

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ
ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ/ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ
ΠΕΔΙΟΥ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

**ΑΥΓΕΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Α.Μ. 6406)
ΤΣΟΥΚΑΛΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ (Α.Μ. 6502)**

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (πρώην Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας). Στην παρούσα εργασία, γίνεται ανάλυση της υφιστάμενης ενεργειακής κατάστασης μιας κατοικίας στην Πάτρα, στην συνέχεια βάση των ΤΟΤΕΕ γίνεται μελέτη ενεργειακών καταναλώσεων του κελύφους, προκειμένου γίνει εγκατάσταση αντλίας θερμότητας με γεωεναλλάκτη και αναφέρονται συμπεράσματα ως προς τις καταναλώσεις και συγκρίνονται οι εγκαταστάσεις οριζόντιου και κάθετου συστήματος γεωθερμικής ενέργειας.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα εκπαιδευτικό Α. Βούρο, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. για την καθοδήγηση που μας παρείχε.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειές μας και στους φίλους μας που στάθηκαν δίπλα μας αυτό το διάστημα και φέραμε εις πέρας την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Αυγέρης Νικόλαος και Τσουκαλάς Διονύσιος
Σεπτέμβριος 2022

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

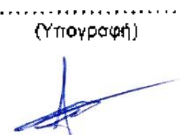
Οι σπουδαστές

(Όνοματεπώνυμο)

(Όνοματεπώνυμο)



ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΑΥΓΕΡΗΣ



Διονύσιος Τσουκαλάς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην μελέτη και εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας με γεωθερμικό εναλλάκτη και σύγκριση απόδοσης οριζόντιου και κάθετου γεωθερμικού πεδίου, και στην συνέχεια γίνονται προτάσεις βελτίωσης για αλλαγή στο σύστημα θέρμανσης – κλιματισμού του κτιρίου, αφού φανεί η οικονομικότερη λύση.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται θεωρία, γύρω από την γεωθερμία σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αφού πρώτα στην εισαγωγή έχει γίνει εκτενής ανάλυση για τις ΑΠΕ.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στο τεράστιο εύρος εφαρμογών που έχει η γεωθερμική ενέργεια στην εποχή μας και αναλύεται η κάθε χρήση ξεχωριστά. Επίσης σε αυτό το σημείο παρατίθενται και τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μειονεκτήματα της γεωθερμίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η γεωθερμική αντλία θερμότητας, και τα συστήματα των γεωεναλλακτών που χρησιμοποιούνται σε κατοικίες για εξοικονόμηση ενέργειας.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η ενεργειακή αποτίμηση του κτιρίου. Στο αρχικό μέρος υπολογίζονται όλα τα στοιχεία που χρειάζονται ώστε να βρεθούν οι καταναλώσεις και έπειτα η μελέτη συνεχίζεται στην εύρεση στοιχείων για την εγκατάσταση εναλλάκτη για αντλία θερμότητας σε δύο περιπτώσεις. Οριζόντιου και κάθετου γεωεναλλάκτη.

Στο έκτο Κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ανάλυση του κόστους και στα δύο συστήματα για να βρεθεί το πιο οικονομικά αποδοτικό.

Στο έβδομο κεφάλαιο τελικώς γίνεται αναφορά σε συμπεράσματα που αφορούν τις καταναλώσεις αλλά και άλλα σημαντικά στοιχεία για το κτίριο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	10
1.1.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΛΛΟΝ	10
1.2.	ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12
1.3.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	13
1.4.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	14
1.5.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	15
1.6.	ΘΕΡΜΑ ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	16
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	17
2.1.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	17
2.1.1.	<i>Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία.....</i>	<i>19</i>
2.1.2.	<i>Υδροθερμική ενέργεια – Υδροθερμικές πηγές</i>	<i>19</i>
2.1.3.	<i>Γεωπεπιεσμένα συστήματα</i>	<i>20</i>
2.2.	ΜΑΓΜΑ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΑΓΜΑΤΟΣ.....	20
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	21
3.2.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	22
3.3.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	23
3.3.1.	<i>Ξηρού ατμού.....</i>	<i>24</i>
3.3.2.	<i>Στρόβιλοι υγρού ατμού.....</i>	<i>25</i>
3.3.3.	<i>Διαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό</i>	<i>25</i>
3.4.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	25
3.6.	ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ	27
3.7.	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	28
3.8.	ΓΕΩΡΓΙΑ – ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	29
3.9.	ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ – ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	29
3.10.	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	30
3.11.	ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΠΙΣΙΝΩΝ – ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	31
3.12.	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	31
3.13.	ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	32
3.13.1.	<i>Το Νερό στην Αβαθή Γεωθερμία.....</i>	<i>32</i>

3.13.2.	Έδαφος	33
3.14.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	34
3.14.1.	Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας	34
3.14.2.	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	34
3.14.3.	Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης	36
3.15.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Γ.Α.Θ	39
3.15.1.	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων 40	
3.15.2.	Γεωτρήσεις έρευνας, παραγωγής και επανεισαγωγής	40
3.15.3.	Θόρυβος	41
3.15.4.	Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς	41
3.15.5.	Πρόκληση καθιζήσεων	41
3.15.6.	Δημιουργία μικροσεισμικότητας	41
3.15.7.	Υδροθερμικές εκρήξεις	42
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ.....	42
4.1.	ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (GROUND-COUPLED HEAT PUMPS) 42	
4.2.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ	44
4.3.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	47
4.4.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	47
4.5.	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ.....	48
4.5.1.	Γεωθερμικό σύστημα κάθετων εναλλακτών:	48
4.5.2.	Γεωθερμικό σύστημα οριζόντιων εναλλακτών:	49
4.5.3.	Θερμοκρασία εδάφους	49
4.5.4.	Θερμικές ιδιότητες εδάφους	50
4.6.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΓΑΘ)	53
4.6.1.	Αρχή λειτουργίας	53
4.7.	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.	56
4.7.1.	Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας.....	57
4.7.2.	Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη:	60
4.7.3.	Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.	60
4.7.4.	Μήκος Εναλλάκτη	61
4.7.5.	Κάθετο κλειστό γεωθερμικό σύστημα.	62
4.7.6.	Διαστασιολόγηση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.	62
4.7.7.	Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.....	63
4.7.8.	Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη	64
4.7.9.	Θερμικές αντιστάσεις εδάφους.....	65
4.7.10.	Θερμική αντίσταση σωλήνωσης.....	66
4.7.11.	Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}	66
4.7.12.	Θερμοκρασία εδάφους	66
4.7.13.	Θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου υγρού	67
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ - ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ (ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ) ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ (ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΡΙΟΥ ΑΧΑΙΑΣ	68
5.1.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ:	68

5.2.	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	69
5.3.	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	74
5.4.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ, ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ - ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ. 76	
5.4.1.	Ισογείο – θερμικές απώλειες.....	76
5.4.2.	Α οροφος – θερμικές απώλειες.....	77
5.4.3.	Ισογείο και α οροφος – απώλειες αποδεδειγμένη	78
5.4.4.	Ισογείο – θερμικά κέρδη (συναγωγή και ακτινοβολία)	78
5.4.5.	Α οροφος – θερμικά κέρδη (συναγωγή και ακτινοβολία)	79
5.4.6.	Συγκεντρωτικά θερμικές απώλειες.....	79
5.5.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	80
5.6.	ΔΙΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ (ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ).	85
5.6.1.	Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας	86
5.6.2.	Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία Θέρους:	87
5.6.3.	Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη	87
5.6.4.	Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη	88
5.6.5.	Θερμικές ιδιότητες εδάφους	89
5.6.6.	Μήκος Εναλλάκτη	89
5.6.7.	Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής	90
5.6.8.	Υπολογισμός δοχείου διαστολής.....	92
5.7.	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.	93
5.7.1.	Ροή θερμότητας στο έδαφος.....	93
5.7.2.	Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.....	94
5.7.3.	Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη	95
5.7.4.	Θερμική αντίσταση σωλήνωσης	97
5.7.5.	Θερμοκρασία εδάφους	97
5.7.6.	Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}	97
5.7.7.	Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής	99
5.7.8.	Υπολογισμός δοχείου διαστολής.....	101
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΚΟΣΤΟΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ- ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	102
6.1.	ΚΟΣΤΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	102
6.2.	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	103
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πρώτες προσπάθειες για θέρμανση με στόχο την "άνεση", έγιναν αρκετά αργότερα και βαθμιαία, όταν το πρόβλημα της επιβίωσης στο ψυχρό περιβάλλον είχε πια ξεπεραστεί. Οι νέες απαιτήσεις που είχε ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια εξέλιξης του, τον οδήγησαν σε αναζητήσεις και νέες βελτιώσεις, που οδήγησαν στα τζάκια, αλλά και εντυπωσιακά πρωτοποριακής κατασκευής πρωτόγονα συστήματα κεντρικής θέρμανσης, όπως για παράδειγμα η οπή στην κορυφή της σπηλιάς που έδιωχνε έξω τον καπνό. Η ανθρώπινη εφευρετικότητα στην πέραση των ετών οδήγησε σε πολλές καινοτομίες, οι οποίες κατά καιρούς ξεπερνούσαν τις τεχνολογικές γνώσεις και δυνατότητες της εποχής. Στην παρούσα μελέτη, θα γίνει μία προσπάθεια προσέγγισης στο σύγχρονο τρόπο θέρμανσης, με ιδιαίτερη αναφορά στα ηλιοθερμικά συστήματα, αλλά και τους κανόνες που ισχύουν στη χώρα μας σε ότι αναφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα μας, η απεριόριστη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μας έκαναν να συνειδητοποιήσουμε τους κινδύνους που απειλούν το κλίμα του πλανήτη μας. Τα εργοστάσια, οι βιομηχανίες είναι υπαίτιοι στην καταστροφή του πλανήτη μας καθώς και το ήδη δομημένο περιβάλλον που λόγω του ύψους του κτιρίου αλλά και το μέγεθος της πόλης περιπλέκουν την λειτουργία του βιοκλίματος.

Τα κτίρια επηρεάζουν το περιβάλλον κατά τον τρόπο κατασκευής τους αλλά και το περιβάλλον επηρεάζει τα κτίρια. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να γίνετε σωστός σχεδιασμός των κτιρίων έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στο περιβάλλον. Δυστυχώς τα κτίρια μεγάλων αστικών κέντρων προκαλούν προβλήματα στην ισορροπία των συστατικών της ατμόσφαιρας, μόλυνση του νερού του εδάφους και του υπεδάφους λόγω των χημικών πόρων και των σκουπιδιών. Η σύγχρονη κοινωνία μας επιβάλλει την αναβάθμιση του κτισμένου περιβάλλοντος αλλά και την ορθή σχεδίαση και μελέτη των νέων κτισμάτων έτσι ώστε να είναι και φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι η παρέμβαση στα ήδη υπάρχοντα κτίρια είναι περιορισμένη. Γι' αυτό το λόγο στρεφόμαστε στην βιοκλιματική αρχιτεκτονική και στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Με την πάροδο των χρόνων, η ανάπτυξη του τομέα υπηρεσιών, η αύξηση της διάρκειας που οι εργαζόμενοι βρίσκονται μέσα στον χώρο εργασίας τους, καθώς επίσης και οι όλο και πιο απαιτητικές συνθήκες θερμικής άνεσης που ζητούν οι χρήστες, έχουν προκαλέσει την αύξηση

της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, τόσο ώστε να είναι συγκρίσιμη με την αντίστοιχη κατανάλωση των βιομηχανικών κτιρίων καθώς και των μεταφορών.

Η κατανάλωση ενέργειας σε ένα κτίριο εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής, τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου, τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που είναι εγκατεστημένα, αλλά και από την συμπεριφορά και τις απαιτήσεις των χρηστών του. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency), η κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων των κτιρίων, αναλογεί στο 50% περίπου της συνολικής τους κατανάλωσης. Ειδικότερα, τα κτίρια γραφείων πλέον, ευθύνονται για το 1/3 περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του τομέα παροχής υπηρεσιών και εμπορίου.¹ Η διαχείριση της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας αποτελεί στις μέρες μας κομβικό ζήτημα τόσο από οικονομική όσο και από οικολογική σκοπιά. Η ανησυχία για τα αποθέματα του πλανήτη σε πρωτογενείς πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες ενδείξεις για τις οικολογικές και οικονομικές συνέπειες από την υπάρχουσα διαχείριση ενέργειας, καθιστά το ζήτημα ένα από τα σημαντικότερα στη σύγχρονη ατζέντα των κρατών.

Αυτή η συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή κατανάλωση έχει κάποιες σημαντικές επιπτώσεις. Το κυριότερο είναι ότι οι παραγόμενοι ρύποι από την λειτουργία των κτιρίων αυξάνονται συνεχώς, συνεπώς αυξάνεται συνεχώς η ρύπανση του περιβάλλοντος, προκαλώντας έτσι σημαντική υποβάθμιση του, καθώς επίσης και προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Επίσης, εκτός από το περιβάλλον, ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι, ειδικά στην Ελλάδα, το καύσιμο που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την λειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, στα παλαιά κτίρια, είναι το πετρέλαιο. Το πετρέλαιο όμως, είναι ένα καύσιμο που δεν είναι ανεξάντλητο, η καύση του παράγει αρκετούς ρύπους που απορρίπτονται στο περιβάλλον και, όσο περνάει ο καιρός, η τιμή του ανεβαίνει συνεχώς. Ακόμη, η κατανάλωση ηλεκτρισμού, που παράγεται από την καύση λιγνίτη, και λιγότερο, φυσικού αερίου, συντελεί στην ίδια κατεύθυνση. Συνεπώς, με την όλο και αυξανόμενη ενεργειακή κατανάλωση, η λειτουργία του κτιρίου γίνεται ιδιαίτερα ακριβή καθώς επίσης και ρυπογόνα. Είναι φανερό, λοιπόν, πως είναι πλέον απαραίτητη η μείωση της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουν τα κτίρια. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, ξεκίνησε η θέσπιση των ανάλογων κανονισμών.

Στην Ελλάδα, ο πρώτος σχετικός κανονισμός θεσπίστηκε το 1979, γνωστός ως Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ), ο οποίος έθετε όρια για την επαρκή θερμομόνωση των κτιρίων, ώστε να μειωθούν οι απώλειες θερμότητάς του προς το εξωτερικό περιβάλλον. Στην συνέχεια, το 2010, ο Κ.Θ.Κ αντικαταστάθηκε από έναν νέο, αρκετά ευρύτερο, κανονισμό τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕνΑΚ). Βασικός στόχος του ΚΕνΑΚ είναι να βελτιωθεί η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά από ενεργειακής και οικονομικής άποψης.²

Όσον αφορά την περιβαλλοντική σκοπιά: Η πλειονότητα των επιστημόνων που εμπλέκονται σε θέματα περιβαλλοντικής προστασίας και διαχείρισης συμφωνούν ότι ήδη σε παγκόσμια κλίμακα έχει προκληθεί μεγάλη οικολογική καταστροφή από την εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών για βιομηχανικούς και ενεργειακούς σκοπούς. Σημειώνεται ότι από τα μέσα του

προηγούμενου αιώνα εξαπλασιάστηκε η παραγωγή πετρελαίου, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν διπλασιάζεται κάθε δεκαετία. Οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται διαρκώς σε όλους τους τομείς της οικονομίας. Παράλληλα αυξάνεται και η χρήση ενέργειας από τα νοικοκυριά σε παγκόσμιο επίπεδο. Η εν λόγω αύξηση προκαλεί με τη σειρά της προβλήματα ρύπανσης της ατμόσφαιρας λόγω των εκλυόμενων ρύπων κατά την καύση άνθρακα και διάφορων οργανικών ενώσεων για την παραγωγή της. Το διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται από την καύση του άνθρακα, του μαζούτ ή του λιγνίτη αποτελεί ένα από τους πιο σημαντικούς αέριους ρύπους. Αξίζει να τονιστεί ότι το 94% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα οφείλεται στην παραγωγή και χρήση ενέργειας (Πέρδιος 2006), ενώ το 45% των εν λόγω εκπομπών αποδίδεται στις καύσεις για τις ενεργειακές ανάγκες του κτηριακού τομέα. Το τελευταίο στοιχείο συνηγορεί στο ότι επιβάλλεται να υπάρξουν μέτρα και να αναληφθούν δράσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας, που δαπανάται για τη θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων σε παγκόσμιο επίπεδο, ώστε να περιοριστούν οι αέριοι ρύποι που προκαλούνται από τις καύσεις για την παραγωγή της εν λόγω ενέργειας.

Έτσι λοιπόν έχουμε τις Συμβατικές και τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Το σύνολο των πηγών ενέργειας, διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες.

- α) εκείνες που βρίσκονται στο στερεό φλοιό της Γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής
- β) σε αυτές που μας παρέχονται ελεύθερα από την φύση.

Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, πυρηνικά). Οι δεύτερες, έχουν βασική τους προέλευση τον Ήλιο.



Εικόνα Ε1: Εργοστάσιο Παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, Πτολεμαΐδα

Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι:

Άνθρακας (Κάρβουνο): Είναι η κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Στην ενέργεια από την καύση του ορυκτού άνθρακα βασίζεται μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής.



Εικόνα Ε2: Κομμάτι λιγνίτη

Πετρέλαιο: Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα. Σήμερα, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αναζήτησης λύσεων από το χώρο των Α.Π.Ε. Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του δίδει, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Πυρηνική Ενέργεια: Από το 1945 και μετά, προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων.³

Φυσικό Αέριο: Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό μείγμα αερίων υδρογονανθράκων που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, με έως και 20% συγκέντρωση των άλλων υδρογονανθράκων (συνήθως αιθάνιο), καθώς και μικρές ποσότητες ρύπων όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ευρέως και είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας σε πολλές εφαρμογές, όπως θέρμανση των κτιρίων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την παροχή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας στη βιομηχανία και τα οχήματα.⁴

Τι μας προσφέρει η «πράσινη» ενέργεια: Η πράσινη ενέργεια λοιπόν προέρχεται καθαρά από την φύση και δεν έχει επιπτώσεις σε αυτήν. Ανανεώνεται συνεχώς, δεν μολύνει, δεν επηρεάζει τον άνθρωπο ούτε το ζωικό η φυτικό βασίλειο. Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα. Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που ότι και να

συμβαίνει στην διεθνή οικονομία δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα. Δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας και συμβάλουν στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών.⁵



Εικόνα Ε3: Αντληση πετρελαίου

Ανανεώσιμες Πηγές:

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη, εκτός από την διατήρηση και ανάπτυξη της ζωής στον πλανήτη, δίνει ακατάπαυστα ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), θερμαίνει άμεσα και εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας λίμνες και ποτάμια, που αποτελούν και αυτά πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Απορροφημένη από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Δημιουργεί τα κύματα και συμβάλλει στη δημιουργία των θαλασσίων ρευμάτων (Ενέργεια κυμάτων). Συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

Υδροηλεκτρική Ενέργεια: Η υδατόπτωση επίσης αποτελεί έναν από τους τρόπους παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Εκμεταλλευόμαστε την ύπαρξη φυσικών λεκανών υδάτων σε περιοχές με συγκεκριμένη εδαφική διαμόρφωση, κατασκευάζοντας φράγματα και έπειτα από μεγάλο ύψος εκρέει νερό το οποίο κινεί υδροστροβίλους. Οι υδροστρόβιλοι με την σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρογεννήτριες. Το μειονέκτημα είναι ότι για να έχει εφαρμογή χρειάζεται ορισμένη εδαφική περιοχή με ιδανικά κριτήρια και χρειάζεται προσοχή καθώς δεν πρέπει να καταστραφούν τα οικοσυστήματα της περιοχής. Η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας καλύπτει περίπου το 16% της παγκόσμιας κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.⁶



Εικόνα Ε4: Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο λίμνης Πλαστήρα

Ενέργεια από κύματα, θαλάσσια ρεύματα και παλίρροια: Αυτού του είδους η παραγωγή ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπου η διάρκεια κυματισμού, το ύψος των κυμάτων καθώς και η ταχύτητα των θαλασσιών ρευμάτων επιτρέπουν την αξιοποίησή τους.

1) Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυματισμό είναι η διάταξη με το όνομα Pelamis.

2) Σε προχωρημένο πειραματικό στάδιο βρίσκεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με υποθαλάσσιες ηλεκτρογεννήτριες, σε θέσεις που υπάρχουν ισχυρά θαλάσσια ρεύματα.

3) Μια άλλη ιδέα που μελετάται, αφορά στην αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων σε ειδικές κατασκευές, στις οποίες ενσωματώνεται ανεμογεννήτρια και μέρος των οποίων είναι βυθισμένο στη θάλασσα. Κατά τον κυματισμό, ο εισερχόμενος όγκος νερού συμπιέζει τον εγκλωβισμένο αέρα, ο οποίος, ρέοντας μέσω της κεντρικής χοάνης, θέτει σε περιστροφή τη φτερωτή της ανεμογεννήτριας.⁷

4) Επίσης οι ωκεανοί μπορούν να εκμεταλλευθούν για παραγωγή ενέργειας όχι μόνο από τις παλίρροιας και την ενέργεια των κυμάτων αλλά και λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα μεθόδους η οποία και πάλι είναι φιλική προς το περιβάλλον.⁸

Βιομάζα: Η βιομάζα χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας, ξύλου, αστικά απόβλητα, τροφίμων και ζωοτροφών της βιομηχανίας) με σκοπό να αποδεσμεύσει την ενέργεια που δεσμεύτηκε από το φυτό κατά την φωτοσύνθεση και έτσι θεωρείται ανανεώσιμη. Κατά την καύση της βιομάζας η δεσμευμένη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία. Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίας

ζητούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου.⁹



Εικόνα Ε5: Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυματισμό με το όνομα Pelamis

Γεωθερμική ενέργεια: Αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία, η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών αποδίδεται κυρίως, στην εκλύομενη ενέργεια κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργεια τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών, κ.α., ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή (> 150 °C), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.¹⁰



Εικόνα Ε6: Εγκατάσταση γεωθερμίας σε κατοικία

Αιολική Ενέργεια: Η αιολική ενέργεια στηρίζεται στον άνεμο. Ο άνεμος με την σειρά του δημιουργείται λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας του αέρος που δημιουργεί, διαφορές βαρομετρικής πίεσης με αποτέλεσμα να κινηθεί αέρια μάζα από την ψυχρότερη στη θερμότερη περιοχή. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή. Η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, με χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, βρίσκεται σήμερα σε εντυπωσιακή εξέλιξη. Επίσης χρησιμεύουν στην άντληση νερού. ¹¹



Εικόνα Ε7: Off-Shore Εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ηλιακή Ενέργεια: Η ηλιακή ενέργεια, έχει αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα με μια σειρά από ολοένα εξελισσόμενες τεχνολογίες. Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα, καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Η εκμετάλλευση της χωρίζεται στις εξής τρεις κατηγορίες:

1. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα
2. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα
3. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται

στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Ενεργειακός Σχεδιασμός – Υβριδικά Συστήματα

Τα κτίρια επιδρούν άμεσα στο περιβάλλον μας, και κατά το στάδιο της κατασκευής τους αλλά και κατά την λειτουργία και αποδόμησή τους. Η εφαρμογή του ενεργειακού σχεδιασμού και η ενσωμάτωση των Α.Π.Ε. στα κτίρια είναι παράγοντας για την αξιοποίηση της ενέργειας για κάθε κτίριο και σε κάθε μέρος. Είναι αναγκαία και χρήσιμη η γνώση αυτής της αλληλεπίδρασης, ώστε να καταφέρουμε να μειώσουμε την κατανάλωση ενέργειας και να πετύχουμε τον ενεργειακό σχεδιασμό.

Η αξιοποίηση αυτή, ενός συνδυασμού συστημάτων βασισμένο στις Α.Π.Ε., αποτελεί προϋπόθεση για τις περιβαλλοντικές συνθήκες ενός τόπου που ζητάμε. Σήμερα, υπάρχουν πολλά και διαφορετικά ενεργειακά συστήματα που δύναται να ενσωματωθούν στα κτίρια με σκοπό την μερική ή ολική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ή φορτίων. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

Φωτοβολταϊκά συστήματα (Photovoltaic energy systems)

Ηλιακά θερμικά συστήματα (Solar thermal systems)

Αιολικά συστήματα (Wind energy systems)

Γεωθερμικά συστήματα (Geothermal energy systems)

Συστήματα συμπαραγωγής (CHP systems)

Συστήματα αξιοποίησης βιομάζας (Biomass systems).

Βασική απαίτηση στο σχεδιασμό των κτηρίων είναι η εξασφάλιση θερμικής άνεσης όλο το χρόνο με κατανάλωση της λιγότερης δυνατής συμβατικής ενέργειας. Προς την κατεύθυνση αυτή, τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα (hybrid energy systems) αποτελούν λύση που μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση. Τα συστήματα αυτά, προκύπτουν από τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων διαφορετικών αλλά συμπληρωματικών πηγών παραγωγής ενέργειας.



Εικόνα Ε8: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση για εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1.1. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΛΛΟΝ

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, έχει οριστεί πως ο όρος της Γεωθερμίας αφορά τον επιστημονικό κλάδο, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα στάδια της έρευνας. Από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής θερμότητας στο υπέδαφος, το μηχανισμό κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι αποτελεί μια φυσική, ήπια πηγή ενέργειας η οποία είναι αρκετά ανανεώσιμη. Η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας 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. Για να είναι πραγματοποιήσιμη η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής, θα πρέπει οι γεωλογικές συνθήκες, να συνδυάζονται με το θερμικό φορτίο και να πετυχαίνουν ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα. Η γεωθερμική ενέργεια εντοπίζεται

σε θερμά-ξηρά πετρώματα σε μεγάλα βάθη, σε γεωπεπυσμένους σχηματισμούς και σε λιωμένα πετρώματα (μάγματα). Η αξιοποίηση όμως της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας είναι αρκετά δύσκολη σύμφωνα με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Αντιθέτως η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται όλο και περισσότερο, από ρηγά ρευστά ή πετρώματα, παρόλο που έχουν μικρή θερμοκρασία (Φυτίκας&Ανδρίτσος, 2004).

Κυριότερος στόχος της γεωθερμίας είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των γεωθερμικών περιοχών, δηλαδή των περιοχών εκείνων που παρουσιάζουν θετικές θερμικές ανωμαλίες και ευνοϊκές γενικά συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Σε μερικές περιοχές της γης παρατηρούνται ασυνήθιστα υψηλές τιμές της θερμικής ροής, δηλαδή της μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια. Αυτές οι περιοχές, με θετική θερμική ανωμαλία, έχουν βεβαίως προτεραιότητα στη γεωθερμική έρευνα και αξιοποίηση. Όμως, με τις σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις και σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη τιμή της ενέργειας, την ορατή προοπτική εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων και την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, γίνονται ενδιαφέρουσες και περιοχές με μικρότερες θερμικές ανωμαλίες ή και χωρίς καμία ανωμαλία. Αρκεί οι περιοχές αυτές να διαθέτουν αξιόλογες ποσότητες ρευστών, σε μικρά σχετικά βάθη, μέχρι 3000 μέτρα. Το βάθος αυτό θεωρείται γενικά ως το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων γεωθερμίας με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα.

Η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής είναι ένα αντικείμενο που παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες αλλά και πλεονεκτήματα. Αρχικά, θα ήταν σωστό να δοθούν οι ορισμοί από κάποιες σημαντικές έννοιες.

- Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης σε μορφή νερού, ατμών, αερίων ή ακόμα και ως ενέργεια από τα πετρώματα. Είναι η φυσική ενέργεια της γης που διαρρέει το εσωτερικό της προς την επιφάνεια.
- Γεωθερμικό δυναμικό, είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών υδάτων (επιφανειακών ή υπογείων) και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25 βαθμούς Κελσίου.
- Γεωθερμικό πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό (Καραγιάννης&Μουζά&Καράμπελας, 1992).

Τα Γεωθερμικά Πεδία χωρίζονται στις εξής κατηγορίες, ανάλογα με το θερμοκρασιακό τους επίπεδο:

- Υψηλής ενθαλπίας (>150 °C) συνήθως χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή ηλεκτρισμού. Τις πιο πολλές φορές αυτά τα ρευστά αποτελούνται από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.

- Μέσης ενθαλπίας (80 – 150 °C) χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων, όπως επίσης και μερικές φορές για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Χαμηλής ενθαλπίας (25 – 80 °C) χρησιμοποιούνται για θερμάνσεις χώρων, θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες και για παραγωγή γλυκού νερού.
- Περιβαλλοντική (ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες συνήθως χαμηλότερες των 25 °C, κανονική, ομαλή ή αβαθής) χρησιμοποιούνται συνήθως για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού.

Η ενθαλπία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και συνήθως χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής αξίας τους.

Η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με 2 τρόπους:

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

Προϊόν του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο.

Παραπροϊόντα λέγονται άλλα προϊόντα που παράγονται συγχρόνως εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του πεδίου. Υποπροϊόν λέγεται το γεωθερμικό ρευστό που απομένει, έπειτα από την απόληψη των κατά τα ανωτέρω προϊόντων και παραπροϊόντων.

Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου ονομάζεται το σύνολο των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται και αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση προϊόντων και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή του σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων (Mary&Dickson&Fanelli, 2004).

1.2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Από την αρχαιότητα, η γεωθερμική ενέργεια συνηθιζόταν να χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους για την προσωπική τους καθαριότητα αλλά και για θέρμανση. Ακόμα και στις μέρες μας, σε αρκετά μέρη του κόσμου οι θερμές πηγές χρησιμοποιούνται για ζεστά μπάνια, και αρκετοί άνθρωποι υποστηρίζουν την άποψη ότι τα καυτά μεταλλικά νερά έχουν φυσικές θεραπευτικές δυνάμεις. Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι νέα επινόηση. Πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε από μια ομάδα Ιταλών το 1904 (Varet, 1982).

Αυτή η ομάδα Ιταλών, χρησιμοποίησε τον ατμό που πηγάζει μέσα από τη γη, για να κινήσει μια γεννήτρια με τη βοήθεια στροβίλου. Η γεωθερμική ενέργεια είναι ένα είδος ενέργειας

την οποία εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος πλέον σε πολλές χώρες του κόσμου, όπως οι ΗΠΑ, η Ισλανδία, η Ιταλία, η Νέα Ζηλανδία, η Ιαπωνία, οι Φιλιππίνες, το Μεξικό, η Ρωσία κ.ά. Στην Ισλανδία, όπου η ατμόσφαιρά της είναι από τις πιο καθαρές του κόσμου, το 70% του πληθυσμού χρησιμοποιεί για θέρμανση την ενέργεια των θερμών πηγών και των θερμοπιδάκων της χώρας. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 η παγκόσμια παραγόμενη ισχύς από γεωθερμικές μονάδες (οι μισές από τις οποίες βρίσκονται στις ΗΠΑ), ξεπερνούσε τα 5.000 μεγαβάτ. Στις ΗΠΑ βρίσκεται και μία από τις μεγαλύτερες γεωθερμικές εγκαταστάσεις στον κόσμο, η μονάδα GEYSER της Καλιφόρνια, που περιλαμβάνει 20 γεωθερμικούς σταθμούς συνολικής ισχύος 2.000 μεγαβάτ.

Οι έρευνες για την ύπαρξη γεωθερμικής ενέργειας στην χώρα μας άρχισαν το 1970 και ως το 1980 είχε να κάνει με περιοχές στις οποίες υπήρχαν ενδείξεις για υψηλή ενθαλπία. Βρέθηκαν τα γεωθερμικά πεδία της Μήλου και της Νισύρου και προέκυψαν πολλά ή λιγότερα στοιχεία για πιθανά πεδία στην Κίμωλο, Πολύαιγο, Σαντορίνη, Κω και Λέσβο. Κάποιες από τις παραπάνω περιοχές μπορεί να διαπιστωθεί ότι δεν έχουν σε οικονομικά βάθη, γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλλά μόνο μέσης ενθαλπίας, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποδειχθεί συμφέρουσα σε μερικές περιπτώσεις (Armstead, 1983).

1.3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Η θέρμανση του υπεδάφους και το φαινόμενο διάπυρο υλικό που υπάρχει στο εσωτερικό της γης, προκύπτει να κινείται προς την επιφάνεια. Αυτό ωστόσο εμφανίζεται σε περιοχές όπου έχει υπάρξει σχετικά πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η θερμότητα αυτή συμβαίνει πολλές φορές να μεταφέρεται σε τυχόν υδάτινους σχηματισμούς που υπάρχουν στην γύρω περιοχή, και σαν αποτέλεσμα τα νερά ζεσταίνονται και κυκλοφορούν μέσα από τα πετρώματα, φθάνοντας έτσι πολλές φορές μέχρι και την επιφάνεια, αφού εμπλουτίζονται από τα άλατα που έχουν τα πετρώματα, ενώ κάποιες άλλες φορές, τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και αποκτούν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350 °C.

Η θερμική ροή εμφανίζεται:

- Κατά τη βύθιση λιθοσφαιρικών πλακών.
- Στα ηπειρωτικά βυθίσματα.
- Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης.

Καθώς τα οφέλη της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολλά και αποτελεί φυσικό επίγειο πλούτο, είναι σκόπιμο να αντιμετωπίζεται σοβαρά και με ιδιαίτερο αναπτυξιακό χαρακτήρα τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Η απαιτούμενη τεχνολογία για τη σωστή

εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής, έχει περάσει από εξετάσεις σε ευρεία κλίμακα (Ellis.&Mahon, 1997). Ωστόσο τα γεωθερμικά πεδία ξεχωριστά, παρουσιάζουν ιδιομορφίες και απαιτούνται διαφορετικές όσο και εξειδικευμένες μελέτες για τη σωστή από τεχνικής όσο και οικονομικής άποψης εκμετάλλευσή τους. Από την άλλη μεριά, ότι έχει να κάνει με την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας που εμπεριέχεται στα θερμά ξηρά πετρώματα και τα ενεργά ηφαίστεια, η τεχνολογία δεν έχει δώσει ακόμα πρακτικά αποδεκτές λύσεις.

Παρόλ'αυτά, θα μπορούσαν να εξασφαλιστούν μερικές εκατοντάδες MWe λόγω του γεωθερμικού δυναμικού υψηλής ενθαλπίας και μάλιστα σε ευαίσθητους νησιωτικούς χώρους όπου η παραγωγή όσο και η διάθεση του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αρκετά χαμηλότερο κόστος ανά KWh.

Στη χώρα μας υπάρχουν αρκετά γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, όπου είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με πολύ μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, ένα μικρό μέρος (περίπου τα 3/20) είναι σε χρησιμότητα σήμερα για θέρμανση χώρων, ιαματικά λουτρά, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς της χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MWth. Κάποιες φορές, άλατα αλλά και αέρια τα οποία είναι αξιοποιήσιμα, εμπεριέχονται στα γεωθερμικά πεδία. Μεταξύ των πρώτων αναφέρονται για τη χρησιμοποίησή τους τα άλατα καλίου και μαγνησίου που παράγονται από γεωθερμικές ενέργειες. Παρόμοια ρευστά πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο βρέθηκαν τελευταία στο καινούργιο γεωθερμικό πεδίο Cesano της Ιταλίας. Ένα αέριο που έχει τεράστια σημασία για τα θερμοκήπια είναι το CO₂ το οποίο παράγεται συνήθως σε αφθονία στα γεωθερμικά πεδία (Καρυδάκης, 2003).

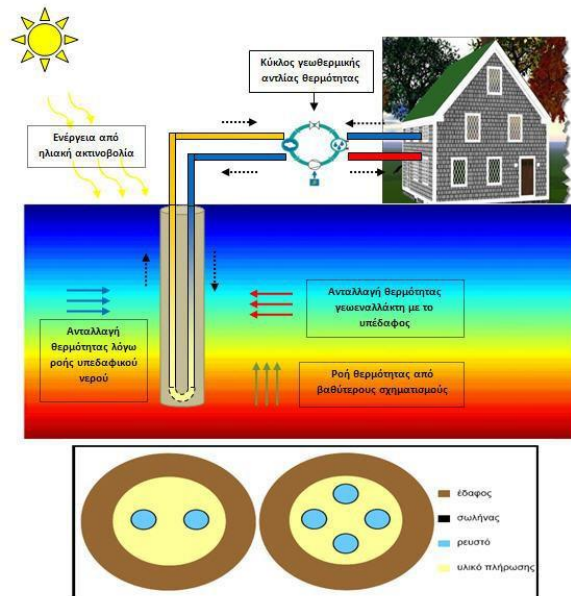
1.4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Εκεί όπου υπάρχει κρυμμένη η γεωθερμική ενέργεια, μέσα στη γη, λέγεται γεωθερμικό σύστημα. Φυσικά, συγκεντρώνοντας και κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τα συστήματα αυτά, τις πιο πολλές φορές υπάρχουν σε περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα και κυρίως γύρω από τα όρια των τεκτονικών πλακών, όπου εκεί η βαθμίδα αυτή μπορεί να είναι πολύ πιο υψηλή της μέσης τιμής.

Με πιο χαμηλές θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν τους 100 °C συνήθως απαντώνται τα γεωθερμικά συστήματα της πρώτης περίπτωσης, από την άλλη στα γεωθερμικά συστήματα της δεύτερης περίπτωσης οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα πιο ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές μέχρι και μεγαλύτερες, της τάξεως των 400 °C.

Το γεωθερμικό σύστημα περιγράφεται ως ένα σύστημα που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης. Το σύστημα στο εσωτερικό του περιέχει κινούμενο νερό, το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια πηγή σε μια δεξαμενή θερμότητας, η οποία

συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια. Έτσι λοιπόν ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία τα οποία είναι τα εξής: την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας (Ellis&Mahon,1977).



Εικόνα 1.2: Πρότυπο Γεωθερμικό σύστημα. Πηγή: www.geothermal-energy.org

Η εστία θερμότητας μπορεί να παρατηρηθεί σε δύο καταστάσεις, είτε πολύ υψηλής θερμοκρασίας (>600 °C) με μαγματική διείσδυση που φτάνει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 Km), είτε σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, όπου όσο αυξάνεται το βάθος στο εσωτερικό της γης αυξάνεται και η θερμοκρασία των πετρωμάτων της. Ο σχηματισμός από θερμά πετρώματα όπου μπορεί και περνάει το νερό, είναι ο ταμιευτήρας. Τα πετρώματα αυτά επιτρέπουν τη κυκλοφορία των ρευστών και το ρευστό αντλεί θερμότητα. Πάνω στον ταμιευτήρα συνήθως βρίσκεται ένα κάλυμμα αδιαπέραστων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται σε μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, διαμέσου της οποίας νερό από βροχές ή και επιφανειακό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται μέσω γεωτρήσεων.

Ουσιαστικά το γεωθερμικό ρευστό δεν είναι τίποτα άλλο από νερό, όπου ανάλογα με το τι συνθήκες επικρατούν (πίεσης και θερμοκρασίας) στον ταμιευτήρα, βρίσκεται και στην ανάλογη φάση, υγρή ή αέρια. Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι εμπλουτισμένο με χημικά στοιχεία και αέρια όπως CO₂, H₂Sκ. Στο παρακάτω σχήμα 1.4 φαίνεται σε πιο απλή μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικού συστήματος (Eliasson, 2001).

1.5. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Ως γεωθερμικός πόρος αναφέρεται η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Το διάστημα στο οποίο ένας ωφέλιμος όσο και προσβάσιμος γεωθερμικός πόρος μπορεί να ανακτηθεί στο σχετικά άμεσο μέλλον με νόμιμο και οικονομικά συμφέροντα τρόπο, είναι τα 100 χρόνια. Ο οικονομικά επωφελής γεωθερμικός πόρος αποτελεί μέρος του ωφέλιμου και προσβάσιμου πόρου. Οι γεωθερμικοί πόροι αυτοί λέγονται και αποθέματα και αναφέρονται στην ποσότητα της γεωθερμικής ενέργειας μιας περιοχής, η οποία συγκριτικά με άλλες πηγές ενέργειας, μπορεί να αξιοποιηθεί με ανταγωνιστικό κόστος. Στο παρακάτω πίνακα 1.5 δίνεται μια εκτίμηση του παγκόσμιου γεωθερμικού δυναμικού (Lindal, 1992).

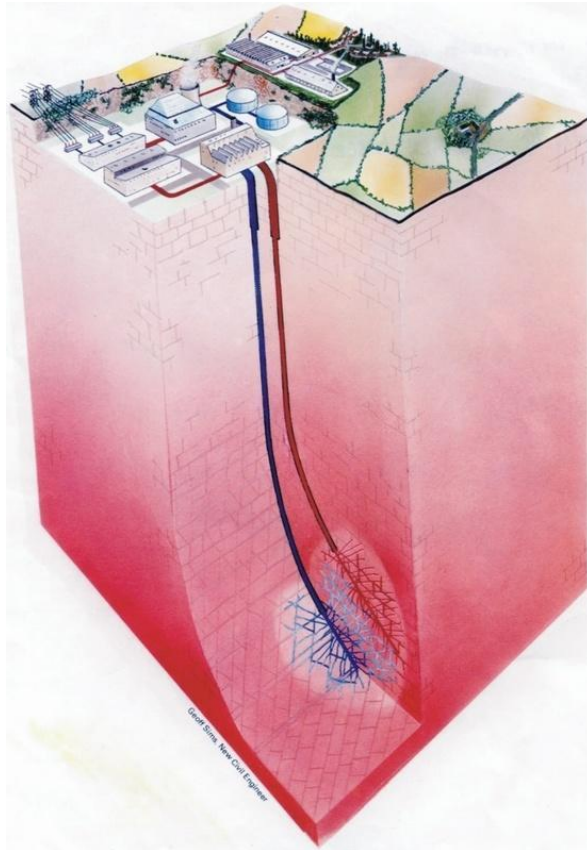
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ [Exajoules]
Θεωρητικό δυναμικό (βάθος 5km)	140.000.000
Διαθέσιμο δυναμικό	600.000
Ωφέλιμο και προσβάσιμο δυναμικό	5.000
Οικονομικά επωφελές δυναμικό	500

Πίνακας 1.5 Εκτίμηση παγκόσμιου γεωθερμικού δυναμικού Πηγή: www.geothermal-energy.org

1.6. ΘΕΡΜΑ ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Η κατηγορία αυτή, ανήκει σε μια ειδική κατηγορία γεωθερμικών πόρων. Συχνά αναφέρονται ως ένας θερμός γεωλογικός σχηματισμός. Οι ελλείψεις ταμιευτήρα όσο και γεωθερμικού μέσου είναι οι μεγαλύτερες διαφορές με άλλους γεωθερμικούς πόρους και το τυπικό γεωθερμικό σύστημα. Για να αξιοποιηθούν σωστά τα θερμά ξηρά πετρώματα γίνεται – μέσω ειδικών γεωτρήσεων- τεχνητή εισαγωγή νερού με υψηλή πίεση σε ένα θερμό όσο και συμπαγές πέτρωμα, το οποίο είναι σε μεγάλο βάθος.

Λόγω της μεγάλης πίεσης του νερού, προκαλείται στο πέτρωμα υδραυλική διάρρηξη. Αφού το νερό διαπεράσει τις τεχνητές διαρρήξεις, έρχεται σε επαφή με τις μεγάλες επιφάνειες θερμού πετρώματος, θερμαίνεται με αυτό τον τρόπο και έτσι λειτουργεί ως ένας φυσικός ταμιευτήρας. Στη συνέχεια ο ταμιευτήρας διαπερνάται από μια δεύτερη γεώτρηση μέσα από την οποία αντλείται το νερό που θερμάνθηκε. Στο παρακάτω σχήμα 1.6 φαίνεται όλο αυτό το σύστημα, το οποίο και με τις απαραίτητες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης που θα υπάρχουν στην επιφάνεια, αποτελούν ένα κλειστό κύκλωμα (Armstead, 1983).



Σχήμα 1.6 Σύστημα θερμών ξηρών πετρωμάτων Πηγή: www.geothermal-energy.org

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορούν να ταξινομηθούν τα γεωθερμικά συστήματα. Μερικά από αυτά είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν υπάρχουν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κα.

Υπάρχουν 2 τρόποι για την άντληση της γεωθερμικής ενέργειας και αυτοί είναι, η ρηχή και η βαθιά. Η ρηχή που πραγματοποιείται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και η βαθιά η οποία γίνεται σε πιο υψηλές θερμοκρασίες. Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον φλοιό της γης με μορφή θερμότητας, λέγεται αβαθής γεωθερμία. Τα βάρη που κυμαίνεται είναι έως 150 μέτρα και με θερμοκρασίες υπεδάφους μέχρι 18 °C.

Η βαθιά γεωθερμική ενέργεια όπου πήρε το όνομά της εξαιτίας της άντλησής της από τα βαθύτερα στρώματα της γης, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Τα θερμά υπόγεια ύδατα που ίσως υπάρχουν, χρησιμοποιούνται και απευθείας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Τα γεωθερμικά συστήματα συνήθως διακρίνονται, σε αυτά με κυρίαρχο ρευστό το νερό, στην υγρή φάση και σε αυτά που κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός. Στα συστήματα αυτά που επικρατεί το νερό, η πίεση ελέγχεται από την υγρή φάση. Στη φάση αυτή μπορεί να περιέχονται και κάποια αέρια με τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Τα συστήματα των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 125- 225 °C είναι και τα πιο συνηθισμένα παγκοσμίως (Marshall&Braitwaite, 1972).

Η κατάσταση ισορροπίας που αφορά τον ταμιευτήρα είναι άλλη μια βοήθεια για τον τρόπο ταξινόμησης των γεωθερμικών συστημάτων. Σύμφωνα με αυτή τη ταξινόμηση λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας. Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια ο ταμιευτήρας αποφορτίζεται είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού.

Στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται συστήματα τόσο υψηλής (>150 °C) όσο και χαμηλής (<100 °C) θερμοκρασίας. Τα συστήματα στα οποία δεν υπάρχει τροφοδοσία του ταμιευτήρα ή υπάρχει έστω ελάχιστη, λέγονται στατικά ή στάσιμα. Ο μηχανισμός αγωγής είναι ο μόνος υπεύθυνος για τη μεταφορά της θερμότητας στα συστήματα αυτά.

Οι πέντε κατηγορίες συστημάτων σύμφωνα με το είδος των γεωθερμικών πόρων είναι οι ακόλουθες: Υδροθερμική ενέργεια, Αβαθής γεωθερμία, Προχωρημένα συστήματα, Γεωπεπιεσμένη ενέργεια, Ενέργεια μάγματος.

α) Στην υδροθερμική ενέργεια, τα υπόγεια θερμά ρευστά που είναι μέσα στη γη σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από κάποιες εστίες θερμότητας και εκτονώνονται στην επιφάνεια με κάποια μορφή θερμών εκδηλώσεων. Στην ουσία, στις μέρες μας είναι και τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται, γι' αυτό συχνά ταυτίζονται και με το σύνολο των γεωθερμικών πεδίων.

β) Μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η λεγόμενη αβαθής γεωθερμία, κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή «ξηρές» γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων.

γ) Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα, τα οποία αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος και περιορισμένα από μη περατά πετρώματα, που η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική. Συγκαταλέγονται στα στατικά συστήματα και συνυπάρχουν με υδρογονάνθρακες (κυρίως αερίου).

δ) Τα συστήματα βαθιών θερμών-ξηρών πετρωμάτων, δηλαδή τα θερμά πετρώματα σε βάθος 3-10km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί

ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.

ε) Ενέργεια μάγματος, η οποία έχει να κάνει με την λήψη θερμότητας από μάγμα που βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος (Ανδρίτσος&Καράμπελας&Φυτίκας, 1999).

Τα κύρια τυπικά τμήματα ενός υδροθερμικού συστήματος είναι η εστία θερμότητας, ο ταμιευτήρας, το μη περατό κάλυμμα και η περιοχή επαναφόρτισης. Ο ταμιευτήρας είναι το σημαντικότερο τμήμα ενός γεωθερμικού συστήματος από την άποψη της ενεργειακής αξιοποίησης των περιεχόμενων ρευστών. Στα συστήματα τα οποία γίνεται ένας πρώτος διαχωρισμός όσον αφορά τα υδροθερμικά συστήματα, είναι αυτά όπου κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός και που χρησιμοποιούνται μόνο για ηλεκτροπαραγωγή και σε αυτά με κυρίαρχο ρευστό το ζεστό νερό.

Το πιο συχνό κριτήριο για τον διαχωρισμό των υδροθερμικών συστημάτων νερού βασίζεται στην ενθαλία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία είναι και οι φορείς της θερμότητας στην επιφάνεια της γης από τα θερμά ξηρά πετρώματα. Η ενθαλία των ρευστών, η οποία είναι ανάλογη της θερμοκρασίας τους, χρησιμοποιείται για την έκφραση του θερμικού περιεχομένου τους (Lund&Freston&Boyd, 2005).

2.1.1. Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία

Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία αποκαλείται η ενέργεια που προκύπτει από την λήψη της θερμότητας από νερά, υπόγεια και επιφανειακά ή γεωλογικούς σχηματισμούς, που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι θερμοκρασίες που συναντώνται είναι συνήθως κάτω των 25 °C και προέρχονται τις περισσότερες φορές από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης.

Αυτό το είδος ενέργειας το οποίο είναι και σταθερό και μόνιμο, χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς όπως, θέρμανση νερού για το καλοριφέρ τον χειμώνα έως 50 °C, το καλοκαίρι για την ψύξη του νερού του κλιματισμού έως 10 °C, αλλά και για την επάρκεια ζεστού νερού όλο το έτος (Barbier, 1997).

2.1.2. Υδροθερμική ενέργεια – Υδροθερμικές πηγές

Τα γεωθερμικά νερά βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες μέσα στα πετρώματα (στα καρστικά ή άλλα έγκοιλα), στα ανοικτά ρήγματα και τους ενδιάμεσους πόρους των σχηματισμών, ακόμα και στη δομή των ορυκτών. Κινούνται συνήθως αρκετά αργά στο υπέδαφος, παίρνουν θερμότητα από τα πετρώματα και σύντομα η θερμοκρασία τους εξισώνεται με αυτή των γεωλογικών σχηματισμών, μέσα στους οποίους βρίσκονται και κυκλοφορούν. Με τον τρόπο αυτό, μεταφέρουν θερμική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, με σχετικά μικρές απώλειες (ανάλογα βέβαια και με την ταχύτητα κίνησης και τη διαφορά

θερμοκρασίας από το ένα περιβάλλον στο άλλο) όταν κινούνται από βαθύτερα σημεία προς περιοχές πιο κοντινές στην επιφάνεια. Χαρακτηριστικό των υδροθερμικών συστημάτων είναι η κυκλοφορία νερού σε μικρά έως μέσα βάθη (100m-4,5km).

Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά μιας υδροθερμικής πηγής:

A) μια θερμική πηγή

B) ένας προσπελάσιμος στα ύδατά του υδροφόρος ορίζοντας

Γ) και ένα στεγανό πέτρωμα που να σφραγίζει τον υδροφόρο ορίζοντα.

Στα υδροθερμικά συστήματα η γεωθερμική ενέργεια εμφανίζεται με τη μορφή νερού ή ατμού και πραγματοποιείται με την διάτρηση του υδροφόρου ορίζοντα. Οι υδροθερμικές πηγές με υψηλή θερμοκρασία (180 °C έως πάνω από 350 °C) συνήθως θερμαίνονται από θερμό τηγμένο πέτρωμα, οι χαμηλής θερμοκρασίας (100 °C έως 180 °C) δημιουργούνται με πολλές διαδικασίες (Coudert&MetJaudin, 1988).

2.1.3. Γεωπεπιεσμένα συστήματα

Με τον όρο γεωπεπιεσμένα ρευστά εννοούνται τα γεωθερμικά ρευστά του υπεδάφους που βρίσκονται εγκλωβισμένα υπό μεγάλη πίεση (550-1350bar, πολύ μεγαλύτερης της υδροστατικής) μέσα σε παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς, πάντα μαζί με μεθάνιο. Τα ρευστά έχουν υψηλή αλατότητα και θερμοκρασίες στην περιοχή των 50-250 °C. Οι περατοί σχηματισμοί με τέτοια ρευστά είναι συνήθως ιζηματογενείς και πτυχωμένοι, με τα ρευστά να καταλαμβάνουν τους πόρους των πετρωμάτων. Τα ρευστά εκεί βρίσκονται υπό πίεση που υπερβαίνει την υδροστατική. Τέτοιοι ταμιευτήρες απομονώνονται στο βάθος από υπερκείμενους μη περατούς σχηματισμούς, που είναι συνήθως αργιλικά ιζήματα. Τα περισσότερα δεδομένα για τα γεωπεπιεσμένα συστήματα έχουν προέλθει από γεωτρήσεις πετρελαίου. Γεωπεπιεσμένα πεδία υπάρχουν σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Μια μεγάλη περιοχή με γεωπεπιεσμένα ρευστά βρίσκεται στον κόλπο του Μεξικού, όπου η αποθηκευμένη ενέργεια εκτιμάται σε $1,7 \times 10^{23} \text{J}$.

2.2. ΜΑΓΜΑ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΑΓΜΑΤΟΣ

Οι διεισδύσεις μάγματος αντιπροσωπεύουν τοπικές περιοχές με τεράστια συγκεντρωμένη θερμική ενέργεια με τη μορφή λιωμένου ή σχεδόν λιωμένου μάγματος, σε θερμοκρασίες στην περιοχή των 650-1200 °C. Το μάγμα είναι βασικά η πρωταρχική πηγή θερμότητας όλων των υδροθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας. Για να ταξινομηθεί μια περιοχή μάγματος ως γεωθερμικός πόρος, θα πρέπει να βρίσκεται σε προσβάσιμα βάθη, δηλαδή σε βάθη μικρότερα από 10km. Συνήθως βέβαια μάγμα βρίσκεται σε βάθη της τάξης των 5km. Σε σπάνιες περιπτώσεις, διεισδύσεις μάγματος βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια, κάτω ή γύρω από ενεργά ηφαίστεια. Έρευνα για να διαπιστωθεί η δυνατότητα αξιοποίησης αυτής της μορφής ενέργειας ξεκίνησε ήδη από τη δεκαετία του 1970 στις Η.Π.Α., την Ιαπωνία, την Ισλανδία και την πρώην Σοβιετική Ένωση (Gudmunsson&Lund, 1985).

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι χρήσεις της Γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε ηλεκτρικές και άμεσες χρήσεις. Στην κατηγορία των άμεσων χρήσεων ανήκει η εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς ενδιάμεσα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πιο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Ρευστά με θερμοκρασία πιο μεγάλη από 150 °C χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη τη κλίμακα θερμοκρασιών. Ενώ η χρήση της γεωθερμίας στο σύνολό της είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις παγκόσμιες ανάγκες (μόλις το 0,5%), για κάποιες χώρες παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Έτσι π.χ. για την Ισλανδία, το 50% της πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας της χώρας προέρχεται από τα γεωθερμικά ρευστά (και

ένα άλλο 18% από την υδροηλεκτρική ενέργεια), ενώ στις Φιλιππίνες το 22% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από τη γεωθερμική ενέργεια.

Σε ότι έχει να κάνει με το κόστος της παραγόμενης θερμότητας, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (για την αρχική έρευνα και ανάπτυξη των πεδίων), ενώ από την άλλη μεριά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις πιο πολλές φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, σε βαθιές γεωτρήσεις, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δανείζεται πολλά στοιχεία από την τεχνολογία των γεωτρήσεων πετρελαίου. Για πιο ρηχές γεωτρήσεις και για νερά χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται η τεχνολογία των υδρογεωτρήσεων, η οποία είναι προσαρμοσμένη στη γεωθερμία (Barbier, 2002).

3.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αν και η γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης, η χρήση της είναι δυνατή μόνο όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες.

Η ενέργεια πρέπει να είναι προσπελάσιμη μέσω γεωτρήσεων, συνήθως σε βάθη μικρότερα των 3km αλλά ενδεχομένως και σε βάθη 6-7km, σε ιδιαίτερα ευνοϊκά περιβάλλοντα.

Εν αναμονή επίδειξης της τεχνολογίας και των οικονομικών για τη διάρρηξη και την παραγωγή ενέργειας από πετρώματα χαμηλής περατότητας, το πορώδες των ταμιευτήρων και διαπερατότητα πρέπει να είναι αρκετά υψηλά ώστε να επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού.

Επειδή το κόστος της γεωθερμικής εγκατάστασης αυξάνει ανάλογα με το βάθος της γεώτρησης, σε όσο πιο μικρό βάθος βρεθεί συσσωρευμένη η γεωθερμική ενέργεια τόσο το καλύτερο. Εξαιτίας των σωληνώσεων που μπορούν να φτάσουν τα μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, σε περίπτωση που χρειαστεί να μεταφερθούν τα γεωθερμικά οικονομικά, θα πρέπει οποιαδήποτε εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής ή άμεσης χρήσης να βρίσκεται στην γεωθερμική ανωμαλία ή κοντά σε αυτή (Armstead, 1983).

Θερμοκρασία ταμιευτήρα	Ρευστό ταμιευτήρα	Συνήθης χρήση	Τεχνολογία που συνήθως επιλέγεται
Υψηλή θερμοκρασία (> 220 °C)	Νερό ή ατμός	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"> • Ακαριαίος ατμός • Συνδυασμένος κύκλος (ακαριαίος & δυαδικός)

		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Ενδιάμεση θερμοκρασία (100-220 °C)	Νερό	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"> • Δυαδικός κύκλος
		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Χαμηλή θερμοκρασία (50-150 °C)	Νερό	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας

Πίνακας 3.1 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας Πηγή: Φυντίκας&Ανδρίτσος, 2004

3.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω διαφόρων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους αντί του να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές πηγές παραγωγής ηλεκτρισμού και μέσα σε αυτές η γεωθερμία, συνήθως προτιμάται διότι δεν μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο πιο συνηθισμένος αλλά και τεχνικοοικονομικά συμφέρον τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας είναι η χρήση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας, που παρέχεται από τα αντίστοιχα πεδία, χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκμετάλλευση άρχισε από γεωθερμικά πεδία που παράγουν ξηρό ατμό. Η πρώτη μονάδα λειτούργησε στο Larderello, όπως αναφέρθηκε, το 1913 και είχε ισχύ 250 KW. Σήμερα η εκμετάλλευση έχει επεκταθεί και σε πεδία, τα οποία παράγουν θερμό νερό, ενώ η συνολική εγκαταστημένη ισχύς έχει ξεπεράσει τα 8000 MW. Στην Ελλάδα υπάρχουν γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, που συνδέονται με

το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου. Πιο γνωστό είναι το πεδίο της Μήλου, όπου έγινε προσπάθεια για κατασκευή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς όμως να ολοκληρωθεί. Εξ ίσου αξιόλογο είναι και το γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου.



Εικόνα 3.1: Πηγή με ζεστό νερό υπό πίεση Πηγή: www.google.gr/imgres

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται είναι ανάλογες και με τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής. Οι περισσότερες από τις πηγές που έχουν ήδη εξερευνηθεί είναι υδροθερμικού τύπου (ζεστό νερό υπό πίεση), η εκμετάλλευση των οποίων γίνεται με 2 τρόπους. Ο πρώτος τρόπος εξαρτάται από το αν η θερμοκρασία της πηγής είναι χαμηλότερη των 204 °C. Όταν συμβαίνει αυτό, τότε το γεωθερμικό φρέαρ εξοπλίζεται με αντλία που δημιουργεί τέτοια πίεση στη γεωθερμική άλμη ώστε να διατηρείται το ζεστό νερό υπό πίεση.

Ο δεύτερος τρόπος, δηλαδή για τις πηγές άνω των 204 °C, για τον οποίο η καταλληλότερη μέθοδος παραγωγής είναι η φυσική ροή από το φρέαρ, η οποία αποφέρει ένα ακαριαία ατμοποιούμενο μίγμα άλμης και ατμού. Ο τύπος μετατροπής της γεωθερμίας που χρησιμοποιείται, εξαρτάται από την κατάσταση του ρευστού (είτε είναι ατμός είτε νερό), τη θερμοκρασία του, την πίεση και την παροχή. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι τρεις (Brower, 1997).

3.3.1. Ξηρού ατμού

Στην τεχνολογία αυτή, ο ατμός στροβιλίζεται, και μέσω αυτού τίθεται σε λειτουργία μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας το 1904 και συνεχίζει να είναι πολύ αποτελεσματικός. Η τεχνολογία που βασίζεται στον ατμό χρησιμοποιείται στις μέρες μας

σε γκέυζερ στη βόρεια Καλιφόρνια, όπου εξακολουθεί να υπάρχει το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο (Huttrer, 2001).

3.3.2. Στρόβιλοι υγρού ατμού

Για τη μετατροπή του γεωθερμικού ρευστού σε διφασικό μίγμα υπάρχουν δύο τρόποι. Ο ένας είναι να εισέλθει ως διφασική ροή από τη γεώτρηση και ο άλλος είναι να εκτονωθεί σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης. Στη συνέχεια το μίγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού είναι οι κατάλληλες, τότε έχει ως αποτέλεσμα το υγρό να μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά ή και περισσότερες, ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, ο οποίος στη συνέχεια θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας. Τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Imperial Valley, στην Καλιφόρνια (Huttrer, 2001).

3.3.3. Δυναμικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό

Σε αυτό το είδος τεχνολογίας, το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό & αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO₂ κ.λπ.) του οποίου το σημείο ζέσεως, είναι μικρότερο από το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στο στρόβιλο και εν συνεχεία στο συμπυκνωτή. Τέλος το ρευστό συμπιέζεται από το συμπυκνωτή και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου. Μία τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Soda Lake, στη Νεβάδα (Marshall&Braitwaite, 1973).

3.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, είναι άλλη μια παγκοσμίως γνωστή και σημαντική χρήση της γεωθερμίας, σε θερμοκρασίες ταμειωτήρων συνήθως μικρότερες των 100 °C. Στη γεωθερμία, ο άμεσος τρόπος χρησιμοποιείται για θέρμανση κτιρίων (ανεξάρτητες κατοικίες, συγκροτήματα διαμερισμάτων, μέχρι και ολόκληρες κοινότητες), ψύξη κτιρίων (με χρήση μονάδων απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου), θέρμανση θερμοκηπίων και καλλιεργήσιμων εκτάσεων, αλλά και για την παροχή ζεστού ή χλιαρού νερού για οικιακή χρήση, επεξεργασία προϊόντων (π.χ. την παραγωγή χαρτιού), καλλιέργεια οστρακοειδών και ψαριών, θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών και θεραπευτικούς σκοπούς (ιαματικά λουτρά, spa), και για θερμικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση προϊόντων) (Rylen, 1980).

Στις περιοχές της Γης με κανονική θερμοβαθμίδα, δηλαδή στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, η θερμοκρασία σε βάθος 2000 m φθάνει τους 80 °C. Επομένως όλοι οι υδροφορείς που

υπάρχουν σ' αυτό το βάθος, αποτελούν γεωθερμικές πηγές χαμηλής ενθαλπίας. Για την εκμετάλλευσή τους απαιτούνται γεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Γι' αυτό το κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι σχετικά μεγάλο.

Πάντως σε ορισμένες χώρες γίνεται εκτεταμένη εκμετάλλευση των πηγών αυτών. Ενεργειακές πηγές πολύ χαμηλής ενθαλπίας αποτελούν οι υδροφορείς που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Σε κλιματικές συνθήκες όμοιες με τις ελληνικές, η θερμοκρασία σε βάθος 30-50 m κυμαίνεται από 12 °C ως 15 °C. Επομένως το νερό των υδροφορέων αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, με τη βοήθεια αντλίας θερμότητας. Η απόδοση των πηγών αυτών βελτιώνεται, αν το καλοκαίρι διοχετεύεται στον υδροφορέα νερό, που έχει θερμανθεί με ηλιακούς συλλέκτες (ηλιογεωθερμία).

Ο συνδυασμός αυτός παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τη χώρα μας. Κριτήρια αξίας των γεωθερμικών πηγών χαμηλής ενθαλπίας είναι το ποσό θερμίδων που παρέχουν και η θερμοκρασία του παρεχομένου νερού. Για τον λόγο αυτό η ενέργεια που παράγεται από τις πηγές αυτές, μετρείται με βάση την ποσότητα πετρελαίου που υποκαθιστούν στη θέρμανση κάποιου χώρου (ή σε άλλη χρήση). Η μονάδα μέτρησης ονομάζεται TEP (Tonne Equivalent Petrole = ισοδύναμο τόνου πετρελαίου).

Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Με τις σημερινές γνώσεις μας από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και από άλλες ενδείξεις στα γεωθερμικά πεδία, εκτιμάται ότι το βεβαιωμένο συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας (με βάση την απόρριψη των νερών σε θερμοκρασίες περίπου 25 °C) ανέρχεται σε 700-800 MWth, περίπου.

3.5. ΑΜΕΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης χώρων δεν έχουν σημαντικές διαφορές από τις συσκευές που χρησιμοποιούνται και σε άλλα συστήματα θέρμανσης, όπως αυτά με φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Συνήθως όμως, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών στα γεωθερμικά νερά, οι τελικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, λειτουργούν επίσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. μικρότερη από 60 °C) ή επειδή απαιτείται η χρήση εναλλάκτη θερμότητας.

Η θέρμανση των χώρων στα κτήρια γίνεται με την είσοδο του γεωθερμικού νερού (ή του νερού λειτουργίας που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσα από τους εναλλάκτες θερμότητας αέρα-υγρού, κάτι που συμβαίνει και με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι τέτοιων εναλλακτών, κυριότεροι εκ των οποίων είναι α) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ροή αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή), β) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με φυσική συναγωγή, γ) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ακτινοβολία (σωλήνες τοποθετημένοι στο πάτωμα, σε τοίχους ή στην οροφή).

Οι εναλλάκτες εξαναγκασμένης ροής αέρα (αερόθερμα) αποτελούνται ουσιαστικά από σειρές χάλκινων αγωγών μικρής διαμέτρου, συνδεδεμένων μεταξύ τους με αγωγούς σχήματος U, μέσα από τους οποίους διέρχεται το γεωθερμικό νερό ή το νερό λειτουργίας. Στους χάλκινους αγωγούς βρίσκονται προσκολλημένα φύλλα αλουμινίου, σε απόσταση περίπου 3mm το ένα από το άλλο. Ο αέρας που πρόκειται να θερμανθεί με τη διέλευσή του ανάμεσα από τα φύλλα αλουμινίου, μπορεί να προέλθει είτε από μια κεντρική μονάδα και σύστημα αγωγών διανομής του αέρα (στα μεγάλα κτήρια), είτε από μεμονωμένο ανεμιστήρα είτε από συμπιεστή. Μια μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στο αερόθερμα είναι 2m/s. Τα αερόθερμα ενδείκνυται για θερμοκρασίες νερών από 35 °C μέχρι 60 °C.

Τα κοινά θερμαντικά σώματα απαιτούν θερμοκρασία νερού τουλάχιστον 65 °C και γι' αυτό το λόγο, δεν προσφέρονται για γεωθερμική θέρμανση. Αντίθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν αγωγοί με πτερύγια, οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο και απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες νερού από ότι τα αερόθερμα. Έχουν όμως το πλεονέκτημα να μην απαιτούν κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση με ακτινοβολία είναι κατάλληλη για χώρους που βρίσκονται σε περιοχές με αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα για βιομηχανικά πατώματα, τα οποία δεν έχουν ιδιαίτερη κάλυψη. Στην τελευταία περίπτωση και για όχι ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν νερά ακόμη και στους 35 °C.

Στις πιο πολλές περιπτώσεις εγκαταστάσεων θέρμανσης χώρων με γεωθερμία, απαιτείται εγκατάσταση που θα ικανοποιεί τις αυξημένες ανάγκες αιχμής για κάποιο χρονικό διάστημα (π.χ. δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού ή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού λειτουργίας με χρήση συμβατικών καυσίμων) και σύστημα ελέγχου.

Στη θέρμανση χώρων με γεωθερμία περιλαμβάνεται και η θέρμανση θερμού νερού, πισινών ή κολυμβητηρίων, άμεσα ή έμμεσα με γεωθερμικό νερό. Η θέρμανση του νερού είναι προτιμότερο να γίνεται σε ένα δεύτερο εναλλάκτη, που θα εκμεταλλεύεται την έξοδο του γεωθερμικού νερού από τον εναλλάκτη θέρμανσης χώρων (Lund&Freeston, 2001).

3.6. ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων βρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες του εξωτερικού, όπως και στη χώρα μας. Η τηλεθέρμανση είναι ένας τρόπος θέρμανσης ιδιαίτερα συμφέρων για τον καταναλωτή, καθώς οι εγκαταστάσεις που χρειάζονται για την παραγωγή της θερμικής ενέργειας είναι χαμηλού κόστους, όπως επίσης η συντήρησή τους αλλά πιο βασικά η κυρίως λειτουργία.

Οι θερμικές απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες στις οποίες βρίσκεται ο συγκεκριμένος χώρος, όπως επίσης και από τις θερμοκρασίες σχεδιασμού για την εκάστοτε χρήση (κατοικίες 18-20 °C, γραφεία 17-18 °C κ.λπ.). Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον 65 °C. Το ποσοστό

του κόστους που θα πρέπει να αντιστοιχεί η γεωθερμική ενέργεια με σύστημα τηλεθέρμανσης, με το κόστος του πετρελαίου θα πρέπει να είναι 50-60%, για να συμφέρει οικονομικά στον καταναλωτή.

Για την κατασκευή ενός συστήματος τηλεθέρμανσης χρειάζεται μεγάλο αρχικό κεφάλαιο. Το κύριο κόστος αφορά την αρχική επένδυση η οποία έχει να κάνει με την κατασκευή των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, την αγορά των συστημάτων άντλησης και μεταφοράς των ρευστών, την κατασκευή των δικτύων και των σωληνώσεων, την προμήθεια του εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης των εγκαταστάσεων, την κατασκευή των σταθμών διανομής και των δεξαμενών αποθήκευσης. Ωστόσο, τα λειτουργικά έξοδα τα οποία έχουν να κάνουν με την ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση των ρευστών, τη συντήρηση του συστήματος και τη διαχείριση της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας. Ένας σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους του συστήματος είναι η πυκνότητα του θερμικού φορτίου ή αλλιώς οι θερμικές απαιτήσεις δια την επιφάνεια που καλύπτει η περιοχή που πρόκειται να θερμανθεί.

Η υψηλή θερμική πυκνότητα καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα του έργου τηλεθέρμανσης, αφού το δίκτυο διανομής απορροφά μεγάλα κεφάλαια. Οικονομικά οφέλη θα μπορούσαν να προκύψουν από το συνδυασμό θέρμανσης και ψύξης σε μέρη όπου οι κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν τέτοιες εφαρμογές. Ο συντελεστής φορτίου σε ένα τέτοιο σύστημα ψύξης-θέρμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί μόνο στη θέρμανση, και η τιμή της ενεργειακής μονάδας πρέπει να είναι κατά συνέπεια χαμηλότερη (White, 1973).

3.7. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας στις καλλιέργειες συμβάλλει στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών, ενώ επιτρέπει την καλλιέργεια φυτών και την παραγωγή αγροτικών προϊόντων «εκτός εποχής», καθώς και ορθολογικό προγραμματισμό της παραγωγής.

Τα βασικά στοιχεία ενός θερμοκηπίου είναι ο σκελετός (μεταλλικός επιψευδαργυρωμένος, αλουμινένιος ή ακόμα και ξύλινος), το υλικό κάλυψης (γυαλί, πλαστικό-PE, fiberglass, διπλό με χώρο αέρα ανάμεσα κτλ.), το σύστημα δροσισμού, η κουρτίνα σκίασης, το σύστημα άρδευσης και αυτό που ενδιαφέρει την γεωθερμία, το σύστημα θέρμανσης. Οι κλιματολογικές συνθήκες, τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων αλλά και το είδος της καλλιέργειας, ορίζουν και τη χρήση αλλά και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Επειδή η ενέργεια που απαιτείται είναι μεγάλη, η γεωθερμία αποτελεί μια πολύ καλή λύση για αγροτικές εφαρμογές, λόγω και του μικρού κόστους της. Τα γεωθερμικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια, πρέπει να ξεπερνούν τους 30 °C.

Μια πολύ κοινή περίπτωση για τα ελληνικά δεδομένα, είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο, γεωθερμικά ρευστά 40-55 °C. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται 150.000 kcal/h το στρέμμα για μια περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο 1250 ωρών, διατηρώντας μια εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον 14 °C. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων ισοδύναμου πετρελαίου το στρέμμα ή περίπου 7000€/έτος το στρέμμα.

Ένα θερμοκήπιο μπορεί να θερμανθεί με 5 τρόπους:

- Με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20cm).
- Με εναλλάκτη αέρα-γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο).
- Με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου.
- Με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγωτική προστασία).
- Με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων (www.eere.energy.gov).

3.8. ΓΕΩΡΓΙΑ – ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας στην γεωργία και την κτηνοτροφία, γίνεται συνήθως σε ανοικτές καλλιέργειες. Το θερμό νερό χρησιμοποιείται στις καλλιέργειες αυτές για την άρδυσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό εντοπίζεται στο γεγονός ότι, για να επιτευχθεί κάποια αξιόλογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Η βέλτιστη λύση φαίνεται ότι είναι ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης.

Τα γεωθερμικά νερά καθώς και η χημική τους σύσταση, θα πρέπει να εξετάζονται και να παρακολουθούνται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά.

Ένας τρόπος που θα μπορούσε να αποδειχτεί πιο συμφέρων οικονομικά, από την εκμετάλλευση των γεωθερμικών νερών είναι, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε κτηνοτροφικές μονάδες και γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για την θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας έκτασης, οπότε η κλιμακωτή χρήση των γεωθερμικών ρευστών θεωρείται ενδεδειγμένη. Η εκτροφή ζώων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας συνεισφέρει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ η χρήση των θερμών ρευστών θα μπορούσε να επεκταθεί στον καθορισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους (www.egec.net).

3.9. ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ – ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Η ανάπτυξη των περισσότερων ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες κ.ά.), των θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδες) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες) είναι πολύ μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες νερού 20-30 °C. Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει και ήδη το κάνει, με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες συγκεκριμένων ειδών. Οι τρόποι θέρμανσης είναι είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού χρειάζεται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (δηλ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κ.ά.).

Οι απώλειες θερμότητας μιας δεξαμενής υδατοκαλλιέργειας που δεν είναι καλυμμένη και βρίσκεται εκτεθειμένη στο περιβάλλον, οφείλονται στους παρακάτω λόγους: α) εξάτμιση από την ανοικτή επιφάνεια, β) συναγωγή, γ) ακτινοβολία και δ) αγωγή. Η εξάτμιση είναι η κύρια αιτία απώλειας θερμοκρασίας και συμβαίνει ακόμα κι όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού. Οι μόνες λύσεις για τη μείωση των θερμικών απωλειών είναι ο εγκλεισμός της δεξαμενής με κατασκευή παρόμοια των θερμοκηπίων ή τη κάλυψη της επιφάνειας με πλαστικό φύλλο. Βέβαια, τις πιο πολλές φορές οι λύσεις αυτές δεν είναι και πρακτικές.

Στην κατηγορία των υδατοκαλλιεργειών υπάρχει και η ανάπτυξη ορισμένων φυκιών με εμπορική αξία, όπως η σπιρουλίνα. Σε αυτή τη περίπτωση αξιοποιείται και το διοξείδιο του άνθρακα, που συνήθως περιέχεται στα οξυανθρακούχα γεωθερμικά νερά (www.geoheat.oit.edu).

3.10. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η βιομηχανία είναι ένας τομέας όπου η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να φανεί χρήσιμη και από οικονομικής πλευράς όπως εξίσου και από πλευράς απόδοσης. Συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η λεύκανση λαχανικών, η προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, η εμφιάλωση του νερού και των ανθρακούχων ποτών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η παραγωγή χαρτιού κ.ά. Επίσης, άλλες εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας είναι για το λιώσιμο πάγου και αντιπαγωτική προστασία πεζοδρομίων, ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια.

Στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ρευστών σε διαδικασίες προθέρμανσης ή η ανύψωση της θερμοκρασίας τους με τη χρήση αντλιών θερμότητας ή με συμπληρωματική θέρμανση (με συμβατικά καύσιμα). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση των

γεωθερμικών ρευστών από υφιστάμενη βιομηχανική μονάδα είναι η γειννίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο (www.geothermal.org).

3.11. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΠΙΣΙΝΩΝ – ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Μια από τις πιο γνωστές χρήσεις της γεωθερμίας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισίνων και οι ιατρικές εφαρμογές. Σήμερα, υπάρχει μια πληθώρα από «κλουτρά» και πολλά και στην Ελλάδα, τα οποία χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπευτικούς λόγους είτε για αναζωογόνηση. Όσον αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύστασή τους (μεταλλικά στοιχεία, θερμοκρασία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία. Σε ότι έχει να κάνει με εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, κύριος στόχος των οποίων είναι η ξεκούραση και η ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού. Στην Ελλάδα η εφαρμογή αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη, με λουτροθεραπευτικά κέντρα σε όλη τη χώρα, με πιο γνωστά αυτά των Θερμοπυλών και της Αιδηψού (White, 1965).

3.12. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το πρόβλημα της επάρκειας γλυκού νερού είναι αρκετά έντονο σε πολλές περιοχές του κόσμου, όπως και της Ελλάδας. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Με απευθείας συμπίκνωση γεωθερμικού ατμού. Μπορεί να εφαρμοσθεί στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και της Νισύρου.
- Με εξάτμιση θαλασσινού νερού σε συνθήκες μερικού κενού.
- Με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη γεωθερμία.

Οι βασικές τεχνικές για τη θερμική αφαλάτωση του νερού είναι δύο. Η πρώτη και παλαιότερη μέθοδος είναι η πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση (MSF) και η δεύτερη μέθοδος είναι η απόσταξη πολλαπλού φαινομένου (MED). Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60 °C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50 °C. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75 °C και παροχής 100m³/h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600m³/h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 1600€ και κόστος αφαλάτωσης νερού περί το 1€/m³. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής

ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους της αφαλάτωσης με πετρέλαιο (DiPirro, 2002).

3.13. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία λέγεται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25 °C. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει αβαθής θερμότητα του υπεδάφους, η οποία είναι μια περιβαλλοντική ενέργεια και μάλιστα μέρος αυτής, κυρίως στα βάθη των 0-30m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης. Στα βάθη 0-15m το ποσοστό της θερμότητας ηλιακής προέλευσης γίνεται εμφανές, αυξανόμενο καθώς μικραίνει η απόσταση από την εδαφική επιφάνεια και καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Η περιβαλλοντική θερμική ενέργεια αξιοποιείται με τις αντλίες θερμότητας, οι οποίες αποτελούν σήμερα σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού των ρυπογόνων καυσίμων.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας είτε τα αβαθή υπόγεια νερά, είτε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους. Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές, εποχιακές και ημερήσιες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης (Dickson&Fanelli, 1995).

3.13.1. Το Νερό στην Αβαθή Γεωθερμία

Το νερό αποτελεί μια ικανοποιητική και σε πολλές περιπτώσεις ιδανική πηγή θερμότητας. Το νερό του δικτύου της πόλης σπάνια χρησιμοποιείται γιατί κοστίζει πολύ και υπάρχουν νομικοί περιορισμοί για τη χρήση του σε τέτοιες εφαρμογές. Το επιφανειακό σε ποτάμια ή λίμνες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά η θερμοκρασία του πέφτει αισθητά το χειμώνα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται δυσμενώς η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και το νερό της θάλασσας ιδιαίτερα σε παραθαλάσσια ξενοδοχεία. Τα υπόγεια νερά είναι μια ελκυστική πηγή θερμότητας διότι έχουν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία (10-20 °C), η οποία είναι αρκετά υψηλή για την λειτουργία των Α.Θ. Συχνά υπάρχουν υπόγεια νερά σε επαρκείς ποσότητες, τα οποία αφού χρησιμοποιηθούν διοχετεύονται πάλι στον υδροφόρο ορίζοντα και έτσι το κόστος είναι μηδενικό και αλλάζει μόνο η θερμοκρασία του. Στην περίπτωση των υπόγειων νερών σαν πηγή θερμότητας, σημαντικά είναι τα παρακάτω σημεία:

Η θερμοκρασία του νερού της πηγής να έχει ικανοποιητική και σταθερή θερμοκρασία. Το νερό να βρίσκεται σε εκμεταλλεύσιμο βάθος και να είναι γνωστή η παροχή και η διεύθυνση της ροής του. Η παροχή του νερού να διατηρείται σταθερή. Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε το νερό να μη μολύνεται από διαρροές λαδιού ή ψυκτικού μέσου. Το νερό να είναι χημικά κατάλληλο και να δίνεται προσοχή στην πιθανή διάβρωση του εναλλάκτη της Α.Θ. Στις εφαρμογές όπου αξιοποιούνται τα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα της γης (λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, γεώτρηση ή και η ίδια η θάλασσα) ως πηγή θερμότητας, χρησιμοποιείται ειδικός τύπος σωληνώσεων που ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης ανοικτού κυκλώματος (Φυτίκας, 1991).

Στην αβαθή γεωθερμία μια πλήρης εγκατάσταση αποτελείται κυρίως από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ), το γεωθερμικό εναλλάκτη (γεωεναλλάκτης) του οποίου υπάρχουν 2 είδη: 1) κλειστού κυκλώματος (κάθετο, οριζόντιο) 2) ανοικτού κυκλώματος (γεωτρήσεις, πηγάδια, λίμνες, ποτάμια, θάλασσα) και το σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου.

3.13.2. Έδαφος

Για την εκμετάλλευση της ενέργειας των πετρωμάτων του υπεδάφους, χρησιμοποιείται η τεχνική του θαψίματος δικτύου σωληνώσεων σε σχετικά μικρό βάθος. Η τεχνική αυτή άρχισε να εφαρμόζεται τη δεκαετία του '40 σε περιορισμένη όμως κλίμακα. Από τότε μέχρι και σήμερα η πρόοδος που έχει γίνει στον τομέα αυτό, της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας του εδάφους, είναι αλματώδης. Σε αυτή την εξέλιξη συνέβαλε καθοριστικά τόσο η χρήση ανθεκτικότερων υλικών στο δίκτυο σωληνώσεων όσο και η χρήση νέου τύπου αντλιών θερμότητας, με αποτέλεσμα σήμερα τα συστήματα γεωεναλλακτών- αντλιών θερμότητας να αποτελούν ένα από τα πιο αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Η σύνθεση του χώματος, η οποία αλλάζει από περιοχή σε περιοχή (υγρός άργιλος, άμμος, βραχώδες έδαφος κ.τ.λ.) επιδρά καθοριστικά στις θερμικές του ιδιότητες και επομένως και στο βαθμό απόδοσης των Α.Θ. Το σημαντικότερο μέγεθος είναι η θερμική διαχυτότητα, που όμως είναι δύσκολο να υπολογιστεί χωρίς επαρκείς δεδομένα για τη ποιότητα του χώματος. Η θερμική διαχυτότητα είναι ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς το γινόμενο της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από το περιεχόμενό του σε υγρασία. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων χωμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος 2 έως 3 μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή σε όλη τη διάρκεια του έτους (10-18 °C), κάτι που δε συμβαίνει φυσικά με τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Συνήθως οι σωληνώσεις στο έδαφος είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας.

Στο κύκλωμα των σωληνώσεων αυτών, κυκλοφορεί νερό (ή αντιπηκτικό διάλυμα για την αποφυγή δημιουργίας πάγου σε ψυχρά κλίματα) το οποίο όμως δεν αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα του υπεδάφους αλλά διοχετεύεται από το ειδικό σύστημα παροχής που

εγκαθίσταται από ηλεκτρολόγο-μηχανολόγο μηχανικό και αποκτά σταδιακά την θερμοκρασία του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο σωληνώσεων ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. Όπου εφαρμόζονται τέτοιοι εναλλάκτες χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας. Το βασικό πλεονέκτημα του κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή (www.igshpa.okstate.edu).

3.14. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

3.14.1. Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια έχει χρόνο ζωής και αξιοποιείται πλέον για πάνω από τρεις δεκαετίες. Αυτό συμβαίνει διότι διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας και άλλων ΑΠΕ. Πιο ειδικά:

- Αποτελεί ένα τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα με άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μια αξιόπιστη και ασφαλείς ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

Επιπλέον η νεώτερη γενιά των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπει μόνο 136gr CO₂/kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο, έναντι των 453gr CO₂/kWh μιας μονάδας με καύσιμο φυσικό αέριο ή των 1042gr/kWh CO₂ από ένα θερμικό σταθμό άνθρακα. Αυτή τη στιγμή, οι ΑΠΕ με το μέγιστο δυναμικό και τις χαμηλότερες εκπομπές στην Ευρώπη, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, είναι η υδραυλική και η γεωθερμική ενέργεια. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να παράγεται η ονομαστική ενέργεια, εξαρτάται από τη φύση της πηγής και κατά δεύτερο λόγο από τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού (Boyle, 1998).

3.14.2. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια καθαρή μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα όταν συγκρίνεται με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, με πολύ μικρές έως και μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της. Ακόμη και όταν υπάρχουν κάποιες περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές μπορούν πάντοτε να αντιμετωπισθούν με τη χρήση της τεχνολογίας. Τα κύρια πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας είναι:

- Διαθέσιμη μέρα και νύχτα όλο το χρόνο και δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες.
- Προσφέρεται έτοιμη σαν θερμικό προϊόν. Δεν μπορεί να μεταφερθεί μακριά, άρα θα πρέπει να αξιοποιηθεί επί τόπου από τις παραγωγικές δυνάμεις.
- Αναπτύσσεται σε πεδινές περιοχές με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγροτοβιομηχανία, ιχθυοκαλλιέργεια, αστικές και βιομηχανικές χρήσεις κλπ.
- Μπορεί να συμβάλει στην αγροτουριστική και οικοτουριστική ανάπτυξη.
- Λόγω της αυξημένης θερμικής ροής της περιοχής μπορεί να γίνει χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Πιο συγκεκριμένα τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Συνεχόμενη παροχή ενέργειας με υψηλό συντελεστή λειτουργίας >90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος εγκατάστασης είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- Δεν παράγει επικίνδυνα αέρια καύσης αλλά ούτε και σωματίδια, ούτε τέφρα, ούτε καπνό.
- Υπάρχει μικρή απαίτηση γης για την αξιοποίηση της (εγκατάσταση μονάδας, χώρος γεωτρήσεων, σωληνώσεις μεταφοράς κτλ) συγκριτικά με αυτή που απαιτείται από ατμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς κτλ.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε και του πρωτόκολλου του Κιότο.
- Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μας χώρας, με τον περιορισμό εισαγωγών ορυκτών καυσίμων (Σελλούντος, 1996).

Φυσικά σε όλα τα πράγματα, εκτός από τα θετικά δε μπορεί παρά να υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Έτσι και στην γεωθερμία, όπου για να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη, τα προβλήματα αυτά θα πρέπει να λυθούν σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα προβλήματα αυτά, που σχετίζονται άμεσα με τη ιδιάζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών, είναι:

- Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.
- Διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.
- Ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους και εκπομπές τοξικών αερίων κυρίως του υδρόθειου.

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωργικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων. Μερικοί τρόποι και τυπικές πρακτικές είναι οι εξής:

- Ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της.
- Η ρύθμιση του pH του ρευστού.
- Η προσθήκη χημικών ουσιών (αναστολέων δημιουργίας επικαθίσεων).
- Η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.

Οι δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες επικεντρώνονται στα εξής:

- Επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής.
- Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα.
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης.
- Σωστός σχεδιασμός της μονάδας.

Αν και η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ήπια μορφή ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, υπάρχουν όμως και κάποιες επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της οι οποίες συχνά δεν είναι αμελητέες. Τα προβλήματα από τη διάθεση των ρευστών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις (ρευστά μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) είναι κατά κανόνα ηπιότερα, σχεδόν μηδενικά, από τα ρευστά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ρευστά υψηλής ενθαλπίας). Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, οι επιπτώσεις είναι ελάχιστες (www.iga.igg.cnr.it).

3.14.3. Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης

Στα κυριότερα προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται οι αποθέσεις μετάλλων, οι μεταβολές στις υδρολογικές συνθήκες και η διάβρωση του εξοπλισμού. Προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν κατά τον χειρισμό των γεωθερμικών αποβλήτων, τόσο του νερού όσο και του ατμού.

3.14.3.1. Αποθέσεις μετάλλων

Σε κάποια πεδία όπου το νερό είναι το στοιχείο που επικρατεί μπορούν να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το καυτό γεωθερμικό ρευστό. Για παράδειγμα, η απόθεση πυριτίου στα φρέατα, προκάλεσε προβλήματα στο πεδίο του Salton Sea (Καλιφόρνια). Συχνότερα, μπορεί να περιοριστεί η ανάπτυξη ενός πεδίου από το σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου στα φρέατά της ή στα πετρώματα της περιοχής, όπως για παράδειγμα συνέβη στη Τουρκία και στις Φιλιππίνες. Το τελευταίο καιρό, πεδία με ζεστά νερά και υψηλά ολικά ανθρακικά άλατα αντιμετωπίζονται με καχυποψία. Με την απόρριψη των

θερμών υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια, η απόθεση πυριτίου στους αγωγούς και τους διαύλους του νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα (www.iea.org).

3.14.3.2. Υδρολογικές αλλαγές

Με την μεγάλη σε έκταση παραγωγή από φρέατα αλλάζουν οι τοπικές υδρολογικές συνθήκες. Η ελάττωση της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκαλέσει βρασμό στο νερό των πετρωμάτων (κάτι που οδηγεί σε μεταβολές των χαρακτηριστικών του ρευστού της γεώτρησης), τη διείσδυση του κρύου νερού από τις παρυφές του πεδίου, ή μεταβολές στη χημεία του νερού λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των αερίων. Με την συνεχή άντληση ζεστού νερού από πετρώματα μικρής αντοχής μπορεί να συμβεί τοπική γαϊόχωση (μέχρι μερικά μέτρα) και να μειωθεί σε ένταση η αρχική φυσική θερμική δραστηριότητα. Μερικές μεταβολές προκύπτουν σε όλους τους τομείς και απαιτείται η καλή κατανόηση της γεωλογίας και της υδρολογίας ενός συστήματος προκειμένου να μπορέσει να συνδυαστεί ο ρυθμός άντλησης της γεώτρησης με τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα αυτής να παρέχει ρευστό (www.iea.org).

3.14.3.3. Διάβρωση

Τα γεωθερμικά νερά προκαλούν την ταχεία διάβρωση των περισσότερων κραμάτων μετάλλων, αλλά αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα κατά τη χρήση τους εκτός από τις περιοχές όπου αντλούνται υψηλής θερμοκρασίας όξινα ύδατα (πολύ σπάνια), για παράδειγμα σε ενεργές ηφαιστειακές ζώνες. Το σύνηθες βαθύ γεωθερμικό νερό έχει σχεδόν ουδέτερο pH. Οι κυριότερες επιπτώσεις διάβρωσης μετάλλων που πρέπει να αποφεύγονται είναι η διάβρωση με στίγματα σουλφιδίου και χλωριδίου ορισμένων ανοξειδωτών και υψηλής αντοχής χαλύβων και η ταχεία διάβρωση των κραμάτων χαλκού. Το υδρόθειο, ή τα προϊόντα οξειδωσής του, προκαλεί επίσης την πιο ταχεία από την κανονική υποβάθμιση των οικοδομικών υλικών, π.χ. του σκυροδέματος, των πλαστικών και των βαφών (www.nrel.gov).

3.14.3.4. Ρύπανση

Από γεωτρήσεις οι οποίες δεν είναι ηχομονωμένες μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120dB), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να ψεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και τα κτίρια. Με την εφαρμογή ορθών πρακτικών μπορούν να μειωθούν οι επιδράσεις αυτές σε αποδεκτά επίπεδα. Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος, λόγω της χαμηλότερης αποδοτικότητάς τους, εκπέμπουν περισσότερους υδρατμούς ανά μονάδα ισχύος από τους σταθμούς με ορυκτά καύσιμα. Ο ατμός από τους σιγαστήρες των κεφαλών των φρεάτων και τους πύργους ψύξης των σταθμών μπορεί να προκαλέσει τοπικά μια αυξημένη τάση για σχηματισμό ομίχλης και χειμερινού πάγου.

Τα απόβλητα γεωθερμικά νερά που ελευθερώνονται σε υδάτινους διαύλους μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα θερμικής ρύπανσης, εκτός εάν αραιώνονται κατά 100: 1 τουλάχιστον. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να έχουν τέσσερα

κύρια ρεύματα αποβλήτων. Μεγάλοι όγκοι απορριπτόμενου ζεστού αλατούχου νερού παράγονται στα υδροθερμικά πεδία. Μη καθαρός υδρατμός αναδύεται από τους πύργους ψύξης των σταθμών, οι οποίοι παράγουν επίσης μια ροή συμπυκνώματος που περιέχει ποικίλες συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων, ανθρακικών αλάτων και βορίου. Απόβλητα αέρια διαφεύγουν από τις εξόδους απαερίωσης των αντλιών.

Οι γεωθερμικοί ατμοί ποικίλουν ευρέως ως προς τα περιεχόμενα αέρια, τα οποία είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και αμμωνία. Η απαγωγή του υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις εάν δεν διασκορπίζεται επαρκώς, και σε ένα μεγάλο γεωθερμικό σταθμό κοντά σε κοινότητες με χαμηλή ανοχή στις οσμές χρειάζεται μια μονάδα παγίδευσης του θείου. Οι επιπτώσεις από την διασπορά των σουλφιδίων στα δέντρα και τα φυτά φαίνεται να είναι μικρή. Η χαμηλή συγκέντρωση ραδονίου στον ατμό, όταν διασκορπίζεται είναι απίθανο να έχει επιπτώσεις στην υγεία (www.jxj.com).

Ο υδράργυρος των γεωθερμικών ρευστών τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά οι δημιουργημένες συγκεντρώσεις δεν είναι επικίνδυνες. Η σύσταση των γεωθερμικών νερών ποικίλλει ευρέως. Στις πρόσφατες ηφαιστειακές περιοχές αυτά είναι συνήθως αραιά (<0,5%) αλατούχα διαλύματα, αλλά τα νερά στις ιζηματογενείς λεκάνες ή τις ενεργές ηφαιστειακές περιοχές έχουν ιδιαίτερα μεγάλη συγκέντρωση σε άλμες. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά, τα περισσότερα γεωθερμικά νερά περιέχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις βορίου, φθοριδίων, αμμωνίας, πυριτίου και αρσενικού.

Στα συνήθη αραιά γεωθερμικά νερά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, π.χ. σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, ψευδαργύρου και καδμίου, σπάνια υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα για το πόσιμο νερό όρια. Πάντως, οι συμπυκνωμένες άλμες μπορεί να περιέχουν ικανά επίπεδα βαρέων μετάλλων. Λόγω της σύνθεσής τους, τα απόβλητα γεωθερμικά νερά ή συμπυκνώματα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις παροχές πόσιμου ή αρδευτικού νερού και την υδρόβια ζωή. Η αμμωνία μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη των φυκιών στους υδάτινους διαύλους και να ευνοήσει τον ευτροφισμό τους, ενώ η εισχώρηση του βορίου στα αρδευτικά ύδατα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ευαίσθητα φυτά, όπως τα εσπεριδοειδή. Μικρές ποσότητες ιζήματος μεταλλικού σουλφιδίου, που περιέχουν αρσενικό, αντιμόνιο και υδράργυρο, μπορεί να συσσωρευτούν στα ιζήματα των ρυακιών και να προκαλέσουν ανεπιθύμητα υψηλές (πάνω από 0,5 ppm) συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια (www.geo-energy.org).

3.14.3.5. Επανέγχυση

Το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανέγχυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στα έγκατα μέσω φρεάτων απόρριψης. Η επανέγχυση του συμπυκνώματος ατμού εμφανίζει λίγα προβλήματα και εφαρμόζεται στην Ιταλία και τις ΗΠΑ. Σε πολύ μεγάλους όγκους διαχωριζόμενου απόβλητου ζεστού νερού (περίπου 50 μετρικοί τόνοι ανά MW) και πεδία υπερίσχυσης νερού, τα πράγματα είναι πιο δύσκολα στην επανέγχυση.

Η απόθεση πυριτίου και ανθρακικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει αποφράξεις στις σχισμές των πετρωμάτων, εάν δεν ικανοποιούνται οι κατάλληλες θερμοκρασιακές, χημικές και υδρολογικές συνθήκες στο βάθος απόρριψης. Μερικές φορές πριν την επανέγχυση μπορεί να χρειάζεται η χημική επεξεργασία της άλμης. Η επιλεκτική επανέγχυση του νερού στο θερμικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των πιέσεων του υδροφόρου ορίζοντα και στην απόληψη περισσότερης θερμότητας από το πέτρωμα. Ένα επιτυχές σύστημα επανέγχυσης νερού λειτουργεί για αρκετά χρόνια στο Ελ Σαλβαδόρ (Brower, 1997).

3.15. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Γ.Α.Θ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες το 24ωρο, 365 μέρες το χρόνο. Οι ΓΑΘ αξιοποιούν τις ιδιότητες θερμοεναλλαγής του νερού και την ήπια θερμοκρασία του εδάφους, η οποία παραμένει σταθερή σχεδόν όλο το χρόνο – ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες – και παρέχουν αποδοτική θέρμανση, κλιματισμό και ζεστό νερό χρήσης στα κτίρια. Η χρήση ΓΑΘ για θέρμανση και κλιματισμό έχει σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, 30% μικρότερο κόστος λειτουργίας από το καλύτερο αερόψυκτο σύστημα, κόστος συντήρησης μόλις το 1/3 από αυτό ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης – κλιματισμού και σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (25-30 έτη).

Τα πιο βασικά πλεονεκτήματα των ΓΑΘ είναι:

- Αξιοπίστη τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον χωρίς εκπομπές αέριων ρύπων.
- Άντληση δωρεάν ενέργειας από το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.
- Εξοικονόμηση 75% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και 40% για ψύξη-θέρμανση ενός κτιρίου.
- Μείωση των δαπανών της κατοικίας για θέρμανση και κλιματισμό από 25- 75%.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης εγκατάστασης και εξοπλισμού. Τα ΓΑΘ δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα.
- Απουσία θορύβου κατά την λειτουργία της εγκατάστασης.
- Παρέχουν υψηλής ποιότητας άνεση στους εσωτερικούς χώρους.
- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο. Δεν απαιτείται λέβητας, δεξαμενή πετρελαίου, ή καπνοδόχος, ενώ δεν απαιτείται αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μια εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Τα μειονεκτήματα των ΓΑΘ είναι:

- Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων, η αγορά όμως μπορεί να ενισχυθεί από κρατική χορηγία.

- Σε κλειστά κυκλώματα υπάρχει δυσκολία επισκευής μια διαρροής.
- Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.
- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξηραθεί και να απομακρυνθεί από το χώρο ανέγερσης της κατοικίας (www.jxj.com).

3.15.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων

Αφού αποδειχθεί ότι τα αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας είναι επαρκή και η μελέτη σκοπιμότητας έχει θετικά αποτελέσματα, ακολουθεί η ανάπτυξη της υποδομής που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών. Στο στάδιο αυτό ακολουθούνται οι ακόλουθες εργασίες: Όρυξη των γεωτρήσεων παραγωγής – και των γεωτρήσεων επανεισαγωγής (εάν έχει κριθεί απαραίτητο για τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών μετά την εκμετάλλευσή τους). Κατασκευή του δικτύου άντλησης, μεταφοράς και τελικής διάθεσης (απόρριψης) των γεωθερμικών ρευστών (www.elsevier.com).

3.15.2. Γεωτρήσεις έρευνας, παραγωγής και επανεισαγωγής

Από τις πρώτες επιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα από την αρχή της εφαρμογής ενός γεωθερμικού έργου, είναι οι γεωτρήσεις, ανεξάρτητα από το αν αυτές φτάνουν σε μικρά βάθη και αποσκοπούν στη μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας κατά το στάδιο έρευνας, ή αν είναι γεωτρήσεις παραγωγής και επανεισαγωγής.

Η εγκατάσταση ενός γεωτρητικού συγκροτήματος, που περιλαμβάνει και όλο το βοηθητικό εξοπλισμό του, απαιτεί τη διάνοιξη – επισκευή δρόμων για την πρόσβαση στο σημείο των γεωτρήσεων. Αποτέλεσμα όλων αυτών των ενεργειών είναι να αλλάξει έστω και λίγο η επιφανειακή μορφολογία της περιοχής, ενώ δεν αποκλείεται να προκληθούν και μικρές ζημιές στην χλωρίδα και τη πανίδα. Επίσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής των γεωτρήσεων ή των δοκιμών παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος διαφυγής στην ατμόσφαιρα κάποιων ανεπιθύμητων αερίων. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) και από τις όχι καλά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες του πολφού κυκλοφορίας ή των γεωθερμικών ρευστών.

Αρκετά υψηλή μπορεί να είναι η οπτική όχληση κατά τη διάρκεια της διάτρησης οφειλόμενη στην παρουσία των γεωτρώπανων και στην έκταση του εργοταξίου. (οι εργασίες που πραγματοποιούνται οφείλουν να τηρούν τον «Κανονισμό Γεωθερμικών Εργασιών» σύμφωνα με το νόμο (ΦΕΚ Β' 1530/7-11-2005) (Twidell, 1996).

3.15.3. Θόρυβος

Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από το θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας ο θόρυβος είναι μηδαμινός. Κατά τη φάση της ανόρυξης των γεωτρήσεων και την κατασκευή της μονάδας μπορούν να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα από αυξημένα επίπεδα θορύβου και για το λόγω αυτό συνιστάται οπωσδήποτε η χρήση ωτοασπίδων από το προσωπικό του εργοταξίου. Στη φάση αυτή, κάποια ενδεικτικά επίπεδα θορύβου είναι:

- Ανόρυξη γεωτρήσεων με αέρα (air drilling): 120dBa (γίνεται πολύ σπάνια).
- Ανόρυξη γεωτρήσεων με κυκλοφορία πολφού (mud drilling): 80dBa.
- Άντληση τσιμέντου: 80dBa.
- Δοκιμή γεωτρήσεων: 70-120dBa (ελεύθερη εκροή από γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας: μέγιστο 120dBa, το οποίο μειώνεται στα 85dBa με χρήση σιγαστήρα).
- Μηχανές ντίζελ (π.χ. συμπιεστές): 45-60dBa.
- Εκσκαφείς, φορτηγά, τρακτέρ κτλ.: 55-75dBa.
- Κατά τη φάση της λειτουργίας της μονάδας, τα επίπεδα του θορύβου ελέγχονται από μόνιμες εγκαταστάσεις σιγαστήρων ή άλλων συσκευών μείωσης του θορύβου (www.the-gx.com).

3.15.4. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς

Η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επιπλέον την πανίδα, την χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάζει ελαφρώς, παρόλο που σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στο Larderello στην Ιταλία, το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου (www.energia.com).

3.15.5. Πρόκληση καθιζήσεων

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο, όταν οι ταμιευτήρες του αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους, από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και κατά την εξόρυξη πετρελαίου ή φυσικού αερίου, καθώς και από την άντληση νερού για άρδευση και ύδρευση. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών στον ταμιευτήρα (Φυτίκας, 1991).

3.15.6. Δημιουργία μικροσεισμικότητας

Με την επανεισαγωγή των υγρών στον ταμιευτήρα υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης μικροσεισμών στην περιοχή, επειδή τα υγρά κατά την επανεισαγωγή δρουν ως λιπαντικό για τα υπερκείμενα πετρώματα. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται κατά την εισαγωγή νερού σε ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επειδή τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε σεισμογενής περιοχές, είναι πιθανό οι μικροί αυτοί σεισμοί να «ανακουφίζουν» τις τοπικές συνθήκες και έτσι να συνδράμουν στην αποφυγή μεγαλύτερου σεισμού (www.geothermal-energy.org).

3.15.7. Υδροθερμικές εκρήξεις

Αυτές είναι σπάνιες αλλά είναι ένας πιθανός κίνδυνος στα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Εμφανίζονται όταν η πίεση ατμού στα υδροφόρα στρώματα κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εκτινάξει το εδαφικό υλικό και να προκαλέσει τη δημιουργία κρατήρων. Οι διαστάσεις των κρατήρων μπορεί να κυμαίνονται από 5m-500m διάμετρο και βάθος έως 500m (αν και τα περισσότερα είναι λιγότερο από 10m βαθιά) (Armstead, 1983).

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΛΛΑΚΤΩΝ

4.1. ΑΝΤΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ (Ground-coupled heat pumps)

Περιλαμβάνουν μηχανικές αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το νερό το οποίο προέρχεται από υπόγειες πηγές (κρύες, γλιαρές ή θερμές γεωτρήσεις, εγκαταλειμμένα ορυχεία, κλπ) με θερμοκρασία 10-30 °C, επιφανειακές πηγές (λίμνες, ποταμοί, θάλασσα) θερμοκρασίας 5-25 °C, γεωτρήσεις με εναλλάκτες θερμότητας, που παράγουν νερό θερμοκρασίας 0-15 °C. Χαρακτηρίζονται από αποδοτικότητα υψηλής ενέργειας με ένα μέσο συντελεστή απόδοσης (COP) 3 για τις εγκατεστημένες μονάδες. COP είναι ο συντελεστής απόδοσης μίας αντλίας θερμότητας και ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας που παράγεται προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι νέες μονάδες έχουν υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (> 4,0). Ένα σύστημα αποτελείται από 1) τη μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας, 2) τον εναλλάκτη θερμότητας κλειστού ή ανοικτού συστήματος, και 3) το σύστημα κυκλοφορίας νερού στο κτίριο.

Οι αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος μπορούν να παράγουν νερό θερμοκρασίας 40-60 °C και κατά συνέπεια, συνδυάζονται με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας όπως τις τοπικές μονάδες ανεμιστήρα- στοιχείου (fan-coils), τη θέρμανση δαπέδων και τις μονάδες τροφοδοσίας αέρα (air handling). Μπορούν επίσης να παρέχουν ψύξη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου για τα θερμότερα κλίματα. Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικών αντλιών θερμότητας περιλαμβάνει λίγες πιλοτικές εφαρμογές και αντιστοιχεί σε 4 MWth περίπου.

Η κυρίαρχη χρήση των Ground Source Heat Pumps (GSHP, εδαφικής πηγής αντλίες θερμότητας) είναι ο κλιματισμός (θέρμανση-ψύξη) των κτιρίων. Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Environmental Protection Agency (EPA) από το 1993 χαρακτηρίστηκε «το πιο ενεργειακά αποδοτικό, περιβαλλοντικά καθαρό και οικονομικά σκόπιμο σύστημα κλιματισμού». Αυτή η τοποθέτηση αποδεικνύεται ακόμη πιο αληθινή στη παρούσα φάση όπου η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και να βελτιώνεται ενώ οι συμβατικές τεχνολογίες έχουν πιάσει τα όριά τους και οι τιμές της ενέργειας έχουν συνεχιζόμενη ανοδική πορεία. Πολλές παραλλαγές των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι διαθέσιμες (νερού- νερού, νερού-αέρα, νερού-αέρα και ζεστού νερού κτλ) με αποτέλεσμα να υπάρχει ευελιξία στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης-ψύξης σε όλα τα κτίρια και ταυτόχρονα να επιτυγχάνονται ασύγκριτες αποδόσεις σε σχέση με τα ανταγωνιστικά συστήματα.

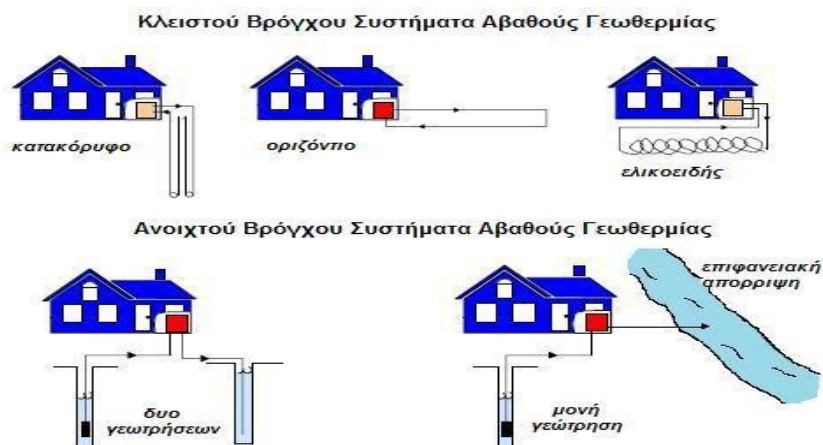
Τα οικονομικά τους πλεονεκτήματα είναι ότι έχουν μειωμένο λειτουργικό κόστος, λόγω μεγαλύτερης απόδοσης και στη θέρμανση και στη ψύξη όταν συγκρίνεται με ανταγωνιστικά συστήματα, έχουν μειωμένη ηλεκτρική κατανάλωση και κυρίως σε περιόδους αιχμής στη ψύξη, δεν υπάρχει κόστος συντήρησης επειδή όλος ο εξοπλισμός βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο και δεν έχει απαιτήσεις καθαρισμού και τέλος ο μεγάλος χρόνος ζωής του εξοπλισμού και επομένως ασυναγώνιστη οικονομική απόδοση στο χρόνο ζωής (25 χρόνια για τον μηχανικό εξοπλισμό περισσότερο από 50χρόνια για το γεωεναλλάκτη). Πλεονεκτήματα χωροταξίας τα οποία είναι η βελτιωμένη αισθητική χωρίς εξωτερικές μονάδες και χωρίς προβλήματα φθοράς ή κλοπής, δεν υπάρχουν εξωτερικές σωληνώσεις και ηλεκτρικές παροχές και επίσης δεν έχουν τα ανοίγματα αερισμού. Άνεση και ασφάλεια για τους χρήστες λόγω του ότι δεν παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα άρα δεν υπάρχουν οσμές και ρύποι. Επίσης η

λειτουργία του είναι απλή και δεν υπάρχει θέμα ανεφοδιασμού και αποθήκευσης. Και τέλος τα περιβαλλοντικά οφέλη είναι ότι η κατασκευή είναι συμπαγής χωρίς διαφυγές ψυκτικών υγρών και έχουμε σημαντική ελάττωση των εκπομπών των αερίων που δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

4.2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ

Τα συστήματα γεωθερμίας που εκμεταλλεύονται την αβαθή γεωθερμική ενέργεια διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- i) Συστήματα γεωθερμίας κλειστού κυκλώματος α) οριζόντια γεωθερμικά συστήματα (εκσκαφή), β) κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα (γεωτρήσεις).
- ii) Συστήματα γεωθερμίας ανοικτού κυκλώματος.



Εικ. 1.4: Συστήματα αβαθούς γεωθερμίας Πηγή: www.geothermal.metal.ntua.gr/generaldis.html

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος αποτελούνται από υπόγειο δίκτυο με πλαστικούς σωλήνες υψηλής αντοχής (γεωεναλλάκτης), που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας, με διάρκεια ζωής άνω των 50 ετών. Στους εναλλάκτες γεωθερμίας κυκλοφορεί διάλυμα νερού με φιλικό προς το περιβάλλον αντιψυκτικό, οι οποίοι συνδέονται με την αντλία θερμότητας όπου και ολοκληρώνεται κύκλωμα.

Ένα κλειστό κύκλωμα συνεχώς επανακυκλοφορεί, υπό πίεση, το διάλυμα που μεταφέρει την θερμότητα. Για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας είναι απαραίτητος κυκλοφορητής. Το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστό και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις για συντήρηση του συστήματος να είναι μικρές.

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος, μπορεί να είναι: α) οριζόντιοι γεωεναλλάκτες, β) κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες (γεωτρήσεις), ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των σωλήνων μέσα στη Γή.

α) Τα οριζόντια συστήματα γεωθερμίας (horizontal-erdreich/flaechenkollektor) χρησιμοποιούν γεωθερμικό εναλλάκτη, που είναι τοποθετημένος παράλληλα προς την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος συνήθως 1.2-1.8 μ σε μια ή περισσότερες στρώσεις σωλήνων.

β) Στα κατακόρυφα συστήματα γεωθερμίας (vertical-tiefenbohrung/erdsonde) ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι τοποθετημένος κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις ανοιγμένες από γεωτρήπανο και σε βάθη που κυμαίνονται συνήθως από 50-150 μ.

Συγκριτικά μπορούμε να πούμε ότι τα κατακόρυφα συστήματα (γεωτρήσεις) πλεονεκτούν των οριζοντίων, γιατί δεσμεύουν μικρότερες ποσότητες επιφάνειας γης για την εγκατάστασή τους και είναι πιο «σταθερά», διότι δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τις εποχικές μεταβολές, λόγω μεγαλύτερου βάθους εγκατάστασης.

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες ανοιχτού κυκλώματος χρησιμοποιούν υπόγεια ύδατα (από υδρογεωτρήσεις) ή επιφανειακά (από λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, ή τη θάλασσα), ως πηγή θερμότητας - ψύξης και χώρους απόθεσης/επιστροφής του νερού. Αντλούν νερό από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης και ενδιάμεσου εναλλάκτη νερού/νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) και του ανοικτού κυκλώματος, προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα από άλλη γεώτρηση. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα, ώστε να απαιτούνται μικρές γεωτρήσεις νερού. Και σε αυτή την περίπτωση αξιοποιείται με γεωτρήσεις η ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα καθ' όλο τον χρόνο ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν.

Στην αβαθή γεωθερμία ανοιχτού κυκλώματος απαιτούνται δύο τουλάχιστον γεωτρήσεις. Από τη μία γεώτρηση γίνεται άντληση νερού από τους υπόγειους υδροφόρους και διοχετεύεται στη γεωθερμική αντλία όπου προσδίδει ή απορροφά ενέργεια στο σύστημα μας πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα από τη δεύτερη γεώτρηση.

Η εγκατάσταση θέρμανσης και ψύξης της κατοικίας, δεν διαφέρει σε τίποτε από τις γνωστές μας εγκαταστάσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδοδαπέδιο ή ενδοτοιχείο σύστημα θέρμανσης και δροσισμού ή σύστημα fan coils για θέρμανση και ψύξη. Ακόμη και σώματα θερμαντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν (αλλά θα είναι πολύ μεγάλα σε μέγεθος

Οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες είναι τα συστήματα που αποβάλλουν ή απορροφούν θερμότητα από μια πηγή θερμότητας όπως το έδαφος ή η λίμνη ή η θάλασσα ή το πηγάδι. Η αποβολή ή απορρόφηση πραγματοποιείται με την κυκλοφορία νερού ή κάποιου άλλου υγρού, δια μέσου σωληνώσεων που ξεκινούν από την πηγή θερμότητας ή ψυχρότητας και καταλήγουν στο χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε ή να ψύξουμε αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο ειδών Γεωθερμικοί Εναλλάκτες:

- [οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοιχτού Κυκλώματος](#) και
- [οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Κλειστού Κυκλώματος](#)

Οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοιχτού Κυκλώματος χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας - ψύξης και χώρους απόθεσης του νερού που επιστρέφει υποβαθμισμένο. Τέτοιες πηγές είναι η λίμνη, το πηγάδι, το ποτάμι, η γεώτρηση ή και η ίδια η θάλασσα. Ενδεικτικά ένα σπίτι 280 τετραγωνικών μέτρων απαιτεί περίπου 30 με 57 λίτρα ανά λεπτό παροχής νερού. Τα πλεονεκτήματά του είναι ότι το σύστημα αυτό είναι οικονομικότερο από του κλειστού κύκλου όταν υπάρχει λίμνη ή ήδη ανοιγμένο πηγάδι ή γεώτρηση που να μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις και είναι ευκολότερη η εγκατάστασή του, καθώς εκλείπουν παράγοντες όπως: αντιψυκτικό, κρυμμένες διαρροές, σωληνώσεις που πρέπει να απαλλαγθούν από τον αέρα. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι η ποιότητα του νερού μπορεί να αλλάξει με το χρόνο και η ποσότητα του νερού μπορεί να μεταβάλλεται ακανόνιστα ειδικά κατά περιόδους ξηρασίας. Επίσης αν ανοιχθεί πηγάδι, υπάρχει η αβεβαιότητα αν θα υπάρχει νερό ή αν θα καλύψει τις ανάγκες και σε πολλές περιοχές δεν επιτρέπεται το άνοιγμα πηγαδιού ή γεώτρησης.

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος αποτελούνται από ένα υπόγειο ή υποθαλάσσιο δίκτυο από υψηλής αντοχής πλαστικούς σωλήνες, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Για να συλλέξουμε θερμότητα από τη γη τροφοδοτούμε το δίκτυο με νερό το οποίο αποκτά τη θερμοκρασία της γης. Όπου εφαρμόζονται Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Κλειστού Κυκλώματος χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της Αντλίας Θερμότητας.

Το πλεονέκτημα του γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή.

Υπάρχουν τρεις τύποι Κλειστού Κυκλώματος Γεωθερμικών Εναλλακτών ανάλογα με την διάταξη του δικτύου σωληνώσεων στο έδαφος τα οποία είναι το οριζόντιο σύστημα, το κατακόρυφο σύστημα και το σπειροειδές σύστημα. Επίσης με βάση την φύση των ρευστών οι εναλλάκτες διακρίνονται σε εναλλάκτες:

- Αερίου – αερίου
- Αερίου – υγρού
- Υγρού – υγρού
- Συμπύκνωσης ατμού – υγρού
- Συμπύκνωσης ατμού – αερίου
- Εξάτμισης υγρού – θερμού αερίου/υγρού
- Εξάτμισης υγρού – συμπυκνωμένου ατμού

4.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Ο σχεδιασμός του Γεωθερμικού Εναλλάκτη περιλαμβάνει την επιλογή του τύπου του εναλλάκτη, την επιλογή της αντλίας κυκλοφορίας και την διαστασιολόγηση του εναλλάκτη. Η αντλία κυκλοφορίας πρέπει να είναι τέτοιας ισχύος ώστε να υπερνικά τις αντιστάσεις του υγρού διαμέσου του Γεωθερμικού Εναλλάκτη και της Αντλίας Θερμότητας. Για την διαστασιολόγηση του εναλλάκτη απαιτούνται οι υπολογισμοί της απαιτούμενης ενέργειας θέρμανσης-ψύξης, η επιλογή σωλήνα και η επιλογή υγρού κυκλοφορίας.

Οι ενεργειακοί υπολογισμοί πραγματοποιούνται με μια από τις δύο βασικές μεθόδους:

- μέθοδος βαθμημερών που είναι η πιο απλή αλλά δίνει και τα φτωχότερα αποτελέσματα.
- μέθοδος ώρα με ώρα η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια software (π.χ. trancys®) και χρησιμοποιείται συνήθως για μεγάλες εγκαταστάσεις.

Στην επιλογή σωλήνας το πολυαιθυλαίνιο είναι το πιο διαδεδομένο από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για σωλήνωση του Γεωθερμικού Εναλλάκτη κλειστού τύπου. Ο σχεδιαστής πρέπει να επιλέξει την λεπτότερη δυνατόν σωλήνα για τον εναλλάκτη, ώστε να διευκολύνει την μετάδοση θερμότητας και την πιο χοντρή σωλήνα για τα μέρη του εναλλάκτη που βρίσκονται έξω από το έδαφος ως το σύστημα Θέρμανσης.

Η επιλογή υγρού κυκλοφορίας είναι πολύ σημαντική. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υγρό κυκλοφορίας σε περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει ζεστή. Σε ορισμένες ορεινές περιοχές της χώρας όπου η θερμοκρασία του εδάφους το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή η λύση είναι η προσθήκη αντιψυκτικού στο νερό. Το αντιψυκτικό θα πρέπει να έχει σημείο ψύξης 10°C κάτω από την κατώτερη αναμενόμενη θερμοκρασία του συστήματος.

Για το μέγεθος του γεωθερμικού εναλλάκτη απαιτείται η γνώση των θερμοκρασιών του εδάφους και των θερμικών αποκρίσεων στο βάθος εγκατάστασης, ο καθορισμός της περιοχής εγκατάστασης του εναλλάκτη, αυτό περιλαμβάνει το βάθος και το πλάτος της σωλήνωσης, η γνώση της σύστασης του εδάφους και των θερμοκρασιών του και ο καθορισμός των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών του υγρού που εισέρχεται στην Αντλία Θερμότητας. Επίσης απαιτείται ο καθορισμός της αντίστασης του εδάφους και του σωλήνα όσον αφορά την μεταφορά θερμότητας. Τέλος απαιτείται ο καθορισμός των ετήσιων αναγκών ενέργειας για θέρμανση και ψύξη (προσοχή ο Γεωθερμικός Εναλλάκτης διαστασιολογείται βάση των συνολικών ετήσιων αναγκών και όχι βάση της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος όπως γίνεται με τα καλοριφέρ) και ο υπολογισμός του μεγέθους του εναλλάκτη.

4.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Ο σχεδιασμός του Γεωθερμικού Εναλλάκτη περιλαμβάνει την επιλογή του τύπου του εναλλάκτη, ανάλογα με την πηγή θερμότητας (πηγάδι, λίμνη, κ.ά.), την επιλογή της αντλίας νερού – πηγαδιού και την διαστασιολόγηση του εναλλάκτη. Η αντλία νερού - πηγαδιού είναι συνήθως εμβαπτιζόμενη αντλία. Επιλέγεται με βάση τη συνιστώμενη παροχή νερού, τις απώλειες λόγω τριβής συμπεριλαμβανομένων των απωλειών της σωλήνωσης, της βαλβίδας και του εναλλάκτη θερμότητας και την πίεση στο σημείο άντλησης. Στις γεωτρήσεις οι εμβαπτιζόμενες αντλίες χρειάζονται λιγότερη ενέργεια από αντλίες άλλου τύπου. Η αναρρόφηση της αντλίας πρέπει να εγκατασταθεί αρκετά βαθιά, 4,5 μέτρα τουλάχιστον κάτω από το επίπεδο χαμηλότερης στάθμης.



Εικ.1.7: Αντλία νερού – πηγαδιού

Πηγή: <http://energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/sxediaanoiktou.html>

Για την διαστασιολόγηση του εναλλάκτη απαιτείται ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης - ψύξης του κτιρίου και η επιλογή σωλήνα. Το πολυαιθυλαίνιο είναι το πιο διαδεδομένο από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για σωλήνωση του Γεωθερμικού Εναλλάκτη ανοικτού τύπου. Για την διαστασιολόγηση του Γεωθερμικού Εναλλάκτη απαιτείται η γνώση των θερμοκρασιών του νερού κατά τη διάρκεια του χρόνου, ο υπολογισμός απαιτούμενης παροχής και η επιλογή διατομής δικτύου.

4.5. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΘΕΡΜΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

4.5.1. Γεωθερμικό σύστημα κάθετων εναλλακτών:

Μια λύση για μικρές εδαφικές εκτάσεις. Αποτελεί την λύση που αξιοποιεί την διαθέσιμη θερμότητα εντός του εδάφους, το οποίο έως τα 100 -130μ. παρουσιάζει σταθερή θερμοκρασία της τάξεως 12 °C έως 17 °C. Με τη βοήθεια γεωτρύπανου κατασκευάζεται μία γεώτρηση (διαμέτρου 10- 15cm) εντός της οποίας εισάγεται ένας γεωθερμικός εναλλάκτης: θέτοντας σε κυκλοφορία το ρευστό θερμαντικό μέσο στο βάθος της γεώτρησης απορροφάται θερμότητα, η οποία ανταλλάσσεται στην επιφάνεια στο εσωτερικό μίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ). Η συγκεκριμένη εγκατάσταση δεν καλύπτει μεγάλο χώρο και εφαρμόζεται σε πολύ μικρές επιφάνειες – οικόπεδα. Σε περιπτώσεις ανέγερσης νέου κτιρίου οι γεωτρήσεις δύναται να διανοιχθούν κάτω από την θεμελίωση και πριν αυτής. Επίσης είναι εύκολη και η αποκατάσταση του χώρου εργασιών.

4.5.2. Γεωθερμικό σύστημα οριζόντιων εναλλακτών:

Αξιοποιεί την επιφανειακή θερμότητα του εδάφους. Αυτή η τεχνολογία εκτός του ότι εκμεταλλεύεται την θερμότητα του εδάφους είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία η οποία και συγκεντρώνεται στα επιφανειακά στρώματά του (0-15μ). Οι οριζόντιοι γεωεναλλάκτες όπως και οι κατακόρυφοι, είναι εναλλάκτες από πλαστικό υλικό, τοποθετούνται οριζοντίως σε σκάμμα βάθους 1-2μ. Εντός των εναλλακτών κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα, ένα μείγμα νερού και αντιψυκτικού υγρού το οποίο απορροφά την θερμότητα του εδάφους και την αποδίδει στην γεωθερμική αντλία θερμότητας.

Η χρήση και τοποθέτηση οριζόντιων εναλλακτών προϋποθέτει μεγάλες εκτάσεις, που κατά περίπτωση αντιστοιχούν στο διπλάσιο και τριπλάσιο της επιφανείας του προς κλιματισμό εσωτερικού χώρου. Μια παραλλαγή αυτής της επιλογής προβλέπει την χρήση οριζόντιων εναλλακτών από χαλκό εντός των οποίων κυκλοφορεί απευθείας το ψυκτικό υγρό της αντλίας θερμότητας, με αποτέλεσμα την απλούστευση των μηχανολογικών εγκαταστάσεων (εγκαταστάσεις «ενεργούς διάχυσης»).

4.5.3. Θερμοκρασία εδάφους

Η αρχή του Γεωθερμικού Κλιματισμού (Θέρμανση - Ψύξη) βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης, η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 12 – 14 °C. Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια "μεταφέρουν", με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τη θερμοκρασία του εδάφους μέσα στο σπίτι μας καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια. Κατά ανάλογο τρόπο, το χειμώνα το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τη θερμοκρασία του εδάφους μέχρι τους 20 – 22 °C για να ζεστάνει το χώρο μας. Η οικονομία και εδώ είναι τεράστια σε σχέση με μία συμβατική αντλία θερμότητας αέρα.

Στην Ελλάδα η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του υπεδάφους σε βάθος >2 μέτρων, είναι της τάξης των 16-20 °C. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το καλοκαίρι

μπορεί να φτάσει και τους 40-42 °C, ενώ το χειμώνα τους 0-5 °C. Αυτή ακριβώς τη διαφορά θερμοκρασίας, μεταξύ του εξωτερικού αέρα του περιβάλλοντος και του υπεδάφους εκμεταλλευόμαστε με τη χρήση Γεωθερμικού συστήματος για να ψύξουμε ή να θερμάνουμε το κτήριο και να μειώσουμε την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ώστε να εξοικονομήσουμε ενέργεια.

Πρέπει να λάβουμε δε υπόψη μας ότι συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν σχεδόν να ζεστάνουν το χώρο σε θερμοκρασίες κάτω από 0 °C. Έτσι, το χειμώνα, το υγρό που κυκλοφορεί στον γεωεναλλάκτη απορροφά τη θερμότητα του εδάφους και μέσω της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας την αποδίδει στο κτήριο. Το δε καλοκαίρι, λειτουργώντας αντίστροφα απομακρύνει τη θερμότητα από το κτίριο και μέσω του γεωεναλλάκτη την αποδίδει στο πιο δροσερό έδαφος, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη θέρμανση ή δροσισμό, χωρίς να χρειάζεται να αυξομειωθεί δραματικά η θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες. Επειδή δε το σύστημα ανταλλάσσει θερμότητα με το υπέδαφος και όχι απευθείας με το περιβάλλον λειτουργεί αξιόπιστα σε ακραίες καιρικές συνθήκες (καύσωνα - παγετό).

Η Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει (καλοκαίρι) ή να αντλήσει (χειμώνας) θερμότητα, χρησιμοποιεί τη θερμότητα που περικλείουν τα υπόγεια νερά, τα νερά των λιμνών και της θάλασσας, ή ακόμα και τη θερμότητα που περικλείει το χώμα! Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας καταναλώνει γύρω στο 25-30% της ενέργειας που αποδίδει, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Μπορεί κανείς να μην αρκестεί στην οικονομία που προσφέρει η εγκατάσταση, αλλά δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστεί με την άφθονη δωρεάν ηλιακή ενέργεια, μέσω των ηλιακών συλλεκτών δημιουργώντας έτσι ένα σύστημα "Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας συνεργαζόμενης με ηλιακό σύστημα".

Χάρη στη χρήση ηλιακών συλλεκτών και εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμών το σύστημα εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια παρέχοντας την για θέρμανση νερού χρήσης και ακόμα για την θέρμανση του χώρου προκαλώντας μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία απορροφάται από την αντλία. Αυτό οδηγεί σε εξοικονομήσεις, αναλόγως της εκάστοτε εγκατάστασης, σημαντικά μεγαλύτερες του 75% που προσφέρουν από μόνες τους οι εγκαταστάσεις των αντλιών.

Τέλος ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση μιας Γεωθερμικής Αντλίας θερμότητας είναι μικρότερος από αυτόν που χρειάζονται τα συμβατικά συστήματα, αφού δε χρειάζεται χώρος για λεβητοστάσια, καμινάδες και δεξαμενές καυσίμων.

4.5.4. Θερμικές ιδιότητες εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι ψηλότερη από την ατμοσφαιρική κατά τη χειμερινή περίοδο, χαμηλότερη κατά την καλοκαιρινή και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες ανάλογα με το βάθος.

Το έδαφος χωρίζεται κυρίως σε τρία στρώματα, το επιφανειακό, η θερμοκρασία του οποίου επηρεάζεται από την καθημερινή αλλαγή θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα και από παράγοντες όπως την ηλιακή ακτινοβολία, τον αέρα, τη βροχόπτωση, κτλ, το αβαθές, που επηρεάζεται κυρίως από εποχιακές καιρικές αλλαγές και το βαθύτερο, η θερμοκρασία του οποίου παραμένει σχετικά σταθερή και ανεπηρέαστη από τις καιρικές συνθήκες. Το πεδίο βάθους κάθε στρώματος σχετίζεται κυρίως με την μορφολογία του εδάφους και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας μειώνεται με το βάθος και γίνεται αμελητέα κάτω από 15 μ. Οι τοπικές θερμοκρασίες εδάφους εξαρτώνται από το κλίμα, κάλυψη εδάφους, κλίση, ιδιότητες χώματος κλπ. Η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα. Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε αβαθή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης, σε βάθη έως 150 m. και με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 18 °C. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-18 °C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Στις περιοχές στις οποίες η θερμική ενέργεια της γης είναι επαρκώς συγκεντρωμένη ώστε να δημιουργεί εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή, αναπτύσσονται γεωθερμικά συστήματα που ανάλογα με τα θερμικά χαρακτηριστικά τους ταξινομούνται σε υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Τα υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα μεσαίας ενθαλπίας για παροχή άμεσης θερμότητας σε κατοικίες και βιομηχανία ενώ τα χαμηλής ενθαλπίας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Η σύνθεση του χώματος, η οποία ποικίλλει (υγρός άργιλος, άμμος, βραχώδες έδαφος κ.τ.λ.), έχει μια καθοριστική επίδραση στις θερμικές του ιδιότητες και επομένως και στο βαθμό απόδοσης των Α.Θ. Το σημαντικότερο μέγεθος είναι η θερμική διαχυτότητα, που όμως είναι δύσκολο να υπολογισθεί χωρίς επαρκή δεδομένα για την ποιότητα του χώματος. Η θερμική διαχυτότητα είναι ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς το γινόμενο της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από το περιεχόμενό του σε υγρασία. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων ενταφιασμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος δύο έως τριών μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή (μεταξύ 10 °C και 18 °C) καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου κάτι που δεν συμβαίνει με την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Συνήθως οι σωληνώσεις στο έδαφος είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Στο κύκλωμα σωληνώσεων κυκλοφορεί νερό (ή

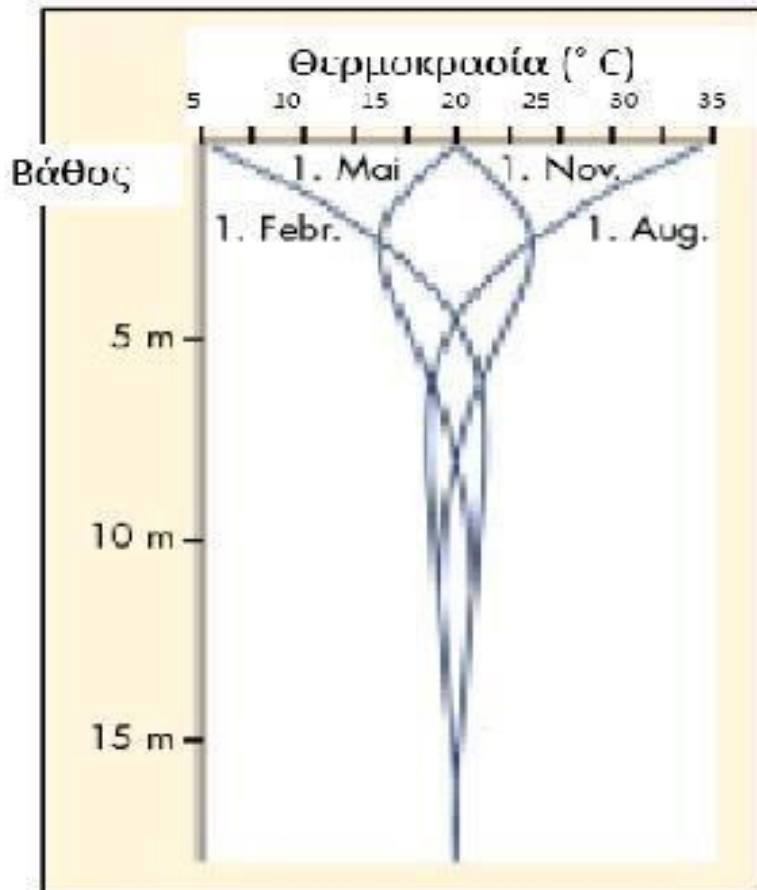
αντιπηκτικό διάλυμα για την αποφυγή δημιουργίας πάγου σε ψυχρά κλίματα) το οποίο όμως δεν αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα του υπεδάφους αλλά διοχετεύεται από ειδικό σύστημα παροχής που εγκαθίσταται και αποκτά σταδιακά την θερμοκρασία του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο σωληνώσεων ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. Όπου εφαρμόζονται τέτοιοι εναλλάκτες χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας. Το βασικό πλεονέκτημα του κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή.

Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα και επιφανειακού υπεδάφους*

ΒΑΘΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜ.	ΗΜΕΡ.	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜ.	ΗΜΕΡ.
Αέρας	40,2 °C	6η/7ου	6 °C	26η /1ου
0,6μ	29,24 °C	<u>17η /7ου</u>	16,94°C	<u>16η /1ου</u>
1μ	28,24 °C	<u>27η /7ου</u>	17,94 °C	<u>24η /1ου</u>
2μ	26,38 °C	<u>22η /8ου</u>	19,72 °C	<u>22η /2ου</u>
3μ	25,20 °C	<u>17η /9ου</u>	20,98 °C	<u>19η/3ου</u>
4μ	24,44 °C	<u>13η/10ου</u>	21,74 °C	<u>14η /4ου</u>
5μ	23,95 °C	<u>12η/11ου</u>	23,23 °C	<u>10η/5ου</u>

*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0W/mK$, $c=800kJ/kgK$, $\rho=200kg/m^3$ υγρασία ~25%

Πίνακας 5.1



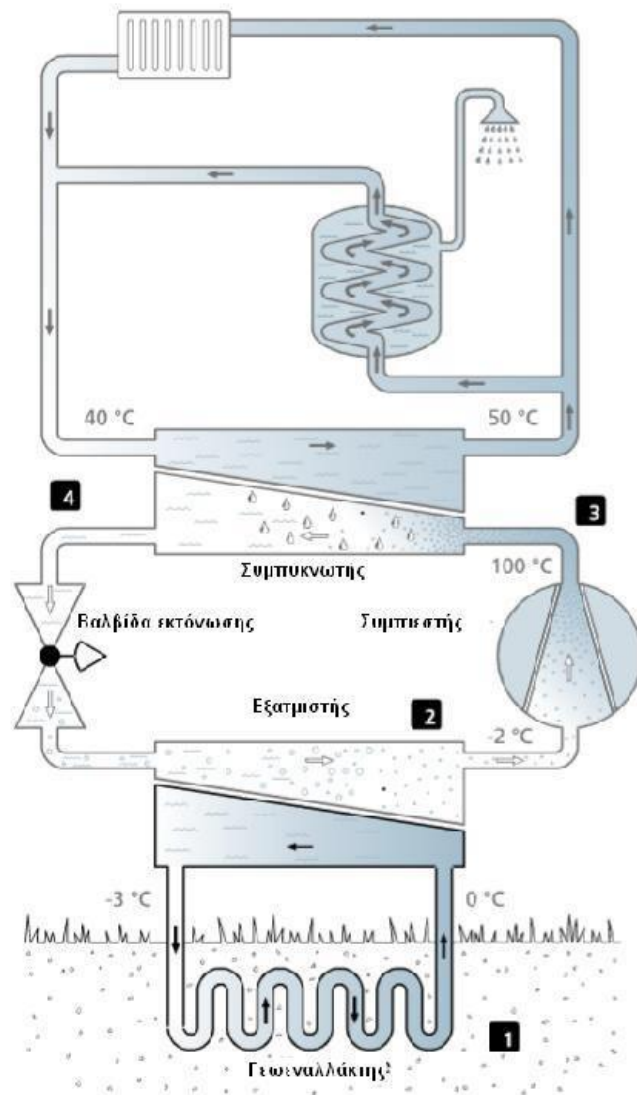
Σχήμα 5.2 Θερμοκρασία εδάφους σύμφωνα με το βάθος.

4.6. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΓΑΘ)

4.6.1. Αρχή λειτουργίας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) χρησιμοποιούν το έδαφος ή τα υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας. Η αρχή της γεωθερμίας είναι εξαιρετικά απλή και βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή (για την Ελλάδα στους 14-20 °C) καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Το έδαφος ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες έχει αποθηκευμένα μεγάλα ποσά θερμότητας.

Η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος γίνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ), ενώ η θερμότητα μεταδίδεται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων με νερό (γεωεναλλάκτης), που είτε βρίσκονται σε οριζόντια διάταξη και χαμηλό βάθος, είτε σε κατακόρυφη διάταξη εκμεταλλευόμενοι μία ή περισσότερες γεωτρήσεις που γίνονται γι' αυτό το λόγο.



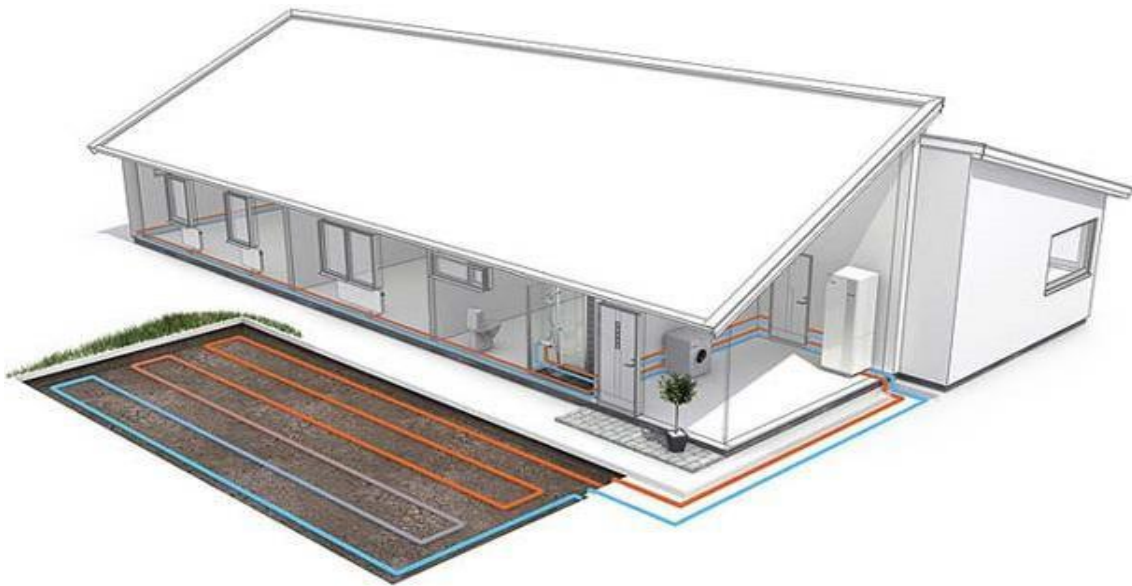
Σχήμα 5.3 Λειτουργία γεωθερμικής αντλίας.

Μέσο του ψυκτικού υγρού (γλυκόλης) το οποίο κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα των γεωναλλακτών, απορροφούν τη θερμότητα από το έδαφος ή έναν υδροφόρο ορίζοντα ή από μια λίμνη. Όταν το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στην αντλία, συναντά ένα άλλο κλειστό κύκλωμα.

Το ψυκτικό μέσο της αντλίας μετατρέπεται σε αέρια μορφή, σε χαμηλή θερμοκρασία. Υπό υψηλή πίεση συμπιέζεται το ψυκτικό μέσο και αυξάνεται η πίεση του και η θερμοκρασία του. Στη συνέχεια μεταφέρεται η θερμότητα στο κλειστό κύκλωμα θέρμανσης του σπιτιού. Εν τω μεταξύ το ψυκτικό μέσο επανέρχεται στην υγρή μορφή, έτοιμο να ξανά γίνει αέριο και να ξανά απορρόφηση θερμότητα.

Γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος.

Οριζόντιο κλειστό γεωθερμικό σύστημα.



Σχήμα 5.4.1 Οριζόντιος εναλλάκτης

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ηλιακή θερμότητα αποθηκεύεται στο έδαφος. Λίγα μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους απορροφάται και συγκρατείται θερμότητα από τη βροχή και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η χρήση αυτής της ενέργειας για θέρμανση είναι μια οικονομική και αποδοτική μέθοδος.

Σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλος διαθέσιμος περιβάλλοντας χώρος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη του οριζόντιου γεωεναλλάκτη. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές τοποθέτησης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη στο υπέδαφος.

- Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη: Σε βάθος περίπου 1,5-2 μέτρα από την επιφάνεια τοποθετούνται παράλληλα μήκη σωλήνας η μία δίπλα στην άλλη. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων πρέπει να είναι τουλάχιστον 50 εκατοστά.
- Σωλήνες η μία πάνω από την άλλη: Η πρώτη σωλήνα τοποθετείται περίπου στα δύο μέτρα ενώ η δεύτερη τοποθετείται 40-50 εκατοστά πάνω από την πρώτη.
- Σωλήνες απλωμένες σε σπείρες: Σε βάθος περίπου 1,5 μέτρο από την επιφάνεια απλώνεται κουλούρα πολυαιθυλενίου με τέτοια διάταξη ώστε να σχηματιστούν σπείρες η οποίες να εφάπτονται μεταξύ τους.
- Πλέγμα: Σε βάθη περίπου δυο μέτρα από την επιφάνεια τοποθετούνται προκατασκευασμένα πλέγματα που αποτελούνται από λεπτές σωλήνες Φ8 ή Φ10.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως (εκτός από το πλέγμα) είναι από πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς HDPE Φ32. Για να απλωθούν οι σωλήνες συνήθως κατασκευάζεται μια τάφρος και αφού τοποθετηθούν, σύμφωνα με τα παραπάνω, η τάφρος καλύπτεται ξανά με χώμα. Η επιφάνεια πάνω από τον γεωεναλλάκτη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς. Γενικά, η διάταξη του οριζόντιου γεωεναλλάκτη

είναι σαφώς οικονομικότερη από αυτή του κάθετου γεωεναλλάκτη αλλά απαιτεί μεγάλη διαθέσιμη έκταση για την εφαρμογή της.

4.7. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.

Για να προχωρήσει κάποιος στην διαστασιολόγηση θα πρέπει να γνωρίζει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της μελέτης θερμικών - ψυκτικών φορτίων ενός κτηρίου καθώς και να έχει γνώση των θερμοκρασιών λειτουργίας των κυκλωμάτων οριζοντίου εναλλάκτη για βέλτιστη τεχνοοικονομική λειτουργία [CRES].

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
40/45 °C*	7/12 °C
5/10 °C	35/40 °C

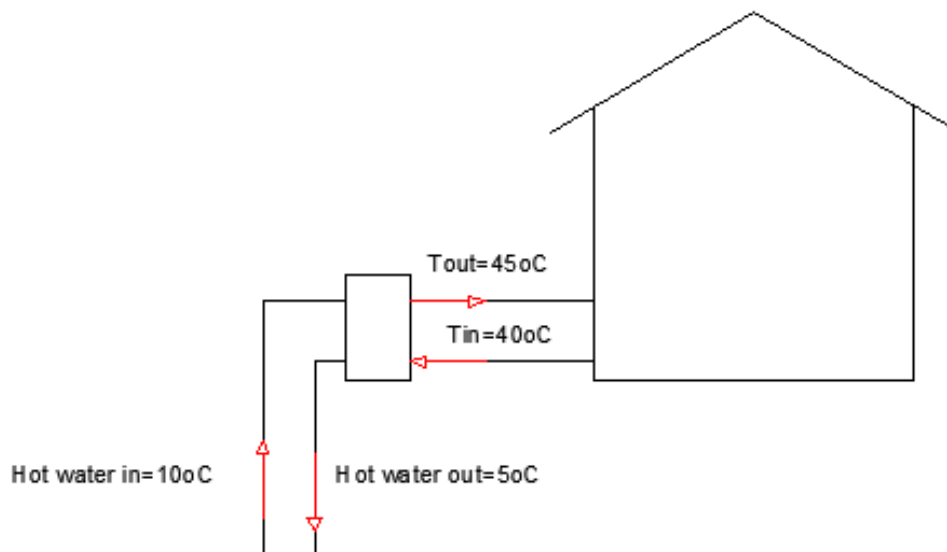
Πίνακας 5.4.3 Συνιστώμενες θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη (CRES)

*Hot water out: 45 °C και cold water in στο μηχάνημα: 10 °C.

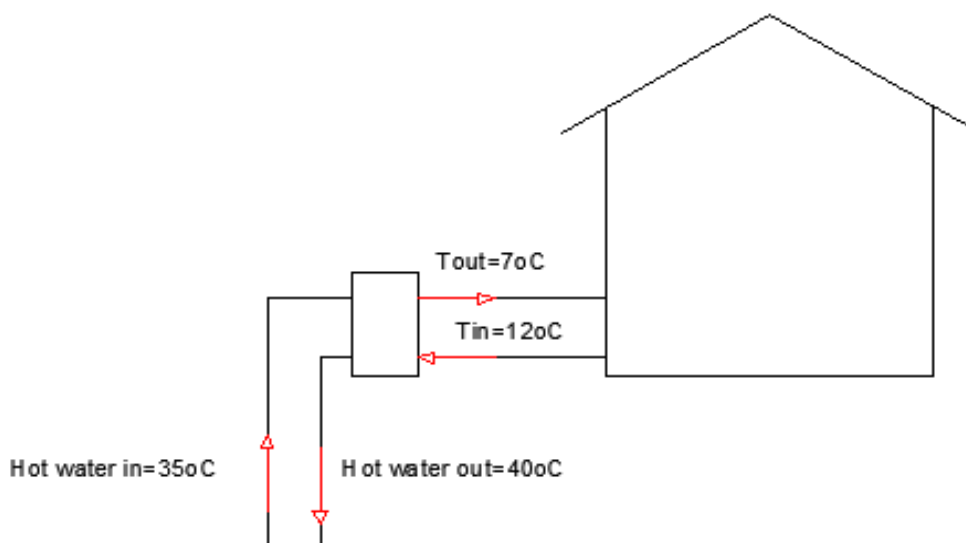
Στην αριστερή στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το χειμώνα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπυκνωτή είναι 45 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 5 °C.

Στη δεξιά στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία εξόδου από τον εξατμιστή είναι 7 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 40 °C.

Αναλυτικά οι θερμοκρασίες λειτουργίας παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4.4 και 5.4.5.



Σχήμα 5.4.4: Λειτουργία ΓΑΘ-χειμώνα



Σχήμα 5.4.5 Λειτουργία ΓΑΘ-Θέρος

4.7.1. Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας

4.7.1.1. Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία το χειμώνα:

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 45°C και εισόδου στον εξατμιστή 10°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{heat} ($P_c > Q_{\text{heat}}$) επιλέγουμε από τον πίνακα παρακάτω την ΓΑΘ, με χαρακτηριστικά P_f = ψυκτική ισχύς kW

P_a = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW

P_c = θερμική ισχύς kW

P_r = ισχύς για ζεστά νερά kW

4.7.1.2. *Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία Θέρους:*

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 50 °C και εισόδου στον εξαμιστή 12°C και με κριτήριο ότι πρέπει η ψυκτική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{cool} , ($P_f > Q_{cool}$) επιλέγουμε από τον παρακάτω πίνακα την ΓΑΘ με χαρακτηριστικά:

P_f = ψυκτική ισχύς kW

P_a = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW

P_c = θερμική ισχύς kW

P_r = ισχύς για ζεστά νερά kW

COOLING AND HEATING OUTPUTS

AUREA MODULO	Cold water T ₁ in °C	HOT WATER OUTLET TEMPERATURE °C																									
		30				35				40				45				50				55					
		Pr kW	Pa kW	Pc kW	Pt kW	Pr kW	Pa kW	Pc kW	Pt kW	Pr kW	Pa kW	Pc kW	Pt kW	Pr kW	Pa kW	Pc kW	Pt kW	Pr kW	Pa kW	Pc kW	Pt kW	Pr kW	Pa kW	Pc kW	Pt kW		
40Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	5.2	1.9	6.2	1.0	4.8	2.1	5.8	1.2	4.4	2.4	5.2	1.6	4.1	2.7	4.8	2.0	3.8	3.0	4.2	2.7	3.5	3.5	3.4	3.6	
		-4	5.8	1.9	6.9	0.9	5.4	2.1	6.2	1.2	5.0	2.4	5.8	1.6	4.7	2.7	5.4	2.0	4.3	3.0	4.7	2.7	4.0	3.6	3.8	3.6	
		-2	6.8	1.9	7.8	0.8	6.2	2.1	7.1	1.2	5.7	2.4	6.7	1.6	5.4	2.7	6.1	2.0	5.0	3.0	5.4	2.7	4.5	3.5	4.4	3.7	
		0	7.8	1.9	8.7	0.8	6.8	2.1	7.9	1.1	6.4	2.5	7.4	1.5	6.0	2.8	6.7	2.0	5.6	3.1	5.9	2.7	5.1	3.5	4.8	3.7	
	pure water	2	8.2	1.9	9.3	0.8	7.4	2.1	8.5	1.0	6.9	2.5	7.9	1.5	6.5	2.8	7.2	2.0	6.0	3.1	6.4	2.8	5.5	3.5	5.2	3.8	
		5	9.2	1.9	10.4	0.8	8.3	2.1	9.4	1.1	7.8	2.5	8.8	1.5	7.3	2.8	8.0	2.1	6.8	3.1	7.8	2.9	6.2	3.5	5.7	4.0	
		6	10.0	1.9	11.1	0.7	9.0	2.2	10.1	1.1	8.4	2.5	9.5	1.5	7.9	2.8	8.8	2.1	7.3	3.1	7.8	2.9	6.6	3.5	6.2	4.0	
		7	10.4	1.9	11.5	0.6	9.4	2.1	10.4	1.1	8.8	2.5	9.7	1.5	8.2	2.8	8.9	2.1	7.6	3.1	7.9	2.9	6.9	3.5	6.4	4.0	
		8	11.5	1.9	12.2	0.6	9.9	2.2	11.0	1.1	9.3	2.5	10.3	1.5	8.7	2.8	9.4	2.1	8.1	3.1	8.3	2.9	7.3	3.5	6.8	4.0	
		10	12.1	1.9	13.2	0.6	11.0	2.2	12.0	1.1	10.3	2.5	11.2	1.6	9.8	2.8	10.3	2.2	8.9	3.1	9.0	3.0	8.0	3.5	7.4	4.2	
	50Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	6.8	2.3	7.7	1.2	6.0	2.6	7.0	1.6	5.5	3.0	6.8	1.9	5.5	3.3	6.4	2.4	4.8	3.7	5.3	3.2	4.4	4.4	4.2	4.6
			-4	7.4	2.3	8.8	1.1	6.7	2.6	7.8	1.5	6.2	3.0	7.4	1.9	5.8	3.3	6.7	2.4	5.4	3.7	5.9	3.2	5.0	4.3	4.7	4.0
			-2	8.8	2.3	9.8	1.1	7.7	2.6	8.9	1.4	7.2	3.0	8.4	1.8	6.7	3.4	7.7	2.4	6.2	3.8	6.8	3.2	5.7	4.4	5.4	4.8
0			9.5	2.4	10.9	1.0	8.8	2.6	9.9	1.3	8.0	3.1	9.3	1.8	7.3	3.4	8.5	2.4	6.9	3.8	7.5	3.2	6.4	4.4	6.0	4.7	
pure water		2	10.3	2.3	11.7	0.9	9.3	2.6	10.6	1.2	8.7	3.1	10.0	1.8	8.1	3.4	9.1	2.4	7.5	3.8	8.0	3.3	6.9	4.4	6.5	4.8	
	5	11.8	2.3	13.0	0.9	10.4	2.6	11.8	1.3	9.8	3.1	11.0	1.8	9.1	3.5	10.1	2.5	8.5	3.9	8.9	3.5	7.8	4.4	7.2	5.0		
	6	12.9	2.4	14.0	0.9	11.3	2.7	12.7	1.3	10.6	3.1	11.9	1.8	9.9	3.5	10.8	2.5	9.2	3.9	9.6	3.5	8.4	4.4	7.8	5.0		
	7	13.0	2.4	14.4	0.9	11.7	2.7	13.1	1.3	11.0	3.1	12.2	1.8	10.2	3.5	11.2	2.5	9.5	3.9	9.9	3.5	8.7	4.4	8.0	5.1		
	8	13.8	2.4	15.3	0.9	12.3	2.7	13.9	1.3	11.7	3.2	13.0	1.9	10.9	3.5	11.9	2.5	10.1	3.9	10.4	3.5	9.2	4.4	8.5	5.1		
	10	15.2	2.3	16.6	0.9	13.7	2.7	15.1	1.3	12.9	3.1	14.1	1.8	12.0	3.5	12.8	2.6	11.1	3.9	11.3	3.6	10.1	4.4	9.2	5.3		
60Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	8.8	2.9	9.4	1.4	7.2	3.2	8.5	2.0	6.7	3.7	8.9	2.4	6.2	4.1	7.4	2.9	5.8	4.6	6.5	3.9	5.4	5.4	5.1	5.6	
		-4	9.6	2.9	10.5	1.4	8.2	3.2	9.5	1.9	7.8	3.7	9.0	2.3	7.0	4.1	8.2	2.9	6.6	4.6	7.2	4.0	6.1	5.5	5.9	5.7	
		-2	10.4	2.9	12.0	1.3	9.4	3.2	10.9	1.7	8.7	3.7	10.2	2.2	8.1	4.1	9.3	2.9	7.5	4.8	8.2	4.0	6.9	5.4	6.8	5.7	
		0	11.2	2.9	13.2	1.3	10.4	3.2	12.0	1.6	9.7	3.8	11.3	2.2	9.0	4.2	10.3	3.0	8.4	4.7	9.1	4.0	7.7	5.4	7.3	5.9	
	pure water	2	12.5	2.9	14.3	1.1	11.2	3.2	13.0	1.5	10.5	3.8	12.1	2.2	9.8	4.2	11.1	3.0	8.7	4.7	9.8	4.1	8.3	5.4	7.9	5.9	
		5	14.0	2.9	16.8	1.1	12.7	3.2	14.4	1.6	11.9	3.8	13.4	2.3	11.1	4.3	12.2	3.1	10.3	4.8	10.9	4.3	9.4	5.5	9.7	6.2	
		6	15.2	2.9	17.0	1.1	13.7	3.2	15.4	1.6	12.8	3.9	14.4	2.3	12.0	4.3	13.3	3.1	11.1	4.8	11.9	4.3	10.1	5.5	9.4	6.2	
		7	15.7	2.9	17.5	1.1	14.2	3.2	15.9	1.6	13.3	3.9	14.9	2.3	12.4	4.3	13.8	3.1	11.5	4.8	12.0	4.3	10.5	5.4	9.7	6.2	
		8	16.7	3.0	18.6	1.1	15.1	3.2	16.9	1.6	14.1	3.9	15.8	2.3	13.2	4.3	14.4	3.1	12.2	4.8	12.7	4.3	11.1	5.5	10.3	6.3	
		10	18.4	2.9	20.2	1.1	16.8	3.2	18.5	1.6	15.8	3.9	17.1	2.3	14.5	4.3	15.8	3.2	13.5	4.8	13.8	4.5	12.3	5.4	11.2	6.5	
	70Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	9.4	3.4	11.2	1.6	8.8	3.8	10.2	2.2	7.9	4.4	9.8	2.7	7.3	4.8	8.8	3.3	6.8	5.4	7.8	4.4	6.2	6.1	6.3	6.0
			-4	10.7	3.4	12.5	1.6	9.7	3.8	11.2	2.1	8.9	4.3	10.7	2.6	8.3	4.8	9.8	3.3	7.7	5.4	8.8	4.5	7.0	6.1	7.0	6.1
			-2	12.2	3.4	14.3	1.6	11.1	3.8	13.0	1.8	10.3	4.6	12.2	2.4	9.8	4.9	11.2	3.3	8.9	5.4	9.9	4.5	8.1	6.1	8.1	6.1
0			13.7	3.5	15.8	1.3	12.3	3.8	14.4	1.7	11.5	4.4	13.6	2.4	10.7	4.9	12.3	3.3	9.9	5.5	10.9	4.6	9.0	6.2	8.9	6.3	
pure water		2	14.8	3.4	17.0	1.3	13.3	3.8	15.5	1.7	12.4	4.5	14.9	2.4	11.8	5.0	13.3	3.3	10.8	5.5	11.7	4.6	9.7	6.2	9.8	6.3	
	5	16.6	3.5	18.9	1.2	15.0	3.9	17.1	1.7	14.0	4.5	16.0	2.5	13.1	5.0	14.8	3.5	12.1	5.6	12.9	4.8	11.0	6.2	10.6	6.6		
	6	18.0	3.5	20.3	1.2	16.2	3.9	18.4	1.7	15.2	4.6	17.2	2.5	14.1	5.1	15.7	3.5	13.2	5.7	14.2	4.7	11.8	6.3	11.4	6.6		
	7	18.6	3.5	20.9	1.2	16.8	3.9	19.0	1.7	15.7	4.6	17.8	2.5	14.7	5.1	16.2	3.5	13.7	5.7	14.7	4.7	12.2	6.2	11.8	6.7		
	8	19.8	3.5	22.2	1.2	17.9	3.9	20.1	1.7	16.7	4.6	18.8	2.5	15.6	5.1	17.2	3.5	14.7	5.8	15.8	4.7	13.0	6.3	12.5	6.8		
	10	21.8	3.5	24.1	1.2	19.7	3.9	21.9	1.8	18.4	4.6	20.4	2.6	17.2	5.1	18.7	3.8	16.1	5.7	18.9	4.9	14.3	6.2	13.6	7.0		
	12	23.8	3.4	25.8	1.2	21.3	3.8	23.4	1.7	20.9	4.6	21.9	2.7	18.6	5.1	20.0	3.7	17.4	5.7	19.2	5.0	15.5	6.2	14.5	7.1		
	15	24.8	3.6	27.7	0.9	23.5	3.9	25.8	1.8	22.1	4.6	23.9	2.6	20.6	5.1	21.8	3.8	18.4	5.8	20.2	5.0	17.5	6.2	16.5	7.2		

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας CIAT

Από τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας βρίσκουμε:

- A. Παροχή αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη.
- B. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.
- Γ. Μήκος Εναλλάκτη.

4.7.2. Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη:

Στο γήινο εναλλάκτη το χειμώνα απορροφάται η ισχύς Q_{hf} .

Στο γήινο εναλλάκτη το θέρος απορρίπτεται η ισχύς Q_{hc} .

$$Q = m_c \times \rho \times \Delta\Theta$$

Χειμώνας

$$Q_{hf} \text{ (kW)} = m \times c_p \times 5K \Rightarrow m = \dots \text{m}^3/\text{h}$$

Θέρος

$$Q_{hc} \text{ (kW)} = m \times c_p \times 5K \Rightarrow m = \dots \text{m}^3/\text{h}$$

Στο σημείο αυτό διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού.

4.7.3. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση

$$V/t = (m/t)/\rho$$

Η ταχύτητα της ροής σχετίζεται με τη διατομή και τη διάμετρο της σωλήνωσης από τη σχέση:

$$U = 4 \times (V/t)/(\pi \times D^2)$$

Από την παραπάνω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec.

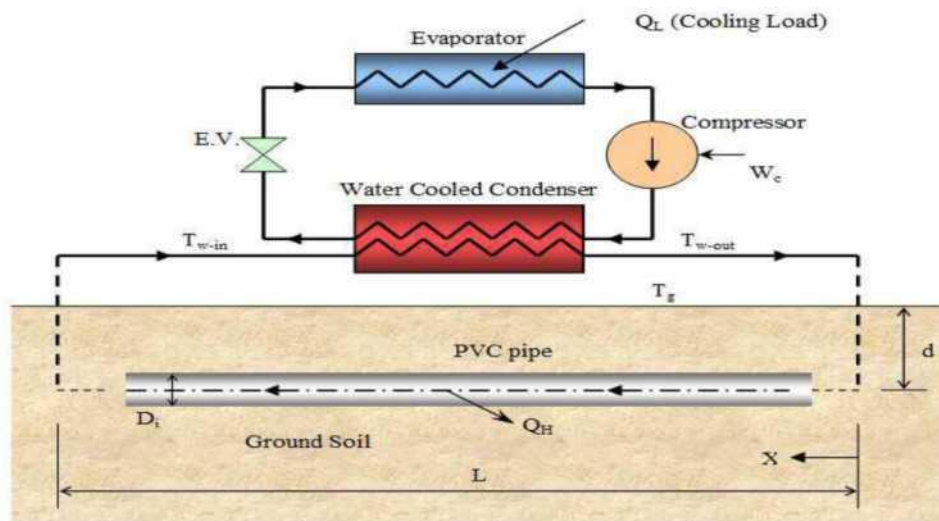
Υποθέτοντας οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου D_i και εξωτερικής διαμέτρου D_o όπου θάβεται σε βάθος d από την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην εικόνα 3, οι Θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος σωλήνα για τη μεταφορά νερού θα είναι:

$$R_{conv} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_w}$$

$$R_{pipe} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{pipe}}$$

$$R_{soil} = \frac{1}{S \cdot K_{soil}}$$

$$R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil}$$



Εικόνα 5.δδδ

Όπου $S = 2\pi/[ln [(2d/D_o) + \text{SQRT}[(2d/D_o)^2 - 1]]]$

h_w : Συντελεστής συναγωγής νερού.

k_{pipe} : Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του σωλήνα.

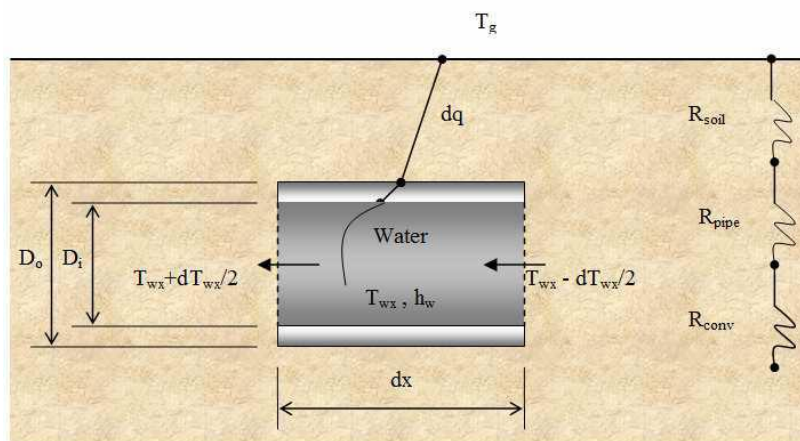
k_{soil} : Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εδάφους.

4.7.4. Μήκος Εναλλάκτη

$$L = (m_w \times C_w \times R_{\text{total}}) \times \ln(\theta_{\text{win}}/\theta_{\text{wout}})$$

θ_{win} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη.

θ_{wout} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη.



Εικόνα 5.φφ

Μετά τους υπολογισμούς για κάθε περίοδο, διαπιστώνουμε μια διαφορά στο μήκος του εναλλάκτη. Για την κάλυψη όλων των αναγκών της κατοικίας (χειμώνα + θέρος) επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος.

4.7.5. Κάθετο κλειστό γεωθερμικό σύστημα.

Χαμηλά στο υπέδαφος λεγόμενο γεωθερμικό στρώμα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στο οποίο βρίσκεται θερμική ενεργεία, ικανή να χρησιμοποιηθεί όλο το χρόνο, με σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε πιθανό τύπο κτηρίου, μικρό ή μεγάλο, δημόσιο ή ιδιωτικό.

Ο κάθετος συλλέκτης απαιτεί μικρή διαμέτρου τρύπα και πολύ μικρή επιφάνεια, γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε ένα οικόπεδο με πολύ μικρή έκταση. Επομένως, ένα σύστημα θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ) που χρησιμοποιεί καθέτους συλλέκτες μπορεί να αντικαταστήσει εύκολα ένα κοινό σύστημα θέρμανσης που τροφοδοτείται από τα ορυκτά καύσιμα.

Μέσα σε ένα κλειστό γεωθερμικό σύστημα με συλλέκτη εδάφους, κυκλοφορεί ένα μείγμα νερού- γλυκόλης.

4.7.6. Διαστασιολόγηση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το ακόλουθο μέγεθος Q_a , το οποίο ονομάζεται «μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος»:

$$Q_a = [(C_{fc} \times q_{lc} \times EFL_{hours_{sc}}) + (C_{fh} \times q_{lh} \times EFL_{hours_{sh}})] / T_a$$

όπου:

- q_{lc} & q_{lh} το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα σε Btu/h (το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο στην ανωτέρω σχέση)
- $EFL_{hours_{sc}}$ και $EFL_{hours_{sh}}$ οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως
- C_{fc} και C_{fh} διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα
- T_a : το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου $EFL_{hours_{sc}}$ και $EFL_{hours_{sh}}$ μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Υπολογίζεται ως εξής:

$$EFL_{\text{hourssc}} = E_c/q_{lc}$$

$$EFL_{\text{hourssh}} = E_h/q_{lh}$$

όπου: q_{lc} & q_{lh} το ονομαστικό (μέγιστο) ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα E_c και E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση.

Διορθωτικοί συντελεστές Cf_c και Cf_h .

Οι διορθωτικοί συντελεστές σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα. Οι τιμές τους, βάσει της μεθόδου της ASHRAE, δίνονται από τον πίνακα:

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
EER (ψύξη)	Q_c	COP (θέρμανση)	Cf_h
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

*Πίνακας 5.5.1 Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας
Πηγή: ASHRAE*

4.7.7. Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από το κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος και την παροχή του μέσου. Η επιλογή της διαμέτρου είναι τέτοια, ώστε συναρτήσει της απαιτούμενης μεταφερόμενης παροχής εντός των σωληνώσεων, η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 - 1,5m/sec, ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή. Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = m \cdot C_V \cdot (t_{wi} - t_{wo}) \quad (\text{υπολογισμός βάσει ψύξης})$$

$$q_{lh} = m \cdot C_V \cdot (t_{wo} - t_{wi}) \quad (\text{υπολογισμός βάσει θέρμανσης})$$

όπου:

m : η παροχή μάζας του νερού μέσα στη σωλήνωση

$C_V = 4,184 \text{ KJoule}/(\text{kgK})$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

t_{wi} : η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη

two: η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη.

Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας $t_{wt} - t_{wo}$ επιλέγεται, από την αντλία θερμότητας του συστήματος, συνήθως να ισούται με 4K. Από τις ανωτέρω σχέσεις, υπολογίζεται τελικά η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης.

4.7.8. Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fc} \cdot q_{lc}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

όπου:

- R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε $hft^{\circ}F/Btu$)
- R_b : θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης (σε $h ft^{\circ}F/Btu$)
- PLF_m : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου
- F_{sc} : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων
- t_g : η θερμοκρασία του εδάφους (σε $^{\circ}F$)
- t_{wi} : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε $^{\circ}F$)
- t_{wo} : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τη γεωθερμική αντλία (σε $^{\circ}F$)
- t_p : διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε $^{\circ}F$)

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του θερμικού φορτίου θα γίνει αντίστοιχα σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε $hft^{\circ}F/Btu$)

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{k_g} \quad R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{k_g} \quad R_{gd} = \frac{G_2}{k_g}$$

όπου:

k_g : η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους σε $Btu/(h ft^{\circ}F)$

G_f , G_1 , G_2 συντελεστές που δίνονται από την παρακάτω σχέση ($i = 1, 2, f$):

$$Gi = 0,0769 \ln (Foi) + 0,0901$$

όπου:

$Foi = 1, 2, f$ αδιάστατοι αριθμοί Fourier.

Ο αδιάστατος αριθμός Fourier ο οποίος αποδεικνύεται τελικά ότι σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$Fo = \frac{4 \cdot \alpha_g \cdot \tau}{d^2}$$

όπου

α_g : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε $ft^2/ημέρα$

τ : χρονική κλίμακα (χρονικός παλμός) επίδρασης της θερμοκρασίας του εδάφους από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε ημέρες

d : η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης του εναλλάκτη σε ft .

4.7.9. Θερμικές αντιστάσεις εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους δεν μένει σταθερή. Για τους οριζόντιους βρόχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά.

Σε όλες τις περιπτώσεις, ο γεωθερμικός εναλλάκτης επηρεάζει τη θερμοκρασία εδάφους ως εξής:

- Μακροπρόθεσμη Επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Για παράδειγμα, η επίγεια θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά $6^\circ F$ σε 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται από τον εναλλάκτη.
- Ετήσια Επίδραση. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση.
- Βραχυπρόθεσμη Επίδραση. Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα. Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.

Επομένως οι τρεις αυτές χρονικές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα που μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων. Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίστασης R_{ga} (ετήσια), R_{gm} (μηνιαία) και R_{gd} (καθημερινή), που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς:

- ένα δεκαετή παλμό των 3.650 ημερών
- ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών
- ένα δωρο παλμό του 25% της ημέρας.

Οι τρεις αυτοί χρόνοι ορίζονται ως εξής:

$$T1 = 3.650 \text{ ημέρες}$$

$$T2 = 3.650 + 30 = 3.680 \text{ ημέρες}$$

$$Tf = 3.650 + 30 + 0,25 = 3.680,25 \text{ ημέρες.}$$

4.7.10. Θερμική αντίσταση σωλήνωσης

Η θερμική αντίσταση της σωλήνωσης και της γεώτρησης είναι συνάρτηση αφενός του υλικού και του πάχους της σωλήνωσης και αφετέρου του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης. Εκφράζει την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας από το ρευστό εντός του εναλλάκτη προ το έδαφος, διαμέσου της σωλήνωσης και της γεώτρησης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται δίνει τους πίνακες του παραρτήματος για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης σωλήνωσης – γεώτρησης. Μετατροπές μονάδων:

$$1 \text{ gallon} = 3,785 \text{ lt}$$

$$1 \text{ gpm (gallon per minute)} = 3,785 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / 60 \text{ sec}$$

$$1 \text{ gpm} = 0,0631 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec.}$$

4.7.11. Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων F_{sc} , που εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Παροχή ανά σωλήνωση (gpm)	Αριθμός Βρόγχων ανά γεώτρηση		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

Πίνακας 5.5.2 Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}

4.7.12. Θερμοκρασία εδάφους

Η θερμοκρασία εδάφους είναι ισχυρά εξαρτώμενη από τη γεωγραφική περιοχή της μελέτης. Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5m, ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω των 31m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.

Όλα αυτά εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους. Από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται για το υπέδαφος της Αθήνας μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με $67^\circ\text{F} = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Μετατροπές μονάδων: $\Theta (^\circ\text{C}) = [\Theta (^\circ\text{F}) - 32] \cdot 5/9$

4.7.13. Θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου υγρού

Οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του υγρού στο γεωθερμικό εναλλάκτη εξαρτώνται από τη ρύθμιση της αντλίας θερμότητας και από τη θερμοκρασία του εδάφους.

Έστω ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε $t_{wi} - t_{wo} = 4 ^\circ\text{C}$.

Η θερμοκρασία t_{wi} κατά τη διαδικασία της ψύξης μπορεί να πάρει τιμές από 80 έως 95°F.

Τούτο ρυθμίζεται επίσης από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής. Η θερμοκρασία κατά τη διαδικασία της θέρμανσης μπορεί να πάρει τιμές από 35 έως 60°F.

Τούτο ρυθμίζεται επίσης από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής. Η θερμοκρασία υπολογίζεται αντίστοιχα από τη ρυθμισμένη θερμοκρασιακή διαφορά $t_{wi} - t_{wo}$.

- Η θερμοκρασία t_{wo} κατά την ψύξη δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία εδάφους.
- Η θερμοκρασία t_{wo} κατά τη θέρμανση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εδάφους.

Η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για τις γεωτρήσεις βασίζεται κατά πολύ στην εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της μεθόδου της ASHRAE (βλέπε παράρτημα) που παρουσιάζεται γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή αυτού και συγκρίνεται το αναμενόμενο βάθος με το εξαγόμενο από τους υπολογισμούς. Έχοντας πλέον υπολογίσει και επιλέξει όλα τα απαιτούμενα μεγέθη, μπορούμε να υπολογίσουμε το βάθος γεώτρησης.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ - ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ (ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ) ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ (ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΡΙΟΥ ΑΧΑΙΑΣ

5.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ:

Η κατοικία βρίσκεται στο Ρίο λίγο έξω από την πόλη της Πάτρας. Το εμβαδόν της είναι 134 τ.μ το οποίο βρίσκεται στο πάνω άκρο οικοπέδου 432 τ.μ.. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την διαστασιολόγηση και εφαρμογή και του οριζοντίου γεωεναλλάκτη όπου απαιτεί αρκετά μεγάλο χώρο για την εφαρμογή του.

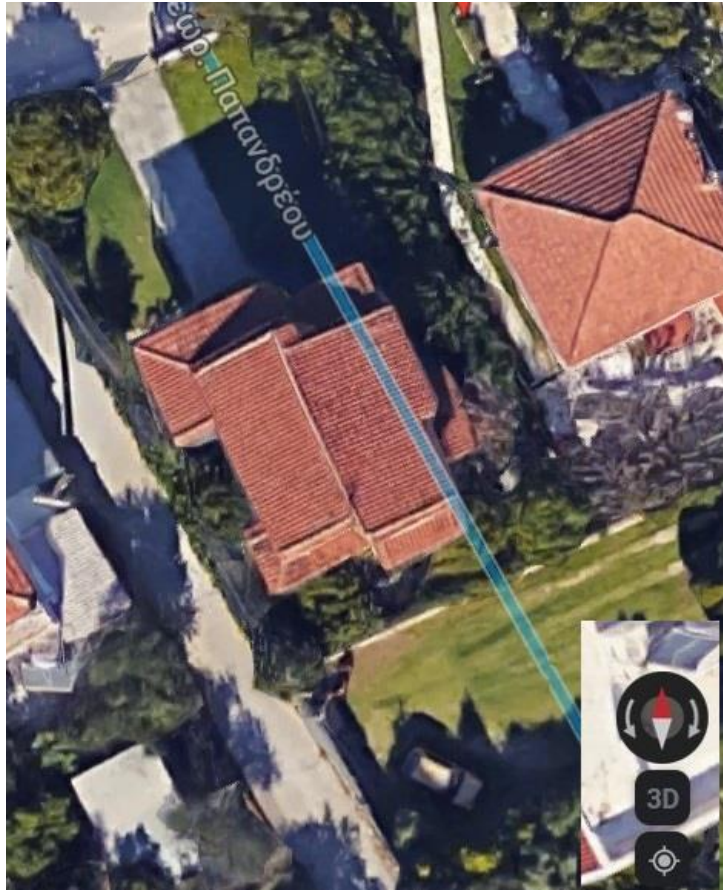
Παρακάτω φαίνονται κατόψεις του οικοπέδου συμπεριλαμβανομένης της κατοικίας, κάτοψη του πρώτου ορόφου και του ισογείου. Επίσης παρατίθενται μερικές φωτογραφίες της οικίας σε πρόσοψη και πλάγια όψη.

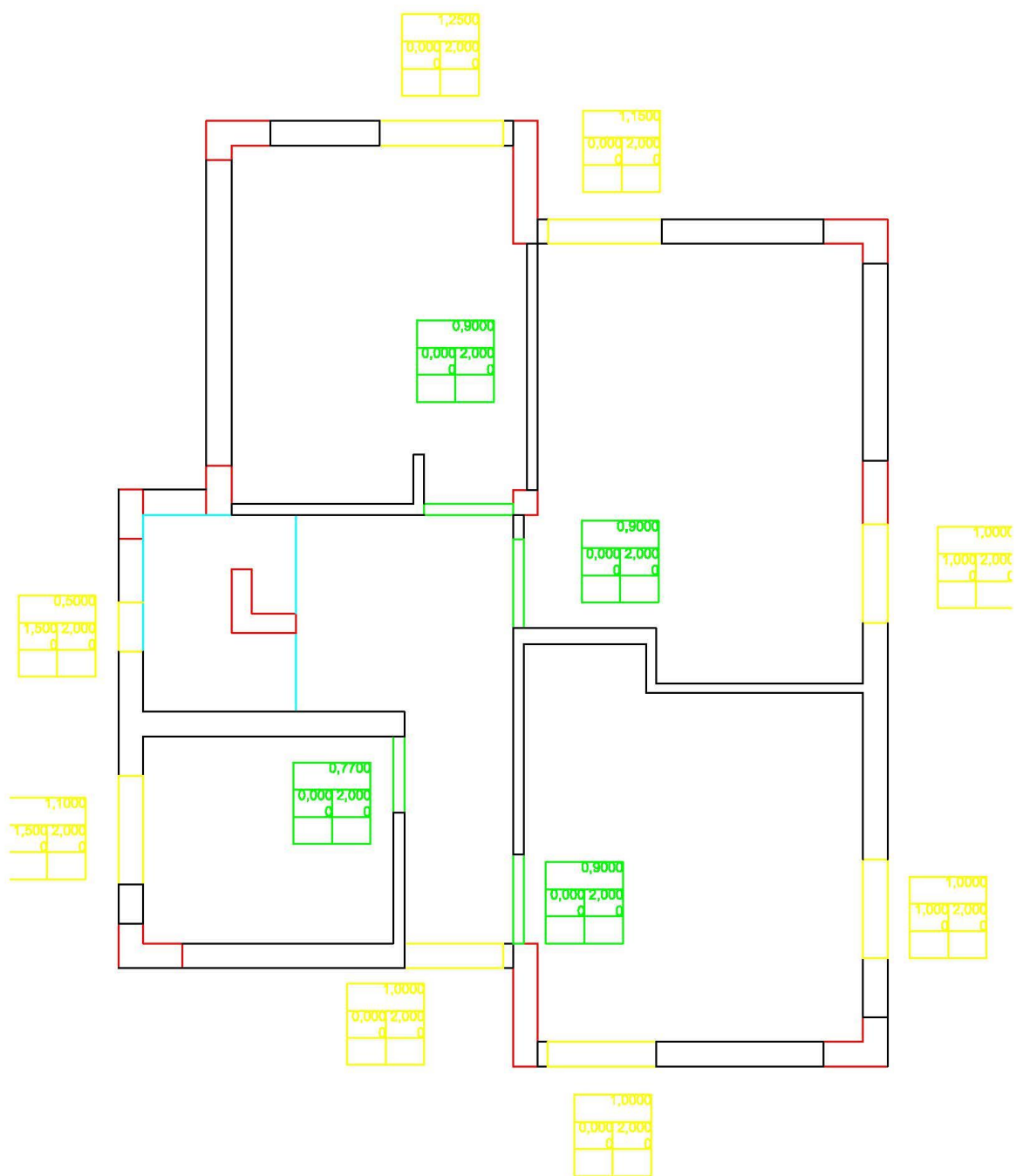


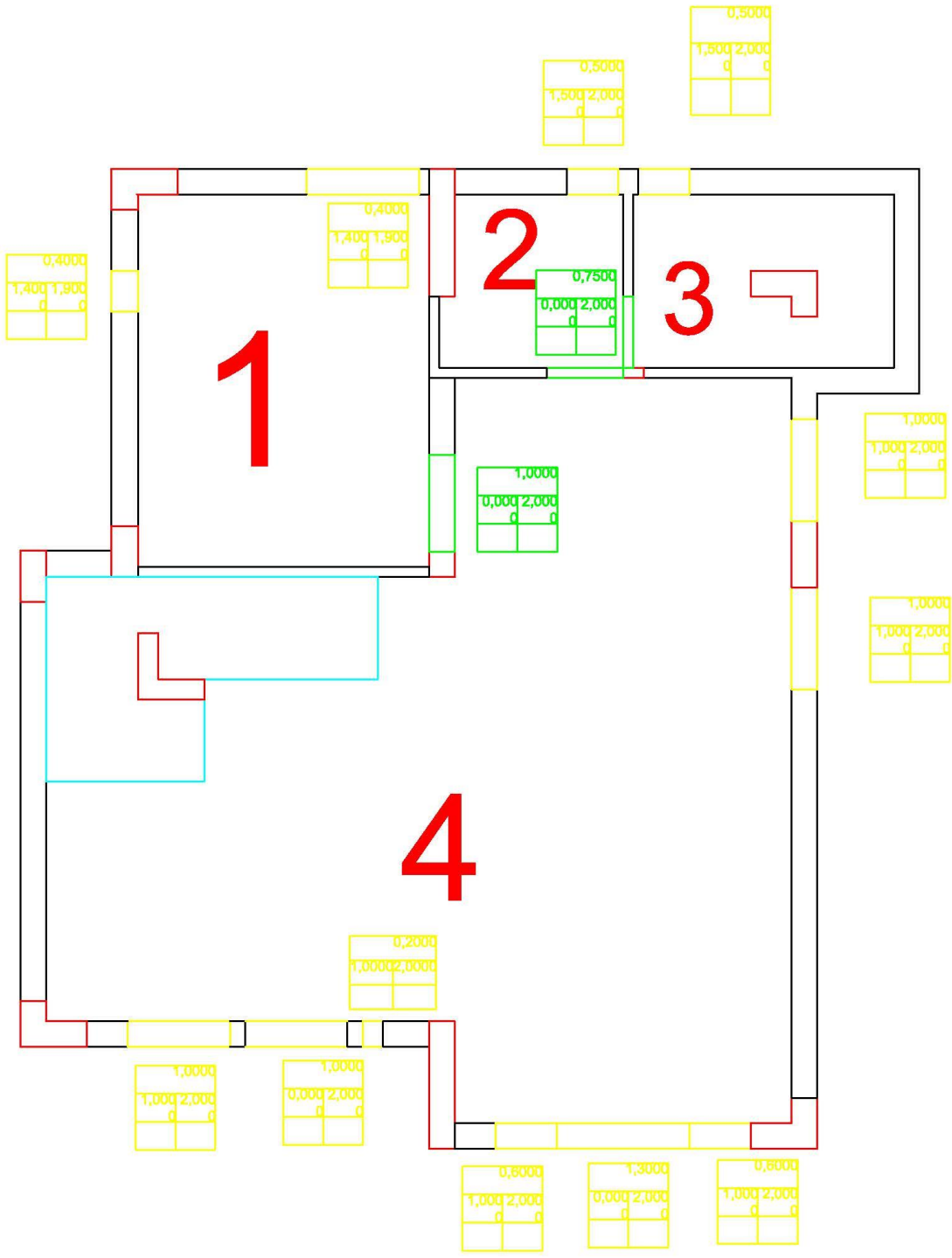


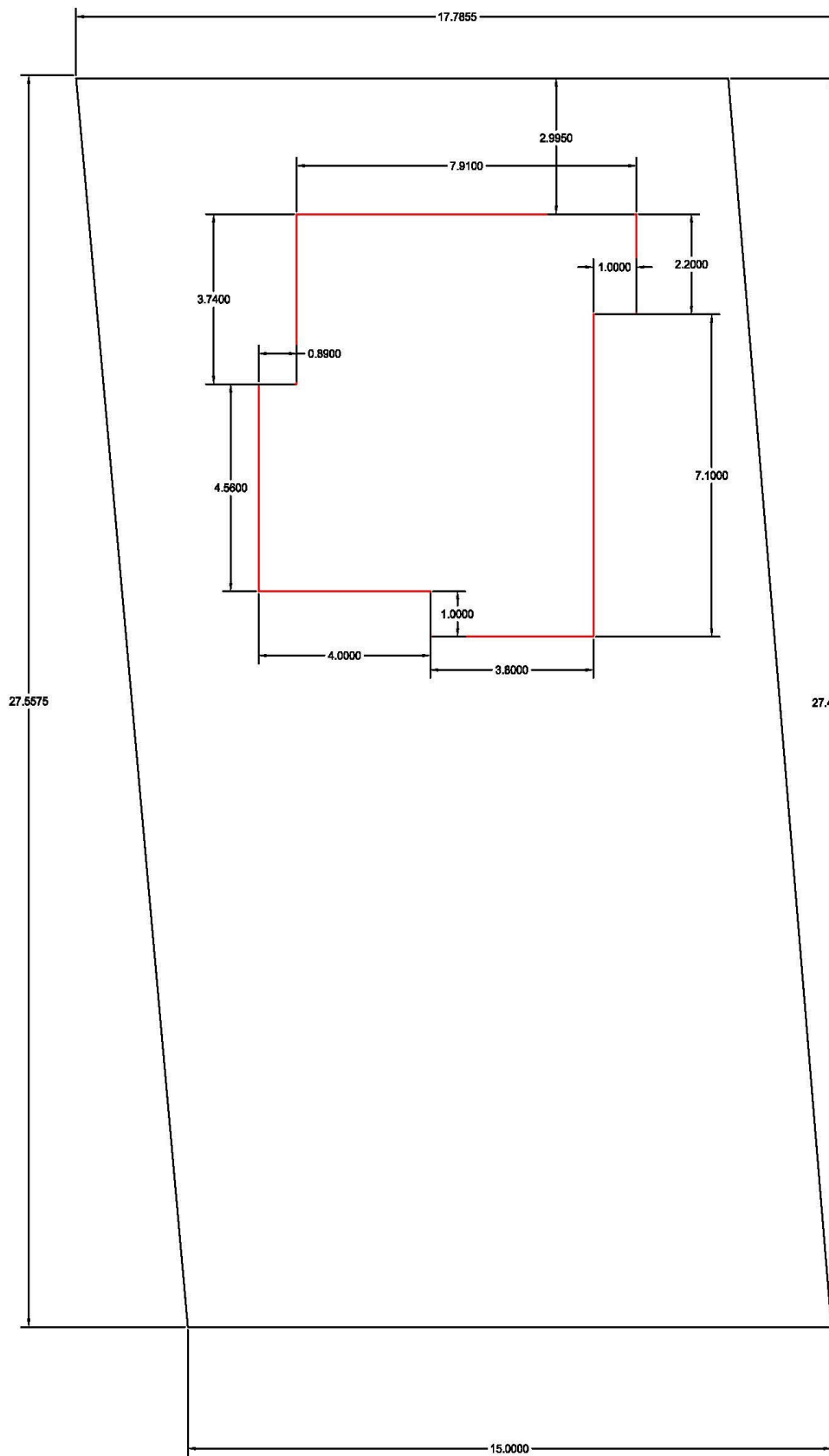
5.2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Το οικοπέδο είναι βορινό και το κτίριο εδραιωμένο στο άνω άκρο του οικοπέδου προς το βορρά. Αποκλείει από τον Βορρά κατά -30 μοίρες. Δηλαδή στην ουσία ο προσανατολισμός του έχει 330 μοίρες αλλά λέμε -30 για να καταλάβει ο αναγνώστης ότι είναι αριστερά του Βορρά.









Σχήμα 6.1 Κάτοψη υπό μελέτη κατοικίας.

Είναι μονοκατοικία και υπάρχει μια οικογένεια 4 ατόμων που διαμένει σε αυτή. Έχει ισόγειο και πρώτο όροφο και διαθέτει 3 υπνοδωμάτια, 2 λουτρά, κουζίνα, και έναν ενιαίο χώρο ο οποίος αποτελείται από ένα μεγάλο σαλόνι, ένα μικρό καθιστικό και ένα γραφείο. Το κτίριο διαθέτει κεραμοσκεπή.

Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος είναι το εξής 38°18'17.0" και 21°47'36.2". Ανατολικά και δυτικά βρίσκονται γειτονικές κατοικίες και το κτίριο βρίσκεται σε διασταύρωση. Δεν εφάπτεται με γειτονικό κτίριο. Στην νότια πλευρά υπάρχει το υπόλοιπο οικόπεδο, και δεν υπάρχει καθόλου σκίαση. Τα διπλανά σπίτια δεν σκιάζουν καθόλου το οικόπεδο καθώς υπάρχει απόσταση μεταξύ τους.

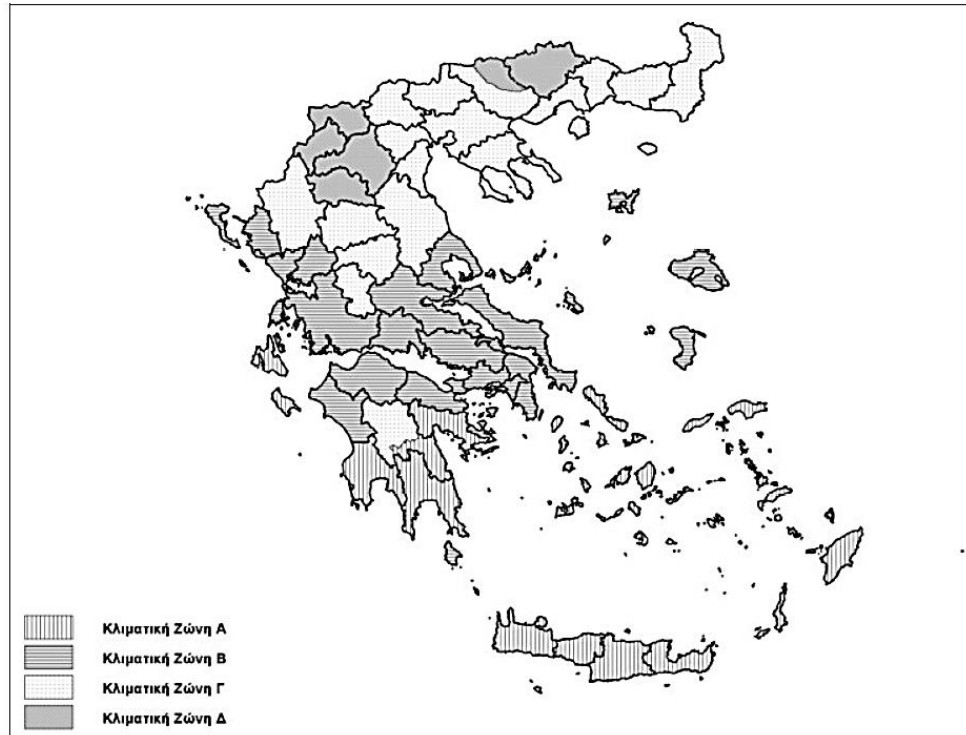
5.3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Εδώ παραθέτουμε τα κλιματολογικά δεδομένα της Πάτρας. Όσο αφορά τις καιρικές συνθήκες, δεν έχουμε ακραία φαινόμενα όπως στην βόρεια και ηπειρωτική χώρα. Έχουμε όμως σχετικά πολλές βροχές και συννεφιές σε σχέση με τους υπόλοιπους νομούς. Υγρασία αρκετή, αλλά και ζεστό θέρος. Τα παρακάτω δεδομένα προέρχονται από την TOTEE 20701-3/2010.

ΠΑΤΡΑ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία θερμοκρασία εικοσιτετραώρου	10,0	10,6	12,5	15,6	20,1	24,1	26,4	26,7	23,5	19,0	14,5	11,4
Μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας	11,4	11,9	13,8	16,8	21,3	25,3	27,5	28,0	24,9	20,5	16,0	12,8
Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία	14,5	15,0	16,8	19,7	24,2	28,0	30,1	30,9	28,2	24,1	19,5	16,1
Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία	6,1	6,4	7,7	10,2	13,9	17,4	19,4	19,6	17,2	13,8	10,3	7,6
Μέση απολύτως μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία	19,0	20,1	23,0	25,1	30,1	33,5	35,2	35,8	32,7	29,6	24,6	20,8
Μέση απολύτως ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία	-0,4	0,5	2,0	5,7	9,4	13,5	16,0	16,3	13,0	8,4	4,0	1,5
Βαθμομέρες θέρμανσης σε θ αναφοράς	248	207	171	72							105	205
Μέση μηνιαία σχετική υγρασία	69,1	67,4	67,1	66,4	64,5	61,9	59,8	59,3	63,0	66,9	70,9	71,2
Μέση μηνιαία ειδική υγρασία	5,2	5,3	6,0	7,2	9,4	11,5	12,7	12,8	11,3	9,1	7,2	5,9
Μέση ταχύτητα του ανέμου	2,5	2,6	2,6	2,6	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,3	2,4
Μέση θερμοκρασία νερού δικτύου	12,8	12,3	12,9	14,8	17,6	21,5	24,4	25,6	25,0	22,3	18,2	15,0
Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο	55,0	72,0	124,0	147,0	200,0	215,0	218,0	197,0	153,0	107,0	66,0	53,0

Μέση μηνιαία διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο	23,9	31,3	50,5	65,3	82,1	85,7	85,3	73,6	55,4	39,8	25,9	21,5
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Πίνακας 1: Κλιματολογικά δεδομένα Πάτρας



Εικόνα 5.2: Κλιματολογικές ζώνες σύμφωνα με τον Κ.Εν.ΑΚ

5.4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ, ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ - ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Με χρήση του προγράμματος excel και σύμφωνα με τα δομικά χαρακτηριστικά, τα αρχιτεκτονικά σχέδια καθώς και την περιοχή στην οποία βρίσκεται η κατοικία, έγινε ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών και των ψυκτικών φορτίων αυτής.

5.4.1. Ισόγειο – θερμικές απώλειες

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣ/ΣΜ	ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΣ /ΠΛΑΤΟΣ	ΑΡ. ΣΤΟΙΧΕΙ ΩΝ	ΕΜΒΑΔΟ	ΕΜΒΑΔΟ ΤΕΛΙΚΟ	U (W/m ² K)	Τεπιθ	Τπεριβ	ΔΤ	Q (Watt)
ΔΩΜΑΤΙΟ 1											
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	2,85	3,00	1,00	8,55	6,30	0,50	20,00	-1,00	21,00	66,15
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,50	1,00	0,25	0,25	2,48	20,00	-1,00	21,00	13,02
ΔΑΠΕΔΟ		2,85	2,20	1,00	6,27	6,27	1,1	20	9	11,00	75,87
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	2,20	3,00	1,00	6,60	6,60	0,50	20,00	-1,00	21,00	69,30
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	31,50
											255,84
ΔΩΜΑΤΙΟ 2											
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	7,40	3,00	1,00	22,20	20,20	0,50	20,00	-1,00	21,00	212,10
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,48	20,00	-1,00	21,00	104,16
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	3,80	3,00	1,00	11,40	7,60	0,50	20,00	-1,00	21,00	79,80
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΑ	0,60	1,00	2,00	1,20	1,20	2,48	20,00	-1,00	21,00	62,50
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,30	2,00	1,00	2,60	2,60	2,85	20,00	-1,00	21,00	155,61
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	31,50
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	4,00	3,00	1,00	12,00	9,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	94,50
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	20,00	-1,00	21,00	119,70
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΑ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,48	20,00	-1,00	21,00	52,08
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	4,86	3,00	1,00	14,58	14,58	0,50	20,00	-1,00	21,00	153,09
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	0,89	3,00	1,00	2,67	2,67	0,50	20,00	-1,00	21,00	28,04
ΔΑΠΕΔΟ		45,51	1,00	1,00	45,51	45,51	1,1	20	9	11,00	550,65
											1643,72
ΔΩΜΑΤΙΟ 3											
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	3,74	3,00	1,00	11,22	11,02	0,50	20,00	-1,00	21,00	115,71
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	0,50	0,40	1,00	0,20	0,20	2,48	20,00	-1,00	21,00	10,42
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	3,11	3,00	1,00	9,33	9,13	2,48	20,00	-1,00	21,00	475,49
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,40	1,00	0,20	0,20	2,48	20,00	-1,00	21,00	10,42
ΔΑΠΕΔΟ		3,11	3,74	1,00	11,63	11,63	1,1	20	9	11,00	140,72
											752,76
ΔΩΜΑΤΙΟ 4											
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	1,94	3,00	1,00	5,83	5,58	2,48	20,00	-1,00	21,00	290,71
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,50	1,00	0,25	0,25	2,48	20,00	-1,00	21,00	13,02
ΔΑΠΕΔΟ	-	1,94	2,20	1,00	4,27	4,27	1,10	20,00	9,00	11,00	51,64
											355,37
ΣΥΝΟΛΑ											3007,68

5.4.2. Α' όροφος – θερμικές απώλειες

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣ/ΣΜ	ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΣ /ΠΛΑΤΟΣ	ΑΡ. ΣΤΟΙΧΕΙ ΩΝ	ΕΜΒΑΔΟ	ΕΜΒΑΔΟ ΤΕΛΙΚΟ	U (W/m2K)	Τεπιθ	Τπεριβ	ΔΤ	Q (Watt)
ΔΩΜΑΤΙΟ 1											
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	3,55	3,00	1,00	10,65	8,35	0,50	20,00	-1,00	21,00	87,68
ΠΟΡΤΑ	ΒΔ	1,15	2,00	1,00	2,30	2,30	2,85	20,00	-1,00	21,00	137,66
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	4,81	3,00	1,00	14,43	13,43	0,50	20,00	-1,00	21,00	141,02
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,48	20,00	-1,00	21,00	52,08
ΟΡΟΦΗ		3,55	4,81	1,00	17,08	17,08	1,52	20,00	-1,00	21,00	545,19
											963,62
ΔΩΜΑΤΙΟ 2											
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	3,79	3,00	1,00	11,37	10,37	0,50	20,00	-1,00	21,00	108,89
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,48	20,00	-1,00	21,00	52,08
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	3,80	3,00	1,00	11,40	9,40	0,50	20,00	-1,00	21,00	98,70
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	20,00	-1,00	21,00	119,70
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	31,50
ΟΡΟΦΗ		3,79	3,80	1,00	14,40	14,40	1,52	20,00	-1,00	21,00	459,65
											870,51
ΔΩΜΑΤΙΟ 3											
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	4,00	3,00	1,00	12,00	12,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	126,00
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	2,46	3,00	1,00	7,38	6,83	0,50	20,00	-1,00	21,00	71,72
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	1,10	0,50	1,00	0,55	0,55	2,48	20,00	-1,00	21,00	28,64
ΟΡΟΦΗ		4	2,46	1,00	9,84	9,84	1,52	20,00	-1,00	21,00	314,09
											540,45
ΔΩΜΑΤΙΟ 4											
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	2,40	3,00	1,00	7,20	6,95	0,50	20,00	-1,00	21,00	72,98
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	0,50	0,50	1,00	0,25	0,25	2,48	20,00	-1,00	21,00	13,02
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	31,50
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	20,00	-1,00	21,00	119,70
ΟΡΟΦΗ	-	12,06	1,00	1,00	12,06	12,06	1,52	20,00	-1,00	21,00	384,96
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	0,89	3,00	1,00	2,67	2,67	0,50	20,00	-1,00	21,00	28,04
											650,19
ΔΩΜΑΤΙΟ 5											
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	3,74	3,00	1,00	11,22	11,22	0,50	20,00	-1,00	21,00	117,81
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	3,36	3,00	1,00	10,08	8,08	0,50	20,00	-1,00	21,00	84,84
ΠΟΡΤΑ	ΒΔ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	20,00	-1,00	21,00	119,70
ΟΡΟΦΗ	-	3,36	3,74	1,00	12,57	12,57	1,52	20,00	9,00	11,00	210,11
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	20,00	-1,00	21,00	31,50
											563,96
ΣΥΝΟΛΑ											3588,73

5.4.3. Ισόγειο και Α' όροφος – απώλειες από διείσδυση

ΑΝΟΙΓΜΑ	ΠΡΟΣ/ΜΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΩΛΕΙΣ	
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,50	1,00	2	ΑΠΟ	
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	2,00	8	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ	
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΑ	0,60	1,00	2,00	6,4		
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	6		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΑ	1,00	1,00	1,00	4		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	0,50	0,40	1,00	1,8		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,40	1,00	1,8	ΙΣΟΓΕΙΟ	
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,50	1,00	2	32	640
ΠΟΡΤΑ	ΒΔ	1,15	2,00	1,00	6,3		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	1,00	4		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	1,00	4		
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	6		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	1,10	0,50	1,00	3,2		
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	0,50	0,50	1,00	2		
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	6	Α ΟΡΟΦΟΣ	
ΠΟΡΤΑ	ΒΔ	1,00	2,00	1,00	6	37,5	750

5.4.4. Ισόγειο – θερμικά κέρδη (συναγωγή και ακτινοβολία)

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣ/ΣΜΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΣ /ΠΛΑ ΤΟΣ	ΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙ ΩΝ	ΕΜΒΑΔΟ	ΕΜΒΑΔΟ ΤΕΛΙΚΟ	U (W/m ² K)	Τεπιθ	Τπεριβ	ΔΤ	Q (Watt)	CLTD	ΩΡΑ	LM	K	ΜΗΝΑΣ	CLF	SHGF	Q ΑΚΤΙΝ	ΩΡΑ	ΜΗΝΑΣ
ΔΩΜΑΤΙΟ 1																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	2,85	3,00	1,00	8,55	6,30	0,50	26	35,80	12,20	38,43	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,50	1,00	0,25	0,25	2,48	26	35,20	13,30	8,25	8	15				0,54	543	73,31	18	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΔΑΠΕΔΟ		2,85	2,20	1,00	6,27	6,27	1,1	26	35,20	9,20	63,45										
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	2,20	3,00	1,00	6,60	6,60	0,50	26	35,20	10,80	35,64	11	14	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	26	35,20	11,80	17,70	13	10	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					
																					236,77
ΔΩΜΑΤΙΟ 2																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	7,40	3,00	1,00	22,20	20,20	0,50	26	35,20	11,10	112,11	11	14	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,48	26	35,20	13,30	65,97	8	15				0,45	543	488,70	9	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	3,80	3,00	1,00	11,40	7,60	0,50	26	35,20	11,80	44,84	13	10	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΑ	0,60	1,00	2,00	1,20	1,20	2,48	26	35,20	13,30	39,58	8	15				0,56	618	415,30	11	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,30	2,00	1,00	2,60	2,60	2,85	26	35,20	13,30	98,55	8	15				0,56	618	899,81	11	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	26	35,20	12,30	18,45	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	4,00	3,00	1,00	12,00	9,00	0,50	26	35,20	11,80	53,10	13	10	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	26	35,20	13,30	75,81	8	15				0,56	618	692,16	11	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΑ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,48	26	35,20	13,30	32,98	8	15				0,56	618	346,08	11	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	4,86	3,00	1,00	14,58	14,58	0,50	26	35,20	12,30	89,67	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	0,89	3,00	1,00	2,67	2,67	0,50	26	35,20	11,60	15,49	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΔΑΠΕΔΟ		45,51	1,00	1,00	45,51	45,51	1,1	26	35,20	9,20	460,54										
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					
																					3949,13
ΔΩΜΑΤΙΟ 3																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	3,74	3,00	1,00	11,22	11,02	0,50	26	35,20	12,30	67,77	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	0,50	0,40	1,00	0,20	0,20	2,48	26	35,20	13,30	6,60	8	15				0,59	618	72,92	17	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	3,11	3,00	1,00	9,33	9,13	2,48	26	35,20	11,60	262,65	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,40	1,00	0,20	0,20	2,48	26	35,20	13,30	6,60	8	15				0,54	543	58,64	18	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΔΑΠΕΔΟ		3,11	3,74	1,00	11,63	11,63	1,1	26	35,20	9,20	117,70										
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					
																					592,88
ΔΩΜΑΤΙΟ 4																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	1,94	3,00	1,00	5,83	5,58	2,48	26	35,20	11,60	160,58	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΔ	0,50	0,50	1,00	0,25	0,25	2,48	26	35,20	13,30	8,25	8	15				0,54	543	73,31	18	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΔΑΠΕΔΟ		1,94	2,20	1,00	4,27	4,27	1,10	26	35,20	9,20	43,19										
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					
																					285,33
ΣΥΝΟΛΑ																					
																					5064,12

5.4.5. Α' όροφος – θερμικά κέρδη (συναγωγή και ακτινοβολία)

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΡΟΣ/ΣΜΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΥΨΟΣ /ΠΛΑ	ΑΡΙΘΜ ΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙ ΩΝ	ΕΜΒΑΔΟ	ΕΜΒΑΔΟ ΤΕΛΙΚΟ	U (W/m2K)	Τεταθ	Περισθ	ΔΤ	Q (Watt)	CLTD	ΩΡΑ	LM	K	ΜΗΝΑΣ	CLF	SHGF	Q ΑΚΤΙΝ	ΩΡΑ	ΜΗΝΑΣ
ΔΩΜΑΤΙΟ 1																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	3,55	3,00	1,00	10,65	8,35	0,50	26	35,80	12,20	50,94	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΟΡΤΑ	ΒΔ	1,15	2,00	1,00	2,30	2,30	2,85	26	35,20	13,30	87,18	8	15				0,54	543	674,41	18	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	4,81	3,00	1,00	14,43	13,43	0,50	26	35,20	10,80	72,52	11	14	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,48	26	35,20	13,30	32,98	8	15				0,45	543	244,35	9	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΟΡΟΦΗ		3,55	4,81	1,00	17,08	17,08	1,52	26	35,20	14,85	385,53	18	22	1,1	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					1547,91
ΔΩΜΑΤΙΟ 2																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	3,79	3,00	1,00	11,37	10,37	0,50	26	35,20	10,80	56,00	11	14	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΒΑ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,48	26	35,20	13,30	32,98	8	15				0,45	543	244,35	9	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	3,80	3,00	1,00	11,40	9,40	0,50	26	35,20	11,80	55,46	13	10	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	26	35,20	13,30	75,81	8	15				0,56	618	692,16	11	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	26	35,20	12,30	18,45	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΟΡΟΦΗ		3,79	3,80	1,00	14,40	14,40	1,52	26	35,20	14,85	325,04	18	22	1,1	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					1500,25
ΔΩΜΑΤΙΟ 3																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	4,00	3,00	1,00	12,00	12,00	0,50	26	35,20	11,80	70,80	13	10	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	2,46	3,00	1,00	7,38	6,83	0,50	26	35,20	12,30	42,00	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	1,10	0,50	1,00	0,55	0,55	2,48	26	35,20	13,30	18,14	8	15				0,59	618	200,54	17	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΟΡΟΦΗ		4	2,46	1,00	9,84	9,84	1,52	26	35,20	14,85	222,11	18	22	1,1	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					553,60
ΔΩΜΑΤΙΟ 4																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	2,40	3,00	1,00	7,20	6,95	0,50	26	35,20	12,30	42,74	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	ΝΔ	0,50	0,50	1,00	0,25	0,25	2,48	26	35,20	13,30	8,25	8	15				0,59	618	91,16	17	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΑ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	26	35,20	11,80	17,70	13	10	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΟΡΤΑ	ΝΑ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	26	35,20	13,30	75,81	8	15				0,56	618	692,16	11	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΟΡΟΦΗ	-	12,06	1,00	1,00	12,06	12,06	1,52	26	35,20	14,85	272,22	18	22	1,1	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	0,89	3,00	1,00	2,67	2,67	0,50	26	35,80	12,20	16,29	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					1216,32
ΔΩΜΑΤΙΟ 5																					
ΤΟΙΧΟΣ	ΝΔ	3,74	3,00	1,00	11,22	11,22	0,50	26	35,20	12,30	69,00	14	19	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΔ	3,36	3,00	1,00	10,08	8,08	0,50	26	35,80	12,20	49,29	12	8	0,6	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΠΟΡΤΑ	ΒΔ	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,85	26	35,20	13,30	75,81	8	15				0,54	543	586,44	18	ΙΟΥΝΙΟΣ
ΟΡΟΦΗ	-	3,36	3,74	1,00	12,57	12,57	1,52	26	35,20	14,85	283,65	18	22	1,1	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΤΟΙΧΟΣ	ΒΑ	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,50	26	35,20	10,80	16,20	11	14	0	0,5	ΙΟΥΝΙΟΣ					
ΣΥΝΟΛΟ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ																					1080,39
ΣΥΝΟΛΑ																					5898,46

5.4.6. Συγκεντρωτικά οι θερμικές απώλειες

	ΧΕΙΜΩΝΑ	ΘΕΡΟΥΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ		
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ	7986,41	10962,58
ΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ W	8000	11000
KW	8	11

Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Συμφώνα με τα παραπάνω αποτελέσματα θα γίνει η διστασιολόγηση των διαφόρων τύπων γεωεναλλακτων με σκοπό την επιλογή βέλτιστης τεχνο- οικονομικής λύσης για την θέρμανση και ψύξη της κατοικίας αυτής με την χρήση της γεωθερμίας.

5.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για να προχωρήσει η μελέτη χρειάζεται να βρεθούν τα fan coil που θα τοποθετηθούν σε κάθε χώρο και σαφώς διστασιολογούμε βάση του μεγαλύτερου φορτίου που είναι στην ψύξη και στα λουτρά μόνο θερμαντικά σώματα:

YARDY EV SERIES (MOP, MOT, MVP, MVT)		15	20	22	25	35	40	45	55	65	75	
Cooling Capacity*	High	kW	1,02	1,71	1,92	2,42	2,96	3,61	4,12	5,23	6,37	7,20
	Medium	kW	0,87	1,32	1,49	1,95	2,49	2,74	3,19	4,27	5,28	5,97
	Low	kW	0,62	1,09	1,14	1,56	2,00	2,38	2,89	3,78	4,28	5,51
Heating Capacity (50°C)**	High	kW	1,41	2,20	2,52	3,30	3,82	4,87	5,25	6,83	8,36	10,1
Heating Capacity (70°C)***	High	kW	2,40	3,74	4,30	5,66	6,51	8,32	8,88	11,70	14,23	17,37
Heating Capacity (Additional Coil)	High	kW	1,40	2,16	2,07	3,01	3,23	3,91	3,91	6,08	6,29	6,78
Air Flow	High	m ³ /h	209	288	339	484	547	676	681	1.077	1.235	1.480
Sound Pressure Level	High	dB(A)	35	36	40	40	42	43	44	50	54	58
	Medium	dB(A)	27	27	32	30	35	35	35	44	48	53
	Low	dB(A)	18	22	24	22	24	30	33	39	42	49
Maximum Power Usage		W	32	30	38	45	60	72	70	115	161	184
Main Supply		V-ph-Hz	230-1-50									
Length		mm	700	800	800	1.000	1.000	1.200	1.200	1.500	1.500	1.500
Height		mm	570	570	570	570	570	570	570	570	570	570
Base Height		mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Width		mm	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
Weight		kg	16	20	20	20	21	27	28	35	35	37

* Air: 27°C DB, 19°C WB, Water: 7/12 °C. ** Air: 20°C DB, Water: 50 °C. Water flow as in cooling *** Air: 20°C DB, Water: 70/60 °C
Volume levels are valid under conditions of 1 meter distance and direction factor Q=2.

Πίνακας 2: Yardy mvp τεχνικά χαρακτηριστικά και καταναλώσεις

ΙΣΟΓΕΙΟ:

Δωμάτιο 1: 255,84 άρα MVP15

Δωμάτιο 2: 3949,13 άρα 1 MVP 35 και 1 MVP 22

Δωμάτιο 3: 752,96 άρα MVP15

Δωμάτιο 4 (Λουτρό): 355,37 Είναι λουτρό οπότε δεν χρειαζόμαστε fan coil. Τοποθετούμε μία μονάδα 1560mm x 500mm διακοσμητικό σώμα μπάνιου

Α ΟΡΟΦΟΣ

Δωμάτιο 1: 1547,91 άρα MVP22

Δωμάτιο 2: 1500,25 άρα MVP22

Δωμάτιο 3 (Λουτρό): 650,19 Είναι λουτρό οπότε δεν χρειαζόμαστε fan coil. Τοποθετούμε μία μονάδα 1760mm x 500mm διακοσμητικό σώμα μπάνιου

Δωμάτιο 4: 1216,32 άρα MVP20

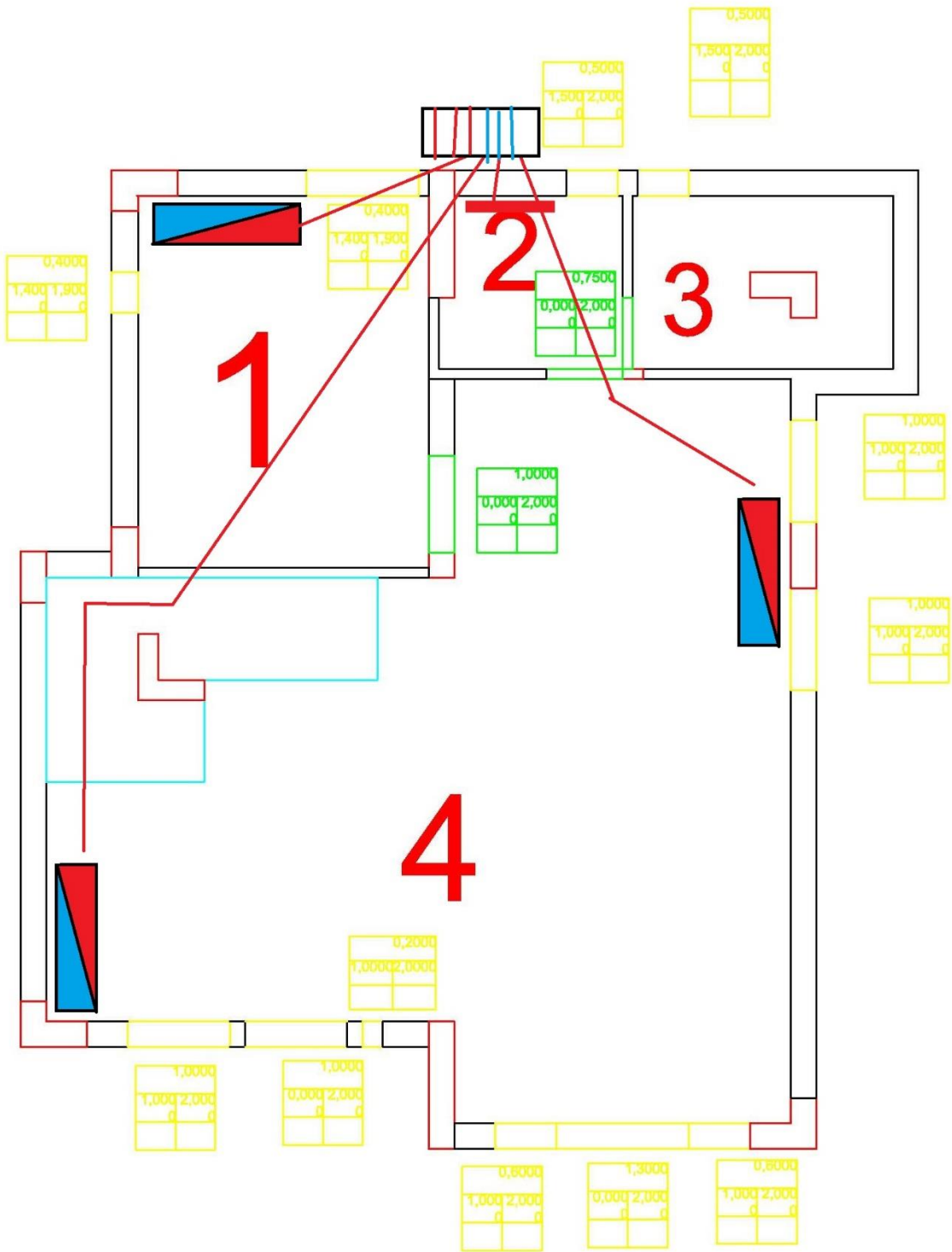
Δωμάτιο 5: 1080,39 άρα MVP15

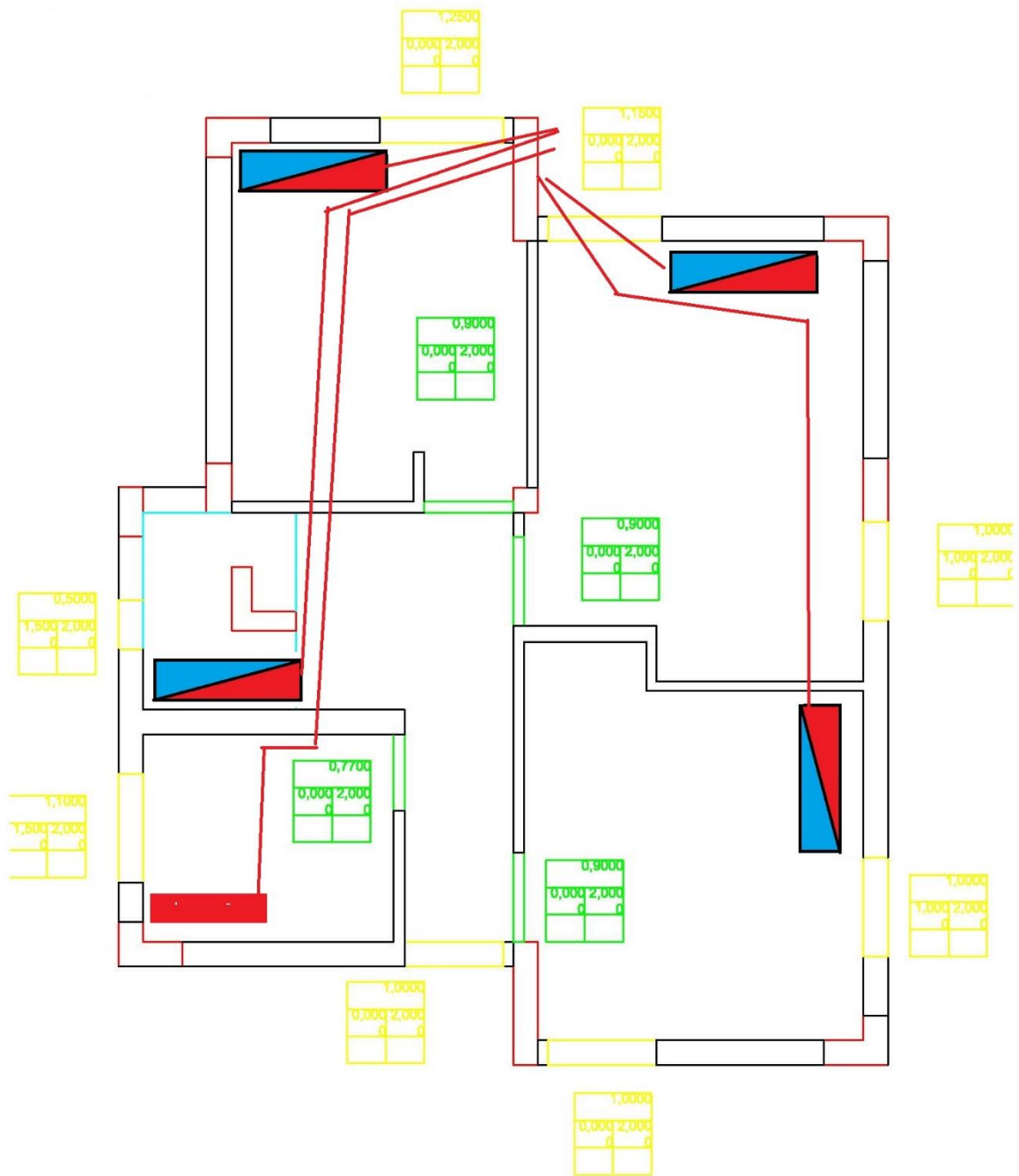
ΣΥΝΟΛΟ: 10,89 Kw (11KW) που καλύπτουν και την θέρμανση



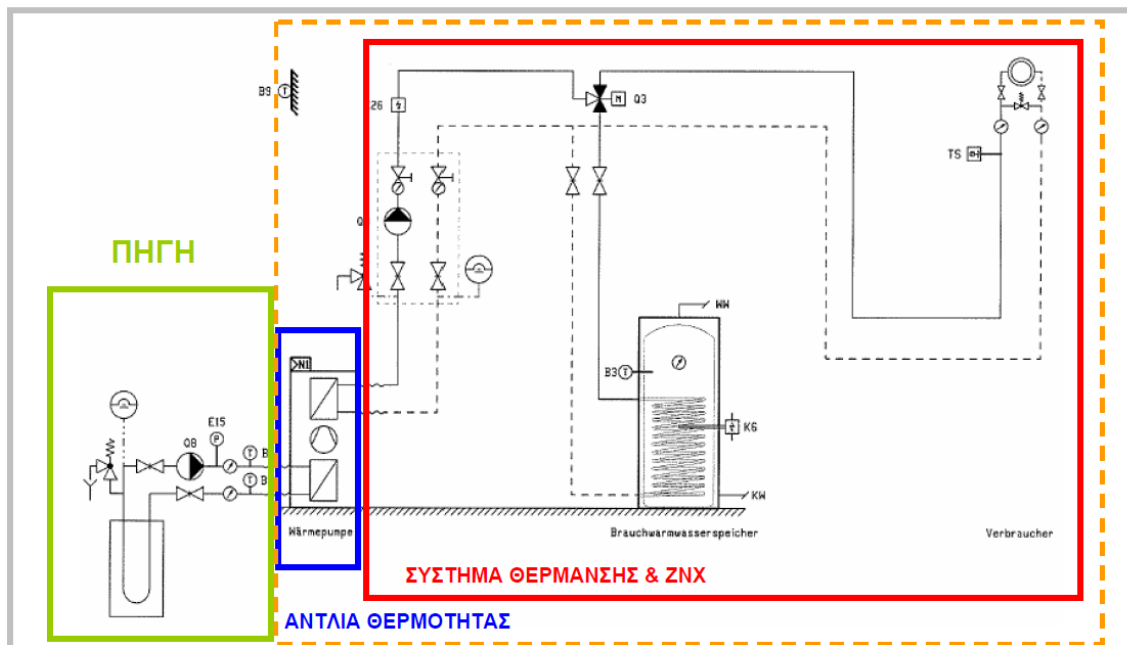
Εικόνα 5.22: «Αφροδίτη» 1760mm x 500mm σώμα μπάνιου από την εταιρία TZANOS A.E.B.E.

Με βάση τα συνολικά μέγιστα φορτία, επιλέγεται αντλία θερμότητας συνολικής ισχύος 11KW με ενσωματωμένα τα στοιχεία που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.





Σχήμα 6.3.1 Σύστημα εγκατάστασης Fan Coil-Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας



ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟ

Σχήμα 6.3.2 Σύστημα εγκατάστασης Γεωθερμικού εναλλάκτη -Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας- Συστήματος θέρμανσης

Επιμέρους στοιχεία συστήματος

- Γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ)
- Κυκλοφορητής
- Διατάξεις εξαέρωσης και διαχωρισμού στερεών των δικτύων
- Δοχεία διαστολής
- Απαραίτητο δίκτυο σωληνώσεων

5.6. ΔΙΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ (ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ)

Σύμφωνα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της μελέτης θερμικών - ψυκτικών φορτίων του κτηρίου και των θερμοκρασιών λειτουργίας των κυκλωμάτων οριζοντίου εναλλάκτη για βέλτιστη τεχνοοικονομική λειτουργία:

ΧΩΡΟΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΚΑΤΟΙΚΙΑ	=8kw	=11kw	m² = 134

*Πίνακας 6.4.1
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Θερμικών & Ψυκτικών φορτίων (CRES)*

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
40/45 °C*	7/12 °C
5/10 °C	35/40 °C

*Hot water out: 45 °C και cold water in στο μηχάνημα: 10 °C

*Πίνακας 6.4.2
Συνιστώμενες θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη (CRES)*

Στην αριστερή στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το χειμώνα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπυκνωτή είναι 45 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 5 °C.

Στη δεξιά στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία εξόδου από τον εξατμιστή είναι 7 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 40 °C.

5.6.1. Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία το χειμώνα:

AUREA MODULO		Cold water T ₁ in °C	HOT WATER OUTLET TEMPERATURE °C																									
			30				35				40				45				50				55					
			P ₁ kW	P _a kW	P _c kW	P _t kW	P ₁ kW	P _a kW	P _c kW	P _t kW	P ₁ kW	P _a kW	P _c kW	P _t kW	P ₁ kW	P _a kW	P _c kW	P _t kW	P ₁ kW	P _a kW	P _c kW	P _t kW	P ₁ kW	P _a kW	P _c kW	P _t kW		
40Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	5.3	1.9	6.2	1.0	4.8	2.1	5.6	1.3	4.4	2.4	5.2	1.6	4.1	2.7	4.8	2.0	3.8	3.0	4.2	2.7	3.5	3.5	3.4	3.6		
		-4	5.9	1.9	6.9	0.9	5.4	2.1	6.2	1.3	5.0	2.4	5.9	1.6	4.7	2.7	5.4	2.0	4.3	3.0	4.7	2.7	4.0	3.5	3.8	3.6		
		-2	6.8	1.9	7.8	0.9	6.2	2.1	7.1	1.2	5.7	2.4	6.7	1.5	5.4	2.7	6.1	2.0	5.0	3.0	5.4	2.7	4.5	3.5	4.4	3.7		
		0	7.6	1.9	8.7	0.8	6.9	2.1	7.9	1.1	6.4	2.5	7.4	1.5	6.0	2.8	6.7	2.0	5.6	3.1	5.9	2.7	5.1	3.5	4.8	3.7		
		2	8.2	1.9	9.3	0.8	7.4	2.1	8.5	1.0	6.9	2.5	7.9	1.5	6.5	2.8	7.2	2.0	6.0	3.1	6.4	2.8	5.5	3.5	5.2	3.8		
	pure water	5	9.2	1.9	10.4	0.8	8.2	2.1	9.4	1.1	7.8	2.5	8.8	1.5	7.3	2.8	8.0	2.1	6.8	3.1	7.9	2.9	6.2	3.5	5.7	4.0		
		6	10.0	1.9	11.1	0.7	9.0	2.2	10.1	1.1	8.4	2.5	9.5	1.5	7.9	2.8	8.8	2.1	7.3	3.1	7.9	2.9	6.6	3.5	6.2	4.0		
		7	10.4	1.9	11.5	0.6	9.4	2.1	10.4	1.1	8.8	2.5	9.7	1.5	8.2	2.8	8.9	2.1	7.6	3.1	7.8	2.9	6.9	3.5	6.4	4.0		
		8	11.0	1.9	12.2	0.6	9.9	2.2	11.0	1.1	9.3	2.5	10.3	1.5	8.7	2.8	9.4	2.1	8.1	3.1	8.3	2.9	7.3	3.5	6.8	4.0		
		10	12.1	1.9	13.2	0.6	11.0	2.2	12.0	1.1	10.3	2.5	11.2	1.6	9.8	2.8	10.2	2.2	8.9	3.1	9.0	3.0	8.0	3.5	7.4	4.2		
		12	13.1	1.9	14.2	0.6	11.8	2.1	12.9	1.1	11.1	2.5	12.0	1.6	10.4	2.8	10.9	2.2	9.6	3.1	9.6	3.1	8.7	3.5	7.9	4.3		
		15	13.7	2.0	15.0	0.7	12.1	2.1	14.0	1.1	12.3	2.5	13.1	1.7	11.5	2.8	11.9	2.3	10.7	3.1	10.5	3.2	10.0	3.7	8.8	4.9		
		50Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	6.8	2.3	7.7	1.2	6.0	2.6	7.8	1.8	5.5	3.0	6.8	1.9	5.5	3.3	6.4	2.4	4.8	3.7	5.3	3.2	4.4	4.4	4.2	4.6
				-4	7.4	2.3	8.6	1.1	6.7	2.6	7.9	1.5	6.2	3.0	7.4	1.9	5.8	3.2	6.7	2.4	5.4	3.7	5.9	3.2	5.0	4.2	4.7	4.6
				-2	8.8	2.3	9.8	1.1	7.7	2.6	8.9	1.4	7.2	3.0	8.4	1.8	6.7	3.4	7.7	2.4	6.2	3.8	6.8	3.2	5.7	4.4	5.4	4.6
0	9.5			2.4	10.9	1.0	8.8	2.6	9.9	1.5	8.0	3.1	9.3	1.8	7.3	3.4	8.5	2.4	6.9	3.8	7.5	3.3	6.4	4.4	6.0	4.7		
2	10.3			2.3	11.7	0.9	9.3	2.6	10.6	1.2	8.7	3.1	10.0	1.8	8.1	3.4	9.1	2.4	7.5	3.8	8.0	3.3	6.9	4.4	6.5	4.8		
pure water	5		11.8	2.3	13.0	0.9	10.4	2.6	11.8	1.3	9.8	3.1	11.0	1.8	9.1	3.6	10.1	2.5	8.5	3.9	8.9	3.5	7.8	4.4	7.2	5.0		
	6		12.5	2.4	14.0	0.9	11.3	2.7	12.7	1.3	10.6	3.1	11.9	1.8	9.9	3.5	10.9	2.5	9.2	3.9	9.6	3.5	8.4	4.4	7.8	5.0		
	7		13.0	2.4	14.4	0.9	11.7	2.7	13.1	1.3	11.0	3.1	12.2	1.9	10.2	3.5	11.2	2.5	9.5	3.9	9.9	3.5	8.7	4.4	8.0	5.1		
	8		13.8	2.4	15.3	0.9	12.5	2.7	13.9	1.3	11.7	3.2	13.0	1.9	10.9	3.5	11.8	2.5	10.1	3.9	10.4	3.5	9.2	4.4	8.3	5.1		
	10		15.2	2.3	16.6	0.9	13.7	2.7	15.1	1.3	12.9	3.1	14.1	1.9	12.0	3.5	12.8	2.5	11.1	3.9	11.2	3.6	10.1	4.4	9.2	5.3		
	12		16.4	2.3	17.8	1.0	14.8	2.6	16.1	1.3	13.9	3.1	15.1	2.0	13.0	3.5	13.7	2.7	12.6	3.8	12.1	3.7	10.9	4.4	9.9	5.4		
	15		17.3	2.6	19.1	0.7	16.4	2.6	17.6	1.4	15.4	3.1	16.4	2.0	14.3	3.5	16.0	2.8	13.3	3.8	13.2	3.9	12.3	4.4	11.3	5.5		
	60Z		30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	8.8	2.9	9.4	1.4	7.2	3.2	8.5	2.0	6.7	3.7	8.9	2.4	6.2	4.1	7.4	2.9	5.8	4.6	6.5	3.9	5.4	5.4	5.1	5.6
				-4	9.5	2.9	10.5	1.4	8.2	3.2	9.5	1.9	7.8	3.7	9.0	2.3	7.0	4.1	8.2	2.9	6.6	4.6	7.3	4.0	6.1	5.3	5.8	5.7
				-2	10.4	2.9	12.0	1.3	9.4	3.2	10.9	1.7	8.7	3.7	10.2	2.2	8.1	4.1	9.3	2.9	7.5	4.6	8.2	4.0	6.9	5.4	6.8	5.7
0		11.3		2.9	13.2	1.3	10.4	3.2	12.0	1.6	9.7	3.8	11.3	2.2	9.0	4.2	10.3	3.0	8.4	4.7	9.1	4.0	7.7	5.4	7.3	5.8		
2		12.5		2.9	14.3	1.1	11.2	3.2	13.0	1.5	10.5	3.8	12.1	2.2	9.8	4.2	11.1	3.0	9.1	4.7	9.8	4.1	8.3	5.4	7.9	5.9		
pure water		5	14.0	2.9	15.8	1.1	12.7	3.2	14.4	1.6	11.9	3.8	13.4	2.3	11.1	4.2	12.2	3.1	10.3	4.8	10.9	4.3	9.4	5.5	9.7	6.2		
		6	15.2	2.9	17.0	1.1	13.7	3.3	15.4	1.6	12.8	3.9	14.4	2.3	12.0	4.2	13.2	3.1	11.1	4.8	11.8	4.3	10.1	5.5	9.4	6.2		
		7	15.7	2.9	17.5	1.1	14.2	3.3	15.9	1.6	13.3	3.9	14.9	2.3	12.4	4.2	13.8	3.1	11.5	4.8	12.0	4.3	10.5	5.4	9.7	6.2		
		8	16.7	3.0	18.8	1.1	15.1	3.3	16.9	1.6	14.1	3.9	15.8	2.3	13.2	4.3	14.4	3.1	12.2	4.8	12.7	4.3	11.1	5.5	10.0	6.3		
		10	18.4	2.9	20.2	1.1	16.8	3.3	18.3	1.6	15.6	3.9	17.1	2.3	14.5	4.3	15.8	3.2	13.5	4.8	13.8	4.3	12.3	5.4	11.2	6.5		
		12	19.9	2.9	21.8	1.2	18.0	3.2	19.6	1.6	16.9	3.9	18.3	2.4	15.7	4.3	16.7	3.3	14.6	4.7	14.9	4.6	13.3	5.4	12.0	6.6		
		15	20.9	3.2	23.3	0.9	19.9	3.2	21.4	1.7	18.7	3.8	20.0	2.5	17.4	4.3	18.2	3.4	16.1	4.7	16.1	4.7	15.0	5.5	13.7	6.7		
		70Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	9.4	3.4	11.2	1.6	8.8	3.8	10.2	2.2	7.9	4.4	9.6	2.7	7.3	4.8	8.8	3.2	6.8	5.4	7.8	4.4	6.2	6.1	6.3	6.0
				-4	10.7	3.4	12.3	1.5	9.7	3.8	11.3	2.1	8.9	4.3	10.7	2.6	8.3	4.8	9.8	3.3	7.7	5.4	8.8	4.5	7.0	6.1	7.0	6.1
				-2	12.3	3.4	14.3	1.4	11.1	3.8	13.0	1.9	10.3	4.4	12.2	2.4	9.8	4.9	11.2	3.3	8.9	5.4	9.9	4.5	8.1	6.1	8.1	6.1
0	13.7			3.5	15.8	1.3	12.3	3.8	14.4	1.7	11.5	4.4	13.6	2.4	10.7	4.9	12.3	3.3	9.9	5.5	10.9	4.6	9.0	6.2	8.9	6.3		
2	14.8			3.4	17.0	1.2	13.3	3.8	15.5	1.7	12.4	4.5	14.9	2.4	11.8	5.0	13.3	3.3	10.8	5.5	11.7	4.6	9.7	6.2	9.6	6.3		
pure water	5		16.8	3.5	18.9	1.2	15.0	3.9	17.1	1.7	14.0	4.5	16.0	2.5	13.1	5.0	14.8	3.5	12.1	5.6	12.9	4.8	11.0	6.2	10.6	6.6		
	6		18.0	3.5	20.3	1.2	16.2	3.9	18.4	1.7	15.2	4.6	17.2	2.5	14.1	5.1	15.7	3.5	13.2	5.7	14.2	4.7	11.8	6.3	11.4	6.6		
	7		18.6	3.5	20.9	1.2	16.8	3.9	19.0	1.7	15.7	4.6	17.8	2.5	14.7	5.1	16.2	3.5	13.7	5.7	14.7	4.7	12.2	6.2	11.9	6.7		
	8		19.8	3.5	22.2	1.2	17.9	3.9	20.1	1.7	16.7	4.6	18.8	2.5	15.6	5.1	17.2	3.5	14.7	5.8	15.6	4.7	13.0	6.3	12.5	6.8		
	10		21.8	3.5	24.1	1.2	19.7	3.9	21.9	1.8	18.4	4.6	20.4	2.6	17.2	5.1	18.7	3.6	16.1	5.7	16.9	4.8	14.3	6.2	13.6	7.0		
	12		23.8	3.4	25.8	1.2	21.3	3.8	23.4	1.7	20.0	4.6	21.9	2.7	18.6	5.1	20.0	3.7	17.4	5.7	18.2	5.0	15.3	6.2	14.5	7.1		
	15		24.8	3.6	27.7	0.9	22.5	3.9	25.8	1.8	22.1	4.6	23.9	2.6	20.6	5.1	21.8	3.8	19.4	5.8	20.2	5.0	17.3	6.2	16.5	7.2		

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 45°C και εισόδου στον εξατμιστή 10°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{heat} (P_c > Q_{heat}) επιλέγουμε την ΓΑΘ 40z, με χαρακτηριστικά:

- = ψυκτική ισχύς 9,6 kW
- = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς 2,8 kW
- = θερμική ισχύς 10,9 kW
- = ισχύς για ζεστά νερά 2,2 kW

5.6.2. Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία Θέρους

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 50 °C και εισόδου στον εξατμιστή 12°C και με κριτήριο ότι πρέπει η ψυκτική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{cool}, (P_f > P_f) επιλέγουμε την ΓΑΘ 40z με χαρακτηριστικά:

- = ψυκτική ισχύς 11,11 kW
- = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς 2,5 kW
- = θερμική ισχύς 12 kW
- = ισχύς για ζεστά νερά 1,6 kW.

Από τα παραπάνω στοιχεία μεταξύ των 2 αντλιών επιλέγουμε την ΓΑΘ η οποία έχει την επάρκεια να καλύψει και τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία της κατοικίας (στην συγκεκριμένη περίπτωση μας καλύπτει η ίδια αντλία).

Από τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας βρίσκουμε:

- A. Παροχή αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη.
- B. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.
- Γ. Μήκος Εναλλάκτη.

5.6.3. Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη

Στο γήινο εναλλάκτη το χειμώνα απορροφάται η ισχύς Q_{Hf}.

Στο γήινο εναλλάκτη το θέρος απορρίπτεται η ισχύς Q_{Hc}.

$$Q = mc \times \rho \times \Delta\theta$$

Χειμώνας

$$QH_f \text{ (kW)} = m \times C_p \times 5K$$

$$m = 10,9/4,2 \times 5 = 0,519 \text{ Kg/s} = 1,868 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Θέρος

$$QH_c \text{ (kW)} = m \times C_p \times 5K$$

$$m = 11,11/4,2 \times 5 = 0,529 \text{ kg/s} = 1,904 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Στο σημείο αυτό διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού.

5.6.4. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση:

$$V/t = (m/t)/\rho = 0,529/1000 = 0,000529 \text{ m}^3/\text{s}$$

Η ταχύτητα της ροής σχετίζεται με τη διατομή και τη διάμετρο της σωλήνωσης από τη σχέση:

$$U = 4 \times (V/t)/(\pi \times D^2)$$

για ταχύτητα ροής $u = 1 \text{ m/sec}$,

$$D = 0,0259 \text{ m.}$$

Επιλέγουμε σωλήνα με εξωτερική διάμετρο 32mm και εσωτερική 26mm GEO-FLEX Φ32X3. Από την παραπάνω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 - 1,5 m/sec.

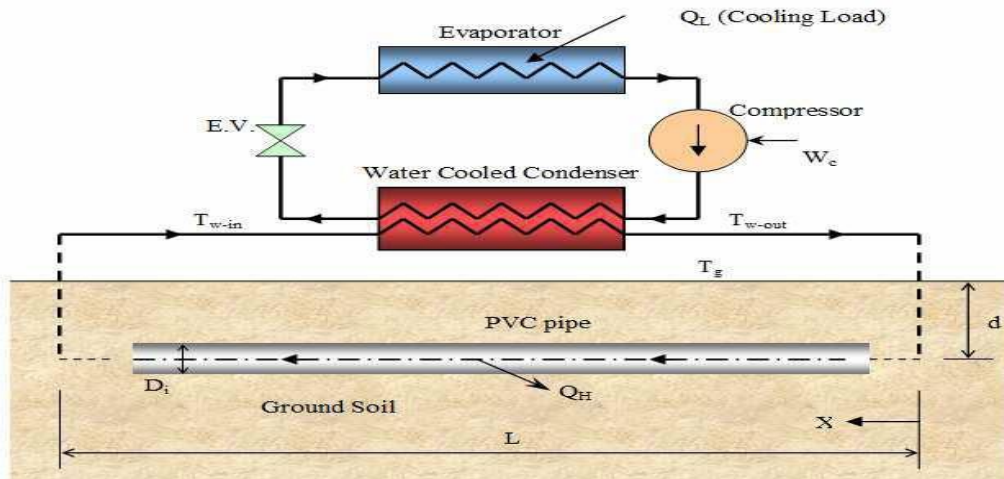
Υποθέτοντας οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου D_j και εξωτερικής διαμέτρου D_o όπου θάβεται σε βάθος d από την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην εικόνα 3, οι Θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος σωλήνα για τη μεταφορά νερού θα είναι:

$R_{conv} = 0,0244 \text{ W/mK}$ όπου $h_k = 500 \text{ w/m}^2\text{K}$ (συντελεστής συναγωγής νερού)

$$R_{pipe} = 0,03834 \text{ W/mK}$$

Όπου K_{pipe} συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σωλήνα GEO-FLEX

$$R_{soil} = 0,416 \text{ w/m}^2\text{K}$$



Σχημα 6.4.5

Όπου $S = 2\pi / [\ln \left[\left(\frac{2d}{D_o} \right) + \sqrt{\left(\frac{2d}{D_o} \right)^2 - 1} \right]] = 1,2$ και $K_{soil} = 2W/mK$

$R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil} = 0,4794 W/mK.$

Περιγραφή εδάφους και θερμική αγωγιμότητα υλικού:

Άργιλος 1,5

Άμμος-χαλίκι 2,0

Ομοιογενές πέτρωμα 3,5.

5.6.5. Θερμικές ιδιότητες εδάφους

Σε περίπτωση που ο τύπος του εδάφους δεν είναι γνωστός τότε να χρησιμοποιούνται η ακόλουθη τιμή: $\lambda = 2,0 W/(m.K)$

(CYS EN ISO 13790 Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling)

Το h_w εξαρτάται από τον αριθμό nusselt:

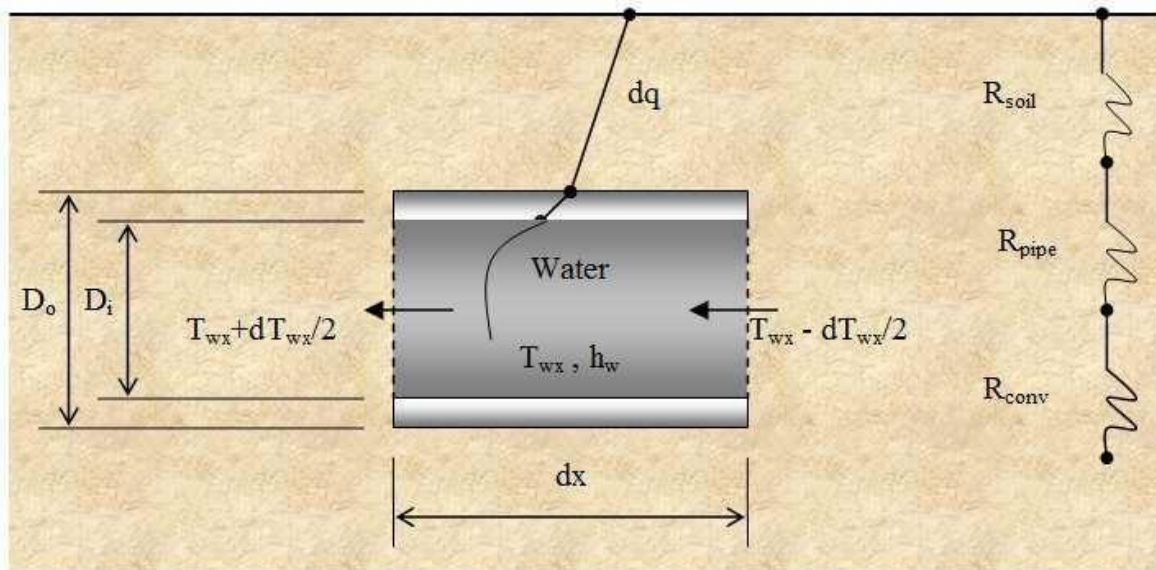
5.6.6. Μήκος Εναλλάκτη

Χειμερινή Περίοδος

$L = (m_w \times C_w \times R_{total}) \times \ln (\theta_{win}/\theta_{wout})$

θ_{win} = θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη.

θ_{wout} = θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη.



Σχημα 6.4.6. ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

$\theta_{win} = \text{θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\theta_{wout} = \text{θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
 $m_w = 0,519 \text{ kg/sec}$
 $C_w = 4200 \text{ w/sec}$
 $R_{total} = 0,4794 \text{ w/mk}$

Άρα $L = 724 \text{ m}$

Θερινή Περίοδος

$\theta_{win} = \text{θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\theta_{wout} = \text{θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$
 $m_w = 0,519 \text{ kg/sec}$
 $C_w = 4200 \text{ w/sec}$
 $R_{total} = 0,4794 \text{ w/mk}$

Άρα $L = 574 \text{ m}$

Μετά τους υπολογισμούς για κάθε περίοδο, διαπιστώνουμε μια διαφορά στο μήκος του εναλλάκτη. Για την κάλυψη όλων των αναγκών της κατοικίας (χειμώνα + θέρους) επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος του εναλλάκτη $L = 724 \text{ m}$.

Η επιφάνεια του χώρου για την τοποθέτηση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα είναι: έστω 10 σειρές σωληνώσεων οπύ απέχουν 0.5m απόσταση μεταξύ τους, θα έχουμε 5m πλάτος και μήκος $724/10 = 72,4 \text{ m}$ άρα χρειαζόμαστε έκταση $72,4 * 5 = 362.50 \text{ m}^2$. (Οριακά για την δική μας περίπτωση οικοπέδου).

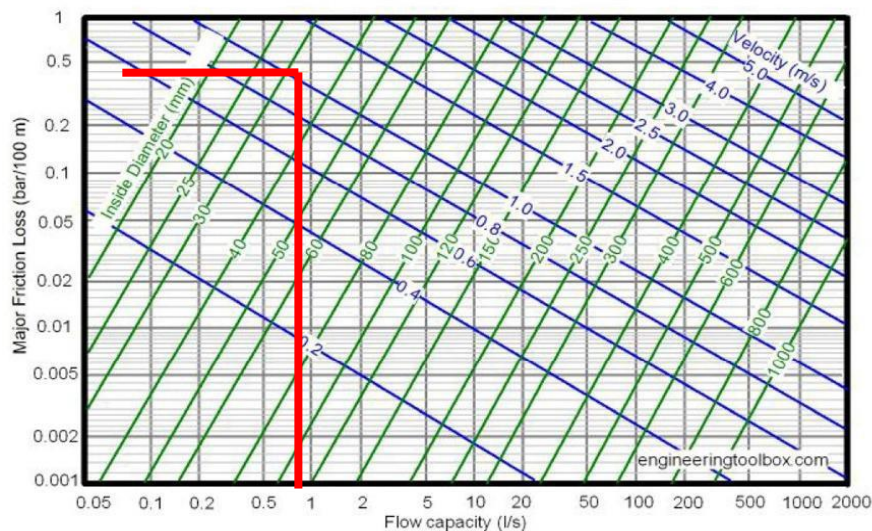
5.6.7. Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή κατάλληλου κυκλοφορητή. Καθώς να υπολογίσουμε και το δοχείο διαστολής με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του νερού μέσα στο δίκτυο σε αποδεκτά όρια.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar.
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στη μεταφορά θερμότητας. Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης.



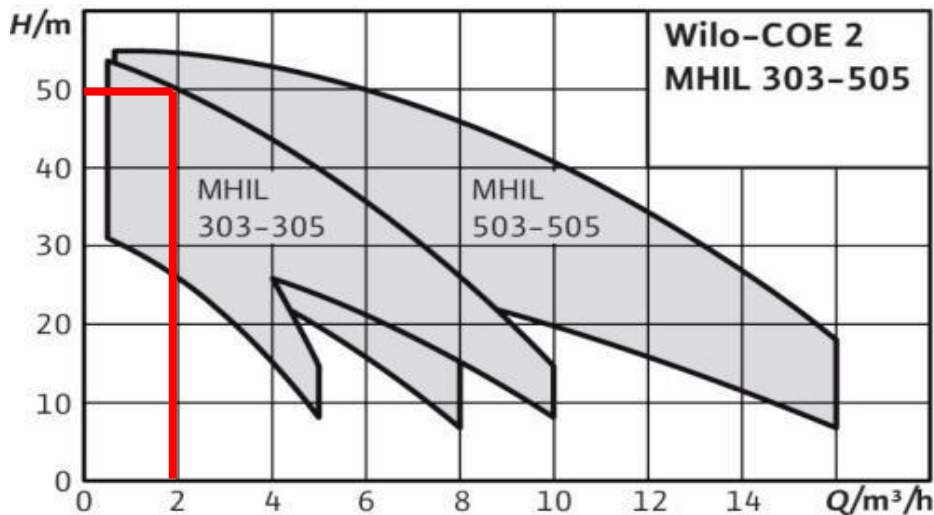
Σχήμα 6.4.7 Απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης πολυαιθυλαινίου

Για παροχή 0,529lt/s, ταχύτητα 1m/s και εσωτερική διάμετρο 26mm από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι: $\Delta p/100m = 0,6bar$, έχουμε 724m μήκος οριζόντιου εναλλάκτη.

Άρα οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι $4,34bar * 10,197162mH_2O = 44,25mH_2O$.

Συμφώνα με τα παραπάνω οι συνολικές απώλειες προκύπτουν: $H = 49,35 mH_2O$.

Με τη συνολική πτώση πίεσης που βρήκαμε $H = 49,35 mH_2O$ και την συνολική παροχή του δικτύου $V = 1,903m^3/h$ επιλέγεται από κατάλογο αντλιών της wilo κυκλοφορητής Wilo-COE-2 MHIL BC με την παρακάτω χαρακτηριστική καμπύλη.



Σχήμα 6.4.8 Χαρακτηριστική καμπύλη κυκλοφορητή Πηγή: willo

5.6.8. Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση:

$$V_t = V_s \times \left[\frac{(V_2/V_1) - 1}{1 - (p_1/p_2)} \right]$$

Όπου:

V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3

V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3

t_1 : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0^\circ C$)

t_2 : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50^\circ C$)

p_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

p_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

V_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg

V_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του οριζόντιου εναλλάκτη, άρα θα έχουμε:

$$\text{Άρα } V_s = 4 \times L \times \pi \times \text{din}^2/4 = 1,53 \text{ m}^3.$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των $0^\circ C$ είναι

$V_1 = 0,0010002 m^3/kg$ ενώ στη θερμοκρασία των $50^\circ C$ είναι $V_2 = 0,0010121 m^3/kg$ (από πίνακα ιδιοτήτων νερού).

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή

σπηλαίωση. Η ελαχίστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα λαμβάνεται 2m (0,2 bar). Συνεπώς, η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται: $p_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ bar} = 90 \text{ kPa}$.

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφάλειας. Αύτη σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι:
 $p_2 = p_1 + 1,3 \text{ bar} = 220 \text{ kPa}$.

Υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής σύμφωνα με τα παραπάνω:
 $V_t = 0.03 \text{ m}^3 = 30 \text{ lt}$.

5.7. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

5.7.1. Ροή θερμότητας στο έδαφος

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το ακόλουθο μέγεθος Q_a , το οποίο ονομάζεται «μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος»: (Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο).

$$Q_a = [(C_{fc} \times q_{lc} \times EFL_{\text{hours}_{sc}}) + (C_{fh} \times q_{lh} \times EFL_{\text{hours}_{sh}})] / T_a$$

όπου:

- q_{lc} & q_{lh} το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα σε Btu/h (το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο στην ανωτέρω σχέση)
 $q_{lc} = 9000 \text{ Watt} \times 3,412 = 30709 \text{ Btu/h}$
 $q_{lh} = 11000 \text{ Watt} \times 3,412 = 37532 \text{ Btu/h}$
- $EFL_{\text{hours}_{sc}}$ και $EFL_{\text{hours}_{sh}}$ οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως
- C_{fc} και C_{fh} διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα
- T_a : το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου EFLhourssc και EFLhourssh μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Υπολογίζεται ως εξής:

$$EFLhourssc = E_c/q_{lc} = 720h$$

$$EFLhourssh = E_h/q_{lh} = 960h$$

όπου: q_{lc} & q_{lh} το ονομαστικό (μέγιστο) ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα E_c και E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση. Οι διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} και C_{fh} σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα. Οι τιμές τους, βάσει της μεθόδου της ASHRAE, δίνονται από τον πίνακα:

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
EER (ψύξη)		COP (θέρμανση)	
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

Πίνακας 6.5.1 Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας Πηγή: ASHRAE

Αρα Μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος: $Q_a = -876,85 \text{ Btu/h}$.

5.7.2. Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από το κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος και την παροχή του μέσου. Η επιλογή της διαμέτρου είναι τέτοια, ώστε συναρτήσει της απαιτούμενης μεταφερόμενης παροχής εντός των σωληνώσεων, η ταχύτητα

ροής να μην υπερβαίνει το 1 - 1,5m/sec, ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή. Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = m \cdot C_V \cdot (t_{wi} - t_{wo}) \quad (\text{υπολογισμός βάσει ψύξης})$$

$$\&$$

$$q_{lh} = m \cdot C_V \cdot (t_{wo} - t_{wi}) \quad (\text{υπολογισμός βάσει θέρμανσης})$$

όπου:

m: η παροχή μάζας του νερού μέσα στη σωλήνωση

Cv = 4,184 KJoule/(kgK) η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

twi: η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη

two: η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη.

Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας twt - two επιλέγεται από την αντλία θερμότητας του συστήματος συνήθως να ισούται με 5K. Από τις ανωτέρω σχέσεις, υπολογίζεται τελικά η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης.

Παροχή μάζας νερού στην σωλήνωση m = 0,430 kg/sec για q_{lc} = 9000 watt > q_{lh}

Αριθμός γεωτρήσεων 1RT = 3,517 KW = 12000,5 Btu/h

Για q_{lc} = 9000watt > q_{lh}, θα έχουμε 9KW/3,517KW = 2,558RT

Άρα ο αριθμός των γεωτρήσεων επιλέγεται ίσος με 3.

Αν επιλέξουμε να έχουμε διπλό βρόγχο σε κάθε γεώτρηση, τότε η συνολική παροχή θα μοιραστεί σε έξι κατακόρυφους εναλλάκτες. Οπότε θα προκύψει ίση με:

$$V_{\beta\rho} = V/6 = 0,0716/1000 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Έστω ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης φ32 η εσωτερική διάμετρος θα είναι:

$$d_i = 32 - 2 \cdot 3 = 26 \text{ mm}$$

Αρα ταχύτητα ροής u = 0.134m/sec αποδεκτή τιμή.

5.7.3. Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fc} \cdot q_{lc}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

όπου:

- R_{ga}, R_{gm}, R_{gd}: ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε hft°F/Btu)
- R_b: θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης (σε h ft °F/Btu)
- PLF_m: ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

- Fsc: ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων
- tg: η θερμοκρασία του εδάφους (σε °F)
- twi: η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε °F)
- two: η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τη γεωθερμική αντλία (σε °F) tp
- tp: διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε °F).

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του θερμικού φορτίου θα γίνει αντίστοιχα σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

Συμφώνα με την μεθοδολογία που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και με τον πίνακα (βλέπε παράρτημα) της ASHRAE όπου δίνονται η θερμική αγωγιμότητα kg και η θερμική διαχυτότητα ag του εδάφους έχουμε:

$$kg = 1.5 \text{ Btu}/(\text{h ft } ^\circ\text{F})$$

$$ag = 1.5 \text{ ft}^2/\text{ημέρα}$$

$$d = 26\text{mm} = 0.085\text{ft} \quad (1\text{ft} = 305\text{mm}).$$

Οι χρονικές σταθερές υπολογίζονται:

$$Tf - T1 = 3.680,25 - 3.650 = 30,25 \text{ ημέρες}$$

$$Tf - T2 = 3.680,25 - 3.680 = 0,25 \text{ ημέρες}$$

$$Tf = 3.680,25.$$

Οι τρεις αδιάστατοι αριθμοί Fourier προκύπτουν:

$$Fo1 = 26.380.8$$

$$Fo2 = 218.02$$

$$Fof = 3.209.520,35$$

Οι συντελεστές G υπολογίζονται:

$$G1 = 0.8729$$

$$G2 = 0.5041$$

$$Gf = 1.242$$

Τελικά υπολογίζονται οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους από τις σχέσεις ορισμού:

$$R_{ga} = 0,246 \text{ (h ft F)/Btu}$$

$$R_{gm} = 0,245 \text{ (h ft F)/Btu}$$

$$R_{gd} = 0,336 \text{ (h ft F)/Btu}$$

Ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου, εκτιμάται ως εξής για την περίπτωση μιας κατοικίας:

Έστω η μονάδα δεν δουλεύει την διάρκεια της νύχτας από τις 24: 00 έως τις 8: 00 το πρωί, δηλαδή $8/24 = 0,333 * 100 = 33,3\%$ του χρόνου και τις υπόλοιπες ώρες λειτουργεί στο 60% του χρόνου. Άρα ο εξοπλισμός θα λειτουργεί 40% των συνολικών ωρών.

Τελικά ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου υπολογίζεται $PLF_m = 0,40$.

5.7.4. Θερμική αντίσταση σωλήνωσης

Από τους πίνακες της ASHRAE (βλέπε παράρτημα ii) υπολογίζουμε την θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης:

Η σωλήνωση PE DN32 PN12 που επιλέγεται προσεγγίζεται από την SDR11 1'' για αυτή τη σωλήνωση και για παροχή νερού επιλέγεται αρχικά θερμική αντίσταση $0,09 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu}$ για αγωγιμότητα εδάφους $1,3 \text{ Btu}/(\text{h ft } ^\circ\text{F})$ και αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης $1,0 \text{ Btu}/(\text{h ft } ^\circ\text{F})$ επιλέγεται διόρθωση θερμικής αντίστασης $0,03 (\text{h ft } ^\circ\text{F})/\text{Btu}$ συνεπώς η τελική θερμική αντίσταση υπολογίζεται:

$$R_b = 0,12 (\text{h ft } ^\circ\text{F})/\text{Btu}.$$

5.7.5. Θερμοκρασία εδάφους

Η θερμοκρασία εδάφους είναι ισχυρά εξαρτώμενη από τη γεωγραφική περιοχή της μελέτης. Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5m, ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω των 31m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^\circ\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.

Όλα αυτά εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους. Από τα μετεωρολογικά δεδομένα του (καπε) δίνεται για το υπέδαφος του Ηρακλείου μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με

$$t_g = 70 \text{ F} = 20,95^\circ\text{C}.$$

5.7.6. Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων F_{sc} , που εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Παροχή ανά σωλήνωση (gpm)	Αριθμός ανά	Βρόγχων γεώτρηση	
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

Πίνακας 6.5.2 Συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων. Πηγή: ASHRAE

Η παροχή όγκου ανά βρόγχο όπως βρέθηκε να είναι:

$$0.0716/1000 \text{ m}^3/\text{sec} \times 2 \text{ βρόγχους} = 0,1432/1000 \text{ m}^3/\text{sec},$$

$$1 \text{ gpm} = 0,0631/1000 \text{ m}^3/\text{sec},$$

$$\text{Έχουμε } F_{sc} = 1,02.$$

Θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου υγρού

Οι θερμοκρασίες εισόδου t_{wi} και εξόδου t_{wo} του υγρού στο γεωθερμικό εναλλάκτη εξαρτώνται από τη ρύθμιση της αντλίας θερμότητας και από τη θερμοκρασία του εδάφους.

Κατά την διαδικασία της ψύξης θα έχουμε:

$$\text{Έστω ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε } t_{wi} - t_{wo} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\text{Θερμοκρασία εδάφους } t_g = 69,8 \text{ F} = 20,95 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (θεωρείτε σταθερή όλο το χρόνο)}$$

$$\text{Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον εναλλάκτη} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Θερμοκρασία εξόδου του από τον εναλλάκτη } t_{wi} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Κατά την διαδικασία της θέρμανσης θα έχουμε:

$$\text{Έστω ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε } t_{wi} - t_{wo} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Θερμοκρασία εδάφους } t_g = 70 \text{ F} = 20,95 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (θεωρείτε σταθερή όλο το χρόνο)}$$

$$\text{Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον εναλλάκτη } t_{wi} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Θερμοκρασία εξόδου του από τον εναλλάκτη } t_{wo} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για τις γεωτρήσεις βασίζεται κατά πολύ στην εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή t_p . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της μεθόδου της ASHRAE (βλέπε παράρτημα iii) που παρουσιάζεται γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή αυτού και συγκρίνεται το αναμενόμενο βάθος με το εξαγόμενο από τους υπολογισμούς.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους $k_g = 1.5 \text{ Btu}/(\text{h ft F})$

$$t_g = 70 \text{ F}, t_{wi} = 95 \text{ F}$$

ισοδύναμες ώρες θέρμανσης και ψύξης 500 και 1500 και απόσταση γεωτρήσεων 25ft

επιλέγεται συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους $t_p = 3,5 \text{ F}$.

Το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT αναμένεται να προκύψει της τάξης του 206ft/RT.

Έχοντας πλέον υπολογίσει και επιλέξει όλα τα απαιτούμενα μεγέθη, μπορούμε να υπολογίσουμε το βάθος γεώτρησης.

Με βάση το ψυκτικό φορτίο το βάθος της γεώτρησης σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία προκύπτει $L_c = 740,72\text{ft} = 226\text{m}$.

Έχοντας επιλέξει τρεις γεωτρήσεις με διπλό βρόχο, το βάθος κάθε γεώτρησης προκύπτει $226/6 = 37,6\text{m}$.

Η διάμετρος της γεώτρησης επιλέγεται περίπου 15cm για εγκατάσταση διπλού βρόγχου σωληνώσεων.

Με βάση το θερμικό φορτίο το βάθος της γεώτρησης σύμφωνα με τη παραπάνω μεθοδολογία προκύπτει $L_c = 550,22\text{ft} = 167,81\text{m}$.

Επιλεγούμε το μεγαλύτερο βάθος γεώτρησης ώστε να μας καλύπτει και την περίοδο του καλοκαιριού και την χειμερινή περίοδο.

5.7.7. Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή κατάλληλου κυκλοφορητή. Καθώς να υπολογίσουμε και το δοχείο διαστολής με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του νερού μέσα στο δίκτυο σε αποδεκτά όρια.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.

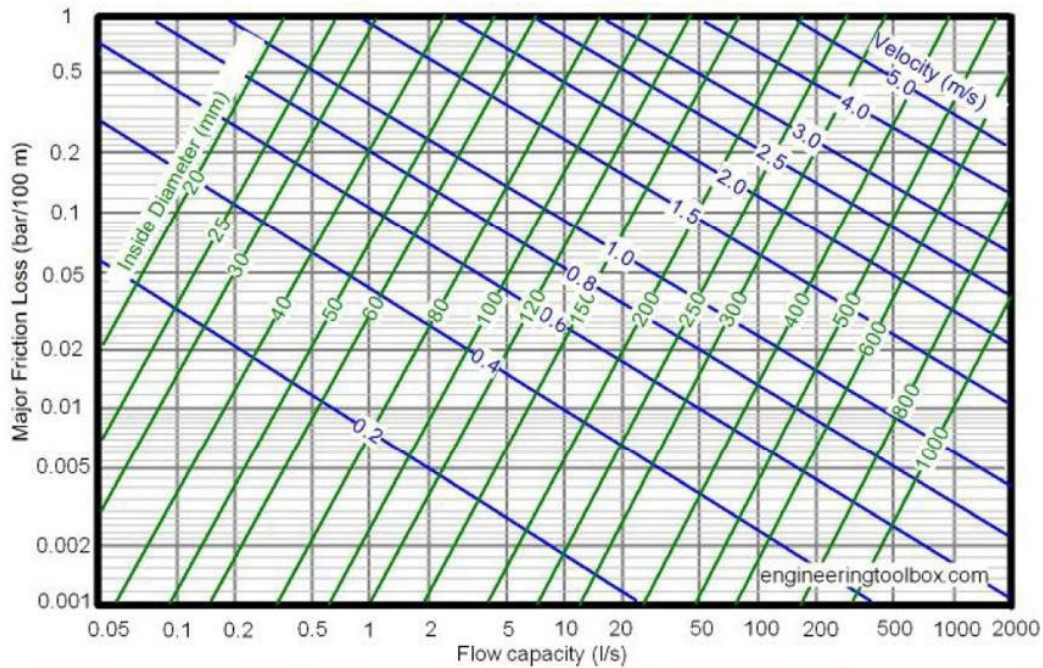
Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar

Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar

Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή 0,005bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στη μεταφορά θερμότητας.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης.



Σχήμα 6.5.3 Απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης πολυαιθιλαινίου.

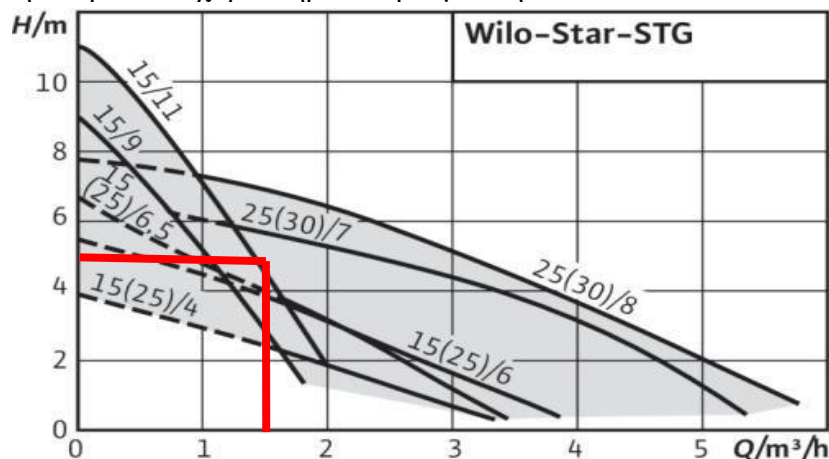
Επειδή οι σωληνώσεις στις 3 γεωτρήσεις είναι παράλληλες, η πτώση πίεσης είναι η ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας.

Για παροχή 0,0716 lt/s και εσωτερική διάμετρο 26mm από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι: $\Delta p/100m = 0.018\text{bar}$, έχουμε 71,72m μήκος οριζόντιου εναλλάκτη (διπλάσιο του βάθους της γεώτρησης, επειδή έχουμε διπλό βρόγχο).

Άρα οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι $0,013\text{bar} * 10,197162\text{mH}_2\text{O} = 0,132 \text{ mH}_2\text{O}$.

Συμφώνα με τα παραπάνω οι συνολικές απώλειες προκύπτουν: $H = 5,28 \text{ mH}_2\text{O}$.

Με τη συνολική πτώση πίεσης που βρήκαμε $H = 5,28 \text{ mH}_2\text{O}$ και την συνολική παροχή του δικτύου $Q = 1.55\text{m}^3/\text{h}$ επιλέγεται από κατάλογο αντλιών της wilo κυκλοφορητής Wilo-STAR-STG 15/11 με την παρακάτω χαρακτηριστική καμπύλη.



5.7.8. Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση:

$$V_t = V_s \times [(V_2/V_1) - 1] / [1 - (p_1/p_2)]$$

Όπου:

V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3

V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3

t_1 : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0\text{ }^\circ\text{C}$)

t_2 : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50\text{ }^\circ\text{C}$)

p_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

p_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

V_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg

V_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του οριζόντιου εναλλάκτη, άρα θα έχουμε:

$$\text{Άρα } V_s = 4 \times L \times \pi \times d^2/4 = 1,53 \text{ m}^3.$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των $0\text{ }^\circ\text{C}$ είναι

$V_1 = 0,0010002 \text{ m}^3/\text{kg}$ ενώ στη θερμοκρασία των $50\text{ }^\circ\text{C}$ είναι $V_2 = 0,0010121 \text{ m}^3/\text{kg}$ (από πίνακα ιδιοτήτων νερού).

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά $0,7 \text{ bar}$ ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαίωση. Η ελαχίστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα λαμβάνεται 2m ($0,2 \text{ bar}$). Συνεπώς, η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται: $p_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ bar} = 90 \text{ kPa}$.

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφάλειας. Αύτη συμφώνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι:

$$p_2 = p_1 + 1,3 \text{ bar} = 220 \text{ kPa}.$$

Υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής συμφώνα με τα παραπάνω:

$$V_t = 0.00917 \text{ m}^3 = 9,17 \text{ lt από τυποποιημένα επιλέγουμε } 10 \text{ lt}.$$

Πτώση πίεσης ανά 100μ καλόμενου σωλήνα (psi)

Παροχή (m ³ /h)	Απόσταση σωλήνων (m)												
	1'	1,14'	1,12'	2'	2,12'	3'	3,12'	4'	5'	6'	8'	10'	12'
0,23	0,180781												
0,45	0,557743	0,018404											
0,68	1,158138	0,308359	0,144357										
0,91	1,946819	0,508353	0,242782										
1,14	2,969318	0,774278	0,387454										
1,38	4,019029	1,082877	0,501909	0,150919									
1,62	5,225772	1,511024	0,822881	0,248003									
2,27	10,10459	2,73877	1,280404	0,374018	0,15746								
3,11	21,19423	5,774278	2,887323	0,704430	0,324933								
4,54	38,25328	9,547244	4,429134	1,288404	0,538058	0,193257							
5,88		14,33727	6,827297	1,908188	0,813948	0,249818	0,137795						
6,81		20,03848	9,547244	2,637795	1,125328	0,398982	0,19885						
7,95		27,08893	12,53281	3,59252	1,473097	0,548373	0,259188	0,137795					
9,08			15,88241	4,494751	1,929134	0,708833	0,328084	0,173885					
10,22			19,38189	5,708881	2,34252	0,828491	0,396882	0,219818					
11,36			24,50787	6,75853	2,833701	1,01708	0,472441	0,262467					
13,03				9,711288	4,002625	1,40748	0,679134	0,388692					
15,30				12,88484	5,019035	1,91001	0,889103	0,482128	0,15746				
18,17				16,50282	7,119423	2,5	1,158138	0,613517	0,208893				
20,44				20,88814	8,902592	3,024934	1,483255	0,777559	0,262467				
22,71				24,83911	10,59711	3,740157	1,728003	0,921918	0,3188	0,127953			
28,29				15,81385	5,807087	2,57874	1,43708	0,482584	0,183727				
34,07				19,81827	7,709974	3,707349	1,97508	0,88251	0,255508				
39,74				29,52758	10,49889	4,822835	2,880289	0,912073	0,331385				
45,42					13,02493	6,298213	3,348457	1,135171	0,433071				
51,10					16,49882	7,57874	4,23228	1,433727	0,548819	0,144357			
56,78					20,24884	9,358394	5,218536	1,888582	0,672572	0,188488			
62,45					24,0083	11,28889	6,003337	2,048822	0,774278	0,208893			
68,13					27,78871	13,48894	7,152231	2,431102	0,918835	0,248893			
73,81						14,52782	8,388142	2,708893	1,079386	0,288714			
79,49						17,28003	9,744094	3,139784	1,187884	0,318241			
85,18						19,9147	10,59711	3,088824	1,384329	0,384173			
90,84						22,00459	12,0408	4,10105	1,548558	0,418887			
96,52						25,52693	13,61549	4,822884	1,751989	0,488918			
102,20						28,04173	15,01612	4,32128	1,956381	0,524534			
107,87							16,98198	5,479003	2,188335	0,554482	0,056425		
113,55							18,79821	6,088554	2,424541	0,613517	0,208893		
124,91							22,78822	7,349081	2,933071	0,74147	0,228893		
136,28							27,08883	8,758483	3,47789	0,88827	0,282152		
147,62								10,18845	3,871391	1,038745	0,331385		
158,97								11,90845	4,494751	1,21083	0,387139	0,15746	
170,33								13,04829	5,190919	1,381234	0,442913	0,188488	
181,68								14,08835	5,838895	1,571522	0,505249	0,203412	
193,04								16,58824	6,827297	1,878889	0,578888	0,228893	
204,39								18,58825	7,414898	1,879821	0,604833	0,258188	
215,75								20,7021	7,775591	2,058178	0,731827	0,288714	
227,10								22,96883	8,628889	2,322835	0,787482	0,321522	
249,81								27,75591	10,43307	2,888389	0,88895	0,387139	
272,52								12,40157	3,348457	1,072835	0,458318		
295,23								14,50893	3,707349	1,288404	0,518111		
317,94								16,88833	4,288892	1,458893	0,588551		
340,65								18,20888	4,92128	1,678889	0,679134		
363,36								20,7021	5,577428	1,791339	0,774278		
408,78								28,1811	7,068814	2,28788	0,97789		
454,20								32,31827	8,2021	2,381827	1,135451		
507,75								12,79528	4,10105	1,774934			
581,30								17,1918	5,905512	2,388294			
794,85								23,4252	7,513123	3,284438			
908,40								30,81024	9,889711	4,285092			
1021,95								12,40157	5,052493				
1135,50								15,32152	6,200787				
1382,88								22,04724	8,968893				
1588,78								27,51985					
1818,38													
2043,58													
2271,08													
2725,28													

Πίνακας 6.6.1 Πτώση πίεσης σωλήνα γάλβα ανά 100m.

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΚΟΣΤΟΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ - ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

6.1. ΚΟΣΤΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο οριζόντιο γεωθερμικό σύστημα όπως προέκυψε από την διαστασιολόγηση του οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη χρειαζόμαστε 363m² ακάλυπτου χώρου. Η εκσκαφή σύμφωνα με εταιρία χωματουργικών έργων ανά m³ για τα πρώτα 3 μετρά από το έδαφος κοστίζει από 5-8

€/m³ ανάλογα με το έδαφος. Στην περίπτωση μας έχουμε 363m*1,5m βάθος = 545 m³. Έστω 5€/m³ το κόστος θα είναι 545*5 = 2.725€.

Το μήκος του εναλλάκτη προέκυψε 726m. Σύμφωνα με την NiBE εταιρεία κατασκευής σωληνώσεων πολυαιθυλενίου η τιμή ανά μέτρο είναι 1,35€, συνεπώς το κόστος του σωλήνα θα είναι 980 €.

Το δοχείο διαστολής που υπολογίστηκε κοστίζει 40€ καθώς και ο κυκλοφορητής της wilo 1056€.

Η αντλία θερμότητας, τα fan coil, εξαρτήματα – παρελκόμενα, καθώς και τα κόστη μελέτης-επιβλεψης και εγκατάστασης θεωρούνται κοινά με τα άλλα δυο γεωθερμικά συστήματα και έχουν ως εξής:

Αντλία θερμότητας 12 kw = 4.200

Ηλεκτρολόγος: 100

Υδραυλικός: 500

Μελέτη επίβλεψη: 500

Εξαρτήματα – Παρελκόμενα: 1.300

Εγκατάσταση fan-coil: 3.500

Σύνολο 14861 ΕΥΡΩ

6.2. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο κάθετο γεωθερμικό σύστημα υπολογίστηκε ο αριθμός των γεωτρήσεων καθώς και το μήκος αυτών. Το κόστος κάθε Γεώτρησης σύμφωνα από στοιχεία εταιρείας προκύπτει με το βάθος διάνοιξης της γεώτρησης και αυτό ανέρχεται στα 50 ευρώ το μέτρο όποτε στην περίπτωση αυτή έχουμε: 3 γεωτρήσεις από 36m η κάθε μια, άρα το κόστος θα είναι (3*36) *50 = 5.400 ευρώ.

Το μήκος του εναλλάκτη προέκυψε 216m. Σύμφωνα με την NiBE εταιρεία κατασκευής σωληνώσεων πολυαιθυλενίου η τιμή ανά μέτρο είναι 1,35€, συνεπώς το κόστος του σωλήνα θα είναι 291,6€.

Το δοχείο διαστολής που υπολογίστηκε κοστίζει 20€ καθώς και ο κυκλοφορητής της wilo 450€.

Η αντλία θερμότητας, τα fan coil, εξαρτήματα – παρελκόμενα, καθώς και τα κόστη μελέτης-επιβλεψης και εγκατάστασης θεωρούνται κοινά με τα άλλα δυο γεωθερμικά συστήματα και έχουν ως εξής:

Αντλία θερμότητας 12 kw = 4.200

Ηλεκτρολόγος: 100

Υδραυλικός: 500

Μελέτη επίβλεψη: 500

Εξαρτήματα – Παρελκόμενα: 1.300

Εγκατάσταση fan-coil: 3.500

Σύνολο 16242 ΕΥΡΩ

Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρούμε ότι το οικονομικότερο γεωθερμικό σύστημα είναι αυτό του οριζόντιου εναλλάκτη αρκεί να υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος.

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπληρωματικά με τα συστήματα θέρμανσης με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εάν συνυπολογιστούν η θερμομόνωση του κτιρίου, η ηλιακή υποστήριξη της θέρμανσης και του ζεστού νερού χρήσης καθώς και η ενεργή ανάκτηση θερμότητας, διαμορφώνεται η ενεργειακή ταυτότητα ενός κτιρίου σε A+++ με σχετικά αποσβέσιμο κόστος.

Το κτίριο έχει 8000watt θερμικές απώλειες και 11000watt θερμικά κέρδη. Η μελέτη έδειξε πως μια AΘ 11kw είναι ιδανική για την συγκεκριμένη περίπτωση. Θα ήταν εφικτό να βάλουμε μεγαλύτερη αλλά στην πόλη της Πάτρας δεν υπάρχει μεγάλο πρόβλημα με ακραίες θερμοκρασίες.

Παρατηρήθηκε ότι το οριζόντιο σύστημα είναι σαφώς πιο αποδοτικό οικονομικά από ότι το κάθετο σύστημα. Η μόνη παράμετρος που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή είναι τα τετραγωνικά μέτρα του οικοπέδου που θα χρησιμοποιηθεί για αυτό τον λόγο. Αν δεν υπάρχει η κατάλληλη έκταση, τότε ο ενδιαφερόμενος πρέπει να προσφύγει στην λύση του κάθετου εναλλάκτη.

Όσον αφορά την μηχανική απόδοση των συστημάτων δεν μπορεί να συγκριθεί με την έννοια ότι βάση των φορτίων διαστασιολογείται ο κάθε εναλλάκτης. Αποδοτικά τα δύο συστήματα είναι ίδια. Αυτό που σαφώς έναν εναλλάκτη θα τον κάνει πιο αποδοτικό είναι οι διαφορές θερμοκρασίας. Αναλόγως πάντα το έδαφος και την τοποθεσία. Εκεί που υπάρχει ηφαιστιακή ζώνη για παράδειγμα, σαφώς ο εναλλάκτης θα ήταν πιο αποδοτικός.

Ήδη η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζει μια πραγματικά δυναμική εξέλιξη και είναι μείζονος σημασίας ο κόσμος να στραφεί προς αυτή αλλά και τις υπόλοιπες Α.Π.Ε για να υπάρχει η δυνατότητα οι επόμενες γενιές να ζήσουν σε ένα περιβάλλον καλύτερο και πιο καθαρό.

Από τη σύγκριση των συστημάτων θέρμανσης σε ένα σύγχρονο κτίριο, προκύπτει ότι το κόστος λειτουργίας θέρμανσης - ψύξης με χρήση Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας μειώνεται περισσότερο από 75% σε σχέση με το κόστος που προκύπτει από τη χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων, αν γίνει η υπόθεση ότι η σύγκριση γίνεται με συμβατικά καύσιμα ή με την παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Σαφώς και προτείνεται ο οριζόντιος εναλλάκτης για την συγκεκριμένη περίπτωση καθώς τα οφέλη του είναι πολλά σε σχέση με άλλους τρόπους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

τύπος	υλικό	εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	θερμική αντίσταση ((K.m)/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25	2	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32	2	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40	2,3	0,42	0,046

PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20	2	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32	3	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	33,4	3	0,42	0,075
SDR-11 1- 1/4"	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1- 1/2"	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1- 1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1- 1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54	4	0,22	0,116

Πίνακας 1. Στοιχεία σωληνώσεων.

Πηγή: ASHRAE

Διάμετρος σωλήνωσης τύπου U	SDR	Παροχή νερού ανω των 2gpm	παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 3gpm	παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 5gpm	παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 10gpm
3/4 in	SDR 11	0,09	0,12	-	-
	9	0,11	0,15	-	-
	SDR 40	0,1	0,14	-	-
1 in	SDR 11	0,09	0,14	0,1	-
	9	0,11	0,15	0,12	-
	SDR 40	0,1	0,16	0,11	-
1-1/4 in	SDR 11	0,09	0,15	0,12	0,09
	9	0,11	0,17	0,15	0,11
	SDR 40	0,09	0,15	0,12	0,09
1-1/2 in	SDR 11	0,09	0,16	0,15	0,09
	9	0,11	0,18	0,17	0,11
	SDR 40	0,09	0,15	0,12	0,09

	SDR 40	0,08	0,14	0,14	0,08
--	--------	------	------	------	------

Πίνακας 2. Θερμική αντίσταση σωλήνωσης σε h ft °F/Btu.

Πηγή: ASHRAE

Αριθμός ισοδύναμων ωρών (Θέρμανση /Ψύξη)	Απόσταση γεώτρησεων (ft)	Θερμοκρασία εδάφους και εισαγωγής υγρού στον εναλλάκτη (°F)					
		tg =50°F (tw = 35/80)		tg =60°F (tw = 45/85)		tg = 70°F (tw = 60/95)	
		kg (Btu/(h ft °F))					
		1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5
		Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους tr (°F) Απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT					
1.500/500	15	-4,4 (318)	-4,4 (248)	-	-	-	-
	20	-2,3 (276)	-2,3 (216)	-	-	-	-
	25	-1,2 (258)	-1,2 (202)	-	-	-	-
1.000/1.000	10	12,9 (318)	11,8 (245)	-	11,8 (313)	-	-
	15	5,4 (237)	4,3 (186)	4,7 (245)	4,7 (225)	-	-
	20	3,4 (220)	1,9 (172)	2,5 (263)	2,4 (206)	-	-
500/ 1.500	15	15,1 (379)	15,1 (294)	-	12,8 (345)	-	-
	20	7,8 (277)	8 (216)	6,7 (326)	6,7 (254)	6,7 (336)	6,7 (259)
	25	4,1 (224)	4,3 (190)	3,5 (287)	3,5 (224)	3,5 (293)	3,5 (229)
0/2.000	15	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	10,3 (406)	10,4 (316)	10,4 (414)	10,5 (322)
	25	-	-	5,4 (323)	5,5 (252)	5,4 (332)	5,5 (257)

Πίνακας 3. Συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους.

Πηγή: ASHRAE

Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h ft °F))	Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (W/(mK))
20% μπετονιτής	0,42	Αμμογάλικο	0,4
30% μπετονιτής	0,43	Νερό στάσιμο	0,6
Τσιμέντο	0,40-0,45	Μπετονιτής 10%, νερό	0,7
Σκυρόδεμα 130/150 lb/ft ³	0,60-0,80	Μπετονιτής/τσιμέντο/άμμος 9/9/20%, νερό	0,7-0,8
Σκυρόδεμα 50 % χαλαζιακή άμμος	1,10-1,70	Υγρή άμμος	1
20% μπετονιτής-40% χαλαζιτής	0,85	Παγωμένος μπετονιτής 10%	1,4
30% μπετονιτής-30% χαλαζιτής	0,70-0,75	Μπετονιτής/χαλαζιτής 12/50% ,νερό	1,5
30% μπετονιτής-30% σιδηρομετάλλευματα	0,45	Χαλίκι,νερό	1,8
60% χαλαζιτής-τέφρα-άμμος	1,07	Πάγος	2,3

		Τσιμέντο/άμμος 27%/58%/νερό	2,4
		Χαλαζίτης, νερό	2,4-2,7
		Τσιμέντο/γραφίτης	2

**Πίνακας 4.Θερμική αγωγιμότητα υλικών πλήρωσης γεωτρήσεων.
Πηγή: ASHRAE**

Αγωγιμότητα εδάφους (Btu/(h ft °F))	0,9			1,3		1,7	
Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h ft °F))	0,5	2	0,5	1	2	0,5	1
Διαμετρος γεώτρησης 4in 1 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,05	0,14	0,03	-0,02	0,17	0,05
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,13	0,04
Διαμετρος γεώτρησης 5in 3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,18	0,04	-0,04	0,21	0,06
1 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,04	0,14	0,03	-0,02	0,16	0,05
1 -1/4in σωλήνωση τύπου U	0,06	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,12	0,04
Διαμετρος γεώτρησης 6in 3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,18	-0,07	0,21	0,04	-0,05	0,24	0,07
1 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,17	0,03	-0,04	0,21	0,06
1 -1/4in σωλήνωση τύπου U	0,09	-0,04	0,12	0,03	-0,02	0,15	0,05
1 -1/2in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,11	0,04

**Πίνακας 5.Διόρθωση θερμικής αντίστασης.
Πηγή: ASHRAE**

τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης στη γη (%)	Θερμική αγωγιμότητα K-100% (Btu/hft°F)	Θερμική αγωγιμότητα K-80% (Btu/hft°F)	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft°F)	πυκνότητα α ρ (lb/ft³)	θερμική διαχυτότητα α (ft²/day)	
πυρηγενή πετρώματα							
Γρανίτης χαλαζίας	(10%)	10,4	1,1-3,0	1,3-4,9	0,21	165	0,9-4,3
Γρανίτης χαλαζίας	(25%)			1,5-2,1			1,0-1,4
Αμφιβολίτης			1,1-2,7	1,5-2,2		175-195	
Ανδεσίτης			0,8-2,8	0,9-1,6	0,12	160	1,1-4,7
Βασάλτης		42,8	1,2-1,4		0,17-0,21	180	0,7-0,9
Gabbro (Cen.Plains)			0,9-1,6				0,65-1,15
Gabbro (Rocky Mtns)			1,2-2,1		0,18	185	0,85-1,5

Διορίτης		1,2-1,9	1,2-4,7	0,22	180	0,7-1,0
Γρανοδιορίτης	11,2	1,2-2,0		0,21	170	0,8-4,3
Ιζημετογενή πετρώματα						
Claystone		1,1-4,7				
Δολομίτης		0,9-3,6	1,6-3,6	0,21	170-475	1,1-2,3
Ασβεστόλιθος		0,8-3,6	1,4-2,2	0,22	150-475	1,0-4,4
Rock Salt		3,7		0,2	130-435	
Χαλαζιακή άμμος	1,7	1,2-2,0		0,24	160-470	0,7-4,2
Siltstone		0,8-1,4				
Wet shale (25% χαλαζίας)						0,9-1,2
Wet shale (0% χαλαζίας)	4,2	0,6-2,3		0,21	130-165	0,5-0,6
Dry shale (25% χαλαζίας)						0,7-1,0
Dry shale (0% χαλαζίας)						0,45-0,55
Μεταμορφωγενή πετρώματα						
Γνευσίτης	21,4	1,1-3,3	1,3-2,0	0,22	160-175	0,9-1,2
Μάρμαρο	0,9	1,2-3,2	1,2-1,9	0,22	170	0,8-1,2
Χαλαζίας		3,0-4,0		0,2	160	2,2-3,0
Σχιστόλιθος (schist)	5,1	1,2-2,6	1,4-2,2		170-200	
Σχιστόλιθος (slate)		0,6-4,5		0,22	170-475	0,6-0,9

**Πίνακας 7. Θερμική αγωγιμότητα Kg και θερμική διαχυτότητα αg του εδάφους
Πηγή: ASHRAE**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- M. Φυτίκας, N. Ανδρίτσος (2004). Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα*
M, H. Dickson & M. Fanelli, What is Geothermal Energy?: CNR, Pisa Italy
Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J., (1977), Chemistry and Geothermal Systems. Academic Press, London
Eliasson E.T. (2001), «Power Generation from High-Enthalpy Geothermal Resources». Geo-Heat Center Bulletin Vol. 22, No. 2, p. 26-34

- Lindal B. (1992), *Review of industrial applications of geothermal energy and future considerations*. *Geothermics* Vol. 21, Issues 5-6, p. 591-604
- Lund J., Freeston D, Boyd T. (2005), *Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review*. *Geothermics* Vol. 34, Issue 6, p. 691-727
- Barbier, E. (1997), *Nature and technology of geothermal energy: a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1, 1-69
- Coudert, J.M. et Jaudin, F. (1988), *French experience in geothermal energy*. *Geothermics*, 17, 195-204
- Gudmunsson, J., and Lund, J.W. (1985), *Direct uses of earth heat*. *Energy research*, 9, 345-375
- Armstead, H.C.H. (1983), *Geothermal Energy*. Spon LTD, London, pp. 404
- Barbier, E. (2002), *Geothermal energy technology and current status: an overview*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 3-65
- Armstead, H.C.H. (1983), *Geothermal Energy*. Spon LTD, London, pp. 404
- Brower, M. (1997), *Cool Energy: Renewable Solutions to Environmental Problems*. MIT Press,
- Huttrer, G. W. (2001), *The status of world geothermal power generation 1995 2000*. *Geothermics*, 30, 1-27
- Lund, J.W., and Freeston, D.H. (2001), *World-wide direct uses of geothermal energy 2000*. *Geothermics*, 30, 29-68
- Marshall, T. and Braitwaite, W.R. (1973), *Corrosion control in geothermal systems*. Unesco 1973, *Geothermal Energy*, 151-160
- Rylen, D.J. (1980), *Analysis of the flow in the reservoir-well system*. In the *Sourcebook on the Production of Electricity from Geothermal Energy*, (Ed. J. Kestin) DOE/RA-28320-2
- White, D.E. (1973), *Characteristics of geothermal resources*. In *Geothermal Energy* (Kruger, P. and Otte, C., eds). Stanford University Press, Stanford, pp. 69-94
- White, D.E. (1965), *Geothermal Energy*. U.S.G.S. Circular 519, pp. 17
- .Σελλούντος, B.H. (1996) *Θέρμανση-Κλιματισμός*. Εκδόσεις Δορυφόρος, Αθήνα
- .Φυτίκας, Μ. (1991), *Μαθήματα Γεωθερμίας*. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη
- Αρθούρος Ζερβός, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Αθήνα 2008
- Δημήτρης Παπαντώνης, *Υδροδυναμικές μηχανές: αντλίες - υδροστρόβιλοι*, Αθήνα 2002
- Διπλωματική εργασία: *Ξήρανση ιλύος αστικών και βιομηχανικών απόβλητων με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας*, κ. Κατσιμάντου Α.Π.Θ
- Διδακτορική διατριβή: *«Αξιολόγηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προβλέψεις με εναλλακτικά σενάρια σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο»*, Παπάζης Α. Στυλιανός, Τμήμα Τεχνολογίας και Συστημάτων Παράγωγης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 1998.
- Διπλωματική εργασία: *«Πηγές ενέργειας και μετατροπή τους σε ηλεκτρική ενέργεια»*, Ιωάννη Βούλγαρη, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ.Η/Υ, ΑΠΘ 2005.
- Διπλωματική εργασία: *«Ανάλυση και έλεγχος αιολικού συστήματος παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας με ασύγχρονη μηχανή»* Βασιλική Μπουγά, Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, 2011.

Σημειώσεις: υδροδυναμικές μηχανές-υδραυλική ενέργεια, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, ΤΕΙ Κρήτης.

Διπλωματική εργασία: «Πηγές ενέργειας-μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια», Δ. Πανίδα, Θεσσαλονίκη 1996.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος/τμήμα κεντρικής Μακεδονίας, «Γεωθερμία στην κεντρική Μακεδονία» (πόρισμα ομάδας εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ όπως εγκρίθηκε με την απόφαση της διοικούσας επιτροπής), Γεώργιος Αναστασιάδης (Η.Μ), Δρ.Απόστολος Μιχόπουλος (Μ.Μ), Αγγελική Μπαλτζή (Η.Μ), Χρήστος Μπουσγολίτης (Η.Μ, Π.Μ), http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1525_geothermy.pdf

Διπλωματική εργασία: «Μετρά του ελληνικού κράτους για περιορισμό και πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος από συμβατικές πηγές ενέργειας. Μια κατάταξη κατά προτεραιότητα της εφαρμογής των μέτρων αυτών.», Βασίλειου Ι. Στασινόπουλου, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2005.

Διδακτορική διατριβή: « Βέλτιστη αξιοποίηση πηγών χαμηλής ενθαλπίας. Εφαρμογή στα αγιάσματα νήσου Χίου», Παπαδάκης Μιχάλης, εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Τομέας Γεωλογικών Επιστήμων, 2004.

Πτυχιακή εργασία: « Ανάλυση-παρουσίαση του λογισμικού Retscreen. Εφαρμογή σε θερμικά ηλιακά συστήματα», Μαρία-Ειρήνη Χουστουλάκη, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανολογίας, 2010.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ

EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy www.eere.energy.gov

EGEC – European Geothermal Energy Council www.egec.net

Geo-Heat Center <http://geoheat.oit.edu/>

GRC – Geothermal Resources Council www.geothermal.org/

IGA – International Geothermal Association <http://iga.igg.cnr.it/index.php>

International Energy Agency: <http://www.iea.org/>

International Ground Source Heat Pump: <http://www.igshpa.okstate.edu/>

NREL – National Renewable Energy Laboratory www.nrel.gov/learning/
GEA - Geothermal Energy Association <http://www.geo-energy.org/>
Geothermal Exchange www.the-gx.com/main.asp
Geothermics. Elsevier, UK <http://www.elsevier.com/locate/geothermics>
Renewable Energy, Elsevier Science <http://www.energia.com.inca/publications/store/9/6/9/>
Renewable Energy World, James & James publication
<http://www.jxj.com/magsandj/rew/index.html>
IGA - <http://www.geothermal-energy.org/319,.html>
<http://el.wikipedia.org/>
<http://www.aenaon.net/gr> (εικόνα)
<http://www.cres.gr>
<http://www.ecogreens.gr>
http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
www.geothermal-energy.org (εικόνα)
http://www.gaiadrill.gr/el/CNT/shallow_geothermal_energy.aspx
<http://www.geothermal.metal.ntua.gr/generaldis.html> (εικόνα)
[http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket = ysYxrE3Ia94%3D&tabid = 285](http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ysYxrE3Ia94%3D&tabid=285)
<http://energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/sxediaanoiktou.html>
<http://argyriadis.com/geothermy.php>

³ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 4)

⁴ (<http://www.naturalgas.org/overview/background.asp>)

⁵ (http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/context/uses_and_sources.php)

⁶ (Worldwatch Institute January 2012)

⁷ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 6)

⁸ (<http://kpekastor.kas.sch.gr>)

⁹ (<http://www.physics4u.gr/news/2004/scnews1446.html>)

¹⁰ (Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 7)

¹¹ (www.canren.gc.ca)