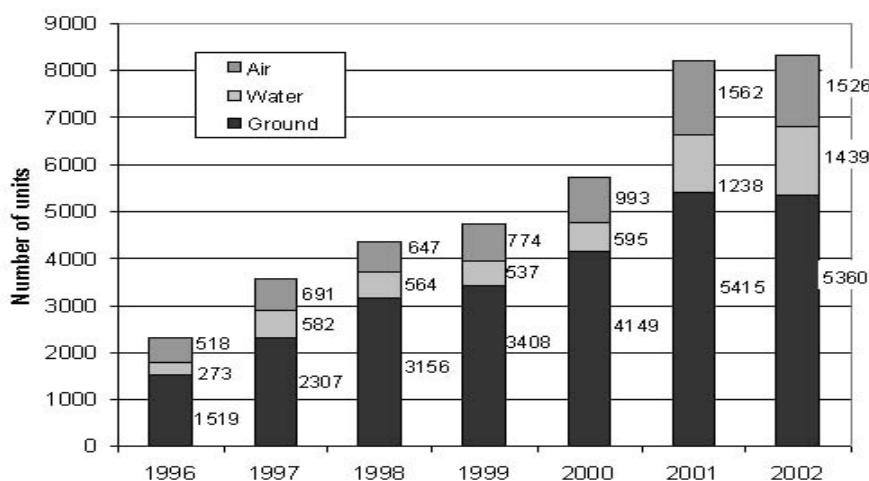
Η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ξεκίνησε πριν από σχεδόν 40 χρόνια. Οι πρώτες εφαρμογές τους ξεκίνησαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 1946 και συγκεκριμένα στην Washington όπου έγινε η πρώτη επιτυχής επίδειξη ανάλογου συστήματος. Είναι χαρακτηριστικό ότι πολλά από τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που εγκαταστάθηκαν την εποχή εκείνη στις Η.Π.Α. εξακολουθούν να λειτουργούν έως και σήμερα. Από τη δεκαετία του 1950 και έπειτα η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας άρχισε να διαδίδεται τόσο σε οικιστικές όσο και βιοτεχνικές, αγροτικές καθώς και βιομηχανικές εφαρμογές.

Η τάση που επικρατεί βρίσκει τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ως μια πολύ πρόσφορη λύση σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους όπου τα συστήματα αέρα/ αέρα συναντούν πολλές δυσκολίες στη λειτουργία τους όταν επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 39: Κατανομή εγκαταστημένων γεωθερμικών αντλιών σε διάφορα Ευρωπαϊκά κράτη (πηγή Sanner 1999 & Donnerbauer 2003)

Ο βελτιωμένος συντελεστής συμπεριφοράς σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά οφέλη αποτελούν δύο ισχυρά κριτήρια που μπορούν να δώσουν περαιτέρω ώθηση στη χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε διάφορες εφαρμογές.



Σχήμα 40: Κατανομή πωλήσεων αντλιών θερμότητας νερού, αέρα και εδάφους στη Γερμανία (πηγή: IZW e.V., Hannover and BWPe.V., Munich)

Είναι χαρακτηριστικό πως σε ορισμένες χώρες όπως στην Ελβετία δίδονται κίνητρα για τη χρήση των γεωθερμικών αντλιών καθώς έχει αναγνωρισθεί η συμβολή τους στον περιορισμό του κόστους ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος.

1.3.10 Εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε αγροτικές χρήσεις

Στον αγροτικό τομέα, η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχει αποδειχθεί μια πρόσφορη λύση λόγω του χαμηλού ενεργειακού κόστους. Μερικές ενδεικτικές εφαρμογές τους έχουν ως ακολούθως:

- Θέρμανση/ψύξη θερμοκηπίων

Σε ορισμένες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις έχει διαπιστωθεί πως με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας το κόστος θέρμανσης μπορεί να μειωθεί έως και 50%. Αυτό οφείλεται στον σχετικά υψηλό συντελεστή συμπεριφοράς των γεωθερμικών αντλιών σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που δίδεται για αγροτικές χρήσεις.

- Καλλιέργεια μανιταριών

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή η χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα αποδοτική υποβοηθώντας ένα σύστημα ψύξης/θέρμανσης συμβατικού τύπου.

- Θέρμανση εδάφους

Οι γεωθερμικές αντλίες εδάφους έχουν χρησιμοποιηθεί στην απομάκρυνση μέρους της υγρασίας του χώματος που χρησιμοποιείται σε γλάστρες. Στην Ελλάδα εκτιμάται πως με την εμπειρία που υπάρχει σε εφαρμογές όπως η πρωϊμση σπαραγγιών, η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα αποδοτική.

- Κτηνοτροφικές μονάδες

Μερικές κτηνοτροφικές μονάδες στις οποίες μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι τα βουστάσια, τα χοιροστάσια και τα πτηνοτροφεία πάχυνσης

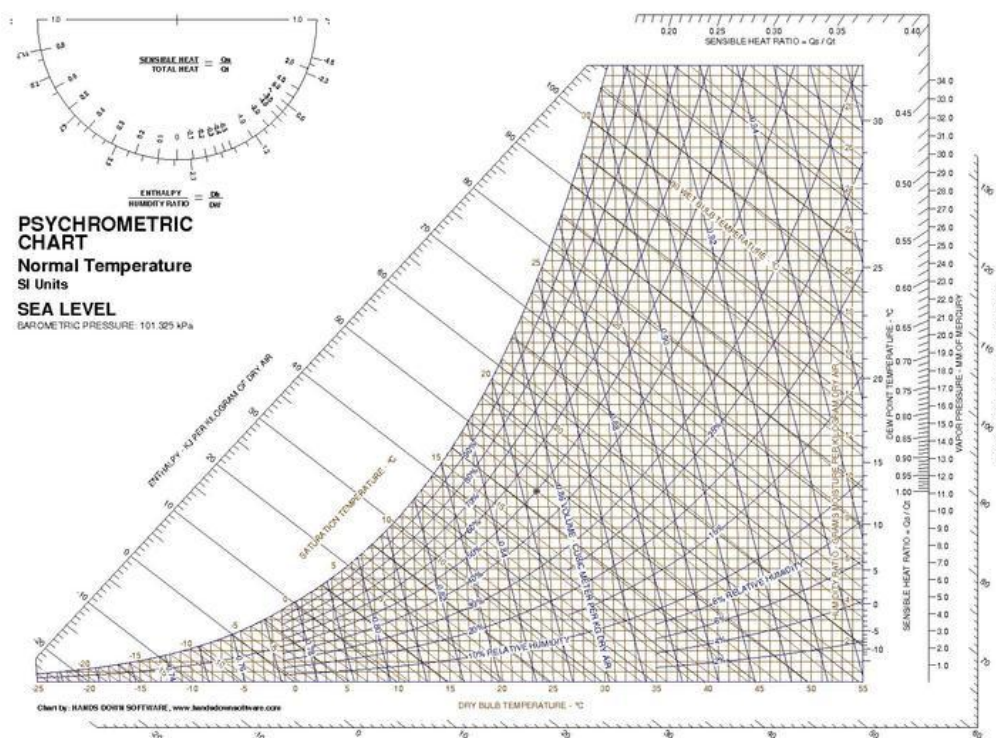
- Ξήρανση αγροτικών προϊόντων

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να θερμάνουν αέρα σε θερμοκρασία 35 – 45°C, η οποία είναι κατάλληλη για ξήρανση σειράς προϊόντων όπως η σόγια, το ρύζι, η ξυλεία, τα λαχανικά και διάφοροι καρποί. Σε αρκετές περιπτώσεις η ξήρανση αγροτικών προϊόντων σε ήπιες θερμοκρασίες βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα του αποξηραμένου προϊόντος.

1.4 Βασικές έννοιες σχετικές με το κλίμα

Η γνώση των κλιματολογικών συνθηκών κάθε περιοχής αποτελεί στοιχείο ουσιώδους σημασίας στην εξέταση κάθε ενεργειακού συστήματος το οποίο προορίζεται για τη διαμόρφωση συνθηκών διαβίωσης έμβιων οργανισμών. Σε κάθε είδους διερεύνηση σχετικά με την επιλογή και την διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι απαραίτητη η γνώση στοιχείων όπως η θερμοκρασία ξηρού βολβού (hot bulb temperature) η θερμοκρασία υγρού βολβού (dry bulb temperature) καθώς επίσης και η γνώση της σχετικής υγρασίας του αέρα (Relative Humidity). Επιπλέον στοιχεία τα οποία λαμβάνονται υπ' όψιν είναι η ηλιακή ακτινοβολία, οι βροχοπτώσεις καθώς και η ταχύτητα του ανέμου.

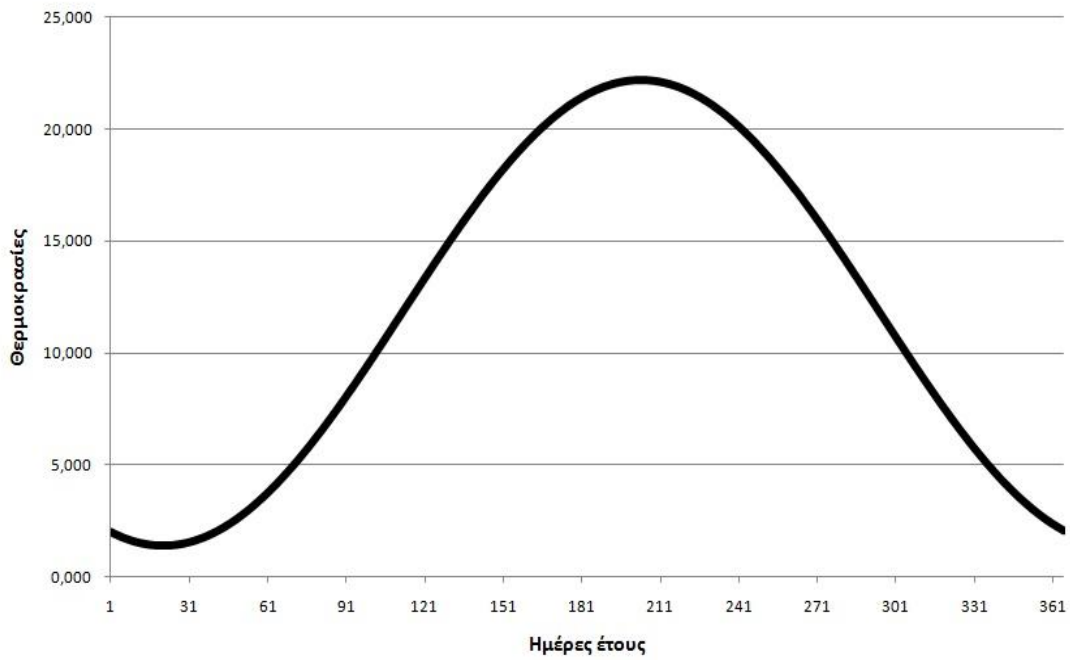
Κάθε έργο σχετικό με την διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης θα πρέπει να βασίζεται στη χρήση ψυχομετρικών χαρτών καθώς έτσι δίδεται η δυνατότητα ολοκληρωμένων υπολογισμών στους οποίους συνεκτιμώνται τόσο τα αισθητά όσο και τα λανθάνοντα φορτία του ατμοσφαιρικού αέρα.



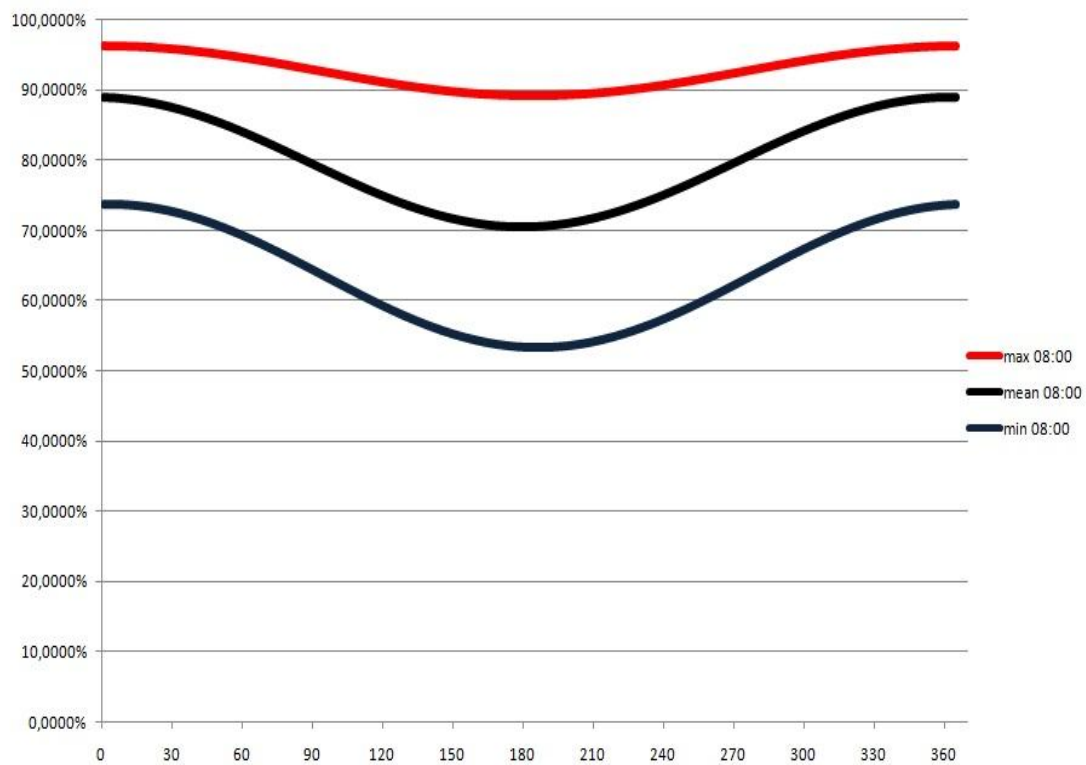
Σχήμα 41: Ψυχομετρικό διάγραμμα σε μονάδες SI

1.4.1 Η περιοδικότητα των βασικών κλιματικών δεδομένων

Είναι γνωστό ότι τα βασικά κλιματικά δεδομένα όπως η θερμοκρασία του αέρα και η και η υγρασία του αέρα παρουσιάζουν περιοδικό χαρακτήρα, γεγονός το οποίο έχει επιτρέψει την αναπαράστασή τους με μαθηματικές συναρτήσεις. Ειδικότερα σε ότι αφορά τη θερμοκρασία και την υγρασία η αναπαράστασή τους σε περίοδο έτους έδειξε ότι μπορούν να προσεγγιστούν σε ικανοποιητικό βαθμό από ημιτονοειδείς συναρτήσεις. Το γεγονός αυτό έδωσε τη δυνατότητα «αλγεβρικής διατύπωσης» της ετήσιας μεταβολής τόσο της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας μέσω εξισώσεων βάσει των οποίων μπορεί να γίνει πρόβλεψη των αντίστοιχων μεγεθών για κάθε μέρα στη διάρκεια ενός τυπικού έτους. Η πρόβλεψη των σχετικών μεγεθών γίνεται μέσω κανόνων αριθμητικής ανάλυσης και αποτελεί σημαντικό εργαλείο σε κάθε μελέτη σχετική με ενεργειακά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

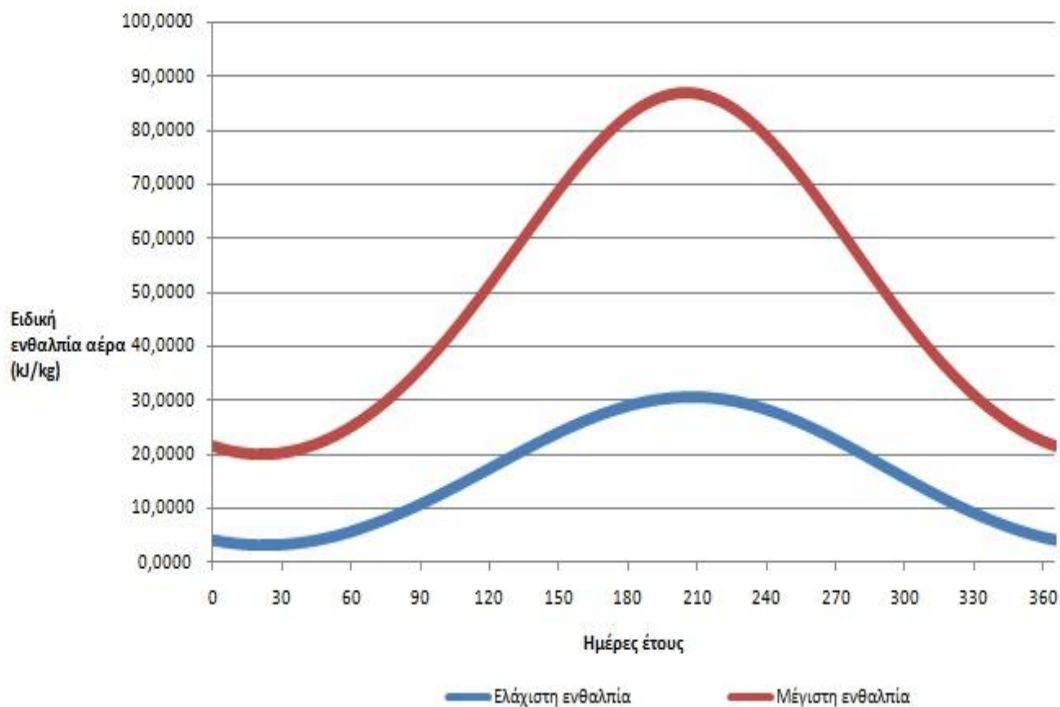


Σχήμα 42: Κατανομή θερμοκρασίας αέρα στη διάρκεια ενός έτους



Σχήμα 43: Κατανομή σχετικής υγρασίας στη διάρκεια ενός έτους

Θα πρέπει να αναφερθεί πως η περιοδικότητα που χαρακτηρίζει τα δύο βασικά κλιματικά δεδομένα παρατηρείται και στα ψυχομετρικά δεδομένα όπως τη θερμοκρασία υγρού βολβού την ειδική ενθαλπία του αέρα καθώς και τον ειδικό όγκο.



Σχήμα 44: Κατανομή ειδικής ενθαλπίας ατμοσφαιρικού αέρα στη διάρκεια του έτους

1.4.2 Βασικές βιβλιογραφικές αναφορές κλιματικών δεδομένων Ελληνικής Επικράτειας

Σε ότι αφορά την Ελληνική επικράτεια, το 1984 και 1985 δημοσιεύτηκαν αντίστοιχα οι εργασίες των Δ.Α. Κουρεμένου και Κ.Α Αντωνόπουλου με τίτλους «Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά 35 Ελληνικών πόλεων» και «Η σχετική υγρασία σε 40 περιοχές της Ελλάδας». Οι εργασίες αυτές έδωσαν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια του έτους και βασίστηκαν σε μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία συνελλέγησαν μεταξύ των δεκαετιών 1950 – 1970. Το 1985 το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος εξέδωσε την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2425/86 με τίτλο «Εγκαταστάσεις σε κτήρια: Στοιχεία υπολογισμού φορτίων κλιματισμού κτιριακών χώρων».

Την περίοδο κατά την οποία εκπονείται η παρούσα εργασία (2010) έχει ήδη ολοκληρωθεί το σχέδιο της νέας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. με τίτλο «Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών». Στόχος της νέας αυτής Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. είναι να αρχικά ο προσδιορισμός των κλιματολογικών συνθηκών για διάφορες ελληνικές περιοχές όπως παρατηρούνται και καταγράφονται μέχρι σήμερα. Μέσα από τις κλιματολογικές συνθήκες θα καθορίζονται στην συνέχεια τα κλιματολογικά δεδομένα που απαιτούνται για την ορθή διαστασιολόγηση των κτιριακών εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, καθώς επίσης και για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

1.5 Χοιροστάσια

Η αξιοποίηση των γεωθερμικών αντλιών στην κτηνοτροφία αποτελεί πεδίο το οποίο στην Ελλάδα δεν έχει διερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό ώστε να επιτρέψει την εξαγωγή συμπερασμάτων και την ορθολογική λήψη αποφάσεων γύρω από την αξιοποίησή τους στο συγκεκριμένο κλάδο δραστηριότητας. Με δεδομένο ότι η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην εξέταση των δυνατοτήτων

εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών σε χοιροτροφία, κρίνεται σκόπιμο να προηγηθεί αναφορά στα γενικά χαρακτηριστικά της χοιροτροφίας και τις ειδικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής και εκτροφής χοίρων.

1.5.1 Επιχειρηματική οργάνωση και ορθολογική χρήση ενέργειας στα σύγχρονα χοιροτροφία

Από το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα και μετά παρατηρήθηκε μια σταδιακή μεταβολή στην εκτροφή χοίρων από την παραδοσιακή «οικογενειακού τύπου» εκμετάλλευση στην «βιομηχανική» (Παναγάκης, 2007). Βασικό χαρακτηριστικό της βιομηχανικής χοιροτροφίας είναι η προσπάθεια αριστοποίησης όλων των παραμέτρων που συντελούν στην ομαλή και όσο το δυνατόν καλύτερη ανάπτυξη των χοίρων με στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους εκμετάλλευσης των αντίστοιχων μονάδων. Μεταξύ των παραμέτρων λειτουργίας ενός σύγχρονου χοιροστασίου, η ορθολογική χρήση της ενέργειας αποτελεί σήμερα ένα ανοικτό πεδίο έρευνας στο οποίο κάθε προσπάθεια βελτίωσης μπορεί να συντελέσει ακόμα περισσότερο στη βελτίωση της ανάπτυξης των χοίρων και κατ' επέκταση στην αύξηση του περιθωρίου κέρδους των μονάδων.

Το ζήτημα της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας σε μια σύγχρονη χοιροτροφική μονάδα περιέχει πολλές πτυχές οι οποίες στην Ελλάδα τουλάχιστον δεν έχουν ακόμα διερευνηθεί πλήρως και με τρόπο που να καθίσταται δυνατή η εξαγωγή βάσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την επιλογή κατασκευαστικών λύσεων και τρόπων λειτουργίας τα οποία θα σχετίζονται με συγκεκριμένο ενεργειακό καθεστώς. Οι μέχρι τώρα επικρατούσες τάσεις θέλουν την επιλογή λύσεων να γίνεται με τρόπο σχετικά απλοϊκό χωρίς ενδελεχή τεχνική και οικονομική ανάλυση των εκάστοτε επιλογών. Ωστόσο παρατηρείται σταδιακή στροφή προς την κατεύθυνση που θέλει τις επιλογές που σχετίζονται με τα ενεργειακά ζητήματα των χοιροστασίων να γίνονται αφού πρώτα ληφθούν υπ' όψιν και αναλυθούν μια σειρά δεδομένων τα οποία αφορούν το κλίμα των διαφόρων περιοχών εγκατάστασης των μονάδων, τις ανάγκες των ζώων, τις παραγωγικές συνθήκες, τη νομοθεσία και τα διάφορα κίνητρα που δίνονται για τον εξορθολογισμό της ενέργειας στον αγροτικό τομέα.

1.5.2 Βασικοί παράγοντες λειτουργίας σύγχρονων χοιροτροφικών μονάδων

1.5.2.1 Κρίσιμα στάδια ανάπτυξης χοίρων

Από τις έρευνες που έχουν γίνει στο χώρο της χοιροτροφίας έχει διαπιστωθεί πως τα κρίσιμα στάδια από τα οποία εξαρτάται καθοριστικά η ποιότητα των ζώων είναι τα στάδια πρώτης ανάπτυξης προπάχυνσης και πάχυνσης (Παναγάκης, 2007). Μεταξύ των σταδίων αυτών, εκείνο της πρώτης ανάπτυξης είναι το κρισιμότερο καθώς σε αυτό τα ζώα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευπάθεια. Τα δύο επόμενα στάδια χαρακτηρίζονται από μικρότερη κρισιμότητα μιας και τα ζώα έχουν ήδη αποκτήσει τις δυνατότητες που τους επιτρέπει να διαβιώσουν ομαλά και να προσαρμοστούν στις επικρατούσες συνθήκες.

1.5.2.2 Μικροπεριβάλλον

Το μικροπεριβάλλον ενός χοιροστασίου βιομηχανικού τύπου και ειδικότερα των χώρων που συντελείται η πρώτη ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα καθοριστικό. Η ευαισθησία που παρουσιάζουν τα νεαρά ζώα ιδιαίτερα μετά τον απογαλακτισμό τους, επιβάλλει τη λήψη μέτρων ρύθμισης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας καθώς και σύστασης του αέρα. Κάθε μια από αυτές τις επιμέρους παραμέτρους εξετάζεται στις επόμενες παραγράφους.

1.5.2.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του χώρου στέγασης των χοιριδίων πρώτης ανάπτυξης πρέπει να κυμαίνεται μέσα σε συγκεκριμένο όριο το οποίο ξεκινά από τους 30° C και μειώνεται σταδιακά μέχρι τους 20° C όταν τα ζώα εισέρχονται στο στάδιο της προπάχυνσης. Η διατήρηση της θερμοκρασίας μέσα σε καθορισμένα όρια προστατεύει τα χοιρίδια από κρυολογήματα και περιορίζει τη θνησιμότητα τους.

1.5.2.4 Σχετική υγρασία

Ο τρόπος με τον οποίο η σχετική υγρασία επιδρά στην ανάπτυξη των νεαρών χοιριδίων δεν έχει αποσαφηνισθεί πλήρως. Ωστόσο σύμφωνα με τις επικρατούσες τάσεις η σχετική υγρασία μέσα στους χώρους πρώτης ανάπτυξης πρέπει να βρίσκεται μεταξύ της ζώνης του 50%-60%. Το εύρος αυτό θεωρείται ανεκτό από τα ζώα ενώ παράλληλα περιορίζει την ανάπτυξη επιβλαβών μικροβίων τα οποία μπορεί να καταστούν επιζήμια για την υγεία των ζώων.

1.5.2.5 Ποιότητα αέρα

Ο αέρας στους χώρους στέγασης των χοιριδίων πρέπει να ελέγχεται συνεχώς ώστε να γίνεται η απαραίτητη απομάκρυνση των επιβλαβών στοιχείων τα οποία σχηματίζονται από τις εκπνοές αλλά και την αποσύνθεση της κόπρου. Το πλέον επικίνδυνο στοιχείο τόσο για τα ζώα όσο και για το προσωπικό που εργάζεται στα χοιροστάσια, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Επιπλέον στοιχεία τα οποία πρέπει επίσης να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα, είναι η αμμωνία (NH₃), το μεθάνιο (CH₄) και το υδρόθειο (H₂S). Επιπλέον στοιχεία προς περιορισμό είναι οι διάφορες οσμές καθώς και τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια που σχηματίζονται από την κίνηση των ζώων και τη διανομή του σιτηρεσίου. Ένα επιπλέον στοιχείο το οποίο το οποίο πρέπει να ελέγχεται είναι και η ταχύτητα του αέρα μέσα στους χώρους στέγασης. Η ενδεχόμενη αύξηση της μπορεί να δημιουργήσει ρεύματα τα οποία προκαλούν κρυολογήματα που καταπονούν την υγεία των στεγαζόμενων ζώων.

1.5.2.6 Διαρρύθμιση

Η διαρρύθμιση των χώρων στέγασης των νεαρών χοιριδίων περιλαμβάνει τόσο την επιλογή αποτελεσματικής χωροθέτησης όσο και την επιλογή δομικών στοιχείων τα οποία θα πληρούν μια σειρά προϋποθέσεων. Οι βασικότερες από αυτές είναι:

- Αποφυγή τραυματισμών
- Άνετη διαβίωση με βάση την ηθολογία των χοίρων
- Ευκολία καθαρισμού
- Ευκολία διαχείρισης της κόπρου
- Ευκολία επισκεψιμότητας από το προσωπικό της μονάδας
- Περιορισμός εστιών που υποβοηθούν την ανάπτυξη μικροβίων
- Περιορισμός ενεργειακών δαπανών

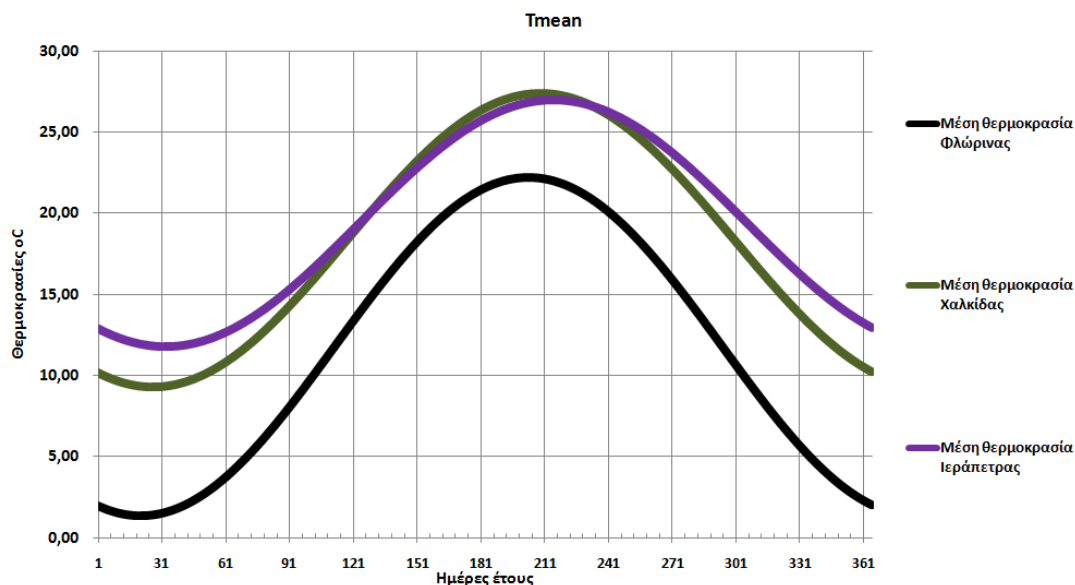
Λαμβανομένου υπ' όψιν σε κάθε περίπτωση και του κόστους εγκατάστασης, η διαρρύθμιση των χώρων στέγασης των νεαρών χοιριδίων ακολουθεί ορισμένους κανόνες οι οποίοι στοχεύουν στην όσο το δυνατόν καλύτερη ανάπτυξη των ζώων και κατ' επέκταση στην μεγιστοποίηση του περιθωρίου κέρδους των εκάστοτε χοιροτροφικών μονάδων.

Σειρά ερευνών και εμπειρικών παρατηρήσεων έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα πως παράμετροι που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους πρέπει να τελούν υπό συνεχή έλεγχο και να βρίσκονται μέσα σε καθορισμένα όρια ειδικότερα στα κρίσιμα στάδια της ανάπτυξης των ζώων όπως το αρχικό ή το στάδιο πρώτης ανάπτυξης καθώς και εκείνο τη πάχυνσης.

ΜΕΡΟΣ 2^ο - ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ

2.1 Εισαγωγή – Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος ψύξης/θέρμανσης που χρησιμοποιεί γεωθερμική αντλία θερμότητας και καλείται να υποστηρίξει τρεις χοιροτροφικές μονάδες οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες σε τρεις αντίστοιχα περιοχές της Ελλάδας. Οι περιοχές αυτές είναι η Φλώρινα, η Χαλκίδα και η Ιεράπετρα. Παράλληλα με το σχεδιασμό επιδιώκεται η οικονομική αξιολόγηση των σχετικών εγκαταστάσεων, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο συμφέρουσα είναι από οικονομικής πλευράς η επένδυση σε ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε χοιροτροφική μονάδα.



Σχήμα 45: Κατανομή μέσης θερμοκρασίας ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του έτους στις πόλεις της Φλώρινας, Χαλκίδας και Ιεράπετρας

2.1.1 Γενική έρευνα σε θέματα γεωθερμικών αντλιών και αβαθούς γεωθερμίας

2.1.1.1 Ιστορική ανάδρομη

Οι πρώτες συστηματικές εφαρμογές των γεωθερμικών αντλιών ξεκινούν στις Η.Π.Α. τη δεκαετία του 1950. Στις μετέπειτα δεκαετίες η ανάπτυξη τους επεκτείνεται σταδιακά και σε άλλες χώρες πέραν των Η.Π.Α. όπως ο Καναδάς, η Ελβετία, η Γερμανία, η Σουηδία και η Νέα Ζηλανδία. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των γεωθερμικών αντλιών συμβαδίζει αλλά και ενισχύεται από το ερευνητικό έργο πολλών επιστημόνων αλλά και τεχνικών, τόσο σε ατομικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο φορέων και οργανισμών. Ειδικότερα κατά τις δεκαετίες του 1990 και του 2000, η ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ενισχύει σημαντικά τις ερευνητικές προσπάθειες καθώς ολοένα και μεγαλύτερος αριθμός ερευνητών διαθέτει δυνατότητα χρήσης εύκολων σχετικά και προσιτών οικονομικά λογισμικών, τα οποία διευκολύνουν τους υπολογισμούς που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση.

2.1.1.2 Ερευνητικό έργο σε επίπεδο φορέων και οργανισμών

Σε επίπεδο οργανισμών, το 1987 ιδρύεται στις Η.Π.Α. η International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA) με στόχο την έρευνα και ανάπτυξη των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της αβαθούς γεωθερμίας και των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Η IGSHPA έχει πραγματοποιήσει σειρά μελετών, ενώ έχει δημοσιεύσει από το 1988, εγχειρίδια σχετικά με την μελέτη και το σχεδιασμό διαφόρων συστημάτων γεωθερμικών αντλιών τόσο για οικιστικές όσο και για βιομηχανικές εφαρμογές.

Ανάλογοι φορείς δραστηριοποιούνται και σε άλλες χώρες στις οποίες υπάρχει ανάπτυξη στη χρήση των γεωθερμικών αντλιών όπως η Ground Source Heat Pump Association στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Spanish Geothermal Technology Platt στην Ισπανία, η Canadian Geoexchange Coalition στον Καναδά κλπ. Αξίζει να αναφερθεί πως στον Καναδά η Υπηρεσία Φυσικών Πόρων (Natural Resources of Canada) έχει αναπτύξει το λογισμικό RETScreen International το οποίο αναλύει συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας. Ανάμεσα στις δυνατότητες του RETScreen είναι και εκείνη που αφορά την ανάλυση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης με τη χρήση γεωθερμικής αντλίας. Το συγκεκριμένο πεδίο του λογισμικού όπως και όλο το πακέτο του RETScreen συνοδεύεται από πλούσιο βιβλιογραφικό υλικό στο οποίο συγκεντρώνονται χρήσιμοι τύποι υπολογισμού καθώς και τεχνικές πληροφορίες οι οποίες συνθέτουν ένα πολύτιμο βοήθημα τόσο για πρακτικές εφαρμογές όσο και για έρευνα στον τομέα των γεωθερμικών αντλιών (RETScreen International, 2005). Το πακέτο του RETScreen λειτουργεί σε περιβάλλον Windows MS Excel και διατίθεται δωρεάν. Παρά τις σημαντικές δυνατότητες του λογισμικού, η αξιοπιστία του αποτελεί θέμα προς συζήτηση καθώς εκφράζονται απόψεις που αναφέρουν πως η δομή του προγράμματος δεν είναι τέτοια ώστε να εκτελέσει τους απαιτούμενους υπολογισμούς με την ίδια ακρίβεια σε κάθε περιοχή της υφελίου.

Στην Ελλάδα, ζητήματα σχετικά με την αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας και την ανάπτυξη γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν εξετασθεί από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μέσω της συμμετοχής του στο διεθνές έργο Ground Reach. Το συγκεκριμένο έργο επικεντρώθηκε στη μελέτη ζητημάτων σχετικά με την ανάπτυξη των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στον οικιστικό τομέα (ΚΑΠΕ, 2007).

2.1.2.3 Ερευνητικό έργο σε ατομικό/ακαδημαϊκό επίπεδο

Σε ατομικό επίπεδο, σημαντικό ερευνητικό έργο πάνω στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχει παρουσιαστεί από τους S. Kavanaugh, K. Rafferty, L. Rybach και B. Sanner. Ο Kavanaugh έχει επικεντρώσει τις μελέτες του σε προσομοιώσεις γεωεναλλακτών, στις εφαρμογές των γεωθερμικών αντλιών σε εμπορικές χρήσεις, καθώς και στις μελέτες των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους. (Kavanaugh, 2001) (Kavanaugh & Calvert, Performance of ground source heat pumps in North Alabama, 1995) (Kavanaugh & Rafferty, 1997)

Ανάλογες είναι και οι μελέτες του Rafferty οποίος μεταξύ άλλων ασχολήθηκε με την ταξινόμηση των πληροφοριών που αφορούν γεωλογικά δεδομένα εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών στις Η.Π.Α., καθώς και σε θέματα που αφορούν τα συστήματα ανοικτού βρόχου (Rafferty, 2000a) (Rafferty, Design Aspects of Commercial Open Loop Heat Pump Systems, 2000c). Οι Rybach και Sanner πραγματοποίησαν έρευνα σε θέματα ανάπτυξης γεωθερμικών αντλιών καθώς και στις τάσεις που έχουν παρατηρηθεί κυρίως στην Ευρώπη σε θέματα κόστους των σχετικών συστημάτων. (Rybach & Sanner, 2000). Ανάμεσα στις ερευνητικές προσπάθειες αξίζει να αναφερθεί εκείνη των Hepbasli και Akdemir από το πανεπιστήμιο της Σμύρνης, η οποία πραγματοποίησαν τόσο «Ενεργειακή όσο και «Εξεργειακή» ανάλυση της λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών. (Hepbasli & Akdemir, 2003)

Στην Ελλάδα η σημαντική προσπάθεια έγινε από τους Μ. Βραχόπουλο και Ι. Παπαγεωργάκη οι οποίοι τη δεκαετία του 1990 πραγματοποίησαν μετρήσεις θερμοκρασίας υπεδάφους στην περιοχή Αττικής με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την αξιοποίηση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. (Βραχόπουλος & Παπαγεωργάκης, 1998)

2.1.2 Ειδική έρευνα σε θέματα αξιοποίησης της γεωθερμίας στον κλιματισμό χοιροστασίων

Στο χώρο των χοιροστασίων υπάρχουν σημαντικές ερευνητικές εργασίες σχετικές με ζητήματα διαμόρφωσης μικροκλίματος και συνθηκών στέγασης ωστόσο δεν διαπιστώνεται κάποια συστηματική

προσπάθεια σε ζητήματα εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών στο συγκεκριμένο τύπο αγροτικών κτιρίων.

Από τις έρευνες σε ζητήματα διαμόρφωσης μικροκλίματος ξεχωρίζουν οι εργασίες των Π. Αξαόπουλου και Π. Παναγάκη, καθώς και εκείνες της ομάδας του M. Lamberet η οποία επικεντρώθηκε στην συγκριτική αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μέσα σε περιβάλλον χοιροστασίου. Οι σχετικές εργασίες είναι: (Panagakis, Bucklin, Walker, Jones, & Combs, 1989) (Panagakis, Kyritsis, Tambouratzis, & Papadopoulos, 1991) (Panagakis P. , Kyritsis, Papadopoulos, & Tambouratzis, 1992) (Panagakis & Axaopoulos, Comparison of two modeling methods for the prediction of degree-hours and heat-stress likelihood in a swine building, 2004) (Panagakis & Axaopoulos, Simulation comparison of evaporative pads and fogging on air temperature inside a growing swine building) (Lambert, Lemay, Barber, Growe, & Chenard, 2001).

2.2 Υλικά - Μεθοδολογία - Παραδοχές

Η μέθοδος που ακολουθείται για το σχεδιασμό του συστήματος περιλαμβάνει δύο βασικούς άξονες που έχουν ως εξής:

1. Διερεύνηση κλιματικών και εδαφικών συνθηκών

- i. Στο στάδιο αυτό εξετάζονται τα κλιματικά δεδομένα των τριών περιοχών που έχουν επιλεγεί για την εγκατάσταση των χοιροστασίων. Συγκεκριμένα προσδιορίζονται οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες χειμώνα και οι μέσες μέγιστες θέρους όπως επίσης και οι αντίστοιχες τιμές σχετικής υγρασίας για κάθε περιοχή. Παράλληλα υπολογίζονται τα ψυχομετρικά δεδομένα των δυσμενέστερων κλιματικά περιόδων του έτους τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος, για κάθε περιοχή
- ii. Υπολογίζεται η θερμοκρασία του εδάφους σε συνδυασμό με το βάθος για κάθε περιοχή.

2. Ενεργειακοί υπολογισμοί

- i. Επιλέγεται το στάδιο ανάπτυξης χοιριδίων στο οποίο καλούμαστε να εφαρμόσουμε το εξεταζόμενο σύστημα, το οποίο είναι εκείνο της πρώτης ανάπτυξης. Στο στάδιο αυτό τα χοιρίδια εισάγονται σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών με βάρος 7kg περίπου. Ο στόχος που τίθεται είναι να στεγαστούν στο συγκεκριμένο στάδιο για 5 εβδομάδες, μέχρι να αποκτήσουν βάρος περίπου 30kg.
- ii. Επιλέγεται η οργάνωση του χοιροστασίου και συγκεκριμένα εκείνη που αφορά το στάδιο πρώτης ανάπτυξης. Η επιλεγείσα οργάνωση περιλαμβάνει 5 θαλάμους στέγασης 100 χοιριδίων έκαστος.
- iii. Σχεδιάζεται το χοιροστάσιο και επιλέγονται τα υλικά κατασκευής του.
- iv. Υπολογίζεται το ισοζύγιο αισθητής θερμότητας μεταξύ εσωτερικού μέρους του χοιροστασίου και εξωτερικού περιβάλλοντος. Παράλληλα υπολογίζεται και ο δυσμενέστερος ενεργειακός συνδυασμός θαλάμων για το χειμώνα και το θέρος.
- v. Υπολογίζεται το ενεργειακό ισοζύγιο των χοιριδίων από την πρώτη ημέρα εισαγωγής τους στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης μέχρι και την τελευταία. Οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί περιλαμβάνουν το θερμικό ισοζύγιο των χοιριδίων, τις απαιτήσεις σε αερισμό για την απομάκρυνση της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας καθώς και τις αντίστοιχες για την απομάκρυνση του CO₂ που παράγεται στους θαλάμους από τα ζώα. Μετά τους σχετικούς υπολογισμούς υπολογίζονται οι ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη με βάση τις πλέον δυσμενέστερες συνθήκες τόσο στο εσωτερικό των θαλάμων όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον.
- vi. Μετά τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου των χοιριδίων και τον υπολογισμό των συνολικών αναγκών για θέρμανση και ψύξη χαράσσονται οι κύκλοι θέρμανσης και ψύξης για τρία

ψυκτικά ρευστά που είναι το R134a, το R407A και το R22. Παράλληλα υπολογίζονται και οι σχετικές θερμοδυναμικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τη διαστασιολόγηση της αντλίας θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περιοχή.

- vii. Υπολογίζονται οι διαστάσεις του γεωεναλλάκτη³ βάσει της περιόδου που επάγει τις μεγαλύτερες ενεργειακά ανάγκες (χειμώνας ή θέρος). Παράλληλα διενεργούνται και οι σχετικοί υδραυλικοί υπολογισμοί στους γεωεναλλάκτες ώστε να είναι δυνατή η επιλογή των αντίστοιχων μηχανημάτων όπως, αντλίες, σωληνώσεις κλπ.
- viii. Υπολογίζεται το κόστος του συνόλου της εξεταζόμενης εγκατάστασης και παράλληλα αξιολογείται η επένδυση.

Για την εκπόνηση του ερευνητικού μέρους ελήφθησαν υπ' όψιν μια σειρά παραδοχών τις οποίες παραθέτουμε ως κατωτέρω:

- i. Οι δυσμενέστερες κλιματικά συνθήκες περιλαμβάνουν την ημέρα του έτους κατά την οποία το μεν χειμώνα επικρατεί η μικρότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία και η μικρότερη τιμή ειδικής ενθαλπίας εξωτερικού αέρα, το δε θέρος το αντίθετο.
- ii. Η επιθυμητή οργάνωση του χοιροστασίου απαιτεί την παραγωγή 100 χοιριδίων βάρους 30kg περίπου ανά εβδομάδα. Αυτό σημαίνει ότι από το κτίριο πρώτης ανάπτυξης θα πρέπει να εξέρχονται κάθε εβδομάδα 100 χοιρίδια βάρους 30kg έκαστο τα οποία στη συνέχεια θα οδηγούνται στα επόμενα στάδια ανάπτυξης.
- iii. Το έδαφος στο οποίο καλούμαστε να εγκαταστήσουμε τους αντίστοιχους γεωεναλλάκτες κάθε περιοχές θεωρούμε ότι είναι το πλέον φτωχό από πλευράς θερμοφυσικών ιδιοτήτων. Το σύστημα γεωεναλλάκτη το οποίο επιλέγουμε στην διερευνήσουμε περιλαμβάνει οριζόντιο βρόχο. Δεν εξετάζεται το αντίστοιχο σύστημα κατακόρυφου βρόχου.

Για την εκπόνηση του ερευνητικού μέρους χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά/υπολογιστικά πακέτα

i. MS Excel (Student version 7)

Το σύνολο των αλγεβρικών υπολογισμών πραγματοποιήθηκε σε υπολογιστικά φύλλα ms excel. Μέσω των ίδιων υπολογιστικών φύλλων έγινε και η κατασκευή των διαγραμμάτων τα οποία παρουσιάζονται στην εργασία. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα στους υπολογισμούς θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα καθώς και στους υπολογισμούς θερμοκρασίας εδάφους σε διάφορα βάθη, κατασκευάστηκαν ειδικά προς το σκοπό αυτό «μοντέλα» τα οποία χρησιμοποιούν τις ενσωματωμένες συναρτήσεις του ms excel. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι στα υπολογιστικά φύλλα του ms excel ενσωματώθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας μακροεντολές, οι οποίες υπολογίζουν αυτόματα διάφορα ψυχομετρικά δεδομένα.

ii. Cool Pack Version 1.46

Χρησιμοποιήθηκε για τη χάραξη και την επεξεργασία των κύκλων των ψυκτικών ρευστών της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

iii. Math GV 32

Χρησιμοποιήθηκε για τη χάραξη του τρισδιάστατου διαγράμματος που παριστάνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους και της ημέρας του έτους.

³ Πρόκειται για τον εναλλάκτη θερμότητας εδάφους θερμομεταφορικού μέσου το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο της γεωθερμικής αντλίας

2.3 Αποτελέσματα και σχόλια

2.3.1 Οργάνωση χοιροστασίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το χοιροστάσιο που σχεδιάζουμε για την εφαρμογή της γεωθερμικής αντλίας προορίζεται για την παραγωγή 100 χοιριδίων πρώτης ανάπτυξης ανά εβδομάδα. Η διάταξη των χώρων στέγασης των αναπτυσσόμενων χοιριδίων περιλαμβάνει 5 θαλάμους με δυνατότητα στέγασης 100 ζώων για κάθε θάλαμο. Στους θαλάμους υπάρχει σταδιακή αλλαγή θερμοκρασίας ξεκινώντας από τους 30° C όταν εισάγονται τα χοιρίδια κατεβαίνοντας ανά 2 βαθμούς την εβδομάδα μέχρι τους 22° C όταν τα χοιρίδια εξέρχονται για να οδηγηθούν στα επόμενα στάδια πάχυνσης. Σε ότι αφορά τη σχετική υγρασία ρυθμίζεται ώστε να κινείται σε μια μέση τιμή της τάξεως του 55%. (Παναγάκης, 2009). Αναλυτικότερα οι ρυθμίσεις της σχετικής υγρασίας με βάση τη θερμοκρασία κάθε θαλάμου έχουν ως εξής:

Πίνακας 10: Θερμοκρασία και επιθυμητή σχετική υγρασία για κάθε θάλαμο

Θερμοκρασία θαλάμου	Επιθυμητή σχετική υγρασία
30	50%
28	52%
26	54%
24	56%
22	58%

Αναλυτικότερα η λειτουργία του κτιρίου έχει ως εξής:

- i. 100 χοιρίδια εισάγονται στον 1^ο θάλαμο με βάρος 7kg έκαστο.
- ii. Η θερμοκρασία του θαλάμου ρυθμίζεται στους 30° C ενώ η σχετική υγρασία στο 50%. Οι ρυθμίσεις αυτές διατηρούνται σταθερές για τις επόμενες 7 ημερολογιακές ημέρες.
- iii. Μετά το πέρας της 7^{ης} ημέρας η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 28°C ενώ η σχετική υγρασία στο 52%. Η ρυθμίσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας διατηρούνται σταθερές στις προαναφερόμενες τιμές για τις επόμενες 7 ημερολογιακές ημέρες. Με τον ίδιο ρυθμό, δηλαδή μειώνοντας τη θερμοκρασία ανά 2°C κάθε 7 ημέρες μέχρι τους 22°C και αυξάνοντας τη σχετική υγρασία ανά 2% μέχρι το 58% φθάνουμε μέχρι την 35^η ημέρα οπότε τελειώνει η παραμονή των χοιριδίων στο θάλαμο. Στη συγκεκριμένη φάση τα χοιρίδια τα οποία πρέπει να έχουν βάρος 30kg έκαστο εξέρχονται από το θάλαμο και οδηγούνται στο επόμενο στάδιο ανάπτυξης. Ο κύκλος που περιγράψαμε στις παραγράφους i. – iii. ξεκινά από την αρχή.

Για να μπορέσει να επιτευχθεί παραγωγή 100 χοιριδίων ανά εβδομάδα θα πρέπει αφού τοποθετήσουμε τα πρώτα 100 χοιρίδια στον πρώτο θάλαμο, 7 ημέρες αργότερα να τοποθετήσουμε τα επόμενα 100 στο δεύτερο θάλαμο. Κατ' αντιστοιχία 7 ημέρες μετά την τοποθέτηση των δεύτερων 100 χοιριδίων στον δεύτερο θάλαμο, θα τοποθετήσουμε τα επόμενα 100 στον τρίτο, φτάνοντας μέχρι τον πέμπτο θάλαμο. Με τον τρόπο αυτό το κτίριο θα περιέχει σε συνεχή βάση 500 χοιρίδια. Η συνολική παραμονή κάθε σειράς 100 χοιριδίων στον κάθε θάλαμο θα είναι 5 εβδομάδες. Κάθε 5 εβδομάδες θα αδειάζει ένας θάλαμος ο οποίος μετά τις σχετικές εργασίες καθαρισμού θα είναι έτοιμος να δεχθεί τα επόμενα 100 χοιρίδια.

Η εναλλαγή των θαλάμων με βάση τη θερμοκρασία εικονίζεται γραφικά στον πίνακα της επόμενης σελίδας. Παράλληλα παρατίθεται διάγραμμα το οποίο εικονίζει την επιθυμητή μεταβολή του βάρους των χοιριδίων κατά το διάστημα παραμονής τους στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης.

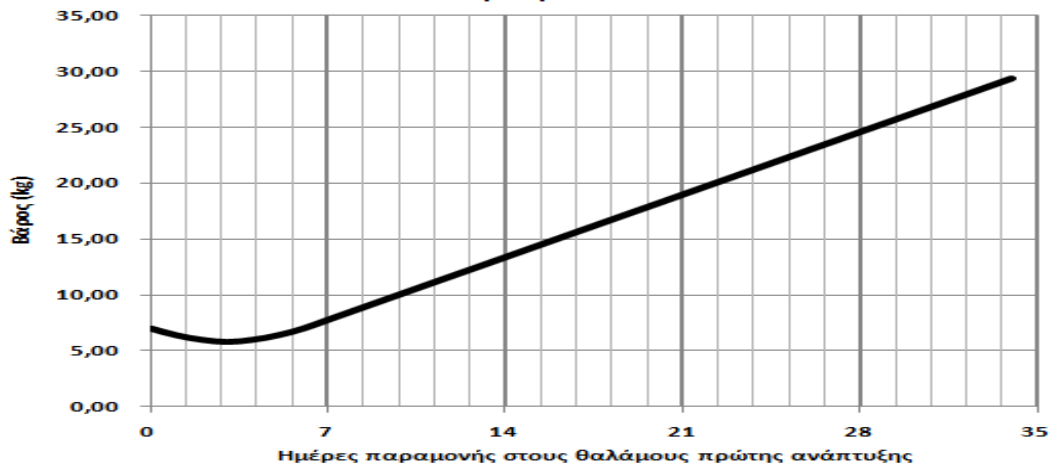
Πίνακας 11: Σχηματική αναπαράσταση εναλλαγών θερμότητας στους θαλάμους του χοιροστασίου

Αριθμός θαλάμου	Συνδυασμοί εναλλαγής θερμοκρασιών στους θαλάμους του χοιροστασίου				
	1ος Συνδυασμός	2ος Συνδυασμός	3ος Συνδυασμός	4ος Συνδυασμός	5ος Συνδυασμός
	1η Εβδομάδα	2η Εβδομάδα	3η Εβδομάδα	4η Εβδομάδα	5η Εβδομάδα
1	30	28	26	24	22
2	28	26	24	22	30
3	26	24	22	30	28
4	24	22	30	28	26
5	22	30	28	26	24

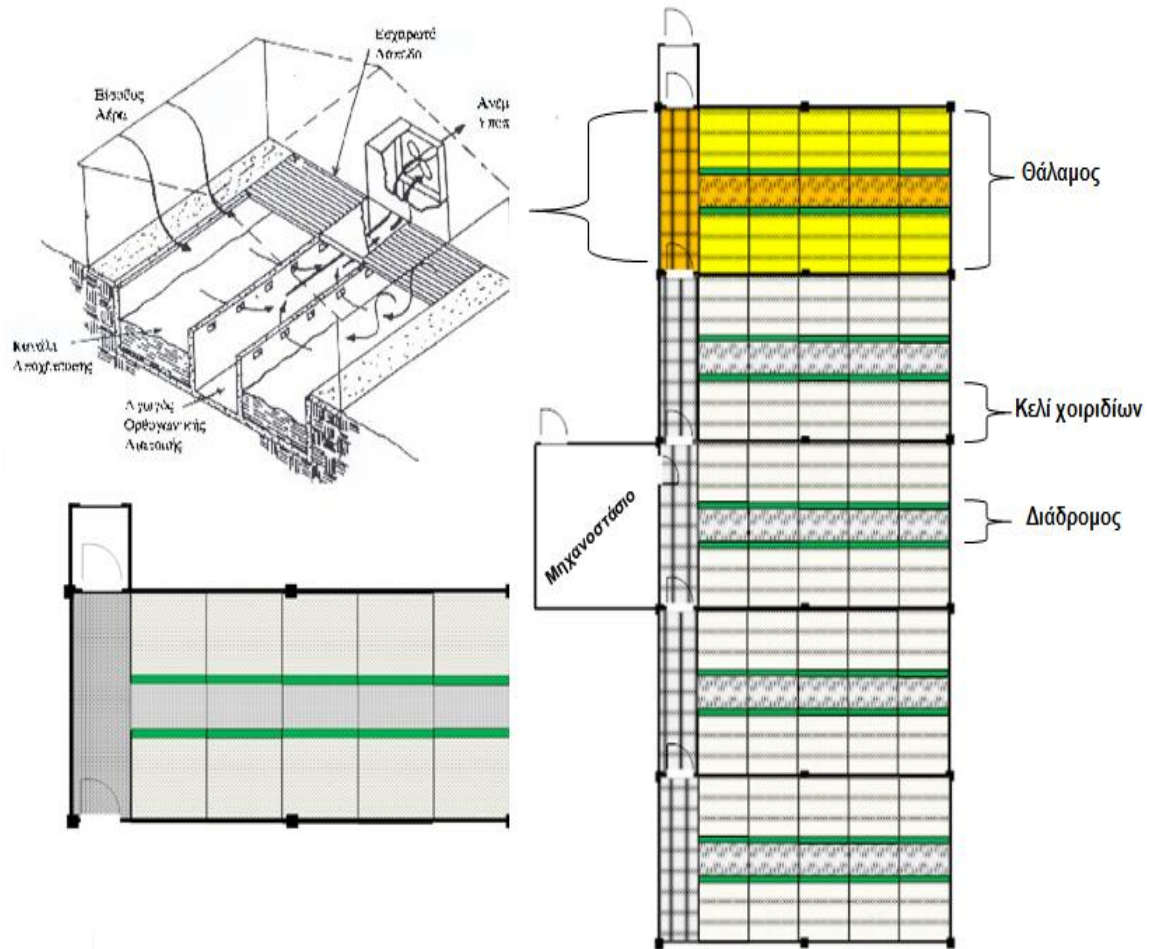


Σχήμα 46: Εμπρόσθια τομή των θαλάμων του κτιρίου πρώτης ανάπτυξης

Μεταβολή του βάρους των χοιριδίων σε διάστημα 5 εβδομάδων



Σχήμα 47: Μεταβολή βάρους χοιριδίων ανά ημέρα



Σχήμα 48: Διαρρύθμιση κτιρίου πρώτης ανάπτυξης

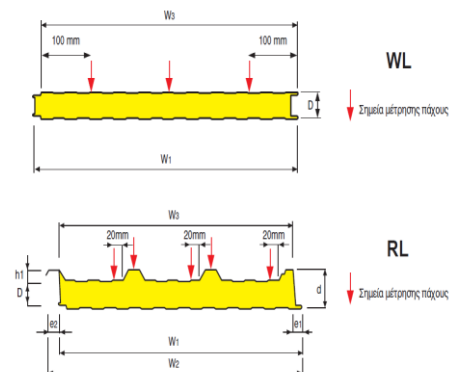
2.3.2 Υλικά κατασκευής μονάδας πρώτης ανάπτυξης

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου θεωρούμε ότι αποτελείται από σιδηροδοκούς, ενώ οι τοιχοποιίες από πάνελ πολυουρεθάνης. Τα πάνελ πολυουρεθάνης αποτελούν μια εξαιρετικά αποτελεσματική κατασκευαστική λύση από πλευράς, κόστους χρόνου κατασκευής, ευκολίας καθαρισμού και κυρίως θερμομόνωσης. Μειονεκτούν ωστόσο στο ζήτημα της πυρασφάλειας καθώς σε περίπτωση πυρκαγιάς καίγονται σχετικά εύκολα εκλύοντας σημαντικές ποσότητες τοξικών αερίων. Η επιλογή των πάνελ γίνεται από την γκάμα προϊόντων της εταιρείας Corus A.E.. Συγκεκριμένα επιλέγονται οι τύποι πάνελ του επόμενου πίνακα.

Πίνακας 12: Συντελεστές θερμοπερατότητας τοιχοποιιών κτιρίου πρώτης ανάπτυξης

Τεχνικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας χοιροστασίου		
Είδος παρειάς	Κωδικός στοιχείου*	Συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας στοιχείου (W/m ² oC)
Τοιχοποιίες	WL 40	0,58
Οροφή	RL 40	0,54
Διαφώτιστα οροφής	WRL 40	2,90

*Βάσει Corus A.E.



2.3.3 Θερμικά κέρδη και απώλειες στις τοιχοποιίες του χοιροστασίου

Με δεδομένο ότι έχουμε επιλέξει υλικό κατασκευής με συγκεκριμένες θερμοφυσικές ιδιότητες, υπολογίζουμε τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές απώλειες του κτιρίου με βάση τη θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τη σχέση:

$$q_b = \sum_{j=1}^n A_j U_j (t_a - t_o) \quad (12)$$

Όπου:

q_b = η αισθητή θερμότητα που ανταλλάσσεται (απομακρύνεται ή εισέρχεται) στο θάλαμο (W)

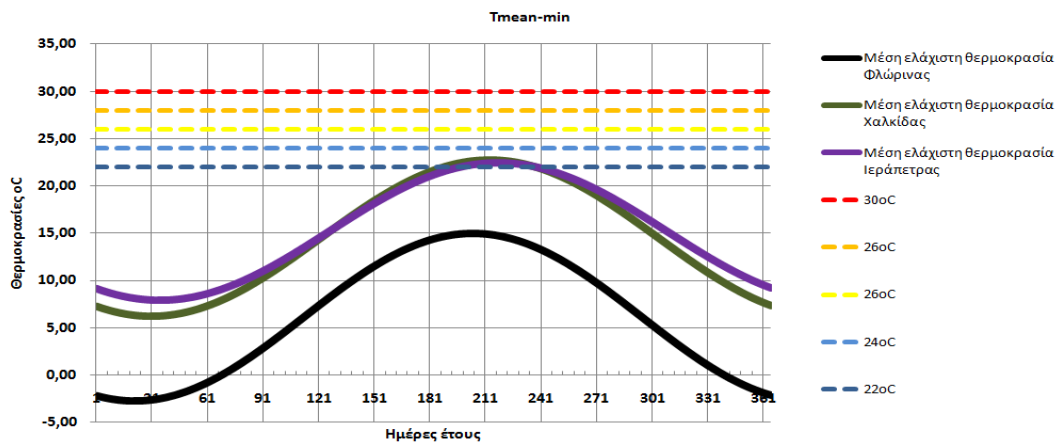
A_j = η επιφάνεια του n – οστού δομικού στοιχείου (m^2)

U_j = ο συντελεστής θερμοπερατότητας του n – οστού δομικού στοιχείου ($Wm^{-2}oC$)

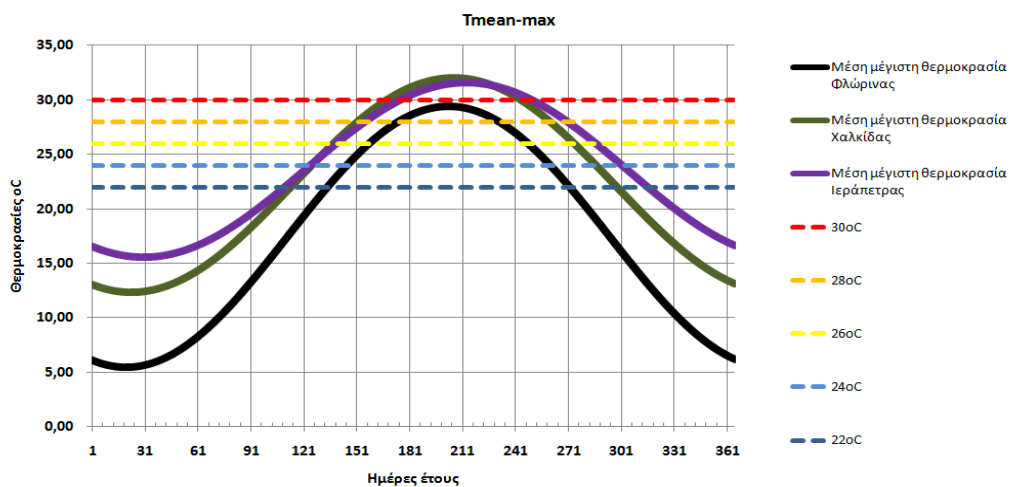
t_a = η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θαλάμου (oC)

t_o = η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (oC)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι κατανομές της μέσης ελάχιστης και της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας ατμόσφαιρας στις τρεις επιλεγείσες περιοχές. Παράλληλα εικονίζονται και οι θερμοκρασιακές στάθμες του κάθε θαλάμου του κτιρίου πρώτης ανάπτυξης

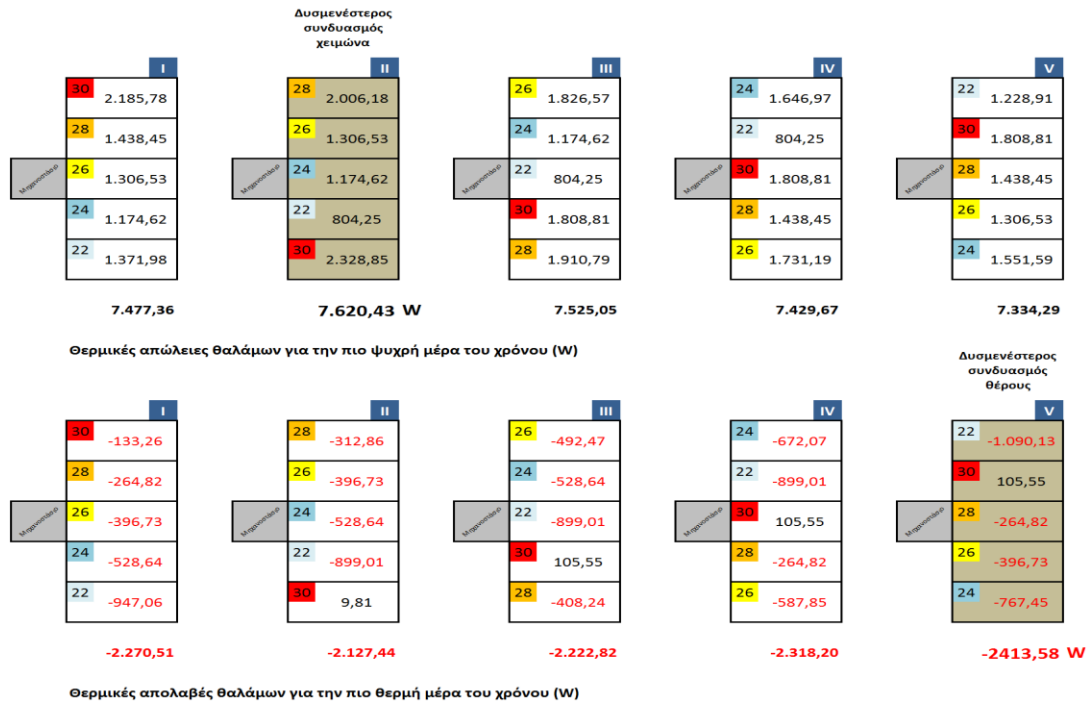


Σχήμα 49: Κατανομή μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στη διάρκεια τους έτους στις περιοχές Φλώρινας, Χαλκίδας & Ιεράπετρας



Σχήμα 50: Κατανομή μέσης μέγιστης θερμοκρασίας στη διάρκεια τους έτους στις περιοχές Φλώρινας, Χαλκίδας & Ιεράπετρας

Από τους σχετικούς υπολογισμούς προέκυψαν τα θερμικά κέρδη και οι θερμικές απώλειες κάθε θαλάμου για κάθε συνδυασμό από αυτούς που δίδονται στο σχήμα 51. Ανάμεσα στους συνδυασμούς υπάρχουν δύο, ένας για το χειμώνα και ένας για το θέρος οι οποίοι αποτελούν τις δυσμενέστερες περιπτώσεις. Στο μεν χειμώνα, υπάρχει απώλεια θερμότητας ενώ στο θέρος κέρδος. Η διάταξη των θαλάμων που δίνει τις δυσμενέστερες περιπτώσεις φαίνεται στο σχήμα στο οποίο έχει ληφθεί υπ' όψιν ως παράδειγμα η μέση ελάχιστη και η μέση μέγιστη θερμοκρασία ατμόσφαιρας της Φλώρινας.



Στο σχήμα αυτό θεωρούμε ως θετική φορά μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό των θαλάμων προς τα έξω, ενώ ως αρνητική το αντίθετο. Με τον τρόπο αυτό δικαιολογούνται τα πρόσημα που εικονίζονται.

Όπως παρατηρούμε ο δυσμενέστερος συνδυασμός είναι ο (II) για το χειμώνα και ο (V) για το καλοκαίρι. Οι ανωτέρω δυσμενείς συνδυασμοί είναι ανεξάρτητοι από το εύρος των θερμοκρασιών που παρατηρούνται σε κάθε περιοχή. Έτσι μετά από τους σχετικούς υπολογισμούς προέκυψε ότι οι συνδυασμοί (II) & (V) εμφανίζονται τόσο στη Χαλκίδα όσο και στην Ιεράπετρα. Διαφορά υπάρχει μόνο στα μεγέθη των θερμικών απολαβών/απωλειών, καθώς στις απώλειες το χειμώνα επικρατεί η Φλώρινα με δεύτερη τη Χαλκίδα και τελευταία την Ιεράπετρα, ενώ το καλοκαίρι η σειρά αντιστρέφεται.

2.3.4 Ενεργειακό ισοζύγιο θαλάμων

Για τη διαστασιολόγηση μέχρι και του γεωθερμικού εναλλάκτη, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου κάθε θαλάμου με βάση τις δυσμενέστερες κλιματολογικά συνθήκες που μπορεί να εμφανιστούν σε κάθε περιοχή. Όπως θα δούμε εκτός από τις κλιματολογικές συνθήκες σημαντικό ρόλο παίζει και το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται τα χοιρίδια καθώς λόγω αυτού εμφανίζονται σε κάθε θάλαμο εναλλαγές μάζας και ενέργειας οι οποίες επιδρούν ριζικά στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο. Με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας έχουμε για κάθε θάλαμο:

$$q_{vo} + q_s + q_e \pm q_b - q_f - q_{vi} = 0 \quad (13)$$

- q_{vo} = αισθητή θερμότητα που παράγεται περιέχεται στον εισερχόμενο αέρα (W)
- q_s = τα αισθητά φορτία θερμότητας που παράγονται από τα χοιρίδια (W)
- q_e = η αισθητή θερμότητα που παράγεται από το μηχανολογικό εξοπλισμό (W)
- q_b = η αισθητή θερμότητα που ανταλλάσσεται (εισέρχεται ή απομακρύνεται) μέσω του κτιριακού κελύφους (W)
- q_f = η αισθητή θερμότητα που απομακρύνεται από το δάπεδο προς το έδαφος και τα κανάλια αποχέτευσης (W)
- q_{vi} = η αισθητή θερμότητα που περιέχεται στον εξερχόμενο αέρα (W)

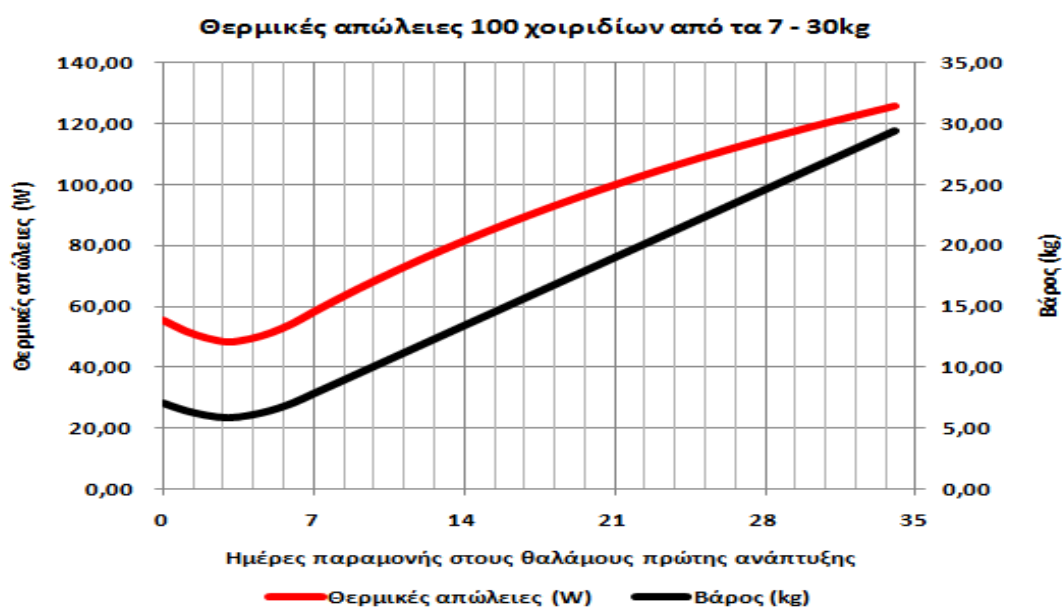
Η μεταβολή των θερμικών απωλειών θεωρούμε το q_e αμελητέο οπότε η εξίσωση (13) μετασχηματίζεται ως εξής:

$$q_{vi} - q_{vo} = +q_s \pm q_b - q_f \quad (14)$$

Ο υπολογισμός του μεγέθους q_s γίνεται με την εφαρμογή της μεθόδου που αναφέρει ο Π. Παναγάκης (Παναγάκης, 2009). Το μέγεθος q_f λαμβάνεται ίσο προς 10% επί των συνολικών απωλειών του κτιριακού κελύφους. Στους σχετικούς υπολογισμούς που γίνονται προκύπτουν τα εξής:

- i. Η διαφορά $+q_s \pm q_b - q_f$ (W)
- ii. Η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για την απομάκρυνση της αισθητής θερμότητας V_s (m^3/s)
- iii. Η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα κάθε θαλάμου V_1 (m^3/s)
- iv. Η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για την απομάκρυνση του CO_2 που παράγεται από τα αγροτικά ζώα V_{CO_2} (m^3/s)

Η μεταβολή των θερμικών απωλειών των χοιριδίων (q_s) και του βάρους τους για το χρονικό διάστημα παραμονής τους στο στάδιο πρώτης ανάπτυξης, παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 52: Μεταβολή βάρους & θερμικών απωλειών 100 χοιριδίων από τα 7 - 30kg

Κατά το αρχικό στάδιο παραμονής (1^η – 3^η ημέρα) εκτιμούμε ότι υπάρχει μια μικρή απώλεια βάρους στο κάθε χοιρίδιο η οποία οφείλεται στο σοκ του απογαλακτισμού και της αλλαγής περιβάλλοντος.

Ωστόσο μετά την 3^η ημέρα εκτιμούμε ότι το βάρος τους αρχίζει να αυξάνεται κανονικά. Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα του σχ. 52 η μεταβολή του βάρους επηρεάζει και την αντίστοιχη μεταβολή των θερμικών απωλειών.

2.3.5 Δυσμενέστερες ενεργειακά συνθήκες θαλάμων

Για τον προσδιορισμό των δυσμενέστερων εξωτερικών συνθηκών, επιλέγουμε την ημέρα του έτους κατά την οποία η θερμοκρασία ξηρού βολβού σε συνδυασμό με την σχετική υγρασία δίδει το μεν χειμώνα τη χαμηλότερη τιμή ειδικής ενθαλπίας αέρα, το δε καλοκαίρι την υψηλότερη.

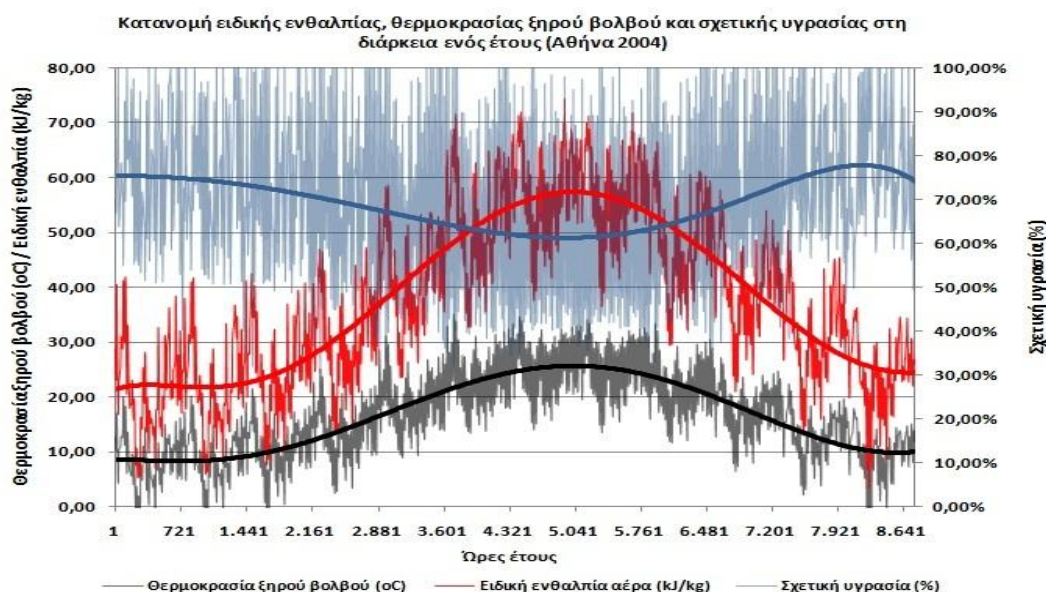
Από τις παρατηρήσεις που έχουμε κάνει έχοντας ως δείγμα τις ωριαίες τιμές θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας της Αθήνας⁴ για όλη τη διάρκεια του έτους 2004, παρατηρούμε ότι η χαμηλότερη τιμή ειδικής ενθαλπίας αέρα εμφανίζεται περί τις 07:00 το πρωί της ψυχρότερης ημέρας, ενώ η αντίστοιχη υψηλότερη περί τις 14:00 το μεσημέρι της θερμότερης ημέρας (βλ. Παράρτημα Π1).

Από τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία της ΕΜΥ τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, οι καταγραφές της σχετικής υγρασίας έχουν γίνει στις ώρες 08:00, 14:00 και 20:00 (Κουρεμένος & Αντωνόπουλος, Η Σχετική Υγρασία σε 40 Περιοχές της Ελλάδας, 1985). Ως εκ τούτου για να υπολογίζουμε την χαμηλότερη και την υψηλότερη σχετική ενθαλπία στις εξεταζόμενες περιοχές ακολουθούμε τη μέθοδο που παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 13:Μεθοδολογία συνδυασμού θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας

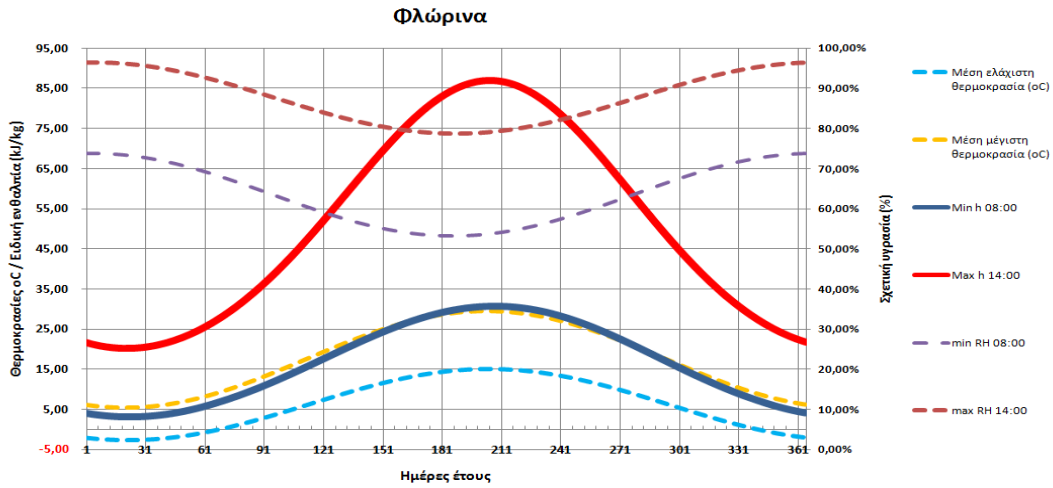
Χρονική περίοδος	Θερμοκρασία	Σχετική υγρασία
Ημέρα με τη χαμηλότερη θερμοκρασία ξηρού βολβού	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας	Ελάχιστη σχετική υγρασία στις 08:00
Ημέρα με την υψηλότερη θερμοκρασία ξηρού βολβού	Μέση μέγιστη θερμοκρασία ημέρας	Μέγιστη σχετική υγρασία στις 14:00

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας ξηρού βολβού, της σχετικής υγρασίας και της ιδικής ενθαλπίας στη διάρκεια του έτους 2004 στην πόλη των Αθηνών.

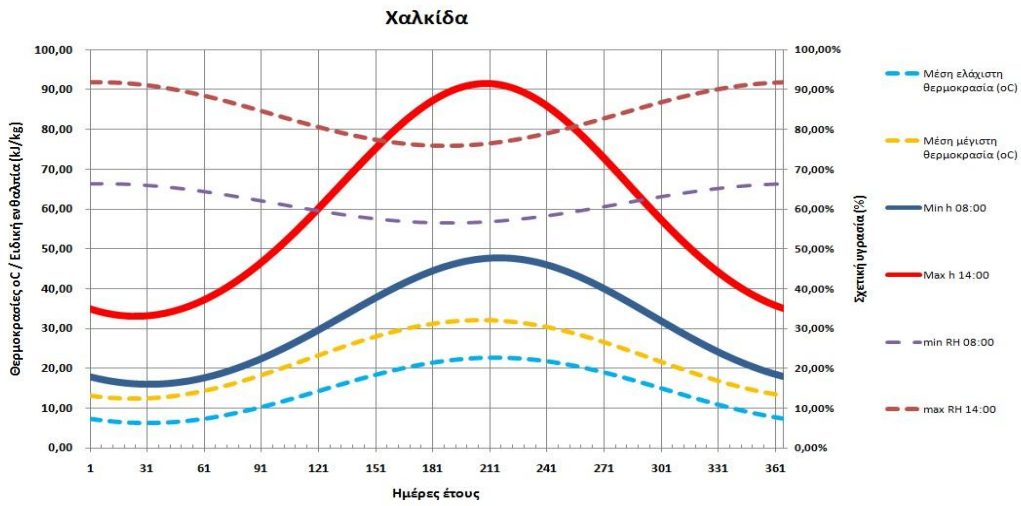


Οι ετήσιες κατανομές μέσης μέγιστης/ελάχιστης θερμοκρασίας, ελάχιστης σχετικής υγρασίας στις 08:00, της μέγιστης σχετικής υγρασίας στις 14:00 όπως επίσης και της μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας, κάθε περιοχής δίδονται στα διαγράμματα που ακολουθούν:

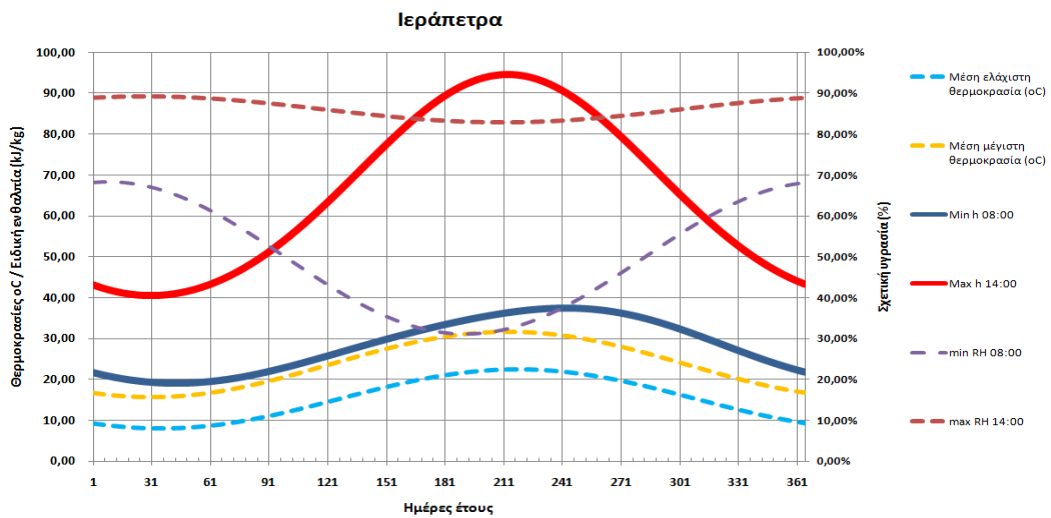
⁴ Η συγκεκριμένη πόλη χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα ελλείπει αναλόγων στοιχείων στις περιοχές τις οποίες εξετάζουμε



Σχήμα 53: Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για την περιοχή Φλώρινας



Σχήμα 54: Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για την περιοχή Χαλκίδας



Σχήμα 55: Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης ειδικής ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας για την περιοχή Ιεράπετρας

Από τους σχετικούς ψυχομετρικούς υπολογισμούς προέκυψαν τα εξής για κάθε μια πόλη (πίνακας 14)

Πίνακας 14: Ψυχομετρικά δεδομένα δυσμενέστερων περιόδων για κάθε περιοχή

Ψυχομετρικά δεδομένα χειμώνα / Δυσμενέστερες συνθήκες				Ψυχομετρικά δεδομένα θέρους / Δυσμενέστερες συνθήκες			
Ψυχομετρικά δεδομένα	Φλώρινα	Χαλκίδα	Ιεράπετρα	Ψυχομετρικά δεδομένα	Φλώρινα	Χαλκίδα	Ιεράπετρα
Ελάχιστη ειδική ενθαλπία εξωτερικού αέρα h (kJ/kg)	3,22	15,94	18,97	Μέγιστη ειδική ενθαλπία αέρα h (kJ/kg)	86,87	91,44	94,58
Ημέρα	23-Ιαν	1-Φεβ	12-Φεβ	Ημέρα	24-Ιουλ	28-Ιουλ	1-Αυγ
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (οC)	-2,71	6,19	8,03	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (οC)	29,43	32,00	31,56
Απόλυτη υγρασία w (kg/kg)	0,00230	0,00386	0,00433	Απόλυτη υγρασία w (kg/kg)	0,02240	0,02316	0,02456
Εδικός όγκος εξωτερικού αέρα v (m ³ /kg)	0,83	0,80	0,80	Ειδικός όγκος εξωτερικού αέρα v (m ³ /kg)	0,96	0,90	0,90
Σχετική υγρασία RH (%)	73,18%	65,94%	65,14%	Σχετική υγρασία RH (%)	79,11%	76,33%	82,82%
Υψόμετρο (m)	680,00	10,00	10,00	Υψόμετρο (m)	680,00	10,00	10,00
Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45	101,21	101,21	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45	101,21	101,21

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστηκαν τα μεγέθη i – iv της παραγράφου 2.3.4 καθώς και το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί. Η θερμότητα που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί από τον κάθε θάλαμο υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$q_{ap} = \dot{V}_{CO_2} \left(\frac{h_{εσωτ.αέρα}}{v_{εσωτ.αέρα}} - \frac{h_{εξωτ.αέρα}}{v_{εξωτ.αέρα}} \right)$ (15) για την περίπτωση του χειμώνα όπου έχουμε απώλειες θερμότητας από το κτίριο προς το περιβάλλον.

$q_{pr} = \dot{V}_{CO_2} \left(\frac{h_{εξωτ.αέρα}}{v_{εξωτ.αέρα}} - \frac{h_{εσωτ.αέρα}}{v_{εσωτ.αέρα}} \right)$ (16) για την περίπτωση του θέρους όπου έχουμε προσθήκη θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον προς το κτίριο

Όπου:

$q_{ap/pr}$ = η απώλεια ή αντίστοιχα η προσθήκη θερμότητας από στους θαλάμους ανά μονάδα χρόνου που οφείλεται στην προσθήκη κρύου αέρα (χειμώνας) και ζεστού αέρα (θέρος) μέσω των απαιτούμενων εναλλαγών (W)

V_{CO_2} = Η παροχή όγκου αέρα που απαιτείται για την απομάκρυνση του CO₂ που παράγεται από τα χοιρίδια (m³/s)

$h_{εσωτ.αέρα}$ = η ειδική ενθαλπία του εσωτερικού αέρα (kJ/kg)

$h_{εξωτ.αέρα}$ = η ειδική ενθαλπία του εξωτερικού αέρα (kJ/kg)

$v_{εσωτ.αέρα}$ = ο ειδικός όγκος του αέρα στο εσωτερικό του κάθε θαλάμου (m³/kg)

$v_{εξωτ.αέρα}$ = ο ειδικός όγκος του εξωτερικού αέρα (m³/kg)

Η προσθήκη (θέρμανση) ή αντίστοιχα η αφαίρεση (ψύξη) θερμότητας που απαιτείται για κάθε θάλαμο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_{sur} = q_b - q_s \pm q_{ap/pr} \quad (17)$$

Τα αποτελέσματα για κάθε πόλη και για τη δυσμενέστερη περίπτωση δίδονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 15: Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα για το χοιροστάσιο της Φλώρινας

Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα						Φλώρινα				
A/A ημέρας	Θερμοκρασίες Θαλάμων °C	Συνδυασμοί Θαλάμων	qs-qb (W)	Vs (m3/s)	VI (m3/s)	VCO2 (m3/s)	Απώλεια θερμότητας λόγω προσθήκης κρύου αέρα (W)	Προσθήκη θερμότητας (W)	Ψυχομετρικά δεδομένα	Τιμές
1	28	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτηρίου	79,86	0,00	0,08	0,17	10.544,40	10.464,55	Υψόμετρο (m)	680,00
2			266,22	0,01	0,09	0,18	11.225,39	10.959,16	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
3			444,81	0,01	0,09	0,19	11.877,94	11.433,13	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,52
4			616,33	0,02	0,10	0,20	12.504,67	11.888,34	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	62,29
5			781,38	0,02	0,10	0,21	13.107,75	12.326,38	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,94
6			940,45	0,03	0,11	0,22	13.689,01	12.748,56	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
7			1.093,98	0,03	0,11	0,23	14.250,01	13.156,03	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,002
8	26	Θάλαμος στην δεξιά άκρη του κτηρίου	2.454,12	0,08	0,12	0,24	14.063,16	11.609,04	Υψόμετρο (m)	680,00
9			2.608,25	0,08	0,13	0,25	14.561,67	11.953,42	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
10			2.757,46	0,09	0,13	0,26	15.044,30	12.286,83	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,54
11			2.902,05	0,09	0,14	0,27	15.511,93	12.609,89	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	57,56
12			3.042,23	0,10	0,14	0,28	15.965,35	12.923,12	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,94
13			3.178,24	0,10	0,15	0,29	16.405,26	13.227,02	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
14			3.310,27	0,11	0,15	0,29	16.832,30	13.522,03	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,002
15	24	Θάλαμος στο κέντρο του κτηρίου	3.879,41	0,13	0,17	0,31	16.304,36	12.424,96	Υψόμετρο (m)	680,00
16			4.011,22	0,14	0,17	0,31	16.685,34	12.674,11	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
17			4.139,36	0,14	0,17	0,32	17.055,66	12.916,31	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,56
18			4.263,96	0,15	0,18	0,33	17.415,77	13.151,81	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	52,97
19			4.385,15	0,15	0,18	0,33	17.766,04	13.380,89	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,93
20			4.503,08	0,16	0,18	0,34	18.106,86	13.603,78	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
21			4.617,84	0,16	0,19	0,35	18.438,56	13.820,71	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,002
22	22	Θάλαμος στα αριστερά του κτηρίου	5.399,40	0,20	0,21	0,36	17.625,70	12.226,30	Υψόμετρο (m)	680,00
23			5.513,21	0,20	0,21	0,37	17.921,07	12.407,87	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
24			5.624,04	0,21	0,22	0,37	18.208,73	12.584,69	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,58
25			5.731,99	0,21	0,22	0,38	18.488,91	12.756,92	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	48,50
26			5.837,15	0,22	0,22	0,38	18.761,86	12.924,71	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,92
27			5.939,62	0,22	0,23	0,39	19.027,81	13.088,19	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
28			6.039,47	0,22	0,23	0,40	19.286,96	13.247,49	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,002
29	30	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτηρίου	-628,20	-0,02	0,08	0,16	10.487,32	11.115,52	Υψόμετρο (m)	680,00
30			-783,16	-0,02	0,07	0,15	9.837,35	10.620,51	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
31			-891,04	-0,03	0,07	0,14	9.384,88	10.275,92	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,50
32			-949,12	-0,03	0,07	0,14	9.141,28	10.090,39	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	67,12
33			-905,40	-0,03	0,07	0,14	9.324,64	10.230,04	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,95
34			-813,14	-0,02	0,07	0,15	9.711,60	10.524,74	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
35			-675,92	-0,02	0,08	0,15	10.287,19	10.963,10	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,002

Οι αντίστοιχες τιμές για το θέρος εικονίζονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 16: Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους για το χοιροστάσιο της Φλώρινας

Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους						Φλώρινα				
A/A ημέρας	Θερμοκρασίες θαλάσσιων οC	Συνδυασμοί θαλάσσιων	qs-qb	Vs (m3/s)	VI (m3/s)	VCO2 (m3/s)	Προσθήκη θερμότητας λόγω προσθήκης ζεστού αέρα (W)	Αφαίρεση θερμότητας βάσει τύπου ενθάλπιων (W)	Ψυχομετρικά δεδομένα	Τιμές
1	22	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτιρίου	7.649,89	-0,94	-0,14	0,36	13.589,11	21.239,00	Υψόμετρο (m)	680,00
2			7.763,69	-0,96	-0,14	0,37	13.816,84	21.580,53	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
3			7.874,52	-0,97	-0,14	0,37	14.038,62	21.913,14	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,58
4			7.982,47	-0,98	-0,15	0,38	14.254,63	22.237,11	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	48,50
5			8.087,64	-1,00	-0,15	0,38	14.465,08	22.552,72	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,92
6			8.190,11	-1,01	-0,15	0,39	14.670,11	22.860,22	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
7			8.289,95	-1,02	-0,15	0,40	14.869,91	23.159,87	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
8	30	Θάλαμος στην δεξιά άκρη του κτιρίου	2.224,95	3,76	-0,12	0,16	3.113,39	5.338,34	Υψόμετρο (m)	680,00
9			2.069,98	3,50	-0,11	0,15	2.920,43	4.990,42	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
10			1.962,11	3,32	-0,10	0,14	2.786,11	4.748,22	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,50
11			1.904,03	3,22	-0,10	0,14	2.713,79	4.617,82	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	67,12
12			1.947,75	3,29	-0,10	0,14	2.768,23	4.715,97	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,95
13			2.040,00	3,45	-0,11	0,15	2.883,10	4.923,11	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
14			2.177,23	3,68	-0,11	0,15	3.053,98	5.231,21	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
15	28	Θάλαμος στο κέντρο του κτιρίου	2.980,70	-1,94	-0,10	0,17	4.128,86	7.109,56	Υψόμετρο (m)	680,00
16			3.167,06	-2,07	-0,11	0,18	4.395,51	7.562,58	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
17			3.345,65	-2,18	-0,11	0,19	4.651,03	7.996,68	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,52
18			3.517,17	-2,29	-0,12	0,20	4.896,44	8.413,61	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	62,29
19			3.682,21	-2,40	-0,13	0,21	5.132,59	8.814,80	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,94
20			3.841,29	-2,51	-0,13	0,22	5.360,19	9.201,48	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
21			3.994,82	-2,61	-0,14	0,23	5.579,86	9.574,68	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
22	26	Θάλαμος στα αριστερά του κτιρίου	4.574,89	-1,24	-0,12	0,24	7.032,79	11.607,68	Υψόμετρο (m)	680,00
23			4.729,01	-1,28	-0,13	0,25	7.282,09	12.011,11	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
24			4.878,23	-1,32	-0,13	0,26	7.523,45	12.401,68	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,54
25			5.022,81	-1,36	-0,14	0,27	7.757,31	12.780,12	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	57,56
26			5.163,00	-1,40	-0,14	0,28	7.984,05	13.147,06	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,94
27			5.299,01	-1,43	-0,14	0,29	8.204,05	13.503,06	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
28			5.431,04	-1,47	-0,15	0,29	8.417,61	13.848,65	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
29	24	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτιρίου	6.177,58	-1,05	-0,13	0,31	10.195,06	16.372,64	Υψόμετρο (m)	680,00
30			6.309,40	-1,07	-0,14	0,31	10.433,28	16.742,68	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	93,45
31			6.437,54	-1,09	-0,14	0,32	10.664,84	17.102,38	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,56
32			6.562,13	-1,11	-0,14	0,33	10.890,01	17.452,14	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	52,97
33			6.683,33	-1,14	-0,15	0,33	11.109,04	17.792,37	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,93
34			6.801,25	-1,16	-0,15	0,34	11.322,15	18.123,40	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
35			6.916,02	-1,17	-0,15	0,35	11.529,56	18.445,58	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02

Κατ' αντιστοιχία με τη Φλώρινα οι δυσμενέστερες τιμές χειμώνα και θέρους για τις περιοχές Χαλκίδας και Ιεράπετρας δίδονται στους πίνακες 17 – 20.

Πίνακας 17: Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα για το χοιροστάσιο της Χαλκίδας

Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα						Χαλκίδα				
A/A ημέρας	Θερμοκρασίες Θαλάμων οC	Συνδυασμοί Θαλάμων	qs-qb (W)	Vs (m3/s)	VI (m3/s)	VCO2 (m3/s)	Απώλεια θερμότητας λόγω προσθήκης κρύου αέρα (W)	Προσθήκη θερμότητας (W)	Ψυχομετρικά δεδομένα	Τιμές
1	28	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτηρίου	879,54	0,03	0,10	0,16	7.589,88	6.710,33	Υψόμετρο (m)	10,00
2			1.065,91	0,04	0,11	0,17	8.080,05	7.014,14	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
3			1.244,49	0,05	0,11	0,18	8.549,75	7.305,26	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,52
4			1.416,01	0,06	0,12	0,19	9.000,88	7.584,86	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	59,62
5			1.581,06	0,06	0,12	0,19	9.434,98	7.853,92	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,87
6			1.740,14	0,07	0,13	0,20	9.853,37	8.113,23	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
7			1.893,67	0,08	0,14	0,21	10.257,17	8.363,51	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
8	26	Θάλαμος στην δεξιά άκρη του κτηρίου	3.041,46	0,13	0,15	0,23	9.865,26	6.823,80	Υψόμετρο (m)	10,00
9			3.195,59	0,14	0,16	0,23	10.214,96	7.019,37	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
10			3.344,81	0,15	0,16	0,24	10.553,53	7.208,72	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,54
11			3.489,39	0,15	0,17	0,25	10.881,57	7.392,18	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	55,11
12			3.629,58	0,16	0,17	0,26	11.199,64	7.570,06	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
13			3.765,59	0,16	0,18	0,26	11.508,24	7.742,65	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
14			3.897,62	0,17	0,18	0,27	11.807,81	7.910,19	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
15	24	Θάλαμος στο κέντρο του κτηρίου	4.466,75	0,21	0,21	0,28	11.091,54	6.624,79	Υψόμετρο (m)	10,00
16			4.598,57	0,22	0,21	0,29	11.350,70	6.752,14	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
17			4.726,70	0,23	0,22	0,30	11.602,63	6.875,93	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,56
18			4.851,30	0,23	0,22	0,30	11.847,60	6.996,30	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	50,72
19			4.972,50	0,24	0,23	0,31	12.085,89	7.113,39	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
20			5.090,42	0,24	0,23	0,31	12.317,74	7.227,32	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
21			5.205,19	0,25	0,23	0,32	12.543,38	7.338,20	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
22	22	Θάλαμος στα αριστερά του κτηρίου	5.986,75	0,32	0,27	0,33	11.553,32	5.566,58	Υψόμετρο (m)	10,00
23			6.100,55	0,33	0,27	0,34	11.746,93	5.646,38	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
24			6.211,38	0,33	0,28	0,34	11.935,48	5.724,11	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,58
25			6.319,33	0,34	0,28	0,35	12.119,14	5.799,81	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	46,45
26			6.424,50	0,34	0,29	0,35	12.298,06	5.873,56	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,85
27			6.526,96	0,35	0,29	0,36	12.472,38	5.945,41	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
28			6.626,81	0,35	0,30	0,36	12.642,24	6.015,43	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
29	30	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτηρίου	171,48	0,01	0,09	0,15	7.715,56	7.544,07	Υψόμετρο (m)	10,00
30			16,52	0,00	0,08	0,14	7.237,37	7.220,85	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
31			-91,35	0,00	0,08	0,13	6.904,48	6.995,84	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,50
32			-149,43	-0,01	0,08	0,13	6.725,27	6.874,70	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	64,23
33			-105,72	0,00	0,08	0,13	6.860,17	6.965,88	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,88
34			-13,46	0,00	0,08	0,13	7.144,86	7.158,31	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
35			123,77	0,00	0,09	0,14	7.568,32	7.444,55	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004

Πίνακας 18: Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους για το χοιροστάσιο της Χαλκίδας

Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους						Χαλκίδα				
A/A ημέρας	Θερμοκρασίες θαλάσσιων οο	Συνδυασμοί θαλάσσιων	qs-qb	Vs (m3/s)	VI (m3/s)	VCO2 (m3/s)	Προσθήκη θερμότητας λόγω προσθήκης ζεστού αέρα (W)	Αφαίρεση θερμότητας βάσει τύπου ενθάλπιων (W)	Ψυχομετρικά δεδομένα	Τιμές
1	22	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτιρίου	7.881,13	-0,66	-0,11	0,33	15.739,57	23.620,70	Υψόμετρο (m)	10,00
2			7.994,93	-0,67	-0,12	0,34	16.003,34	23.998,27	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
3			8.105,76	-0,68	-0,12	0,34	16.260,21	24.365,97	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,58
4			8.213,71	-0,69	-0,12	0,35	16.510,41	24.724,12	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	46,45
5			8.318,88	-0,70	-0,12	0,35	16.754,15	25.073,03	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,85
6			8.421,35	-0,71	-0,12	0,36	16.991,64	25.412,98	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
7			8.521,19	-0,72	-0,12	0,36	17.223,05	25.744,25	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
8	30	Θάλαμος στην δεξιά άκρη του κτιρίου	2.394,79	-1,04	-0,09	0,15	4.170,35	6.565,14	Υψόμετρο (m)	10,00
9			2.239,82	-0,97	-0,08	0,14	3.911,89	6.151,71	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
10			2.131,95	-0,92	-0,08	0,13	3.731,96	5.863,91	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,50
11			2.073,87	-0,90	-0,08	0,13	3.635,09	5.708,96	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	64,23
12			2.117,59	-0,92	-0,08	0,13	3.708,01	5.825,59	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,88
13			2.209,84	-0,96	-0,08	0,13	3.861,88	6.071,73	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
14			2.347,07	-1,02	-0,09	0,14	4.090,77	6.437,84	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
15	28	Θάλαμος στο κέντρο του κτιρίου	3.150,53	-0,68	-0,08	0,16	5.235,08	8.385,61	Υψόμετρο (m)	10,00
16			3.336,90	-0,72	-0,08	0,17	5.573,17	8.910,07	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
17			3.515,49	-0,76	-0,09	0,18	5.897,15	9.412,63	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,52
18			3.687,01	-0,80	-0,09	0,19	6.208,31	9.895,31	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	59,62
19			3.852,05	-0,83	-0,10	0,19	6.507,72	10.359,78	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,87
20			4.011,13	-0,87	-0,10	0,20	6.796,31	10.807,44	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
21			4.164,66	-0,90	-0,11	0,21	7.074,83	11.239,49	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
22	26	Θάλαμος στα αριστερά του κτιρίου	4.744,73	-0,68	-0,10	0,23	8.575,72	13.320,44	Υψόμετρο (m)	10,00
23			4.898,85	-0,70	-0,10	0,23	8.879,71	13.778,56	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
24			5.048,07	-0,72	-0,10	0,24	9.174,02	14.222,09	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,54
25			5.192,65	-0,74	-0,11	0,25	9.459,18	14.651,83	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	55,11
26			5.332,84	-0,76	-0,11	0,26	9.735,67	15.068,51	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
27			5.468,85	-0,78	-0,11	0,26	10.003,93	15.472,78	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
28			5.600,88	-0,80	-0,12	0,27	10.264,34	15.865,22	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
29	24	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτιρίου	6.408,82	-0,68	-0,11	0,28	12.075,72	18.484,54	Υψόμετρο (m)	10,00
30			6.540,64	-0,70	-0,11	0,29	12.357,88	18.898,52	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
31			6.668,78	-0,71	-0,11	0,30	12.632,16	19.300,94	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,56
32			6.793,37	-0,72	-0,11	0,30	12.898,87	19.692,24	Ενθάλπια αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	50,72
33			6.914,57	-0,73	-0,12	0,31	13.158,30	20.072,87	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
34			7.032,49	-0,75	-0,12	0,31	13.410,72	20.443,21	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
35			7.147,26	-0,76	-0,12	0,32	13.656,39	20.803,65	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02

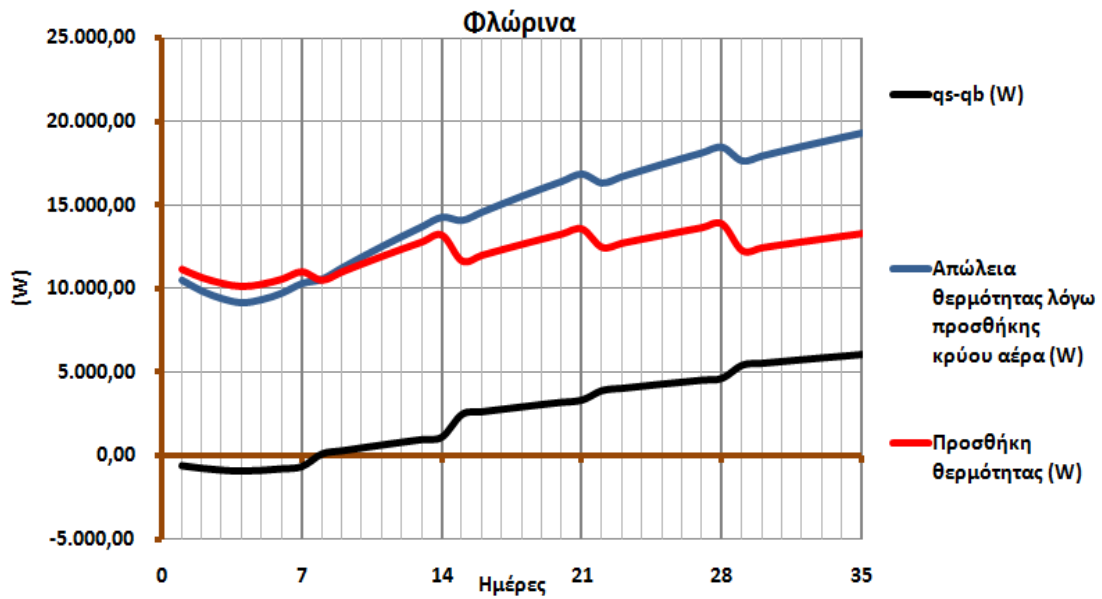
Πίνακας 19: Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα για το χοιροστάσιο της Ιεράπετρας

Δυσμενέστερες συνθήκες χειμώνα						Ιεράπετρα				
A/A ημέρας	Θερμοκρασίες Θαλάσσιων οC	Συνδυασμοί Θαλάσσιων	qs-qb (W)	Vs (m3/s)	VI (m3/s)	VCO2 (m3/s)	Απώλεια θερμότητας λόγω προσθήκης κρύου αέρα (W)	Προσθήκη θερμότητας (W)	Ψυχομετρικά δεδομένα	Τιμές
1	28	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτηρίου	1.038,67	0,04	0,11	0,16	7.020,82	5.982,15	Υψόμετρο (m)	10,00
2			1.225,04	0,05	0,11	0,17	7.474,24	6.249,20	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
3			1.403,62	0,06	0,12	0,18	7.908,73	6.505,11	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,52
4			1.575,14	0,07	0,13	0,19	8.326,03	6.750,89	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	59,62
5			1.740,19	0,08	0,13	0,19	8.727,59	6.987,39	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,87
6			1.899,27	0,08	0,14	0,20	9.114,61	7.215,34	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
7			2.052,80	0,09	0,14	0,21	9.488,14	7.435,34	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
8	26	Θάλαμος στην δεξιά άκρη του κτηρίου	3.158,34	0,15	0,16	0,23	9.047,02	5.888,68	Υψόμετρο (m)	10,00
9			3.312,47	0,16	0,17	0,23	9.367,71	6.055,25	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
10			3.461,69	0,16	0,17	0,24	9.678,20	6.216,51	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,54
11			3.606,27	0,17	0,18	0,25	9.979,03	6.372,77	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	55,11
12			3.746,45	0,18	0,18	0,26	10.270,72	6.524,27	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
13			3.882,46	0,18	0,19	0,26	10.553,72	6.671,26	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
14			4.014,49	0,19	0,19	0,27	10.828,45	6.813,95	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
15	24	Θάλαμος στο κέντρο του κτηρίου	4.583,63	0,24	0,22	0,28	10.063,58	5.479,96	Υψόμετρο (m)	10,00
16			4.715,44	0,25	0,23	0,29	10.298,73	5.583,29	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
17			4.843,58	0,26	0,23	0,30	10.527,31	5.683,73	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,56
18			4.968,18	0,26	0,24	0,30	10.749,58	5.781,40	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	50,72
19			5.089,37	0,27	0,24	0,31	10.965,78	5.876,41	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
20			5.207,30	0,28	0,25	0,31	11.176,14	5.968,85	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
21			5.322,06	0,28	0,25	0,32	11.380,88	6.058,81	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
22	22	Θάλαμος στα αριστερά του κτηρίου	6.103,62	0,37	0,29	0,33	10.342,31	4.238,69	Υψόμετρο (m)	10,00
23			6.217,43	0,37	0,30	0,34	10.515,63	4.298,20	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
24			6.328,26	0,38	0,30	0,34	10.684,42	4.356,16	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,58
25			6.436,21	0,39	0,31	0,35	10.848,82	4.412,62	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	46,45
26			6.541,37	0,39	0,31	0,35	11.008,99	4.467,61	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,85
27			6.643,84	0,40	0,32	0,36	11.165,03	4.521,20	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
28			6.743,69	0,41	0,32	0,36	11.317,10	4.573,41	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004
29	30	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτηρίου	330,61	0,01	0,10	0,15	7.188,17	6.857,55	Υψόμετρο (m)	10,00
30			175,65	0,01	0,09	0,14	6.742,67	6.567,02	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
31			67,78	0,00	0,09	0,13	6.432,54	6.364,76	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,50
32			9,70	0,00	0,08	0,13	6.265,57	6.255,87	Ενthalπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	64,23
33			53,41	0,00	0,08	0,13	6.391,25	6.337,84	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,88
34			145,67	0,01	0,09	0,13	6.656,48	6.510,81	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
35			282,90	0,01	0,09	0,14	7.050,99	6.768,09	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,004

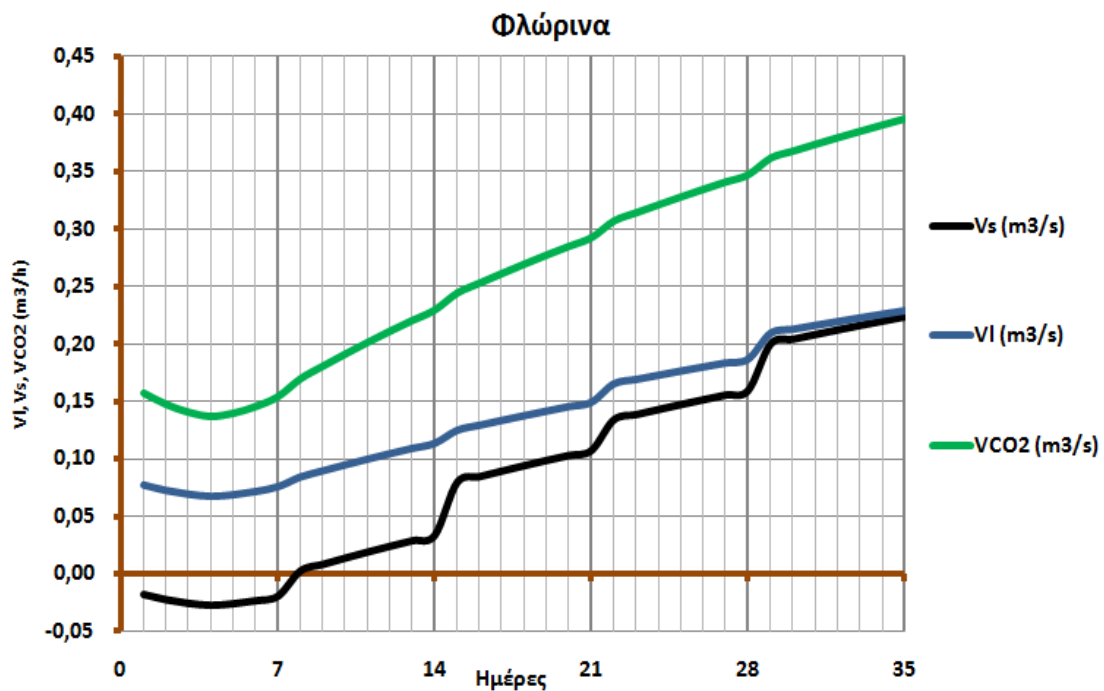
Πίνακας 20: Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους για το χοιροστάσιο της Ιεράπετρας

Δυσμενέστερες συνθήκες θέρους							Ιεράπετρα			
A/A ημέρας	Θερμοκρασίες θαλάμων οC	Συνδυασμοί θαλάμων	qs-qb	Vs (m3/s)	VI (m3/s)	VCO2 (m3/s)	Προσθήκη θερμότητας λόγω προσθήκης ζεστού αέρα (W)	Αφαίρεση θερμότητας βάσει τύπου ενθαλιπών (W)	Ψυχομετρικά δεδομένα	Τιμές
1	22	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτιρίου	7.840,63	-0,69	-0,10	0,33	16.878,13	24.718,75	Υψόμετρο (m)	10,00
2			7.954,43	-0,70	-0,10	0,34	17.160,97	25.115,40	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
3			8.065,26	-0,71	-0,11	0,34	17.436,42	25.501,68	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,58
4			8.173,21	-0,72	-0,11	0,35	17.704,72	25.877,94	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	46,45
5			8.278,38	-0,73	-0,11	0,35	17.966,10	26.244,48	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,85
6			8.380,84	-0,74	-0,11	0,36	18.220,76	26.601,61	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
7			8.480,69	-0,75	-0,11	0,36	18.468,92	26.949,61	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
8	30	Θάλαμος στην δεξιά άκρη του κτιρίου	2.365,04	-1,32	-0,08	0,15	4.666,19	7.031,23	Υψόμετρο (m)	10,00
9			2.210,08	-1,23	-0,07	0,14	4.376,99	6.587,07	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
10			2.102,20	-1,17	-0,07	0,13	4.175,67	6.277,87	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,50
11			2.044,12	-1,14	-0,07	0,13	4.067,29	6.111,41	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	64,23
12			2.087,84	-1,17	-0,07	0,13	4.148,87	6.236,71	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,88
13			2.180,10	-1,22	-0,07	0,13	4.321,04	6.501,14	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
14			2.317,32	-1,29	-0,07	0,14	4.577,14	6.894,47	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
15	28	Θάλαμος στο κέντρο του κτιρίου	3.120,79	-0,76	-0,07	0,16	5.770,08	8.890,87	Υψόμετρο (m)	10,00
16			3.307,15	-0,80	-0,07	0,17	6.142,73	9.449,88	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
17			3.485,74	-0,85	-0,08	0,18	6.499,82	9.985,55	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,52
18			3.657,26	-0,89	-0,08	0,19	6.842,77	10.500,03	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	59,62
19			3.822,31	-0,93	-0,09	0,19	7.172,79	10.995,10	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,87
20			3.981,38	-0,97	-0,09	0,20	7.490,87	11.472,25	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
21			4.134,91	-1,00	-0,09	0,21	7.797,85	11.932,76	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
22	26	Θάλαμος στα αριστερά του κτιρίου	4.714,98	-0,73	-0,09	0,23	9.345,00	14.059,98	Υψόμετρο (m)	10,00
23			4.869,11	-0,75	-0,09	0,23	9.676,26	14.545,37	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
24			5.018,33	-0,77	-0,09	0,24	9.996,97	15.015,30	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,54
25			5.162,91	-0,80	-0,10	0,25	10.307,72	15.470,62	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	55,11
26			5.303,09	-0,82	-0,10	0,26	10.609,01	15.912,11	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
27			5.439,10	-0,84	-0,10	0,26	10.901,34	16.340,44	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
28			5.571,13	-0,86	-0,10	0,27	11.185,11	16.756,24	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02
29	24	Θάλαμος στην αριστερή άκρη του κτιρίου	6.368,32	-0,72	-0,10	0,28	13.042,16	19.410,48	Υψόμετρο (m)	10,00
30			6.500,14	-0,73	-0,10	0,29	13.346,91	19.847,05	Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	101,21
31			6.628,27	-0,75	-0,10	0,30	13.643,14	20.271,42	Σχετική υγρασία (επιθυμητή στην παρούσα φάση)	0,56
32			6.752,87	-0,76	-0,10	0,30	13.931,19	20.684,07	Ενθαλπία αέρα χοιροστασίου (kJ/kg)	50,72
33			6.874,07	-0,77	-0,11	0,31	14.211,39	21.085,45	Ειδικός όγκος αέρα χοιροστασίου (m3/kg)	0,86
34			6.991,99	-0,79	-0,11	0,31	14.484,01	21.476,00	Υγρομετρικός βαθμός εσωτερικού αέρα (kg/kg)	0,01
35			7.106,76	-0,80	-0,11	0,32	14.749,34	21.856,10	Υγρομετρικός βαθμός εξωτερικού αέρα (kg/kg)	0,02

Από τους πίνακες 15 - 20 παρατηρούμε πως η μεγαλύτερες απαιτήσεις για παροχή αέρα προς απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται στο θάλαμο των 22° C κατά την τελευταία ημέρα παραμονής των χοιριδίων σε αυτόν. Η θερμότητα που πρέπει να προστεθεί τη συγκεκριμένη ημέρα είναι κατ' αναλογία η μεγαλύτερη συγκριτικά με όλους τους άλλους συνδυασμούς. Αναλυτικότερα οι κατανομές της θερμότητας που πρέπει να προστεθεί σε κάθε θάλαμο το χειμώνα υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες και της αντίστοιχης που πρέπει να αφαιρεθεί το θέρος καθώς και οι ρυθμοί αερισμού παρατίθενται στα ακόλουθα διαγράμματα. Παράλληλα παρουσιάζονται γραφικά οι ρυθμοί εναλλαγών αέρα που απαιτείται σε κάθε στάδιο ανάπτυξης για την απομάκρυνση της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας όπως επίσης και οι ρυθμοί απομάκρυνσης του CO₂ που παράγεται από τα χοιρίδια:

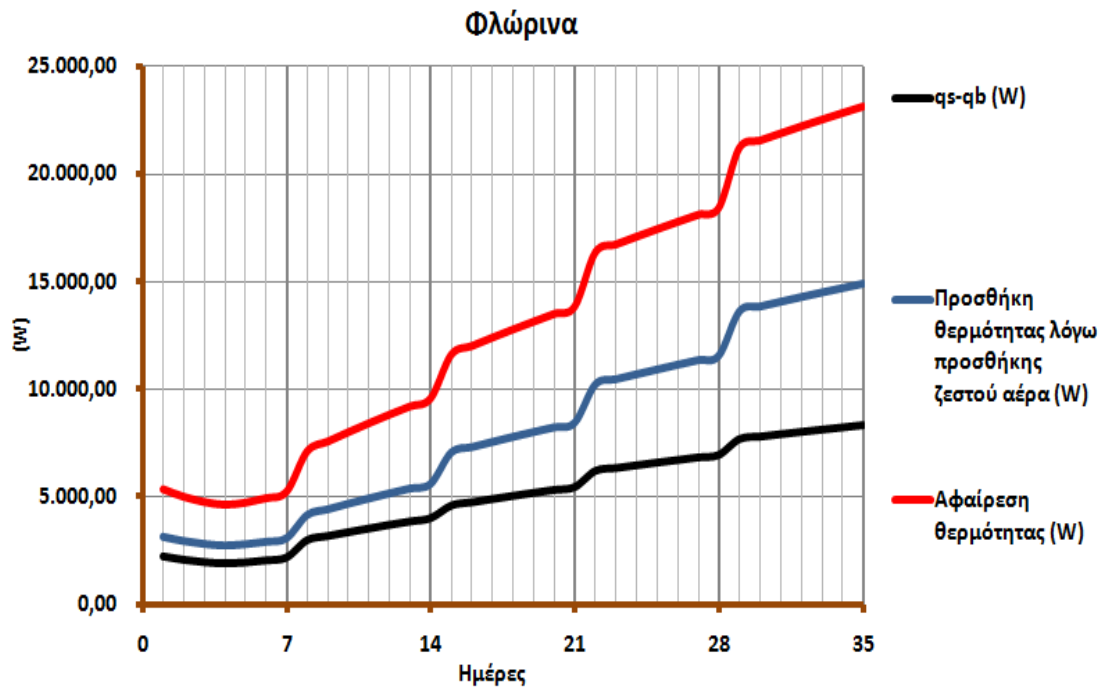


Σχήμα 56: Κατανομή προσθήκης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – χειμώνας

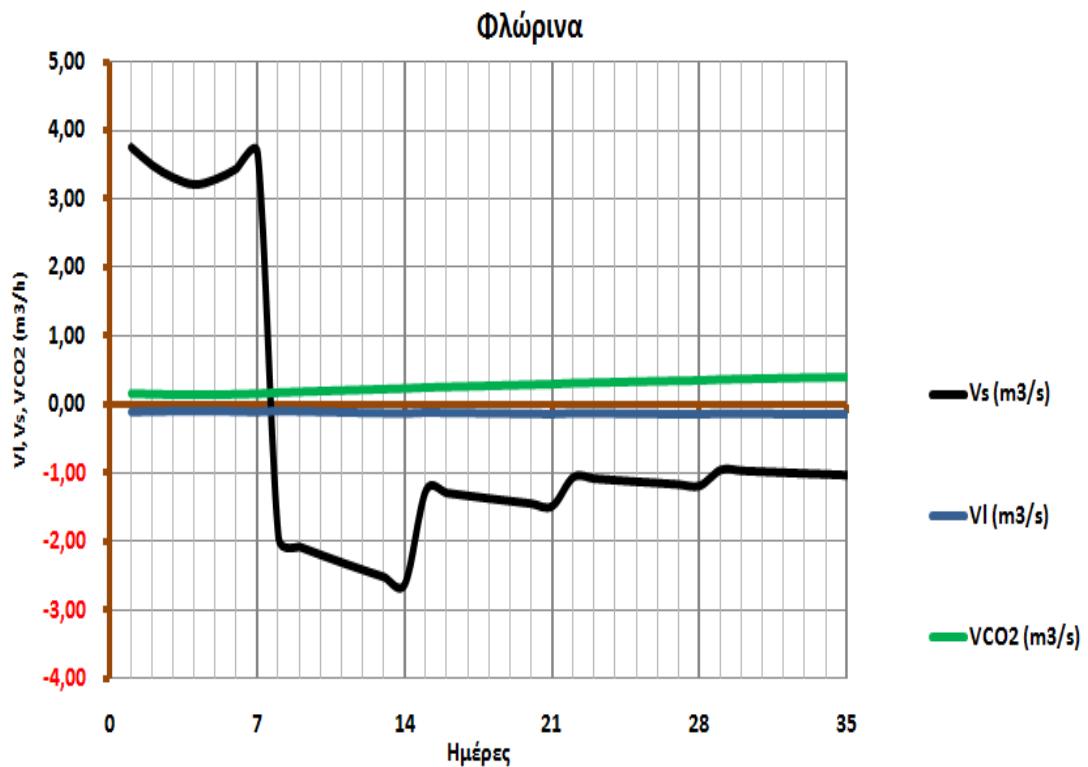


Σχήμα 57: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – χειμώνας

Από το διάγραμμα του σχήματος 57, παρατηρούμε πως ο ρυθμός αερισμού που απαιτείται για την απομάκρυνση του CO₂ υπερκαλύπτει τους αντίστοιχους ρυθμούς αερισμού που απαιτούνται για την απομάκρυνση της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας. Αντίστοιχο φαινόμενο παρατηρείται και κατά το θέρος όπως φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

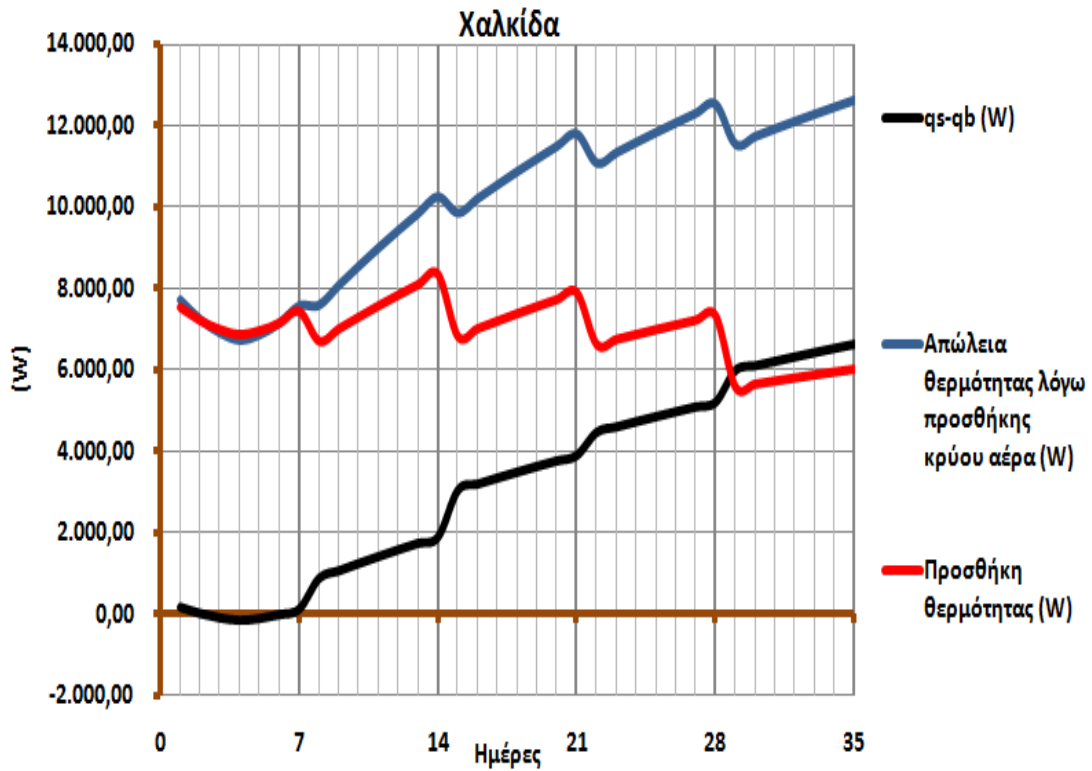


Σχήμα 58: Κατανομή αφαίρεσης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – θέρους

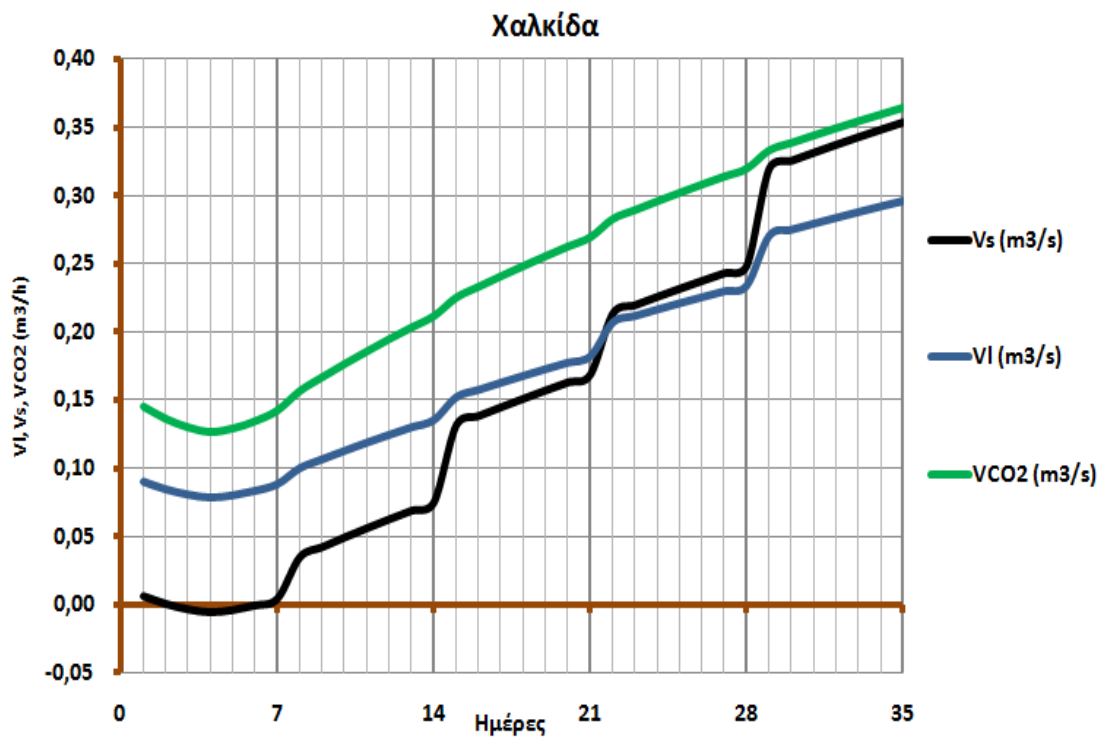


Σχήμα 59: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Φλώρινας – θέρους

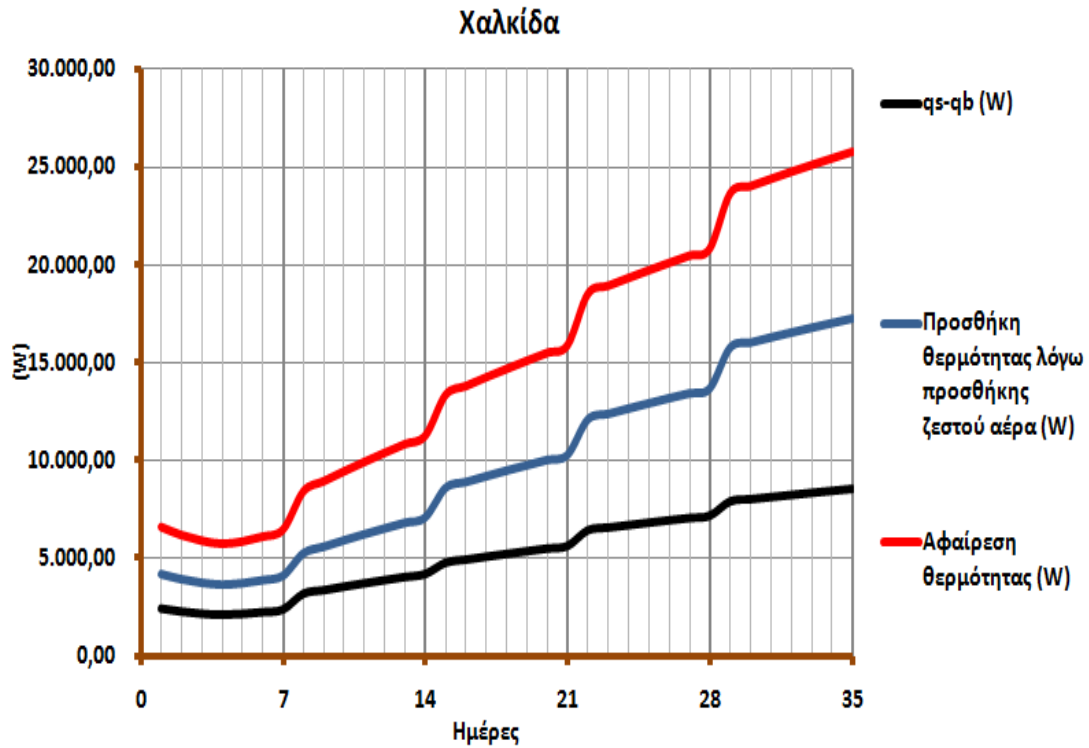
Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τις περιοχές της Χαλκίδας και της Ιεράπετρας δίδονται στα σχήματα που ακολουθούν:



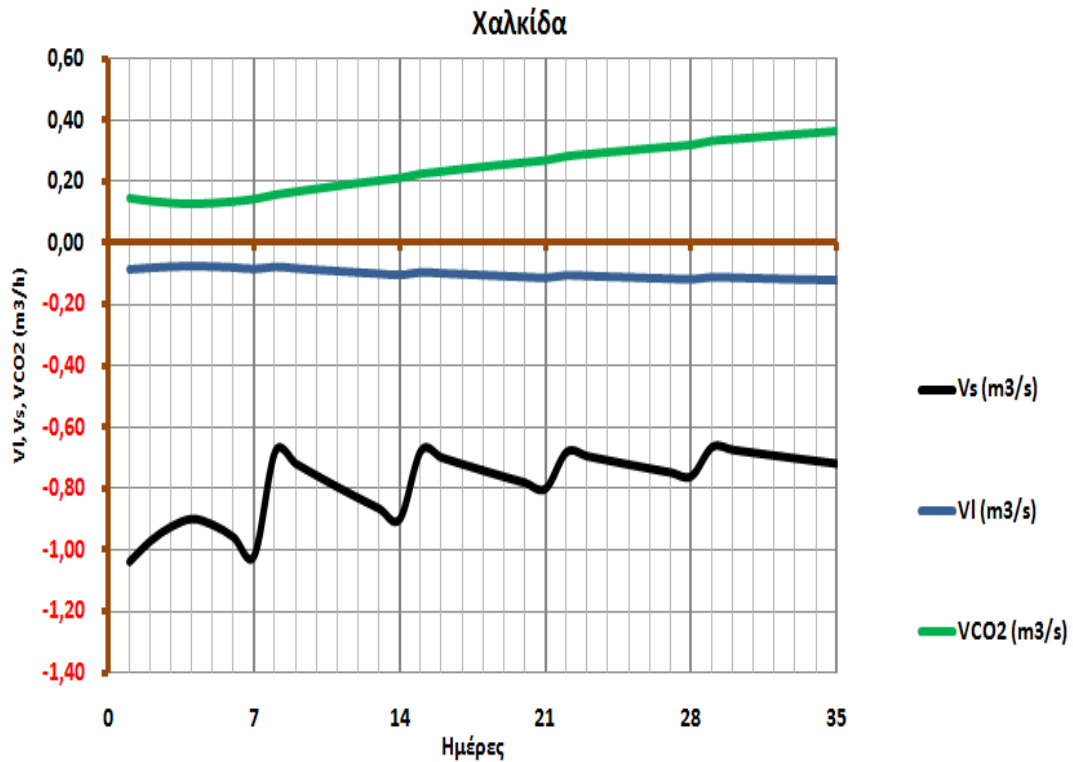
Σχήμα 60: Κατανομή προσθήκης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – χειμώνας



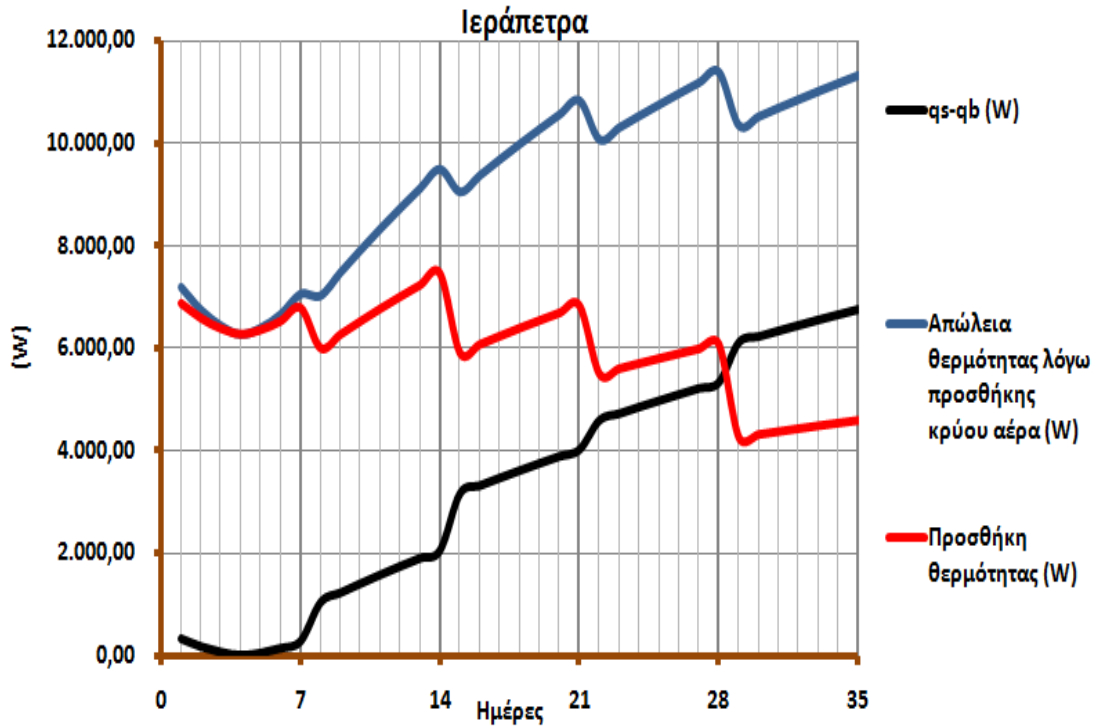
Σχήμα 61: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – χειμώνας



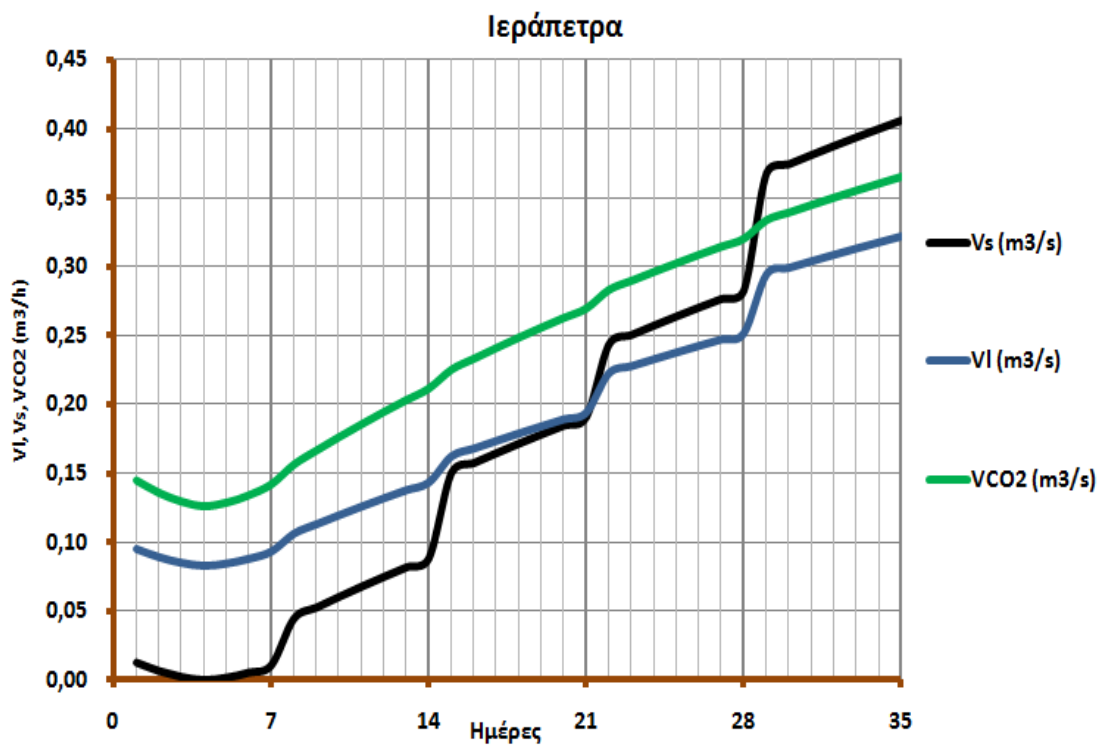
Σχήμα 62: Κατανομή αφαίρεσης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – θέρος



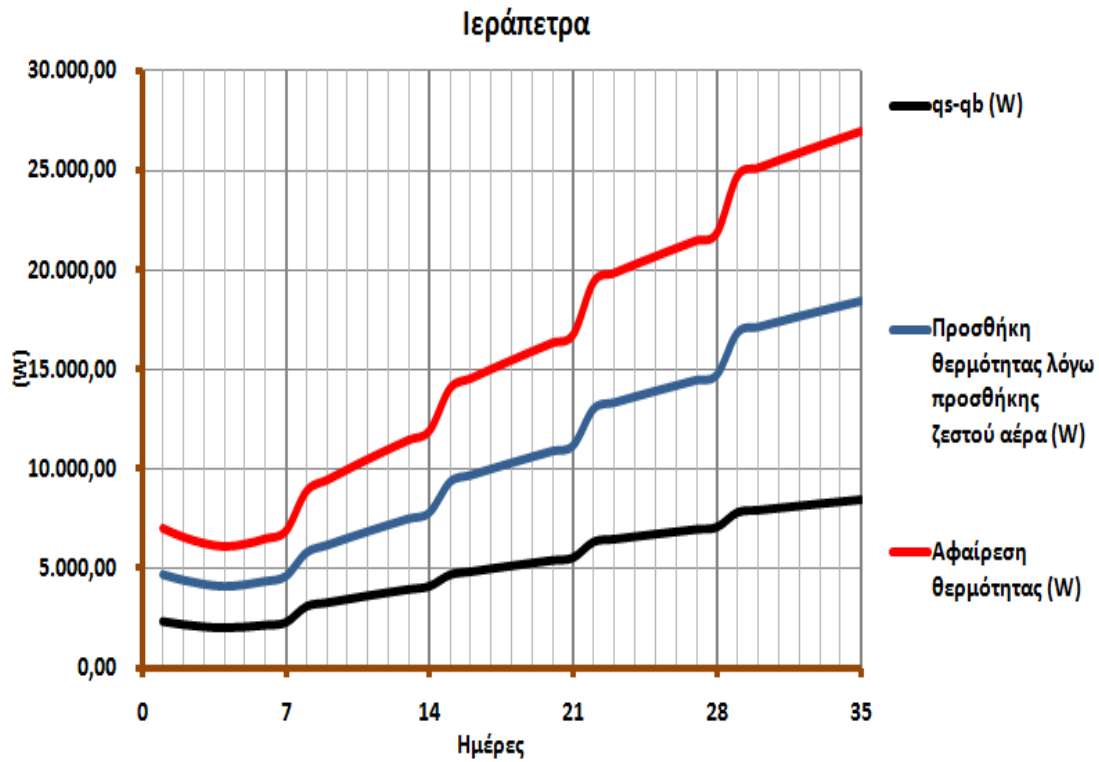
Σχήμα 63: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO₂ και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Χαλκίδας – θέρος



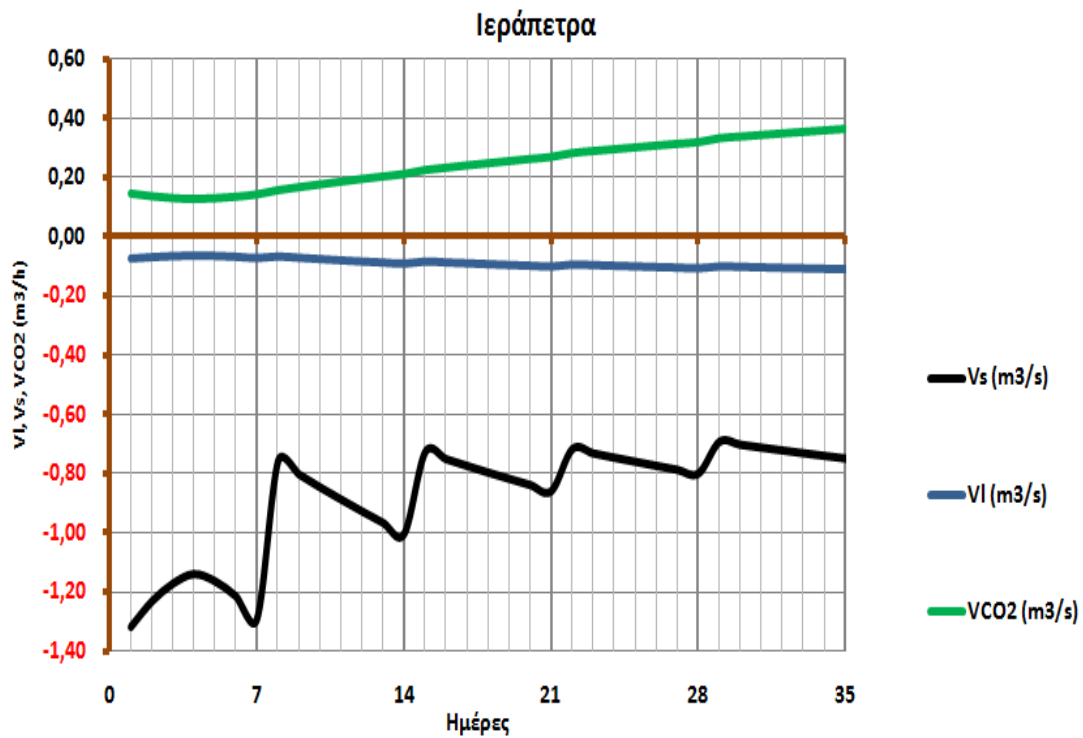
Σχήμα 64: Κατανομή προσθήκης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρας – χειμώνας



Σχήμα 65: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO2 και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρας – χειμώνας

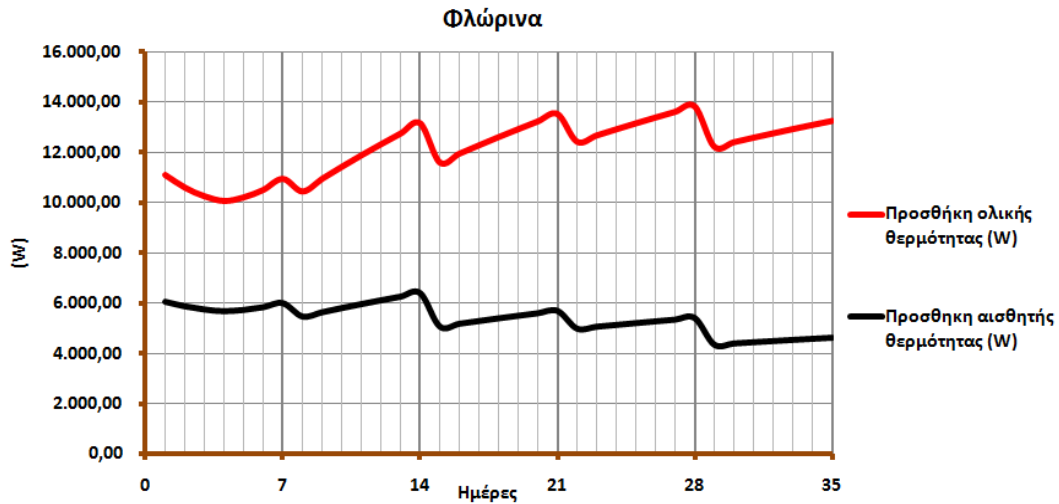


Σχήμα 66: Κατανομή αφαίρεσης θερμότητας για τη συνολική περίοδο παραμονής των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρα – θέρους

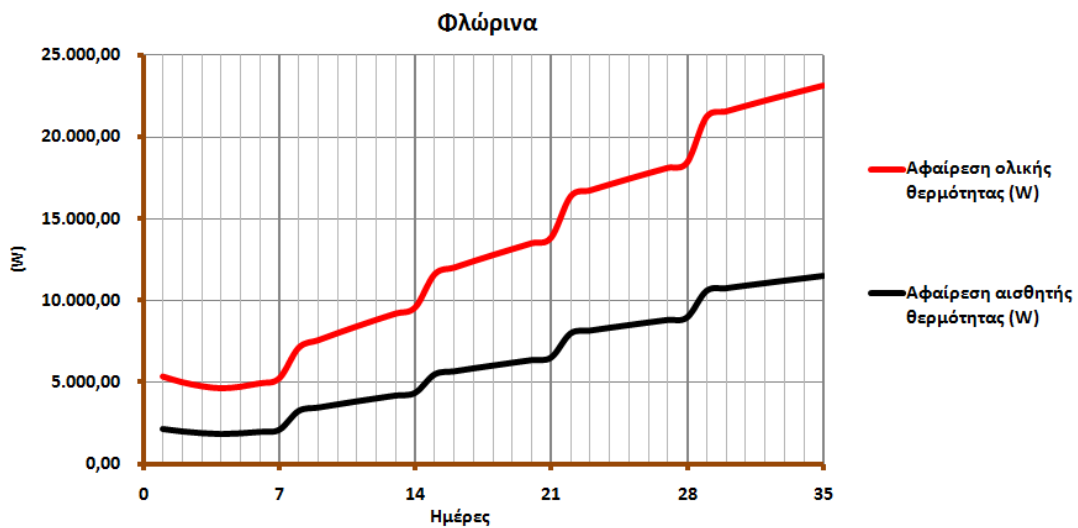


Σχήμα 67: Ρυθμοί αερισμού για την απομάκρυνση του CO2 και της περίσσειας αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας κατά τη συνολική παραμονή των χοιριδίων στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης. Περιοχή Ιεράπετρα – θέρους

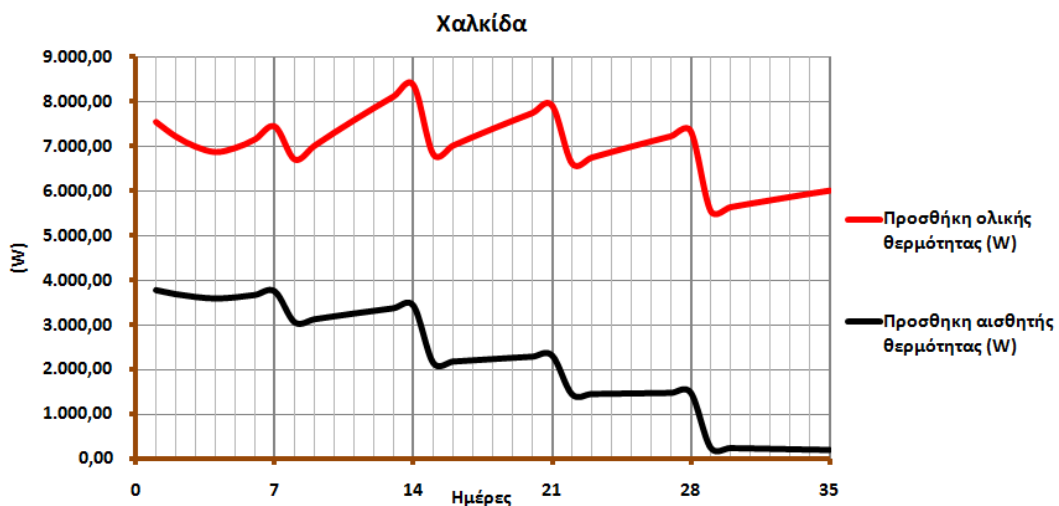
Παράλληλα με τον υπολογισμό των φορτίων ανανέωσης αέρα με βάσει την ειδική ενθαλπία διενεργήθηκε υπολογισμός με βάση την αισθητή θερμότητα μόνο. Οι διαφορές που προέκυψαν μεταξύ των τιμών στην κάθε περίπτωση παρουσιάζονται γραφικά στα ακόλουθα διαγράμματα:



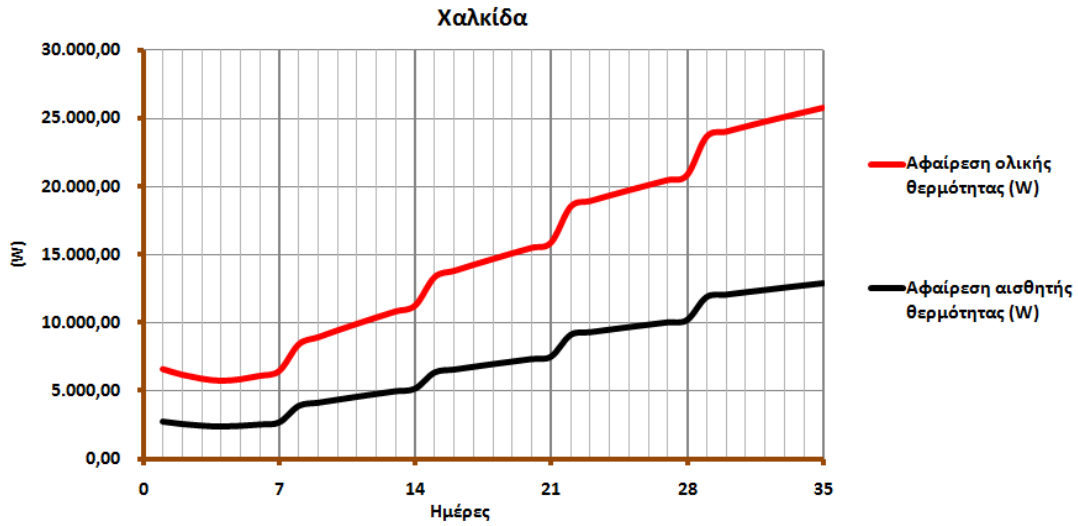
Σχήμα 68: Σύγκριση υπολογισμών προσθήκης θερμότητας - Φλώρινα/χειμώνας



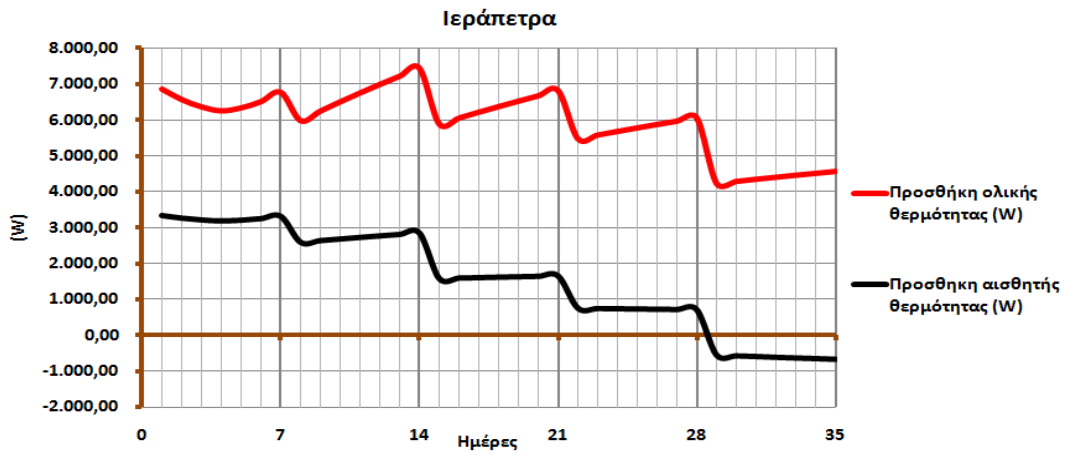
Σχήμα 69: Σύγκριση υπολογισμών αφαίρεσης θερμότητας - Φλώρινα/θέρος



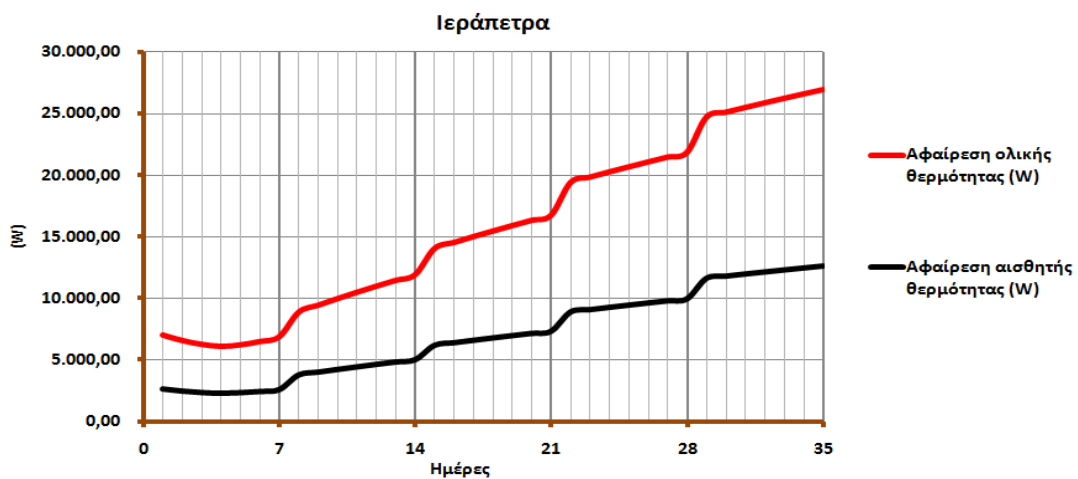
Σχήμα 70: Σύγκριση υπολογισμών προσθήκης θερμότητας - Χαλκίδα/χειμώνας



Σχήμα 71: Σύγκριση υπολογισμών αφαίρεσης θερμότητας – Χαλκίδα/θέρος



Σχήμα 72: Σύγκριση υπολογισμών προσθήκης θερμότητας – Ιεράπετρα/χειμώνας



Σχήμα 73: Σύγκριση υπολογισμών αφαίρεσης θερμότητας – Ιεράπετρα/θέρος

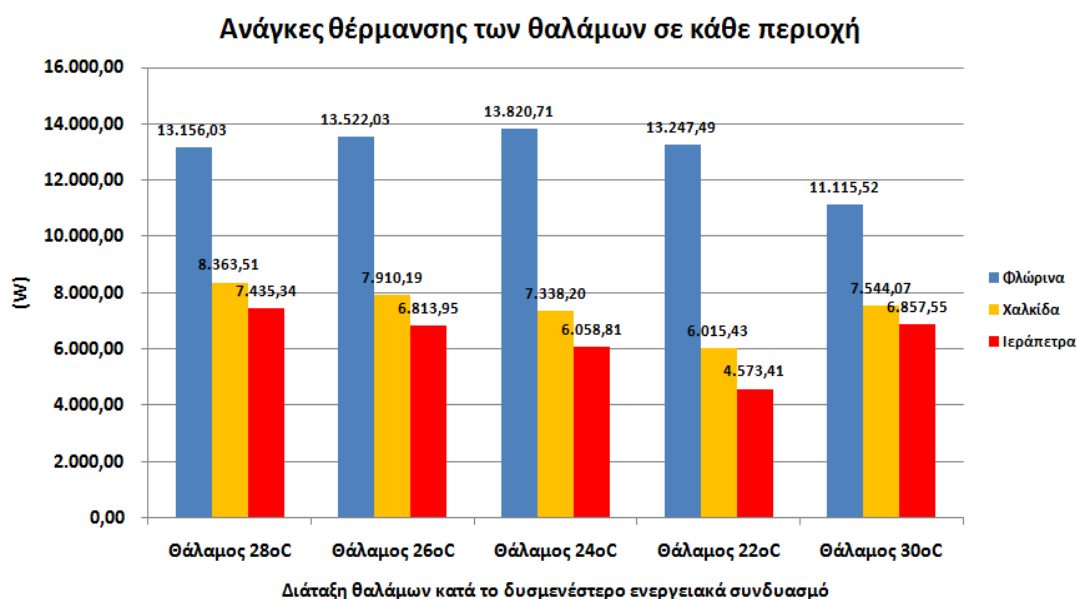
2.4 Υπολογισμός μέγιστων φορτίων χειμώνα και θέρους

Αν από τους πίνακες 15 – 20 επιλέξουμε τις ημέρες με τις μεγαλύτερες τιμές προστιθέμενης ή αφαιρούμενης θερμότητας, καταλήγουμε στον υπολογισμό της μέγιστης ζήτησης του χειμώνα και του θέρους αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

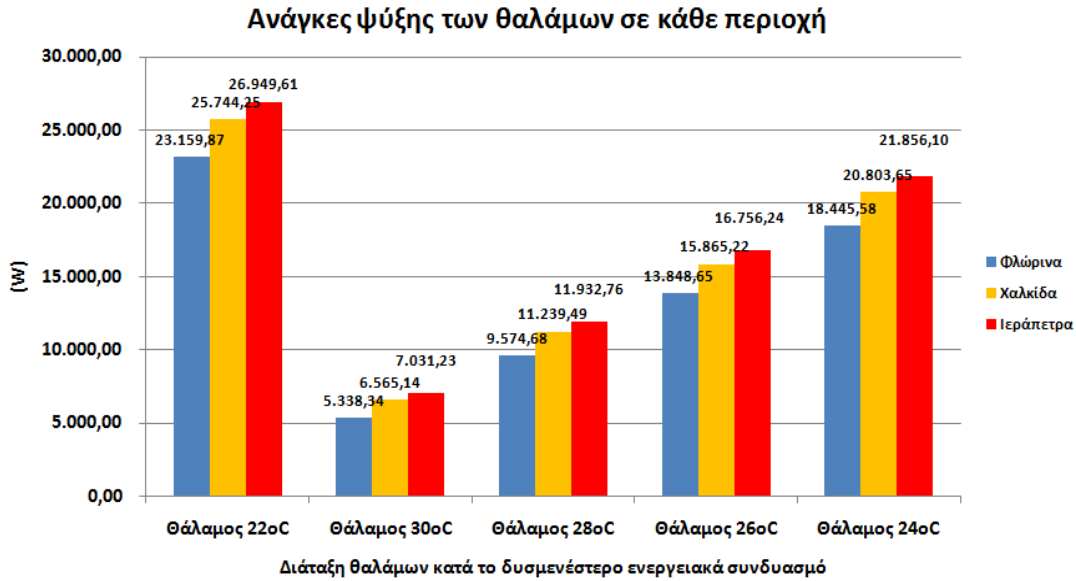
Πίνακας 21: Μέγιστες συνολικές ανάγκες χοιροστασίου για κάθε πόλη με βάση τις δυσμενέστερες συνθήκες

Δυσμενέστεροι ενεργειακά συνδυασμοί θαλάμων κατά το χειμώνα	Χειμώνας			
		Φλώρινα	Χαλκίδα	Ιεράπετρα
Θάλαμος 28οC	Μέγιστες τιμές θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί στους θαλάμους (W)	13.156,03	8.363,51	7.435,34
Θάλαμος 26οC		13.522,03	7.910,19	6.813,95
Θάλαμος 24οC		13.820,71	7.338,20	6.058,81
Θάλαμος 22οC		13.247,49	6.015,43	4.573,41
Θάλαμος 30οC		11.115,52	7.544,07	6.857,55
	Συνολική ζήτηση (W)	64.861,78	37.171,40	31.739,07
Δυσμενέστεροι ενεργειακά συνδυασμοί θαλάμων κατά το θέρος	Θέρος			
		Φλώρινα	Χαλκίδα	Ιεράπετρα
Θάλαμος 22οC	Μέγιστες τιμές θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί από τους θαλάμους(W)	23.159,87	25.744,25	26.949,61
Θάλαμος 30οC		5.338,34	6.565,14	7.031,23
Θάλαμος 28οC		9.574,68	11.239,49	11.932,76
Θάλαμος 26οC		13.848,65	15.865,22	16.756,24
Θάλαμος 24οC		18.445,58	20.803,65	21.856,10
	Συνολική ζήτηση (W)	70.367,11	80.217,75	84.525,95

Σημειώνεται πως το μέγιστο φορτίο υπολογίζεται βάσει των δυσμενέστερων συνθηκών τόσο από πλευράς συνδυασμού θαλάμων και ηλικίας χοιριδίων, όσο και από πλευράς κλιματολογικών συνθηκών. Η σύγκριση των αναγκών θέρμανσης και ψύξης κάθε θαλάμου, για κάθε περιοχή, υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.

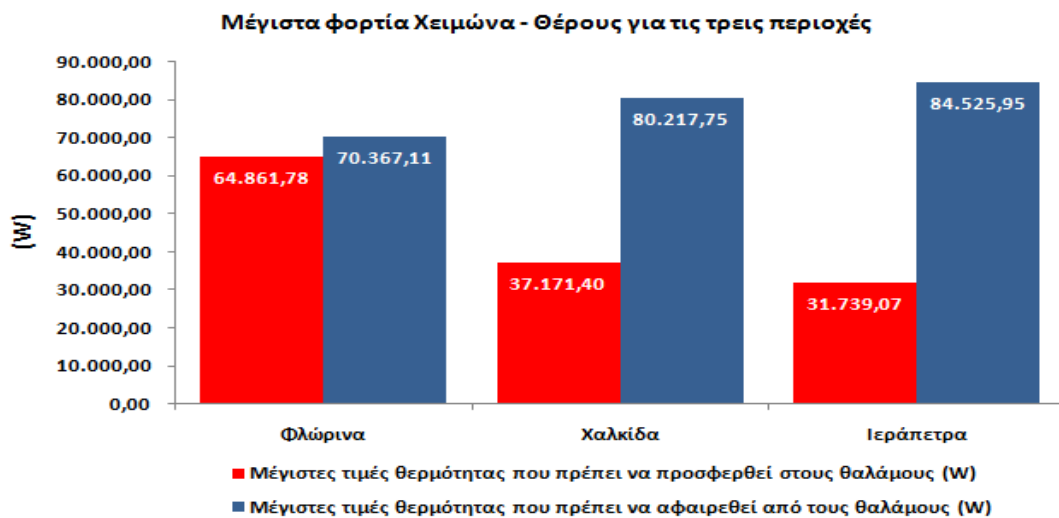


Σχήμα 74: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών θέρμανσης θαλάμων σε κάθε περιοχή



Σχήμα 75: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών ψύξης θαλάμων σε κάθε περιοχή

Η σύγκριση των μέγιστων φορτίων χειμώνα – θέρους για κάθε περιοχή παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 76: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών χειμώνα - θέρους για κάθε περιοχή

Οι δυσμενέστερες συνθήκες κατά το χειμώνα είναι:

- Θάλαμος 24° C (Φλώρινα), θάλαμος 28° C (Χαλκίδα), θάλαμος 30° C (Ιεράπετρα)
- Βάρος χοιριδίων 20kg (θάλαμος 24° C), 10kg (θάλαμος 28° C) και 7kg (θάλαμος 30° C) περίπου ανά χοιρίδιο
- Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος η χαμηλότερη τιμή από τις μέσες ελάχιστες ανά ημέρα του έτους κάθε μιας από τις εξεταζόμενες περιοχές
- Ειδική ενθαλπία εξωτερικού αέρα η χαμηλότερη του έτους

Αντίστοιχα οι δυσμενέστερες συνθήκες κατά το θέρος είναι:

- Θάλαμος 22° C (για κάθε περιοχή)
- Βάρος χοιριδίων 30kg περίπου έκαστο

- Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος στην υψηλότερη τιμή από τις μέσες μέγιστες θερμοκρασίες κάθε ημέρας του έτους για τις εξεταζόμενες περιοχές
- Ειδική ενθαλπία εξωτερικού αέρα η υψηλότερη του έτους

2.5 Χάραξη κύκλων ισχύος ψύξης & θέρμανσης σε διάγραμμα Mollier

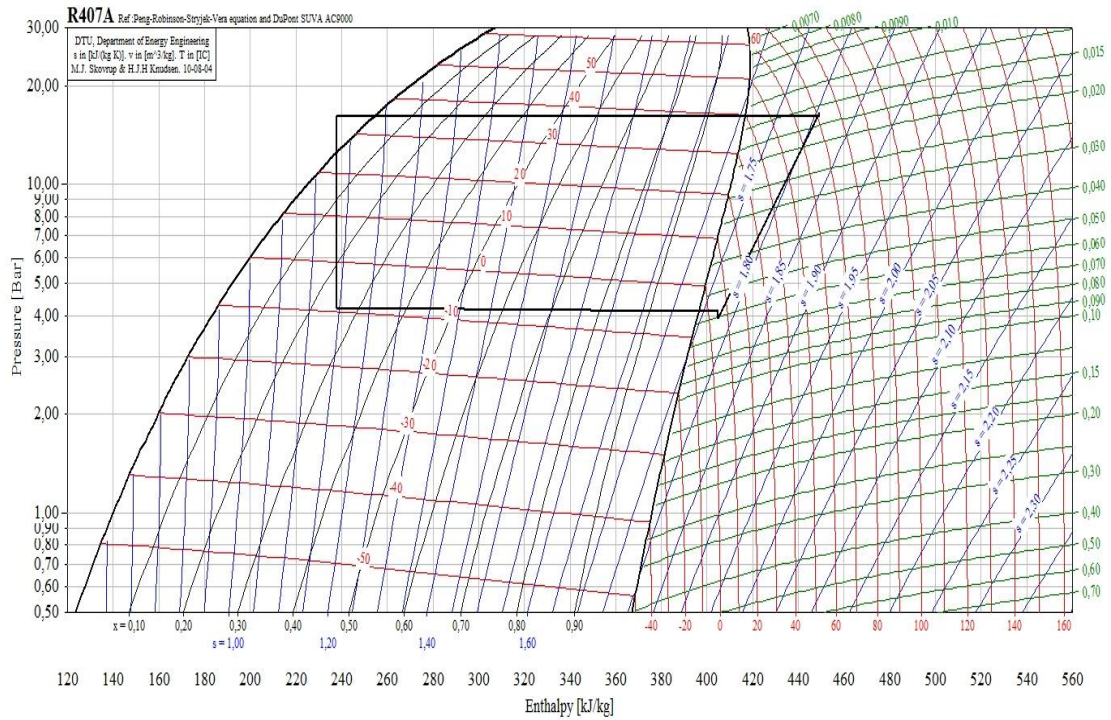
Έχοντας υπολογίσει τις θερμοκρασίες εδάφους⁵ για τις δυσμενέστερες περιόδους χειμώνα και θέρους των τριών περιοχών και από τη στιγμή που είναι γνωστές οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό των θαλάμων μπορούμε να χαράξουμε τους κύκλους Mollier επιλέγοντας τρία διαφορετικά ψυκτικά ρευστά που είναι το R134a, το R407A και το R22. Η επιλογή τους βασίζεται στα αποτελέσματα της μελέτης των Λεβέντη, Λαμπρινού (Λεβέντη, 2008), σύμφωνα με την οποία τα τρία αυτά ψυκτικά μέσα είναι τα επικρατέστερα προς επιλογή για χρήση στον Ελλαδικό χώρο. Θα πρέπει να αναφερθεί πως το R22 έχει μπει βάσει διεθνών συνθηκών σε καθεστώς κατάρτησης λόγω της περιβαλλοντικής επικινδυνότητας του, ωστόσο η εξέταση του στην παρούσα εργασία γίνεται καθαρά για λόγους σύγκρισης. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθενται τα αποτελέσματα που έδωσε η χάραξη κύκλων θέρμανσης (χειμώνα) στις τρεις εξεταζόμενες περιοχές για τα τρία ψυκτικά ρευστά.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα διερεύνησης κύκλων θέρμανσης (Mollier) για τις τρεις περιοχές και για τρία ψυκτικά ρευστά

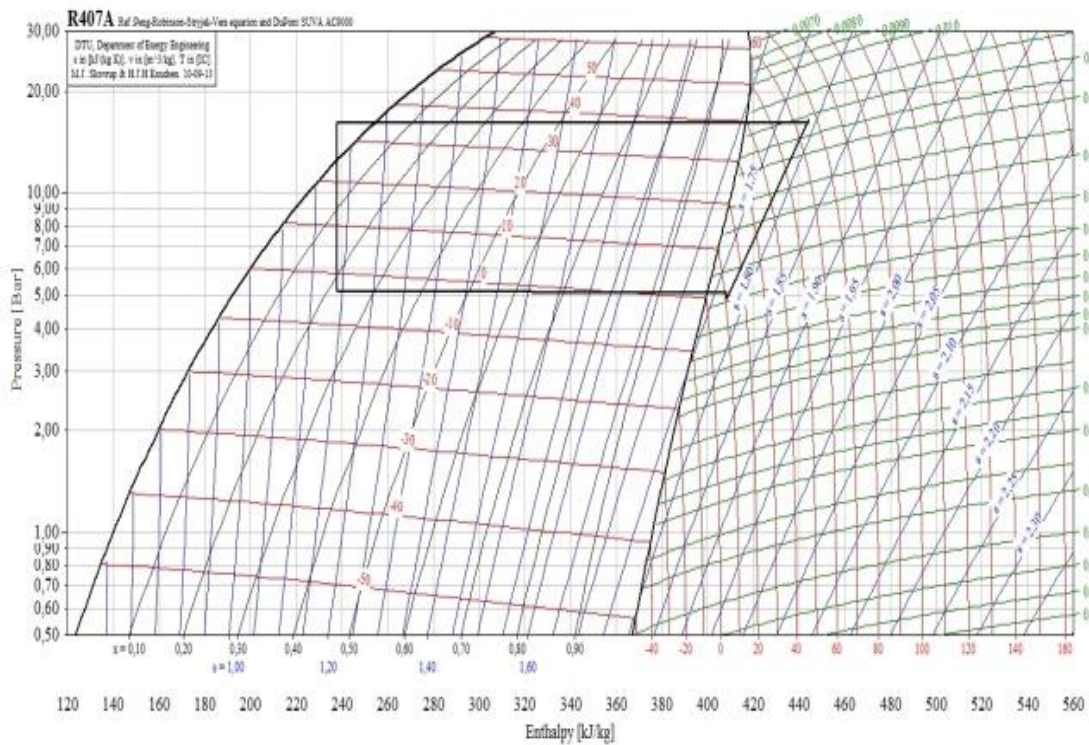
Πόλη	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα		
Συνθήκη	Χειμώνας			Χειμώνας			Χειμώνας		
Μέγιστη θερμοκρασία θαλάμου (oC)	30			30			30		
Συνεχής ισχύς φορτίων σε W	64.861,78			37.171,40			31.739,06		
Λειτουργία μηχανής (h)	18			18			18		
Θερμική ισχύς μονάδας Qθ (W)	86.482			49.562			42.319		
Επιλογή ψυκτικού ρευστού	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-23	R-134a	R-407A	R-24
Θερμοκρασία εδάφους (oC)	12			18			19		
Βάθος (m)	2,4			2,4			2,4		
Ημέρα έτους	23-Ιαν			1-Φεβ			12-Φεβ		
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (oC)	-3			6			8		
Ψυκτικό μέσο (εξατμιστής)	Γλυκόλυχο διάλυμα			Γλυκόλυχο διάλυμα			Γλυκόλυχο διάλυμα		
Διαφορά θερμοκρασίας εδάφους γλυκόλυχο διαλύματος (oC)	2			8			9		
Διαφορά θερμοκρασίας γλυκόλυχο διαλύματος ψυκτικού ρευστού (oC)	-5			1			2		
Θερμομεταφορικό μέσο συμπυκνωτή	Αέρας			Αέρας			Αέρας		
Διαφορά θερμοκρασίας αέρα - ψυκτικού ρευστού (oC)	40			40			40		
Συνθήκες και ψυκτικά ρευστά	Συνθήκη χειμώνα Φλώρινα R134a	Συνθήκη χειμώνα R407a	Συνθήκη χειμώνα R22	Συνθήκη χειμώνα Χαλκίδα R134a	Συνθήκη χειμώνα Χαλκίδα R407a	Συνθήκη χειμώνα Χαλκίδα R22	Συνθήκη χειμώνα Ιεράπετρα R134a	Συνθήκη χειμώνα Ιεράπετρα R407a	Συνθήκη χειμώνα Ιεράπετρα R22
qθ=(h2-h4) (kJ/kg)	207,29	211,55	219,18	201,20	206,27	212,65	200,36	205,77	211,96
qψ (kJ/kg)	162,30	166,88	174,22	166,73	170,45	176,66	166,69	171,03	177,06
Pc/Pe	4,64	4,20	3,87	3,66	3,36	3,14	3,51	3,25	3,04
noλ = ni x nm = (1-0,05 x (Pc/Pe)) x 0,9	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,76	0,74	0,75	0,76
Απαιτούμενη παροχή μάζας ψυκτικού ρευστού (kg/s) (m=Qθ/qθ)	0,42	0,41	0,39	0,25	0,24	0,23	0,21	0,21	0,20
Ειδικός όγκος στην αναρρόφηση (σημείο 1) (m3/kg)	0,09	0,06	0,06	0,08	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05
Παροχή όγκου στην αναρρόφηση (m3/s)	0,0392	0,0245	0,0241	0,0185	0,0115	0,0117	0,0152	0,0097	0,0096
wa (kJ/kg)	44,99	44,66	44,96	35,13	35,81	35,99	33,67	34,74	34,89
Θεωρητική απορροφούμενη ισχύς Pth = m x w (kW)	18,77	18,26	17,74	8,65	8,60	8,39	7,11	7,14	6,97
Πραγματική απορροφούμενη ισχύς Pr = Pth/noλ (kW)	27,154	25,678	24,440	11,765	11,491	11,056	9,584	9,479	9,127
Qψ (kW) (Qψ = m x qψ)	67,712	68,221	68,742	41,071	40,955	41,174	35,207	35,174	35,351
Θεωρητικός COP θέρμανσης	4,607	4,737	4,875	5,727	5,760	5,909	5,951	5,923	6,075
Πραγματικός COP θέρμανσης	3,185	3,368	3,539	4,213	4,313	4,483	4,416	4,465	4,637
Θερμομεταφορικό μέσο									
Προπιλενογλυκόλη 30%, με cp (kJ/kgK)	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
Διαφορά θερμοκρασίας θερμομεταφορικού μέσου - εδάφους (ΔΘ) (oC)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Παροχή μάζας θερμομεταφορικού μέσου m (kg/s)	2,76	2,78	2,81	1,68	1,67	1,68	1,44	1,44	1,44
Διατομή σωλήνα θερμομεταφορικού μέσου (mm)	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9
Παροχή όγκου θερμομεταφορικού μέσου (m3/s)	0,00262	0,00264	0,00266	0,00159	0,00158	0,00159	0,00136	0,00136	0,00137

⁵ Σημειώνεται πως οι θερμοκρασίες εδάφους για τα επιλεγμένα βάθη εγκατάστασης των γεωαναλλακτών σε κάθε πόλη και ο τρόπος υπολογισμού τους δίδονται αναλυτικά στην παράγραφο 2.6.1

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται οι κύκλοι θέρμανσης χειμώνα για κάθε μια από τις τρεις περιοχές. Από τα διαγράμματα Mollier παρουσιάζονται αυτά που αφορούν το ψυκτικό ρευστό R407A⁶.

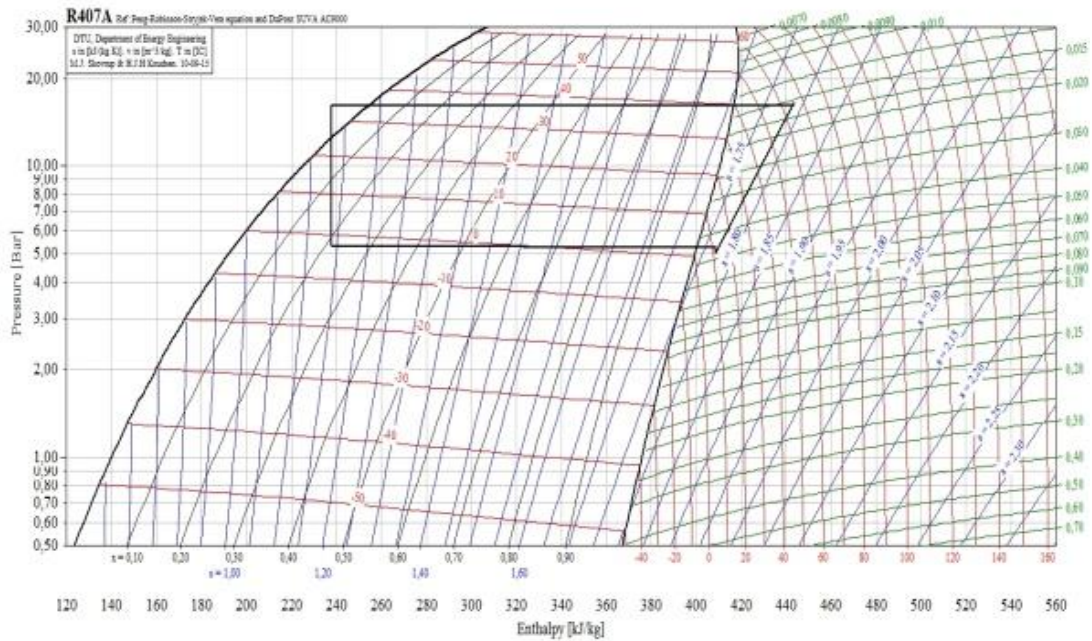


Σχήμα 77: Κύκλος θέρμανσης χειμώνα - Ψυκτικό ρευστό R407A / Φλώρινα



Σχήμα 78: Κύκλος θέρμανσης χειμώνα - Ψυκτικό ρευστό R407A / Χαλκίδα

⁶ Τα διαγράμματα Mollier των ψυκτικών ρευστών R134a & R22 δεν παρουσιάζονται για πρακτικούς λόγους με δεδομένο ότι το τελικός επιλεγέν ψυκτικό ρευστό όπως θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο είναι το R407A.



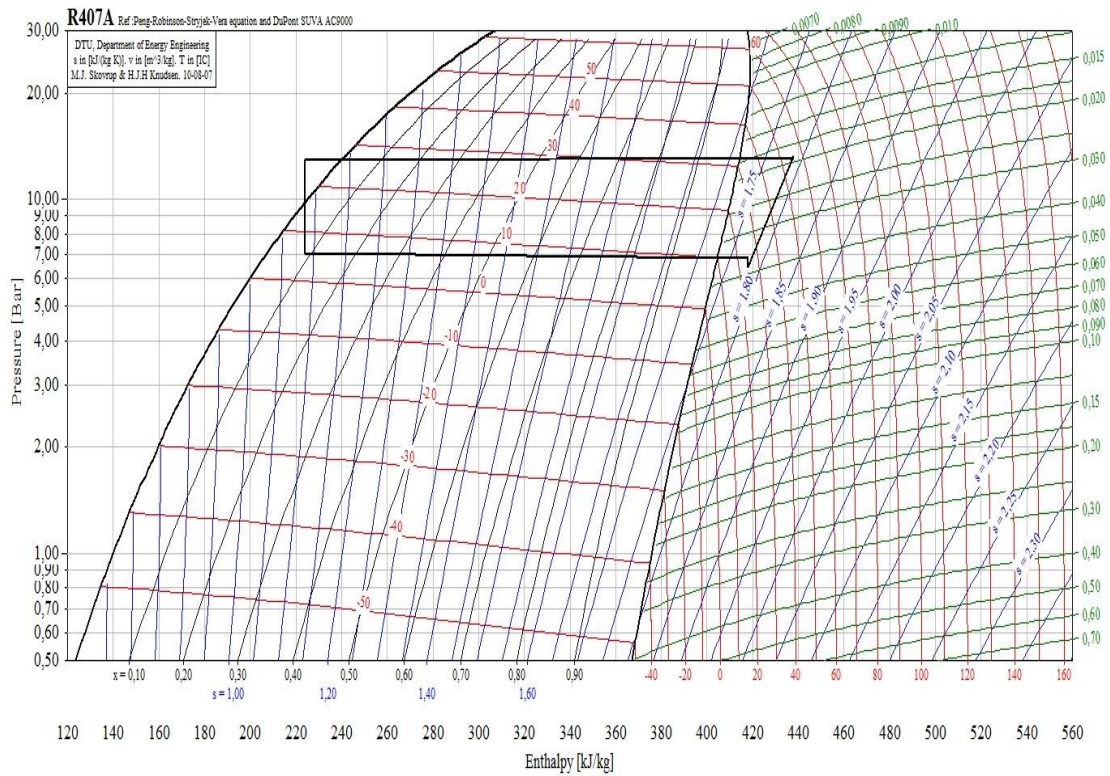
Σχήμα 79: Κύκλος θέρμανσης χειμώνα - Ψυκτικό ρευστό R407A / Ιεράπετρα

Η χάραξη και η διερεύνηση των αντίστοιχων κύκλων ψύξης για το θέρους έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

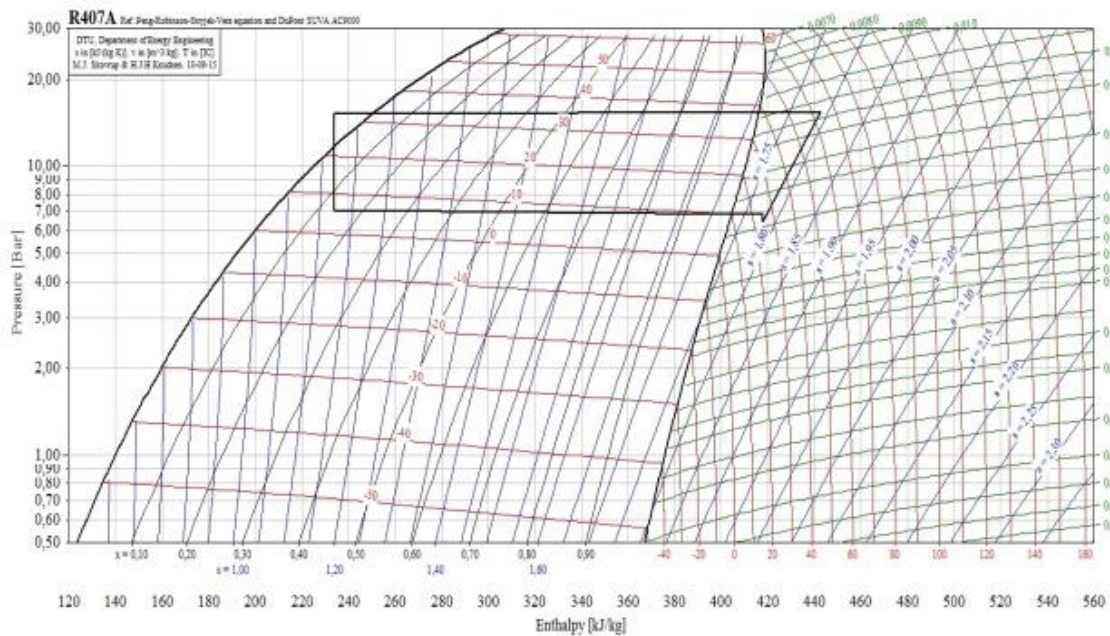
Πίνακας 23: Αποτελέσματα διερεύνησης κύκλων ψύξης (Mollier) για τις τρεις περιοχές και για τρία ψυκτικά ρευστά

Συνθήκη	Θέρος			Θέρος			Θέρος		
	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Ελάχιστη θερμοκρασία θαλάμου	22			22			22		
Συνεχής ισχύς φορτίων σε W	70.367,25			80.217,75			84.525,95		
Λειτουργία μηχανής (h)	18			18			18		
Ψυκτική ισχύς μονάδας Qψ (W)	93.823			106.957,00			112.701,27		
Επιλογή ψυκτικού ρευστού	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Θερμοκρασία εδάφους (oC)	12			18			19		
Βάθος (m)	2,4			2,4			2,4		
Ημέρα έτους	24-Ιουλ			28-Ιουλ			1-Αυγ		
Μέση μέγιστη θερμοκρασία αέρα (oC)	29			32			32		
Ψυκτικό μέσο (συμπυκνωτής)	Γλυκολούχο διάλυμα			Γλυκολούχο διάλυμα			Γλυκολούχο διάλυμα		
Διαφορά θερμοκρασίας εδάφους γλυκολούχου διαλύματος (oC)	22			28			29		
Διαφορά θερμοκρασίας γλυκολούχου διαλύματος ψυκτικού ρευστού (oC)	32			38			39		
Θερμομεταφορικό μέσο εξατμιστή	Αέρας			Αέρας			Αέρας		
Διαφορά θερμοκρασίας (oC) Ψυκτικό μέσο - θερμομεταφορικό ρευστό	10			10			10		
Συνθήκες και ψυκτικά ρευστά	Συνθήκη θέρους Φλώρινα (2) R134a	Συνθήκη θέρους (2) R407a	Συνθήκη θέρους (2) R22	Συνθήκη θέρους Χαλκίδα R134a	Συνθήκη θέρους Χαλκίδα R407a	Συνθήκη θέρους Χαλκίδα R22	Συνθήκη θέρους Ιεράπετρα R134a	Συνθήκη θέρους Ιεράπετρα R407a	Συνθήκη θέρους Ιεράπετρα R22
qψ (kJ/kg)	188,56	193,65	194,44	179,89	183,77	186,82	178,44	182,09	185,54
qθ (kJ/kg)	208,79	213,8	214,56	204,68	208,731	212,12	204,22	208,09	211,61
Pc/Pe	2,2	2,051	1,97	2,59	2,4	2,29	2,66	2,47	2,35
noλ = nί x nm = (1-0,05 x (Pc/Pe)) x 0,9	0,801	0,808	0,811	0,783	0,792	0,797	0,780	0,789	0,794
Απαιτούμενη παροχή μάζας ψυκτικού ρευστού στην αναρρόφηση (kg/s)	0,50	0,48	0,48	0,59	0,58	0,57	0,63	0,62	0,61
Ειδικός όγκος στην αναρρόφηση (σημείο 1) (m3/kg)	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04
Παροχή όγκου στην αναρρόφηση (m3/s)	0,0294	0,0184	0,0193	0,0351	0,0221	0,0229	0,0373	0,0235	0,0243
wa (kJ/kg)	20,23	20,14	20,12	24,784	24,95	25,29	25,78	25,99	26,07
Θεωρητική απορροφούμενη ισχύς Pth = m x w (kW)	10,07	9,76	9,71	14,74	14,52	14,48	16,28	16,09	15,84
Πραγματική απορροφούμενη ισχύς Pr = Pth/noλ	12,57	12,08	11,97	18,81	18,33	18,17	20,87	20,39	19,94
Qθ (kW) (Qθ = m x qθ)	103,89	103,59	103,53	121,70	121,48	121,44	128,98	128,79	128,54
Θεωρητικός COP ψύξης	9,32	9,62	9,66	7,26	7,37	7,39	6,92	7,01	7,12
Πραγματικός COP ψύξης	7,47	7,77	7,84	5,69	5,83	5,89	5,40	5,53	5,65
Θερμομεταφορικό μέσο									
Προπιλενογλυκόλη 30%, με cp (kJ/kgK)	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
Διαφορά θερμοκρασίας θερμομεταφορικού μέσου - εδάφους (ΔΘ) (oC)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Παροχή μάζας θερμομεταφορικού μέσου m (kg/s)	4,24	4,23	4,23	4,97	4,96	4,96	5,26	5,26	5,25
Διατομή σωλήνα θερμομεταφορικού μέσου	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9	20x1,9
Παροχή όγκου θερμομεταφορικού μέσου (m3/s)	0,00402	0,00400	0,00400	0,00470	0,00470	0,0047	0,0050	0,0050	0,0050

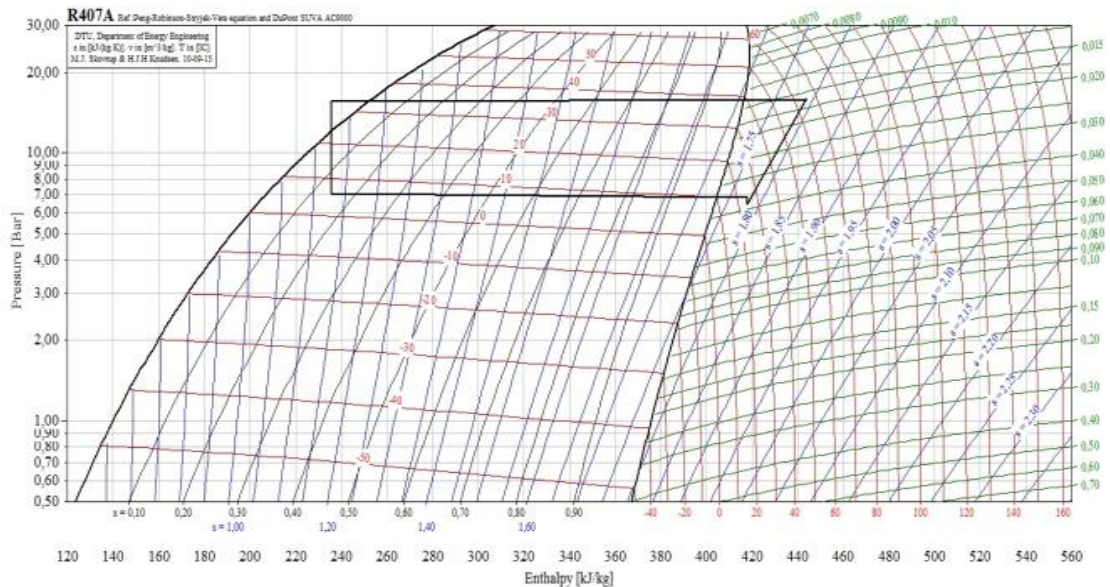
Ακολουθούν τα διαγράμματα Mollier των κύκλων ψύξης για κάθε μια από τις τρεις περιοχές. Και στην περίπτωση αυτή τα διαγράμματα αφορούν το ψυκτικό ρευστό R407A.



Σχήμα 80: Κύκλος ψύξης - Ψυκτικό ρευστό R407A / Φλόρινα



Σχήμα 81: Κύκλος ψύξης θέρους - Ψυκτικό ρευστό R407A / Χαλκίδα



Σχήμα 82: Κύκλος ψύξης θέρους - Ψυκτικό ρευστό R407A – Ιεράπετρα

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε πως:

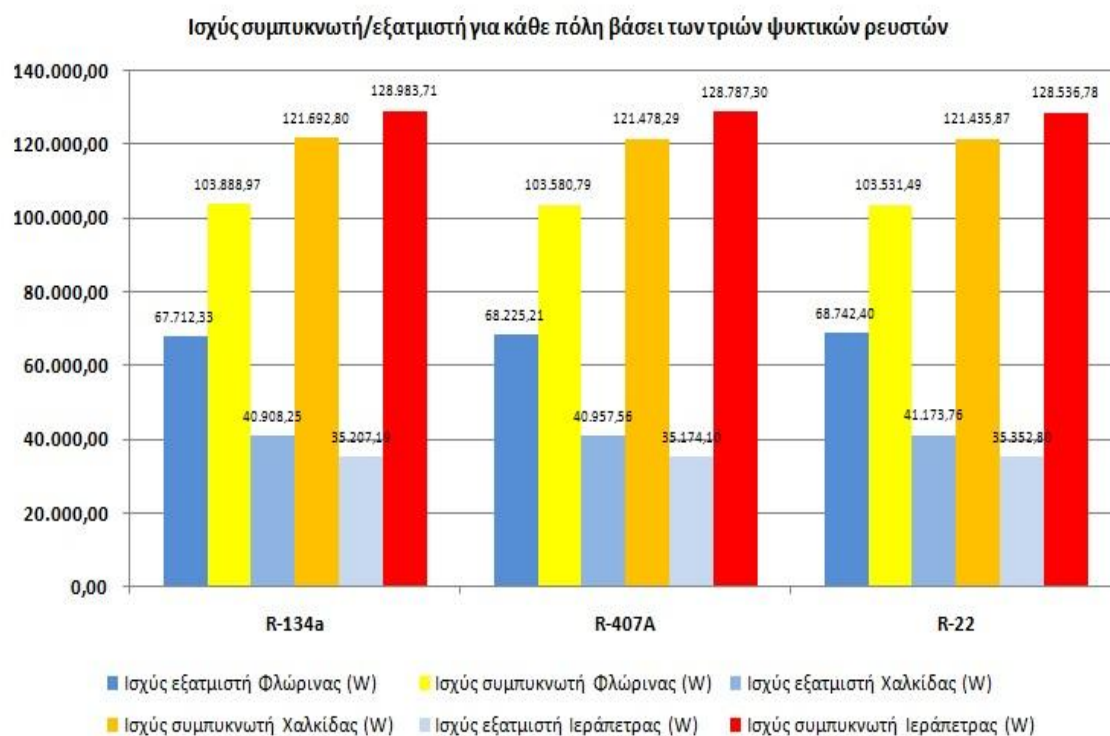
- i. Η διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου θερμομεταφορικού ρευστού είναι η ίδια και στις τρεις περιοχές τόσο κατά το θέρους όσο και κατά το χειμώνα
- ii. Τόσο οι κύκλοι θέρμανσης όσο και οι κύκλοι ψύξης απαιτούν την δαπάνη μικρότερου ειδικού έργου στο συμπιεστή συγκριτικά με τους κλασσικούς κύκλους όπου η ανταλλαγή θερμότητας γίνεται με εναλλάκτες αέρος – αέρος.
- iii. Η απορροφημένη ισχύς του συμπιεστή είναι μεγαλύτερη το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι
- iv. Η παροχή μάζας θερμομεταφορικού μέσου που απαιτείται για την απόρριψη της θερμότητας συμπύκνωσης στο έδαφος το θέρους (Q_{θ}) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη παροχή μάζας που απαιτείται για την λήψη θερμότητας (Q_{ψ}) από το έδαφος κατά το χειμώνα. Η διαπίστωση αυτή είναι κοινή για κάθε περιοχή και για κάθε ψυκτικό ρευστό.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν το ότι οι ανάγκες θέρους υπερτερούν των αντιστοίχων του χειμώνα, για τη διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα που αφορούν το θέρους. Οι σχετικές τιμές της ισχύος συμπυκνωτή και εξατμιστή με βάση τους κύκλους κάθε περιοχής συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 24: Ισχύς συμπυκνωτών & εξατμιστών με βάση τους κύκλους θέρμανσης/ψύξης κάθε περιοχής

	Ψυκτικά ρευστά		
	R-134a	R-407A	R-22
	Φλώρινα		
Ισχύς εξατμιστή (W)	67.712,33	68.225,21	68.742,40
Ισχύς συμπυκνωτή (W)	103.888,97	103.580,79	103.531,49
	Χαλκίδα		
Ισχύς εξατμιστή (W)	40.908,25	40.957,56	41.173,76
Ισχύς συμπυκνωτή (W)	121.692,80	121.478,29	121.435,87
	Ιεράπετρα		
Ισχύς εξατμιστή (W)	35.207,19	35.174,10	35.352,80
Ισχύς συμπυκνωτή (W)	128.983,71	128.787,30	128.536,78

Τα αποτελέσματα του πίνακα 24 παρατίθενται γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα



Σχήμα 83: Συγκριτικό διάγραμμα ισχύων συμπυκνωτή και εξατμιστή για κάθε εξεταζόμενη περιοχή

2.5.1 Διαστασιολόγηση συμπιεστών

Από τα αποτελέσματα των πινάκων 22 & 23 διαστασιολογούμε τους συμπιεστές υπολογίζοντας τη θεωρητική παροχή όγκου μέσω της πραγματικής σε συνδυασμό με τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω της σχέσης:

$$\dot{V}_{th} = \frac{\dot{V}_r}{n_v} \quad (18)$$

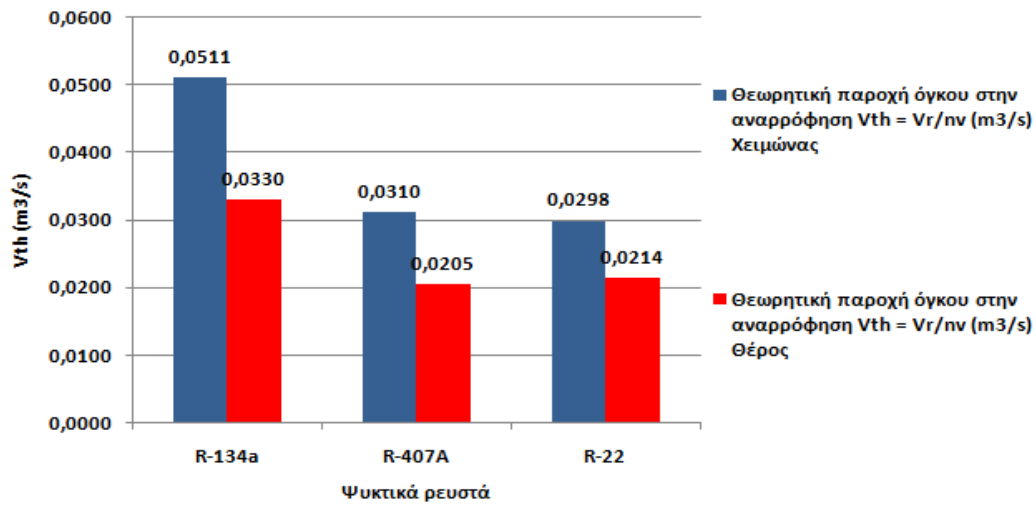
Τα αποτελέσματα για κάθε περιοχή και για κάθε ψυκτικό ρευστό συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 25: Θεωρητική παροχή όγκου ψυκτικού ρευστού για κάθε περιοχή και εποχή

Υπολογισμός θεωρητικής παροχής όγκου στην αναρρόφηση των συμπιεστών									
Περιοχές	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα		
	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Ψυκτικά ρευστά									
Θεωρητική παροχή όγκου στην αναρρόφηση $\dot{V}_{th} = \dot{V}_r/n_v$ (m ³ /s) Χειμώνας	0,0511	0,0310	0,0298	0,0226	0,0139	0,0138	0,0184	0,0115	0,0113
Θεωρητική παροχή όγκου στην αναρρόφηση $\dot{V}_{th} = \dot{V}_r/n_v$ (m ³ /s) Θέρος	0,0330	0,0205	0,0214	0,0403	0,0251	0,0259	0,0430	0,0268	0,0275

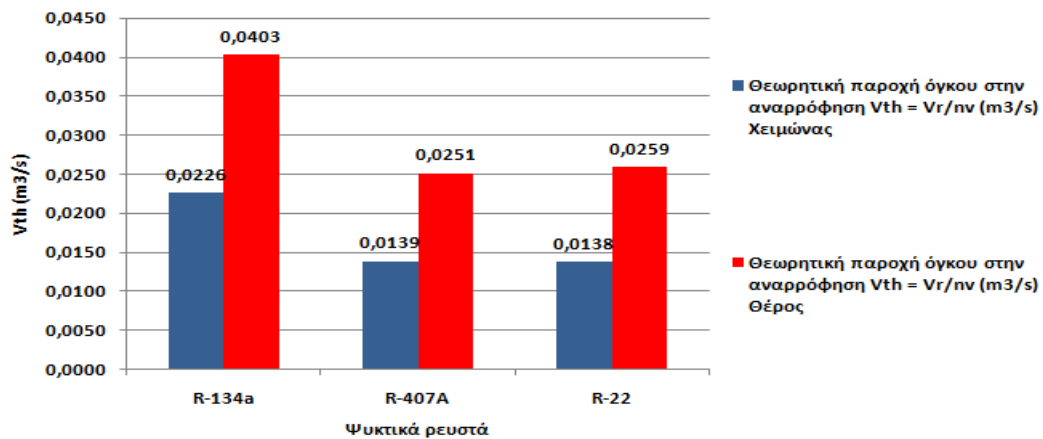
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται γραφικά η σύγκριση μεταξύ των θεωρητικών παροχών όγκου ψυκτικού ρευστού για κάθε περιοχή και κάθε εποχή (χειμώνας & θέρος)

Θεωρητική παροχή όγκου στην αναρρόφηση των συμπιεστών - Φλώρινα



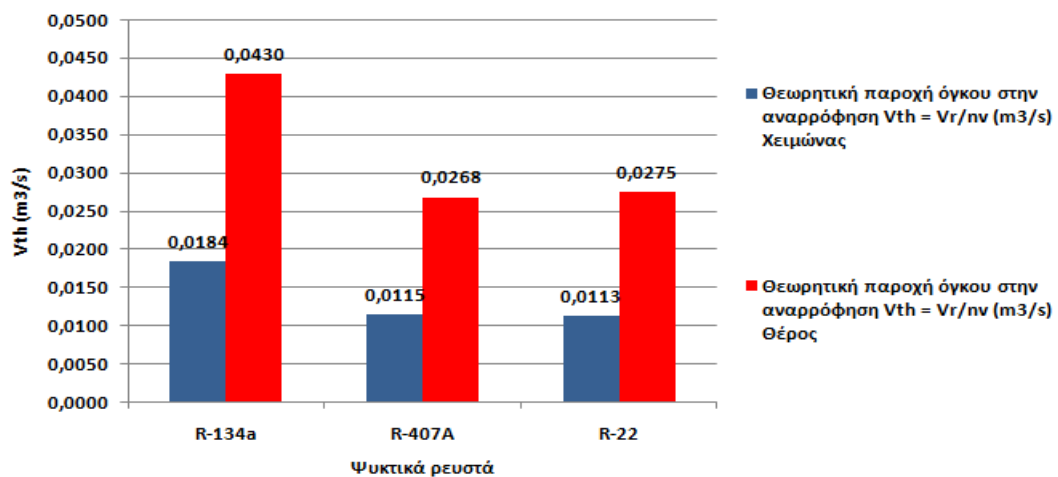
Σχήμα 84: Θεωρητική παροχή όγκου για το συμπιεστή της Φλώρινας για κάθε ψυκτικό ρευστό

Θεωρητική παροχή όγκου στην αναρρόφηση των συμπιεστών - Χαλκίδα



Σχήμα 85: Θεωρητική παροχή όγκου για το συμπιεστή της Χαλκίδας για κάθε ψυκτικό ρευστό

Θεωρητική παροχή όγκου στην αναρρόφηση των συμπιεστών - Ιεράπετρα



Σχήμα 86: Θεωρητική παροχή όγκου για το συμπιεστή της Ιεράπετρας για κάθε ψυκτικό ρευστό

Παράλληλα υπολογίζουμε το ειδικό ογκομετρούμενο θερμικό και ψυκτικό έργο κάθε συμπιεστή για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τη σχέση:

$$q_{\theta}^V = q_{\theta} \times \frac{1}{v_1} \quad (19) \text{ για το χειμώνα}$$

$$q_{\psi}^V = q_{\psi} \times \frac{1}{v_1} \quad (20) \text{ για το θέρος}$$

Όπου:

q_{θ}^V = το ειδικό θερμικό ογκομετρούμενο έργο σε kJ/m³

q_{ψ}^V = το ειδικό ψυκτικό ογκομετρούμενο έργο σε kJ/m³

q_{θ} = η ειδική θερμική παραγωγή στο συμπυκνωτή σε kJ/kg

q_{ψ} = η ειδική ψυκτική παραγωγή στον εξατμιστή σε kJ/kg

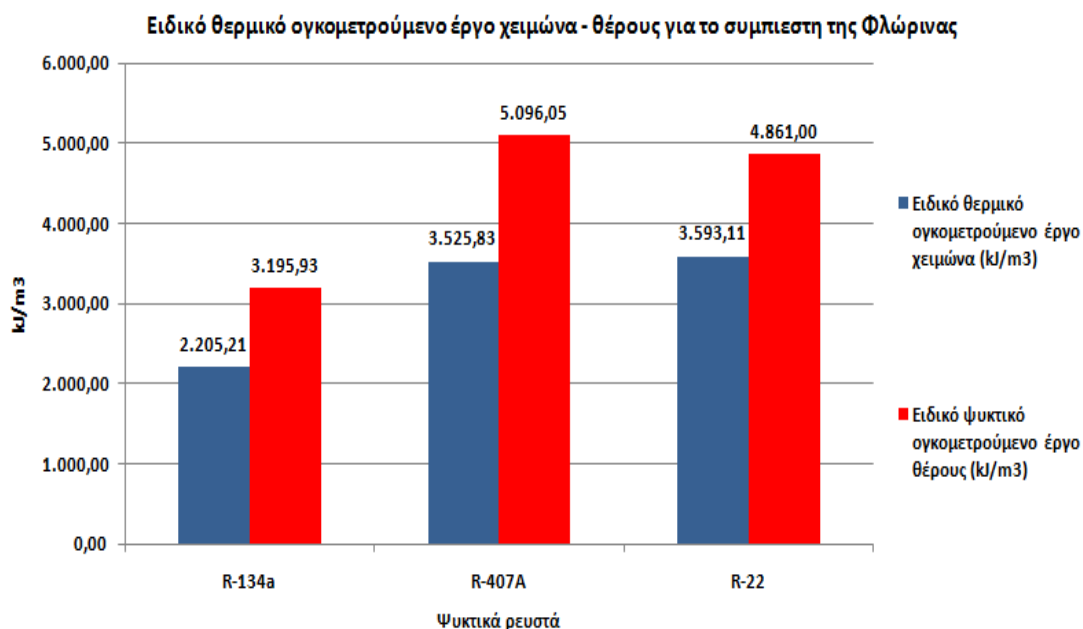
v_1 = ο ειδικός όγκος του ψυκτικού ρευστού στην αναρρόφηση σε m³/kg

Τα αποτελέσματα δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί:

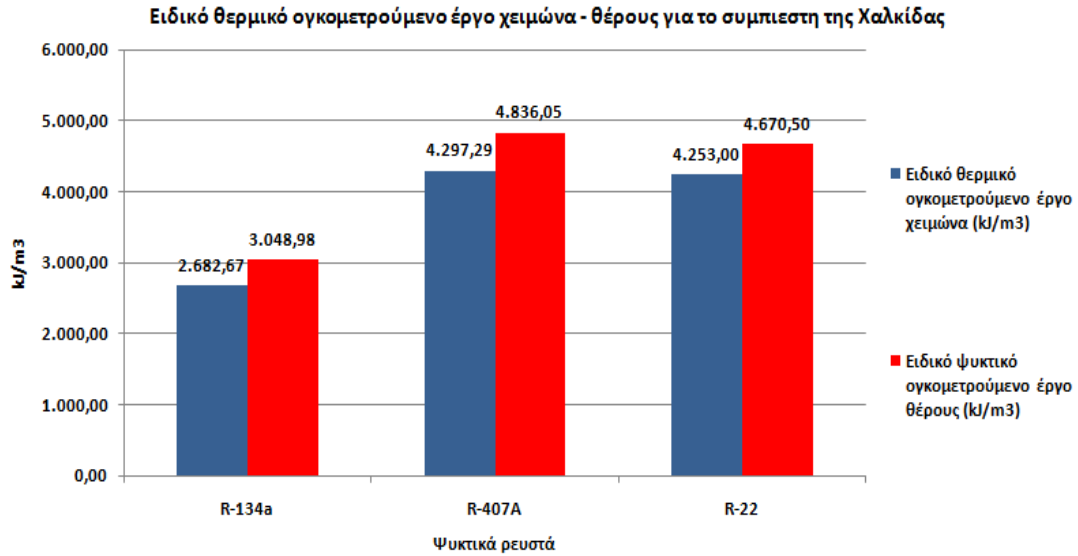
Πίνακας 26: Υπολογισμός ειδικού ογκομετρούμενου έργου

Υπολογισμός ειδικού ογκομετρούμενου έργου									
Περιοχές	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα		
Ψυκτικά ρευστά	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Ειδικό θερμικό ογκομετρούμενο έργο χειμώνα (kJ/m ³)	2.205,21	3.525,83	3.593,11	2.682,67	4.297,29	4.253,00	2.782,78	4.378,09	4.415,83
Ειδικό ψυκτικό ογκομετρούμενο έργο θέρους (kJ/m ³)	3.195,93	5.096,05	4.861,00	3.048,98	4.836,05	4.670,50	3.024,41	4.791,84	4.638,50

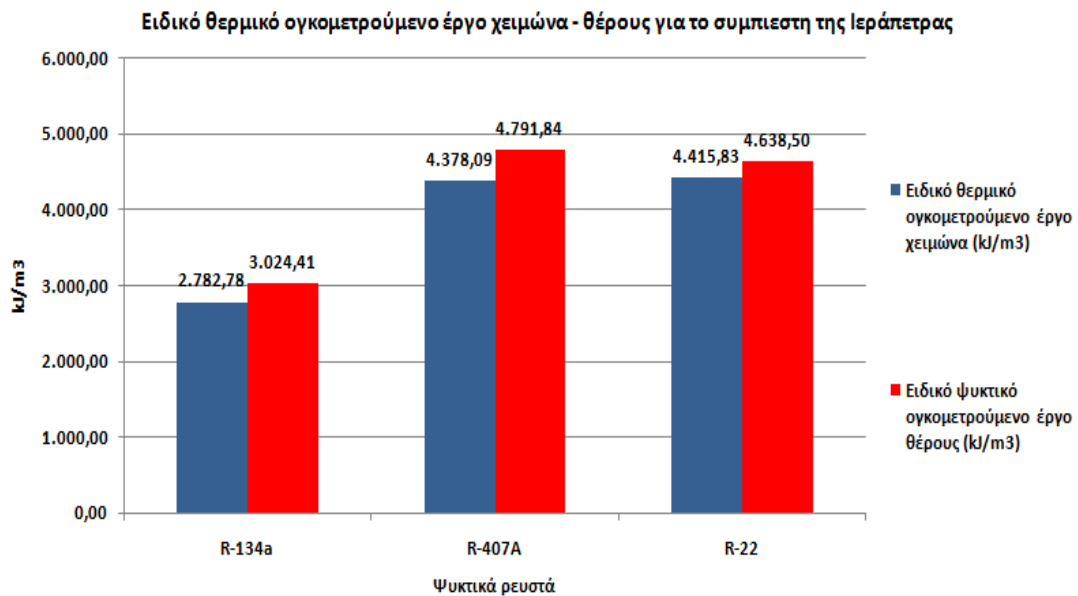
Η σύγκριση του ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα/θέρους για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή παρουσιάζεται στα ακόλουθα διαγράμματα:



Σχήμα 87: Σύγκριση μεταξύ ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα - θέρους για το συμπιεστή της Φλώρινας



Σχήμα 88: Σύγκριση μεταξύ ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα - θέρους για το συμπιεστή της Χαλκίδας



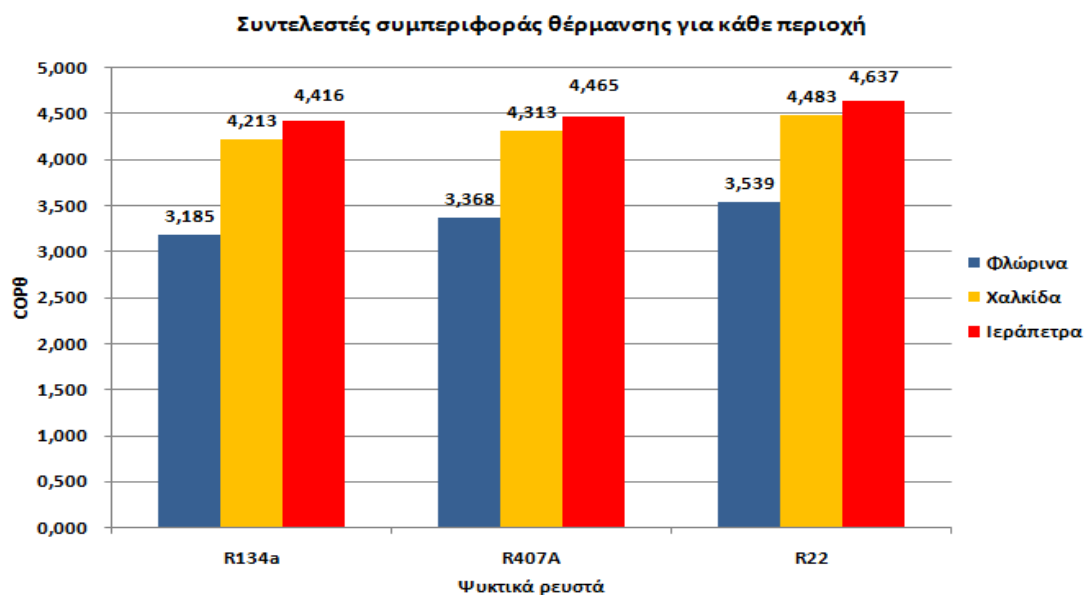
Σχήμα 89: Σύγκριση μεταξύ ειδικού ογκομετρούμενου έργου χειμώνα - θέρους για το συμπιεστή της Ιεράπετρας

Οι συντελεστές συμπεριφοράς (COP) θέρμανσης και ψύξης για κάθε ψυκτικό ρευστό δίδονται στους ακόλουθους πίνακες. Στον πίνακα 27 παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού συντελεστή συμπεριφοράς θέρμανσης για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή.

Πίνακας 27: Συντελεστές συμπεριφοράς θέρμανσης

Θεωρητικοί και πραγματικοί συντελεστές συμπεριφοράς θέρμανσης									
Περιοχές	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα		
	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Ψυκτικά ρευστά									
Θεωρητικός COP θέρμανσης	4,607	4,737	4,875	5,727	5,760	5,909	5,951	5,923	6,075
Πραγματικός COP θέρμανσης	3,185	3,368	3,539	4,213	4,313	4,483	4,416	4,465	4,637

Η σύγκριση μεταξύ των πραγματικών συντελεστών συμπεριφοράς θέρμανσης για κάθε ρευστό και για κάθε περιοχή παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:



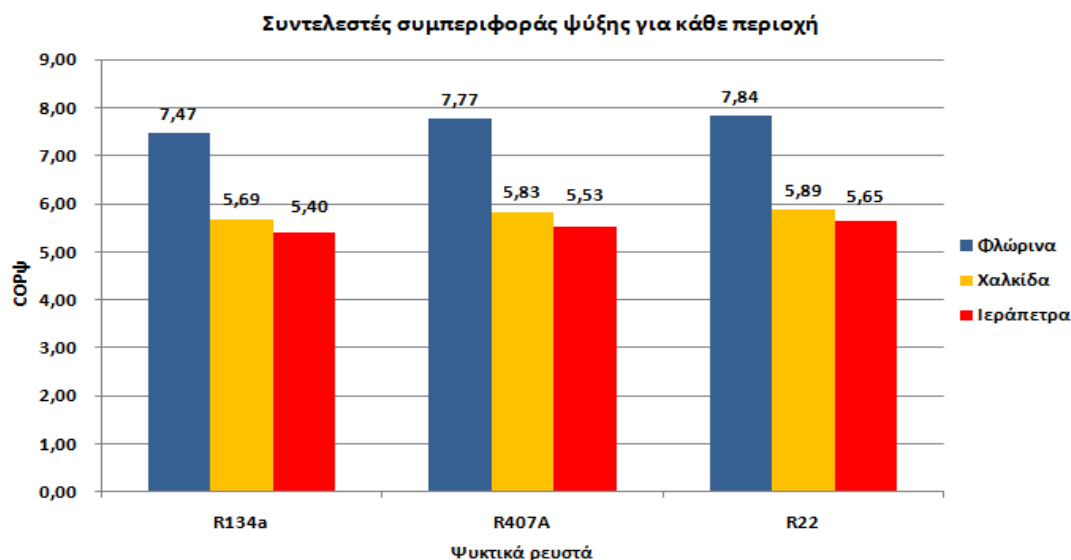
Σχήμα 90: Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς θέρμανσης για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή

Η αντίστοιχη σύγκριση μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού συντελεστή συμπεριφοράς ψύξης για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή δίδεται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 28: Συντελεστές συμπεριφοράς ψύξης

Θεωρητικοί και πραγματικοί συντελεστές συμπεριφοράς ψύξης										
Περιοχές	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα			
	Ψυκτικά ρευστά	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Θεωρητικός COP ψύξης		9,32	9,62	9,66	7,26	7,37	7,39	6,92	7,01	7,12
Πραγματικός COP ψύξης		7,47	7,77	7,84	5,69	5,83	5,89	5,40	5,53	5,65

Η σύγκριση μεταξύ των πραγματικών συντελεστών συμπεριφοράς ψύξης για κάθε ρευστό και για κάθε περιοχή παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:



Σχήμα 91: Σχήμα 92: Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς ψύξης για κάθε ψυκτικό ρευστό και κάθε περιοχή

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 25 παρατηρούμε πως η θεωρητική παροχή όγκου είναι μεγαλύτερη στη Φλώρινα το χειμώνα, ενώ στη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα το καλοκαίρι. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στο R134a ενώ οι μικρότερες στο R22. Το ειδικό ογκομετρούμενο ψυκτικό έργο παρουσιάζεται μεγαλύτερο σε σχέση με το αντίστοιχο θερμικό κάθε περιοχής. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στο ψυκτικό ρευστό R407A ενώ οι μικρότερες στο R134a. Τέλος σε σχέση με τους συντελεστές συμπεριφοράς, παρατηρούμε ότι οι αντίστοιχοι της ψύξης είναι μικρότεροι των αντιστοιχών θέρμανσης.

Η τελική επιλογή συμπιεστή για κάθε περιοχή γίνεται με βάση τη διαθεσιμότητα των σχετικών εξαρτημάτων. Για το λόγο αυτό επιλέγεται για κάθε περιοχή συμπιεστής με COP = 4 και ψυκτικό ρευστό R407A το οποίο συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι των άλλων δύο. Σημειώνεται πως το R22 εξαιρείται της επιλογής καθώς τελεί υπό κατάργηση.

2.5.2 Διαστασιολόγηση εναλλακτών θερμότητας στο εσωτερικό των θαλάμων (fan coils)

Η εναλλαγή θερμότητας μεταξύ ψυκτικού ρευστού και αέρα στο εσωτερικό των θαλάμων στέγασης των χοιριδίων θα γίνει μέσω εναλλακτών θερμότητας (fan coils) τα οποία θα προσαρμοστούν στο άνοιγμα που θα έχει κάθε θάλαμος για την εισαγωγή φρέσκου αέρα. Ουσιαστικά σε κάθε θάλαμο θα υπάρχει ένα fan coil στο άνω τμήμα της τοιχοποιίας από την πλευρά στην οποία δεν υπάρχει διάδρομος. Με τον τρόπο αυτό η προσαγωγή αέρα θα γίνεται από σημείο αντίθετο από αυτό της εξαγωγής οπότε με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται ο κίνδυνος διακίνησης στους θαλάμους επικίνδυνων αερίων. Βάσει των αναγκών θέρμανσης και ψύξης κάθε θαλάμου για τις δυσμενέστερες περιόδους χειμώνα και θέρους η επιλογή των fan coils έχει ως εξής:

Πίνακας 29: Επιλογή fan coil για κάθε θάλαμο και περιοχή

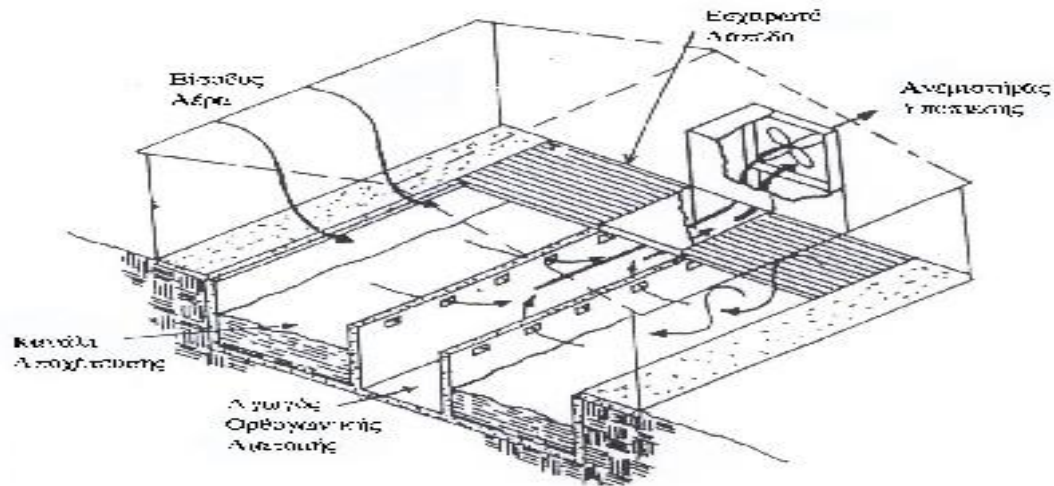
Περιοχές	Μοντέλο βάσει προμηθευτή	Ισχύς βάσει προμηθευτή (W)
Φλώρινα	CG 25	25.526
Χαλκίδα	CG 26	25.793
Ιεράπετρα	CG 26	25.793

2.5.3 Διαστασιολόγηση ανεμιστήρων ανανέωσης αέρα στο εσωτερικό των θαλάμων

Οι ανεμιστήρες που θα απομακρύνουν τον αέρα από το χώρο των θαλάμων θα τοποθετηθούν στο κεντρικό κανάλι αποχέτευσης του κάθε θαλάμου. Με τον τρόπο αυτό θα επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του CO₂, το οποίο ως βαρύτερο από τον αέρα τείνει να συσσωρευτεί πάνω από τη στάθμη της κόπρου.

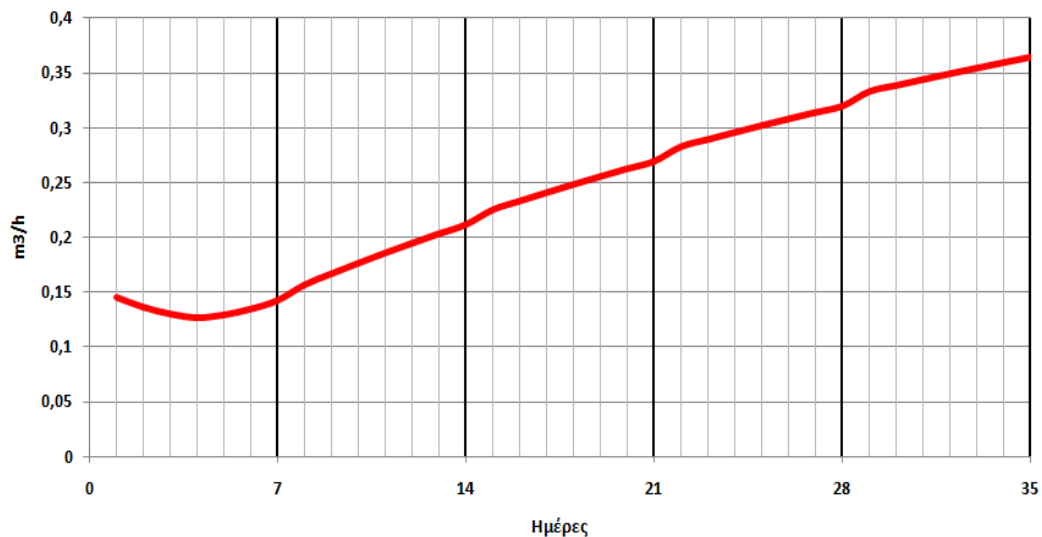
Οι ανεμιστήρες θα είναι εγκατεστημένοι σε ειδικό κλωβό μέσω του οποίου θα απάγεται αέρας στο εξωτερικό περιβάλλον. Λαμβανομένου υπ' όψιν του γεγονότος ότι η παροχή όγκου αέρα για την απομάκρυνση του CO₂ είναι ανάλογη της ηλικίας των χοιριδίων, οι ανεμιστήρες θα διαθέτουν σύστημα ρύθμισης ταχύτητας το οποίο θα τους επιτρέπει να λειτουργούν από μια ελάχιστη παροχή της τάξεως των 0,14m³/s (494m³/h) μέχρι μια μέγιστη της τάξεως των 0,40m³/s (1.424m³/h).

Ως εκ τούτου προτείνεται η επιλογή 5 ανεμιστήρων (ένας για κάθε θάλαμο) με ικανότητα 1.500m³/h, οι οποίοι θα είναι εξοπλισμένοι με σύστημα έλεγχου ταχύτητας με προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC).



Σχήμα 93: Σύστημα ανανέωσης αέρα με αεραγωγό στο κανάλι αποχέτευσης του θαλάμου (Παναγάκης 2009)

Ρυθμός αερισμού

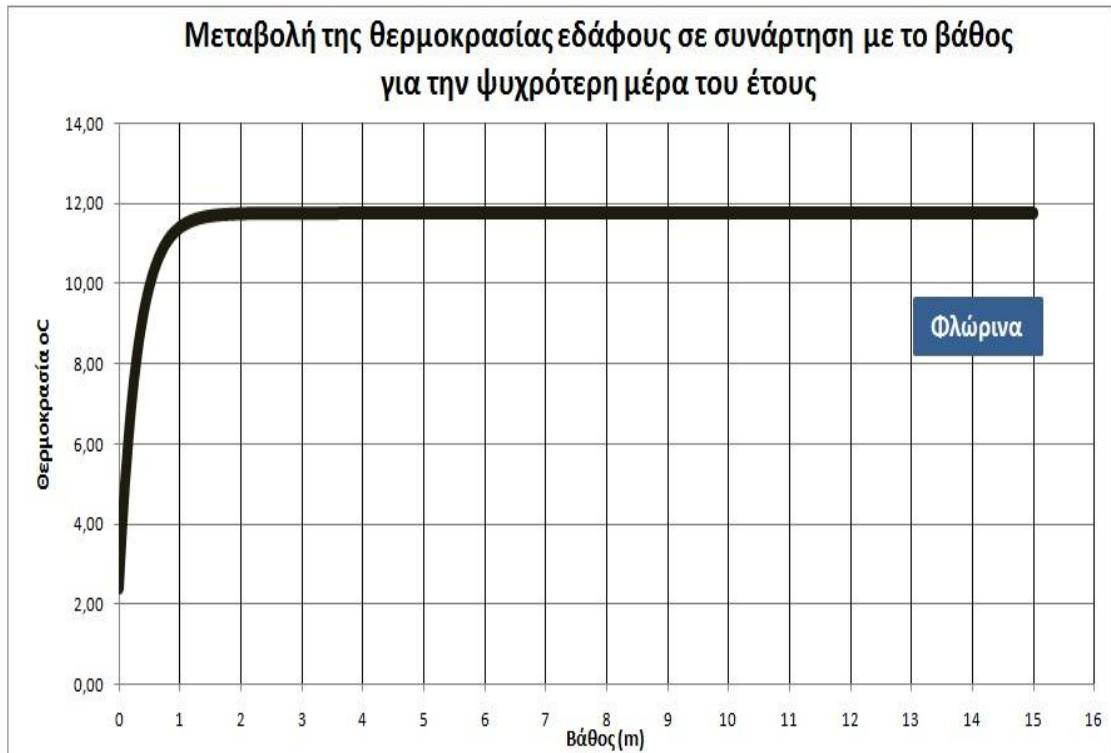


Σχήμα 45α: Ρυθμός απαιτούμενων εναλλαγών αέρα για την απομάκρυνση του CO₂ (Δεδομένα θέρους Φλώρινας)

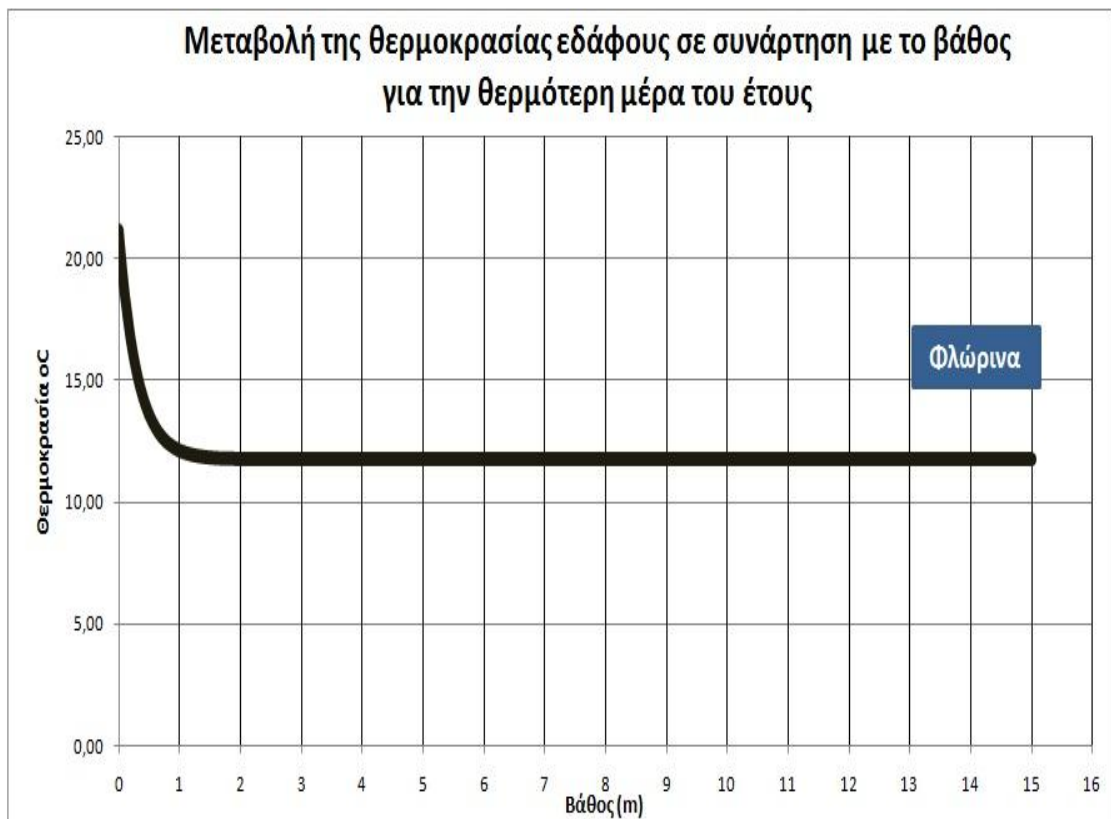
2.6 Έδαφος και σχεδιασμός γεωεναλλάκτη

2.6.1 Έδαφος

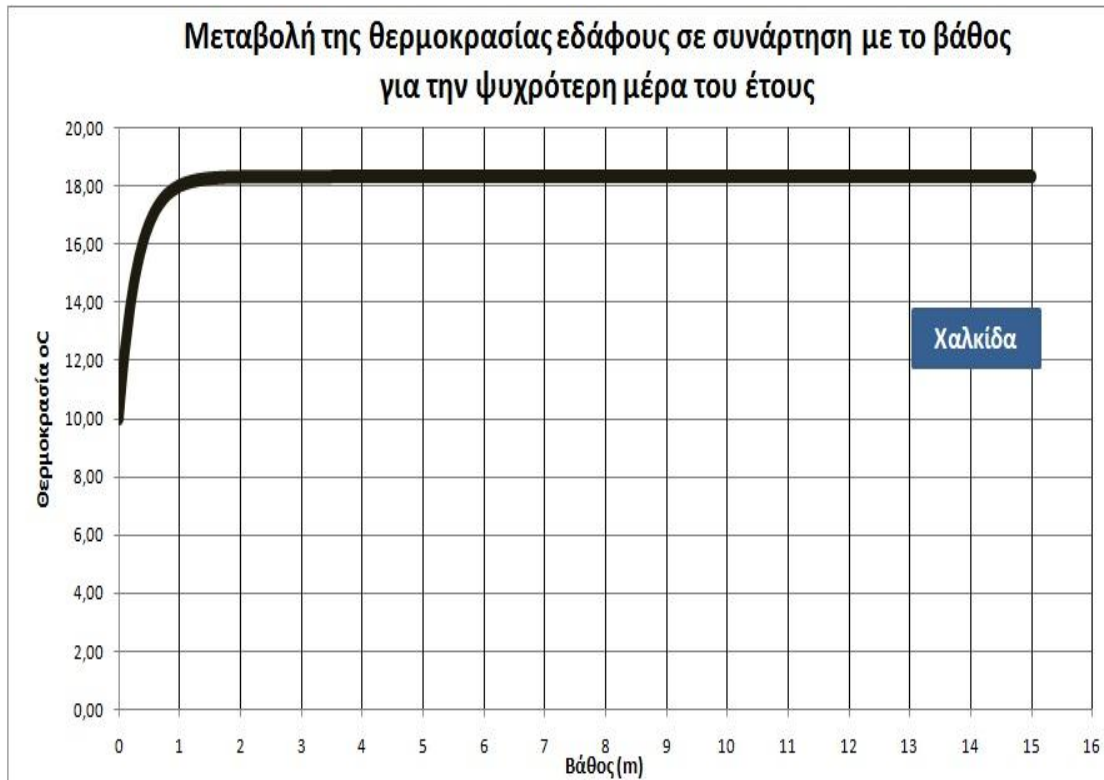
Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος κρίνεται απαραίτητο να υπολογισθεί η θερμοκρασία του εδάφους συναρτήσει του βάθους τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι για κάθε μια από τις τρεις εξεταζόμενες περιοχές. Για τους υπολογισμούς μας εκτιμούμε ότι το έδαφος σε κάθε περιοχή παρουσιάζει τις δυσμενέστερες θερμοφυσικές ιδιότητες. Από την εισαγωγή των δυσμενέστερων τιμών θερμικής διαχυτότητας στην εξίσωση του Kasuda, υπολογίζουμε αλγεβρικά και γραφικά τις τιμές της θερμοκρασίας εδάφους για διάφορα βάθη καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους. Ανάμεσα από όλες τις περιόδους μας ενδιαφέρει η θερμοκρασία του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τις ημέρες κατά τις οποίες έχουμε τις δυσμενέστερες κλιματολογικά συνθήκες στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται γραφικά στα ακόλουθα διαγράμματα:



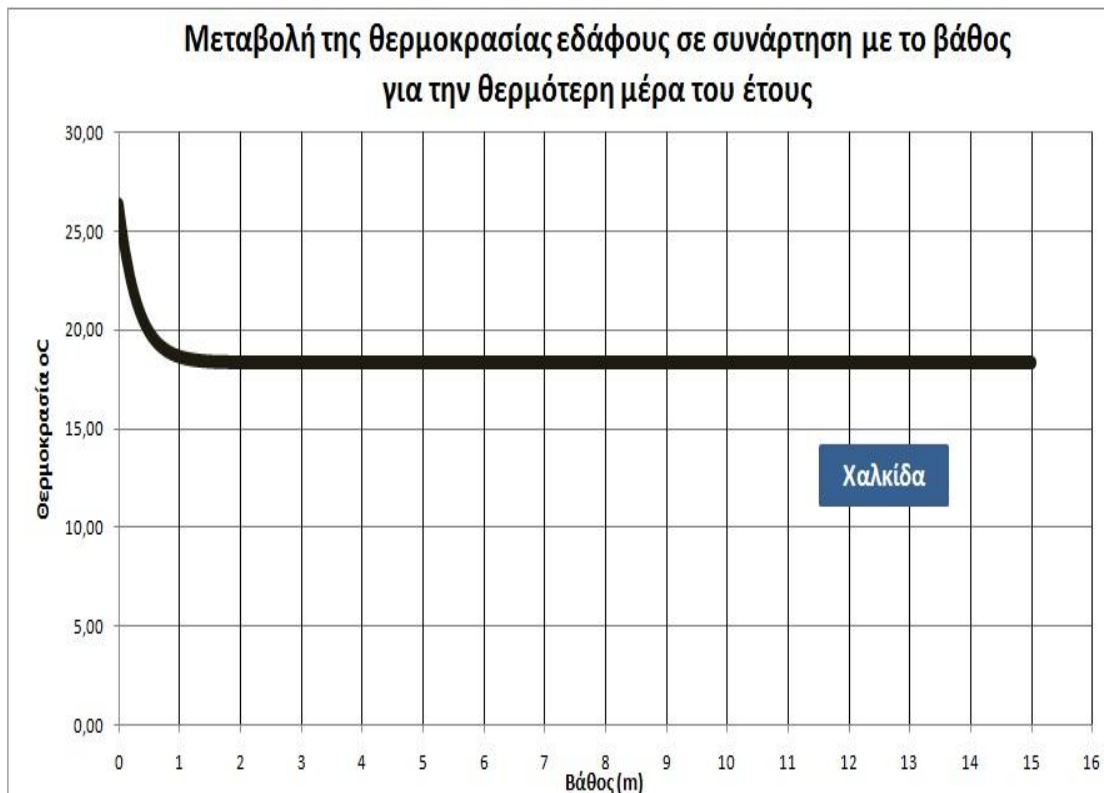
Σχήμα 94: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους για την ψυχρότερη μέρα του έτους στη Φλώρινα



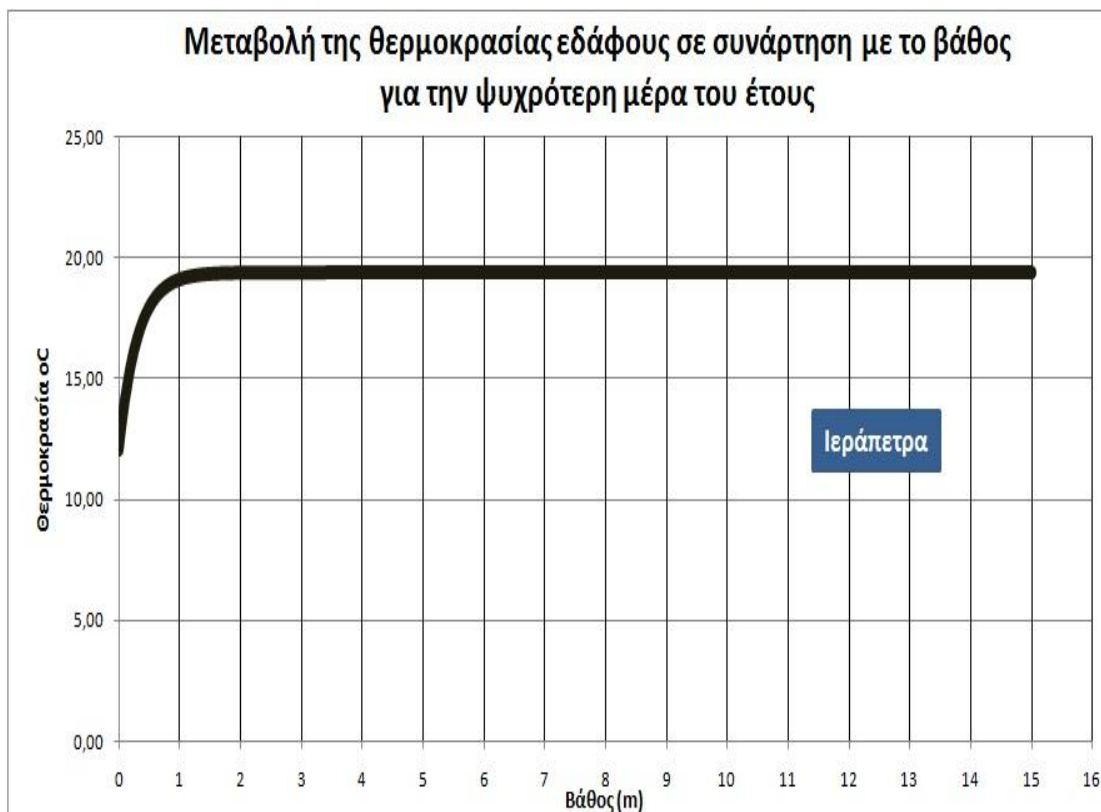
Σχήμα 95: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη θερμότερη μέρα του έτους στη Φλώρινα



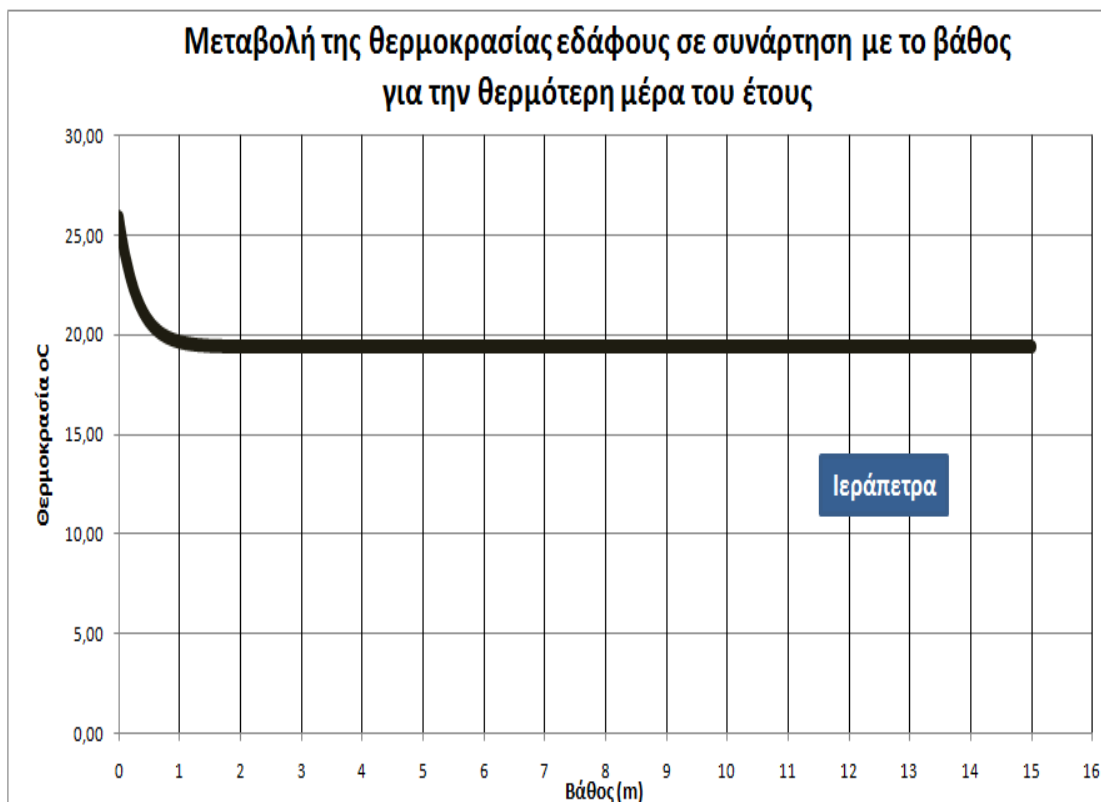
Σχήμα 96: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους για την ψυχρότερη μέρα του έτους στη Χαλκίδα



Σχήμα 97: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη θερμότερη μέρα του έτους στη Χαλκίδα



Σχήμα 98: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη ψυχρότερη μέρα του έτους στην Ιεράπετρα



Σχήμα 99: Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους συναρτήσει του βάθους για τη θερμότερη μέρα του έτους στην Ιεράπετρα

Όπως παρατηρούμε η θερμοκρασία του εδάφους αρχίζει να σταθεροποιείται μετά το ένα μέτρο και είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Από τα 2m και κάτω παραμένει θεωρητικά αμετάβλητη. Από τις ανωτέρω διαπιστώσεις καταλαβαίνουμε πως μπορούμε να επιλέξουμε ως ελάχιστο βάθος εγκατάστασης το 1m.

Αναλυτικότερα βάση της διερεύνησης που έγινε με τον τύπο του Kasuda, οι θερμοκρασίες εδάφους σε βάθος 2,4m την ψυχρότερη και θερμότερη μέρα τους έτους σε κάθε περιοχή έχουν ως εξής:

Πίνακας 30: Θερμοκρασίες εδάφους στις τρεις επιλεγείσες πόλεις για τη θερμότερη και την ψυχρότερη μέρα του έτους

Κλιματολογικά και εδαφολογικά δεδομένα	Φλώρινα	Χαλκίδα	Ιεράπετρα
Χειμώνας			
Ψυχρότερη ημέρα	23-Ιαν	1-Φεβ	12-Φεβ
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (οC)	-2,71	6,19	8,03
Θερμοκρασία επιφανείας εδάφους (οC)	2,32	10	12,14
Επιλεγμένο βάθος (m)	2,4	2,4	2,4
Θερμοκρασία εδάφους στο επιλεγμένο βάθος (οC)	12	18	19
Καλοκαίρι			
Θερμότερη ημέρα	24-Ιουλ	28-Ιουλ	1-Αυγ
Μέση μέγιστη θερμοκρασία αέρα (οC)	29,43	32	31,56
Θερμοκρασία επιφανείας εδάφους (οC)	21,05	26,33	25,95
Επιλεγμένο βάθος (m)	2,4	2,4	2,4
Θερμοκρασία εδάφους στο επιλεγμένο βάθος (οC)	12	18	19

2.6.2 Διαστασιολόγηση γεωεναλλάκτη

Η διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη αφορά τον καθορισμό της επιφανείας του και του συνολικού μήκους σωληνώσεων. Η συνολική του επιφάνεια υπολογίζεται με διαίρεση της ισχύος του συμπυκνωτή με τη μέση ισχύ που λαμβάνεται ανά τετραγωνικό μέτρο εδάφους. Με βάση την αρχική υπόθεση που θέλει το έδαφος κάθε περιοχής να είναι φτωχό από πλευράς θερμοφυσικών ιδιοτήτων, υποθέτουμε μέση λαμβανόμενη ισχύ⁷ ίση προς 8W/m². Διαιρώντας την τιμή της υπολογιζόμενης επιφάνειας με 0,75m που είναι η μέση απόσταση τοποθέτησης μεταξύ σωληνώσεων γεωθερμικών εναλλακτών (κατά VDI 46400), προκύπτει το συνολικό μήκος σε μέτρα, του κυκλώματος γεωθερμικού εναλλάκτη. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός κλάδων με την προϋπόθεση το μήκος κάθε κλάδου να μην υπερβαίνει τα 100m ώστε να περιοριστούν όσο είναι δυνατόν οι απώλειες πίεσης στο κύκλωμα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών που περιγράφηκαν για κάθε πόλη και για κάθε ψυκτικό μέσο συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 31: Μήκος σωληνώσεων γεωθερμικού εναλλάκτη με βάση τη ισχύ του συμπυκνωτή και του εξατμιστή και σε συνδυασμό με την προσφερόμενη ανά τετραγωνικό μέτρο ισχύ του εδάφους

Περιοχές	Τύπος εδάφους	Θερμική ροή εδάφους (W/m ²)	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
			Επιφάνεια γεωεναλλάκτη (m ²)			Μήκος σωληνώσεων (m)		
Φλώρινα	Μη σκληρό έδαφος	8,00	8.464,04	8.528,15	8.592,80	11.285,39	11.370,87	11.457,07
			12.986,12	12.947,60	12.941,44	17.314,83	17.263,46	17.255,25
Χαλκίδα	Μη σκληρό έδαφος	8,00	5.113,53	5.119,69	5.146,72	6.818,04	6.826,26	6.862,29
			15.211,60	15.184,79	15.179,48	20.282,13	20.246,38	20.239,31
Ιεράπετρα	Μη σκληρό έδαφος	8,00	4.400,90	4.396,76	4.419,10	5.867,86	5.862,35	5.892,13
			16.122,96	16.098,41	16.067,10	21.497,28	21.464,55	21.422,80

⁷ Η υπόθεση βασίζεται στις διαθέσιμες πληροφορίες που υπάρχουν βάσει των μέχρι τώρα παρατηρήσεων σε σχέση με την αποδιδόμενη από το έδαφος ισχύ σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας αλλά και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου

Πίνακας 32: Συνολικός αριθμός κλάδων κυκλώματος και σωληνώσεων γεωθερμικού εναλλάκτη, για τις τρεις εξεταζόμενες περιοχές

Περιοχές	Τύπος εδάφους	Θερμική ροή εδάφους (W/m ²)	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
			Αριθμός κλάδων			Στρογγυλοποιημένο μήκος σωληνώσεων			Συνολικό μήκος σωληνώσεων		
Φλώρινα	Μη σκληρό έδαφος	8,00	174	174	174	17.315	17.263	17.255	17.316	17.264	17.256
Χαλκίδα	Μη σκληρό έδαφος	8,00	204	204	204	20.282	20.246	20.239	20.284	20.248	20.240
Ιεράπετρα	Μη σκληρό έδαφος	8,00	216	216	216	21.497	21.465	21.423	21.498	21.466	21.424

2.6.2.1 Γεωμετρία γεωεναλλάκτη

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 32 είναι προφανές ότι η επιφάνειες που απαιτούνται για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη είναι ιδιαίτερα μεγάλες οπότε κρίνεται εύλογο να εξετάσουμε λύσεις περιορισμού της επιφανείας και αύξηση του βάθους εγκατάστασης.

Όπως είναι γνωστό ένας γεωθερμικός εναλλάκτης αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό κλάδων. Ο κάθε κλάδος περιλαμβάνει ένα σωλήνα προσαγωγής και ένα σωλήνα απαγωγής του θερμομεταφορικού μέσου. Οι σωλήνες προσαγωγής συνδέονται με ένα κεντρικό σωλήνα διανομής ενώ οι σωλήνες απαγωγής με έναν κεντρικό σωλήνα επιστροφής. Εάν θεωρήσουμε ότι τοποθετούμε τους σωλήνες των κλάδων τον ένα δίπλα στον άλλο και στο ίδιο επίπεδο σε ένα ορισμένο βάθος κάτω από το έδαφος, τότε, αν τηρήσουμε απόσταση μεταξύ τους ίση προς 0,75m, διαπιστώνουμε ότι για κάθε μια από τις παραπάνω περιοχές απαιτούνται οικοπεδικές επιφάνειες της τάξεως των:

- 26.100m² στη Φλώρινα
- 30.600m² στη Χαλκίδα
- 32.400m² στην Ιεράπετρα

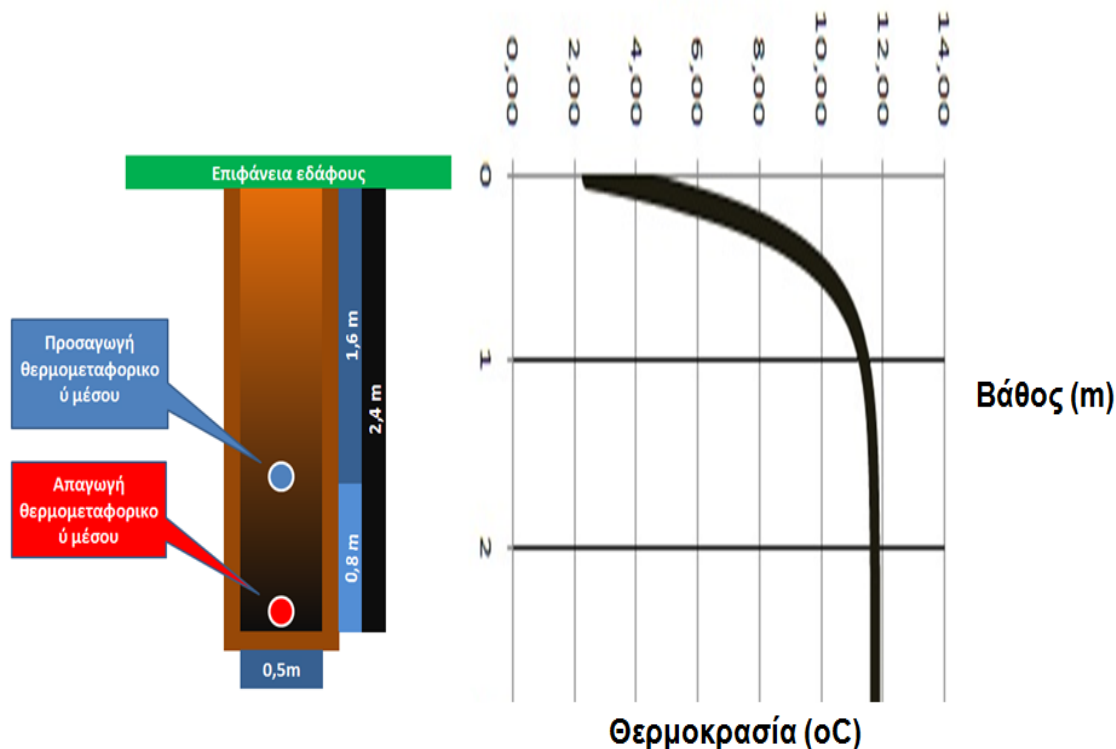
Στην αντίθετη περίπτωση εάν επιλέξουμε να εγκαταστήσουμε τους σωλήνες προσαγωγής και απαγωγής τον ένα πάνω από τον άλλο σε κατακόρυφη απόσταση 0,8m περίπου, μειώνουμε την οριζόντια επιφάνεια που απαιτείται για την τοποθέτηση των κλάδων. Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί πως σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το βάθος εγκατάστασης, γιατί θα πρέπει αφ' ενός μεν να τοποθετήσουμε τους σωλήνες σε βάθος με σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του έτους, αφ' ετέρου δε να διατηρήσουμε για τεχνικούς λόγους μεταξύ τους μέση απόσταση της τάξεως των 0,70 – 0,80m. Στην περίπτωση αυτή η απόσταση μεταξύ των κλάδων θα πρέπει να αυξηθεί από 0,75m στο 1,5m για να διασφαλισθεί η επαρκής ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ σωλήνων και εδάφους. Αν σε μια γεωμετρία όπως αυτή μοιράσουμε τους κλάδους σε δύο πλευρές τότε η συνολική επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη μειώνεται κατά 50%. Αναλυτικότερα οι επιφάνειες που απαιτούνται και στις δύο περιπτώσεις φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 33: Συγκριτικός πίνακας για δύο διαφορετικές γεωμετρίες εγκατάστασης γεωεναλλάκτη στις τρεις περιοχές

Γεωμετρίες	Τοποθέτηση σωληνώσεων ο ένας δίπλα στον άλλο στο ίδιο ύψος			Τοποθέτηση σωληνώσεων ο ένας πάνω από τον άλλο		
	R-134a	R-407A	R-22	R-134a	R-407A	R-22
Περιοχές	Συνολικά απαιτούμενη έκταση (m ²)			Συνολικά απαιτούμενη έκταση (m ²)		
Φλώρινα	26.100	26.100	26.100	13.050	13.050	13.050
Χαλκίδα	30.600	30.600	30.600	15.300	15.300	15.300
Ιεράπετρα	32.400	32.400	32.400	16.200	16.200	16.200

2.6.2.2 Επιλογή βάθους εγκατάστασης σωλήνων προσαγωγής/απαγωγής θερμομεταφορικού μέσου

Με βάση τις ανωτέρω παραδοχές επιλέγουμε ως μέγιστο βάθος εγκατάστασης τα 2,4m (μέσο βάθος γεωεναλλάκτη 2,0m). Στη στάθμη αυτή εγκαθίσταται ο σωλήνας απαγωγής θερμομεταφορικού μέσου. Πάνω από το σωλήνα αυτό και σε βάθος 1,6m εγκαθίσταται ο σωλήνας προσαγωγής. Οι δύο σωλήνες συνδέονται με καμπύλο τμήμα της ίδιας διαμέτρου και του ίδιου υλικού τα οποία να καθοριστούν σε επόμενη παράγραφο. Αντίστοιχα είναι και τα βάθη εγκατάστασης των σωλήνων διανομής και επιστροφής. Έτσι ο μεν κεντρικός αγωγός διανομής θερμομεταφορικού μέσου θα εγκατασταθεί σε βάθος 1,6m ενώ ο αγωγός συλλογής και επιστροφής σε βάθος 2,4m. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται σε πλάγια τομή η επιλεγείσα γεωμετρία του γεωεναλλάκτη.



Σχήμα 100: Πλάγια τομή γεωμετρίας γεωεναλλάκτη

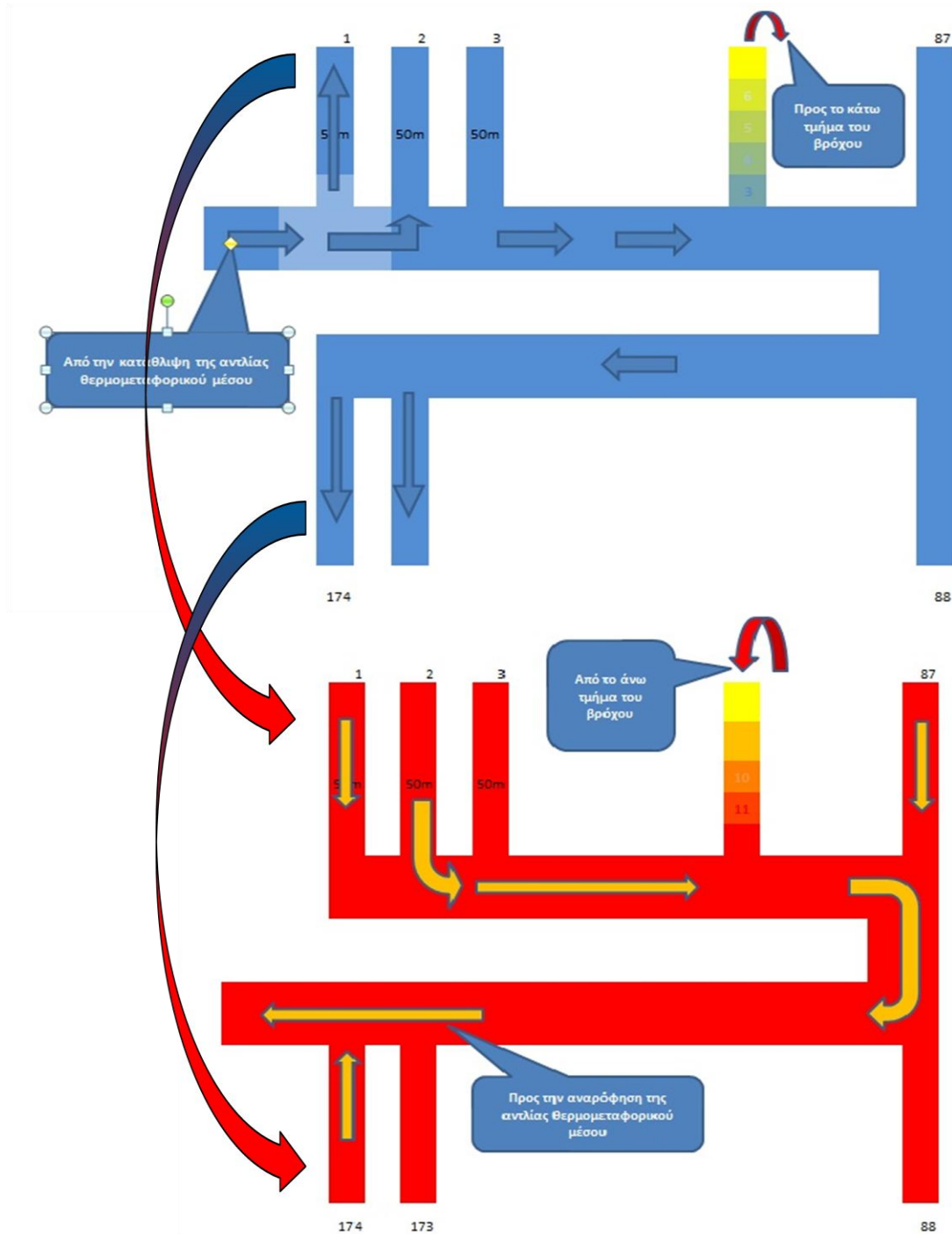
2.6.2.3 Διασφάλιση ομοιομορφίας πτώσης πίεσης σε κάθε κλάδο

Σε κάθε υδραυλικό κύκλωμα τα πλέον απομακρυσμένα τμήματα του είναι εκείνα στα οποία παρατηρείται η μεγαλύτερη πτώση πίεσης. Στα εξεταζόμενα δίκτυα επιδιώκουμε να έχουμε ισομερή κατανομή στην απώλεια πίεσης σε κάθε κλάδο. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής:

- Μοιράζουμε τους κλάδους σε δύο πλευρές με ίσο αριθμό κλάδων στην κάθε πλευρά
- Αριθμούμε τους κλάδους ξεκινώντας από τον αριθμό «1» στον πρώτο κλάδο της μιας πλευράς μέχρι τον αριθμό «n». Για παράδειγμα στον γεωεναλλάκτη της Φλώρινας έχουμε $n = 174$
- Συνδέουμε τον κλάδο Νο. 1 με την αρχή του σωλήνα διανομής. Συνεχίζουμε διαδοχικά τις συνδέσεις των υπολοίπων κλάδων της ίδιας πλευράς. Στο τέλος της πλευράς ο σωλήνας διανομής κάνει καμπύλη 180° και συνεχίζει ώστε πάνω του να συνδεθούν οι υπόλοιποι κλάδοι της διπλανής πλευράς μέχρι και τον τελικό κλάδο.

- Συνδέουμε το σωλήνα επιστροφής ξεκινώντας με πρώτο τον τελευταίο από τους κλάδους. Για παράδειγμα στη Φλώρινα συνδέουμε το σωλήνα επιστροφής ξεκινώντας από τον κλάδο με $n = 174$. Συνεχίζουμε διαδοχικά τις συνδέσεις του σωλήνα επιστροφής με τις απαγωγές των κλάδων κατά την αντίθετη φορά δηλαδή από $n = 174$ μέχρι $n = 1$.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε ισοκατανομή της απόστασης μεταξύ των κλάδων καθώς ό,τι κερδίζει ο κάθε ένας σε μήκος διανομής το χάνει σε μήκος επιστροφής και αντίστροφα. Τα παραπάνω παριστάνονται γραφικά στα ακόλουθα σχήματα. Συγκεκριμένα, με μπλε χρώμα εικονίζεται το άνω τμήμα του γεωεναλλάκτη (διανομή) ενώ με κόκκινο χρώμα το κάτω τμήμα (επιστροφή).



Σχήμα 101: Άνω και κάτω τμήμα γεωεναλλάκτη

2.6.2.4 Διαστάσεις και μήκος σωληνώσεων – διαστασιολόγηση αντλιών θερμομεταφορικού μέσου

Για τους σωλήνες προσαγωγής και απαγωγής θερμομεταφορικού μέσου επιλέγουμε σωλήνα πολυαιθυλενίου τύπου PE-XA διαστάσεων 20x1,9mm της εταιρείας REHAU. Η υδραυλική διάμετρος του σωλήνα αυτού είναι ίση με 0,00162m. Για τους σωλήνες διανομής και επιστροφής επιλέγουμε ως υλικό το πολυαιθυλένιο και υδραυλική διάμετρο ίση προς 0,10m. Με βάση τα ανωτέρω και μετά την εκτέλεση των σχετικών υδραυλικών υπολογισμών, η ογκομετρική παροχή (m³/h) και το μανομετρικό ύψος των αντλιών που απαιτούνται σε κάθε περιοχή δίνονται στον πίνακα 34.

Πίνακας 34:Υδραυλικοί υπολογισμοί γεωεναλλακτών για τις τρεις περιοχές

Συνολικές απώλειες ύψους (m)	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα		
	Συνθήκη θέρους Φλώρινα (2)	Συνθήκη θέρους (2) R407a	Συνθήκη θέρους (2) R22	Συνθήκη θέρους Φλώρινα (2)	Συνθήκη θέρους (2) R407a	Συνθήκη θέρους (2) R22	Συνθήκη θέρους Φλώρινα (2)	Συνθήκη θέρους (2) R407a	Συνθήκη θέρους (2) R22
	88,08	87,79	87,74	106,86	106,65	106,61	115,02	114,83	114,57
Ογκομετρική παροχή m ³ /h	14,46	14,41	14,41	16,93	16,90	16,90	17,95	17,92	17,89

2.6.2.5 Υπολογισμός ποσότητας θερμομεταφορικού μέσου

Από την άθροιση των χωρητικοτήτων στα κυκλώματα των γεωθερμικών εναλλακτών κάθε περιοχής υπολογίζεται ο συνολικός όγκος προπυλενογλυκόλης που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε σύστημα. Οι απαιτούμενες ποσότητες εικονίζονται στο επόμενο πίνακα

Πίνακας 35: Απαιτούμενες ποσότητες θερμομεταφορικού μέσου για κάθε περιοχή

Πόλεις	Φλώρινα			Χαλκίδα			Ιεράπετρα		
Συνθήκες	Συνθήκη θέρους	Συνθήκη θέρους (2)	Συνθήκη θέρους (2)	Συνθήκη θέρους	Συνθήκη θέρους (2)	Συνθήκη θέρους (2)	Συνθήκη θέρους	Συνθήκη θέρους (2)	Συνθήκη θέρους (2)
Συνολικός όγκος θερμομεταφορικού μέσου (m ³)	7,76	7,76	7,76	9,09	9,09	9,09	9,62	9,62	9,62

2.7 Κοστολόγηση έργου




2.7.1 Βασικά στοιχεία κοστολόγησης

Για την κοστολόγηση του έργου λαμβάνονται υπ' όψιν τα αποτελέσματα των υπολογισμών που αφορούν την εγκατάσταση της Χαλκίδας. Το κοστολόγιο της εγκατάστασης βασίζεται σε πληροφορίες που συνελλέγησαν τόσο για τον εξοπλισμό όσο και για τα εργατικά εγκατάστασης του από εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην πώληση και τοποθέτηση συστημάτων κλιματισμού καθώς και σε εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα πώλησης και εγκατάστασης γεωθερμικών αντλιών. Επιπλέον συνελλέγησαν πληροφορίες σχετικά με το κόστος κατασκευής των θαλάμων πρώτης ανάπτυξης καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικές με εργασίες όπως αυτή που αφορά την εκσκαφή του χώρου στον οποίο εγκαθίσταται ο γεωεναλλάκτης.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 36, το κόστος της εγκατάστασης διαχωρίζεται σε τρεις ομάδες εκ των οποίων η πρώτη περιλαμβάνει το βασικό εξοπλισμό που είναι σε γενικές γραμμές απαραίτητος για την κατασκευή των θαλάμων πρώτης ανάπτυξης ανεξαρτήτως του συστήματος θέρμανσης/ψύξης που θα

χρησιμοποιηθεί. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει το κόστος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, ενώ η τρίτη το κόστος του γεωεναλλάκτη.

Πίνακας 36: Κοστολόγηση εγκαταστάσεων χοιροστασίου Χαλκίδας

Ομάδα δαπανών	Κόστος εγκατάστασης χοιροστασίου Χαλκίδας					
	Αντικείμενα	Ποσότητα	Μονάδα μέτρησης	Τιμή μονάδας (€)	Υποσύνολο (€)	Σύνολο ομάδων δαπανών (€)
Βασικός εξοπλισμός	Κτίριο	300	m ²	500,00	150.000,00	
	Ανεμιστήρες	5	τεμ	250,00	1.250,00	
	Ηλεκτρολογικά	n/a	n/a	5.000,00	5.000,00	
	Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	1	τεμ	10.000,00	10.000,00	
	Αυτοματισμοί	n/a	n/a	10.000,00	5.000,00	
						171.250,00
Αντλία θερμότητας	Αντλία θερμότητας (εξοπλισμός)	2	τεμ	20.000,00	40.000,00	
	Αντλία θερμότητας (εργατικά)	n/a	n/a	1.000,00	5.000,00	
	Σωληνώσεις ψυκτικού ρευστού	148	μέτρα	8,00	1.184,00	
	Μόνωση σωληνώσεων ΨΡ	148	μέτρα	2,00	296,00	
	Coils	5	τεμ	1.000,00	5.000,00	
						51.480,00
Γεωεναλλάκτης	Σωλήνας διανομής εξωτερικής διαμέτρου 0,1m	318	μέτρα	67,00	21.306,00	
	Σωλήνας PEHA 20 x 1,9	20400	μέτρα	2,50	51.000,00	
	Συνδέσεις διανομικών/βρόχων	204	τεμ.	9,01	1.838,04	
	Θερμομεταφορικό μέσο	2880	κιλά	5,50	15.838,46	
	Αντλία θερμομεταφορικού μέσου	1	τεμ.	6.500,00	6.500,00	
	Εργατικά Τοποθέτησης γεωεναλλάκτη	1	n/a	52.590,00	52.590,00	
						149.072,50
Γενικό σύνολο						371.802,50

2.7.2 Οικονομική Αξιολόγηση επένδυσης

Για την αξιολόγηση της επένδυσης ακολουθούμε την εξής μεθοδολογία:

- Θεωρούμε πως στην ίδια εγκατάσταση αντί της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας επιλέγεται η χρήση αερόθερμων για κάθε θάλαμο τα οποία χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια.
- Τα αερόθερμα χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη χειμερινή περίοδο και ως εκ τούτου δεν υφίσταται σύστημα ψύξης για τη θερινή περίοδο. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί πως δεν αποκλείεται η χρήση μεθόδων όπως λ.χ. η περιοδική διαβροχή των ζώων με νερό. Αντιθέτως η γεωθερμική αντλία χρησιμοποιείται τόσο κατά το χειμώνα όσο και κατά το θέρος
- Η ισχύς των αερόθερμων είναι ίση με την ισχύ των μέγιστων αναγκών θέρμανσης που έχει υπολογιστεί για τη συγκεκριμένη πόλη κατά τη χειμερινή περίοδο.
- Με την εγκατάσταση του αερόθερμου, δεν υφίσταται έλεγχος του περιβάλλοντος των θαλάμων κατά τους θερινούς μήνες ανάλογος με αυτόν που εκτιμάται ότι μπορεί να επιτευχθεί με τη γεωθερμική αντλία. Για το λόγο αυτό υποθέτουμε πως για την περίοδο του θέρους υπάρχουν απώλειες ζωικού κεφαλαίου. Το ποσοστό των απωλειών αυτών εκτιμάται σε 20% ανά μήνα επί του συνόλου των ζώων που στεγάζονται στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης και υπολογίζεται για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Αντιθέτως με τη γεωθερμική αντλία εκτιμούμε ότι θα έχουμε σημαντικό περιορισμό απωλειών ζωικού κεφαλαίου κατά τους θερινούς μήνες ο οποίος θα κυμανθεί σε ποσοστό 5% περίπου ανά μήνα επί του συνολικού αριθμού των ζώων που

στεγάζονται στους θαλάμους πρώτης ανάπτυξης Και στην περίπτωση αυτή οι απώλειες εκτιμούμε ότι συμβαίνουν κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο.

v. Αξιολογούμε την επένδυση της γεωθερμικής αντλίας με τη μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας λαμβάνοντας υπ' όψιν τα εξής:

- Ως κόστος επένδυσης το άθροισμα των δαπανών γεωθερμικής αντλίας και γεωθερμικού εναλλάκτη
- Κόστος χρήματος 3%
- Ετήσιες δαπάνες συντήρησης γεωθερμικής αντλίας € 800
- Μέσο κόστος κλοβατώρας αγροτικής χρήσεως € 0,04
- Μέσο κόστος € 0,70 ανά κιλό για κάθε χοίρο προς πώληση και με μέσο βάρος 100kg
- Εύρος ζωής της επένδυσης 15 έτη
- Μηδενική υπολειμματική αξία επένδυσης στο τέλος της 15ετίας

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 37: Αξιολόγηση επένδυσης στην εγκατάσταση Χαλκίδας

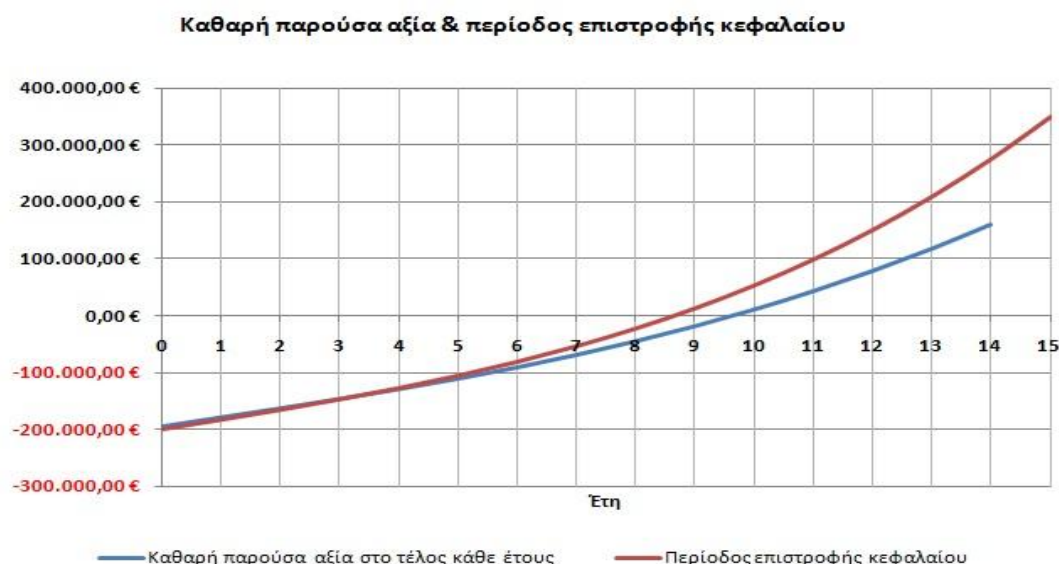
Αξιολόγηση επένδυσης			
Έτος	Εισροές/Εκροές επένδυσης	Καθαρή παρούσα αξία στο τέλος κάθε έτους	Περίοδος επιστροφής κεφαλαίου
0	-200.552,50 €	-194.711,16 €	-200.552,50
1	16.956,70 €	-178.727,84 €	-183.595,79
2	17.436,70 €	-162.770,79 €	-166.159,09
3	18.411,10 €	-146.412,77 €	-147.747,99
4	19.894,73 €	-129.251,39 €	-127.853,26
5	21.902,87 €	-110.908,08 €	-105.950,38
6	24.451,26 €	-91.026,97 €	-81.499,12
7	27.556,10 €	-69.273,93 €	-53.943,03
8	31.234,08 €	-45.335,61 €	-22.708,95
9	35.502,40 €	-18.918,49 €	12.793,45
10	40.378,77 €	10.251,99 €	53.172,22
11	45.881,43 €	42.432,30 €	99.053,65
12	52.029,17 €	77.861,64 €	151.082,83
13	58.841,35 €	116.762,70 €	209.924,18
14	66.337,89 €	159.342,47 €	276.262,07
15	74.044,92 €	205.484,82 €	350.306,99
NPV	205.484,82 €		
IRR	12%		

Οι χρηματοροές κάθε έτους προέρχονται από το πόσο που εξοικονομείται από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και από το ποσοστό ζωικού κεφαλαίου το οποίο δεν χάνεται κατά το θέρμα όπως συμβαίνει με την περίπτωση του αερόθερμου. Στο τέλος κάθε έτους θεωρούμε ότι ποσό που εξοικονομείται τοκίζεται και μεταφέρεται στο επόμενο έτος.

Σχόλια επί των αποτελεσμάτων του πίνακα 37

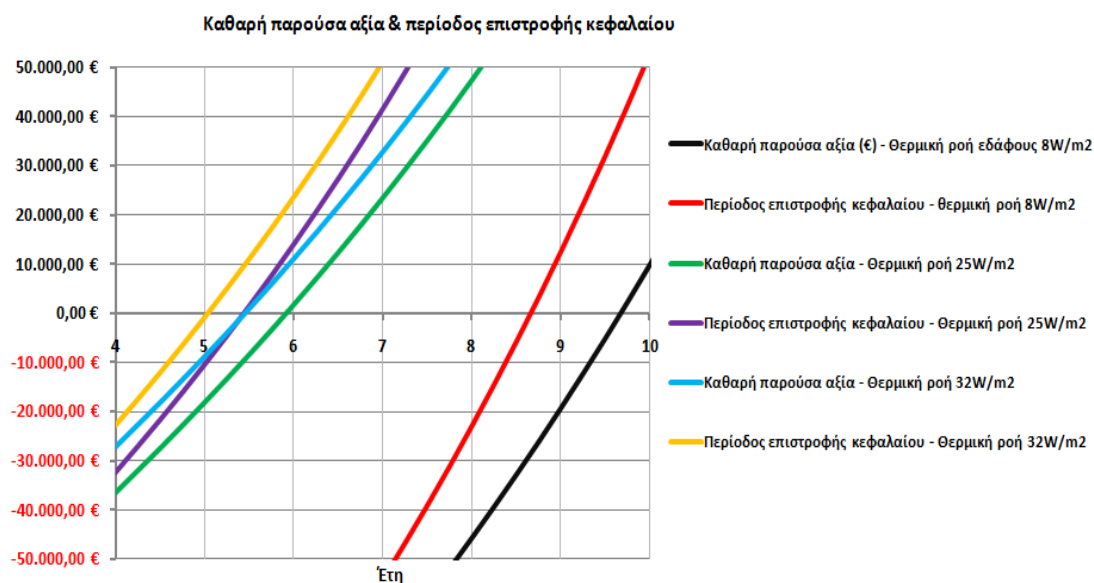
- i. Η επένδυση παρουσιάζει τεχνικά οφέλη ωστόσο η καθαρή παρούσα αξία της (Net Present Value) γίνεται θετική μόνο μετά το 10 έτος.
- ii. Ο χρόνος επανάκτησης του αρχικού κεφαλαίου είναι 8 έτη περίπου.

Στο σχήμα 60 παρουσιάζονται γραφικά η περίοδος επιστροφής κεφαλαίου και η περίοδος κατά την οποία η καθαρή παρούσα αξία γίνεται θετική.



Σχήμα 102: Καμπύλη καθαρής παρούσας αξίας και περιόδου επιστροφής κεφαλαίου

Θα πρέπει να αναφερθεί πως η παρούσα οικονομική αξιολόγηση έγινε με την παραδοχή ότι το έδαφος στην εξεταζόμενη περιοχή είναι εξαιρετικά πτωχό από πλευράς θερμοφυσικών ιδιοτήτων. Η τιμή της θερμικής ροή ανά μονάδα επιφανείας την οποία χρησιμοποιήσαμε στους υπολογισμούς μας έχει τιμή ίση προς $8W/m^2$. Από τη διερεύνηση των οικονομικών μεγεθών που πραγματοποιήσαμε χρησιμοποιώντας τιμές θερμικής ροής εδάφους ίσες προς $25W/m^2$ και $32W/m^2$ παρατηρήθηκε μεταβολή στις τιμές της καθαρής παρούσας αξίας και της περιόδου ανάκτησης κεφαλαίου. Οι σχετικές μεταβολές παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα:



Σχήμα 103: Επίδραση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του εδάφους στα οικονομικά μεγέθη της εγκατάστασης

2.8 Συμπεράσματα

Από τους υπολογισμούς που διεξήχθησαν για κάθε περίπτωση προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Φορτία θέρμανσης/ψύξης
 - 1.1 Η Φλώρινα παρουσιάζει τα μεγαλύτερα φορτία θέρμανσης το χειμώνα έναντι της Χαλκίδας και της Ιεράπετρας
 - 1.2 Η Ιεράπετρα παρουσιάζει τα μεγαλύτερα φορτία ψύξης κατά το θέρος έναντι της Φλώρινας και της Χαλκίδας
 - 1.3 Και στις τρεις περιοχές τα φορτία θέρους υπερτερούν των αντιστοίχων του χειμώνα. Αποτέλεσμα της διαπίστωσης αυτής είναι η διαστασιολόγηση να γίνεται σε κάθε περιοχή με βάση τις ανάγκες θέρους
 - 1.4 Ο υπολογισμός των φορτίων ανανέωσης του αέρα με βάση την ειδική ενθαλπία αέρα δίδει τιμές σημαντικά προσαυξημένες σε σχέση με τον υπολογισμό βάσει αισθητής θερμότητας μόνο.
 - 1.5 Η σύγκριση των φορτίων των θαλάμων των χοιριδίων δείχνει ότι πάντοτε τις μεγαλύτερες ανάγκες σε θέρμανση ή ψύξη παρουσιάζουν οι μεγαλύτερες ηλικίες (12-14kW θέρμανση και 21-23kW ψύξη)
2. Ψυκτικοί κύκλοι
 - 2.1 Οι ψυκτικοί κύκλοι παρουσιάζουν συντελεστή θερμικής συμπεριφοράς κυμαινόμενο από 3,2 (Φλώρινα) έως 4,6 Ιεράπετρα και συντελεστή ψυκτικής συμπεριφοράς αντίστοιχα μεταξύ 7,8 Φλώρινα και 5,4 Ιεράπετρα.
 - 2.2 Μεταξύ των τριών ψυκτικών ρευστών R134a, R407A και R22, την καλύτερη απόδοση παρουσιάζει το καταργούμενο R22.
 - 2.3 Η διαστασιολόγηση της ψυκτικής εγκατάστασης (μέγεθος συμπιεστή) στη Φλώρινα γίνεται με βάση τον κύκλο του χειμώνα ενώ στις άλλες πόλεις με βάση τον θερινό ψυκτικό κύκλο. Ο συμπιεστής στη Φλώρινα τελικά είναι ελάχιστο μεγαλύτερος (20-25%) σε θεωρητική παροχή όγκου από τον αντίστοιχο στην Χαλκίδα και την Ιεράπετρα.
3. Γεωεναλλάκτης
 - 3.1 Σε ό,τι αφορά την παροχή όγκου θερμομεταφορικού μέσου για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας η Ιεράπετρα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αναγκαίες παροχές που φθάνουν τα $0,0050\text{m}^3/\text{s}$ ή $18\text{m}^3/\text{h}$ (θέρος) ενώ η Φλώρινα τις μικρότερες παροχές $0,004\text{m}^3/\text{s}$ ή $14,4\text{m}^3/\text{h}$. Οι αντίστοιχες παροχές το χειμώνα είναι $4,9\text{m}^3/\text{h}$ στην Ιεράπετρα και $9,4\text{m}^3/\text{h}$ στη Φλώρινα.
 - 3.2 Για την δυσμενέστερη θερμοφυσικά κατηγορία εδάφους σε βάθος 2m η σταθερή θερμοκρασία στη Φλώρινα είναι 12°C ενώ στη Χαλκίδα και την Ιεράπετρα 18°C και 19°C αντίστοιχα.
 - 3.3 Το μήκος του γεωεναλλάκτη και η αντίστοιχη απαιτούμενη επιφάνεια εδάφους καθορίζονται από τις ανάγκες θέρους σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας και κυμαίνονται αντίστοιχα σε 21,5km ή 16 στρέμματα στην Ιεράπετρα και 17,3km ή 13 στρέμματα στη Φλώρινα

4. Οικονομικά μεγέθη μονάδων

- 4.1 Από τα οικονομικά μεγέθη του χοιροστασίου της Χαλκίδας πάνω στο οποίο βασίσθηκε η οικονομική αξιολόγηση, παρατηρούμε πως το κόστος του γεωεναλλάκτη αντιστοιχεί στο 40% του συνολικού κόστους επένδυσης ενώ το κόστος της γεωθερμικής αντλίας στο 14%.
- 4.2 Όπως έχει ήδη αναφερθεί στις παραδοχές του πειραματικού μέρους, η διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη έγινε με την υπόθεση ότι το έδαφος στις επιλεγείσες περιοχές παρουσιάζει πολύ μικρή θερμική ροή ανά τετραγωνικό μέτρο. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να απαιτηθεί μεγάλη εδαφική έκταση για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη στοιχείο το οποίο είχε άμεση επίδραση στο κόστος κατασκευής. Αν υποθέσουμε πως το έδαφος παρουσιάζει αυξημένη θερμική ροή της τάξεως των 25W/m^2 αντί για 8W/m^2 που υποθέσαμε αρχικά, η επιφάνεια του γεωεναλλάκτη μειώνεται κατά 67% περίπου. Ανάλογη μείωση ακολουθούν και τα υπόλοιπα μεγέθη του γεωεναλλάκτη όπως ο αριθμός κλάδων, και η συνολική οικοπεδική έκταση. Η αύξηση της θερμικής ροής του εδάφους επιφέρει μείωση στο κόστος της εγκατάστασης κατά 52% περίπου.
- 4.3 Στην περίπτωση που το έδαφος παρουσιάζει υψηλή θερμική ροή, η μείωση του κόστους της επένδυσης βελτιώνει σημαντικά ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της όπως την καθαρή παρούσα αξία και την περίοδο επιστροφής του κεφαλαίου.
- 4.4 Από τις ομάδες δαπανών της επένδυσης διαπιστώνουμε πως εκείνη του γεωεναλλάκτη παρουσιάζει ελαστικότητα η οποία εξαρτάται εν πολλοίς από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του εδάφους. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η επάρκεια και η ορθότητα των πληροφοριών σχετικά με το έδαφος στην εκάστοτε περιοχή ενισχύει την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων γύρω από την επένδυση.

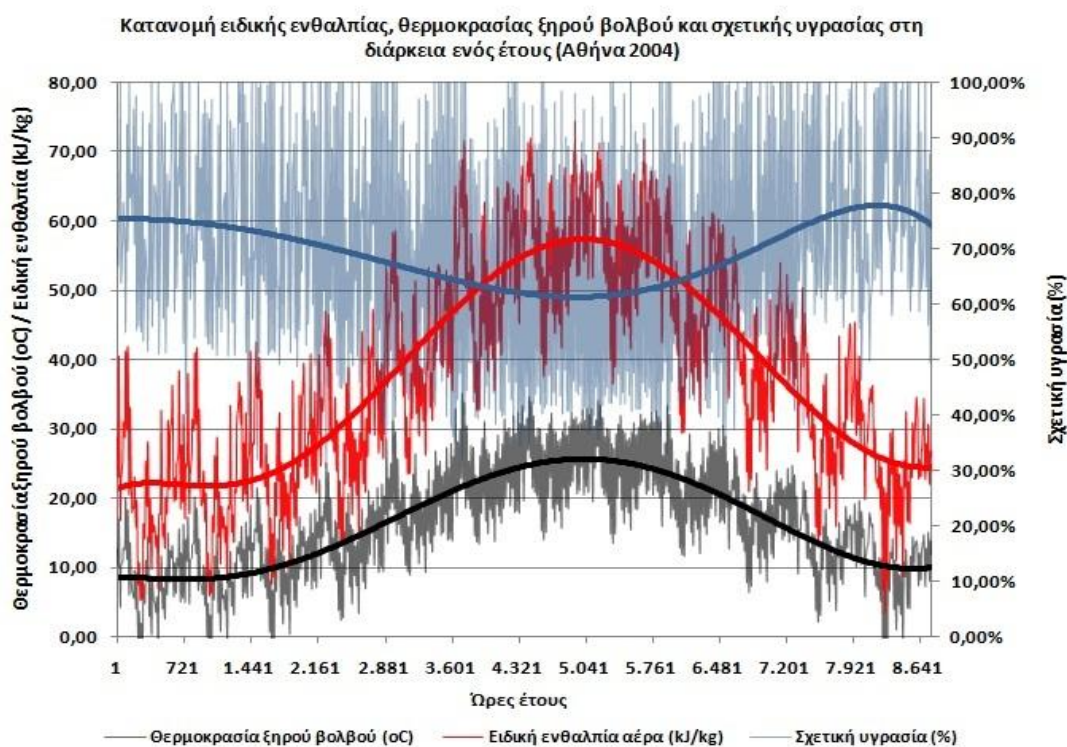
Σε ότι αφορά την περαιτέρω έρευνα του θέματος, κρίνεται σκόπιμη η μελέτη

- Της διερεύνησης των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του εδάφους με στόχο την ακριβέστερη διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών
- Της επιλογής του πλέον άριστου τρόπου διαχείρισης μικροκλίματος χοιροστασίων ανάλογα με το μέγεθος τους και τις κλιματικές ζώνες που είναι εγκατεστημένα
- Της δημιουργίας μοντέλων αναλυτικής οικονομικής αξιολόγησης γεωθερμικών αντλιών σε περιβάλλον χοιροστασίου τα οποία θα λαμβάνουν υπ' όψιν τους και τους παράγοντες κινδύνου
- Του υπολογισμού της τάξεως μεγέθους μονάδας πρώτης ανάπτυξης πάνω από το οποίο είναι πάντοτε οικονομικά συμφέρουσα η χρήση γεωθερμικής αντλίας.
- Της ενεργειακής και εξεργειακής ανάλυσης της λειτουργίας μιας γεωθερμικής αντλίας σε ένα χοιροστάσιο.

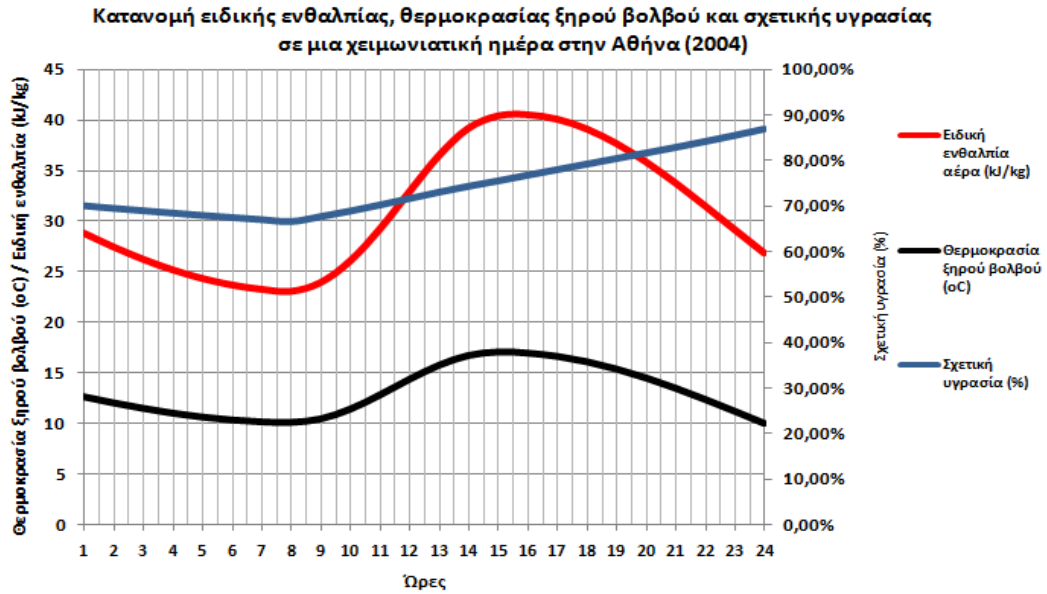
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Π1 Μέγιστη και ελάχιστη τιμή ειδικής ενθαλπίας ατμοσφαιρικού αέρα

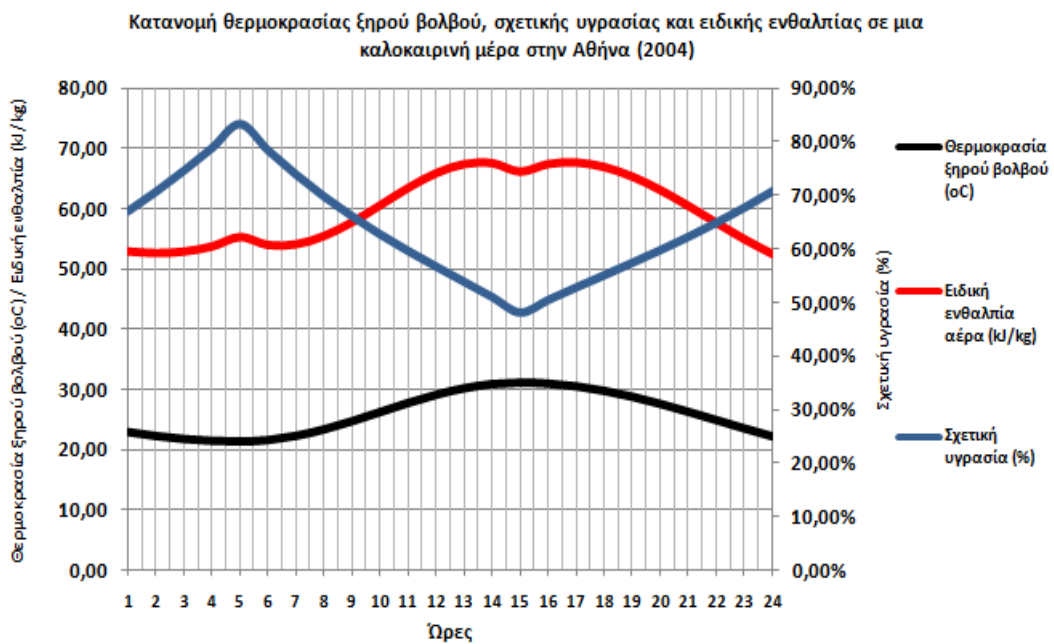
Από τις παρατηρήσεις που διενεργήσαμε έχοντας ως δείγμα τα κλιματολογικά δεδομένα της πόλης των Αθηνών του έτους 2004, παρατηρήσαμε πως η χαμηλότερη τιμή της ειδικής ενθαλπίας επηρεάζεται από το συνδυασμό θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα όταν επικρατεί χαμηλή θερμοκρασία ξηρού βολβού και συνδυαστεί με χαμηλό ποσοστό σχετικής υγρασίας, η ειδική ενθαλπία μειώνεται σε σημαντικό βαθμό. Κατά τους χειμερινούς μήνες το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως τις πρωινές ώρες της ημέρας. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία ξηρού βολβού αυξηθεί και συνδυαστεί με υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας. Στην περίπτωση αυτή η ειδική ενθαλπία του αέρα αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως τις μεσημβρινές ώρες του θέρους. Στο σχήμα 104 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών ειδικής ενθαλπίας, θερμοκρασίας ξηρού βολβού και σχετικής υγρασίας κατά το έτος 2004. Στα σχήματα 105 και 106 παρουσιάζεται η μεταβολή της ειδικής ενθαλπίας στη διάρκεια μιας εκ των ψυχρότερων ημερών του χειμώνα και μιας εκ των θερμότερων ημερών του θέρους στο ίδιο πάντα έτος



Σχήμα 104: Κατανομή ειδικής ενθαλπίας ατμοσφαιρικού αέρα κατά το έτος 2004 στην πόλη των Αθηνών



Σχήμα 105: Ωριαίες μεταβολές θερμοκρασίας ξηρού βολβού, σχετικής υγρασίας και ειδικής ενθαλπίας κατά το χειμώνα στην Αθήνα



Σχήμα 106: Ωριαίες μεταβολές θερμοκρασίας ξηρού βολβού, σχετικής υγρασίας και ειδικής ενθαλπίας κατά το θέρος στην Αθήνα

Βιβλιογραφία

- ASHRAE. (2007). *HVAC Applications* (Vol. 32).
- ASHRAE. (2008). *HVAC Systems & Equipment* (Vol. 11).
- Barbiero, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewal and sustainable energy review* , pp. 3 - 65.
- Bloomquist, R. G. (1999). Geothermal Heat Pumps - Four Plus Decades of Experience. *Washington State University energy program GHC Bulletin* , p. 17.
- Chaseworth, W. (2008). *Encyclopedia of Soil Science*. Canada: Springer.
- Floridis, G., & Kalogirou, S. (2005). *Annual ground temperature measurements at various depths*. Retrieved from <http://ktisis.cut.ac.cy/jspui/bitstream/10488/844/1/C78-CLIMA2005.pdf>:
www.ktisis.cut.ac.cy
- Hepbasli, A., & Akdemir, O. (2003). Energy and exergy analysis of ground source (geothermal) heat pump systems.
- Kavanaugh, S. (2001). Investigation of methods for determining soil formation thermal characteristics from short field tests.
- Kavanaugh, S. P., & Rafferty, K. (1997). Performance of Ground source heat pumps - Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings. ASHRAE.
- Kavanaugh, S., & Calvert, T. H. (1995). Performance of ground source heat pumps in North Alabama. University of Alabama.
- Lambert, M., Lemay, S., Barber, E., Growe, T., & Chenard, S. (2001). Humidity control for swine buildings - Part I & II. *Canadian Biosystems Engineering* .
- Mihalakakou, G., Santamouris, M., Lewis, J. O., & Asimakopoulos, D. N. (1997). On the application of the energy balance equation to predict ground temperature profiles. (G. Mihalakakou, Ed.) *Solar Energy* , vol. 60, pp. 181-190.
- Panagakis, P., & Axaopoulos, P. (2004). Comparison of two modeling methods for the prediction of degree-hours and heat-stress likelihood in a swine building. *Transactions of the ASAE* (47(2)), pp. 585-590.
- Panagakis, P., & Axaopoulos, P. (n.d.). Simulation comparison of evaporative pads and fogging on air temperature inside a growing swine building. *Transactions of the ASABE* (49(1)), pp. 209-215.
- Panagakis, P., Bucklin, R., Walker, W., Jones, P., & Combs, J. (1989). Comparison of the effects of ventilation systems on the performance of young pigs reared under summer conditions. *Applied Engineering in Agriculture* , 5(1), pp. 109 - 112.
- Panagakis, P., Kyritsis, D., Tambouratzis, & Papadopoulos, G. (1991). Evaluation of a pig nursery annex ventilation system operating under summer conditions. *Applied Engineering in Agriculture* (7(3)), pp. 353-357.
- Panagakis, P., Kyritsis, S., Papadopoulos, G., & Tambouratzis, D. (1992). Spray cooling of early weaned piglets: A first approach. *Applied Engineering in Agriculture* (8(1)), pp. 106-110.
- Rafferty, K. (2000c). Design Aspects of Commercial Open Loop Heat Pump Systems. *Transactions of the 2000 Heat Pumps in Cold Climates Conference, Caneta Research* .

- Rafferty, K. (2000a). Scaling in geothermal heat pump systems. Geo-Heat center, Oregon Institute of technology.
- Rehau. (2008). REHAU RAUGEO, Technical information 827.600.
- RETscreen International. (2005). *Ground Source Heat Pump project Analysis*. RETscreen.
- Rybach, L., & Sanner, B. (2000). Ground-Source Heat Pump Systems the European Experience.
- Αξάοπουλος, Π. Ι., & Γελεγένης, Ι. Ι. (2005). *Πηγές Ενέργειας Συμβατικές και Ανανεώσιμες*. Αθήνα: Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική.
- Βραχόπουλος, Μ. Γ., & Παπαγεωργάκης, Ι. (1998). Εκμεταλλεσύσιμη Ηλιογενής και Γηγενής Θερμότητα στο Αβαθές Υπέδαφος της Αττικής. *Τεχνικά Χρονικά Επιστημονικές εκδόσεις ΤΕΕ*, IV (1).
- Δ. Α Κουρεμένος, Κ. Α. (1984). *Θερμοκρασιακά Χαρακτηριστικά 35 Ελληνικών Πόλεων*. Αθήνα: Φοίβος.
- ΕΜΥ. (2010). Αίτηση προς ΕΜΥ με αριθμο πρωτοκόλλου ΑΠ 1741. *Ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασία τριών Ελληνικών πόλεων*.
- Κ.Α.Π.Ε. (2001). *Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε*. Αθήνα: Εκδόσεις Κ.Α.Π.Ε.
- ΚΑΠΕ. (2007). http://www.cres.gr/kape/pdf/download/PDF_ENGLISH_VERSION_WEB.pdf. Retrieved from www.cres.gr.
- Κουρεμένος, Δ. Α., & Αντωνόπουλος, Κ. Α. (1985). *Η Σχετική Υγρασία σε 40 Περιοχές της Ελλάδας*. Αθήνα: Φοίβος.
- Κουρεμένος, Δ. Α., & Αντωνόπουλος, Κ. Α. (1984). *Θερμοκρασιακά Χαρακτηριστικά 35 Ελληνικών Πόλεων*. Αθήνα: Φοίβος.
- Λεβέντη, Κ. (2008). Μεθοδολογία εκλογής κατάλληλου ψυκτικού ρευστού για αντλία θερμότητας. 26 - 30. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Νόμος. (3175/2003). Αξιοποίηση του Γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις.
- Παναγάκης. (2007). *ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΑ*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών.
- Παναγάκης, Π. (2009). *Τεχνητό Περιβάλλον Στέγασης Αγροτικών Ζώων*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Παπαθεοδώρου, Κ. (2002). *Σημειώσεις μαθήματος Στοιχεία εδαφολογίας - γεωλογίας*. Σέρρες: Τ.Ε.Ι Σερρών.
- ΦΕΚ. (407/09.04.2010). *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων - ΚΕΝΑΚ*.
- Φυτίκας, Μ., & Ανδρίτσος, Ν. (2004). *Γεωθερμία*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Pharoah Le Feuvre “An Investigation into Ground Source HeatPump Technology, its UK Market and Best Practice in System Design” (2007) Msc Thesis, University of Strathclyde)

Δικτυακοί τόποι

www.geni.org

www.geography-site.co.uk

www.geophysics.eu.edu

www.geothermal.marin.org

www.wikipedia.org