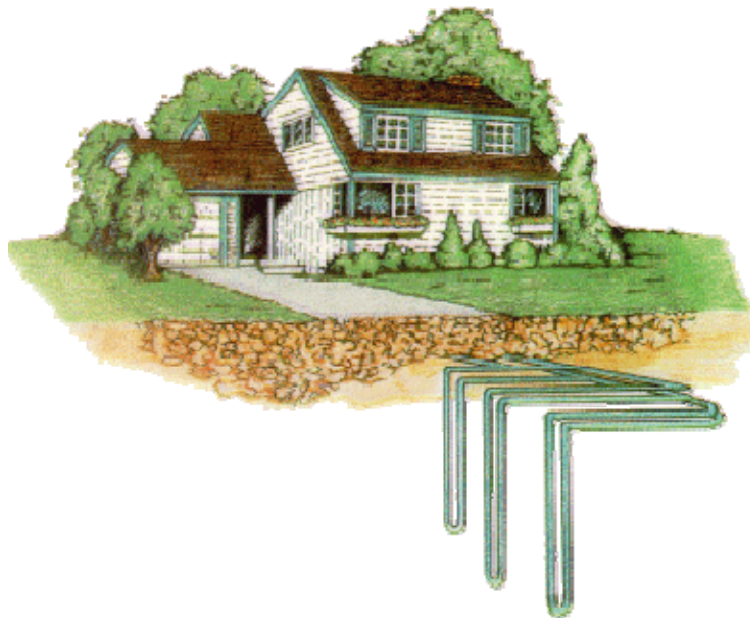




**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ / ΨΥΞΗ
ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ**



ΤΣΟΛΑΚΗ Γ. ΕΛΕΝΗ ΑΕΜ 4099

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2011**



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	3
Εισαγωγή	4
1) ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	5
Η θερμική μηχανή της γης.....	5
Η γεωθερμία στην Ελλάδα.....	11
Γεωθερμικά συστήματα.....	13
Κατηγορίες γεωθερμικών συστημάτων.....	15
Ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα.....	16
Κλειστό γεωθερμικό σύστημα.....	17
Πλεονεκτήματα γεωθερμικού κλιματισμού όσον αφορά το κόστος.....	20
Πλεονεκτήματα γεωθερμικού κλιματισμού ως προς το περιβάλλον.....	21
2) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ.....	22
Κατηγορίες γεωτρήσεων.....	22
Μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων.....	23
Κατηγορίες και τύποι γεωτρύπανων.....	23
Επιλογή γεωτρύπανου και γεωτρητικού εξοπλισμού.....	25
3) ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	26
4) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	30
Περιγραφή των εργασιών πριν τη γεώτρηση.....	30
Χαρακτηριστικά του γεωτρύπανου.....	34
Καθαρισμός γεώτρησης και ψύξη κοπτικού άκρου.....	34
Υδραυλική περιστροφική διάτρηση και σωλήνωση γεώτρησης.....	36
Τσιμέντωση της γεώτρησης	40
5) ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ.....	42



6) ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ.....	44
Προετοιμασία των δειγμάτων-χωρισμός.....	44
Μηχανική ανάλυση χονδρόκοκκων υλικών.....	46
Παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....	48
 Συμπεράσματα.....	 50
 Βιβλιογραφία.....	 52



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου την ευκαιρία να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία σε ένα αντικείμενο που τόσο πολύ επιθυμούσα, καθώς επίσης και για τη συνολική βοήθεια που μου παρείχε.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την κ. Βασιλική Μπαλιάκα αγρονόμο-τοπογράφο μηχανικό - γεωλόγο και τους συνεργάτες της, καθώς, χωρίς τη δική της θέληση και βοήθεια δεν θα είχε πραγματοποιηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο Δημήτρη Βογιατζή Δρ. Γεωλόγο του Α.Π.Θ., για το χρόνο που αφιέρωσε και τη βοήθεια που μου προσέφερε στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά το Γιώργο Κονιδάρη M.sc. Γεωλόγο του Α.Π.Θ., για την πολύτιμη καθοδήγησή του και την αμέριστη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της εργασίας μου και τη συμπαράσταση που μου έδειξε.

Τσολάκη Ελένη
Θεσσαλονίκη 2/03/2011



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη των εργασιών εγκατάστασης και χρήσης των γεωθερμικών συστημάτων για τη θέρμανση/ψύξη κατοικίας.

Έτσι, στη διπλωματική αυτή εργασία, περιγράφονται όλες οι εργασίες της υδραυλικής περιστροφικής διάτρησης που έλαβαν χώρα στην οδό Γενοκτονίας 19^{ης} Μαΐου (περιοχή Χαριλάου Θεσσαλονίκης) από τις 8/03/2010 έως τις 15/03/2010. Πραγματοποιήθηκαν τρεις γεωτρήσεις βάθους 102 m η καθεμία και οριζόντιας απόστασης μεταξύ τους 6 m με ταυτόχρονη εξαγωγή και συλλογή δειγμάτων ανά 3 m. Στη συνέχεια τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς την κοκκομετρία τους στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Επίσης, δίνεται η στρωματογραφική στήλη (από 0 έως 102 m) που προέκυψε σύμφωνα με τα δείγματα των γεωτρήσεων, καθώς και τα στρωματογραφικά και γεωλογικά συμπεράσματα της περιοχής μελέτης.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από ένα πρώτο-θεωρητικό μέρος, το οποίο περιέχει τη συλλογή βιβλιογραφικών στοιχείων για τη γεωθερμική ενέργεια, τα γεωθερμικά συστήματα και την εφαρμογή τους στη θέρμανση/ψύξη κατοικιών και από ένα δεύτερο-πρακτικό μέρος όπου περιγράφονται αναλυτικά όλες οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την ανόρυξη των τριών γεωτρήσεων, καθώς και των εργαστηριακών εργασιών για τη μελέτη των δειγμάτων που συλλέχθηκαν και την ανάλυσή τους για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

1) ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας και η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης, η οποία προκαλεί τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Συνήθως όμως, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο.

Η θερμική μηχανή της γης

Ως γεωθερμική βαθμίδα ορίζεται ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης σε συνάρτηση με το βάθος, μέσα στο γήινο φλοιό. Σε βάθη που είναι προσβάσιμα με τις σύγχρονες γεωτρητικές μεθόδους, δηλαδή μέχρι τα 10.000 m, η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται περίπου στους 2,5-3°C/100 m. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή στους 15°C, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία στο βάθος των 2000 m θα είναι περίπου 65-75°C, στα 3000 m 90-105°C, κ.ο.κ. για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες η γεωθερμική βαθμίδα αποκλίνει πολύ από τη μέση τιμή. Εκεί όπου το γεωλογικό υπόβαθρο έχει υποστεί πολύ γρήγορη βύθιση και η λεκάνη έχει πληρωθεί με γεωλογικά «πολύ νέα» ιζήματα, η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να είναι μικρότερη και από 1°C/100 m. Αντίθετα, σε μερικές «γεωθερμικές» καλούμενες περιοχές, η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να είναι και δεκαπλάσια της μέσης γήινης.

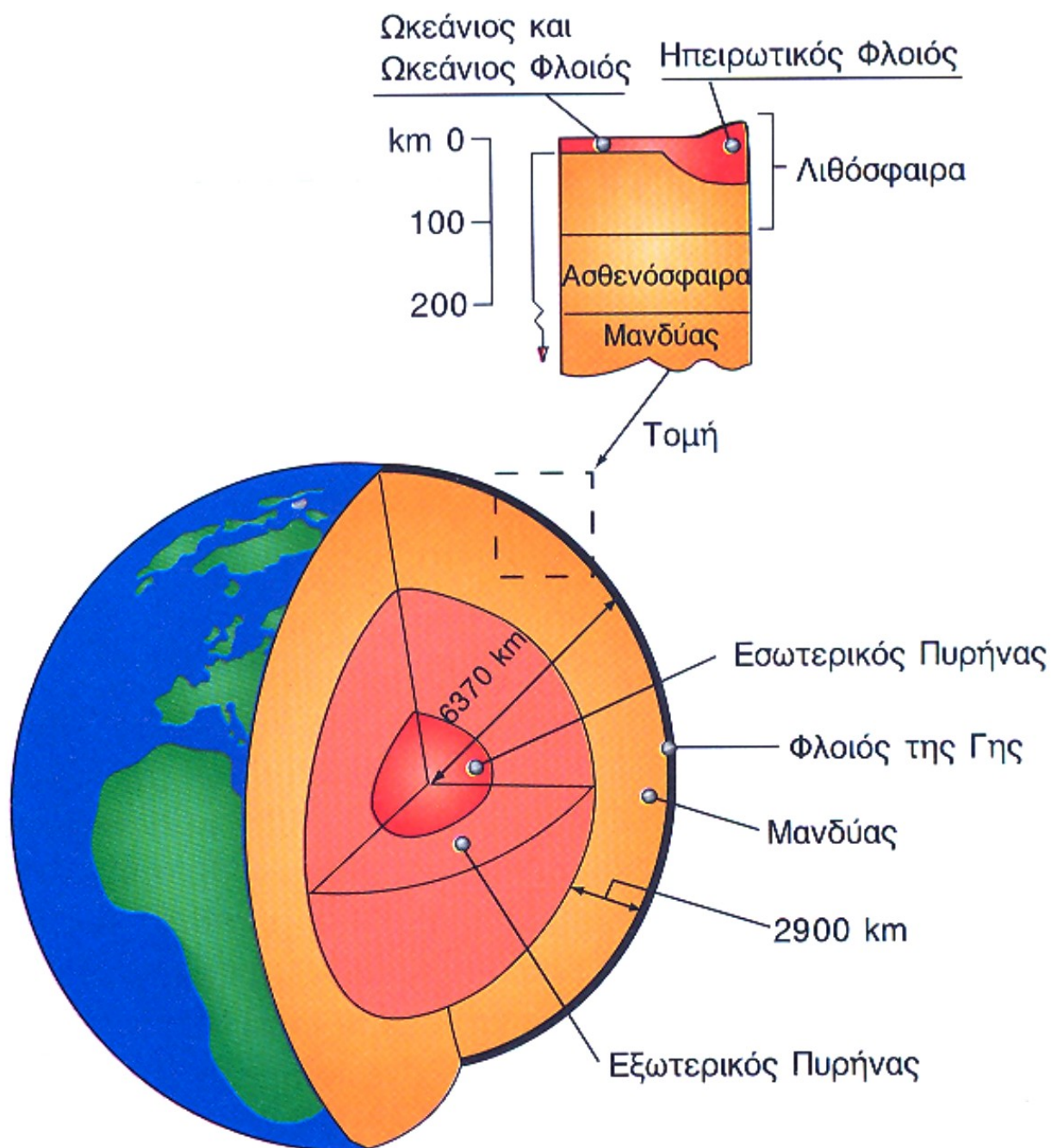
Λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, προκαλείται ροή θερμότητας από τις βαθιές και θερμές ζώνες του υπεδάφους προς τις ρηχές και ψυχρότερες, τείνοντας έτσι στη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών. Στην πραγματικότητα όμως, όπως πολύ συχνά συμβαίνει στη φύση, κάτι τέτοιο ουδέποτε επιτυγχάνεται πλήρως. Η μέση γήινη ροή θερμότητας στις ηπείρους και τους ωκεανούς είναι 65 και 101 mW/m² αντίστοιχα, οι οποίες, υπολογίζοντας την έκταση των περιοχών, δίνουν ένα παγκόσμιο μέσο όρο της τάξης των 87 mW/m² (Pollack et al., 1993). Οι τιμές αυτές προέκυψαν μετά από 24.774 μετρήσεις σε 20.201 θέσεις,

που καλύπτουν το 62% περίπου της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν βέβαια και κάποιοι εμπειρικοί υπολογισμοί που αναφέρονται σε γεωλογικές χαρτογραφικές μονάδες και επιτρέπουν την εκτίμηση της θερμικής ροής χωρίς να προηγηθούν μετρήσεις.

Η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος, και τα ηφαίστεια, οι θερμοπίδακες (geysers), οι θερμές πηγές κλπ, αποτελούν κατά μία έννοια την ορατή εκδήλωση της θερμότητας του εσωτερικού της γης. Η θερμότητα αυτή όμως προκαλεί και τη δημιουργία άλλων φαινομένων, που είναι λιγότερο διακριτά από τον άνθρωπο, τέτοιου μεγέθους όμως ώστε η ύπαρξή τους να οδηγεί στην παρομοίωση της γης με μια τεράστια «θερμική μηχανή».

Ο πλανήτης μας αποτελείται από το φλοιό, το πάχος του οποίου κυμαίνεται από 20-65 km περίπου στις ηπειρωτικές περιοχές και 5-6 km στις ωκεάνιες, από το μανδύα, το πάχος του οποίου είναι κατά προσέγγιση 2.900 km και τον πυρήνα με ακτίνα περίπου 3.470 km (Σχήμα 1). Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του φλοιού, του μανδύα και του πυρήνα διαφέρουν από την επιφάνεια προς το κέντρο της γης. Το εξωτερικό στερεό περίβλημα της γης, γνωστό ως λιθόσφαιρα, αποτελείται από το φλοιό και το ανώτερο τμήμα του μανδύα. Έχοντας μεταβαλλόμενο πάχος, από λιγότερο των 80 km στις ωκεάνιες ζώνες μέχρι πάνω από 200 km στις ηπειρωτικές, η λιθόσφαιρα συμπεριφέρεται σαν ένα συμπαγές σώμα. Κάτω από τη λιθόσφαιρα βρίσκεται η ζώνη που ονομάζεται ασθενόσφαιρα, πάχους 200-300 km και με μια λιγότερο «συμπαγή» και περισσότερο «πλαστική» συμπεριφορά. Με άλλα λόγια, στη γεωλογική κλίμακα, όπου ο χρόνος μετριέται σε εκατομμύρια χρόνια, αυτό το τμήμα της γης συμπεριφέρεται πιο κοντά με ένα ρευστό σε κάποιες διαδικασίες.

Εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα διάφορα τμήματα της ασθενόσφαιρας, δημιουργήθηκαν πριν από μερικές δεκάδες εκατομμύρια έτη μεταφορικές (συναγωγικές) κινήσεις μεταξύ της στερεάς βάσης αυτού του στρώματος και της βάσης του φλοιού και πιθανώς κάποιοι συναγωγικοί θύλακες. Οι κινήσεις αυτές θεωρούνται τα βασικά αίτια μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών. Είναι εξαιρετικά αργές (λίγα εκατοστά/έτος), παρόλα αυτά σταθερές, λόγω της συνεχούς παραγωγής θερμότητας από τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων και της προσφοράς θερμότητας από τα μεγαλύτερα βάθη της γης. Λόγω των κινήσεων αυτών, τεράστιοι όγκοι βαθύτερων και θερμών λιωμένων πετρωμάτων, με μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς μικρότερο βάρος, ανέρχονται προς την επιφάνεια, ενώ ψυχρότερα και βαρύτερα πετρώματα, που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, βυθίζονται, αναθερμαίνονται και ανεβαίνουν πάλι στην επιφάνεια.



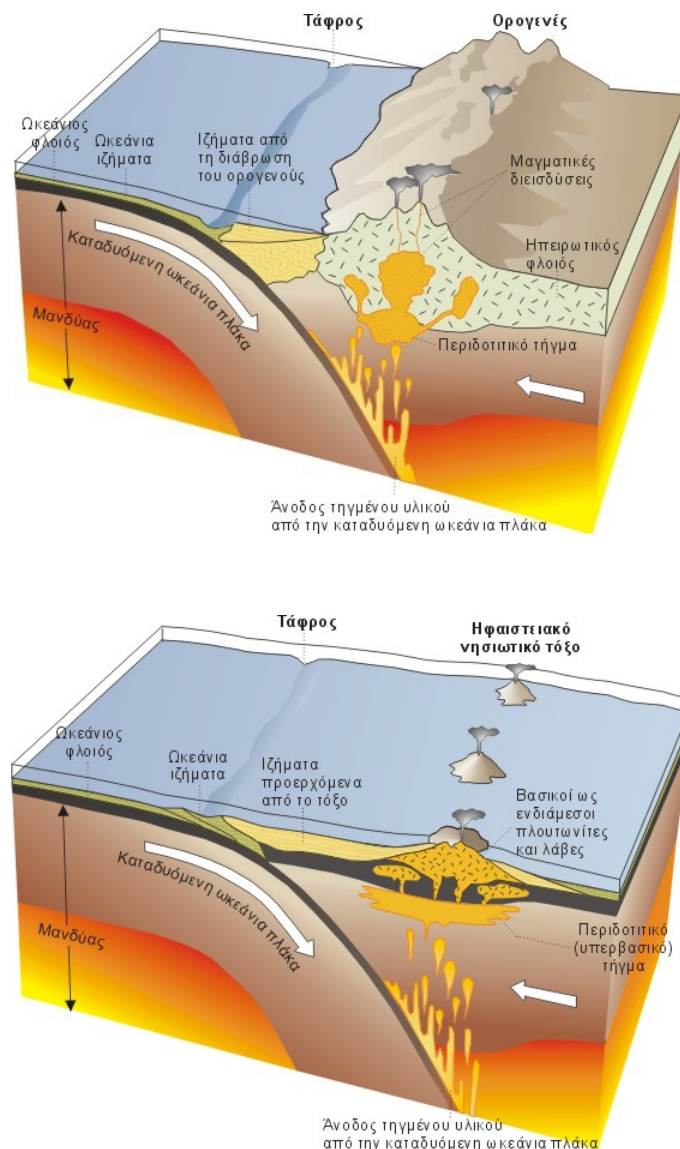
Σχήμα 1. Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

Στις ζώνες μικρού λιθοσφαιρικού πάχους, και κυρίως στις ωκεάνιες περιοχές, η λιθόσφαιρα ωθείται προς τα πάνω και στη συνέχεια κατακερματίζεται εξαιτίας της ανόδου των θερμών, και εν μέρει λιωμένων υλικών της ασθενόσφαιρας, εκεί όπου σχηματίζεται ο ανερχόμενος κλάδος των συναγωγικών θαλάμων. Αυτός ακριβώς είναι ο μηχανισμός που δημιουργήσε και συνεχίζει να δημιουργεί τις «εκτεινόμενες ράχες (spreading ridges)», οι οποίες εκτείνονται σε μήκος μεγαλύτερο των 60 km κάτω από τους ωκεανούς. Οι ράχες αυτές σε κάποιες περιοχές, όπως στις Αζόρες και την Ισλανδία, αναδύονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ σε άλλες, όπως στην Ερυθρά Θάλασσα, αναδύονται ανάμεσα στις ηπείρους. Ένα σχετικά μικρό ποσοστό αυτών των ασθενόσφαιρικών λιωμένων υλικών αναδύονται στην επιφάνεια της γης μέσω των κορυφογραμμών των υποθαλάσσιων οροσειρών (ράχων) και, ερχόμενα σε επαφή με το θαλασσινό νερό, ψύχονται, στερεοποιούνται και σχηματίζουν με τον τρόπο αυτό νέο ωκεάνιο φλοιό.

Το μεγαλύτερο όμως μέρος του ασθενόσφαιρικού αυτού υλικού χωρίζεται σε δύο κλάδους, οι οποίοι κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις κάτω από τη λιθόσφαιρα, στη θέση ακριβώς των «μεσο-ωκεάνιων ράχων». Η συνεχής δημιουργία νέου φλοιού και η απόκλιση του ωκεάνιου πυθμένα με ένα ρυθμό της τάξης των λίγων εκατοστών ανά έτος, προκαλεί συνεχή αύξηση της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Σε άλλα σημεία της λιθόσφαιρας σχηματίζονται τεράστιες κατακόρυφες διαρρήξεις, εκατέρωθεν των οποίων παρατηρείται οριζόντια μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Οι διαρρήξεις αυτές μπορούν να φτάσουν σε μήκος μερικών χιλιάδων χιλιομέτρων και ονομάζονται «ρήγματα μετασχηματισμού».

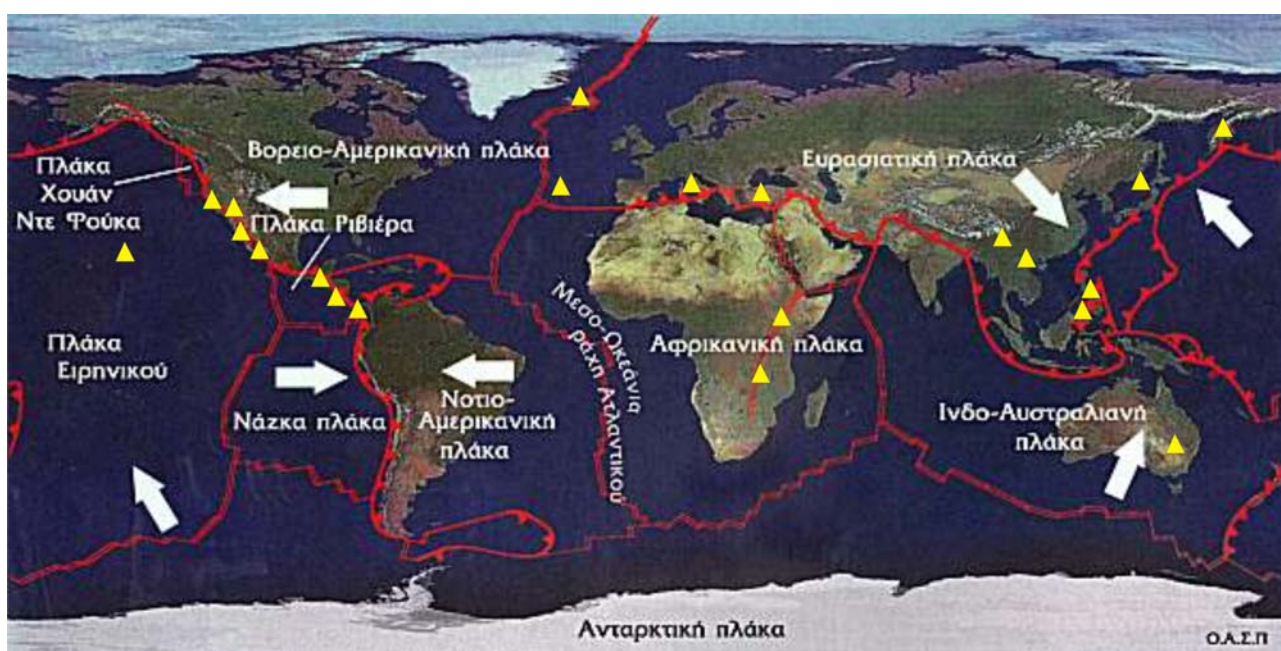
Τα φαινόμενα αυτά οδηγούν σε μια εύστοχη παρατήρηση: αφού τελικά η συνολική επιφάνεια των λιθοσφαιρικών πλακών παραμένει περίπου σταθερή στο χρόνο, η συνεχής δημιουργία νέου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες και το άνοιγμα των ωκεάνιων τμημάτων θα πρέπει να εξισορροπείται κατά κάποιον τρόπο από συρρίκνωση (καταστροφή) της λιθόσφαιρας σε άλλα σημεία της γης. Αυτό ακριβώς συμβαίνει στις λεγόμενες «ζώνες καταβύθισης», οι μεγαλύτερες από τις οποίες καταδεικνύονται από τις τεράστιες ωκεάνιες τάφρους, όπως αυτές π.χ. που εκτείνονται κατά μήκος των δυτικών ορίων του Ειρηνικού Ωκεανού και των δυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής. Στις ζώνες καταβύθισης η λιθόσφαιρα κάμπτεται και βυθίζεται κάτω από την παρακείμενη λιθόσφαιρα και φθάνει μέσα στις πολύ θερμές και βαθιές ζώνες της, όπου αφομοιώνεται από το μανδύα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Μέρος του υλικού της λιθόσφαιρας επανατήκεται και ανεβαίνει

πάλι προς την επιφάνεια μέσω των ρηγμάτων του φλοιού. Συνέπεια αυτών των φαινομένων είναι η δημιουργία «μαγματικών τόξων» με πολλά ηφαίστεια που εντοπίζονται παράλληλα προς τις τάφρους, στην αντίθετη πλευρά των οροσειρών. Όταν οι τάφροι βρίσκονται κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων, τότε τα τόξα αποτελούνται από αλυσίδες οροσειρών με πολλά ηφαίστεια, όπως είναι οι Άνδεις. Όταν οι τάφροι εντοπίζονται σε ωκεάνιες περιοχές, όπως στον Ειρηνικό ωκεανό, τα μαγματικά τόξα αποτελούνται από πολλά ηφαιστειακά νησιά (π.χ. Ιαπωνία, Φιλιππίνες κλπ.) (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Σχηματικές τομές που δείχνουν τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες (www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y).

Οι μεσωκεάνιες ράχες, τα ρήγματα μετασχηματισμού και οι ζώνες καταβύθισης σχηματίζουν ένα εκτεταμένο δίκτυο που χωρίζει την επιφάνεια της γης σε έξι τεράστιες και πολλές άλλες μικρότερες λιθοσφαιρικές περιοχές ή καλύτερα πλάκες (Σχήμα 3). Εξαιτίας των τεράστιων τάσεων που προκαλούνται από τη γήινη θερμική μηχανή και την ασυμμετρία των ζωνών που δημιουργούν και καταστρέφουν λιθοσφαιρικό υλικό, οι πλάκες αυτές κινούνται αργά η μία προς την άλλη, αλλάζοντας συνεχώς τη σχετική τους θέση. Τα όρια των πλακών αντιστοιχούν σε πολύ διαρρηγμένες ζώνες του φλοιού, που χαρακτηρίζονται από έντονη σεισμικότητα, μεγάλο αριθμό ηφαιστείων και, λόγω της ανόδου πολύ θερμών υλικών προς την επιφάνεια, από υψηλή γήινη θερμική ροή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, οι πιο σημαντικές γεωθερμικές περιοχές εντοπίζονται κοντά στα όρια των πλακών.



Σχήμα 3. Τεκτονικές πλάκες, μεσωκεάνιες πλάκες και γεωθερμικά πεδία (όπου τα τελευταία παριστάνονται με τα κίτρινα τρίγωνα στο σχήμα). Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών προς τις ζώνες καταβύθισης. (Τροποποιημένο από Ο.Α.Σ.Π.).

Η γεωθερμία στην Ελλάδα

Περιοχές στη χώρα μας που έχουν γεωθερμική ενέργεια είναι τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Λέσβος, Σαμοθράκη κ.α.), πολλές περιοχές στην Μακεδονία και τη Θράκη (Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο, Νέο Εράσμιο, Νέα Κεσσάνη, Τυχικό Έβρου κ.α.) καθώς και οι ευρύτερες περιοχές κάθε μίας από τις 56 θερμές πηγές που υπάρχουν στη χώρα μας.

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μέτρα). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές της υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η ΔΕΗ, σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές.

Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Στην Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής. Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1000 μέτρα και στη Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1500 μέτρα. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίζουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MW αντίστοιχα.

Στη Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κτλ. Στη λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότροπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-



(<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=347&catid=316&artid=1333>)

Στη πεδινή περιοχή του Δέλτα του Νέστου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μεγγάνων Ξάνθης. Νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70 °C και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στη Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82 °C.

Στη λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 52 °C. Στη Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100 μέτρα συνάντησαν νερά της τάξης των 100 °C. Στην Ελλάδα, οι γεωθερμικές εφαρμογές εστιάζονται σε θερμικές χρήσεις με κύριες εφαρμογές τα θερμά ιαματικά λουτρά (~50%), και τη θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών (~50%). Στην Ευρωπαϊκή ένωση οι θερμικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας περιλαμβάνουν κυρίως θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων και θερμά λουτρά.

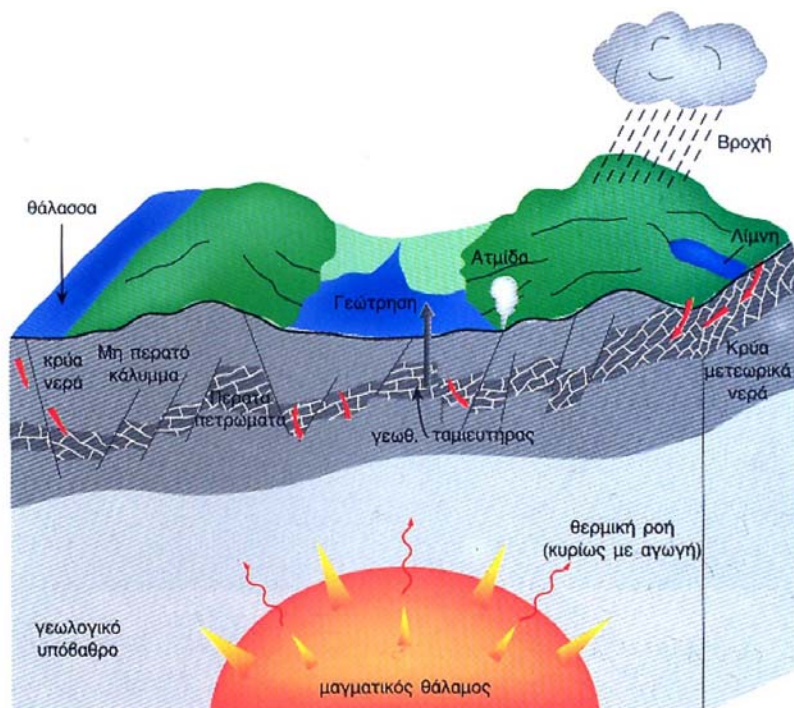
Γεωθερμικά συστήματα

Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται στις περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα, και κυρίως στις περιοχές γύρω από τα περιθώρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής. Στην πρώτη περίπτωση, τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C σε οικονομικά και προσβάσιμα βάθη. Στη δεύτερη περίπτωση, οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές τιμές μέχρι και μεγαλύτερες από 400°C.

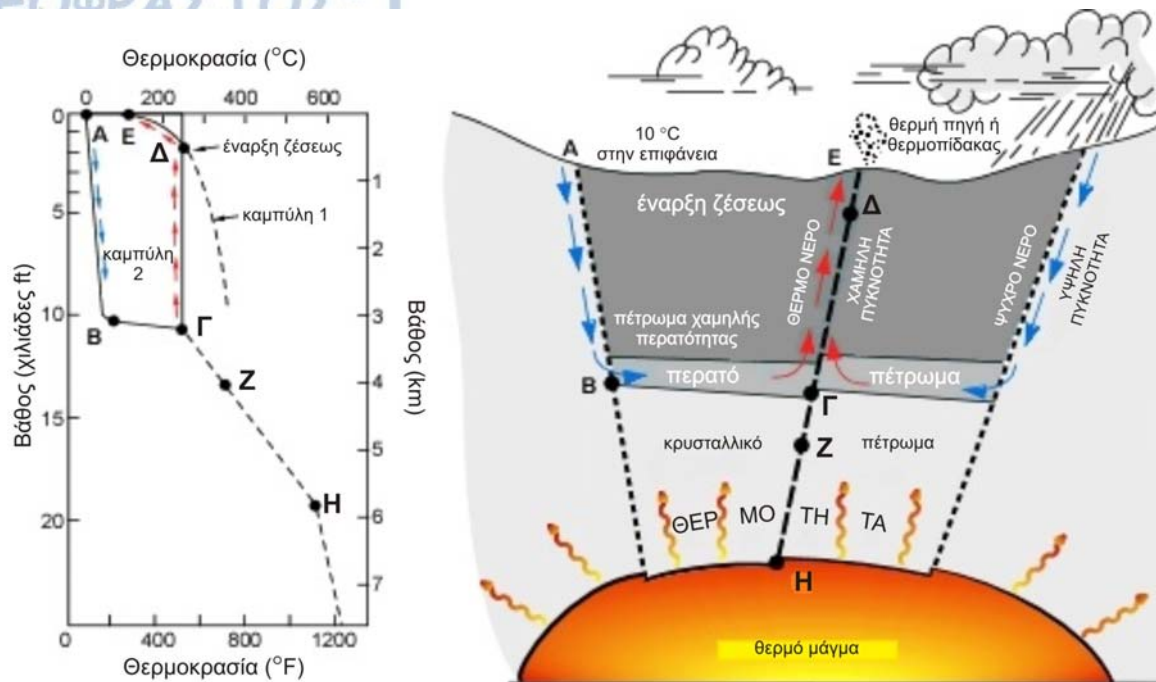
Τι είναι όμως ένα «γεωθερμικό σύστημα» και τι συμβαίνει μέσα σε αυτό; Σχηματικά μπορεί να περιγραφεί ως «ένα σύστημα» που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελείται από «κινούμενο νερό» το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια «πηγή» σε μια «δεξαμενή» θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια (Hochstein, 1990). Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία: την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής (>600°C) θερμοκρασίας μαγματική διείσδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km), ή στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα, η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γης, η οποία όπως αναφέρθηκε αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδατοπερατά πετρώματα, που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά αντλούν θερμότητα. Πάνω από τον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό γενικά νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά

μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις. Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις μετεωρικής προέλευσης, το οποίο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο σε χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO₂, H₂S, κλπ. Στο Σχήμα 5 αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικό σύστημα.

Ο μηχανισμός που διέπει τη λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων εν γένει ελέγχεται από τη μεταφορά θερμότητας μέσω της συναγωγής/κυκλοφορίας των ρευστών (fluid convection). Στο Σχήμα 6 παριστάνεται σχηματικά ο μηχανισμός στην περίπτωση ενός υδροθερμικού συστήματος ενδιάμεσης θερμοκρασίας. Η θερμική συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω της θέρμανσης και, κατ' επέκταση, της θερμικής διαστολής των ρευστών σε ένα πεδίο βαρύτητας. Η ενέργεια που προκαλεί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ουσιαστικά η θερμότητα που προσφέρεται από την εστία στη βάση του συστήματος κυκλοφορίας. Η πυκνότητα των ρευστών που θερμαίνονται μειώνεται, οπότε αυτά παρουσιάζουν τάσεις ανόδου προς μικρότερα βάθη, ενώ αντικαθίστανται στη συνέχεια από ρευστά μικρότερης θερμοκρασίας και μεγαλύτερης πυκνότητας, που προέρχονται από τα περιθώρια του γεωθερμικού συστήματος. Λόγω της θερμικής συναγωγής προκαλείται λοιπόν θερμοκρασιακή αύξηση στο ανώτερο τμήμα του γεωθερμικού συστήματος, καθώς οι θερμοκρασίες στα κατώτερα τμήματα μειώνονται (White, 1973).



Σχήμα 5.
Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος (Φυτίκας και Ανδρίτσος 2004).



Σχήμα 6. Πρότυπο (μοντέλο) ενός γεωθερμικού συστήματος. Η καμπύλη (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού. Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μια τυπικής διαδρομής κυκλοφορίας του ρευστού από το σημείο Α (τροφοδοσία) προς το σημείο Ε (αποφόρτιση) (Από White, 1973).

Κατηγορίες γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα αξιοποιούν τη σταθερή θερμοκρασία, η οποία υπάρχει στο έδαφος, αντικαθιστώντας πλήρως τη χρήση πετρελαίου ή άλλου καυσίμου.

Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα, η ψύξη και η θέρμανση ενός κτιρίου που χρησιμοποιεί γεωθερμικό σύστημα είναι μέχρι και 75% οικονομικότερη (δηλαδή, λειτουργία με ετήσιο κόστος μικρότερο από το μισό αντίστοιχο κόστος πετρελαίου και με τη χρήση μόνο μίας συσκευής για θέρμανση και ψύξη). Η αρχή του Γεωθερμικού Κλιματισμού (Θέρμανση - Ψύξη) βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης, η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 14 - 18°C.

Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια "μεταφέρουν", με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τους 18°C του εδάφους μέσα στο σπίτι μας καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, το χειμώνα, το υγρό που κυκλοφορεί στο γεωεναλλάκτη απορροφά τη θερμότητα του εδάφους και μέσω της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας την αποδίδει στο κτίριο.

Το δε καλοκαίρι, λειτουργώντας αντίστροφα απομακρύνει τη θερμότητα από το κτίριο και μέσω του γεωεναλλάκτη την αποδίδει στο πιο δροσερό έδαφος, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη θέρμανση ή δροσισμό, χωρίς να χρειάζεται να αυξομειωθεί δραματικά η θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες.

Επειδή δε το σύστημα ανταλλάσσει θερμότητα με το υπέδαφος και όχι απευθείας με το περιβάλλον λειτουργεί αξιόπιστα σε ακραίες καιρικές συνθήκες (καύσωνα - παγετό).

Ανοιχτά Γεωθερμικά Συστήματα

Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται την παρουσία επιφανειακού ή υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Βασική προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του συστήματος είναι η πλούσια συνεχή και σταθερή υδροφορία.

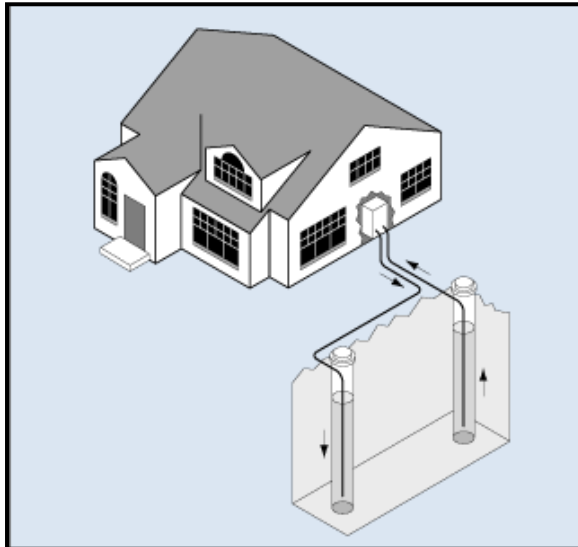
Το σύστημα αυτό, ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα και βασίζεται στην ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν.

Το βέλτιστο σύστημα αποτελείται από δύο υδρογεωτρήσεις. Η μία υδρογεώτρηση ονομάζεται παραγωγική και αναφέρεται σε αυτή που αντλεί την ποσότητα από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, ενώ η δεύτερη λειτουργεί ως εμπλουτισμός και είναι αυτή που επιστρέφει ολόκληρη την ποσότητα του νερού στην υπόγεια υδροφορία από όπου προήλθε. Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούν ίσως την ευκολότερη κατασκευαστική λύση. Κρίνονται αντιοικονομικά όταν το βάθος ανόρυξης είναι αρκετά βαθύ και όταν αναφερόμαστε σε μικρές κατοικίες των 100 m².

Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα παρουσιάζουν υψηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που οφείλεται στην υψηλή κατανάλωση που παρουσιάζει το υποβρύχιο συγκρότημα, σε σχέση με αυτό του κυκλοφορητή ανακυκλοφορίας όταν πρόκειται για κλειστό οριζόντιο ή κάθετο σύστημα. Η διαφορά του λειτουργικού κόστους μεταξύ ανοιχτού και κλειστού γεωθερμικού συστήματος δεν είναι μεγάλη. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις το κόστος κατασκευής μπορεί να διαφέρει αρκετά.

Ένα τυπικό ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από το κύκλωμα των υδρογεωτρήσεων, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και τον τρόπο διανομής του

ενεργειακού φορτίου στον κλιματιζόμενο χώρο, δηλαδή την ενδοδαπέδια θέρμανση ή τις μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα (fan coil units).



Σχήμα 7.

Εικόνα ενός ανοιχτού κυκλώματος σε κατοικία που δείχνει έναν σωλήνα να μεταφέρει νερό από το σπίτι προς τα έξω, μέσα στο έδαφος, και από κει σε ένα πηγάδι, όπου αδειάζεται στο νερό του εδάφους. Ένας ξεχωριστός σωλήνας μέσα σε πηγάδι λίγο πιο πέρα αντλεί νερό από το πηγάδι και το επιστρέφει στο σπίτι (<http://www.koubarakis.gr/el/articles/91>).

Κλειστό Γεωθερμικό Σύστημα

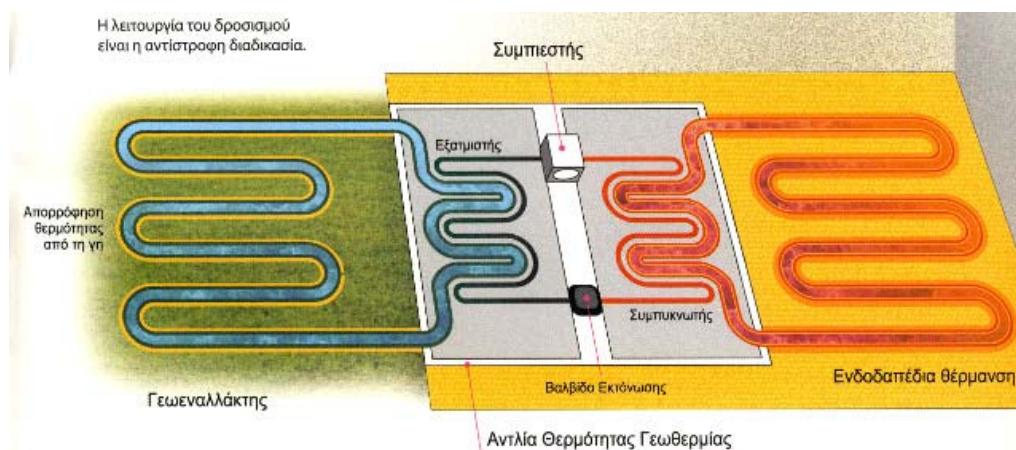
Τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται τη θερμοκρασία των γεωλογικών σχηματισμών. Στα κλειστά γεωθερμικά συστήματα το κύκλωμα των υδρογεωτρήσεων αντικαθίστανται με γεωσυλλέκτες (γεωεναλλάκτες). Ο γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται από έναν αριθμό σωληνώσεων μέσα στις οποίες κυκλοφορεί διάλυμα νερού με φιλικό προς το περιβάλλον αντιψυκτικό και ο σκοπός του γεωεναλλάκτη είναι να μεταφέρει το ενεργειακό φορτίο από και προς το έδαφος.

Ένα τυπικό κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τον γεωσυλλέκτη, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής του ενεργειακού φορτίου στον κλιματιζόμενο χώρο, δηλαδή την ενδοδαπέδια θέρμανση ή τις μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα (fan coil units).

Τρόπος λειτουργίας της αντλίας

Το μίγμα νερού και ψυκτικού που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά ενέργεια από το έδαφος, που οδηγείται στον εξατμιστή, ο οποίος τη δεσμεύει. Μέσω του εξατμιστή μεταδίδεται στο ψυκτικό μέσο της αντλίας, το οποίο μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Το ψυκτικό μέσο, το οποίο κινείται σε ένα κλειστό

κύκλωμα, περνάει από το συμπιεστή και συμπιέζεται, ώστε να αυξηθεί η πίεση και η θερμοκρασία του. Έπειτα, οδηγείται στο συμπυκνωτή, όπου και αποβάλλει όλη τη θερμότητα που έχει αποθηκεύσει στο νερό του κυκλώματος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Το ψυκτικό μέσο μεταφέρεται στη βαλβίδα εκτόνωσης και εκτονώνεται, ώστε να επιστρέψει στον εξατμιστή και να επαναλάβει την ίδια διαδικασία.



Σχήμα 8. Σύνδεση των τμημάτων ενός κλειστού γεωθερμικού συστήματος (<http://www.koubarakis.gr/el/content/13-geothermal>).

Τύποι των συστημάτων κλειστού κυκλώματος

Οριζόντιο σύστημα

Στο οριζόντιο (horizontal-loop) σύστημα, ανοίγονται επιφανειακές τάφροι βάθους μόλις 1-2 μέτρων, όπου τοποθετούνται σ' αυτές σωλήνες πολυαιθυλενίου (HDPE) που συνδέονται ανά δύο και μέσα σ' αυτούς κυκλοφορεί μίγμα νερού και ψυκτικού.



Σχήμα 9. Οριζόντιο σύστημα

(<http://www.deltatechniki.gr>).

Κατακόρυφο σύστημα

Τοποθετείται σε μεγαλύτερο βάθος και όταν ο εξωτερικός χώρος δεν επαρκεί για τη δημιουργία οριζόντιου δικτύου. Στην περίπτωση αυτή εγκαθίστανται ζευγάρια σωληνώσεων, τα οποία βυθίζονται σε γεώτρηση 60-100 μέτρων για να δεσμεύσουν την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της θέρμανσης και του δροσισμού.



Σχήμα 10. Κατακόρυφο σύστημα (<http://www.deltatechniki.gr>).

Γεωτρήσεις

Σε τοποθεσίες με υπόγεια ύδατα, αξιοποιούμε δύο γεωτρήσεις αντλώντας από τη μία και επιστρέφοντας νερό στην άλλη.



Σχήμα 11. Γεωτρήσεις
(<http://www.deltatechniki.gr>).

Λίμνη-Θάλασσα

Για κτίρια δίπλα σε μικρές ή μεγάλες λίμνες ή ακόμα και σε θάλασσα, μία κλειστού τύπου σωλήνωση "ρίχνεται" στο νερό.



Σχήμα 12. Λίμνη-Θάλασσα (<http://www.deltatechniki.gr>).

Πλεονεκτήματα γεωθερμικού κλιματισμού όσον αφορά το κόστος

Παράδειγμα εφαρμογής:

Κατοικία 280 τ.μ. στα Βόρεια προάστια της Αθήνας

Μέγιστη αναγκαία ισχύς θέρμανσης : 35 kW

Μέγιστη αναγκαία ισχύς ψύξης : 20 kW

Απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης ετησίως : 52.500 kWh

Απαιτούμενη ενέργεια ψύξης ετησίως : 10.000 kWh

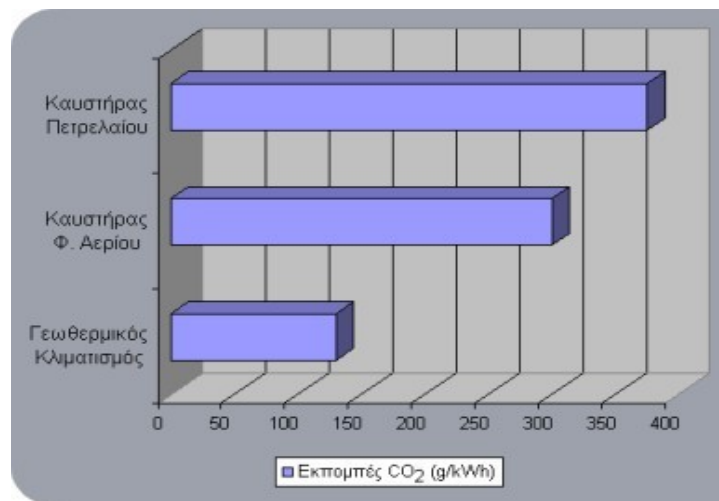
<u>Συμβατικό Σύστημα</u>	<u>Γεωθερμία</u>
καλοριφέρ για θέρμανση & κλιματιστικά τοίχου split για ψύξη	Κρυφοί αεραγωγοί, fan coils, υποδαπέδια για θέρμανση & ψύξη
Κόστος εγκατάστασης: 15.000 ευρώ Ετήσιο λειτουργικό κόστος: 3.800 ευρώ	Κόστος εγκατάστασης: 28.000 ευρώ Ετήσιο λειτουργικό κόστος: 1.600 ευρώ

Απόσβεση διαφοράς κόστους εγκατάστασης σε 5-7 χρόνια και ταυτόχρονα προστασία του Περιβάλλοντος.

(*τιμές πετρελαίου & ηλεκτρικού ρεύματος 9/2008, οριζόντια σωλήνωση εδάφους).

Πλεονεκτήματα γεωθερμικού κλιματισμού ως προς το περιβάλλον

Δε θα πρέπει να παραμελούμε και το μέγεθος της περιβαλλοντικής συνεισφοράς του γεωθερμικού κλιματισμού στην επιβράδυνση των κλιματικών αλλαγών:



Σχήμα 13. Διάγραμμα που δείχνει τις εκπομπές CO₂ από καυστήρα πετρελαίου, καυστήρα φυσικού αερίου και γεωθερμικού κλιματισμού (<http://www.deltatechniki.gr>).

Μείωση εκπομπών ρύπων:

- Σχεδόν στο 1/3 μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με ένα σύστημα γεωθερμίας.
- Είναι το φιλικότερο προς το περιβάλλον σύστημα κλιματισμού.
- Μηδενίζονται οι εκπομπές ρύπων στο αστικό περιβάλλον.
- Σημαντική συμβολή αν αναλογιστούμε ότι η θέρμανση/ψύξη χώρων ευθύνεται παγκοσμίως για το 20% της συνολικής εκπομπής ρύπων.

(σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της εταιρίας ΔΕΛΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗ)

2) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Κατηγορίες γεωτρήσεων

Γεώτρηση ονομάζουμε μια στρογγυλή κατακόρυφη ή κεκλιμένη τρύπα, που ανοίγουμε στο στερεό φλοιό της γης με ειδικό μηχάνημα (γεωτρύπανο), και της οποίας η διάμετρος είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος της. Οι γεωτρήσεις ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζονται χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

A) Ερευνητικές γεωτρήσεις

B) Παραγωγικές γεωτρήσεις ή γεωτρήσεις εκμετάλλευσης.

Ερευνητικές γεωτρήσεις

Είναι γεωτρήσεις με μικρή σχετικά διάμετρο, οι οποίες αποσκοπούν στην έρευνα του εδάφους και του υπεδάφους, κυρίως με τη λήψη δειγμάτων, τα οποία λαμβάνονται με τη μορφή πυρήνων (καρότο) ή τριμμάτων. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι εξής γεωτρήσεις:

α) Κοιτασματολογικές γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταλλευτική έρευνα και αποβλέπουν στην αναζήτηση και διερεύνηση κοιτασμάτων (μεταλλευμάτων, λιγνίτη, πετρελαίου, νερού, κ.λ.π.)

β) Γεωλογικές γεωτρήσεις που αποβλέπουν στην αποσαφήνιση των γεωλογικών συνθηκών και δομής του υπεδάφους.

γ) Εδαφοτεχνικές ή Γεωτεχνικές γεωτρήσεις που αποβλέπουν στη γνώση και διερεύνηση των μηχανικών κυρίως ιδιοτήτων του εδάφους και υπεδάφους (σύσταση, μορφολογία, περατότητα, στάθμη υπόγειου νερού, κ.λ.π.), προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητά τους για κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων όπως, κτίρια, γέφυρες, δρόμοι, σήραγγες, φράγματα, κ.λ.π.). Ανάλογα με τις απαιτήσεις της έρευνας το λαμβανόμενο δείγμα μπορεί να είναι συνήθους μορφής ή αδιατάρακτο.

Παραγωγικές γεωτρήσεις ή γεωτρήσεις εκμετάλλευσης

Οι γεωτρήσεις αυτές αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση της παραγωγής κατά την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος ή κατασκευή δομικού έργου. Στις γεωτρήσεις αυτές

δεν απαιτείται η λήψη δείγματος και η διάμετρός τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι πάνω από ένα μέτρο. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι :

- α) Γεωτρήσεις εκμετάλλευσης πετρελαίου και θείου.
- β) Υδρογεωτρήσεις.
- γ) Γεωτρήσεις εξόρυξης (διατρήματα ανατινάξεων).
- δ) Γεωτρήσεις αερισμού, τσιμεντενέσεων και τοποθέτησης καλωδίων ή αγωγών.
- ε) Μεγάλης διαμέτρου γεωτρήσεις που χρησιμεύουν στην υπόγεια εκμετάλλευση μεταλλείων (πηγάδια, στοές, κ.λ.π.).

Μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων

Στην προσπάθεια της ανάπτυξης και της βελτίωσης τη τεχνικής της διάτρησης των πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν πολλές μέθοδοι γεωτρήσεων, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται, η αποσύνδεση του πετρώματος, η λήψη του δείγματος και το μέσο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των προϊόντων της διάτρησης (τρίμματα) από το βάθος της γεώτρησης στην επιφάνεια. Οι κυριότερες μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων είναι οι εξής:

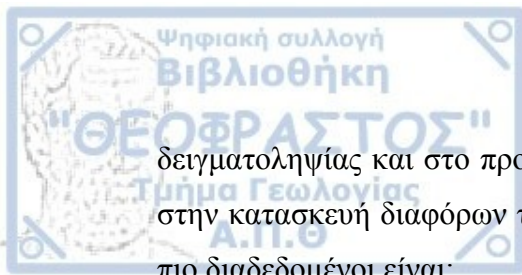
- Κρουστική διάτρηση
- Περιστροφική διάτρηση
- Πυρονοληπτική διάτρηση
- Γεωθερμική γεώτρηση
- Υδρογεώτρηση

Κατηγορίες και τύποι γεωτρύπανου

Τα γεωτρύπανα ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνουν την αποσύνδεση (θραύση - θρυμματισμό) των πετρωμάτων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

1. Κρουστικά γεωτρύπανα
2. Περιστροφικά γεωτρύπανα
3. Γεωτρύπανα θερμικής διάτρησης.

Η ανάγκη προσαρμογής των παραπάνω γεωτρύπανων, στις συνθήκες του υπό διάτρηση εδάφους και υπεδάφους, στο είδος της έρευνας, στις απαιτήσεις της



δειγματοληψίας και στο προβλεπόμενο βάθος και διάμετρο της γεώτρησης, οδήγησε στην κατασκευή διαφόρων τύπων γεωτρήπανων, από τους οποίους οι κυριότεροι και πιο διαδεδομένοι είναι:

1. Κρουστικά γεωτρήπανα (Percussive Drills)

1α. Κρουστικό γεωτρήπανο με άκαμπτη στήλη (Wagon Drill, Down the Hole ή Hammer Drill)

1β. Κρουστικό γεωτρήπανο με συρματόσχοινο (Cable ή Churn Drill)

2. Περιστροφικά γεωτρήπανα (Rotary Drills)

2α. Αδαμαντογεωτρήπανο (Diamond Drill)

2β. Γεωτρήπανο περιστρεφόμενης κεφαλής (Rotary Head Drill)

2γ. Γεωτρήπανο περιστρεφόμενης τράπεζας (για πετρέλαια και υδρογεωτρήσεις) (Water Drills ή Rigs)

2δ. Γεωτρήπανο προσχώσεων (Auger Drill)

2ε. Ειδικά γεωτρήπανα μεγάλης διαμέτρου (Boring Machines)

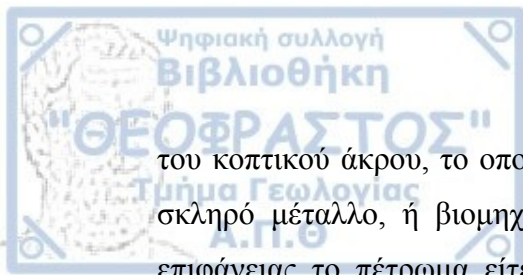
Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς τους τα γεωτρήπανα διακρίνονται σε :

1. Τροχοφόρα
2. Ερπυστριοφόρα αυτοκινούμενα
3. Τροχοφόρα αυτοκινούμενα
4. Τροχοφόρα ρυμουλκούμενα
5. Συρόμενα επί ελκύθρου
6. Πλωτά γεωτρήπανα.

Επισημαίνεται ότι ο παραπάνω διαχωρισμός είναι καθαρά περιγραφικός αφού κατασκευαστικά είναι δυνατή η μετατροπή ενός τύπου γεωτρήπανου σε ένα άλλο με τη βοήθεια κατάλληλων προσαρμογών κυρίως στη διατρητική στήλη.

Έτσι με αντικατάσταση της διατρητικής στήλης του διαμαντογεωτρήπανου με στήλη ελικοειδών στελεχών και κατάλληλου κοπτικού άκρου, αυτό μετατρέπεται σε γεωτρήπανο προσχώσεων. Εάν το γεωτρήπανο περιστρεφόμενης κεφαλής εφοδιασθεί με αεροσυμπιεστή και ειδικά στελέχη, μετατρέπεται σε κρουστικό γεωτρήπανο άκαμπτης στήλης.

Στα περιστροφικά γεωτρήπανα η αποσύνδεση (θραύση, θρυμματισμός) του πετρώματος επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη πίεση και περιστροφή επί του πετρώματος



του κοπτικού άκρου, το οποίο φέρει στην επιφάνειά του ακμές από σκληρό χάλυβα, σκληρό μέταλλο, ή βιομηχανικά διαμάντια. Ανάλογα με τη μορφή της κοπτικής επιφάνειας το πέτρωμα είτε θρυμματίζεται πλήρως είτε λαμβάνεται με τη μορφή κυλίνδρου (δείγμα πυρήνα).

Στα κρουστικά γεωτρύπανα η αποσύνδεση (θραύση, θρυμματισμός) του πετρώματος επιτυγχάνεται με αλληπάλληλες κρούσεις του κοπτικού άκρου επ' αυτού. Ως εκ τούτου η αποσύνδεση είναι πλήρης και το δείγμα που λαμβάνεται αποτελείται από τρίμματα. Για το λόγο αυτό το κρουστικό γεωτρύπανο σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιείται για δειγματοληψία.

Επιλογή γεωτρύπανου και γεωτρητικού εξοπλισμού

Η επιλογή του κατάλληλου γεωτρύπανου (μέγεθος, ιπποδύναμη κινητήρα, πηλαντλία, κ.λ.π.) και γεωτρητικού εξοπλισμού (κατάλληλο κοπτικό, διάμετρος στελεχών, κ.λ.π.) για την εκτέλεση μιας γεώτρησης με το μικρότερο δυνατό κόστος είναι συνάρτηση των παρακάτω παραγόντων:

1. Του σκοπού για τον οποίο γίνεται η γεώτρηση (δειγματοληψίας, υδρογεώτρηση, διάτρημα, κ.λ.π.).
2. Της τοποθεσίας που θα γίνει η γεώτρηση.
3. Της φύσης και σκληρότητας των πετρωμάτων που θα διατρηθούν (χαλαρά, συνεκτικά, μαλακά, ημίσκληρα, σκληρά, κ.λ.π.).
4. Του βάθους της γεώτρησης.
5. Της διαμέτρου της γεώτρησης.

3) ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Χαριλάου (οδός Γενοκτονίας 19^{ης} Μαΐου) της Ανατολικής Θεσσαλονίκης. Γεωτεκτονικά η περιοχή αυτή τοποθετείται στην Περιοδοπική ζώνη. Η ζώνη αυτή, ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες, οι οποίες δέχτηκαν τη δράση της πρώιμης ορογενετικής περιόδου Ανωτέρου Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού όπου πτύχωσε και ανέδυσε προσωρινά τις οροσειρές των εσωτερικών ζωνών.

Η ανάδυση και χέρσευση κράτησε μερικά εκατομμύρια χρόνια στο Κάτω Κρητιδικό και επακολούθησε η Μέσο-Άνω Κρητιδική επίκλυση της θάλασσας η οποία κάλυψε ολόκληρο το χώρο των εσωτερικών ζωνών και απόθεσε τα Μέσο-Άνω Κρητιδικά ιζήματα με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα πετρώματα και συχνά με την παρεμβολή ενός κροκαλοπαγούς βάσης σαν πρώτο επικλυσιογενή σχηματισμό.

Η τελική ορογενετική δράση με πτύχωση και οριστική πλέον ανάδυση των εσωτερικών ζωνών έλαβε χώρα μετά το τέλος Κρητιδικού στις αρχές του Τριτογενούς.

Η Περιοδοπική ζώνη εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10-20 km, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής. Από τα ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα η ζώνη προεκτείνεται προς τα ΝΑ στη λίμνη Λαγκαδά, τον κορμό της Χαλκιδικής και τη χερσόνησο της Σιθωνίας όπου κάμπτεται προς τα ΒΑ και με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ περνάει από την άκρη της χερσονήσου του Άθω και προεκτείνεται υποθαλάσσια προς το νησί της Σαμοθράκης και την περιοχή Αλεξανδρούπολης-Εβρου.

Όσον αφορά για την κύρια παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιοδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής Ελληνικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας, η οποία κατωφέρεια κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα, περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας.

Σύμφωνα με τα βασικότερα σύγχρονα γεωτεκτονικά μοντέλα εξέλιξης του Ελληνικού χώρου, αυτή η περιφερειακή αύλακα ήταν σε θέση βύθισης (subduction) της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού κάτω από την Ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα, το περιθώριο της οποίας αποτελούσαν οι μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής.

Η Περιοδοπική ζώνη συγκροτείται από τρεις βασικές ενότητες, οι οποίες από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά είναι: η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, Μελισχωρίου-

Χολομώντα και Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη, με γενική διάταξη των σχηματισμών τους ΒΔ-ΝΑ.

▪ Ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά

Περιλαμβάνει στη βάση της ένα σχηματισμό μετακλαστικών ιζημάτων, μετα-ψαμμίτες, χαλαζίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους και μετα-κροκαλοπαγή ηλικίας Περμίου, που είναι γνωστός με το τοπικό όνομα «σχηματισμός Εξαμιλίου».

Πάνω από το σχηματισμό Εξαμιλίου βρίσκεται μια ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά Περμίου-Κάτω Τριαδικού, η οποία αποτελείται από εναλλασσόμενα ηφαιστειακά και ιζηματογενή υλικά ημιμεταμορφωμένα, δηλαδή χαλαζιακά πορφυροειδή, χαλαζιακούς σχιστόλιθους, χαλαζίτες, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, πυροκλαστικά υλικά και σχιστοποιημένους ρυόλιθους. Η ανώτερη στάθμη της σειράς περιέχει μετακλαστικά ιζήματα δηλαδή μετα-ψαμμίτες, μετα-κροκαλοπαγή, μετα-αρκόζες και φυλλίτες.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται προς τα πάνω με την απόθεση μιας ανθρακικής νηριτικής σειράς που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ψαμμιτικούς και μαργαϊκούς με φύκη και κοράλλια. Η ηλικία απόθεσης της σειράς είναι από το Μέσο Τριαδικό μέχρι το Μέσο Ιουρασικό. Παρ' όλο το νηριτικό χαρακτήρα της σειράς αυτής, στις ανώτερες στάθμες της παρουσιάζει ορισμένες αργιλικές και μαργαϊκές ενστρώσεις πελαγικής φύσης.

▪ Ενότητα Μελισχωρίου-Χολομώντα

Έχει τη μεγαλύτερη έκταση από τις τρεις ενότητες της Περιοδοπικής και εκτείνεται σαν λωρίδα πλάτους 5-15 km, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, από την περιοχή της λίμνης Δοϊράνης στα Ελληνογιογκοσλαβικά σύνορα προς το βουνό Χολομώντα της Χαλκιδικής και τη Σιθωνία.

Ο κατώτερος σχηματισμός της Ενότητας είναι μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, λίγο πελαγικοί, ηλικίας Μέσου –Άνω Τριαδικού με συχνές παρεμβολές γραφιτικών φυλλιτών και σερικιτικών σχιστολίθων. Προς τα πάνω ο σχηματισμός γίνεται καθαρά φυλλιτικός με φυλλίτες κοινούς, μάρους γραφιτικούς, ψαμμιτικούς και έχει πλάτος 400 m.

Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας ηλικίας Κάτω-Μέσου Ιουρασικού, είναι ένας σχηματισμός φλύσχη με τουρβιδικές εναλλαγές μετα-ιζημάτων (ψαμμίτες,

μάργες, ασβεστολιθικές ενστρώσεις κλπ) μέσα στα οποία συχνά παρατηρούνται μεγάλοι ολισθόλιθοι τριαδικών μαρμάρων.

Ο φλύσχος αυτός Κάτω-Μέσο Ιουρασικό αναφέρεται με το όνομα «φλύσχος της Σβούλας» και είναι ο σπουδαιότερος σχηματισμός όλης της Περιοδοπικής ζώνης καθότι καθορίζει την ιδιαιτερότητα της ζώνης αυτής ως αντιπροσωπεύουσα την ηπειρωτική κατωφέρεια και την αύλακα στην περιφέρεια της ηπείρου.

▪ Ενότητα Ασπρης Βρύσης-Χορτιάτη

Είναι λωρίδα παράλληλη με την ενότητα Μελισχωρίου-Χολομώντα, πλάτους 4-8 km, που αρχίζει βόρεια της Θεσσαλονίκης, διέρχεται από το Χορτιάτη, φτάνει στο νότιο άκρο της Σιθωνίας, όπου κάμπτεται και αποκτά ΑΒΑ κατεύθυνση και επεκτείνεται έτσι μέχρι το άκρο του Αγίου Όρους.

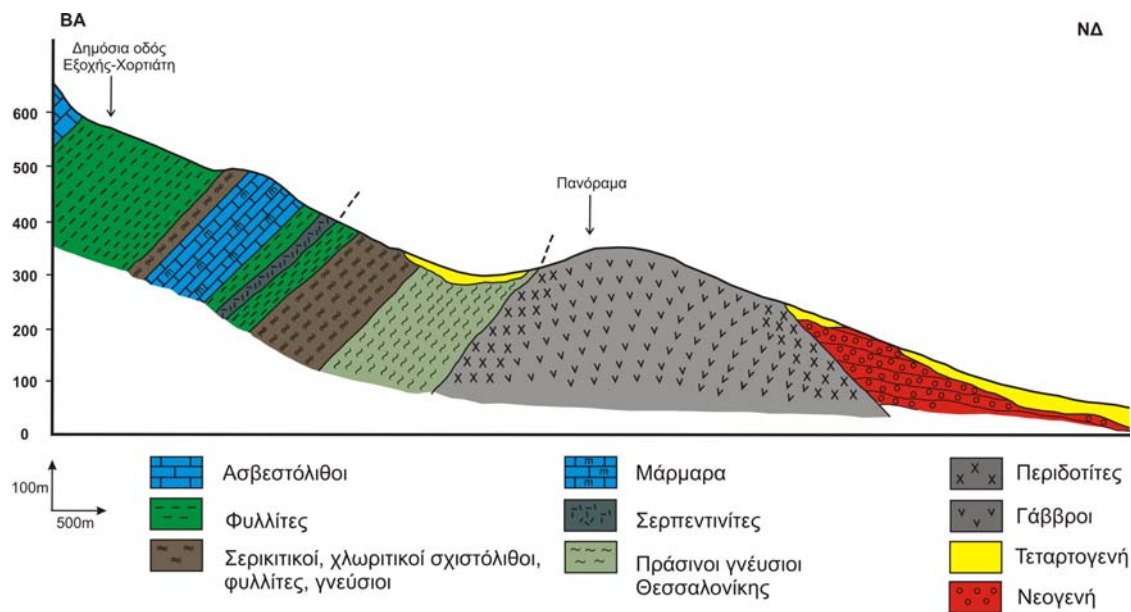
Η ενότητα χαρακτηρίζεται από μια ευγεωσυγκλινική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια του Κάτω-Μέσου Ιουρασικού. Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Περμο-Τριαδικής ηλικίας μετακλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα ανάλογα με της ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά.

Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα αυτά παρεμβάλλονται συχνά οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα (γάββροι, διορίτες, σερπεντίνες, διαβάσες).

Επίσης μέσα σ' αυτή την ιζηματογενή σειρά παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης (ακτινολιθικοί, επιδοτικοί, χλωριτικοί γνεύσιοι και αμφιβολιτικοί, βιοτιτικοί γνεύσιοι) που εναλλάσσονται με τα μεταϊζήματα, φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίνες, χλωριτικούς-επιδοτικούς σχιστόλιθους.

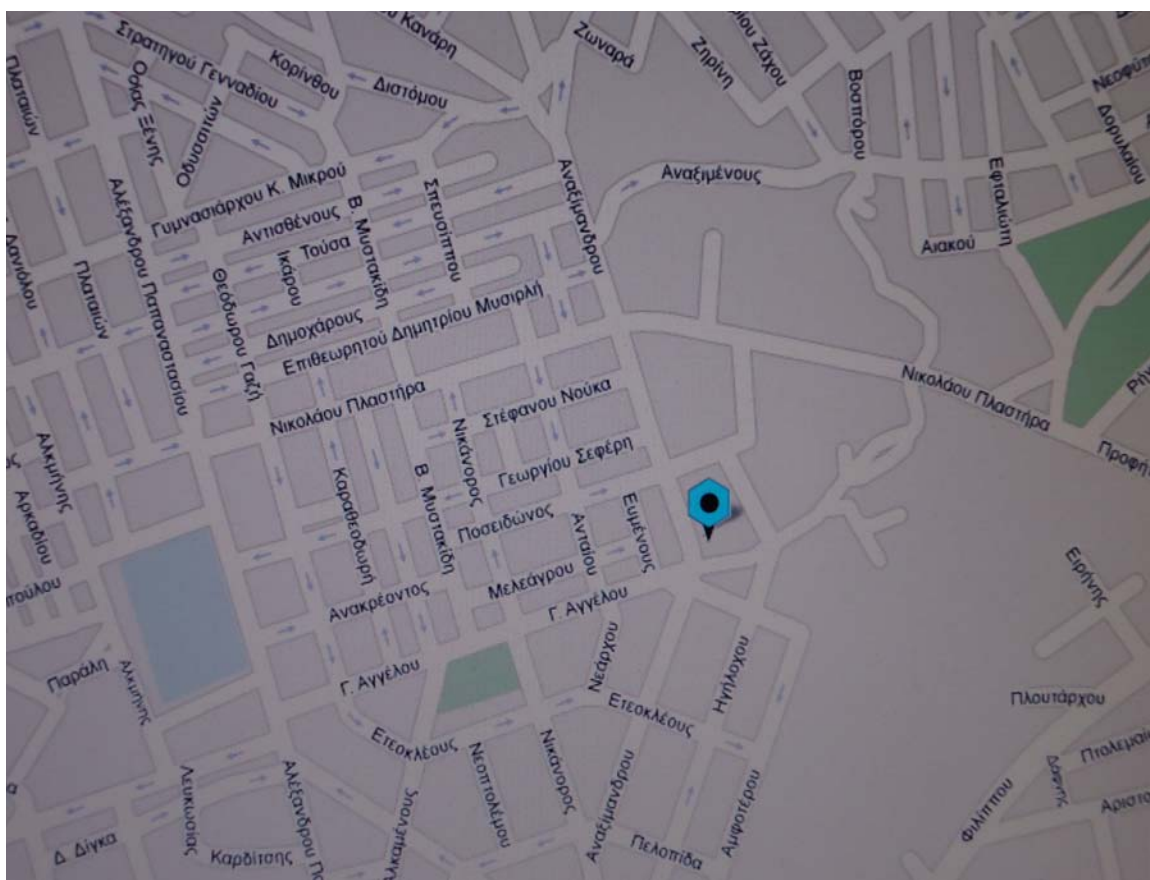
Ο Σαπουντζής (1969) που μελέτησε τους επιγνεύσιους αυτούς διαπίστωσε ότι προήλθαν από παλιά χαλαζιοδιοριτικά πετρώματα. Ραδιοχρονολογήσεις στους γνεύσιους αυτούς έδωσαν αποτελέσματα 113 εκ. ετών (ηλικία Κάτω-Μέσο Κρητιδική) που σημαίνει ότι η μεταμόρφωση έγινε σχεδόν ταυτόχρονα με την Άνω ιουρασική-Κάτω κρητιδική ορογένεση που έπληξε τις Εσωτερικές Ελληνίδες.

Τα πετρώματα της Ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη καλύπτουν γενικά τον ευρύτερο χώρο της πόλης της Θεσσαλονίκης. Μια αντιπροσωπευτική τομή του ανατολικού τμήματος του χώρου αυτού δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 14. Γεωλογική τομή της Ανατολικής Θεσσαλονίκης (από Μουντράκη 1985).

Όπως ήδη αναφέραμε οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Χαριλάου (οδός Γενοκτονίας 19^{ης} Μαΐου) της Ανατολικής Θεσσαλονίκης και η ακριβής θέση των τριών γεωτρήσεων φαίνεται στα παρακάτω σχήματα :



σύμβολο που δείχνει την ακριβή θέση των γεωτρήσεων (από <http://www.ploigos.gr/>).



Σχήμα16. Θέση των γεωτρήσεων (σχήμα 2^ο) (από το Google earth).

Πριν από τη διαδικασία της διάτρησης ήταν απαραίτητο να γίνουν κάποιες εργασίες γύρω από το χώρο που θα πραγματοποιούνταν οι γεωτρήσεις, με σκοπό να εξασφαλιστούν κατάλληλες συνθήκες για τη γρήγορη και ομαλή ολοκλήρωσή τους. Ένα μέρος αυτών των εργασιών περιελάμβανε τη διάνοιξη ενός αρκετά μεγάλου λάκκου ο οποίος χρησίμευε για την απομάκρυνση του πολτού κυκλοφορίας, καθώς επίσης και η εξασφάλιση ύπαρξης νερού στο χώρο των εργασιών.

Μία ακόμη εργασία που πραγματοποιήθηκε ήταν η μεταφορά των μηχανημάτων και των εργαλείων στο χώρο όπου θα πραγματοποιούνταν οι γεωτρήσεις. Με ένα φορτηγό μεταφέρθηκαν στο χώρο των εργασιών τα στελέχη, τα κοπτικά άκρα και γενικά όλος ο μηχανισμός που απαιτούνταν. Τα στελέχη τοποθετήθηκαν σε ένα σημείο του οικοπέδου έτσι ώστε να είναι εύκολη η παραλαβή τους κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων και να μην εμποδίζουν τους εργαζόμενους κατά τη διάρκεια της εργασίας τους.

Τέλος, έγινε η εγκατάσταση του γεωτρύπανου και της γεννήτριας. Η εγκατάσταση του γεωτρύπανου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ειδικών στηριγμάτων (ποδαρικών) και έτσι επιτεύχθηκε η αποκατάσταση πλήρης ισορροπίας και οριζοντίωσης του γεωτρηπτικού μηχανήματος (φορτηγό που φέρει το γεωτρύπανο).



Εικόνα 1. Λάκκος απομάκρυνσης του πολτού κυκλοφορίας.



Εικόνα 2. Εμπρόσθια πλευρά του φορτηγού-γεωτρύπανου.



Εικόνα 3. Προφίλ του φορτηγού-γεωτρύπανου.



Εικόνα 4. Στελέχη. Κάθε σωλήνας έχει στο ένα άκρο του εσωτερικό σπείρωμα και στο άλλο άκρο του εξωτερικό. Με τη βοήθεια του σπειρώματος συνδέονται μεταξύ τους προς σχηματισμό στήλης.



Εικόνα 5.
Γεννήτρια.



Εικόνα 6. Ποδαρικό του γεωτρύπανου, το οποίο βοηθάει στην ισορροπία και σταθερότητα του μηχανήματος.

Χαρακτηριστικά του γεωτρύπανου

Το γεωτρύπανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ενσωματωμένο σε φορτηγό γεγονός που του επέτρεπε τη δυνατότητα εγκατάστασης σε διάφορες θέσεις. Όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός όπως ο πύργος και η μηχανή του γεωτρύπανου, οι τροχαλίες με τα συρματόσχοινα κτλ ήταν και αυτά ενσωματωμένα στο γεωτρύπανο-φορτηγό.

Το γεωτρύπανο ήταν υδραυλικό και λειτουργούσε με μηχανή diesel. Ο έλεγχος της λειτουργίας του γινόταν με τη βοήθεια του πίνακα ελέγχου, στον οποίο απεικονίζονταν με τη μορφή δεικτών όλοι οι παράμετροι λειτουργίας, ενώ δίπλα στον πίνακα υπήρχαν οι χειροκίνητοι μοχλοί που διευκόλυναν το χειριστή στις απαραίτητες λειτουργίες. Τέλος, με την ενεργοποίηση των κατάλληλων μοχλών και τη συνδρομή του βοηθού του, ο γεωτρυπανιστής μετέφερε και τοποθέτησε τα στελέχη στη διατρητική στήλη ώστε να μπορεί να ξεκινήσει η γεώτρηση.



Εικόνα 7. Χειριστήριο γεωτρύπανου.



Εικόνα 8. Διατρητική στήλη.

Καθαρισμός γεώτρησης και ψύξη κοπτικού άκρου

Κατά την εκτέλεση μιας γεώτρησης πρέπει να υπάρχει συνεχής κυκλοφορία νερού ή πεπιεσμένου αέρα ή λάσπης για να ψύχεται το κοπτικό άκρο και να μεταφέρονται έξω από τη γεώτρηση τα τρίμματα. Για αυτό το λόγο, κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων χρησιμοποιήθηκε καθαρό νερό, το οποίο αποτελεί και το πιο απλό και

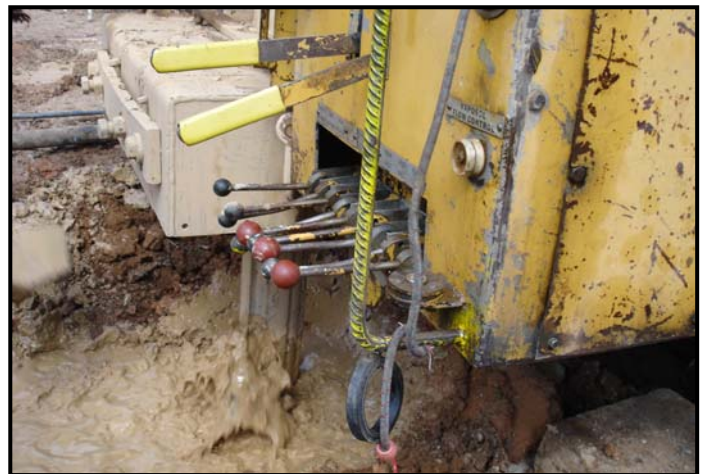
αποτελεσματικό μέσο για την απομάκρυνση των τριμμάτων της γεώτρησης και την ψύξη του κοπτικού άκρου.

Με μια αντλία, η οποία ήταν προσαρτημένη στο γεωτρύπανο, διοχετευόταν νερό μέσα από ελαστικό σωλήνα υψηλής πίεσης, στον τροφοδότη και από εκεί δια μέσου της διατρητικής στήλης στο κοπτικό άκρο. Έτσι, το νερό έψυχε το κοπτικό άκρο και μετά ακολουθούσε το κενό μεταξύ της διατρητικής στήλης και των τοιχωμάτων της γεώτρησης και επανερχόταν στην επιφάνεια. Κατά την πορεία αυτή παρέσερνε μαζί του τα τρίμματα τα οποία ήταν προϊόντα της διάτρησης με την οποία επιτυγχανόταν αποσύνδεση του πετρώματος, ταυτόχρονα λιπαίνονταν η εξωτερική επιφάνεια των διατρητικών στελεχών και λόγω της υδροστατικής πίεσης που δημιουργούνταν συγκρατούνταν από κατάπτωση σε κάποιο βαθμό τα τοιχώματα της γεώτρησης.

Το επιστρεφόμενο νερό μαζί με τα τρίμματα που είχε παρασύρει απορρίπτονταν στο λάκκο, που είχε ήδη δημιουργηθεί, μέσω ενός μικρού αυλακιού. Εκεί ήταν τοποθετημένο το ποτήρι της αντλίας και αντλούσε ξανά το νερό στη γεώτρηση. Τέλος, οι αναπόφευκτες απώλειες νερού στη γεώτρηση και έξω από αυτή αντιμετωπίζονταν με συμπλήρωση νερού στο λάκκο.



Εικόνα 9. Έναρξη της γεώτρησης (φωτογραφία 1^η).



Εικόνα 10. Έναρξη της γεώτρησης (φωτογραφία 2^η).



Εικόνα 11. Έναρξη της γεώτρησης (φωτογραφία 3^η).

Υδραυλική περιστροφική διάτρηση και σωλήνωση γεώτρησης

Οι τρεις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, έγιναν με τη μέθοδο της υδραυλικής περιστροφικής διάτρησης. Το κοπτικό άκρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τρίκωνο που χρησιμοποιείται για τη διάτρηση χαλαρών και ημίσκληρων σχηματισμών. Η διατρητική στήλη περιστρέφονταν δεξιόστροφα με τη βοήθεια της κεφαλής του γεωτρύπανου, η οποία συγχρόνως επέτρεπε και την κατακόρυφη κίνηση προς τα κάτω της διατρητικής στήλης.



Εικόνα 12. Κοπτικό άκρο.

Τα στελέχη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ειδικοί χαλύβδινοι σωλήνες για να αντέχουν στις καταπονήσεις και παρουσίαζαν κάποια ελαστικότητα ώστε να αποφεύγεται η διάρρηξή τους κατά τη διάτρηση. Το μήκος τους αναγράφονταν σε κάθε στέλεχος, και έτσι ο γεωτρυπανιστής γνώριζε μέχρι πιο βάθος έχει φτάσει η γεώτρηση.

Ο γεωτρυπανιστής έπαιρνε ανά 3 m αντιπροσωπευτικό δείγμα από το υλικό που εξέρχονταν από την οπή της γεώτρησης, το οποίο τοποθετούνταν σε κόντρα πλακέ μέχρι να στεγνώσει. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετούνταν σε πλαστικά σακουλάκια πάνω στα οποία αναγράφονταν τα στοιχεία του κάθε δείγματος, με σκοπό να σχεδιαστεί αργότερα η στρωματογραφική στήλη.

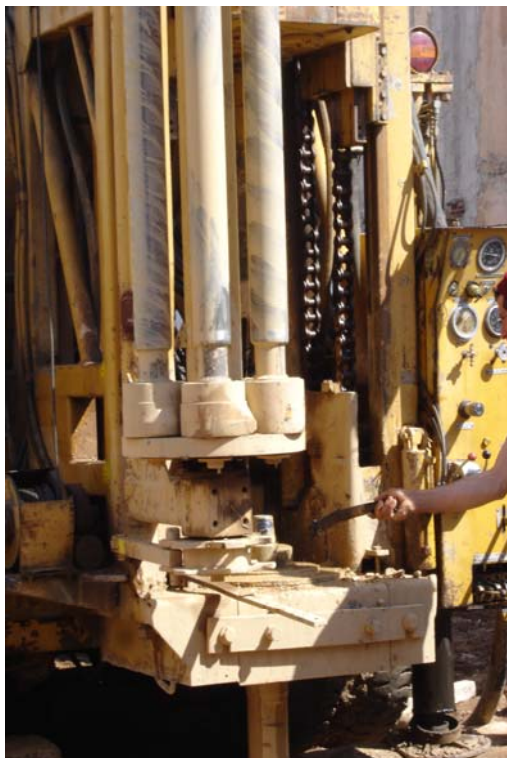


Εικόνα 13. Εξαγωγή δείγματος.



Εικόνα 14.
Τοποθέτηση
δειγμάτων σε κόντρα-
πλακέ.

Πριν την τοποθέτηση νέου στελέχους, ο χειριστής ανεβοκατέβαζε 3-4 φορές τη στήλη, ώστε να καθαρίζει η γεώτρηση από τα τρίμματα και να αποφεύγεται η απόφραξή της. Με ένα πινέλο γρασσάρωνταν το νέο στέλεχος που θα προσθέτονταν στη στήλη και έτσι μειώνονταν η τριβή του στη τράπεζα του γεωτρύπανου από όπου περνούσε. Ο γεωτρυπανιστής και ο βοηθός του σήκωναν το νέο στέλεχος, το οποίο περιστρέφονταν με τη βοήθεια μηχανισμού και βίδωνε στο τελευταίο στέλεχος.



Εικόνα 15. Γρασσάρισμα των στελεχών.



Εικόνα 16. Τοποθέτηση καινούριου στελέχους..

Οι τρεις γεωτρήσεις έφτασαν ως τα 102 m για λόγους ασφαλείας, αν και χρειαζόταν να φτάσουν μέχρι τα 100 m και είχαν μεταξύ τους 6 μέτρα οριζόντια απόσταση η μία από την άλλη. Στη συνέχεια, έγινε η ανέλκυση της στήλης και η αποσυναρμολόγηση κάθε στελέχους χωριστά. Το ξεβίδωμα των στελεχών έγινε με αριστερόστροφη κίνηση.

Αφού ολοκληρώθηκε η ανέλκυση των στελεχών ξεκίνησε μετά η τοποθέτηση των ειδικών γεωθερμικών σωλήνων-εναλλακτών θερμότητας. Η διαδικασία αυτή καλό είναι να μην καθυστερήσει πολύ γιατί υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης κάποιων ασταθών τμημάτων (τοιχώματα της γεώτρησης) με δυσάρεστα αποτελέσματα, όπως η απόφραξη της οπής.

Σε κάθε γεώτρηση τοποθετήθηκαν τέσσερις γεωθερμικοί σωλήνες, οι οποίοι ενώνονταν στην μία άκρη τους σε έναν. Οι σωλήνες, αυτοί, κατέβηκαν με βαρύτητα στο εσωτερικό της γεώτρησης. Επειδή υπήρχε το ενδεχόμενο να συναντήσουν τυχόν δυσκολίες στο «κατέβασμα», λόγω της μικρής διαφοράς διαμέτρου μεταξύ της οπής της γεώτρησης και των σωλήνων ή κυρίως λόγω δυσμενούς φύσης των σχηματισμών ή τμημάτων αυτών, τοποθετήθηκε στο κατώτερο σημείο τους κατάλληλο κοπτικό άκρο-βαρίδιο.

Μέσα στους σωλήνες αυτούς θα κυκλοφορεί το νερό το οποίο θα θερμαίνεται μέσω των γεωτρήσεων περίπου στους 13°C . Στη συνέχεια, οι σωλήνες αυτοί συνδέονται με την αντλία θερμότητας. Μέσα στο κύκλωμα αυτό, κυκλοφορεί διάλυμα νερού με φιλικό προς το περιβάλλον αντιψυκτικό. Στο κλειστό κύκλωμα συνεχώς ανακυκλοφορεί, υπό πίεση, το διάλυμα που μεταφέρει τη θερμότητα.

Τα τμήματα των σωλήνων ενώνονται με θερμική κόλληση. Η θερμική κόλληση περιλαμβάνει τη θέρμανση και κοινό λιώσιμο των σωλήνων στις περιοχές επαφής ώστε τελικά να δημιουργηθούν ενώσεις πιο ισχυρές και από τον ίδιο τον σωλήνα. Η τεχνική αυτή παράγει σίγουρες ενώσεις που αποτρέπουν τις διαρροές.

Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια μέρη, τον εναλλάκτη θερμότητας νερού (γεωεναλλάκτης – κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), την αντλία θερμότητας και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας στο κτίριο (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coil).



Εικόνα 17. Γεωθερμικοί σωλήνες-εναλλάκτες θερμότητας (φωτογραφία 1").



Εικόνα 18. Γεωθερμικοί σωλήνες-εναλλάκτες θερμότητας (φωτογραφία 2^η).



Εικόνα 19. Γεωθερμικοί σωλήνες-εναλλάκτες θερμότητας (φωτογραφία 3^η).

Τσιμέντωση της γεώτρησης

Μετά το τέλος της σωλήνωσης ακολούθησε η διαδικασία της τσιμέντωσης. Τσιμέντωση είναι η πλήρωση ενός τμήματος μιας γεώτρησης με υλικά που έχουν ως βάση το τσιμέντο, και είναι μια σημαντική συμπληρωματική εργασία που γίνεται μετά το πέρας της διάτρησης.

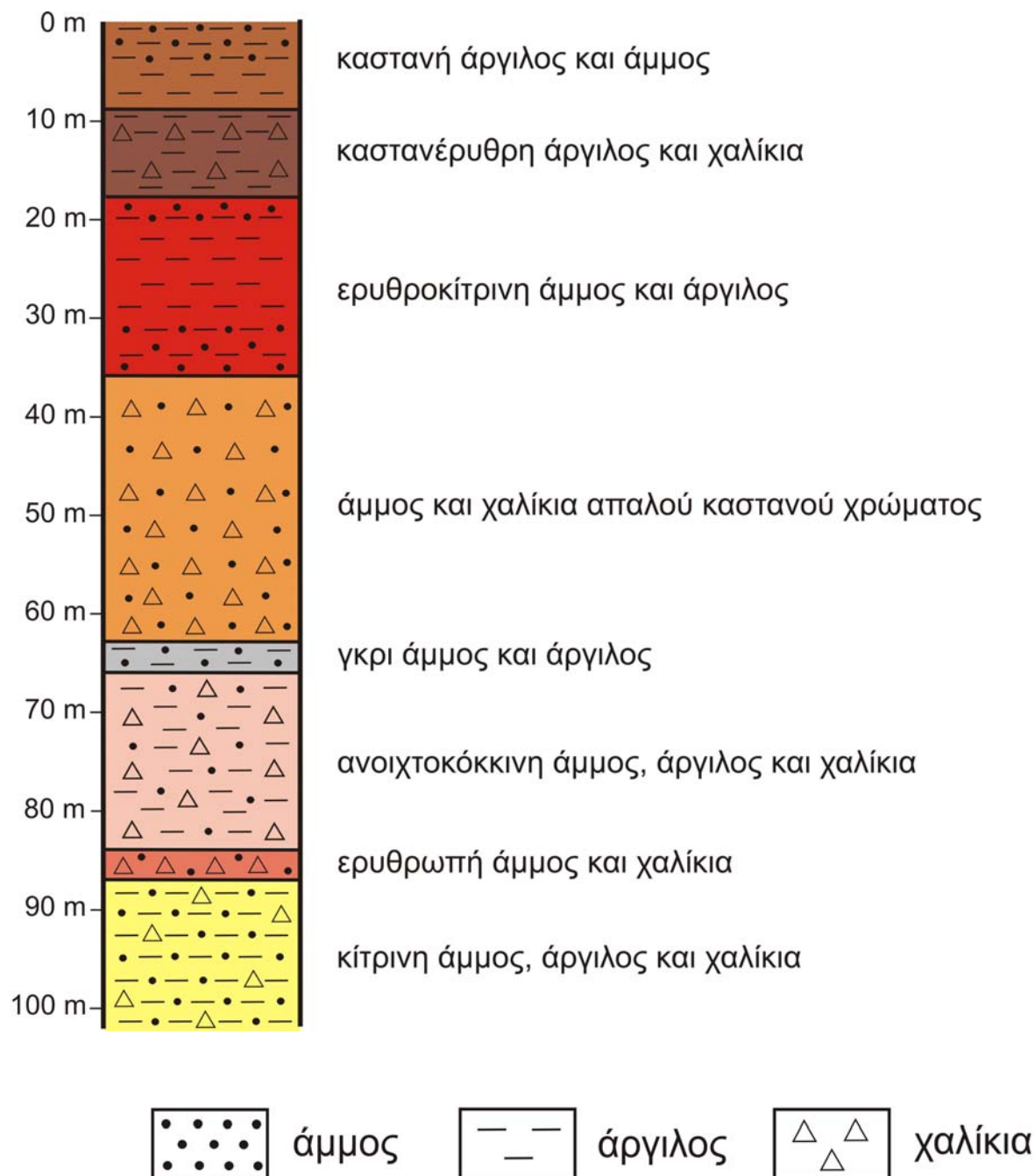


Κατά τη τσιμέντωση χρησιμοποιήθηκε ειδική αντλία που πίεζε το μίγμα τσιμέντου-νερού στο επιθυμητό σημείο ή τμήμα των γεωτρήσεων, μέσω του κατάλληλου σωλήνα.

Στις γεωθερμικές γεωτρήσεις χρησιμοποιείται ειδικό τσιμέντο, το οποίο δεν υφίσταται αλλοιώσεις στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν και το πάχος πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 cm.

5) ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Με βάση τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις τρεις γεωτρήσεις (από 0 έως 102 μέτρα βάθος) σχεδιάστηκε η παρακάτω στρωματογραφική στήλη της διάτρησης:



Όπως παρατηρούμε από την παραπάνω στρωματογραφική στήλη από την επιφάνεια του εδάφους ως τα πρώτα 9 m παρατηρήθηκε καστανή άργιλος και άμμος, από τα 9 έως 18 m υπήρχε καστανέρυθρη άργιλος και χαλίκια, ενώ από τα 18 έως τα 36 m ερυθροκίτρινη άμμος και άργιλος, όμως η παρουσία της άμμου δεν ήταν συνεχής σε

αυτό το στρώμα. Στη συνέχεια, από τα 36 έως τα 63 m παρατηρούμε κάποια διαφοροποίηση στο χρώμα των υλικών, καθώς από αυτό το βάθος και μετά παρατηρήθηκαν πιο ανοιχτόχρωμες αποθέσεις. Έτσι, σ' αυτό το τμήμα των 36-63 m υπήρχε άμμος και χαλίκια πολύ απαλού καστανού χρώματος. Από τα 63 έως 66 m εμφανίστηκε γκρι άμμος και άργιλος, από τα 66 έως τα 84 m ανοιχτοκόκκινη άμμος, άργιλος και χαλίκια, ενώ από τα 84 έως τα 87 m υπήρχε ερυθρωπή άμμος και χαλίκια. Τέλος, από τα 87 έως και 102 m, όπου σταμάτησε η διάτρηση, παρατηρήθηκε κίτρινη άμμος, άργιλος και χαλίκια.

Από όλα τα παραπάνω, διαπιστώνουμε ότι από την επιφάνεια του εδάφους και ως τα 36 m επικρατούν ερυθρές έως καστανές λεπτόκοκκες αποθέσεις (άργιλοι, άμμοι), ενώ στα βάθη από 37 έως 102 m, όπως αναφέραμε, οι αποθέσεις είναι πιο ανοιχτόχρωμες και επικρατούν πιο γωνιώδη και χονδρόκοκκα υλικά (χαλίκια, άμμοι).

Να σημειώσουμε, επίσης, ότι σύμφωνα με το φύλλο του ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) (1970) οι αποθέσεις της περιοχής μελέτης χρονολογούνται στο Νεογενές (Άνω Μειόκαινο- Κάτω Πλειόκαινο) και αποτελούνται από μια ψαμμιτομαργαϊκή σειρά με ψαμμίτες εύθρυπτους έως πολύ συμπαγείς, τοπικά μικροκροκαλοπαγή με διασταυρωμένη στρώση και κατά θέσεις υπάρχουν ορίζοντες από μάργες και από μια σειρά ερυθρών αργίλων που αποτελείται από ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις αργίλους με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα.

Τέλος, η επιλογή των χρωμάτων των δειγμάτων που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις έγιναν σύμφωνα με το σύστημα χρώματος Munsell (MUNSELL SOIL COLOR CHARTS).

6) ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

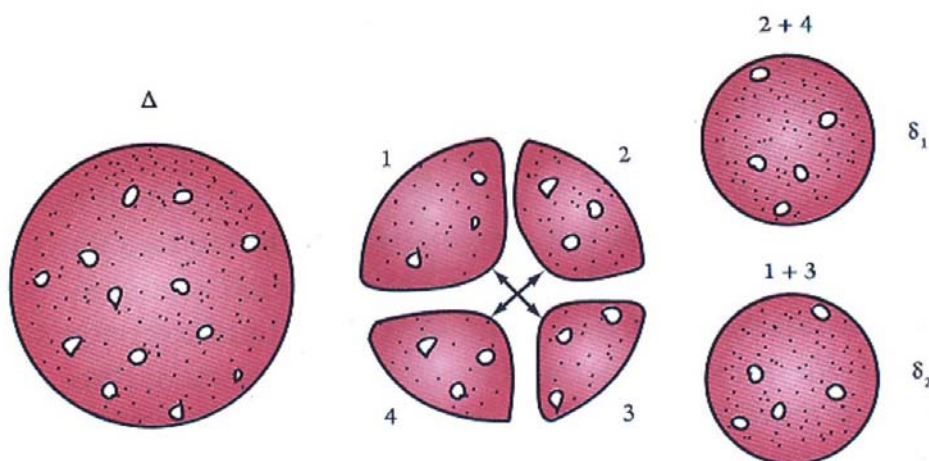
Προετοιμασία των δειγμάτων-χωρισμός

Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από το ύπαιθρο (0-102 μέτρα) και βρίσκονται μέσα σε πλαστικές σακούλες με τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία (περιοχή, στρώμα κτλ) πρέπει να απλωθούν πάνω σε καθαρά χαρτιά και να μείνουν σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να στεγνώσουν. Πάνω σε κάθε χαρτί γράφονται τα στοιχεία κάθε δείγματος.

Αν το δείγμα είναι μεγάλο (κατά βάρος) χωρίζεται σε μικρότερα δείγματα. Τα μικρότερα αυτά δείγματα πρέπει να έχουν ανάλογα με το μέγεθος του υλικού τα ακόλουθα βάρη (κατά μέσο όρο) :

- Δείγματα με πολλές κροκάλες και χονδρόκοκκη άμμο 100-200 gr.
- Δείγματα με ελάχιστες κροκάλες, πολύ άμμο και λίγα λεπτόκοκκα 80-120 gr.
- Δείγματα με πολλά λεπτόκοκκα υλικά 30-50 gr.

Ο χωρισμός του αρχικού δείγματος σε μικρότερα δείγματα, γίνεται εύκολα με τη μέθοδο του σταυρού όπως δείχνει το παράδειγμα του σχήματος 33.



Σχήμα 17. Εργαστηριακή μέθοδος χωρισμού ενός μεγάλου δείγματος ιζημάτων σε δύο μικρότερα όμοια δείγματα, γνωστή με την ονομασία «μέθοδος του σταυρού» (Ψιλοβίκος 2010).

Το δείγμα που θα αναλυθεί, τοποθετείται στη συνέχεια μέσα σε ένα γουδί και με τα χέρια ή το γουδοχέρι γίνεται προσπάθεια αποσυγκόλλησης του υλικού που έχει τη μορφή συσσωματωμάτων, έτσι ώστε κάθε κόκκος να χωριστεί από τους άλλους. Δεν

χτυπάμε και δεν λιώνουμε τα συσσωματώματα, γιατί τότε δημιουργούνται κόκκοι που δεν έχουν καμία σχέση με το υλικό του δείγματος κι αυτό εισάγει σφάλμα στην ανάλυση.



Εικόνα 20. Αχάτινο χειροκίνητο γουδί για την κονιοποίηση μικρών ποσοτήτων υλικού.

Ζυγίζεται το τελικό υλικό του δείγματος σε μια ζυγαριά ακριβείας και γράφεται το καθαρό του βάρος. Στη συνέχεια με ένα μεγεθυντικό φακό αφαιρούνται ρίζες, ξύλα ή άλλα υλικά που πιθανόν να υπάρχουν μέσα στο δείγμα, ζυγίζονται και γράφεται το βάρος τους στον ίδιο πίνακα. Κρίσιμο στάδιο για τη μηχανική ανάλυση των ιζημάτων αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου που εξαρτάται από το ίδιο το δείγμα.

Αν το δείγμα αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά (κροκάλες, άμμος) τότε εφαρμόζεται η μέθοδος του κοσκίνισματος. Αν το δείγμα αποτελείται από λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς, άργιλος, λεπτή άμμος), τότε εφαρμόζεται άλλη μέθοδος ανάλυσης (σιφώνιο, υδρόμετρο κλπ). Σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζονται δύο μέθοδοι μαζί. Αυτό συμβαίνει συχνά σε δείγματα που περιέχουν χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα υλικά σε ανάμειξη. Σ' αυτή την περίπτωση καλό είναι να αρχίζει η ανάλυση από τη μέθοδο που εφαρμόζεται για τα χονδρόκοκκα υλικά (κοσκίνισμα) έτσι ώστε να διαχωριστούν οι κροκάλες και η άμμος από την ιλύ και την άργιλο. Στη συνέχεια και εφόσον τα λεπτόκοκκα υλικά υπερβαίνουν το 5% του συνολικού βάρους του δείγματος, εφαρμόζεται η μέθοδος που αφορά στην ανάλυσή τους (σιφώνιου, υδρόμετρο). Για να αποφεύγεται η σπατάλη χρόνου και ο κίνδυνος απωλειών του δείγματος, αδειάζεται το δείγμα σε ένα κόσκινο με διάμετρο βροχίδων 0,0625 mm (+4.0 Φ) και κοσκινίζεται. Αν το υλικό που θα μείνει μέσα στο κόσκινο (κροκάλες + άμμος) ή το υλικό που θα περάσει μέσα από το πλέγμα του κόσκινου (ιλύς + άργιλος) είναι σε ποσοστό μεγαλύτερο από 5% του συνολικού δείγματος, τότε εφαρμόζονται και οι δυο μέθοδοι ανάλυσης.

Μηχανική ανάλυση χονδρόκοκκων υλικών

Μέθοδος του κοσκινίσματος

Επειδή το δείγμα αποτελούνταν από χονδρόκοκκα υλικά, εφαρμόστηκε η μέθοδος του κοσκινίσματος. Το δείγμα μας, αποτελούνταν επίσης, από στεγνά υλικά, με χωρισμένους κόκκους και χωρίς ξένα σώματα. Στη συνέχεια ζυγίστηκε και σημειώθηκε το βάρος του.

Έπειτα, αδειάσαμε το υλικό του δείγματος μέσα σ' ένα κόσκινο με διάμετρο βροχίδων 2 mm κάτω από το οποίο υπήρχε ένας δίσκος. Κοσκινίστηκε για 10 λεπτά και κατόπιν χωρίστηκε το υλικό που έμεινε μέσα στο κόσκινο (ψηφίδες, κροκάλες) από το υλικό που έμεινε στο δίσκο (άμμος, ιλύς, άργιλος). Ζυγίστηκε το περιεχόμενο του κόσκινου και επειδή το βάρος του ήταν μεγαλύτερο από το 5% του βάρους του αρχικού δείγματος, το περάσαμε μέσα από μία σειρά κόσκινα που είχαν μεγαλύτερη διάμετρο, σχήμα 35, ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

Φ	mm	Κόσκινα
-3,00	8	 Κροκάλες Χαλίκια Ψηφίδες Άμμος
-2,50		
-2,00	4	
-1,50		
-1,00	2	 Άμμος
-0,50	1	
-0,00		
0,50		
1,00	1/2	
1,50		
2,00	1/4	
2,50		
3,00	1/8	
3,50		
4,00	1/16	

Σχήμα 18. Σειρά από κόσκινα για το διαχωρισμό της άμμου και των μικρών κροκάλων με διαφορά στη διάμετρο των βροχίδων κατά 0,50 Φ και mm (Ψιλοβίκος 2010).



Εικόνα 21 Συσκευή κοσκίνισματος αδρανών υλικών.



Εικόνα 22. Ανοξείδωτο εργαστηριακό κόσκινο.

Το υλικό που είχε μείνει μέσα στο δίσκο, πέρασε από μια σειρά κόσκινα με διαφορετική διάμετρο βροχίδων. Το τελευταίο κόσκινο με διάμετρο 0,075 mm (No. 200), αντιπροσώπευε το τελευταίο κλάσμα της άμμου. Κάτω από τα κόσκινα τοποθετήθηκε ένας δίσκος και μεταφέρθηκε ολόκληρη η σειρά (στήλη) στο δονητή, που τέθηκε σε λειτουργία για 15-20 λεπτά. Το κοσκίνισμα γίνεται με πλευρικές κινήσεις του κόσκινου έτσι ώστε το δείγμα να έχει συνεχή κίνηση πάνω στην επιφάνειά του. Στη συνέχεια ανοίχτηκαν τα κόσκινα ένα-ένα από πάνω (μεγάλη

διάμετρος) προς τα κάτω (μικρή διάμετρος), αδειάσαμε το περιεχόμενό τους σ' ένα καθαρό χαρτί και μ' ένα βουρτσάκι καθαρίσαμε το πλέγμα τους.

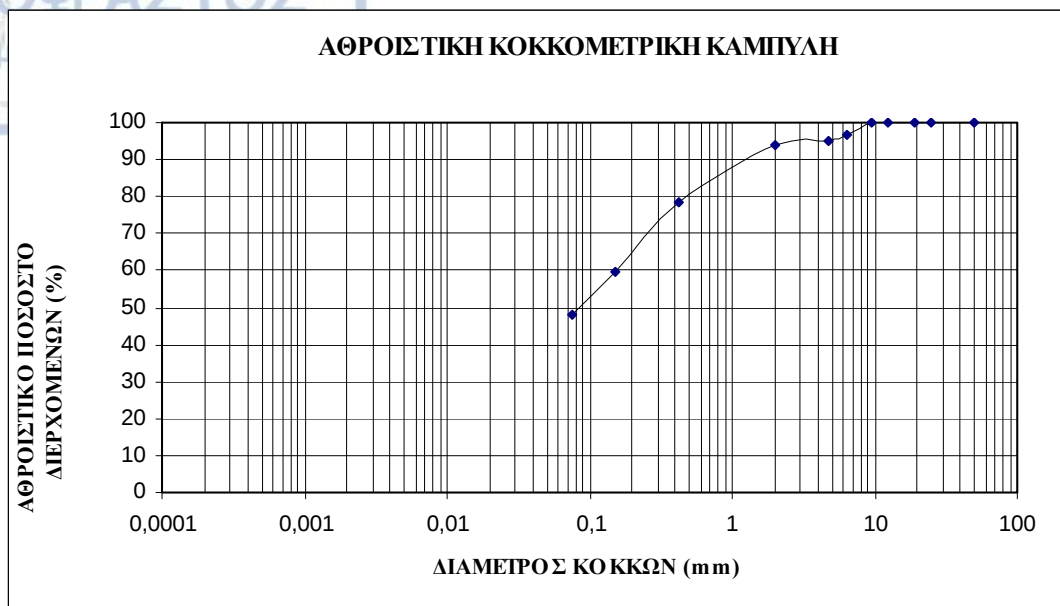
Το υλικό από κάθε κόσκινο ζυγίστηκε και γράφτηκε το βάρος του δίπλα από το αντίστοιχο μέγεθος. Αυτό έγινε για όλα τα κόσκινα της σειράς. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το πιο χονδρόκοκκο υλικό. Στο τέλος, ζυγίστηκε και το περιεχόμενο του δίσκου που βρισκόταν κάτω από το τελευταίο κόσκινο και περιείχε τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύ, άργιλο). Επειδή το βάρος των υλικών αυτών ήταν μικρότερο του 5% του βάρους του αρχικού δείγματος, το επιστρέψαμε πίσω στο χαρτί που είχε το αρχικό δείγμα.

Στη συνέχεια, ακολούθησε ο υπολογισμός των ποσοστών (%) κατά βάρος για κάθε κλάσμα μεγέθους κόκκων και για το αθροιστικό ποσοστό (%).

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Με τη μέθοδο του κοσκινίσματος που χρησιμοποιήσαμε, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά με τη χρησιμοποίηση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (ASTM C-136). Το βάθος δειγματοληψίας με το οποίο εργαστήκαμε ήταν 87-102 m, ενώ το ολικό βάρος του δείγματος ήταν 196,27 gr και προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Αριθμός κόσκινου	Άνοιγμα κόσκινου mm	Συγκρατούμενο βάρος		Διερχόμενο βάρος	
		gr	%	gr	%
2 in.	50	0	0,00	195,990	100,00
1 in.	25	0	0,00	195,990	100,00
3/4 in.	19	0	0,00	195,990	100,00
1/2 in.	12,5	0	0,00	195,990	100,00
3/8 in.	9,5	0	0,00	195,990	100,00
1/4 in.	6,3	6,29	3,21	189,700	96,79
No. 4	4,75	3,44	1,76	186,260	95,04
No. 10	2	2,15	1,10	184,110	93,94
No. 40	0,425	30,39	15,51	153,720	78,43
No. 100	0,15	36,51	18,63	117,210	59,80
No. 200	0,075	22,54	11,50	94,670	48,30
	Παιπάλη	94,670	48,30		
	Ολικό Βάρος:	195,990	100,00		



Σχήμα 19. Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον παραπάνω πίνακα δημιουργήσαμε την αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη (σχήμα 17), από την οποία συμπεραίνουμε για το δείγμα μας ότι αποτελείται από:

- 4,96% χαλίκια
- 46,74% άμμο
- και από 48,3% λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά συμπεράσματα

Συμπερασματικά, να αναφέρουμε ότι η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η αξία της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλη καθώς είναι ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον, καθώς έχει ελάχιστες επιπτώσεις σε αυτό και σίγουρα πολύ μικρότερες σε σχέση με όλες τις άλλες πηγές ενέργειας.

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας συμβάλλει στην εξοικονόμηση των συμβατικών καυσίμων, τα οποία δεν είναι και ανεξάντλητα. Η εκμετάλλευση των διαθέσιμων γεωθερμικών πεδίων επιτρέπει την αξιοποίηση των συμβατικών καυσίμων (πχ. του πετρελαίου) σε άλλες εφαρμογές όπως στις μεταφορές ή στη βιομηχανία.

Από την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας τόσο για ηλεκτροπαραγωγή όσο και για θερμικές εφαρμογές, προκύπτουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη που εντοπίζονται στην αποφυγή έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και άλλων αέριων ρύπων που εκλύονται από την καύση συμβατικών καυσίμων.

Όσον αφορά τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, αυτές καταναλώνουν 30%-60% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα αποδοτικότερα αερόψυκτα συστήματα με αντίστοιχη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η αντίστοιχη μείωση εκπομπών CO_2 σε σχέση με ένα σύστημα θέρμανσης συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο θέρμανσης ή φυσικό αέριο) ανέρχεται περίπου σε 40%.

Δε θα πρέπει να παραλείψουμε και τα σημαντικά οικονομικά οφέλη που προκύπτουν με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης και της σχεδόν ανύπαρκτης συντήρησης του εξοπλισμού, τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού μπορούν να εξοικονομήσουν από 55% μέχρι και 70% από την ετήσια δαπάνη σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Το μόνο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τον συμπιεστή και τις αντλίες, το οποίο είναι οικονομικότερο σε σχέση με τη χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 20-25%.

Τέλος, από τη χρήση γεωθερμικών συστημάτων εκτός των ανωτέρω προκύπτουν και κοινωνικά οφέλη, κυρίως, από το γεγονός ότι η γεωθερμία αποτελεί ανανεώσιμη και εγχώρια μορφή ενέργειας μέσω κυρίως της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας

και ανάπτυξης σε τοπικό επίπεδο για την εγκατάσταση των γεωθερμικών μονάδων. Σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο, περιλαμβάνουν μείωση της εξάρτησης της κοινωνίας από εισαγόμενα καύσιμα με παράλληλη απελευθέρωση ιδιωτικών κεφαλαίων, που μπορούν να διατεθούν για επενδύσεις και βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, παράγοντες που έμμεσα οδηγούν στη μείωση της ανεργίας και την οικονομική ανάπτυξη.

Συμπεράσματα από την πραγματοποίηση των τριών γεωτρήσεων

Από την ανόρυξη των τριών γεωτρήσεων, που όπως αναφέραμε, πραγματοποιήθηκαν στην οδό Γενοκτονίας 19^{ης} Μαΐου της Ανατολικής Θεσσαλονίκης προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τα δείγματα που συλλέχθηκαν ανά 3 m από 0-102 m βάθος και την ανάλυση αυτών, προέκυψε ότι τα πετρώματα είναι νεογενείς χαλαρές αποθέσεις με εναλλαγές άμμου, αργίλων και χαλικιών.
- Παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση στο χρώμα των υλικών καθώς από την επιφάνεια του εδάφους και ως τα 36 m παρατηρήθηκαν κατά βάση ερυθρές έως καστανές αποθέσεις, ενώ από τα 37 έως τα 102 m επικρατούσαν υλικά πιο ανοιχτού χρώματος (ανοιχτό κόκκινο, κίτρινο κ.α).
- Διαφοροποίηση παρατηρήθηκε επίσης και στο πάχος των υλικών καθώς από 0-36 m επικρατούσαν πιο λεπτόκοκκα υλικά, ενώ από 37-102 m επικρατούσαν πιο γωνιώδη και χονδρόκοκκα υλικά.
- Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων, που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ., έδειξε ότι το 4,96% αυτών αποτελούνταν από χαλίκια, το 46,74% από άμμο και το 48,3% αποτελούνταν από λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος).
- Σε κάθε γεώτρηση μετά την ανέλκυση των στελεχών, τοποθετήθηκαν τέσσερις γεωθερμικοί σωλήνες οι οποίοι στο ένα άκρο τους ενώνονταν σε ένα. Μέσα σ' αυτούς τους γεωθερμικούς σωλήνες θα κυκλοφορεί το νερό το οποίο θα θερμαίνεται μέσω των γεωτρήσεων περίπου στους 13°C. Στη συνέχεια, οι σωλήνες αυτοί συνδέονται με την αντλία θερμότητας. Μέσα στο κύκλωμα αυτό, κυκλοφορεί διάλυμα νερού με φιλικό προς το περιβάλλον αντιψυκτικό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουδούρης, Κ. (2008-2009). Τεχνική Γεωτρήσεων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Έκδοση Τμήμα Εκδόσεων.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Φυτίκας, Μ. και Ανδρίτσος, Ν. (2004). Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Χρηστάρας, Β. (2006). Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Αθήνα.
- Ψιλοβίκος, Α. (2010). Ιζηματολογία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Benderitter, Y. and Cormy, G. (1990). Possible approach to geothermal research and relative costs. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M. (eds) Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, pp. 59—69.
- Kockel, F., Αντωνιάδης, Π., Ιωαννίδης, Κ. (1970). Χάρτης του ΙΓΜΕ, Φύλλο Θεσσαλονίκης.
- Hochstein, M.P. (1990). Classification and assessment of geothermal resources. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M., eds., Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, pp. 31—57.
- White, D.E. (1973). Characteristics of geothermal resources. In: Kruger, P. and Otte, C. (eds) Geothermal Energy, Stanford University Press, Stanford, pp. 69-94.
- Wright, P.M. (1998). The sustainability of production from geothermal resources. Bull.Geo-Heat Center, 19, 2, 9-12.

Ιστοσελίδες:

- www.heatcoolwater.gr/geothermia.php
- <http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/geosustimata.html>
- <http://www.koubarakis.gr/el/articles/91>
- <http://www.koubarakis.gr/el/content/13-geothermal#>



- <http://www.cea.org.cy/CEA%20Greek/TOPICS/Renewable%20Energy/Heat%20Pumps%20-%20energy%20from%20the%20earth.pdf>
- <http://www.kozani.net/tei/geotriseis/>
- <http://www.deltatechniki.gr/>
- <http://www.geoexchange.gr/faq.php>
- <http://www.toolbase.org/>
- <http://geothermalgenius.org/blog/wp-content/uploads/2010/06/closed-loop-300x273.jpg>
- http://www.geothermal-energy.org/319,____.html
- <http://www.teicrete.gr/chemistry/matlab/shaker.jpg>
- <http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=347&catid=316&artid=1333>
- <http://www.boudouri.gr/pleonektimata.php>