Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ

ΝΕΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ Ν. ΣΕΡΡΩΝ - ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2021

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

[λευκή σελίδα]

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5363

ΝΕΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ ΝΟΜΟΥ ΣΕΡΡΩΝ - ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας,

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπουσα: ΜΑΡΙΑ ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ, ΕΔΙΠ ΤΜ. ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

© Κωνσταντίνος Αγγελίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΝΕΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ ΝΟΜΟΥ ΣΕΡΡΩΝ - ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ – *Πτυχιακή Εργασία*

© Konstantinos Angelidis, School of Geology, Dept. of Geology, 2021

All rights reserved.

NEW GEOTHERMAL WELLS IN THE GEOTHERMAL FIELD OF LITHOTOPOS- HERAKLIA (SERRES)- TECHNICAL CHARACTERISTICS AND PUMPING TESTS – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 1
ABSTRACT 2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ 3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5
1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 5
1.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ 8
2.1 ΓΕΝΙΚΑ 8
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 8
2.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ - ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΛΕΚΑΝΗ ΣΕΡΡΩΝ 13
3.1 ΓΕΝΙΚΑ 13
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 14
3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ 16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 18
4.1 ΓΕΝΙΚΑ 18
4.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ .. 19
4.2.1 Περίοδος 1982-1983 19
4.2.2 Πρόσφατη γεωθερμική έρευνα 22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΝΕΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ ΣΕΡΡΩΝ 23
5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-1NP 23
5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-2NP 25
5.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-3NP 27
5.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-4NP 29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 33
6.1. ΓΕΝΙΚΑ 33
6.2 ΟΡΓΑΝΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗΣ 33
6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 35
6.3.1 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-1NP 36
6.3.2 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-2NP 37
6.3.3 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-3NP 38
6.3.4 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-4NP 39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ 41
7.1 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-1NP 41
7.2 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-2NP 42
7.3 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-3NP 42
7.4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-4NP 43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 44
8.1 ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-1NP 44
8.2 ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-2NP 46
8.3 ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-3NP 47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 52

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την κατασκευή τεσσάρων νέων παραγωγικών γεωθερμικών γεωτρήσεων (Li-1NP έως Li-4NP) στο γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας Νομού Σερρών, παρουσιάζοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τις κατά βάθος θερμομετρήσεις και την επεξεργασία των δεδομένων από τις δοκιμαστικές τους αντλήσεις. Οι γεωτρήσεις αυτές ανορύχθηκαν από το ΙΓΜΕ κατά την περίοδο 2016-2018, στο πλαίσιο σχετικού ερευνητικού γεωθερμικού προγράμματος του Δήμου Ηράκλειας. Οι γεωτρήσεις έφτασαν σε μέγιστο βάθος των 519,5m. Τα θερμά ρευστά συναντήθηκαν μέσα σε σχηματισμούς κροκαλοπαγών, λατυποπαγών, ψαμμιτών, άμμων έως και την οροφή του κατακερματισμένου-εξαλλοιωμένου υπόβαθρου, σε σχετικά μικρά βάθη, από 250m έως και 500m. Οι θερμοκρασίες στον πυθμένα τους κυμαίνονται από 62 ^{o}C έως 75°C, ενώ στην κεφαλή από 38,4 ^{o}C έως 51,8 ^{o}C. Και οι τέσσερις γεωτρήσεις παρουσιάζουν αρτεσιανισμό με παροχές από 1,5 m^3/h έως 25 m^3/h. Με βάση τις δοκιμαστικές αντλήσεις μακράς διάρκειας εκτιμήθηκαν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των θερμών ταμιευτήρων (υδραυλική αγωγιμότητα, μεταβιβαστικότητα και αποθηκευτικότητα). Σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις τους, τα γεωθερμικά ρευστά ανήκουν στην κατηγορία των Na-HCO_3 νερών, με το Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων να κυμαίνεται μεταξύ 549 και 1319 mg/l. Η συνολική εκμεταλλεύσιμη παροχή από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις ανέρχεται σε 150m^3/h. Η θερμοκρασία, η ποσότητα αλλά και ο χημισμός των ρευστών δείχνουν ότι θα μπορούσαν άμεσα να χρησιμοποιηθούν στον γεωργικό τομέα (θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφους) ή για ιαματικούς σκοπούς.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ABSTRACT

The present thesis deals with the drilling of four (4) new geothermal production wells (Li-1NP to Li-4NP) in the geothermal field of Lithotopos-Heraklia (Serres), and mainly focuses on their technical characteristics, the temperature vs. depth measurements and the pumping tests. The wells were constructed by the Institute of Geology and Mineral Exploration during the period 2016-2018, in the frame of a geothermal exploration project of the local Municipality. The maximum depth of the wells was 519,5m. The geothermal fluids were found at relatively shallow depths (250m to 500m below ground surface), inside sedimentary formations, as well as at the top of the fractured basement. The temperature at the bottom of the boreholes ranges between 62°C and 75°C, whereas at the well head from 38,4^{o}C to 51.8^{o}C. All four wells display artesian flow, with flow-rates between 1,5 m^3/h and 25 m^3/h. Based on the long-term pumping tests, the hydraulic characteristics of the geothermal reservoirs (hydraulic conductivity, transmissivity and storativity) were calculated. According to the chemical analyses of the water samples from the wells, the geothermal fluids are classified as Na-HCO_3 waters, with Total Dissolved Salts at 549-1319 mg/l. The total exploitable flow-rate from the existing production wells is 150m^3/h. The temperature, the quantity, as well as the quality of the fluids, indicate that they could be used for direct uses, mainly in the agricultural sector (heating of greenhouses and soil) or for balneotherapy.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο «*Νέες γεωτρήσεις στο γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας Ν. Σερρών- Τεχνικά χαρακτηριστικά και Δοκιμαστικές αντλήσεις*» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, υπό την επίβλεψη της Δρ. Μαρίας Παπαχρήστου, ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ.

Η εργασία αφορά στη συλλογή δεδομένων από την κατασκευή τεσσάρων νέων γεωθερμικών γεωτρήσεων στην περιοχή του Λιθότοπου Σερρών και, κυρίως, στην παρακολούθηση των δοκιμαστικών αντλήσεών τους και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους με σκοπό την εκτίμηση των θερμοδυναμικών παραμέτρων του γεωθερμικού ταμιευτήρα. Η ανόρυξη των γεωτρήσεων και οι δοκιμές παραγωγής πραγματοποιήθηκαν από την Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ-πρώην ΙΓΜΕ) στα πλαίσια του έργου «Έρευνα του πιθανού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας Λιθότοπου-Ηράκλειας Ν. Σερρών» του Δήμου Ηράκλειας.

Στα εισαγωγικά Κεφάλαια 1 και 2 της παρούσας πτυχιακής γίνεται σύντομη αναφορά στις βασικές έννοιες της γεωθερμίας και των χαρακτηριστικών των γεωθερμικών γεωτρήσεων.

Στα Κεφάλαια 3 και 4 παρουσιάζονται συνοπτικά τα στοιχεία που προέκυψαν από τη βιβλιογραφική έρευνα για τη γεωλογία, τεκτονική, στρωματογραφία κλπ που αφορούν στην περιοχή έρευνας.

Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα λιθολοστρωματογραφικά και τεχνικά στοιχεία των γεωτρήσεων, στο Κεφάλαιο 6 τα αποτελέσματα των θερμομετρήσεων και στο Κεφάλαιο 7 περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία των δοκιμαστικών αντλήσεων. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στα κεφάλαια αυτά παραχωρήθηκαν από την ΕΑΓΜΕ (Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων)

Στο 8^{ο} Κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων των δοκιμαστικών αντλήσεων, με βάση τις μεθόδους Jacob-Cooper και Theis και ο κατ' εκτίμηση υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων των γεωθερμικών ταμιευτήρων που διατρήθηκαν κατά τη διάνοιξη των γεωτρήσεων (υδραυλική αγωγιμότητα, συντελεστής εναποθήκευσης, μεταβιβαστικότητα).

Στο τελευταίο Κεφάλαιο (9) παρουσιάζονται εν συντομία τα συμπεράσματα που μπορούσαν να εξαχθούν από τις παραπάνω εργασίες σχετικά με τη γεωθερμική/γεωτρητική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας του Ν. Σερρών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της πτυχιακής εργασίας, κ. Μαρία Παπαχρήστου, Δρ. Γεωθερμίας και ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας, για την ανάθεση της εργασίας, την πολύτιμη βοήθεια και την υποστήριξή της, καθώς και τις υποδείξεις/κατευθύνσεις που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου.

Στη συνέχεια θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην ΕΑΓΜΕ, και ιδιαίτερα στη Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων, για την παραχώρηση των δεδομένων που ήταν απαραίτητα για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, καθώς και στους υπεύθυνους του έργου που μου επέτρεψαν να παρακολουθήσω μέρος των εργασιών υπαίθρου.

Είμαι επίσης ευγνώμων στον κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου στο πρώτο στάδιο εκπόνησης της εργασίας μου.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες την οικογένεια μου, η οποία στάθηκε αρωγός σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου παρέχοντας την αμέριστη τους στήριξη και συμπαράσταση.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την εργασία σε όλα τα αγαπημένα μου πρόσωπα και κυρίως στον πατέρα μου, Χρήστο Αγγελίδη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο όρος «Γεωθερμία» αναφέρεται στην επιστήμη που ασχολείται με την έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση της θερμότητας της γης, δηλαδή της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία αποτελεί μια ήπια μορφή ενέργειας, ανανεώνεται από την ίδια τη γη και εμπεριέχεται σε πετρώματα, ατμούς και νερά τόσο στην επιφάνεια όσο και στο εσωτερικό της.

Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα, αλλά σε εμπορικό και βιομηχανικό επίπεδο, από τις αρχές του περασμένου αιώνα. Για να επιβεβαιωθεί το γεωθερμικό ενδιαφέρον μιας περιοχής απαιτείται λεπτομερής και συστηματική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει μια σειρά μελετών, όπως για παράδειγμα ειδική χαρτογράφηση, γεωλογική, υδρολογική, γεωφυσική, γεωχημική μελέτη κλπ. Τελικός σκοπός της γεωθερμικής έρευνας είναι ο καθορισμός των περιοχών αυξημένου ενδιαφέροντος και των θέσεων που θα γίνει ανόρυξη παραγωγικών γεωτρήσεων, μέσω των οποίων η φυσική θερμότητα της γης γίνεται προσβάσιμη στον άνθρωπο.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας θεωρείται συμφέρουσα όταν οι γεωλογικές, τεχνολογικές, τοπικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Η παραγωγή ενέργειας από γεωθερμία θεωρείται περισσότερο ελκυστική όταν οι ταμιευτήρες βρίσκονται σε σχετικά μικρά βάθη. Με βάση τη σημερινή τεχνολογία, τα βάθη των γεωθερμικών γεωτρήσεων συνήθως δεν ξεπερνούν τα 3000m, ενώ υπό προϋποθέσεις και σε σχετικά λίγες περιπτώσεις έφτασαν τα 5000m.

Τα γεωθερμικά ρευστά, και κατ' αντιστοιχία, τα γεωθερμικά πεδία ή συστήματα, ταξινομούνται σε τρεις (3) βασικές κατηγορίες, με βάση την ενθαλπία και τη θερμοκρασία τους:

- **Υψηλής ενθαλπίας** (>150°C)
- **Μέσης ενθαλπίας** (90-150 ^{o}C)
- **Χαμηλής ενθαλπίας** (25-90 ^{o}C)

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος (ηλεκτρικές χρήσεις) όταν οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών είναι μεγαλύτερες των 85-100°C, ή άμεσα, ως θερμότητα, σε πλήθος εφαρμογών που απαιτούν θερμική ενέργεια, στην περίπτωση που η θερμοκρασία κυμαίνεται από 25-30 έως 90°C. Στην κατηγορία των άμεσων χρήσεων περιλαμβάνεται η θέρμανση χώρων (κτιρίων, θερμοκηπίων κλπ), η αφαλάτωση, η ξήρανση προϊόντων, οι ιχθυοκαλλιέργειες κλπ. Ξεχωριστή κατηγορία αποτελεί η αβαθής γεωθερμία, η οποία αφορά στη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη σε μικρά βάθη, με μέγιστη θερμοκρασία τους 25-30°C. Η αξιοποίηση της γίνεται με τη βοήθεια ειδικού εξοπλισμού, των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, μέσω των οποίων παρέχεται όχι μόνο θέρμανση αλλά και δροσισμός εσωτερικών χώρων. Αξίζει να σημειωθεί, ότι πάρα πολλές χώρες αξιοποιούν εδώ και δεκαετίες την χαμηλής θερμοκρασίας

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

γεωθερμική ενέργεια για τον κλιματισμό κτιρίων, πισίνων για από-παγοποίηση κλπ. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται μία αξιόπιστη, αποδοτική και ταυτόχρονά περιβαλλοντικά ωφέλιμη και οικονομικά συμφέρουσα λύση για την κάλυψη των θερμικών αναγκών διαφόρων εσωτερικών χώρων.

1.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας την καθιστά ιδιαίτερα ευνοημένη από γεωθερμική άποψη. Η σχετική έρευνα έχει αποκαλύψει την ύπαρξη περισσότερων από τριανταπέντε (35) περιοχών με βεβαιωμένους γεωθερμικούς πόρους στον ελληνικό χώρο (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*). Γεωθερμικά πεδία υπάρχουν σε αρκετά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Χίος, Ικαρία, Λέσβος, Σαμοθράκη κλπ.) αλλά και στην ηπειρωτική χώρα, κυρίως στη Βόρεια και κεντρική Ελλάδα (**Εικόνα 1**). Τα δύο βεβαιωμένα πεδία υψηλής θερμοκρασίας της Ελλάδας βρίσκονται στα νησιά Μήλος και Νίσυρος, με θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 300 ^{o}C, και κατατάσσονται με βάση την κείμενη νομοθεσία (*Ν. 4602/2019*) στα πεδία εθνικού ενδιαφέροντος. Στη βόρεια Ελλάδα (κεντρική και ανατολική Μακεδονία και Θράκη) έχουν εντοπιστεί πολλά γεωθερμικά πεδία με θερμοκρασία ρευστών μικρότερη των 90°C (τοπικού ενδιαφέροντος), ενώ υπάρχουν σαφείς ενδείξεις και για την ύπαρξη ταμιευτήρων με ενδιάμεσες θερμοκρασίες (100-150°C), οι οποίοι όμως δεν έχουν ερευνηθεί ακόμη συστηματικά.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε ουσιαστικά τη δεκαετία του 1980 με την κατασκευή και λειτουργεία της πρώτης πιλοτικής γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας στη Μήλο. Η μονάδα αυτή λειτούργησε για πολύ μικρό διάστημα και έκλεισε οριστικά μετά από λίγα χρόνια, για λόγους που δεν σχετίζονται με τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια. Έκτοτε, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται μόνο σε άμεσες εφαρμογές, κυρίως για λουτροθεραπεία και αγροτικές εφαρμογές (θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφους, ξήρανση αγροτικών προϊόντων κ.α.). Από τα μέχρι σήμερα δεδομένα (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*), αποδεικνύεται ότι η Ελλάδα αξιοποιεί μόνο ένα μικρό τμήμα του γεωθερμικού δυναμικού της, ενώ η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή προς το παρόν εξακολουθεί να είναι ανύπαρκτη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Εικόνα 1: *Γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας (Φυτίκας, 2004)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις αποτελούν τον τελικό στόχο της γεωθερμικής έρευνας και συμβάλουν καθοριστικά στη μελέτη των υδραυλικών και θερμικών χαρακτηριστικών ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα, με σκοπό τη βέλτιστη και ορθολογική αξιοποίηση των θερμών ρευστών και την εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού μιας περιοχής.

Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις διαφέρουν σημαντικά από τις κοινές υδρογεωτρήσεις, λόγω της διάτρησης γεωλογικών σχηματισμών που περιέχουν ρευστά αυξημένης θερμοκρασίας και υψηλής περιεκτικότητας σε διαβρωτικά άλατα και αέρια. Οι διαφορές είναι μικρότερες όταν οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές και η ποιότητα των ρευστών είναι καλή.

Ο σχεδιασμός των γεωθερμικών γεωτρήσεων γίνεται από εξειδικευμένους επιστήμονες-μελετητές, οι οποίοι διαθέτουν εμπειρία στη χρήση κατάλληλων τεχνικών και υλικών και εφαρμογή νέων τεχνολογιών καθώς και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των γεωθερμικών ρευστών. Η προηγηθείσα γεωθερμική έρευνα έχει δώσει συνήθως μια καλή πρώτη εικόνα για τους σχηματισμούς, τις πιέσεις και τις θερμοκρασίες που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάτρηση. Με βάση τα στοιχεία αυτά, καταρτίζεται αναλυτικό πρόγραμμα των εργασιών που πρόκειται να εκτελεστούν κατά τη διάρκεια της γεωτρητικής έρευνας, γίνεται σαφής επιμερισμός καθηκόντων, επιλέγονται τα κατάλληλα υλικά και ο ειδικός εξοπλισμός που απαιτείται για κάθε περίπτωση, ενώ ταυτόχρονα γίνεται σχεδιασμός για την αποφυγή ή την διαχείριση αστοχιών και τεχνικών προβλημάτων.

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται η κάθε γεώτρηση και τους επιθυμητούς στόχους, οι γεωθερμικές γεωτρήσεις διακρίνονται σε πέντε (5) βασικές κατηγορίες (*Βρέλλης κ.α, 2009*):

1) Ερευνητικές δειγματοληπτικές (ή μικρής διαμέτρου) γεωτρήσεις
2) Πιεζομετρικές γεωτρήσεις
3) Ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου
4) Παραγωγικές γεωτρήσεις
5) Γεωτρήσεις επανεισαγωγής

Ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου (ή δειγματοληπτικές ή γεωτρήσεις θερμοβαθμίδας): πραγματοποιούνται στα αρχικά στάδια της γεωθερμικής έρευνας. Συνήθως, η τελική διάμετρός τους κυμαίνεται στις 3’’ με 4’’ ενώ η σωλήνωση τους από 1,5’’ έως 2’’. Οι συγκεκριμένες γεωτρήσεις έχουν ως στόχο τη μελέτη της στρωματογραφίας της περιοχής έρευνας, τη δειγματοληψία των διατρηθέντων σχηματισμών και των γεωθερμικών ρευστών, τη διενέργεια θερμομετρήσεων και τον

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

έλεγχο της συμπεριφοράς του γεωτρητικού εξοπλισμού. Το τελευταίο αποτελεί χρήσιμο στοιχείο πριν τη διάνοιξη γεωτρήσεων μεγαλύτερης διαμέτρου.

Πιεζομετρικές γεωτρήσεις: έχουν παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά με τις γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου. Η τελική τους διάμετρος είναι 2-4'' και η σωλήνωση τους δεν ξεπερνά τις 2'', με την προσθήκη όμως φίλτρων στο βάθος του ταμιευτήρα και την απομόνωση των ψυχρότερων και χωρίς γεωθερμικό ενδιαφέρον υδροφόρων. Οι πιεζομετρικές γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της στάθμης και της πίεσης του γεωθερμικού ταμιευτήρα και για το λόγο αυτό κατασκευάζονται διάσπαρτες μέσα στον υπό έρευνα χώρο. Με βάση τα δεδομένα των μετρήσεων στις πιεζομετρικές γεωτρήσεις, εξάγονται χρήσιμες πληροφορίες για την υδραυλική κλίση, την τροφοδοσία και το δυναμικό παραγωγής του ταμιευτήρα. Οι γεωτρήσεις αυτές, χρησιμοποιούνται και κατά τη διάρκεια εκμετάλλευσης του γεωθερμικού πεδίου καθώς απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της θερμοκρασίας και των υδροδυναμικών παραμέτρων του ταμιευτήρα.

Ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου: πρόκειται για γεωτρήσεις που κατασκευάζονται στο τελικό στάδιο της γεωθερμικής έρευνας σε μία περιοχή. Εξ' αιτίας της μεγάλης διαμέτρου τους επιτρέπουν τη χρήση αντλιών και την πραγματοποίηση δοκιμαστικών αντλήσεων (**Εικόνα 2**) . Συνήθως, η θέση ανόρυξης των συγκεκριμένων γεωτρήσεων είναι κοντά στις ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου, σε απόσταση περίπου 20-50m από αυτές. Πολλές φορές, οι γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου λειτουργούν ως πιεζόμετρα για την παρακολούθηση της στάθμης του ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων. Μέσω των δοκιμαστικών αντλήσεων, της διενέργειας διαγραφιών, της δειγματοληψίας και των περιοδικών ογκομετρήσεων, γίνεται εκτίμηση των υδροδυναμικών και θερμοκρασιακών παραμέτρων, των χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα, υπολογίζεται η κρίσιμη και εκμεταλλεύσιμη παροχή και τελικά καταρτίζεται το γεωθερμικό μοντέλο του υπό έρευνα γεωθερμικού συστήματος.

Παραγωγικές γεωτρήσεις: είναι γεωτρήσεις με τεχνικά χαρακτηριστικά παρόμοια με τις ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου. Αρκετές φορές οι ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου μετατρέπονται σε παραγωγικές. Στην αντίθετη περίπτωση, για την επιλογή της κατάλληλης θέσης λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα και των γεωθερμικών ρευστών καθώς και οι απαιτήσεις που υπάρχουν για παραγωγή. Αν κριθεί απαραίτητο, στις παραγωγικές γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται καλύτερης ποιότητας σωλήνες ή ειδικές. σωληνώσεις και γίνονται πολλές διαφοροποιήσεις όσον αφορά το βάθος τους, με βάση τα στοιχεία που έχουν συγκεντρωθεί από τις δοκιμαστικές αντλήσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του κόστους κατασκευής, όμως θεωρούνται κρίσιμες για την εξασφάλιση της άρτιας και μακροχρόνιας λειτουργίας της παραγωγικής γεώτρηση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Γεωτρήσεις επανεισαγωγής: ο συγκεκριμένος τύπος γεωθερμικών γεωτρήσεων δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τις παραγωγικές γεωτρήσεις. Κύριος στόχος τους είναι η επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα μετά την χρήση τους. Αυτό συμβάλει στην διατήρηση της πίεσης στον ταμιευτήρα και εξασφαλίζει την επανατροφοδοσία του, με σκοπό τη βέλτιστη και πλέον ορθολογική εκμετάλλευση. Τα ρευστά θα πρέπει να επιστρέφονται στον ταμιευτήρα σε κατάλληλη απόσταση (τουλάχιστον 1 km) από το σημείο άντλησης, προκειμένου να μην επηρεάζεται η θερμοκρασία παραγωγής.

***Εικόνα 2**: **Αριστερά**: θερμομέτρηση σε ερευνητική γεώτρηση μικρής διαμέτρου (γ/θ πεδίο Λιθότοπου Ηράκλειας)-**Δεξιά**: εργασίες δοκιμαστικής άντλησης σε ερευνητική γεώτρηση μεγάλης διαμέτρου (Li-2NP).*

2.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ - ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Η πρώτη σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των υδρογεωτρήσεων και των γεωθερμικών γεωτρήσεων που γίνονται σε υδροθερμικά συστήματα είναι ο λόγος για τον οποίον κατασκευάζονται. Οι υδρογεωτρήσεις στοχεύουν στην αναζήτηση κατάλληλων υδροφορέων με, κατά κανόνα, καλής ποιότητας νερό για πόση ή/και άλλες χρήσεις. Αντίθετα, στις γεωθερμικές γεωτρήσεις το ενδιαφέρον εστιάζεται στο ενεργειακό περιεχόμενο του ρευστού, δεδομένου ότι το ρευστό λειτουργεί μόνο ως μέσον μεταφοράς της θερμότητας και το ίδιο επανεισάγεται στο σύνολό του στον ταμιευτήρα.

Πέραν αυτού, οι βασικές διαφορές αφορούν κυρίως στον ειδικό εξοπλισμό που απαιτείται πολύ συχνά κατά την κατασκευή γεωθερμικών γεωτρήσεων. Σε αυτό, σημαντικό ρόλο παίζει το βάθος διάτρησης, η θερμοκρασία και ο χημισμός των ρευστών καθώς και το είδος των πετρωμάτων που πρόκειται να διατρηθούν.

Για γεωθερμικές γεωτρήσεις που δεν ξεπερνούν τα 500m, τα γεωτρύπανα που χρησιμοποιούνται είναι κατά βάση τα ίδια με αυτά των κοινών υδρογεωτρήσεων (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*). Αν οι θερμοκρασίες είναι αυξημένες, τότε γίνονται κατάλληλες προσαρμογές. Όταν το βάθος διάτρησης κυμαίνεται από 500 έως 1000m, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν υδρογεωτρύπανα βαρέως τύπου, και πάλι όμως με

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

πρόσθετα συστήματα και κατάλληλες προδιαγραφές για την αντιμετώπιση των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*). Αν οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη ή όταν η γεωθερμική έρευνα απαιτεί διερεύνηση περιοχών με πολύ μεγάλο πάχος του γεωλογικού καλύμματος (π.χ. σε βαθιές λεκάνες), χρησιμοποιούνται ειδικά γεωτρύπανα που μοιάζουν με αυτά του πετρελαίου, ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες που αναμένεται να συναντηθούν και με ειδικά συστήματα ψύξης του πολφού κυκλοφορίας.

Όταν οι θερμοκρασίες είναι αρκετά αυξημένες, και ιδιαίτερα όταν προσεγγίζουν ή ξεπερνούν τους 100°C, πέραν του ειδικού γεωτρητικού εξοπλισμού (γεωτρύπανα, στελέχη, σωληνώσεις, αντλίες, ανιχνευτές αερίων κλπ.), πρέπει να επιλέγονται υλικά (π.χ. τσιμέντα και πολφός διάτρησης), με κατάλληλες φυσικοχημικές ιδιότητες, τα οποία πρέπει να είναι ανθεκτικά στις πολύ δύσκολες και αντίξοες συνθήκες διάτρησης και παραγωγής ρευστών, ώστε να μην συμβούν ανεπανόρθωτες τεχνικές αστοχίες και καταστροφή της γεώτρησης. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση που το γεωθερμικό ρευστό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε διαβρωτικά αέρια ή άλατα, κάτι που συμβαίνει αρκετά συχνά, κυρίως όσο αυξάνονται οι θερμοκρασίες.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι στις γεωτρήσεις που γίνονται σε περιοχές με ρευστά υψηλών θερμοκρασιών, και κυρίως όταν υπάρχουν συστήματα ατμού ή διφασικές ροές, εξαιτίας των αυξημένων πιέσεων αυξάνεται σημαντικά ο κίνδυνος σοβαρού ατυχήματος ή τραυματισμών, καθώς υπάρχει η πιθανότητα να συναντηθούν «θύλακες» αερίων που μπορεί να προκαλέσουν ανάφλεξη και έκρηξη. Οπότε, είναι αναγκαία η τοποθέτηση ειδικού αντιεκρηκτικού μηχανισμού (Blow-Out-Preventer-BOP) στην κεφαλή της γεώτρησης, ο οποίος επιτρέπει την εκτροπή και εκτόνωση των εξερχόμενων αερίων (**Εικόνα 3**).

***Εικόνα 3**: Σύστημα Αντιεκρηκτικού μηχανισμού ασφαλείας (B.O.P)*

Απλουστευμένα BOP συστήματα χρησιμοποιούνται και σε γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας όταν υπάρχει αρτεσιανισμός ή θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 60-70°C

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

καθώς και όταν αναμένεται στην αέρια φάση να υπάρχουν υδρογονάνθρακες (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*).

Όσον αφορά στην ανόρυξη των γεωτρήσεων, σημαντικό ρόλο παίζει το είδος των πετρωμάτων. Στην περίπτωση των υδρογεωτρήσεων τα βάθη είναι συνήθως μικρά (αρκετά μικρότερα των 500m) και οι γεωλογικοί σχηματισμοί συχνά αδιατάρακτοι και σχετικά μαλακοί (π.χ. ιζήματα). Αντίθετα, οι γεωθερμικές γεωτρήσεις μπορεί να φτάσουν σε βάθη μεγαλύτερα των 1000m και αρκετές φορές να χρειαστεί να διατρήσουν «σκληρά» μεταμορφωμένα, ηφαιστειακά ή πυριγενή πετρώματα, σε ζώνες έντονα τεκτονισμένες, οπότε η διάτρηση είναι σαφώς δυσκολότερη και απαιτεί την εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών για την αποφυγή ή κατάλληλη διαχείριση τεχνικών προβλημάτων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΛΕΚΑΝΗ ΣΕΡΡΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις που μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας κατασκευάστηκαν στο γεωθερμικό πεδίο του Λιθότοπου Σερρών, το οποίο διοικητικά ανήκει στον Δήμο Ηράκλειας και βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης Σερρών (**Εικόνα 4**). Η λεκάνη των Σερρών αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης Στρυμόνα, η οποία έχει συνολική έκταση 17.150 Km^2, με το μεγαλύτερο τμήμα της (10.364 Km^2) να βρίσκεται εκτός ελληνικών συνόρων. Στον Ελληνικό χώρο, η λεκάνη του Στρυμόνα (ή λεκάνη Σερρών) καταλαμβάνει 6.759 Km^2 δηλαδή ποσοστό 39,45% επί της συνολικής έκτασης (*Περλέρος κ.α., 2013)*

Εικόνα 4*: Γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου Ηράκλειας*

Η λεκάνη των Σερρών θεωρείται από τις καλύτερα και πληρέστερα ερευνημένες περιοχές στον Ελληνικό χώρο από γεωθερμική άποψη. Η διεξαχθείσα, κυρίως από το ΙΓΜΕ, γεωθερμική έρευνα και η διάνοιξη πλήθους ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων έδειξε την ύπαρξη αξιόλογων γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία της λεκάνης: Θερμά Νιγρίτας, Αχινός-Ίβηρα, Ηράκλεια-Λιθότοπος, Σιδηρόκαστρο και Άγκιστρο. Η αξιοποίηση της γεωθερμίας στις περιοχές αυτές δεν αντιστοιχεί στο πλούσιο δυναμικό τους αλλά περιορίζεται στη λουτροθεραπεία και στη θέρμανση μικρών θερμοκηπίων, ενώ στα Θερμά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Νιγρίτας η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και για την καλλιέργεια σπιρουλίνας.

Τα τελευταία χρόνια, ο Δήμος Ηράκλειας, έχοντας τα δικαιώματα έρευνας του γεωθερμικού πεδίου Λιθότοπου, ξεκίνησε μια προσπάθεια αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού της περιοχής. Για τον λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν τέσσερις νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις, για τις οποίες γίνεται λεπτομερής αναφορά σε επόμενα κεφάλαια.

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η λεκάνη του Στρυμόνα αποτελεί ένα ενεργό μετα-ορογενετικό τεκτονικό βύθισμα, το οποίο έχει σχηματιστεί μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών της Σερβομακεδονική μάζας στα δυτικά και του ορεινού όγκου της Ροδόπης ανατολικά (**Εικόνα 5**). Το όριο μεταξύ των δύο ζωνών αποτελεί ο ποταμός Στρυμόνας, ενώ η τεκτονική επαφή τους δεν είναι ορατή επιφανειακά, εξαιτίας της κάλυψής της από νεότερα ιζήματα. Το τεκτονικό αυτό βύθισμα αποτελείται από δύο κύρια συστήματα πετρωμάτων (*Karydakis et al., 2005)*: Το σύστημα πετρωμάτων του υποβάθρου και το σύστημα μεταλπικών ιζηματογενών αποθέσεων (*Περλέρος κ.α, 2013*). Το υπόβαθρο αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας μέσα στα οποία έχουν διεισδύσει πλουτωνίτες Καινοζωικής ηλικίας.

Πιο συγκεκριμένα, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης υπάρχει η κρυσταλλική μάζα της Ροδόπης (ενότητα Παγγαίου), η οποία αποτελείται από μάρμαρα, γνεύσιους και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (*Μουντράκης, 2010*). Στα δυτικά η Σερβομακεδονική μάζα χωρίζεται σε δύο κρυσταλλικές σειρές:

- την κατώτερη ενότητα Κερδυλλίων στο βορειότεροδυτικό τμήμα της λεκάνης που συγκροτείται από γνεύσιους, αμφιβολίτες, αμφιβολιτιωμένους εκλογίτες και μάρμαρα.
- την ανώτερη ενότητα Βερτίσκου. Συνίσταται από μία ακολουθία γνευσίων, σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ορίζοντές της συμμετέχουν μεταγάββροι -μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων και βρίσκονται ως ενδιαστρώσεις και φακοειδή σώματα μέσα στους γνεύσιους (*Μουντράκης, 2010.)*. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα και σερπεντινικά σώματα.

Οι μεταλπικές αποθέσεις παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας των γεωμορφολογικών διεργασιών που έλαβαν χώρα κατά την περίοδο του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Η πλήρωση του τεκτονικού βυθίσματος με τις ιζηματογενείς αυτές αποθέσεις ακολουθεί μία διαδικασία που ολοκληρώθηκε σε τρία στάδια. Στο Μέσο-Άνω Μειόκαινο, με την αρχική βύθιση, η λεκάνη άρχισε να πληρώνεται με χερσοποτάμια, λιμναία και δελταικά ιζήματα. Κατά την περίοδο του Ανώτερου Μειόκαινου-Πλειόκαινου έγινε επίκλυση της θάλασσας, με αποτέλεσμα την απόθεση θαλάσσιων, υφάλμυρων και λιμναίων ιζημάτων. Τέλος, κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειόκαινου- Τεταρτογενούς, ακολουθεί βύθιση και η λεκάνη συνεχίζει να

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

πληρώνεται με χερσοποτάμια, λιμνοδελταικά και χερσοχειμάρρια ιζήματα. (*Kilias et al. 1999*).

Η ομάδα των Νεογενών ιζημάτων εμφανίζεται στην περιμετρική λοφώδη περιοχή κυρίως ανατολικά της λεκάνης και εμφανίζεται στα υψηλότερα μορφολογικά σημεία με μειοκαινικά υλικά (αργιλοιλύες, μάργες, λιμναίοι ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή), ενώ στα χαμηλότερα σημεία με πλειοκαινικά υλικά (εναλλαγές λεπτόκοκκων-χονδρόκοκκων υλικών, κροκάλες, λατύπες, άμμος, ιλύς, άργιλος, μάργα). Στο κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης, τα νεογενή ιζήματα αποτελούν το υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων. Στα δυτικά της λεκάνης, οι εμφανίσεις των νεογενών αποθέσεων είναι αρκετά περιορισμένες στις λοφώδεις περιοχές των Κερδυλίων και του Βερτίσκου όρους.

Τα Τεταρτογενή ιζήματα αναπτύσσονται στο κεντρικό τμήμα (πεδινή ζώνη) της λεκάνης Σερρών. Περιφερειακά του κεντρικού τμήματος υπάρχουν χονδρόκοκκα υλικά όπως κροκάλες, χαλίκια και άμμοι, ενώ στο κέντρο της ζώνης αυτής βρίσκονται τα λεπτόκοκκα υλικά όπως άμμοι, ιλύες και άργιλος. Πρόκειται για φερτά υλικά τα οποία είναι προϊόντα αποσάθρωσης και διάβρωσης των πετρωμάτων του υπόβαθρου των ορεινών όγκων καθώς και διάβρωσης παλαιότερων ιζηματογενών αποθέσεων που βρίσκονται στα περιθώρια της λεκάνης. Η επιφανειακή εξάπλωση των τεταρτογενών ιζημάτων καλύπτει περίπου 600 Km^2. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των πάχος των σχηματισμών αυτών είναι περίπου 400m, ενώ μειώνεται στα περιθώρια της λεκάνης και δεν ξεπερνά τα 100-200m. (*Kilias et al. 1999*).

Στο ανατολικό όριο λεκάνης του Στρυμόνα, η Σερβομακεδονική Μάζα βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη πάνω στα πετρώματα της ενότητας Παγγαίου της Ροδόπης (*Kockel and Walther, 1965; Koukouzas 1972*). Η επαφή της Σερβομακεδονικής και της Μάζας Ροδόπης βρίσκεται κατά μήκος ενός μεγάλου κανονικού ρήγματος αποκόλλησης, μήκους 150 Km, που δημιουργήθηκε κατά την εφελκυστική φάση του Ολιγόκαινου-Μειόκαινου (*Socoutis et al., 1993; Dinter & Royden, 1993*). Το ρήγμα αυτό ονομάζεται «Γραμμή Στρυμόνα». Αποτέλεσμα της φάσης αυτής, που έλαβε χώρα αμέσως μετά την ολοκλήρωση των τελευταίων συμπιεστικών γεγονότων, ήταν η αποκάλυψη των πετρωμάτων της Μάζας Ροδόπης (*Kilias & Mountrakis, 1988*). Η εκτατική τεκτονική του Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, επηρέασε την Σερβομακεδονική Μάζα και προκάλεσε αποκάλυψη των πετρωμάτων της (*Kilias et al. 1999*).

Τα κύρια ρήγματα στη λεκάνη του Στρυμόνα ακολουθούν ΒΒΔ-ΝΝΑ, ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ και ΔΒΔ-ΑΝΑ έως Α-Δ διευθύνσεις. Εκτός από τον ΒΑ- ΝΔ εφελκυσμό μετά το Μέσο Μειόκαινο, άλλες εκτατικές τεκτονικές φάσεις που επηρέασαν όλη την περιοχή του Βορείου Αιγαίου είναι οι εξής (*Lyberis, 1984; Mercier et al, 1987, 1989; Pavlides and Mountrakis, 1987; Voidomatis et al., 1990*):

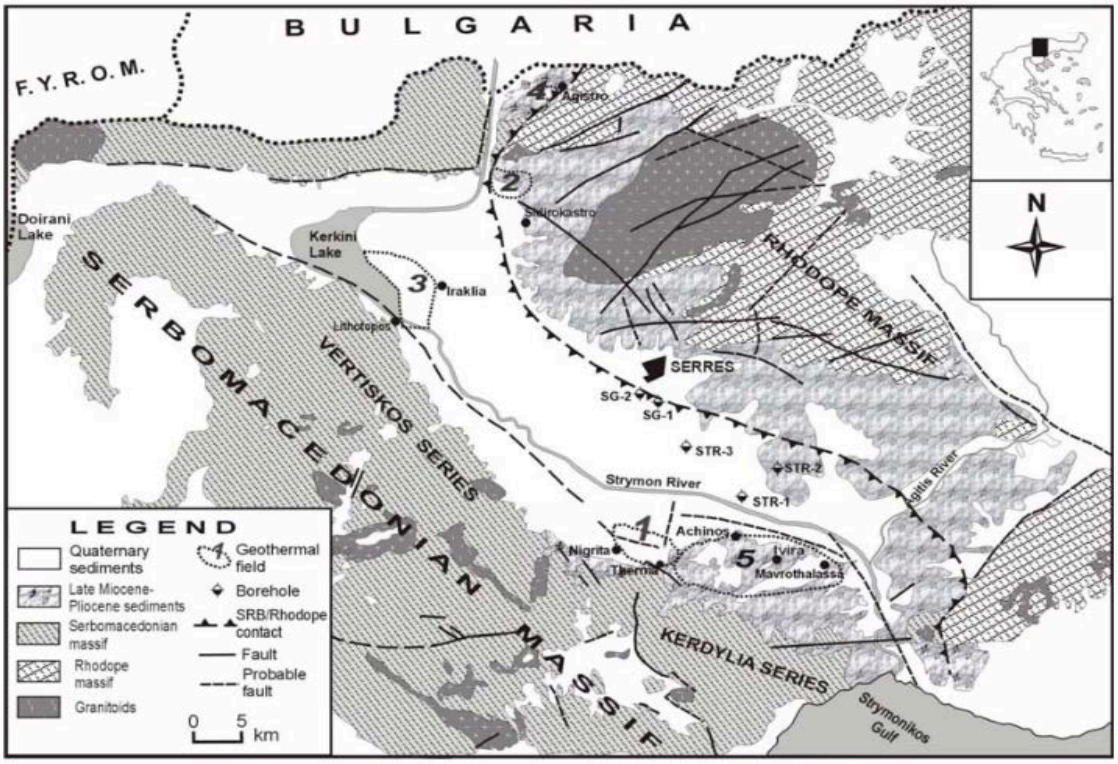
1. Ανώτερου Μειοκαίνου-Κατώτερου Πλειοκαίνου, ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης που δημιούργησε ΒΑ-ΝΔ ρήγματα.
2. Πλειοκαίνου-Κατώτερου Πλειστοκαίνου που δημιούργησε ΒΔ-ΝΑ ρήγματα και επαναδραστηριοποίησε παλιότερα ρήγματα.
3. Μέσου Πλειστοκαίνου-σήμερα, με διεύθυνση Β-Ν, που επαναδραστηριοποίησε τα παλιότερα ΒΔ-ΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ ρήγματα και

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

δημιούργησε νέα ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ πάνω στο προϋπάρχον ρηξιγενές περιβάλλον.

Τα μικρά ηφαιστειακά οικοδομήματα (πιθανότατα εξαλλοιωμένων ρυολίθων) που εμφανίζονται στα περιθώρια της λεκάνης (Σίτσι-Κάμεν, Στρυμονικό), συνδέονται με τις παραπάνω εφελκυστικές φάσεις.



Εικόνα 5*: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Σερρών με σήμανση των υπαρχόντων γεωθερμικών πεδίων: 1. Θερμών Νιγρίτας, 2. Σιδηροκάστρου, 3. Λιθότοπου, 4. Αγκίστρου, 5. Αχινού-Ιβήρων (Karydakis, et al., 2005)*

3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Σερρών είναι πολύπλοκο και καλά ανεπτυγμένο. Η μορφή του σχετίζεται τόσο με την τεκτονική της περιοχής όσο και με τη λιθολογία. Το υδρογραφικό δίκτυο της Λεκάνης (**Εικόνα 6***),* δεν παρουσιάζει σαφή δενδριτική μορφή και χαρακτηρίζεται ως υποδενδριτικό.

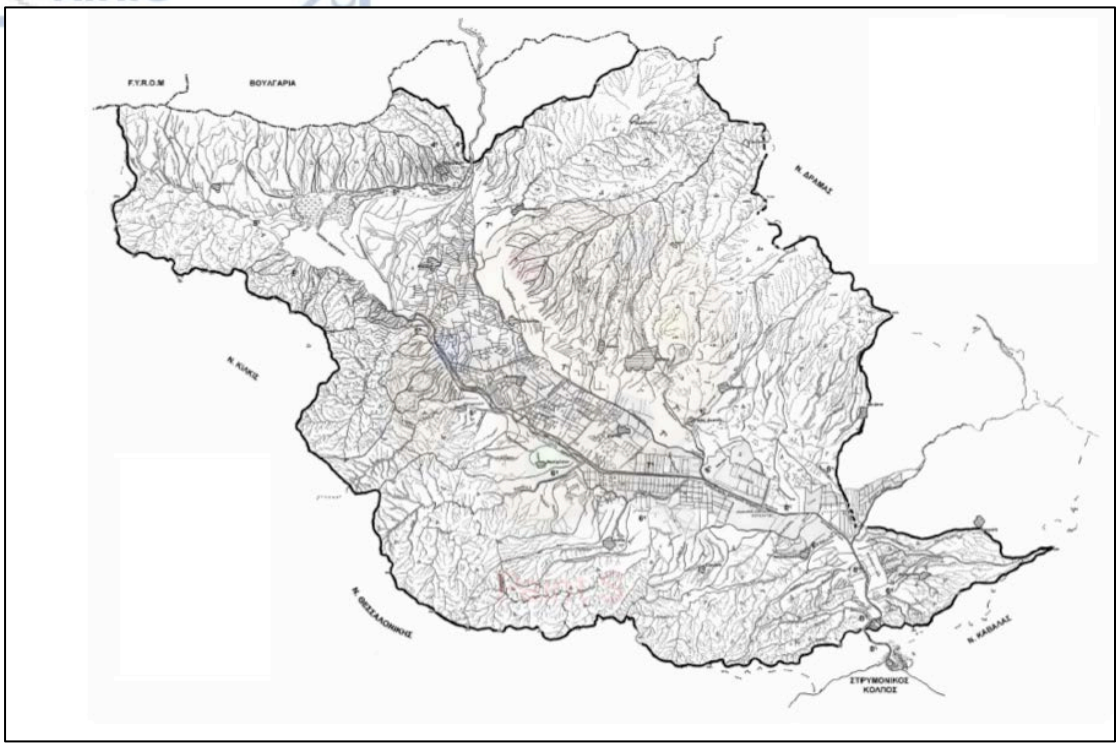
Στην Α-ΒΑ πλευρά της λεκάνης, η παρουσία μαρμάρων διαδραματίζει βασικό ρόλο για την ανάπτυξη καρστικών δομών, οι οποίες συμβάλλουν στη δημιουργία πολυάριθμων πηγών. Ο κατακερματισμός των πετρωμάτων λόγω τεκτονικής καταπόνησης, επεκτείνεται σε όλο το υπόβαθρο, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για τον σχηματισμό δευτερογενούς πορώδους και υπόγειων υδροφορέων. Οι ζώνες υδροφορίας του υποβάθρου είτε εκφορτίζονται επιφανειακά μέσω πηγών, είτε τροφοδοτούν τα πιο επιφανειακά υδροφόρα στρώματα μέσα στις ιζηματογενείς αποθέσεις της λεκάνης.

Η κύρια υδροφορία της περιοχής αναπτύσσεται μέσα στα τεταρτογενή ιζήματα, και πιο συγκεκριμένα στα χονδροκλαστικά υλικά των αλλουβιακών ριπιδίων στα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

περιθώρια της πεδινής ζώνης και κυρίως στο βόρειο τμήμα της λεκάνης. (*Παπαφιλίππου-Πέννου Ε., 2004)*



Εικόνα 6*: Απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης των Σερρών (Παπαφιλίππου-Πέννου, 1994).*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

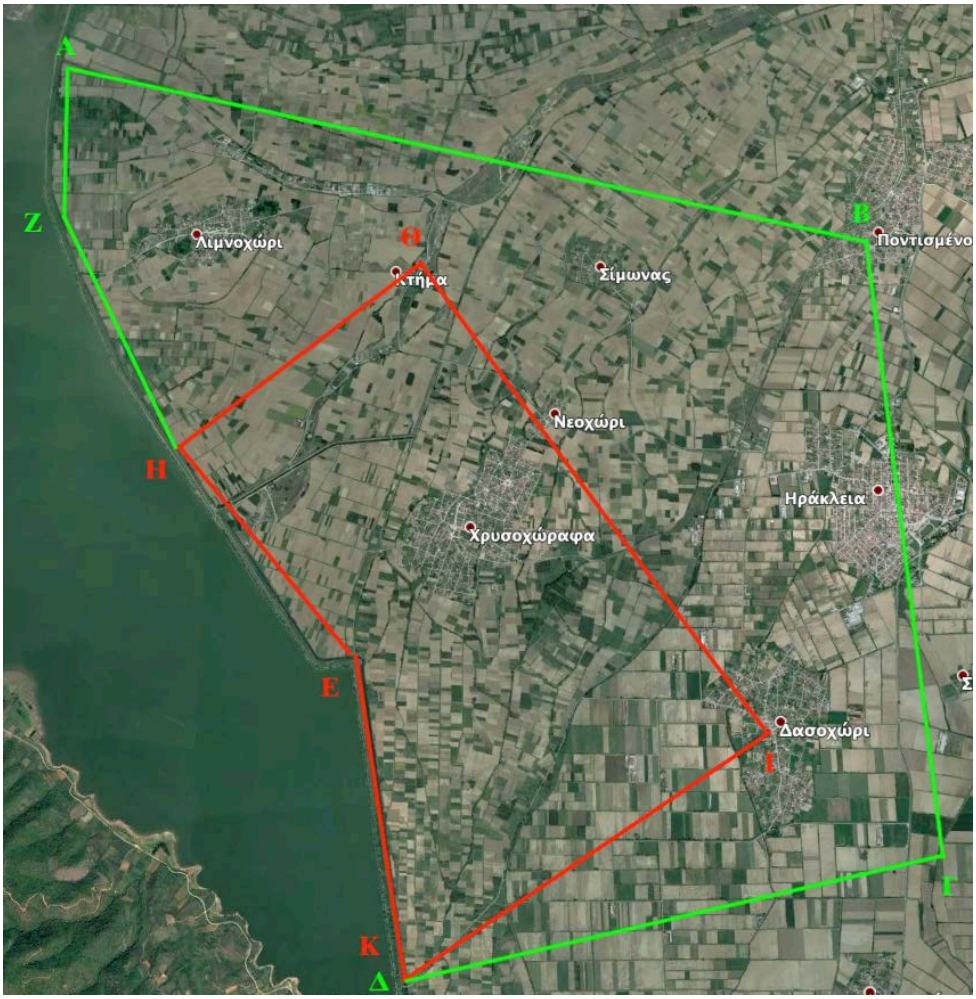
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι το γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας Σερρών, το οποίο βρίσκεται περίπου 25 Km βορειοδυτικά της πόλης των Σερρών, καταλαμβάνοντας έκταση 45 Km^2 στο νότιο τμήμα της λίμνης Κερκίνης (**Εικόνα 7**).

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία (Ν. 4602/2019), ανήκει στην κατηγορία των πεδίων «τοπικού ενδιαφέροντος», δεδομένου ότι η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών στην περιοχή δεν υπερβαίνει τους 90°C. Με βάση την «κλασική» ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων στη διεθνή βιβλιογραφία, χαρακτηρίζεται ως πεδίο χαμηλής ενθαλπίας ή θερμοκρασίας.



Εικόνα 7: *Όρια γεωθερμικού πεδίου Λιθότοπου Ηράκλειας (Δήμος Ηράκλειας, 2015). Με το πράσινο χρώμα οριοθετείται όλη η περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος, ενώ με την κόκκινη γραμμή το πλέον μελετημένο τμήμα του πεδίου («πιθανό» και «βεβαιωμένο» πεδίο, αντίστοιχα, σύμφωνα με την παλαιότερη γεωθερμική νομοθεσία)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

Γεωλογικά, η περιοχή ανήκει στη σειρά του Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής Μάζας. Στο υπόβαθρο συναντώνται αμφιβολίτες, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, χαλαζίτες και μιγματίτες, τα οποία εμφανίζονται έντονα τεκτονισμένα. Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) Στους Πλειο-Πλειστοκαινικούς ψαμμίτες και άργιλο με πάχος περίπου 200m και β) σε εναλλαγές άμμου, άργιλου και χαλίκων τα οποία είναι προϊόντα αποσάθρωσης των γνευσίων και παρουσιάζουν ίδιο πάχος (200m). Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων, Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας παρουσιάζουν ΒΔ-ΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ προσανατολισμό (*Karydakis et al., 2005*).

4.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ

4.2.1 Περίοδος 1982-1983

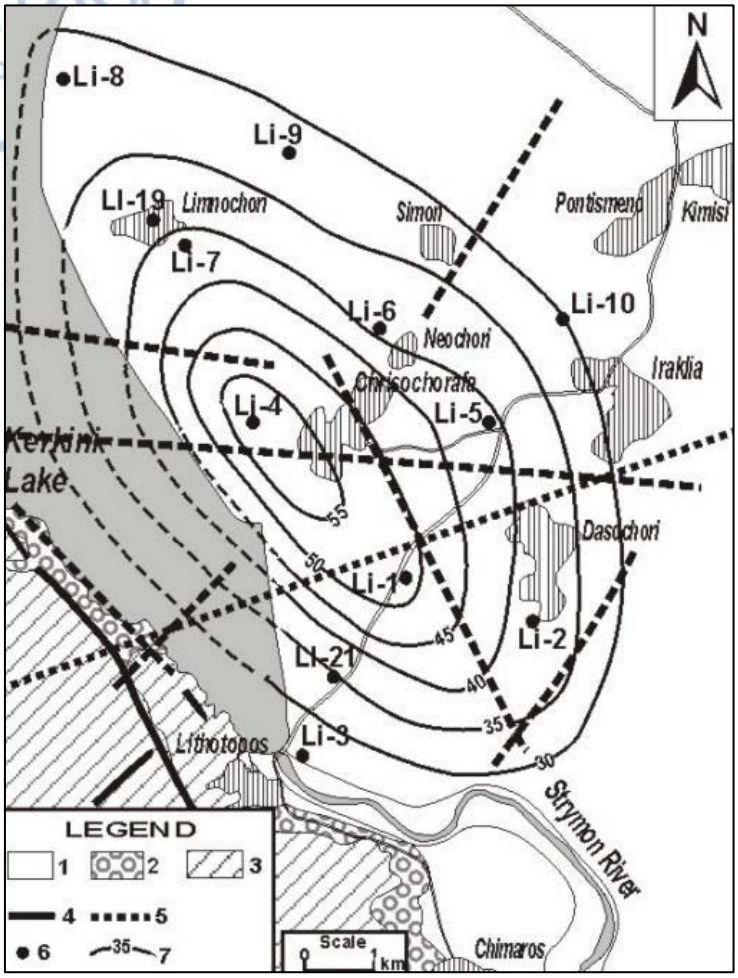
Κατά την περίοδο 1982-1983, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) στα πλαίσια εκτεταμένης και συστηματικής γεωθερμικής έρευνας στην περιοχή του Λιθότοπου, κατασκεύασε 10 ερευνητικές γεωτρήσεις (Li-1 ως Li-10) και μία παραγωγική (Li-1P), με βάση τις οποίες προσδιορίστηκαν η στρωματογραφία και η γεωθερμική βαθμίδα στην περιοχή και κάποια βασικά χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ανωμαλίας **(Εικόνα 8**). Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου έργου τα θερμοενεργειακά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα δεν εκτιμήθηκαν πλήρως. Οι περισσότερες γεωτρήσεις έφτασαν μέχρι το βάθος των 300-450m, μέσα στους ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή που βρίσκονται πάνω από το γεωλογικό υπόβαθρο.

Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν κυμαίνονται από 40-62°C (*Karydakis et al., 2005*). Το κρυσταλλικό και έντονα τεκτονισμένο υπόβαθρο που εντοπίστηκε αργότερα με τη βοήθεια των γεωφυσικών διασκοπήσεων (*Θανάσουλας & Λάζου, 1993*), ταυτίζεται με την περιοχή των υψηλότερων θερμοκρασιών. Το υπόβαθρο συναντήθηκε μόνο από τις γεωτρήσεις Li-1, Li-3 και Li-7 που έφτασαν στο βάθος των 400m. Η γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής κυμαίνεται από 23°C/Km (γεώτρηση Li-3) έως και 107 ^{o}C/Km (γεώτρηση Li-7) (*Karydakis et al., 2005*).

Η σημαντική γεωθερμική ανωμαλία αναπτύσσεται κατά έναν ΒΔ-ΝΑ άξονα ακολουθώντας τη διεύθυνση του μεγάλου κανονικού ΒΔ-ΝΑ ρήγματος που επηρεάζει το υπόβαθρο στην περιοχή της Κερκίνης. Το ρήγμα αυτό πιθανότατα επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το Τεταρτογενές και θα μπορούσε να λειτουργεί ως η κύρια οδός κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών (*Karydakis et al., 2005*), σε συνδυασμό με άλλα μικρότερα και παράλληλα σε αυτό κανονικά ρήγματα. Πέραν αυτών, η γεωφυσική έρευνα εντόπισε μια τεκτονική γραμμή με διεύθυνση Α-Δ, η οποία επίσης φαίνεται να συμβάλει στη δημιουργία της γεωθερμικής ανωμαλίας στην περιοχή Λιθότοπου-Ηράκλειας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλ
Α.Π.Θ



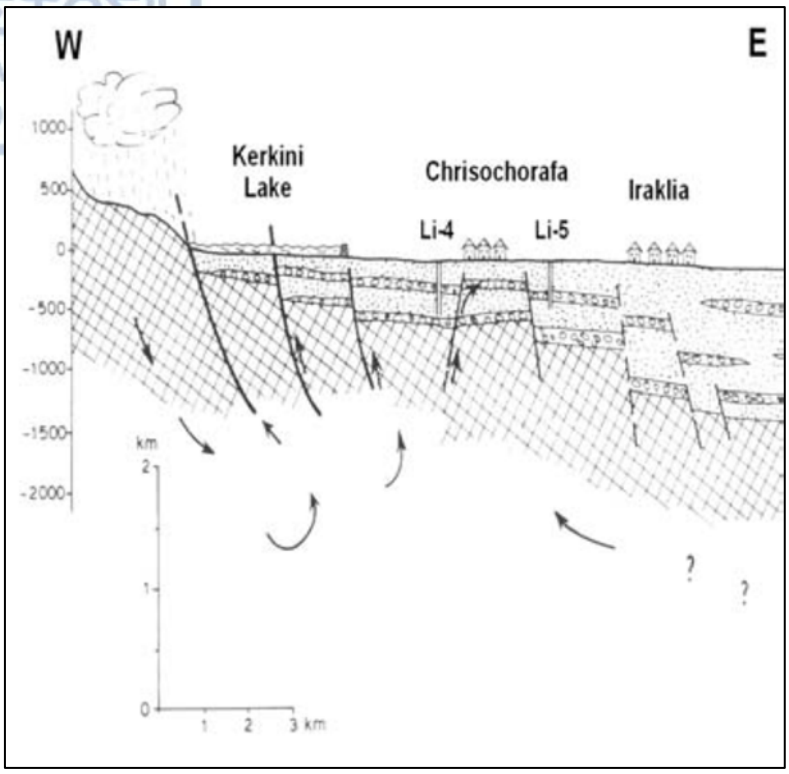
***Εικόνα 8**: Χάρτης ισόθερμων καμπύλων στο γεωθερμικό πεδίο Λιθοτόπου (Karydakis et al., 2005)*

Τα γεωθερμικά ρευστά στο συγκεκριμένο πεδίο, σύμφωνα με την ταξινόμηση *Davis & DeWiest* (1966), ανήκουν στην κατηγορία των Na-HCO_3 νερών με TDS 0.9-1.9 g/l (*Karydakis et al., 2005*). Είναι πλούσια σε Na^+ (300-500 mg/l) εξαιτίας της κυκλοφορίας των ρευστών στο κατακερματισμένο μεταμορφωμένο υπόβαθρο και την αλληλεπίδραση θερμών νερών και πετρωμάτων. Τόσο τα θερμά όσο και τα ψυχρά νερά της περιοχής είναι υπερκορεσμένα σε πυρίτιο, γεγονός που δείχνει ότι η συγκέντρωση του SiO_2 δεν οφείλεται σε αυξημένες θερμοκρασίες, αλλά στη διάλυση πυριτικών πετρωμάτων. Από την εφαρμογή των χημικών γεωθερμομέτρων SiO_2, Na/K, Na-K-Ca, K/M και Mg/Li, εκτιμήθηκε ότι η θερμοκρασία σε μεγαλύτερα βάθη είναι της τάξης των 80°C (*Karydakis et al., 2005*).

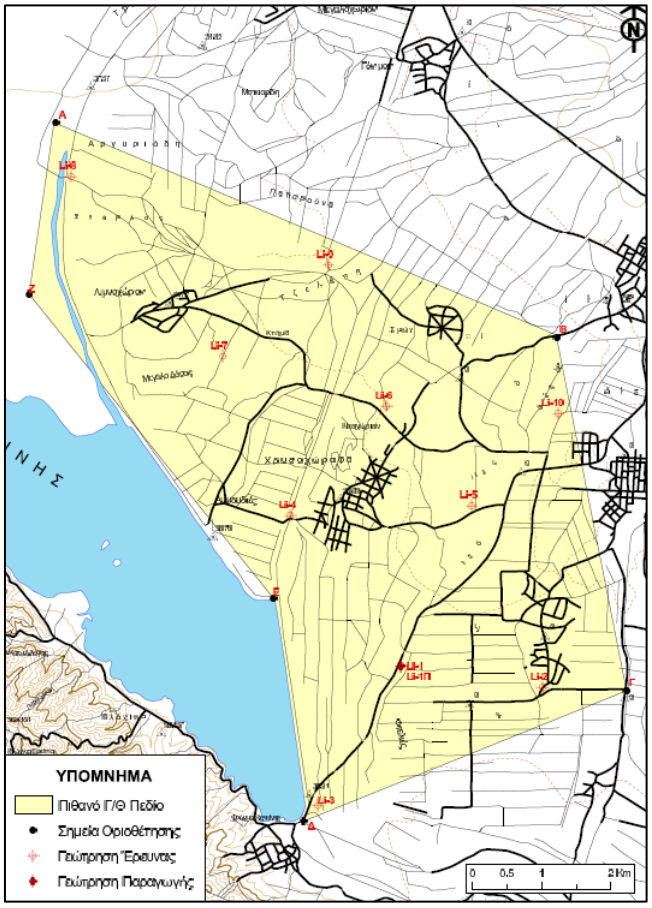
Με βάση τα αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας, καταρτίστηκε το γεωθερμικό μοντέλο της περιοχής (**Εικόνα 9**) και οριοθετήθηκε το «πιθανό» γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας (**Εικόνα 10**). Σημειώνεται ότι με τους όρους «πιθανό» ή «βεβαιωμένο» πεδίο γινόταν κατά το παρελθόν η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων, ανάλογα με το βαθμό γνώσης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τους. Με τη σημερινή ισχύουσα νομοθεσία, η ταξινόμηση αυτή δεν υφίσταται. Η περιοχή που καλύπτει το πιθανό πεδίο ταυτίζεται με τη συνολική περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλ
Α.Π.Θ



Εικόνα 9: *Υδροθερμικό μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Λιθότοπου-Ηράκλειας (Karydakis et al., 2005)*



Εικόνα 10*: Η περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος Λιθότοπου-Ηράκλειας*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

4.2.2 Πρόσφατη γεωθερμική έρευνα

Στις αρχές του 2010, ο Δήμος Ηράκλειας σε συνεργασία με την ΕΑΓΜΕ (τότε ΙΓΜΕ) προχώρησαν στη σύναψη προγραμματικής σύμβασης, η οποία υπογράφτηκε στις 13/07/2010 με τίτλο «Έρευνα του πιθανού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής θερμοκρασίας Λιθοτόπου- Ηράκλειας». Σκοπός της έρευνας αυτής ήταν η περαιτέρω έρευνα του πεδίου, ο λεπτομερής προσδιορισμός των φυσικοχημικών παραμέτρων των γεωθερμικών ρευστών και η εκτίμηση των υδροδυναμικών και θερμοκρασιακών παραμέτρων/ιδιοτήτων του ταμιευτήρα, με τελικό στόχο την οριοθέτηση του βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου Λιθοτόπου- Ηράκλειας και την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας.

Για τον λόγο αυτό το 2016, το ΙΓΜΕ προχώρησε στην ανόρυξη τεσσάρων νέων παραγωγικών γεωθερμικών γεωτρήσεων (Li-1NP, Li-2NP, Li-3NP, Li-4NP) (**Εικόνα 11**). Οι γεωτρήσεις αυτές, και ειδικότερα οι δοκιμαστικές αντλήσεις, αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας και εξετάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

***Εικόνα 11**: Νέες παραγωγικές γεωθερμικές γεωτρήσεις στο πεδίο Ηράκλειας (2016-2018)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Α.Π.Θ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΝΕΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΘΟΤΟΠΟΥ-ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ ΣΕΡΡΩΝ

Οι νέες γεωτρήσεις (Li-1NP, Li-2NP, Li-3NP, Li-4NP) που κατασκευάστηκαν στη γεωθερμική περιοχή Λιθότοπου-Ηράκλειας είχαν ως σκοπό την εκτίμηση των υδραυλικών και θερμικών παραμέτρων του γεωθερμικού ταμιευτήρα (π.χ. θερμοκρασία, παροχή, στάθμη, πίεση κλπ) καθώς και τη μελέτη της στρωματογραφίας και της λιθολογίας στις θέσεις των ανορύξεων.

5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-1NP

Η κατασκευή της παραγωγικής γεωθερμικής γεώτρησης Li-1NP (**Εικόνα 12**), άρχισε την 1^{η} Αυγούστου 2016 και ολοκληρώθηκε στις 27 Οκτωβρίου 2016. Η γεώτρηση ανορύχθηκε σε απόλυτο υψόμετρο 30,40m, στη θέση με συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) της γεώτρησης είναι Χ: 434320.20 και Υ: 4558592.50.

Η διάτρηση ξεκίνησε με τη χρήση κοπτικού 15″ ως το βάθος των 13m. Στη συνέχεια έγινε διεύρυνση διαμέτρου 21″ και τοποθετήθηκε περιφραγματική σωλήνωση 19″, η οποία τσιμεντώθηκε για την στήριξη των χαλαρών επιφανειακών σχηματισμών και την προστασία της γεώτρησης. Η διάτρηση συνεχίστηκε με κοπτικό $12^{1/4}$″ μέχρι το βάθος των 263m. Στο σημείο αυτό αφαιρέθηκε η διατρητική στήλη προκειμένου να τοποθετηθεί κοπτικό $17^{1/2}$″ και να πραγματοποιηθεί εκ νέου διεύρυνση μέχρι το βάθος των 260m, τοποθέτηση περιφραγματικής σωλήνωσης 14″ και τσιμέντωση. Οι εργασίες αυτές έγιναν για την απομόνωση των ρηχών και ψυχρότερων υδροφόρων. Η διάτρηση συνεχίστηκε μέχρι το τελικό βάθος (417,5m) με κοπτικό $12^{1/4}$″, όπου και τοποθετήθηκε ο κώνος διάτρησης.

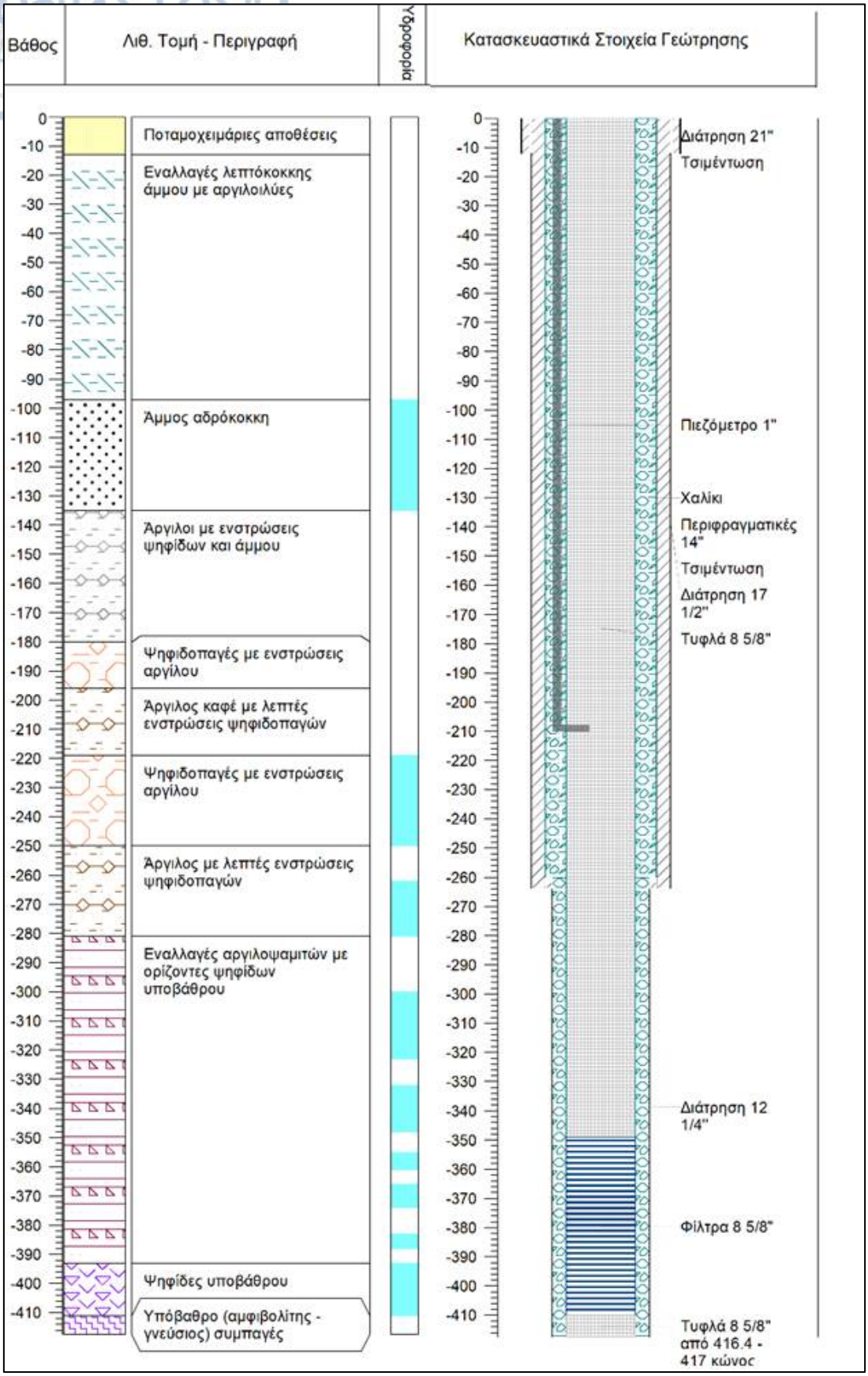
Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω εργασιών, έγινε τοποθέτηση σωλήνωσης διαμέτρου $8^{5/8}$ ″, ως εξής:

- «Τυφλοί» σωλήνες έως τα 351m
- Φιλτροσωλήνες από τα 351 έως τα 411m
- «Τυφλοί» σωλήνες από τα 411 έως τον πυθμένα της γεώτρησης (417,5m)

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 12**, κατά τη διάτρηση αρχικά συναντήθηκαν ποταμοχερσαία ιζήματα και στη συνέχεια διαδοχικά σχηματισμοί λεπτόκοκκης και αδρόκοκκης άμμου, αργιλικές εμφανίσεις με ενστρώσεις ψηφίδων και άμμου και αργιλοψαμμίτες με ψηφίδες υποβάθρου. Η οροφή του υποβάθρου συναντήθηκε στα 393m (αποσαθρωμένο πέτρωμα), ενώ το συμπαγές μεταμορφωμένο υπόβαθρο διατρήθηκε στα τελευταία 6,0m της γεώτρησης. Αναλυτικά, η λιθοστρωματογραφία της γεώτρησης Li-1NP περιγράφεται στον **Πίνακα 1**.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 12: *Λιθολογική τομή και τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης Li-1NP (πηγή: ΕΑΓΜΕ, 2016)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα

***Πίνακας 1**: Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συνάντησε η γεώτρηση Li-1NP*

Βάθος (m)	Σχηματισμός
0 - 13	ποταμοχειμάριες αποθέσεις
13 - 97	εναλλαγές λεπτόκοκκης άμμου με αργιλοϊλύες
97 - 135	αδρόκοκκη άμμος
136 - 180	άργιλοι με ενστρώσεις ψηφίδων και άμμου
180 - 196	Ψηφιδοπαγές με ενστρώσεις αργίλου
196 - 220	Καφέ άργιλος με ενστρώσεις ψηφιδοπαγών
220 - 250	Ψηφιδοπαγές με ενστρώσεις αργίλου
250 - 280	Άργιλος με λεπτές ενστρώσεις ψηφιδοπαγών
280 - 393	Εναλλαγές αργιλοψαμμιτών με ορίζοντες ψηφίδων υποβάθρου
393 - 411	Ψηφίδες υποβάθρου (αποσαθρωμένο υπόβαθρο)
411 - 417,5	Συμπαγείς γνεύσιοι και αμφβολίτες

5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-2NP

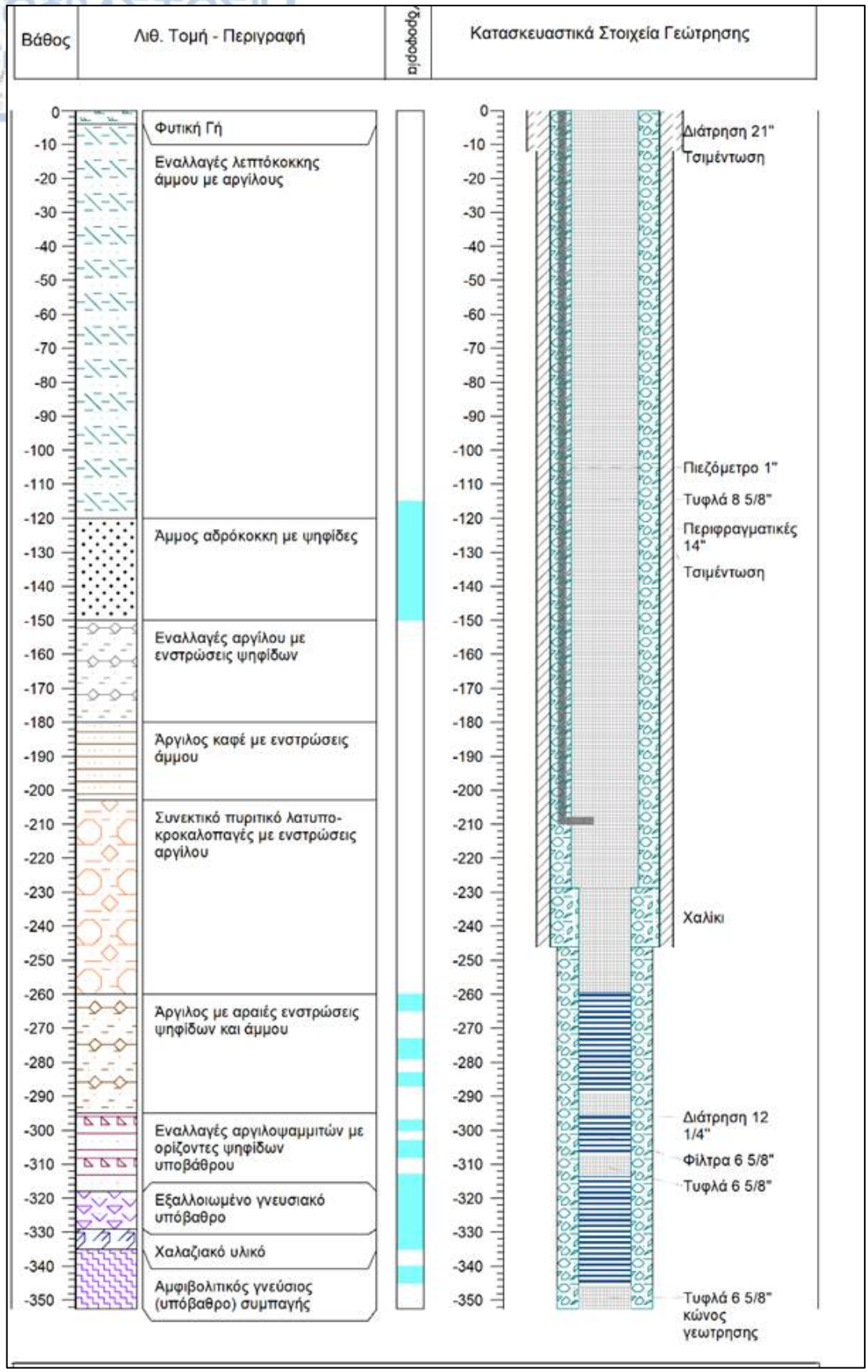
Η κατασκευή της παραγωγικής γεωθερμικής γεώτρησης Li-2NP (**Εικόνα 13**), άρχισε την 1^{η} Νοεμβρίου 2016 και ολοκληρώθηκε στις 8 Δεκεμβρίου 2017. Η γεώτρηση ανορύχθηκε σε απόλυτο υψόμετρο 29,30m, στη θέση με συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) της γεώτρησης είναι X: 434651.60 και Y: 4557556.80.

Η διάτρηση της γεώτρησης Li-2NP ξεκίνησε με κοπτικό διαμέτρου $12^{1/4''}$ μέχρι το βάθος των 12m, έγινε διεύρυνση με τη χρήση κοπτικού μεγαλύτερης διαμέτρου (21΄΄), τοποθέτηση περιφραγματικής σωλήνωσης (19΄΄), και τσιμέντωση για την προστασία της γεώτρησης. Έως το βάθος των 246m η διάτρηση συνεχίστηκε με κοπτικό $12^{1/4''}$, ενώ όταν η διατρητική στήλη έφτασε στα 246m αφαιρέθηκε και έγινε αλλαγή του κοπτικού από $12^{1/4''}$ σε $17^{1/2''}$ με σκοπό τη διεύρυνση της έως το συγκεκριμένο βάθος. Εν συνεχεία, χρησιμοποιήθηκε περιφραγματική σωλήνωση 14΄΄ και έγινε νέα τσιμέντωση έως τα 246m. Από τα 246m έως τα 352,50m (τέλος της γεώτρησης), η διάτρηση έγινε με κοπτικό άκρο διαμέτρου $12^{1/4''}$. Αφότου ολοκληρώθηκαν οι εργασίες διάνοιξης, προστασίας και στεγάνωσης της γεώτρησης, τοποθετήθηκαν σωλήνες διαμέτρου $8^{5/8''}$ από την επιφάνεια της γεώτρησης έως και τον πυθμένα αυτής. Η διάταξη των σωλήνων αυτών είναι οι εξής:

- Από τα 0 έως τα 228.70m: «τυφλές» σωληνώσεις διαμέτρου $8^{5/8''}$. Στα 228.70m τοποθετήθηκε συστολικός σωλήνας 70cm με τελική διάμετρο $6^{5/8''}$
- 229.40-289.60m : φιλτροσωλήνες
- 289.60-295.60m : «τυφλή» σωλήνωση
- 295.60-307.70m : φιλτροσωλήνες
- 307.68-313.70m : «τυφλή» σωλήνωση
- 313.70-346m : φιλτροσωλήνες
- 346-352.5m (τέλος της γεώτρησης) : «τυφλή» σωλήνωση $6^{5/8''}$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



***Εικόνα 13**: Λιθολογική τομή και τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης Li-2NP (πηγή: ΕΑΓΜΕ, 2016)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν κατά τη διάτρηση της γεώτρησης Li-2NP, ήταν στα πρώτα μέτρα εδαφικό υλικό (φυτική γη) και εν συνεχεία διαδοχικοί σχηματισμοί λεπτόκοκκης και αδρόκοκκης άμμου με αργιλικές εμφανίσεις, ενστρώσεις ψηφίδων και άμμου και αργιλοψαμμίτες με ψηφίδες υποβάθρου. Η οροφή του υποβάθρου συναντήθηκε στα 335m, ενώ το συμπαγές μεταμορφωμένο υπόβαθρο διατρήθηκε στα τελευταία 17.5m της γεώτρησης. Η λιθοστρωματογραφία της γεώτρησης Li-2NP περιγράφεται στον **Πίνακα 2**.

Πίνακας 2: *Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συνάντησε η γεώτρηση Li-2NP*

Βάθος (m)	Σχηματισμός
0-4	Φυτική γή
4-120	Εναλλαγές λεπτόκοκκης άμμου με αργίλους
120-150	Αδρόκοκκη άμμος με ψηφίδες
150-180	Εναλλαγές αργίλου με ενστρώσεις ψηφίδων
180-202	Άργιλος καφέ με ενστρώσεις άμμου
202-260	Συνεκτικό πυριτικό λατυποκροκαλοπαγές με ενστρώσεις αργίλου
260-295	Άργιλος με αραιές ενστρώσεις ψηφίδων και άμμου
295-318	Εναλλαγές αργιλοψαμμιτών με ορίζοντες ψηφίδων υποβάθρου
318-329	Εξαλλοιωμένο γνευσιακό υπόβαθρο
329-335	Χαλαζιακό υλικό
335-352	Αμφιβολιτικός γνεύσιος (Συμπαγές υπόβαθρο)

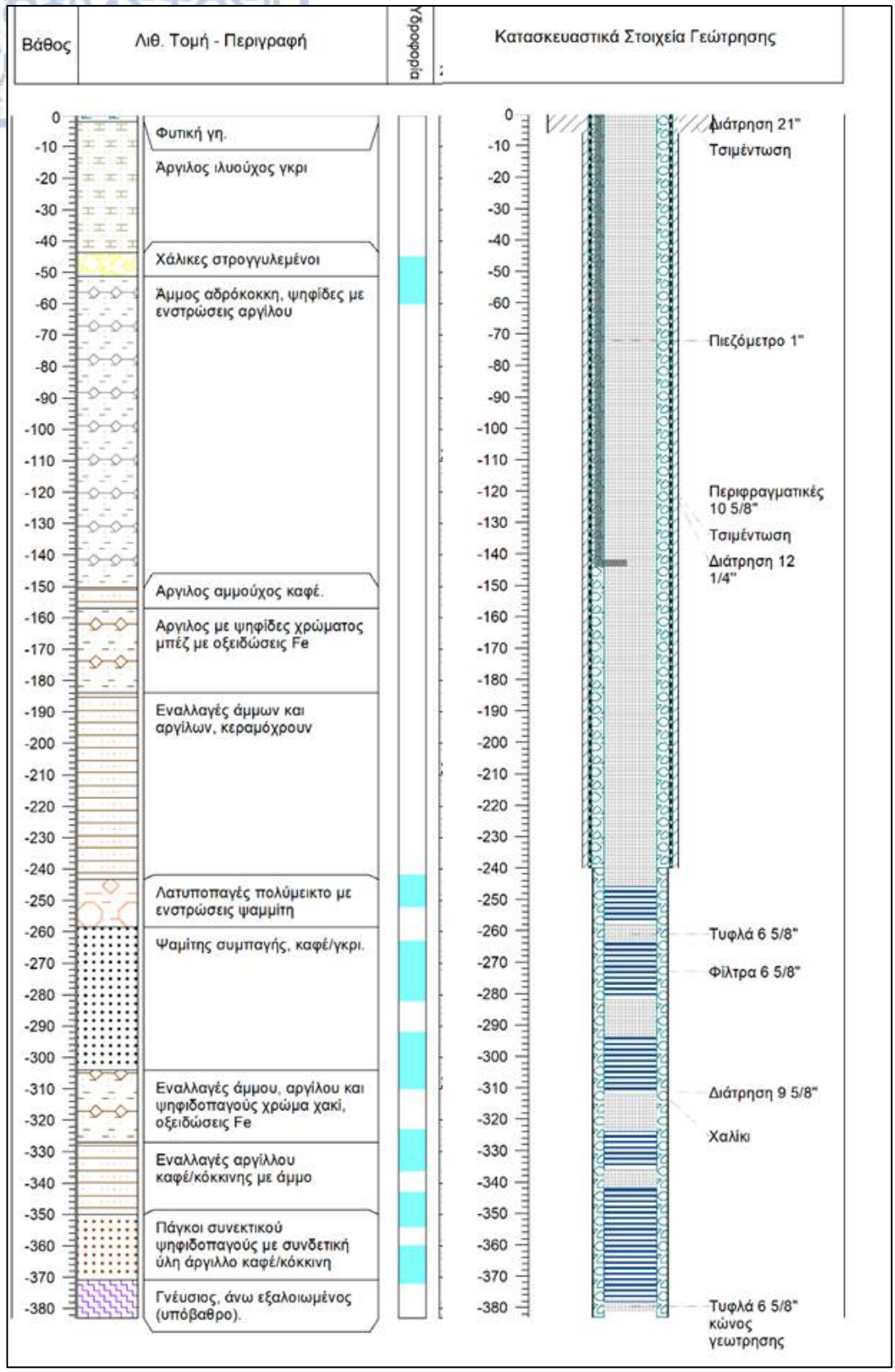
5.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-3NP

Η κατασκευή της παραγωγικής γεωθερμικής γεώτρησης Li-3NP (**Εικόνα 14**), άρχισε στις 10 Δεκεμβρίου 2017 και ολοκληρώθηκε στις 31 Μαΐου 2018. Η γεώτρηση ανορύχθηκε σε απόλυτο υψόμετρο 29.40m, στη θέση με συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) της γεώτρησης είναι X: 435645.00 και Y: 4557236.00.

Η διάτρηση ξεκίνησε στα πρώτα 6m με τη χρήση κοπτικού άκρου $12^{1/4''}$και διεύρυνση με κοπτικό διαμέτρου 21΄΄για την εγκατάσταση περιφραγματικής σωλήνωσης διαμέτρου 19΄΄. Ακολούθησε τσιμέντωση ώστε να συγκρατηθούν οι χαλαροί σχηματισμοί, ενώ στη συνέχεια, και έως το βάθος των 240m, χρησιμοποιήθηκε κοπτικό διαμέτρου $12^{1/4''}$. Όταν διατρήθηκαν και τα 240m, αφαιρέθηκε η διατρητική στήλη προκειμένου να τοποθετηθεί μέχρι το συγκεκριμένο βάθος περιφραγματική σωλήνωση $10^{5/8''}$ και να ολοκληρωθεί η διαδικασία της τσιμέντωσης. Από το βάθος των 240m έως και το τέλος της γεώτρησης στα 381m η διάτρηση πραγματοποιήθηκε με κοπτικό διαμέτρου $9^{5/8''}$. Αφότου ολοκληρώθηκαν οι εργασίες διάτρησης, στεγάνωσης και προστασίας της γεώτρησης τοποθετήθηκε σωλήνωση $6^{5/8''}$από τα 0m έως τα 381m.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



***Εικόνα 14**: Λιθολογική τομή και τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης Li-3NP (πηγή: ΕΑΓΜΕ, 2017)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Τα διαστήματα όπου τοποθετήθηκαν οι «τυφλοί» σωλήνες και οι φιλτροσωλήνες ήταν διαδοχικά και είναι τα εξής:

- 246-258m : φιλτροσωλήνας
- 258-264m : «τυφλός» σωλήνας
- 264-282m : φιλτροσωλήνας
- 282-324m : «τυφλός» σωλήνας
- 324-336m : φιλτροσωλήνας
- 336-342m : «τυφλός» σωλήνας
- 342-378m : φιλτροσωλήνας
- 378-381m : «τυφλός» σωλήνας
- 381m: κώνος αγκύρωσης που συνδέθηκε με τον τελευταίο «τυφλό» σωλήνα.

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 14**, κατά τη διάτρηση αρχικά συναντήθηκαν φυτική γη και ιλυούχος άργιλος, στρογγυλεμένοι χάλικες, όσο και εναλλαγές αργίλου και άμμου και τέλος ψαμμίτης. Η οροφή του υποβάθρου συναντήθηκε στα 371m (γνεύσιος), ενώ το συμπαγές υπόβαθρο διατρήθηκε στα τελευταία 12m της γεώτρησης. Στον **Πίνακα 3** γίνεται αναλυτική περιγραφή της λιθοστρωματογραφίας στη γεώτρηση Li-3NP.

***Πίνακας 3**: Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συνάντησε η γεώτρηση Li-3NP*

Βάθος (m)	Σχηματισμός
0-2	Φυτική γή
2-44	Ιλυούχος άργιλος χρώματος γκρί
44-51	Χάλικες αποστρογγυλεμένοι
51-150	Αδρόκοκκη άμμος και ψηφίδες με ενστρώσεις αργίλου
150-157	Άργιλος αμμούχος χρώματος καφέ
157-184	Άργιλος με ψηφίδες χρώματος μπέζ με οξειδώσεις Fe
184-243	Εναλλαγές αργίλων, άμμων και κεραμόχρουν
243-258	Πολύμεικτο λατυποπαγές με ενστρώσεις ψαμμίτη
258-302	Συμπαγής ψαμμίτης χρώματος γκρί και καφέ
302-327	Εναλλαγές άμμου, αργίλου, ψηφιδοπαγούς χρώματος χακί και οξειδώσεις Fe
327-350	Εναλλαγές αργίλου με καφέ/κόκκινο χρώμα με άμμο
350-371	Πάγκοι συνεκτικού ψηφιδοπαγούς με συνδετική ύλη καφέ/κόκκινη άργιλο
371-383	Υπόβαθρο με εξαλλοιωμένους γνεύσιους

5.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Li-4NP

Η κατασκευή της παραγωγικής γεωθερμικής γεώτρησης Li-3NP (**Εικόνα 15**), άρχισε στις 28 Ιουνίου 2018 και ολοκληρώθηκε στις 14 Σεπτεμβρίου 2018. Η γεώτρηση ανορύχθηκε σε απόλυτο υψόμετρο 31,40m, στη θέση με συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) της γεώτρησης είναι X: 435040.00 και Y: 4559548.0.

Η διάτρηση της γεώτρησης Li-4NP, άρχισε με διάμετρο $12^{1/4}$΄΄μέχρι τα 15m, και διεύρυνση στις 21΄΄προκειμένου να τοποθετηθεί περιφραγματική σωλήνωση 19΄΄, και στη συνέχεια να γίνει τσιμέντωση για να συγκρατηθούν οι χαλαροί σχηματισμοί και

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

πιο συγκεκριμένα φυτική γη και η άμμος με ιλύ. Από τα 15m έως και τα 208m η διάτρηση συνεχίστηκε με κοπτικό διαμέτρου $12^{1/4''}$. Στο βάθος των 208m, αφαιρέθηκε η διατρητική στήλη για να τοποθετηθεί περιφραγματική σωλήνωση 14΄΄. Τέλος, από τα 208m έως και τα 519,5m (τελικό βάθος γεώτρησης) οι σχηματισμοί διατρήθηκαν με κοπτικό $12^{1/4''}$ και, αφότου ολοκληρώθηκαν οι διαδικασίες στεγάνωσης και προστασίας της γεώτρησης, τοποθετήθηκε η σωλήνωση της γεώτρησης με διάμετρο $8^{5/8''}$ ως τα 207m και στη συνέχεια με διάμετρο $6^{5/8''}$, ως εξής:

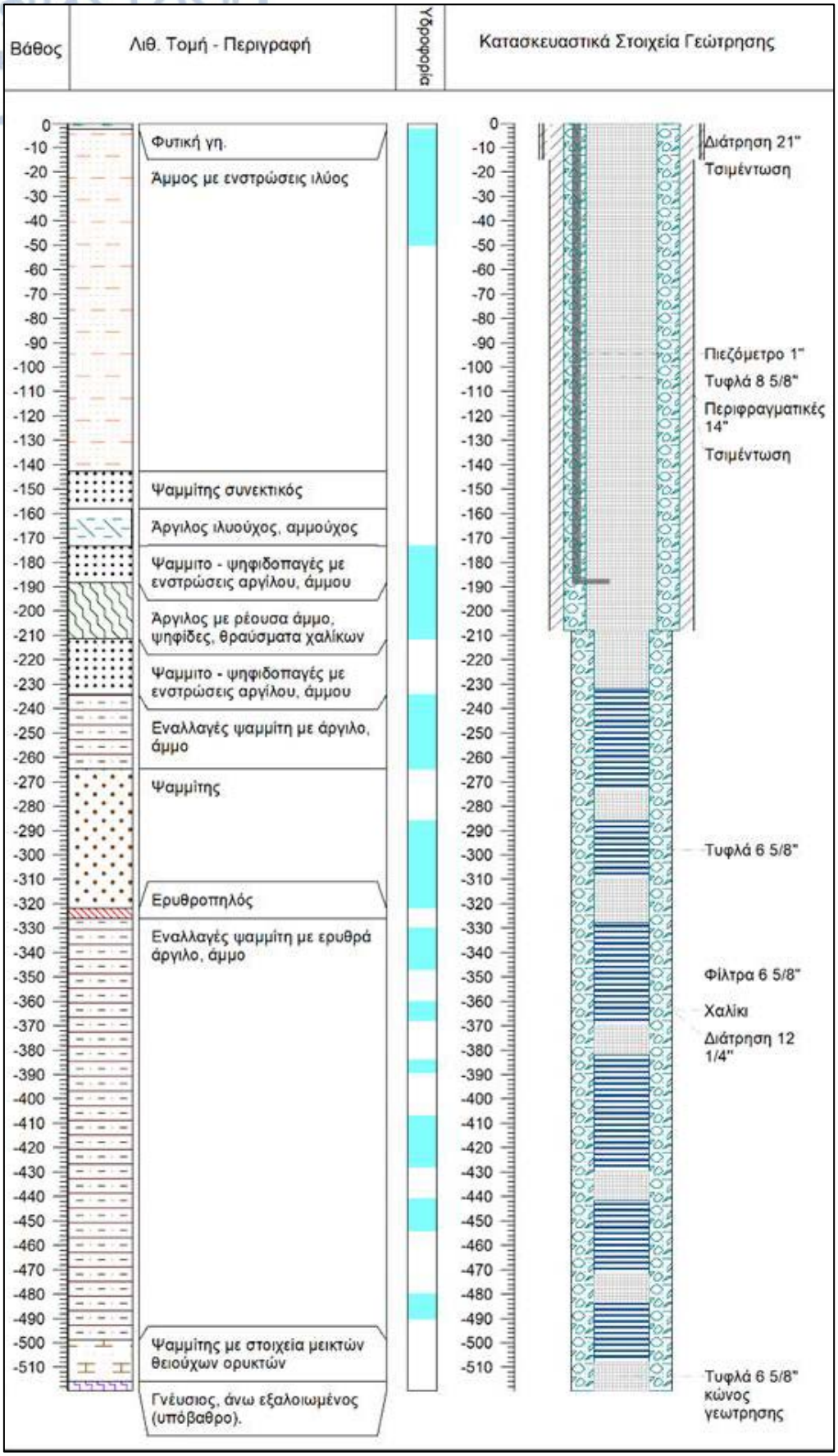
- 0-207m : «τυφλός» σωλήνας
- 207-232m : «τυφλός» σωλήνας
- 232-274m : φιλτροσωλήνας
- 274-286m : «τυφλός» σωλήνας
- 286-310m : φιλτροσωλήνας
- 310-328m : «τυφλός» σωλήνας
- 328-370m : φιλτροσωλήνας
- 370-382m : «τυφλός» σωλήνας
- 382-430m : φιλτροσωλήνας
- 430-442m : «τυφλός» σωλήνας
- 442-472m : φιλτροσωλήνας
- 472-484m : «τυφλός» σωλήνας
- 484-508m : φιλτροσωλήνας
- 508-519,5m : «τυφλός» σωλήνας

Ο τελευταίος «τυφλός» σωλήνας, συνδέθηκε με τον κώνο αγκύρωσης της γεώτρησης προκειμένου να ολοκληρωθεί η γεώτρηση στα 519,5m.

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 15**, κατά τη διάτρηση συναντήθηκαν φυτική γη, άμμος καθώς και εναλλαγές αργίλου με άμμο και ψαμμίτη. Η οροφή του υποβάθρου συναντήθηκε στα 519m (γνεύσιος), ενώ το συμπαγές υπόβαθρο διατρήθηκε στα τελευταία 3,5m της γεώτρησης. Η λιθοστρωματογραφία της γεώτρησης Li-4NP, περιγράφεται αναλυτικά στον **Πίνακα 4.**

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα



***Εικόνα 15**: Λιθολογική τομή και τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης Li-4NP (πηγή: ΕΑΓΜΕ, 2017)*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Πίνακας 4: *Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συνάντησε η γεώτρηση Li-4NP*

Βάθος (m)	**Σχηματισμός**
0-2m	Φυτική γη
2-144m	Άμμος με ενστρώσεις ιλύος
144-158m	Συνεκτικός ψαμμίτης
158-173m	Άργιλος ιλυούχος, αμμούχος
173-188m	Ψαμμιτο-ψηφιδοπαγές με ενστρώσεις αργίλου και άμμου
188-212m	Άργιλος με ρέουσα άμμο, ψηφίδες, θραύσματα χαλίκων
212-234m	Ψαμμιτο-ψηφιδοπαγές με ενστρώσεις αργίλου και άμμου
234-265m	Εναλλαγές ψαμμίτη με άργιλο, άμμο
265-322m	Ψαμμίτης
322-326m	Ερυθροπυλός
326-499m	Εναλλαγές ψαμμίτη με ερυθρά άργιλο, άμμο
499-516m	Ψαμμίτης με στοιχεία μεικτών θειούχων ορυκτών
516-519.5m	Υπόβαθρο με εξαλλοιωμένο γνεύσιο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ένα από τα σημαντικά στοιχεία μιας γεωθερμικής μελέτης είναι η θερμομετρική έρευνα, που αφορά μετρήσεις θερμοκρασίας και υπολογισμό της γεωθερμικής βαθμίδας και της θερμικής ροής. Για τον προσδιορισμό της υπόγειας θερμικής κατάστασης σε μια περιοχή πρέπει να είναι γνωστή η θερμική ροή ή η βαθμίδα, τα υψόμετρα και η μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή μελέτης είναι 15°C, με μέγιστη μέση ετήσια θερμοκρασία τους 20.2^{o}C και μέση ελάχιστη τους 9°C. (Πηγή: *Φορέας Διαχείρισης Λίμνης Κερκίνης*)

Η θερμοκρασία, ιδανικά θα έπρεπε να μετράται σε ένα πυκνό δίκτυο «στεγνών» γεωτρήσεων, ώστε να αποτυπώνεται με ακρίβεια η κατανομή της θερμοκρασίας με το βάθος σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

Συνήθως όμως, η κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου θερμομετρικών γεωτρήσεων δεν είναι εφικτή, για οικονομικούς κυρίως λόγους, οπότε οι κατά βάθος μετρήσεις για τον υπολογισμό της γεωθερμικής βαθμίδας γίνονται είτε σε προϋπάρχουσες είτε στις νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις που κατασκευάζονται στην περιοχή μελέτης, πριν την τοποθέτηση αντλητικού συγκροτήματος και αφού βέβαια αποκατασταθεί η θερμική ισορροπία (τουλάχιστον 10 ημέρες από την ολοκλήρωση της διάνοιξης). Η απεικόνιση της κατανομής των βαθμίδων σε χάρτη (iso-gradient map) προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη δομή του γεωθερμικού πεδίου (*Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004*).

Η κατά βάθος μέτρηση της θερμοκρασίας και η κατασκευή ίσο-θερμοκρασιακών χαρτών ανά διάφορα βάθη, βοηθούν στον προσδιορισμό των θερμότερων επιμέρους περιοχών κάθε πεδίου, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην χωροθέτηση των παραγωγικών γεωθερμικών γεωτρήσεων.

Η θερμοκρασία των ρευστών επίσης και στην κεφαλή των γεωτρήσεων κατά τη διάρκεια άντλησης της γεώτρησης. Η θερμοκρασία αυτή αντιστοιχεί στην συνισταμένη θερμοκρασία όλων των θερμών υδροφόρων που υδρομαστεύονται.

6.2 ΌΡΓΑΝΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται στην κεφαλή ή στο εσωτερικό των γεωτρήσεων με τη χρήση ειδικών καταγραφικών οργάνων. Τα όργανα αυτά, μπορεί να εμπεριέχουν πολύπλοκα συστήματα καταγραφής της θερμοκρασίας και ταυτόχρονα άλλων παραμέτρων, όπως π.χ. της πίεσης, ή να είναι απλά φορητά ηλεκτρονικά θερμόμετρα, τα οποία με τις κατάλληλες προσαρμογές συνδέονται με μικρού ή μεγάλου μήκους καλώδια για επιφανειακές ή κατά βάθος μετρήσεις.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας κατά βάθος και τον υπολογισμό της γεωθερμικής βαθμίδας, χρησιμοποιούνται καλώδια μεγάλου μήκους, ανάλογα με το βάθος της γεώτρησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα απλό «καρούλι» ειδικά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

προσαρμοσμένο για σύνδεση με ηλεκτρονικό θερμόμετρο και καλώδιο με ειδική κεφαλή για τη λήψη της θερμοκρασίας.

Στις θερμομετρήσεις των γεωτρήσεων στο γεωθερμικό πεδίο Λιθότοπου-Ηράκλειας χρησιμοποιήθηκε θερμομετρικός τρίποδας (**Εικόνα 16).** Ο θερμομετρικός τρίποδας είναι καταγραφικό όργανο αποτελούμενο από δύο τμήματα, τον ψηφιακό μετρητή και ένα τρίποδα. Στον τρίποδα προσαρμόζεται τροχαλία με αναλογικό μετρητή μήκους, έτσι ώστε να είναι γνωστό το βάθος στο οποίο βρίσκεται το καταγραφικό όργανο. Η τροχαλία συνδέεται με το καλώδιο, το οποίο τυλίγεται σε καρούλι, ενώ το άκρο που βρίσκεται το θερμόμετρο συνδέεται με ένα βαρίδιο για να μπορεί να βυθίζεται χωρίς δυσκολία μέσα στη γεώτρηση. Αφού ξεκινήσει η διαδικασία της θερμομέτρησης, το θερμόμετρο σταθεροποιείται σε συγκεκριμένα βάθη (ανά κάποια μέτρα), οπότε και λαμβάνονται οι αντίστοιχες μετρήσεις, οι οποίες καταγράφονται στο ψηφιακό όργανο που βρίσκεται στην επιφάνεια.

Εικόνα 16: *Εργασίες θερμομέτρησης ερευνητικής γεώτρησης για τον υπολογισμό της γεωθερμικής βαθμίδας.*

Η συσκευή Diver (**Εικόνα 17**) είναι ένα φορητό καταγραφικό όργανο μικρών διαστάσεων (ύψος: 88mm, διάμετρος: 18mm) με αισθητήρες μέτρησης πίεσης, θερμοκρασίας και αγωγιμότητας. Τοποθετείται στο πιεζόμετρο της γεώτρησης συλλέγοντας συνεχώς δεδομένα από σταθερό σημείο (βάθος). Το όργανο αυτό είναι ικανό να αποθηκεύει δεδομένα μέχρι και 10 ετών, τα οποία λαμβάνονται και υφίστανται επεξεργασία μέσω ενσωματωμένου λογισμικού.

Με βάση τις προδιαγραφές του και τους σχετικούς περιορισμούς, το DIVER τοποθετήθηκε σταθερά στο βάθος των 95m.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

***Εικόνα 17**: Συσκευή καταγραφής δεδομένων Diver (https://diver-water-level-logger.com)*

Εκτός από τον υπολογισμό της γεωθερμικής βαθμίδας σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η μέτρηση της θερμοκρασίας του εξερχόμενου γεωθερμικού ρευστού στην κεφαλή της γεώτρησης. Η μέτρηση γίνετε εύκολα τοποθετώντας στο σημείο που εξέρχεται το ρευστό ένα φορητό θερμόμετρο. Αυτό επιτρέπει κατά τη διάρκεια του αντλητικού σταδίου να λαμβάνονται άμεσα δεδομένα για τη θερμοκρασία του εξερχόμενου ρευστού. **(Εικόνα 18**)

***Εικόνα 18:** Μέτρηση θερμοκρασίας εξερχόμενου ρευστού στην κεφαλή της γεώτρησης*

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα αποτελέσματα των κατά βάθος θερμομετρήσεων στις νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις του γεωθερμικού πεδίου Λιθότοπου-Ηράκλειας παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Αναφέρονται επίσης και οι μετρήσεις θερμοκρασίας του επιστρεφόμενου πολτού διάτρησης κατά τη διάρκεια διάνοιξης των γεωτρήσεων, οι οποίες στόχευαν σε έναν καταρχήν εντοπισμό των θερμότερων υδροφόρων στρωμάτων. Οι θερμομετρήσεις διενεργήθηκαν από την ΕΑΓΜΕ (Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων).

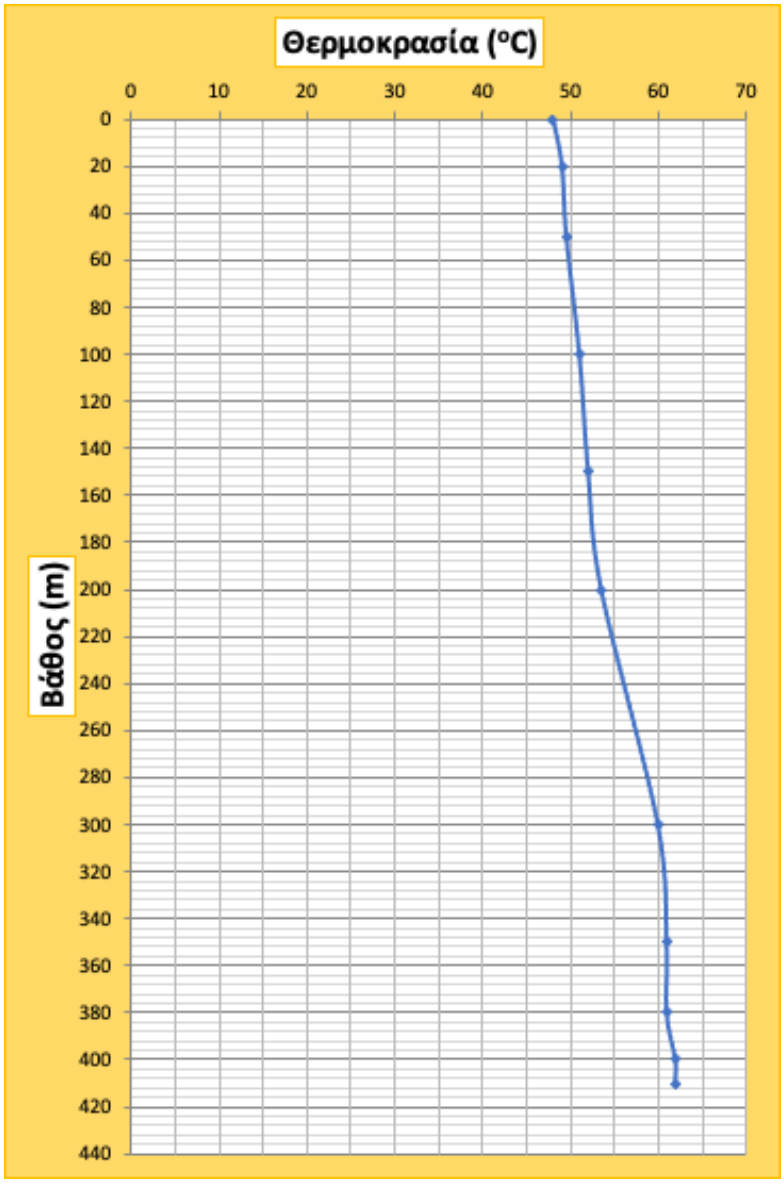
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

6.3.1 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-1NP

Κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της γεώτρησης Li-1NP, οι πρώτες μετρήσεις θερμοκρασίας έγιναν στον επιστρεφόμενο πολφό από το βάθος των 260m και ήταν 38°C. Από τα 260m έως τα 393m η θερμοκρασία των επιστρεφόμενων κυμαίνονταν μεταξύ 30°C και 37°C, με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται στο βάθος των 377m.

Οι θερμοκρασίες που καταγράφτηκαν από την επιφάνεια έως το βάθος ως τα 410m, αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα της **Εικόνας 19**. Σημειώνεται ότι η γεώτρηση παρουσιάζει αρτεσιανισμό, με παροχή 4 m^3/h και πίεση στην κεφαλή 0.6 bar.



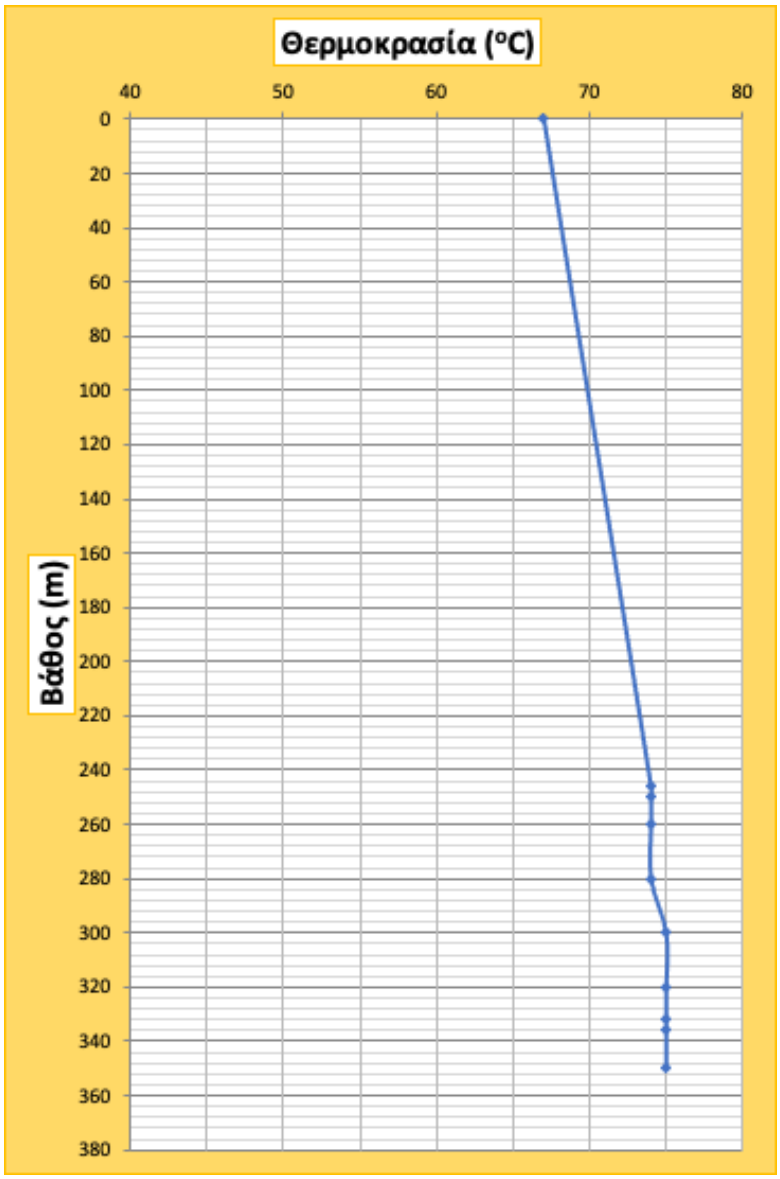
Εικόνα 19: Κατά βάθος θερμομέτρησης της γεώτρησης Li-1NP (ΕΑΓΜΕ, 2017)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6.3.2 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-2NP

Η γεώτρηση **Li-2NP,** παρουσιάζει αρτεσιανισμό και συνεχή ροή θερμών ρευστών στο εσωτερικό της, οπότε η θερμοκρασία δεν παρουσιάζει ουσιαστικές μεταβολές κατά βάθος. Στην κεφαλή της γεώτρησης τα φυσικώς εξερχόμενα ρευστά είχαν θερμοκρασία 68°C, ενώ από τα 246m έως το τελικό βάθος των μετρήσεων η θερμοκρασία ήταν σταθερά ίση με 75°C. Ο ρυθμός αρτεσιανής ροής ήταν 15.5 m^3/h και πίεση στην κεφαλή της γεώτρησης ίση με 0.8 bar. Οι θερμοκρασίες σε συνάρτηση με το βάθος αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα της **Εικόνας 20.**



Εικόνα 20: Κατά βάθος θερμομέτρησης της γεώτρησης Li-2NP (ΕΑΓΜΕ, 2017)

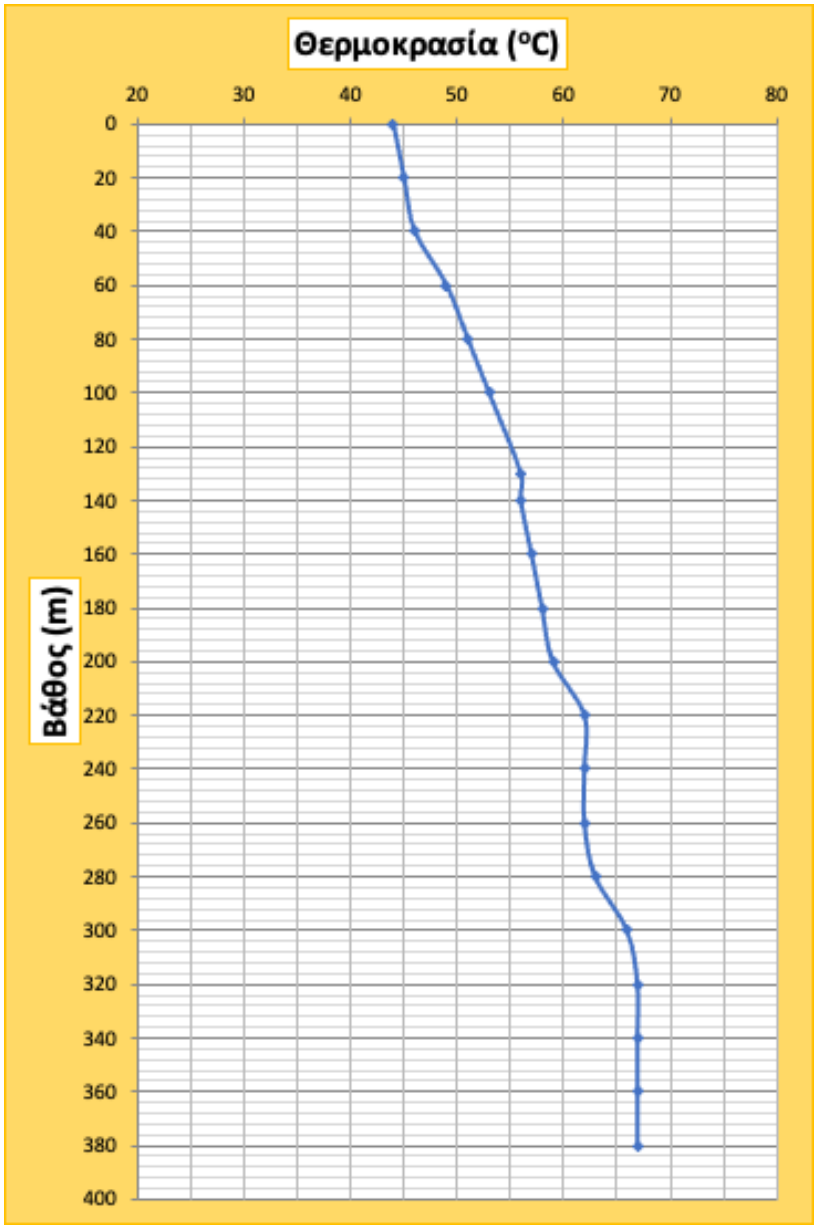
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6.3.3 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-3NP

Κατά τη διάρκεια διάνοιξης της γεώτρησης, πραγματοποιούνταν συνεχής καταγραφή της θερμοκρασίας του εισερχόμενου και εξερχόμενου πολφού διάτρησης, προκειμένου να εντοπιστούν τα στρώματα με τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία στον επιστρεφόμενο πολφό από τα βάθη 244m έως 258m (λατυποπαγές), κυμάνθηκε από 20 έως 25 ^{o}C, στα 281m έφτασε τους 36.2 ^{o}C και στον πυθμένα της γεώτρησης η θερμοκρασία αυξήθηκε περαιτέρω φτάνοντας τους 39°C.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος απεικονίζεται στο διάγραμμα της **Εικόνας 21**. Η μέγιστη θερμοκρασία καταγράφτηκε σε βάθος 340m και ήταν 66 ^{o}C. Σημειώνεται ότι η γεώτρηση παρουσίαζε μικρής ροής αρτεσιανισμό, με παροχή 1.5 m^3/h και πίεση στην κεφαλή 0.2 bar.



Εικόνα 21: Κατά βάθος θερμομέτρησης της γεώτρησης Li-3NP (ΕΑΓΜΕ, 2018)

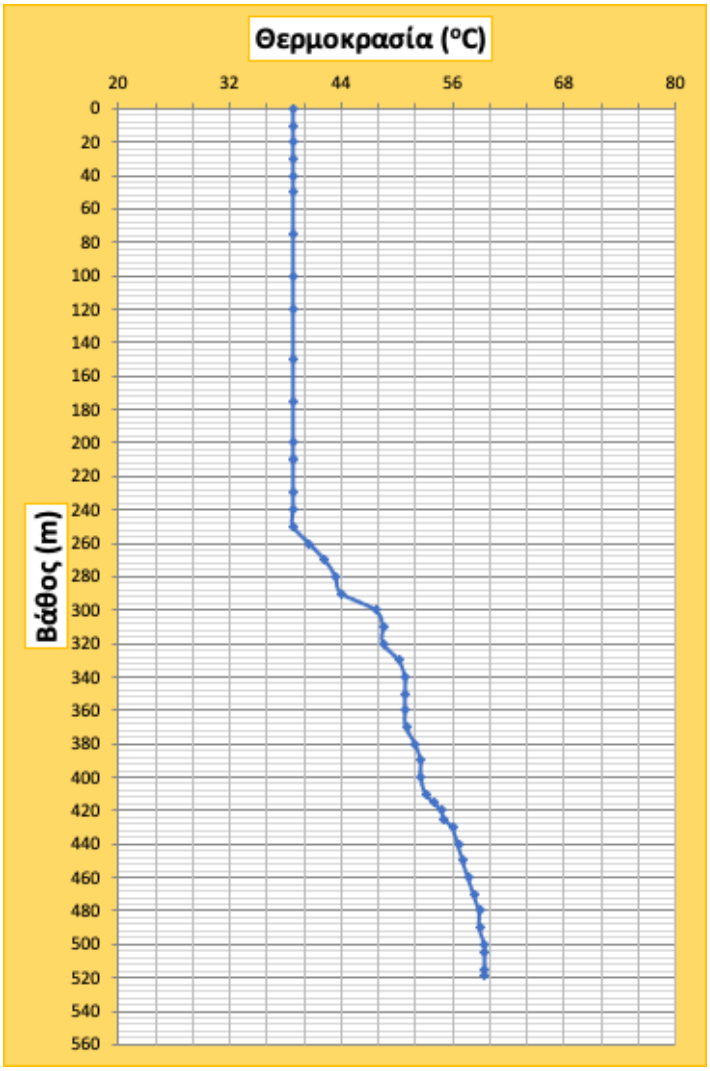
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

6.3.4 Θερμομέτρηση της γεώτρησης Li-4NP

Η γεώτρηση Li-4NP παρουσιάζει αρτεσιανή ροή με παροχή 25 m^3/h, ενώ η πίεση στην κεφαλή ήταν 0.4 bar. Μέχρι τα πρώτα 250m βάθους, η θερμοκρασία ήταν σταθερή και ανερχόταν στους 38 ^oC, λόγω ανάμιξης των θερμών ρευστών με ψυχρότερους υδροφόρους, οι οποίοι στη συνέχεια απομονώθηκαν (τυφλή σωλήνωση, **Εικόνα 15**). Από τα 250m μέχρι και το τελικό βάθος μετρήσεων (519.5m) η θερμοκρασία αυξάνεται φτάνοντας τους 59.5^oC.

Στη γεώτρηση αυτή έγιναν μετρήσεις έως και ανά 5m. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες 3 γεωτρήσεις, η γεώτρηση Li-4NP παρουσιάζει μεγαλύτερο αρτεσιανισμό με παροχή 25 m^3/h. Η πίεση στην ήταν κεφαλή 0.4 bar. Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος απεικονίζεται στο διάγραμμα της **Εικόνας 22.**



Εικόνα 22 : Κατά βάθος θερμομέτρησης της γεώτρησης Li-4NP (ΕΑΓΜΕ, 2018)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Η γεώτρηση Li-1NP εμφανίζει ομαλή αύξηση της θερμοκρασίας με μέγιστη θερμοκρασία στα 410m τους 62°C. Η γεωθερμική βαθμίδα υπολογίστηκε ως εξής: **ΔT/ΔZ**=(T2-T1)/(Z2-Z1)=(62 ^{o}C -56 ^{o}C)/(410m-250m)=0.037*100= **3.7 ^{o}C /100m**

Στη γεώτρηση Li-2NP η ομαλή αύξηση της θερμοκρασίας συνεχίζεται με μέγιστη θερμοκρασία στα 352.5m τους 75°C. Η γεωθερμική βαθμίδα υπολογίστηκε ως εξής: **ΔT/ΔZ**=(T2-T1)/(Z2-Z1)=(75 ^{o}C -74 ^{o}C)/(350m-250m)=0.01*100= **1 ^{o}C /100m**

Η γεώτρηση Li-3NP παρουσιάζει τη μέγιστη θερμοκρασία των 68°C στα 380m. Η γεωθερμική βαθμίδα υπολογίστηκε ως εξής: **ΔT/ΔZ**=(T2-T1)/(Z2-Z1)=(68 ^{o}C -63 ^{o}C)/(380m-250m)=0.038*100= **3.8 ^{o}C /100m**

Τέλος η γεώτρηση Li-4NP εμφανίζει στο διάστημα μεταξύ 0m- 250m, 38 ^{o}C. Τη μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζει στα 519.5m τους 59°C. Η γεωθερμική βαθμίδα υπολογίστηκε ως εξής: **ΔT/ΔZ**=(T2-T1)/(Z2-Z1)=(59 ^{o}C -38 ^{o}C)/(519.5m-250m)=0.077*100= **7.7 ^{o}C /100m**

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

Μετά την ολοκλήρωση των κατασκευαστικών εργασιών των νέων παραγωγικών γεωτρήσεων, ξεκίνησαν η διαδικασία των δοκιμαστικών αντλήσεων με σκοπό την εκτίμηση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα και της κατάλληλης παροχής εκμετάλλευσης.

Σε κάθε γεώτρηση τοποθετήθηκε πιεζόμετρο διαμέτρου 1΄΄ και έφτασαν στα εξής βάθη:

- Li-1NP : 209m
- Li-2NP : 209m
- Li-3NP : 142m
- Li-4NP : 188m

Πριν την άντληση με σταθερή παροχή, πραγματοποιήθηκε η άντληση κατά βαθμίδες. Κατά τη διάρκεια των δύο σταδίων γινόταν ταυτόχρονα μέτρηση της θερμοκρασίας του εξερχόμενου ρευστού με τη βοήθεια φορητού θερμόμετρου. Η μέτρηση της στάθμης κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρικό σταθμίμετρο, το οποίο τοποθετήθηκε στον πιεζομετρικό σωλήνα. Τέλος, στην κεφαλή των γεωτρήσεων τοποθετήθηκε ηλεκτρονικό ροόμετρο για τη ρύθμιση της επιθυμητή παροχή ανάλογα με την άντληση.

7.1 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-1NP

Στη γεώτρηση Li-1NP, η αρχική άντληση κατά βαθμίδες διήρκησε 5,5 ώρες και χωρίστηκε σε (3) βαθμίδες. Η πρώτη βαθμίδα είχε διάρκεια 2.5 ώρες με μέση παροχή 12 m^3/h, η δεύτερη βαθμίδα 2 ώρες και μέση παροχή 16 m^3/h και τέλος η τρίτη βαθμίδα 1 ώρα και 15 λεπτών με μέση παροχή 20 m^3/h.

Κατά την πρώτη βαθμίδα άντλησης, η μέγιστη πτώση στάθμης ήταν 47,4m. Στη δεύτερη βαθμίδα η στάθμη έπεσε στα 78,68m και, τέλος, στην τρίτη βαθμίδα έφτασε μέχρι τα 113m.

Πριν την έναρξη της άντλησης κατά βαθμίδες, η θερμοκρασία του εξερχόμενου αρτεσιανού ρευστού ήταν 51,8 ^oC. Λίγο πριν το τέλος της πρώτης βαθμίδας, η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 53 ^oC και διατηρήθηκε σταθερή μέχρι την ολοκλήρωση και των τριών βαθμίδων.

Λόγω της μεγάλης πτώσης στάθμης, αποφασίστηκε η 24ωρη άντληση με σταθερή παροχή να μην ξεπεράσει τα 15 m^3/h. Πριν την έναρξη της άντλησης, η θερμοκρασία του ρευστού στην κεφαλή της γεώτρησης ήταν 50,8 ^oC, με αρτεσιανή ροή. Περίπου μία ώρα αφότου ξεκίνησε η άντληση, με την πτώση στάθμης στα 63m, η θερμοκρασία πήρε τη μέγιστη τιμή της, στους 52,9 ^oC, ενώ στο τέλος της άντλησης μειώθηκε λιγάκι και σταθεροποιήθηκε 52,2 ^oC. Η τελική πτώση στάθμης ήταν 78,08m. Κατά την επαναφορά στάθμης, επανήλθε η αρτεσιανή ροή, και η θερμοκρασία μειώθηκε στους 47 ^oC. Μετά την παρέλευση τεσσάρων ωρών από την επαναφορά της στάθμης, παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,2 ^oC.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πέντε ημέρες αργότερα, η θερμοκρασία ανήλθε στους 50,9 ^{o}C και έκτοτε παρέμεινε σταθερή.

7.2 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-2NP

Η πρώτη φάση των δοκιμαστικών αντλήσεων στην Li-2NP χωρίστηκε σε 4 βαθμίδες, ως εξής:

- Στάδιο 1° : Μέση παροχή 26 m^3/h με διάρκεια ~3 ώρες
- Στάδιο 2° : Μέση παροχή 35 m^3/h με διάρκεια ~2,5 ώρες
- Στάδιο 3° : Μέση παροχή 45 m^3/h με διάρκεια ~6 ώρες
- Στάδιο 4° : Μέση παροχή 58 m^3/h με διάρκεια ~1,15 ώρες

Η θερμοκρασία του εξερχόμενου γεωθερμικού ρευστού, όταν η πτώση στάθμης βρισκόταν στα 10,8m, μετρήθηκε στους 70,2^{o}C. Στο τέλος του 1^{ου} σταδίου η θερμοκρασία μειώθηκε στους 69,4 ^{o}C και η πτώση στάθμης σταθεροποιήθηκε στα 13m. Στο δεύτερο στάδιο, η μεγαλύτερη θερμοκρασία που καταγράφτηκε ήταν 69,5^{o}C, παρόλα αυτά αφού σταθεροποιήθηκε η πτώση στάθμης στα 26,2m η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού μειώθηκε στους 69,1 ^{o}C. Στο τρίτο στάδιο η ανώτερη θερμοκρασία είναι 73,1 ^{o}C και βρίσκεται στο σημείο που σταθεροποιείτε η πτώση στάθμης στα 86,72m. Τέλος στο τέταρτο στάδιο, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 73 ^{o}C ενώ η πτώση στάθμης παραμένει σταθερή στα 117.8m.

Ακολούθησε η άντληση με σταθερή παροχή 45 m^3/h και διάρκεια μεγαλύτερη των 24 ωρών. Με την αρτεσιανή ροή η θερμοκρασία μετρήθηκε στους 70,7 ^{o}C. Με την πάροδο της άντλησης παρατηρήθηκε αύξηση, με τη μεγαλύτερη τιμή της (74,5^{o}C) να καταγράφεται όταν η πτώση στάθμης βρίσκεται στα 90-95m. Από εκεί και μετά, η θερμοκρασία μειώθηκε, φτάνοντας τους 73,7^{o}C, με την πτώση στάθμης στα 115,8m. Με το πέρας της άντλησης και της επαναφοράς στάθμης, και αφού επανήλθε η αρτεσιανή ροή, η θερμοκρασία μειώθηκε στους 70 ^{o}C περίπου. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που ακολούθησαν μετά από δύο και μετά τρεις ημέρες, η θερμοκρασία ανέβηκε από τους 70,6 ^{o}C στους 71,1 ^{o}C, αντίστοιχα.

7.3 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-3NP

Στη γεώτρηση Li-3NP, δεν έγινε άντληση κατά βαθμίδες, παρά μόνο με σταθερή και πολύ μικρή παροχή (5m^3/h), η οποία είχε διάρκεια 19 ώρες. Η θερμοκρασία εξερχόμενου ρευστού πριν την έναρξη της άντλησης ήταν 45,3 ^{o}C. Παρόλο που η παροχή ήταν τόσο μικρή, η πτώση στάθμης ήταν πολύ μεγάλη. Όταν η στάθμη ήταν στα 96,65m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, η θερμοκρασία ανήλθε στους 60°C, η οποία αποτελεί και τη μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφτηκε στη συγκεκριμένη γεώτρηση. Η τελική πτώση στάθμης ήταν 97,86m. Στο σημείο αυτό σταθεροποιήθηκε η θερμοκρασία στην κεφαλή της γεώτρησης, στους 59,6 ^{o}C. Αφότου επανήλθε ο αρτεσιανισμός, όπως και στις άλλες γεωτρήσεις, η θερμοκρασία μειώθηκε στους 44,3^{o}C και δύο μέρες αργότερα αυξήθηκε κατά 1°C περίπου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

7.4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-4NP

Στη γεώτρηση αυτή δεν πραγματοποιήθηκε, για τεχνικούς λόγους, άντληση σταθερής παροχής μακράς διάρκειας, αλλά μόνο κατά βαθμίδες σε τρία στάδια.

Η γεώτρηση Li-4P, παρουσιάζει τον ισχυρότερο αρτεσιανισμό συγκριτικά με τις άλλες τρεις νέες γεωτρήσεις, με παροχή 25 m^3/h. Η μέγιστη θερμοκρασία του εξερχόμενου γεωθερμικού ρευστού με αρτεσιανή ροή ήταν 38,4 ^oC.

Στο 1° Στάδιο, έγινε άντληση με μέση παροχή στα 56 m^3/h και διάρκεια περίπου 2 ώρες.

Το 2° Στάδιο ξεκίνησε περίπου 2 ώρες μετά τη διακοπή της προηγούμενης βαθμίδας. Η άντληση έγινε με παροχή 68 m^3/h και είχε διάρκεια 14 ωρών. Η μέγιστη πτώσης στάθμης ήταν 6,1m και η θερμοκρασία του εξερχόμενου ρευστού ήταν 37,1^{o}C.

Η τρίτη βαθμίδα ξεκίνησε απευθείας, με αύξηση της παροχής στα 80 m^3/h και η διάρκεια της άντλησης ήταν περίπου 7 ώρες. Η μέγιστη θερμοκρασία εξερχόμενου ρευστού ήταν 37,5^{o}C, ενώ η πτώση στάθμης σταθεροποιήθηκε από τις πρώτες ώρες άντλησης στα 7,65m.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

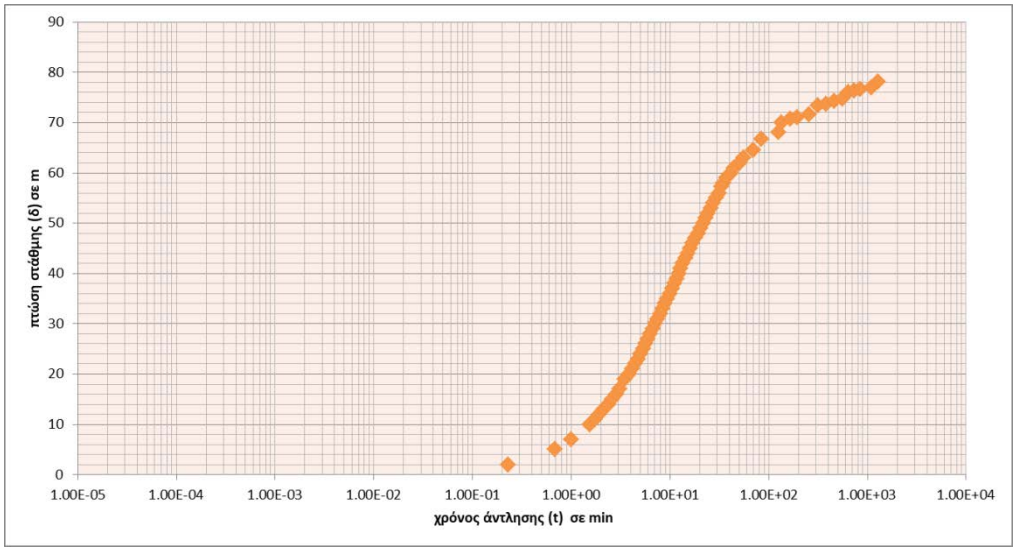
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από κάθε γεώτρηση κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων. Με βάση αυτά τα στοιχεία, υπολογίστηκε η μεταβιβαστικότητα (T), ο συντελεστής εναποθήκευσης (S) και η υδραυλική αγωγιμότητα (k).

Η μεταβιβαστικότητα και η αποθηκευτικότητα υπολογίστηκαν με την εφαρμογή των μεθόδων Jacob-Cooper και Theiss, ενώ χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος επαναφοράς στάθμης.

8.1 ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-1NP

Από την εφαρμογή των μεθόδων Jacob-Cooper (Σχήμα 1), Theiss (Σχήμα 2) και επαναφοράς στάθμης (Σχήμα 3), προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

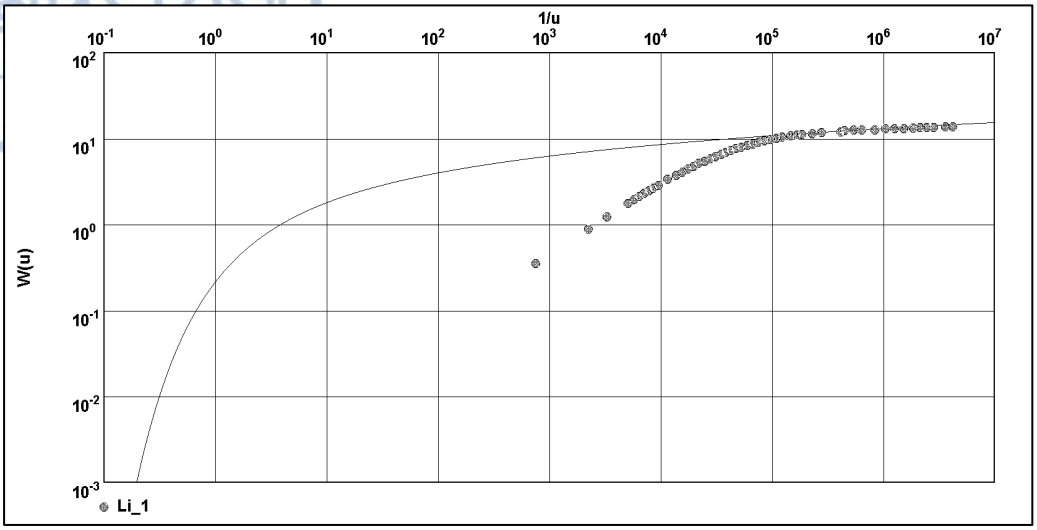
Μέθοδος	T (m^2/min)	(S)	k (m/min)
Jacob-Cooper	$1{,}75 \times 10^{-3}$	$5{,}6 \times 10^{-5}$	$1{,}67 \times 10^{-5}$
Theiss	1.58×10^{-3}	6.86×10^{-5}	$1{,}51 \times 10^{-5}$
Επαναφορά	$7{,}5 \times 10^{-4}$		



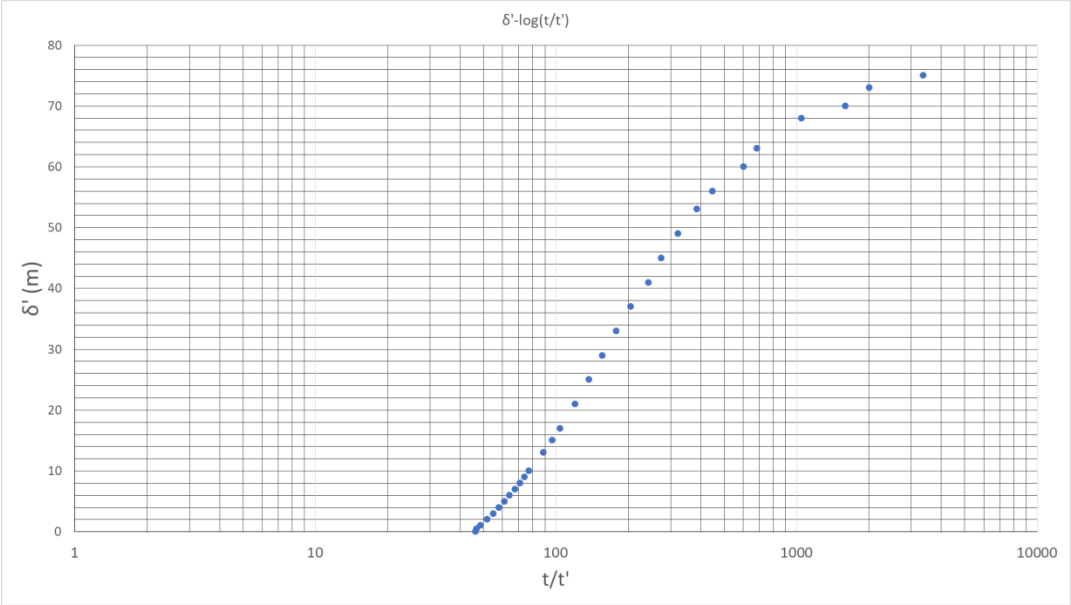
***Σχήμα 1**:* Διάγραμμα πτώσης στάθμης- χρόνου κατά την άντληση της γεώτρησης Li-1NP (Μέθοδος Jacob-Cooper)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα



Σχήμα 2: Εφαρμογή της μεθόδου Theiss για τα δεδομένα της άντλησης της Li-1NP



Σχήμα 3: Επαναφορά στάθμης στη γεώτρηση Li-1NP

Μετά τη διακοπή της άντλησης, η στάθμη επανήλθε στην αρχική της θέση πολύ γρήγορα, εντός 28 λεπτών περίπου. Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας k, χρησιμοποιήθηκε το πάχος των υδρομαστευόμενων στρωμάτων D1=104,5m.

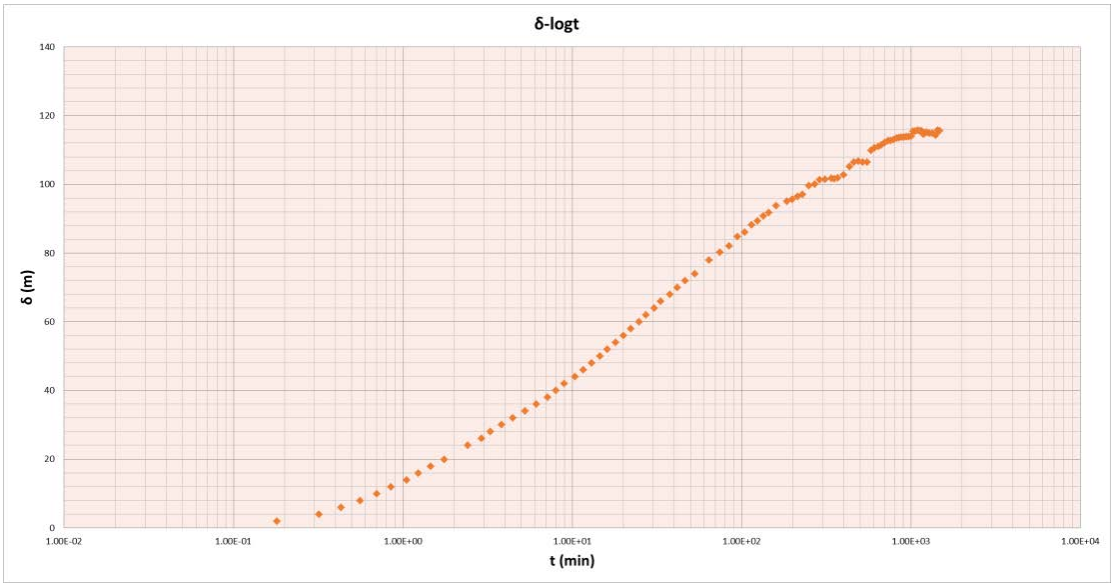
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

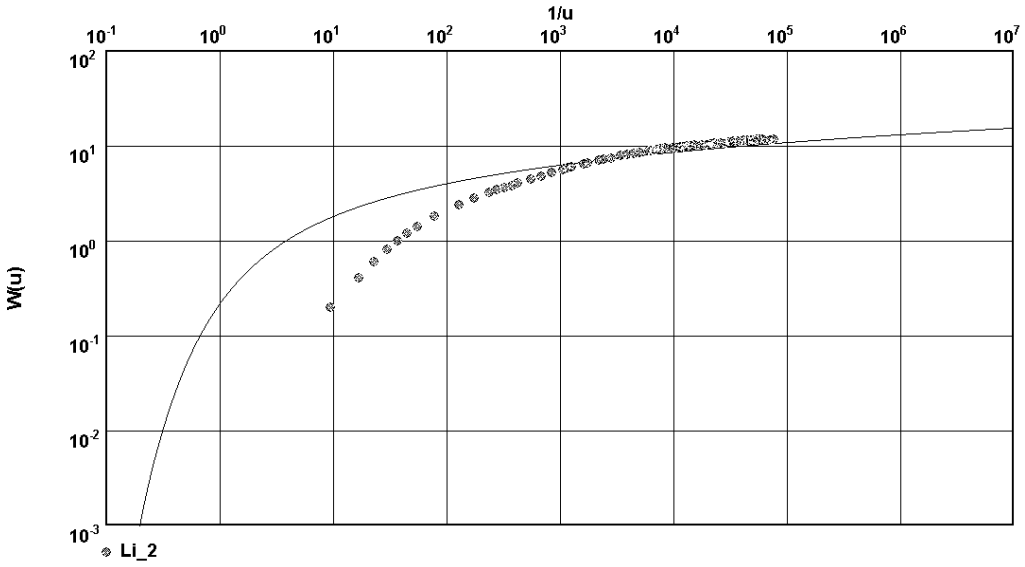
8.2 ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-2NP

Από την εφαρμογή των μεθόδων Jacob-Cooper (Σχήμα 4), Theiss (Σχήμα 5) και επαναφοράς στάθμης (Σχήμα 6), προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Μέθοδος	T (m^2/min)	(S)	k (m/min)
Jacob-Cooper	$3{,}92x10^{-3}$	$5{,}7x10^{-2}$	$6{,}5x10^{-5}$
Theiss	$6{,}01x10^{-3}$	$6{,}73 \times 10^{-3}$	1×10^{-4}
Επαναφορά	$3{,}05x10^{-3}$		



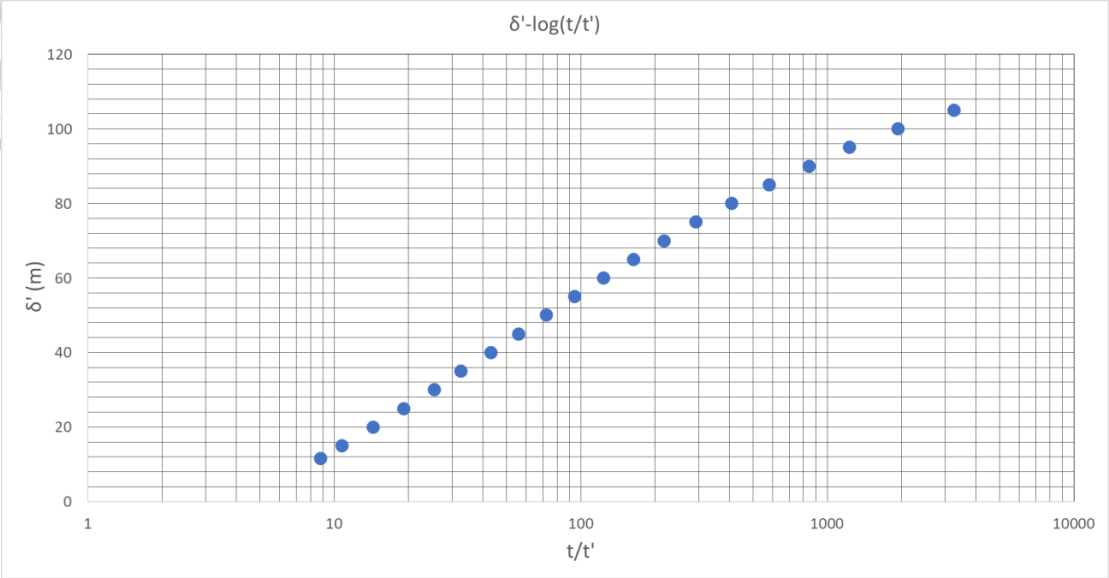
Σχήμα 4: Διάγραμμα πτώσης στάθμης- χρόνου κατά την άντληση της γεώτρησης Li-2NP (Μέθοδος Jacob-Cooper)



Σχήμα 5: Εφαρμογή της μεθόδου Theiss για τα δεδομένα της άντλησης της Li-2NP

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 6: Επαναφορά στάθμης στη γεώτρηση Li-2NP

Οι μετρήσεις την γεώτρηση διήρκησαν περίπου 3 ώρες. Η στάθμη δεν επανήλθε πλήρως καθώς υπολειπόταν 11 m για την πλήρη επαναφορά της. Το πάχος των υδρομαστευόμενων στρωμάτων είναι: D2=60m

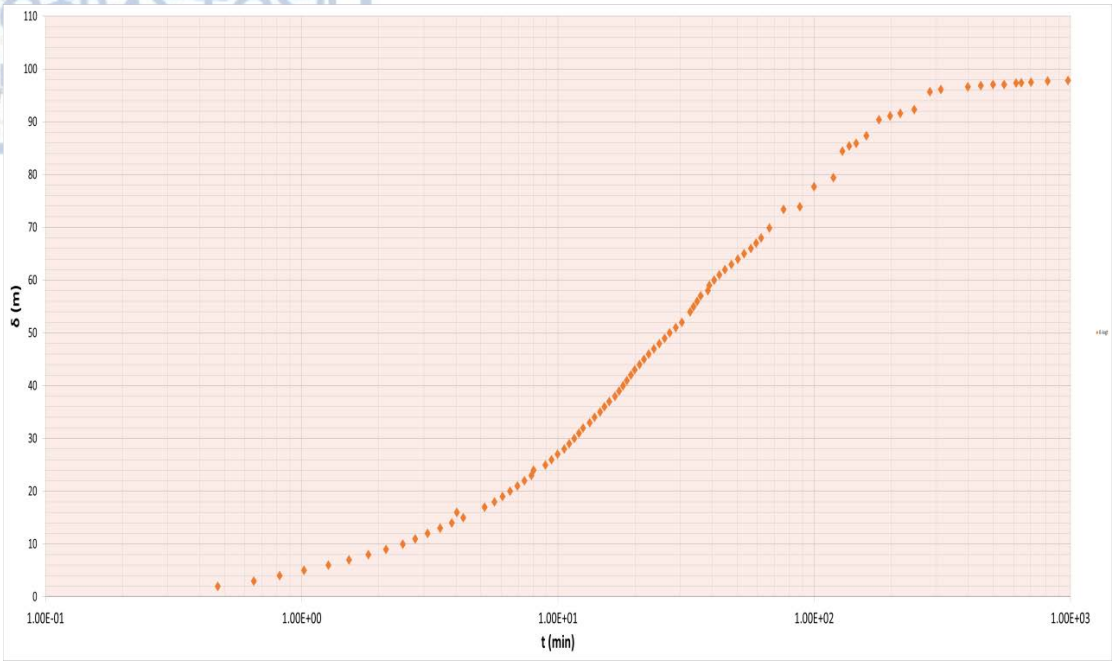
8.3 ΓΕΩΤΡΗΣΗ Li-3NP

Από την εφαρμογή των μεθόδων Jacob-Cooper (Σχήμα 7), Theiss (Σχήμα 8) και επαναφοράς στάθμης (Σχήμα 9), προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

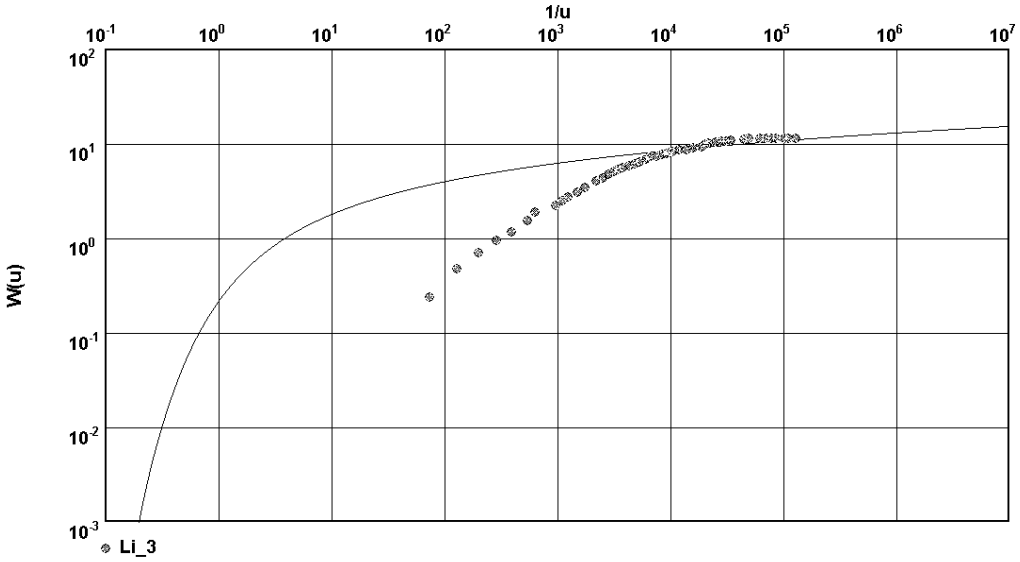
Μέθοδος	**T (m^2/min)**	**(S)**	**k (m/min)**
Jacob-Cooper	$3{,}03 \times 10^{-4}$	$2{,}89 \times 10^{-2}$	$4{,}2 \times 10^{-6}$
Theiss	$7{,}4 \times 10^{-4}$	$3{,}74 \times 10^{-4}$	$1{,}02 \times 10^{-5}$
Επαναφορά	$2{,}3 \times 10^{-4}$		

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



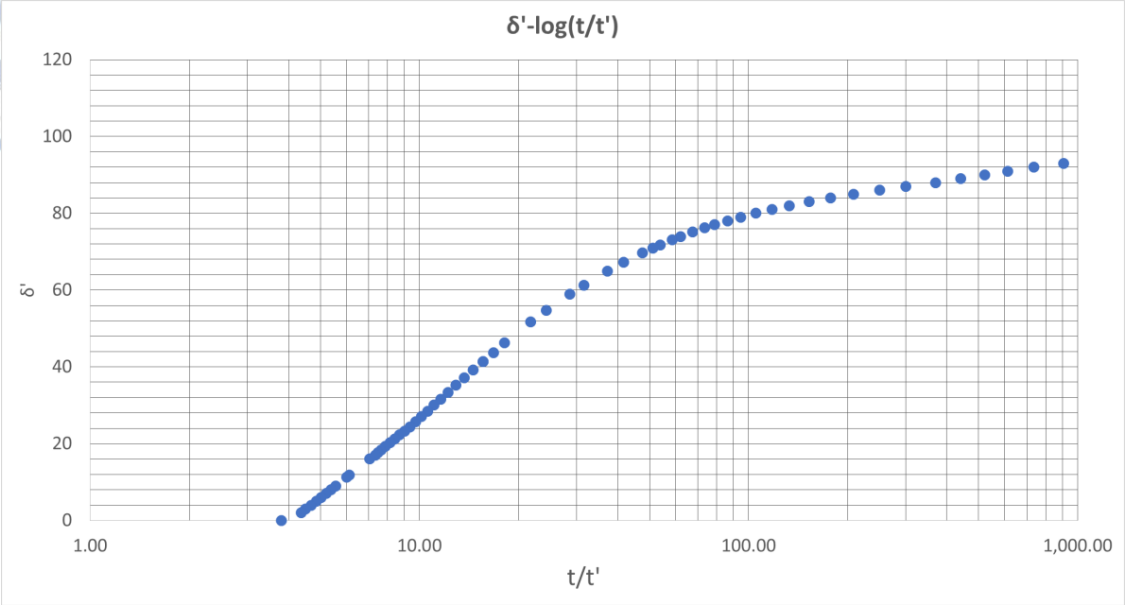
Σχήμα 7: Διάγραμμα πτώσης στάθμης- χρόνου κατά την άντληση της γεώτρησης Li-3NP (Μέθοδος Jacob-Cooper)



Σχήμα 8: Εφαρμογή της μεθόδου Theiss για τα δεδομένα της άντλησης της Li-3NP

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη



Σχήμα 9: Επαναφορά στάθμης στη γεώτρηση Li-3NP

Η επαναφορά της στάθμης διήρκησε περισσότερο από 5 ώρες, ενώ το πάχος των στρωμάτων για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας είναι D3=72m.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωθερμική/γεωτρητική έρευνα στο πεδίο Λιθοτόπου-Ηράκλειας εκπονήθηκε από την ΕΑΓΜΕ στα πλαίσια προγραμματικής σύμβασης που είχε συνάψει με τον Δήμο Ηράκλειας για την «Έρευνα του πιθανού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής θερμοκρασίας Λιθότου-Ηράκλειας Ν. Σερρών».

Η υδροφορία εντοπίστηκε σε ενστρώσεις και φακούς αδρόκοκκων και σχετικά περατών ιζημάτων, που αναπτύσσονται ανάμεσα σε ημιπερατά ή αδιαπέρατα στρώματα, κυρίως αργίλους. Τα γεωθερμικά ρευστά βρέθηκαν μέσα σε σχηματισμούς κροκαλοπαγών, λατυποπαγών, ψαμμιτών, άμμων και στην οροφή του κατακερματισμένου και εξαλλοιωμένου υπόβαθρου, σε σχετικά μικρά βάθη από 250 έως και 500m . Οι θερμοί ταμιευτήρες επικοινωνούν με τους ρηχότερους υδροφορείς, οι οποίοι φιλοξενούν ρευστά με θερμοκρασίες έως και 40°C. Στην περιοχή απουσιάζει ένας τυπικός, μεγάλου πάχους, αδιαπέρατος σχηματισμός που θα μπορούσε να παίζει το ρόλο του «γεωλογικού καλύμματος» των θερμών υδροφόρων.

Και οι τέσσερις γεωτρήσεις, παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Οι μέγιστες τιμές του αρτεσιανισμού βρίσκονται στις γεωτρήσεις Li-4NP στα 25 m^3/h και την Li-2NP στα 15,5 m^3/h και τις γεωτρήσεις Li-1NP και Li-2NP να παρουσιάζουν τον ελάχιστο από τις τέσσερις αρτεσιανισμό στα 4 m^3/h και 1,5 m^3/h.

Οι θερμοκρασίες των παραγωγικών γεωτρήσεων στον πυθμένα τους κυμαίνονται από 54 έως 75°C. Η μέγιστη καταγεγραμμένη θερμοκρασία γεωθερμικού ρευστού είναι 75°C και καταγράφτηκε στη γεώτρηση Li-2NP. Η θερμοκρασία αυτή είναι η μέγιστη μέχρι σήμερα θερμοκρασία γεωθερμικών ρευστών στην λεκάνη του Στρυμόνα.

Οι παροχές των τεσσάρων γεωτρήσεων κυμαίνονται από 5m^3/h έως 80m^3/h. Η γεώτρηση Li-4NP, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη παροχή από όλες τις γεωτρήσεις (80m^3/h), εξαιτίας της υδρομάστευσης και ρηχότερων υδροφορέων, μικρότερης όμως θερμοκρασίας. Η άντληση από ρηχότερους υδροφορείς αύξησε μεν την παροχή αλλά είχε επιπτώσεις στη θερμοκρασία των ρευστών, η οποία στην κεφαλή ήταν 37,5°C. Στις υπόλοιπες τρεις γεωτρήσεις παρατηρείται σαφώς χαμηλότερη παροχή ως αποτέλεσμα της τοποθέτησης φιλτροσωλήνων μόνο σε μεγαλύτερα βάθη προκειμένου να γίνει άντληση θερμότερων ρευστών.

Τα γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασίες 37,5-74,5°C, ανήκουν στην κατηγορία των Na-HCO_3 νερών, έχοντας ουδέτερο έως αλκαλικό χαρακτήρα με pH 7.07-8.24. Το σύνολο των διαλυμένων Αλάτων κυμαίνεται από 549-1319 mg/l. Εξαιτίας της καλής ποιότητας των γεωθερμικών ρευστών, οι γεωτρήσεις δεν αναμένεται να εμφανίσουν ιδιαίτερα προβλήματα διάβρωσης και επικαθήσεων στο μέλλον.

Με βάση τις δοκιμαστικές αντλήσεις μακράς διάρκειας σε τρεις από τις τέσσερις γεωτρήσεις, εκτιμήθηκε ότι η υδραυλική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 10^{-3} με 10^{-6} m/min, που θεωρείται σχετικά μικρή.

Η μεταβιβαστικότητα από είναι της τάξης του 10^{-3} έως 10^{-4} m^2/min, ενώ ο συντελεστής εναποθήκευσης παρουσιάζει μικρότερες τιμές στην Li-1NP (10^{-5}) και μεγαλύτερες (10^{-2} έως 10^{-4}) στις Li-2NP και Li-3NP.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Η συνολική παροχή των υπαρχουσών παραγωγικών γεωτρήσεων είναι περίπου 150m^3/h, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, διαδοχικές ή παράλληλες. Λόγω του αγροτικού χαρακτήρα της περιοχής, ενδείκνυται η χρήση τους, σε πρώτη φάση, για τη θέρμανση θερμοκηπίων ή εδάφους ανοικτών καλλιεργειών. Επίσης, με βάση τον χημισμό τους, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν και ως ιαματικοί πόροι (www.dimosiraklias.gr). Ο Δήμος Ηράκλειας, ο οποίος, μετά την ολοκλήρωση της έρευνας της ΕΑΓΜΕ και την οριοθέτηση του βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου, απέκτησε για 30 έτη τα δικαιώματα αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού της περιοχής (11 MWth).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Karydakis G., Arvanitis A., and Fytikas M., 2005. Low Enthalpy. Geothermal Fields in the Strymon Basin (Northern Greece). Proceedings World Geothermal Congress, 24-29 April 2005, Antalya, Turkey.

Ελληνική

Βρέλλης Γρ., Αρβανίτης Απ., Και Μπίπου-Μπακούλα Αικ., 2009. Γεωθερμικές γεωτρήσεις: Σχεδιασμός, εκτέλεση και αντιμετώπιση προβλημάτων. Διεθνές Forum ¨Η Γεωθερμική Ενέργεια στο Προσκήνιο¨, 11-12 Δεκεμβρίου 2009, Θεσσαλονίκη.

Παπαχρήστου Μ., Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Απ. και Δαλαμπάκης Π., 2018. ¨Εξέλιξη της Αξιοποίησης της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα και την Ευρώπη¨. 11^{ο} Εθνικό Συνέδριο του Ινστιτούτου Ηλιακής Τεχνικής (Ι.Η.Τ) για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, 14-16 Μαρτίου 2018, Θεσσαλονίκη.

Παπαφιλίππου-Πέννου Ε., 2004. Δυναμική εξέλιξη και σύγχρονες εξωγενείς διεργασίες του υδρογραφικού συστήματος της ταφρολεκάνης Σερρών. Διδακτορική Διατριβή.

Βουδούρης Κ., Μαρίνος Β., 2010. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας: Τεχνική Γεωτρήσεων, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης Κ., 2015. Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., 2016, Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Βουβαλίδης Κ., 2011. Φυσική γεωγραφία. Εκδόσεις ΔιΣιγμα, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης Κ., 2017. Τεχνική Υδρογεωλογία υπόγεια νερά. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης Δ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών,University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακές Πηγές

https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωθερμία#Η_γεωθερμία_στην_Ελλάδα
https://diavgeia.gov.gr
http://www.dimosiraklias.gr/index.php/parousiasi-dimou/geothermia.html
https://diver-water-level-logger.com

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης