

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ
ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΚΑΒΑΛΑΣ

ΣΤΕΦΑΝΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
A.E.M. 3777

Επιβλέπων καθηγητής
κ. Κωνσταντίνος Βουδούρης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	1
ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	3
-Πηγές θερμότητας	4
-Ρευστά	5
-Διαπερατότητα	6
-Στεγανό κάλυμμα	7
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	8
ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	12
ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ	13
ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
ΕΡΕΥΝΑΣ	14
ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ	15
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	16
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ	18
-Ρηξιγενής τεκτονική	19
-Πτυχογόνος τεκτονική	21
ΧΑΡΤΕΣ – ΠΙΝΑΚΕΣ	22
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	
ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	28
ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	31
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	33
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	35
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΝΟΡΥΞΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ-	
ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

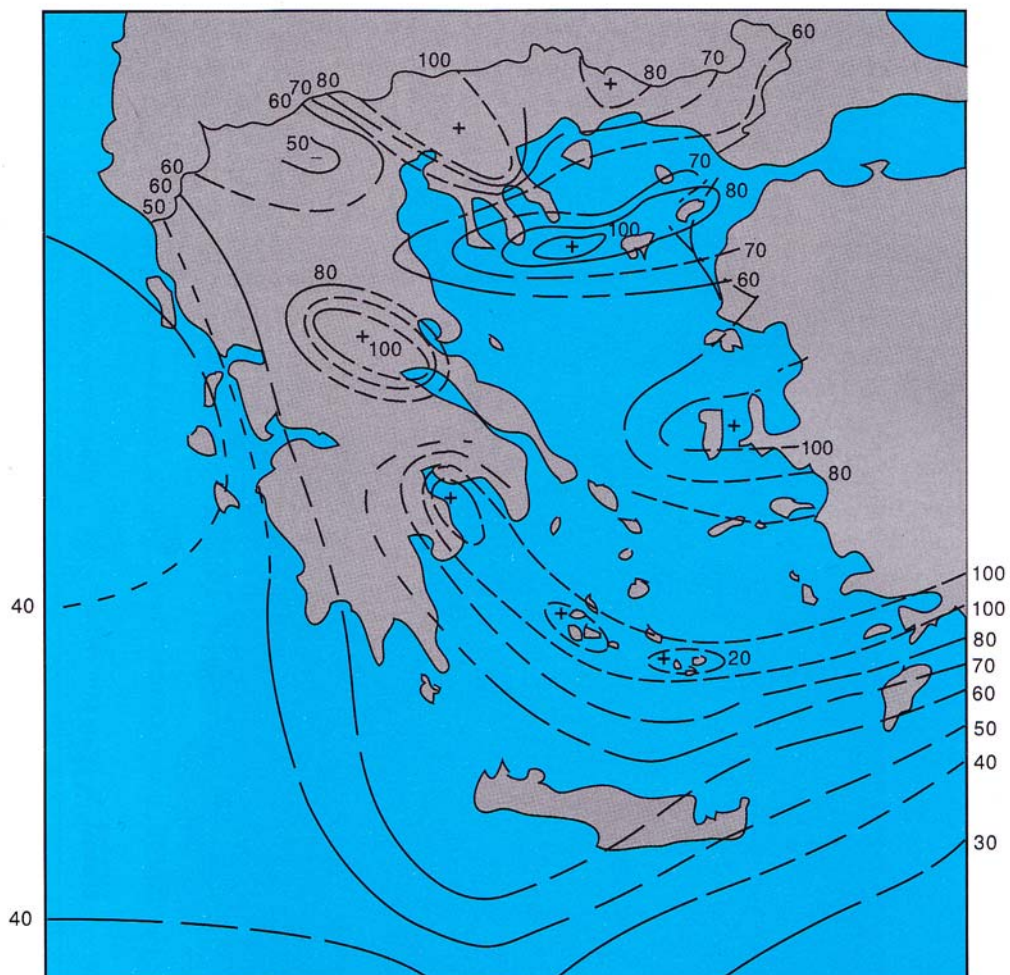
Ο όρος «Γεωθερμία» (Geothermics) αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία στον εφαρμοσμένο κλάδο που περιλαμβάνει όλο το φάσμα της έρευνας, από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

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

Γεωθερμικές περιοχές λέγονται εκείνες οι περιοχές που διαθέτουν θερμική ροή, δηλαδή θερμότητα που μεταδίδεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της Γης

και επομένως γεωθερμική βαθμίδα ανώτερη από τις μέσες τιμές. (Σχήμα 1)



Σχήμα 1. Προκαταρκτικός χάρτης θερμικής ροής Ελλάδας. Σε mWm^{-2} (Fytikas and Kolios, 1979)

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Γεωθερμικό πεδίο ονομάζουμε μια περιοχή η οποία περιέχει συγκεντρωμένη θερμική ενέργεια υπό μορφή θερμών ρευστών (ατμού, νερού, αερίων), σε τέτοια ποσότητα και σε τέτοιο βάθος που να επιτρέπουν την οικονομική τους εκμετάλλευση.

Η γένεση των γεωθερμικών πεδίων οφείλεται στη συγκέντρωση ποσοτήτων θερμότητας, λόγω γεωλογικών αιτιών, σε μικρό σχετικά βάθος, ώστε να καθιστά το πεδίο οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Η κατανομή των γεωθερμικών περιοχών δεν είναι τυχαία αλλά καθορίζεται από γεωλογικές διεργασίες παγκόσμιας ή τοπικής κλίμακας.

Η ύπαρξη γεωθερμικών πεδίων προϋποθέτει την επαλήθευση τεσσάρων βασικών συνθηκών:

1. Συγκέντρωση θερμότητας.
2. Ύπαρξη ρευστού για τη μεταφορά της παραπάνω θερμότητας στην επιφάνεια.
3. Ύπαρξη ικανοποιητικής περατότητας στο πέτρωμα (ή σχηματισμό) που αποτελεί τον υδροφορέα, ώστε να εξασφαλίζεται η εύκολη κίνηση του παραπάνω ρευστού.
4. Ύπαρξη καλύμματος από πάνω του, ώστε να εξασφαλίζεται θερμική μόνωση από το περιβάλλον (ιδίως στα πεδία χαμηλής και μέσης ενθαλπίας).

Πηγές θερμότητας

Σε γεωθερμικές περιοχές επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες σε μικρά σχετικά βάθη. Αυτό είναι το αποτέλεσμα ενός ή περισσότερων από τους παρακάτω μηχανισμούς:

1. Διείσδυση λιωμένου πετρώματος από μεγάλα βάθη στα ανώτερα στρώματα του φλοιού και συνεπώς μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων θερμότητας.
2. Υψηλή επιφανειακή ροή, πιθανώς οφειλόμενη στην ύπαρξη λεπτού φλοιού, με επακόλουθο μία θετικά ανώμαλη γεωθερμική βαθμίδα
3. Άνοδος υπόγειου νερού το οποίο έχει κυκλοφορήσει, μέσω ρηγμάτων, σε κάποια βάθη και έχει θερμανθεί εξαιτίας της κανονικής ή αυξημένης γεωθερμικής βαθμίδας.
4. Θερμική απομόνωση βαθιών και υδατοπερατών πετρωμάτων από σχηματισμούς μεγάλου πάχους και μικρής θερμικής αγωγιμότητας, όπως οι άργιλοι.
5. Θέρμανση ρηχών πετρωμάτων από τη διάσπαση ραδιενεργών στοιχείων, σε συνδυασμό ίσως με τη θερμική απομόνωση.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οφείλονται στη δράση του πρώτου μηχανισμού, ενώ τα μέσης και χαμηλής ενθαλπίας προκύπτουν από τη δράση του δεύτερου, τρίτου, τέταρτου και πέμπτου μηχανισμού, ή από τον συνδυασμό τους.

Ρευστά

Για να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο ένα γεωθερμικό πεδίο, πρέπει να υπάρχουν ρευστά που να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας κοντά στην επιφάνεια. Ευτυχώς στη φύση υπάρχει το νερό, το οποίο κινείται διαμέσου των ρωγμών ή του πορώδους των σχηματισμών στο υπέδαφος. Το νερό έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα, καθώς και μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Έτσι αποτελεί έναν ιδανικό μεταφορέα θερμότητας.

Η πυκνότητα και το ιξώδες του μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το νερό που θερμαίνεται στο βάθος καθίσταται ελαφρύτερο από το νερό των γειτονικών πετρωμάτων με αποτέλεσμα να υπόκειται σε μια ανοδική κίνηση. Αν θερμανθεί αρκετά ώστε να υπερνικήσει τη δύναμη που απαιτείται για να ρεύσει διαμέσου του πορώδους, τότε μπορεί να φτάσει αρκετά κοντά στην επιφάνεια. Καθώς ανέρχεται, ψυχρό νερό κατεβαίνει από κάπου αλλού και το αντικαθιστά. Με αυτό τον τρόπο γίνεται μια φυσική κυκλοφορία γύρω και πάνω από την πηγή θερμότητας, η οποία είναι κυρίως υπεύθυνη για την ύπαρξη των περισσότερων οικονομικά εκμεταλλεύσιμων γεωθερμικών πεδίων.

Διαπερατότητα

Διαπερατότητα ονομάζουμε την ικανότητα ενός πετρώματος να επιτρέπει την κίνηση ρευστών διαμέσου αυτού, ως αποτέλεσμα διαφορών στη πίεση. Η ροή πραγματοποιείται μέσα από τα διάκενα των κόκκων, ή τις δευτερογενείς ρωγμές. *Πορώδες* ονομάζουμε το λόγο των κενών σε έναν όγκο πετρώματος, προς τον όγκο αυτό. Για να είναι όμως δυνατή η κίνηση ενός ρευστού μέσα από το πορώδες, πρέπει τα κενά να συνδέονται μεταξύ τους, οπότε πλέον μιλάμε για *ενεργό πορώδες*. Η περατότητα και το πορώδες μπορεί να είναι πρωτογενή ή δευτερογενή, ανάλογα με το αν σχηματίστηκαν ταυτόχρονα με το πέτρωμα ή μεταγενέστερα, αντίστοιχα. Το πρωτογενές πορώδες συναντάται στα ιζηματογενή πετρώματα, όπως ψαμμίτες και άργιλοι και μειώνεται με το βάθος λόγω συμπίεσης και πλήρωσης των κενών με ορυκτά. Το δευτερογενές πορώδες δημιουργείται από ρωγμές, διακλάσεις ή ρήγματα μεταγενέστερα του σχηματισμού.

Η περατότητα πάνω από μια διείσδυση μπορεί να αυξηθεί, αφού οι τάσεις που δημιουργούνται από τον μαγματικό θάλαμο διαρρηγνύουν το πέτρωμα. Έτσι η σωστή κατανόηση της γεωλογικής δομής μιας περιοχής μπορεί να δώσει ενδείξεις για την ύπαρξη ενός μαγματικού θαλάμου σε κάποιο βάθος, ή την αυξημένη περατότητα. Τέτοιες περιοχές αποτελούν στόχους γεωθερμικής έρευνας.

Στεγανό κάλυμμα

Ο ταμιευτήρας με τα θερμά ρευστά θα πρέπει να σκεπάζεται με κάποιο στεγανό κάλυμμα που να αποτρέπει τη διάχυση της θερμικής ενέργειας στην ατμόσφαιρα. Η στεγανότητα του καλύμματος μπορεί να είναι πρωτογενής, να οφείλεται δηλαδή στη φύση του σχηματισμού από τότε που αυτός δημιουργήθηκε, ή να προέκυψε δευτερογενώς εξαιτίας των ειδικών τοπικών συνθηκών (αποστεγανοποίηση). Το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε πολλές ηφαιστειακές περιοχές εξαιτίας κυρίως της υδροθερμικής εξαλλοίωσης των αρχικών πετρωμάτων και τον σχηματισμό αργιλικών ορυκτών (μπεντονίτη, καολίνη κ.λ.π.), όπως έγινε στη Μήλο και στη Νίσυρο.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κ.α. Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων:

1. Τα **υδροθερμικά συστήματα** ή **πόροι**, δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα είναι ουσιαστικά τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται. Μια άλλη ονομασία που δίνεται σε αυτά τα συστήματα είναι *συστήματα συναγωγής* ή δυναμικά συστήματα, επειδή η θερμότητα μεταδίδεται κυρίως με τον μηχανισμό της συναγωγής. Υπάρχουν βέβαια και ορισμένα συστήματα αγωγής ή στατικά συστήματα, που αποτελούνται συνήθως από νερά υψηλής αλατότητας, με θερμοκρασία 60-150 Κελσίου και σε κανονική πίεση, παγιδευμένα σε βάθος 2-4 km και τα οποία έχουν θερμανθεί με το μηχανισμό της αγωγής. Τυπικό παράδειγμα αποτελεί η Παννονική λεκάνη, η οποία έχει τύχει σημαντικής αξιοποίησης.
2. Μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η λεγόμενη **αβαθής γεωθερμία**, κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή «ξηρές» γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων.

3. Τα **γεωπεπιεσμένα συστήματα**, τα οποία αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεση τους υπερβαίνει την υδροστατική. Συγκαταλέγονται στα στατικά συστήματα και συνυπάρχουν με υδρογονάνθρακες (κυρίως αερίου).
4. Τα συστήματα βαθιών **θερμών-ξηρών πετρωμάτων**, δηλαδή τα θερμά πετρώματα σε βάθος από 3 μέχρι 10 km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων και ανακτάται θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.
5. Τα **μαγματικά συστήματα** αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.

Η πιο πάνω ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων παρουσιάζεται στο Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται και οι τυπικές θερμοκρασίες των απαντώμενων ή παραγομένων ρευστών.

Μια πρώτη διάκριση των υδροθερμικών συστημάτων γίνεται συνήθως ανάμεσα στα συστήματα, στα οποία το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός (συστήματα ατμού) και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή, και στα συστήματα στα οποία κυρίαρχο ρευστό είναι το θερμό νερό (συστήματα θερμού νερού).

Το συνηθέστερο κριτήριο για την ταξινόμηση των υδροθερμικών συστημάτων νερού βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία είναι και οι φορείς της θερμότητας στην επιφάνεια της γης από τα θερμά βαθιά πετρώματα. Η ενθαλπία των ρευστών, ΔH , η οποία μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της θερμοκρασίας τους, χρησιμοποιείται για να εκφράσει το θερμικό περιεχόμενο τους. Οι γεωθερμικοί πόροι ταξινομούνται συνήθως για λόγους ευκολίας σε ρευστά **χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας ή θερμοκρασίας**, όπως παρουσιάζεται στο πίνακα 1.

Τύπος Συστημάτων	Χαρακτηριστικά	Θερμοκρ. (°C)
1. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ		
1α. Συστήματα συναγωγής	Περατοί σχηματισμοί με φυσική κυκλοφορία ρευστών	
A) Συστήματα που περιέχουν ατμό	Κλειστά κυκλώματα συναγωγής, ατμοί παγιδευμένοι από στεγανά καλύμματα, $T > 200^{\circ}\text{C}$, μέχρι 1,5 km	~240
B) Συστήματα που περιέχουν θερμό νερό		
i) Υψηλής θερμοκρασίας	Κλειστά ή ανοικτά κυκλώματα συναγωγής, μέχρι τα 3 km	> 150
ii) Μέσης θερμοκρασίας	Σχεδόν οριζόντιοι υδροφόροι με τοπική αποστράγγιση ψυχρού νερού ή κυκλοφορία θερμού νερού υπό πίεση	90-150
iii) Χαμηλής θερμοκρασίας	Όπως προηγούμενο, με χαμηλότερη θερμοκρασία νερού, με μικρή ή καθόλου πίεση	< 90
1β. Συστήματα αγωγής	Μη-περατοί σχηματισμοί, με μεγάλο πορώδες και περατότητα, σε βάθος 1-3 km με εγκλωβισμένα νερά	60-150
2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	Από 1 m βάθος μέχρι 100 m, με ή χωρίς νερό	<40
2. ΘΕΡΜΑ-ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	Μη περατοί σχηματισμοί πετρωμάτων χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών. Τεχνητή κυκλοφορία νερών με σύστημα δύο τουλάχιστον γεωτρήσεων	
i) Υψηλής θερμοκρασίας	$T > 250^{\circ}\text{C}$ μέχρι 3 km	>250
ii) Μέσης-χαμηλής θερμοκρασίας	$T < 150^{\circ}\text{C}$ μέχρι 3 km	<150
3. ΓΕΩΠΕΠΙΕΣΜΕΝΑ	Έγκλειστα υδροφόρα στρώματα υπό μεγάλη πίεση, παρουσία υδρογονανθράκων (συστήματα αγωγής)	150-200
4. ΜΑΓΜΑΤΙΚΑ	Η θερμοκρασία $> 500^{\circ}\text{C}$ σε μερικά χιλιόμετρα βάθος λόγω μαγματικών διεισδύσεων	>500

Πίνακας 1. Ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων.

Υψηλής ενθαλπίας ορίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C , μέσης ενθαλπίας τα ρευστά με θερμοκρασία από 90 έως 150°C , χαμηλής ενθαλπίας τα ρευστά με θερμοκρασία μικρότερη από

90°C. Ο λόγος αυτής της ταξινόμησης είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος δεν είναι πάντα οικονομικά αποδεκτή για θερμοκρασίες ρευστών μικρότερες από 150°C.

ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η γεωθερμική έρευνα διακρίνεται σε τέσσερα κύρια στάδια:

1. Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας
2. Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών
3. Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών
4. Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων.

Τα στάδια αυτά ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις της γεωθερμικής έρευνας, αν και οι επιμέρους γεωλογικές συνθήκες είναι διαφορετικές από πεδίο σε πεδίο. Έτσι, ανάλογα με τις γεωλογικές γνώσεις, την ποσότητα και ποιότητα των υπαρχόντων στοιχείων, τα οικονομικά, κλιματικά, πληθυσμιακά δεδομένα και παράγοντες μίας περιοχής, η ανάπτυξη και η υλοποίηση της γεωθερμικής έρευνας προσαρμόζεται κατά περίπτωση. Μπορεί να αλλάξει η λεπτομερής διάρθρωση και η ανάπτυξη των επιμέρους σταδίων, γενικά όμως οι εργασίες ακολουθούν την προαναφερθείσα σειρά.

Η γεωθερμική έρευνα στοχεύει στα ευνοϊκότερα αποτελέσματα με το λιγότερο δυνατό κόστος. Θα πρέπει να γίνει σωστός σχεδιασμός και προγραμματισμός παίρνοντας συγχρόνως υπόψη πολλές παραμέτρους και χρησιμοποιώντας τα καλύτερα μέσα: από την πολύπλευρη επιστημονική γνώση και εμπειρία των γεω-επιστημόνων ερευνητών, τα καλύτερα εργαστηριακά εργαλεία, τις πλέον αξιόπιστες συσκευές και όργανα υπαίθρου, τα αποτελεσματικότερα γεωτρύπανα και φυσικά τις πλέον ενδεδειγμένες μεθόδους για την κάθε ιδιαίτερη περίπτωση.

Σε κάθε φάση απαιτείται υποχρεωτικά η συνεργασία και ο συντονισμός των διαφόρων επιστημόνων και τεχνικών που εμπλέκονται στην όλη έρευνα.

ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ

Κατά την γεωθερμική έρευνα χρησιμοποιούνται διάφορα είδη θερμομέτρων. Έτσι χρησιμοποιούνται τα γυάλινα υδραργυρικά, που όμως είναι πολύ εύθραυστα για εργασία υπαίθρου και τα ηλεκτρικά θερμομέτρα που δουλεύουν με την αρχή της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης των ευαίσθητων μεταλλικών ακίδων με τη θερμότητα.

Αυτά τα θερμομέτρα διακρίνονται σε θερμομέτρα «τσέπης» με μικρό καλώδιο, (μέχρι 1-2m) για επιφανειακές μετρήσεις και αυτά με μεγάλο καλώδιο (έως 500-600m) για μετρήσεις μέσα στη γεώτρηση.

Κατά τη γεωθερμική έρευνα στη περιοχή των Ελευθερών καβάλας χρησιμοποιήθηκε το θερμομέτρο «τσέπης», για τη μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του νερού των γεωτρήσεων. Γενικά για βαθύτερες γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται ειδικά θερμομέτρα που έχουν πολύπλοκο ενσωματωμένο σύστημα αυτοκαταγραφής της μεταβολής θερμοκρασιών με τον χρόνο.

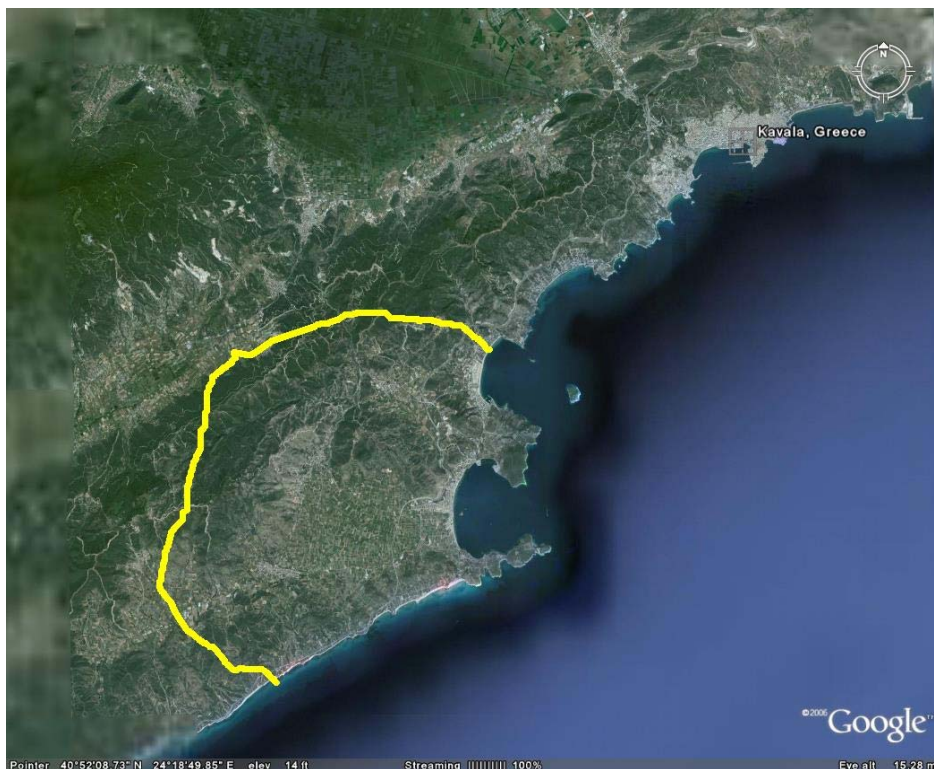
Τέλος, υπάρχουν και θερμομέτρα συνεχούς καταγραφής για την διαπίστωση της μεταβολής με το χρόνο κατά τις δοκιμές παραγωγής ή και κατά την εκμετάλλευση.

ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας (Σχήμα 2) βρίσκεται στα νοτιοδυτικά της πόλης της Καβάλας, σε απόσταση 15 χιλιομέτρων. Περιβάλλεται από τα χωριά Νέα Πέραμος, Ελαιοχώρι, Ελευθερές, Άγιος Ανδρέας, Νέα Ηρακλείσα του νομού Καβάλας.

Η περιοχή αποτελεί τμήμα του όρους Σύμβολο στο βόρειο και βορειοδυτικό μέρος της, ενώ η υπόλοιπη έκταση της περιοχής έρευνας είναι αυτό που τοπικά ονομάζεται «κάμπος των Ελευθερών», δηλαδή μια πεδιάδα που περιβάλλεται από το όρος Σύμβολο βόρεια έως δυτικά, ενώ το υπόλοιπο μέρος βρέχεται από τη θάλασσα. Τα ιζήματα του κάμπου είναι αλλουβιακά ριπίδια και χερσαίες αποθέσεις, παράκτιοι άμμοι.

Το όρος Σύμβολο, ο κάμπος των Ελευθερών και συνεπώς και η περιοχή που ερευνήθηκε, τοποθετείται στον ευρύτερο χώρο της μάζας της Ροδόπης.



Σχήμα 2. Περιοχή έρευνας.

Η ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ

Στη μάζα της Ροδόπης ανήκει η Θράκη, η Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο τη γραμμή του Στρυμόνα ποταμού, η Θάσος, καθώς και ένα τμήμα της Βουλγαρίας.

Παλαιότερα στη μάζα της Ροδόπης θεωρείτο ότι ανήκε και η Σερβομακεδονική μάζα, η οποία αργότερα (1961-66) διαχωρίστηκε σε ιδιαίτερη ζώνη.

Ο Kober (1931) χαρακτήρισε τη περιοχή Ροδόπης «Μεσόρειο περιοχή» ή «Μεσαία οροσειρά», ενώ ο Bonceu (1946) τοποθέτησε τη Ροδόπη στο Διναρικό κλάδο χωρίς όμως αυτή η άποψη του να έχει μέλλον. Τέλος ο Brunh (1964) τη χαρακτήρισε ως ένα μεσαίο κλάδο.

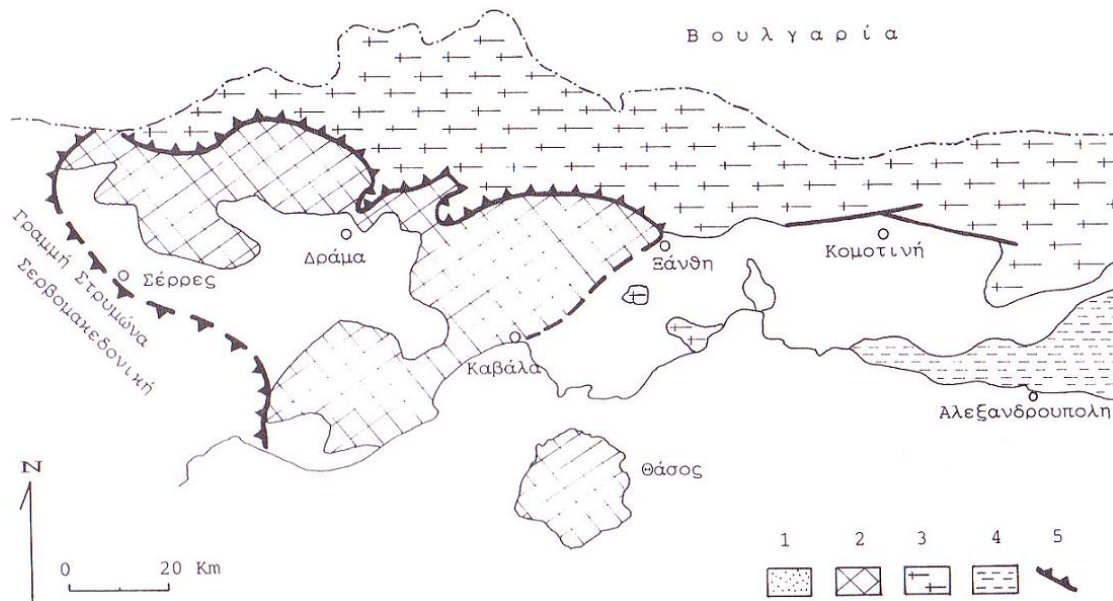
Είτε είναι κλάδος είτε είναι μια μεσαία μάζα, εκείνο στο οποίο συμφωνούν οι περισσότεροι ερευνητές είναι ότι η Ροδόπη δεν είναι μια γεωτεκτονική μονάδα της κλίμακας της ζώνης, αλλά οπωσδήποτε μεγαλύτερης, πιθανόν ανάλογη του κλάδου. Έτσι ο διαχωρισμός της Σερβομακεδονικής μάζας από τη Ροδόπη, έδωσε την ευκαιρία σε ορισμένους ερευνητές να χαρακτηρίσουν τη Σερβομακεδονική σαν μια επί μέρους ζώνη της μάζας της Ροδόπης.

Τελικά σήμερα για τη περιοχή της Ροδόπης γίνεται αποδεκτή η άποψη του Dimitrov (1955) που την ονόμασε «Μάζα της Ρίλα-Ροδόπης» από τις ομώνυμες οροσειρές Βουλγαρίας και Ελλάδας.

Ο γεωτεκτονικός χαρακτήρας της μάζας Ρίλα-Ροδόπης, σύμφωνα με τα πιο νέα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών για την εξέλιξη της Μεσογείου, είναι καθαρά ηπειρωτικός και θεωρείται ότι η προέλευση της μάζας είναι από την πλάκα της Λαυρασίας.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

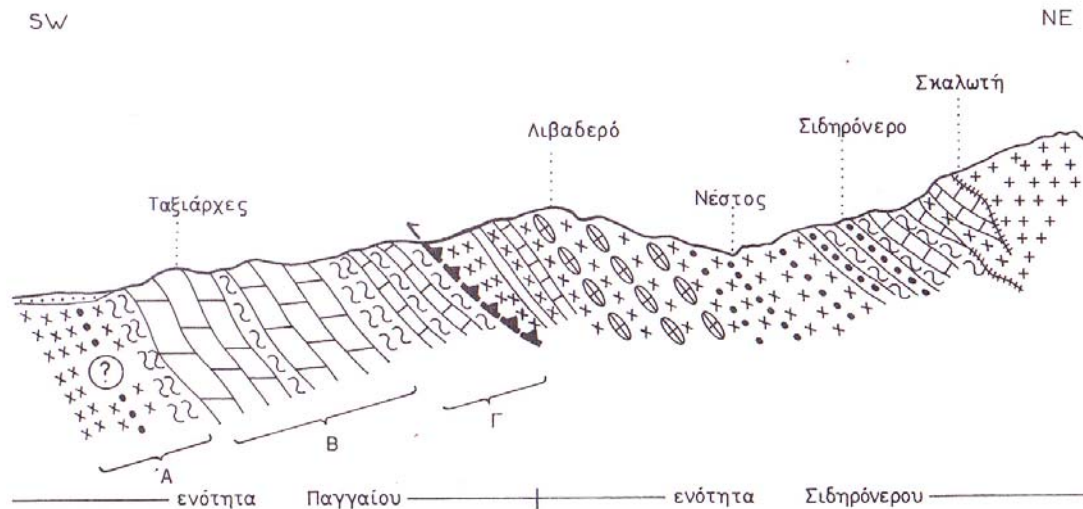
Έρευνες διαχωρίζουν τη μάζα της Ελληνικής Ροδόπης σε δυο μονάδες: την ανώτερη «ενότητα του Σιδηρόνερου» στα βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και την κατώτερη «ενότητα του Παγγαίου» που καταλαμβάνει τη δυτική, νοτιοδυτική Ροδόπη (Ραρανικόλαου & Ραναγορούλος 1981, σχήμα 3)



Σχήμα 3. Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης. 1: Μεταλλικά ιζήματα. 2: Ενότητα Παγγαίου. 3: Ενότητα Σιδηρόνερου. 4: Σχηματισμοί της Περιροδοπικής ζώνης. 5: Γραμμή επώθησης

Η ενότητα Σιδηρόνερου αποτελείται κυρίως από ορθογνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες.

Η ενότητα Παγγαίου, στην οποία ανήκει και η περιοχή έρευνας, συγκροτείται από έναν κατώτερο ορίζοντα με ορθογνευσίους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και έναν ανώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστόλιθων και μαρμάρων (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Σχηματική γεωλογική τομή στην οποία απεικονίζονται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των δυο ενοτήτων, Σιδηρόνερου και Παγγαίου. Α: Ορθογνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες. Β: Μάρμαρα μεγάλου πάχους με εναλλαγές σχιστόλιθων. Γ: Εναλλαγές σχιστόλιθων και μαρμάρων.

Η περιοχή έρευνας αποτελείται από έναν κατώτερο γρανίτη (γρανοδιορίτη) ηλικίας Παλαιοζωικής, που ονομάζεται «Γρανίτης Συμβόλου» ή «Γρανίτης Καβάλας». Τα εξωτερικά μέρη του δείχνουν ισχυρή σχιστότητα ή μυλονιτοποίηση.

Έπειτα παρατηρείται ένας ορίζοντας γνευσίων και λεπτόκοκκων έως μεσόκοκκων γνευσιακών σχιστόλιθων, Παλαιοζωικής ηλικίας.

Τη περιοχή έρευνας καλύπτουν Τεταρτογενή ιζήματα, χερσαίες αποθέσεις και παράκτιες άμμοι.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η τεκτονική ανάλυση του κρυσταλλοσχιστώδους που έγινε μέχρι τώρα σε ορισμένες περιοχές της Ροδόπης, διαπίστωσε τρεις φάσεις πτυχώσεων των σχηματισμών.

Η πρώτη φάση προκάλεσε πτυχές ισοκλινείς, συμμεταμορφικές, γενικής αξονικής διεύθυνσης B-N με Παλαιοζωική ηλικία.

Η δεύτερη φάση με πτυχές υποϊσοκλινείς και άξονες διεύθυνσης BA-NΔ και ABA-ΔNΔ συνοδεύεται από μια πολύ εμφανή γράμμωση που προέρχεται από τη τομή της Παλαιοζωικής φύλλωσης των πετρωμάτων με μια δευτερή σχιστότητα που συνόδευσε αυτή τη δεύτερη φάση πτυχώσεων. Οι δομές της φάσης αυτής είναι εκείνες που κυριαρχούν στα πετρώματα της Ροδόπης και τα περισσότερα πλουτωνικά σώματα εμφανίζονται προσανατολισμένα κατά την διεύθυνση των αξόνων αυτών κατέχοντας κυρίως τους πυρήνες των μεγααντικλίνων.

Η τρίτη φάση πτυχώσεων έχει πτυχές ανοιχτές διεύθυνσης αξόνων BA-NΔ (συνήθως 120) που επαναπτυχώνουν τις προγενέστερες πτυχές. Η ηλικία της τρίτης φάσης πιστεύεται ότι είναι Τριτογενής ίσως Ολιγοκαινική και μ' αυτή μάλλον συνδέεται η μεγάλη επιπτευτική κίνηση της ενότητας Σιδηρονέρου πάνω στην ενότητα Παγγαίου, η τεκτονική επαφή των οποίων γενικά συμπίπτει με την αξονική διεύθυνση της τρίτης φάσης.

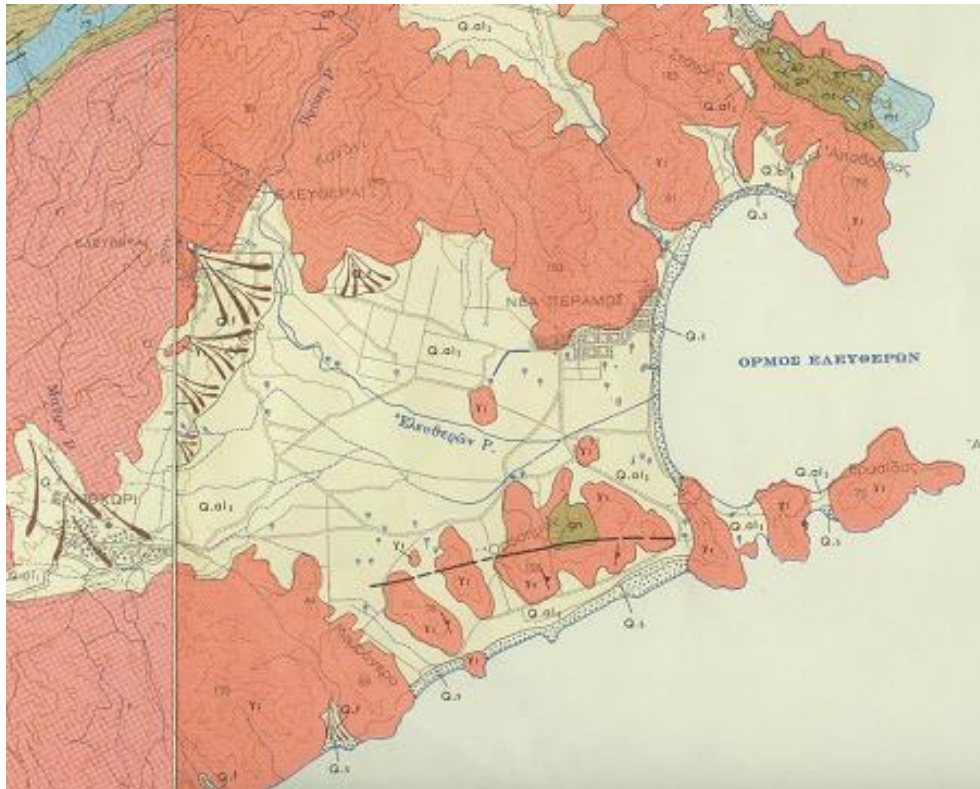
Στη περιοχή έρευνας δυστυχώς λόγω της μεγάλης έκτασης των τεταρτογενών ιζημάτων δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε με ευκολία τα ρήγματα που υπάρχουν. Η ύπαρξη των ρηγμάτων θα μπορούσε να μας βοηθήσει πολύ, λόγω του ότι είναι γνωστό πως η ανοδική πορεία των θερμών ρευστών γίνεται μέσα από τα ρήγματα. Στα τελευταία στάδια της αλπικής ορογένεσης

δημιουργήθηκαν τεκτονικές ασυνέχειες οι οποίες δραστηριοποιήθηκαν και διευρύνθηκαν κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές εξαιτίας του εφελκυσμού που ακολούθησε.

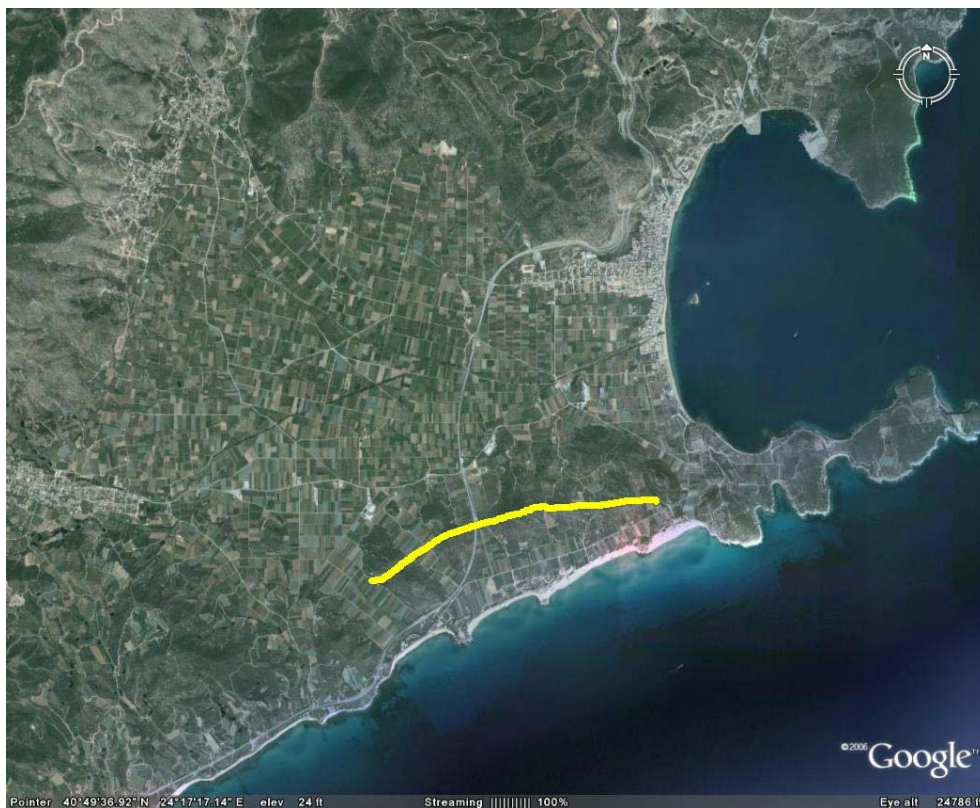
Ρηξιγενής τεκτονική

Οι κύριες κατακόρυφες κινήσεις μεγάλων όγκων, που τοποθετούνται πιθανόν στο Μειόκαινο, αλλά σίγουρα στο Πλειόκαινο, αντιπροσωπεύουν κατά τον Kronberg τα τελευταία στάδια της Αλπικής ορογένεσης στο κομμάτι αυτό της ΝΑ-Ευρώπης. Με τις παραμορφωτικές κάμψεις και τις διαρρήξεις μεγάλης έκτασης, που είχαν τοπικά μεγάλη ένταση και που έγιναν στις περιοχές που μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν στους Αλπικούς χρόνους, δημιουργήθηκαν οι πρώτες τάσεις για τη σημερινή μακρομορφολογική διάρθρωση του τοπίου της περιοχής. Έτσι η τοπική ανύψωση, που τοποθετείται στα όρια Πλειόκαινου-Πλειστοκαίνου, οδήγησε στο σχηματισμό των σημερινών κορυφών των οροσειρών του Παγγαίου, του Μενοικίου αλλά και του Συμβόλου, που αποτελεί τμήμα της περιοχής έρευνας.

Το όρος Σύμβολο, που οι μεταμορφωμένες ενότητες του διαμορφώθηκαν κυρίως με την Αλπική πτύχωση, δεν άλλαξε σημαντικά με τη νέα ρηξιγενή τεκτονική. Δεν παρατηρούνται δηλαδή καθόλου μεγάλα ρήγματα. Η μόνη εξαίρεση αποτελεί ένα ρήγμα μήκους 2,5km στη τοποθεσία «Ορόσημον», νότια της Ν. Περάμου, που είναι άλλη μια περίπτωση τοπικής ανύψωσης του όρους, η οποία ανύψωση έγινε με μια υστέρηση ή βύθιση της λεκάνης των Ελευθερών, που στη συνέχεια γέμισε με χερσαία ιζήματα και αλλουβιακά ριπίδια, δημιουργώντας σήμερα την όψη του κάμπου των Ελευθερών. (Σχήμα 5^α και 5^β)



Σχήμα 5^α. Ο κάμπος των Ελευθερών, το ρήγμα του υψώματος Ορόσημον, χερσαία ιζήματα και αλλουβιακά ριπίδια στον Γρανίτη του Συμβόλου. (Γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε.)



Σχήμα 5^β. Δορυφορική εικόνα της ίδιας περιοχής. Με κίτρινο διαγράφεται το ρήγμα του υψώματος «Ορόσημον». (Google Earth 2010)

Πτυχογόνος τεκτονική

Στις ενότητες του όρους Συμβόλου, που όπως και οι ενότητες του Παγγαίου, Φαλακρού όρους, Ορέων Λεκάνης και Μενοικίου, βρίσκεται ανάμεσα στον Στρυμόνα και στον Νέστο, διακρίνει ο Kronberg (1969) δύο φάσεις τεκτονισμού, μια παλιότερη εφαπτομενική τεκτονική, που έγινε στη διάρκεια της γενικής μεταμόρφωσης και πτύχωσης, και μια νεότερη με κατακόρυφες κινήσεις.

Οι μεγάλες πτυχωσιγενείς δομές της παλιότερης τεκτονικής, που χαρακτηρίζονται ως B₁ (W. MEYER και PILGER 1963), έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Πλήθος από πτυχωσιγενείς δομές, αντίκλινα – σύγκλινα, διευθύνονται προς τα βορειοανατολικά και προσδιορίζουν τη μακροτεκτονική αυτής της περιοχής. Οι άξονες των πτυχών έχουν διεύθυνση που κυμαίνεται ανάμεσα στις 40 και 60 μοίρες και βυθίζονται κυρίως προς τα βορειοανατολικά.

Τα εκτεταμένα αυτά σύγκλινα και αντίκλινα με διαστάσεις χιλιομέτρων στις περιοχές του Συμβόλου αλλά και του Παγγαίου, των Ορέων Λεκάνης και του Φαλακρού όρους είναι τα καθοδηγητικά στοιχεία της B₁-τεκτονικής, που έχουν διεύθυνση αξόνων 40-60 μοίρες

Τα πτυχωσιγενή στοιχεία της B₁-τεκτονικής, που κυριαρχούν στο κρυσταλλοσχιστώδες της Ροδόπης είναι καταρχήν το μεγάλο αντίκλινο του Συμβόλου, που ακολουθεί μια πορεία μήκους περίπου 90 χιλιομέτρων, από το ΝΔ Σύμβολο μέχρι το Νέστο. Στον πυρήνα αυτού του αντικλίνου βρίσκεται ο «Γρανίτης της Καβάλας», ή αλλιώς «Γρανίτης του Συμβόλου». Ο άξονας του μεγάλου αυτού αντικλίνου έχει διεύθυνση περίπου 50°.

ΧΑΡΤΕΣ - ΠΙΝΑΚΕΣ

Από την περιοχή έρευνας έγιναν κάποιες μετρήσεις επιφανειακών θερμοκρασιών από γεωτρήσεις, οι οποίες είναι αριθμημένες από το 1 έως το 33 και τοποθετημένες στο χάρτη. Επίσης στους πίνακες I και II διαχωρίζονται οι γεωτρήσεις με βάση το βάθος τους. Στον πίνακα I είναι οι γεωτρήσεις με βάθος έως και 80m, ενώ στον πίνακα II οι γεωτρήσεις από 80 έως 180m. Σε αυτούς τους πίνακες, εκτός από το βάθος, αναφέρονται επίσης οι επιφανειακές θερμοκρασίες, το βάθος αντλίας, όπου αυτό είναι γνωστό, ο ιδιοκτήτης της γεώτρησης και τέλος η τοποθεσία στην οποία βρίσκεται η γεώτρηση.

Με βάση λοιπόν τον διαχωρισμό του βάθους, χαράχθηκαν ισόθερμες καμπύλες σε τοπογραφικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000. Ο πρώτος πίνακας αναφέρεται σε θερμοκρασίες που συναντώνται σε γεωτρήσεις μικρότερες ή ίσες των 80m και ο δεύτερος σε γεωτρήσεις μεγαλύτερες των 80m έως 180m βάθους.

Το αποτέλεσμα των ισόθερμων μας δείχνει τη διεύθυνση των ρηγμάτων της περιοχής, μιας και είναι πολύ σημαντικό, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι γνωστό πως η ανοδική πορεία των θερμών ρευστών γίνεται μέσα από τα ρήγματα.

Στον χάρτη I παρατηρούμε από τις ισόθερμες καμπύλες που αντιστοιχούν σε γεωτρήσεις έως 80m, ότι η διεύθυνση των ρηγμάτων είναι ΒΑ-ΝΔ, ενώ στον χάρτη II παρατηρούμε από τις ισόθερμες καμπύλες που αντιστοιχούν σε γεωτρήσεις από 80 έως 180m, ότι η διεύθυνση των ρηγμάτων είναι κατά προσέγγιση ΒΒΑ-ΝΝΔ.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΘΟΥΣ - 80m

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ (m)	ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ
2	22,8	54	30	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΘΕΡΜΟΠΗΓΗ-ΚΑΪΝΑΚΙ
7	22,6	40	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΕΓΝΑΤΙΑ
10	20,3	80	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΚΕΤΑΛΑΝΙ
11	20,5	80	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ
12	17,3	35	20	ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Κ.	ΦΑΡΔΥ
13	19	60	-	ΓΙΑΝΤΣΑΣ Κ.	ΕΛΑΙΟΧΩΡΙ
14	18,7	60	-	ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Κ.	ΕΛΑΙΟΧΩΡΙ
15	22,3	75	-	ΚΑΠΠΑ Φ.	ΕΛΑΙΟΧΩΡΙ
18	18,6	70	-	ΧΑΤΖΗΜΙΛΗΣΗΣ Γ.	ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟΣ
19	17,5	40	24	ΜΥΛΩΝΑΣ Ν.	ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ
20	18	35	20	ΑΖΛΗΣ Δ.	ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ
21	17,8	80	60	ΜΑΥΡΟΦΩΤΗΣ Ε.	-
23	22,7	70	-	ΜΑΣΤΡΑΝΤΩΝΗΣ	-
24	19,1	68	42	ΚΕΣΙΔΗΣ Κ.	ΝΕΑ ΗΡΑΚΛΕΙΤΣΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΘΟΥΣ 80-180m

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ (m)	ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ
1	24,3	105	60	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΝΤΟΥΧΤΣΑ
3	23,6	100	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΜΗΧΑΝΙΚΟ
4	21,6	100	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΓΗΠΕΔΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ
5	23,2	90	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΜΠΑΜΠΡΑΝΙΑ
6	24	120	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΑΣ
8	23,3	160	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΓΙΑΝΝΑΚΟΥ
9	23,4	160	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΓΗΠΕΔΟ ΕΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ
16	20	126	-	ΚΛΩΝΑΡΙΔΗΣ Π.	ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ
17	20,9	135	70	ΜΑΥΡΟΦΩΤΗΣ Κ.	ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟΣ
22	25,2	120	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΑΣ
25	21,7	136	-	-	ΧΑΤΖΗ
26	19,4	140	-	-	ΜΥΡΤΟΦΥΤΟ
27	20,2	120	-	ΑΡΓΥΡΙΟΥ Α.	ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ
28	19,2	170	-	ΜΥΛΩΝΑΣ Ν.	ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ
29	21,3	94	-	-	ΝΕΑ ΗΡΑΚΛΕΙΤΣΑ
30	20,6	140	110	-	ΝΕΑ ΗΡΑΚΛΕΙΤΣΑ
31	25,8	130	100	-	ΝΕΑ ΗΡΑΚΛΕΙΤΣΑ
32	22,8	120	-	ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	ΑΓΙΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
33	23	110	-	ΣΙΔΗΡΟΠΟΥΛΟΣ Θ.	ΝΕΑ ΗΡΑΚΛΕΙΤΣΑ
34	24,5	85	-	ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ Δ.	ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟΣ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Όταν από τις συνθήκες που επικρατούν σε ένα γεωθερμικό πεδίο, λείπει η εστία θερμότητας με τη μορφή λιωμένου πετρώματος, τότε η θερμική ανωμαλία είναι πολύ μικρότερη ή και ανύπαρκτη. Έτσι, σε περιοχές π.χ. με εφελκυστικού τύπου τεκτονική, που δημιουργούν πρόσφατης ηλικίας λεκάνες, έχουμε μικρή θερμική ανωμαλία εξαιτίας των «ανοιχτών» ρηγμάτων, που επιτρέπουν τη σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά προς τα πάνω σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας.

Στη περιοχή έρευνας συμβαίνει ακριβώς αυτό. Είναι μια περιοχή με εφελκυστικού τύπου τεκτονική, αποτελείται από μια λεκάνη η οποία πληρώθηκε με τεταρτογενή ιζήματα και δημιούργησε τον κάμπο των Ελευθερών. Σύμφωνα με τις ισόθερμες καμπύλες έχουμε ρήγματα στη περιοχή που επιτρέπουν την άνοδο των θερμών ρευστών και κατά συνέπεια μεταφορά προς τα πάνω σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Δημιουργούνται έτσι ευνοϊκές συνθήκες και λόγω του στεγανού καλύμματος που δημιουργούν τα τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης έχουμε ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί επίσης και η περιοχή της λεκάνης του Στρυμόνα Σερρών (Σχήμα 6).

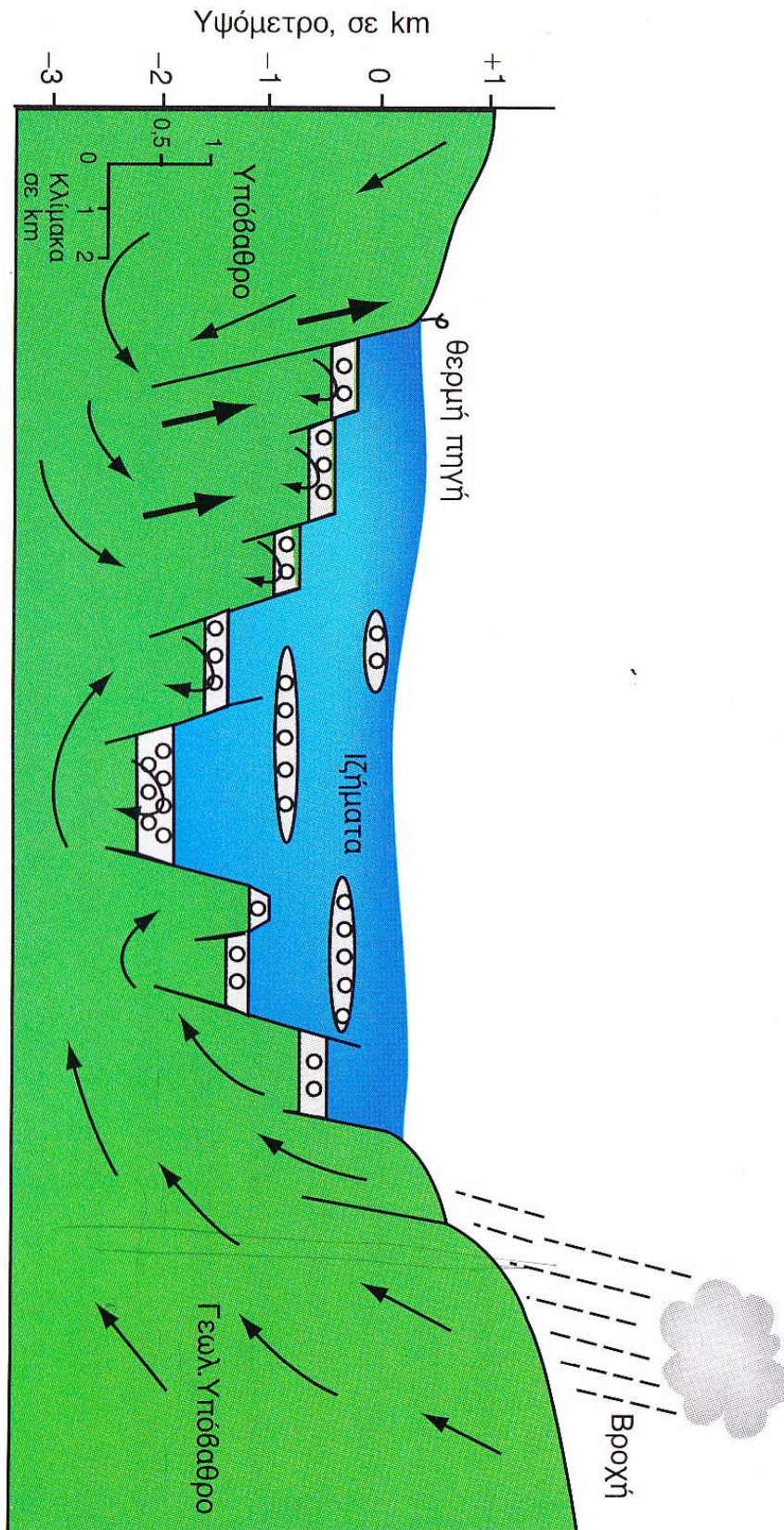
Το σχήμα 6 δείχνει μια παράσταση γεωθερμικού μοντέλου χαμηλής ενθαλπίας σε λεκάνη από τεκτονική βύθιση. Τα θερμά ρευστά κυκλοφορούν σε κροκαλοπαγή της λεκάνης, μέσα στα ιζήματα ή κοντά σε ρήγματα. Τα βέλη δείχνουν την υπόγεια κυκλοφορία και τα ρεύματα μεταφοράς θερμότητας.

Στην περιοχή που ερευνήθηκε εντοπίστηκαν αρκετά υψηλές επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας. Η υψηλότερη θερμοκρασία νερού που μετρήθηκε ήταν

25,8°C. Η γεώτρηση αυτή, γεώτρηση 31, από την οποία προέρχεται η θερμοκρασία, βρίσκεται στους πρόποδες ενός λόφου νότια του υψώματος «Σταυρός», λίγα μέτρα μακριά από το δρόμο που ενώνει τη Νέα Πέραμο με τη Νέα Ηρακλείτσα, 2 χιλιόμετρα έξω από τη Νέα Πέραμο. Οι ισόθερμες καμπύλες που αντιστοιχούν στη περιοχή, υπονοούν την ύπαρξη ακόμη υψηλότερων θερμοκρασιών, ανατολικά και νοτιοανατολικά της γεώτρησης 31. Όμως, δυστυχώς σε αυτή τη περιοχή δεν υπάρχουν άλλες γεωτρήσεις. Ο λόγος είναι ότι σε πολύ κοντινή απόσταση βρίσκεται η θάλασσα.

Από τους χάρτες των ισόθερμων της περιοχής έρευνας παρατηρούμε ότι οι γεωτρήσεις βάθους έως και 80m βρίσκονται στα επίπεδα μέρη της περιοχής έρευνας, όπως είναι ο κάμπος των Ελευθερών, ενώ οι βαθύτερες γεωτρήσεις βρίσκονται και σε μεγαλύτερου υψόμετρου τοποθεσίες, όπως είναι τα υψώματα «Ορόσημον» και «Σταυρός».

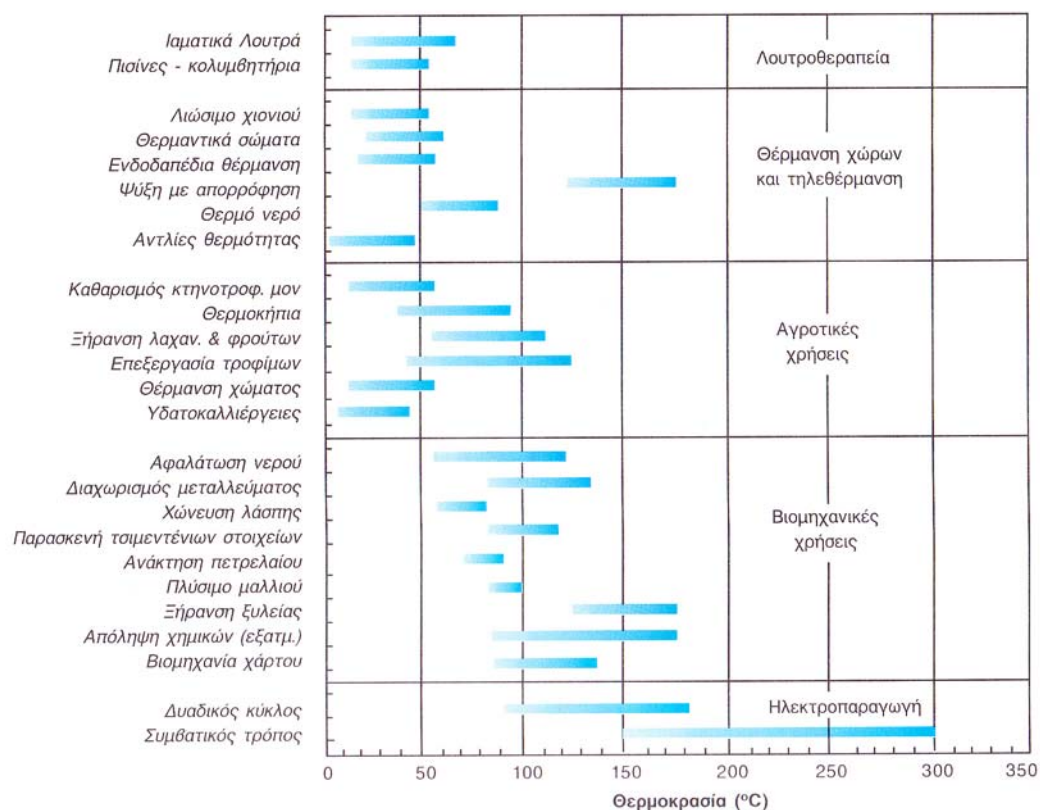
Μεγάλες θερμοκρασίες βρέθηκαν στο ύψωμα «Ορόσημον», 21-23°C, στη περιοχή μεταξύ των χωριών Ηρακλείτσας και της Νέας Περάμου, 21-25°C, και επίσης στη περιοχή μεταξύ των χωριών Ελαιοχώρι και Ελευθερές.



Σχήμα 6.

ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** (electrical uses) και σε **άμεσες** χρήσεις (direct uses). Στη δεύτερη κατηγορία γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται συνοπτικά στο σχήμα , το οποίο αποτελεί τροποποίηση του διαγράμματος *Lindal* (1973) (Σχήμα 7)



Σχήμα 7. Το τροποποιημένο διάγραμμα Lindal.

Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων, δοκιμασμένων και πιθανών, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στη περιοχή έρευνας

έχουμε ένα χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικό πεδίο, οπότε δεν μπορεί να είναι ηλεκτρική η χρήση του, γιατί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C.

Αντιθέτως, οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη τη κλίμακα θερμοκρασιών. Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας μπορούν να ταξινομηθούν στις κατηγορίες: θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις, λουτροθεραπεία (και πισίνες) και αντλίες θερμότητας. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας σε 58 χώρες στον κόσμο ανήλθε το έτος 2000 στα 15.145 MWt, σημειώνοντας αύξηση κατά 75% σε σχέση με το 1995. Η ενεργειακή χρήση στην ίδια χρονιά ανήλθε σε 191 GJ/έτος σημειώνοντας αύξηση 69% σε σχέση με το 1995 ή 11% σε ετήσια βάση. Η τιμή αυτής της ενεργειακής παραγωγής αντιστοιχεί σε 4,3 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά έτος. Συγκριτικά σημειώνεται ότι εξοικονομούνται περίπου 20 εκατομμύρια ΤΙΠ/έτος από την αξιοποίηση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

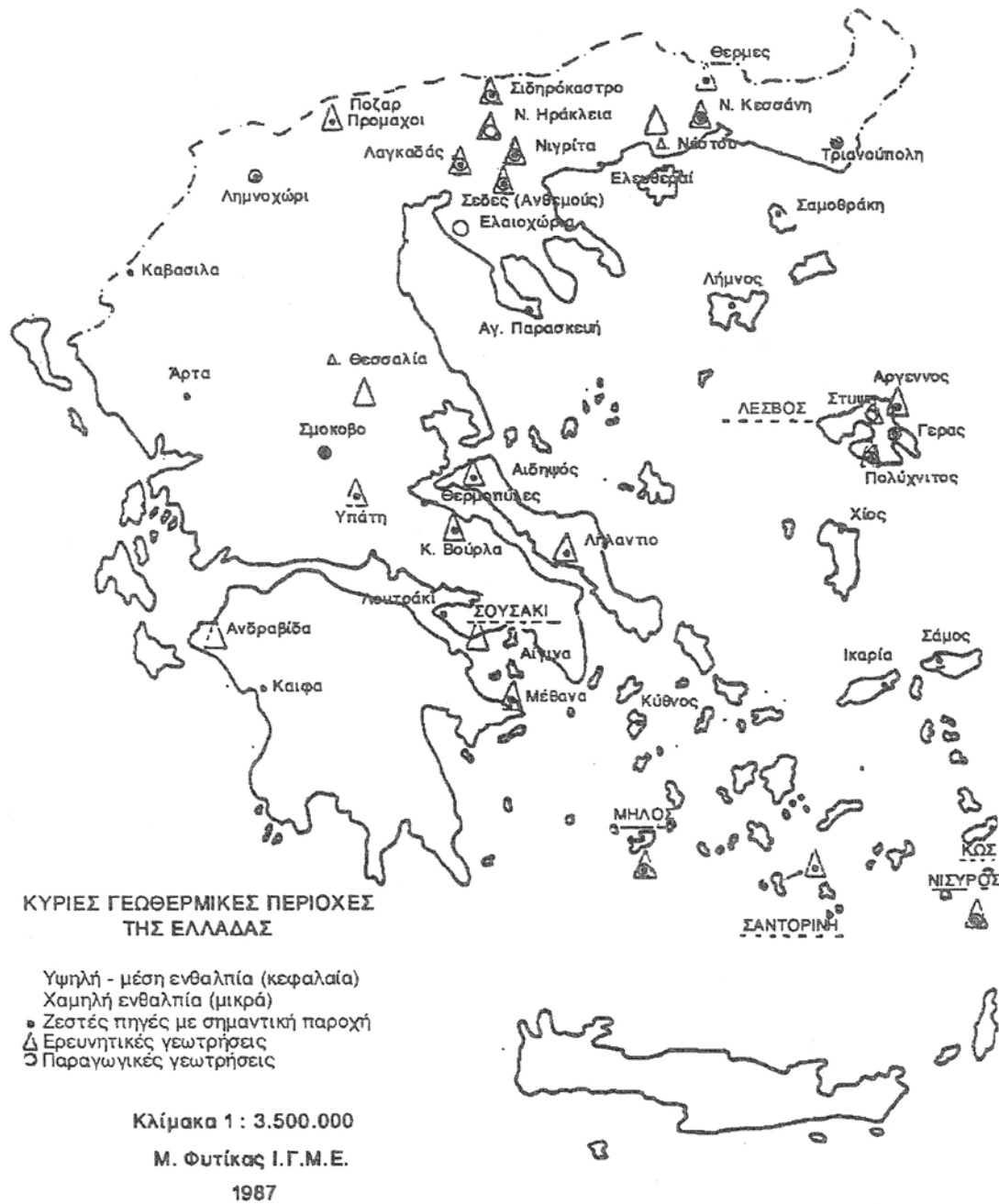
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στη χώρα μας, η γεωθερμική έρευνα ξεκίνησε ουσιαστικά το 1970, με βασικό φορέα το Ι.Γ.Μ.Ε. Κατά την εξέλιξη των εργασιών, η Δ.Ε.Η., ως ο αποκλειστικός φορέας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των ανάλογων πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές.

Το πρώτο ερευνητικό πρόγραμμα άρχισε το 1971 και περιελάμβανε τις παρακάτω περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα-Θερμοπύλες, □Υπάτη και Αιδηψός. Στη συνέχεια, ερευνήθηκαν και άλλες περιοχές, όπως η Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Σαμοθράκη, Νότιος Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή του Στρυμόνα, της Ξάνθης, της Θεσσαλονίκης κ.ά.

Ξεκινώντας από τις αρχές του 1980, και πολλοί άλλο φορείς, οργανισμοί, πανεπιστημιακές σχολές, ερευνητικά ινστιτούτα αλλά και εταιρίες συμβούλων, άρχισαν να ασχολούνται με θέματα σχετικά με τη γεωθερμία. Ενδεικτικά, αναφέρονται το Α.Π.Θ. (Τμήματα Γεωλογίας, Γεωπονίας και Χημικών Μηχανικών), το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Το Πανεπιστήμιο Αθηνών (Τμήμα Γεωλογίας), το Ε.Μ.Π. (Τμήματα Μεταλλειολόγων και Χημικών Μηχανικών), το Πανεπιστήμιο Πατρών, το Πολυτεχνείο Κρήτης, το Τ.Ε.Ι. Πειραιά κ.α.

Τέλος, από την ίδρυση του το 1987 μέχρι και σήμερα, το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ελλάδας συμμετέχει ενεργά στις προσπάθειες για την προώθηση και την καλύτερη αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα μας σε διάφορες χρήσεις (Σχήμα 8).

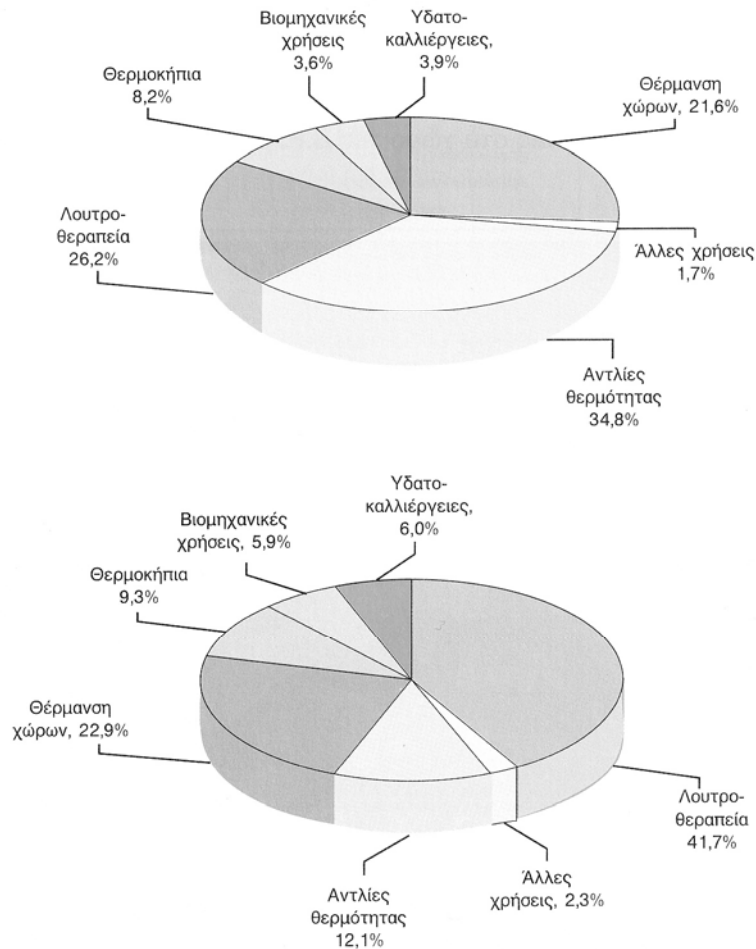


Σχήμα 8. Χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε. για τις γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Οι άμεσες χρήσεις στο χώρο της Ε.Ε. έχουν αναπτυχθεί κυρίως στην Ιταλία, τη Γαλλία, τη Γερμανία και τη Σουηδία, αν και το είδος των χρήσεων ποικίλλει από χώρα σε χώρα, εξαιτίας των γεωλογικών και κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε κράτος, της ενεργειακής κατάστασης, του νομικού πλαισίου προώθησης των Α.Π.Ε. κτλ. Έτσι, στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων, στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, ενώ στη Γερμανία και τη Σουηδία οι μόνες άμεσες χρήσεις είναι ουσιαστικά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Στην υπόλοιπη Ευρώπη, η Ισλανδία, η Γεωργία, η Ρώσικη Δημοκρατία, και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στη θέρμανση χώρων. Στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε ολόκληρη τη πόλη του Reykjavik η θέρμανση των κτηρίων γίνεται με ζεστό νερό, το οποίο θερμαίνεται με γεωθερμική ενέργεια σε απόσταση 30km μακριά από την πόλη. Τέλος, σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στη Κίνα και τη Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων και οι βιομηχανικές χρήσεις.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανομή των διάφορων χρήσεων (αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ των γεωθερμικών μονάδων και την ενεργειακή χρήση) το έτος 2000 δίνεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9. Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά, (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση (Lund and Freeston, 2001).

Η θέρμανση χώρων περιλαμβάνει τη παραγωγή θερμού νερού για θέρμανση χώρων (εκτός από τα θερμοκήπια) και την τηλεθέρμανση οικισμών. Η κατηγορία της λουτροθεραπείας περιλαμβάνει και τις πισίνες που θερμαίνονται με γεωθερμικό νερό, ενώ στις βιομηχανικές χρήσεις, έχει προστεθεί η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και στις άλλες χρήσεις το λιώσιμο του χιονιού σε δρόμους, πεζοδρόμια κτλ.

Μεγάλη ποικιλία γεωθερμικών εγκαταστάσεων βρίσκονται σε λειτουργία, είτε λειτούργησαν για μικρό είτε μεγάλο χρονικό διάστημα στο παρελθόν. Μερικές χαρακτηριστικές χρήσεις γεωθερμικών νερών χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΧΩΡΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΧΟΛΙΑ
Ιαπωνία	Ξήρανση ρυζιού	1800 kg ρυζιού / ημέρα
Ουγγαρία	Θέρμανση και καθαρισμός κτηνοτροφικών μονάδων	Χρησιμοποιούνται 25 γεωτρήσεις, με ισχύ 8 MW _t
Ισλανδία	Ξήρανση φυκιών	Νερό 100°C
Ν. Ζηλανδία	Πλύσιμο και ξήρανση ξυλείας. Λειτουργία κλιβάνου.	Και σε άλλες χώρες (Ισλανδία)
Ν. Ζηλανδία (Wairakei)	Θέρμανση κτηρίων και θερμοκηπίων	Νερό 120°C σε εναλλάκτες αυλών και κελύφους
Η.Π.Α. (Καλιφόρνια)	Παραγωγή ξηρού πάγου CO ₂	Περιοχή Salton Sea
Φιλιππίνες	Ξήρανση σιτηρών.	Γεωθερμικός ατμός θερμαίνει ξηραντήριο περιστρεφόμενου κλιβάνου
Φιλιππίνες	Απόληψη άλατος από θαλασσινό νερό	Αλάτι τριών ποιοτήτων
Ιταλία (Larderello)	Ανάκτηση βορικού οξέος	Χρήση 30 ton/h ατμού
Μεξικό Η.Π.Α.	Καλλιέργεια μανιταριών	Χρήση 2 ton/h νερού 130°C, και 56 ton/h νερού 103°C, αντίστοιχα
Σλοβακία	Ιχθυοκαλλιέργεια χελιών	Νερό 42°C, χρήση εναλλάκτη
Ιαπωνία	Απόσταξη και ζυθοποιία	Μικρή μονάδα
Διάφορες χώρες	Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού	

Πίνακας 2. Μερικές τυπικές άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη γεωθερμική έρευνα στην περιοχή Ελευθερών Καβάλας, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Γεωλογικά η περιοχή καλύπτεται από Τεταρτογενή ιζήματα στο πεδινό μέρος της, ενώ καλύπτεται από τον «Γρανίτη του Συμβόλου» στο ορεινό τμήμα της.

Οι θερμοκρασίες του νερού στις γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, δηλαδή 80 με 180m, η θερμοκρασία κυμαίνεται από 19,2 έως 25,8 ° C, ενώ στις γεωτρήσεις με μικρό βάθος, έως 80m, η θερμοκρασία κυμαίνεται από 17,3 έως 22,8° C.

Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στο νότιο και νοτιοανατολικό μέρος της περιοχής έρευνας, ενώ οι μικρότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στο κέντρο της περιοχής και βόρεια.

Η γεωθερμική ενέργεια της περιοχής μπορεί να αξιοποιηθεί για αγροτικές χρήσεις, όπως είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, η θέρμανση του χώματος, ο καθαρισμός κτηνοτροφικών μονάδων, οι υδατοκαλλιέργειες και άλλες χρήσεις.

ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΝΟΡΥΞΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ –
ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΝΟΜΟΥ ΚΑΒΑΛΑΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δημόπουλος, Γ. (1978): Περί του σχηματισμού των υδροφόρων οριζόντων της λεκάνης μεταξύ των ορέων Παγγαίου - Συμβόλου (Πιερία λεκάνη), Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Νταρλαγιάννης, Ν. (2002): Γεωθερμική έρευνα στο βορειοδυτικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης, Διατριβή ειδίκευσης, Θεσσαλονίκη.
- Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν. (2004): Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Μουντράκης, Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικοί και τοπογραφικοί χάρτες,
 - Φύλλον «Νικήσιανη»
 - Φύλλον «Καβάλα».