

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

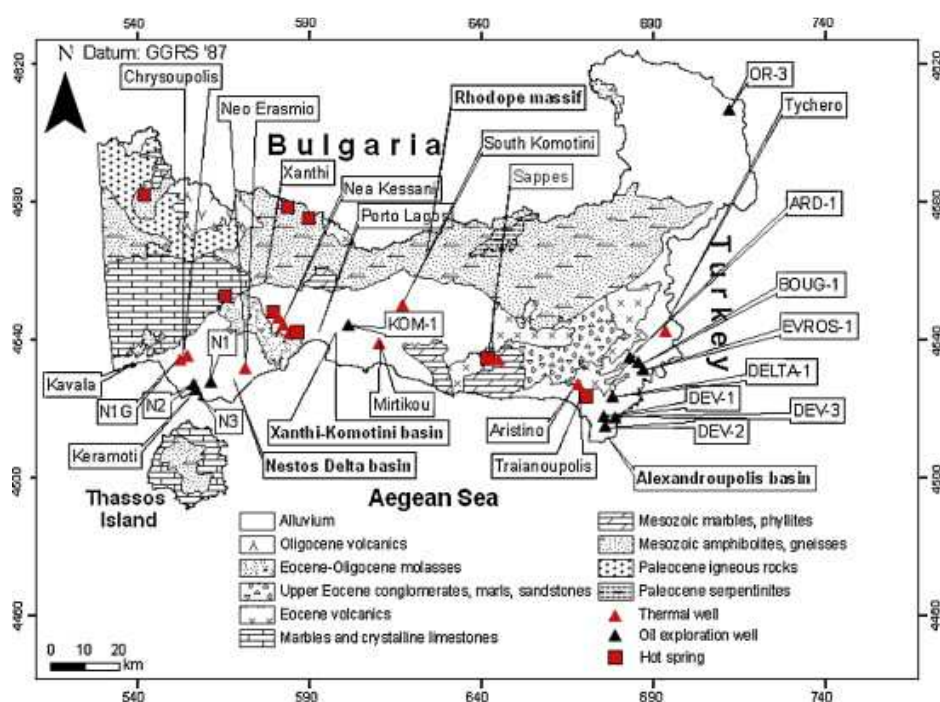
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΩΑΝΝΑ ΚΥΡΙΚΛΙΔΟΥ ΑΕΜ: 5131

**ΘΕΜΑ: "Διερεύνηση των Γεωλογικών συνθηκών για τη δημιουργία
κοιτασμάτων υδρογονανθράκων και για την παρουσία γεωθερμικών πεδίων
σε Ανατολική Μακεδονία και Θράκη"**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Θεσσαλονίκη 2018



ΙΩANNA KYPIKΛIDOU

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΑΕΜ: 5131

“Διερεύνηση των Γεωλογικών συνθηκών
για τη δημιουργία κοιτασμάτων υδρογονανθράκων
και για την παρουσία γεωθερμικών πεδίων
σε Ανατολική Μακεδονία και Θράκη”

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ανδρέας Γεωργακόπουλος



© Ιωάννα Κυρικλίδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2018 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Διερεύνηση των Γεωλογικών συνθηκών για τη δημιουργία κοιτασμάτων υδρογονανθράκων και την παρουσία γεωθερμικών πεδίων σε Ανατολική Μακεδονία και Θράκη – Διπλωματική Εργασία

© Ioanna Kiriklidou, School of Geology, Dept. of Mineralogy – Petrology – Economic Geology, 2018. All rights reserved.

Geological Conditions for the formation of Hydrocarbons and Geothermal Fields in Eastern Macedonia and Thrace -Bachelor Thesis

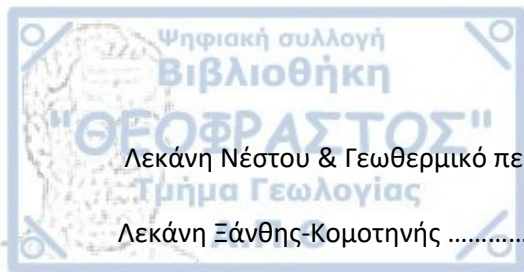
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται 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.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	6
Ορισμοί-Νομικό πλαίσιο για τη γεωθερμία	6
Γεωθερμικά συστήματα Βόρειας Ελλάδας.....	8
Υψηλή Γεωθερμική Βαθμίδα.....	11
Γεωλογικοί παράγοντες δημιουργίας γεωθερμικών πεδίων και κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.....	14
Κλειστές τεκτονικές λεκάνες.....	14
Γεωλογικοί παράγοντες δημιουργίας κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.....	17
Διαπερατοί σχηματισμοί.....	17
2.Θερμοκρασία ταμιευτήρων.....	19
3.Μετανάστευση.....	20
4.Ύπαρξη δομών παγίδευσης.....	22
5.Ωρίμανση οργανικής ύλης.....	24
Γεωλογικοί παράγοντες δημιουργίας γεωθερμικών πεδίων.....	29
Γεωθερμικά πεδία.....	32
Δομή εσωτερικού της γης.....	34
Γεωθερμικά συστήματα.....	35
Ιστορικό γεωθερμικής βαθμίδας στην Ελλάδα.....	37
Τεκτονικές λεκάνες Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης	
Λεκάνη Στρυμόνα	38
Λεκάνη Νιγρίτα-Θερμών.....	39
Λεκάνη Πρίνου-Καβάλας.....	40



Λεκάνη Νέστου & Γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού.....	42
Λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής	43
Λεκάνη Αλεξανδρούπολης	44
Λεκάνη Έβρου & Γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου	44
Συμπεράσματα.....	45
Βιβλιογραφία	47

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα διαθέτει ένα σημαντικό αριθμό γεωλογικών λεκανών, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι η υψηλή γεωθερμική βαθμίδα την οποία παρουσιάζουν. Ως εκ τούτου το γεωθερμικό δυναμικό της χώρας είναι πολύ υψηλό αλλά παραμένει ακόμη ανεκμετάλλευτο.

Επιπρόσθετα, σε κάποιες λεκάνες υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας πιστεύεται πως φιλοξενούνται κοιτάσματα υδρογονανθράκων και υπάρχει σημαντική ερευνητική δραστηριότητα για τον εντοπισμό και δυνητικά την εκμετάλλευση πετρελαίου και φυσικού αερίου σε διάφορες περιοχές της χώρας. Στην υποθαλάσσια λεκάνη Πρίνου-Καβάλας στο βόρειο Αιγαίο η εκμετάλλευση υδρογονανθράκων ξεκίνησε από τις αρχές της δεκαετίας του '80, και η περιοχή αυτή αποτελεί τη μόνη περιοχή μέχρι στιγμής στη χώρα όπου υπάρχει παραγωγική δραστηριότητα.

Κύριο χαρακτηριστικό των ιζηματογενών λεκανών εντός των οποίων φιλοξενούνται γεωθερμικά ρευστά ή υδρογονάνθρακες είναι η ανωμαλία της γεωθερμικής βαθμίδας, αποτέλεσμα της οποίας είναι τα παραπάνω ρευστά να εντοπίζονται σε βάθος μικρότερο του αναμενόμενου. Βαθιές τεκτονικές δομές σε συνδυασμό με την πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα στην Ελλάδα δημιούργησαν υψηλής θερμοκρασίας ροές, αποτέλεσμα των οποίων ήταν η δημιουργία γεωθερμικών πεδίων χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Στην βόρεια Ελλάδα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός γεωθερμικών πεδίων διαφορετικής ενθαλπίας με θερμοκρασίες υδάτων οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις είναι υψηλές έως πολύ υψηλές. Το ενδιαφέρον με αυτά τα γεωθερμικά πεδία είναι ότι βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος μέσα στις μεταορογενετικές λεκάνες των περιοχών του κόλπου του Στρυμόνα, Νέστου, Ξάνθης-Κομοτηνής, Έβρου, Αλεξανδρούπολης κ.α.

ΟΡΙΣΜΟΙ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Στον Ν. 3175/2003 (ΦΕΚ 207/29.08.2003) «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» ενσωματώθηκαν αφενός όλες οι προηγούμενες διατάξεις Νόμων περί γεωθερμίας (Ν.Δ. 210/1978, Μεταλλευτικός Κώδικας, 1475/1984 κ.τ.λ.) και αφετέρου προστέθηκαν νέες, ώστε να προσδώσουν στον Νόμο αυτό πληρότητα.

1. Εντάσσεται η γεωθερμία στην κατηγορία των μεταλλευτικών ορυκτών του Μεταλλευτικού Κώδικα.
2. Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού και των γεωθερμικών πεδίων ανήκει μόνο στο Δημόσιο (κατά το άρθρο 143 του Ν.Δ. 210/1973).
3. Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται σε:
 - α. Χαμηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25°C-90°C.
 - β. Υψηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90 °C.
4. Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται επίσης σε:
 - α. Βεβαιωμένα (πιστοποιημένα σε υψηλό βαθμό αξιοπιστίας από ερευνητικές εργασίες) και
 - β. Πιθανά (τα χαρακτηριστικά του πεδίου εκτιμώνται με προκαταρκτικά ερευνητικά έργα).

Συγγραφέας	(a)	(b)	(c)	(d)	(ε)
Χαμηλής θερμ.	< 90°C	< 125	< 100	=150	25 - 90
Μέσης θερμ.	90-150	125 -225	100 -200	-	-
Υψηλής θερμ.	> 150	> 225	> 200	> 150	≥ 90

(a) Muffler and Cataldi (1978)
 (b) Hochstein (1990)
 (c) Benderitter and Cormy (1990)
 (d) Nicholson (1993)
 (ε) Ελληνική Νομοθεσία

5. Το δικαίωμα του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση γεωθερμικού δυναμικού εκμισθώνεται ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό.
6. Χώροι που δεν έχουν ερευνηθεί για πιθανή ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου εκμισθώνονται για το δικαίωμα έρευνας. Εάν πιστοποιηθεί βεβαιωμένο πεδίο παρέχεται στον μισθωτή το δικαίωμα διαχείρισης.
7. Σε περίπτωση βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης.

8. Για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία εφαρμόζεται το άρθρο 10 του Νόμου σύμφωνα με το οποίο απαιτείται η χορήγηση σχετικής αδείας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η άδεια χορηγείται κατόπιν επιτυχίας σε διαγωνισμό, που προκηρύσσει ο Υπουργός ΠΕΚΑ για βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία σύμφωνα με τους όρους και διαδικασίες του διαγωνισμού.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Με συστηματικές μελέτες και έρευνες του ΙΓΜΕ εντοπίσθηκαν γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες έως και 90°C σε περιοχές της Μακεδονίας και Θράκης:

- λεκάνη Δυτικής Μακεδονίας (Φλώρινα-Πτολεμαΐδα)
- λεκάνη Αλμωπίας (περιοχή Σωσάνδρας)
- λεκάνη Θεσσαλονίκης (περιοχή Αλεξάνδρειας Ημαθίας)
- λεκάνη Ανθεμούντα Ν. Θεσσαλονίκης με θερμοκρασία νερών 25-40°C
- λεκάνη Μυγδονίας (γεωθερμικά πεδία Λαγκαδά, Νυμφόπετρας, Νέας Απολλωνίας) θερμοκρασία νερών 33-40°C
- Δήμου Τρίγλιας και της χερσονήσου Κασσάνδρας Νότιας Χαλκιδικής με θερμοκρασία νερών στο γεωθερμικό πεδίο Ελαιοχωρίων Χαλκιδικής μέχρι 42°C
- λεκάνη Στρυμόνα (γεωθερμικά πεδία Νιγρίτας, Σιδηροκάστρου, Ηράκλειας, Αγκίστρου, Αχινού - Ιβήρων του Ν. Σερρών) με θερμοκρασία νερών 40-75°C
- του Στρυμονικού κόλπου (πεδίο Ακροποτάμου Ν. Καβάλας)
- του δέλτα του Νέστου (γεωθερμικά πεδία Ερατεινού Χρυσούπολης και Νέου Ερασμίου Ν. Ξάνθης)
- της λεκάνης Ξάνθης- Κομοτηνής (γεωθερμικά πεδία Νέας Κεσσάνης, Λίμνης Μητρικού και Σαππών) με ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 83°C.
- της λεκάνης Αλεξανδρούπολης- Έβρου (γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου) με ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 30-90°C.

ΒΕΒΑΙΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα γνωστά γεωθερμικά πεδία έχουν ταξινομηθεί σε «βεβαιωμένα και πιθανά» (σύμφωνα με το Ν.3175/2013), με σχετικές υπουργικές αποφάσεις:

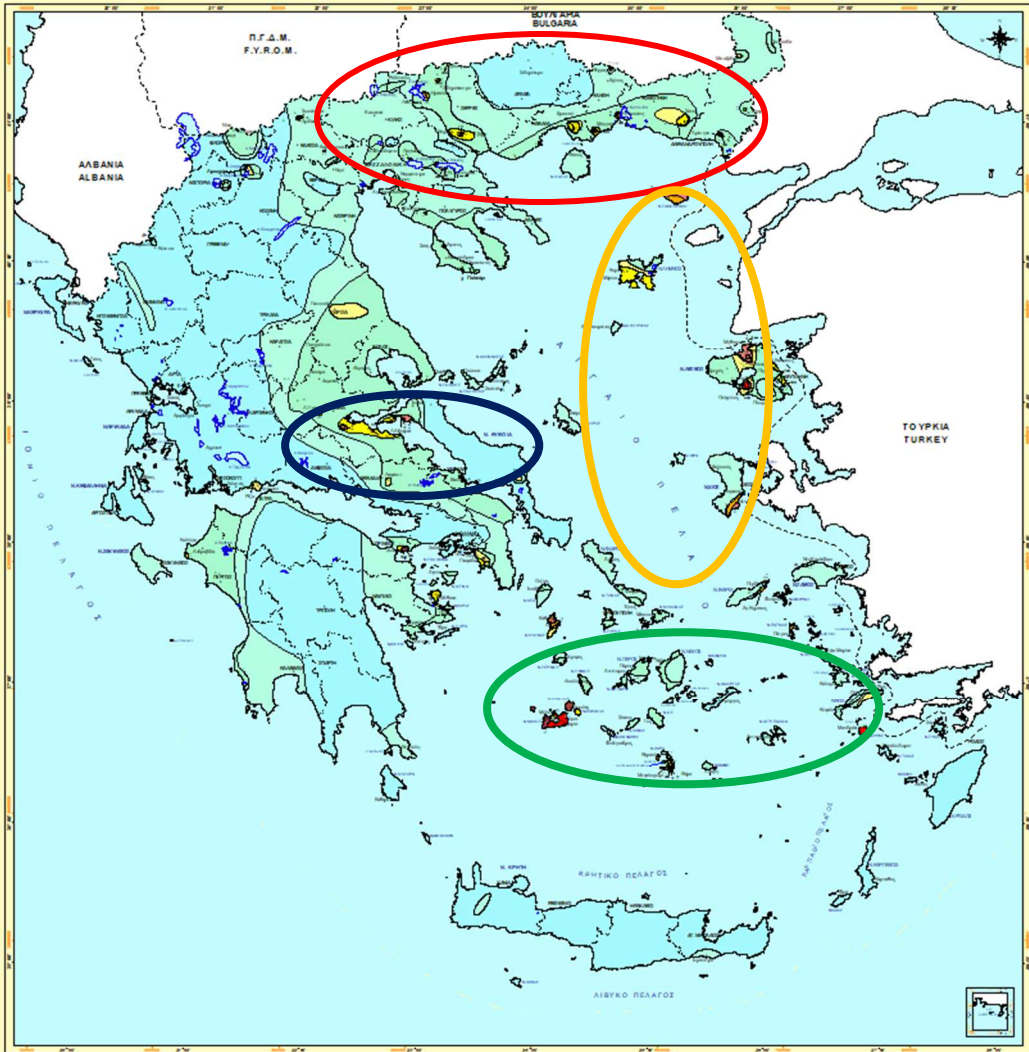
ΦΕΚ 1012/τ.Β'/19-7-2005 &

ΦΕΚ 161/τ.Β'/5-2-2008



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
Δ/ΝΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Χάρτης 1: Κατανομή των χαρακτηρισθέντων γεωθερμικών πεδίων στις διοικητικές περιφέρειες της Μακεδονίας και της Θράκης.



Χάρτης 2: ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Κλίμακα 1:1.000.000

Κόκκινο: Λεκάνες Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης

Πράσινο: ηφαιστειακό τόξο Νοτίου Αιγαίου

Κίτρινο: νησιά Ανατολικού Αιγαίου (Σαμοθράκη, Λήμνος, Λέσβος, Χίος, Ικαρία)

Μπλε: Λεκάνη Σπερχειού

Η Γεωθερμική βαθμίδα εκφράζει την αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της γης καθώς προχωράμε από την επιφάνεια προς το βάθος δηλαδή από τον φλοιό της προς τη λιθόσφαιρα, ασθενόσφαιρα, άνω μανδύα, κάτω μανδύα (θερμοκρασίες 1000-3000°C), εξωτερικό πυρήνα και τέλος εσωτερικό πυρήνα (θερμοκρασίες >4000°C) και γεωθερμική ενέργεια είναι η φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από τον θερμό πυρήνα της προς την επιφάνεια. Η θερμότητα αυτή είναι βασικά απεριόριστη. Πρόκειται για μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που έχει πολλαπλές εφαρμογές χωρίς κανένα κόστος. Η κανονική γεωθερμική βαθμίδα έχει μέση τιμή που ανέρχεται στους 30°C / km ή 0,1K / 30 m. Όταν μιλάμε για υψηλή γεωθερμική βαθμίδα εννοούμε ότι αυτή η τιμή δεν είναι η ίδια καθώς προχωράμε προς το εσωτερικό της γης αλλά υψηλότερες τιμές θερμοκρασίες συναντώνται πιο ψηλά από ότι θα ήταν αναμενόμενο.¹ Οπότε περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον όπως αυτές που θα αναφερθούν στη συνέχεια διαθέτουν γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή.

Η Γεωθερμία ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

- 1) Υψηλής ενθαλπίας** (>150 °C) που χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εντοπίζεται στα νησιά Μήλος, όπου μετρήθηκαν θερμοκρασίες 325°C σε βάθος 1000m, και Νίσυρος όπου μετρήθηκαν θερμοκρασίες 350°C σε βάθος 1500m.
- 2) Μέσης ενθαλπίας** (80 έως 150 °C) και με γεωθερμικά ρευστά 85-175°C, που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων, αλλά και για ηλεκτροπαραγωγή.
- 3) Χαμηλής ενθαλπίας** (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιέργειες και παραγωγή γλυκού νερού (αφαλάτωση). Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Εκτιμάται ότι το συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας ανέρχεται σε 700-800 MWth. Εντοπίζεται στη Λέσβο, Χίο, Λεκάνη Σπερχειού, βόρεια Εύβοια, Μέθανα, Κίμωλο, Κύθνο, Σαντορίνη, Πλατύστομο Φθιώτιδας, Κόνιτσα, Αντίρριο.

¹ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1>

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που εκλύεται από το εσωτερικό της γης και είναι σε απεριόριστες ποσότητες και τεράστια σε μέγεθος. Αυτή η ενέργεια είναι αποθηκευμένη με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού.

Γεωθερμικό πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό. Σε αυτές τις περιοχές οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Ο Ελληνικός χώρος χωρίζεται στα εξής γεωθερμικά πεδία όπως φαίνονται και στον Χάρτη 2 :

- Γεωθερμικό πεδίο Νότιου Αιγαίου-ηφαιστειακό τόξο Αιγαίου που περιλαμβάνει τα νησιά Σαντορίνη, Νίσυρο, Μήλο,
- Βόρειου Αιγαίου [Λέσβος, Χίος, Σαμοθράκη],
- Δυτικής-Κεντρικής Ελλάδας [Φθιώτιδα],
- Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης.

Με τον όρο Γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources) εκφράζονται οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας.

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη, η οποία είναι τεράστια σε μέγεθος και δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα. Συνήθως με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια», εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες (< 3 km).

Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συνήθως περιορισμένη σε μία γεωθερμική περιοχή ή πεδίο (geothermal area ή field) με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια.

Ως γεωθερμική χρήση αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών.

Γεωθερμική βαθμίδα ονομάζεται ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος και η μέση τιμή της είναι 30°C ανά km.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΒΕΒΑΙΩΜΕΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ(m ³ /h)	ΠΙΘΑΝ ΔΥΝΑΜ
Ν.ΚΕΣΣΑΝΗ ΞΑΝΘΗΣ	15	45-80	250-350	
Ν.ΕΡΑΣΜΕΙΟ ΞΑΝΘΗΣ	15	56-65	400	
ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ/ ΕΡΑΤΕΙΟ ΚΑΒΑΛΑΣ	40	70-90	-	
ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟ ΣΕΡΡΩΝ	10	35-67	-	
ΗΡΑΚΛΕΙΑ ΣΕΡΡΩΝ	25	40-62	200	
ΝΙΓΡΙΤΑ ΣΕΡΡΩΝ	16	40-60	400	
ΛΑΓΚΑΔΑΣ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	6	33-40	300	
ΝΥΜΦΟΠΕΤΡΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	2	39-45	200	
Ν.ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	2	34-51	400	
ΕΛΑΙΟΧΩΡΙΑ ΧΑΛ/ΚΗΣ	30	33-42	1000	
ΣΤΥΨΗ/ΚΑΛΛΟΝΗ ΛΕΣΒΟΥ	10	42-67	30	
ΠΟΛΥΧΝΙΤΟΣ ΛΕΣΒΟΥ	10	67-92	400	
ΑΡΓΕΝΝΟΣ ΛΕΣΒΟΥ	-	86	800	
ΣΟΥΣΑΚΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	8	50-80	450	
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	10	25-70	-	
ΜΗΛΟΣ	50	30-80	200	
ΝΙΣΗΡΟΣ	-	25-95	100	

Περιοχές αυξημένης θερμικής ροής:

- ✓ Ηφαιστειακό τόξο Νοτίου Αιγαίου (Μέθανα, Σουσάκι, Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Κως),
- ✓ Λεκάνες Ανατ. Μακεδονίας - Θράκης (Λ. Στρυμόνα, Δέλτα Νέστου, Ξάνθης - Κομοτηνής, Έβρου)
- ✓ Λεκάνη Σπερχειού
- ✓ Νησιά Ανατολικού Αιγαίου: Σαμοθράκη, Λήμνος, Λέσβος, Χίος, Ικαρία.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗ

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΕΚΤΑΣΗ km^2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΕΜΙΕΥΤΗΡΑ °C	ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ m	ΠΑΡΟΧΗ m^3/h
ΑΓΓΙΣΤΡΟ ΣΕΡΡΩΝ	1,5	40-48	100-300	80
ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟ ΣΕΡΡΩΝ	4	40-75	30-500	200
ΛΙΘΟΤΟΠΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ	45	40-62	300-450	-
ΘΕΡΜΑ ΝΙΓΡΙΤΑΣ ΣΕΡΡΩΝ	10	40-64	70-500	1000
ΛΑΓΚΑΔΑΣ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	6	33-40	<210	300
ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	13	25-40	>100	15
ΕΛΑΙΟΧΩΡΙΑ ΧΑΛ/ΚΗΣ	25	42	250	-
ΣΑΝΗ-ΑΦΥΤΟΣ ΚΑΣΣΑΝΔΡΑΣ	5	35-45	500	100
ΑΡΙΣΤΗΝΟ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ	20	30-90	150-450	200
ΣΑΠΠΕΣ ΡΟΔΟΠΗΣ	9	30-40	50-380	100
ΛΙΜΝΗ ΜΗΤΡΙΚΟΥ	7	30-40	350-500	-
Ν.ΚΕΣΣΑΝΗ ΞΑΝΘΗΣ	25	40-83	160-500	>300
Ν.ΕΡΑΣΜΙΟ-ΜΑΓΓΑΝΑ ΞΑΝΘΗΣ	16	27-68	350-500	250
ΕΡΑΤΕΙΝΟ ΚΑΒΑΛΑΣ	14	65-70	650	300
ΑΚΡΟΠΟΤΑΜΟΣ ΚΑΒΑΛΑΣ	6,9	45-90	100-185 240-515	415

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

ΥΠΑΡΞΗ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Ο Ελληνικός χώρος για να μελετηθεί εκτενώς χωρίστηκε από ερευνητές γεωλόγους σε γεωτεκτονικές ζώνες ή "Ελληνίδες ζώνες" που η κάθε μία παρουσιάζει τα δικά της χαρακτηριστικά στον τρόπο προέλευσης και δημιουργίας των πετρωμάτων της, προσανατολισμό στο χώρο, γεωλογικά όρια με τις υπόλοιπες ζώνες, τεκτονική και μεταμόρφωση. Οι Ελληνίδες ζώνες χωρίζονται από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά στην ενδοχώρα, εσωτερικές και εξωτερικές ελληνίδες. Το όριο μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών ελληνίδων είναι η οφιολιθική ζώνη συρραφής στη



ζώνη Πίνδου η οποία εκτείνεται κατά μήκος της ελληνικής χερσονήσου από την ΒΔ Μακεδονία μέχρι την κεντρική Κρήτη.²

² Δημοσθένης Μ. Μουντράκης- Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας

1) Μάζα Ροδόπης

2) Μάζα Σερβομακεδονικής

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ

3) Περιφοδοπική ζώνη

4) Ζώνη Αξιού

5) Πελαγονική ζώνη

6) Αττικοκυκλαδική ζώνη

7) Υποπελαγονική ζώνη

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ

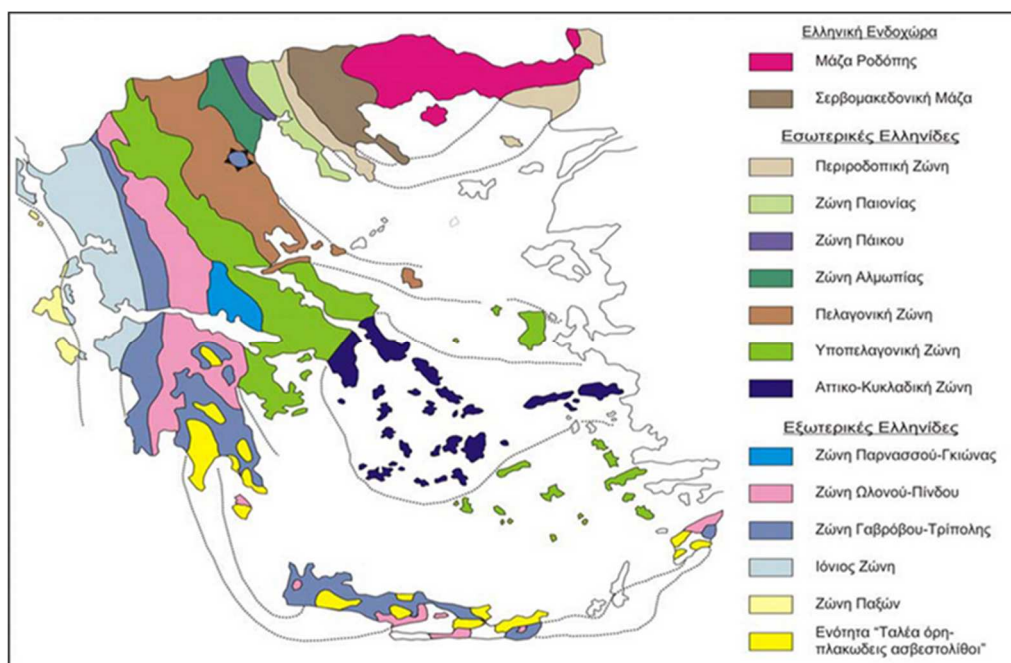
8) Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας

9) Ζώνη Ωλονού -Πίνδου

10) Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης

11) Αττικο-κυκλαδική ζώνη

12) Ζώνη Παξών



Χάρτης 3 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών

Στην παρούσα εργασία το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στη μάζα της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής που ανήκουν στην Ελληνική ενδοχώρα. Αυτές οι ζώνες παρουσιάζουν **γεωθερμικά πεδία και κοιτάσματα υδρογονανθράκων** και βρίσκονται στην Βόρεια Ανατολική Ελλάδα. Και οι δύο ζώνες θεωρούνται ότι αποτελούνται από ηπειρωτικό φλοιό καθώς το υπόβαθρό τους περιέχει κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα.³ Τα όρια της Ροδόπης είναι από τα

³ Δημοσθένης Μουντράκης -Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας

Ανατολικά με τη Νότια Βουλγαρία και από τα Δυτικά με την γραμμή του Στρυμόνα ποταμού. Η Σερβομακεδονική μάζα θεωρείται ότι εφφιπτεύει την μάζα της Ροδόπης και τα όριά της από τα Ανατολικά είναι με τη μάζα Ροδόπης ενώ από τα Δυτικά με την Περιροδοπική ζώνη. Ο διαχωρισμός των δύο αυτών ζωνών θεωρείται ότι έγινε κατά την Τριτογενή εφελκυστική τεκτονική η οποία δημιούργησε και τη λεκάνη του Στρυμόνα μεταξύ τους. Αυτή η εφελκυστική τεκτονική προκάλεσε μια σημαντική Νότιο-Δυτική κίνηση, με ένα μεγάλο ρήγμα αποκόλλησης που δημιούργησε την γραμμή του Στρυμόνα. Στο Τριτογενές υπήρχε μια εκτεταμένη εκτατική τεκτονική η οποία προκάλεσε πολλές ζώνες διάτμησης με κίνηση προς τα ΒΑ και τα ΝΔ, και στη συνέχεια στην περίοδο του Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου μετατράπηκε σε θραυσιγενή τεκτονική η οποία με τη σειρά της προκάλεσε, με κανονικά ρήγματα, τις διάφορες λεκάνες που υπάρχουν μέσα στο χώρο της Ροδοπικής μάζας. Κλειστές λεκάνες μέσα στο χώρο της Ροδόπης με γεωθερμικό ενδιαφέρον είναι από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά: Ο Στρυμονικός κόλπος, η λεκάνη του Πρίνου, η λεκάνη του Νέστου , η περιοχή της Νέας Κεσσάνης, η λεκάνη της Ξάνθης, οι λεκάνες Κομοτηνής και Αλεξανδρούπολης⁴. Μέσα σε αυτές τις λεκάνες έχει γίνει εκτεταμένη γεωθερμική έρευνα η οποία έχει αποδείξει ότι υπάρχει ανυψωμένη τοπική ροή θερμότητας και πεδία με χαμηλή ενθαλπία. Κάποια πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία βρίσκονται στη λεκάνη του Στρυμόνα και η γεωθερμική ανωμαλία υπάρχει κυρίως λόγω της ύπαρξης βαθέων συστημάτων ρηγμάτων.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

1. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Για να αναλύσουμε τί είναι οι διαπερατοί σχηματισμοί, θα πρέπει να ανατρέξουμε στη γένεση και προέλευση των υδρογονανθράκων, καθώς αποτελούν το πέτρωμα στο οποίο μπορούν να φιλοξενηθούν οι υδρογονάνθρακες.

⁴ geothermal exploration in Greece -D.Mendrinou,O.Polizou, C.Karytsas

Εντός των ιζηματογενών λεκανών αποτέθηκαν στο παρελθόν οργανικά ιζήματα- οργανικές πρώτες ύλες (θαλάσσια φυτά, πλαγκτόν και άλλοι ζώντες οργανισμοί). Το περιβάλλον που θα λάβουν χώρα οι διαδικασίες είναι ποικίλο όπως λιμναίο, παράκτιες λεκάνες, δελταϊκά περιβάλλοντα και ηπειρωτικά περιθώρια. Τα λείψανα αυτών των οργανισμών παρασύρθηκαν από θαλάσσια ρεύματα ή ανέμους και συγκεντρώθηκαν μέσα σε ιζηματογενείς λεκάνες. Αυτή η οργανική ύλη είναι διάφορης σύστασης καθώς προέρχεται από διαφορετικούς τύπους οργανισμών και θα δώσει διαφορετικούς τύπους υδρογονάνθρακες. Αυτά τα ιζήματα στη συνέχεια χρειάζεται να σκεπαστούν από μεγάλες ποσότητες ιζημάτων ώστε να αυξηθεί η πίεση και να υποστούν την δράση αναερόβιων βακτηρίων κάτω από την έλλειψη οξυγόνου που θα τα αποικοδομήσει-αποσυνθέσει ώστε να δώσει τις πρώιμες μορφές των υδρογονανθράκων. Αυτές οι ενώσεις χρειάζονται θερμοκρασία άνω των 250°C για να αποσυντεθούν. Ο σχηματισμός πετρελαίου προϋποθέτει την «**ωρίμανση**» της αργίλου πλούσιας σε οργανική ύλη που συσσωρεύτηκε με την επίδραση της πίεσης και της θερμοκρασίας. Το πέτρωμα από το οποίο προκύπτουν οι υδρογονάνθρακες ενός κοιτάσματος ονομάζεται **μητρικό πέτρωμα-source rock**. Από τις πιο σημαντικές διεργασίες που πρέπει να γίνουν αμέσως μετά την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης είναι η θερμική ωρίμανσή της και ο χρόνος ωρίμανσής της κατά τη διάρκεια της διαγένεσης (*Εικόνα 1*). Αυτό το στάδιο εξέλιξης ολοκληρώνεται όταν σταματήσουν να αποβάλλονται υγρά οξέα. Αυτά συνδέονται άρρηκτα με την προσφορά θερμοκρασίας σε αυτό το σύστημα και εδώ είναι που τα γεωθερμικά πεδία παίζουν σημαντικό ρόλο.

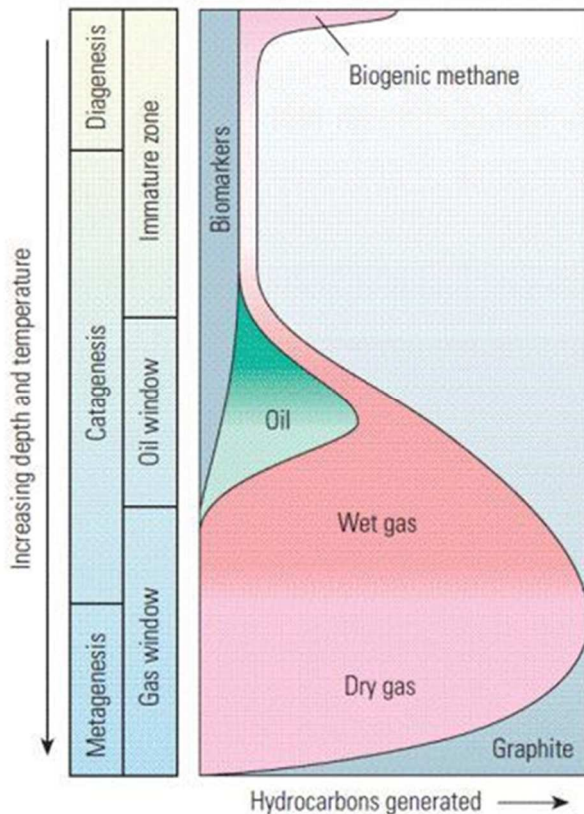
Αφού κύρια γεννάται το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, τμήμα του κηρογόνου θα μετασχηματιστεί σε υδρογονάνθρακες μέσα στα μητρικά πετρώματα, μέσω του επόμενου σταδίου εξέλιξης, της καταγένεσης. Ακόμα, οι άνθρακες μετατρέπονται σε πισσώδες σκληρό κάρβουνο το οποίο απελευθερώνει πετρέλαιο και αέριο. Στο επόμενο και τελευταίο στάδιο εξέλιξης, στην μεταγένεση, τόσο το μητρικό πέτρωμα όσο και το σκληρό κάρβουνο απελευθερώνουν κυρίως αέρια. Η κίνηση του πετρελαίου και του αερίου, λόγω αλλαγής πίεσης, προς τα γειτονικά πετρώματα γίνεται με μια διαδικασία που ονομάζεται μετανάστευση. Οπότε, το οργανικό υλικό που είναι θαμμένο κάτω από

τα ιζήματα βρίσκεται με την αδιάλυτη μορφή γνωστή ως κηρογόνο. Το πετρέλαιο θα παραχθεί όταν το κηρογόνο θα διασπαστεί λόγω αύξησης της θερμοκρασίας.

2. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Η θερμοκρασία του ταμιευτήρα αναμένεται να είναι σε συμφωνία με την τοπική γεωθερμική βαθμίδα, η οποία σε πολλές πετρελαιοφόρες λεκάνες είναι περίπου 1,6o F/100ft. Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα τόσο των πετρωμάτων του ταμιευτήρα όσο και των υπερκείμενων πετρωμάτων, σε συνδυασμό με τις τεράστιες επιφάνειες για μεταφορά θερμότητας μέσα στον ταμιευτήρα, οδηγούν στη λογική υπόθεση της επικράτησης ισοθερμοκρασιακών συνθηκών για όλες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στον ταμιευτήρα. Αυτό αποτελεί μόνιμη και βασική υπόθεση στη μηχανική των ταμιευτήρων. Το θερμοκρασιακό προφίλ από την επιφάνεια ως τον ταμιευτήρα είναι ενδεικτικό της διαφοροποίησης στις ιδιότητες των πετρωμάτων και λαμβάνεται συνήθως με ειδικά θερμόμετρα κατά τις ενδοσκοπικές καταγραφές (Loggings).⁵ Η τοπική γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να εμφανίσει αποκλίσεις σε μικρή απόσταση από τα πηγάδια λόγω των γεωτρητικών εργασιών και της κυκλοφορίας των ρευστών διάτρησης. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα διαδοχικών καταγραφών σε συγκεκριμένο βάθος υπόκεινται σε μαθηματική ανάλυση από όπου προκύπτει ένδειξη της πραγματικής θερμοκρασιακής βαθμίδας. Όταν η θερμοκρασία αναπαρίσταται με ευθεία γραμμή από την επιφάνεια ως το βάθος του ταμιευτήρα, πρέπει να ενσωματώνει τη διόρθωση σε σχέση με τη θερμοκρασία του νερού προκειμένου για υποθαλάσσια κοιτάσματα.

⁵ file:///C:/Users/love_/Downloads/Mihaniki%20Petreleon_Simeioseis_Kefalaio%202%20(1).pdf



Εικόνα 1 Δημιουργία υδρογονανθράκων σε συνθήκες κανονικής γεωθερμικής βαθμίδας, Γενικό διάγραμμα του σχηματισμού υδρογονανθράκων που προκύπτει από τον ενταφιασμό του μητρικού πετρώματος. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του σχηματισμού, καθώς προχωράει ο ενταφιασμός, το στάδιο ανωριμότητας διαδέχεται τα στάδια δημιουργίας πετρελαίου, διάσπασης πετρελαίου (στάδιο υγρού αερίου) και τελικά την δημιουργία ξηρού αερίου.⁶

3. ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ

Η διαδικασία της μετανάστευσης γίνεται σε δύο στάδια, ένα όταν οι υδρογονάνθρακες εξέρχονται από το μητρικό πέτρωμα και στη συνέχεια μέσω ενός περατού συστήματος που οδηγεί τους υδρογονάνθρακες στην επιφάνεια είτε σε κάποια δομή παγίδευσης (παγίδα-trap). Η μετανάστευση στο περατό σύστημα πραγματοποιείται λόγω της διαφοράς πυκνότητας των ρευστών. Το πρώτο στάδιο της μετανάστευσης από το μητρικό πέτρωμα προς έναν πιο διαπερατό σχηματισμό διαμέσου μικροδομών, που δικαιολογείται από την απελευθέρωση της υπερπίεσης, ονομάζεται πρωτογενής μετανάστευση. Η αιτία της υπερπίεσης στο μητρικό πέτρωμα, μπορεί να είναι ο συνδυασμός της γένεσης πετρελαίου και αερίων, η διαστολή των ρευστών σε αυξημένες θερμοκρασίες, η συμπύκνωση των μεμονωμένων μονάδων μητρικού πετρώματος, η απελευθέρωση του νερού σε αφυδατωμένα αργιλικά ορυκτά. Επιπλέον, η αύξηση της πίεσης των πόρων στο μητρικό πέτρωμα αιτιολογείται από την μετατροπή του κηρογόνου σε πετρέλαιο. Η υπερπίεση

⁶ Tissot and Welte, 1978.

μπορεί να προκαλέσει μικροσπασίματα μέσω των οποίων απελευθερώνεται η πίεση. Τα ρήγματα, διακλάσεις, επιτρέπουν την μετανάστευση του πετρελαίου έξω από το μητρικό πέτρωμα και μέσα σε γειτονικά στρώματα μεταφοράς, από τα οποία ξεκινάει η δευτερογενής μετανάστευση. Η πρωταρχική μετανάστευση μπορεί να λάβει χώρα τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω, έξω από τα μητρικά πετρώματα, καθώς επηρεάζεται από τοπικές βαθμίδες πίεσης. Το επόμενο στάδιο, μέσα στον πορώδη σχηματισμό σε ανώτερους τοπογραφικά σχηματισμούς (οι υδρογονάνθρακες κινούνται μέσα σε ρηγματογενείς ζώνες-ρήγματα) μέχρι να φτάσουν σε δομές παγίδευσης ονομάζεται δευτερογενής μετανάστευση. Η δευτερογενής μετανάστευση εμφανίζεται με τη μορφή πολυφασικών ροών, δηλαδή με την μορφή σταγόνων πετρελαίου ή φυσαλίδων αερίου στο νερό των πόρων που τείνουν να κινηθούν προς τα πάνω λόγω της πλευστότητας ή οδηγούμενες από υδροδυναμικές συνθήκες. Τα τελευταία σημεία της δευτερογενούς μετανάστευσης είναι οι παγίδες ή οι εκροές στην επιφάνεια. Εάν μια παγίδα διαμελιστεί κάποια στιγμή τότε το πετρέλαιο που είχε συγκεντρωθεί σε αυτήν μεταναστεύει εκ νέου είτε μέσα σε άλλες παγίδες ή εκρέει στην επιφάνεια. Οι ζώνες ρηγμάτων μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σαν αγωγοί όσο και σαν φραγμοί στην δευτερογενή μετανάστευση. Αυτό εξαρτάται από το υλικό που έσπασε λόγω της τριβής από την κίνηση του ρήγματος που αν είναι στεγανό δεν επιτρέπει την διέλευση του πετρελαίου. Επίσης, οι διακλάσεις είτε σε πεσμένο είτε σε ανεβασμένο τέμαχος αν παραμείνουν ανοιχτές αποτελούν διόδους μετανάστευσης (Zelilidis, 1995).

Όταν συναντήσουν διαπερατούς και πορώδεις σχηματισμούς, όπως ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ιλιόλιθους ή πηλόλιθους, ή ανθρακικά πετρώματα όπως ασβεστόλιθοι και δολομίτες, τότε μπορούν να κινούνται και να ρέουν μέσα σε αυτούς τους σχηματισμούς και να συσσωρεύονται δημιουργώντας κοιτάσματα υδρογονανθράκων. Αυτά τα πετρώματα είναι πορώδη και τα ονομάζουμε **ταμιευτήρες υδρογονανθράκων** ή αλλιώς **reservoirs**. Ως 'κοίτασμα' ορίζεται μια συγκέντρωση υδρογονανθράκων σε πορώδη, περατά, ιζηματογενή πετρώματα. Πάνω από τους ταμιευτήρες είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει ένα πέτρωμα αδιαπέρατο (όπως άργιλοι, αργιλικοί

σχιστόλιθοι) ώστε να μην μπορούν να διαφεύγουν οι υδρογονάνθρακες. Αυτό το πέτρωμα το ονομάζουμε **πέτρωμα-κάλυμμα-seal**.⁷

4. ΥΠΑΡΞΗ ΔΟΜΩΝ ΠΑΓΙΔΕΥΣΗΣ

Πολύ σημαντική δομή για την λειτουργία της πετρελαϊκής γένεσης είναι η παρουσία των παγίδων [traps]. Η παγίδα αντικατοπτρίζει τη θέση ενός επιφανειακού εμποδίου στη μετανάστευση του πετρελαίου προς την επιφάνεια της γης που οδηγεί σε τοπική συγκέντρωση του πετρελαίου. Οι παγίδες ταξινομούνται σε α) δομικές β) στρωματογραφικές και γ) υδροδυναμικές (Εικόνα 3).

Οι δομικές παγίδες σχηματίζονται από τεκτονικές και διαπυρικές διαδικασίες. Στις δομικές παγίδες ανήκουν σχηματισμοί όπως τα αντίκλινα, οι αλατούχοι δόμοι και οι διαπυρικές δομές. Οι στρωματογραφικές παγίδες κληρονομήθηκαν από πρωτογενή αποθετική μορφολογία, ή από τις ασυνέχειες μέσα στη λεκάνη πλήρωσης, ή από μεταγενέστερες διαγενετικές επιδράσεις. Παραδείγματα στρωματογραφικών παγίδων είναι τα ποτάμια κανάλια, τα φραγματικά αναχώματα-φραγμοί, τα υποθαλάσσια ριπίδια, οι ανθρακικοί ύφαλοι κ.α. Υδροδυναμικές παγίδες που σχηματίστηκαν από την κίνηση των εσωτερικά ευρισκόμενων ρευστών διαμέσου της λεκάνης, είναι γενικά σπάνιες σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά είναι πάντως σημαντικές σε μερικές λεκάνες προχώρας. Μία μονωτήρια παγίδα ιδανικής γεωμετρίας για να είναι πετρελαϊκή παγίδα χρειάζεται ο χρόνος της ανάπτυξής της να θεωρείται σύγχρονος. Έτσι, η κατανόηση της ιστορίας ανάπτυξης των ανεξάρτητων παγίδων, μαζί με την ιστορία ταφής και θέρμανσης της λεκάνης, είναι βασική για την ανάπτυξη πιθανών πετρελαϊκών κοιτασμάτων⁸.

⁷ Γεωργακόπουλος- Σημειώσεις Κοιτασματολογίας πετρελαίου

⁸ Zelilidis, 1995

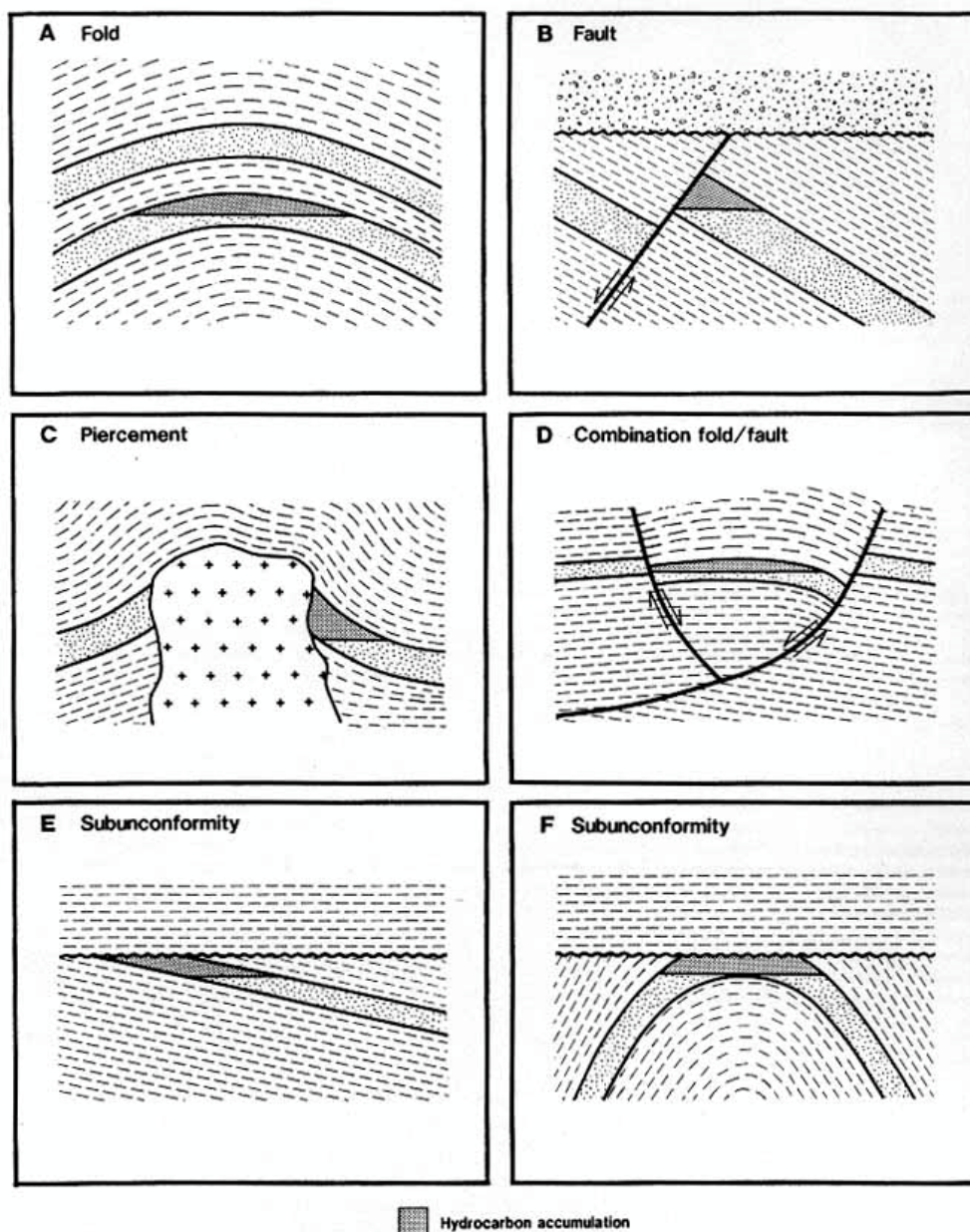
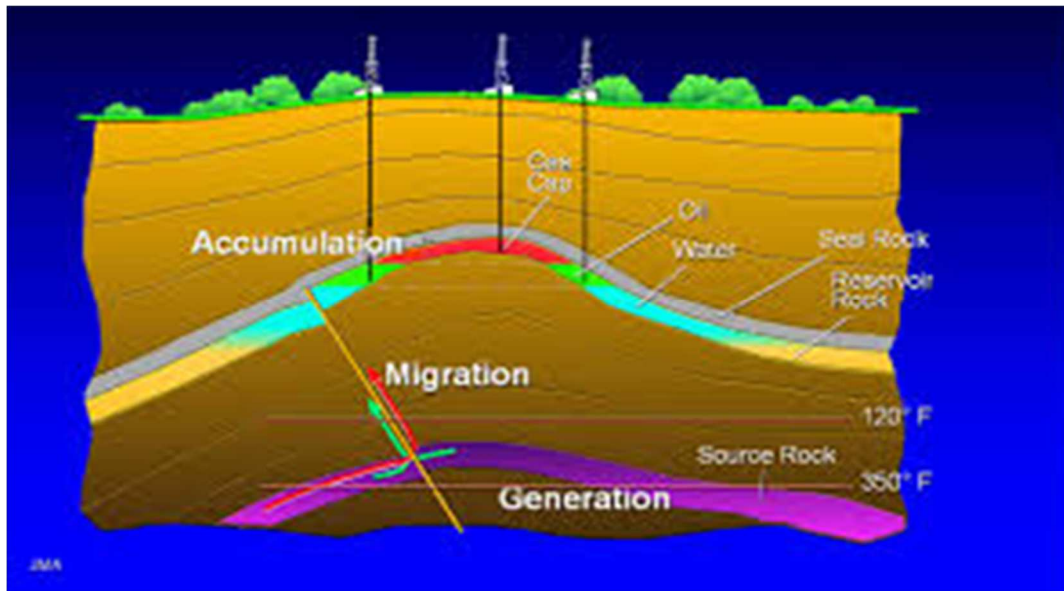


Figure 13.3. Major categories of structural traps: (A) fold, (B) fault, (C) piercement, (D) combination fold–fault, (E) and (F) subunconformities. The situation in (E) is commonly excluded from the structural category.

Εικόνα 2 Ταξινόμηση παγίδων

Τα παραπάνω συνοψίζονται με τον όρο «**πετρελαϊκά συστήματα**» τα οποία συνδέονται με τις θεμελιώδεις προϋποθέσεις που χρειάζονται για τη δημιουργία κοιτασμάτων υδρογονανθράκων σε μια περιοχή. Αυτές είναι η ύπαρξη μητρικών πετρωμάτων που γεννούν τους υδρογονάνθρακες μετά από συγκεκριμένες διεργασίες σε βάθος χρόνου, πετρώματα ταμιευτήρες όπου μέσα σε αυτούς

αποθηκεύονται οι υδρογονάνθρακες, πέτρωμα κάλυμμα που προστατεύει και περιορίζει τους υδρογονάνθρακες να μην μεταναστεύσουν σε άλλα πετρώματα, στρωματογραφικές-τεκτονικές (αντίκλινα, ρήγματα) παγίδες που συγκεντρώνουν τους υδρογονάνθρακες.



Εικόνα 3 σχήμα που δείχνει το πετρελαϊκό σύστημα

5. ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ

Ένα μητρικό πέτρωμα με ισχνή πετρελαϊκή τάση δεν μπορεί να παράξει επαρκείς ποσότητες υδρογονανθράκων ώστε να προκαλέσουν μικροσπασίματα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, δεν παρατηρούνται 'αποβολές' πετρελαίου. Σε υψηλότερο βαθμό ωρίμανσης, το πετρέλαιο διασπάται σε αέριο και αέρια συμπυκνώματα που αποβάλλονται λόγω υπερπίεσης.

Στο πρώτο στάδιο ωριμότητας (150-180°C) έχουμε πρώιμη ωρίμανση μόνο στα στρώματα του κατώτερου τμήματος της ακολουθίας από όπου μπορεί να ξεκινήσει η γένεση και η αποβολή βαρέως πετρελαίου.

Στο δεύτερο στάδιο, κατά το οποίο αυξάνεται το βάθος ταφής, τα περισσότερα στρώματα της ακολουθίας έχουν φτάσει σε πρώιμο –ενδιάμεσο ή τελευταίο στάδιο ωρίμανσης και μπορούν να αποδώσουν βαρύ και ελαφρύ πετρέλαιο καθώς και συμπυκνώματα. Το σχετικά βαρύ πετρέλαιο βασικά συντίθεται από μόρια με 15 και περισσότερα άτομα C (C15+ υδρογονάνθρακες), όπως

παραφίνες και αρωματικές ενώσεις. Στους 150-220°C παράγεται ξηρό αέριο ενώ στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης, τμήμα των μεγάλων οργανικών μορίων σπάζουν για να σχηματίσουν ελαφρούς υδρογονάνθρακες του κλάσματος C2-7 (υγρό αέριο) και μεθάνιο (ξηρό αέριο).⁹

Ειδικότερα, η πρώτη απαίτηση για την γένεση πετρελαίου είναι να υπάρχει φόρτιση σε οργανική ύλη. Ένα πετρελαϊκό σύστημα προϋποθέτει την παρουσία μητρικών πετρωμάτων, θερμικά ώριμων, τα οποία είναι ικανά για παραγωγή και 'αποβολή πετρελαίου' μέσα σε πορώδη πετρώματα-ταμιευτήρες καθώς και μία 'δίοδο' μετανάστευσης των ρευστών αυτών μέχρι τις θέσεις συγκέντρωσης (παγίδες). Το πετρέλαιο θα τείνει να κινηθεί στην πραγματική διεύθυνση κλίσης της οροφής του στρώματος μεταφοράς ή κατά μήκος των υβωμάτων όπου υπάρχουν.¹⁰ Οι εβαπορίτες, συμπεριφέρονται ως ένα εξαιρετικής ποιότητας πέτρωμα κάλυμμα που παγιδεύει αποτελεσματικά τους υδρογονάνθρακες που δημιουργούνται μέσα στα προ-εβαποριτικά ιζήματα της περιοχής μελέτης. Παγίδες υδρογονανθράκων μπορεί να προκύψουν από ένα σύστημα ρηγμάτων, από διείδυση δόμου άλατος ή από άλλες τεκτονικές ή στρωματογραφικές αιτίες. Ως μητρικά πετρώματα ορίζονται τα λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία περικλείουν σημαντικό ποσοστό οργανικής ύλης και μπορούν να απελευθερώσουν υδρογονάνθρακες, ώστε να σχηματιστεί αξιοσημείωτη συγκέντρωση από πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, δηλαδή κοίτασμα¹¹. Τα μητρικά πετρώματα είναι ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικό, προερχόμενο από φωτοσυντιθέμενα θαλάσσια ή λιμναία φύκη και χερσαία φυτά τα οποία περιέχουν χημικά συστατικά, γνωστά σαν λιπίδια. Τα λιπίδια διατηρούνται όταν τα ιζήματα έχουν αποτεθεί κάτω από ανοξικές συνθήκες. Το οργανικό υλικό εκτός από τα λιπίδια αποτελείται επίσης από ένυδρους υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιγνίνη. Από αυτά, κυρίως τα λιπίδια και η λιγνίνη είναι ανθεκτικά και έχουν την δυνατότητα να ταφούν και να ενσωματωθούν στα ιζήματα. Το οργανικό υλικό των μητρικών πετρωμάτων υποδιαιρείται σε δύο ομάδες που είναι: 1) Το Βιτουμένιο (Bitumen) όπου το οργανικό υλικό είναι διαλυτό σε οργανικούς διαλύτες και αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος του συνολικού οργανικού υλικού (TOC) και 2) το

⁹ Zelilidis, 1995- Engineering Geology and the Environment

¹¹ (Brooks et al., 1987)

Κηρογόνο (Kerogen) όπου το οργανικό υλικό είναι αδιάλυτο σε οργανικούς διαλύτες, σε μη οξειδωνόμενα μεταλλικά οξέα και υδατικά οργανικά διαλύματα. Το Κηρογόνο αντικατοπτρίζει πάντα τον όγκο του συνολικού οργανικού υλικού (TOC – total organic carbon). Τα μητρικά πετρώματα σχηματίζονται σε ιζηματογενή περιβάλλοντα όπου επικρατούν ανοξικές συνθήκες¹². Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την απόθεση των μητρικών πετρωμάτων είναι ο χρόνος μεταφοράς του οργανικού υλικού μέσω της στήλης του νερού από την ευφωτική ζώνη μέχρι τον πυθμένα της θάλασσας, την κοκκομετρία των ιζημάτων καθώς και το ρυθμό ιζηματογένεσης.

Οι ανοξικές / αναερόβιες συνθήκες είναι απαραίτητες για τη διατήρηση του οργανικού υλικού στα ιζήματα. Αυτό σημαίνει ότι τα μητρικά πετρώματα κατά κανόνα αναμένεται να αναπτύσσονται κάτω από ανοξικές συνθήκες παρ'όλο που σε εξαιρετικές περιστάσεις μπορούν να έχουν αποτεθεί και κάτω από οξειδωτικές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, οι ανοξικές συνθήκες εμποδίζουν την αποικοδόμηση του νεκρού οργανικού υλικού από τα βακτήρια¹³. Οι ανοξικές συνθήκες λοιπόν σηματοδοτούν ότι το διαθέσιμο οξυγόνο είναι ανεπαρκές για τις βιολογικές διαδικασίες των οργανισμών που ζουν στο περιβάλλον απόθεσης. Παρ'όλο που η κρίσιμη συγκέντρωση οξυγόνου διαφέρει ανάλογα με τους παραπάνω οργανισμούς, μία αναλογία 0,5ml / l είναι συνήθως το όριο του οξειδωτικού /ανοξικού επιπέδου. Τα ανθρακικά ιζήματα που περιέχουν τουλάχιστον 0,3-0,6 % οργανικού άνθρακα και οι σχίστες με 0,5-1 % οργανικού άνθρακα μπορούν να θεωρηθούν σαν μητρικά πετρώματα. Τα κατώτερα όρια οργανικού άνθρακα εξαρτώνται από τον τύπο Κηρογόνου που είναι παρών σε αυτά τα πετρώματα. Για πλούσια μητρικά πετρώματα (>5kg / t) η απόδοση σε πετρέλαιο μπορεί να είναι πολύ υψηλή (60-90%)³⁴.

Σε ρηχά βάθη ταφής μερικών εκατοντάδων μέτρων το Κηρογόνο παραμένει σχετικά σταθερό. Όμως, σε μεγαλύτερα βάθη ταφής, κάτω από συνθήκες υψηλότερων θερμοκρασιών και πιέσεων,

¹² Zelilidis, 1995 Engineering Geology and the Environment, Τόμος 1

¹³ Zelilidis, 2009, Sedimentary Processes, Environments and Basins

γίνεται ασταθές και επαναδιευθετείται η δομή του με σκοπό να διατηρηθεί η θερμοκρασιακή του ισορροπία. Καθώς η δομή του Κηρογόνου τείνει να φτάσει αυτή της υψηλότερης τάξης, αυτής του γραφίτη, δημιουργούνται όλες οι ενώσεις του πετρελαίου καθώς και όλα τα υπόλοιπα συνοδά ρευστά (ετεροατομικά συστατικά, υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, νερό). Η γένεση του πετρελαίου είναι επομένως ένα φυσικό επακόλουθο της προσαρμογής του Κηρογόνου στις συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης. Αφού ταφεί και καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία το οργανικό υλικό υφίσταται μια σειρά από γεωχημικές αντιδράσεις που μετατρέπουν τα συστατικά του από 'βιοπολυμερή' σε 'γεωπολυμερή'. Σαν αποτέλεσμα των διαφορετικών βιοχημικών, χημικών και φυσικοχημικών διεργασιών, τα αρχικά οργανικά συστατικά μετασχηματίζονται σε αδιάλυτο Κηρογόνο. Αυτό το πρώτο στάδιο εξέλιξης ονομάζεται διαγένεση και ολοκληρώνεται όταν σταματήσουν να αποβάλλονται τα υγρά οξέα. Στη συνέχεια, στη ζώνη της καταγένεσης όπου κύρια γεννάται το πετρέλαιο και το αέριο, τμήμα του κηρογόνου μετατρέπεται σε υδρογονάνθρακες. Στην ζώνη της μεταγένεσης, το μητρικό πέτρωμα απελευθερώνει κυρίως αέριο. (Εικόνα 1 Tissot and Welte, 1978). Ένα πέτρωμα ταμειυτήρας πρέπει να είναι αρκετά πορώδες, και οι πόροι του πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους σε ικανοποιητικό βαθμό, έτσι ώστε να επιτρέπεται στα περιεχόμενα ρευστά, να ρέουν διαμέσου του πετρώματος και να διευκολύνουν την εξόρυξη των υδρογονανθράκων από τη γεώτρηση. Στην λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας που φιλοξενούνται οι ελληνικοί υδρογονάνθρακες ως ταμειυτήρας λειτουργεί ένας τουρβιδιτικός ψαμμίτης με αδιαπέρατο κάλυμμα εβαποριτών και η αρχική του θερμοκρασία ήταν 95°C.

ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΤΡΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ: Η ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Οι περιοχές στις οποίες το οργανικό υλικό είναι άφθονο είναι εκείνες με έντονη παρουσία ζωής. Για παράδειγμα, στο θαλάσσιο και λιμναίο βυθό, στα στάσιμα και αναγωγικού χαρακτήρα νερά, όταν το μορφολογικό ανάγλυφο βυθίζεται γρήγορα και υπάρχει έλλειψη βακτηριακής δράσης το οργανικό υλικό αφθονεί. Η γεωχημική ανάλυση του πετρελαίου αλλά και του μητρικού πετρώματος

είναι κρίσιμης σπουδαιότητας για την κατανόηση αφενός της απόθεσης και ωρίμανσης του μητρικού πετρώματος και αφετέρου της μετανάστευσης και παγίδευσης του πετρελαίου. Η γεωχημική ανάλυση του πετρελαίου παρέχει τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες τόσο για την περιγραφή του διαχωρισμού του ταμιευτήρα όσο και για την κατανόηση της διαγενετικής ιστορίας του μητρικού πετρώματος ενώ η γεωχημική ανάλυση του μητρικού πετρώματος χρησιμοποιείται για τους ίδιους σχεδόν λόγους με την πετρογραφική ανάλυση. Για τον προσδιορισμό δηλαδή παραμέτρων όπως η προέλευση και η ιστορία διαγένεσης του μητρικού πετρώματος. Το μητρικό πέτρωμα είναι ένας ιζηματογενής σχηματισμός που περιέχει ικανοποιητική ποσότητα οργανικού υλικού έτσι ώστε όταν ταφεί και θερμανθεί να παράγει πετρέλαιο και/ή φυσικό αέριο. Οι υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού παρατηρούνται σε ιζήματα που αποτίθενται σε περιοχές με στάσιμα νερά και υψηλή παραγωγικότητα οργανικού υλικού. Τα περιβάλλοντα αυτά, της υψηλής παραγωγικότητας, περιλαμβάνουν τα έλη, τις ρηχές θάλασσες και τις λίμνες. Ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος του νεκρού οργανικού υλικού που παράχθηκε σε ένα τέτοιο περιβάλλον σαρώνεται και ανακυκλώνεται μέσα στο βιολογικό κύκλο. Για να διατηρηθεί το οργανικό υλικό, το ποσοστό οξυγόνου των κατώτατων αλλά και των ενδιάμεσων στρωμάτων νερού του ιζήματος θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλό ή μηδέν. Τέτοιες συνθήκες είναι δυνατό να δημιουργηθούν ή από την υπερπαραγωγή οργανικού υλικού ή σε περιβάλλοντα τα οποία χαρακτηρίζονται από περιορισμένη κυκλοφορία νερού. Τα διαφορετικά είδη οργανικού υλικού παράγουν και διαφορετικά είδη υδρογονανθράκων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το οργανικό υλικό που είναι πλούσιο σε μαλακούς ιστούς, όπως αυτό που βρίσκεται στα άλγη, παράγει συνήθως πετρέλαιο και αέριο στην ωρίμανση (θέρμανση), ενώ το φυσικό αέριο προέρχεται κυρίως από την ωρίμανση οργανικού υλικού πλούσιο σε ξυλώδεις ιστούς. Ακόμη και τα μητρικά τα οποία παράγουν πετρέλαιο είναι δυνατόν να παράγουν φυσικό αέριο όταν κατά τη διάρκεια του ενταφιασμού τους φτάσουν σε υψηλές θερμοκρασίες¹⁴. Η διάβρωση οδηγεί στην οξείδωση του οργανικού υλικού των μητρικών πετρωμάτων αλλά και στην διάλυση και καθίζηση των ορυκτών στα ψαμμιτικά και ασβεστολιθικά

¹⁴ Gluyas and Swarbrick 2004

πετρώματα. Ως εκ τούτου, τα στοιχεία που προκύπτουν από την ανάλυση δειγμάτων από επιφανειακές εμφανίσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν με την ίδια προσοχή όπως αυτά που προκύπτουν από την ανάλυση δειγμάτων από γεωτρήσεις. Μπορούν επίσης να υπόκεινται σε τύπους αναλύσεων παρόμοιους με αυτούς που εκτελούνται στα πετρέλαια. Αυτοί περιλαμβάνουν την ανάλυση σταθερών ισοτόπων αλλά και τον προσδιορισμό της θερμικής και μοριακής ωριμότητας¹⁵. Σύμφωνα με την μέθοδο πυρόλυσης Rock-Eval η οποία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου στις ιζηματογενείς λεκάνες ανά τον κόσμο¹⁶, οι αποθέσεις της υφαλοκρηπίδας στην περιοχή μελέτης βρίσκονται σε ανώριμο στάδιο θερμικής ωριμότητας και μπορούν να αποτελέσουν μητρικά πετρώματα στο μέλλον¹⁷.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Η ενδεικτική επιφανειακή εκδήλωση της θερμότητας της γης είναι τα θερμά εδάφη (hot grounds) και σχηματίζονται από την θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων που υπάρχουν μεταξύ της επιφάνειας της γης και των υποκείμενων αβαθών και θερμών ρευστών. Έχουν θερμοκρασίες που φτάνουν μέχρι και τους 100°C στην επιφάνεια του εδάφους. Κύριο **γεωθερμικό ρευστό** είναι το νερό, σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται στη συνέχεια ο όρος γεωθερμικό νερό. Το γεωθερμικό νερό προέρχεται από¹⁸:

1. Μετεωρικό νερό (Meteoric water), δηλαδή νερό που πρόσφατα συμμετείχε στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία και κατείσδυσε μέχρι τον θερμό υδροφόρο.
2. Ωκεάνιο νερό (Ocean water), που εισδύει στον φλοιό στις περιοχές της ωκεάνιας απομάκρυνσης.

¹⁵ Naeser and McCulloh, 1989

¹⁶ Espitalie et al., 1986 και 1987, Peters και Cassa, 1994

¹⁷ Maravelis, 2011

¹⁸ Κατσιφαράκης, 2009

3. Νέο νερό (Juvenile water), που προέρχεται από το μάγμα και δεν συμμετείχε προηγουμένως στην υδρόσφαιρα.

4. Συγγενές νερό (Connate water), δηλαδή 'απολιθωμένο' νερό, που εμπεριέχεται στα ιζήματα από τον χρόνο εναπόθεσής τους.

5. Μαγματικό νερό (Magmatic water), δηλαδή νερό άλλων κατηγοριών (όχι νέο), που σε κάποια φάση αποτέλεσε μέρος του μάγματος.

6. Μεταμορφικό νερό (Metamorphic water), που προκύπτει από την ανακρυστάλλωση υδρομεταλλικών ενώσεων κατά τη διαδικασία της μεταμόρφωσης.

Διαδικασία θέρμανσης των γεωθερμικών ρευστών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το γεωθερμικό ρευστό έχει κυρίως μετεωρική προέλευση, δηλαδή προέρχεται από τις κατακρημνίσεις. Το νερό από τις βροχές και τα χιόνια εισχωρεί στο έδαφος και σιγά-σιγά προχωρεί στο εσωτερικό της γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι και 5 km. Στην πορεία του, θερμαίνεται λόγω της υψηλής θερμικής ροής και στη συνέχεια βρίσκει διόδους μέσα από ρήγματα και ρωγμές και επιστρέφει στην επιφάνεια. Η περιοχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο ή σε μεγάλη από αυτό απόσταση μέχρι και 200 km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλλει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Το νερό, λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας, λειτουργεί και σαν "συμπυκνωτής" θερμότητας. Η μέση θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων που βρίσκονται στα πρώτα 10 km από την επιφάνεια της γης είναι 85 kJ/kg, ενώ του νερού στην ίδια μέση θερμοκρασία (1300°C) είναι 420 kJ/kg, δηλαδή πενταπλάσια. Η θέρμανση του κρύου νερού των επιφανειακών στρωμάτων, που

κατεισδύει και συγκεντρώνεται τελικά στον γεωθερμικό υδροφόρο, ακολουθεί μια από τις τρεις διαδικασίες που περιγράφονται στη συνέχεια

- Το νερό κατεισδύει μέσα από ρηγματώσεις, μέχρι τον γεωθερμικό υδροφόρο και εκεί θερμαίνεται με αγωγή. Πηγή θερμότητας είναι κάποιος μαγματικός όγκος (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος/Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας: Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία, Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας 2010-2012 Σελίδα 43) που βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος, ή η γενική θερμική ροή της Γης. Η διαδικασία αυτή συμβαίνει σε γεωθερμικά συστήματα με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, που κατά κανόνα δεν ξεπερνά τους 150°C στα προσιτά στον άνθρωπο βάθη.

- Το νερό του γεωθερμικού υδροφόρου κατεισδύει σε μεγαλύτερο βάθος μέσα από σχισμές και ρήγματα, και πλησιάζει τον μαγματικό όγκο, ο οποίος αποτελεί την πηγή της θερμότητας. Κατά την κίνησή του αυτή το νερό θερμαίνεται (με αγωγή από τα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή) και ανεβαίνει πάλι στον γεωθερμικό υδροφόρο μέσα από άλλα ρήγματα, λόγω άνωσης. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή η φυσική συναγωγή παίζει τον κύριο ρόλο στη θέρμανση του νερού. Όπως είναι φυσικό, υδροθερμικά συστήματα με συναγωγή εμφανίζουν γενικά μεγαλύτερες θερμοκρασίες, σε σχέση με τα συστήματα της προηγούμενης κατηγορίας. Οι θερμοκρασίες αυτές αντιστοιχούν κατά κανόνα σε πεδία μέσης και ψηλής ενθαλπίας.

- Το μετεωρικό νερό κατεισδύει σε μεγάλο βάθος, θερμαίνεται με συναγωγή από κάποιον μαγματικό όγκο και βράζει. Ο υδρατμός που δημιουργείται τροφοδοτεί τον υδροφόρο του γεωθερμικού πεδίου, που βρίσκεται σε μικρότερο βάθος. Οι απώλειες λόγω αγωγής από τα τοιχώματα του υδροφόρου αυτού, ισοσταθμίζονται από τη συμπύκνωση μέρους του ατμού. Το συμπύκνωμα επιστρέφει στο βαθύτερο στρώμα ακολουθώντας τους

μικρότερους πόρους, αντίθετα με τον ατμό, που κατά την άνοδό του προς τον γεωθερμικό υδροφόρο ακολουθεί τις ευρύτερες διόδους. Σε όλες τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν, το

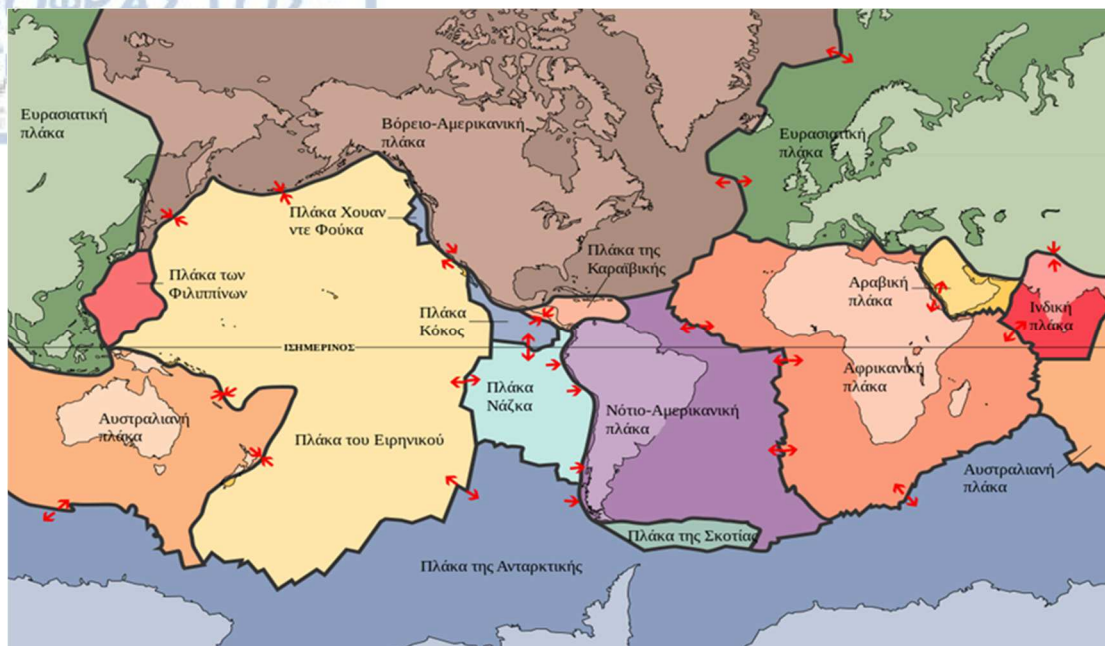
γεωθερμικό ρευστό τείνει να κινηθεί προς την επιφάνεια του εδάφους μέσα από φυσικές διόδους του καλύμματος του υδροφόρου, λόγω υδραυλικού φορτίου και άνωσης. Αν φθάσει στην επιφάνεια, σχηματίζει θερμές πηγές ή ατμίδες, που αποτελούν χαρακτηριστικά καθοδηγητικά στοιχεία για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι τα γεωθερμικά ρευστά με την κυκλοφορία τους θερμαίνουν τα πετρώματα και τους προσδίδουν τις αντίστοιχες θερμότητες. Στην τεκτονική λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας υπάρχει σύστημα ρηγμάτων, που έχει αναλυθεί στην αντίστοιχη ενότητα και βοηθάει στην κινητικότητα των γεωθερμικών ρευστών μέσα σε αυτά. Κατά αυτόν τον τρόπο έγινε και η ωρίμανση της οργανικής ύλης σαν συνέχεια της προσφοράς θερμότητας λόγω υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας, η οποία εμφανίζει διαφορές στην περιοχή της Α. Μακεδονίας και Θράκης σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνειά της μέσω γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας έτσι υπέρθερμες περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από $700^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Το σημαντικότερο από αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα είναι αυτό της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών: Το εξωτερικό κέλυφος της γης, η λιθόσφαιρα, δεν είναι ενιαίο αλλά αποτελείται από πολλά κομμάτια, τις λιθοσφαιρικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές βρίσκονται σε μια διαρκή κίνηση που πραγματοποιείται με πολύ μικρή ταχύτητα, μερικά μόλις εκατοστά το χρόνο.



Χάρτης 4 Σύστημα λιθοσφαιρικών πλακών της γης και οι σχετικές τους κινήσεις

Ανάλογα με την σχετική κίνηση των πλακών, στα όριά τους παρατηρούνται τρία διαφορετικά φαινόμενα:

1. Οι δύο πλάκες αποκλίνουν, δηλαδή κινούνται έτσι που να απομακρύνονται η μια από την άλλη. Στο κενό που αφήνουν, αναβλύζει μάγμα που στερεοποιείται, γεμίζει το κενό και δημιουργεί καινούργια λιθόσφαιρα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι λεγόμενες "ράχες".
2. Οι δύο πλάκες συγκλίνουν έτσι που η μια να βυθίζεται κάτω από την άλλη και τελικά να απορροφάται από το μανδύα ή να καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στα όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα εκτονώνεται με τη μορφή ηφαιστειακής δράσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι "τάφροι". Στις τάφρους η λιθόσφαιρα καταστρέφεται με το ρυθμό που δημιουργείται στις ράχες.
3. Οι δύο πλάκες "γλιστρούν" η μια παράλληλα στην άλλη με τρόπο που ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται λιθόσφαιρα.

Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε πως γεωθερμικά πεδία είναι οι περιοχές στις οποίες οι συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι ευνοϊκές. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:

- α) Αυξημένη (σε μικρό ή μεγάλο βαθμό) θερμική ροή. Αυτή συνδέεται με την ύπαρξη μαγματικού όγκου σε μικρό σχετικά βάθος.

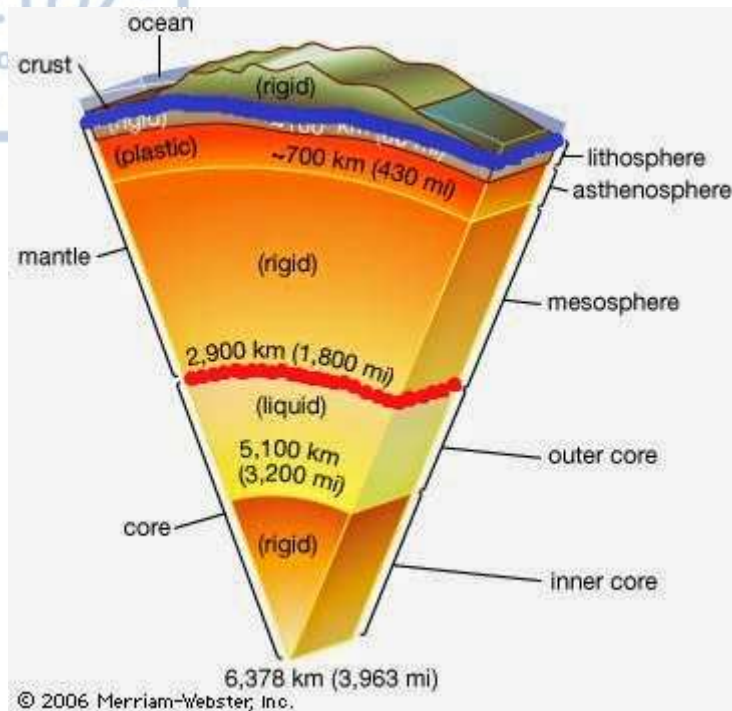
β) Ύπαρξη υπόγειου υδροφόρου, σε βάθος μικρότερο των 3 km, ο οποίος θερμαίνεται από τον μαγματικό όγκο. Μεταξύ του υδροφόρου και της πηγής θερμότητας πρέπει να υπάρχουν θερμοπερατά στρώματα ή ρήγματα, που ευκολύνουν την κυκλοφορία ρευστών.

γ) Ύπαρξη πρακτικά αδιαπέρατου, θερμικά και υδραυλικά, στρώματος πάνω από τον υδροφόρο, για την προστασία του θερμικού περιεχομένου του.

ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ

Τη δομή του εσωτερικού της γης μπορούμε να την χωρίσουμε στα εξής επιμέρους τμήματα: Τον φλοιό που είναι το ανώτερο στρώμα της γης και χωρίζεται σε ηπειρωτικό και ωκεάνιο, ακολουθεί ο μανδύας και στη συνέχεια ο εξωτερικός υγρός και ο εσωτερικός στερεός πυρήνας και έχουν συνολικό πάχος 6371km. Ο ηπειρωτικός φλοιός έχει πάχος που κυμαίνεται από 20 έως και 60km και πυκνότητα $2,7 \text{ gr/cm}^3$ ενώ ο ωκεάνιος φλοιός έχει μικρότερο πάχος που κυμαίνεται από 6-7km αλλά έχει μεγαλύτερη πυκνότητα $3,3 \text{ gr/cm}^3$. Το όριο μεταξύ του φλοιού και του μανδύα είναι μια ασυνέχεια γνωστή και ως ασυνέχεια Mohorovicic ή απλά Moho, και το συνολικό πάχος του μανδύα της γης είναι περίπου 2890km. Η μέση πυκνότητα του μανδύα είναι περίπου $5,7 \text{ gr/cm}^3$ και έχει θερμοκρασία περίπου 1000-3000°C. Το όριο μεταξύ του μανδύα και του πυρήνα είναι μία άλλη ασυνέχεια γνωστή ως ασυνέχεια Gutenberg. Ο ρευστός εξωτερικός πυρήνας έχει ακτίνα 3.500km ενώ ο εσωτερικός στερεός 1250km. Η θερμοκρασία που αγγίζει ο πυρήνας είναι της τάξης των 4000°C. Η λιθόσφαιρα καταλαμβάνει όλο τον φλοιό και τμήμα του στερεού άνω μανδύα, στις ωκεάνιες περιοχές έχει πάχος 80km ενώ στις ηπειρωτικές 100-150km. Η λιθόσφαιρα χωρίζεται στις 7 μεγάλες πλάκες Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδο-αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βόρειο-Αμερικανική και Νότιο-Αμερικανική και άλλες μικρότερες και όλες μαζί ολισθαίνουν πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδυακό υλικό, την ασθενόσφαιρα.¹⁹

¹⁹ <http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/PROSTASIA%20PERIBALONTOS/Geothermiki%20Energeia.htm>



Δομή εσωτερικού της γης

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία φυσική πηγή ενέργειας με γήινη προέλευση, η οποία βρίσκεται σε ένα γεωλογικό χώρο που σχηματίζει στο σύνολό του ένα γεωθερμικό σύστημα. Η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι πολύ πιθανή σε εκείνες τις περιοχές της γης όπου μάζες ρευστών ανεβαίνουν προς την επιφάνεια. Τέτοιες περιοχές συνδέονται με γεωλογικά πολύ πρόσφατη ή και ενεργό ηφαιστειότητα όπως και με περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα $> 30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Στην πρώτη περίπτωση, οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές τιμές μέχρι και μεγαλύτερες από 400°C . Στη δεύτερη περίπτωση, τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C σε οικονομικά και προσβάσιμα βάθη. Ένα γεωθερμικό σύστημα 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. Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία:

- την εστία θερμότητας,
- τον ταμιευτήρα,
- το ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής (>600°C) θερμοκρασίας μαγματική διείδυση 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.²⁰

²⁰ Hochstein, 1990 <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/1996/Lee.pdf>



Χάρτης με τις κύριες Γεωθερμικές περιοχές στον Ελληνικό χώρο [Χάρτης ΙΓΜΕ]

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η γεωθερμική έρευνα στη χώρα μας ξεκίνησε από το τ. Ι.Γ.Ε.Υ. (πρόδρομο σχήμα του Ι.Γ.Μ.Ε.) το 1970, με στόχο πεδία υψηλής θερμοκρασίας στο ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σουσάκι). Εντοπίστηκαν τα σημαντικά πεδία υψηλής θερμοκρασίας Μήλου και Νισύρου. Στη Μήλο εγκαταστάθηκε από τη Δ.Ε.Η. πιλοτική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 2 MWe. Η μη δέσμευση των αερίων κατά τη λειτουργία της είχε ως αποτέλεσμα την αντίδραση των κατοίκων και την ακύρωση εγκατάστασης μονάδας βιομηχανικής κλίμακας και στα δύο νησιά. Μετά το 1990 η έρευνα των πεδίων υψηλής θερμοκρασίας δεν συνεχίστηκε, με εξαίρεση τη Λέσβο (Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες).

Ακολουθώντας, η έρευνα επεκτάθηκε στα πεδία χαμηλής θερμοκρασίας σε ολόκληρη τη χώρα, με αποτέλεσμα να εντοπιστούν μέχρι σήμερα περισσότερα από 45 πεδία και γεωθερμικές περιοχές. Αυτά άρχισαν να αξιοποιούνται σε περιορισμένο βαθμό από το 1980. Το έτος 2005 δημοσιεύτηκε η νομοθεσία σχετικά με τις Γ.Α.Θ. και έκτοτε έχουν εγκατασταθεί μερικές εκατοντάδες μονάδες και σήμερα αποτελούν τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο κλάδο της γεωθερμίας.

ΛΕΚΑΝΗ ΣΤΡΥΜΟΝΑ

Λεκάνη Στρυμόνα

Βρίσκεται στην Ανατολική Μακεδονία- Βόρεια Ελλάδα, στο δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής μάζας και στο ανατολικό όριο με το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της μάζας της Ροδόπης. Αυτό το όριο των δύο μαζών θεωρήθηκε ότι είναι ένα κανονικό ρήγμα αποκόλλησης, *Ολιγοκαινικής-Μειοκαινικής* ηλικίας που εκτείνεται σε περισσότερο από 150 km.²¹ Μετά την συμπιεστική τεκτονική ακολούθησε εφελκυστική τεκτονική που προκάλεσε αυτήν την τεκτονική δομή στο χώρο με τη δημιουργία της λεκάνης. Πρόκειται για μια μεταορογενετική λεκάνη που θεωρείται ακόμα ενεργή. Γενικά, τα πετρώματα της λεκάνης είναι μεταμορφωμένα κυρίως γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και μάρμαρα.²² Στο περιθώριο του Στρυμονικού κόλπου εμφανίζονται μικρές ηφαιστειακές διεισδύσεις που συνδέονται με την εκτατική τεκτονική της περιοχής²³.

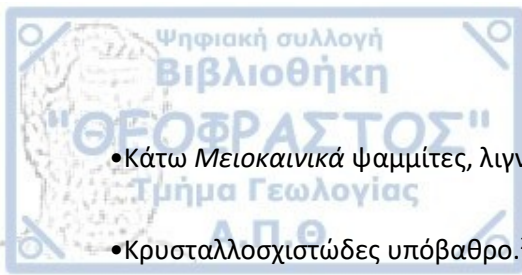
Στρωματογραφικά η λεκάνη του Στρυμόνα αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από:

- *Νεογενή- Τεταρτογενή* ιζήματα
- *Πλειστοκαινικά* ιζήματα κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, ιλιόλιθους , άμμους,
- *Πλειοκαινικά* ιζήματα όπως ορίζοντες εβαποριτών, τραβερτίνες, ψαμμίτες, ιλιόλιθους,

²¹ Kiliyas, Moudrakis 1998

²² Σόκουτης 1993

²³ Dinter, Royden 1993, Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon Valley detachment system and Rhodope metamorphic core complex



- Κάτω Μειοκαινικά ψαμμίτες, λιγνιτικές ενστρώσεις, σκωρίες,πηλοί
- Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.²⁴

Οι γεωθερμικές συνθήκες μέσα στη λεκάνη του Στρυμόνα είναι ευνοϊκές ως αποτέλεσμα της ενεργούς εφελκυστικής τεκτονικής και της αυξανόμενης ροής θερμότητας. Η γεωθερμική έρευνα της λεκάνης του Στρυμόνα έγινε με ρηχές ερευνητικές και παραγωγικές γεωτρήσεις όπου και παρουσιάστηκαν χαμηλής θερμοκρασίας υγρά χαμηλής αλμυρότητας. Αυτά τα νερά είναι πλούσια σε CO₂. Οι τιμές στον πυθμένα των γεωτρήσεων ήταν 100°C, 135°C στα 3651 m. Αυτή η γεωθερμική ανωμαλία λαμβάνει χώρα κυρίως λόγω της ύπαρξης συστημάτων ρηγμάτων κανονικών και strike-slip δομών. Οι θερμές πηγές έχουν τιμές θερμών νερών 40-46°C που φτάνουν σε άλλες θέσεις μέχρι και τους 52° C. Αυτές οι γεωτρήσεις έδωσαν και μια εικόνα για τη σύσταση της λεκάνης που αποτελεί έναν καλό ταμιευτήρα καλής περατότητας μέσα στα Μειοκαινικά ιζήματα. Σε αυτό το σύστημα με τα βαθιά, μεγάλα ρήγματα, υποβοηθείται η κυκλοφορία των υπόγειων υδάτων μέσα σε αυτά, σε σχετικά ρηχά και εκμεταλλεύσιμα βάθη ή στην επιφάνεια, και υψώνει τα γεωθερμικά υγρά από πιο βαθιά επίπεδα. Πολλά από τα γεωθερμικά πεδία της Ελλάδας βρίσκονται μέσα στη λεκάνη του Στρυμόνα. Βαθιές ερευνητικές γεωτρήσεις έδειξαν θερμοκρασίες 135-160°C σε βάθος 3,5-4 km. Το γεωθερμικό πεδίο αυτής της περιοχής σχηματίστηκε λόγω της ύπαρξης κροκαλοπαγών στον πυθμένα της λεκάνης, την ύπαρξη ενός αδιαπέρατου καλύμματος που αποτελείται από Νεογενή λεπτόκοκκα ιζήματα και την κυκλοφορία ρευστών μέσα στα διαπερατά ιζήματα και τα ρηγματωμένα κρυσταλλικά πετρώματα που προμηθεύουν συνεχώς τον ταμιευτήρα με υλικά.

ΝΙΓΡΙΤΑ-ΘΕΡΜΑ

Νιγρίτα- Θερμά

Το γεωθερμικό πεδίο της Νιγρίτας-Θερμών βρίσκεται γειτονικά της λεκάνης του Στρυμόνα στο κεντρικό-δυτικό μέρος της, 20km νότια από την πόλη των Σερρών. Γεωτεκτονικά ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα και συγκεκριμένα στο κρυσταλλοσχιστώδες σύστημα Βερτίσκου, το οποίο

²⁴ Μενδρινός 2010

αποτελεί και το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Η περιοχή αυτή αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας της Σερβομακεδονικής, μεταγάββρους, μεταδιαβάσες και αμβιβολίτες που αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Μέσα σε αυτό το υπόβαθρο βρίσκεται ένα γεωθερμικό πεδίο σε βάθη 100-400m, και περιέχει νερά σε θερμοκρασίες 40-64°C. Διαπιστώθηκε ότι οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών γεωτρήσεων κυμαίνονται από 38,5-64°C και οι παροχές τους από 40-70 m³/h, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πεδίο είναι καταρχήν αξιοποιήσιμο. Το γεωθερμικό πεδίο Θερμών-Νιγρίτας είναι χαμηλής ενθαλπίας και αποτελεί το πρώτο από τα πεδία της λεκάνης Στρυμόνα του νομού Σερρών. Σε αυτή την περιοχή εκτελέστηκαν δειγματοληψίες από 6 ερευνητικές γεωθερμικές γεωτρήσεις και δύο γεωτρήσεις ψυχρού νερού που είχε σαν αποτέλεσμα να ανακαλυφθεί ένα σύστημα θερμών υδάτων με τιμές θερμοκρασίας να κυμαίνονται από 38,5 °C έως μια μέγιστη τιμή στους 64°C.²⁵ Οι παροχές τους είχαν τιμές 40-70m³/h²⁶. Μετρήθηκαν στην περιοχή η θερμοκρασία των υδάτων, το pH, η αλκαλικότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η περιεκτικότητα σε CO₂. Συμπερασματικά, μετά από τις μελέτες που εκτελέστηκαν στην περιοχή, υπάρχει δυναμικό γεωθερμικό πεδίο και μπορεί να αξιοποιηθεί καταλλήλως. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη αυτού του γεωθερμικού πεδίου ήταν οι γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις για τη μελέτη της προέλευσης και πορείας των γεωθερμικών ρευστών²⁷, γεωχημική και θερμομετρική έρευνα στην περιοχή²⁸ και μελέτη των γεωθερμικών, υδρολογικών και γεωλογικών συνθηκών στη συγκεκριμένη περιοχή.²⁹

ΛΕΚΑΝΗ ΠΡΙΝΟΥ-ΚΑΒΑΛΑΣ

Λεκάνη Πρίνου-Καβάλας

Η πιο εσωτερική περιοχή της Ελλάδας αποτελείται από ένα μεταμορφωμένο υπόβαθρο γνωστό και ως Μάζα Ροδόπης. Σε αυτή τη μάζα ανήκει και η λεκάνη της Θράκης η οποία εκτείνεται κοντά στη στεριά μέσα στη λεκάνη του Βόρειου Αιγαίου. Η ιζηματογενής σειρά ξεκινάει με νουμμουλιτικούς

²⁵ Καρυδάκης 2005

²⁶ Μπιρμπίλη, Χρηστάνης, Λαμπράκης, Καρύτσας 2004

²⁷ Κυριακίδης-Τσόκας 1987

²⁸ Αρβανίτης 1998

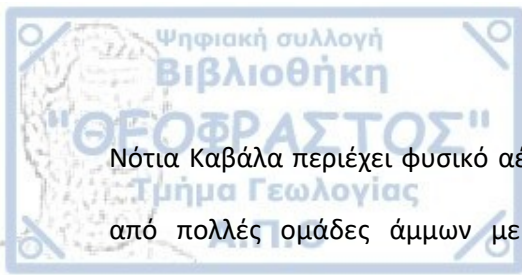
²⁹ Δημόπουλος 1987,

ασβεστόλιθους. Μειοκαινικές άμμοι, σχιστόλιθοι και εμφανίσεις αλάτων που τοπικά δημιουργούν δομές αλάτος βρίσκονται επάνω από τον ασβεστόλιθο. Το βόρειο τμήμα του Αιγαίου περιέχει το πεδίο πετρελαίου του Πρίνου και της Νότιας Καβάλας το πεδίο αερίου. Στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας, στο Βόρειο Αιγαίο μέσα στον κόλπο της Καβάλας εκτείνεται η τεκτονική λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας που περιέχει υδρογονάνθρακες μέσα στο ιζηματογενές υπόβαθρο της λεκάνης. Αυτή η λεκάνη που περιέχει εμπορική ποσότητα υδρογονανθράκων είναι η μόνη παραγωγική περιοχή υδρογονανθράκων στην Ελλάδα. Η λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας αναπτύχθηκε μέσα στο *Μειόκαινο* και δημιουργήθηκε από ένα σύστημα ΒΔ-ΝΑ ρηγμάτων. Ο ταμιευτήρας σε αυτή την περιοχή είναι ένας ψαμμίτης κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το ιζηματογενές τμήμα με το δυναμικό υδρογονανθράκων περιορίζεται μέσα στην *Τριτογενή* ακολουθία. Το υπόβαθρο είναι ένας νουμμουλιτικός ασβεστόλιθος, από πάνω του ακολουθούν άμμοι, πηλοί και δόμοι αλάτος, στη συνέχεια υπάρχει ένας πολύ σημαντικός εβαποριτικός ορίζοντας³⁰ που λειτούργησε σαν αποτελεσματικό πέτρωμα παγίδα για τους υδρογονάνθρακες καθώς είναι αδιαπέρατος σχηματισμός και έχει πάχος 2700 m. Κλαστικά και εβαποριτικά ιζήματα με μέγιστο πάχος 5800m αποτέθηκαν κατά την περίοδο του Μειοκαίνου-Πλειστοκαίνου. Οι εβαπορίτες αποτέθηκαν από έναν έως επτά εβαποριτικούς κύκλους κατά το Μεσσήνιο, με την γνωστή κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου που η Μεσόγειος θάλασσα αποξηράνθηκε και εξατμίστηκε με αποτέλεσμα τα διαλυμένα άλατα που παρέμειναν και τη συνεχή αύξηση της συγκέντρωσής τους να δημιουργήσουν τους εβαποριτικούς ορίζοντες. Εναλλαγές μακροχρόνιας περιόδου ζεστού και ξηρού κλίματος είχαν σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό χημικών ιζημάτων γύψου, ανυδρίτη και ορυκτού αλατιού με πάχος έως και 350m.³¹ Μέσα σε αυτή την εβαποριτική ακολουθία βρίσκονται οι πετρελαιοφόροι ψαμμίτες. Οι εβαπορίτες σε αυτή τη λεκάνη αποτελούν το χαρακτηριστικό πέτρωμα κάλυμμα των υδρογονανθράκων της περιοχής του Πρίνου. Οι παγίδες πετρελαίου συνδέονται με ένα σύστημα ρηγμάτων και δομές αλάτων αντίστοιχα.³² Η λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας περιέχει πετρέλαιο και η

³⁰ Κολιαδήμου-Γαλανίδης 1988

³¹ Kossak 2009

³² Georgakopoulos 1998



Νότια Καβάλα περιέχει φυσικό αέριο. Ο Ταμιευτήρας δομείται από ένα αντίκλινο και αποτελείται από πολλές ομάδες άμμων με καλό πορώδες (μέσο όρο 18%) και καλή περατότητα. Οι υδρογονάνθρακες μετανάστευσαν από το κέντρο της λεκάνης. Οι άμμοι υποδιαίρονται σε τέσσερα ξεχωριστά reservoir.

Η Στρωματογραφία της περιοχής αποτελείται από ιζήματα πάχους 5800 m συνολικά με ηλικίες από το Κάτω Μειόκαινο έως το Πλειστόκαινο.³³

- υπόβαθρο στα 2900m [αποτελείται από ασβεστόλιθους],
- Μετά-εβαποριτικές ακολουθίες - εναλλαγές πηλόλιθων και άμμων συνολικού πάχους 2700m ηλικίας Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου,
- εβαποριτική ακολουθία.
- Προ-εβαποριτική ακολουθία με συνολικό πάχος 2100m *Μέσου Μειοκαίνου*. Μέσα σε αυτή την ακολουθία βρέθηκαν οι πετρελαιοφόροι ψαμμίτες. Το μέγεθος των κόκκων του πετρώματος - ταμιευτήρα ποικίλει από λεπτό έως πολύ χονδρόκοκο και είναι καλά ταξινομημένο.

ΛΕΚΑΝΗ ΝΕΣΤΟΥ

Γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού

Αυτή η λεκάνη είναι σε άμεση γειτνίαση με τη λεκάνη Πρίνου-Καβάλας καθώς βρίσκεται ανατολικά της πόλης της Καβάλας (στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη). Αυτή η λεκάνη ορίζεται από δύο μεγάλα ρήγματα N70° και N160° που περικλείουν τη λεκάνη και χωρίζεται από τη λεκάνη της Ξάνθης-Κομοτηνής από μια υπόγεια ράχη. Στην πρώτη κατάσταση εφελκυστικής τεκτονικής κατά το *Ολιγόκαινο* δημιουργήθηκε η πρώτη λεκάνη που κλίνει με έναν προσανατολισμό N50°. Κατά το *Τεταρτογενές* ένα νέο εκτατικό καθεστώς με διεύθυνση B-N καθιέρωσε τη σημερινή μορφολογία της λεκάνης κι ενεργοποίησε ρήγματα με N70° διεύθυνση.

Στρωματογραφικά η λεκάνη του Νέστου αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από:

- *Πλειο-τεταρτογενή* ιζήματα, ψαμμίτες, πηλούς,
- *Μειοκαινικά* ιζήματα λεπτόκοκκων ψαμμιτών, αργιλίτες και λιγνιτικούς ορίζοντες,

³³ Georgakopoulos A. 1998

- το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της μάζας της Ροδόπης, γνεύσιοι, αμφιβολίτες και μάρμαρα.³⁴

Η ιζηματογενής λεκάνη του Νέστου ξεκίνησε κατά το *Κάτω Μειόκαινο* μετά από την κύρια συμπίεστική τεκτονική κατά το *Ηώκαινο*. Κατά το Μέσο-Άνω Μειόκαινο αποτέθηκαν και λιγνιτικοί ορίζοντες και κατά τη διάρκεια του Άνω Μειοκαίνου η ιζηματογένεση συνεχίστηκε με την απόθεση εβαποριτικών ακολουθιών που αποτελούνταν από ανυδρίτες σε εναλλαγές με λεπτές ενστρώσεις ψαμμιτών.

Γεωθερμικές μελέτες έγιναν στην περιοχή του Νέστου με εκτέλεση ερευνητικών γεωθερμικών γεωτρήσεων και γεωλογική χαρτογράφηση των ρηχών υπόγειων υδάτων για να προσδιοριστούν ακριβώς οι θέσεις με γεωθερμικό ενδιαφέρον. Τρεις κύριες βαθιές γεωτρήσεις για έρευνα πετρελαίου έγιναν σε βάθη 3159, 3970 και 3851 m και στον πυθμένα τους οι τιμές της θερμοκρασίας έφταναν τους 127-164 ° C με την μέγιστη να βρίσκεται σε βάθος 4km . Η μέγιστη θερμοκρασία έφτασε στους 122 ° C στον πυθμένα μιας γεώτρησης στα 1377 m. Με τις παραπάνω μελέτες βγήκε το συμπέρασμα ότι το βάθος της λεκάνης συνδέεται με ένα κύριο σύστημα ρηγμάτων και μια ζώνη θραύσης. Η λεκάνη του Νέστου παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για γεωθερμική ανάπτυξη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αφού βρέθηκαν τιμές θερμοκρασίας 178° στα 4 km σε συνδυασμό με την παρουσία ενός ταμιευτήρα σε βάθος, με θερμοκρασίες 120-150°.

ΛΕΚΑΝΗ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ

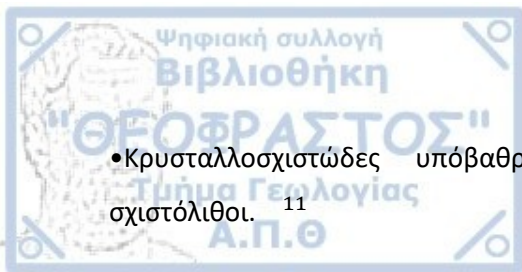
Ξάνθη-Κομοτηνή

Αυτή η λεκάνη εκτείνεται για 1600km² στα ανατολικά της πόλης της Ξάνθης. Βρίσκεται ανάμεσα στη μάζα της Ροδόπης και τη θάλασσα του βόρειου Αιγαίου. Είναι σε γειτνίαση με τη λεκάνη του Νέστου στα δυτικά και της Αλεξανδρούπολης στα ανατολικά και φιλοξενεί το γεωθερμικό πεδίο της Νέας Κεσσάνης.

Στρωματογραφικά η λεκάνη αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς από την επιφάνεια προς τα κάτω:

- Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα άμμοι, πηλοί, κροκαλοπαγή, χαλίκια,
- Μειοκαινικής ηλικίας πηλοί, σκωριές,
- Ηωκαινικά-Ολιγοκαινικά ιζήματα,

³⁴ Mendrinis 2010



- Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της μάζας της Ροδόπης, γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μάρμαρα, σχιστόλιθοι. 11

Γεωθερμικές μελέτες έγιναν και στη λεκάνη της Ξάνθης με εκτέλεση ερευνητικών γεωθερμικών γεωτρήσεων για την εξερεύνηση θέσεων με γεωθερμικό ενδιαφέρον. Οι τιμές θερμοκρασίας των υπόγειων υδάτων ήταν της τάξης των 60°C στα 1300m και 72°C στα 1735m.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ

Λεκάνη Αλεξανδρούπολης

Η λεκάνη της Αλεξανδρούπολης βρίσκεται κοντά στην ομώνυμη πόλη, δυτικά του Έβρου ποταμού και εκτείνεται σε μια απόσταση 2000km². Περιέχει ιζήματα *Νεογενή* και *Τεταρτογενή* και βρίσκεται μέσα στη μάζα της Ροδόπης.

Στρωματογραφικά η λεκάνη της Αλεξανδρούπολης αποτελείται από πάνω προς τα κάτω:

- *Νεογενή-Τεταρτογενή* ιζήματα άμμοι, ψαμμίτες, πηλοί, λιγνιτικές ενστρώσεις,
- *Παλαιογενείς-Ηωκαινικές* θαλάσσιες αποθέσεις, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους, ηφαιστειακές αποθέσεις,
- Κρυσταλλοσχιστώδες-μεταμορφωμένο υπόβαθρο της μάζας της Ροδόπης, γνεύσιοι, αμφιβολίτες, οφιόλιθοι.

Γεωθερμικές μελέτες έγιναν και σε αυτή την τεκτονική λεκάνη με την όρυξη οκτώ γεωθερμικών γεωτρήσεων σε βάθη με εύρος 1745 έως 4229m με θερμοκρασίες 50-85°C.

Γεωθερμόμετρα που τοποθετήθηκαν στην περιοχή του Αρίστηνου έδωσαν τιμές 125-180°C .

ΛΕΚΑΝΗ ΕΒΡΟΥ

Γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου

Η λεκάνη του Έβρου είναι στην ουσία η προέκταση της λεκάνης της Αλεξανδρούπολης, εκτείνεται στο νοτιότερο μέρος της *Νεογενούς-Τεταρτογενούς* λεκάνης και καταλαμβάνει έκταση 2000km² στο χώρο της Δυτικής Θράκης.

Η Στρωματογραφία της περιοχής είναι παρόμοιας σύστασης με τις υπόλοιπες λεκάνες της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Οι βαθιές τεκτονικές δομές και η πρόσφατη ηφαιστειότητα στην Ελλάδα δημιούργησε υψηλή ροή θερμότητας, η οποία είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν αρκετά γεωθερμικά πεδία χαμηλής ή και υψηλής ενθαλπίας. Μετά από εκτεταμένη ερευνητική δραστηριότητα (γεωλογική χαρτογράφηση, γεωχημική έρευνα, θερμική χαρτογράφηση κλίσης, γεωφυσικές έρευνες), καθώς και όρυξη ενός σημαντικού αριθμού ρηχών και μερικών βαθιών γεωτρήσεων, το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας επιβεβαιώθηκε ως χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Έτσι αναγνωρίστηκαν καινούριες περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον. Στις τεκτονικές λεκάνες της βόρειας Ελλάδας υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από χαμηλής και μέσης ενθαλπίας γεωθερμικά ρευστά (θερμοκρασίες υδάτων 30°-90°). Αυτά τα πεδία βρίσκονται σε πολύ ρηχά βάθη μέσα σε μετα-ορογενετικές λεκάνες (λεκάνη Στρυμόνα, Δέλτα Νέστου, Ξάνθης - Κομοτηνής, Έβρου). Ο συνδυασμός της τεκτονικής των λεκανών με ύπαρξη κατάλληλων πετρωμάτων - ταμιευτήρων και η ύπαρξη ανωμαλίας της γεωθερμικής βαθμίδας όπως διαπιστώθηκε από πολλαπλό αριθμό γεωτρήσεων, μπορεί να εξηγήσει και την ύπαρξη υδρογονανθράκων μέσα σε αυτές τις δομές. Η ανωμαλία αυτή στη γεωθερμική βαθμίδα οδηγεί στη συσσώρευση των ρευστών (γεωθερμικά ρευστά ή υδρογονάνθρακες) σε βάθος διαφορετικό του αναμενόμενου, προς τα πιο ρηχά. Μέσα στη λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας βρίσκεται το μοναδικό παραγωγικό κοίτασμα πετρελαίου της χώρας – Πρίνος – καθώς και το μοναδικό κοίτασμα φυσικού αερίου, αυτό της Νότιας Καβάλας. Υπάρχουν οι ευνοϊκές συνθήκες από άποψη γεωλογικής δομής σε αυτή την λεκάνη για να «παγιδευτούν» οι υδρογονάνθρακες και να συσσωρευτούν σε αυτή την περιοχή.

Η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας μας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει σημαντικότητα πλεονεκτήματα, τα οποία ενδεικτικά και όχι περιοριστικά αναφέρονται παρακάτω:

1. Τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία έχουν στοιχειοθετηθεί και βεβαιωθεί μέσω παλαιότερων ερευνητικών γεωτρήσεων του Ι.Γ.Μ.Ε. Σε κάθε περίπτωση ενδεχόμενα απαιτείται η όρυξη μιας ακόμα ερευνητικής γεώτρησης σε κατάλληλο βάθος, ώστε να μετρηθεί εκ νέου η παροχή του γεωθερμικού ρευστού υψηλής θερμοκρασίας και να επιβεβαιωθούν οι εκτιμήσεις των παλαιότερων μελετών. Οι γεωτρήσεις αυτές στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παραγωγικές,
2. Το θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα είναι ώριμο και επιτρέπει την υλοποίηση επενδύσεων, ενώ η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια μέσω Α.Π.Ε. ακολουθεί αυξητικές τάσεις,
3. Η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί είναι δοκιμασμένη και αξιόπιστη, επιτρέποντας την μακρόχρονη αξιοποίηση των Γ/Θ πεδίων,
4. Μέσω των δικτύων Τηλεθέρμανσης καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση και της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας που αυξάνει δραστικά την απόδοση, τη βιωσιμότητα και την κερδοφορία των επενδύσεων,
5. Δημιουργούνται πλείστες ωφέλειες στο περιβάλλον από την παράλληλη χρήση Α.Π.Ε.,
6. Αξιοποιείται ένας ενεργειακός πόρος που δημιουργεί οικονομίες κλίμακας και στο παραγωγικό σύστημα αλλά και στα νοικοκυριά μέσω των δικτύων τηλεθέρμανσης,
7. Δημιουργείται ένα τεράστιο αναπτυξιακό πρότυπο που διαμορφώνει το πλαίσιο επανεκκίνησης της κατά τόπους αναπτυξιακής διαδικασίας με εισροές τόσο για την τοπική και την Εθνική οικονομία όσο και κυρίως για την απόδοση των επενδυμένων κεφαλαίων.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διαδικτυακές Πηγές- Links :

https://books.google.gr/books?id=0-HNCgAAQBAJ&pg=PA620&dq=zelilidis+2009&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwiU_rKuteHXA hUCLZoKHYGqBNcQ6AEINjAC#v=onepage&q=zelilidis%202009&f=false

http://www.geo.auth.gr/ege2004/articles/GT2_128.pdf

<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADESERGASIAS/geothermy.pdf>

file:///C:/Users/love_/Downloads/Mihaniki%20Petreleon_Simeioseis_Kefalaio%202.pdf

http://www.iene.gr/energyweek08/articlefiles/page03_04/b_arvanitis_kampouridis_chatziagiannis.pdf

http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/6174/3/Nimertis_Nioti%28geo%29.pdf

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B7>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B9%CE%B8%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1>

[file:///C:/Users/love_/Downloads/Mihaniki%20Petreleon_Simeioseis_Kefalaio%202%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/love_/Downloads/Mihaniki%20Petreleon_Simeioseis_Kefalaio%202%20(1).pdf)

<http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/PROSTASIA%20PERIBALONTOS/Geothermiki%20Energeia.htm>

<https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/1996/Lee.pdf>

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία :

ARVANITIS, A.: Comparative geochemical study of fluids from geothermal fields formed in basins with different geological background (Strymon and Mygdonia basins), MSc thesis, Univ. of Thessaloniki, Thessaloniki, 1-379 (1998) (in Greek)

BROOKS, J.M., KENNICUTT, M.C., FISHER, C.R., MACKO, S.A., COLE, K., CHILDRESS, J.J., BIDIGARE, R.R. AND VETTER, R.D., 1987. Deep-sea hydrocarbon seep communities: evidence for energy and nutritional carbon sources. Science, 238(4830), pp.1138-1142.

DIMITRIOS MENDRINOS, IOANNIS CHOROPANITIS, OLYMPIA POLYZOU, CONSTANTINE KARYTSAS, Geothermics 39 (2010) 124-137, Exploring for geothermal resources in Greece, Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRES), Pikermi Greece.

DINTER, ROYDEN 1993, Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon Valley detachment system and Rhodope metamorphic core complex.

GRIGORIOS KARYDAS, APOSTOLOS ARVANITIS, NIKOLAOS ANDRITSOS AND MICHAEL FYTIKAS, Low enthalpy Geothermal Fields in the Strymon Basin (Northern Greece) , Proceedings World Geothermal Congress 2005 , Antalya, Turkey , April 2005

GEORGAKOPOULOS, A. History , status and future considerations of hydrocarbon exploration in Greece, First Break Vol 10, November 1992/413 , Aristotle University of Thessaloniki , Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, Thessaloniki, Greece.

GEORGAKOPOULOS, A. (1992). History, status and future considerations of hydrocarbon exploration in Greece. First Break, 10(11): 413-416.

GEORGAKOPOULOS, A., Papaconstantinou, C. and Papaioannou, Ch. (1995). Natural gas storage in the South Kavala Field: geological and seismological characteristics. Petroleum Geoscience, Geological Society, London, Vol. 1, No 2: 129-133.

GEORGAKOPOULOS, A. (2000). Lithology and stratigraphy of the Neogene Prinos-Kavala basin, Northern Greece. In: Proceedings R.C.M.N.S. Interim Colloquium, Patras 1998. Mediterranean Neogene Cyclostratigraphy in marine-continental palaeoenvironments. Edited by G.D. Koufos & Ch.E. Ioakim, Geol. Soc. Greece Sp. Publ. No 9: 79-84, 2000.

GEORGAKOPOULOS, A. (1998). Organic Geochemical Study of Greek Oil Source Rocks. In: Proceedings of the 2nd International Conference and Technical Exhibition "Modern Exploration and Improved Oil and Gas Recovery Methods". East Meets West, Kraków, Poland, 1-4 September 1998, p. 208-213.

GEORGAKOPOULOS, A. Organic Geochemical Study of Greek Oil Source Rocks, PO-01 , Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

KATSIFARAKIS, K. L.; TSELEPIDOU, K. Pumping cost minimization in aquifers with regional flow and two zones of different transmissivities. Journal of hydrology, 2009, 377.1-2: 106-111.

KARYDAKIS, GRIGORIOS, et al. Low enthalpy geothermal fields in the strymon basin (Northern Greece). In: *Proceedings World Geothermal Congress 2005*. 2005.

KOLIOS, Nikolaos, et al. Geothermal situation in Northeastern Greece. In: Proc. World Geothermal Congress Antalya, Turkey. 2005. p. 24-29.

MENDRINOS, Dimitrios, et al. Exploring for geothermal resources in Greece. *Geothermics*, 2010, 39.1: 124-137.

NAESER, N.D., NAESER, C.W. AND MCCULLOH, T.H., 1989. The application of fission-track dating to the depositional and thermal history of rocks in sedimentary basins. In Thermal

history of sedimentary basins (pp. 157-180). Springer, New York, NY.

PAPASTERGIOS, G., FERNANDEZ-TURIEL, J.L., GEORGAKOPOULOS, A., GIMENO, D. (2009). Natural and anthropogenic efforts on the sediment geochemistry of Nestos river, Northern Greece. *Environmental Geology*, Vol. 58, No. 6 : 1361-1370, Sept. 2009.

Ελληνική Βιβλιογραφία :

ΚΟΛΙΑΔΗΜΟΥ Κ., ΓΑΛΑΝΙΔΗΣ Δ., 1988. Γεωλογική & Γεωυδρολογική – Υδροχημική μελέτη του. Γεωθερμικού πεδίου της περιοχής Θερμών Νιγρίτας Σερρών. Πρακτικά 2ου Συνεδρίου για τα. Θερμομεταλλικά Νερά, 7-9 Οκτωβρίου 1988, 133-184. ΜΠΑΡΤΖΟΥΔΗΣ Γ. (1995):

Σύγγραμμα -ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ Μ. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press

ΜΠΙΡΜΠΙΛΗ, Μ., et al. Μελέτη της δυνατότητας αξιοποίησης του γεωθερμικού πεδίου Θερμών Νιγρίτας (Ν. Σερρών). *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 2004, 36.3: 1182-1191.