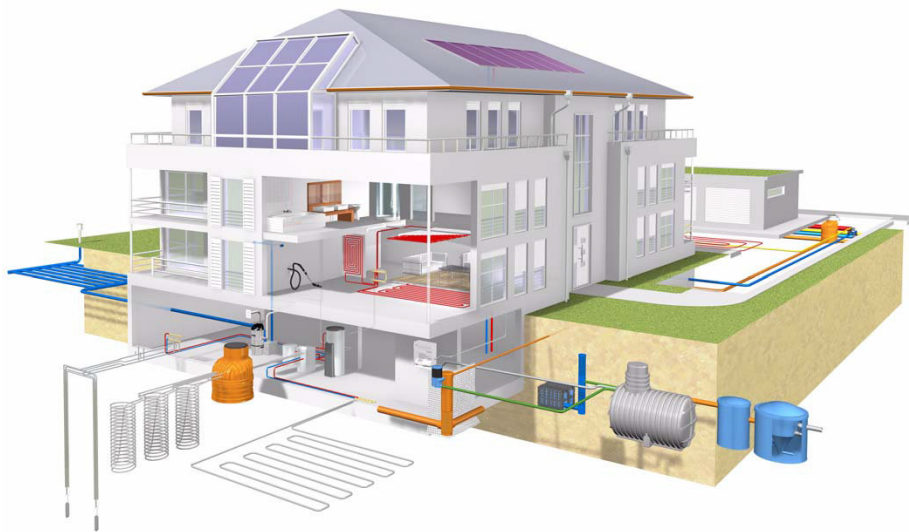




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ΨΥΞΗ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΘΕΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: Μυλωνάς Νικόλαος

Α.Μ.: 3177

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Μονιάκης Μύρων

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2013**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα είναι το ευχαριστώ σε όλους αυτούς που με βοήθησαν με την συμμετοχή τους ή με την αποστασιοποίηση τους, την επιμονή και υπομονή τους, την φωνή και σιωπή τους, τις προτροπές τους, τις συμβολές τους, τις γνώσεις τους και τα όποια πρακτικά εργαλεία τους.

Μετά είναι το ευγνωμονώ. Πάλι σε αυτούς, του ίδιους: την οικογένεια μου, τους πολύ στενούς μου συγγενείς, τους καλούς μου φίλους, την σύντροφο μου την ερωτική και έναν κάπου στο Ηράκλειο επιβλέπον καθηγητή.

Που όλοι αυτοί: Όπως και όσο, κάπως και από κάπου, με όποιον τρόπο και για όποιον λόγο. Βοήθησαν προσωπικά εμένα και την όλη διαδικασία του έργου αυτού.

ευχαριστώ / σας είμαι ευγνώμων  
Νίκος Μυλωνάς

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	5
1. Ενεργειακή Κατάσταση και Διαδρομή της Τεχνολογίας των Γ.Α.Θ.	7
1.1. Ενεργειακή πολιτική	8
1.1.1. Η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον κτιριακό τομέα	8
1.1.2. Η Ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας στον κτιριακό τομέα	9
1.2. Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα	11
1.3. Ιστορική διαδρομή της τεχνολογίας Γ.Α.Θ.	12
1.4. Στατιστικά στοιχεία για τεχνολογία Γ.Α.Θ.	17
1.4.1. Η σημερινή κατάσταση της αγοράς των Γ.Α.Θ. σε Η.Π.Α. και Καναδά	17
1.4.2. Η σημερινή κατάσταση της αγοράς των Γ.Α.Θ. στην Ευρώπη	18
1.4.3. Ρυθμός ανάπτυξης των Γ.Α.Θ. στην Ευρώπη	20
2. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια	24
2.1. Η θερμική ροή της Γης	25
2.2. Η γεωθερμική βαθμίδα	27
2.3. Ορισμός γεωθερμικών συστημάτων	29
2.4. Χρήσεις γεωθερμικών συστημάτων	30
2.5. Πεδίο αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας	31
2.6. Αβαθής γεωθερμία και Γ.Α.Θ.	34
2.7. Η περίπτωση Permafrost	36
2.8. Η αβαθής γεωθερμία στην Ευρώπη σε σχέση με τα γεωγραφικά πλάτη	37
2.9. Καταγραφή αβαθούς γεωθερμικής ροής στην Ευρώπη	39
2.10. Αβαθής γεωθερμία στον Ελλαδικό χώρο	41
3. Αντλίες Θερμότητας και Γ.Α.Θ.	44
3.1. Ορισμός της αντλίας θερμότητας	45
3.2. Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας	46
3.3. Βαθμονόμηση της απόδοσης αντλιών θερμότητας	49
3.3.1. Βαθμός επίδοσης	49
3.3.2. Βαθμός απόδοσης	49
3.4. Οι πηγές και οι αποδέκτες θερμότητας	51
3.4.1. Αέρας	51
3.4.2. Νερό	52
3.4.3. Έδαφος	52
3.4.4. Ήλιος	52
3.5. Τύποι αντλιών θερμότητας	53
3.5.1. Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα	53
3.5.2. Αντλίες θερμότητας αέρα-νερού	53
3.5.3. Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα	54
3.5.4. Αντλίες θερμότητας νερού-νερού	55
3.5.5. Αντλίες θερμότητας εδάφους-νερού	55
3.5.6. Αντλίες θερμότητας εδάφους-αέρα	56
3.6. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	57
3.6.1. Λειτουργία κλειστών γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας	58

3.6.1.1. Βρόχος διανομής	58
3.6.1.2. Βρόχος ψυκτικών ουσιών	58
3.6.1.3. Επίγειος βρόχος	59
3.6.1.4. Εσωτερικός βρόχος ζεστού νερού	59
3.6.2. Κύκλος Θέρμανσης	59
3.6.3. Ψυκτικός Κύκλος	61
3.6.4. Εσωτερικές επιλογές ζεστού νερού	62
4. Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας και Γεωεναλλάκτες	65
4.1. Ταξινόμηση γεωθερμικών εναλλακτών	66
4.2. Συστήματα ανοικτού κυκλώματος	67
4.2.1. Γ.Α.Θ. που λειτουργούν με υπόγεια νερά	68
4.2.2. Σύστημα μόνιμης υδάτινης στήλης	69
4.2.3. Γεωθερμικά συστήματα με άντληση νερού από επιφανειακά νερά	72
4.3. Εναλλάκτης γεωθερμικής ενέργειας αέρα-εδάφους	74
4.4. Συστήματα κλειστού βρόγχου	76
4.4.1. Κάθετα συστήματα κλειστού βρόγχου	77
4.4.2. Οριζόντια συστήματα κλειστού βρόγχου	80
4.4.2.1. Διατάξεις οριζόντιων εναλλακτών θερμότητας με το έδαφος	82
4.4.3. Καταβυθισμένα κυκλώματα	85
4.4.4. Γεωθερμική θεμελίωση	86
4.4.4.1. Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη σε στρώση εξυγίανσης κάτω από την θεμελίωση	88
4.5. Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα	89
4.6. Γεωθερμική Αντλία GeoColumn	91
4.7. Συστήματα απευθείας μετάδοσης της θερμότητας	93
4.8. Επιλογή συστήματος γεωθερμίας	97
4.9. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταξύ των γεωεναλλακτών	97
4.10. Διαστασιολόγηση γεωεναλλάκτη	99
5. Συστήματα διανομής θερμικών και ψυκτικών φορτίων στο εσωτερικό των χώρων	101
5.1. Εισαγωγή στα τερματικά συστήματα	102
5.2. Συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας	103
5.2.1. Θέρμανση και ψύξη ξηράς δόμησης για δάπεδο οροφή και τοίχο	105
5.2.2. Θέρμανση και ψύξη υγρής δόμησης για δάπεδο οροφή και τοίχο	105
5.2.3. Εκλογή συστημάτων χαμηλών θερμοκρασιών	106
5.3. Μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα	107
5.4. Θερμαντικά σώματα	108
5.5. Κανάλια αέρα	110
5.6. Συστήματα κλιματισμού μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου	111
5.7. Πίνακες σύγκρισης συστημάτων διανομής με Γ.Α.Θ.	112
5.8. Διαγράμματα συνδυασμών συστημάτων διανομής με Γ.Α.Θ.	113
5.9. Προϋποθέσεις αντικατάστασης συστήματος ψύξης/θέρμανσης	113
5.10. Απόδοση και απόσβεση συστήματος Γ.Α.Θ. στη θέρμανση και ψύξη χώρων	114
5.11. Πλεονεκτήματα Γ.Α.Θ. σε σχέση με συμβατικές λύσεις θέρμανσης/ψύξης	115
6. Μέθοδος σχεδιασμού υπολογισμού και εγκατάστασης εναλλάκτη οριζοντίου συστήματος Γ.Α.Θ.	118



6.1. Εισαγωγή στο σχεδιασμό οριζόντιων γεωεναλλακτών	119
6.2. Βασικά στοιχεία σχεδιασμού	119
6.2.1. Κλιματολογικές παράμετροι	120
6.2.2. Εδαφολογικοί παράγοντες	120
6.2.3. Ιδιότητες του εδάφους	121
6.2.4. Τοπογραφία του χώρου εγκατάστασης	122
6.2.5. Επιρροές επιφανειακής κάλυψης	123
6.3. Βασικές πρακτικές σχεδιασμού	124
6.4. Σχέδιο κατασκευής και επισήμανσης γεωεναλλάκτη	127
6.5. Ενεργειακή απόδοση και οικονομικό κόστος εγκατάστασης	128
6.5.1. Μείωση καθαρού ετήσιου θερμικού σχεδιασμού για το διαθέσιμο χώρο	129
6.5.2. Βελτίωση της θερμικής παραγωγικότητα στο εδάφους εγκατάστασης	129
6.5.3. Επιλογή κατάλληλης διάταξης σωληνώσεων	129
6.6. Διάθρωση υπολογισμών οριζόντιου γεωεναλλάκτη	130
6.6.1. Εκτίμηση επίγειας θερμοκρασίας	130
6.6.2. Υπολογισμός μήκους σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη	132
6.6.3. Υπολογισμός της θερμοκρασίας εισόδου του νερού	134
6.6.4. Παράγοντας φορτίου	134
6.6.5. Συντελεστής απόδοσης και χωρητικότητα φορτίων	135
6.6.6. Θερμοκρασία εισόδου νερού για κλειστά συστήματα	135
6.7. Μηχανήματα εκσκαφών εγκατάστασης γεωεναλλακτών	136
6.7.1. Μηχανήματα διάνοιξης τάφρων	138
6.7.2. Δονητικά άροτρα	138
6.7.3. Εκσκαφείς	139
6.7.4. Μπουλντόζες	140
6.7.5. Μηχανές διάνοιξης οριζόντιων οπών	141
6.8. Διαδικασία εγκατάστασης γεωεναλλάκτη	142
6.9. Τελικές εκτιμήσεις σχεδιασμού-υπολογισμού-εγκατάστασης οριζόντιου γεωεναλλάκτη	148
7. Ελληνική νομοθεσία εφαρμογών γεωθερμικών συστημάτων	151
7.1. Ο βασικός νόμος 3175 του 2003	152
7.2. Η τελευταία ρυθμιστική υπουργική απόφαση του 2009	153
7.2.1. Περιοριστικοί όροι του άρθρου 4	155
7.3. Έκδοση άδειας χρήσης νερού	156
7.4. Στοιχεία σύνταξης της μελέτης για αδειοδότηση	157
7.5. Απαιτούμενα δικαιολογητικά για αδειοδότηση	158
7.5.1. Ειδικότερα με τη νέα Υπουργική Απόφαση	161
Επιστημονικές και τεχνολογικές πηγές - Βιβλιογραφία	163

## Εισαγωγή

Είμαστε περιτριγυρισμένοι από ανεξάντλητους ενεργειακούς πόρους που μας επιτρέπουν να αντιμετωπίσουμε τόσο τις δικές μας ενεργειακές ανάγκες, όσο και τις ανάγκες των επόμενων γενεών, χωρίς να ρινοκινδυνεύσει η ζωή και η ευημερία στον πλανήτη μας. Ωστόσο, η ανθρωπότητα, στην προσπάθεια της για την αιφόρο κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της, έχει επανειλημμένα χαθεί σε δρόμους αδιέξοδους και έχει αποδεχτεί προσωρινές λύσεις ως τελικές. Σήμερα, το επίπεδο της σύγχρονης τεχνολογίας επιτρέπει τη χρησιμοποίηση αυτών των πόρων σε μία κλίμακα που να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τις ανάγκες του σύγχρονου πολιτισμού. Αλλά μία και μόνο τεχνολογία ή μία και μόνο ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή δε θα μπορέσει ποτέ να καλύψει διαφορετικής έντασης ενεργειακές ανάγκες σε τόπους με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Έτσι, από κάθε εναλλακτική πηγή ενέργειας θα πρέπει να εκμεταλλευτούμε τα διαφορετικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει και να τα αξιοποιήσουμε με έξυπνο τρόπο στους τόπους που μπορούν να αποδώσουν στο μέγιστο βαθμό. Ιδιαίτερα, όταν οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) χρησιμοποιούνται συνδυασμένα, έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες από ότι με τη μονόπλευρη αξιοποίηση τους. Επίσης πολύ σημαντική παράμετρος όταν μιλάμε για Α.Π.Ε. είναι και η ελαχιστοποίηση των δικτύων και εγκαταστάσεων για την μεταφορά ενέργειας από τον ένα τόπο στον άλλο. Αυτή η παράμετρος καθιστά απαραίτητο στοιχείο του σχεδιασμού την εκλογή κατάλληλης τεχνολογίας σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του τόπου και μάλιστα στην μικρότερη δυνατή περιοχική κλίμακα.

Το φυσικό περιβάλλον προσφέρει δύο εντελώς διαφορετικές πηγές για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών, τον ήλιο και τη γη. Ο ήλιος μας δίνει ενέργεια με ποικίλους τρόπους, άμεσα (θερμικές απολαβές, φωτοβολταϊκό φαινόμενο) ή έμμεσα (αιολική ενέργεια, βιομάζα, κίνηση υδάτων και θαλάσσιων μαζών). Όμως ο ήλιος αν και είναι «εύκολος» στην αξιοποίηση του, είναι και κάπως «ασταθής» και μας κάνει να εξαρτιόμαστε από το εάν είναι μέρα ή νύχτα, από τις καιρικές συνθήκες και το κλίμα. Από την άλλη μεριά, η γη που μας δίνει τη γεωθερμική ενέργεια, είναι περισσότερο «δύσκολη» στην εκμετάλλευσή της, αλλά και περισσότερο αξιόπιστη. Το δυναμικό της είναι διαθέσιμο όλες τις ώρες της ημέρας και του έτους, με μόνη προϋπόθεση ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη τεχνολογία. Συνεπώς, ο επιτυχής συνδυασμός (αποτελεσματικότητα) των Α.Π.Ε. θα γίνει ποιο δυνατός και η δυνατότητες κάλυψης των ενεργειακών αναγκών θα δικαιωθούν, όταν και οι δύο κύριες πηγές ενέργειας (ο ήλιος και η γη) θα μπορέσουν να συνεισφέρουν συγχρόνως.

Πέρα, όμως από την επαρκή κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος που προκύπτει για το σύγχρονο άνθρωπο και τις δυτικές κοινωνίες είναι η μείωση της «ενεργειακής

στάθμης». Έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια να ονομάζετε ως ενεργειακό αποτύπωμα και αφορά από φυσικά πρόσωπα μέχρι και μηχανές, κτίρια, δραστηριότητες. Το ενεργειακό αποτύπωμα είναι η ποσότητα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκλύεται στην ατμόσφαιρα και που σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας. Αυτή η ποσότητα είναι που πρέπει να μειωθεί μέσω της μη σπάταλης και ορθής χρήσης της παραγόμενης ενέργειας έτσι ώστε να επιτύχουμε τη λεγόμενη αειφόρο ανάπτυξη.

Άρα, η οικολογία (η λογική στα του οίκου μας) δηλαδή η φιλοσοφική μας στάση απέναντι σε αυτό που μας περιβάλλει και η οικονομία (οι νόμοι του οίκου μας) δηλαδή το πώς εφαρμόζουμε σε πράξεις τις ιδέες μας. Αποτελούν δύο τάσεις πάνω στις οποίες μπορεί και να εξαρτάται ακόμη και η ίδια η ισορροπία του φυσικού περιβάλλοντος της Γης. Γιατί, τα αέρια του θερμοκηπίου, υπεύθυνα για την μόλυνση και υπερθέρμανση της Γης, η αλλοίωση στη σύσταση της ατμόσφαιρας και των υδάτων, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η διατάραξη των οικοσυστημάτων και τελικά η κλιματική αλλαγή του πλανήτη θέτουν σε κίνδυνο όχι μόνο τον ίδιο αλλά και τη βιωσιμότητα των σημερινών και επόμενων γενεών.

Ένα μεγάλο μερίδιο των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση προέρχεται και από τον κτιριακό τομέα. Σε αυτό το πεδίο είναι που βρίσκει εφαρμογή και η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας και η τεχνολογία των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Γ.Α.Θ.) που πραγματεύεται και αυτή η πτυχιακή εργασία.

Ποιο συγκεκριμένα η εργασία αυτή καταπιάνεται με την εφαρμογή των συστημάτων αξιοποίησης του εδάφους για θέρμανση και ψύξη κατοικιών και όχι με όλο το φάσμα των εφαρμογών Γ.Α.Θ. στο κτιριακό τομέα. Γίνεται μία προσπάθεια περιγραφής της λειτουργίας συγκεκριμένων διατάξεων θέρμανσης/ψύξης καθώς και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες που χρησιμοποιούν τη γη ως εναλλάκτη θερμότητας είτε αντλώντας είτε αποδίδοντας θερμότητα σε αυτήν. Η εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας αφορά την αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους στα πλαίσια της αβαθούς γεωθερμίας και των συστημάτων που βασίζονται σε αυτήν. Γίνεται λόγος για τα γεωθερμικά συστήματα αντλιών θερμότητας και του τρόπου λειτουργίας τους και στην συνέχεια ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά στο κλειστό σύστημα οριζόντιων γεωεναλλακτών θερμότητας. Όμως πριν προχωρήσουμε σε αυτά τα θέματα είναι καλό να δούμε πως έχει διαμορφωθεί η ενεργειακή πολιτική στην Ευρώπη και στη χώρα μας. Καθώς και μέσα από μια σύντομη ιστορική διαδρομή και παράθεση στατιστικών στοιχείων να δούμε την πορεία που έχει διαγράψει η τεχνολογία των Γ.Α.Θ.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

Ενεργειακή Κατάσταση και Διαδρομή της Τεχνολογίας  
των Γ.Α.Θ.

# **1. Ενεργειακή Κατάσταση και Διαδρομή της Τεχνολογίας των Γ.Α.Θ.**

## **1.1. Ενεργειακή πολιτική**

### **1.1.1. Η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον κτιριακό τομέα**

Στην Ευρώπη το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, περίπου 40%, οφείλεται στον κτιριακό τομέα, ενώ ευθύνεται για το 40% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Με την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε αυτόν τον τομέα να αποτελεί προτεραιότητα και στο πλαίσιο των τριών βασικών στρατηγικών στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) έως το 2020. Όπως, σημαντική είναι και η συνεισφορά συστημάτων που αξιοποιούν της Α.Π.Ε. και εγκαθίστανται στις υποδομές των κτιρίων και κατοικιών. Με σκοπό να καλύψουν στο μέγιστο δυνατό τις ανάγκες σε θέρμανση/ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται από τους χρήστες.

Η Ε.Ε., ήδη από το 1993, με την Οδηγία SAVE 93/76/ΕΟΚ έχει δώσει προτεραιότητα στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσα από την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στα κράτη μέλη της. Για το λόγο αυτό, η εξοικονόμηση ενέργειας και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης εντάσσονται στις βασικές προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής πολιτικής, γεγονός που εκφράζεται από μια σειρά οδηγιών και κατευθύνσεων με αποδέκτες τα κράτη-μέλη. Η αυξημένη ενεργειακή απόδοση αποτελεί άλλωστε σημαντικό μέρος της δέσμης των πολιτικών και των μέτρων που απαιτούνται για τη συμμόρφωση της Ε.Ε. με τις δεσμεύσεις που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κιότο. Σύμφωνα με το οποίο η Ε.Ε. δεσμεύτηκε να παρουσιάσει για την περίοδο 2008-2012 μείωση κατά 8% των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με αυτές του 1990. Στις προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. Μεταξύ άλλων, θεσπίστηκαν οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες 2002/91 και 2006/32.

- Όπου η Οδηγία 2002/91 αφορά στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και θέτει την έννοια του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, το οποίο θα αποκτήσουν σταδιακά όλα τα κτίρια. Στόχος αυτής της Οδηγίας είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τις τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους/οφέλους.
- Παράλληλα, η Οδηγία 2006/32 αφορά στην ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και στις ενεργειακές υπηρεσίες ενώ παράλληλα θέτει και την υποχρέωση στα κράτη μέλη να θέσουν στόχο εξοικονόμησης ενέργειας

τουλάχιστον 9% για το 2015. Σκοπός της είναι να ενισχυθεί η οικονομικώς αποτελεσματική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση στα κράτη μέλη.

- Στα τέλη του 2006, η Ε.Ε. κατάρτισε ένα Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση (COM(2006)545), με στόχο να κινητοποιήσει μεταξύ άλλων τις δημόσιες αρχές, τους πολίτες και τους συντελεστές της αγοράς να αναλάβουν συντονισμένες δράσεις που θα οδηγήσουν στην κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων, τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, την προμήθεια ενεργειακά αποδοτικών οικιακών και τη χρήση αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων.
- Τέλος θεσπίστηκε, η Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Μαΐου 2010 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Η οδηγία αυτή έχει ως στόχο να προωθήσει την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, και κτιριακών μονάδων. Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να υιοθετήσουν, σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, η οποία να λαμβάνει υπόψη ορισμένους παράγοντες. Μεταξύ των οποίων και τα συστήματα Α.Π.Ε. σε κτίρια για την κάλυψη εσωτερικών αναγκών.

Σε γενικές γραμμές, τα θεσμικά όργανα της Ε.Ε. με αυτές τις πρόσφατες Οδηγίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Θέτουν τα πλαίσια πάνω στα οποία θα νομοθετήσουν μετέπειτα, τα κράτη-μέλη, αντίστοιχες πολιτικές.

### **1.1.2. Η Ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας στον κτιριακό τομέα**

Στην Ελλάδα, το μοντέλο της παραγωγής και της ανάπτυξης απαιτεί νέες μεθόδους αναβάθμισης του τρόπου και της ποιότητας δόμησης, καινοτομίες στον τρόπο και στα υλικά κατασκευής, εφαρμογή νέων ενεργειακών τεχνολογιών και νέες επενδυτικές προοπτικές που θα δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας.

Επίσης, έχει την δυνατότητα, εκμεταλλευόμενη τα γεωγραφικά και γεωλογικά πλεονεκτήματα που διαθέτει, να αυξήσει τη συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας όπου σήμερα κυμαίνεται γύρω από ένα ποσοστό της τάξης του 10% για την ηλεκτροπαραγωγή. Ειδικότερα στην Ελλάδα, σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) έχουν καθοριστεί οι εξής στρατηγικοί στόχοι:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 4% μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπών του 2005.

- Αύξηση σε 18% του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση μέχρι το 2020.
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην τελική χρήση κατά 9% μέχρι το 2016.
- Για το 2020 ο στόχος συμμετοχής των Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για την Ελλάδα εξειδικεύεται σε 18% (σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/EK).
- Πλέον, σύμφωνα και με τον πρόσφατο νόμο που εγκρίθηκε στο κοινοβούλιο, Ν3851/10, ο εθνικός στόχος για το 2020 συμμετοχής των Α.Π.Ε. στη συνολική κατανάλωση ενέργειας τίθεται στο 20%, με επιμέρους στόχους 40% στην ηλεκτροπαραγωγή και 20% σε θέρμανση και ψύξη.

Περιτό να αναφερθεί, ότι οι υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες, αντιλαμβανόμενες την σημασία για τις οικονομίες τους -της εξοικονόμησης ενέργειας και των Α.Π.Ε.- όχι μόνο εφαρμόζουν τις αντίστοιχες οδηγίες της Ε.Ε. αλλά και προχωρούν και σε απαιτήσεις πέραν των καθοριζομένων από τις εθνικές ρυθμίσεις ορίων.

Στη χώρα μας, από μακρού χρόνου (από τα μέσα της δεκαετίας του '90) είχε επισημανθεί η ανάγκη παρέμβασης στο θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, που αποτελεί όπως αναφέρθηκε πάνω από το 40% της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας της χώρας. Όλα αυτά τα προηγούμενα χρόνια το Κ.Α.Π.Ε., το Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών, Ανώτερα και Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα της χώρας και άλλοι φορείς μεταξύ των οποίων και το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), είτε μέσα από διάφορα προγράμματα είτε με άλλο τρόπο προσπαθούσαν να αποδελτιώσουν την κατάσταση και να προτείνουν μέτρα ώστε η απαράδεκτα υψηλή ενεργειακή ένταση της χώρας να βελτιωθεί και να εξοικονομηθούν τεράστια ποσά.

Ένα ουσιαστικό βήμα, στα πλαίσια της σύγχρονης εθνικής και κοινοτικής πολιτικής και νομοθεσίας για τη προστασία του περιβάλλοντος, τη βιώσιμη ανάπτυξη και την εξοικονόμηση ενέργειας και σε συμμόρφωση με την οδηγία SAVE, έγινε με την έκδοση της Κοινής Υπουργικής Απόφασης (Κ.Υ.Α.) 21475/4707/98 (ΦΕΚ 880/Β/19-08-1998) σχετικά με τον "Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τον καθορισμό μέτρων και όρων για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων". Ειδικότερα, με το Άρθρο 4 αυτής, θεσπίζεται νέος Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.). Όμως, ο κανονισμός θα παραμείνει ανενεργός για πολλά χρόνια. μέχρι και το 2010 όπου και έχουμε την εφαρμογή ενός νέου κανονισμού.

Η χώρα μας, ως όφειλε απέναντι στις απαιτήσεις της Ε.Ε., εναρμόνισε την εθνική μας νομοθεσία με την Κοινοτική Οδηγία 2002/91/EK, σύμφωνα με τον Νόμο 3661/2008. Προϋπόθεση για την εφαρμογή του νόμου υπήρξε η έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) (ΚΥΑ Δ6/Β/οικ.5825,



ΦΕΚ 407/9.4.2010). Κατόπιν, το Τ.Ε.Ε. επιτελώντας τον ρόλο του ως τεχνικού συμβούλου του κράτους προχώρησε στη σύνταξη των Τεχνικών Οδηγιών (ΤΟΤΕΕ 20701/2010), οι οποίες εξειδικεύουν τα πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στα ελληνικά κλιματικά και κτιριακά δεδομένα.

## **1.2. Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα**

Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών. Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ε.Ε. είναι της τάξης των 350Μtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των Α.Π.Ε. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο 116Μtoe, το πετρέλαιο 99Μtoe, τον ηλεκτρισμό 91Μtoe, και τα στερεά καύσιμα με 11Μtoe.

Οι πραγματικές ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στην Ευρώπη καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό και από την έμμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και των άλλων ατμοσφαιρικών πηγών. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων υπολογίζεται σε 740Μtoe πρωτογενούς ενέργειας. Η κατανομή των διαφόρων πλέον καυσίμων είναι 43% διάφορα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 20% από άμεση χρήση πετρελαίου, 18% από άμεση χρήση φυσικού αερίου, 6% από άλλα στερεά καύσιμα και κατά 15% από ηλιακή ενέργεια. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αντιστοιχεί περίπου ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή κατά τα τελευταία χρόνια είναι ελαφρά αυξητική και η ετήσια αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης στα κτίρια είναι ίση με 0,7%.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4,6Μtoe, και αντιστοιχούν 0,55Μtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος, δηλαδή περίπου το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 1,8%. Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κυρίως κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η ανάγκη εύρεσης τρόπων μείωσης της ενεργειακής των κατανάλωσης.

Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια στην Ελλάδα, παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης των κλιματιστικών μονάδων και των ηλεκτρονικών συσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή. Επί πλέον τα



κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι.

Ειδικότερα, στις κατοικίες οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα. Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι κατοικίες σε αστικά κέντρα της χώρας που έχουν πρόσβαση στο φυσικό αέριο έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τους λέβητες πετρελαίου με ισοδύναμους λέβητες φυσικού αερίου.

Αλλά πλέον κανένα από αυτά τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν την θέρμανση των κατοικιών στην Ελλάδα μπορεί να είναι έγκυρο κατά την περίοδο που διανύουμε. Γιατί λόγω της αύξησης της τιμής (αύξηση φορολογίας) του πετρελαίου θέρμανσης μεγάλο ποσοστό των καταναλωτών έχει στραφεί προς την θέρμανση ή μερική θέρμανση με ηλεκτρισμό και καύση ξύλων. Κορύφωση δε αυτής κατάστασης που προέρχεται από την οικονομική κρίση είναι το φαινόμενο της ένδειας καυσίμων και της οικολογικής καταστροφής που προκαλείται τόσο από την αλόγιστη υλοτομία καυσόξυλων στο ύπαιθρο όσο και από την εμφάνιση του φαινομένου της αιθαλομίχλης σε αστικά κέντρα.

Συνεπώς, η κατασκευή περιβαλλοντικά και ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων και η χρήση μεθόδων και τεχνικών για τη αξιοποίηση φυσικών πηγών ενέργειας στα κτίρια, είναι επιτακτική ανάγκη, μπροστά στην περιβαλλοντική και οικονομική κρίση που ολοένα εντείνεται. Έχοντας αυτά υπ' όψιν η παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρεί να δώσει μια λύση πάνω στο πρόβλημα, εξετάζοντας το ζήτημα από τη σκοπιά των Α.Π.Ε. και ποιο συγκεκριμένα στην εφαρμογή συστημάτων Γ.Α.Θ., κατά τον τρόπο που αυτά μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης.

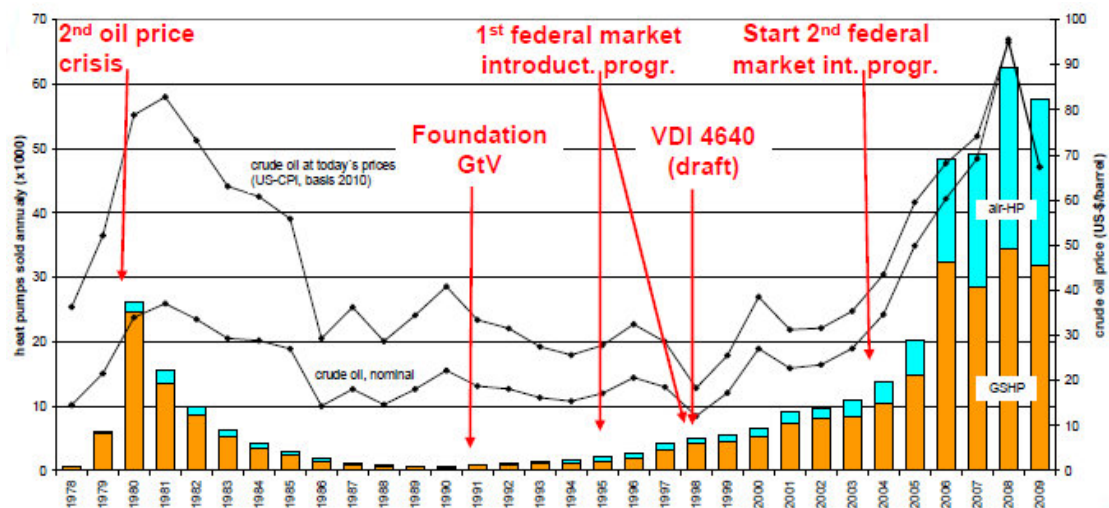
### **1.3. Ιστορική διαδρομή της τεχνολογίας Γ.Α.Θ.**

Το πρώτες κινήσεις που παρουσίασαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σχετικά με την ανάπτυξη των συστημάτων γεωεναλλακτών και της τεχνολογίας Γ.Α.Θ. ξεκίνησαν από τις χώρες της Βόρεια Αμερικής και της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης. Η πρώτη αυτή περίοδος αρχίζει μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και διαρκεί μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1950, όταν το αέριο και το πετρέλαιο χρησιμοποιούνται ευρέως ως καύσιμα θέρμανσης. Εκείνη την εποχή, οι περισσότεροι μελετητές επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη θεωρητικών μοντέλων, αναλύοντας τη θεωρία για

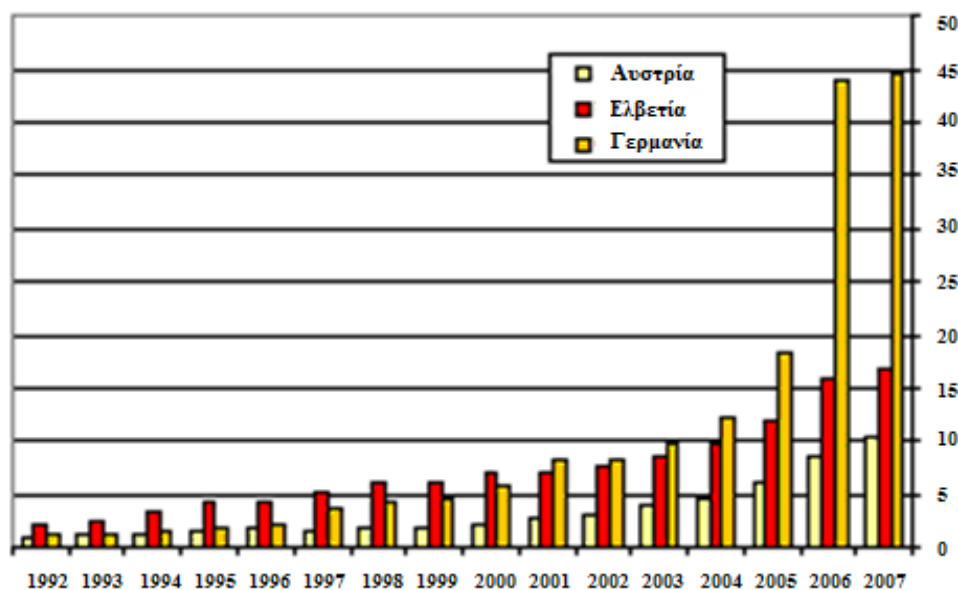
την μετάδοση θερμότητας από το έδαφος σε σωληνώσεις γεωεναλλακτών, η οποία χρησίμευσε ως βάση για την ανάπτυξη μετέπειτα υπολογιστικών μοντέλων και πρακτικών εφαρμογών. Ήδη από τότε, κυρίως στις Η.Π.Α., κάνουν και την εμφάνιση τους οι πρώτες πειραματικές εφαρμογές των Γ.Α.Θ.

Η επόμενη περίοδος έντονης δραστηριότητας για τις Γ.Α.Θ. αρχίζει γύρω στο 1970, με την πρώτη πετρελαϊκή κρίση τη χρονιά του 1973 να δίνει ιδιαίτερη ώθηση σε αυτή την τεχνολογία κάνοντας την δημοφιλή αρχικά στις Η.Π.Α., Καναδά, Σουηδία, Γερμανία, Αυστρία και Ελβετία. Έτσι, το 1980 και '81 παρατηρείται αύξηση στην αγορά Γ.Α.Θ. στη Γερμανία (Διάγραμμα 1.3.1) αλλά και στις γύρω γειτονικές χώρες (Διάγραμμα 1.3.2). Ωστόσο, κάποια προβλήματα αξιοπιστίας και άμεσης παροχής σχετικών υπηρεσιών, που παρατηρούνται σε μία νέα τεχνολογία και σε συνδυασμό με τη μείωση των τιμών του πετρελαίου, είχε ως αποτέλεσμα την μείωση των πωλήσεων με τις χαμηλότερες να σημειώνονται το 1990 (εξαιρέση αποτελεί η Σουηδία και η Ελβετία, όπου οι πωλήσεις παρέμειναν σταθερές αυτές τις δύο δεκαετίες). Ανάλογη τάση στις πωλήσεις Γ.Α.Θ. (με αυτή της Γερμανίας) παρουσιάζετε και στην άλλη μεριά του Ατλαντικού, όπως στον Καναδά (Διάγραμμα 1.4.1.3). Γενικότερα εκείνη την δεκαετία δίνεται έμφαση στην πειραματική έρευνα και στην θεωρητική ανάλυση τέτοιων μοντέλων. Αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών είναι κυρίως η ανάπτυξη ανοικτών συστημάτων που εκμεταλλεύονται πόρους της αβαθούς γεωθερμίας. Όμως, από το 1979 όπου αρχίζει να εξελίσσεται η τεχνολογία των σωλήνων πολυβουτυλενίου, η έρευνα γύρω από τις Γ.Α.Θ. και τους γεωεναλλάκτες θα θέσει τα συστήματα κλειστού βρόχου ως οικονομικά βιώσιμες επιλογές.

Στις επόμενες δύο δεκαετίες, '80 και '90, σημαντικές προσπάθειες έγιναν για τον καθορισμό της τυπικής εγκατάστασης και ανάπτυξης διάφορων μεθόδων σχεδιασμού που θα ανταποκρινόταν σε διάφορες περιπτώσεις εφαρμογών. Παράλληλα, με την έλευση των υπολογιστών, ήρθε η και ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων που βασίζονταν πλέον στα πεπερασμένα στοιχεία, πράγμα που έκανε ποιο ολοκληρωμένη την έρευνα γύρω από το θεωρητικό υπόβαθρο της μετάδοσης θερμότητας. Ωστόσο, για λόγους που θα αναφέρουμε παρακάτω, η ανάπτυξη των εγκαταστάσεων Γ.Α.Θ. και κατ' επέκταση η αύξηση των πωλήσεων τους σε σχέση με τα συστήματα καύσης υγρών και αερίων καυσίμων, παρέμενε χαμηλή.



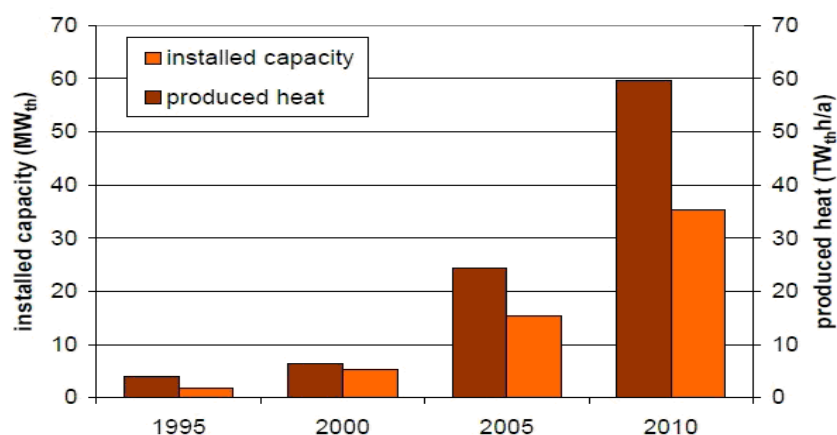
**Διάγραμμα 1.3.1** Τα αποτελέσματα των πωλήσεων αντλιών θερμότητας (Γ.Α.Θ. και αέρα-αέρα) όπως αυτά διαμορφώθηκαν στην Γερμανία από το 1978 (κατά την δεύτερη κρίση των τιμών του πετρελαίου) έως 2009. Παρατηρούμε ότι οι πωλήσεις διαμορφώνονται σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου. (Στατιστικά της GtV-BV / BWP, οι τιμές πετρελαίου δίνονται από την E.I.A. Από παρουσίαση του Dr. E. Mands-The International Market for Geothermal Heat Pumps, Νοέμβριος 2010)



**Διάγραμμα 1.3.2** Οι πωλήσεις Γ.Α.Θ. (σε αριθμό πωλήσεων μονάδων επί 1000) σε Αυστρία, Ελβετία και Γερμανία από το 1992 έως το 2007. (πηγή: Heat Pump Barometer, EurObserv'ER, Σεπτέμβριος 2011)

Αυτό που θα άλλαζε το βλέμμα, τόσο των κέντρων λήψης αποφάσεων, όσο και των εφαρμοστών τεχνολογικών εγχειρημάτων και του κόσμου γενικότερα, θα ήταν η σταδιακή στροφή προς τις τεχνολογίες Α.Π.Ε. Έτσι, από τις αρχές της δεκαετίας του '90, αρχίζει μια αργή αλλά σταθερή ανάπτυξη στη ζήτηση και των εφαρμογών Γ.Α.Θ. που εκμεταλλεύονται για τη θέρμανση και ψύξη χώρων την αβαθή γεωθερμία. Η σημαντικότερη αύξηση παρατηρείται τα τελευταία 15 χρόνια

(Διάγραμμα 1.3.3) μετά από μια περίοδο στασιμότητας (1985 έως 1995), κυρίως λόγω του αυξανόμενου κόστους των ορυκτών καυσίμων για την ανάγκη κάλυψης θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων από Α.Π.Ε.

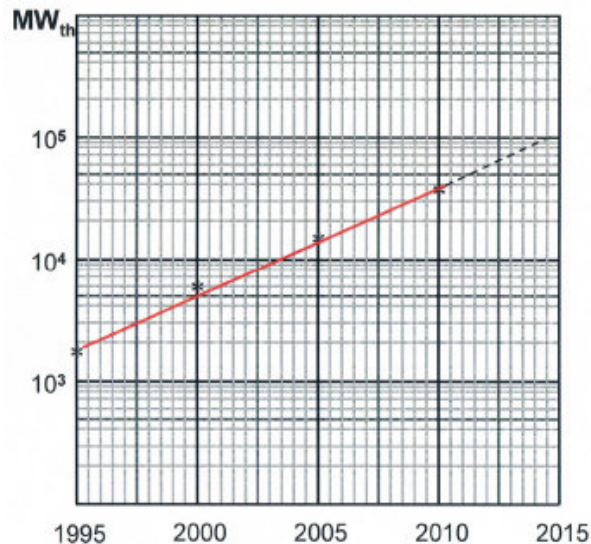


**Διάγραμμα 1.3.3** Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς (αριστερά) και η παραγόμενη θερμότητα (δεξιά) των Γ.Α.Θ. σε παγκόσμιο επίπεδο. (πηγή: John W. Lund et al., Proceedings World Geothermal Congress 2010)

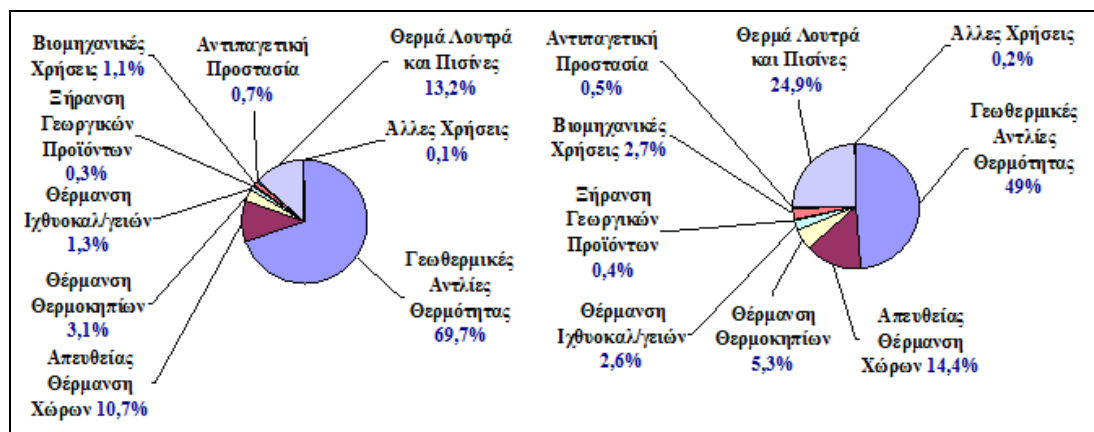
Σχεδόν μετά από 20 χρόνια, περίπου από το 2000 έχουμε την εκ νέου ανάπτυξη των εγκαταστάσεων με πηγή θερμότητας το έδαφος με τις εφαρμογές των Γ.Α.Θ. να κυριαρχούν ανάμεσα στις τεχνολογίες γεωθερμίας άμεσης χρήσης. Έτσι παρατηρούμε στον πίνακα 1.3.4 μια πρώτη αύξηση κατά την πενταετία 2000-2005 και αφορά παγκόσμια δεδομένα. Από το 2005 έως το 2010, έχουμε ραγδαία αύξηση κατά 229% σε εγκατεστημένη ισχύς (18% ετήσιος ρυθμός αύξησης) και 245% της παρεχόμενης ενέργειας (20% ετήσιος ρυθμός αύξησης). Το έτος 2010, οι Γ.Α.Θ. αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος (69,7%) και παράγουν το 49,0% από την ετήσια άμεση χρήση ενέργειας (α και β Διαγράμματα 1.3.6). Σύμφωνα με το διάγραμμα 1.3.5 η αύξηση την περίοδο 1995 έως 2010 είναι εκθετική. Το ισοδύναμο των ποσοστών αυτών σε εγκατεστημένες μονάδες Γ.Α.Θ. είναι περίπου 2.940.000 σε 43 χώρες, κυρίως στις Η.Π.Α., Καναδά, Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη (το μέσο μέγεθος εγκατεστημένης μονάδας ισούται με 12kWt). Παρόλο που δεν υπάρχουν στοιχεία και για τις άλλες χώρες, τα δεδομένα θεωρούνται πλήρη.

Geothermal Heat Pumps	1995	2000	2005	2010
Installed Capacity (MWt)	1,854	5,275	15,384	35,263
Utilization (TJ/year)	14,617	23,275	87,503	214,782
Capacity Factor	0,25	0,14	0,18	0,19

**Πίνακας 1.3.4** Στατιστικά στοιχεία Γ.Α.Θ. για τις χώρες WGC από το 1995 έως 2010 (πηγή: John W. Lund et al., Proceedings World Geothermal Congress 2010)



**Διάγραμμα 1.3.5** Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, η παγκόσμια ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος Γ.Α.Θ. αυξάνεται κατά 20% ανά έτος. (πηγή: L.Rybach, Success Factors in Geothermal Heat Pump Development, από δεδομένα του John W. Lund et al. - 2010).



**Διαγράμματα 1.3.6** Γεωθερμικές εφαρμογές άμεσης χρήσης σε όλο τον κόσμο το 2010. **α)** Ποσοστό διανομής της συνολικής εγκατεστημένης ικανότητας. **β)** Το ποσοστό της συνολικής ενέργειας χρήσης. (πηγή: John W. Lund et al., Proceedings World Geothermal Congress 2010)

Όμως οι χώρες που εφαρμόζουν αυτή τη τεχνολογία όλο και αυξάνονται, με τους παράγοντες που επηρεάζουν την διείσδυση τους στην αγορά να είναι πολύ διαφορετικοί από χώρα σε χώρα. Σύμφωνα με έκθεση της I.G.A. (International Geothermal Association), μεγάλη ανάπτυξη των Γ.Α.Θ. έχουμε και στην συνεχώς αναπτυσσόμενη αγορά της Κίνας και της Ινδίας. (I.G.A., Geothermal Heat and Power Roadmap, 2011).

Από τα πρώτα χρόνια της νέας δεκαετίας του 2000, η ανάπτυξη αυτή είναι ποιο εμφανής και τα συστήματα Γ.Α.Θ. είναι πλέον γνωστά σε όλο των ανεπτυγμένο και αναπτυσσόμενο οικονομικά κόσμο. Σήμερα, η τεχνολογία των Γ.Α.Θ. είναι υψηλή και συνεχώς εξελισσόμενη. Επίσης, έχουν εμφανιστεί λογισμικά που

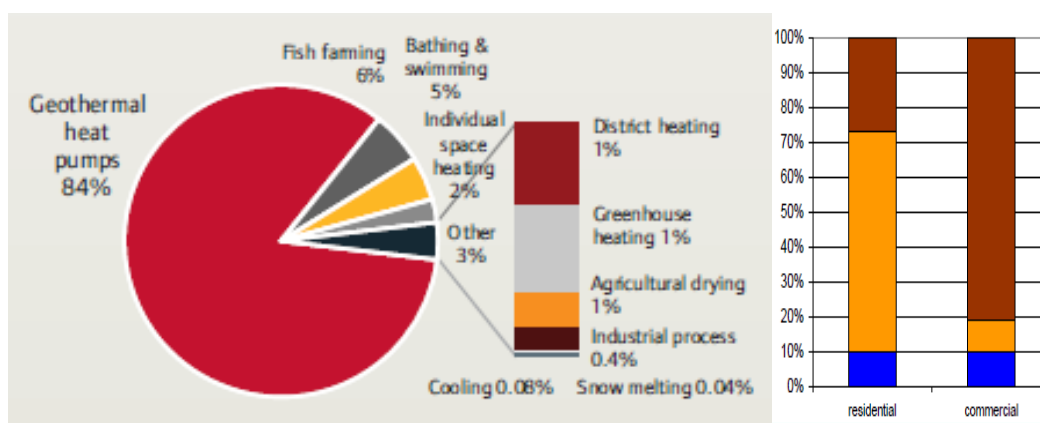


επιτρέπουν στους μελετητές μηχανικούς να κάνουν ακριβείς μετρήσεις των φορτίων που εναποθέτουν ή παράγουν από το έδαφος. Το ενδιαφέρον πέφτει πια στην ευρεία διάδοση των εφαρμογών τους. Με την δράση να πηγαίνει πια από τους ερευνητές των Γ.Α.Θ. προς την πολιτεία, ώστε να προχωρήσει στη θέσπιση κανονισμών, προτύπων και γενικότερα κινήτρων που θα βοηθήσουν προς αυτή τη κατεύθυνση.

## 1.4. Στατιστικά στοιχεία για τεχνολογία Γ.Α.Θ.

### 1.4.1. Η σημερινή κατάσταση της αγοράς των Γ.Α.Θ. σε Η.Π.Α. και Καναδά

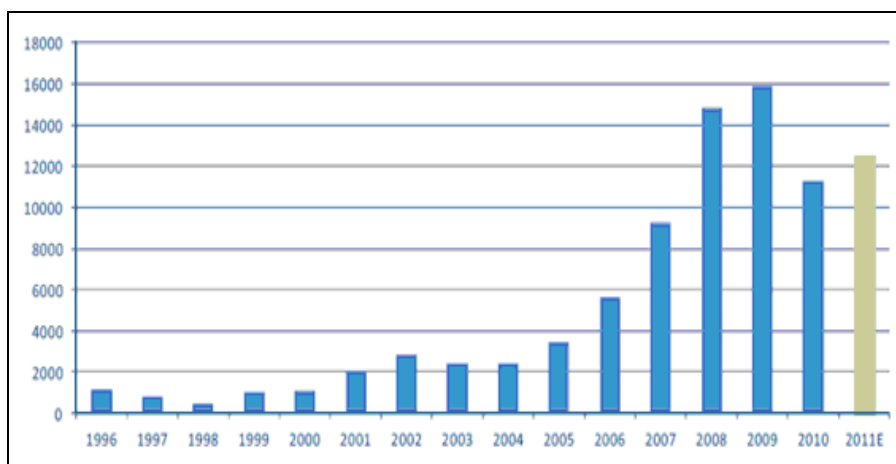
Στις Η.Π.Α. η εγκατεστημένη ισχύς των υδροθερμικών και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανέρχεται στις μέρες μας (δεδομένα του 2010) στις 12000MW με την ετήσια παραγωγή θερμότητας να φτάνει τα 13000GWh/year και την ετήσια παράγωγη σε ψύξη στις 8200GWh/year. Οι νέες εγκατεστημένες μονάδες υπολογίζονται περίπου σε 100.000 ανά έτος. Σχεδόν το 70% των συστημάτων αυτών αφορά εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας όπως οι κατοικίες και το υπόλοιπο 30% μεγαλύτερου τύπου εφαρμογές (μεγάλα εμπορικά κτίρια, πολυκατοικίες, κτίρια γραφείων και άλλα). Η κατανομή των βασικών διακρίσεων συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας, σύμφωνα με αυτές τις εφαρμογές, δίνονται στα διαγράμματα 1.4.1.1 και 1.4.1.2



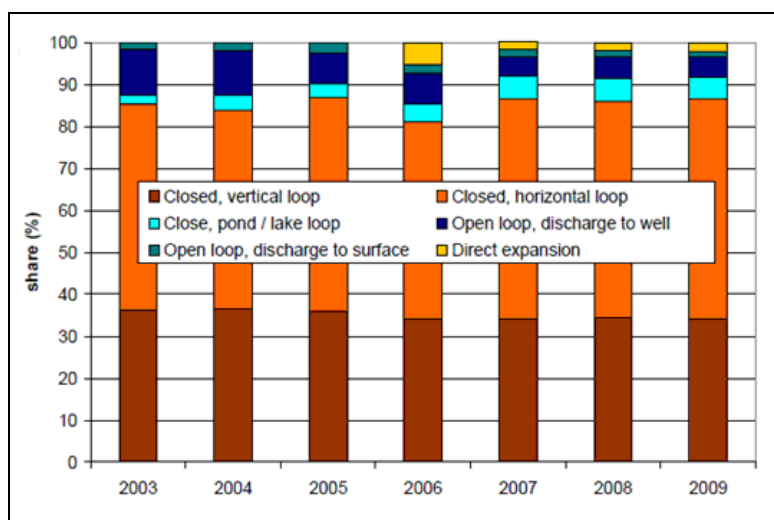
**Διάγραμμα 1.4.1.1** Το ποσοστό των Γ.Α.Θ. σε σχέση με της άλλες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας άμεσης χρήσης, στις Η.Π.Α. (πηγή: U.S. Geothermal Energy Market Report, IslandsBanki 2010) **Διάγραμμα 1.4.1.2** Η κατανομή συστημάτων γεωεναλλακτών στις Η.Π.Α., σε ποσοστά για το 2010. Αφορά δύο ραβδογράμματα με οικιακές (μικρές) και εμπορικές (μεγάλες) εφαρμογές αντίστοιχα. (πηγή: Dr. E. Mands, The International Market for Geothermal Heat Pumps, Νοέμβριος 2010)

Για την χώρα του Καναδά δίνεται στο διάγραμμα 1.4.1.3 η διακύμανση των πωλήσεων Γ.Α.Θ. για όλου του τύπου τις εφαρμογές από το 1996 έως το 2011. Μετά από πολλά χρόνια συνεχούς ανάπτυξης, η καναδική αγορά Γ.Α.Θ. παρουσίασε σημαντική υποχώρηση, το 2010, με εκτιμώμενη μείωση περίπου 28%. Όμως οι

πρώτες εκτιμήσεις τείνουν να δείχνουν ότι η αγορά του αναπτύσσεται εκ νέου και να σταθεροποιείται για το 2011. Επίσης, στο διάγραμμα 1.4.1.4 έχουμε την εκτίμηση της κατανομής των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας για τα έτη 2003-2009. Παρακάτω θα δούμε ότι ανάλογη συμπεριφορά στις πωλήσεις Γ.Α.Θ. υπάρχει και στις χώρες της Ευρώπης.



**Διάγραμμα 1.4.1.3** Η διαμόρφωση των πωλήσεων Γ.Α.Θ., στο σύνολο τους, στο Καναδά, τα τελευταία χρόνια. (πηγή: Canadian GeoExchange Coalition, 2012)

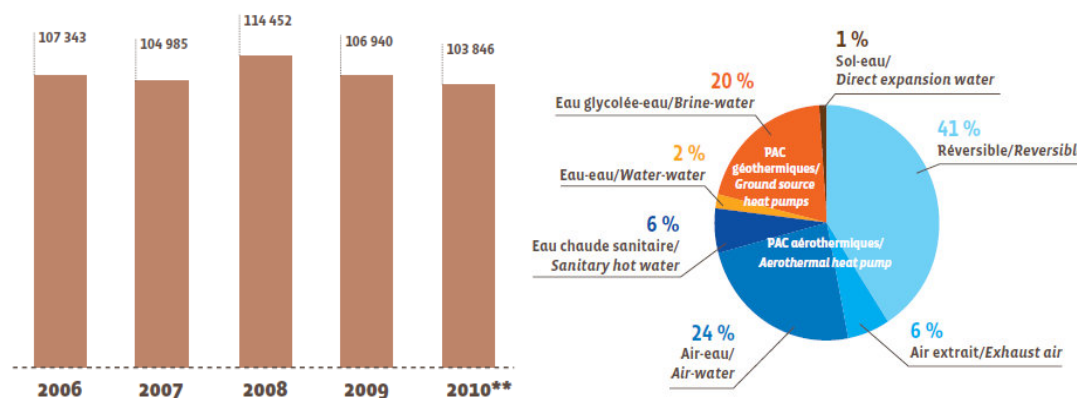


**Διάγραμμα 1.4.1.4** Η κατανομή συστημάτων γεωεναλλακτών στο Καναδά κατά τα έτη 2003 έως 2009. (πηγή: Dr. E. Mands, *The International Market for Geothermal Heat Pumps*, Νοέμβριος 2010)

## 1.4.2. Η σημερινή κατάσταση της αγοράς των Γ.Α.Θ. στην Ευρώπη

Τα στατιστικά στοιχεία των τελευταίων ετών, μας δίνουν μια συνολική εικόνα για την ανάπτυξη των Γ.Α.Θ. στις 27 χώρες της Ευρώπης. Ποιο αναλυτικά: Στο διάγραμμα 1.4.2.1 βλέπουμε τις πωλήσεις Γ.Α.Θ. ανά έτος από το 2006 έως το 2010, παρατηρούμε ότι παραμένουν σχεδόν σταθερές την τελευταία αυτή πενταετία,

δηλαδή έχουμε μια σταθερή ανάπτυξη της αγοράς τους. Σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας άλλης πηγής θερμότητας (π.χ. αέρα-αέρα), οι Γ.Α.Θ. καταλαμβάνουν το ¼ της ευρωπαϊκής αγοράς (Διάγραμμα 1.4.2.2). Επίσης, παρατίθεται ο πίνακας 1.4.2.3 όπου βλέπουμε μια αναλυτική εικόνα των Γ.Α.Θ. ανά χώρα για το 2009 και 2010. Εκεί παρουσιάζετε η εγκατεστημένη ποσότητα μονάδων Γ.Α.Θ., η εγκατεστημένη ισχύς σε MWth και η ανανεώσιμων πηγών ενέργεια του εδάφους που μπορούν να εκμεταλλευτούν (δίνετε σε ktoe, Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου). Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι τα δεδομένα έχουν ληφθεί από το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Α.Π.Ε. στη Γαλλία (Euro L' Observatoire des Energies Renouvelables). Αφορά όλες τις εφαρμογές Γ.Α.Θ. Σε αυτά τα στατιστικά δεδομένα Γ.Α.Θ. εννοούνται όλες αντλίες θερμότητας που εκμεταλλεύονται ως πηγή το έδαφος και τα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα και είναι μικρότερης ισχύος, των 50kW ανά μονάδα, οι οποίες είναι εγκαταστημένες σε μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, εμπορικά κτίρια, κτίρια υπηρεσιών και βιομηχανικά κτίρια. Παρατηρούμε πως η τεχνολογία των Γ.Α.Θ. έχει εξαπλωθεί σχεδόν σε όλες οι χώρες, σε μικρότερα όμως ποσοστά έως και ελάχιστα σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στην Ελλάδα. Οι λόγοι που διαμόρφωσαν μια τέτοια ανομοιομορφία είναι κυρίως λόγοι κουλτούρας, τεχνολογικής και οικονομικής ανάπτυξης παρά λόγοι ενεργειακών αναγκών ή κατάλληλων κλιματολογικών συνθηκών για την εφαρμογή τους. Στις πρώτες θέσεις είναι η Σουηδία με 378.311 μονάδες, ακολουθεί η Γερμανία με περίπου 240.000 γεωθερμικές αντλίες (24.500 νέες εγκαταστάσεις), η Γαλλία 151.938 Γ.Α.Θ. μονάδες (12.250 νέες εγκαταστάσεις) και η Ελβετία που δηλώνει 73.488 μονάδες Γ.Α.Θ. με 6.479 νέες εγκαταστάσεις, αλλά δεν αναφέρετε σε αυτό το πίνακα.



**Διάγραμμα 1.4.2.1** Το ύψος των ετήσιων πωλήσεων γεωθερμικών και υδροθερμικών αντλιών θερμότητας. Στα στατιστικά στοιχεία συμπεριλαμβάνονται οι πωλήσεις για εγκαταστάσεις σε μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, εμπορικά κτίρια, κτίρια υπηρεσιών και βιομηχανικά κτίρια. Η αντίστοιχη συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις χώρες της EU 27. (πηγή: Heat Pump Barometer, EUROBSERV'ER, September 2011) **Διάγραμμα 1.4.2.2** Το μερίδιο αγοράς των Γ.Α.Θ. σε σχέση με τη συνολική αγορά αντλιών θερμότητας στην Ευρώπη. (Από το 4<sup>ο</sup> Συνέδριο E.H.P.A. European heat Pump Association, Ιούνιος 2011).

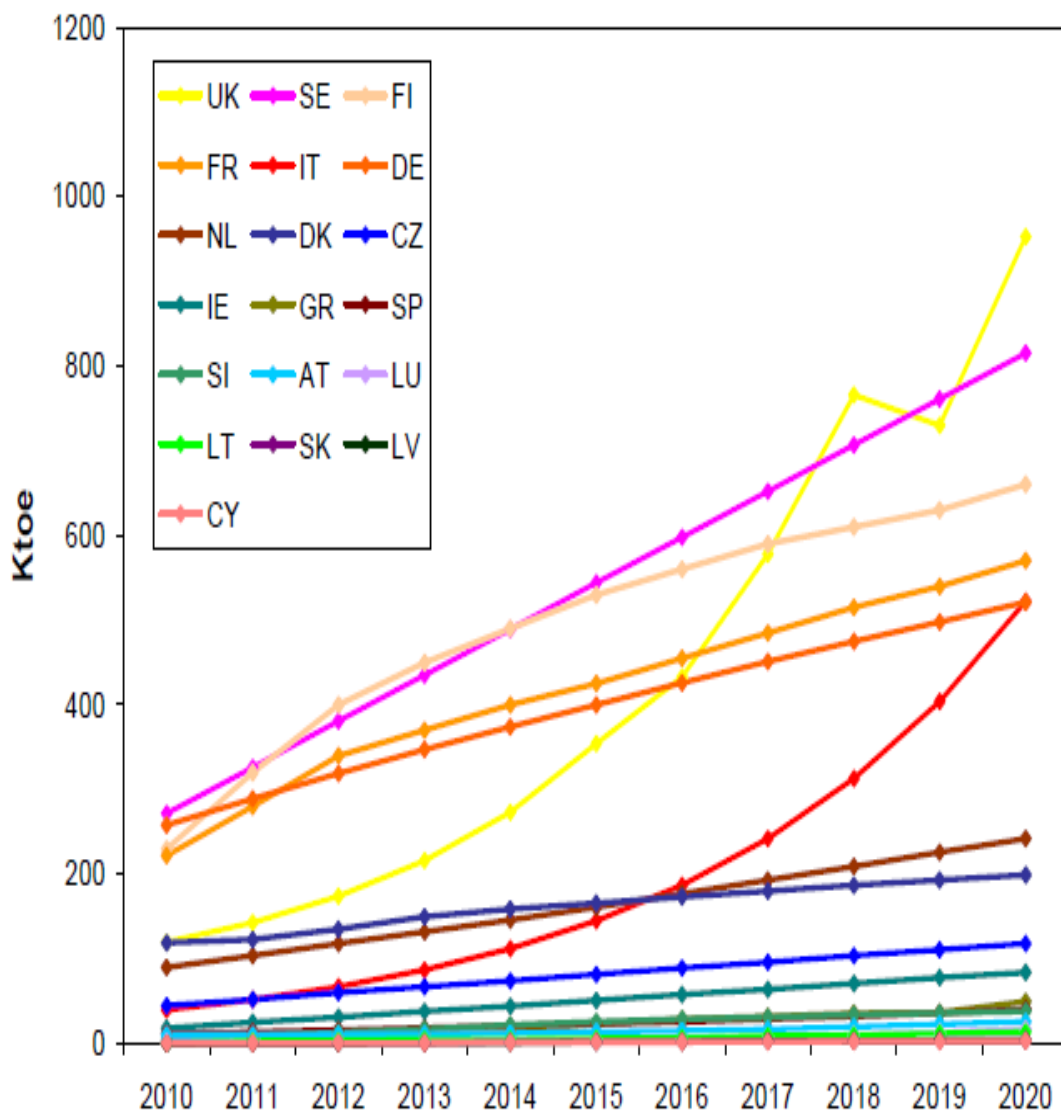


	2009			2010**		
	Nombre/ Number	Puissance/ Capacity (MWth)	Énergie renouvelable capturée/Renewable energy captured (ktoe)	Nombre/ Number	Puissance/ Capacity (MWth)	Énergie renouvelable capturée/Renewable energy captured (ktoe)
Sweden	348 636	3 702,0	784,8	378 311	4 005,0	867,8
Germany	179 634	2 250,5	293,5	205 150	2 570,1	335,2
Finland	52 355	967,8	194,2	60 246	1 113,0	223,3
France	139 688	1 536,6	200,4	151 938	1 671,3	218,0
Austria	55 292	618,8	68,4	61 808	729,5	80,1
Netherlands	24 657	633,0	63,6	29 306	745,0	74,9
Denmark	20 000	160,0	40,6	20 000	160,0	40,6
Poland	15 200	202,2	26,4	19 320	257,0	33,5
United Kingdom	14 330	186,3	24,3	18 390	239,1	31,2
Ireland	11 444	196,1	25,6	11 658	202,7	26,4
Czech Republic	11 127	174,0	20,5	13 349	197,0	24,4
Italy	12 000	231,0	23,0	12 357	231,0	23,0
Belgium	11 836	142,0	18,5	13 085	157,0	20,5
Estonia	5 422	78,0	15,6	6 382	91,8	18,4
Slovenia	3 849	43,3	7,4	3 948	54,8	9,5
Lithuania	1 865	34,5	6,9	2 221	41,5	8,3
Bulgaria	543	20,6	6,8	543	20,6	6,8
Greece	350	50,0	6,4	350	50,0	6,4
Slovakia	1 845	23,5	3,6	2 000	25,7	3,9
Hungary	3 030	26,0	1,7	4 030	43,0	3,1
Romania	n.a.	5,5	0,7	n.a.	5,5	0,7
Latvia	20	0,3	0,1	20	0,3	0,1
Portugal	24	0,3	0,0	24	0,3	0,0
<b>Total EU 27</b>	<b>913 147</b>	<b>11 282,2</b>	<b>1 833,1</b>	<b>1 014 436</b>	<b>12 611,1</b>	<b>2 056,0</b>

**Πίνακας 1.4.2.3** Η ποσότητα σε μονάδες, η εγκατεστημένη ισχύς σε MWth και η δέσμευση της ενέργειας από το έδαφος σε ktoe για τις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας Γ.Α.Θ., στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2009 και κατ' εκτίμηση για το 2010. Αφορά όλες τις εφαρμογές Γ.Α.Θ. (πηγή: Heat Pump Barometer, EUROBSERV'ER, September 2011)

### 1.4.3. Ρυθμός ανάπτυξης των Γ.Α.Θ. στην Ευρώπη

Οι πιο πρόσφατες εκτιμήσεις για το ρυθμό ανάπτυξης της αγοράς Γ.Α.Θ. στην Ευρώπη, για τα επόμενα χρόνια, έχουν δοθεί από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για τη Γεωθερμική Ενέργεια (European Geothermal Energy Council, E.G.E.C.) που εδρεύει στις Βρυξέλλες. Οι εκτιμήσεις για τις Γ.Α.Θ. (Διάγραμμα 1.4.3.1) βασίζονται στο ρυθμό ανάπτυξης που παρουσίασαν το 2010, στη θέσπιση προτύπων από τα αντίστοιχα Τεχνικά Επιμελητήρια, στα μέτρα σε οικονομική υποστήριξη και διευκόλυνσης των διαδικασιών εγκατάστασης που λαμβάνει η κάθε χώρα ξεχωριστά.

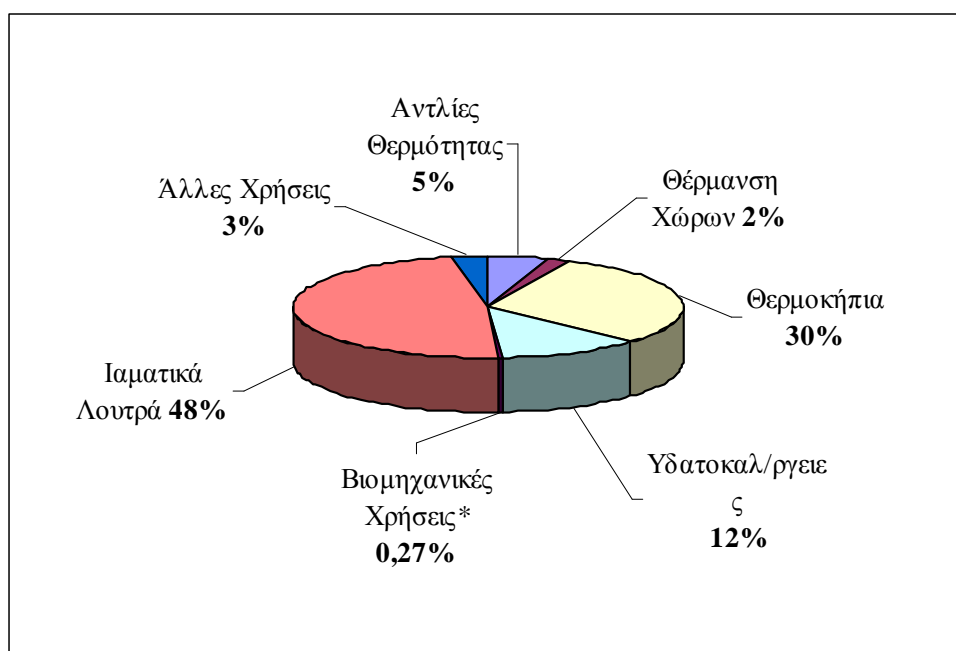


**Διάγραμμα 1.4.3.1** Εκτίμηση του ρυθμού ανάπτυξης των Γ.Α.Θ. σε χώρες της Ε.Ε. μέχρι το 2020, από την έκθεση του EGEC. (πηγή: Final Evaluation of the National Renewable Energy Action Plans, EGEC Ιούλιος 2011)

Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι τα στατιστικά στοιχεία για το 2010 περιέχουν πολυάριθμα σφάλματα. Ο αριθμός των εγκαταστάσεων είναι άγνωστος για πολλές χώρες. Αν και η αύξηση προβλέπεται παντού, σε ορισμένες χώρες ο ρυθμός ανάπτυξης 2010 - 2020 δεν είναι ρεαλιστικός. Χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Σουηδία, η Φιλανδία και η Γαλλία, σχεδιάζουν πράγματι μια σημαντική ανάπτυξη, με σημαντικά μέτρα να έχουν ληφθεί προς την κατεύθυνση αυτή. Στη Γερμανία πάρα το ότι η αγορά Γ.Α.Θ. είναι από τις πιο ώριμες του κόσμου και έχουν ληφθεί σχεδόν όλα τα απαραίτητα μέτρα, ο ρυθμός πωλήσεων μειώνεται συνεχώς από το 2008 κάνοντας έτσι πλασματική την ανάπτυξη που παρουσιάζετε στο διάγραμμα. Τρεις χώρες (Βουλγαρία, Μάλτα και Πορτογαλία) δεν προβλέπουν καμία ανάπτυξη σε όλες τις τεχνολογίες Γ.Α.Θ., με ένα στόχο για το 2020, κοντά στα 0 ktoe. Επίσης, ορισμένα κράτη δεν ακολουθούν τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, δεδομένου ότι δεν κάνουν

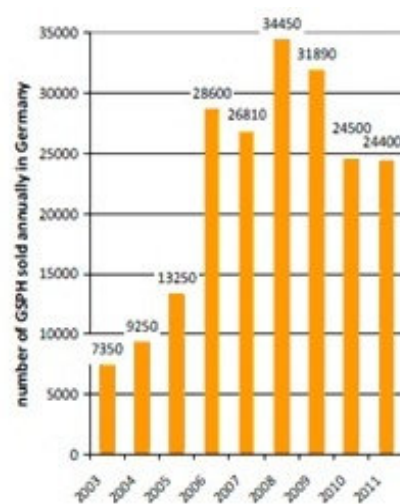
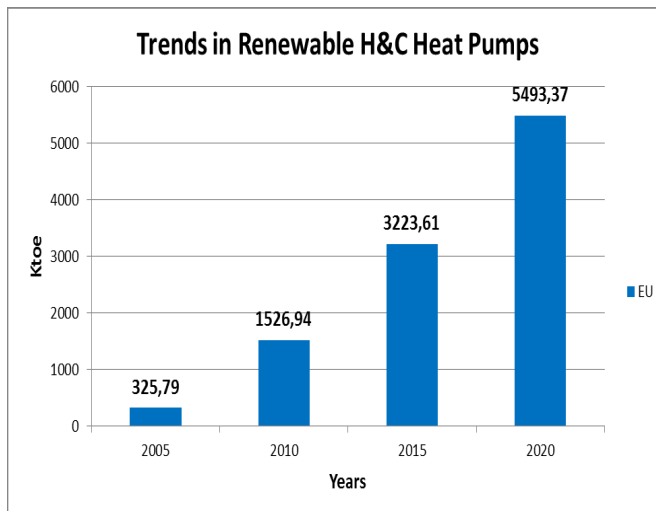
διάκριση μεταξύ των διαφόρων συστημάτων Γ.Α.Θ., με αποτέλεσμα τη μη σωστή διακριτοποίηση των εγκατεστημένων μορφών Γ.Α.Θ. στα στατιστικά τους στοιχεία.

Για την Ελλάδα το 2010 είχαμε παραγωγή μόλις 3ktoe από Γ.Α.Θ. και σχεδιάζεται μια αύξηση έως 50 ktoe το 2020 που αντιπροσωπεύει 2.500 νέες εγκατεστημένες Γ.Α.Θ. ανά έτος. Σήμερα, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις μελετητών του Κ.Α.Π.Ε. οι εφαρμογές της χρήσης γεωθερμίας στην χώρα μας ανέρχονται σε 74,8MW<sub>th</sub>. Όπου στις εφαρμογές Γ.Α.Θ. αντιστοιχούν περίπου 3,7MW<sub>th</sub> από περίπου 350 εγκαταστάσεις, με το 65% περίπου, να αντιπροσωπεύει συστήματα ανοικτού βρόχου. Οι ποσοστιαίες εκτιμήσεις στη χρήση γεωθερμίας των παραπάνω μεγεθών δίνονται στο διάγραμμα 1.4.3.2



**Διάγραμμα 1.4.3.2** Εφαρμογές της γεωθερμίας στην Ελλάδα σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις από Ημερίδα του Κ.Α.Π.Ε. (πηγή: Δρ Κ. Καρύτσας, Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και η συμβολή της στην Αειφόρο Ανάπτυξη, Μάρτιος του 2012)

Ένας στόχος που θα αποσκοπεί στην ανάπτυξη των Γ.Α.Θ. θα πρέπει καταρχάς να περιέχει τη λήψη συνοδευτικών μέτρων. Όπως κάποιο ρυθμιστικό πλαίσιο, ένα σύστημα πιστοποίησης, καθώς και δραστηριότητες εκπαίδευσης και κατάρτισης. Η Κοινότητα (E.G.E.C.) παρατηρεί ότι ορισμένα κράτη υποστηρίζουν την ανάπτυξη άμεσης χρήσης Γ.Α.Θ., περισσότερο από ότι την ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία. Ωστόσο επισημαίνουν ότι η τεχνολογίες της γεωθερμίας υποστηρίζονται πολύ λιγότερο από τις άλλες τεχνολογίες Α.Π.Ε., σε οικονομικό και νομοθετικό επίπεδο. Στα διάγραμμα 1.4.3.3 που ακολουθεί βλέπουμε σε συγκεντρωτικά ραβδογράμματα τις τάσεις που προβλέπει το E.G.E.C. σχετικά με των ρυθμό ανάπτυξης των Γ.Α.Θ. στην Ε.Ε.



**Διάγραμμα 1.4.3.3** Εκτίμηση ρυθμού ανάπτυξης των Γ.Α.Θ. στην Ε.Ε. από το 2005 μέχρι και τις προβλέψεις για το 2020, από την έκθεση του EGEC. (πηγή: Final Evaluation of the National Renewable Energy Action Plans, EGEC Ιούλιος 2011)

**Διάγραμμα 1.4.3.4** Παρουσιάζει τα αποτελέσματα των πωλήσεων Γ.Α.Θ. που διαμορφώθηκαν στην Γερμανία από το 2003 έως 2011. (πηγή: Burkhard Sanner, Recent Market Developments in Geothermal Heating & Cooling, Μάρτιος 2012)

Παρά τα όσα αναφέραμε παραπάνω, η οικονομική κρίση που διανύουν οι χώρες του δυτικού κόσμου τα τελευταία χρόνια έχει επηρεάσει αρνητικά και την αγορά των Γ.Α.Θ. στην Ε.Ε. παρά τα μέτρα που λαμβάνει και τα κίνητρα που διαθέτει για την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. Δεδομένου κιόλας ότι οι Γ.Α.Θ. αποτελούν συστήματα που έρχονται να μειώσουν το κόστος για την κάλυψη κτιριακών ενεργειακών αναγκών, πράγμα πολύ επιθυμητό από όλους σε τέτοιες περιόδους. Θα λέγαμε ότι μια τέτοια εξέλιξη είναι ανάστροφη από την αναμενόμενη. Έτσι, έχουμε την μείωση των πωλήσεων Γ.Α.Θ. Μια αντίστοιχη καταγραφή αυτής της πτώσης είναι εμφανής και στην ώριμη αγορά της Γερμανίας (Διάγραμμα 1.4.3.4). Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την εξέλιξη είναι διάφοροι. Όπως η ύφεση και η λιτότητα που έχει εισχωρήσει, με διαφορετική ένταση, σε όλες τις χώρες της οικονομικής Ευρωζώνης. Ο κορεσμός της ζήτησης σε παλιές αγορές. Οι δυσκολίες που παρουσιάζουν οι νέες αγορές της Νότιας και Ανατολικής Ευρώπης Η έλλειψη νομοθετικών ρυθμίσεων και κινήτρων για την εγκατάσταση νέων τεχνολογιών.

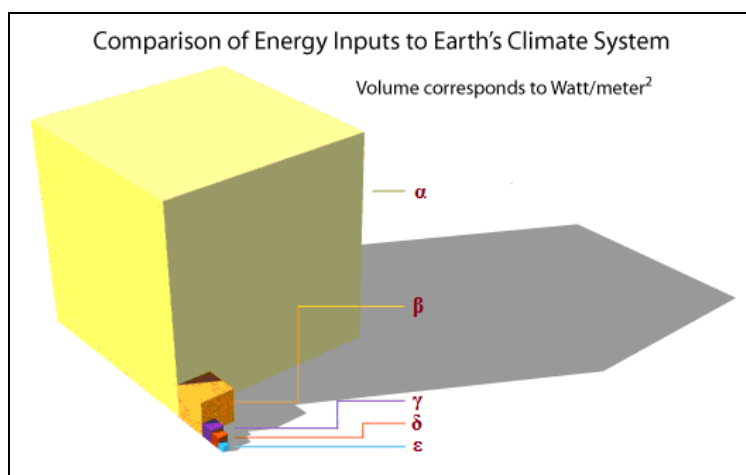
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### Αβαθής γεωθερμική ενέργεια

## 2. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια

### 2.1. Η θερμική ροή της Γης

Στις γεωεπιστήμες, ο όρος θερμική ροή σημαίνει τον ρυθμό με τον οποίο απάγεται η θερμότητα (θερμική ενέργεια) από το εσωτερικό της Γης προς την επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Η εκροή θερμικής ενέργειας από την Γη είναι της τάξης των  $47 \pm 2 \text{ TW}^{[1]}$  και φαντάζει κολοσσιαία, αλλά η μέση θερμική ροή ανά μονάδα επιφάνειας είναι  $0,075 \text{ W/m}^2$  και είναι παρόμοια τόσο στις ηπειρωτικές περιοχές, όσο και στους πυθμένες των ωκεανών. Κατά συνέπεια, η θερμότητα εκρέει με τέτοιους αργούς ρυθμούς, ώστε θα χρειαζόταν περίπου ένα έτος για να λιώσει ένα στρώμα πάγου με πάχος μόνο έξι χιλιοστά του μέτρου. Σε σύγκριση, η θερμότητα που δέχεται η επιφάνεια της Γης από τον Ήλιο είναι πάνω από 3.000 φορές μεγαλύτερη (Σχήμα 2.1.1). Από την πλέον πρόσφατη εργασία των Majorowicz Jacek και Wybraniec Stanislaw (2011), για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της μέσης θερμικής ροής στην Ευρώπη, η μέση τιμή διορθώθηκε από  $56 \text{ mW/m}^2$  σε  $63,2 \text{ mW/m}^2$ .



**Σχήμα 2.1.1** Σύγκριση των εισροών ενέργειας στο κλιματικό σύστημα της Γης σε αντιστοιχίες όγκων σε  $\text{W/m}^2$ . Από τον μεγαλύτερο κύβο ως προς τον μικρότερο, παριστάνονται: α) η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία  $341,3 \text{ W/m}^2$  β) η αύξηση των ανθρωπογενών επιδράσεων από την προ-βιομηχανική εποχή έως το 2005  $1,6 \text{ W/m}^2$  γ) η μέση θερμική ροή από το εσωτερικό της Γης  $0,09 \text{ W/m}^2$  δ) η παραγωγή ενέργειας από πυρηνικά και ορυκτά καύσιμα  $0,03 \text{ W/m}^2$  ε) η παλιρροϊκή ενέργεια  $0,007 \text{ W/m}^2$

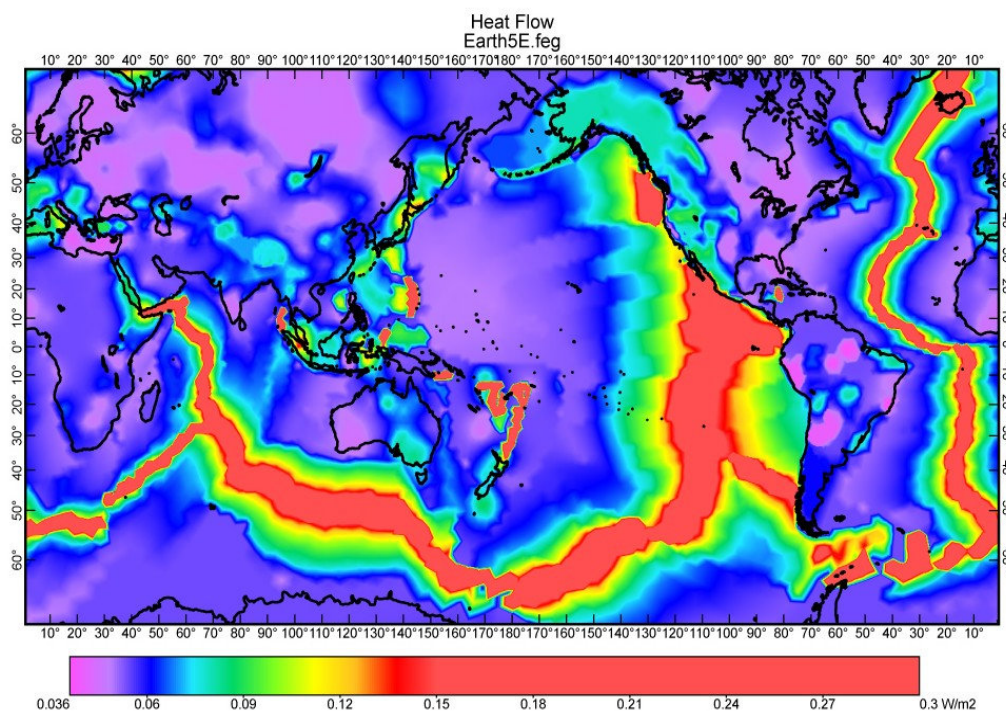
Προκειμένου να προσδιορισθεί το μέγεθος της θερμικής ροής ( $q$ ) σε δεδομένη περιοχή επί της Γης, είναι απαραίτητο να μετρηθούν η θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων στην περιοχή αυτή, καθώς και η γεωθερμική βαθμίδα. Η θερμική αγωγιμότητα ενός υλικού ( $k$ ) είναι το μέτρο της ευκολίας με την οποία η θερμότητα διέρχεται (μεταδίδεται) μέσω του υλικού αυτού και η γεωθερμική βαθμίδα είναι ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει η θερμοκρασία ( $\Delta t$ ) με την αύξηση του βάθους ( $\Delta z$ ) και



μετράται σε βαθμούς ανά χιλιόμετρο ( $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ). Η θερμική ροή σχετίζεται με την θερμική αγωγιμότητα και την γεωθερμική βαθμίδα μέσω της απλής σχέσης:

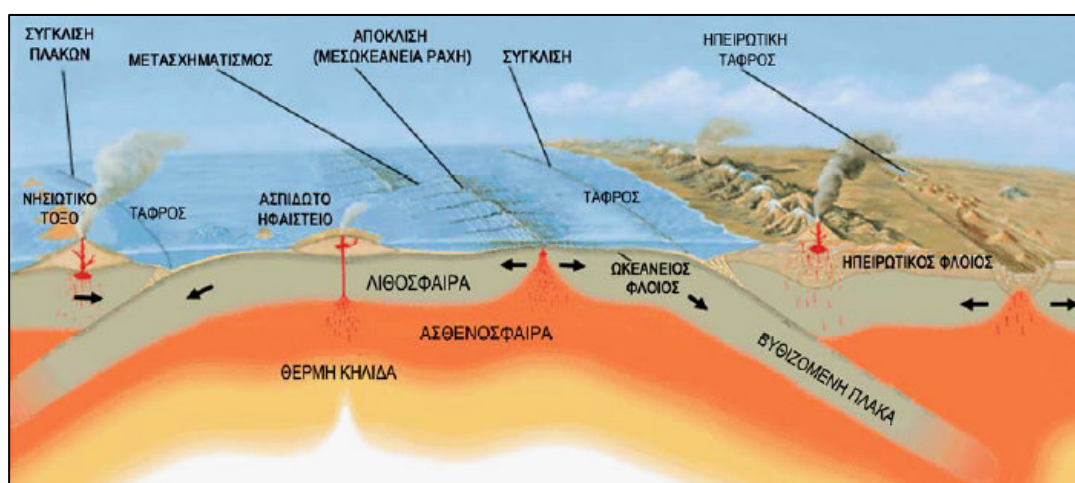
$$q = k \cdot \Delta t / \Delta z \quad (\text{βλέπε Σχήμα 2.2.1})$$

Ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας μέσω της Γης είναι εξαιρετικά αργός διότι τα πετρώματα και τα «γεωολικά» γενικότερα, είναι θερμικοί μονωτές. Η αγωγή της θερμότητας μέσω της ύλης είναι στην πραγματικότητα τόσο αργή, ώστε η θερμική ενέργεια που παράγεται από την ραδιενέργεια σε βάθη μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων απαιτεί περισσότερα από  $4,6 \times 10^9$  έτη να φθάσει στην επιφάνεια, περίπου όσο και η ηλικία της Γης. Σε γενικές γραμμές, η θερμική αγωγιμότητα των στερεών, αν και ελάχιστα εξαρτώμενη από την πίεση, ελαττώνεται αρκετά αυξανόμενης της θερμοκρασίας. Εξαιρέση αποτελούν τα υλικά που ταυτόχρονα είναι και ηλεκτρικοί μονωτές (π.χ. τα κρυσταλλικά πετρώματα). Ο κυρίαρχος μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας σε τέτοια υλικά και συνθήκες είναι η θερμική (υπέρυθρη) ακτινοβολία. Μια αναπαράσταση της παγκόσμιας θερμικής ροής βασισμένη στην θερμική αγωγιμότητα των ανώτερων γεωολογικών στρωμάτων, δίνετε στην εικόνα 2.1.2



**Εικόνα 2.1.2** Ψηφιακή μοντελοποίηση της παγκόσμιας θερμικής ροής βασισμένη στην θερμική αγωγιμότητα των ανώτερων γεωολογικών στρωμάτων και σε περισσότερες από 21.000 μετρήσεις ανά το κόσμο. Μονάδα μέτρησης εδώ είναι το ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ). Τα ψυχρά χρώματα (ιώδες-γαλανό) αντιπροσωπεύουν περιοχές με χαμηλή θερμική ροή, τα ενδιάμεσα χρώματα (πράσινο-κίτρινο) μέση-αυξημένη θερμική ροή και τα θερμά χρώματα υψηλή θερμική ροή. Η μελέτη του χάρτη απαιτεί λίγη προσοχή λόγω της παραμόρφωσης που υπάρχει στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και προκαλεί φαινομενική αύξηση των εμβαδών. (πηγή: Σημειώσεις για τη έρευνα γεωθερμικών πεδίων, Α. Τζάνη, 2010)

Περιοχές που παρουσιάζουν υψηλή θερμική ροή είναι συνήθως οι περιοχές ενεργού μαγματισμού (Εικόνα 2.1.3), δηλαδή όπου υπάρχουν λιωμένα πετρώματα σε μικρά σχετικά βάθη. Χαρακτηρίστηκες περιπτώσεις είναι αυτές των ωκεάνιων επεκτατικών (κατά μήκος) κέντρων όπως η μέσο-ατλαντική ράχη, όπου σχηματίζεται καινούριος ωκεάνιος φλοιός λόγω της απόκλισης (απομάκρυνσης) τεκτονικών πλακών και επακόλουθης εξόδου θερμού μαγματικού υλικού από τον μανδύα. Παρατηρώντας την εικόνα 2.1.2 άλλα τέτοια επεκτατικά κέντρα συναντάμε στον Ειρηνικό και Ινδικό ωκεανό, καθώς και πίσω από τις ζώνες σύγκλισης πλακών, κατά μήκος μεγάλων νησιωτικών ηφαιστειακών τόξων όπως αυτά του δυτικού Ειρηνικού Ωκεανού (π.χ. Ιαπωνία, Πολυνησία, Νέα Ζηλανδία) και ανατολικού Ινδικού Ωκεανού (π.χ. Ινδονησία). Επίσης, ένα μικρότερο ηφαιστειακό τόξο άλλα εξίσου φορτισμένο, είναι αυτό του Νοτίου Αιγαίου (Νίσυρος-Σαντορίνη-Μήλος-Μέθανα-Σουσάκι Κορινθίας). Μέση ως αυξημένη θερμική ροή παρατηρείται στις θερμές κηλίδες και περιοχές σύγκρουσης ηπείρων, όπως η ζώνη Άλπεων-Ποντίδων-Ζαγκρός-Ιμαλαίων και η Αμερικανική Κορδιλιέρα που διατρέχει την Αλάσκα, το Δυτικό Καναδά, τις Δυτικές Πολιτείες των Η.Π.Α. έως και το Μεξικό.



**Εικόνα 2.1.3** Τύποι επαφών μεταξύ τεκτονικών πλακών. Οι λιθосφαιρικές πλάκες μετακινούνται συνεχώς «επιπεδώντας» τα ρεύματα θερμικής μεταφοράς του μανδύα, αυτό έχει αποτέλεσμα την δημιουργία περιοχών ενεργού μαγματισμού. (πηγή: Σημειώσεις για τη έρευνα γεωθερμικών πεδίων, Α. Τζάνης, 2010)

## 2.2. Η γεωθερμική βαθμίδα

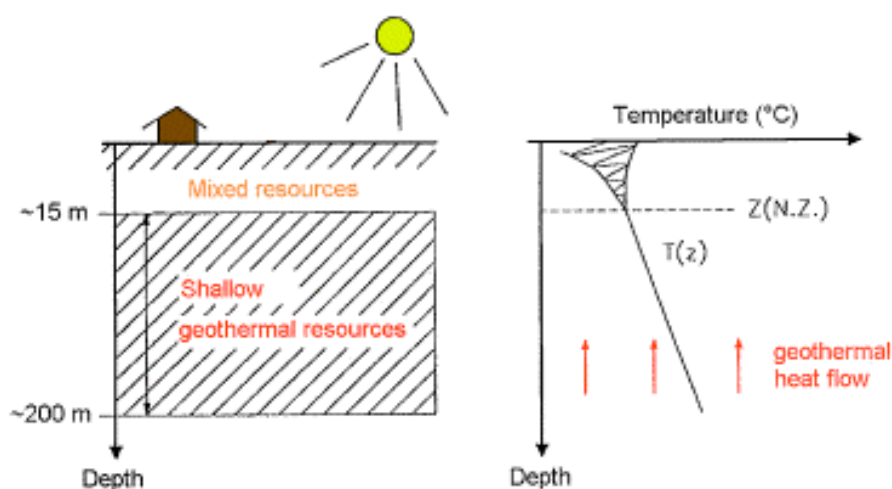
Στην επιφάνεια της Γης, η θερμοκρασία ελέγχεται κυρίως από τον Ήλιο και την ατμόσφαιρα. Από την ανάλυση του ισοζυγίου της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια και ατμόσφαιρα της γης προκύπτει πως σχεδόν το 50% αυτής απορροφάται από το έδαφος και τους υδρολογικούς σχηματισμούς (θάλασσες, λίμνες κ.α.). Ελάχιστα μόνον μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, οι ημερήσιες μεταβολές της θερμοκρασίας γίνονται ελάχιστα αισθητές, συνήθως μέχρι



βάθους 15m περίπου (Σχήμα 2.2.1). Στην ζώνη μέχρι τα 120m κατά μέσο όρο, η γεωθερμική βαθμίδα μεταβάλλεται από θέση σε θέση, εφόσον επηρεάζεται από τις εποχιακές μεταβολές της ατμόσφαιρας και την κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Παρ' όλα αυτά, οι επιδράσεις της εποχιακής μεταβολής της θερμοκρασίας μπορεί να γίνουν αισθητές με καθυστέρηση ενός περίπου έτους σε βάθος 100m. (Α. Τζάνης, 2010).

Κάτω από την ζώνη αυτή, τουλάχιστον στα πρώτα 10km που μπορούμε να ελέγξουμε άμεσα, η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 5 μέχρι 70°C/km, με μέση τιμή τους 30°C/km. Αν και ο μέσος ρυθμός αύξησης 1°C/30m διαφοροποιείται σημαντικά, ανάλογα με το τεκτονικό καθεστώς και την γεωλογική δομή της περιοχής (θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων), ωστόσο αποτελεί μια τιμή σύγκρισης για τη γεωθερμική μελέτη και καλείται μέση ή ομαλή γεωθερμική βαθμίδα (Μ. Φυτίκας και Ν. Ανδρίτσος, 2004).

Ακριβέστερα, από διάφορες μετρήσεις έχει βρεθεί, ότι κατά μέσο όρο η θερμοκρασία αυξάνει κάτω από το βάθος των 20-25m κατά 1°C ανά 33m. Αυτός ο μέσος όρος καλείται γεωθερμική βαθμίδα. (Α. Αλεξούλη-Λειβαδίτη, 2008).



**Σχήμα 2.2.1** Σχηματική παράσταση των πηγών θερμικής ενέργειας (ήλιος, γεωθερμία) που επηρεάζουν τα ανώτερα επιφανειακά στρώματα από 0-200m. Απεικόνιση της γεωθερμικής βαθμίδας, συνάρτηση θερμοκρασίας-βάθους.

Στις περιοχές, όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, έχουμε θετική γεωθερμική ανωμαλία και οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αναζήτηση και αξιοποίηση της γεωθερμίας. 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 3000m. Το βάθος αυτό θεωρείται γενικά ως μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων γεωθερμίας με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα.

## 2.3. Ορισμός γεωθερμικών συστημάτων

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής είναι εφικτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες, σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, εξασφαλίζουν ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα. Γεωθερμική ενέργεια περιέχεται και σε ξηρά-θερμά πετρώματα σε μεγάλα βάθη, σε γεωπεπιεσμένους σχηματισμούς και σε λιωμένα πετρώματα, αλλά είναι δύσκολη η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Αντίθετα, αναπτύσσεται συνεχώς η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας, από ρηχά ρευστά ή πετρώματα, έστω και αν έχουν μικρή θερμοκρασία (Μ. Φυτίκας και Ν. Ανδρίτσος, 2004).

Μια ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων που αναφέρθηκαν πιο πάνω, σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.3.1 Εκεί δίνονται επίσης, μια σύντομη περιγραφή και μερικά γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων καθώς και οι αντίστοιχες τυπικές θερμοκρασίες των παραγόμενων ρευστών. Στη συνέχεια, οι θερμοκρασίες αυτές θα μας βοηθήσουν να συσχετίσουμε τους γεωθερμικούς πόρους που απαντώνται στη γη με τις χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας που έχουν εφαρμοστεί ως τώρα.

Τύπος Συστημάτων	Χαρακτηριστικά	°C
<b>1.1. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ</b> Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι, δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα ουσιαστικά είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται.		
<b>1.1. Συστήματα συναγωγής</b>	Περατοί σχηματισμοί με φυσική κυκλοφορία ρευστών.	
<b>A) Συστήματα που περιέχουν ατμό.</b>	Κλειστά κυκλώματα συναγωγής, ατμοί παγιδευμένοι από στεγανά καλύμματα, $T > 200^{\circ}\text{C}$ , μέχρι $1,5\text{km}$ .	~ 240
<b>B) Συστήματα που περιέχουν θερμό νερό.</b>		
<b>i) Υψηλής θερμοκρασίας</b>	Κλειστά ή ανοικτά κυκλώματα συναγωγής, μέχρι τα $3\text{km}$ .	> 150

ii) Μέσης θερμοκρασίας	Σχεδόν οριζόντιοι υδροφόροι με τοπική αποστράγγιση ψυχρού νερού ή κυκλοφορία θερμού νερού υπό πίεση.	90-150
iii) Χαμηλής θερμοκρασίας	Όπως προηγουμένως, με χαμηλότερη θερμοκρασία νερού, με μικρή ή καθόλου πίεση.	< 90
<b>1.2. Συστήματα αγωγής</b>	Μη-περατοί σχηματισμοί, με μεγάλο πορώδες και περατότητα, σε βάθος από 1 έως 3km με εγκλωβισμένα νερά.	60-150
<b>2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ</b> Η 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.	Από 1 μέχρι 100m βάθος, με ή χωρίς νερό.	< 40
<b>3. ΘΕΡΜΑ – ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</b> Τα θερμά - ξηρά πετρώματα,	μη-περατοί σχηματισμούς πετρωμάτων	
i) Υψηλής θερμοκρασίας		
ii) Μέσης - Χαμηλής θερμοκρασίας		
	T > 250°C μέχρι 3km	> 250
	T < 150°C μέχρι 3km	< 150
<b>4. ΓΕΩΠΕΠΙΕΣΜΕΝΑ</b> Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα, αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική.	(συστήματα αγωγής)	150-200
<b>5. ΜΑΓΜΑΤΙΚΑ</b> Τα μαγματικά συστήματα, αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.	Θερμοκρασία > 500°C σε μερικά km βάθος	> 500

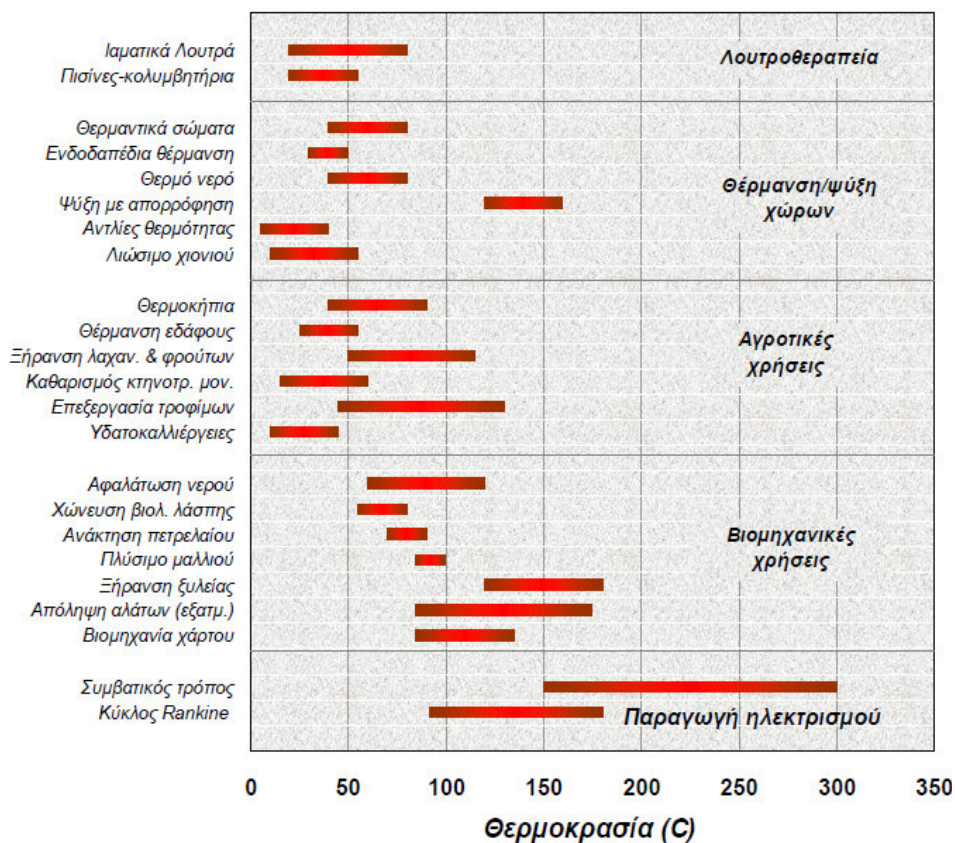
**Πίνακας 2.3.1** Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων. (Γεωθερμία, Μ. Φύτικας & Μ. Ανδρίτσος, 2004)

## 2.4. Χρήσεις γεωθερμικών συστημάτων

Ως γεωθερμική χρήση αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών, είτε αυτά ρέουν φυσικά, είτε βγαίνουν στην επιφάνεια μέσω γεώτρησης. Οι γεωθερμικές χρήσεις ακόμη περιλαμβάνουν την αξιοποίηση της

θερμότητας των πετρωμάτων ή του εδάφους (αβαθής γεωθερμία). Γενικά, οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ταξινομούνται σε ηλεκτρικές (για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος) και σε άμεσες (απολαβή ή απόρριψη θερμότητας).

Οι κυριότερες από αυτές παρουσιάζονται επιγραμματικά στο σχήμα 2.4.1, τροποποιημένο διάγραμμα Lindal. Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων (δοκιμασμένων και πιθανών) ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Ρευστά σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών. Από τις άμεσες χρήσεις, αυτή που θα μας απασχολήσει και στη συνέχεια αυτής της εργασίας είναι η θέρμανση/ψύξη χώρων με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.



Σχήμα 2.4.1 Το τροποποιημένο διάγραμμα Lindal. (πηγή: Γεωθερμία και Τυποποίηση, Μ. Φύτικας, Μ. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης, 2008)

## 2.5. Πεδίο αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας

Συνήθως, οι περισσότερες αναφορές στην αβαθή γεωθερμία έχουν να κάνουν με την αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια στα πρώτα 10 με 15m από την

επιφάνεια του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για αβαθή υπεδαφική θερμότητα που προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς, κυρίως από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τη γήινη επιφάνεια και ελάχιστα από την ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης. Σε αυτά τα βάθη, 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. Αυτή η θερμική ενέργεια εκφράζεται με θερμοκρασίες της τάξης των (10-20°C – *εύκρατη ζώνη*), που είναι πολύ ευνοϊκές για την απόδοση των γεωθερμικών συστημάτων, με αντλίες θερμότητας, συνδεδεμένων με γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος.

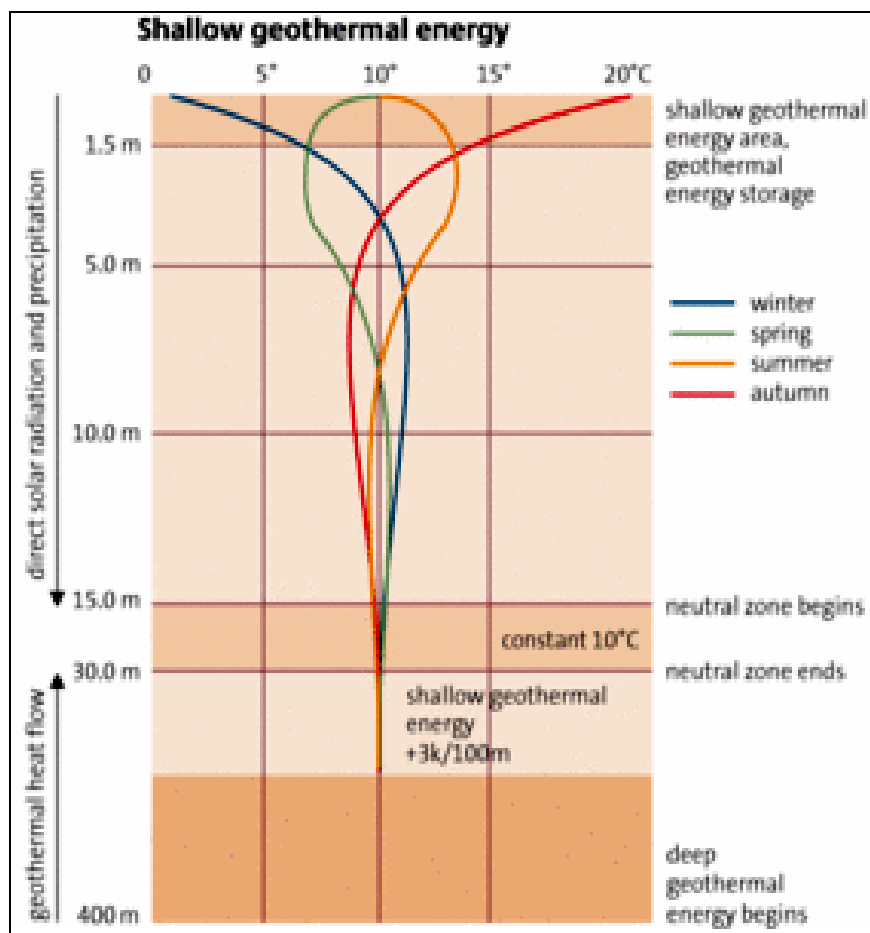
Όμως δεν είναι μόνο το εδάφους που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης, αλλά και οι υδρολογικοί σχηματισμοί της. Κάποιοι από αυτούς είναι επιφανειακοί (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια) και κάποιοι άλλοι υπόγειοι (υδροφόρο στρώμα, υδροφόροι ταμειυτήρες, βαθιά πηγάδια). Εδώ, θα πρέπει να επισημάνουμε πως κάνουμε λόγο για ύδατα που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος. Επίσης, και σε αυτές τις πηγές, χρησιμοποιούμε εναλλάκτες και αντλίες θερμότητας για την εκμετάλλευση της θερμικής τους ικανότητας. Με μόνη διαφορά, ότι εδώ μπορούμε να κυκλοφορήσουμε και ίδιο το ρευστό της «πηγής» στον εναλλάκτη, εάν κριθεί σκόπιμο από τον μελετητή της εγκατάστασης για αποδοτικούς και οικονομικούς λόγους και εάν δεν υπόκειται σε νομοθετικούς και περιβαλλοντολογικούς περιορισμούς.

Γενικά, αβαθής γεωθερμική ενέργεια καλείται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των υδάτων, επιφανειακών και υπογείων, και που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό και που βρίσκονται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 25°C έως και 100m βάθος. Η περιβαλλοντική αυτή ενέργεια που μεταφέρεται συνεχώς προς και από το έδαφος έχει δύο πηγές:

- Την ηλιακή ενέργεια: Η οποία είναι η κυριότερη ή η αποκλειστική πηγή θερμότητας των αερίων και των επιφανειακών υδάτινων μαζών. Στα υπόγεια νερά και στα πετρώματα μέχρι βάθους 100-150m που περιέχεται περισσότερη ή λιγότερη θερμική ενέργεια ηλιακής προέλευσης, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματικές και γεωμορφολογικές συνθήκες.
- Την ομαλή γεωθερμική ενέργεια: Η οποία οφείλεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες του εσωτερικού της Γης και η οποία με το φαινόμενο της θερμικής (γεωθερμικής) ροής που οδεύει προς την εδαφική επιφάνεια και προσφέρει θερμική ενέργεια στα πετρώματα και υπόγεια νερά που διατρέχει.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί πως το βάθος στο οποίο ορίζεται η κανονική γεωθερμία από μελετητές σε όλο τον κόσμο, διαφοροποιείται. Έτσι,

συναντάμε αναφορές που ορίζουν την αβαθή γεωθερμία στα πρώτα, 100m (συνηθέστερες περιπτώσεις), αλλά και στα 200m ή σε κάποιες περιπτώσεις στην ξένη βιβλιογραφία ορίζουν ως και τα 400m. Σε κάθε περίπτωση όμως θα πρέπει η μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος να υπακούει στον κανόνα της ομαλής γεωθερμικής βαθμίδας.

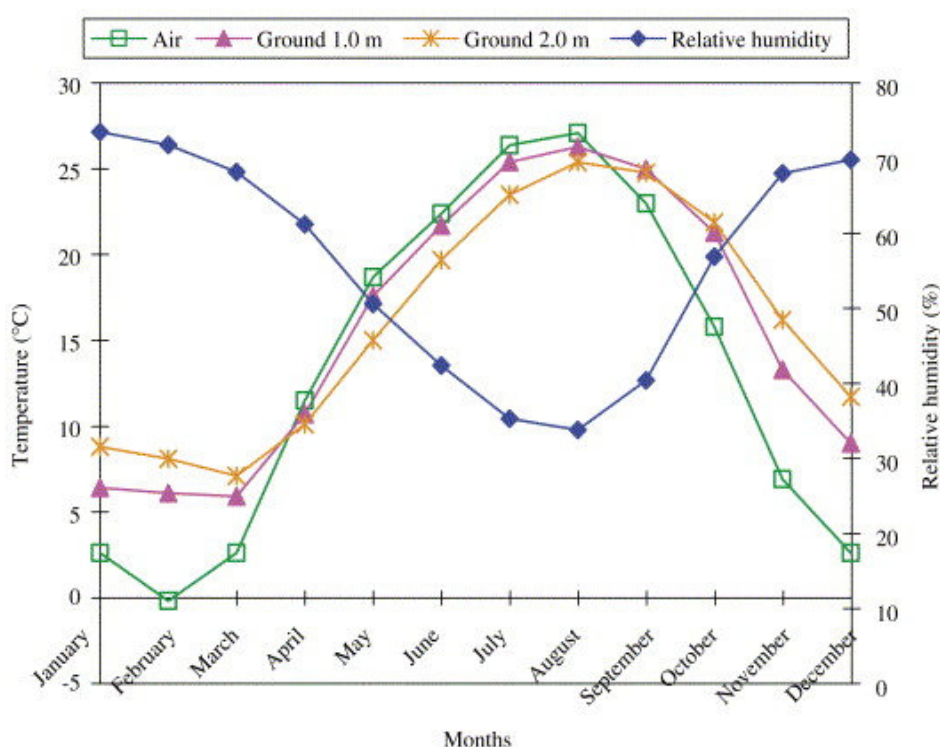


**Σχήμα 2.5.1** Απεικόνιση της αβαθούς γεωθερμίας συναρτήσει, της θερμοκρασίας και του βάθους του εδάφους, για κάθε εποχή του έτους. Επίσης δίνονται κατά προσέγγιση και οι ζώνες του υπεδάφους που επηρεάζονται από διαφορετικούς παράγοντες, θερμικής ροής (ηλιακής προέλευσης, ουδέτερη ζώνη και ζώνη ομαλής γεωθερμικής βαθμίδας). Παρατήρηση: Η παραπάνω σχηματική παράσταση δεν βασίζεται σε πραγματικές μετρήσεις της θερμοκρασιακής μεταβολής αλλά αποτελεί γενική απεικόνιση της.

Το μεγάλο προτέρημα που παρουσιάζει η ποσότητα της ενέργειας αυτής είναι ότι υπάρχει πάντα διαθέσιμη στη θέση του έργου και είναι ανεξάντλητη. Το έδαφος παρουσιάζει την ιδιότητα να μεταφέρει την ενέργειά του με πολύ αργούς ρυθμούς, ενώ έχει τη δυνατότητα πολύ μεγάλης αποθήκευσης, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του να μεταβάλλεται με πολύ αργούς ρυθμούς σε όλη τη διάρκεια του έτους (Σχήμα) ακόμα και επί σειρά ετών. Λόγω της αργής μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους, το αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζεται υψηλή θερμοκρασία ακόμα και κατά τους χειμερινούς μήνες, όπως επίσης να επικρατούν αρκετά χαμηλότερες



θερμοκρασίες από αυτές που διακυμαίνονται στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Δηλαδή, η θερμοκρασία του εδάφους ακολουθεί τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αλλά με «θερμοκρασιακή χρονο-καθυστέρηση» (Σχήμα 2.5.2) την οποία μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ενεργειακά για τον κλιματισμό κτιρίων. Δηλαδή το έδαφος δρα σαν θερμομονωτικό στοιχείο, με αποτέλεσμα η οποιαδήποτε διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους (μικρή ή μεγάλη) να εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση, τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια, την ποιότητα του εδάφους και την παρουσία ή όχι χιονιού ή άλλων επικαλύψεων της επιφάνειας.



**Σχήμα 2.5.2** Μηνιαία διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα, του εδάφους και της σχετικής υγρασίας.

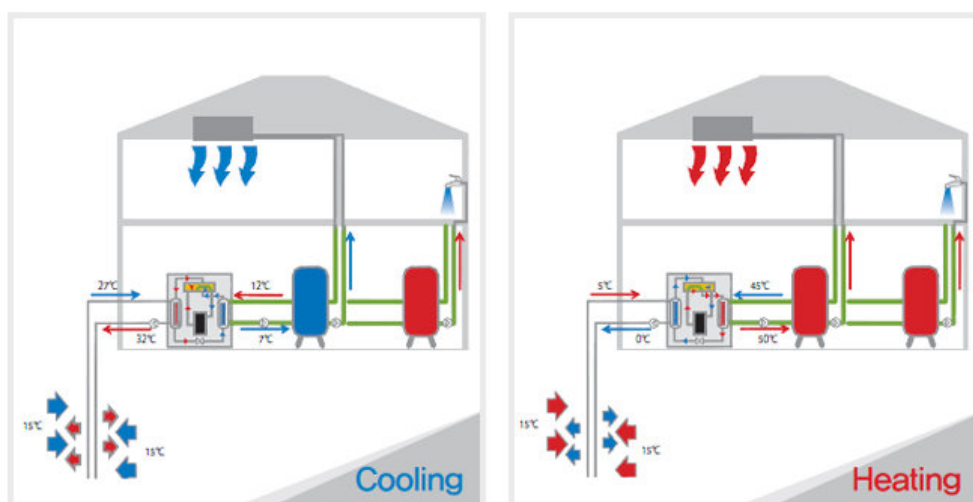
## 2.6. Αβαθής γεωθερμία και Γ.Α.Θ.

Η αβαθής γεωθερμία, χρησιμοποιείται για ίδια ενεργειακή χρήση, αναφέρεται σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη μας και δύναται να καλύψει τις ανάγκες τόσο σε θέρμανση όσο και ψύξη κτιριακών εγκαταστάσεων συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής του ζεστού νερού χρήσης.

Όπως αναφέραμε, ο σκοπός οποιουδήποτε αβαθούς γεωθερμικού συστήματος είναι η ανταλλαγή θερμότητας και η μεταφορά ενεργειακών φορτίων από το έδαφος στον κλιματιζόμενο χώρο και αντιστρόφως. Κατά τη χειμερινή περίοδο, το γεωθερμικό σύστημα, με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας, μεταφέρει τη θερμότητα

του εδάφους στο εσωτερικό του κλιματιζόμενου χώρου ενώ το αντίστροφο συμβαίνει στην περίοδο του καλοκαιριού (Σχήμα 2.6.1). Για την παραλαβή ή εναπόθεση του ενεργειακού φορτίου από και προς το έδαφος απαιτείται ένα «μέσο μεταφοράς» της ενέργειας. Στην περίπτωση των γεωθερμικών συστημάτων ο «μεταφορέας» είναι το νερό (ή ένα διάλυμα νερού-αντιψυκτικού), το οποίο είτε αντλείται μέσω υδρογεωτρήσεων είτε ανακυκλοφορεί σε ενταφιασμένες σωληνώσεις στο έδαφος. Στην περίπτωση της άντλησης μέσω υδρογεωτρήσεων αναφερόμαστε στα ανοικτά γεωθερμικά συστήματα, ενώ στην περίπτωση της ανακυκλοφορίας του νερού στο έδαφος μέσα σε ενταφιασμένες σωληνώσεις αναφερόμαστε στα κλειστά γεωθερμικά συστήματα. Οι ενταφιασμένες σωληνώσεις στο έδαφος ονομάζονται γεωσυλλέκτες.

Μια άλλη τεχνολογία που συμπεριλαμβάνετε σε αυτές που αξιοποιούν την αβαθή γεωθερμία είναι και η αποθήκευση ή εξαγωγή θερμότητας γνωστή ως UTES (Underground Thermal Energy Storage). Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση θερμού ή ψυχρού ρευστού είτε στο στερεό έδαφος BTES (Borehole Thermal Energy Storage) ή με εξαγωγή από υπόγειους υδροφορείς ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) και αφορά εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας.



**Σχήμα 2.6.1** Με τη βοήθεια του αντίστροφου κύκλου λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας μπορούμε σε ένα χώρο να επιτύχουμε: α) ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. β) θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Για να είναι δυνατή η αξιοποίηση της γεωθερμικής αυτής ενέργειας με αντλίες θερμότητας (Α.Θ.), θα πρέπει να δημιουργούνται στην πηγή τροφοδοσίας αυτών, δηλαδή στα αβαθή υπόγεια νερά και πετρώματα, θερμοκρασίες κατάλληλες για τη λειτουργία τους, δηλαδή ανώτερες του 0°C, ώστε να μη προκαλείται στερεοποίηση (πάγωμα) των υπόγειων νερών και των υγρών μεταφοράς στους γεωθερμικούς εναλλάκτες (συνήθως νερό με αντιψυκτικό). Επίσης, οι θερμοκρασίες της πηγής τροφοδοσίας θα πρέπει να βρίσκονται σε μια στάθμη τέτοια, ώστε ο συντελεστής απόδοσης (COP) της Α.Θ. να είναι τουλάχιστον 3:1, που αντιστοιχεί με την οριακά αποδεκτή τιμή.



Η κανονική γεωθερμική βαθμίδα δεν είναι από μόνη της ικανή να δημιουργεί σε βάθη 0-100m του υπεδάφους, θερμοκρασίες ανώτερες των 0°C. Απαιτείται προς τούτο και η συμβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα της περιοχής, δηλαδή της εξωγενούς (ηλιακής) θερμικής ροής, για τη διαμόρφωση θερμοκρασιακών συνθηκών στο υπέδαφος ευνοϊκών για την οικονομικά και ενεργειακά συμφέρουσα λειτουργία των Α.Θ.

## 2.7. Η περίπτωση Permafrost

Στις αρκτικές περιοχές, οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα βρίσκονται υπό τους 0°C και η γεωθερμική ροή αδυνατεί να αναπτύξει κάτω από την εδαφική επιφάνεια θερμοκρασίες υψηλότερες του 0°C. Έτσι, δημιουργείται το καλούμενο permafrost, δηλαδή εδαφικό στρώμα με υδάτινο περιεχόμενο μόνιμα παγωμένο.

Το permafrost παρουσιάζεται περίπου στο 20% της εδαφικής επιφάνειας της Γης. Καλύπτει το 85% της Αλάσκας, το 59% της πρώην Σοβιετικής Ένωσης (Βόρειος Σιβηρία) και του Καναδά, πιθανότατα όλη την Ανταρκτική και τη Γροιλανδία. Στον ευρωπαϊκό χώρο παρουσιάζεται permafrost στο βορειότερο τμήμα της Σκανδιναβικής Χερσονήσου και στο κεντρικό ορεινό τμήμα της Ισλανδίας. (Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργάκης, 1998)

Η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα από το χειμώνα στο θέρος αναπαράγεται μόνο στα ανώτερα δεκατόμετρα του εδάφους. Η θερμοκρασιακή διακύμανση στη συνέχεια ελαττώνεται γρήγορα με το βάθος, αφού στα 7,5m φτάνει μόνο λίγους βαθμούς και μεταξύ 9,5-15m σχεδόν μηδενίζεται. Η στάθμη της μηδενικής διακύμανσης έχει συνήθως τη χαμηλότερη θερμοκρασία, εφόσον έχει επιτευχθεί κατάσταση ισορροπίας στην ανάπτυξη του permafrost. Η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου ίση με την ετήσια θερμοκρασία της εδαφικής επιφάνειας και ακόμη βαθύτερα αυξάνει υπό την επίδραση της ανοδικής γεωθερμικής ροής. (Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργάκης, 1998).

Στις περιοχές με permafrost, οι Α.Θ. που είναι συζευγμένες με το υπέδαφος δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά, διότι τα παγωμένα υπόγεια νερά μειώνουν τη θερμοαγωγιμότητα των υπεδαφικών υλικών και οι χαμηλές θερμοκρασίες μειώνουν το COP των Α.Θ.

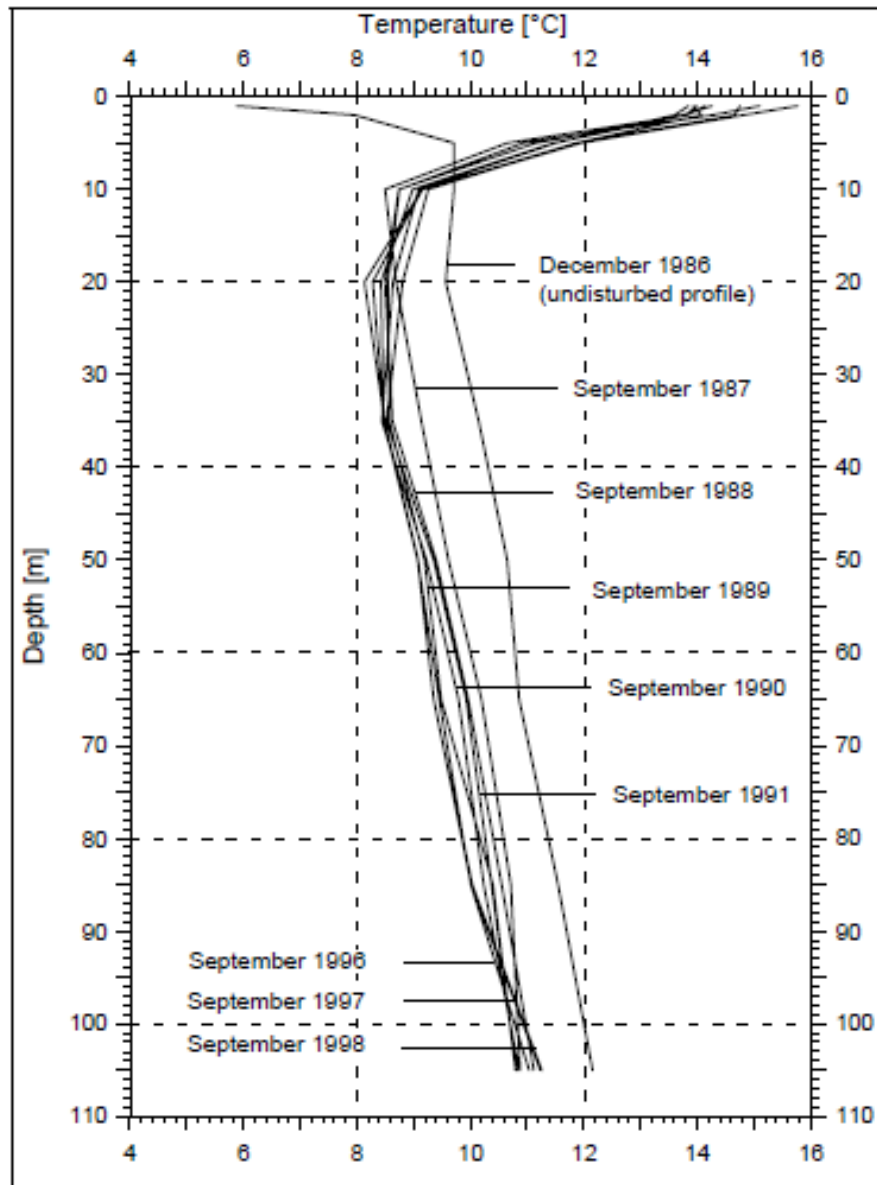
Το permafrost παριστά αποθηκευμένη ψυκτική ενέργεια που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, εάν στην αντίστοιχη περιοχή υπήρχαν ανάγκες σε τέτοια ενέργεια. Όπως στις αρκτικές περιοχές οι κλιματικές συνθήκες έχουν προκαλέσει αποθήκευση ψυκτικής ενέργειας, κατ' ανάλογο τρόπο στις υποτροπικές και τροπικές κλιματικές ζώνες έχει προκληθεί αποθήκευση θερμικής ενέργειας στο υπέδαφος. Η ποσότητα της αποθηκευμένης θερμότητας είναι σταθερή ή αυξάνει ή μειώνεται, εφόσον το κλίμα της περιοχής παρουσιάζει αντίστοιχη σταθερότητα, αύξηση ή μείωση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα.

## 2.8. Η αβαθής γεωθερμία στην Ευρώπη σε σχέση με τα γεωγραφικά πλάτη

Στις Σκανδιναβικές χώρες, ιδιαίτερα στη Σουηδία και τη Φιλανδία, χώρες αμέσως νότια της ζώνης permafrost, έχουν δοκιμαστεί και χρησιμοποιηθεί Α.Θ. συζευγμένες με το αβαθές υπέδαφος, με το COP αυτών είναι χαμηλό, λόγω των χαμηλών υπεδαφικών θερμοκρασιών (0-6°C). Το δυναμικό αυτό δημιουργείται από τη γεωθερμική ροή αμέσως κάτω από την εδαφική επιφάνεια σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς να μπορεί η ασθενής ηλιακή θερμική διείσδυση να το ανεβάσει περισσότερο. Παρόλα αυτά, στις δύο αυτές χώρες, καθώς και στον Καναδά, στην αντίπερα μεριά του Ατλαντικού (περίπου ίδια γεωγραφικά πλάτη) η αγορά Γ.Α.Θ. είναι πολύ ώριμη και έχουν πραγματοποιηθεί πολλές εγκαταστάσεις που αφορούν τη θέρμανση κτιρίων και κατοικιών.

Στα αμέσως επόμενα γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης, δηλαδή στις χώρες τις Κεντρικής Ευρώπης, τα αβαθή γεωθερμικά συστήματα είναι ποιο αποδοτικά και λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες (6-12°C). Επειδή το ομαλό γεωθερμικό πεδίο της γης δεν επηρεάζεται από το γεωγραφικό πλάτος, οι υψηλότερες θερμοκρασίες οφείλονται εδώ στη μεγαλύτερη διείσδυση της ηλιακής θερμικής ενέργειας στο υπέδαφος.

Ύστερα από συστηματικές και ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασιών κάθε μισή ώρα και για 5 συνεχή χρόνια σε γεώτρηση βάθους 105m, με περίπου κανονική βαθμίδα κοντά στη Ζυρίχη, στην οποία γεώτρηση γινόταν εκμετάλλευση σε όλο αυτό το διάστημα, προέκυψαν πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα (Σχήμα 2.8.1). Αρχικά παρατηρήθηκε μείωση της θερμοκρασίας κατά 0,8°C σε όλο το μήκος της γεώτρησης κατά το πρώτο έτος. Στη συνέχεια, επιτεύχθηκε πλήρης θερμική ισορροπία. Η ψύξη πλευρικά της γεώτρησης δεν μεταδίδεται ουσιαστικά πέραν των 2m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους στην Ελβετία δε μεταβάλλεται περισσότερο από ±2°C κατά τη διάρκεια του χρόνου και η θερμοκρασία ουσιαστικά σταθεροποιείται στα 10 μόλις μέτρα βάθους, για να αρχίσει από εκεί και κάτω η άνοδος με το ρυθμό της γεωθερμικής βαθμίδας.

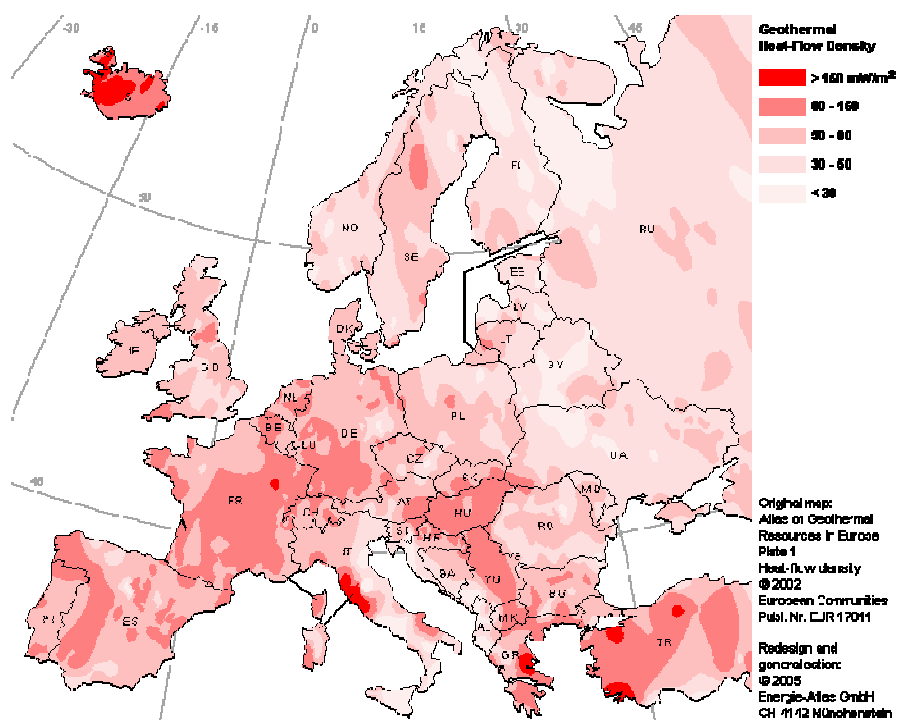


**Σχήμα 2.8.1** Κατανομές της υπεδάφιας θερμοκρασίας σε οριζόντια απόσταση ενός μέτρου από γεώτρηση μέσα στην οποία λειτουργεί εναλλάκτης θερμότητας. Η Καμπύλη με την ένδειξη Δεκέμβριος 1986 αφορά σε συνθήκες πριν από την έναρξη απόληψης της θερμότητας. (Eugster and Rybach, 2000)

Έτσι λοιπόν, στη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ελβετία και την Αυστρία οι Γ.Α.Θ., που αξιοποιούν την υπεδάφιακή θερμότητα από μικρά βάθη, είναι και εκεί πολύ διαδεδομένες. Νοτιότερα, στην εύκρατο ζώνη, δηλαδή στις μεσογειακές ευρωπαϊκές χώρες, οι θερμοκρασίες διακύμανσης του εδάφους μετατοπίζονται σε ακόμη μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Ωστόσο η αξιοποίηση της συγκεκριμένης δεν είναι τόσο διαδομένη. Παρόλο που έχει μεγαλύτερη σημασία, διότι παρέχει τη δυνατότητα θέρμανσης τον χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι.

## 2.9. Καταγραφή αβαθούς γεωθερμικής ροής στην Ευρώπη

Συνεπής χαρτογράφηση της αβαθούς γεωθερμίας στον Ευρωπαϊκό χώρο, που θα βοηθούσε τους μελετητές, δεν υπάρχει προς το παρόν. Οι περισσότεροι χάρτες αναφέρονται στην ροή θερμότητας της γεωθερμίας και όχι στην ροή θερμότητας της αβαθούς γεωθερμίας όπως την ορίσαμε ποιο πριν. Έτσι συναντούμε χάρτες όπως ο παρακάτω (Εικόνα 2.9.1) όπου αναφέρετε στη θερμική ροή από πηγές που θεωρούνται γεωθερμικό δυναμικό. Αν και τέτοιες περιοχές στην Ευρώπη, όπου τα υπόγεια ύδατα μπορεί να παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή απόδοση, δεν είναι λίγες (Ισλανδία, Ιταλία, Ελλάδα, Τουρκία, Γαλλία, Ουγγαρία). Ωστόσο, με εξαίρεση το παράδειγμα της Ισλανδίας οι υπόλοιπες χώρες δεν κάνουν ιδιαίτερη χρήση αυτού του δυναμικού, ιδιαίτερα δε σε ότι αφορά το κλιματισμό κτιρίων. Παράλληλα, προσπαθούν να αναπτύξουν τους ρηχούς γεωθερμικούς εναλλάκτες που αξιοποιούν την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους. Μιας και η αβαθής γεωθερμία δεν υπόκειται στο περιορισμό ορισμένων κοιτασμάτων γεωθερμικών ρευστών.



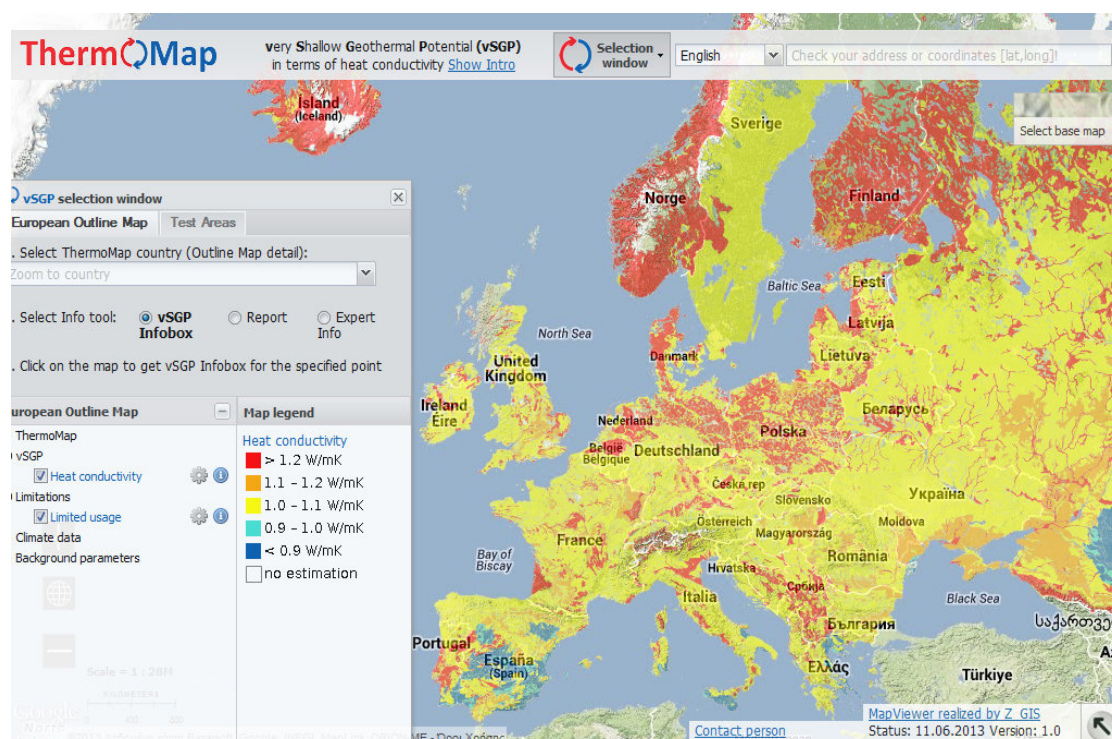
**Εικόνα 2.9.1** Χάρτης της Ευρώπης που απεικονίζει σε κάθε χώρα, την πυκνότητα της ροής θερμότητας της γεωθερμίας. Οι εντονότερες αποχρώσεις του κόκκινου μαρτυρούν την ύπαρξη θετικής γεωθερμικής βαθμίδας. (World Energy Council WEC)

Όμως αυτό που αναμένετε τα αμέσως επόμενα χρόνια είναι η δημιουργία μια βάσης δεδομένων για την αβαθή γεωθερμία. Στη κατεύθυνση αυτή κινείται το έργο ‘ThermoMap’, που είναι ένα καινοτόμο συγχρηματοδοτούμενο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα (2010-2013) με τίτλο «Περιοχική χαρτογράφηση των ρηχών γεωθερμικών πόρων από δεδομένα εδάφους και υπόγειων νερών», που εστιάζει το ενδιαφέρον του στη χαρτογράφηση του δυναμικού της πολύ ρηχής γεωθερμικής

ενέργειας στην Ευρώπη (Εικόνες 2.9.2 και 2.9.3). Δίνεται έμφαση στην οριζόντια ρηχή γεωθερμική ενέργεια μέσα στα πρώτα 10m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στο πρόγραμμα συμμετέχει και η Ελλάδα με την παρουσία του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών ΙΓΜΕ.

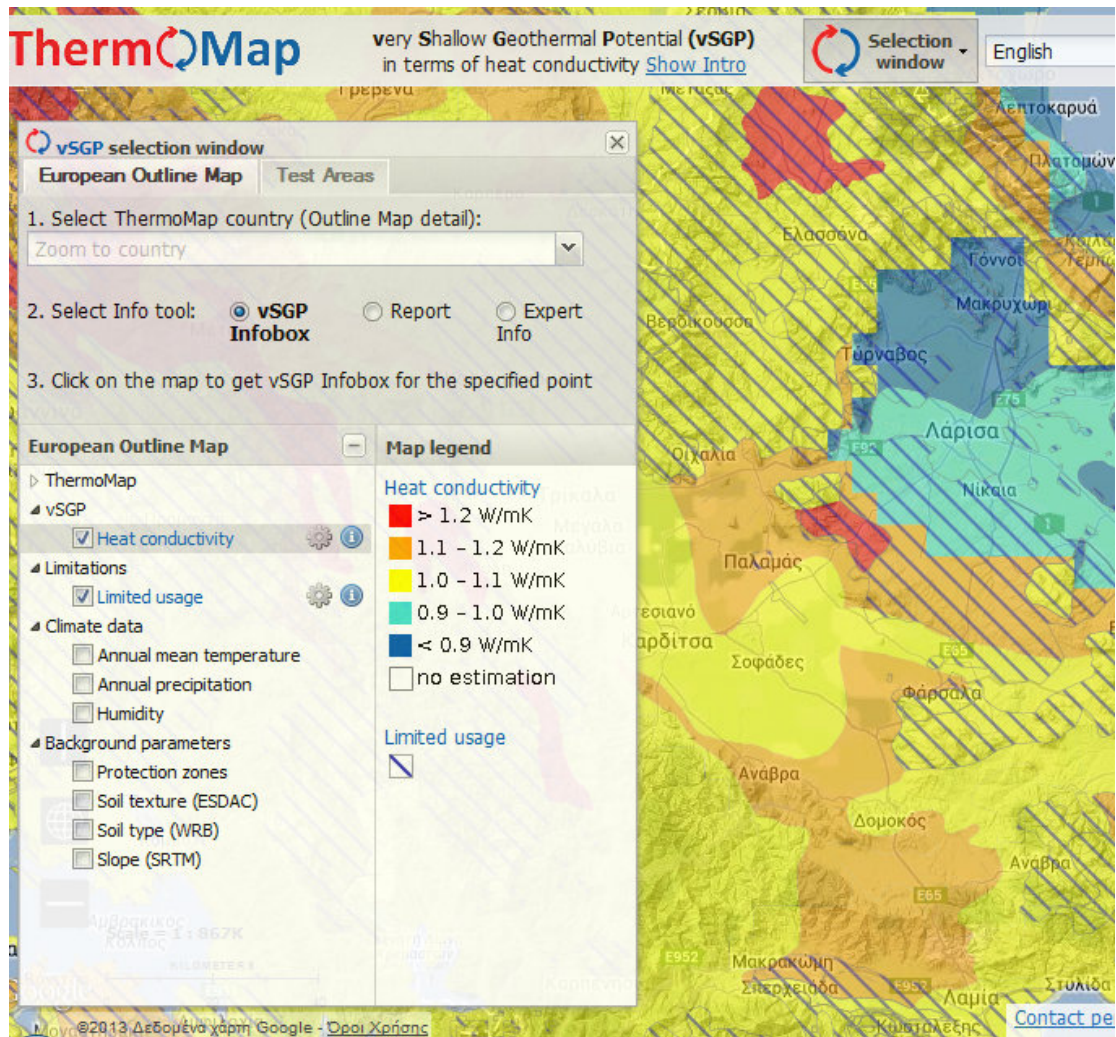
Στα πλαίσια του Έργου ThermoMap θα εναρμονισθούν και θα αναλυθούν υπάρχοντα συλλεχθέντα δεδομένα (γεωλογικά, υδρογεωλογικά, εδαφολογικά και κλιματικά δεδομένα καθώς και δεδομένα αναγλύφου / τοπογραφίας και χρήσεων γης / εδαφικής κάλυψης) με τυποποιημένες μεθόδους για να υπολογισθεί μια τιμή για το γεωθερμικό δυναμικό σε 3 διαφορετικά επίπεδα βάρους μέχρι το βάθος των 10m (0-3m, 3-6m και 6-10m), με σκοπό να βοηθηθεί η ανεύρεση - σε σύντομο χρόνο και χωρίς υψηλό κόστος - ευνοϊκών περιοχών για ρηχή γεωθερμική αξιοποίηση σε μεγάλη και μεσαία κλίμακα.

Αυτό αποσκοπεί στην παροχή ενός Ευρωπαϊκού συστήματος χαρτογράφησης περιοχών με βάση το σύστημα Geographic Information System, GIS. Έτσι με τη βοήθεια ενός διαδραστικού εργαλείου πληροφόρησης που θα τρέχει σε κάποιο πρόγραμμα περιήγησης ο κάθε χρήστης θα μπορεί να ελέγχει το εκτιμώμενο ρηχό γεωθερμικό δυναμικό στην περιοχή ενδιαφέροντος και οι ειδικοί θα μπορούν να σχεδιάζουν καλύτερα τα συστήματα ΓΑΘ.



**Εικόνα 2.9.2.** Απεικόνιση της θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους στην Ευρώπη μέσω του «χάρτη-λογισμικού» ThermoMap, που συνεχώς εμπλουτίζεται με νέα δεδομένα. Παρατήρηση: Η θερμική αγωγιμότητα αποτελεί μια από τις παραμέτρους που μπορεί να μας δώσει το πρόγραμμα, για την μελέτη της αβαθούς γεωθερμίας. (<http://www.thermomap-project.eu/>)





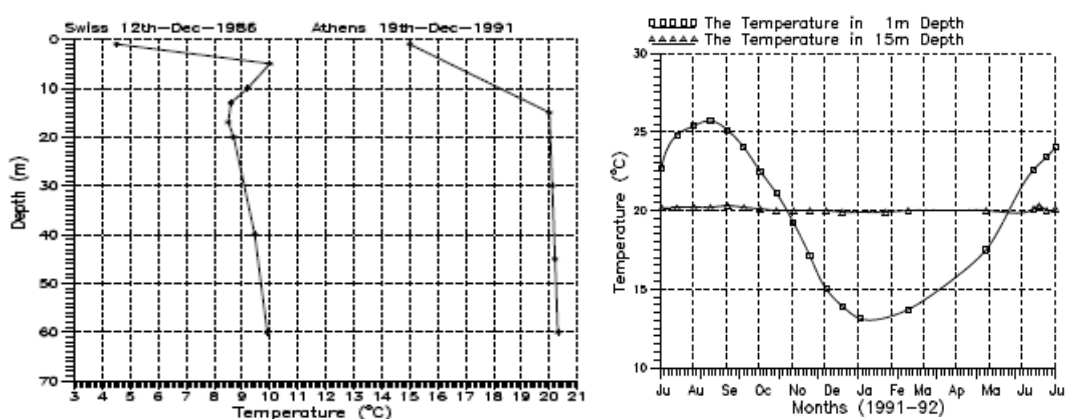
**Εικόνα 2.9.3.** Λεπτομερή χαρτογράφηση της θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους στην περιοχή του θεσσαλικού κάμπου. Στην αριστερά πλευρά μπορούμε να διακρίνουμε της παραμέτρους και τα δεδομένα που μπορεί να δώσει το πρόγραμμα. (<http://www.thermotmap-project.eu/>)

## 2.10. Αβαθής γεωθερμία στον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα, όπου τα ανωτέρω γεωθερμικά συστήματα είναι ακόμη άγνωστα από πλευράς εφαρμογής, οι κλιματικές συνθήκες είναι τέτοιες, ώστε η ηλιακή θερμική διείσδυση ανεβάζει τις υπεδάφικες θερμοκρασίες σε βάθη 0-150m στους 16-22°C και συνεπώς, εκτιμάται ότι το θερμικό δυναμικό του ελληνικού υπεδάφους θα είναι της τάξης του διπλάσιου από αυτό της Ελβετίας, εάν τεθεί ως ενεργειακή βάση τους 0°C. Οι υπεδάφικες θερμοκρασίες του ελληνικού χώρου μπορούν να γίνουν γνωστές τόσο από τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα όσο και από άμεσες μετρήσεις, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί σε υπόγεια νερά (γεωτρήσεων, φρεατίων, πηγών) καθώς και στην πειραματική εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας του Αγίου Δημητρίου Κορωπίου. (Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργιάκης, 1998)

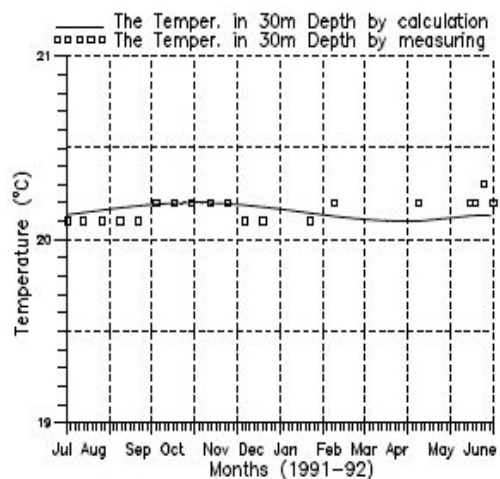
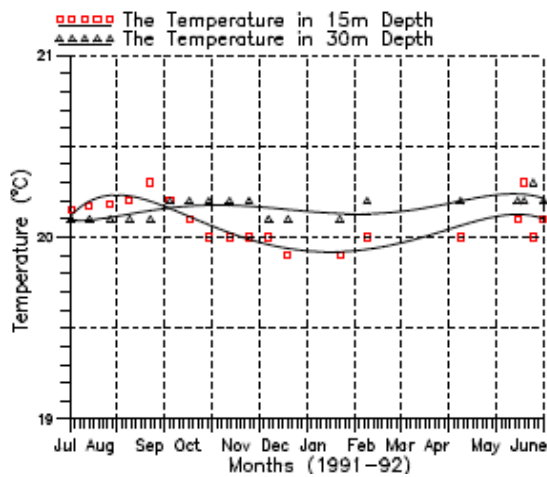


Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, που πραγματοποιήθηκαν από τον Ιούνιο του 1991 μέχρι το Μάρτιο 1995 στο Κορωπί Αττικής, έδειξαν ότι η εποχιακή (ετήσια) διακύμανση της θερμοκρασίας στα στρώματα του υπεδάφους οφείλεται στη διείσδυση ηλιακής θερμότητας σε αυτό, φτάνει μέχρι βάθος 15-20m, ενώ βαθύτερα και μέχρι τα 60m (όπου έγιναν οι μετρήσεις) η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή, χωρίς να εμφανίζει σαφή επηρεασμό από τη γεωθερμική βαθμίδα (Σχήμα 2.10.1 β). Η διαπίστωση αυτή ερμηνεύεται ως συνέπεια της υπερετήσιας διείσδυσης της ηλιακής θερμότητας μέχρι βάθος τουλάχιστον 60m. Το φαινόμενο αυτό δεν έχει παρατηρηθεί σε αντίστοιχες μετρήσεις θερμοκρασιών, όπως στην Ελβετία (Σχήμα 2.10.1 α), όπου από το βάθος των 15m και κάτω διαπιστώνεται με σαφήνεια η επίδραση της γεωθερμικής βαθμίδας. Ασφαλώς το φαινόμενο αυτό είναι απόρροια των διαφορετικών κλιματολογικών συνθηκών από περιοχή σε περιοχή. (Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργιάκης, 1998)



**Σχήμα 2.10.1** Σύγκριση μετρήσεων μεταξύ **α)** Ελβετίας και **β)** Ελλάδας. **Σχήμα 2.10.2** Μετρήσεις θερμοκρασίας εδάφους σε βάθος 1m και 15m στο Κορωπί Αττικής. (Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργιάκης, 1998)

Στο σχήμα 2.10.2 φαίνονται η έντονη ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στο βάθος του 1m και η ασθενέστατη διακύμανση γύρω στους 20°C στο βάθος των 15m. Στο σχήμα 2.10.3 συγκρίνονται οι ετήσιες διακυμάνσεις των θερμοκρασιών στα βάθη των 15m και των 30m, ενώ στο σχήμα 2.10.4 συγκρίνονται οι καμπύλες των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων σε βάθος 30m που σχεδιάστηκαν αφενός από τα αποτελέσματα μετρήσεων με τα γεωθερμόμετρα και αφετέρου από το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης της θερμικής διείσδυσης στο φλοιό της Γης, με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών και έχοντας λάβει υπόψη τα θερμικά χαρακτηριστικά των υπεδαφικών υλικών στη θέση της γεώτρησης. Οι καμπύλες των δύο μεθοδολογιών συμπίπτουν σημαντικά.



**Σχήμα 2.10.3** Θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σε βάθος 15m και 30m. **Σχήμα 2.10.4** Σύγκριση μετρήσεων θερμοκρασιακής διακύμανσης, σε βάθος 30m, με υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης. (Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργάκης, 1998)

Τα παραπάνω αποτελέσματα που προκύπτουν από τα σχήματα δείχνουν ότι στο υπέδαφος της περιοχής των πειραματικών μετρήσεων στο υπέδαφος της ευρύτερης περιοχής της Αττικής, σε βάθη τουλάχιστον μέχρι 60m, είναι αποθηκευμένες σημαντικές ποσότητες θερμικής ενέργειας προερχόμενες από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην εδαφική επιφάνεια. Πιθανότατα, την ίδια υπόθεση μπορούμε να κάνουμε και για τον υπόλοιπο Ελλαδικό χώρο.

Από έρευνες του Κ.Α.Π.Ε. για τη χώρα μας, προέκυψαν τα εξής στοιχεία για τη μέση θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος 8m και ανά περιφέρεια (Πίνακας 2.1.5). Παρατηρούμε ότι οι περιοχές με ψυχρό κλίμα έχουν λιγότερη αποθηκευμένη ενέργεια με αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες του υπεδάφους να παραμένουν σταθερές αλλά σε χαμηλότερο θερμοκρασιακό επίπεδο από ότι οι θερμοκρασίες που παρουσιάζει το υπέδαφος σε περιοχές με θερμό κλίμα.

Βόρεια Ελλάδα	12 - 14 °C
Κεντρική Ελλάδα	13 - 15 °C
Νότια Ελλάδα	14 - 16 °C
Νησιώτικες περιοχές	15 - 17°C
Ορεινές περιοχές	< 2°C

**Πίνακας 2.10.5** Μέσες θερμοκρασίες του εδάφους ανά περιφέρεια του ελλαδικού χώρου. (από παρουσιάσεις εκτιμήσεων του Κ.Α.Π.Ε.)

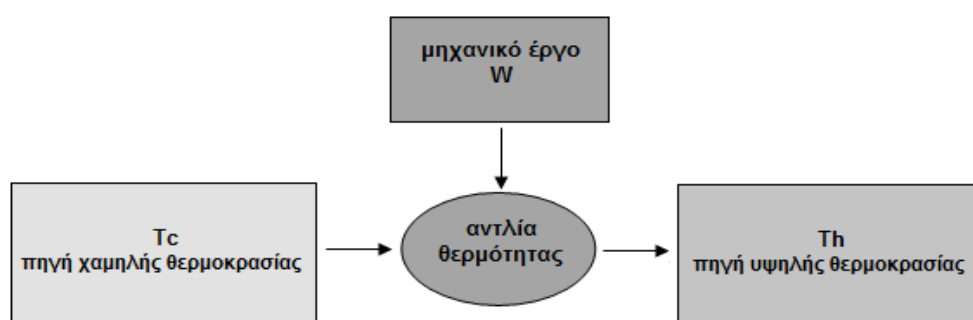
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

Αντλίες Θερμότητας και Γ.Α.Θ.

### 3. Αντλίες Θερμότητας και Γ.Α.Θ.

#### 3.1. Ορισμός της αντλίας θερμότητας

Ως γνωστόν, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων. Όμως οι αντλίες θερμότητας έχουν και την ικανότητα να μεταφέρουν τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική ροή, δηλαδή να «αντλούν θερμότητα». Η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτή που εφαρμόζεται στα κοινά ψυγεία (ψυκτική διάταξη), όπου η θερμότητα μεταφέρεται από τον χώρο του ψυγείου στον χώρο του περιβάλλοντος με τη βοήθεια κάποιας εξωτερικής κινητήριας δύναμης, συνήθως μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια (Σχήμα 3.1.1). Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο των αντλιών θερμότητας είναι ότι μέσω κάποιας διάταξης μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να κάνουν αναστροφή της παραπάνω λειτουργίας. Δηλαδή από τη λειτουργία σε κύκλο ψύξης μπορεί να γίνει εναλλαγή σε κύκλο θέρμανσης, ώστε άλλοτε να ψύχει και άλλοτε να θερμαίνει ένα μέσο ή χώρο σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη. Σήμερα πια, σχεδόν όλες οι αντλίες θερμότητας διαθέτουν την ικανότητα αναστροφής της ψυκτικής και τη θερμαντικής τους λειτουργίας.



**Σχήμα 3.1.1** Ροή ενέργειας κατά τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας στο κύκλο ψύξης.

Ποιο ειδικά κατά τη χειμερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από μια πηγή (π.χ. τον ψυχρό εξωτερικό αέρα) σε ένα χώρο με σκοπό τη θέρμανση του χώρου και κατά τη θερινή περίοδο τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο προς τον θερμότερο εξωτερικό αέρα, με σκοπό την ψύξη του (κοινές κλιματιστικές συσκευές). Αυτή η εκμετάλλευση των πηγών θερμότητας καθιστά την αντλία θερμότητας κατάλληλη και για την εκμετάλλευση και της ρηχής γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση ή και ψύξη χώρων καθώς και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

### 3.2. Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Η αρχή λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας μπορεί να περιγραφεί με το θεωρητικό θερμοδυναμικό κύκλο του Carnot σε διάγραμμα Πίεσης – Ενθαλπίας, καθώς και με τον κύκλο λειτουργίας της μηχανολογικής διάταξης της θερμαντλίας (Εικόνα 3.2.1). Βασική λειτουργία για την επίτευξη κλιματισμού με τέτοιες διατάξεις είναι η δημιουργία κύκλου συμπίεσης ατμών ενός ψυκτικού ρευστού. Για να γίνει αυτό, απαραίτητα στοιχεία της διάταξης, είναι ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής, ο εξατμιστής, και η εκτονωτική βαλβίδα.

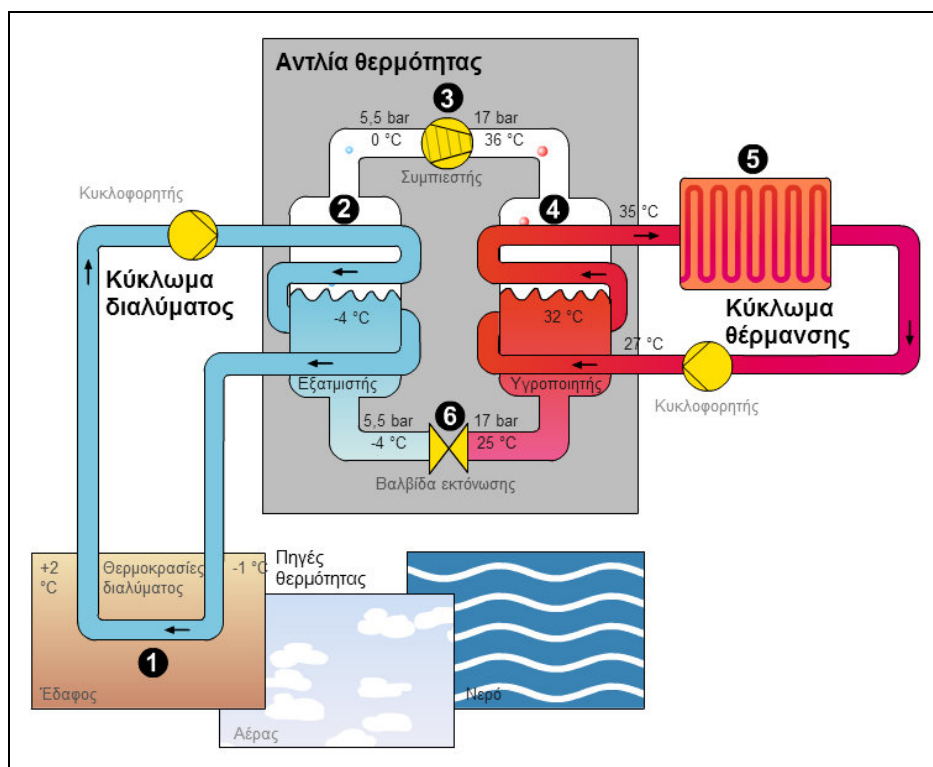
- Τον εξατμιστή, που είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε. Στον εξατμιστή, το ψυκτικό ρευστό που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, απορροφά θερμότητα και εξατμίζεται.
- Τον συμπιεστή, που είναι μία συσκευή που αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού μετά την έξοδο του εξατμιστή, τους συμπιέζει, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και τη θερμοκρασίας τους.
- Τον συμπυκνωτή, που είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο χώρο που θέλουμε να απορρίψουμε τη θερμότητα. Οι ατμοί ψύχονται και αποβάλλουν θερμότητα.
- Την εκτονωτική βαλβίδα, όπου μειώνεται η υψηλή πίεση που επικρατεί στον συμπυκνωτή μέχρι τη χαμηλή πίεση που επικρατεί στον εξατμιστή.



*Εικόνα 3.2.1 Η διάταξη μιας αντλίας θερμότητας συμπίεσης και οι επιμέρους μηχανολογικές διατάξεις που την αποτελούν.*

Εκτός των παραπάνω, οι αντλίες θερμότητας περιέχουν και άλλα εξαρτήματα, όργανα και συσκευές όπως βαλβίδες, όργανα διακοπής, φίλτρα, όργανα αυτοματισμού, καλωδιώσεις, σωληνώσεις κ.λπ. Εδώ θα πρέπει να διευκρινίσουμε

πως στη παρούσα εργασία γίνεται λόγος για αντλία θερμότητας συμπίεσης μιας και αυτός ο τύπος είναι που χρησιμοποιείται και στις εφαρμογές αβαθούς γεωθερμίας.

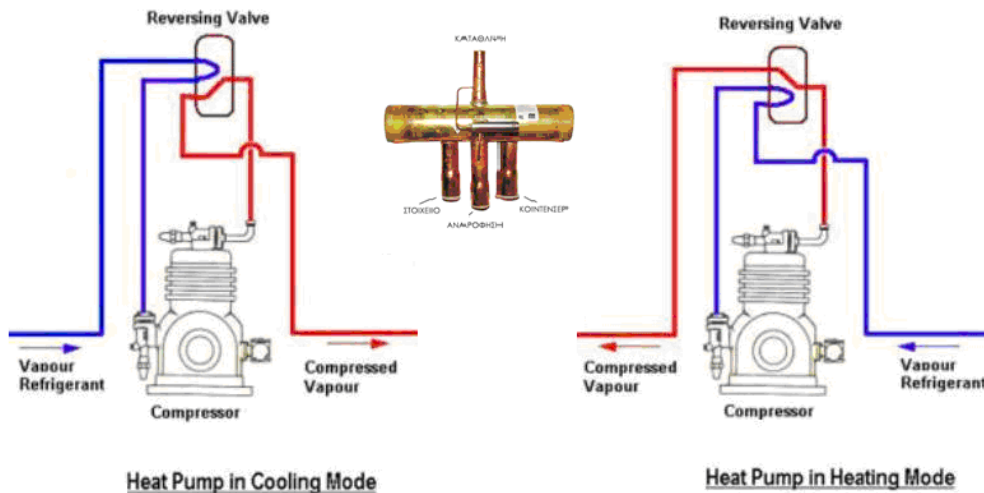


**Σχήμα 3.2.2** Κύκλος λειτουργίας αντλίας θερμότητας συμπίεσης κατά την μεταφορά θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό (λειτουργία θέρμανσης).

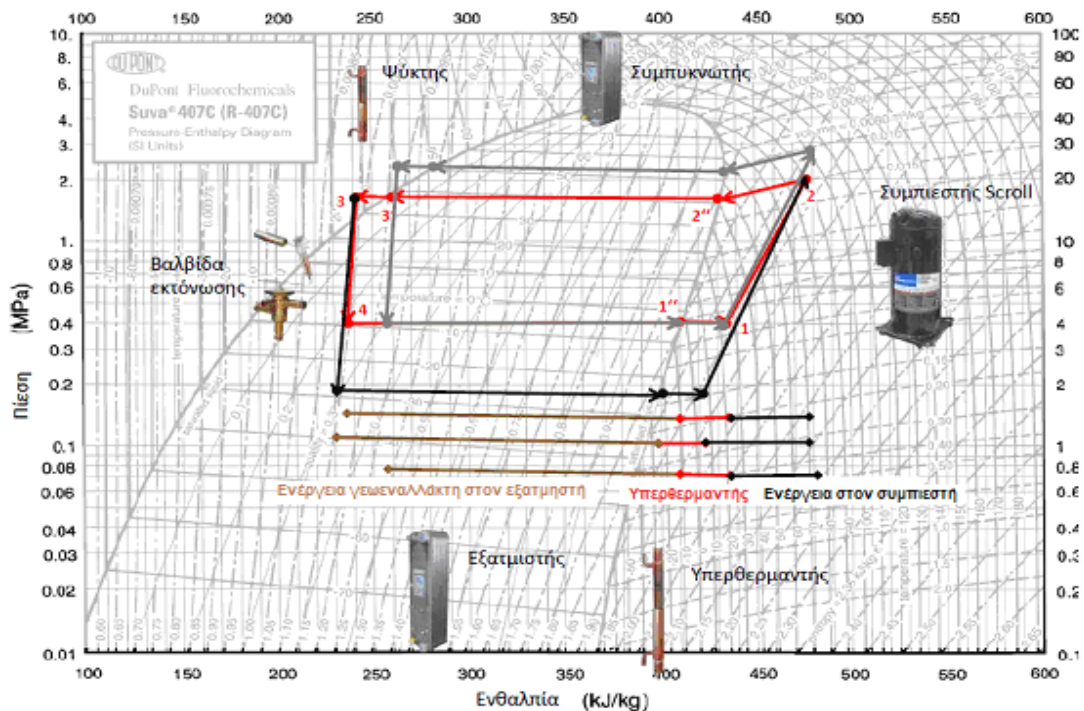
Ο αντίστοιχος κύκλος λειτουργίας περιγράφεται ακολούθως και σύμφωνα με το σχήμα 3.2.2: Η θερμότητα σε ένα επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας εξατμίζει ένα ρευστό με χαμηλό σημείο βρασμού (ψυκτικό ρευστό), ο ατμός έπειτα συμπιέζεται σε έναν συμπιεστή και με αυτόν τον τρόπο θερμαίνεται. Κάτω από την υψηλή πίεση και την υψηλή θερμοκρασία το ψυκτικό μέσο μεταφέρει τη θερμότητα του στο νερό θέρμανσης ή στον αέρα, όπου κρύνει και συμπυκνώνεται. Το ψυκτικό ρευστό κινείται έπειτα πίσω στο στάδιο χαμηλής πίεσης μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης ή ενός τριχοειδούς σωλήνα, η θερμοκρασία πέφτει σημαντικά και το μέσο μπορεί να εξατμιστεί πάλι στο στάδιο χαμηλής θερμοκρασίας. Στη συνέχεια ο κύκλος ξεκινάει από την αρχή. Η αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου από ψύξη σε θέρμανση γίνεται μέσω της τετράοδης βαλβίδας ανάμιξης (Σχήμα 3.2.3), στην ουσία ο συμπυκνωτής γίνεται εξατμιστής και αντίστροφα. Η τετράοδη βαλβίδα ενεργοποιείται από την διάταξη ελέγχου που έχει κάθε αντλία θερμότητας.

Οι συμπιεστές αντλιών θερμότητας συνήθως κινούνται από ηλεκτρικές μηχανές. Μόνο για τις μεγάλες αντλίες θερμότητας, οι μονάδες κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρελαίου, υγραερίου, φυσικού αερίου). Οι αντλίες θερμότητας που οδηγούνται από μηχανές εσωτερικής καύσης επιτρέπουν επίσης τη χρήση της θερμότητας από την ψύξη της μηχανής και τη θερμότητα των καυσαερίων.





**Σχήματα 3.2.3** Η βαλβίδα αναστροφής του κυκλώματος στις δύο λειτουργίες που πραγματοποιεί: ψύξης και θέρμανσης. Επίσης απεικονίζεται μια τετράοδη βαλβίδα αναστροφής σε εμπορική μορφή.



**Διάγραμμα 3.2.4** Θερμοδυναμικός κύκλος Γ.Α.Θ. για διαφορετικές θερμοκρασίες προσαγωγής από τον γεωεναλλάκτη στην αντλία θερμότητας.

Το μηχανικό έργο που δαπανάται για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας χρησιμεύει για την μεταφορά μιας ποσότητας θερμότητας, που ήδη υπάρχει σε μία πηγή ενέργειας (αέρας, νερό, έδαφος). Συνήθως η διεργασία αυτή της μεταφοράς θερμότητας έχει ένα βαθμό επίδοσης από 2 έως 4, δηλαδή η αντλία θερμότητας παρέχει από 2 έως 4 φορές περισσότερη θερμότητα ( $kW_{th}$ ) από την ηλεκτρική ενέργεια ( $kW_e$ ) που καταναλώνει. Αυτό συμβαίνει γιατί η θερμότητα που μεταφέρεται στην υψηλή θερμοκρασία περιέχει τόσο το μηχανικό έργο όσο και τη

θερμική ενέργεια που απορροφάται στη χαμηλή θερμοκρασία. Στο παραπάνω διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας (Διάγραμμα 3.2.4) παρατηρούμε μεταξύ των άλλων, ότι η ενέργεια που απορροφάται από τον γεωεναλλάκτη, η ενέργεια από την υπερθέρμανση και η ενέργεια που καταναλώνει ο συμπιεστής, αντιστοιχούν στην ενέργεια που απορρίπτει ο συμπυκνωτής στο χώρο.

### 3.3. Βαθμονόμηση της απόδοσης αντλιών θερμότητας

#### 3.3.1. Βαθμός επίδοσης

Ως επίδοση μιας αντλίας θερμότητας ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την ενέργεια που δαπανάται.

$$\text{Βαθμός επίδοσης} = \frac{\text{Ενέργεια που λαμβάνεται}}{\text{Ενέργεια που δαπανάται}}$$

- Για την περίπτωση της λειτουργίας σε θέρμανση είναι:

$$\text{Βαθμός επίδοσης}_{\text{θέρμανσης}} = \frac{\text{Ενέργεια που δίνεται στο θερμενόμενο χώρο/μέσον}}{\text{Ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του συμπιεστή}} = \frac{Q_h}{W}$$

- Για την περίπτωση της λειτουργίας σε ψύξη είναι:

$$\text{Βαθμός επίδοσης}_{\text{ψύξης}} = \frac{\text{Ενέργεια που αφαιρείται από τον ψυχόμενο χώρο/μέσον}}{\text{Ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του συμπιεστή}} = \frac{Q_c}{W}$$

#### 3.3.2. Βαθμός απόδοσης

Σκοπός της βαθμονόμησης της απόδοσης μίας μονάδας αντλίας θερμότητας είναι ο προσδιορισμός του σχετικού ποσού απαιτούμενης ενέργειας για την παροχή ενός συγκεκριμένου θερμικού-ψυκτικού αποτελέσματος. Όσο πιο αποδοτική είναι η εγκατάσταση τόσο λιγότερη η απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία της. Ανάμεσα στους πλέον χρησιμοποιούμενους συντελεστές χαρακτηρισμού της απόδοσης συστημάτων αντλιών θερμότητας αποτελούν οι συντελεστές COP και EER.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας. Ο στιγμιαίος βαθμός επίδοσης COP (Coefficient of Performance) και ο εποχιακός βαθμός επίδοσης HSPF (Heating Seasonal Performance Factor). Ο βαθμός επίδοσης συναντάται και με τον όρο “συντελεστής συμπεριφοράς”, και είναι πάντοτε μεγαλύτερος από τη μονάδα. Ο στιγμιαίος βαθμός επίδοσης COP είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης για την επίδοση

μιας αντλίας θερμότητας. Είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος σε ( $W$ ) προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ σε ( $W$ ). Οι τιμές του συνήθως κυμαίνονται από 2 έως 4 για τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα. Στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας με πηγή το νερό ή το έδαφος, η τιμή του COP κυμαίνεται συνήθως από 3 έως 5.

- Για την περίπτωση της χειμερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$COP_H = \frac{\text{Θερμική ισχύς συμπυκνωτή (Watt)}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή (Watt)}} = \frac{q_H}{w}$$

- Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$COP_C = \frac{\text{Ψυκτική ισχύς εξατμιστή (Watt)}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή (Watt)}} = \frac{q_C}{w}$$

- Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας σε ψύξη, χρησιμοποιείται συχνά και ο λόγος ενεργειακής απόδοσης EER (Energy Efficiency Ratio). Ο λόγος αυτός ορίζεται ως:

$$EER = \frac{\text{Ψυκτική ισχύς εξατμιστή (Btu/h)}}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή (Watt)}} = \frac{q_C}{w}$$

Επειδή  $3.412 \text{ Btu/h} = 1 \text{ W}$ , Btu (British thermal unit), η τιμή  $EER = 10$  είναι ισοδύναμη με  $COP = 10/3,412 = 2,93$ . Γενικά μία αντλία θερμότητας θεωρείται ότι έχει ικανοποιητική επίδοση, εάν  $EER > 10$ . Οι δείκτες COP και EER βασίζονται σε εργαστηριακές μετρήσεις και δεν μπορούν να αποδώσουν τη συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας σε μακρόχρονη λειτουργία. Αντίθετα ο εποχιακός βαθμός απόδοσης HSPF αποδίδει πιο ρεαλιστικά την συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας σε εποχιακή βάση (εβδομάδα, μήνας, περίοδος). Ο εποχιακός βαθμός επίδοσης HSPF είναι ο λόγος της συνολικής ωφέλιμης ενέργειας σε ( $kWh$ ) προς την συνολικά καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ( $kWh$ ), η οποία μπορεί να περιλαμβάνει και την κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας (π.χ. από ηλεκτρική αντίσταση, ανεμιστήρες εξατμιστή και συμπυκνωτή).

- Για την περίπτωση της χειμερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$HSPF_H = \frac{\text{Θερμική ενέργεια που αποδίδει ο συμπυκνωτής (kWh)}}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)}} = \frac{Q_h}{W}$$

- Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$HSPF_C = \frac{\text{Θερμότητα που αφαιρεί ο εξατμιστής (kWh)}}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)}} = \frac{Q_c}{W}$$

- Επιπλέον χρησιμοποιείται και ο λόγος της εποχιακής ενεργειακής επίδοσης: SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio). Ο οποίος ορίζεται ως:

$$SEER = \frac{\text{Θερμότητα που αφαιρεί ο εξατμιστής (Btu)}}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)}} = \frac{Q_c}{W}$$

Η εποχιακή επίδοση μιας αντλίας θερμότητας θεωρείται ικανοποιητική εάν HSPF>3 ή αντίστοιχα SEER>10. Ένας πολύ σπουδαίος φυσικός νόμος που ισχύει για κάθε αντλία θερμότητας είναι: Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας του μέσου στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης.

### 3.4. Οι πηγές και οι αποδέκτες θερμότητας

Το ιδιαίτερο πλεονέκτημα των αντλιών θερμότητας είναι ότι χρησιμοποιούν όλες τις διαθέσιμες πηγές θερμότητας του περιβάλλοντος. Οι διαθέσιμες πηγές θερμότητας είναι το νερό, το έδαφος, ο αέρας και ο ήλιος. Οι τρεις πρώτες πηγές αποθηκεύουν ηλιακή ακτινοβολία, έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι έμμεσα χρησιμοποιείται πάντα η ηλιακή ενέργεια ως πηγή. Ως αποδέκτες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο αέρας, το νερό και το έδαφος. Η επιλογή της πηγής και του αποδέκτη θερμότητας για μία εφαρμογή εξαρτάται από την γεωγραφική θέση, το κλίμα, τη διαθεσιμότητα, το αρχικό κόστος, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας και φυσικά από τον τύπο του συστήματος που θα επιλεγεί για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

#### 3.4.1. Αέρας

Ο αέρας είναι παντού και σε απεριόριστες ποσότητες. Γι αυτό το λόγο, οι αντλίες θερμότητας με πηγή ή αποδέκτη θερμότητας τον αέρα συναντούν και τις περισσότερες εφαρμογές, ιδιαίτερα σε κτίρια κατοικιών και σε μικρά ή μεσαία εμπορικά κτίρια. Για την μεταφορά της θερμότητας ανάμεσα στον αέρα και το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται πτερυγοφόροι σωλήνες με εξαναγκασμένη συναγωγή, δηλαδή με κυκλοφορία του αέρα από ανεμιστήρες.

Εκτός από τον αέρα του περιβάλλοντος, ως πηγή θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο αέρας απόρριψης από συστήματα κεντρικού εξαερισμού ή κλιματισμού. Σε πολλά δημόσια και εμπορικά κτίρια, ένα ποσό από τον αέρα των χώρων πρέπει να ανανεώνεται συνεχώς. Ο απορριπτόμενος αέρας είναι ιδανική πηγή θερμότητας για αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα, εφόσον η παροχή του είναι σταθερή και ικανοποιητική.

### 3.4.2. Νερό

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 νερό (ποτάμια, 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 αλλά η μεγάλη διαβρωτική του ικανότητα προσθέτει σημαντικά κόστη εγκατάστασης και συντήρησης.

Αντίθετα, τα υπόγεια νερά είναι μια ιδιαίτερα ελκυστική πηγή θερμότητας διότι έχουν σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία (10-18°C), η οποία είναι αρκετά υψηλή για την λειτουργία των αντλιών θερμότητας. Συχνά υπάρχουν υπόγεια νερά σε επαρκείς ποσότητες, τα οποία αφού χρησιμοποιηθούν διοχετεύονται πάλι στον υδροφόρο ορίζοντα (σε αυτή την περίπτωση το κόστος του νερού είναι μηδενικό και αλλάζει μόνο η θερμοκρασία του νερού).

### 3.4.3. Έδαφος

Για την εκμετάλλευση της ενέργειας των πετρωμάτων του υπεδάφους χρησιμοποιείται η τεχνική του ενταφιασμού δικτύου σωληνώσεων (γεωσυλλέκτης ή γεωεναλλάκτης) σε μικρό σχετικά βάθος. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων ενταφιασμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος δύο περίπου μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου κάτι που δεν συμβαίνει με την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Εκτενή αναφορά σε αυτού του τύπου εναλλακτών θερμότητας γίνεται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

### 3.4.4 Ήλιος

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτόνομα ως πηγή θερμότητας είτε σε συνδυασμό με άλλες πηγές. Γενικά υπάρχουν δύο βασικοί συνδυασμοί συστημάτων με αντλίες θερμότητας και ηλιακούς συλλέκτες:

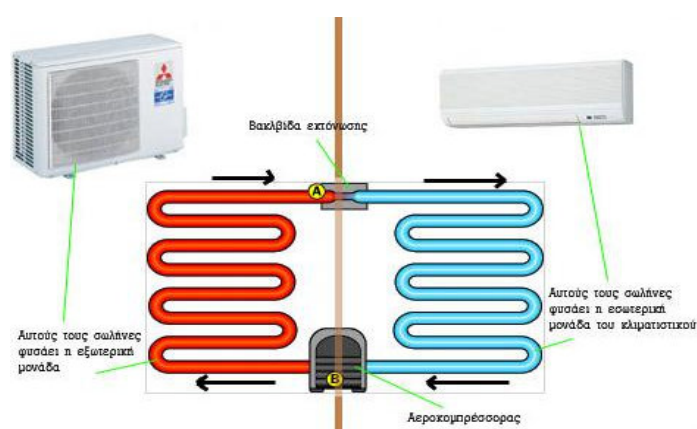
- Τα συστήματα άμεσης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Στα συστήματα αυτά οι σωληνώσεις του εξαμιστή της αντλίας θερμότητας τοποθετούνται σε ηλιακούς συλλέκτες, συνήθως επίπεδους. Η ίδια συλλεκτική επιφάνεια μπορεί να χρησιμεύσει και ως συμπυκνωτής για την απόρριψη θερμότητας στον εξωτερικό αέρα, όταν η αντλίας θερμότητας λειτουργεί σε ψύξη.
- Τα συστήματα έμμεσης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Στα συστήματα αυτά κυκλοφορεί νερό, το οποίο θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες και στη συνέχεια αποθηκεύεται σε δεξαμενή αποθήκευσης.

### 3.5. Τύποι αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας για ψύξη και θέρμανση κτιρίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την πηγή ή τον αποδέκτη θερμότητας καθώς και με την κατασκευή ή το μέγεθος τους. Ανάλογα με την πηγή και τον αποδέκτη θερμότητας, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε αέρα-αέρα, αέρα-νερού, νερού-αέρα, νερού-νερού, εδάφους-νερού και εδάφους-αέρα.

#### 3.5.1. Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα

Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντλίας και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την θέρμανση και ψύξη κατοικιών, γραφείων και μικρών εμπορικών καταστημάτων. Κατά την θερμαντική λειτουργία, ο εξατμιστής απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα του περιβάλλοντος και την απορρίπτει μέσω του συμπυκνωτή στον αέρα του χώρου που θερμαίνεται (εσωτερικός αέρας). Με την αντιστροφή του λειτουργικού της κύκλου η αντλία θερμότητας μπορεί να ψύξει τον αέρα του χώρου. Η πιο χαρακτηριστική εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι οι κλιματιστικές συσκευές (Εικόνα 3.5.1.1) για την ψύξη των χώρων κατά τους θερινούς μήνες και όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση το χειμώνα.



*Εικόνα 3.5.1.1* Τυπικό διάγραμμα του κύκλου λειτουργίας αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα και απεικόνιση των δύο μονάδων (εξωτερική και εσωτερική μονάδα) του συστήματος στην εμπορική τους μορφή.

#### 3.5.2. Αντλίες θερμότητας αέρα-νερού

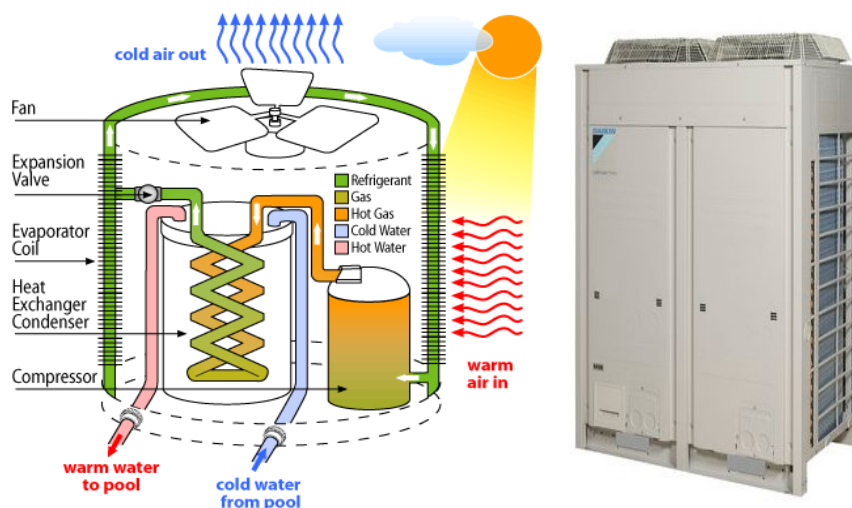
Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα κεντρικού κλιματισμού μεγάλων κτιρίων, όπου είναι απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε κάθε κλιματιστική ζώνη. Επίσης εγκαθίστανται και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή θερμού και ψυχρού νερού.

Η άντληση και η απόρριψη θερμότητας από τον εξωτερικό αέρα, γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην αντλία θερμότητας αέρα/αέρα, δηλαδή με αερόψυκτο συμπυκνωτή/εξατμιστή. Στο δευτερεύον κύκλωμα, δηλαδή στην πλευρά του νερού,



υπάρχει υδρόψυκτος εναλλάκτης που τροφοδοτεί το δίκτυο σωληνώσεων με θερμό/ψυχρό νερό (Εικόνα 3.5.2.1).

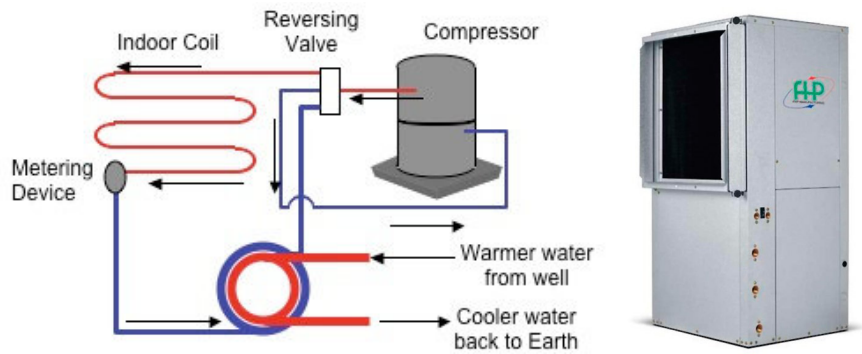
Στην περίπτωση της θέρμανσης ενός χώρου η αντλία θερμότητας αέρα-νερού απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα και θερμαίνει νερό σε μία εγκατάσταση κλιματισμού. Με την αντιστροφή του κύκλου λειτουργίας, η αντλία θερμότητας ψύχει το νερό της εγκατάστασης και απορρίπτει τη θερμότητα στον εξωτερικό αέρα. Ο βαθμός επίδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού που ψύχεται στον εξατμιστή και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



**Εικόνα 3.5.2.1** Σχεδιαστική απεικόνιση κύκλου λειτουργίας αντλίας θερμότητας αέρα-νερού και εμπορική μορφή της παραπάνω αντλίας.

### 3.5.3. Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα

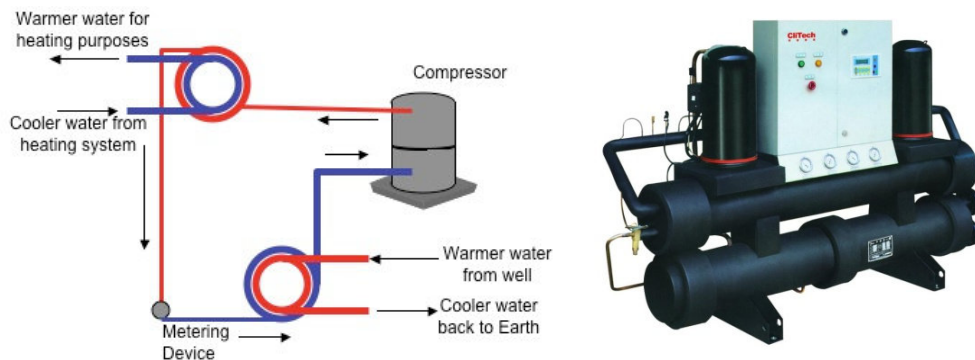
Χρησιμοποιούν το νερό, ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας, και τον αέρα για να μεταφέρουν ή να απάγουν θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Οι συσκευές αυτού του τύπου (Εικόνα 3.5.3.1) τροφοδοτούνται με νερό μέσω κατάλληλου δικτύου και συνδέονται με δίκτυο αεραγωγών, για την προσαγωγή/απαγωγή του αέρα στους κλιματιζόμενους χώρους. Οι εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας νερού/αέρα χρησιμοποιούν νερό πηγής, λίμνης, ποταμού ή σπανιότερα θάλασσας για την προσαγωγή/απαγωγή θερμότητας. Σε μερικές περιπτώσεις γίνεται και χρήση των απόνερων, κυρίως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στην περίπτωση που αυτά τα νερά μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση ή οξείδωση στα μηχανικά μέρη της αντλίας θερμότητας, τότε μεταξύ της πηγής και της αντλίας θερμότητας παρεμβάλλεται ένας εναλλάκτης θερμότητας που εξασφαλίζει την αντίστοιχη προστασία. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντλία θερμότητας ειδικής κατασκευής, με μεταλλικά μέρη που αντέχουν σε αυτές τις συνθήκες. Στις περιπτώσεις αυτές το κόστος είναι αρκετά υψηλό, γι' αυτό οι εγκαταστάσεις αυτές είναι συνήθως μεγάλου μεγέθους.



**Σχήμα 3.5.3.1** Ένα απλοποιημένο διάγραμμα των τυπικών διατάξεων και του κύκλου λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας νερού-αέρα. Δίπλα, μια λειτουργική διάταξη όπου είναι εμφανή και το στόμιο αέρα.

### 3.5.4. Αντλίες θερμότητας νερού-νερού

Χρησιμοποιούν το νερό ως πηγή/αποδέκτη θερμότητας, τόσο στη θερμαντική όσο και στην ψυκτική τους λειτουργία. Στην αβαθή γεωθερμία τέτοιου τύπου αντλίες θερμότητας (Εικόνα 3.5.4.1) χρησιμοποιούνται σε υπόγεια ύδατα, επιφανειακά γλυκά νερά, στη θάλασσα, νερά πηγαδιών/εγκαταλειμμένων ορυχείων και άλλα. Το πρωτεύον κύκλωμα τροφοδοτείται με νερό από το περιβάλλον ενώ το δευτερεύον συνδέεται με τοπικές μονάδες ανεμιστήρα/στοιχείου ή με στοιχεία κεντρικών κλιματιστικών μονάδων. Το θερμό/ψυχρό νερό του δευτερεύοντος κυκλώματος εξασφαλίζει τις επιθυμητές συνθήκες κλιματισμού κάθε χώρου.



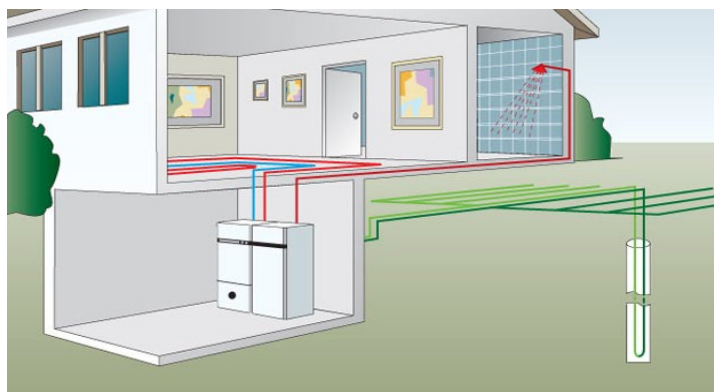
**Εικόνα 3.5.4.1** Διάγραμμα μιας τυπικής διάταξης αντλίας θερμότητας νερού-νερού και ο κύκλος λειτουργίας της και η αντίστοιχη διάταξη σε μια από τις εμπορικές εκδόσεις.

### 3.5.5. Αντλίες θερμότητας εδάφους-νερού

Χρησιμοποιούν την αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους (θερμοχωρητικότητα εδάφους) για τον κλιματισμό κτιρίων κάθε μεγέθους. Για να επιτευχθεί αυτό κατασκευάζεται στο έδαφος ένα κλειστό δίκτυο με πλαστικές σωληνώσεις, που ονομάζεται γεωεναλλάκτης (Εικόνα 3.5.5.1), μέσα στο οποίο κυκλοφορεί αποσκληρυνμένο νερό ή διάλυμα νερού/αντιπηκτικού. Με την βοήθεια του γεωεναλλάκτη ο εξατμιστής-συμπυκνωτής του πρωτεύοντος κυκλώματος της αντλίας θερμότητας απορροφά ή απορρίπτει θερμότητα στο έδαφος. Ανάλογα με την

κατασκευή του συνεργαζόμενου γεωεναλλάκτη τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε οριζόντια και κατακόρυφα, τα οποία θα αναλυθούν στο παρακάτω κεφάλαιο.

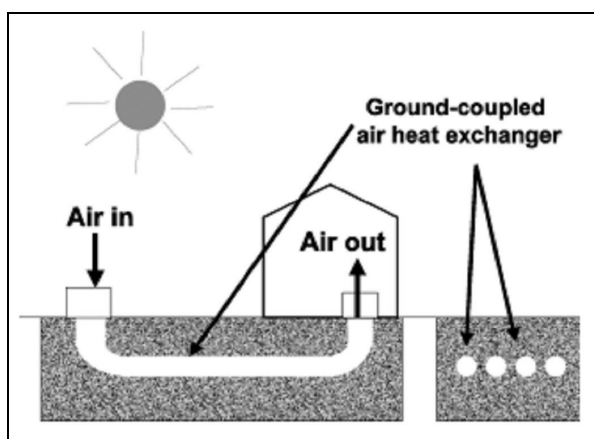
Κατά αντίστοιχο τρόπο και ανάλογα με το είδος του συνεργαζόμενου γεωεναλλάκτη, οι αντλίες θερμότητας εδάφους διακρίνονται σε ανοιχτού κυκλώματος, κλειστού κυκλώματος και απευθείας εκτόνωσης. Η επιλογή του καταλληλότερου είδους πρέπει να γίνεται κάθε φορά μετά από μελέτη έμπειρου μηχανικού εξειδικευμένου στη γεωθερμία.



**Εικόνα 3.5.5.1** Τυπικό διάγραμμα αντλίας θερμότητας εδάφους-νερού, όπου το δίκτυο των πράσινων σωληνώσεων ανταλλάσει θερμότητα με το έδαφος και στη συνέχεια η αντλία την αποδίδει στο χρήστη.

### 3.5.6. Αντλίες θερμότητας εδάφους-αέρα

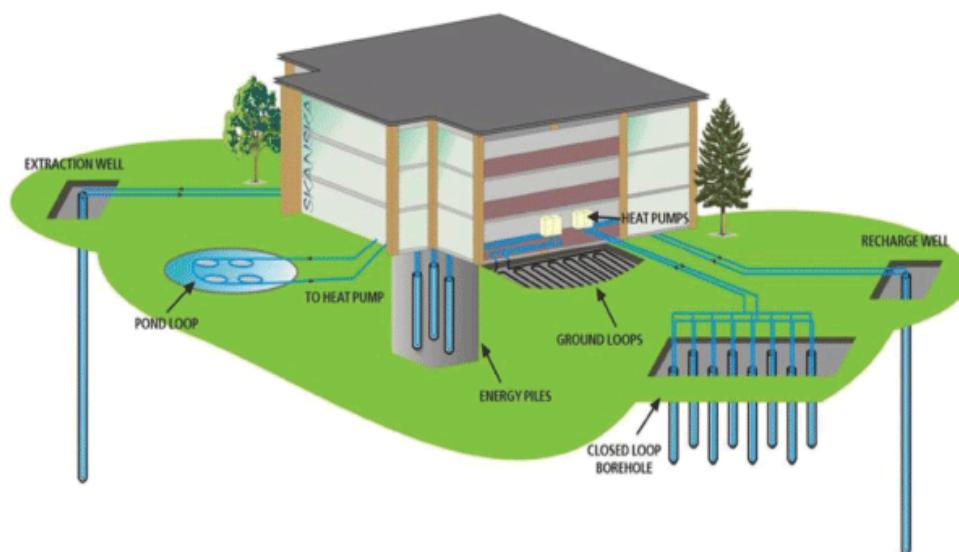
Έχουν λειτουργικά και κατασκευαστικά το ίδιο πρωτεύον κύκλωμα με τις αντλίες θερμότητας εδάφους/νερού. Στο δευτερεύον κύκλωμά τους όμως αντί του υδρόψυκτου εναλλάκτη (συμπυκνωτή/εξατμιστή), υπάρχει ανεμιστήρας και αερόψυκτος συμπυκνωτής/εξατμιστής, που τροφοδοτούν με θερμό ή ψυχρό αέρα το δίκτυο αεραγωγών κλιματισμού του κτιρίου (Εικόνα 3.5.6.1).



**Εικόνα 3.5.6.1** Γενική απεικόνιση εγκατάστασης εναλλάκτη θερμότητας αέρα-εδάφους.

### 3.6. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Όπως περιγράφηκε και παραπάνω, οι Γ.Α.Θ. είναι συσκευές που αξιοποιούν την ενέργεια του υπεδάφους λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης ή του νερού από μικρά βάθη ή και επιφανειακά ύδατα (Σχήμα 3.6.1) και είτε την αυξάνουν κατά τη διάρκεια του χειμώνα, προσφέροντας θέρμανση στο εσωτερικό των κτιρίων, είτε την ελαττώνουν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, προσδίδοντας δροσισμό και ψύξη. Υπάρχουν και εφαρμογές που μπορούν να δώσουν μερικός ή και εξ' ολοκλήρου ζεστό νερό. Κατ' αυτόν τον τρόπο παρέχουν κλιματισμό, αποδοτική θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης.



**Σχήμα 3.6.1** Απεικόνιση των περισσότερων σχηματισμών εκμετάλλευσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας από κατάλληλους εναλλάκτες θερμότητας.

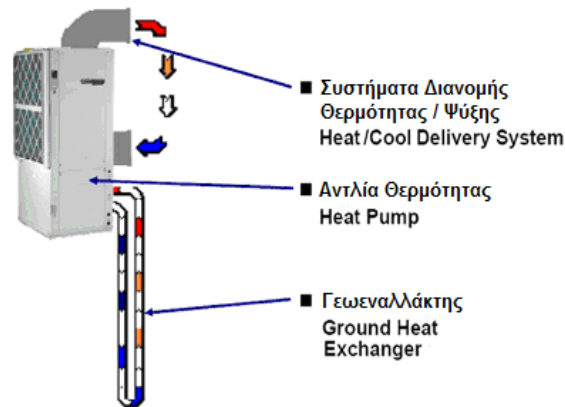
Τα συστήματα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας αποτελούνται από τρία κύρια μέρη (Σχήμα 3.6.2) ή βρόχοι που λειτουργούν κατά τη διάρκεια όλων των κύκλων μιας αντλίας θερμότητας και έναν προαιρετικό τέταρτο βρόχο (υπερθερμαντήρας) που προθερμαίνει εσωτερικό ζεστό νερό. Οι τέσσερις βρόχοι παρουσιάζονται στα σχήματα 3.6.2.1 και 3.6.3.1 για τον κάθε κύκλο λειτουργίας αντίστοιχα.

Τα τρία βασικά μέρη είναι:

- Τον γεωεναλλάκτη (Σύστημα σωληνώσεων, που τοποθετείται μέσα στο έδαφος ή σε κάποιο υπόγειο ή επιφανειακό υδάτινο σχηματισμό ή κάποιος ανοικτός βρόχος που ανταλλάσει θερμότητα με υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα.)
- Την αντλία θερμότητας, η οποία αυξάνει ή μειώνει τη θερμοκρασία, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες.

- Το σύστημα μεταφοράς και διανομής της θερμότητας στο κτίριο, δηλαδή το σύστημα θέρμανσης ή/και ψύξης (αεραγωγοί, fan coils και άλλα).

### Geothermal Heat Pump System



*Σχήμα 3.6.2 Τα τρία κύρια μέρη μια διάταξης Γ.Α.Θ.*

### 3.6.1. Λειτουργία κλειστών γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας

#### 3.6.1.1. Βρόχος διανομής

Είναι ο βρόχος που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το βρόχο ψυκτικών ουσιών με τη βοήθεια ενός βρόχου αέρα (που θερμαίνεται ή ψύχεται) ή ενός βρόχου νερού (που θερμαίνεται ή ψύχεται), για το κλιματισμό χώρων.

Βρόχος αέρα, ονομάζεται ο βρόχος που χρησιμοποιείται για να διανείμει το ρυθμισμένο αέρα στα διάφορα τμήματα του κτιρίου. Ένας ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τον αέρα μέσω ενός συστήματος διανομής αγωγών. Οι αγωγοί έχουν ως σκοπό να διανείμουν το ρυθμισμένο αέρα στις συγκεκριμένες θέσεις ανάλογα με την απώλεια θερμότητας ή το κέρδος τους.

Βρόχος νερού είναι ο βρόχος που χρησιμοποιείται για να διανείμει το κρύο ή ζεστό νερό στις μονάδες σπειρών των ανεμιστήρων (fan coil) ή στην ενδοδαπέδια θέρμανση και τα συστήματα ψύξης. Ένας μικρός τροφοδοτούμενος κυκλοφορητής ρευστού κινεί ένα ρευστό προς κάθε ζώνη κλιματισμού. Τα μεμονωμένα δωμάτια μπορούν να έχουν ελεγχόμενη θερμοκρασία.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αντλιών θερμότητας, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από έναν βρόχο σε άλλο για να παρέχει τη θέρμανση, τη ψύξη, και την εσωτερική προθέρμανση ζεστού νερού.

#### 3.6.1.2. Βρόχος ψυκτικών ουσιών

Είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από σημείο σε σημείο στο κύκλωμα. Η

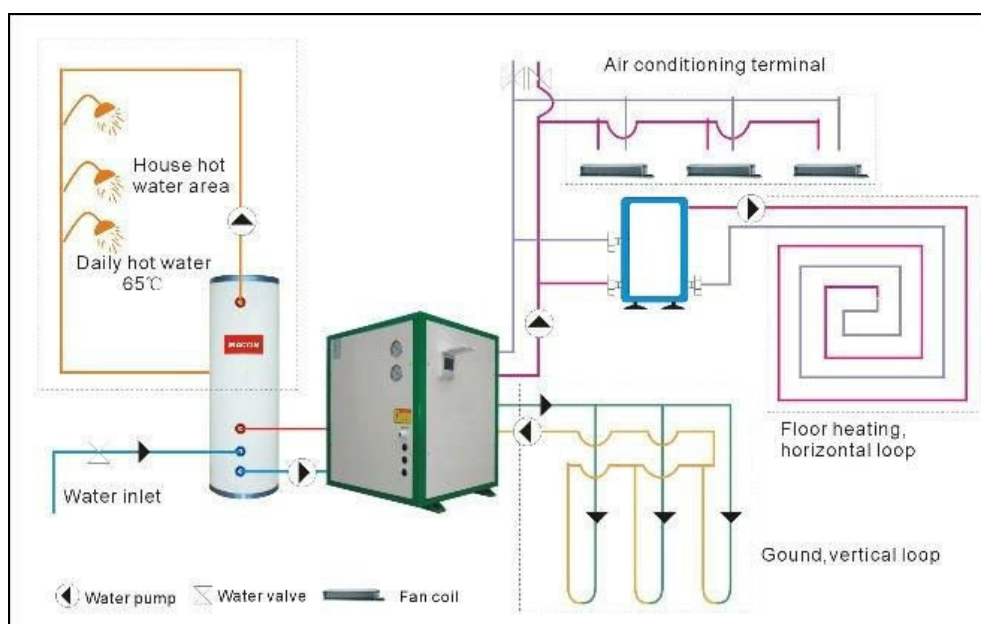
ροή ψυκτικών ουσιών κυκλοφορεί μέσω του κυκλώματος από έναν συμπιεστή που βρίσκεται στο κομμάτι της ατμοποιημένης φάσης του ρευστού του βρόχου.

### 3.6.1.3. Επίγειος βρόχος

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

### 3.6.1.4. Εσωτερικός βρόχος ζεστού νερού

Είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος που κυκλοφορεί το νερό από την εσωτερική καυτή δεξαμενή νερού μιας αντλίας θερμότητας στον υπερθερμαντήρα για να προθερμαίνει εσωτερικό ζεστό νερό. Το εσωτερικό ζεστό νερό σε αυτόν τον βρόχο κυκλοφορεί από μια χαμηλής ισχύος αντλία. Οι νεότερες αντλίες θερμότητας μπορούν να έχουν την πλήρη συμπύκνωση (ολόκληρη η ικανότητα της αντλίας θερμότητας να είναι διαθέσιμη για τη θέρμανση νερού) που παρέχει 100% εσωτερικό ζεστό νερό.



**Σχήμα 3.6.3.** Απεικόνιση μια εγκατάστασης θέρμανσης/ψύξης και ζεστού νερού χρήσης από την εκμετάλλευση της εδαφικής θερμικής ενέργειας.

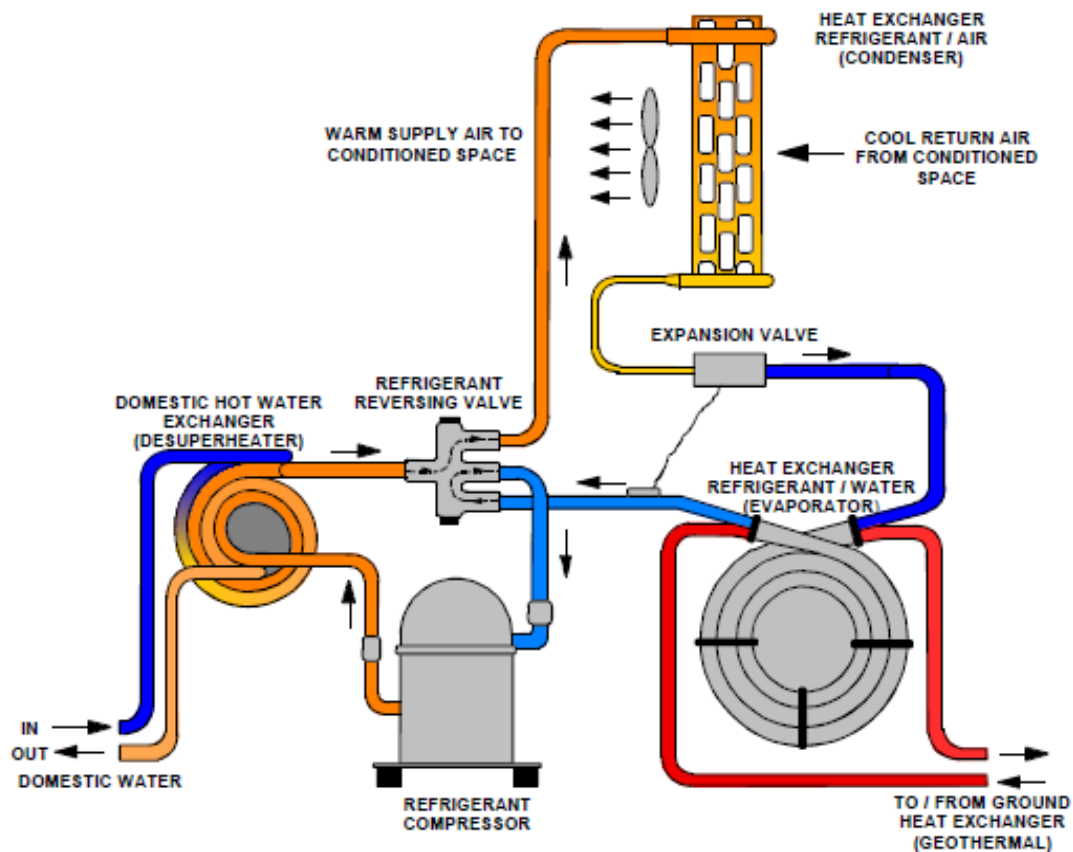
### 3.6.2. Κύκλος Θέρμανσης

Κατά τη διάρκεια των κύκλων θέρμανσης (Σχήμα 3.6.2.1), εισαγωγές θεωρούνται η θερμική ενέργεια από τη γη, η ενέργεια του συμπιεστή της αντλίας



θερμότητας, η αντλία κυκλοφορίας και η ενέργεια των ανεμιστήρων. Από την άλλη μεριά, τα αποτελέσματα είναι η θέρμανση χώρου και η παροχή ζεστού νερού.

Οι σημαντικότερες εισαγωγές θερμότητας είναι η θερμική ενέργεια από τη γη και η ενέργεια συμπιεστών. Για ένα σύστημα αντλιών θερμότητας 3Tn (36.000Btu/hr) που λειτουργεί με έναν συντελεστή απόδοσης (COP = 3), τα δύο τρίτα (24.000Btu/hr) της παραδοθείσας ενέργειας θα προέλθουν από τη γη και το ένα τρίτο (12.000Btu/hr) από τις ηλεκτρικές ενεργειακές εισαγωγές. Εάν η συνολική ενέργεια που απαιτείται είναι μεγαλύτερη από αυτό. Τότε χρειάζεται επιπλέον, κάποια μορφή συμπληρωματικής θερμότητας. Θεωρητικά το ποσό θερμότητας που εισάγεται στο σύστημα από τους ανεμιστήρες, τις αντλίες κ.λπ., θα είναι μικρότερο σε σύγκριση με την ενέργεια της γης και των συμπιεστών, εντούτοις, θα πρέπει ληφθεί υπ' όψιν στη διαδικασία σχεδιασμού.



**Σχήμα 3.6.2.1** Κύκλος θέρμανσης (πηγή: J. Lund, B. Sanner, et al., *Geothermal (Ground-Source) heat pumps a word overview*)

Η διαδικασία αρχίζει με την συμπίεση του ατμού ψυκτικών ουσιών στο κύκλωμα, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση του. Αυτή η αύξηση της πίεσης αναγκάζει τον ατμό να κινηθεί μέσω του συστήματος ψυκτικών ουσιών.

Κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης, μια αντλία κυκλοφορίας κινεί το ρευστό ή ένα διάλυμα αντιψυκτικού μέσω του θαμμένου γεωεναλλάκτη. Όταν το ρευστό κυκλοφορεί μέσω του επίγειου βρόχου, θερμαίνεται από τη γη υψηλότερης

θερμοκρασίας. Ο βρόχος ψυκτικών ουσιών απορροφά τη θερμική ενέργεια από τον επίγειο βρόχο. Η θερμότητα μεταφέρεται από το ρευστό στον εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικών ουσιών που βρίσκεται στην αντλία θερμότητας πηγής ρευστού. Κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου, ο εναλλάκτης θερμότητας ρευστού-ψυκτικών ουσιών χρησιμεύει ως εξατμιστήρας που μετατρέπει την υγρή ψυκτική ουσία σε ατμό.

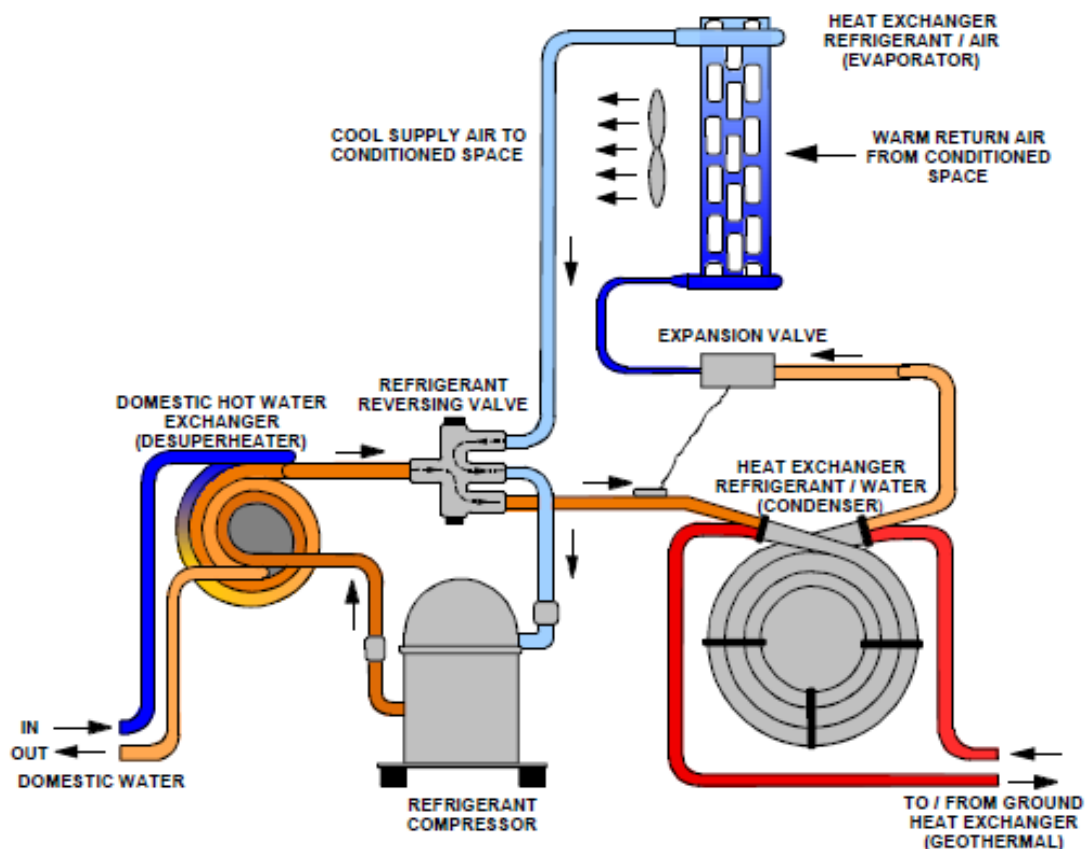
Στην πλευρά απαλλαγής του συμπιεστή, ο καυτός ατμός ή το αέριο περνά μέσω ενός δευτέρου εναλλάκτη θερμότητας ρευστού-ψυκτικών ουσιών (για εκείνες τις μονάδες που εξοπλίζονται με υπερθερμαντήρα) και προθερμαίνει το εσωτερικό ζεστό νερό. Το εσωτερικό ζεστό νερό, που πρόκειται να προθερμανθεί, κυκλοφορεί από μια αντλία. Σε αυτό το σημείο, μόνο μια μικρή ποσότητα της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας αφαιρείται.

Ο καυτός ατμός συνεχίζει σε έναν εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικών ουσιών που αυξάνει τη θερμοκρασία στον κτιριακό χώρο με την παραγωγή του δροσερού αέρα επιστροφής να απορροφά τη θερμότητα από τον καυτό ατμό. Καθώς η θερμότητα αφαιρείται από την ψυκτική ουσία στον εναλλάκτη θερμότητας, ο ατμός συμπυκνώνεται σε υγρό. Κατά συνέπεια, κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης, η σπείρα εσωτερικού αέρα χρησιμεύει ως συμπυκνωτής του συστήματος. Το ζεστό νερό επιστρέφει από τα περάσματα του συμπυκνωτή μέσω μιας συσκευής που μειώνει την πίεση του, προκαλώντας επίσης μια αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας. Το χαμηλής πίεσεως και θερμοκρασίας υγρό πηγαίνει στη συνέχεια στον εξατμιστήρα όπου η θερμική ενέργεια από τον επίγειο βρόχο ατμοποιεί την ψυκτική ουσία και ο κύκλος συνεχίζεται.

### 3.6.3. Ψυκτικός Κύκλος

Κατά τη διάρκεια των ψυκτικών κύκλων (Σχήμα 3.6.3.1), οι εισαγωγές είναι η ψύξη του σπιτιού, η ενέργεια των συμπιεστών και η ενέργεια των αντλιών και των ανεμιστήρων. Επιπλέον, τα αποτελέσματα θερμότητας είναι η αποβολή της θερμότητας στο έδαφος και η παραγωγή εσωτερικού ζεστού νερού.

Η παραγωγή θερμότητας κατά τη διάρκεια της ψύξης θα είναι γενικά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για το εσωτερικό ζεστό νερό. Για μια ονομαστική ψυκτική μονάδα  $3Tn$  ( $36.000Btu/hr$ ), το καθαρό ποσό απορριφθείσας θερμότητας είναι περίπου  $50.000Btu/hr$ . Από αυτό, μόνο περίπου  $12.000$  έως  $15.000Btu/hr$  απαιτούνται για το εσωτερικό ζεστό νερό, εάν η μονάδα έχει αυτήν την επιλογή. Η υπόλοιπη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί μέσω του γεωεναλλάκτη στη γη. Σε σύγκριση με τον κύκλο θέρμανσης, που απορρόφησε μόνο  $24.000Btu/hr$ , στους ψυκτικούς κύκλους απορρίπτεται γενικά σχεδόν η διπλάσια θερμότητα για κάθε ώρα λειτουργίας.



**Σχήμα 3.6.3.1** Ψυκτικός κύκλος (πηγή: J. Lund, B. Sanner, et al., *Geothermal (Ground-Source) heat pumps a word overview*)

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ψύξης, το καυτό αέριο που αφήνει το συμπιεστή προθεμαίνει το εσωτερικό ζεστό νερό και έπειτα οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας νερού, όπου η υπερβολική θερμότητα απορρίπτεται στη γη. Η ψύξη χώρου ολοκληρώνεται με την ψύξη του θερμού εσωτερικού αέρα όπως η κρύα υγρή ψυκτική ουσία εξατμίζεται στον εσωτερικό αέρα του εναλλάκτη θερμότητας.

Τα σχήματα 3.6.2.1 και 3.6.3.1 επεξηγούν τα εξαρτήματα και τη ρύθμιση τους σε μια αντλία θερμότητας πηγής νερού. Σε αυτά τα σχέδια περιλαμβάνεται μια βαλβίδα αντιστροφής που αλλάζει την κατεύθυνση της ροής ψυκτικών ουσιών μεταξύ της σπείρας εσωτερικού αέρα και του εναλλάκτη θερμότητας σπειρών νερού κατά τη διάρκεια των θερμαντικών και ψυκτικών κύκλων. Όπως μπορεί να σημειωθεί, η σπείρα που προθεμαίνει το εσωτερικό ζεστό νερό, βρίσκεται μεταξύ των συμπιεστών και της βαλβίδας αντιστροφής, η οποία επιτρέπει τη θέρμανση του εσωτερικού ζεστού νερού και στον κύκλο θέρμανσης και στον κύκλο ψύξης.

### 3.6.4. Εσωτερικές επιλογές ζεστού νερού

Εκτός από τη θέρμανση και την ψύξη χώρου, οι μονάδες αντλιών θερμότητας είναι διαθέσιμες με τέσσερις συγκεκριμένες εσωτερικές επιλογές ζεστού νερού:

- 1) Καμία: Να μην υπάρχει αυτή η ικανότητα.
- 2) Συμπληρωματική: Μερική προθέρμανση (υπερθερμαντήρας) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αντλιών θερμότητας και στους θερμαντικούς και ψυκτικούς κύκλους.
- 3) Απαιτούμενη: Καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, συνολική (πλήρης θέρμανση νερού συμπύκνωσης) θέρμανση ζεστού νερού σε βάση πρώτης προτεραιότητας.
- 4) Αφιερωμένη: Μια αντλία θερμότητας νερού-νερού που τρέχει ανεξάρτητα από το ρυθμιζόμενο σύστημα χώρου και παρέχει συνέχεια ζεστό νερό.

Η επιλογή 1 είναι μια συμβατική αντλία θερμότητας πηγής νερού χωρίς παροχή για την εσωτερική προθέρμανση ζεστού νερού. Αυτή η διαμόρφωση αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη σε δαπάνες αντλία θερμότητας πηγής νερού. Χρησιμοποιείται στις κατοικίες με περισσότερες από μια αντλίες θερμότητας και όπου δεν υπάρχει καμία απαίτηση για το εσωτερικό ζεστό νερό.

Η επιλογή 2 χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας με ψυκτική ουσία το νερό (υπερθερμαντήρας) που εγκαθίσταται στην έξοδο του συμπιεστή των αντλιών θερμότητας. Στα νότια κλίματα, το ζεστό νερό είναι διαθέσιμο κατά τη διάρκεια της εποχής ψύξης και μπορεί χαρακτηριστικά να παρέχει 100% της ανάγκης για εσωτερικό ζεστό νερό. Το χειμώνα, ο υπερθερμαντήρας που παράγει το εσωτερικό ζεστό νερό ανταγωνίζεται με το φορτίο θέρμανσης. Δεδομένου ότι υπάρχει γενικά πλεονάζουσα ικανότητα λειτουργίας για πολλές χειμερινές ώρες, το εσωτερικό ζεστό νερό παράγεται με μια αποδοτικότητα ίση με την αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας. Κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ικανότητα αντλιών θερμότητας είναι ανεπαρκής ώστε να αντεπεξέλθει στο συνολικό φορτίο θέρμανσης, απαιτείται συμπληρωματική θερμότητα. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι ή να κλείσει ο υπερθερμαντήρας ή να δουλεύει και να προσθέτει τη συμπληρωματική θερμότητα στο ρεύμα αέρος. Η προσθήκη της συμπληρωματικής θερμότητας στο ρεύμα αέρος θα οδηγούσε σε υψηλότερη θερμοκρασία αγωγών και μεγαλύτερη άνεση.

Στην επιλογή 3, το εσωτερικό ζεστό νερό είναι σε 100% προτεραιότητα και ολοκληρώνεται πριν οποιαδήποτε θέρμανση ή ψύξη χώρου. Όλες οι εσωτερικές απαιτήσεις ζεστού νερού καλύπτονται από το σύστημα αντλιών θερμότητας. Αυτές οι μονάδες έχουν ένα απολύτως διαφορετικό σχέδιο. Οι αντλίες θερμότητας με αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα θα έχουν τους πιο μακροχρόνιους κύκλους, οι οποίοι βελτιώνουν την απόδοση αντλιών θερμότητας και μειώνει την ετήσια απαίτηση ενεργειακών δαπανών.

Η επιλογή 4 είναι μια αντλία θερμότητας που παρέχει 100% του εσωτερικού ζεστού νερού από μια αυτόνομη αντλία θερμότητας νερού-νερού. Άλλες επιλογές συνδέσεων περιλαμβάνουν την μονάδα αέρα-νερού.

Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν μέτρα ώστε να επιτρέπεται ο καθαρισμός των σπειρών που κυκλοφορεί το νερό σε όλες τις αντλίες θερμότητας πηγής νερού για να αποφευχθούν συγκεντρώσεις κλίμακας και να αποτραπεί η μείωση της αποδοτικότητας τους. Στις περιοχές με εξαιρετικά σκληρό νερό, πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά η χρήση αυτών των συστημάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας και Γεωεναλλάκτες



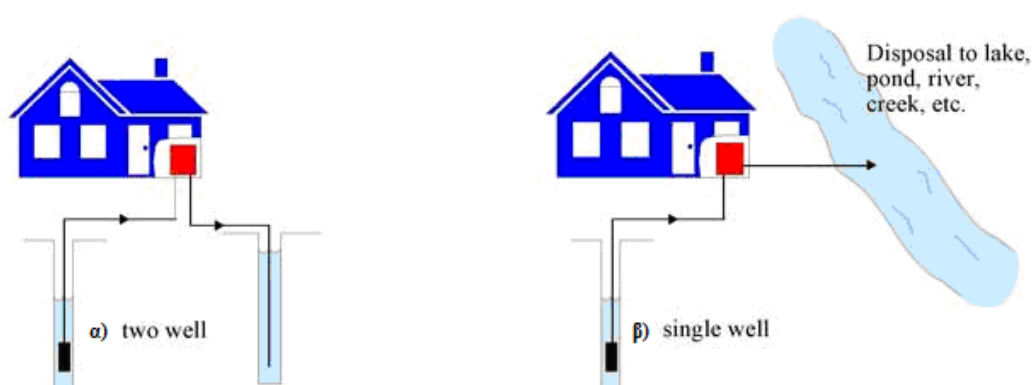
## 4. Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας και Γεωεναλλάκτες

### 4.1. Ταξινόμηση γεωθερμικών εναλλακτών

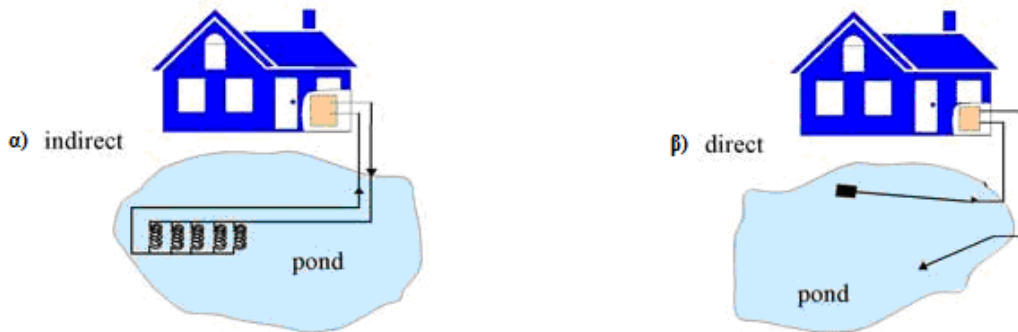
Χρησιμοποιώντας το έδαφος ή κάποιο υδάτινο πόρο (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια, υπόγεια κοιτάσματα νερού, πηγάδια) σαν πηγή ή δεξαμενή θερμότητας είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί σύνδεση μεταξύ του χώρου που πρόκειται να θερμανθεί ή να ψυχθεί (κτίριο, κατοικία κ.λπ.) και του εδάφους. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι λεγόμενοι γεωεναλλάκτες. Πρόκειται για συστήματα αγωγών τοποθετημένων σε διατάξεις, μέσα από τους οποίους διέρχεται το εργαζόμενο ρευστό, το οποίο ανάλογα το είδος του συστήματος μπορεί να είναι νερό, ψυκτικό υγρό ή και αέρας. Η σύνδεση αυτή με το έδαφος ή τους υδάτινους ταμιευτήρες καλείται κύκλωμα ή βρόχος (Σχήματα 4.1.1, 4.1.2 και 4.1.3).



**Σχήματα 4.1.1** Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες με το έδαφος (Ground Coupled Heat Pumps, GCHP), κλειστού βρόχου (Closed Loop Heat Pumps), συνδεδεμένες σε: **α)** κάθετη διάταξη, **β)** οριζόντια διάταξη.



**Σχήματα 4.1.2** Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες με υπόγεια ύδατα (Ground Water Heat Pumps, GWHP), ανοιχτού βρόχου (Open Loop Heat Pumps). **α)** Σύστημα δύο γεωτρήσεων (εξαγωγής και έγχυσης). **β)** Σύστημα μιας γεώτρησης και μιας δεξαμενής επιφανειακών υδάτων.



**Σχήματα 4.1.3** Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες με επιφανειακά ύδατα (Surface Water Heat Pumps, SWHP), ανοιχτού βρόχου (Open Loop Heat Pumps). **α)** Έμμεση σύνδεση (κλειστοί βρόχοι). **β)** Άμεση σύνδεση (ανοικτοί βρόχοι).

Στη ταξινόμηση γεωεναλλακτών (Ground Heat Exchangers) των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Geothermal Heat Pumps, GHP) θα συμπεριλάβουμε και κάποιες ειδικές εφαρμογές όπως είναι:

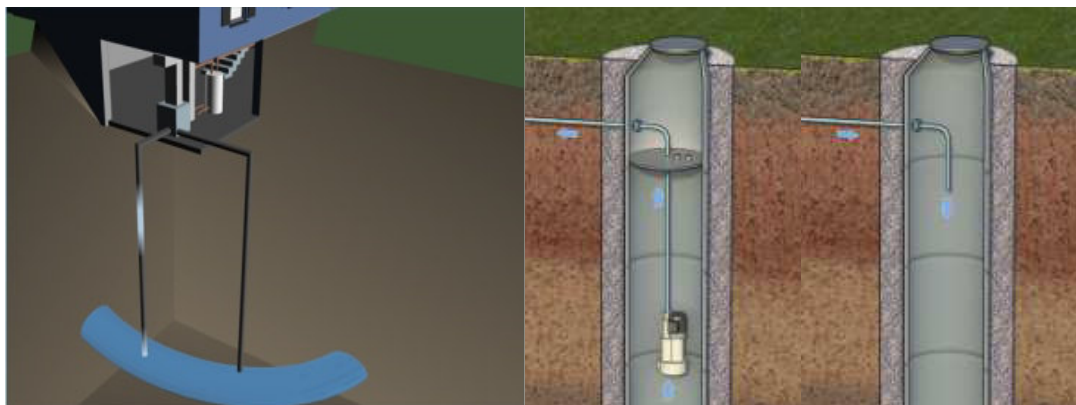
- Σύστημα μόνιμης υδάτινης στήλης (Standing Water Column System).
- Γεωθερμική θεμελίωση (Geothermal Foundations) ή ενεργειακοί πάσσαλοι (Energy Piles).
- Συστήματα άμεσης εναλλαγής θερμότητας με το υπέδαφος (Direct Exchange).
- Υβριδικά συστήματα (Hybrid Systems) που είναι συνδυασμός διάφορων συστημάτων γεωεναλλακτών ή συνδυασμός αβαθούς γεωθερμίας με άλλα ενεργειακά συστήματα Α.Π.Ε. ή και συμβατικά.

## 4.2. Συστήματα ανοικτού κυκλώματος

Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται νερό από γεωτρήσεις, πηγάδια, ποτάμια, θάλασσα, λίμνες, εγκαταλειμμένα ορυχεία κτλ. Προϋπόθεση για τη λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι η επαρκής ποσότητα νερού (αν πρόκειται για υπόγειο ή ποτάμιο (μπορεί να είναι μειωμένη σε κάποιες περιόδους), η καλή ποιότητά του και η δυνατότητα διάθεσης του νερού, μετά τη χρήση του, στον ταμιευτήρα από τον οποίο αντλήθηκε. Αυτές οι παράμετροι έχουν άμεση σχέση όχι μόνο με την ενεργειακή απόδοση και την τεχνική εφαρμοσιμότητα των συστημάτων Γ.Α.Θ. ανοικτού κυκλώματος, αλλά και με την νομοθεσία εκμετάλλευσης υδάτινων πόρων. Καθώς οι υδάτινοι πόροι και κατ' επέκταση οι ρηχοί γεωθερμικοί πόροι εντάσσονται σε αυστηρά νομοθετικά πλαίσια που αφορούν την αειφόρο ανάπτυξη και τη προστασία του περιβάλλοντος.

#### 4.2.1. Γ.Α.Θ. που λειτουργούν με υπόγεια νερά

Οι εφαρμογές αυτές βασίζονται στην εκμετάλλευση υπόγειων υδάτων (γεωτρήσεις, πηγάδια, εγκαταλειμμένα ορυχεία) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θερμότητας (Σχήμα 4.2.1.1) λόγω του γεγονότος ότι έχουν μια θερμοκρασία μεταξύ 10 με 18°C όλο το έτος. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζετε η ανάγκη διάνοιξης κάποιων γεωτρήσεων (γεώτρηση εξαγωγής νερού και γεώτρηση επανέγχυσης, Σχήμα 4.2.1.2 και Εικόνες 4.2.1.3). Βέβαια, μπορεί ήδη να προϋπάρχει κάποια γεώτρηση ή πηγάδι ή να έχει παρουσιαστεί ανάγκη για άντληση νερού, για χρήσεις πέραν των εγκαταστάσεων Γ.Α.Θ.. Αυτές οι τελευταίες περιπτώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση του κόστους αρχικής εγκατάστασης που σε ότι αφορά τις γεωτρήσεις είναι πάντα υψηλό. Ενδεικτικά, η απόσβεση της εγκατάστασης ολοκληρώνεται σε 3 έως 5 έτη (πηγή: GRV Energy Solutions A.E., Αθήνα) γεγονός που καθορίζεται από το βάθος της γεώτρησης, την ποιότητα του αντλούμενου ρευστού και την πολυπλοκότητα της εγκατάστασης.



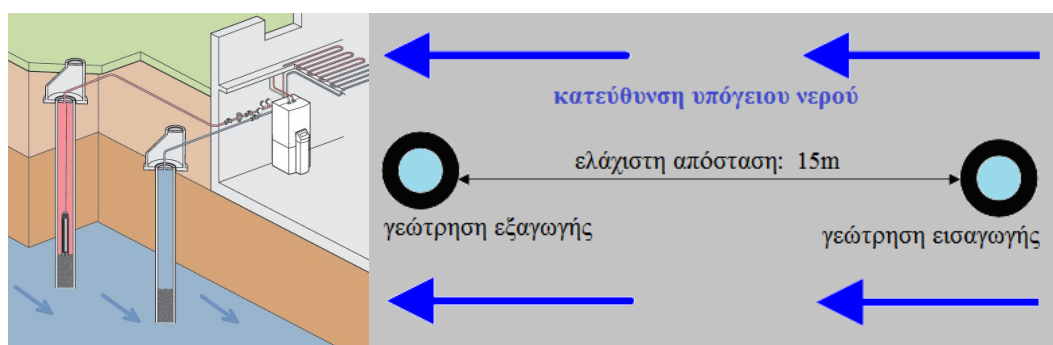
**Σχήμα 4.2.1.1** Σχηματική παράσταση Γ.Α.Θ. που συνδέονται με κοιτάσματα υπόγειων υδάτων. **Σχήμα 4.2.1.2** Σκαρίφημα των δύο γεωτρήσεων (εξαγωγής και έγχυσης) του συστήματος ανοικτού βρόχου.



**Εικόνες 4.2.1.3** Φρεάτιο γεώτρησης σε σύστημα ανοικτού κυκλώματος σε κατοικία στην Αττική. (πηγή: Κ.Α.Π.Ε.) Εικόνες Κεφαλή γεώτρησης εξαγωγής και γεώτρησης επανέγχυσης σε κατοικία στο Burlington των Η.Π.Α.. (πηγή: OnlyNeverIn Sweden.blogspot). Παρατηρούμε και στις δύο περιπτώσεις τον ελάχιστο χώρο που καταλαμβάνουν στο οικόπεδο.

Γενικότερα η χρήση της μεθόδου αυτής προτείνεται όταν υπάρχει συνεχόμενη και πλούσια υδροφορία χωρίς μεταβολές στη στάθμη της (π.χ. παραθαλάσσιες

περιοχές) και όταν η κατώτερη στάθμη άντλησης από γεώτρηση δεν υπερβαίνει τα 50m. Επίσης δεν συνίσταται να τοποθετείται σύστημα ανοικτού κυκλώματος αν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται περισσότερο από 15m κάτω από τη επιφάνεια του εδάφους. Γιατί κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε πολύ υψηλές δαπάνες για τη θέρμανση/ψύξη του κτιρίου. Η απόσταση μεταξύ του σημείου πρόσληψης και απόρριψης των υδάτων (Σχήματα 4.2.1.4 και 4.2.1.5) πρέπει να διατηρείται στα 10 έως 15m και επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη η κατεύθυνση της ροής προκειμένου να αποφευχθεί μια απευθείας ανάμιξη των υδάτων (πρόσληψης-απόρριψης). Τέλος, η εγκατάσταση αυτή πρέπει να πληροί κάποιους τεχνικούς κανονισμούς και περιβαλλοντολογικούς όρους, ώστε να μπορεί να εκδοθεί η σχετική άδεια.



**Σχήμα 4.2.1.4** Τοποθέτηση γεωτρήσεων ανοικτού κυκλώματος υπόγειων υδάτων κατά την ροή των νερών. **Σχήμα 4.2.1.5** Προσδιορισμός θέσεως παραγωγικής γεώτρησης και γεώτρησης επανεισαγωγής.

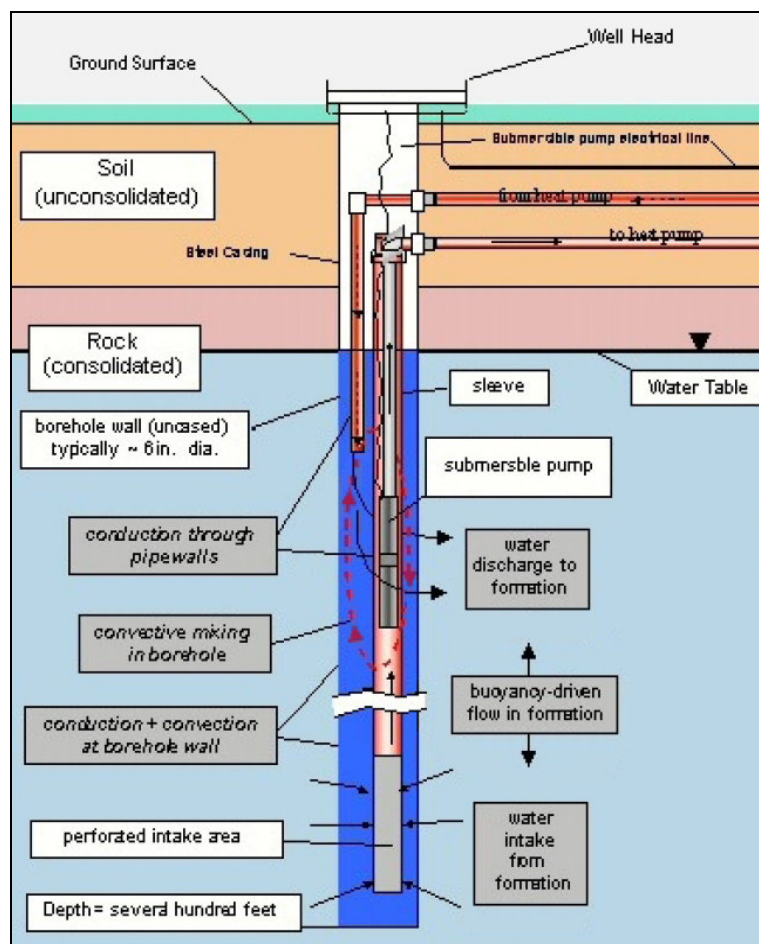
Το κόστος που σχετίζεται με τις γεωτρήσεις του νερού είναι κατά κάποιο τρόπο παρόμοιο με το κόστος για τις γεωτρήσεις υπόγειων υδάτων αβαθούς γεωθερμίας και είναι συνήθως ανάλογο με το βάθος της γεώτρησης. Βέβαια εκείνο που καθορίζει την ικανότητα της γεώτρησης να εξυπηρετεί τις ανάγκες σε θέρμανση και κλιματισμό είναι η παροχή και η θερμοκρασία του νερού και όχι το μήκος (το μήκος παίζει ρόλο στο κλειστά συστήματα). Σύμφωνα με εκτιμήσεις των Ζ. Ζησκάτα και Ν. Ανδρίτσου, κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών σε σχέση με υπόλοιπα αποτελεί η αποδοτικότερη μεταφορά θερμότητας. Όπου για θερμικό φορτίο 10 kW,  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$  και  $\text{COP}=4$  απαιτούνται μόνο  $0,5 \text{ m}^3/\text{hr}$ . Σε γενικές γραμμές, επειδή με μια μόνο γεώτρηση εισαγωγής μπορούν να υποστηριχθούν ικανοποιητικά φορτία, φαίνεται ότι για μικρές και απομονωμένες κατοικίες τα συστήματα αυτά πλεονεκτούν. Ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται και με ανάγκες νερού χρήσης ή άρδευσης.

#### 4.2.2. Σύστημα μόνιμης υδάτινης στήλης

Κάποιος άλλος τύπος συστήματος ανοικτού βρόχου είναι το σύστημα μόνιμης υδάτινης στήλης. Γενικά, ένα σύστημα μόνιμης υδάτινης στήλης είναι ένα μόνο βαθύ πηγάδι που διανοίγεται σε εδάφη με βραχώδες υπόστρωμα. Ένα προστατευτικό περίβλημα (που επιτρέπει και την προσβασιμότητα στη γεώτρηση) τοποθετείτε κατά

μήκος αυτής από την επιφάνεια του εδάφους έως εκεί που τελειώνουν οι διαστρωματώσεις των ιζηματογενών πετρωμάτων (δηλαδή το επάνω όριο του βραχώδους υποστρώματος). Από εκεί και κάτω το φρέατιο γίνεται ουσιαστικά μια ανοικτή γεώτρηση μέσα σε υπόγειο κοίτασμα νερού, όπου και εναλλάσσονται τα ποσά θερμότητας.

Το «γεωθερμικό νερό» στην περίπτωση αυτή κυκλοφορεί εντός του ίδιου φρέατος (Σχήμα 4.2.2.1). Αρχικά, το νερό αντλείται από τη βάση του, διέρχεται από την αντλία θερμότητας και στη συνέχεια επιστρέφει στην κορυφή του, από εκεί ρέει έως ότου επιστρέψει στον πυθμένα του, ενώ στην πορεία, ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Έτσι θα κλείσει ένας κύκλος λειτουργίας για αντληθεί και πάλι από τον πυθμένα.



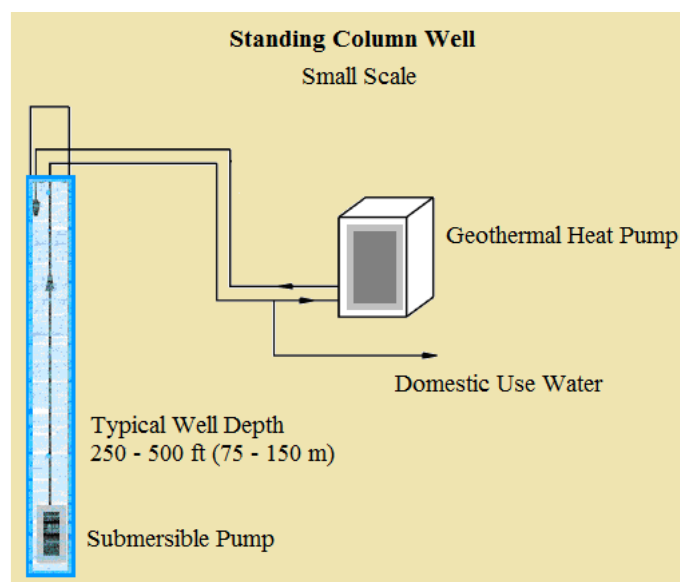
**Σχήμα 4.2.2.1** Λεπτομερής τομή του συστήματος μόνιμης υδάτινης στήλης και περιγραφή της λειτουργίας του. (πηγή: [www.earthrivergeo.com](http://www.earthrivergeo.com))

Η μέθοδος μόνιμης υδάτινης στήλης λειτουργεί καλύτερα όταν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα είναι καλής ποιότητας και ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται απευθείας στην αντλία θερμότητας. Τα νερά αυτά θα πρέπει να μην είναι ικανά να προκαλούν μεγάλη και ταχεία διάβρωση στα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης και να μην δημιουργούν επικαθήσεις σωματιδίων. Γιατί οι επικαθήσεις προκαλούν πολλά



προβλήματα στην σωστή λειτουργία της αντλίας και το κυριότερο για την περίπτωση των συστημάτων αυτών είναι ότι δεν επιτρέπουν την αποδοτική μεταφορά θερμότητας όταν αυτές βρίσκονται στις σωληνώσεις της γεώτρησης.

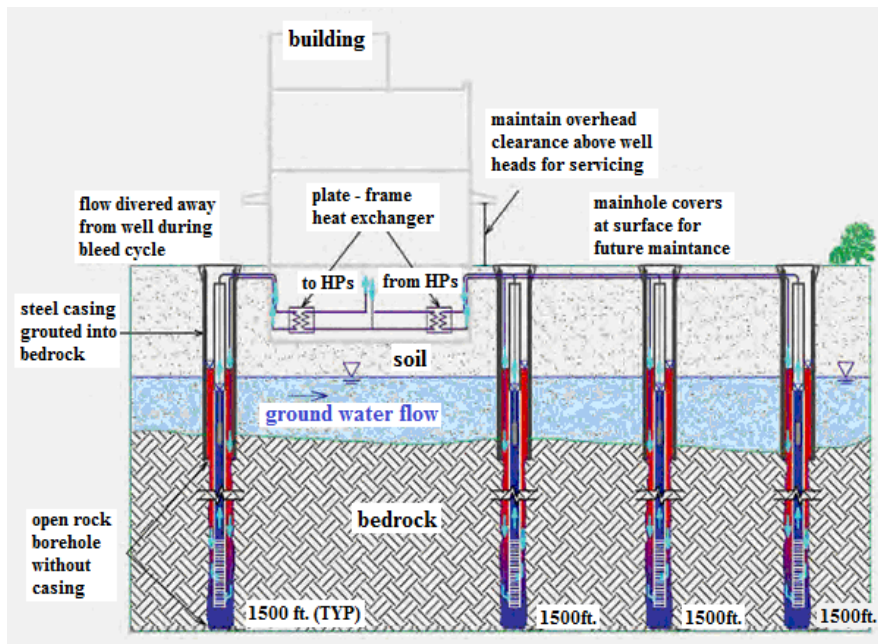
Επίσης, για την σωστή λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος όπως και σε κάθε εφαρμογή συστήματος ανοικτού βρόχου, το υπόγειο νερό πρέπει να είναι άφθονο. Εάν ο υδροφόρος ορίζοντας στον τόπο που θα γίνει η εγκατάσταση είναι πολύ βαθιά, η άντληση θα ήταν απαγορευτικά δαπανηρή. Υπό κανονικές συνθήκες, το νερό που αντλείται για άλλες χρήσεις στο κτίριο, αντικαθιστά τη σταθερή θερμοκρασία του νερού στο ταμιευτήρα, γεγονός που καθιστά το σύστημα να λειτουργεί σαν πραγματικός βρόχος ανοικτού συστήματος. Εάν όμως η θερμοκρασία του συστήματος ανέβει σε υψηλά επίπεδα ή σε χαμηλά, αντίστοιχα. Τότε θα πρέπει να γίνει υποχρεωτικά εξαγωγή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους έως του αποκατασταθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό και πολλές φορές δεν είναι και σύννομο.



**Σχήμα 4.2.2.2** Σκαρίφημα μιας τυπικής εγκατάστασης μόνιμης υδάτινης στήλης για μικρής κλίμακας εφαρμογές (π.χ. κατοικίες). (σχέδιο του Carl D. Orio, IGSHA, US)

Η τεχνολογία της μόνιμης υδάτινης στήλης είναι αρκετά διαδεδομένη σε ορισμένες περιοχές των Η.Π.Α., κυρίως στο βορειοανατολικές Πολιτείες (Σχήματα 4.2.2.2 και 4.2.2.3). Με βάση την εμπειρία από διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται σε ενεργειακά έργα, σε αυτές τις επαρχίες (Earth River Geothermal Inc, Maryland US). Υποστηρίζεται ότι απαιτούνται 50-60 πόδια (δηλαδή περίπου 15-18m) στήλης νερού για ένα τόνο ψυκτικού φορτίου του κτιρίου ( $1RT=3,519kW=12000Btu/h$ ). Έργα που έχουν καταγραφεί δείχνουν ότι ένα τυπικό φρεάτιο έχει διαμέτρου περίπου 6 ίντσες (15cm) και μπορεί να είναι βαθιά όσο τα 1500 πόδια (450m). (Water Well Journal, December 2010, US)





**Σχήμα 4.2.2.3** Ένα παράδειγμα μιας μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση -μόνιμης υδάτινης στήλης- με στεγανές γεωτρήσεις που διαπερνούν υδροφόρα κοιτάσματα και φτάνουν βαθιά στο υπέδαφος. (σχέδιο του P.W. Grosser Consulting / πηγή: Water Well Journal, December 2010, US)

#### 4.2.3. Γεωθερμικά συστήματα με άντληση νερού από επιφανειακά νερά

Μια παραλλαγή των υδρογεωτρήσεων είναι τα συστήματα με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας που αντλούν νερό από επιφανειακούς σχηματισμούς. Τα συστήματα αυτά μπορούν να αξιοποιήσουν την θερμοκρασία της θάλασσας ή της λίμνης. Οι οποίες αποτελούν δεξαμενές σταθερής θερμοκρασίας για άντληση και απόρριψη θερμότητας. Τα ποτάμια που συγκαταλέγονται και αυτά στους επιφανειακούς υδάτινους σχηματισμούς, ελάχιστα χρησιμοποιούνται στις συγκεκριμένες εφαρμογές λόγω της αστάθειας ροής που μπορεί να παρουσιάζουν.

Γενικά η ημερήσια και ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας παρουσιάζει εύρος πολύ μικρότερο από εκείνο της θερμοκρασίας του αέρα. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα που χαρακτηρίζει τη θάλασσα, στη μικρή απορρόφηση που χαρακτηρίζει το νερό καθώς επίσης και στη συνεχή ανατάραξη που υφίσταται η επιφάνειά της από κυματισμό, θαλάσσια ρεύματα κ.λπ. Έτσι το μεν ημερήσιο εύρος κυμαίνεται περί τον ένα βαθμό μόνο, ενώ το ετήσιο εξαρτάται περισσότερο από το γεωγραφικό πλάτος και τα τυχόν θαλάσσια ρεύματα. Η μέγιστη μέση θερμοκρασία στον Ατλαντικό παρατηρείται μεταξύ του Ισημερινού και του βόρειου γεωγραφικού πλάτους των 5°, που ανέρχεται στους 27°C, ενώ στο πλάτος των 36° Βόρειο (περίπου στο πλάτος που βρίσκεται η Ελλάδα) και 28° Νότιο δεν υπερβαίνει του 20°C βαθμούς. Σύμφωνα με εκτιμήσεις μπορούμε να πούμε για τη θαλάσσια περιοχή της χώρας μας ότι σε βάθη περίπου 7 - 10m έχει σταθερή θερμοκρασία τόσο το χειμώνα (12-15°C), όσο και το καλοκαίρι (17-20°C).

Για να είναι κατάλληλη μια λίμνη ως πηγή πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις ως προς την επιφάνεια και το βάθος της. Η επιφάνεια που απαιτείται ανέρχεται στα  $4.000m^2$  ανά  $14,5kWt$ , ενώ η λίμνη πρέπει να έχει βάθος τουλάχιστον  $1,5m$  κατά μέσο όρο και επιπλέον να υπάρχει σημείο με βάθος  $2m$  τουλάχιστον, με καταλληλότερο τα  $3-3,6m$  βάθος.

Σε περιπτώσεις που η γειτνίαση με τη θάλασσα ή τη λίμνη είναι τέτοια που να επιτρέπει την χρήση της, το νερό αντλείται και αφού χρησιμοποιηθεί για θέρμανση/ψύξη επιστρέφει σε σημείο μακριά από το σημείο αναρρόφησης (Εικόνες 4.2.3.1). Τα συστήματα Γ.Α.Θ. τέτοιου είδους, γίνονται οικονομικά και πολύ ελκυστικά, γιατί δεν υπάρχει ανάγκη για διάνοιξη γεωτρήσεων. Με ένα απλό υδραυλικό δίκτυο το νερό προσάγεται και απάγεται από την αντλία θερμότητας μέσω ενός κυκλοφορητή. Φυσικά στα συστήματα αυτά, και ειδικά στη θάλασσα, είναι απαραίτητος ο ενδιάμεσος εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος τις περισσότερες φορές πρέπει να είναι κατασκευασμένος από τιτάνιο, για να προστατεύει τα εσωτερικά κυκλώματα της αντλίας θερμότητας από το κακής ποιότητας νερό.

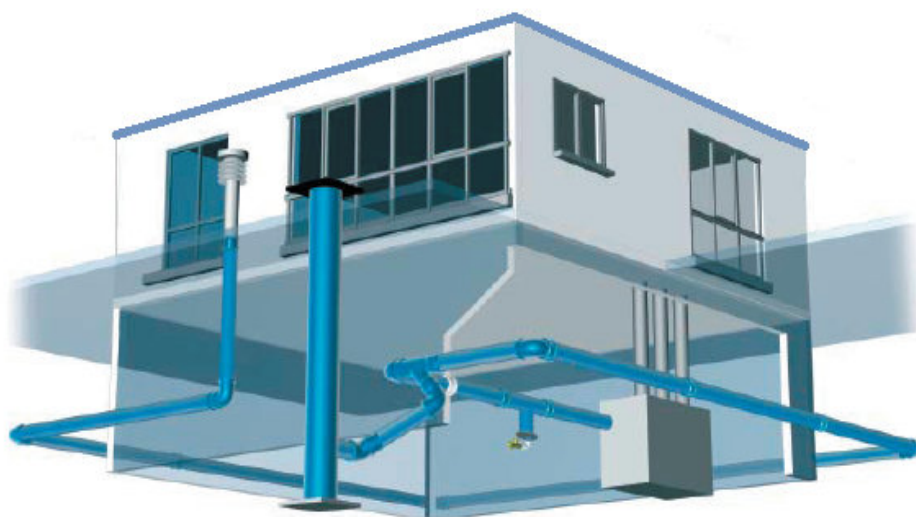
Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι το χαμηλό πάγιο κόστος τους καθώς δεν απαιτούνται ιδιαίτερες εγκαταστάσεις, ενώ παρέχεται ταυτόχρονα πηγή άντλησης νερού και σημείο εναπόθεσης του μετά την χρήση του. Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός ότι το νερό δεν είναι καλής ποιότητας και απαιτείται συνεχές φιλτράρισμα.



**Εικόνες 4.2.3.1** Εγκατάσταση ανοικτού συστήματος με άντληση και απόθεση νερού από επιφανειακά νερά (λίμνη), σε κατοικία στη Minnesota των Η.Π.Α.. Στη τελευταία εικόνα βλέπουμε το σημείο επιστροφής του νερού στη λίμνη. (πηγή: Strandlund Refrigeration Heating & Cooling, LLC)

### 4.3. Εναλλάκτης γεωθερμικής ενέργειας αέρα-εδάφους

Μία ενδιαφέρουσα και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία είναι οι 'earth to air heat exchangers' ή αλλιώς εναλλάκτες θερμότητας αέρα-εδάφους (Σχήμα 4.3.1 και Εικόνες 4.3.2). Η ονομασία της συγκεκριμένης διάταξης ποικίλλει καθώς κάποιες φορές συναντάται ως 'earth tubes' (σωλήνες εδάφους) ή ακόμα 'ground-coupled air heat exchangers'. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για υπόγειους αεραγωγούς όπου με τη διάνοιξη υπόγειων τάφρων, σωλήνες τοποθετούνται στο εσωτερικού του εδάφους μέσω των οποίων διοχετεύεται ο αέρας της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό του κτιρίου. Όπως προαναφέρθηκε, το έδαφος χαρακτηρίζεται από την ικανότητα του να αποθηκεύει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία υπό μορφή θερμότητας με αποτέλεσμα η θερμοκρασία μετά από ένα ορισμένο βάθος να παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Κατ' επέκταση, η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι χαμηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία το καλοκαίρι και υψηλότερη το χειμώνα, με αποτέλεσμα όταν ο περιβαλλοντικός αέρας διοχετεύεται μέσα στους υπόγειους σωλήνες να ψύχεται το καλοκαίρι και να θερμαίνεται το χειμώνα, πριν χρησιμοποιηθεί για εξαερισμό. Συνεπώς οι εναλλάκτες θερμότητας από τον αέρα στο έδαφος έχουν τη δυνατότητα να εκπληρώνουν δύο σκοπούς: (προ)-θέρμανση το χειμώνα και (προ)-ψύξη το καλοκαίρι. Ο εναλλάκτης γεωθερμικής ενέργειας-αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μονοκατοικίες όσο και σε μεγάλα κτήρια όπως σχολεία, νοσοκομεία ή κτήρια γραφείων.



**Σχήμα 4.3.1** Σχεδιαστική απεικόνιση ενός συστήματος αέρα-εδάφους σε κατοικία. (πηγή: Rehau)

Σε εύκρατα κλίματα, το καλοκαίρι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα αγγίζει τους 30°C. Εάν αυτός ο αέρας διοχετευθεί μέσω αγωγών στο έδαφος, του οποίου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 12°C, ανταλλάσσοντας θερμικά φορτία με αυτό, έχει ως αποτέλεσμα η τελική θερμοκρασία που εισέρχεται στο κτίριο



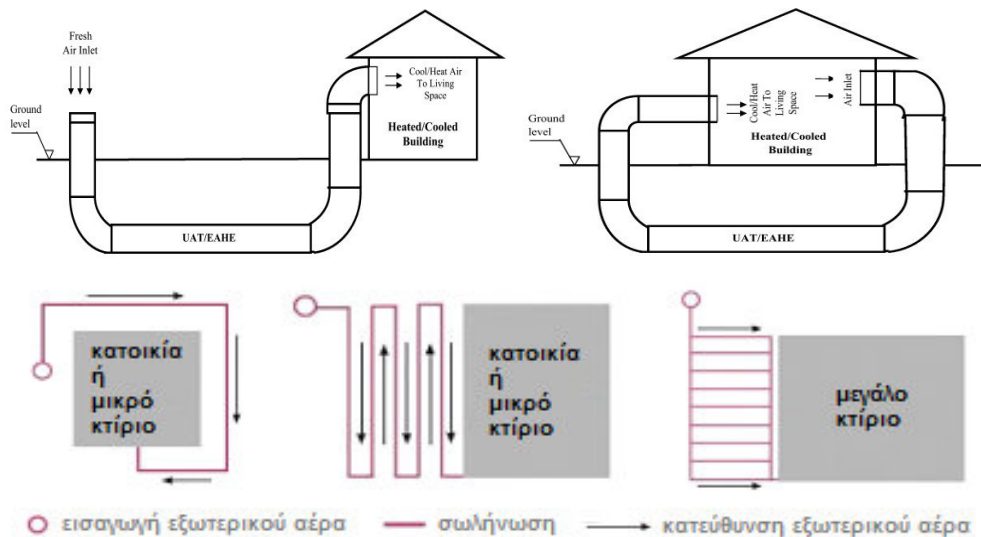
να είναι περίπου 16°C. Έχει πραγματοποιηθεί μία μείωση θερμοκρασίας 14°C ικανή ν' απαλλάξει το κτίριο από την ανάγκη κλιματιστικών μηχανημάτων. Αντίστοιχα τους χειμερινούς μήνες, κατά τους οποίους η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται σε επίπεδα κάτω του μηδενός, ο εισερχόμενος στο σύστημα αέρας αντλεί τη θερμότητα του εδάφους και επιτυγχάνεται αύξηση αυτού περί τους 9°C.



*Εικόνες 4.3.2 Γεωεναλλάκτης αέρα-εδάφους κατά την φάση της εγκατάστασης του στο έδαφος.*

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η απλότητα από την οποία χαρακτηρίζεται, το υψηλό δυναμικό σε δροσισμό και προθέρμανση, τα χαμηλά κόστη λειτουργίας και συντήρησης καθώς και η οικονομία ορυκτών καυσίμων και των σχετικών ανεπιθύμητων εκπομπών. Ο προθερμασμένος “φρέσκος” αέρας υποστηρίζει ένα σύστημα ανάκτησης θέρμανσης και μειώνει την ζήτηση για θέρμανση το χειμώνα. Το καλοκαίρι, σε συνδυασμό με έναν καλό θερμικό σχεδιασμό του κτιρίου και πόσο μάλλον σε συνδυασμό μ’ ένα κατάλληλο σύστημα διανομής του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, μπορούν να περιορίσουν την ανάγκη για μηχανική ψύξη και κατ’ επέκταση την ανάγκη για κλιματιστικές μονάδες στο κτίριο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την σημαντικότερη μείωση σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ανάλογα με τα γεωθερμικά συστήματα αντλιών θερμότητας, που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, έτσι και τα συστήματα υπόγειων αεραγωγών διακρίνονται σε ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος (Σχήματα 4.3.3). Στα ανοιχτού τύπου συστήματα ο εξωτερικός αέρας διοχετεύεται μέσω των υπόγειων σωληνώσεων στο εσωτερικό του κτιρίου. Τα συστήματα αυτά παρέχουν εξαερισμό του εσωτερικού του κτιρίου ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση αναγκών σε ψύξη. Στα κλειστού τύπου συστήματα, ο αέρας του εσωτερικού του κτιρίου κυκλοφορεί στο εσωτερικό των αγωγών και εναλλάσσει θερμότητα με το έδαφος, χωρίς να υπάρχει καμία ανάμιξη του αέρα της ατμόσφαιρας.



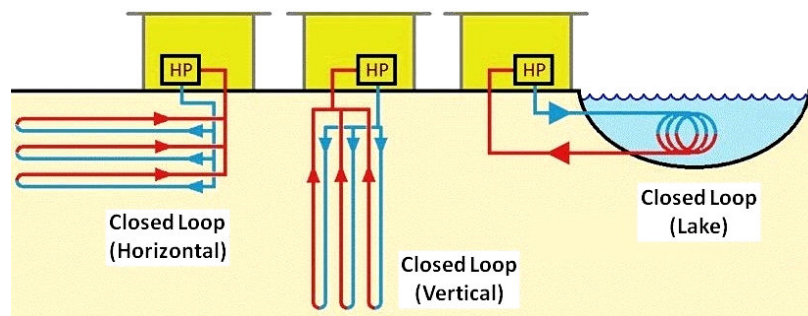
**Σχήματα 4.3.3** Σκαριφήματα ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος γεωεναλλάκτης αέρα-εδάφους και προτεινόμενος σχεδιασμός του συστήματος ανάλογα με το μέγεθος του κτιρίου. (πηγή: Rehau)

Υπάρχουν και εφαρμογές όπου ένα σύστημα εναλλακτών θερμότητας αέρα-εδάφους μπορεί να είναι και παθητικό. Δηλαδή χωρίς την διασύνδεση του με αντλία θερμότητας. Ένα τέτοιο παθητικό στοιχείο χρησιμοποιεί τη θερμική αδράνεια της γης για να μετριάσει τις διαφορές θερμοκρασίας. Μια τέτοια διάταξη δεν έχει τέτοιες διαστάσεις ώστε να καλύπτει όλες τις ανάγκες του κτιρίου, αλλά χρησιμεύσει μόνο ως συμπληρωματικό μέτρο προθέρμανσης του χώρου και δροσισμού άλλα και εξαερισμού.

#### 4.4. Συστήματα κλειστού βρόγχου

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου είναι συστήματα όπου η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι συζευγμένη με ένα κλειστό κύκλωμα από σωληνώσεις (συνήθως πολυαιθυλένιο, PE) που είναι εγκιβωτισμένες στο υπέδαφος σε σχετικά μικρά βάθη. Αυτές οι υπόγειες σωληνώσεις που έχουν εγκατασταθεί ως βρόχοι, συνδέονται μεταξύ τους σε μία συστοιχία η οποία σχηματίζει ένα κλειστό υδραυλικό κύκλωμα. Ανάλογα με τη γεωμετρία του υπόγειου εναλλάκτη διαχωρίζονται περαιτέρω σε κάθετα και οριζόντια συστήματα (Σχήμα 4.4.1). Στα πρώτα συστήματα απαιτείται η ανόρυξη μιας ή περισσότερων γεωτρήσεων. Ενώ στα δεύτερα γίνονται εκτατικές επιφανειακές εκσκαφές σε βάθη μερικών μέτρων ή και λιγότερο του ενός μέτρου. Επίσης μπορούν να εγκατασταθούν υπό γωνιά ή να ενσωματωθούν στα θεμέλια ενός κτιρίου. Η σύνδεση με την κατάλληλη αντλία θερμότητας απαιτείται για την εξαγωγή ή πρόσληψη θερμικής ενέργειας από τον υπόγειο ταμιευτήρα (υπόγεια ύδατα, υπέδαφος) με σκοπό τη θέρμανση/ψύξη χώρων. Στα κλειστά κυκλώματα εναλλακτών

αβαθούς γεωθερμίας συμπεριλαμβάνονται και οι διατάξεις των βρόχων που καταβυθίζονται σε επιφανειακά νερά, όπως στις λίμνες.

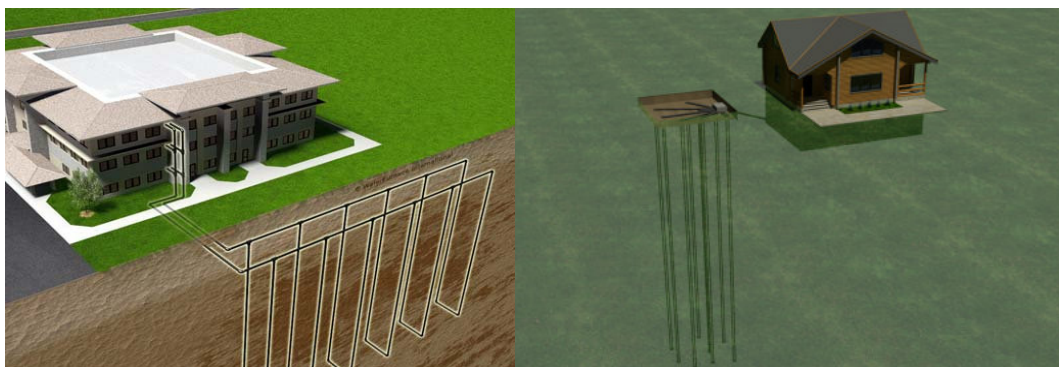


**Σχήμα 4.4.1** Κάθετο και οριζόντιο κλειστό κύκλωμα εναλλακτών θερμότητας εδάφους και καταβυθισμένο κλειστό κύκλωμα.

#### 4.4.1. Κάθετα συστήματα κλειστού βρόχου

Τα κάθετα συστήματα αποτελούνται συνήθως από ένα ζεύγος σωληνώσεων μικρής διαμέτρου (20 - 40mm) από πολυαιθυλένιο, που τοποθετείται συνήθως σε μια ή περισσότερες κατακόρυφες γεωτρήσεις (Εικόνες 4.4.1.1) το εσωτερικό των οποίων γεμίζεται εν συνεχεία από στέρεο υλικό.

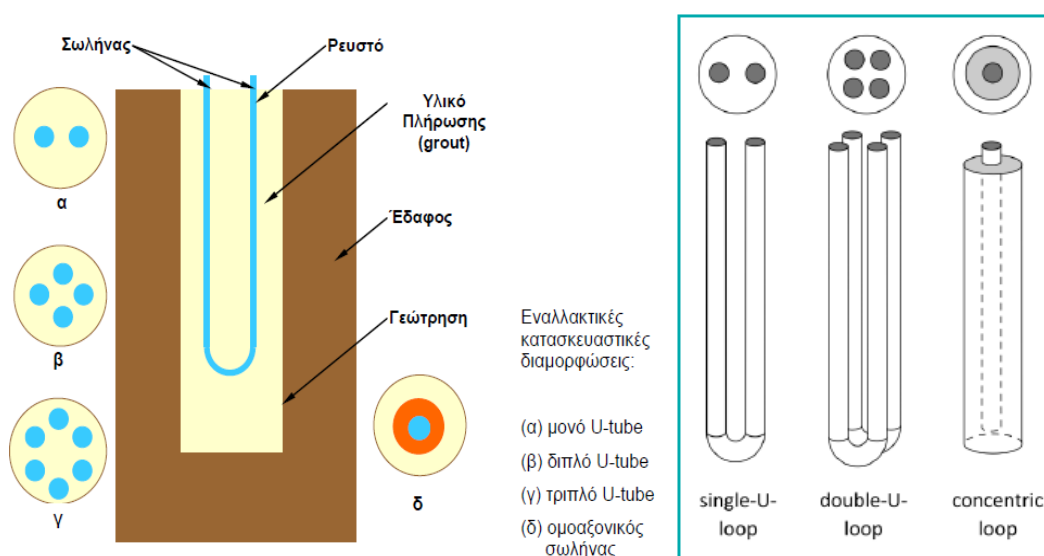
Η πιο κοινή μορφή κάθετου γεωεναλλάκτη (Borehole Heat Exchanger, BHE) είναι αυτή όπου ένα ζεύγος σωληνώσεων είναι συνδεδεμένο στο κάτω άκρο σχηματίζοντας αγωγό σχήματος – U. Οι σχηματισμοί αυτού του τύπου διακρίνονται σε μονού τύπου U (single-U-loop BHE), διπλού τύπου U (double-U-loop BHE) και τριπλού τύπου U (triple-U-loops BHE) που έχουν ως σκοπό την αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας σε μια οπή του εδάφους (Σχήματα 4.4.1.2). Επίσης, για την αύξηση της επιφάνειας του υπόγειου εναλλάκτη που αποσκοπεί σε καλύτερες ενεργειακές αποδόσεις και οικονομικότερες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί διατάξεις κάθετου σπειροειδή και κωνικού γεωεναλλάκτη (Σχήμα 4.4.1.4 και Εικόνα 4.4.1.5). Άλλη μια διάταξη, που σε ελάχιστες περιπτώσεις την συναντάμε. Είναι να τοποθετήσουμε ομοαξονικά σωλήνες διαφορετικής διαμέτρου, τη μια μέσα στην άλλη (concentric loop BHE).







**Εικόνες 4.4.1.1** Κάθετη διάταξη κλειστού κυκλώματος γεωεναλλάκτη. Και κάτω, λεπτομέρειες από εγκαταστάσεις κάθετων γεωεναλλακτών.



**Σχήμα 4.4.1.2** Τομές που δείχνουν την τοποθέτηση των κάθετων σωληνώσεων τύπου U στο έδαφος και διάφορες διαμορφώσεις αυτού.

Το βάθος των γεωτρήσεων ποικίλλει από 10 μέχρι και 200m, ανάλογα με τις συνθήκες, το κόστος διάτρησης και τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου. Οι πιο πάνω παράμετροι ρυθμίζουν και τον αριθμό των γεωτρήσεων. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων είναι μικρή (2-3m), επειδή η επίδραση της μιας γεώτρησης στην άλλη είναι ελάχιστη. Έτσι, μπορούμε να έχουμε μεγάλη πύκνωση των γεωτρήσεων και, επομένως, εξασφάλιση σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας σε μικρότερο χώρο. Η παροχή θερμότητας στον υπόγειο εναλλάκτη προέρχεται από διάφορες πηγές, από τη γεωθερμική ροή θερμότητας, από αγωγή σε οριζόντιο επίπεδο και από την ανοδική πορεία του υπόγειου νερού, αν υπάρχει.

Συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλες εφαρμογές όπου η απαιτούμενη ανάγκη δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα οριζόντιο κύκλωμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη διαθέσιμου περιβάλλοντα χώρου (κυρίως σε αστικά κέντρα). Σε περιπτώσεις που θέλουμε να αυξήσουμε την θερμική ενέργεια που εναλλάσσει ένας κάθετος

γεωεναλλάκτης σε μια γεώτρηση, τότε αντί για σχηματισμό τύπου U μπορούμε να τοποθετήσουμε σπειροειδή (Εικόνες 4.4.1.3).



*Εικόνες 4.4.1.3 Σπειροειδής διάταξη κατά την πλήρωση του με τα χώματα των εκσκαφών καθώς μετά το πέρας της εργασίας. (πηγή: Rehau)*

Η κατασκευή του κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη γίνεται στα εξής στάδια:

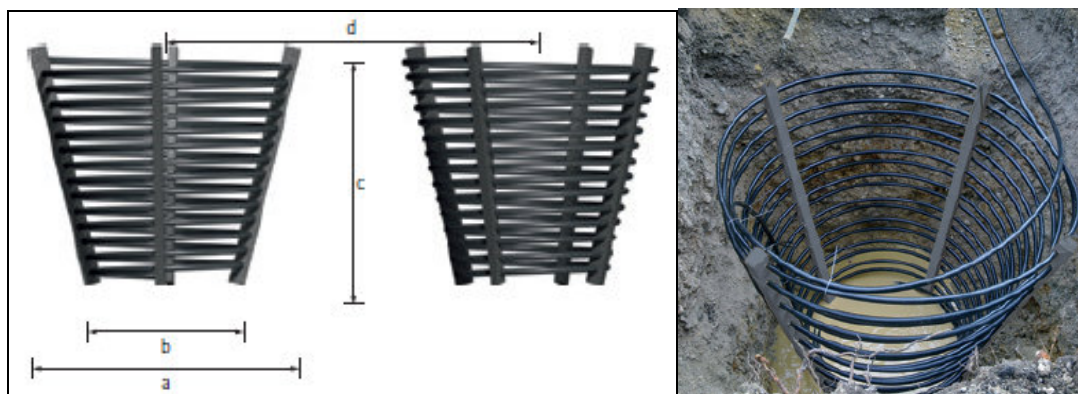
- 1) Κατασκευή στεγνών γεωτρήσεων.
- 2) Συναρμολόγηση γεωεναλλάκτη στην επιφάνεια.
- 3) Δοκιμή αντοχής γεωεναλλάκτη στην επιφάνεια με νερό στα 10bar.
- 4) Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη μέσα στις στεγνές γεωτρήσεις.
- 5) Πλήρωση γεωτρήσεων με μείγμα τσιμέντου, μπετονίτη και άμμου.
- 6) Κατασκευή φρεατίου επίσκεψης στην επιφάνεια.

Ενδεικτικά, τα συστήματα των κάθετων γεωεναλλακτών αποδίδουν περίπου 7,5kW ανά 100m γεωεναλλάκτη. Αυτό σημαίνει ότι για μια εμπορική εφαρμογή των 100kW θα απαιτηθούν περίπου 10 γεωτρήσεις των 100m, ενώ ο απαιτούμενος περιβάλλοντας χώρος είναι περίπου 55m<sup>2</sup>. Το κόστος κατασκευής είναι σχετικά μεγαλύτερο σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους για αυτό οδηγεί την εγκατάσταση σε απόσβεση 6 έως 9 ετών (πηγή: GRV Energy Solutions A.E., Αθήνα).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της διάταξης αυτής είναι το μικρό συνολικό μήκος σωλήνωσης, η απαίτηση για μικρή έκταση γης και τέλος το γεγονός ότι η αξιοποιήσιμη θερμότητα του εδάφους επηρεάζεται λιγότερο από την εξωτερική θερμοκρασία (μεγάλο βάθος). Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι απαιτείται εξοπλισμός ανάλογος με αυτόν που χρησιμοποιείται για την διάνοιξη γεωτρήσεων με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους κατασκευής, ιδιαίτερα όταν το έδαφος είναι πετρώδες.

Μια νέα εφαρμογή κατακόρυφων κλειστών συστημάτων αποτελεί ο κωνικός γεωεναλλάκτης (Σχήμα 4.4.1.4 και Εικόνα 4.4.1.5) που χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει αρκετός χώρος για την εγκατάσταση οριζοντίου

κυκλώματος. Η εφαρμογή αυτή είναι ακριβότερη από μια οριζόντια διάταξη καθώς απαιτεί σκελετούς από ανοξείδωτο ή πλαστικό για την υποστήριξη του γεωεναλλάκτη. Το πλήθος των κώνων που τοποθετούνται στο σύστημα έχει να κάνει με το σύνολο των φορτίων (θερμικά-ψυκτικά) του κλιματιζόμενου χώρου. Η κωνική διάταξη τοποθετείται στον περιβάλλοντα χώρο καθώς είναι αδύνατη η τοποθέτηση του στην θεμελίωση του κτιρίου.



**Σχήμα 4.4.1.4** Σχηματική παράσταση κωνικού γεωεναλλάκτη με τις αναλογίες των διαστάσεων του και της απόστασης τοποθέτησης ανά μεταξύ τους. **Εικόνα 4.4.1.5** Κωνικός γεωεναλλάκτης κατά την τοποθέτησή του σε κάθετη τάφρο. (πηγή: Upronor)

#### 4.4.2. Οριζόντια συστήματα κλειστού βρόχου

Στα οριζόντια συστήματα κλειστού βρόχου οι σωληνώσεις πολυαιθυλενίου, στις οποίες κυκλοφορεί συνήθως ένα μίγμα νερού-γλυκόλης, τοποθετούνται στο έδαφος σε ορισμένο βάθος και σε διάφορες «γεωμετρίες». Πολλά γεωμετρικά σχήματα έχουν προταθεί και δοκιμαστεί, τα πιο πολλά από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω. Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1,20 έως 1,50m ή και βαθύτερα, αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων ή με τη μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους (Εικόνες 4.4.2.1 και 4.4.2.2, αντίστοιχα). Τα κυκλώματα ή οι βρόχοι των σωληνώσεων συγκεντρώνονται σε επιμέρους και κεντρικούς συλλέκτες και οδηγούνται στην Γ.Α.Θ. Στο επίπεδο (βάθος) αυτό αναπτύσσονται οι οριζόντιοι γεωεναλλάκτες δεν υπάρχουν σημαντικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις λόγω καιρικών συνθηκών το οποίο είναι και το μεγάλο πλεονέκτημα των Γ.Α.Θ. σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας αέρα. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου των σωληνώσεων ο χώρος καλύπτεται αρχικά συνήθως με στρώμα άμμου και κατόπιν με το χώμα της εκσκαφής. Η επιφάνεια πάνω από τον γεωεναλλάκτη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί υπό κάποιους περιορισμούς στη χρήση. Έτσι ώστε να αποφευχθούν καταστροφές στο υπόγειο δίκτυο σωληνώσεων των εναλλακτών θερμότητας.





*Εικόνες 4.4.2.1 Τοποθέτηση οριζόντιων δικτύων σωληνώσεων γεωεναλλακτών σε ορύγματα (εκσκαφές χαντακιών) στο έδαφος.*



*Εικόνες 4.4.2.2 Τοποθέτηση στρώσεων σωληνώσεων σε οριζόντια διάταξη σε εκσκαφές ολικής απομάκρυνσης του εδάφους.*

Τα οριζόντια γεωθερμικά συστήματα αποτελούν ίσως την οικονομικότερη κατασκευαστική λύση από οποιοδήποτε άλλο γεωθερμικό σύστημα. Η απαιτούμενη έκταση που είναι αναγκαία είναι συνάρτηση των θερμικών και ψυκτικών απαιτήσεων του κτιρίου. Για την διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη, απαιτείται η γνώση των θερμοκρασιών του εδάφους και των θερμικών αποκρίσεων στο βάθος εγκατάστασης. Επιπρόσθετα, καθορίζονται η περιοχή εγκατάστασης, η αντίσταση του εδάφους και των σωληνώσεων, καθώς και τα όρια μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του διαλύματος που εισέρχεται στην αντλία θερμότητας. Η απόδοση του οριζοντίου εναλλάκτη κυμαίνεται μεταξύ 20-35W/m , ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία του υπεδάφους.

Κύριο πλεονέκτημα των οριζόντιων συστημάτων σε σύγκριση με τα κατακόρυφα είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης λόγω του ότι δεν απαιτούν δαπανηρές γεωτρήσεις. Από την άλλη μεριά όμως αντιμετωπίζουν και ένα βασικό μειονέκτημα, αυτό της ανάγκης ύπαρξης ικανής έκτασης του οικοπέδου για την τοποθέτηση των υπεδάφίων σωληνώσεων. Γεγονός που περιορίζει τη χρήση αυτών των συστημάτων σε μη αστικές περιοχές και σε μικρής κλίμακας έργα (κατοικίες). Αντίθετα, τα κατακόρυφα συστήματα καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο και είναι αποδοτικότερα, επειδή η θερμοκρασία του υπεδάφους παραμένει πιο σταθερή σε μεγαλύτερα βάθη. Έτσι μπορούν να εγκατασταθούν σε αστικές περιοχές και να

ανταπεξέρχονται στις ενεργειακές ανάγκες μεγαλύτερων κτιρίων. Τέλος, τα οριζόντια συστήματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία του εδάφους είναι πάρα πολύ μικρή (π.χ. Σκανδιναβία).

#### 4.4.2.1. Διατάξεις οριζόντιων εναλλακτών θερμότητας με το έδαφος

##### Σωλήνες σε διάταξη ενός επιπέδου

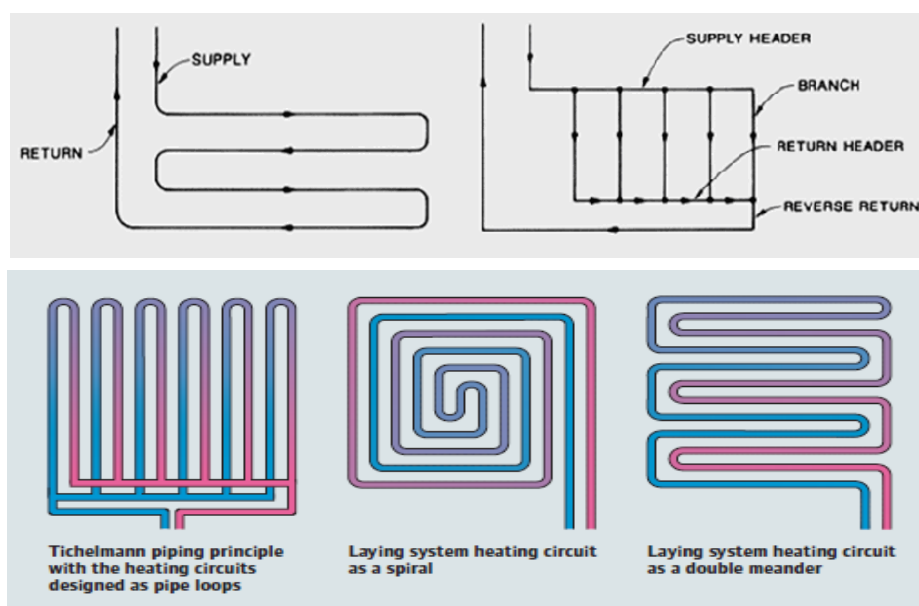
Σε βάθος περίπου 1,5m από την επιφάνεια τοποθετούνται παράλληλα ή σε σειρά (Σχήματα 4.4.2.1.1), μήκη σωλήνας η μία δίπλα στην άλλη. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων πρέπει να είναι τουλάχιστον 60cm. Η μέθοδος αυτή αποδίδει 30-40W/m<sup>2</sup> εδάφους.

##### Πλεονεκτήματα

- Χαμηλότερο κόστος σωληνώσεως.
- Απαιτείται λιγότερο αντιψυκτικό όπου χρειάζεται.

##### Μειονεκτήματα

- Πρέπει να εξασφαλίζεται η απομάκρυνση όλου του αέρα.



**Σχήματα 4.4.2.1.1** Σωληνώσεις οριζόντιου γεωεναλλάκτη συνδεδεμένες παράλληλα και σε σειρά αντίστοιχα. Και κάτω, διάφοροι τρόποι διάστρωσης οριζόντιου γεωεναλλάκτη: α) Tichelmann, β) σαλίγκαρου, και γ) διπλού μαιάνδρου.

##### Σωλήνες σε διάταξη δύο επιπέδων

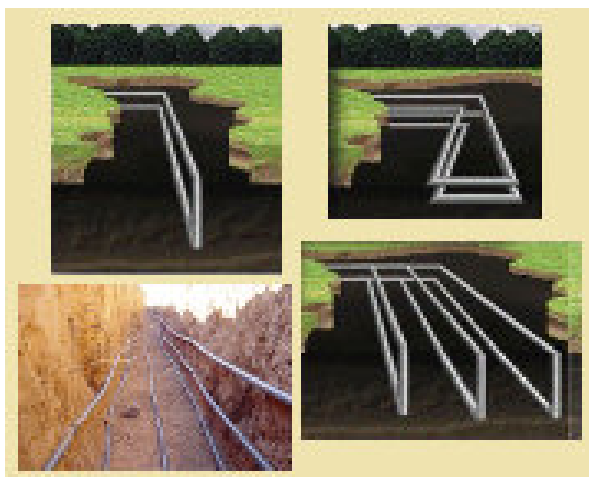
Η πρώτη σωλήνα τοποθετείται περίπου στα 2m ενώ η δεύτερη τοποθετείται 40-50cm πάνω από την πρώτη. Η μέθοδος αυτή αποδίδει περίπου 50-60W/m<sup>2</sup> εδάφους (Σχήματα 4.4.2.1.2 και 4.4.2.1.3).

### Πλεονεκτήματα

- Ένα μέγεθος σωλήνας.
- Υψηλότερη θερμική απόδοση ανά μέτρο σωλήνωσης εξαιτίας της μεγαλύτερης διαμέτρου σωλήνας που απαιτείται.
- Μια δίοδο παροχής.

### Μειονεκτήματα

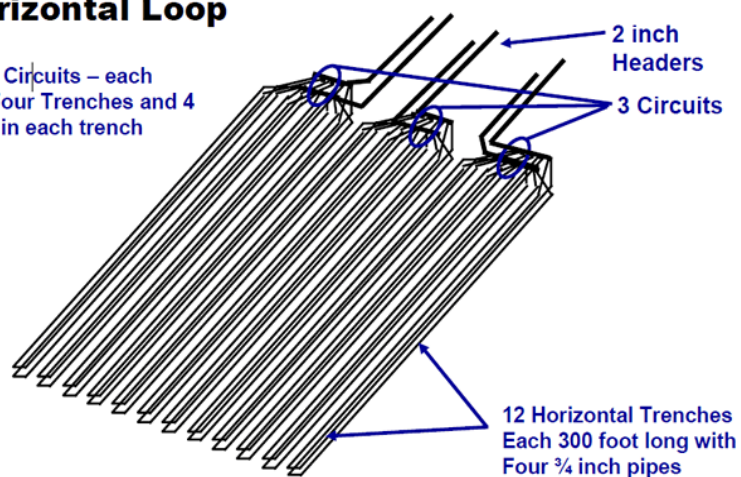
- Μεγαλύτερος όγκος νερού και αντιψυκτικού.
- Υψηλότερη τιμή ανά μέτρο εξαιτίας του υλικού σωλήνωσης.



**Σχήματα 4.4.2.1.2** Διαφορετικές εκδοχές διαμόρφωσης σωληνώσεων με τη μια τοποθετημένη πάνω από την άλλη.

### **Horizontal Loop**

Three Circuits – each with Four Trenches and 4 pipes in each trench



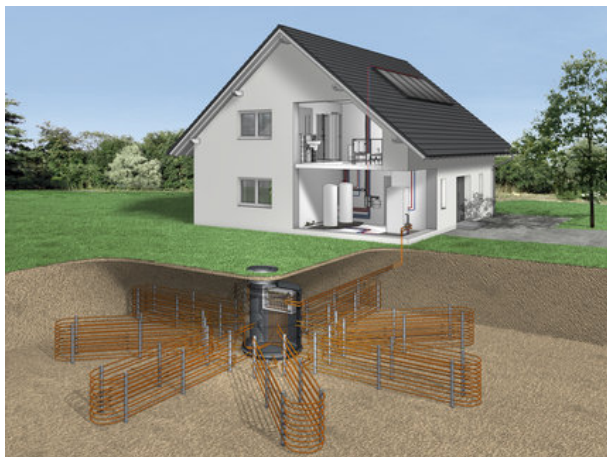
### **Nominal 24 Ton Configuration**

**Σχήμα 4.4.2.1.3** Σχέδιο οριζόντιου βρόχου δύο επιπέδων με την ανάπτυξη και διαστάσεις των σωλήνων που καταλήγουν σε τρεις συλλέκτες.

Μία άλλη εναλλακτική λύση τοποθέτησης οριζόντιου κυκλώματος γεωεναλλακτών που έχει αναπτυχθεί λόγω ανεπάρκειας διαθέσιμης έκτασης είναι η αστεροειδής διάταξη (Σχήμα 4.4.2.1.4). Εκεί η εγκατάσταση των αγωγών



καταλαμβάνει μικρότερη επιφάνεια αλλά εισχωρεί σε μεγαλύτερο βάθος., υπό τη μορφή κυκλωμάτων στενής διαμέτρου αγωγών, όπως απεικονίζεται παρακάτω.



**Σχήμα 4.4.2.1.4** Οριζόντιος γεωεναλλάκτης σε αστεροειδή διάταξη.

#### Σωλήνες απλωμένες σε σπείρες

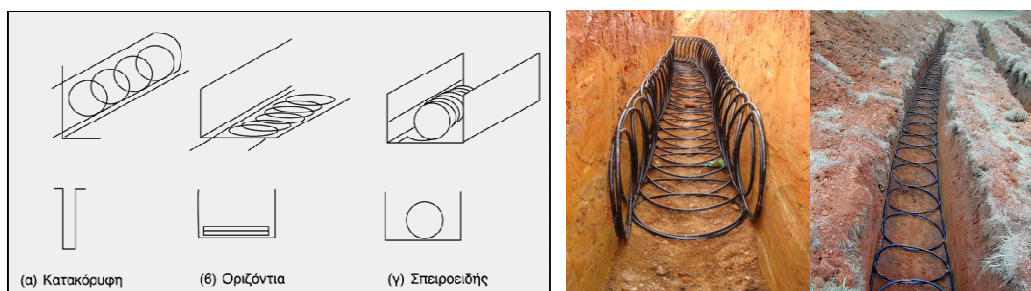
Σε βάθος περίπου 1,5m από την επιφάνεια απλώνεται κουλούρα σωλήνων πολυαιθυλενίου με τέτοια διάταξη ώστε να σχηματιστούν σπείρες η οποίες να εφάπτονται μεταξύ τους. Το σπειροειδές σύστημα μπορεί να έχει οριζόντια ή κάθετη διάταξη με μόνη διαφορά ότι στην οριζόντια διάταξη (Σχήμα 4.4.2.1.5 και Εικόνες 4.4.2.1.6) είναι ευκολότερη η επανατοποθέτηση των χωμάτων. Γενικά ένα τυπικό τέτοιο σύστημα τοποθετείται με βήμα 0,254m το οποίο ισοδυναμεί με 12m σωλήνωσης ανά μέτρο χαντακιού. Το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 1,42m που ισοδυναμεί με 4m σωλήνας ανά μέτρο χαντακιού. Η μέθοδος αυτή αποδίδει 30-40W/m<sup>2</sup> εδάφους.

#### Πλεονεκτήματα

- Απαιτείται μικρότερη έκταση γης.
- Απαιτείται λιγότερο σκάψιμο για την δημιουργία χαντακιών.

#### Μειονεκτήματα

- Απαιτείται μεγαλύτερο μήκος σωλήνα.



**Σχήμα 4.4.2.1.5** Τρεις διατάξεις οριζόντιου σπειροειδή γεωεναλλάκτη στο έδαφος. **Εικόνες 4.4.2.1.6** Σπειροειδής διάταξη τοποθετημένη κάθετα και οριζόντια μέσα σε αυλακώσεις.

## Πλέγμα

Σε βάθη περίπου 2m από την επιφάνεια τοποθετούνται προκατασκευασμένα πλέγματα (Εικόνα 4.4.2.1.7) που αποτελούνται από λεπτές σωλήνες Φ8 ή Φ10. Η μέθοδος αυτή αποδίδει περίπου  $80W/m^2$  εδάφους. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως (εκτός από το υλικό του πλέγματος) είναι από πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς HDPE Φ32 ή Φ40.



*Εικόνα 4.4.2.1.7 Εγκατάσταση σωληνώσεων σε οριζόντιο σύστημα Γ.Α.Θ. με πλέγμα, στη Θεσσαλονίκη.*

### **4.4.3. Καταβυθισμένα κυκλώματα**

Αν ένας μετρίου μεγέθους νερόλακκος ή λίμνη είναι διαθέσιμα, τότε το κλειστό κύκλωμα μπορεί να καταβυθιστεί όπως απεικονίζεται στις εικόνες 4.4.3.1. Οι εφαρμογές των καταβυθισμένων κυκλωμάτων απαιτούν κάποιες ειδικές συνθήκες που θα πρέπει να εξεταστούν από τους ειδικούς. Οι σπείρες θα πρέπει να τοποθετηθούν μόνον σε περιοχή νερού η οποία πληροί τα κριτήρια για τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο, βάθος και ποιότητα νερού. Επίσης, οι σωλήνες εισαγωγής και εξαγωγής από τους βρόχους στη Γ.Α.Θ. θα πρέπει να τοποθετηθούν μέσα στο έδαφος και σε τέτοιο βάθος ώστε να αποφεύγεται το πάγωμα τους. Οι τυπικές εγκαταστάσεις αυτού του συστήματος απαιτούν σωληνώσεις 90m ανά τόνο ψύξης.

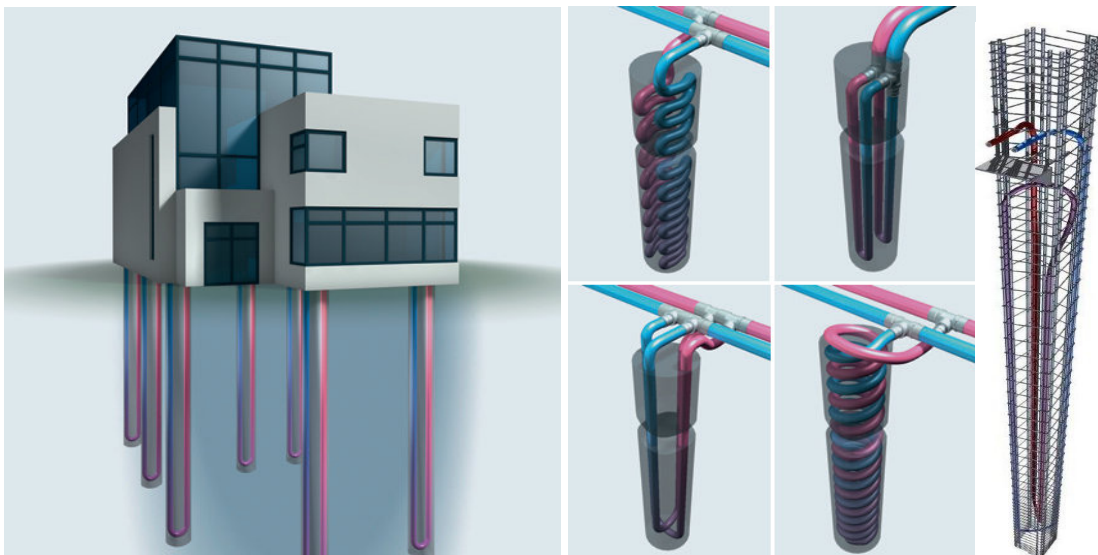




**Εικόνες 4.4.3.1** Καταβυθισμένα κλειστά κυκλώματα εναλλακτών Γ.Α.Θ. σε ήδη υπάρχοντα επιφανειακά νερά ή σε τεχνητούς λάκκους.

#### 4.4.4. Γεωθερμική θεμελίωση

Μία αξιοσημείωτη μέθοδος κλειστών κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτή των ενεργειακών πασσάλων (Σχήματα 4.4.4.1). Πολλές φορές απαντάται με την ονομασία γεωθερμική θεμελίωση και έχουν καταγραφεί εφαρμογές σε βάθη 5-100m. Η ιδιαιτερότητα (και διαφοροποίηση από τις συμβατικές) της τεχνολογίας αυτής είναι ότι ο γεωεναλλάκτης είναι ενσωματωμένος στη βασική δομή του κτιρίου (συγκεκριμένα στο χώρο της θεμελίωσης) είτε με την μορφή στηλών (energy piles) είτε με την μορφή τοιχείων (diaphragm wells) είτε έχει εισαχθεί απευθείας στις θεμέλιες κολώνες του κτιρίου (energy foundations).

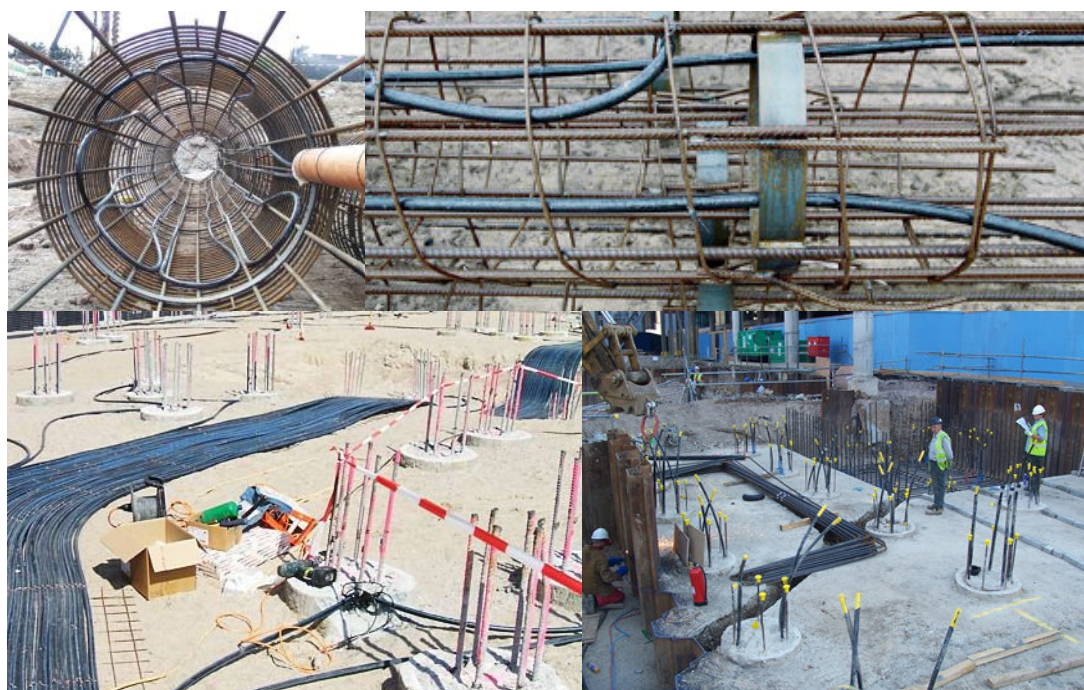


**Σχήματα 4.4.4.1** Σχηματική αναπαράσταση συστήματος ενεργειακών πασσάλων και μερικές παραλλαγές της διάταξης των σωληνώσεων μέσα στη θεμελίωση. (πηγή Uropon)



Οι τρόποι με τους οποίους ενσωματώνουμε τις σωληνώσεις του εναλλάκτη είναι δύο: Ο πρώτος εφαρμόζεται στα δομικά στοιχεία της θεμελίωσης, επί τόπου στο υπό κατασκευή έργο (Εικόνες 4.4.4.2). Ο δεύτερος αφορά την εφαρμογή προκατασκευασμένων θεμελίων (precast energy piles) τα οποία κατασκευάζονται (σύμφωνα με τις εκάστοτε προδιαγραφές και ανά περίπτωση) και εμπεριέχουν τις απαραίτητες σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη και στη συνέχεια μεταφέρονται και τοποθετούνται στη κατασκευή. Οι σωληνώσεις είναι παρόμοιες με τις συνήθεις κάθετες ή οριζόντιες διατάξεις (πολυαιθυλενίου PE, π.χ. τύπου PE 100).

Η χρήση προκατασκευασμένων θεμελίων εφαρμόζεται κυρίως σε μικρότερα κτίρια (κυρίως κατοικίες) λόγω του μεγέθους. Στις άλλες περιπτώσεις (μεγάλα κτίρια, σχολεία, εμπορικά κέντρα κ.λπ.) εφαρμόζεται η επί τόπου τοποθέτηση. Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι το ίδιο, η απαγωγή της υπεδαφικής θερμότητας γίνεται απ' ευθείας από τα θεμέλια χωρίς να γίνεται ξεχωριστή εγκατάσταση.



**Σχήμα 4.4.4.2** Επίτοπου τοποθέτηση γεωεναλλάκτη κατά την θεμελίωση και προκατασκευασμένοι ενεργειακοί πάσσαλοι.

Η γεωθερμική θεμελίωση ως νέα και ιδιαίτερη τεχνολογία σε σχέση με τις υπόλοιπες, έχει ακόμη πολλές δυνατότητες ανάπτυξης. Μάλιστα θα πρέπει να συνδυαστούν κατάλληλα οι απαιτήσεις σε μηχανικές αντοχές από τη μια και σε ενεργειακές απολαβές από την άλλη. Τα θεμέλια σχεδιάζονται πάντα επί των δομικών απαιτήσεων και ως εκ τούτου υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός όσον αφορά τη χρήση των θεμελίων ως εναλλάκτες θερμότητας. Όλα αυτά απαιτούν περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη, προκειμένου να οδηγήσει σε επιτυχία τέτοιες εφαρμογές. Μερικές κατευθύνσεις σε αυτή την έρευνα δίνονται παρακάτω και μας βοηθούν παράλληλα να κατανοήσουμε τη τεχνολογία αυτών των συστημάτων.

- Εργαλεία σχεδιασμού για τη συνδυασμένη διάθρωση των στατικών και ενεργειακών υπολογισμών.
- Τυποποίηση μεθοδολογίας σχεδιασμού και εγκατάστασης των σωληνώσεων στα δομικά στοιχεία της θεμελίωσης. Οι τρέχουσες τεχνικές εγκατάστασης απαιτούν πολλή χειρωνακτική εργασία, είναι χρονοβόρες στην παραγωγή και επιρρεπείς σε αποτυχία.
- Για να εξασφαλιστεί η μακροζωία και η ασφάλεια της κατασκευής, οι πολιτικοί μηχανικοί χρειάζονται γνώσεις σχετικά με την θερμο-μηχανική συμπεριφορά των υλικών. Θερμική ανακύκλωση μπορεί να προκαλέσει μηχανικές καταπονήσεις στα δομικά στοιχεία. Σε κάποιες εδαφολογικές συνθήκες, η θέρμανση των πασσάλων θα μπορούσε να προκαλέσει μη αναστρέψιμη αποξήρανση ορισμένων τύπων εδαφών και έτσι να αυξηθεί η αντίσταση στη θερμική μεταφορά από το στοιχείο στο έδαφος.
- Ανάπτυξη νέων υλικών τόσο στις σωληνώσεις όσο και στο υλικό πλήρωσης των σύνθετων δομικών στοιχείων. Έτσι ώστε να βελτιωθούν τα θερμικά χαρακτηριστικά και να εξασφαλιστεί η καλή θερμική επαφή μεταξύ του εναλλάκτη θερμότητας και του υλικού θεμελίωσης (το οποίο μπορεί να καταστραφεί, κυκλική θερμική διαστολή-συστολή του υλικού).

#### **4.4.4.1 Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη σε στρώση εξυγίανσης κάτω από την θεμελίωση**

Αν και η παρακάτω εφαρμογή δεν ανήκει σε αυτή την κατηγορία που ονομάζουμε γεωθερμική θεμελίωση άλλα λόγω του ότι το πεδίο της εγκατάστασης της είναι ακριβώς κάτω από τα θεμέλια, για αυτό και την παραθέτω εδώ.

Αποτελεί μια σχετικά ανέξοδη λύση, γιατί εφαρμόζετε κατά την εκσκαφή των εργασιών θεμελίωσης. Η διαφορά είναι ότι η τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη γίνεται μέσα στη στρώση εξυγίανσης (μπετόν καθαριότητας) που εφαρμόζετε για την διευκόλυνση των εργασιών κατασκευής των θεμελίων. Η έκταση της στρώσης εξυγίανσης είναι ίση με την κάτοψη του κτιρίου και με αύξηση του πάχους της μπορεί να δεχτεί στο επάνω και στο κάτω μέρος της τα δύο επίπεδα του οριζόντιου γεωεναλλάκτη (Εικόνα 4.4.4.1.1).

Ανάλογα με την τεχνολογία που ακολουθεί η κάθε κατασκευάστρια εταιρεία οι πλαστικοί σωλήνες στερεώνονται στην προετοιμασμένη επιφάνεια του εδάφους, σε αποστάσεις 30 - 40cm μεταξύ τους και καλύπτονται με άμμο, πάχους 10cm για προστασία. Κατόπιν επιχώνεται η επιφάνεια ή κατασκευάζεται η στρώση εξυγίανσης σε πάχος 1m περίπου και τοποθετείται η δεύτερη σειρά του γεωεναλλάκτη κατά τον ίδιο τρόπο. Στη συνέχεια κατασκευάζεται η θεμελίωση.

Οι λεπτές στρώσεις της άμμου που παρεμβάλλονται για προστασία των πλαστικών σωλήνων κατά τη διάρκεια της κατασκευής αντικαθιστούν τα διαχωριστικά γεωφύσματα στις αντίστοιχες θέσεις.

Εάν τα δύο επίπεδα του εναλλάκτη βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υπογείου ορίζοντα, συνδυάζονται με τη στρώση στράγγισης. Η παρουσία του νερού αυξάνει τη θερμοχωρητικότητα του εδάφους που περιβάλλει τους σωλήνες. (Σπύρος Ν. Παπασπύρου, *Στρώσεις εξυγίανσης και βοηθητικές στρώσεις*, 2011)



**Εικόνα 4.4.4.1.1** Τοποθέτηση σωληνώσεων οριζόντιου γεωεναλλάκτη σε προετοιμασμένη επιφάνεια κάτω από το χώρο θεμελίωσης του κτιρίου. (Σπύρος Ν. Παπασπύρου, *Στρώσεις εξυγίανσης και βοηθητικές στρώσεις*, 2011)

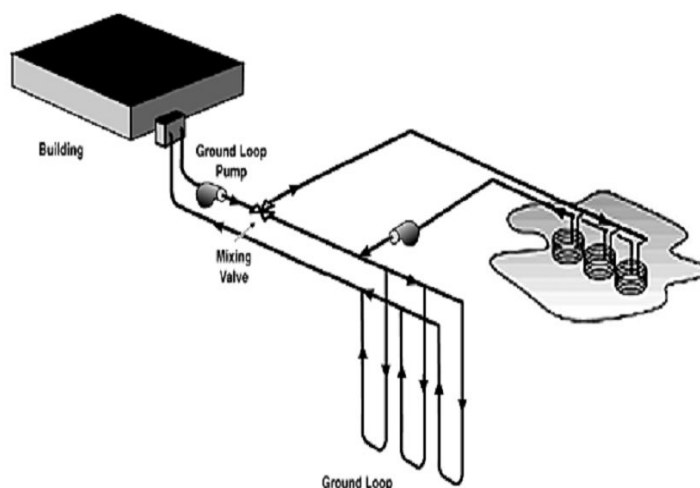
## 4.5. Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα

Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή όπου θεωρηθεί ως απαραίτητη ή βέλτιστη λύση για την εγκατάσταση γεωεναλλακτών. Η χρησιμότητα αυτής της εφαρμογής είναι ότι μπορεί να μειώσει το απαιτούμενο μέγεθος των βρόχων πρόσληψης και απόρριψης θερμότητας αυξάνοντας παράλληλα την απόδοση της αντλίας θερμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα στις τελικές χρήσεις του κτιρίου με εγκατάσταση λιγότερου μήκους γεωεναλλακτών ή περιορισμός της χρήσης ενός ήδη εγκατεστημένου συμβατικού συστήματος. Ακόμη μπορούμε να παρέχουμε σημαντικά υψηλότερα ποσά θερμότητας/ψύξης από ότι αν εκμεταλλευόμασταν πλήρως την διαθέσιμη αβαθή γεωθερμική πηγή του τόπου. Δηλαδή, πέρα από την επίτευξη αποδοτικότερων και οικονομικότερων αποτελεσμάτων. Οι υβριδικές εγκαταστάσεις Γ.Α.Θ., μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου η γεωλογικές συνθήκες ή οι διαθέσιμες επιφάνειες του εδάφους δεν θα επιτρέπουν τη εγκατάσταση γεωεναλλακτών στο μέγεθος που είναι απαραίτητο για την κάλυψη των φορτίων του κτιρίου. Ιδιαίτερα αποτελούν λύση σε αστικά περιβάλλοντα. Λόγω των ποικίλων τεχνικών και τεχνολογιών με τους οποίους μπορούν να προκύψουν συνδυασμοί υβριδικών

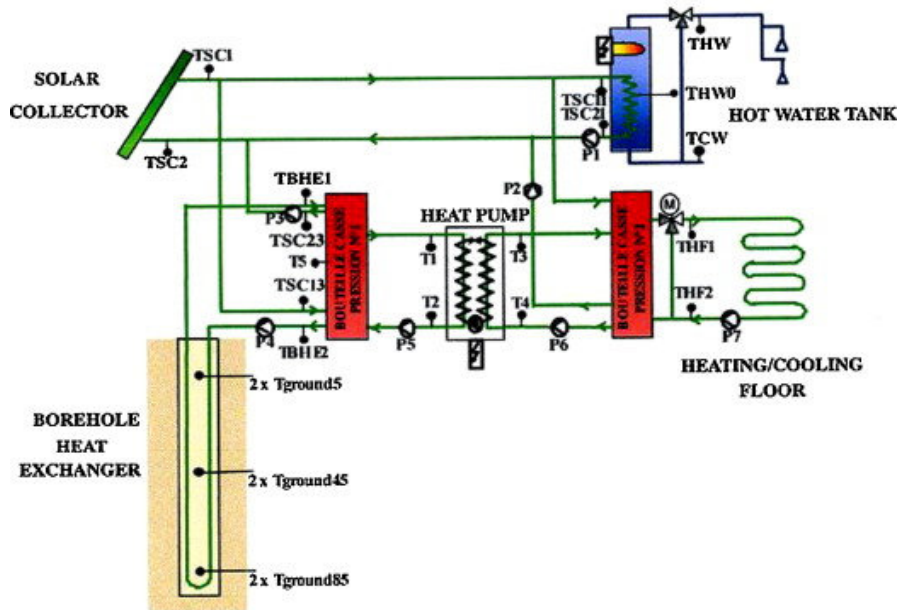


συστημάτων με την χρήση Γ.Α.Θ., έχουμε τον διαχωρισμό τους σε τρεις βασικές κατηγορίες.

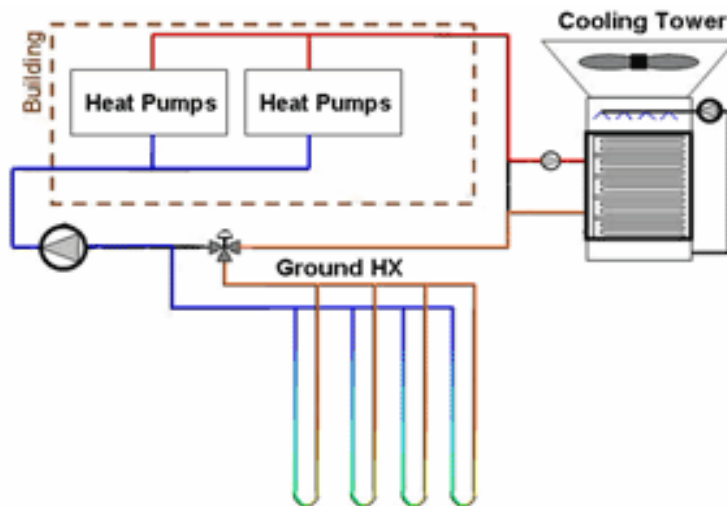
- Σε υβριδικά συστήματα που κατά τη λειτουργία τους, συνδυάζουν ταυτόχρονα διαφορετικού τύπου γεωεναλλάκτες (Σχήμα 4.5.1).
- Σε υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν γεωεναλλάκτες με διάφορες τεχνολογίες Α.Π.Ε.. Όπως ηλιοθερμικά (Σχήμα 4.5.2), συστήματα καύσης βιομάζας και άλλα. Καθώς και συνδυασμούς με συμβατικές λύσεις (π.χ. καυστήρες υγρών καυσίμων).
- Σε υβριδικά συστήματα που λειτουργούν με συμβατικά μέσα για την παραγωγή ενός τεχνητά διαμορφωμένου γεωθερμικού περιβάλλοντος. Εδώ, η αρχή λειτουργίας παραμένει η ίδια με ένα αμιγώς γεωθερμικό σύστημα, αλλά αλλάζουν τα μέσα πρόσδωσης και απορρόφησης της θερμότητας (Σχήμα 4.5.3). Αναλυτικότερα: Ο τύπος του υβριδικού αυτού συστήματος εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι τα φορτία που απαιτούνται για τη θέρμανση του κτιρίου είναι διαφορετικά από αυτά που απαιτούνται για τη ψύξη του. Γενικώς, η ψύξη είναι κυρίαρχη στις περισσότερες περιπτώσεις λόγω των απολαβών από εσωτερικά θερμικά κέρδη. Έτσι, αντί να αναβαθμίσουμε τον γεωεναλλάκτη θερμότητας να ανταποκριθεί το υψηλότερο φορτίο ψύξης, τον σχεδιάζουμε με βάση το μέγεθος του φορτίου θέρμανσης και προσθέτουμε ένα σύστημα που απορροφά θερμότητα από το κτίριο και την απορρίπτει μέσω ενός πύργου ψύξης στο γεωθερμικό σύστημα.



**Σχήμα 4.5.1** Υβριδικό σύστημα με ταυτόχρονη λειτουργία δύο διαφορετικών διατάξεων κλειστού κυκλώματος γεωεναλλακτών (κάθετη διάταξη στο έδαφος και βυθισμένος σε επιφανειακά νερά).



**Σχήμα 4.5.2** Υβριδικό σύστημα κλειστού γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας με ηλιακό συλλέκτη (πηγή: *Renato M. Lazzarin, Energy and Buildings, 2012*).



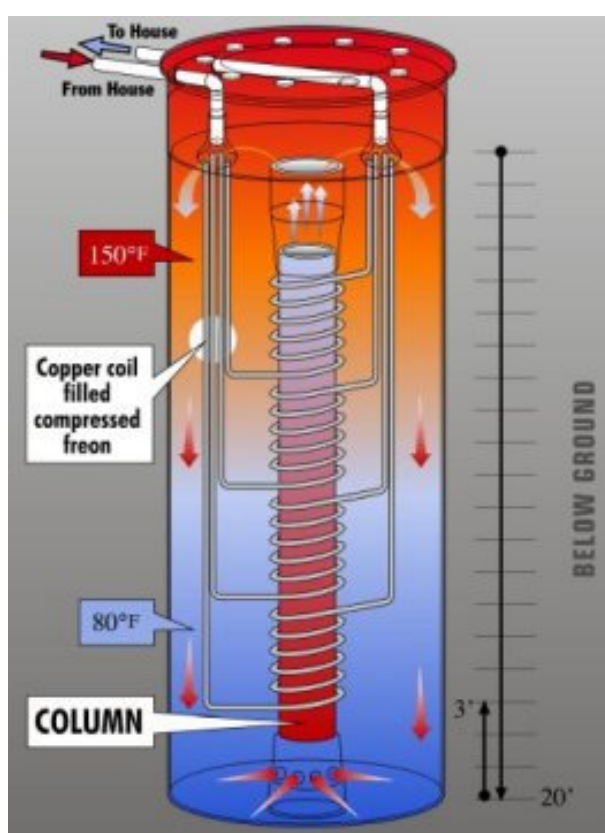
**Σχήμα 4.5.3** Υβριδικό σύστημα Γ.Α.Θ. με εναλλάκτη θερμότητας εδάφους και δημιουργία ενός τεχνητά διαμορφωμένου περιβάλλοντος με πύργο ψύξης.

#### 4.6. Γεωθερμική Αντλία GeoColumn

Το πρόβλημα έλλειψης χώρου για εκατοντάδες οριζόντιες εγκαταστάσεις γεωεναλλακτών άλλα και βαθιών γεωτρήσεων κάθετων βρόχων Γ.Α.Θ. έρχεται να λύσει η νέα μέθοδος που έχει αναπτύξει και πατεντάρει η εταιρεία GeoEnergy, LLC (GEE). Πρόκειται για ένα οικονομικά αποδοτικό, υβριδικό σύστημα αβαθούς γεωθερμίας με την εμπορική ονομασία GeoColumn (Σχήμα 4.6.1).

Η ευρεσιτεχνία GeoColumn είναι μια προκατασκευασμένη διάταξη γεωεναλλάκτη που τοποθετείται μέσα στο έδαφος σε κατακόρυφη θέση. Αποτελείται

από ένα κυλινδρικό δοχείο υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου το οποίο γεμίζεται με νερό. Εκεί μέσα τοποθετείται μια μόνιμη στήλη νερού που γύρω της τυλίγεται σε σπειροειδή διάταξη ένας εναλλάκτης θερμότητας με ψυκτικό υγρό. Το ψυκτικό υγρό εναλλάσσει θερμότητα με τη στήλη ύδατος, η οποία, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, αναγκάζει το νερό είτε να αύξηση είτε να μειώσει την θερμοκρασία του με αποτέλεσμα να έχουμε μια συνεχή μεταφορά θερμότητας μέσα στο δοχείο με το μηχανισμό της συναγωγής. Στη συνέχεια έχουμε ανταλλαγή θερμότητα μέσω του εξωτερικού τοιχώματος της διάταξης με την μάζα της γης. Παρατηρούμε ότι η λειτουργία είναι περίπου ίδια με αυτή της υδάτινης στήλης ανοικτού κυκλώματος. Το σύστημα σφραγίζεται με σκληρό καπάκι, το οποίο βρίσκεται σε βάθος περίπου 1m και επιτρέπει την πρόσβαση σε περίπτωση που απαιτηθεί επισκευή.



**Σχήμα 4.6.1** Σχηματική απεικόνιση στήλης GeoColumn και παράσταση του τρόπου λειτουργίας της.

Ένας γεωεναλλάκτης GeoColumn έχει διάμετρο, περίπου 70cm, ύψος γύρω στα 6m και αντιστοιχεί σε ένα τόνο ψύξης σε απαίτηση κλιματισμού, ανάλογα με το τύπο του εδάφους. Δηλαδή με περίπου 7m βάθος γεώτρηση για τη τοποθέτηση της GeoColumn (Εικόνες 4.6.2) επιτυγχάνουμε την ίδια απόδοση που για ένα κλειστό κατακόρυφο γεωεναλλάκτη θα χρειαζόμασταν γεωτρήσεις πολύ περισσότερων μέτρων ή που σε σύγκριση με μια τυπική οριζόντια διάταξη κλειστού κυκλώματος θα έπρεπε να δεσμεύσουμε μερικές δεκάδες τετραγωνικά μέτρα ελεύθερου εξωτερικού χώρου.

Το ότι είναι μια προκατασκευασμένη διάταξη μειώνει σημαντικά χρόνο εγκατάστασης στο χώρο που μας ενδιαφέρει με αποτέλεσμα να μειώνεται και το σχετικό κόστος, παράλληλα περιορίζονται αστοχίες κατά την εκτέλεση του έργου που μπορεί να οφείλονται σε κακοτεχνίες του τεχνικού προσωπικού. Η διάνοιξη των μικρών γεωτρήσεων που θα δεχτούν τη στήλη μπορεί να γίνουν εύκολα και πολύ γρηγορότερα σε σχέση με τα κλασικά κάθετα συστήματα γεωεναλλακτών. Άρα μπορούμε να επιτύχουμε σημαντική μείωση του κόστους διάτρησης το οποίο είναι συχνά ένα εμπόδιο για την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων.

Ο μικρός χώρος που καταλαμβάνουν επιτρέπει τα συστήματα αυτά να εγκατασταθούν με μεγάλη ευκολία σε αστικές και ημιαστικές περιοχές όπου η έλλειψη διαθέσιμου χώρου αποτελεί το κύριο πρόβλημα. Επίσης αυτές οι διατάξεις μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από δρόμους, πεζοδρόμια, διαμορφωμένους κήπους, νέες κατασκευές, ακόμη και κάτω από τα θεμέλια.



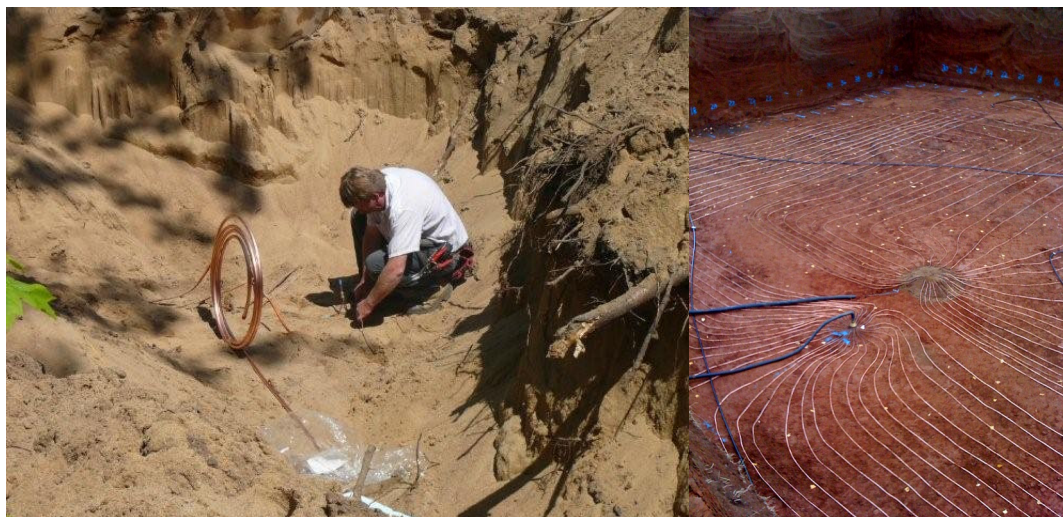
*Εικόνες 4.6.2 Στήλες GeoColumn σε εμπορική μορφή κατά την τοποθέτησή τους στο χώρο του οικοπέδου.*

#### **4.7. Συστήματα απευθείας μετάδοσης της θερμότητας**

Τα συστήματα άμεσης μετάδοσης θερμότητας (Direct Exchange (DX) Geothermal Heat Pumps) διαφέρουν από τα παραπάνω γιατί καταργούν το σύνηθες γεωεναλλάκτη που αποτελείται από υψηλής πυκνότητας πλαστικούς σωλήνες που διατρέχονται από το ενδιάμεσο φέρον ρευστό (συνήθως το νερό) για τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ του εδάφους και του χώρου στον οποίο θέλουμε να αποδώσουμε ή να απάγουμε θερμότητα. Η διαφοροποίηση αυτή επιτρέπει στα συστήματα αυτά να φτάσουν ελαφρώς υψηλότερες αποδόσεις, ενώ χρησιμοποιούν ένα σχετικά μικρότερο σύνολο θαμμένων σωληνώσεων για την μετάδοση της θερμότητας, μειώνοντας παράλληλα και το κόστος εγκατάστασης. Σε αυτά τα συστήματα, το ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστά κυκλώματα από σωληνώσεις μαλακού χαλκού (Εικόνες 4.7.1)



που τοποθετούνται στο έδαφος σε διάφορες διατάξεις (Σχήματα 4.7.2 και 4.7.3). Οι χάλκινες σωληνώσεις περιβάλλονται από ένα προστατευτικό στρώμα ειδικού κονιάματος ή κατάλληλου υλικού περιβλήματος για θερμικές καταπονήσεις που επιτρέπει όμως την αποτελεσματική μεταφορά της ενέργειας με το έδαφος, ανταλλάσσοντας άμεσα από αυτό θερμότητα μέσω των τοιχωμάτων του σωλήνα.



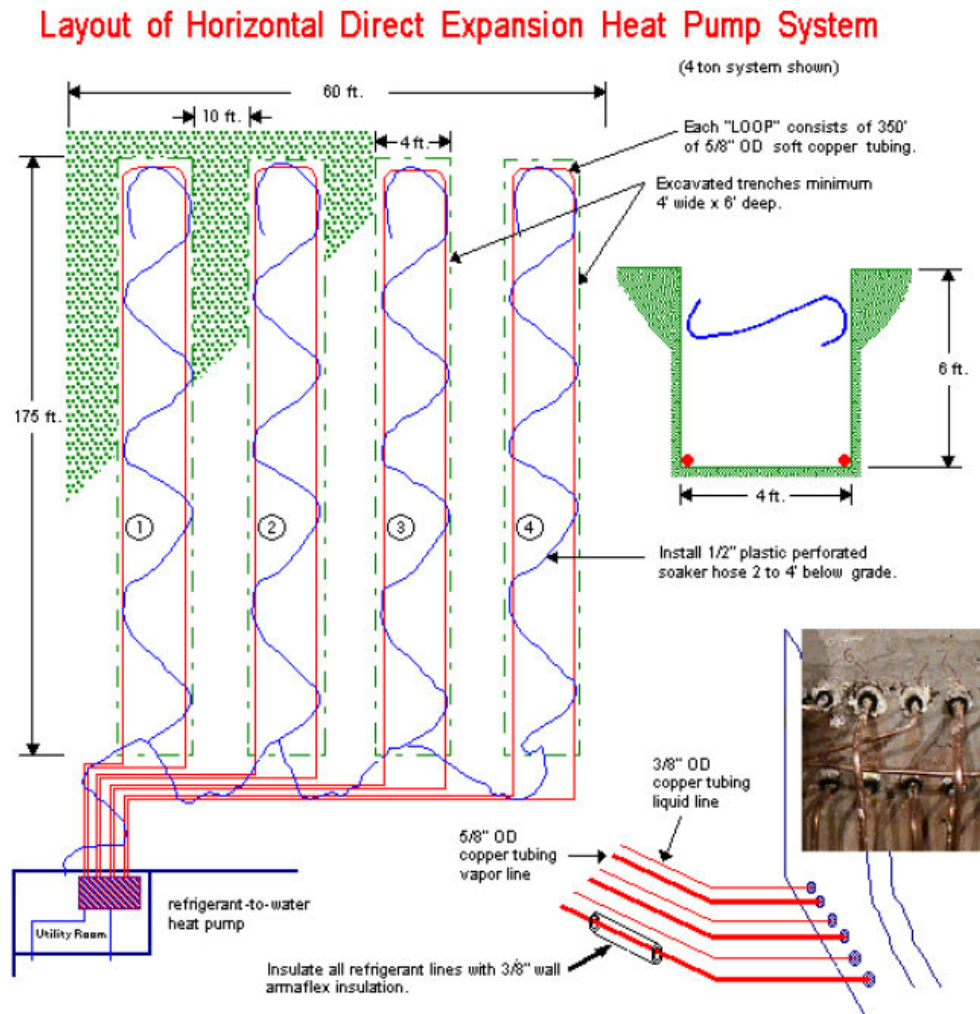
**Εικόνες 4.7.1** Εγκατάσταση συστήματος απευθείας μετάδοσης της θερμότητας σε εργοτάξιο.

Εξαλείφοντας τον ενδιάμεσο συλλέκτη θερμότητας, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου είναι πλησιέστερα στην θερμοκρασία του εδάφους, γεγονός που ελαττώνει την απαιτούμενη αναλογία συμπίεσης από την αντλία θερμότητας, μειώνοντας ταυτόχρονα και το μέγεθος και την κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία της αντλίας. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερο σε μέγεθος κύκλωμα ανταλλαγής θερμότητας, όχι μόνο σε μήκος αλλά και σε διάμετρο γεωτρήσεων, αφού οι σωληνώσεις χαλκού έχουν αποδειχθεί να είναι έξι φορές πιο αποδοτικές στη μετάδοση θερμότητας από ότι οι αγωγοί πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά κλειστά γεωθερμικά συστήματα.

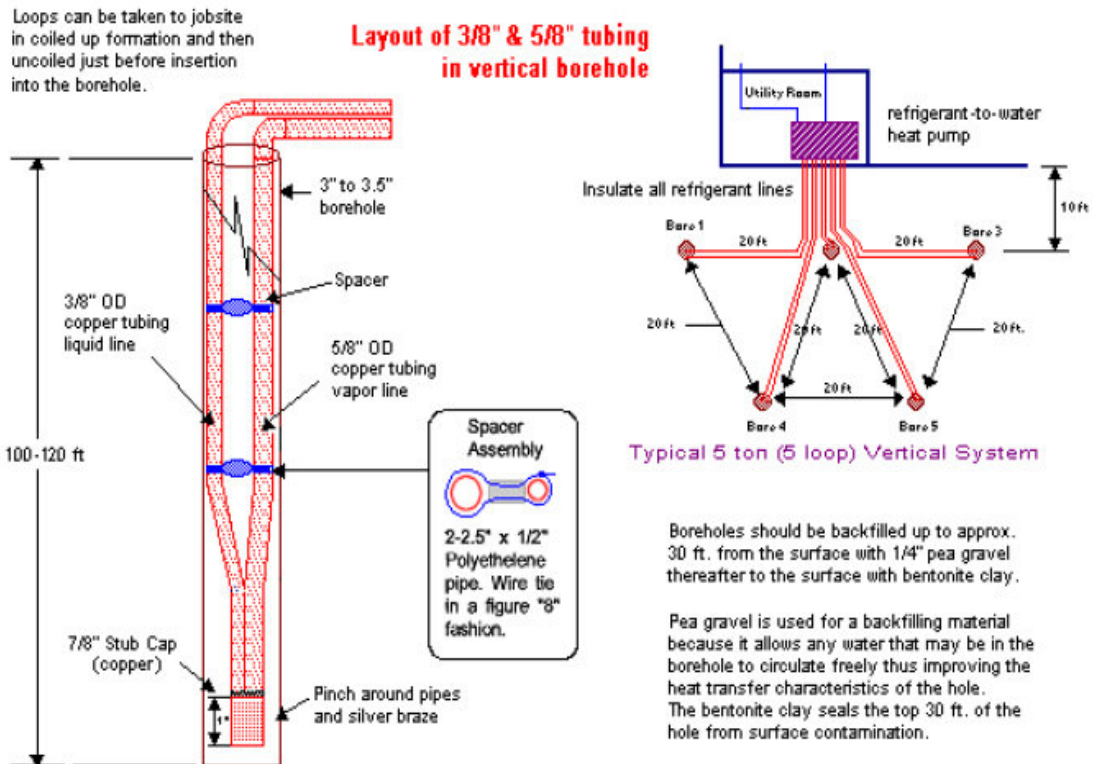
Τα συστήματα άμεσης μετάδοσης θερμότητας μπορούν να εγκατασταθούν σε οριζόντια διάταξη, κατακόρυφη σχήματος U και διαγώνια διάταξη. Τα οριζόντια συστήματα απαιτούν 115m περίπου αγωγού από χαλκό ανά τόνο παραγωγικής ικανότητας του συστήματος (3,5kWh) σε αντίθεση με τα κλειστά κυκλώματα πολυαιθυλενίου τα οποία απαιτούν 150 με 165m μήκος αγωγού ανά τόνο συστήματος. Παρομοίως, στα κατακόρυφα συστήματα άμεσης μετάδοσης θερμότητας, απαιτείται διάμετρος γεώτρησης γύρω στα 7cm με βάθος 30 με 40m ανά τόνο, εν αντιθέσει με 10-15cm διάμετρο γεώτρησης και βάθος 65 με 100m συμβατικών κατακόρυφων κλειστών κυκλωμάτων πολυαιθυλενίου. Συνεπώς, απαιτείται μικρότερη απαιτούμενη επιφάνεια εγκατάστασης, ιδιαίτερα για τα οριζόντια συστήματα. Η διαγώνια διάταξη που είναι δυνατή μόνο στα συστήματα της άμεσης μετάδοσης θερμότητας, απαιτεί μια πολύ μικρή περιοχή στην επιφάνεια του



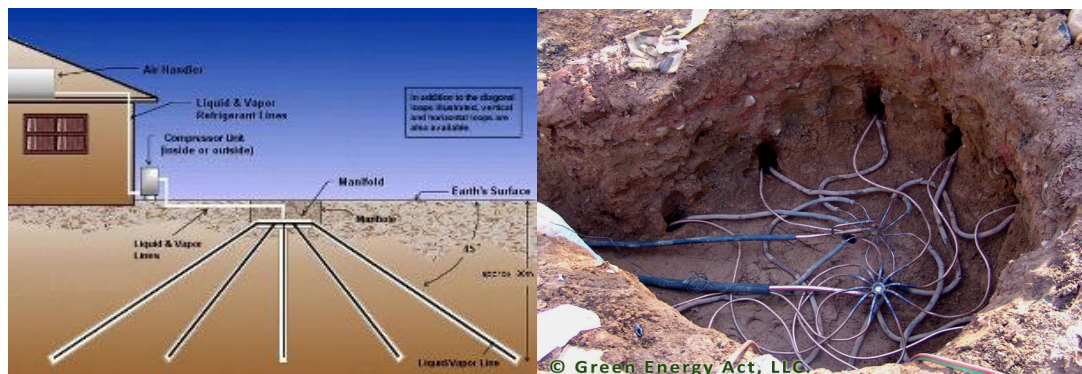
εδάφους σε σχέση με τον υπεδάφιο όγκου που εκμεταλλεύεται το σύστημα ως δεξαμενή θερμότητας. Όπως γίνεται αντιληπτό, ένας τέτοιος γεωεναλλάκτης ενδείκνυται όπου ο εξωτερικός χώρος είναι περιορισμένος ή ακόμη καλύτερα σε περιπτώσεις που είναι είδη διαμορφωμένος και δεν είναι επιθυμητή η αναμόρφωση του. Σε αυτή την περίπτωση ανοίγεται ένας ρηχός λάκκος με έκταση μικρότερη του  $1m^2$ , με τις γεωτρήσεις να ανοίγονται από εκεί ακολουθώντας μια ακτινική διάταξη προς τα κάτω και προς τα έξω, υπό γωνία ως προς τη βάση διάνοιξης (Σχήμα 4.7.4 και Εικόνα 4.7.5). (πηγή: *Copper Development Association Inc*)



**Σχήμα 4.7.2** Σχέδιο διάταξη οριζόντιας τοποθέτησης σε σύστημα απευθείας εκτόνωσης, μεγέθους 4ton. Κάτω δεξιά, απεικονίζεται η μόνωση που περιβάλλει τους βρόχους μαλακού χαλκού. (πηγή: [www.earthrivergeo.com](http://www.earthrivergeo.com))



**Σχήμα 4.7.3** Σχέδιο διάταξη κάθετης τοποθέτησης χαλκοσωλήνων σε σύστημα απευθείας εκτόνωσης, μεγέθους 5ton. (πηγή: [www.earthrivergeo.com](http://www.earthrivergeo.com))



**Σχήμα 4.7.4** Σύστημα άμεσης μετάδοσης θερμότητας σε ακτινική διάταξη. **Εικόνα 4.7.5** Οι απολήξεις της ακτινικής διάταξης στη βάση διάνοιξης.

Παρόλα αυτά μειονεκτούν έναντι των συμβατικών συστημάτων πολυαιθυλενίου στο γεγονός ότι ο χαλκός αποτελεί υλικό επιρρεπές σε φαινόμενα οξείδωσης και διάβρωσης σε αντίθεση με την ανθεκτικότητα που χαρακτηρίζει το πολυαιθυλένιο. Επιπλέον, με τη λειτουργία συστημάτων απευθείας μετάδοσης θερμότητας μπορεί να προκληθεί ξήρανση του εδάφους από την άνοδο της θερμοκρασίας ιδιαίτερα σε λεπτόκοκκα εδάφη, μειώνοντας έτσι την θερμική τους αγωγιμότητα και συνεπώς την αποδοτικότητα του συστήματος. Για το λόγο αυτό, τέτοια συστήματα αποδίδουν καλύτερα σε υγρά αμμώδη εδάφη.

#### **4.8. Επιλογή συστήματος γεωθερμίας**

Όταν διαπιστωθεί ότι μπορεί να συνδυαστεί το εσωτερικό δίκτυο του κτιρίου (πρόσδωσης θέρμανσης/ψύξης) με σύστημα Γ.Α.Θ., τότε θα επιλεγθεί το είδος του εξωτερικού κυκλώματος που πρόκειται να εφαρμοστεί. Θα εξεταστεί λοιπόν καταρχήν, εάν υπάρχει υπόγειο νερό στη συγκεκριμένη περιοχή ώστε να προχωρήσουμε στη λύση των υδρογεωτρήσεων. Η λύση αυτή απαιτεί τον ελάχιστο περιβάλλοντα χώρο, αφού χρειάζονται μόνον 2 υδρογεωτρήσεις με διάμετρο της τάξεως των 15-20cm. Είναι οικονομικά συμφέρουσα λύση, σε περίπτωση που το υπόγειο νερό δε βρίσκεται σε πολύ μεγάλα βάθη, αλλά και σε παραθαλάσσιες περιοχές, αφού δεν παίζει ρόλο η ποιότητα του νερού αλλά μόνον η ποσότητα του.

Στην περίπτωση που στην περιοχή δεν υπάρχει υπόγειο νερό, θα πρέπει να εφαρμοστεί κλειστό κύκλωμα, ήτοι να γίνει τεχνητή ανακυκλοφορία νερού σε σωληνώσεις ενταφιασμένες στο υπέδαφος. Ο τύπος του κλειστού κυκλώματος που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το διαθέσιμο περιβάλλοντα χώρο. Ένα οριζόντιο σύστημα με σπειρωτή διαμόρφωση των σωλήνων απαιτεί λιγότερο εξωτερικό χώρο, δηλαδή περίπου τόσα τετραγωνικά, όσα είναι και ο χώρος που θα κλιματιστεί. Ανάλογη είναι και η λύση του «κωνικού» συστήματος όπου χρειαζόμαστε περίπου το μισό περιβάλλοντα χώρο από ότι σε ένα οριζόντιο σύστημα και διαμορφώνουμε τις σωληνώσεις σε μορφή κώνου. Εδώ, ο εναλλάκτης τοποθετείται σε μεγαλύτερο βάθος, περίπου 3,5m και παράλληλα εξοικονομείτε και χώρος σε πλάτος.

Τέλος, στην περίπτωση ύπαρξης ελάχιστου περιβάλλοντος χώρου, τότε θα πρέπει να γίνει κάθετο σύστημα δηλαδή να αναπτυχθεί ο γεωσυλλέκτης σε βάθος. Θα πρέπει να γίνουν οπές βάθους 10-200m. Ο αριθμός των απαραίτητων οπών καθορίζεται σύμφωνα με τα υπολογιζόμενα φορτία θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου, και τοποθετούνται περιμετρικά του χώρου.

#### **4.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταξύ των γεωεναλλακτών**

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 4.9.1, 4.9.2 και 4.9.3 τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα των συνηθέστερων τύπων γεωεναλλακτών που συναντώνται στις περισσότερες εφαρμογές. Σκοπός είναι να δοθεί μια όσο το δυνατόν πληρέστερη αλλά και συνοπτική εικόνα για τα ανοικτού τύπου (γεωτρήσεις υπόγειων υδάτων) και κλειστού κύκλου κυκλώματα (κάθετο και οριζόντιο) σε ότι αφορά τις μεταξύ τους διαφορές. Εστί θα μπορεί ένας μελετητής να στοχεύσει με μεγαλύτερη ευκολία στο καταλληλότερο τύπο συστήματος που θέλει να εφαρμόσει. Έχοντας ως βασική αρχή για την κατάλληλη επιλογή του γεωεναλλάκτη, τις ενεργειακές απαιτήσεις του κάθε κτιρίου, τη μορφολογία και τη ποιότητα του εδάφους.

<b>Πίνακας 4.9.1 Ανοικτού τύπου αβαθής γεωθερμία</b>	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
– Σταθερή και υψηλή απόδοση σε όλη τη διάρκεια του έτους.	– Υψηλό κόστος επένδυσης
– Απαιτείται μικρή επιφάνεια εδάφους	– Εξειδικευμένη εγκατάσταση
– Πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης (COP >5)	– Δυσκολότερη αδειοδότηση
– Ενδείκνυται για ενεργή και παθητική ψύξη.	– Περιορισμοί στη ποιότητα νερού
	– Άμεση εξάρτηση της απόδοσης του συστήματος από την παροχή νερού της γεώτρησης.
	– Μεγαλύτερο κόστος συντήρησης (κυρίως λόγω των επικαθίσεων στο πρωτεύων κύκλωμα του γεωεναλλάκτη).

<b>Πίνακας 4.9.2 Κλειστού κατακόρυφου τύπου αβαθής γεωθερμία</b>	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
– Σταθερή και υψηλή απόδοση σε όλη τη διάρκεια του έτους.	– Υψηλό κόστος επένδυσης
– Απαιτείται μικρή επιφάνεια εδάφους.	– Εξειδικευμένη εγκατάσταση
– Βαθμός απόδοσης (COP = 4,5 - 5)	– Δυσκολότερη αδειοδότηση
– Ενδείκνυται για ενεργή και παθητική ψύξη.	

<b>Πίνακας 4.9.3 Κλειστού οριζόντιου τύπου αβαθής γεωθερμία</b>	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
– Εύκολη εγκατάσταση	– Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για την τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη.
– Μικρό κόστος εγκατάστασης	– Σχετικά μειωμένη απόδοση στη ψύξη.
– Βαθμός απόδοσης (COP = 4 - 4,5)	– Περιορισμοί στη φύτευση και αποκλεισμός της επιφάνειας από χρήσεις που μπορεί να επηρεάσουν το σύστημα.
– Ευκολότερη αδειοδότηση	

*Πίνακες 4.9.1, 4.9.2 και 4.9.3 τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα των συνηθέστερων τύπων γεωεναλλακτών.*

## 4.10 Διαστασιολόγηση γεωεναλλάκτη

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στην διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη. Οι παράμετροι, που καθορίζουν την επιλογή του είδους του γεωεναλλάκτη και του μεγέθους του διαφέρουν από εφαρμογή σε εφαρμογή. Κάθε φορά το απαιτούμενο θερμικό και ψυκτικό φορτίο του κτιρίου, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και η διαμόρφωση του οικοπέδου διαφοροποιούνται. Η έλλειψη μελέτης, η λανθασμένη εκτίμηση των παραμέτρων και η χρήση εμπειρικών κανόνων οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις από το βέλτιστο. Στην περίπτωση της υποδιαστασιολόγησης του συστήματος χάνεται ο χαρακτήρας της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας και οδηγεί σε συστήματα που καταναλώνουν υπερβολικές ποσότητες ρεύματος ή που τελικά αστοχούν. Στην περίπτωση της υπερδιαστασιολόγησης τα συστήματα γίνονται συνήθως ασύμφορα ως προς το αρχικό τους κόστος και την ενέργεια που καταναλώνουν κατά την λειτουργία τους.

Κάποιες γενικές εκτιμήσεις για την διαστασιολόγηση αυτών των συστημάτων, προσαρμοσμένες στις συνθήκες της χώρας μας έχουν δοθεί από τον Κ.Καρύτσα στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4.10.1, 4.10.2 και 4.10.3). Σε κάθε περίπτωση όμως τα μεγέθη αυτά δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τα αποτελέσματα της μελέτης του κάθε έργου, ξεχωριστά. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν για μια πρώτη εκτίμηση του έργου και για έλεγχο της μελέτης σκοπιμότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10.1 Σχεδιασμός συστήματος ΓΑΘ Ανοικτού Κυκλώματος	
Έστω	
Θερμικές ανάγκες κτιρίου	20 kW <sub>(th)</sub>
COP αντλίας θερμότητας	4,5
Θερμοκρασιακή διαφορά σχεδιασμού ( $\Delta T$ ) στον εξαμιστή της Α/Θ	4 K
Τότε	
Η απαιτούμενη παροχή είναι:	3,34 m <sup>3</sup> /h

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10.2 Μήκος Κατακόρυφου Εναλλάκτη Εδάφους	
Έστω	
Θερμικές ανάγκες κτιρίου	20 kW <sub>(th)</sub>
COP αντλίας θερμότητας	4,5
Πετρώματα με μέση ειδική απόληψη θερμότητας	60 W/m
Τότε	
Το μήκος κατακόρυφων εναλλακτών εδάφους θα πρέπει να είναι:	260 m



ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10.3 Μήκος Οριζοντίου Εναλλάκτη Εδάφους	
Έστω	
Θερμικές ανάγκες κτιρίου	20 kW <sub>(th)</sub>
COP αντλίας θερμότητας	4,5
Έδαφος με μέση ειδική απόληψη θερμότητας	30 W/m <sup>2</sup>
Τότε	
Το εμβαδόν εφαρμογής θα πρέπει να είναι:	518 m <sup>2</sup>

*Πίνακες 4.10.1, 4.10.2 και 4.10.3 Γενική εκτίμηση διαστασιολόγησης για τις τρεις κατηγορίες εναλλακτών αβαθούς γεωθερμίας για ίδιες θερμικές ανάγκες κτιρίου. (πηγή: Δρ Κ. Καρύτσας, Διατάξεις ΓΑΘ, ΚΑΠΕ 2006)*

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

Συστήματα διανομής θερμικών και ψυκτικών φορτίων  
στο εσωτερικό των χώρων

## **5. Συστήματα διανομής θερμικών και ψυκτικών φορτίων στο εσωτερικό των χώρων**

### **5.1. Εισαγωγή στα τερματικά συστήματα**

Με τον όρο τερματικά συστήματα εκπομπής θερμότητας/ψύξης, εννοείται το σύνολο από τα δίκτυα, τα εξαρτήματα και τους αυτοματισμούς που φροντίζουν για την απόδοση της παραγόμενης θερμότητας ή και ψύξης στο εσωτερικό των κτιρίων. Η μετάδοση αυτών των φορτίων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους ανάλογα κυρίως με τις προτιμήσεις του χρήστη ή τις υποδείξεις σχετικού με το θέμα μηχανικού. Οι δυνατές επιλογές είναι:

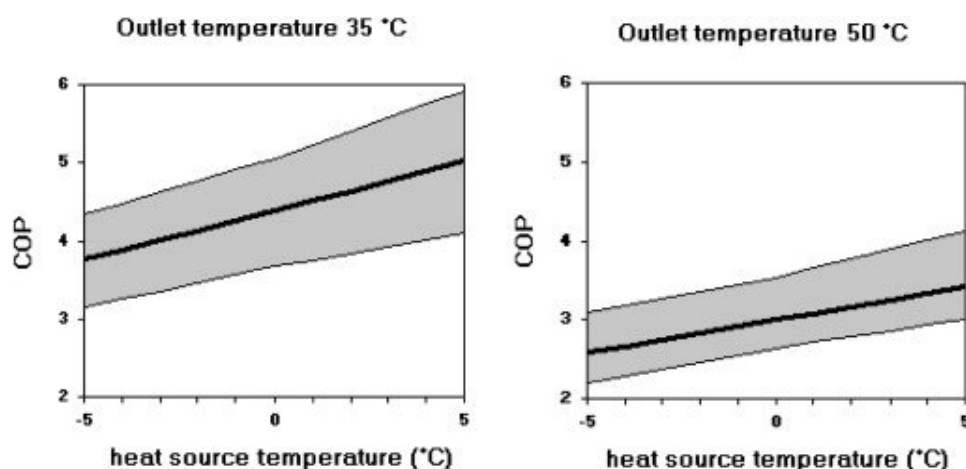
- Συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας (low-temperature systems), ξηράς και υγρής δόμησης. Διακρίνονται περεταίρω σε:
  - ενδοδαπέδια συστήματα (under floor systems)
  - ενδοτοιχία συστήματα (wall systems)
  - συστήματα οροφής (ceiling systems)
- Μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα (fan coil units)
- Σώματα χαμηλών θερμοκρασιών (καλοριφερ)
- Κανάλια αέρα
- console units
- ή συνδυασμός των παραπάνω

Τα γεωθερμικά συστήματα λειτουργούν εξίσου καλά, με όποιου τύπου μονάδες και αν επιλεγούν από τον χρήστη, το οποίο μπορεί να σχεδιαστεί στις δικές του ανάγκες και απαιτήσεις, πάντα όμως προς την κατεύθυνση της επίτευξης των επιθυμητών συνθηκών σε θέρμανση, ψύξη ή και κλιματισμό των χώρων. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ένα γεωθερμικό σύστημα να προσαρμοστεί στην ήδη υπάρχουσα τερματική εγκατάσταση απόδοσης θερμότητας/ψύξης. Απαλλάσσοντας μας από την ταλαιπωρία των πρόσθετων εργασιών σε εσωτερικούς χώρους και την αύξηση του αρχικού κόστους εγκατάστασης.

Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικό να εξεταστεί και η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος που εξαρτάται κατά πολύ από την απόδοση της αντλίας θερμότητας. Όπως έχουμε δει σε προηγούμενο κεφάλαιο η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας είναι συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας της πηγής και της θερμοκρασίας εξόδου της. Άρα για μια αντλία θερμότητας που συνδέεται με ένα σύστημα που εκμεταλλεύεται την αβαθή γεωθερμία, αυτή η διαφορά θερμοκρασίας θα προκύπτει από τη θερμοκρασία του εδάφους ή υδροφορέα και την απαιτούμενη θερμοκρασία

στο σύστημα διανομής. Όσο μικρότερη είναι αυτή η διαφορά θερμοκρασίας τόσο υψηλότερος θα είναι ο συντελεστής απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Για παράδειγμα, μετρήσεις του COP σε κέντρο δοκιμών αντλιών θερμότητας στην Ευρώπη, έδειξαν ότι για θερμοκρασία εδάφους 5°C, μπορεί να επιτευχθεί COP=5 με θερμοκρασία θέρμανσης 35°C και τιμές γύρω στο COP=3,5 με θερμοκρασία θέρμανσης 50°C (Σχήμα 5.1.1). Δηλαδή, εάν η θερμοκρασία που απαιτείται στο σύστημα διανομής πέσει κατά 15°C, ο COP της αντλίας θερμότητας θα αυξηθεί κατά 30% περίπου. Είναι ως εκ τούτου σημαντικό να χρησιμοποιείτε η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία στο σύστημα διανομής, εφόσον η θερμοκρασιακή στάθμη της αβαθούς γεωθερμίας θεωρείται σχεδόν σταθερή.



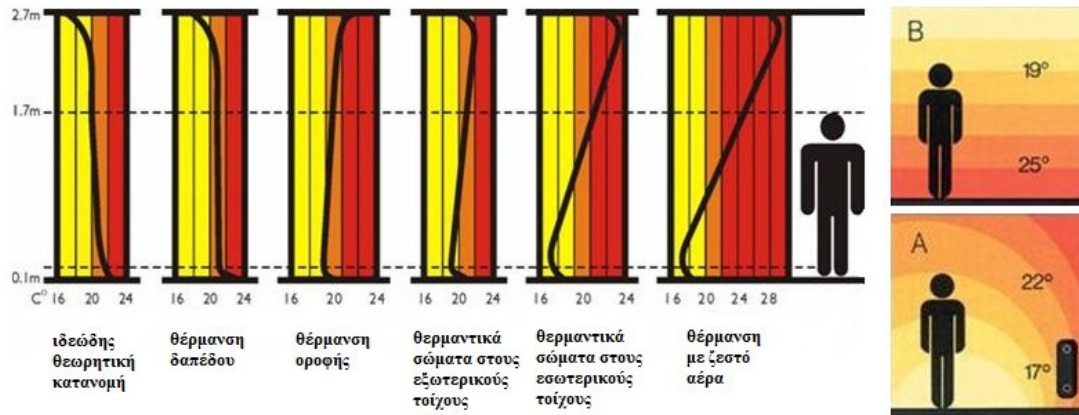
**Σχήμα 5.1.1** Τιμές COP για αντλίες θερμότητας που μετρήθηκαν στο κέντρο δοκιμών αντλιών θερμότητας στο Töss της Ελβετίας.

## 5.2. Συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας

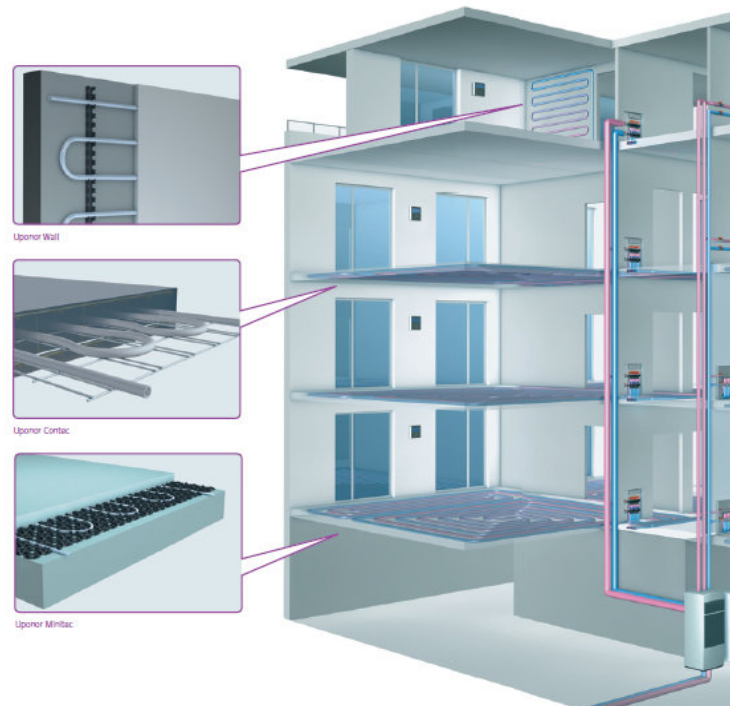
Ένα σύστημα θέρμανσης/ψύξης χαμηλών θερμοκρασιών ακολουθεί την ενεργειακή εναλλαγή μεταξύ ανθρώπινου οργανισμού και θερμαινόμενης-ψυχόμενης επιφάνειας και δημιουργεί τις απαραίτητες προϋποθέσεις για ένα ιδανικό εσωτερικό θερμοκρασιακό προφίλ στο χώρο (Σχήματα 5.2.1). Σε αντίθεση με τα κλασικά συστήματα κλιματισμού που μπορεί να εμφανίζουν ακραία θερμοκρασιακά φαινόμενα, υψηλές ταχύτητες αέρα στον χώρο, παγωμένες παροχές αέρα, ενώ σε μερικά από αυτά έχουμε και τη δημιουργία θορύβου.

Επίσης, σημαντικό είναι ότι τα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα (Σχήμα 5.2.2) λειτουργούν με χαμηλότερες θερμοκρασίες προσαγωγής στην περίπτωση της θέρμανσης και υψηλότερες στην περίπτωση της ψύξης, συγκρινόμενα πάντα με τις υπόλοιπες τερματικές εγκαταστάσεις (Πίνακας 5.7.1). Εξαιτίας αυτής της λειτουργίας επιτυγχάνουμε καλύτερες αποδόσεις στην κατανάλωση αλλά και στην κατανομή θερμότητας. Για αυτό και προτείνετε η εφαρμογή τους με συστήματα που αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπου η ελαχιστοποίηση της τελικής ενέργειας μειώνει

σημαντικά το κόστος εγκατάστασης συστημάτων Α.Π.Ε. Ιδιαίτερα στα ενεργειακά συστήματα αβαθούς γεωθερμίας όπου οι θερμοκρασίες που λαμβάνουμε από το έδαφος είναι χαμηλές, τα συστήματα αυτά βοηθούν σημαντικά στην βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.



**Σχήματα 5.2.1** Διαγράμματα θερμοκρασίας κατανομής στο χώρο από διάφορα θερματικά συστήματα θέρμανσης. Είναι εμφανές ότι η θέρμανση δαπέδου συνιστά το ιδανικό σύστημα για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας.



**Σχήμα 5.2.2** Συνδεδεμένη Γ.Α.Θ. με συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών (δαπέδου, οροφής, τοίχου). Παρατηρούμε ότι δεν καταλαμβάνουν πολύτιμο χώρο και προσφέρουν σχεδόν απεριόριστη ελευθερία σε σχέση με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό εσωτερικών χώρων.



### 5.2.1. Θέρμανση και ψύξη ξηράς δόμησης για δάπεδο, οροφή και τοίχο

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης ξηράς δόμησης δαπέδου, οροφής και τοίχου (Εικόνες 5.2.1.1) παίρνουν ολοένα και περισσότερο μεγαλύτερη θέση στην αγορά και προσδίδουν αξία σε όλες τις κατασκευές. Τα υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας αυτών των συστημάτων καθώς επίσης και η γρήγορη ανταπόκριση στις απαιτούμενες αποδόσεις τα κατατάσσουν στην υψηλότερη κλίμακα άνεσης και ευχαρίστησης. Κατά μια έννοια, με τα συστήματα αυτά οι δομικές επιφάνειες του εσωτερικού χώρου των κτιρίων ενεργοποιούνται θερμικά.

Ο συνδυασμός τέτοιων επιφανειών για τον σκοπό της θέρμανσης και ψύξης επιτρέπει πολλαπλές λύσεις σε επίπεδα χαμηλής ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση και ψύξη τόσο με το στεγνό όσο και με τον υγρό τρόπο τοποθέτησης. Το στοιχείο ξηράς δόμησης θέρμανσης/ψύξης στην περίπτωση της στεγνής τοποθέτησης είναι κατάλληλο για την τοποθέτηση σε δάπεδο, οροφή και τοίχο, εσωτερικά των κτιρίων. Τα στοιχεία θέρμανσης/ψύξης κατασκευάζονται συνήθως από γυψοσανίδες με φρεζαρισμένους αρμούς σε μορφή σαλίγκαρου ή μαιάνδρου που έχουν στις εσοχές τους σωλήνα με διάφορα βήματα τοποθέτησης. Οι πλάκες αυτές θα πρέπει να είναι πλήρως ελεγμένες, οικολογικές, χημικά ουδέτερες με πιστοποιητικά καταλληλότητας για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα στοιχεία θέρμανσης-ψύξης διατίθενται σε διάφορες διαστάσεις και εξασφαλίζουν συνδυαζόμενα υψηλούς βαθμούς απόδοσης σε επιφάνειες ψύξης και θέρμανσης.



*Εικόνες 5.2.1.1 Συστήματα θέρμανσης και ψύξης ξηράς δόμησης.*

### 5.2.2. Θέρμανση και ψύξη υγρής δόμησης για δάπεδο οροφή και τοίχο

Στην περίπτωση της θέρμανσης/ψύξης με υγρό τρόπο κατασκευής θα χρησιμοποιηθούν ράγες κατασκευασμένες από σκληρό και υψηλής σταθερότητας πολυπροπυλένιο ή κατάλληλο μεταλλικό πλέγμα στήριξης ή και ειδικές πλάκες

κόμβων. Έτσι ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση και σταθεροποίηση των σωλήνων κυκλοφορίας νερού. Κατόπιν γίνεται ο εγκιβωτισμός των σωληνώσεων σε κατάλληλου τύπου τσιμεντοκονίαμα ή άλλου ειδικού τύπου κονιάματα που είναι πιο αποδοτικά στην μετάδοση θερμότητας (Εικόνες 5.2.2.1).



*Εικόνες 5.2.2.1 Κατασκευή ενδοδαπέδιων, ενδοτοιχίων και συστήματα «υγρού» τύπου οροφής για θέρμανση και ψύξη.*

### **5.2.3. Εκλογή συστημάτων χαμηλών θερμοκρασιών**

Στα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας συναντάμε τα πιο αποδοτικά θερματικά συστήματα σε κατοικίες, που συνδυάζονται με Γ.Α.Θ., σε σχέση με όλες τις δυνατές επιλογές που θα δούμε παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, ο πιο αποτελεσματικός τύπος της θέρμανσης χώρου με Γ.Α.Θ. είναι το σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης (Πίνακας 5.2.3.1). Ο ιδανικός σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να δίνει θερμοκρασίες στην επιφάνεια του δαπέδου που δεν θα υπερβαίνουν τους 26°C και να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μια διαφορά θερμοκρασίας νερού περίπου 5°C. Η ενδοδαπέδια θέρμανση θερμαίνει δομικά στοιχεία του χώρου με αποτέλεσμα να παρουσιάζει αδράνεια σε γρήγορες κλιματικές εναλλαγές. Για αυτό το λόγο και προτιμάται σε ορεινά και ψυχρά κλίματα όπου οι κλιματικές εναλλαγές είναι αργές και η θέρμανση απαιτείται συνεχώς.

Βέβαια, αν πρωταρχικός στόχος είναι η ψύξη του κτιρίου, τότε η ενδοδαπέδια θέρμανση δεν αποτελεί την καλύτερη λύση. Με την ενδοδαπέδια σωλήνωση, όταν χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του χώρου, επιτυγχάνεται μερικός δροσισμός του κτιρίου. Αλλά κι γι' αυτόν χρειάζεται μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό, στην εγκατάσταση και τους αυτοματισμούς που θα την ελέγχουν, γιατί μπορεί, αν δεν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σωστά να υπάρξει υγρασία του δαπέδου, ενώ μπορεί να προκαλέσει υγρασία και στο σκυρόδεμα του κτιρίου. Σε αυτή τη περίπτωση μπορούμε να εφαρμόσουμε τα συστήματα σωληνώσεων τοίχου και

οροφής, όπου θεωρούνται τα καλύτερα από πλευράς ενεργειακής απόδοσης άλλα καλής αίσθησης δροσισμού ή ψύξης.

θερμοκρασία °C	ενδοδαπέδια θέρμανση με χρήση φύλλων αλουμινίου	τυπική ενδοδαπέδια θέρμανση
προσαγωγής	30	50
επιστροφής	25	40

**Πίνακας 5.2.3.1** Σύγκριση δύο συστημάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Παρατήρηση: Τα δάπεδα από τσιμεντοκονία έχουν θερμική αγωγιμότητα 1,4 W/mk ενώ το αλουμίνιο έχει θερμική αγωγιμότητα 200 W/mk. Αυτό σημαίνει ότι η θερμότητα μπορεί να διανεμηθεί 140 φορές γρηγορότερα.

### 5.3. Μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα

Οι μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα (fan coil units), είναι ένα σύστημα από εσωτερικές μονάδες που μεταφέρουν την θερμότητα ή την ψύξη στους διάφορους χώρους μέσω της τροφοδοσίας τους με νερό κατάλληλης θερμοκρασίας. Αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού που προσαρμόζεται στις σχεδιαστικές απαιτήσεις του χώρου, καθότι διατίθενται σε μονάδες κρυφού και εμφανούς τύπου, δαπέδου ή οροφής (Εικόνες 5.3.1) και συνδυάζεται άψογα με συστήματα Γ.Α.Θ. (Σχήμα 5.3.2).

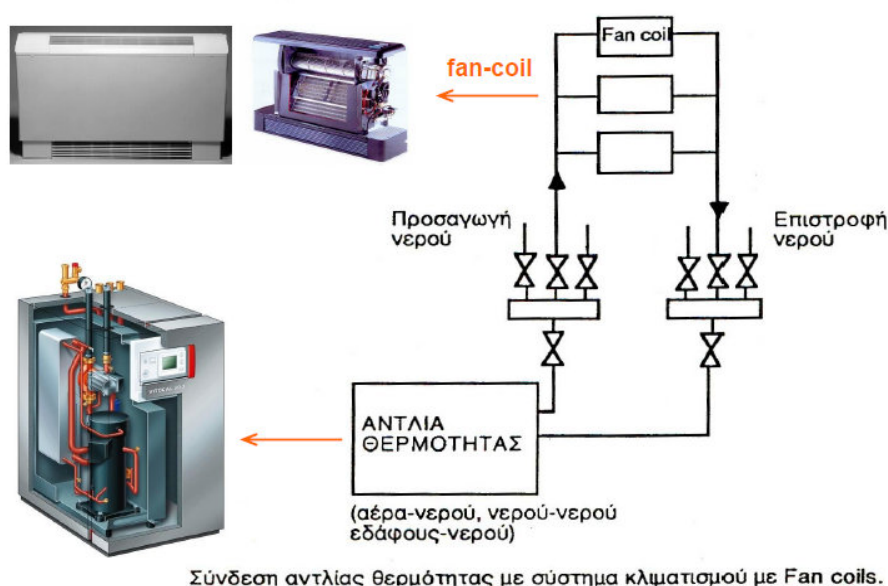


**Εικόνες 5.3.1** Διάφοροι τύποι μονάδων εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα.

Σε ένα κεντρικό σύστημα με fan coils παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας, της ταχύτητας προσαγωγής του αέρα και της ρύθμισης on/off

λειτουργίας, ανά χώρο. Η λειτουργία τους είναι απλή και με σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος γίνεται τελείως αθόρυβη. Η στάθμη θορύβου εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, καθώς και την ταχύτητα διαστασιολόγησης. Οι μονάδες κρυφού τύπου εκμηδενίζουν τη στάθμη θορύβου και τοποθετούνται με στόμια ή κανάλια αέρα.

Σε κτίρια προσωρινής διαμονής, όπως και σε χώρους συνάθροισης κοινού, τα fan coils αποτελούν μια καλή και αξιόπιστη λύση, όπως είναι εξαιρετική λύση για υφιστάμενα κτίρια που θα ήθελαν ένα καλύτερο τρόπο ψύξης από τις τοπικές κλιματιστικές μονάδες, χωρίς να γίνει εκτεταμένη ανακατασκευή του κτιρίου.

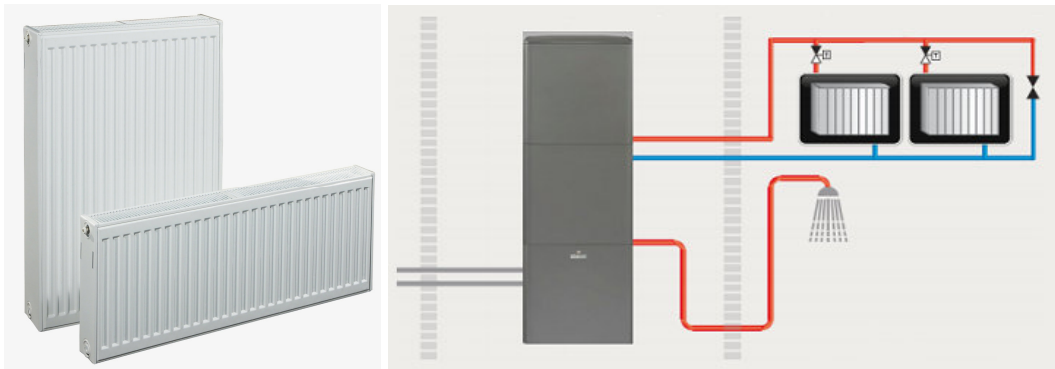


Σχήμα 5.3.2 Σύστημα Γ.Α.Θ. συνδεδεμένης με fan coil units.

## 5.4. Θερμαντικά σώματα

Τα κλασικά θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ, Εικόνα 5.4.1) μπορούν να συνδυαστούν με γεωθερμικό σύστημα (Σχήμα 5.4.2) για την παραγωγή θέρμανσης μόνο και όχι ψύξης ή δροσισμού. Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος η γεωθερμική αντλία θερμότητας πρέπει να παράγει νερό υψηλότερης θερμοκρασίας από ότι σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα π.χ. ενδοδαπέδια θέρμανση ή fan coil units. Ως εκ τούτου απαιτείται υψηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του χαμηλότερου συντελεστή απόδοσης. Παρά το γεγονός όμως ότι η ηλεκτρική κατανάλωση είναι υψηλότερη και ο συντελεστής απόδοσης χαμηλότερος από τα άλλα θερμαντικά συστήματα που αξιοποιούν την αβαθή γεωθερμία, το σύστημα παραμένει πιο οικονομικό στη λειτουργία του από ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης που λειτουργεί με καυστήρα-λέβητα και χρησιμοποιεί ως καύσιμο πετρέλαιο ή αέριο.

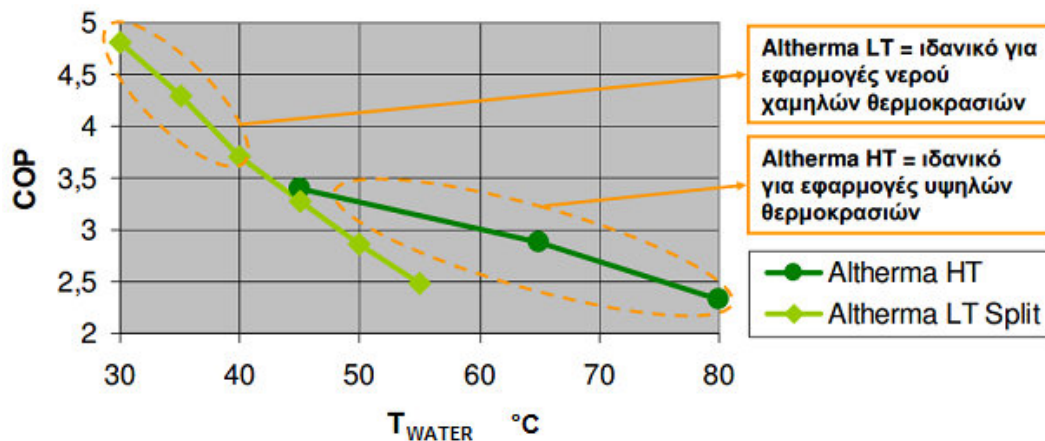




**Εικόνα 4.5.1** Θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ). **Σχήμα 4.5.2** Αντλία θερμότητας συνδεδεμένη με θερμαντικά σώματα.

Τα σύστημα καλοριφέρ συνήθως λειτουργούν στους 60°C έως 80°C και μια πτώση της θερμοκρασίας κυκλοφορίας του νερού κατά 20°C, θα απαιτούσε μια αύξηση της επιφάνεια εκπομπής των σωμάτων κατά 30% έως 40% για μπορέσει να διατηρηθεί η ίδια έξοδο θερμότητας στο χώρο. Κάτι τέτοιο δεν συνιστάται, αντίθετα μπορούμε να λάβουμε μέτρα εκτεταμένης θερμομόνωσης για των περιορισμό των απωλειών του χώρου. Όμως, υπό προϋποθέσεις, είναι εφικτό να κυκλοφορήσουμε νερό χαμηλότερων θερμοκρασιών (50°C) στα θερμαντικά σώματα (Σχήμα 4.5.3) με σκοπό να επιτύχουμε όμοια ενεργειακή απόδοση.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημάνω ότι οι απώλειες σε θέρμανση και ψύξη και απαραίτητο να περιορίζονται σε κάθε χώρο και για κάθε εφαρμογή κλιματισμού ή θέρμανσης/ψύξης κτιρίου. Εξάλλου υπάρχει και σχετική νομοθεσία που υποχρεώνει τη λήψη σχετικών μέτρων.

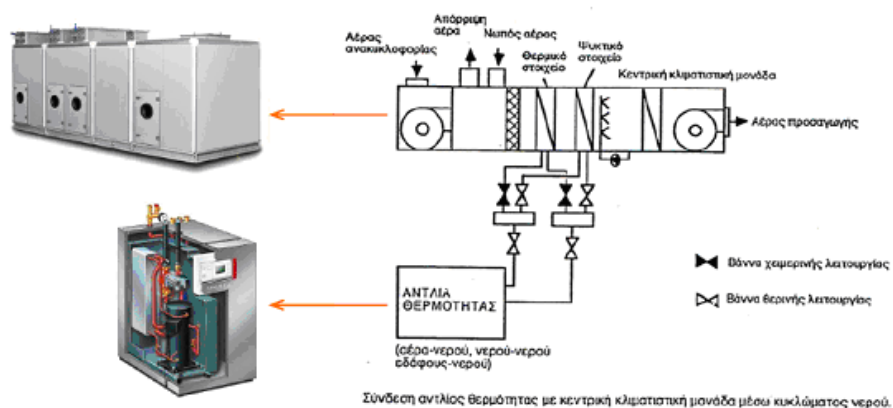


**Σχήμα 4.5.3** Δυο διαφορετικά συστήματα αντλιών θερμότητας (Altherma HT και Altherma LT Split, της εταιρίας Daikin) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τον ιδανικότερο τρόπο σε εφαρμογές θέρμανσης υψηλών θερμοκρασιών (καλοριφέρ) και χαμηλών θερμοκρασιών (π.χ. fan coil).

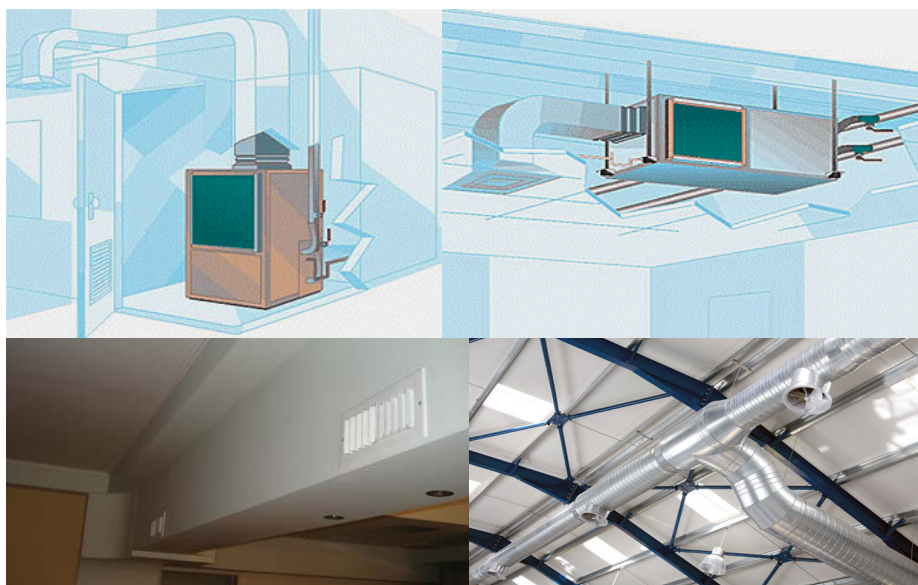


## 5.5. Κανάλια αέρα

Η θέρμανση και ψύξη μιας κατοικίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-αέρα, συνδεδεμένη με κανάλια αέρα (Σχήμα 5.5.1). Τα κανάλια διανέμουν το θερμό και ψυχρό αέρα στον εσωτερικό χώρο της κατοικίας. Παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου και ρύθμισης της επιθυμητής θερμοκρασίας. Γενικά ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται από κεντρικό θερμοστάτη για ολόκληρο το κτίριο. Όμως υπάρχει και η δυνατότητα αυτονομίας των χώρων εάν κριθεί αναγκαίο, τότε η εγκατάσταση γίνεται λίγο πιο δαπανηρή. Ωστόσο ο έλεγχος της θερμοκρασίας του χώρου και της ροής του αέρα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαφραγμάτων (dampers). Τα κανάλια αέρα και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού-αέρα με τις οποίες συνδέονται μπορεί να είναι εμφανή, είτε κρυφού τύπου με τοποθέτηση εντός γυψοσανίδων και ψευδοροφών (Εικόνες 5.5.2).



**Σχήμα 5.5.1** Σύστημα Γ.Α.Θ. συνδεδεμένης με κεντρική κλιματιστική μονάδα.

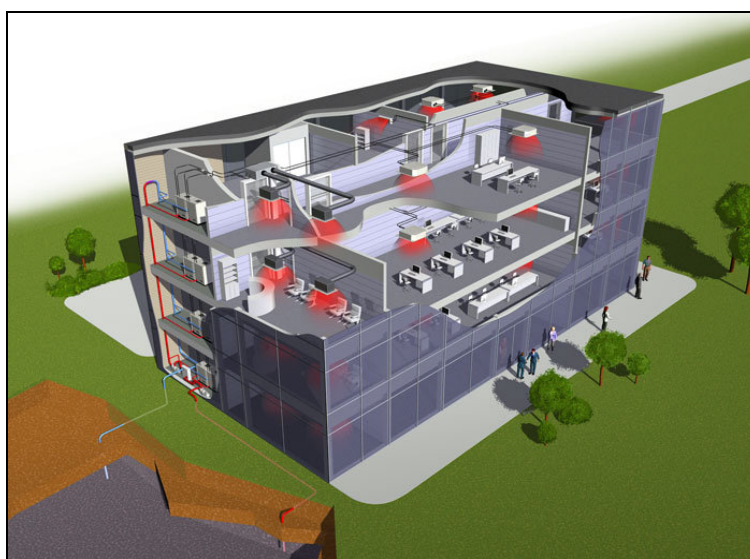


**Εικόνες 5.5.2** Τοποθέτηση Γ.Α.Θ. συνδεδεμένης με κανάλια αέρα. Σε κάθετη θέση σε χώρο μηχανοστασίου (τύπου ντουλάπα) και σε οριζόντια θέση κρεμασμένη σε οροφή.

Η χρήση γεωθερμικών συστημάτων με κανάλια αέρα σε κατοικίες είναι περιορισμένη, σε αντίθεση με την χρήση τους σε μεγάλους εμπορικούς ή εργασιακούς χώρους. Γενικότερα, εφαρμόζονται σε μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις όπου και συναντάμε κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (Κ.Κ.Μ.). Επίσης υπάρχει η ευχέρεια χρήσης διαφόρων φίλτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις πιο ιδιαίτερες εφαρμογές που απαιτούν ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας όπως χειρουργεία ή χημικά εργαστήρια.

## 5.6. Συστήματα κλιματισμού μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου

Τα συστήματα VRF (Variable Refrigerant Flow) ή VRV (Variable Refrigerant Volume) είναι κεντρικά ή ημικεντρικά συστήματα κλιματισμού μεταβλητής ροής του ψυκτικού μέσου για θέρμανση και ψύξη χώρων. Ένα σύστημα κλιματισμού VRF αποτελείται από μία εξωτερική μονάδα (κεντρικό ψυκτικό μηχάνημα), τις εσωτερικές μονάδες χώρου, και το δίκτυο σωληνώσεων χαλκού για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου μεταξύ της κεντρικής μονάδας και των τερματικών. Το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα, ανεξάρτητα από τον αριθμό των μονάδων και μπορεί να επιτύχει θέρμανση σε ένα χώρο και ταυτόχρονα ψύξη σε κάποιον άλλο. Το χαρακτηριστικό αυτό, σε πρώτη εκτίμηση, τις καθιστά κατάλληλες για εγκατάσταση σε ξενοδοχειακά συγκροτήματα και εργασιακούς χώρους, όπου η αυτονομία και η διαφορετικές ανάγκες κλιματισμού είναι απαραίτητες δυνατότητες ενός τερματικού συστήματος. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα VRV έχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης του κεντρικού δικτύου σωληνώσεων μέχρι και 100m ανά εσωτερική μονάδα, με μέγιστη υψομετρική διαφορά εξωτερικής-εσωτερικής μονάδας έως 50m.



*Σχήμα 5.6.1 Εφαρμογή κλιματιστικών εφαρμογών VRF σε ανοιχτό κύκλωμα υδρογεωτρήσεων.*

Η εφαρμογή των κλιματιστικών εφαρμογών VRF είναι εφικτή είτε σε κλειστό είτε σε ανοιχτό κύκλωμα και συνδέονται απευθείας με το κύκλωμα του γεωσυλλέκτη ή των υδρογεωτρήσεων αντίστοιχα (Σχήμα 5.6.1). Η βασική διαφορά ενός συστήματος VRF από τα συμβατικά και γεωθερμικά συστήματα κεντρικής θέρμανσης εντοπίζεται στην μεταφορά του ψυκτικού υγρού έως τους κλιματιζόμενους χώρους. Τα συμβατικά και γεωθερμικά συστήματα μεταφέρουν αέρα ή νερό στο δίκτυο διανομής των ενεργειακών φορτίων στον προς κλιματισμό χώρο. Ένα σύστημα VRF διοχετεύει ψυκτικό μέσο σε υψηλή πίεση, αποτελεί δηλαδή ένα σύστημα άμεσης εκτόνωσης. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή ή και επιβάλλεται από σχετική νομοθεσία η εισαγωγή νεπού αέρα στο χώρο. Τότε τα συστήματα VRF υστερούν σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού με αέρα εφόσον κάθε εσωτερική τερματική μονάδα θα πρέπει να συνδεθεί ανεξάρτητα με τον εξωτερικό αέρα μέσω αεραγωγού.

## 5.7. Πίνακες σύγκρισης συστημάτων διανομής με Γ.Α.Θ.

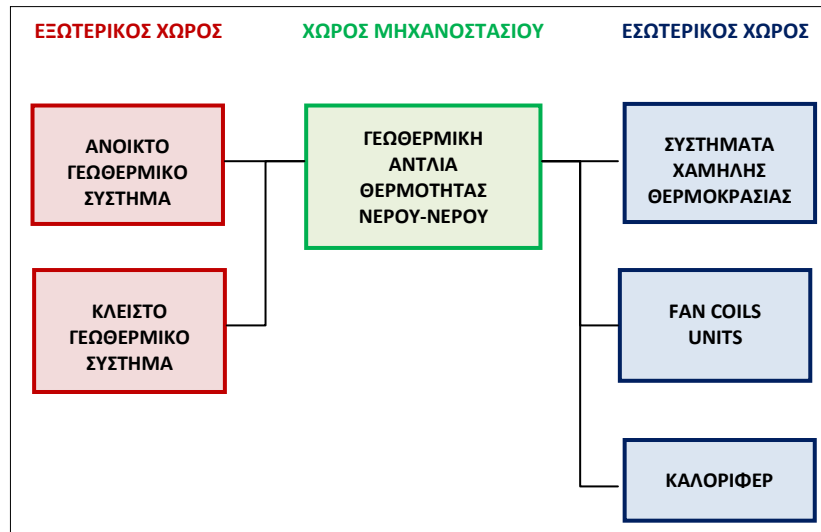
	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ		ΚΛΕΙΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	
			ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ
FAN COIL UNITS	Ισχύς αντλίας	KW	13,5	12,0	12,4	12,0
	COP		4,5	6,1	4,2	6,1
	Ηλεκτρική κατανάλωση	KW	3,0	2,0	3,0	2,0
	Θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας	°C	50-45	7-12	50-45	7-12
ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ - ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ	θερμική Ισχύς αντλίας	KW	13,9	14,0	13,0	14,0
	COP		5,8	7,2	5,3	7,2
	Ηλεκτρική κατανάλωση	KW	2,4	2,0	2,4	2,0
	Θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας	°C	37-32	22-17	37-32	22-17
ΣΩΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ	Ισχύς αντλίας	KW	13,2	ΜΗ ΕΦΙΚΤΟ	12,2	ΜΗ ΕΦΙΚΤΟ
	COP		3,9		3,7	
	Ηλεκτρική κατανάλωση	KW	3,3		3,3	
	Θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας	°C	55-50		55-50	

**Πίνακας 5.7.1** Χαρακτηριστικά συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε συνδυασμό με συστήματα διανομής για θέρμανση και ψύξη σε εσωτερικούς χώρους.

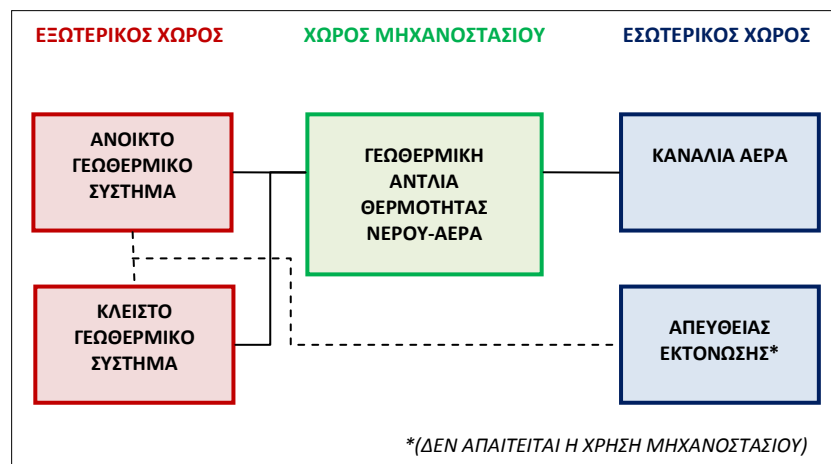
συστήματα διανομής	θερμοκρασίες λειτουργίας σε °C
ενδοδαπέδια θέρμανση	30-45
σώματα χαμηλών θερμοκρασιών	45-55
συμβατικά θερμαντικά σώματα	60-80
συστήματα θέρμανσης με αέρα	30-50

**Πίνακας 5.7.2** Δείχνει τις θερμοκρασίες εφοδιασμού που απαιτούνται για μια σειρά από οικιακά συστήματα διανομής θέρμανσης.

## 5.8. Διαγράμματα συνδυασμών συστημάτων διανομής με Γ.Α.Θ.



*Σχήμα 5.8.1* Εφικτοί συνδυασμοί γεωθερμικών συστημάτων, Γ.Α.Θ. νερού-νερού και συστημάτων απόδοσης θερμότητα ή και ψύξης σε εσωτερικούς χώρους.



*Σχήμα 5.8.2* Εφικτοί συνδυασμοί γεωθερμικών συστημάτων, ΓΑΘ νερού-αέρα και συστημάτων απόδοσης θερμότητα ή και ψύξης σε εσωτερικούς χώρους.

## 5.9. Προϋποθέσεις αντικατάστασης συστήματος ψύξης/θέρμανσης

Εξετάζοντας τις επιλογές που έχουμε σχετικά με την αντικατάσταση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης σε ένα υφιστάμενο κτίριο, διαπιστώνουμε ότι σε κάποιες περιπτώσεις κάτι τέτοιο είναι εφικτό και εύκολο. Αυτό κυρίως ισχύει όταν στο εσωτερικό του σπιτιού είναι ήδη εγκατεστημένη ενδοδαπέδια θέρμανση ή και μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα (FCU). Στην περίπτωση αυτή λοιπόν, απλώς καταργείται και απομακρύνεται η υφιστάμενη συμβατική πηγή ενέργειας και στη θέση της τοποθετείται μια γεωθερμική αντλία θερμότητας αντίστοιχης ισχύος.

Η συμβατική πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται ήδη στο κτίριο, μπορεί να είναι είτε ένας λέβητας πετρελαίου, είτε λέβητας φυσικού αερίου ή και αντλία θερμότητας αέρος-νερού. Σε κάθε περίπτωση, είναι συμφέρον να αντικατασταθεί το συμβατικό σύστημα με ένα σύστημα αβαθούς γεωθερμίας. Η αβαθής γεωθερμία ως γνωστόν ορίζεται ως 100% ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Η συνηθέστερη περίπτωση όμως, σε υφιστάμενη κατοικία είναι ο συνδυασμός ενός συμβατικού λέβητα πετρελαίου με κλασικά σώματα καλοριφέρ. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν, για να γίνει η εφαρμογή, θα πρέπει να ελεγχθεί το εσωτερικό δίκτυο για να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι δυνατόν να συνεργαστεί με ένα γεωθερμικό σύστημα κλιματισμού. Αυτό που επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος, είναι ο τρόπος διασύνδεσης των σωμάτων καλοριφέρ. Ο μόνος τρόπος να συνδυαστεί το γεωθερμικό σύστημα με ένα δίκτυο καλοριφέρ χωρίς επεμβάσεις στο εσωτερικό δίκτυο, είναι να είναι συνδεδεμένα παράλληλα, δηλαδή να καταλήγουν σε κολλεκτέρ με ξεχωριστές σωληνώσεις. Τότε, εύκολα καταργείται ο λέβητας, ώστε να συνδεθεί η γεωθερμική αντλία θερμότητας με το εσωτερικό δίκτυο. Σε περίπτωση που τα σώματα είναι συνδεδεμένα σε σειρά, που είναι και το πιο σύνηθες, τότε το γεωθερμικό σύστημα δε μπορεί να αποδώσει και χρειάζονται επεμβάσεις στο εσωτερικό δίκτυο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, λόγω των αυξημένων επεμβάσεων που απαιτούνται εσωτερικά του κτιρίου, ίσως είναι ασύμφορη οικονομικά μια τέτοια εφαρμογή, εκτός κι αν ο χρήστης του κτιρίου είναι διατεθειμένος να προχωρήσει σε κάποια ανακαίνιση.

Γενικά, σε κάθε περίπτωση, είναι πιθανόν τα υφιστάμενα σώματα καλοριφέρ κατά τη σύνδεση τους με τη γεωθερμία να παρουσιάσουν λίγο μεγαλύτερη αδράνεια δηλαδή να υπάρχει μια μικρή καθυστέρηση της θέρμανσης του κτιρίου μετά την ενεργοποίηση του συστήματος, και αυτό είναι ένα μειονέκτημα που παρουσιάζεται με αυτή την εφαρμογή. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να ελαττωθεί με τη βοηθητική λειτουργία μερικών μονάδων FCU. Με την εγκατάσταση των FCU θα μπορούσαμε να εξασφαλίσουμε στην περίπτωση αυτή και τη μερική ή ολική ψύξη του κτιρίου και να εκμεταλλευτούμε πλήρως της δυνατότητες του γεωθερμικού συστήματος κλιματισμού.

## **5.10. Απόδοση και απόσβεση συστήματος Γ.Α.Θ. στη θέρμανση και ψύξη χώρων**

Η ενεργειακή διεργασία που εκτελεί ένα γεωθερμικό σύστημα κλιματισμού πραγματοποιείται με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που όμως είναι πολύ μικρή συγκριτικά με το παραγόμενο φορτίο, και αυτό διότι η θερμοκρασία που επικρατεί στο υπέδαφος είναι πολύ κοντά στη θερμοκρασία των 20°C, που θέλουμε να επιτύχουμε στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτός είναι και ο λόγος που τα γεωθερμικά



συστήματα κλιματισμού εμφανίζουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης. Αντίθετα, ένας λέβητας πετρελαίου για παράδειγμα, εμφανίζει πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης, και αυτό διότι καλύπτει πολύ μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας αφού το νερό ύδρευσης είναι κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το ζητούμενο λοιπόν που επιτυγχάνεται κατά τη λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος κλιματισμού έναντι σε ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης/ψύξης είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων που εξασφαλίζεται κατά τη λειτουργία του. Το ποσοστό αυτό της εξοικονόμησης είναι πολύ υψηλό, αγγίζει το 55% κατά τη λειτουργία θέρμανσης και το 45% κατά τη λειτουργία ψύξης του.

Είναι φανερό λοιπόν πως το κόστος επένδυσης που θα επιβαρυνθεί ο καταναλωτής για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος πρόκειται να αποσβεστεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα λόγω της υψηλής εξοικονόμησης που παρουσιάζει στη λειτουργία του.

Από τα παραπάνω εξάγετε η πρόταση: ότι αξίζει τον κόπο να διερευνηθεί και αυτή η εναλλακτική λύση, που συνδυάζει και θέρμανση αλλά και ψύξη για το σπίτι, αφού υπό προϋποθέσεις, υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστεί και σε ήδη κτισμένα σπίτια.

## **5.11. Πλεονεκτήματα Γ.Α.Θ. σε σχέση με συμβατικές λύσεις θέρμανσης/ψύξης**

Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος δε σταματούν μόνο στην άμεση εξοικονόμηση και καλύτερη απόδοση ενέργειας (Πίνακες 5.11.1 και Πίνακας 5.5.2) έναντι του πετρελαίου ή του αερίου. Η απουσία καύσεων και οσμών κάνει την κατοικία πιο ασφαλή και καθαρή. Η κατοικία θερμαίνεται σε σταθερή προγραμματιζόμενη βάση με αποτέλεσμα μια ομοιόμορφη θερμική άνεση μέρα νύχτα. Δημιουργείται ένα ακίνητο το οποίο διατηρεί την αξία του σε βάθος χρόνου χωρίς απώλειες που απαιτούνται από τη συντήρηση των συστημάτων.

Επιπλέον, βάσει της νέας νομοθεσίας (Κ.Εν.Α.Κ.), η οποία ουσιαστικά παροτρύνει και μελλοντικά θα επιβάλλει τη χρήση συστημάτων Α.Π.Ε., όλα τα κτίρια αξιολογούνται και επιβραβεύονται ή “τιμωρούνται” ανάλογα με το βαθμό ρύπανσης και κατανάλωσης ενέργειας. Άλλωστε στο δυτικό κόσμο, τα συστήματα αντλιών θερμότητας είναι πολύ διαδεδομένα. Ένα στα δύο νεόδμητα σπίτια στη Γερμανία εγκαθιστά σύστημα γεωθερμίας. Στη Σουηδία και στη Νορβηγία τα γεωθερμικά συστήματα κυριαρχούν. Στις Η.Π.Α. υπάρχουν εκατομμύρια αντλίες θερμότητας σε κατοικίες.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι στην Ελλάδα το κέρδος από την εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας είναι διπλάσιο από ότι στις βόρειες Χώρες, λόγω της ψύξης που προσφέρει επιπλέον μαζί με τη θέρμανση.

Σύστημα ΓΑΘ	Ισχύς	Ώρες λειτουργίας	Ενέργεια	Συντελεστής απόδοσης	Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ισοδύναμη πρωτογενής ενέργεια
	kW	h	kWh	SPF	kWh <sub>e</sub>	kWh
Θέρμανση	20	1.600	32.000	4,5	7.111	26.337
Ψύξη	16	1.200	19.200	3,5	5.846	20.317
Σύνολο	-	-	-		12.597	46.655

Συμβατικό σύστημα	Ισχύς	Ώρες λειτουργίας	Ενέργεια	Συντελεστής απόδοσης	Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ισοδύναμη πρωτογενής ενέργεια
	kW	h	kWh	SPF	kWh <sub>e</sub>	kWh
Θέρμανση	20	1.600	32.000	0,85	37.647	37.647
Ψύξη	16	1.200	19.200	3	6.400	23.704
Σύνολο	-	-	-		44.047	61.351

*Πίνακας 5.5.1 Το ενεργειακό πλεονέκτημα των συστημάτων Γ.Α.Θ. σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης χώρων. (πηγή: Δρ Κ. Καρύτσας, Ημερίδα του ΚΑΠΕ, Μάρτιος 2012)*

Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας από ΓΑΘ	14.696 kWh <sub>th</sub>
Ποσοστό ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας της ΓΑΘ σε σχέση με συμβατικό σύστημα	23,95 %
Ετήσια εξοικονόμηση	1,40 TΠΠ
Ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>	4,49 Tn CO <sub>2</sub>
Ετήσιο κόστος συστήματος ΓΑΘ (λειτουργίας και συντήρησης)	1.912 €
Ετήσιο κόστος συμβατικού συστήματος (λειτουργίας και συντήρησης)	5.585 €
Ετήσιο οικονομικό όφελος από τη λειτουργία της ΓΑΘ	3.673 €
Ποσοστό ετήσιας μείωσης κόστους από τη λειτουργία του συστήματος ΓΑΘ	65,77 %

*Πίνακας 5.5.2 Το ενεργειακό και οικονομικό όφελος από συστήματα ΓΑΘ σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης χώρων. (πηγή: Δρ Κ. Καρύτσας, Ημερίδα του ΚΑΠΕ, Μάρτιος 2012)*

Τα βασικά Πλεονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας παραθέτονται παρακάτω:

- Το 70 - 80% της ενέργειας παρέχεται δωρεάν από το περιβάλλον.
- Το κόστος λειτουργίας μειώνεται πάνω από 60% σε σχέση με τους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης και ψύξης.
- Καταργείται η χρήση πετρελαίου και έχουμε μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Δεν απαιτείται δεξαμενή καυσίμων και καμινάδα.
- Μεγάλη εξοικονόμηση χώρου, γιατί χρειάζεται μόνο μια μικρή και συμπαγής αντλία για θέρμανση και ψύξη.

- Δεν απαιτείται καμία συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται περιοδικό έλεγχο.
- Λειτουργεί αθόρυβα και δε χρειάζεται πυροπροστασία.
- Το σύστημα της αντλίας θερμότητας συνδυάζεται μέσω θερμοδοχείου (boiler) για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Επίσης μπορεί να συνδεθεί και με άλλες πηγές ενέργειας, όπως για παράδειγμα τους ηλιακούς συλλέκτες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

Μέθοδος υπολογισμού εναλλάκτη οριζοντίου  
συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

## **6. Μέθοδος σχεδιασμού υπολογισμού και εγκατάστασης εναλλάκτη οριζόντιου συστήματος Γ.Α.Θ.**

### **6.1. Εισαγωγή στο σχεδιασμό οριζόντιων γεωεναλλακτών**

Οι γεωεναλλάκτες οριζόντιας διάταξης είναι η πιο απαιτητικοί όλων των τύπων γεωθερμικών συλλεκτών όσον αφορά την επάρκεια του εδαφικού χώρου που απαιτείται για να παραχθεί μια καθορισμένη ενεργειακή απόδοση. Για το λόγο αυτό σπανίως χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αβαθούς γεωθερμίας σε αστικές ή ακόμα και προαστιακές περιοχές. Παρ' όλα αυτά, σε αγροτικές περιοχές ή σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα οικιστικής ανάπτυξης, η οριζόντια διάταξη μπορεί να έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κάθετους γεωθερμικούς συλλέκτες, που απαιτούν δαπανηρές γεωτρήσεις. Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να εντοπίσει τους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της τοποθεσίας για μια ενδεχόμενη εγκατάσταση οριζόντιου γεωεναλλάκτη.

Οι εφαρμογές των οριζόντιων διατάξεων προορίζονται ως επί το πλείστον για κατοικίες ή μικρά εμπορικά κτιριακά έργα. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν είναι οικονομικά αποδεκτό να πραγματοποιείται από το σχεδιαστή μια συνολική θερμική ανάλυση που απαιτείται για την εφαρμογή ενός προσεκτικά υπολογισμένου συστήματος γεωεναλλάκτη.

Επιπλέον, οι οριζόντιες διατάξεις επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από τις εποχικές διακυμάνσεις του καιρού οι οποίες περιορίζουν τη χρησιμότητα οποιωνδήποτε βραχυπρόθεσμων θερμικών μετρήσεων. Ως εκ τούτου, ο σχεδιαστής οριζόντιων γεωθερμικών εναλλακτών πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργεί με περιορισμένα στοιχεία έτσι ώστε να αποφασίσει αν ο διαθέσιμος χώρος σε μια δεδομένη τοποθεσία θα υποστηρίξει με επάρκεια τον απαιτούμενο συλλέκτη. Για αυτές τις εφαρμογές, πακέτα λογισμικού και μικρής κλίμακας εξοπλισμός μετρήσεων είναι στη διάθεση του μελετητή, όπου η χρήση τους μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση του σχεδιασμού.

### **6.2. Βασικά στοιχεία σχεδιασμού**

Η αβαθής οριζόντια διάταξη μπορεί να συγκριθεί κατά κάποιο τρόπο σε έναν ηλιακό συλλέκτη μεγάλης θερμικής μάζας, που αντί να προσλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφά τη θερμική ενέργεια του εδάφους. Η θερμοχωρητικότητα της μάζας του εδάφους είναι αρκετή για να αποσβέσει τις ημερήσιες και βραχυπρόθεσμες κλιματικές διακυμάνσεις, αλλά το στρώμα του εδάφους στο οποίο είναι εγκατεστημένος ο οριζόντιος συλλέκτης εξακολουθεί να παρουσιάζει σημαντικές



διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, αυτές οι εφαρμογές επηρεάζονται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τον άνεμο. Σε αυτή την ενότητα, οι σημαντικές επιδράσεις που καθορίζουν της απόδοσης του οριζόντιων γεωεναλλακτών απαριθμούνται και παρουσιάζονται εν συντομία.

### **6.2.1. Κλιματολογικές παράμετροι**

Ο πρώτος παράγοντας είναι η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας στο προς τα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Αυτή εξασκεί μία άμεση επιρροή επί της θερμοκρασίας του. Η επίδραση αυτή θα επηρεαστεί και από ορισμένα στοιχεία της συγκεκριμένης εδαφικής περιοχής: σκιασμένη ή ακάλυπτη, επικλινή ή επίπεδη. Επίσης, ο τύπος της επιφάνειας κάλυψης εδάφους, ιδιαίτερα σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, μπορεί να επηρεάσει τα οριζόντια συστήματα γεωεναλλακτών. Μια κάλυψη χιονιού είναι επωφελής διότι μειώνει τις απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του εδάφους.

Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, ιδιαίτερα οι βροχοπτώσεις, έχουν σημαντική επιρροή στην τελική απόδοση. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία έχει μεγάλη σημασία για την αποτελεσματική θερμοχωρητικότητα του. Επιπλέον, επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα των περισσότερων τύπων εδαφών που είναι διαπερατοί από υγρασία. Τρίτον, το νερό διαπερνά τις εδαφικές διαστρωματώσεις με αποτέλεσμα την μεταφορά θερμότητας με το μηχανισμό της κίνησης των μαζών, εκτός από τον μηχανισμό της αγωγιμότητας που αναφέρθηκε. Για το τελευταίο αυτό μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας για να είναι ποιο αποτελεσματικός, το χώμα πρέπει να είναι διαπερατό και το έδαφος πρέπει να έχει αποτελεσματική αποστράγγιση έτσι ώστε να μην φτάσει σε πλήρωση υδάτων. Διακύμανση της υγρασίας με επαναλαμβανόμενη εξάτμιση και συμπύκνωση ενδέχεται να οδηγήσει σε ξήρανση του εδάφους γύρω από τις σωληνώσεις της διάταξης, όταν χρησιμοποιείται για εφαρμογές ψύξης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των εδαφολογικών ιδιοτήτων του που ευνοούν τη μεταφοράς θερμότητας.

Η έκθεση σε ανέμους δημιουργεί επίσης ένα μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας, διότι έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους, αλλά της οποίας το συνολικό αποτέλεσμα δεν είναι εύκολο να αξιολογηθεί επακριβώς.

### **6.2.2. Εδαφολογικοί παράγοντες**

Η σύνθεση ανόργανου υλικού του εδάφους είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση λόγω των κύριων θερμικών ιδιοτήτων του, δηλαδή της θερμικής χωρητικότητας και της θερμικής αγωγιμότητας. Στην περίπτωση της επιφάνειας του εδάφους, σε αντίθεση με το βραχώδες υπέδαφος που είναι υποκείμενο

αυτού, στην γενική εδαφική διαστρωμάτωση, αυτοί οι παράγοντες είναι δευτερεύοντος σημασίας παρά την καθοριστική τους δράση στην απόδοση γεωθερμικών συλλεκτών. Αυτό συμβαίνει επειδή τα εδάφη είναι ετερογενή συσσωματώματα βράχου, οργανικής ύλης και νερού.

Η καταλληλότητα ενός εδάφους, για χρήση ως γεωθερμικό συλλέκτη εξαρτάται κατά πολύ από την κατανομή του μεγέθους των κόκκων στα ορυκτά, αν όχι περισσότερο, από ότι, ο ίδιος ο τύπος του ορυκτού. Η κατανομή μεγέθους των κόκκων έχει μια σημαντική επιρροή ιδιαίτερα επί των ιδιοτήτων των στεγνών εδαφών, αλλά αυτό έχει και μια εξίσου σημαντική επίδραση στην ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό και να του επιτραπεί την κίνηση μέσω αυτού. Η οργανική ύλη στο έδαφος παίζει σημαντικό ρόλο μέσω της σχέσης της με το νερό, αν είναι σε ξηρή κατάσταση θα έχει εξαιρετικά κακές θερμικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου, ένα καλό έδαφος που θα μπορούσε να είναι υποψήφιο για τέτοιες εφαρμογές, θα είναι γενικά ένα μαλακό έδαφος, όπως αυτά που είναι κατάλληλα για αροτραία φυτική παραγωγή. Ο άργιλος έχει συνήθως φτωχές επιδόσεις λόγω της μικρής ή αμελητέας διαπερατότητα από το νερό. Λασπώδη, αμμώδη και χαλικώδη εδάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά ενδέχεται να χρειαστεί ειδική προετοιμασία για τη βελτίωση της διαπερατότητας τους στο νερό και της απόδοσης τους σε περιβάλλον υγρασίας. Κορεσμένα εδάφη από άμμο και χαλίκια μπορούν να προσφέρουν άριστες προοπτικές, λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας τους και της μεγάλης ογκομετρικής θερμοχωρητικότητας.

### 6.2.3. Ιδιότητες του εδάφους

Η θερμική διαχυτότητα του εδάφους ( $\alpha_s$ ) αποτελεί μία προσδιορισμένη ιδιότητα προκύπτοντας ως ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας ( $k_s$ ) και της θερμικής ικανότητας ( $\rho_s C_s$ ). Συνεπώς οι τρεις αυτές ιδιότητες του εδάφους  $k_s$ ,  $\rho_s$ ,  $C_s$  θα πρέπει ή να είναι εκ των προτέρων γνωστές ή τουλάχιστον να μπορούν να εκτιμηθούν έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης της θερμικής συμπεριφοράς των γεωεναλλακτών. Η απόκτηση όμως ακριβών τιμών των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους απαιτεί ενδελεχή έρευνα. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι θερμικές ιδιότητες κοκκιωδών εδαφών (αμμώδη, αργιλικά, ίλυσ) είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα σε άμμο ή άργιλο, η ξηρή πυκνότητα, και η περιεκτικότητα του εξεταζόμενου εδάφους σε υγρασία.

Είδος πετρωμάτων υπεδάφους	Ειδική απώληση θερμότητας	
	για 1800 h/year	για 2400 h/year
Ξηρές φερτές ύλες	25 W/m	20 W/m
Αμμοχάλικο, άμμος - ξερή	<25 W/m	<20 W/m

Αμμοχάλικο, άμμος - κορεσμένα με νερό	65 – 80 W/m	55 – 65 W/m
Αργιλώδες έδαφος, υγρό	35 – 50 W/m	30 – 40 W/m
Ασβεστόλιθος (συμπαγής)	55 – 70 W/m	45 – 60 W/m
Ψαμμίτες	65 – 80 W/m	55 – 65 W/m
Γρανίτης	65 – 85 W/m	55 – 70 W/m

**Πίνακας 6.1.** Ειδική απόληψη θερμότητας για κατακόρυφους γεωεναλλάκτες σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο VDI 4640. (πηγή: Δρ Κ. Καρύτσας, Διατάξεις Γ.Α.Θ., Κ.Α.Π.Ε. 2006)

Σύσταση εδάφους	Ειδική απόληψη θερμότητας	
	για 1800 h/year	για 2400 h/year
Ξηρό μη συνεκτικό έδαφος	10 W/m	8 W/m
Συνεκτικά εδάφη, υγρά	20 – 30 W/m	16 – 24 W/m
Κορεσμένη με νερό άμμος	40 W/m	32 W/m

**Πίνακας 6.2.** Απόληψη θερμότητας από οριζόντιους γεωεναλλάκτες θερμότητας (πηγή: Δρ Κ. Καρύτσας, Διατάξεις ΓΑΘ, ΚΑΠΕ 2006)

#### 6.2.4. Τοπογραφία του χώρου εγκατάστασης

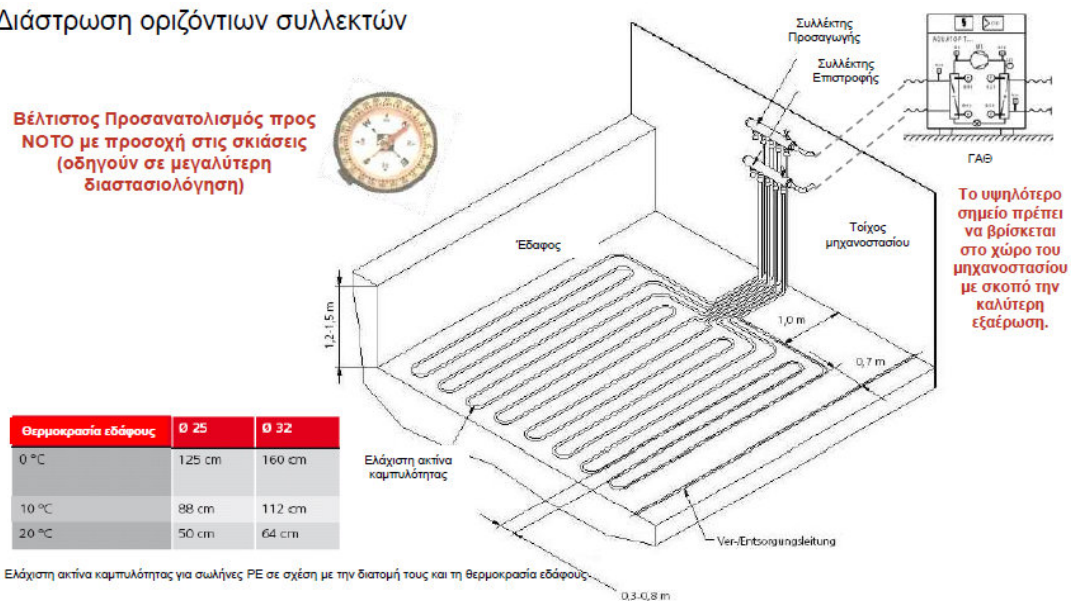
Εάν είναι διαθέσιμη, μια επικλινή τοποθεσία, τότε είναι γενικά προτιμότερη σε μία σχέση με μια επίπεδη. Η επικλινή τοποθεσία ενθαρρύνει την κίνηση της εδαφικής υγρασίας και έτσι θα έχει λιγότερες πιθανότητες να υποφέρει από καταστάσεις ξηρασίας. Μια θέση με ακόμη μεγαλύτερη κλίση θα μπορούσε να ωφελήσει περισσότερο την εγκατάσταση λόγω του μηχανισμού κίνησης και κατάβασης των υδάτων μέσα στο έδαφος (εδαφική υγρασία). Πράγματι, αν η επιλογή είναι διαθέσιμη, η προτιμώμενη διάταξη των σωληνώσεων θα είναι μια μακρά στενή διάταξη που τρέχει κατά μήκος ενός περιγράμματος, προκειμένου να παρακολουθεί στο μέγιστο την κίνηση των υδάτων στο έδαφος.

Το γεωγραφικό πλάτος του κάθε τόπου επηρεάζει και αυτό με τη σειρά του την απόδοση του οριζόντιου συλλέκτη ως προς τον χρόνο που το έδαφος δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και από την γωνία πρόσπτωσης σε αυτό. Ειδικά στα υψηλότερα, βόρεια γεωγραφικά πλάτη, τόποι με νότιο προσανατολισμό του εδάφους θα παρακολουθούν περισσότερο την κίνηση του ηλίου σε σχέση με μια επίπεδη μορφολογία στην ίδιο τόπο, και ακόμη περισσότερο από ότι σε έναν με βόρειο προσανατολισμό. Η παράμετρος αυτή δεν είναι τόσο σημαντική όσο για τους

ηλιακούς συλλέκτες. Αλλά, όταν άλλοι παράμετροι δεν μας περιορίζουν, τότε μια θέση του οριζόντιου συστήματος, με νότιο προσανατολισμό, είναι προτιμητέα.

Χρησιμοποιώντας το ίδιο σκεπτικό, μία θέση σε κοίλωμα του εδάφους πρέπει να αποφεύγεται αν άλλες εναλλακτικές λύσεις είναι διαθέσιμες. Σε αυτό το είδος της τοπογραφίας θα είναι δύσκολο να ορίσει ο μελετητής του συστήματος, ένα τρόπο ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος εγκλωβισμού του αέρα στις σωληνώσεις του οριζόντιου γεωεναλλάκτη που συνήθως διατρέχονται από νερό.

### Διάστρωση οριζόντιων συλλεκτών



**Σχήμα 6.3.** Διάστρωση οριζόντιων γεωσυλλεκτών και παρουσίαση βασικών παραμέτρων σχεδιασμού (πηγή: Τεχνολογία γεωθερμίας και εφαρμογές γεωθερμικών συστημάτων Ergon Equipment AETE)

### 6.2.5. Επιρροές επιφανειακής κάλυψης

Οι προβλεπόμενες ή πιθανές χρήσεις του εδάφους μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις για την καταλληλότητά του στην εγκατάσταση οριζόντιου γεωεναλλάκτη. Αν και είναι κοινώς αποδεκτό ότι μια επιφάνεια, μαύρου θαμπού χρώματος, εκ πρώτης όψεως θα ήταν πιο κατάλληλη για την κάλυψη του εδάφους, ωστόσο είναι γεγονός ότι οι φυσικές επικαλύψεις του εδάφους έχουν και αυτές υψηλή ηλιακή απορρόφηση. Όμως, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι η κάλυψη από φυσικά υλικά του εδάφους είναι διαπερατή από το νερό. Τα ύδατα διηθούνται εντός του εδάφους και μεταφέρουν με αυτό το τρόπο θερμότητα. Το νερό ή η καλύτερα η υγρασία που διατηρείται στο έδαφος συμβάλλει σημαντικά, τόσο για τη θερμική χωρητικότητα αποθήκευσης του εδάφους, όσο και για την ικανότητα της θερμότητας να κινηθεί προς ή μακριά από τους θαμμένους αγωγούς όπως και είναι επιθυμητό.

Ως εκ τούτου, οποιοδήποτε κάλυμμα επιφάνειας που είναι αδιαπέραστο από το νερό είναι πιθανό να υποβαθμίσει ουσιαστικά την θερμική απόδοση του συλλέκτη. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές για τους συλλέκτες που σχεδιάζονται για συστήματα που περιεχούν ψύξη στο χώρο. Τα αποτελέσματα από τη χρήση τεχνητών υδατοπερατών στρώσεων, όπως χαλίκια, κροκάλες, κυβόλιθοι ή ακόμα και διαπερατή άσφαλτος δεν έχουν πλήρως τεκμηριωθεί, αν και μερικές έρευνες βρίσκονται σε εξέλιξη. Γενικά ο προτιμώμενος τύπος κάλυψης είναι το γρασίδι ή άλλη χαμηλή βλάστηση. Υπάρχουν επίσης ανεπίσημα, εμπειρικά αποτελέσματα ότι φυτά που συναντώνται κυρίως σε λαχανόκηπους ή καρποφόροι θάμνοι (όπως κλήματα, φραγκοσυκιές, ιπποφαές και άλλα) δεν επηρεάζουν σε μετρήσιμο βαθμό την παρουσία ενός σωστά διαστασιολογημένου γεωενναλάκτη που βρίσκεται κάτω από αυτά.

### **6.3. Βασικές πρακτικές σχεδιασμού**

Η διαδικασία αξιολόγησης για μια τοποθεσία που ενδέχεται να εγκατασταθεί συλλέκτης ρηχής οριζόντιας διάταξης περιλαμβάνει την εύρεση απαντήσεων σε μερικά βασικά ερωτήματα:

- Ποια είναι η ετήσια εισαγωγή και εξαγωγή της θερμικής ενέργειας που απαιτείται από το φορτίο του χώρου που πρόκειται να θερμανθεί ή να ψηχθεί ή να κλιματιστεί;
- Ποιοι είναι οι μέσοι όροι των ετήσιων εποχιακών θερμοκρασιών; Η κατανομή της ετησίως μέσης πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας; Η ετήσια συχνότητα των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων στην περιοχή;
- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους της περιοχής;
- Ποια είναι η εκτιμώμενη θερμική παραγωγικότητα του εδάφους στην περιοχή;
- Μπορεί η θερμική παραγωγικότητα εδάφους να βελτιωθεί;
- Είναι ο διαθέσιμος χώρος επαρκής για να παρέχει την αποδεκτή απόδοση στην γεωθερμικής αντλίας θερμότητας;

Σημείο εκκίνησης για πληροφορίες σχετικά με τα απαιτούμενα φορτία, είτε σε θέρμανσης, είτε σε ψύξης, σε κλιματισμό καθώς και ζεστό νερό χρήσης, είναι το ενεργειακό πιστοποιητικό του κάθε κτιρίου ή παρόμοιο έγγραφο που πραγματοποιείται από εξειδικευμένο επαγγελματία μηχανικό, εφόσον υπάρχει. Αυτό



μπορεί να χρειαστεί να προσαρμοστεί από τυχόν ιδιαίτερες απαιτήσεις του πελάτη που δεν υπάγονται στην πρώτη αξιολόγηση. Αλλιώς θα πρέπει να γίνει μια μελέτη ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με τα όσα ορίζουν οι αντίστοιχοι κανονισμοί ή πρότυπα.

Γενικότερα, για περιοχές με εύκρατο κλίμα και βόρεια γεωγραφικά πλάτη, η κυρίαρχη απαίτηση είναι συνήθως η θέρμανση. Σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη υπάρχουν συχνότερες απαιτήσεις για ψύξη, καθώς και απαιτήσεις θέρμανσης. Το βασικό επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι η καθαρή ετήσια ενέργεια (kWh/έτος) που πρέπει να παρέχονται ή να απορριφθούν από και προς τον γεωθερμικό συλλέκτη.

Αυτές οι εισαγωγές και εξαγωγές των ποσών ενέργειας πρέπει να ρυθμιστούν σύμφωνα με την ικανότητα ενός δυνητικού γεωεναλλάκτη στο χώρο. Κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνεια στην Ευρώπη, έχει ετήσιες απολαβές κατά την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας που κυμαίνονται πάνω από 2000 kWh/m<sup>2</sup>/year στις πιο ηλιόλουστες περιοχές, περίπου μέχρι 600 kWh/m<sup>2</sup>/year στις βορειότερες περιοχές της Ευρώπης, στις περιοχές της εύκρατης ζώνης λαμβάνουν περίπου 1200 kWh/m<sup>2</sup>/year (European Solar Radiation Atlas, 1984, 1986). Η καθαρή θερμική ενέργεια εισαγωγής ή εξαγωγής από το σύστημα του γεωθερμικού συλλέκτη πρέπει να παραμείνει μικρότερη σε σχέση με την είσοδο της ηλιακής απολαβής εάν υποθέσουμε ότι η μέση θερμοκρασία του εδάφους παραμείνει λογικά αδιατάρακτη.

**Παράδειγμα:** Στις περιοχές της εύκρατης ζώνης, σε περίοδο θέρμανσης, ένα ονομαστικό φορτίο των 50 kWh/m<sup>2</sup>/year στο κτίριο, αποτελεί μια κατευθυντήρια γραμμή που χρησιμοποιείται συχνά για να καταλήξουμε σε μια χονδροειδής εκτίμηση της έκτασης που καλύπτει ένας οριζόντιος συλλέκτη. Σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο VDI 4640 Blatt 2 (Thermal use of the underground - part 2: Ground source heat pumps, 2001) προτείνεται ένα εύρος από 50 έως 70kWh/m<sup>2</sup>/year. Εάν η αξιολόγηση της ενέργειας του κτιρίου είναι, για παράδειγμα, 60kWh/m<sup>2</sup>/year και ο θερμαινόμενος χώρος είναι 150m<sup>2</sup>, το μέγεθος του συλλέκτη θα πρέπει να είναι επαρκή για την παροχή 60·150 ή 9000 kWh/έτος για το κτίριο. Από αυτό το ποσό, μόνο ένα μέρος παρέχεται από τον συλλέκτη και έχει να κάνει με εποχιακό συντελεστή απόδοσης (COP) της γεωθερμική αντλία θερμότητας.

Καθαρή ποσότητα αποδιδόμενης ενέργειας:  $1 - \frac{1}{COP}$

Για COP = 4, θα έχουμε:  $1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{9000}{50} = 135m^2$  απαιτούμενης εδαφικής έκτασης

Αυτή η διαδικασία καταλήγει σε μία αναλογία όπου, σχεδόν ένα τετραγωνικό μέτρο ανά εδαφική επιφάνεια εγκατεστημένου οριζόντιου γεωεναλλάκτη, αντιστοιχεί σε ένα τετραγωνικό μέτρο του θερμαινόμενου χώρου του κτιρίου. Η αντιστοιχία αυτή έχει οδηγήσει σε έναν πρόχειρο κανόνα, που συχνά χρησιμοποιείται ως μέτρο

σύγκρισης σε μελέτη σκοπιμότητας, αλλά είναι σημαντική να την επιτυχή έλεγχο της διαδικασία για κάθε περίπτωση. Μην ξεχνάμε όμως ότι οι ιδιαίτερες συνθήκες στο χώρο εγκατάστασης μπορεί να αλλάξουν εύκολα αυτό το αποτέλεσμα.

Μια περιοχή που είναι διαθέσιμη μόνο για χρήση ως ζώνη τοποθέτησης γεωεναλλάκτη (χωρίς άλλες υδραυλικές σωληνώσεις, ηλεκτρικά καλώδια ή άλλες θαμμένες εγκαταστάσεις) και δεν προορίζεται για μελλοντικό χώρο του κτιρίου. Επίσης, να μην έχει πλακοστρωθεί για παρκινγκ αυτοκινήτου ή άλλες χρήσης που απαιτούν αποστράγγιση του νερού. Τότε θα πρέπει να εξεταστεί για αβαθή γεωθερμική παραγωγικότητα. Αυτή η παραγωγικότητα είναι η ικανότητα του οριοθετημένου χώρου να δώσει ή να απορροφήσει θερμική ενέργεια χωρίς να διαταραχθεί ιδιαίτερα η θερμική του κατάσταση.

Ειδικές οδηγίες για την πραγματοποίηση αυτής της αξιολόγησης είναι διαθέσιμες από πολλές πηγές. Όπου οι περιγραφές και η ορολογία διαφέρουν σημαντικά. Επίσης, η τοπική εμπειρία που μπορεί να αντληθεί σε επίσημους επισκέψεις ή από παρατηρήσεις ντόπιων θα είναι αρκετά πολύτιμη. Οι αρχές που αναφέρονται σε αυτή την ενότητα, μπορούν να βοηθήσουν κατά την αξιολόγηση μιας τοποθεσίας:

- Οπτικός έλεγχος μιας ανασκαφής κάτω από το προβλεπόμενο βάθος τοποθέτησης θα δείξει τη μορφολογία του εδάφους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τα χαρακτηριστικά της αποστράγγισης. Η διάνοιξη μικρών φρεατίων για τη λήψη δειγμάτων γεωτεχνικής αξιολόγησης ή για δοκιμές διήθησης του νερού μπορεί να είναι πολύ χρήσιμες για το σκοπό αυτό.
- Βαριά στρώματα αργίλου, σχιστόλιθου ή άλλου τύπου σπασμένου βράχου παρουσιάζουν δυσκολίες που μπορεί να καταστήσουν το διαδικασία εγκατάστασης ακριβή ή ανέφικτη.
- Αμμώδη εδάφη ή χαλίκια μπορεί να είναι πολύ ευνοϊκά κατά τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας, εφόσον περιέχουν επαρκεί ποσοστά υγρασίας.

Ένας υποσχόμενος τύπος εδάφους μπορεί να αποφέρει έως και  $40 \text{ W/m}^2$ , ενώ πολύ φτωχοί τύποι μπορεί να δώσουν μέχρι  $10 \text{ W/m}^2$ . Τα στοιχεία αυτά βασίζονται για μια εύκρατη περιοχή της Ευρώπης σε μία τυπική περίοδο θέρμανσης των 1800 ωρών περίπου (VDI Blatt 2). Μεγάλη διαφορά από αυτή την απόδοση του συλλέκτη μπορεί να προκύψει από τους βαθμούς κορεσμού της υγρασίας, για αυτό οι ρυθμός των βροχοπτώσεων και η ετήσια χρήση του συστήματος θα πρέπει μπαίνουν στη διαδικασία της αξιολόγησης.

Για το παράδειγμα που συζητήθηκε παραπάνω, μια έκταση  $135 \text{ m}^2$  θα μπορεί να υποστηρίξει μια αντλία θερμότητας της τάξης  $1,8 \text{ kW}$  σε ικανότητα θέρμανσης (ή  $1,35 \text{ kW}$  σε ψυκτική ικανότητα) με λιγότερο παραγωγικούς τύπους εδαφών. Οι αριθμοί αυτοί θα αυξηθούν σε  $7,2 \text{ kW}$  και  $5,4 \text{ kW}$  αντίστοιχα, για μια περιοχή υψηλής θερμικής παραγωγικότητας. Αυτή η παρατήρηση μας δείχνει ότι ο προσδιορισμός της

καταλαμβανόμενης έκτασης από τον συλλέκτη δεν αρκεί για την σωστή μελέτη ενός τέτοιου συστήματος. Αλλά θα πρέπει να προσδιοριστεί και το κατάλληλο μέγεθος της αντλίας θερμότητας.

Μια ημιποσοτική εκτίμηση της δυναμικής απόδοσης ενός γεωσυλλέκτη απαιτεί την μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους. Το μετρητικό όργανο που μπορεί να δώσει αυτού του είδους τις πληροφορίες είναι διαθέσιμος με τη μορφή μιας συσκευής με ένα σύστημα ανιχνευτή-βελόνας που μπορεί να μετρήσει την εδαφική θερμική αγωγιμότητα και την εδαφική θερμική αντίσταση (Εικόνες 6.4). Μερικά πακέτα λογισμικού, συμπεριλαμβανομένου του Ground Desing Loop (GLD) επιτρέπουν την ημιποσοτική προσομοίωση διαφόρων τύπων γεωσυλλεκτών χρησιμοποιώντας, εδαφικές θερμικές παραμέτρους, διάταξη βρόχων, διάμετροι σωλήνων, κλπ. ως παραμέτρους εισόδου.



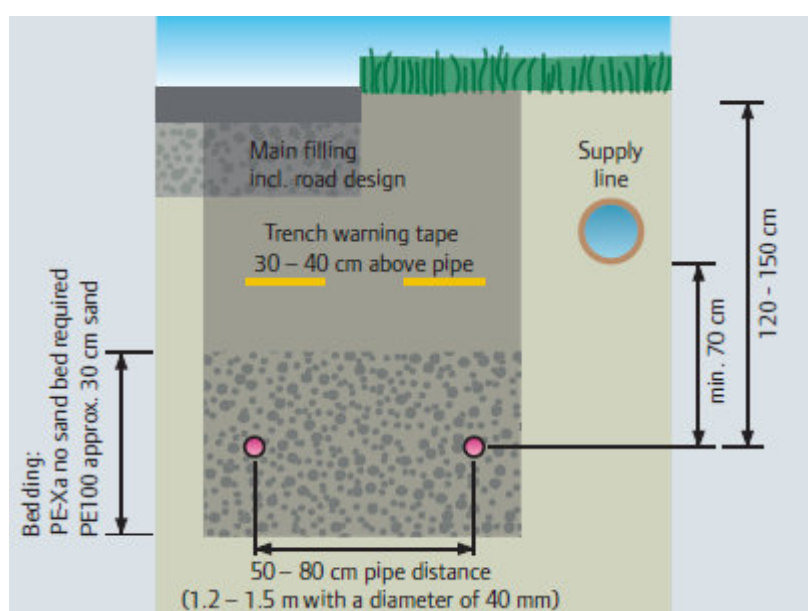
*Εικόνες 6.4 Μέτρηση εδαφικής θερμικής αγωγιμότητας. Εικόνα Μέτρηση εδαφικής θερμικής αντίστασης.*

#### **6.4. Σχέδιο κατασκευής και επισήμανσης γεωεναλλάκτη**

Το σχέδιο της κατασκευής θα πρέπει να περιέχει μια πολύ καλή περιγραφή της θέσης των θαμμένων υπόγειων εξαρτημάτων που υπάρχουν σε μια δεδομένη περιοχή. Τα κυριότερα πράγματα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής είναι οι δαπάνες εγκατάστασης οι οποίες αυξάνονται εντυπωσιακά καθώς άλλες υπηρεσίες κόβονται, αλλά κυρίως η διακριτοποίηση του χώρου στον οποίο έχει εγκατασταθεί το υπόγειο σύστημα στην επιφάνεια. Αυτό γίνεται διότι υπάρχει περίπτωση να ξεχαστεί η ακριβής αρχική θέση του συστήματος, αλλά και να επιδεινωθεί η κατάσταση, αφού έχει αποδειχτεί ότι τα πλέγματα κινούνται υπογείως με τον καιρό. Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζονται μερικά από τα συστήματα που απαιτούν προσδιορισμό. Η περιγραφή της θέσης και το σχέδιο πρέπει να συμπεριλάβουν τη θέση όλων των θαμμένων εξαρτημάτων. Θα πρέπει να είναι γνωστή η θέση διαφόρων αγωγών (ρεύματος, τηλεφώνου, αερίου), αλλά και τη θέση του εναλλάκτη επίγειας θερμότητας, ο οποίος

πρέπει να επισημαίνεται από δύο μόνιμα σημεία σε περίπτωση μελλοντικών ανασκαφών. Επίσης θα πρέπει να γνωστοποιούνται ειδικές περιοχές όπως:

1. Ειδικές περιοχές που πρέπει να αποφεύγονται. Πρέπει να προσδιοριστούν τα δέντρα, οι θάμνοι, και οι κήποι που δεν πρόκειται να πειραχθούν.
2. Αποδεκτές θέσεις για την είσοδο και την έξοδο του βαρέως εξοπλισμού. Μια ελαφριά μηχανή με μεγάλες ρόδες μπορεί να μειώσει τα φορτία στο έδαφος. Οι μηχανές με τετράτροχο σύστημα μπορούν να ελιχθούν σε στενές θέσεις.
3. Η θέση των εξαρτημάτων όπως υπόγειοι ψεκαστήρες νερού που δεν μπορούν να μαθευτούν ή να προσδιοριστούν εύκολα από τον κατασκευαστή.



**Σχήμα 6.5** Σκαρίφημα προσδιορισμού των θαμμένων σωληνώσεων διάφορων δικτύων άλλα και του γεωεναλλάκτη. Μάλιστα με μια ειδική προειδοποιητική ταινία μπορεί να επισημανθούν τα ορύγματα των βρόχων στο π εδίο της εγκατάστασης (στο παραπάνω σχέδιο: κίτρινη διακεκομμένη γραμμή).

## 6.5. Ενεργειακή απόδοση και οικονομικό κόστος εγκατάστασης

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους ο σχεδιαστής ενός έργου αβαθούς γεωθερμίας μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα ενός γεωεναλλάκτη. Είναι σαφές ότι ο τύπος του συλλέκτη μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος, αλλά η επιτυχής εφαρμογή του απαιτεί ότι ο εγκαταστάτης είναι σε εξοικειωμένος με τις τεχνικές για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης ενός τέτοιου συλλέκτη.

Τα ακόλουθα είναι μια λίστα από διάφορα μέτρα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση τέτοιων συλλεκτών. Ο κατάλογος δεν είναι σε καμία

περίπτωση πλήρης. Αλλά μπορεί να υποδείξει κάποιες κατευθυντήριες γραμμές για την εκτέλεση τέτοιων ενεργειακών έργων. Επίσης, επιδέχεται συμπληρώσεις και άλλες παρατηρήσεις.

### **6.5.1. Μείωση καθαρού ετήσιου θερμικού σχεδιασμού για το διαθέσιμο χώρο**

Αυτό επιτρέπει την μείωση του απαιτούμενου χώρου. Μπορεί να επιτευχθεί με ένα μεγάλο αριθμό μέτρων, όπως:

- Διοχέτευση του νερού από επιφανειακές απορροές προς το συλλέκτη ή τοποθετώντας το γεωεναλλάκτη κοντά σε μια περιοχή διήθησης υδάτων.
- Τοποθετώντας τον γεωεναλλάκτη κοντά σε μια πηγή ελεύθερη ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και άλλες επιλογές.

### **6.5.2. Βελτίωση της θερμικής παραγωγικότητας στο εδάφους εγκατάστασης**

Αν και ύπαρξη υδάτων και υγρασίας που «κινείται» μέσα στο έδαφος είναι επιθυμητή γιατί είναι αποδοτική ως προς θερμική παραγωγικότητα του εδάφους, το αντίθετο συμβαίνει με τα λιμνάζοντα ύδατα ή καλύτερα με τα μη στραγγισμένα εδάφη.

- Η ελεύθερη αποστράγγιση εδαφών μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση ενός στρώματος οργανικού υλικού στην περιοχή της σωλήνωσης του συλλέκτη. Σε χαμηλού κόστους επιλογές για τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ύλες ενσίρωσης αποβλήτων, ροκανίδια, σχίζες ξύλου, κομμένο γρασίδι και άλλα υλικά που μπορεί να είναι διαθέσιμα στο χώρο των εργασιών ή στην γύρω περιοχή.
- Με τεχνική υποδομή η βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη αποστραγγιστικών έργων ή στρωμάτων αδρανών υλικών (χαλίκια) ή με σωλήνες αποστράγγισης ή άλλα διαπερατά στοιχεία που μπορεί να είναι ποιο βολικά, φτηνά και διαθέσιμα.

### **6.5.3. Επιλογή κατάλληλης διάταξης σωληνώσεων**

Όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο οι επιλογές για τη διάταξη των σωληνώσεων των γεωεναλλακτών πολλές και ποικίλες. Τα κριτήρια με τα οποία θα γίνει η κατάλληλη επιλογή ώστε να επιτύχουμε κάποια σημαντική εξοικονόμηση πόρων κατά την εγκατάσταση εξαρτώνται κυρίως από δύο παραμέτρους.



- Την διαθέσιμη έκταση για την εγκατάσταση  
Όταν ο χώρος που διατίθεται είναι αρκετός ώστε να δεχτεί οποιονδήποτε σχηματισμό που να αποδέχεται ή να απορρίπτει τα απαιτούμενα φορτία. Τότε είναι εύλογο να εκλέξουμε την οικονομικότερη εγκατάσταση. Συνήθως είναι αυτή με τον λιγότερο όγκο και χρόνο εκσκαφών. Το πρόβλημα έγκειται στους περιορισμένους χώρους όπου για επιτύχουμε τα απαιτούμενα ενεργειακά μεγέθη μπορεί να χρειαστούν εκσκαφές σε μεγαλύτερα βάθη και με ποιο κοστοβόρα χωματουργικά μηχανήματα.
- Το βάθος εγκατάστασης των συλλεκτών  
Σύμφωνα και με τα προηγούμενα το βάθος εγκατάστασης έχει τη δικιά του συμβολή στο συνολικό κόστος. Αν και τα αβαθή οριζόντια γεωθερμικά συστήματα δεν έχουν τα κατά πολύ μεγαλύτερα οικονομικά κόστη των κάθετων συστημάτων τα οποία απαιτούν γεωτρήσεις. Ωστόσο, επειδή οι χωματουργικές εργασίες συγκαταλέγονται στις βαριάς φύσης εργασίες και απαιτούν ειδικευμένα μηχανήματα, εξοπλισμό και εργατικό προσωπικό. Θεωρούνται και είναι από τις ακριβοπληρωμένες τεχνικές εργασίες. Ο κανόνας είναι να επιλέγονται όσο μικρότερα βάθη είναι δυνατό.

**Παράδειγμα:** Στην εύκρατο ζώνη της Ευρώπης, είναι σύνηθες να θάβουν συλλέκτες σε βάθος 1,2-1,5m. Ωστόσο, σε υγρά εδάφη της ζώνης αυτής, οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν πιο ρηχά, σε βάθη ως 80cm. Αυτό όμως γίνεται όπου η παρουσία παγετού δεν αποτελεί πρόβλημα και όπου οι συνθήκες του εδάφους το επιτρέπουν και τα ποσοστά αναπλήρωσης είναι επαρκή σε υγρασία. Σε κάθε περίπτωση, μια συνετή επιλογή πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τις ακραίες καιρικές συνθήκες, καθώς και το κόστος εγκατάστασης συλλέκτη.

## 6.6. Διάθρωση υπολογισμών οριζόντιου γεωεναλλάκτη

Η μέθοδος για τον υπολογισμό του εναλλάκτη επίγειας θερμότητας που περιγράφεται στην συνέχεια βασίζεται στο πρότυπο της IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association, 1988).

### 6.6.1. Εκτίμηση επίγειας θερμοκρασίας

Για την εκτίμηση του φορτίου εναλλαγής θερμότητας στον γεωεναλλάκτη απαιτείται η γνώση της ελάχιστης και της μέγιστης θερμοκρασίας του αδιατάρακτου εδάφους. Η σταθερή επίγεια θερμοκρασία σε κάποιο βάθος (ή η διακύμανσή της με

τις εποχές),  $T_g$ , εκφρασμένη σε ( $^{\circ}C$ ), μπορεί να εκτιμηθεί από μετρήσεις ή να υπολογιστεί από την σχέση 6.1 ως συνάρτηση του εδαφολογικού βάθους,  $X_s$  σε ( $m$ ), και της ημέρας του έτους,  $t$ .

$$T_g(X_s, t) = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{365}\left[t - t_o - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right]\right) \quad (6.1)$$

όπου  $T_g$  είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους,  $A_s$  η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους ( $T_{g,max} - T_{g,min}$ ),  $t_o$  η σταθερά φάσης εκφρασμένη σε ημέρες,  $\alpha$  η θερμική διαχυτότητα του εδάφους,

$$a = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (6.2)$$

όπου  $k$  είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους,  $\rho$  η πυκνότητα του εδάφους σε ( $kg/m^3$ ) και  $C_p$  η ειδική θερμοχωρητικότητα του σε ( $kJ/kg^{\circ}C$ ).

Τιμές των παραπάνω φυσικών ιδιοτήτων για διάφορα είδη εδάφους παρουσιάζονται στον πίνακα 6.6. Το  $A_s$  εξαρτάται από την περιοχή και το κλίμα και ποικίλλει από 5 μέχρι 20 $^{\circ}C$ , με τιμή για τις περισσότερες περιοχές στην Ελλάδα στους 8-10 $^{\circ}C$ . Βέβαια αυτό που απαιτείται συνήθως είναι η γνώση της ελάχιστης και της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας του εδάφους σε βάθος  $X_s$ , οι οποίες δίνονται από τις σχέσεις 6.3 και 6.4 .

Τύπος εδάφους	Χαρακτηριστικά εδαφών			
	Αγωγιμότητα $W/m^{\circ}C$	Διαχυτότητα $m^2/s$	Πυκνότητα $kg/m^3$	Ειδική θερμότητα $kJ/kg^{\circ}C$
Ελαφρύ, υγρό έδαφος (άμμος, ιλύς)	0,9	$5,2 \times 10^{-7}$	1600	1,05
Ελαφρύ, ξηρό έδαφος (άμμος, ιλύς)	0,3	$2,8 \times 10^{-7}$	1400	0,84
Βαρύ, υγρό έδαφος (άργιλος, πυκνή άμμος)	1,3	$6,5 \times 10^{-7}$	2100	0,96
Βαρύ, υγρό έδαφος (άργιλος, πυκνή άμμος)	0,9	$5,2 \times 10^{-7}$	2000	0,84
Ελαφρύ πέτρωμα (ασβεστόλιθος)	2,4-2,8	$1,3 \times 10^{-6}$	2400-2800	0,84
Βαρύ πέτρωμα (γρανίτης)	2,6-3,6	$1,4 \times 10^{-6}$	2800-3200	0,84

**Πίνακας 6.6** Στοιχεία διαφόρων ειδών εδαφών.

Από την εξίσωση (6.1), οι ελάχιστες και μέγιστες επίγειες θερμοκρασίες για οποιοδήποτε βάθος μπορούν να εκφραστούν ως:

$$T_{g,\min} = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (6.3)$$

και

$$T_{g,\max} = \bar{T}_g + A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (6.4)$$

Για πολλά οριζόντια συστήματα σωληνών εναλλακτών θερμότητας ή ρηχές κάθετες γεωτρήσεις, το  $X_s$  μπορεί να τεθεί ίσο με το μέσο βάθος στις παραπάνω εξισώσεις. Για τα κάθετα συστήματα συνήθως, παίρνει μια σταθερή τιμή δεδομένου ότι η υπεδάφια θερμοκρασία δεν ποικίλλει σημαντικά κατά τη διάρκεια του έτους.

### 6.6.2. Υπολογισμός μήκους σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη

Ο υπολογισμός των εναλλακτών επίγειας θερμότητας αφορά κυρίως στον προσδιορισμό του μήκους των σωληνώσεων του εναλλάκτη θερμότητας. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται προσαρμόζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στην οδηγία IGSHPA (1988).

Το μήκος των σωληνώσεων (ή η επιφάνεια του πλέγματος) εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους, όπως είναι η θερμοκρασία, ο τύπος και η υγρασία του εδάφους, το είδος της κάλυψης, το βάθος που τοποθετούνται οι σωληνώσεις, η απόσταση μεταξύ των ορυγμάτων κ.ά. Το μήκος των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη που απαιτείται για θέρμανση,  $L_h$  (m) και για θερμαντικό φορτίο αιχμής  $q_{q,heat}$  (W) δίνεται από τη σχέση 6.5.

$$L_h = q_{q,heat} \left( \frac{\frac{COP_h - 1}{COP_h} (R_p + R_s F_h)}{T_{g,\min} - T_{ewt,\min}} \right) \quad (6.5)$$

όπου  $COP_h$  είναι ο συντελεστή απόδοσης της θέρμανσης της αντλίας θερμότητας,  $R_p$  η θερμική αντίσταση των σωληνών ( $m \cdot K/W$ ),  $R_s$  η θερμική αντίσταση του εδάφους ( $m \cdot K/W$ ),  $F_h$  ο παράγοντας φορτίων της Γ.Α.Θ. για τη θέρμανση (δηλαδή: ο λόγος των ωρών που το σύστημα λειτουργεί στο φορτίο σχεδιασμού προς το σύνολο των ωρών),  $T_{g,\min}$  η ελάχιστη επίγεια θερμοκρασία και  $T_{ewt,\min}$  η ελάχιστη θερμοκρασία

εισόδου του νερού ( $ewt$ ) στην αντλία θερμότητας που αποτελεί μία κρίσιμη σχεδιαστική μεταβλητή.

Μια παρόμοια εξίσωση (Σχέση 6.6) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί σε μέτρα το απαραίτητο μήκος των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη που απαιτείται για ψύξη,  $L_c$  με ψυκτικό φορτίο αιχμής  $q_{d,cool}$  (W).

$$L_c = q_{d,cool} \left( \frac{\frac{COP_c + 1}{COP_c} (R_p + R_s F_c)}{T_{ewt,max} - T_{g,max}} \right) \quad (6.6)$$

όπου  $COP_c$  είναι ο συντελεστής απόδοσης ψύξης ( $COP$ ) της αντλίας θερμότητας,  $F_c$  ο παράγοντας φορτίου της Γ.Α.Θ. για την ψύξη,  $T_{g,max}$  η μέγιστη επίγεια θερμοκρασία και  $T_{ewt,max}$  η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού στην αντλία θερμότητας.

Οι εξισώσεις (6.5) και (6.6) δεν λαμβάνουν υπ' όψιν μακροπρόθεσμες θερμικές δυσανάλογες εκτίμησης που θα μπορούσαν να αλλάξουν την εδαφολογική θερμοκρασία για μια περίοδο πολλών ετών. Αυτές οι θερμικές δυσαναλογίες αποδίδονται γενικά σε σημαντικές διαφορές μεταξύ της ετήσιας θερμότητας που εξάγεται από το έδαφος και της θερμότητας που απορρίπτεται στο έδαφος κατά τη διάρκεια της εποχής ψύξης. Εντούτοις, αυτή η απλοποίηση θα μπορούσε να θεωρηθεί αποδεκτή κατά το προκαταρκτικό στάδιο αξιολόγησης του σχεδίου.

Επίσης, οι εξισώσεις (6.5) και (6.6) απαιτούν τον προσδιορισμό της θερμικής αντίστασης των σωλήνων  $R_p$  και τη θερμική αντίσταση του χώματος  $R_s$  οι οποίες καθορίζονται από γεωμετρικές και φυσικές εκτιμήσεις. Για οριζόντιες Γ.Α.Θ., η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τις επιφανειακές επιδράσεις που παίζουν σημαντικό ρόλο στις τιμές της θερμικής αντίστασης του επιφανειακού χώματος. Οι τιμές της αντίστασης του εδάφους είναι ταξινομημένες σε πίνακες ως συνάρτηση της ακτινωτής απόστασης για διαφορετικά είδη χώματος (π.χ. ελαφρύ χώμα ή βαρύ χώμα, υγρό ή ξηρό, βράχος, κ.λπ.). Οι θερμικές αντιστάσεις για έδαφος στο οποίο η θερμοκρασία παραμένει κάτω από  $0^\circ C$  συνέχεια για δύο ή περισσότερα χρόνια (permafrost), εξήχθησαν συμπερασματικά από εκείνα για το κανονικό χώμα, με βάση τις ιδιότητες της εδαφολογικής αγωγιμότητας. Όπως παρουσιάζεται από τις εξισώσεις (6.5) και (6.6), υπάρχουν δύο πιθανά μήκη εναλλακτών θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό ενός συστήματος κλειστών βρόχων. Η επιλογή μεταξύ της χρησιμοποίησης του μήκους της ψύξης ή της θέρμανσης αφήνεται στην κρίση του μελετητή με βάση τις ενεργειακές ανάγκες που θέλει να καλύψει από την εγκατάσταση.

Η παρούσα απόφαση του σχεδιασμού ασκεί επίδραση και στο κόστος και στην απόδοση του συστήματος. Η επιλογή ενός μήκους γεωεναλλάκτη που δεν θα είναι ικανοποιητικό για τη θέρμανση, απαιτεί ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης. Η χρησιμοποίηση ενός μήκους γεωεναλλάκτη ανεπαρκούς για την ψύξη, θα απαιτήσει

μια συμπληρωματική απόρριψη θερμότητας. Το πρότυπο IGSHPA λαμβάνει υπόψη αυτές τις δύο δυνατότητες κατά τη διαμόρφωση της Γ.Α.Θ.

### 6.6.3. Υπολογισμός της θερμοκρασίας εισόδου του νερού

Ο σχεδιασμός μιας Γ.Α.Θ. είναι από πολλές απόψεις παρόμοιος με αυτόν ενός συμβατικού εναλλάκτη θερμότητας. Για ένα συμβατικό εναλλάκτη θερμότητας οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου συνήθως δίνονται για να υπολογιστεί ο εναλλάκτης θερμότητας. Αυτό ισχύει επίσης και για μία Γ.Α.Θ. Το τελικό μέγεθος της Γ.Α.Θ. καθορίζεται σε μεγάλο μέρος από τις απαιτήσεις του χρήστη για ελάχιστη ή μέγιστη θερμοκρασία στην έξοδο της Γ.Α.Θ. κατά τη διάρκεια του έτους. Εντούτοις, οι τιμές για την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία εξόδου της Γ.Α.Θ. έχουν μια αρκετά περιορισμένη σειρά αποδεκτών τιμών.

Παραδείγματος χάριν, οι αντλίες θερμότητας με εκτεταμένη διακύμανση τιμών συνήθως έχουν ελάχιστη θερμοκρασία εισόδου νερού  $20^{\circ}F$  ( $-6,7^{\circ}C$ ) ( $T_{ewt,min}$ ) και  $110^{\circ}F$  ( $92,2^{\circ}C$ ) μέγιστη θερμοκρασία εισόδου νερού ( $T_{ewt,max}$ ). Σε άλλες εφαρμογές, οι τιμές αυτές μπορούν να κινηθούν πέρα από αυτά τα όρια αλλά δεν συνηθίζεται. Ένας τρόπος για να υπολογιστεί η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι:

Ελάχιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού:

$$T_{ewt,min} = T_{g,min} + 9^{\circ}C \quad (6.7)$$

Μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού:

$$T_{ewt,max} = \min(T_{g,max} - 6^{\circ}C, 43^{\circ}C) \quad (6.8)$$

Δεδομένου ότι το πρότυπο σχεδιάστηκε επίσης για να χρησιμοποιηθεί permafrost, ο περιορισμός της ελάχιστης εισόδου του νερού των  $-5^{\circ}C$  δεν εφαρμόστηκε.

### 6.6.4. Παράγοντας φορτίου

Ο καθορισμός του μήκους του γεωεναλλάκτη που χρησιμοποιείται τις εξισώσεις (6.5) και (6.6) απαιτεί την αξιολόγηση του παράγοντα φορτίου των Γ.Α.Θ. Ο παράγοντας φορτίου,  $F$  ισούται με τον λόγο των ωρών με πλήρες φορτίο κατά τη διάρκεια του μήνα προς το συνολικό αριθμό ωρών εκείνου του μήνα. Μπορεί να αξιολογηθεί ως:



$$F = \frac{\bar{q}}{q_{\max}} \quad (6.9)$$

Όπου το  $q$  και  $q_{\max}$  είναι το μέσο φορτίο και μέγιστο φορτίο για το μήνα αντίστοιχα. Ο παράγοντας φορτίων  $F$  αξιολογείται για το μήνα ψύξης και το μήνα θέρμανσης, τιμές  $F_c$  και  $F_h$  αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις (6.5) και (6.6).

### 6.6.5. Συντελεστής απόδοσης και χωρητικότητα φορτίων

Ο συντελεστής της απόδοσης ( $COP$ ) ενός συστήματος αντλιών θερμότητας συνδέεται άμεσα με την θερμοκρασία εισόδου του νερού. Η χρήσιμη χωρητικότητα των ψυκτικών φορτίων και θερμότητας των εναλλακτών επίγειας θερμότητας συνδέεται μέσω των σχέσεων:

Για την ψύξη:

$$Q_c = Q_{he,c} = \frac{COP_c}{COP_c + 1} \quad (6.10)$$

Για την θέρμανση:

$$Q_h = Q_{he,h} = \frac{COP_h}{COP_h - 1} \quad (6.11)$$

όπου  $Q_c$  είναι η χωρητικότητα ψύξης αντλιών θερμότητας στον εξατμιστήρα,  $Q_{he,c}$  η απορριφθείσα θερμότητα από τη Γ.Α.Θ. στο συμπυκνωτή αντλιών θερμότητας κατά την ψύξη,  $Q_h$  η χωρητικότητα θέρμανσης των αντλιών θερμότητας στο συμπυκνωτή και  $Q_{he,h}$  η θερμότητα που εξάγεται από την Γ.Α.Θ. στον εξατμιστήρα της αντλίας θερμότητας κατά την θέρμανση.

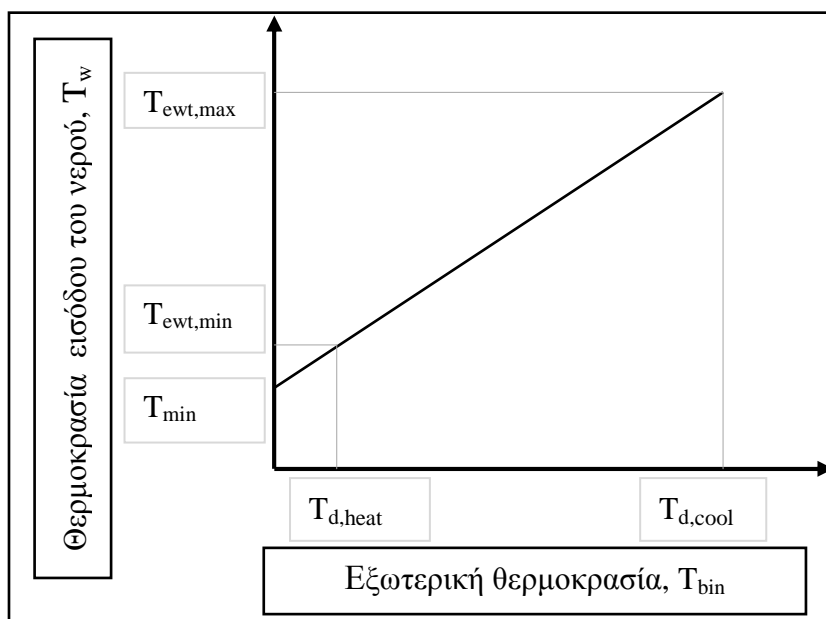
### 6.6.6. Θερμοκρασία εισόδου νερού για κλειστά συστήματα

Για μια δεδομένη θερμοκρασία  $T_{bin,i}$ , η θερμοκρασία  $T_{w,i}$  του νερού στην είσοδο της αντλίας θερμότητας είναι:

$$T_{w,i} = T_{\min} + \left( \frac{T_{ewt,\max} - T_{ewt,\min}}{T_{d,cool} - T_{d,heat}} \right) \cdot (T_{bin,i} - T_{d,heat}) \quad (6.12)$$

Με βάση μια διαδικασία που παρουσιάζεται από την IGSHPA (1988) αναπτύχθηκε μια μέθοδος γραμμικής παρεμβολής (Σχήμα 6.7). Αυτή η μέθοδος

αφορά την αξιολόγηση του συντελεστή απόδοσης των αντλιών θερμότητας και της σχετικής χωρητικότητας τους ( $Q_{c/h}$ ), για κάθε δοχείο θερμοκρασίας. Όπου  $T_{min}$  αντιπροσωπεύει το σημείο όπου η καμπύλη κόβει των Y-άξονα.



**Σχήμα 6.7** Γραμμική μέθοδος παρεμβολής για το μήνα ψύξης ( $T_{d,cool}$ ) και το μήνα θέρμανσης ( $T_{d,heat}$ ).

## 6.7. Μηχανήματα εκσκαφών εγκατάστασης γεωεναλλακτών

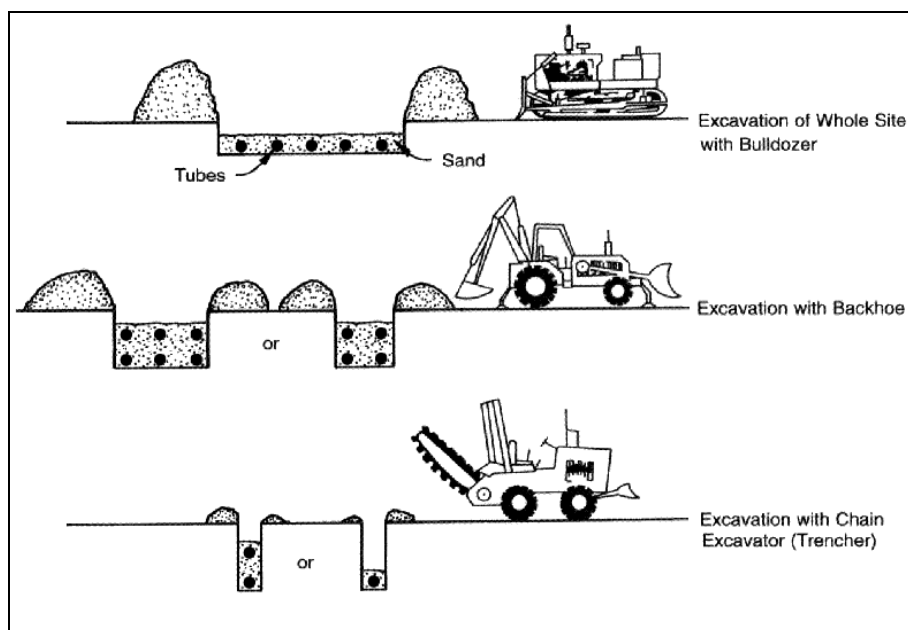
Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για να σκάψουν ή να ανοίξουν τάφρους ή τρύπες έτσι ώστε να τοποθετηθούν εκεί οι σωληνώσεις των οριζόντιων γεωεναλλακτών είναι: Εκσκαφείς με αλυσίδα για διάνοιξη τάφρων (trencher), τα δονητικά άροτρα (vibratory plow), οι κοινοί εκσκαφείς (backhoe), οι μπουλντόζες (bulldozer) και τα μηχανήματα οριζόντιων γεωτρήσεων (horizontal directional drilling rig). Μερικά από αυτά μηχανήματα είναι απαραίτητα και για να καλύψουν αυτές τις σωληνώσεις με το χώμα των εκσκαφών.

Όπως θα δούμε και στις εικόνες που παρατίθενται πιο κάτω τα μηχανήματα αυτά διατίθενται σε μια πληθώρα μεγεθών. Εδώ, η ισχύς των μηχανημάτων έχει να κάνει με τον όγκο χωμάτων που μπορούν να σκάβουν ή να κινούν, σε μια κίνηση κάθε φορά. Έτσι ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης επιλέγεται το κατάλληλο σε ισχύς μηχανήματα. Τα μηχανήματα είναι σκαπτικά εξαρτήματα (Εικόνες 6.8) που τα φέρει αντίστοιχων δυνατοτήτων όχημα. Βέβαια κάθε χωματουργικό όχημα μπορεί να έχει σύγχρονος τοποθετημένα όλα ή μερικά από αυτά τα εξαρτήματα.



*Εικόνες 6.8 Οχήματα και ειδικά εξαρτήματα χωματουργικών μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για εκσκαφές και μετακινήσεις χωμάτων.*

Η επιλογή της μηχανής εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και το κόστος. Γενικά, η μηχανή που κινεί το λιγότερο ποσό χώματος θα είναι η οικονομικώς πιο αποδοτική. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 6.9) δίνετε μια γενική απεικόνιση των ποσοτήτων χωμάτων που βγάζουν κατά την εκσκαφή η μπουλντόζα, ο εκσκαφέας και ο αλυσσοεκσκαφέας μιας και το οριζόντιο γεωτρύπανο δεν κινεί χώματα προς την επιφάνεια.



*Σχήμα 6.9 Σύγκριση των δύο βασικών μορφών εκσκαφών (ολική εκσκαφή του χώρου και εκσκαφές τάφρων) με τους τρεις κύριους τύπους μηχανημάτων.*

### 6.7.1. Μηχανήματα διάνοιξης τάφρων

Σε πολλές περιπτώσεις, τα ειδικά μηχανήματα διάνοιξης τάφρων (Εικόνες 6.10) με σύστημα αλυσίδας (αλυσοεκσκαφείς), αποτελούν την πιο οικονομική επιλογή δεδομένου ότι το ποσό χώματος που αφαιρείται είναι ελάχιστο όταν συγκρίνεται με τις υπόλοιπες μεθόδους και η παραγωγικότητα του είναι συνήθως πολύ υψηλότερη από αυτή των εκσκαφών. Επιπλέον τα μηχανήματα αυτά διατίθενται και σε διαφόρους τύπους και μεγέθη κάνοντας κατάλληλα για διαφορετικής φύσης εγκαταστάσεις οριζόντιων γεωεναλλακτών. Υπάρχει και η δυνατότητα κατά την διάνοιξη τάφρων να ενσωματωθεί στο trencher ένα σύστημα που να επιτρέπει την αυτόματη τοποθέτηση και επιχωμάτωση του σωλήνα ή πολλαπλών σωλήνων στην τάφρο. Ένας συρόμενος δονητής και η προσθήκη νερού για να διαμορφωθεί ένα είδος πηλού έχουν αυξήσει την παραγωγικότητα σημαντικά για το σύστημα πολλαπλών σωλήνων σε ενιαία τάφρο. Οι πολλαπλοί σωλήνες στην τάφρο μειώνουν πολύ το μήκος των τάφρων και την περιοχή που απαιτείται για ένα οριζόντιο θαμμένο σύστημα σωληνώσεων.



*Εικόνες 6.10 Διάφοροι τύποι και μεγέθη, μηχανημάτων διάνοιξης τάφρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης.*

### 6.7.2. Δονητικά άροτρα

Τα δονητικά άροτρα (Εικόνες 6.11) είναι που κατά τον τρόπο της διάνοιξης τάφρων είναι όμοια με τους αλυσοεκσκαφείς, χρησιμοποιούνται συνήθως σε βάθη μικρότερα από 1m. Για να διευκολυνθεί ο γρήγορος ενταφιασμός, χρησιμοποιείται ένας δονητής ή ένα δονητικό άροτρο, αλλά και για να βελτιωθεί την ταχύτητα της τοποθέτησης και για να μειωθεί το μέγεθος της μηχανής. Τα χαλαρά ή ασταθή



χώματα υπόκεινται επίσης σε αυτόν τον τύπο τοποθέτησης σωλήνων. Αυτά τα άροτρα λειτουργούν αποτελεσματικότερα από έναν αλυσοεκσκαφέα ακόμα και σε παγετώδη εδάφη.



*Εικόνες 6.11 Δομητικά άροτρα κατά την εκτέλεση εργασιών στους χώρους εγκατάστασης του γεωεναλλάκτη.*

### **6.7.3. Εκσκαφείς**

Οι εκσκαφείς (Εικόνες 6.12) χρησιμοποιούνται όπου υπάρχουν βράχοι, πλάκες ή λίθοι που είναι πάρα πολύ μεγάλοι ή πάρα πολύ δύσκολο να αφαιρεθούν με έναν trencher. Χρησιμοποιούνται περισσότερο για την διάνοιξη τάφρων και όχι εκτεταμένων εκσκαφών και είναι πολύ απαραίτητοι για να ανοιχθεί η περιοχή γύρω από το κτίριο και ειδικά στο σημείο που θα γίνει η σύνδεση του γεωεναλλάκτη με το χώρο του μηχανοστασίου.

Σε πολλές εγκαταστάσεις οριζόντιων γεωεναλλακτών είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί μόνο εκσκαφέας για όλες τις εργασίες που απαιτούνται. Ένας τέτοιος προγραμματισμός των εργασιών με ένα μηχάνημα μπορεί να μειώσει κατά πολύ μεγάλο βαθμό το κόστος εγκατάστασης.

Το χώμα που αφαιρείται από έναν εκσκαφέα τείνει να είναι άμορφο και μπορεί να αφήσει κενά αέρος γύρω από τους σωλήνες, μειώνοντας πολύ την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας. Για αυτό θα πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ταμποναρίσματος.





*Εικόνες 6.12 Διάφορες εργασίες εκσκαφών. Επειδή ένας εκσκαφέας μπορεί να κάνει όλες τις εργασίες σε μια εγκατάσταση γεωεναλλακτών (ιδιαίτερα μικρού μεγέθους), θα μπορούσε να είναι το μόνο σκαπτικό μηχάνημα κατά τις απαιτούμενες εργασίες.*

#### **6.7.4. Μπουλντόζες**

Οι μπουλντόζες που κινούνται συνήθως επάνω σε ερπύστριες, ή και σε ρόδες και είναι κατάλληλες όταν απαιτείται εκτεταμένη αφαίρεση χωμάτων. Επίσης χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των εκσκαφών. Στις μεγαλύτερου μεγέθους εγκαταστάσεις, οι μηχανές τύπου ερπύστριας χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση των φρεατίων των οριζόντιων εναλλακτών επίγειας θερμότητας καθώς και για διαστρωμάτωση των χωμάτων ώστε να αφαιρεθούν τα τυχόν κενά εγκλωβισμένου αέρα. Γενικότερα, αποφεύγεται η χρήση τους γιατί είναι συνήθως πιο κοστοβόρες από τις υπόλοιπες λύσεις και εκτελούν περιορισμένες εργασίες στο πεδίο των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων (Εικόνες 6.13).



*Εικόνες 6.13 Διάφοροι τύποι μπουλντόζας και παρουσίαση κάποιων εργασιών στις εγκαταστάσεις γεωεναλλακτών.*

#### **6.7.5. Μηχανές διάνοιξης οριζόντιων οπών**

Οι οριζόντιες μηχανές διατρήσεων (Εικόνες 6.14) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση των οριζόντιων εναλλακτών επίγειας θερμότητας χωρίς διατάραξη της επίγειας επιφάνειας. Έτσι συνίσταται σε γήπεδα αθλητικών εγκαταστάσεων, περιοχές με μεγάλα δέντρα, επικλινή εδάφη, χώρους στους οποίους δεν μας επιτρέπεται παρέμβαση, για ιστορικούς ή αρχιτεκτονικούς λόγους και άλλα.

Σε αυτήν την μέθοδο, το διατρητικό τοποθετείται περίπου 30 μοίρες από την επιφάνεια και ωθείται υδραυλικά στο έδαφος με περιστροφή. Το βάθος διάτρησης μπορεί να φτάσει ως και τα 6m και το μήκος αυτής έως και τα 150m. Η οριζόντια κατεύθυνση των τρυπανιών καθώς και το βάθος μπορούν να καθοριστούν με τη βοήθεια ενός φορητού συστήματος ελέγχου επιφάνειας και μιας συσκευής αποστολής σημάτων. Η ικανότητα οδήγησης επιτρέπει στο τρυπάνι να αποφύγει τα στρώματα βράχου και οποιαδήποτε γνωστή υπόγεια προβληματική περιοχή.

Δεδομένου ότι η επίγεια επιφάνεια και ο υπάρχων εξωραϊσμός δεν είναι διαταραγμένα, οι δαπάνες αποκατάστασης είναι ελάχιστες. Τα πολλαπλάσια στρώματα των οριζόντιων σωλήνων μπορούν να βρεθούν στον ίδιο οριζόντιο τομέα, ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια την απαραίτητη περιοχή εδάφους. Οι τοπικές συνθήκες χώματος και βράχου θα καθορίσουν εάν αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση εναλλακτών θερμότητας.





*Εικόνες 6.14 Οριζόντιες μηχανές διατρήσεων για την εγκατάσταση γεωεναλλακτών οριζόντιας διάταξης.*

## **6.8. Διαδικασία εγκατάστασης γεωεναλλάκτη**

### **βήμα 1**

- Αρχικά ανοίγουμε ενιαία περιοχή (ανοικτό πεδίο) ή μια ή περισσότερες τάφρους, βάθους λιγότερο από 2m.
- Κατόπιν μπορούμε να απλώσουμε πάνω από το σκαμμένο έδαφος (πετρώδες ή χώμα) μια στρώση άμμου, είτε παραθαλάσσια είτε παραποτάμια (είναι γνωστό ότι αυτό το είδος άμμου βοηθάει και βελτιώνει τον συντελεστή θερμοαγωγιμότητας μεταξύ του εδάφους και των γεωεναλλακτών).

### **βήμα 2**

- Επιλέξτε μια θέση που βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του συστήματος βρόχου για να εγκατασταθεί ένα κιβώτιο από ειδικό πλαστικό ή σκυρόδεμα (Εικόνες 6.15) όπου μέσα του θα τοποθετηθεί ο συλλέκτης των σωληνώσεων. Εναλλακτικά, ο συλλέκτης μπορεί να βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου με τους σωλήνες του βρόχου έδαφος να διαπερνούν το τοίχωμα του υπογείου μέσω κατάλληλων συνδέσμων. Τα κιβώτια που χρησιμοποιούνται για τη προστασία του συλλέκτη πρέπει να παρέχουν πλήρη κάλυψη των εξαρτημάτων στο εσωτερικό του, καθώς οι σωληνώσεις και οι σύνδεσμοι τους πρέπει να προστατεύονται από την υπερϊώδη ακτινοβολία.



**Εικόνες 6.15** Δύο τύποι κιβωτίων σύνδεσης, από σκυρόδεμα και πλαστικό. Εκεί μέσα θα συνδεθεί ο συλλέκτης με τους βρόχους του γεωεναλλάκτη.

- Συνδέστε τους σωλήνες του γεωεναλλάκτη με των συλλέκτη (Εικόνες 6.16). Αυτή η διαδικασία λέγεται (Headering Up). Οι σωληνώσεις που έρχονται από τον γεωεναλλάκτη πρέπει να προβλεφθούν έτσι ώστε να έχουν μια ελαφριά κλίση (Εικόνα) σε σχέση τον πολλαπλό σύνδεσμο ώστε ο καθαρισμός του συστήματος από τον αέρα να είναι αποτελεσματικός. Ο συλλέκτης μπορεί να τοποθετηθεί οριζόντια ή και κάθετα σε σχέση με το έδαφος.



**Εικόνες 6.16** Πολλαπλός σύνδεσμός (συλλέκτης) πριν και μετά την σύνδεση του με τις σωληνώσεις των βρόχων. Στην τελευταία εικόνα διακρίνουμε και την ελαφριά κλίση που δίνετε στις σωληνώσεις που καταλήγουν στον χώρο του συλλέκτη.



### βήμα 3

- Αμέσως μετά τοποθετούνται οι σωληνώσεις (Εικόνα 6.17) ή τα πλέγματα που έχουν επιλεγεί και τα οποία είναι συνήθως φτιαγμένα από πολυπροπυλένιο. Σε αυτό το στάδιο και όσο παραμένει ακόμα ανοιχτό το πεδίο εκσκαφής, γίνονται οι συνδέσεις των σωληνώσεων, με ειδικό μηχάνημα θερμοκόλλησης (Εικόνα 6.18), για να εξασφαλιστεί η στεγανότητα του δικτύου.



*Εικόνα 6.17 Τοποθέτηση σωληνώσεων οριζόντιου γεωεναλλάκτη σε μεγάλο μεγέθους εγκατάσταση. Εικόνα 6.18 Θερμοκόλληση σωληνώσεων στο χώρο του εργοταξίου, με κατάλληλο εργαλείο.*

- Στη συνέχεια, σφραγίζεται η είσοδος αεροστεγώς, φορτίζεται το δίκτυο σε πίεση 3bar από την έξοδο με ένα κομπρεσέρ αέρος και γίνεται έλεγχος για τυχόν διαρροές.
- Επίσης πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι ενώσεις είναι μηχανικά αρκετά ισχυρές έτσι ώστε να αναγκάσουν το σωλήνα να απορροφήσει την πίεση της επέκτασης στο μήκος και της συστολής που προκαλείται από τις αλλαγές θερμοκρασίας στο κυκλοφορούν υγρό. Οι άκρες σωλήνων πρέπει να είναι επιπλέον πολύ μεγάλες και να μην κοπούν στο τέλος των συναρμολογήσεων έως ότου έχει φθάσει το υπόλοιπο του σωλήνα στην εδαφολογική θερμοκρασία της τάφρου.

### βήμα 4

#### Ανοικτού πεδίου Εγκατάσταση

- Τοποθετήστε και ευθυγραμμίστε τους σωλήνες στην απαιτούμενη απόσταση. Κατόπιν στερεώστε τους σε αυτές τις θέσεις χρησιμοποιώντας ενισχύσεις (Εικόνες 6.19).
- Βεβαιωθείτε ότι τηρείται η σωστή ακτίνα κάμψης των σωληνώσεων. Πάντα πρέπει να αφήνεται περισσότερος σωλήνας στις κάμψεις για να αποφευχθεί η πτύχωση των σωλήνων. Πρέπει να ακολουθείται η οδηγία του κατασκευαστή για την ελάχιστη ακτίνα σωλήνων.





**Εικόνες 6.19** Ευθυγράμμιση των σωληνώσεων με ράμια και στερέωση στους με χώμα ή άμμο.

### **Εγκατάσταση σε τάφρους**

- Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι βράχοι έχουν αφαιρεθεί. Επίσης, να αφαιρεθούν από την άκρη της τάφρου και από την κορυφή του σωρού έτσι ώστε να μην πέσουν μέσα με την άμμο που τίθεται αρχικά στην τάφρο για να υποστηρίξει και να καλύψει το σωλήνα για προστασία.
- Ο σωλήνας πρέπει να επιθεωρηθεί πριν ακόμα μπει στην τάφρο για τυχόν εκδορές και σφάλματα.

### **βήμα 5**

- Στη συνέχεια, σφραγίζεται η είσοδος αεροστεγώς, φορτίζεται το δίκτυο σε πίεση 3bar από την έξοδο με ένα κομπρεσέρ αέρος και γίνεται έλεγχος για τυχόν διαρροές.
- Εάν το έδαφος αποτελείται από βαρύ άργιλο στα πολύ ξηρά κλίματα, το χώμα μπορεί να ξεραθεί καθώς θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των κύκλων θερινής ψύξης της αντλίας θερμότητας. Έτσι, χρησιμοποιείται για γέμισμα μια ιδιαίτερα ψιλή άμμος γύρω από το σωλήνα ή μια γραμμή άρδευσης υπεδάφους που θάβεται μερικά εκατοστά επάνω από το σωλήνα. Η ιδιαίτερα ψιλή άμμος θα διατηρήσει καλύτερα την επαφή με το σωλήνα όταν θα ξεραθούν τα αργιλικά χώματα.

### **βήμα 6**

- Συνδέστε μια μονάδα καθαρισμού μεταξύ του πολλαπλού συλλέκτη και της αντλίας θερμότητας για τον καθαρισμό του γεωεναλλάκτη από τυχόν στερεά σώματα και εγκλωβισμένων θυλάκων αέρα.
- Πριν από την έναρξη του καθαρισμού του γεωεναλλάκτη, βεβαιωθείτε ότι η βαλβίδα που επιτρέπει τη ροή προς την αντλία θερμότητας είναι κλειστή.
- Χρησιμοποιώντας μια ταχύτητα ροής τουλάχιστον 2 ft/sec, καθαρίστε το κύκλωμα του γεωεναλλάκτη. Εάν η πολλαπλή χρησιμοποιείται, κάθε κύκλωμα μπορεί και να καθαριστεί ξεχωριστά.

- Μετά το καθαρισμό του συστήματος του γεωεναλλάκτη, το άνοιγμα της βαλβίδας προς την αντλία θερμότητας θα επιτρέψει τον επιπλέον καθαρισμό του κυκλώματος από την Γ.Α.Θ. στο γεωεναλλάκτη.
- Ολόκληρο το σύστημα είναι τώρα έτοιμο για να τεθεί σε λειτουργία.
- Χρησιμοποιήστε τη μονάδα καθαρισμού για να επαληθεύσουμε ότι η ροή θερμότητας προς το έδαφος από τον γεωεναλλάκτη θα γίνει σύμφωνα με τη μελέτη του συστήματος. Εάν η μετρούμενη πτώση πίεσης στο σύστημα είναι σύμφωνη με τη σχεδιασμένη πτώση πίεσης, τότε μπορεί να υποθεθεί ότι η σύστημα λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί και ότι όλες οι διαδρομές ροής είναι καθαρές.

### **βήμα 7**

- Χρησιμοποιήστε τη μονάδα καθαρισμού να πληρώσετε πρώτα τον γεωεναλλάκτη θερμότητας με ένα αντιψυκτικό διάλυμα, και μετά ολόκληρο το σύστημα (συμπεριλαμβανομένου και του εναλλάκτη θερμότητας του βρόχου της αντλίας θερμότητας). Η αναλογία νερού προς αντιψυκτικό υγρό θα πρέπει να καθορίζεται από τον κατασκευαστή της Γ.Α.Θ..
- Εφαρμόστε τη μέγιστη πίεση στο σύστημα για την λειτουργία κλειστού βρόχου. Η πίεση θα πρέπει να είναι σε ένα επίπεδο που θα αποτρέπει να δημιουργείτε το φαινόμενο της σπηλαίωσης στο κυκλοφορητή και να διατηρείται σταθερή κατά τη λειτουργία των κύκλων θέρμανσης και ψύξης. Η αρχική πίεση του συστήματος θα πρέπει να είναι μεταξύ 20 έως 30 psi.

### **βήμα 8**

- Αν οι συνδέσεις έγιναν σωστά τότε τοποθετείται το χώμα των εκσκαφών (Εικόνα 6.20) ή άμμος πάνω από το δίκτυο μέχρι να καλυφθούν οι σωλήνες (Εικόνα 6.21). Ο υπόλοιπος χώρος καλύπτεται με το υλικό που αφαιρέθηκε αρχικά.
- Εάν οι βράχοι έχουν αφαιρεθεί από την άκρη της τάφρου και από την κορυφή του σωρού και δεν έχουν διαμορφωθεί σβόλοι λόγω της βροχής, μπορούμε με μία λεπίδα γωνίας ή κάποιο άλλο εξάρτημα να ρίξουμε την κορυφή του σωρού στην τάφρο.
- Πρέπει να χρησιμοποιηθούν αρκετά ακόμα περάσματα με τη λεπίδα γωνίας για να καταστήσουν την επιχωμάτωση όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη και για να αποτραπούν τυχόν κενά με αέρα στο έδαφος.
- Διάφορα στάδια ταμποναρίσματος και περασμάτων με τις ρόδες του χωματουργικού οχήματος είναι πιθανόν να είναι απαραίτητα για να ολοκληρωθεί η εργασία.



**Εικόνα 6.20** Επιχωμάτωση με τα χώματα των εκσκαφών. **Εικόνα 6.21** Επίστρωση με στρώμα άμμου και μετά επιχωμάτωση με τις εκσκαφές.

### βήμα 9

- Κατόπιν, γίνεται η σύνδεση του πολλαπλού συλλέκτη με τη Γ.Α.Θ. (Εικόνα 6.22). Σωληνώσεις εισαγωγής και εξαγωγής από και προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου που είναι εγκατεστημένη η Γ.Α.Θ. και ο υπόλοιπος εξοπλισμός του μηχανοστασίου (Εικόνα 6.23), οδηγούνται από το κιβώτιο του πολλαπλού συλλέκτη.
- Ακολουθούν οι συνδέσεις και ο προγραμματισμός της αντλίας θερμότητας με τα υπόλοιπα εξαρτήματα (υπερθερμαντήρες, δοχεία αδράνειας, και άλλα). Καθώς και η σύνδεση με το τερματικό σύστημα μετάδοσης θερμότητας.



**Εικόνα 6.22** Σωληνώσεις που κατευθύνονται από τον πολλαπλό συλλέκτη στο χώρο του μηχανοστασίου. **Εικόνα 6.23** Τοπική απεικόνιση μηχανοστασίου Γ.Α.Θ. σε μικρής κλίμακας εφαρμογές.

### βήμα 10

- Το μέρος, όπου είναι τοποθετημένος ο βρόχος, πρέπει να οριοθετείται για να αποφευχθεί τυχόν τραυματισμός των σωληνώσεων στο μέλλον. Επίσης, μπορεί να αξιοποιηθεί ο χώρος για καλλωπισμό του τοπίου με εξαίρεση τα δέντρα (Εικόνες 6.24).





*Εικόνες 6.24 Εγκατάσταση γεωεναλλακτών και αποκατάσταση τοπίου σε κατοικία στην Annapolis του Maryland, ΗΠΑ. (πηγή: <http://www.earthrivergeo.com>)*

### **6.9. Τελικές εκτιμήσεις σχεδιασμού – υπολογισμού - εγκατάστασης οριζόντιου γεωεναλλάκτη**

Μια καλά μελετημένη και σχεδιασμένη Γ.Α.Θ. με πηγή το έδαφος ενσωματώνει αποτελεσματικά όλα τα στοιχεία του συστήματος προς την κατεύθυνση της ελαχιστοποίησης της αρχικής επένδυσης και του κόστους λειτουργίας, ενώ παράλληλα επιδιώκει τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

Δεδομένου ότι ο βρόχος του γεωεναλλάκτη θερμότητας είναι μέρος του συστήματος Γ.Α.Θ., θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι ο γεωεναλλάκτης και όλα τα άλλα εξαρτήματα του συστήματος είναι καλά σχεδιασμένα και συμβατά μεταξύ τους. Τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν:

- Προσδιορισμός των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.
- Καθορισμός των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου.
- Μέγεθος και επιλογή της αντλίας θερμότητας.
- Μέγεθος και επιλογή του συστήματος διανομής θέρμανσης/ψύξης.
- Μέγεθος του βρόχου του γεωεναλλάκτη θερμότητας.

Για την επιτυχία όμως της εγκατάστασης. Εκτός από τον καθορισμό και την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και υλικών απαιτείται και μεγάλη προσοχή στην διάθρωση των διαδικασιών και το σχεδιασμό του συστήματος. Ο χρόνος που δαπανάται στον προσεκτικό προγραμματισμό και σχεδιασμό μειώνει ουσιαστικά το χρόνο και το κόστος της εγκατάστασης. Κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού θα πρέπει να εξετάζονται οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Τη γενική μορφή της εκσκαφής όπου θα γίνει η εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη. Δηλαδή εάν θα γίνει σε ανοιχτό πεδίο (ολική απομάκρυνση του εδάφους) ή σε τάφρους. Η οριζόντια διάτρηση αποτελεί και αυτή μια μέθοδος τοποθέτησης του γεωεναλλάκτη. Σε μεγάλο βαθμό αυτές οι επιλογές εξαρτώνται από τα διαθέσιμα σκαπτικά μηχανήματα παρά από τις ενεργειακές ανάγκες και το μέγεθος των βρόχων.
- Το βάθος της εκσκαφής, όπου επηρεάζεται από το κλίμα, τους εδαφολογικούς παράγοντες και τον τύπο και μέγεθος των διαθέσιμων σκαπτικών μηχανημάτων. Τυπικά, οι σωλήνες ενός οριζόντιου συστήματος που θα είναι σε βάθος 1,2m έως 1,8m και σε ένα διάστημα 50 – 100cm.
- Την έκταση του σκαμμένου ανοικτού πεδίου ή το μήκος των τάφρων, όπως επηρεάζεται από την διαθέσιμη περιοχή, τα θερμαντικά και ψυκτικά φορτία, τον αριθμό σωλήνων στην τάφρο (εάν επιλεγεί αυτός ο τύπος εγκατάστασης), τον τύπο και την περιεκτικότητα σε υγρασία του χώματος.
- Το σχέδιο του ανοικτού πεδίου ή των τάφρων, όπως επηρεάζεται από υπέργειες και υπόγειες παρεμποδίσεις, την κλίση του εδάφους, περιορισμούς ακτίνας στροφής των μηχανημάτων εκσκαφής, απαιτήσεις επιχωμάτωσης και αποκατάστασης. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επισήμανση των βρόχων στην επιφάνεια.
- Η επιλογή κατά το σχεδιασμό, μονής ή πολλαπλής διαστρωμάτωσης σωληνώσεων, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις του φορτίου ενέργειας. Η συγκεκριμένη επιλογή επηρεάζει κατά πολύ και το βάθος των εκσκαφών. Επίσης σε αυτή διαδικασία εκλέγεται και ο τελικός τύπος του οριζόντιου γεωεναλλάκτη, παράλληλης ή σε σειρά διάταξης, σπειροειδής ή όχι και πολλές άλλες διαμορφώσεις όπως έχουμε δει σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Ο τύπος και το μέγεθος των σκαπτικών μηχανημάτων. Γιατί εκτός των διαθέσιμων μηχανημάτων που μπορεί να έχουμε σε κάποια περιοχή, καθώς οι μετακινήσεις τέτοιων βαρέων οχημάτων είναι αρκετά κοστοβόρες και θα πρέπει να προϋπολογιστούν. Ο τύπος του χώματος, το βραχώδες του εδάφους και το βάθος εκσκαφής επηρεάζει την εκλογή των μηχανημάτων. Επίσης είναι επιθυμητό να τελειώσουν οι περισσότερες εργασίες σε μια ημέρα (ιδιαίτερα στις εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους), οι οποίες θα ελαχιστοποιήσουν τις δαπανηρές διακοπές εργασιών, τις περιπλοκές λόγω του καιρού και έτσι τις παραλλαγές στις εδαφολογικές καταστάσεις.

Όλα τα παραπάνω θα πρέπει να προσαρμοστούν και στους επιμέρους νομοθετικούς περιορισμούς που θέτει η πολιτεία μέσω των αρμόδιων οργάνων και υπηρεσιών. Οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ειδικότερα σε ότι



αφορά τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Τους οποίους θα πρέπει να τηρήσουμε με ευλάβεια όχι μόνο γιατί το επιβάλει ο νόμος άλλα και γιατί είναι συνυφασμένοι με τις τεχνολογίες Α.Π.Ε., όπως η αξιοποίηση του αβαθούς γεωθερμικού δυναμικού.

Επίσης θα πρέπει να τηρηθούν τα τεχνικά πρότυπα, περιορισμοί και διαδικασίες όπως ορίζει ο νόμος και τα αντίστοιχα τεχνικά επιμελητήρια. Για το λόγο Αυτό παραθέτω σε μορφή παραρτήματος την ισχύουσα νομοθεσία της Ελλάδας όπως έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

Ελληνική νομοθεσία εφαρμογών γεωθερμικών  
συστημάτων

## **7. Ελληνική νομοθεσία εφαρμογών γεωθερμικών συστημάτων**

### **7.1. Ο βασικός νόμος 3175 του 2003**

Με βάση το Νόμο Υπ' Αριθ. 3175/2003 δημιουργείται και στην Ελλάδα ένα σύγχρονο νομικό πλαίσιο για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας. Σκοπός του νόμου αυτού είναι η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του δυναμικού αυτού, ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη και εξυπηρετεί το γενικό συμφέρον. Αξιοποίηση θεωρείται η έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του.

Έτσι ορίζεται ότι γεωθερμικό δυναμικό είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπογείων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C. Επίσης τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

α) χαμηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25°C-90°C και

β) υψηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90°C

Στο Άρθρο 11 του παραπάνω νόμου, που παρακάτω παρατίθεται αυτούσιο, γίνεται λόγος και για την εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας που δεν χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τα παραπάνω, γεωθερμικό δυναμικό. Εδώ να θυμίσουμε ότι αβαθής γεωθερμία είναι η αποθηκευμένη ενέργεια των γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων, υδροφορέων) του φλοιού της γης με μορφή θερμότητας, σε θερμοκρασία μικρότερη των 25°C.

#### **Άρθρο 11**

##### **Ενεργειακά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης.**

1. Η εγκατάσταση για χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπογείων που δεν χαρακτηρίζονται, σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου αυτού, γεωθερμικό δυναμικό, επιτρέπεται ύστερα από άδεια που χορηγείται στον κύριο του ακινήτου από τη νομαρχιακή αυτοδιοίκηση.
2. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης ρυθμίζονται οι ειδικότεροι όροι, προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και η διαδικασία για την έκδοση των αδειών αυτών.

## **7.2. Η τελευταία ρυθμιστική υπουργική απόφαση του 2009**

Για τις εφαρμογές σε συστήματα θέρμανσης-ψύξης κτιρίων που αξιοποιούν την αβαθή γεωθερμία στη χώρα μας, ισχύει η Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488 που αναφέρεται με τον τίτλο:

- Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό.

Στο άρθρο 1 δίνεται ο σκοπός, οποίος δεν είναι άλλος από τη ρύθμιση των ειδικών όρων, των προϋποθέσεων, των απαιτούμενων δικαιολογητικών και των διαδικασιών για την έκδοση των αδειών εκτέλεσης και εγκατάστασης τέτοιων έργων. Όπως ορίζεται από το Άρθρο 11 του Νόμου 3175/2003.

Οι ορισμοί που δίνονται στο Άρθρο 2 καθιστούν σαφές ότι από τους δυνατούς συνδυασμούς των συστημάτων που εφαρμόζονται στην αβαθή γεωθερμία μπορεί να προκύψουν συστήματα κλειστού ή ανοικτού κυκλώματος είτε με άντληση νερού είτε και χωρίς άντληση.

Τα δύο αυτά άρθρα παρατίθενται όπως ακριβώς είναι διατυπωμένα και στην υπουργική απόφαση.

### **Άρθρο 1**

#### **Σκοπός**

Με την απόφαση αυτή καθορίζονται οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και η διαδικασία έκδοσης άδειας υπέρ του κυρίου ενός ακινήτου για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή/και ψύξης (θ/ψ) κάθε χώρου του ακινήτου μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό.

Η κατά τα ανωτέρω άδεια αποτελεί ενιαία άδεια εκτέλεσης/εγκατάστασης έργου και λειτουργίας των αδειοδοτούμενων εγκαταστάσεων.

### **Άρθρο 2**

#### **Ορισμοί**

Για την εφαρμογή της απόφασης αυτής, οι ορισμοί έχουν τις ακόλουθες έννοιες: α) Σύστημα, είναι ο συνδυασμός μηχανημάτων ή/και δικτύων ή/και γεωτρήσεων ή/και εγκαταστάσεων, με τον οποίο

επιτυγχάνεται η θέρμανση ή και η ψύξη χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται από την κείμενη νομοθεσία ως γεωθερμικό δυναμικό.

β) Σύστημα κλειστού κυκλώματος ονομάζεται εκείνο το οποίο συνδυάζει αντλία θερμότητας με γεωεναλλάκτη. Ο γεωεναλλάκτης αποτελεί σύνολο σωληνώσεων εντός του εδάφους ή εντός γεωτρήσεων μετά των παρελκομένων του όπου κυκλοφορεί ρευστό σε κλειστό κύκλο, έτσι ώστε να υφίσταται μεταφορά θερμότητας από ή προς το έδαφος χωρίς άντληση νερού.

γ) Όποιο σύστημα δεν ορίζεται ως κλειστού κυκλώματος κατά τα ανωτέρω, χαρακτηρίζεται ως σύστημα ανοικτού κυκλώματος και μπορεί να περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων παραγωγική γεώτρηση και γεώτρηση επανεισαγωγής.

δ) Παραγωγική γεώτρηση ανοικτού κυκλώματος είναι η γεώτρηση άντλησης ρευστού από το υπέδαφος.

ε) Γεώτρηση επανεισαγωγής (ή επανέγχυσης) ανοικτού κυκλώματος είναι η γεώτρηση, με την οποία το ρευστό οδηγείται από την επιφάνεια στον υπόγειο αποδέκτη από τον οποίο αντλήθηκε.

Επίσης, η υπουργική απόφαση του 2009 με τα υπόλοιπα άρθρα της, που παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω, δίνει τις υπόλοιπες παραμέτρους που είναι απαραίτητες σύμφωνα με τη πολιτεία και το νομοθέτη. Έτσι καθορίζεται:

- Με το **Άρθρο 3** τις υπηρεσίες έκδοσης των αδειών και τους δικαιούχους αυτών.
- Με το **Άρθρο 4** τους περιοριστικούς όρους που αφορούν την ανόρυξης γεώτρησης ή την κατασκευής ορύγματος.
- Με το **Άρθρο 5** τα απαιτούμενα δικαιολογητικά που είναι απαραίτητα για την έκδοση της αναφερόμενης άδειας.
- Με το **Άρθρο 6** την διαδικασία χορήγησης άδειας.
- Με το **Άρθρο 7** τις περιπτώσεις που ο νόμος μπορεί να δεχτεί τροποποιήσεις της άδειας.
- Με το **Άρθρο 8** τις περιπτώσεις ανάκλησης της άδειας σε διαπίστωση παρατυπιών, κατόπιν έλεγχου. Επίσης ορίζει και τα πρόστιμα που επιβάλλονται.
- Με το **Άρθρο 9** παύει η ισχύει η προηγούμενη Υπουργική Απόφαση Δ9Β,Δ/Φ166/οικ18508/5552/207/19.10.2004 (ΦΕΚ1595/Β'/25.10.2004)



που ρύθμιζε τα σχετικά με το Άρθρο 11 του Νόμου 3175/2003 και θέτει σε ισχύει την παρούσα.

### 7.2.1. Περιοριστικοί όροι του άρθρου 4

- Σε περίπτωση ανόρυξης γεώτρησης ή κατασκευής ορύγματος, στο πλαίσιο της εγκατάστασης ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης χώρων, αυτά πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων της ιδιοκτησίας (οικοπέδου ή αγροτεμαχίου ή γηπέδου) επί της οποίας βρίσκονται οι προς κλιματισμό χώροι. Ειδικότερα οι γεωτρήσεις οφείλουν να απέχουν τουλάχιστον:

α) Δύο μέτρα από τα όρια της ιδιοκτησίας.

β) Πέντε μέτρα από υφιστάμενο γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας.

γ) Πέντε μέτρα από το όριο της απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής.

δ) Δέκα μέτρα από κεντρικό αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου.

ε) Πέντε μέτρα από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης κλπ.).

στ) Δέκα μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσεως, εκτός εάν ανάμεσα στη γραμμή και τη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.

ζ) Πέντε μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης, εκτός αν ανάμεσα στη γραμμή και τη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.

*Οι περιγραφόμενες αποστάσεις στα εδάφια β, ε και ζ μπορούν να μειωθούν σε περίπτωση εγκατάστασης συστημάτων εντός σχεδίου πόλης υπό τον όρο η γεώτρηση να βρίσκεται εντός της γραμμής δόμησης, έπειτα από έγκριση της αδειοδοτούσας αρχής.*

- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων και των ορυγμάτων και κατά την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης χώρων, τόσο κατά την κατασκευή, όσο και κατά τη λειτουργία του συστήματος οφείλουν να λαμβάνονται από το μελετητή και επιβλέποντα των έργων όλα τα απαραίτητα μέτρα σύμφωνα με τους κανόνες της επιστήμης και της τέχνης για την αποφυγή ατυχημάτων και την προστασία των περιοίκων και του περιβάλλοντος.
- Σε κάθε γεώτρηση να γίνεται τσιμέντωση τουλάχιστο για τα πέντε ανώτερα μέτρα και τοποθέτηση στο ίδιο μήκος περιφραγματικής χαλύβδινης σωλήνωσης.
- Σε περίπτωση όπου στην περιοχή του ακινήτου απαγορεύεται η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων, επιτρέπεται η εγκατάσταση και λειτουργία εναλλακτών κλειστού κυκλώματος.

- Σε περίπτωση εκμετάλλευσης θερμότητας με τη χρήση επιφανειακών ή υπόγειων νερών, ο χρήστης υποχρεούται στην επαναφορά του συνόλου των χρησιμοποιηθέντων νερών και στην ίδια ποιότητα, στον αρχικό αποδέκτη. Σε αντίθετη περίπτωση όπου υπάρχει ανάλωση ποσότητας νερού ή αλλοίωσης της ποιότητας του, η έκδοση της σχετικής άδειας υπόκειται και στις διατάξεις του ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α'), άρθρο 11 σε συνδυασμό με το άρθρο 16 αυτού.

*Δηλαδή, στην δεύτερη περίπτωση, απαιτείται έκδοση άδειας χρήσης νερού στην οποία πρέπει να τεκμηριώνεται η διαθεσιμότητα των ποσοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και η σκοπιμότητα έκδοσης της σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων. (βλέπε: Έκδοση άδειας χρήσης νερού)*

- Οι αντλίες και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι πιστοποιημένα από αναγνωρισμένο φορέα.

### **7.3. Έκδοση άδειας χρήσης νερού**

Οι άδειες εκδίδονται ύστερα από υποβολή της απαραίτητης αίτησης-δήλωσης στην αρμόδια Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας. Η αίτηση πρέπει να απαιτητήτως να συνοδεύεται από τα προβλεπόμενα δικαιολογητικά. Τα απαιτούμενα δικαιολογητικά συντάσσονται και υπογράφονται από αρμόδιο μελετητή.

Στην περίπτωση που απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για τη χρήση νερού ή την εκτέλεση έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων, η αίτηση για τη χορήγηση της άδειας εξετάζεται παράλληλα με την αίτηση περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Η άδεια εκδίδεται μετά την έκδοση της άδειας περιβαλλοντικών όρων.

Σημείωση:

- α) Η αίτηση περιβαλλοντικής αδειοδότησης κατατίθεται στην Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας της αντίστοιχης Περιφέρειας.
- β) Δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για πηγάδια βάθους μέχρι 30m και ελαχίστης διαμέτρου 1m.

Για της έκδοση άδειας χρήσης νερού υποβάλλεται νέα αίτηση η οποία θα πρέπει να συνοδεύεται με τα απαραίτητα δικαιολογητικά, μετά από την έκδοση της άδειας εκτέλεσης του έργου.

## 7.4. Στοιχεία σύνταξης της μελέτης για αδειοδότηση

Τα στοιχεία που θα πρέπει υποχρεωτικά να συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη όπως αυτά ορίζονται στη Παράγραφο 1 του Άρθρου 4. Δίνονται στο Παράρτημα 1 της αντίστοιχης Υπουργικής Απόφασης, και είναι:

1. Στοιχεία ενδιαφερομένου: Ονομασία, έδρα, ΑΦΜ, ταχυδρομική διεύθυνση, αρ. τηλεφώνου, αριθμός ταυτότητας ή διαβατηρίου και εκδούσα αρχή.
2. Στοιχεία ακινήτου: Νομός, Δήμος ή Κοινότητα, Ταχυδρομική διεύθυνση, Αστυνομικό Τμήμα.
3. Περιγραφή του χώρου και της ευρύτερης περιοχής, σε ακτίνα 100 μέτρων, αν στην περιοχή του ακινήτου υπάρχουν ιδίως κεντρικοί αγωγοί φυσικού αερίου, ύδρευσης, άρδευσης, γραμμές μέσης και υψηλής τάσης, απαλλοτριωμένη ζώνη σιδηροδρομικής γραμμής.
4. Δρόμοι προσπέλασης και αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας εισκόμισης και αποκόμισης του διατρητικού και άλλου εξοπλισμού. Διαδικασίες και μέτρα αντιμετώπισης όλων των ενδεχομένων επιπλοκών από τη λειτουργία τους στο χώρο της οικοδομής.
5. Περιγραφή των προς κλιματισμό χώρων. Μέγιστες και ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις.
6. Καθορισμός και περιγραφή των τυχόν απαιτούμενων γεωτρήσεων (θέση, αριθμός, βάθη, σχεδιαγράμματα κλίμακας ανάλογης, με κατόψεις και τομές).
7. Ποσότητες αντλούμενων ρευστών και προκειμένου για ανοικτό κύκλωμα θερμοκρασία άντλησης και επανεισαγωγής.
8. Αναλυτικό διάγραμμα ροής, που συνοδεύεται από ειδική μελέτη υπολογισμού των ποσοτήτων και ποιοτήτων των διακινούμενων ρευστών σε κάθε φάση, καθώς και των αντίστοιχων ενεργειακών καταναλώσεων.
9. Αναλυτική περιγραφή του ηλεκτρικού και μηχανικού εξοπλισμού του συστήματος (τύπος, ισχύς και προορισμός κάθε μηχανήματος), που συνοδεύεται από κάτοψη και τομές ανάλογης με το μέγεθος του συστήματος, κλίμακας.
10. Στατική μελέτη για τις βάσεις έδρασης των μηχανημάτων εφόσον απαιτείται και εφόσον η εγκατάσταση των μηχανημάτων δεν περιλαμβάνεται στην στατική μελέτη της οικοδομής γεγονός που θα πιστοποιείται με υπεύθυνη δήλωση του Μηχανικού

11. Στην περίπτωση συστημάτων κλειστού κυκλώματος ιδιαίτερη αναφορά στη ακριβή σύσταση των ρευστών που κυκλοφορούν στο υπεδάφιο σύστημα, από την οποία τεκμαίρεται η ασφαλής χρήση τους, καθώς και αναφορά στους τρόπους διάγνωσης διαρροών και στην πρόνοια αντιμετώπισης και αποκατάστασής τους, χωρίς την ανάγκη ολικής αχρήστευσης του συστήματος.
12. Μέτρα για το μεγαλύτερο δυνατό περιορισμό των οχλήσεων των περίοικων, μέτρα για την υγιεινή των εργαζόμενων και την ασφάλεια εργασιών-εργαζόμενων και του περιβάλλοντος.

## **7.5. Απαιτούμενα δικαιολογητικά για αδειοδότηση**

Για την έκδοση της αναφερόμενης στο Άρθρο 1 αδείας απαιτείται να υποβληθούν τα εξής δικαιολογητικά στην αρμόδια υπηρεσία. Όπως αυτά αναφέρονται στο Άρθρο 5 της παρούσης υπουργικής απόφασης.

1. Αίτηση - Μελέτη που απευθύνεται στην κατά το άρθρο 3 αρμόδια υπηρεσία. Η αίτηση - μελέτη υπογράφεται από τον ενδιαφερόμενο και από τους διπλωματούχους ή πτυχιούχους ή τεχνικούς επιστήμονες που έχουν κατά το νόμο αντίστοιχα δικαιώματα υπογραφής σχετικών μελετών.
2. Πρότυπο της αίτησης - μελέτης δίδεται στο παράρτημα 2, το οποίο και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της παρούσας. Η μελέτη οφείλει να περιλαμβάνει τα αναγραφόμενα στο παράρτημα 1.
3. Επικυρωμένο φωτοαντίγραφο τίτλου κυριότητας ή επικαρπίας επί του ακινήτου ή φωτοαντίγραφο της οριστικής βεβαίωσης εγγραφής στο κτηματολόγιο καθώς και σύμβαση εργολαβικής ανάθεσης, σε περίπτωση που η αίτηση υποβάλλεται από τον εργολάβο ή σύμβασης Χρηματοδότησης από Τρίτους σε περίπτωση που η αίτηση υποβάλλεται από τρίτο χρηματοδότη.
4. Επικυρωμένο φωτοαντίγραφο οικοδομικής άδειας ή άδειας νομιμοποίησης προκειμένου περί κοινού κτίσματος και των παρελκόμενων αυτού εγκαταστάσεων ή άδειας εγκατάστασης προκειμένου περί λυόμενης ή προκατασκευασμένης οικίας, ή γεωργικής, ή βιομηχανικής ή μεταλλευτικής - λατομικής εγκατάστασης, ή άδειας ανέγερσης ξενοδοχείου ή τουριστικής εγκατάστασης προκειμένου περί ξενοδοχείου ή τουριστικής εγκατάστασης, εφ' όσον απαιτείται σχετική άδεια από την κείμενη νομοθεσία.
5. Φωτοαντίγραφο του επικυρωμένου τοπογραφικού της αδείας της προηγούμενης παραγράφου επί του οποίου ο μηχανικός του έργου σημειώνει

ενυπόγραφα την θέση των γεωτρήσεων που πρόκειται να ανορυχθούν καθώς και όλων των υπόγειων και επιφανειακών έργων που θα κατασκευαστούν στο πλαίσιο της εγκατάστασης του συστήματος Θ/Ψ Επίσης βεβαιώνει ότι πληρούνται οι περιοριστικοί όροι του άρθρου 4 της παρούσης και επισυνάπτει αναλυτικό πίνακα όπου αναγράφονται όλες οι γεωγραφικές συντεταγμένες των ανωτέρω διατάξεων (αναφερόμενες σε σύστημα ΕΓΣΑ '87 ή ΜΘ584), καθώς και τα υψόμετρα.

6. Σε περίπτωση μη ύπαρξης ελεγμένου και επικυρωμένου τοπογραφικού σχεδιαγράμματος, υποβάλλεται νέο τοπογραφικό διάγραμμα αρμοδίως υπογεγραμμένο, κλίμακας 1:500 ή μεγαλύτερης όπου οφείλουν να έχουν τοποθετηθεί όλα τα στοιχεία της παραγράφου 1 του άρθρου 4.
7. Μελέτη πυροπροστασίας εγκεκριμένη από την κατά τόπο αρμόδια Πυροσβεστική Υπηρεσία, εφόσον απαιτείται από την κείμενη νομοθεσία.
8. Παράβολο που προβλέπεται για την περίπτωση από την κοινή απόφαση των Υφυπουργών Οικονομίας και Οικονομικών και Ανάπτυξης αριθμ. Δ7/Β/οικ.13803/ Γ ΔΦΠ/ 4213/4.8.2004 (ΦΕΚ 1228 Β) όπως αυτή κάθε φορά ισχύει.
9. Αποδείξεις κατάθεσης των δικαιωμάτων Ταμείων και των αμοιβών μελετητών, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.
10. Αναγραφή των στοιχείων πιστοποίησης των αντλιών και συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην αίτηση-μελέτη ή υποβολή φωτοαντιγράφων των πιστοποιητικών.
11. Εφόσον το ακίνητο βρίσκεται σε παραλία ή τα δίκτυα του συστήματος εκτείνονται επί της παραλίας ή του αιγιαλού άδεια ή έγκριση που απαιτείται από τις διατάξεις του ν. 2971/2001 (ΦΕΚ285 Α'), όπως κάθε φορά ισχύει.
12. Σε περίπτωση ανάλωσης ποσότητας νερού (δηλ. μη επαναφοράς του συνόλου των χρησιμοποιηθέντων νερών στον αρχικό αποδέκτη) οι απαιτούμενες από τις διατάξεις του άρθρου 11 σε συνδυασμό με το άρθρο 16 του ν. 3199/2003 (ΦΕΚ Α' 280), άδειες.
13. Υπεύθυνη δήλωση του ν. 1599/1986, όπου θα βεβαιώνεται η ανάθεση και ανάληψη της επίβλεψης κατασκευής της εγκατάστασης, από τους έχοντες κατά νόμο σχετικές άδειες (Διπλωματούχους ή Πτυχιούχους ή Τεχνικούς επιστήμονες). Ειδικότερα για τους χειριστές των διατρητικών μηχανημάτων η



υπεύθυνη δήλωση του επιβλέποντος μηχανικού θα βεβαιώνει ότι έχουν παρακολουθήσει εκπαιδευτικά προγράμματα σχετικά με τεχνικές διάτρησης, σωλήνωσης κ.λπ. ή/και έχουν σχετική εμπειρία τουλάχιστον ενός έτους στο αντικείμενο. Επίσης θα βεβαιώνεται σε αυτή η ακρίβεια των υποβαλλομένων στοιχείων της αίτησης – μελέτης.

Επίσης, οι υπογράφωντες θα πρέπει να δηλώνουν. Εάν:

- Το ακίνητο βρίσκεται / δεν βρίσκεται σε παραλία ή και τα δίκτυα του συστήματος δεν θα επεκτείνονται επί της παραλίας ή του αιγιαλού.
- Κατά τις εργασίες θα χρησιμοποιηθεί το προβλεπόμενο από την κείμενη νομοθεσία εργατοτεχνικό προσωπικό και το προσωπικό επίβλεψης.
- Θα λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για τον περιορισμό των οχλήσεων των γειτόνων καθώς και για την προστασία της υγείας και της ασφάλειας των εργαζομένων σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία και την προστασία του περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση που θα κατασκευαστεί κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης, οι υπογράφωντες δηλώνουν ότι:

- Πληρούνται όλοι οι περιοριστικοί όροι του άρθρου 4 της Υ.Α.Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488/11-6-09 όπως ισχύει.
- Μετά την αποπεράτωση του συστήματος και σε χρόνο όχι μεγαλύτερο των 2 μηνών θα υποβληθεί γεωλογική τομή των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν υπογεγραμμένη από διπλωματούχο ή πτυχιούχο επιστήμονα που έχει κατά νόμο δικαίωμα υπογραφής.
- Θα προσκομιστεί υπεύθυνη δήλωση από τον έχοντα κατά νόμο το δικαίωμα υπογραφής ότι κατά την σωλήνωση της γεώτρησης έγινε στεγανοποίηση των τελευταίων μέτρων ώστε να αποτραπεί εισχώρηση επιφανειακών υδάτων στον(ους) υπόγειο(ους) υδροφόρο(ους) ορίζοντα(ες) και γενικά θα ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην υπάρξει καμία επίδραση του έργου στην ποιότητα ή την ποσότητα των υπόγειων νερών.  
Δεν πρόκειται να γίνεται ανάλωση νερού και τα χρησιμοποιηθέντα νερά θα επιστρέφουν στον υδροφόρο ορίζοντα στην ίδια ποσότητα και ποιότητα με αυτήν που είχαν όταν εξήλθαν από αυτόν.

Η Παρούσα άδεια εκδίδεται σε συνδυασμό με την συνημμένη άδεια χρήσης νερού.

- Επισυνάπτεται Υπεύθυνη δήλωση του επιβλέποντος ότι έχουν τηρηθεί όλοι οι αναφερόμενοι περιοριστικοί όροι.
- Σε περίπτωση που κατά την εκτέλεση των εργασιών διαπιστωθεί η ύπαρξη γεωθερμικού δυναμικού (δηλαδή διαπιστωθούν θερμοκρασίες γεωλογικών σχηματισμών ή νερών μεγαλύτερες των 25°C) θα ενημερωθεί άμεσα η οικεία περιφέρεια και οι εργασίες οι σχετιζόμενες με το υπέδαφος θα σταματήσουν άμεσα αφού λάβει όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην υπάρξει αρνητική επίδρασή τους τόσο στο γεωθερμικό δυναμικό όσο και στο περιβάλλον.
- Στατική μελέτη για τις βάσεις έδρασης μηχανημάτων.  
Υποβάλλεται συνημμένα  
Δεν απαιτείται-αιτιολόγηση  
Περιλαμβάνεται στη στατική μελέτη της οικοδομής (συνημμένη δήλωση Μηχανικού)
- Θα τοποθετηθούν υδρομετρητές και καταγραφικά θερμόμετρα στα στόμια των γεωτρήσεων και στοιχεία τους θα είναι διαθέσιμα όποτε ζητηθούν.
- Καμία τροποποίηση στους κλιματιζόμενους χώρους και το δυναμικό του εξοπλισμού (υπό την έννοια της μεταβολής των θερμικών φορτίων προς το υπέδαφος) δεν θα λάβει χώρα στο μέλλον εάν δεν προηγηθεί νέο αίτημα από την πλευρά του ιδιοκτήτη και έκδοση τροποποιημένης άδειας.

#### **7.5.1. Ειδικότερα με τη νέα Υπουργική Απόφαση:**

- Απλοποιείται η διαδικασία έκδοσης της άδειας εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης και μειώνεται η γραφειοκρατία με τον περιορισμό των δικαιολογητικών στα απολύτως απαραίτητα και με την υποβολή απλών επικυρωμένων φωτοτυπιών τους. Επιπλέον ο περιορισμός των δικαιολογητικών μειώνει και το κόστος έκδοσης της άδειας.
- Μειώνονται οι υφιστάμενοι περιορισμοί για την εγκατάσταση συστημάτων στους απολύτως αναγκαίους.
- Τυποποιείται και γίνεται ενιαία η άδεια για την εκτέλεση, την εγκατάσταση και τη λειτουργία των συστημάτων, η οποία εκδίδεται από τη Διεύθυνση Ανάπτυξης των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων. Τυποποιείται επίσης η υποβαλλόμενη αίτηση-μελέτη (πρότυπο της τυποποιημένης άδειας και αίτησης-μελέτης συνοδεύουν την Υ.Α.)

- Επεκτείνεται η χρήση συστημάτων ψύξης-θέρμανσης σε αγροτικές εγκαταστάσεις, ενώ επιτρέπεται πλέον η χρήση κλειστών κυκλωμάτων σε περιοχές που απαγορεύονται οι υδρογεωτρήσεις.
- Προβλέπεται η χρήση πιστοποιημένων μηχανημάτων.
- Τα συστήματα ψύξης-θέρμανσης με χρήση της «αβαθούς» γεωθερμίας μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε περιοχή (χωρίς να υπάρχει κηρυγμένο γεωθερμικό πεδίο) αξιοποιώντας τη θερμοκρασία της γης ή ρευστών που υπάρχουν στο υπέδαφος με την εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας, η οποία λειτουργεί με μικρή ποσότητα ρεύματος χωρίς να απαιτείται ειδική ηλεκτρική εγκατάσταση.

Η εν λόγω Υπουργική Απόφαση εντάσσεται σε ένα πλέγμα μέτρων του Υπουργείου Ανάπτυξης που αποσκοπούν στο να γίνει η γεωθερμία οικεία στο ευρύ κοινό, να αναδειχθούν τα οφέλη τα οποία προκύπτουν από την εφαρμογή της και τελικώς, να αξιοποιηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το πολύ αξιόλογο γεωθερμικό δυναμικό της χώρας.

## ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

### Βιβλιογραφία

1. Μ. Φυτίκας και Ν. Ανδρίτσος, (2004), Γεωθερμία: Γεωθερμικοί Πόροι-Γεωθερμικά Ρευστά-Εφαρμογές -Περιβάλλον, Θεσσαλονίκη: Τζιόλα
2. Α. Αλεξούλη-Λειβαδίτη, (2008), Γενική Γεωλογία: Στοιχεία Δυναμικής και Τεκτονικής Γεωλογίας, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
3. Α. Τζάνης, (2010), Σημειώσεις για τη έρευνα γεωθερμικών πεδίων, Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος
4. Σπύρος Παπασπύρου, (2011), Στρώσεις εξυγίανσης και βοηθητικές στρώσεις, Αθήνα: Σπύρος Ν. Παπασπύρου

### Επιστημονικές Δημοσιεύσεις και Άρθρα

5. Μ. Γρ. Βραχόπουλος και Ι. Παπαγεωργάκης, (1998), 'Εκμεταλλεύσιμη Ηλιογενής και Γηγενής Θερμότητα στο Αβαθές Υπέδαφος της Αττικής', Τεχνικά Χρονικά, IV, τεύχος 1, Αθήνα: Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε.
6. William J. Evangelist, (2000), Installing a geothermal heating and cooling system, Fine Homebuilding, vol. 133, pp. 104-109
7. Burkhard Sanner, (2001), Shallow geothermal energy, Justus-Liebig University, Giessen, Germany
8. Γ. Τσιλιγκιρίδης, Γ. Σπαντιδάκης, Σ. Χατζημωυσιάδης, (2002), Μελέτη της θερμοκρασιακής συμπεριφοράς του εδάφους στο σταθμό μέτρησης του Α.Π.Θ., Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
9. Brandl, H., (2006), Energy foundations and other thermo-active ground structures, Geotechnique, vol. 56, No. 2, pp 81–122
10. Abdeen Mustafa Omer, (2006), Ground-source heat pumps systems and applications, Science Direct - Renewable and Sustainable Energy Reviews, October 2006, UK
11. Jill Ross, Bringing geothermal to the city, (2010), National Ground Water Association, Water Well Journal, December 2010
12. Xiaobing Liu, Patrick Hughes and Jeff Munk, (2011), Pay Dirt - Designing, selecting and installing a residential ground-source heat pump system, Solar Today, vol. 25, pp 34-39, January-February 2011
13. Majorowicz Jacek and Wybraniec Stanislaw, (2011), New terrestrial heat flow map of Europe after regional paleoclimatic correction application, International Journal of Earth Sciences, vol. 100, issue 4, pp 881-887, June 2011

## **Παρουσιάσεις Συνεδρίων**

14. Walter J. Eugster and Ladislaus Rybach, (2000), Sustainable production from borehole heat exchanger systems. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000
15. J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellström, (2004), Geothermal (Ground-Source) heat pumps a world overview, GeoHeat Center - Bulletin, September 2004
16. Μ. Φύτικας, Μ. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης, (2008), Γεωθερμία και Τυποποίηση. Διήμερο Συμπόσιο για την Τυποποίηση, ΤΕΕ, 27-28 Νοεμβρίου, 2008, Αθήνα
17. John W. Lund et al., (2010), Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010
18. Dr. E. Mands, (2010), The International Market for Geothermal Heat Pumps. Presentation by 1o Congreso de Xeotermia de Calicia, Espana, 30 de Novebro 2010
19. Rybach, L., (2011), Success Factors in Geothermal Heat Pump Development, Proceedings Australian Geothermal Energy Conference, 2011
20. Δρ Κ. Καρύτσας, (2012), Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και η συμβολή της στην Αειφόρο Ανάπτυξη. Παρουσίαση από ημερίδα ‘‘Πρότυπες Περιφέρειες για μια Βιώσιμη Ευρώπη’’ Άργος, Ελλάδα, 12 Μάρτιου 2012
21. Burkhard Sanner, (2012), Recent Market Developments in Geothermal Heating & Cooling. Presentation by 3rd Annual Conference of the RHC Platform Copenhagen, 26-27/4/2012

## **Τεχνικά Φυλλάδια και Οδηγοί**

22. Assessment of Hybrid Geothermal Heat Pump Systems, (2001). Prepared by the New Technology Demonstration Program for the U.S. Department of Energy
23. Commercial Earth Energy Systems – A Buyer’s Guide, (2002). Prepared by CANMET – Energy Technology Center – Varenness (CETS), CANETA Research and by TECHNOSIM Consulting Group, Canada
24. Geothermal Heat Pump Manual, (2002). Prepared for NYC Department of Design and Construction
25. Clean Energy Project Analysis – RETSCREEN Engineering and cases textbook, Ground- Source Heat Pump Project Analysis, (2005). Prepared by CANMET – Energy Technology Center – Varenness (CETS), Canada
26. Heat Pumps – Technology and Environmental Impact, (2005), Swedish Heat pump Association
27. GeoExchange Technical Feasibility Study Grandview Heights Neighbourhood, Surrey BC, (2007). Prepared by Hemmera Energy, Vancouver, Canada



28. Tsitsos Κλίμα - Ν. Τσίτσος και Β. Μυτιληναίος, (2008), Αντλία Θερμότητας εδάφους-νερού και νερού-νερού, Στοιχεία Μελέτης, Ελευσίνα, Ελλάδα
29. Rehau, (2009), Raugeo - Ground loop heat exchange system - Technical Manual
30. Peter J. Tavino Jr, Geothermal Heat for Small Buildings, (2010), SunCam - Online continuing education course
31. Training manual for designers of shallow geothermal systems, (2011). Project by GEOTRAINET, Brussels, Belgium
32. Rehau, (2011), Τεχνικές πληροφορίες - Πρόγραμμα αντλιών θερμότητας / 952002
33. Uponor, (2012), Groud energy - Technical Information
34. Tsitsos Κλίμα, (2012), Οδηγός εγκατάστασης και υπολογισμού συστημάτων με αντλίες θερμότητας πολλαπλών λειτουργιών Galletti

### **Δημοσιεύσεις Στατιστικών Στοιχείων**

35. European Commission, (2010), Communication from the Commission - Europe 2020 - A strategy for smart, sustainable and inclusive growth (COM(2010) 2020 final), Brussels: The Office for Official Publications of the European Communities
36. Islandwbanki, (2010), Geothermal Research-United States Geothermal Energy Market Report, October 2010
37. European Geothermal Energy Council-EGEC, (2011), Final Evaluation of the National Renewable Energy Action Plans (European Geothermal Energy Council, July 2011)
38. EurObserv'ER, (2011), Ground-Search Heat Pump Barometer. A study carried out by EurObserv'ER, September 2011
39. Canadian GeoExchange Coalition, (2012), The State of the Canadian Geothermal Heat Pump Industry 2011 - Industry Survey and Market Analysis, February 2012
40. REN21, (2012), Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2012 Global Status Report, Paris: REN21 Secretariat

### **Ευρωπαϊκές και Εθνικές Νομοθεσίες**

41. ΟΔΗΓΙΑ 93/79/ΕΟΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 13<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE) - Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων
42. ΟΔΗΓΙΑ 2002/91/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Δεκεμβρίου 2002 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων - Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων

43. ΟΔΗΓΙΑ 2006/32/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 5ης Απριλίου 2006 για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για την κατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου - Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης
44. ΟΔΗΓΙΑ 2010/31/ΕΕ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 19ης Μαΐου 2010 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων - Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης
45. Κοινή Υπουργική Απόφαση Αριθ. 21475/4707/98 (ΦΕΚ 880/Β/19-08-1998) Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τον καθορισμό μέτρων και όρων για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. - Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας
46. Νόμος Υπ' Αριθ. 3175/2003 (ΦΕΚ 207/Α/29-8-2003) Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού και άλλες διατάξεις. - Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας
47. Νόμος Υπ' Αριθ. 3661 (ΦΕΚ 89/Α/19-5-2008) Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις. - Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας
48. Υπουργική Απόφαση - Αριθμ. Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488 (ΦΕΚ 1249/Β/24-6-2009) Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό. - Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας
49. Κοινή Υπουργική Απόφαση - Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825 (ΦΕΚ 407/Β/9-4-2010) Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. - Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας

### **Δικτυακοί Τόποι**

50. Επίσημη Εφημερίδα της Ε.Ε., EUR-Lex: Η πρόσβαση στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, <http://eur-lex.europa.eu/el/index.htm>
51. Επίσημος Ιστότοπος της Ε.Ε., Ευρωπαϊκή Ένωση - Σύνοψη της νομοθεσίας της Ε.Ε., [http://europa.eu/legislation\\_summaries/index\\_el.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/index_el.htm)
52. Εθνικό Τυπογραφείο, <http://www.et.gr/index.php>
53. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.ΠΕ.Κ.Α.), <http://www.ypeka.gr/>
54. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/TEE\\_HOME/TEE\\_HOME\\_NEW](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/TEE_HOME/TEE_HOME_NEW)
55. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), <http://www.cres.gr/kape/index.htm>
56. Σύστημα Ποσειδών - Ελληνικό κέντρο θαλάσσιων ερευνών [http://www.poseidon.hcmr.gr/index\\_gr.php](http://www.poseidon.hcmr.gr/index_gr.php)

57. European Geothermal Energy Council (E.G.E.C.), <http://egec.info/>
58. ThermoMap: Area mapping of superficial geothermic resources by soil and groundwater data, <http://www.thermomap-project.eu/>
59. International Geothermal Association (IGA), <http://www.geothermal-energy.org/>
60. Copper Development Association - Copper DX Geothermal Heat Pump, [http://www.copper.org/applications/plumbing/heatpump/dxhp\\_main.html](http://www.copper.org/applications/plumbing/heatpump/dxhp_main.html)
61. US Department of Energy - Geothermal Technologies Office, Geothermal Heat Pumps, <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/heatpumps.html>
62. digtheheat.com - Dig the Heat Geothermal Energy, <http://www.digtheheat.com/index.html>
63. Uponor, <http://www.uponor.gr/>
64. Rehau - Unlimited polymer solutions, [http://www.rehau.com/group\\_en/](http://www.rehau.com/group_en/) and [http://www.rehau.com/GR\\_el/](http://www.rehau.com/GR_el/)
65. Water Furnace, <http://www.waterfurnace.com/>
66. AiD-Engineering Ltd, Αθήνα, Ελλάδα, <http://www.aidengineering.gr/>
67. Ergon equipment, Αθήνα, Ελλάδα, <http://www.ergon.com.gr/>
68. GRV Energy Solutions, Αθήνα, Ελλάδα, <http://www.greenconstructions.gr/contact.html>
69. Sieline, Αθήνα, Ελλάδα, <http://sieline.gr/pages/gr.php>
70. Tsitsos κλίμα, Ελευσίνα, Ελλάδα, <http://www.tsitsos.gr/gr/home.html>
71. Earth River Geothermal - Geothermal Heating & Cooling Contractor, Annapolis, Maryland, US, <http://www.earthrivergeo.com/>
72. Strandlund Refrigeration Heating & Cooling, LLC, Mora, Minnesota, US, <http://www.strandlund.com/>
73. GeoEnergy Enterprises, LLC (GEE), New York, US, <http://www.geoenergyusa.com/>
74. GeoExchange heating and cooling systems, Washington, US, <http://www.geoexchange.org/>
75. Axis Drilling Inc. (Professional drilling services), Belgrade, Montana, US, <http://www.axisdrillinginc.com/index.htm> and <http://axisdrilling.co.uk/index.html>