

Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ

Γ. Γ. Τραγανός*

Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Η λεκάνη της Μυγδονίας γνωστή από τις ιαματικές πηγές Λαγκαδά και Ν. Απολλωνίας, γεωγραφικά κατέχει το ΒΑ τμήμα του βυθίσματος της Θεσσαλονίκης. Ανήκει στις νεογενείς τεκτονικές λεκάνες κλασσικού τύπου και άρχισε να διαμορφώνεται μαζί με τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης κατά το Ολιγόκαινο.

Οι γεωλογικές, γεωθερμικές, γεωφυσικές και γεωτροητικές έρευνες που διεξήχθησαν στην περιοχή από το 1981 μέχρι σήμερα επέτρεψαν τον προσδιορισμό των εξής γεωθερμικών πεδίων:

1. Λαγκαδά, βέβαιη έκταση 6km^2 , βάθος ρεζερβουάρ 210μ , $T=33^{\circ}-40^{\circ}\text{C}$.
2. Ν. Απολλωνίας, βέβαιη έκταση 2km^2 , βάθος ρεζερβουάρ $50-110\mu$, $T=34^{\circ}-51^{\circ}\text{C}$.
3. Νυμφόπετρας, βέβαιη έκταση 2km^2 , βάθος ρεζερβουάρ $60-110\mu$, $T=39^{\circ}-45^{\circ}\text{C}$.

A B S T R A C T

The Mygdonia basin, well known from the Langada and N. Apollonia thermal springs, is located at the NE part of the Thessaloniki graben.

It is geologically characterized as a typical Neogene basin and its formation has started during the Oligocene.

The geological, geothermal, geophysical and the drilling research work, which has been done since 1981, led us to the location of the following geothermal fields.

1. Langadas geothermal field, proven surface 6km^2 , reservoir's depth 210m , $T=33^{\circ}-40^{\circ}\text{C}$.
2. N. Apollonia geothermal field, proven surface 2km^2 , reservoir's depth $50-110\text{m}$, $T=34^{\circ}-51^{\circ}\text{C}$.
3. Nymphopetra geothermal field, proven surface 2km^2 , reservoir's depth $60-110\text{m}$, $T=39^{\circ}-45^{\circ}\text{C}$.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, η ενεργειακή επάρκεια αποτελεί την προϋπόθεση για μία ανεξάρτητη εθνική οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Η

G.G. TRAGANOS . Geothermal exploration in the Mygdonia basin

*Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Δ/ση Ενεργειακών Πρώτων Υλών, Μεσογείων 70, 115 27 ΑΘΗΝΑ.

καθημερινή αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας στη χώρα μας επιβάλλει την έρευνα και αξιοποίηση όλων των δυνατοτήτων ανεύρεσης και εκμετάλλευσης των ενεργειακών πηγών. Η έρευνα για τον εντοπισμό των γεωθερμικών πεδίων στη χώρα μας άρχισε το 1971. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν έρευνες για τον εντοπισμό πεδίων όχι μόνον υψηλής ενθαλπίας, αλλά και πεδίων χαμηλής ενθαλπίας που μελλοντικά θα είναι δυνατή η εκμετάλλευσή τους για ποικίλη χρήση (Τραγανός et al 1985).

Στη λεκάνη της Μυγδονίας οι γεωλογικές-γεωθερμικές έρευνες άρχισαν αναγνωριστικά το 1981 και συνεχίζονται συστηματικά μέχρι σήμερα (Τραγανός 1982, 1987). Σκοπός των παραπάνω ερευνητικών εργασιών ήταν ο εντοπισμός των γεωθερμικών πεδίων στην περιοχή, τα θερμά ρευστά των οποίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για θερμάνσεις βιομηχανικών χώρων, θερμοκηπίων κ.λ.π.

Οι μέχρι τώρα ερευνητικές εργασίες οδήγησαν στον εντοπισμό τριών σημαντικών γεωθερμικών πεδίων του Λαγκαδά, της Ν. Απολλωνίας και της Νυμφόπετρας. Οι έρευνες συνεχίζονται με την εκτέλεση ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων με στόχο την ολοκλήρωση της μελέτης των πεδίων.

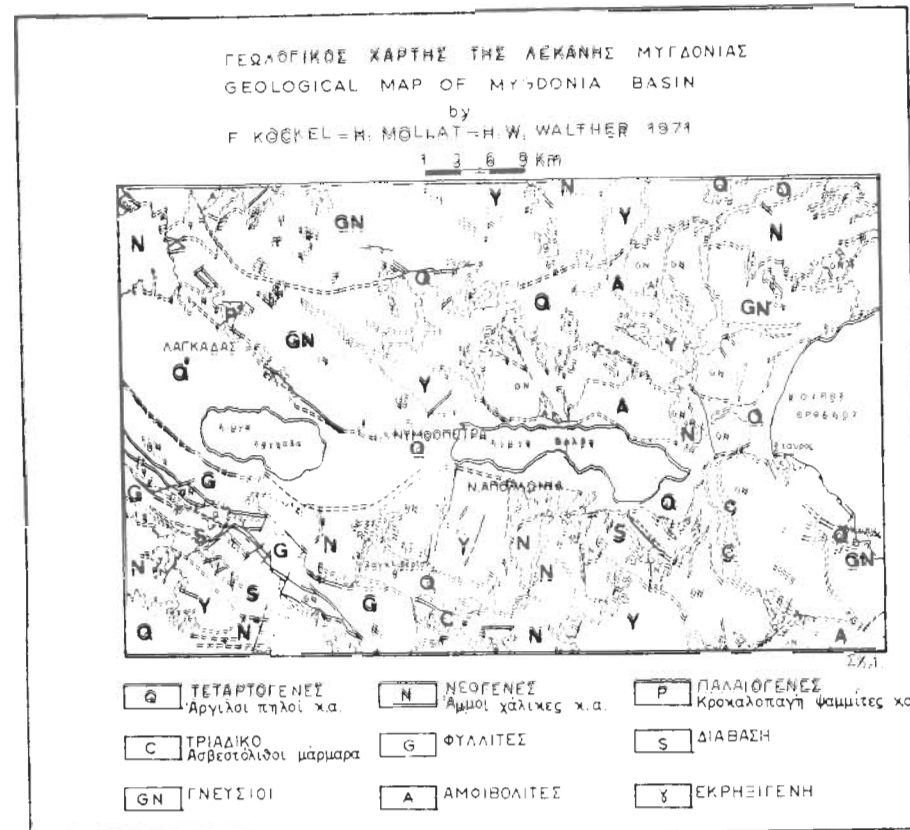
ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η λεκάνη της Μυγδονίας ορίζεται ανατολικά από το ορεινό συγκρότημα της Ρεντίνας, που επικοινωνεί με τον κόλπο του Ορφανού μέσω του ποταμού Ρήχιου, δυτικά από λοφοειδείς σειρές, όπως το βουνό Καμήλα που διαχωρίζει τη λεκάνη της Μυγδονίας από τη λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού, βόρεια από τα βουνά "Βόλβη" και "Βερτίσκου", η δε νότια πλευρά από τα όρη "Χορτιάτη" και "Χολομώντα".

Το τεκτονικό αυτό βύθισμα ανήκει στις νεογενείς ιζηματογενείς λεκάνες και έχει σχήμα επίμηκες (σχ. 1).

Η λεκάνη της Μυγδονίας άρχισε να διαμορφώνεται στα μέσα του Παλαιογενούς με το σχηματισμό της Προμυγδονιακής λεκάνης και λίμνης (Ψιλοβίκος 1977). Κατά το ανώτερο Πλειόκαινο λόγω ανυψωτικών κινήσεων της ξηράς, η Προμυγδονιακή λεκάνη χέρσασε. Κατά το κατώτερο Πλειστόκαινο λόγω εντάσεων των τεκτονικών φαινομένων, το μεταξύ "Καμήλας" και "Ρεντίνας" τμήμα της Προμυγδονιακής λεκάνης έσπασε και βυθίστηκε, με συνέπεια το σχηματισμό της λεκάνης Μυγδονίας και ακολούθως με τη συγκέντρωση των νερών έγινε η λίμνη της Μυγδονίας. Κατά το τέλος του Τεταρτογενούς, λόγω τεκτονικών φαινομένων και διαβρώσεων, άνοιξαν τα στενά της Ρεντίνας με αποτέλεσμα, μέσω του ποταμού Ρήχιου να αδειάσει ένα μέρος της λεκάνης στο Στρουμονικό κόλπο και να σχηματιστούν οι λίμνες Λαγκαδά και Βόλβη.

Η λεκάνη της Μυγδονίας ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα με εξαίρεση ενός μικρού τμήματός της, του δυτικού, το οποίο ανήκει στην Περιροδοπική ζώνη κείμενο μεταξύ της Σερβομακεδονικής και της ζώνης του Αξιού (Kockel et al 1971, 1976, Kaufmann et al 1976). Η ζώνη αυτή με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, έχει πλάτος 10-20km και αποτελείται κυρίως από Περμοτριάδικα και Ιουρασικά μεταιζήματα. Περιλαμβάνει τους εξής λιθολογικούς σχηματισμούς, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους: Γνεύσιοι,



Σχ. 1. Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Μυγδονίας.

Fig. 1. Geological map of Mygdonia basin.

παλαιοζωϊκής ηλικίας, οι οποίοι πιθανά αποτελούν το υπόβαθρο της ενότητας και ανήκουν στη Σερβομακεδονική μάζα.

Τριαδικά-Ιουρασικά μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, φυλλίτες, χαλαζίτες, ψαμμίτικοι ασβεστόλιθοι και αργιλλικοί ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι.

Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται κυρίως από βαθειά μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως γνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, παλαιοζωϊκής αποθέσεως με μεσοζωϊκές γρανιτικές θειεσδώσεις και ενστρώσεις μαρμάρων. Πάνω από τα μεταμορφωμένα πετρώματα και κυρίως στο δυτικό τμήμα της Σερβομακεδονικής ζώνης, εμφανίζονται φυλλίτες, μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, γρανιτικοί σχίστες, Περμοτριάδικής ηλικίας.

Οι ιζηματογενείς σχηματισμοί, που πληρώνουν τη λεκάνη, κατά τις διάφορες φάσεις εξέλιξής της διακρίνονται σε δύο ομάδες:

α) Προμυγδονιακή ομάδα

Οι κυριώτεροι Προμυγδονιακοί ιζηματογενείς σχηματισμοί, οι οποίοι αποτέθηκαν

από το Μειόκαινο μέχρι το κατώτερο Πλειστόκαινο, παρουσιάζουν την εξής σειρά: αργιλλικά υλικά, χαλαρά κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργιλλοψαμμιτικά ιζήματα, ερυθροστρώματα.

β) Μυγδονιακή ομάδα

Οι κυριώτεροι Μυγδονιακοί ιζηματογενείς σχηματισμοί, που αποτέθηκαν στη λεκάνη και στη λίμνη της Μυγδονίας κατά τη διάρκεια του κατώτερου Πλειστόκαινου, μετά την τελευταία φάση των ερυθροστρωμάτων είναι οι εξής: αργιλλικές στρώσεις με εναλλαγές στρωμάτων ιλύος και άμμου, στρώμα άμμων και κροκάλλων, στρώμα τραβερτινοειδών αποθέσεων. Οι τελευταίοι σχηματισμοί (Νυμφόπετρες) είναι χερσαίες αποθέσεις, πιθανά δε, και αιτία της δράσης των θερμομεταλλικών πηγών (Sotiriadis et al 1972).

Η τεκτονική της λεκάνης Μυγδονίας είναι πολύπλοκη. Όπως φαίνεται στο σχήμα (2) τα ρήγματα που επικρατούν στην περιοχή είναι εκείνα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (οι θερμομεταλλικές πηγές Λαγκαδά και Βόλβης φαίνεται ότι βρίσκονται πάνω σε τέτοια ρήγματα). Αποτέλεσμα των ρημάτων αυτών είναι οι οριζόντιες μετατοπίσεις μαζών λόγω αριστερόστροφων ρημάτων κανονικής μετάπτωσης. Επίσης, ιδιαίτερα στην ανατολική πλευρά της λεκάνης υπάρχουν ρήγματα και άλλων διευθύνσεων όπως ΒΑ - ΝΔ και Α-Δ, τα οποία αποτελούν την αιτία καταβύθισης της λεκάνης. Σε γενικές γραμμές ο συνδυασμός των δύο κατευθύνσεων συστημάτων ρημάτων ΒΔ - ΝΑ και Α-Δ είναι η αιτία της γενικής μορφής που παρουσιάζει το βύθισμα.

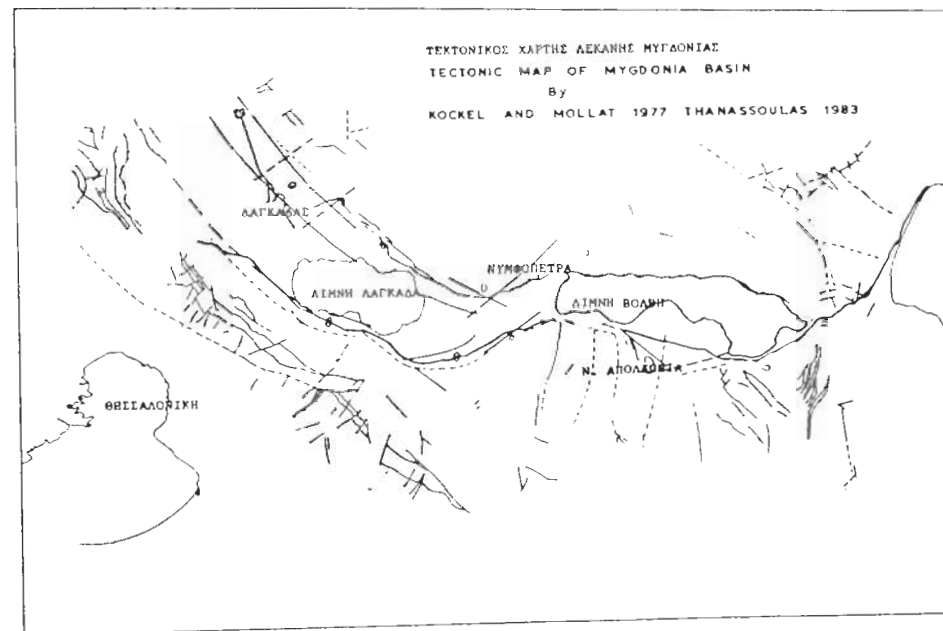
Οι μετρήσεις ολισθήσεως, πάνω στα ενεργά ρήγματα, επέτρεψαν τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης των τάσεων εφελκυσμού που επικρατούν κατά το Πλειστόκαινο στην παρούσα λεκάνη και είναι Β 165 Ν.

Τα πιο πάνω επιβεβαιώθηκαν τόσο από τους πρόσφατους σεισμούς του 1978, όσο και από την επεξεργασία των αεροφωτογραφιών μέσω του δορυφόρου CANDSTA 1 (Mercier et al 1979).

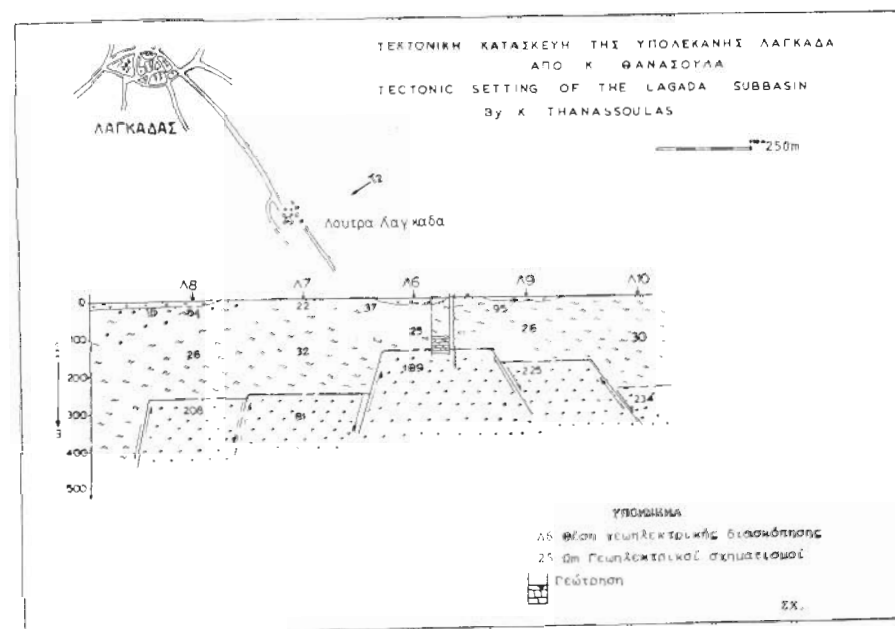
Οι γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες έδειξαν ότι η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελείται από δύο υπολεκάνες. Μίας δυτικής, του Λαγκαδά και μίας ανατολικής της Βόλβης. Στον χώρο μεταξύ των δύο υπολεκάνων, διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενός εξάρματος με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η δομή αυτή, πιθανά, καθιστά τις δύο υπολεκάνες ανεξάρτητες. Στην υπολεκάνη Λαγκαδά, κατά τη διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, στην περιοχή των Λουτρών, λόγω υπάρξεως τεκτονικού κέρατος, σχηματίζονται εκατέρωθεν αυτού δύο τεκτονικοί τάφροι. Οι θερμές πηγές του Λαγκαδά, όπως φαίνεται στο σχήμα (3) εντοπίζονται στο χώρο του τεκτονικού κέρατος (Ψιλοβίκος 1977, Θανάσουλας 1983).

Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα ενδεικτικά στοιχεία, τα οποία οδήγησαν στην πραγματοποίηση της παρούσας γεωθερμικής έρευνας είναι η πρόσφατη γεωλογική ηλικία του σχηματισμού της, η έντονη τεκτονική της δομή, η σεισμική δραστηριότητα (π.χ. οι πρόσφατοι σεισμοί



Σχ. 2. Τεκτονικός χάρτης λεκάνης Μυγδονίας.
Fig. 2. Tectonic map of Mygdonia basin.



Σχ. 3. Τεκτονική κατασκευή της υπολεκάνης Λαγκαδά.
Fig. 3. Tectonic setting of the Langada subbasin.

του 1978) και η ύπαρξη των θερμομεταλλικών πηγών Λαγκαδά-Ν. Απολλωνίας.

Έτσι , άρχισε το ερευνητικό πρόγραμμα να εκτελείται με δειγματοληψίες και θερμομετρήσεις νερών από πηγές και γεωτρήσεις. Συνολικά συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν πάνω από 200 σημεία νερού (Τραγανός 1982).

Για τη μελέτη της τεκτονικής βάθους και τη λεπτομερή στρωματογραφία των ιζηματογενών σχηματισμών μέχρι του υποβάθρου, έγιναν συνολικά 48 γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις, με μέγιστη γραμμή ρευματος AB=4000m (Θανάσoulas 1983). Στην περιοχή Λαγκαδά (λουτρά) έγιναν επίσης προκαταρκτικές έρευνες ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, (VES) (Thanassoulas et al 1987). Επίσης, μελετήθηκαν τα μαγνητικά και βαρυτομετρικά στοιχεία της λεκάνης (BRGM , ABEM).

Μετά το πέρας των υπαίθριων ερευνητικών εργασιών και τη συνθετική ερμηνεία αυτών προσδιορίστηκαν οι συγκεκριμένες θέσεις γεωθερμικού ενδιαφέροντος . Η γεωθερμική έρευνα συνεχίστηκε με την εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων. Έγιναν συνολικά 13 ερευνητικές γεωτρήσεις, από τις οποίες οι 7 έγιναν στην υπολεκάνη Λαγκαδά (περιοχή Λουτρών) (σχ. 5), και οι 6 γεωτρήσεις στην υπολεκάνη Βόλβη (περιοχές Ν. Απολλωνίας και Νυμφόπετρας) (σχ. 6).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Από τις μέχρι τώρα λεπτομερείς ερευνητικές εργασίες και τη συνθετική ερμηνεία αυτών, προέκυψε η παρουσία τριών γεωθερμικών πεδίων, του Λαγκαδά, της Ν. Απολλωνίας και της Νυμφόπετρας.

Γεωθερμικό πεδίο Λαγκαδά

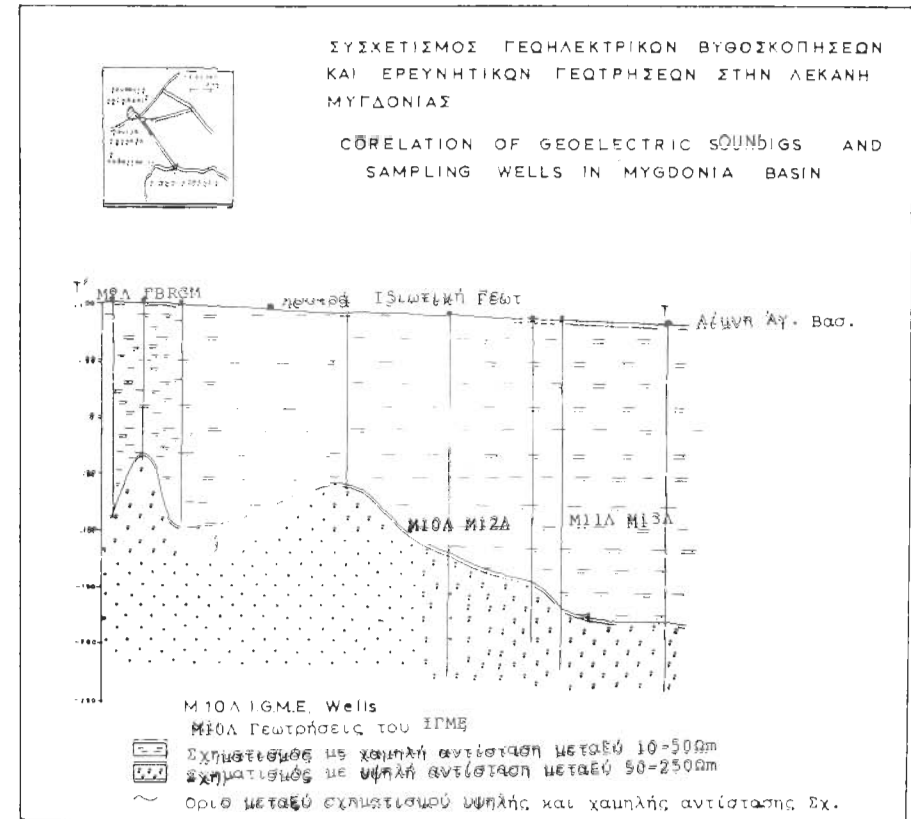
Η κύρια "ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος", που εντοπίστηκε , έχει έκταση 6km² και αρχίζει 1.5km νότια του Λαγκαδά, φτάνοντας μέχρι το ΒΔ τμήμα της λίμνης (σχ. 5). Δεν αποκλείεται η πιθανότητα ύπαρξης γεωθερμικού ενδιαφέροντος και μέσα στη λίμνη Λαγκαδά. Η παραπάνω ζώνη τοποθετείται σε ένα άξονα με διεύθυνση ΝΔ-ΝΑ , ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων, που δημιούργησαν το βύθισμα. Έτσι , οι ερευνητικές γεωτρήσεις με διπλάσια και τριπλάσια γεωθερμική βαθμίδα συναντώνται κατά μήκος του άξονα αυτού.

Επιπλέον, οι γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις, που έγιναν στην περιοχή Λουτρών Λαγκαδά επιβεβαίωσαν τα εξής:

- την ύπαρξη ενός τεκτονικού κέρατος εκατέρωθεν του οποίου σχηματίζονται δύο τεκτονικές τάφροι νότια του κέρατος, μιας βαθύτερης και παλαιότερης και βόρεια από αυτό , μιας ριχότερης και νεώτερης (σχ. 3) (Ψιλοβίκος 1977,Θανάσoulas 1983).
- την παρουσία δύο κυρίως γεωηλεκτρικών σχηματισμών
 - ο πρώτος γεωηλεκτρικός σχηματισμός συνδέεται με τις τεταρτογενείς αποθέσεις έχοντας ειδική ηλεκτρική αντίσταση, που κυμαίνεται μεταξύ 10-50 Ωm.

- ο δεύτερος, βαθύτερος, γεωηλεκτρικός σχηματισμός έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση 50-250 Ωm και αντιστοιχεί στα πετρώματα του υποβάθρου.

Οι παραπάνω μετρήσεις, σε συσχέτισμό με τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων, που έγιναν στην περιοχή, οδήγησαν στον λεπτομερή εντοπισμό του υποβάθρου , όπως φαίνεται στο σχήμα (4). Στην τομή Τ'Τ του παραπάνω σχήματος, η οποία έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, αρχίζει 1.5km νότια του Λαγκαδά και φτάνοντας μέχρι το ΒΔ

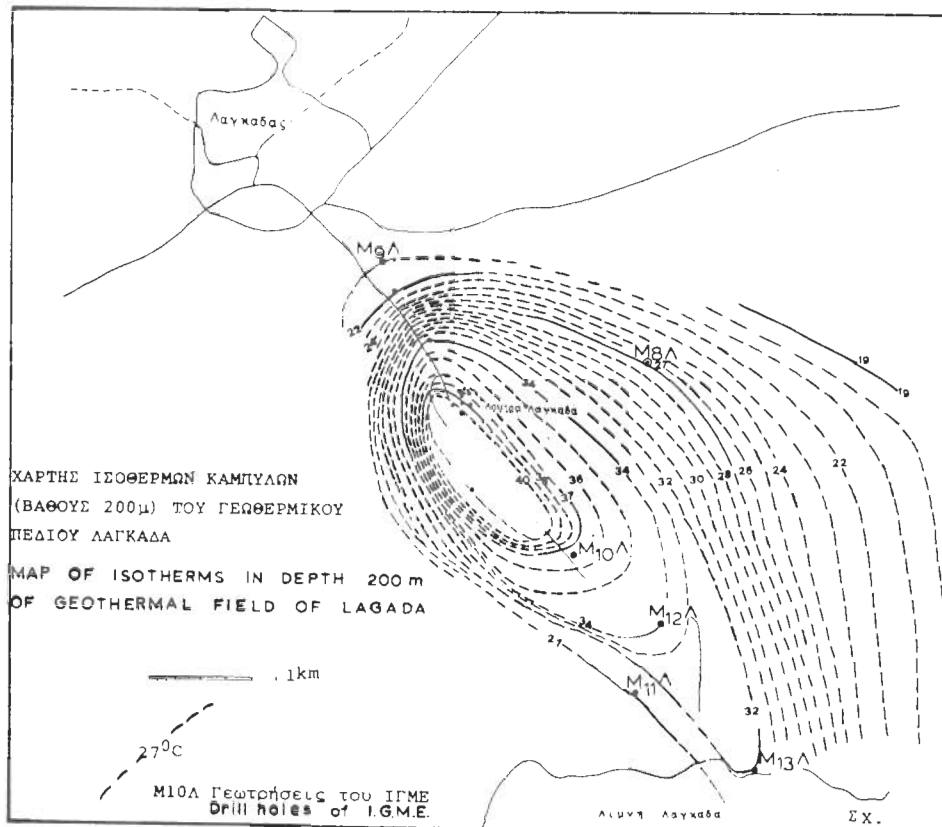


Σχ. 4. Συσχετισμός Γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και ερευνητικών γεωτρήσεων στη Λεκάνη Μυγδονίας.

Fig. 4. Correlation of Geoelectric soundings and sampling wells in Mygdonia basin.

τμήμα της λίμνης, το οποίο αποτελεί τη "ζώνη του γεωθερμικού ενδιαφέροντος" , παρατηρείται από βορρά προς νότο, μία αύξηση του πάχους των ιζηματογενών σχηματισμών (μέγιστο πάχος 260m).

Από την πορεία των ισόθερμων καμπύλων (σχ. 5) και τον συνδυασμό τους με τη γεωλογική-τεκτονική δομή της περιοχής προκύπτει ότι:



Σχ. 5. Χάρτης ισόθερμων καμπύλων (βάθους 200μ) του γεωθερμικού πεδίου Λαγκαδά.
Fig. 5. Map of isotherms in depth 200m of geothermal field of Lagada.

Οι ισόθερμες καμπύλες των 30°C και των 40°C περικλείουν τη "ζώνη του γεωθερμικού ενδιαφέροντος". Όπως ήδη αναφέρθηκε, η περιοχή αυτή τοποθετείται σε ένα άξονα ΒΔ-ΝΑ, ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων και διαρρήξεων, που δημιούργησαν το βύθισμα. Ο άξονας αυτός διέρχεται μέσα από τα Λουτρά Λαγκαδά με διεύθυνση ΝΔ προς τη λίμνη, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μία πτώση της θερμοκρασίας όσο απομακρυνόμαστε από τις δύο πλευρές του άξονα αυτού.

Στο δυτικό μέρος του άξονα και συγκεκριμένα δυτικά των Λουτρών, οι ισόθερμες καμπύλες παρουσιάζουν πύκνωση, γεγονός που αποδεικνύει απότομη πτώση της θερμοκρασίας.

Στο ανατολικό μέρος του άξονα παρατηρείται μία αραίωση των ισόθερμων καμπύλων, γεγονός που δείχνει ομαλή πτώση της θερμοκρασίας.

Η ασύμμετρη κατανομή των θερμοκρασιών εκατέρωθεν του άξονα, οφείλεται

πιθανά στην έντονη τεκτονική δομή του υποβάθρου, δηλαδή στην ύπαρξη των δύο τεκτονικών τάφων, όπως ήδη αναφέρθηκε. Το δυτικό κύλιμα του εξάρματος είναι βαθύτερο και απότομο, με αποτέλεσμα η πλήρωσή του να έχει γίνει με περισσότερα υδατοπερατά υλικά, τα οποία βοηθούν την παρουσία των κούρων υδροφόρων. Έτσι, επηρεάζεται η θερμοκρασία των ρευστών στο βάθος και παρουσιάζεται χαμηλότερη, όσο απομακρυνόμαστε από την κύρια ζώνη ενδιαφέροντος. Το ανατολικό τμήμα του εξάρματος βαθαίνει ομαλά, σχηματίζοντας μία ριχύτερη και νεώτερη τάφο. Η ομαλή πτώση της θερμοκρασίας, που παρατηρήθηκε, συνδέεται άμεσα με την ιζηματογένεση και την ομαλή τεκτονική της περιοχής.

Στο νότιο τμήμα του άξονα, ΒΔ της λίμνης Λαγκαδά, παρατηρήθηκε, επίσης, μία ομαλή πτώση της θερμοκρασίας, που οφείλεται, αφ' ενός στην ομαλή κλίση του υποβάθρου, αφ' ετέρου στο μεγάλο πάχος υδατοπερατού υλικού, που βοηθούν την κυκλοφορία και τη συγκέντρωση κούρων υδροφόρων στρωμάτων.

Στο βόρειο τμήμα του άξονα, παρουσιάζεται επίσης, μία πύκνωση των ισόθερμων καμπύλων, γεγονός που αποδεικνύει την απότομη πτώση της θερμοκρασίας, που πιθανά οφείλεται στην πολύπλοκη τεκτονική δομή, την οποία παρουσιάζει η περιοχή νότια της πόλης Λαγκαδά.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των Ιαματικών πηγών Λαγκαδά, προκύπτει ότι η αιτία της θερμικής ανωμαλίας, στην υπό μελέτη περιοχή, είναι η ύπαρξη βαθέων κάθετων ρηγμάτων και διαρρήξεων, που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία των ρευστών από το βάθος προς την επιφάνεια.

Για τον υδροχημικό χαρακτηρισμό των νερών των πηγών και των γεωτρήσεων και για την εφαρμογή της μεθόδου του γεωθερμομέτρου του Si πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες θερμών ρευστών από 9 διαφορετικές θέσεις και στη συνέχεια έγινε ποιοτική και ποσοτική ανίχνευση αυτών. Τα αποτελέσματα των χημικών αυτών αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα I.

ΠΙΝΑΚΑΣ I. Χημικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών του πεδίου Λαγκαδά.

Α/Α	ΧΗΜΙΚΟΤΗΤΟΣ ΔΥΝΑΜΑ										ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ (ml/l)					ΜΕΡΗ ΑΝΑ ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ppm				ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ		
	ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΑΝΙΟΝΤΑ						ΣΥΝΟΛΟ					SiO ₂	Fe	B	F	NH ₄	Sr	Li
	Ca	Mg	Na	K	Σύνολο	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Σύνολο	SiO ₂	Fe	B	F	NH ₄	Sr	Li				
1	3.22	1.98	6.64	.18	12.02	-	6.25	.77	5.12	-	12.19	5.3	.82	.7	3.2	.03	.77	.13				
2	1.76	.96	7.00	.09	9.81	-	4.28	.90	4.70	-	9.88	26.0	.55	1.0	5.5	-	.55	.01				
3	1.32	1.28	3.60	.29	6.49	.09	4.67	8.45	1.15	-	6.38	28.0	4.73	5.1	1.5	.90	.32	.00				
4	3.10	1.86	5.00	.16	10.12	-	6.09	.90	3.48	0.02	10.12	27.1	.12	5.4	2.80	.00	.69	.12				
5	2.24	2.64	5.25	.17	10.30	-	6.02	.60	3.74	0	0.24	26.2	.03	5.0	2.5	.01	.71	.19				
6	2.20	1.16	5.75	.12	9.23	-	5.90	5.10	3.32	0	9.17	24.2	.03	5.0	4.25	.15	.45	.12				
7	.28	2.76	1.00	.23	13.27	43.0	5.20	6.72	1.24	-	3.24	7.0	.12	3.0	2.75	.20	.11	.00				
8	3.36	1.88	6.54	.18	11.96	1.5	5.20	6.16	0.86	5.06	12.18	4.8	.77	7.0	3.20	.05	.77	.13				
9	1.30	.98	7.30	.07	9.65	30.0	3.60	1.80	5.15	0	9.55	18.4	1.80	.55	.95	.14	.30	.02				

Οι τιμές των ανιόντων και κατιόντων του Πίνακα I χαρτογραφήθηκαν πάνω σε τριγωνικό διάγραμμα εκατοστιαίας αναλογίας (mval%), κατά Davis & De Wiest από όπου προέκυψε, ότι τα επιφανειακά νερά της περιοχής Λαγκαδά είναι ανθρακικά αββεστούχα, ενώ τα βαθύτερα είναι ανθρακικά νατρίουχα.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του μητρικού υδροφόρου στρώματος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του γεωχημικού θερμομέτρου του πυριτίου (Fournier 1973). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή έγινε επεξεργασία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού του Πίνακα I και υπολογίστηκαν η ποσότητα του πυριτίου σε ppm και κατά συνέπεια και οι μητρικές θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών. Έτσι, για το Λαγκαδά βρέθηκε ότι η πιθανή θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι περίπου 100° C.

Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια παρουσίασης των φυσικοχημικών στοιχείων του Γεωθερμικού πεδίου του Λαγκαδά.

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Φυσικοχημικά στοιχεία του πεδίου Λαγκαδά

A/A	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΑΘ. ΔΕΙΓ. m	T ° C	ΣΗΜΕΙΑ ΝΕΡ.	PH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ μhos/cm	T.D.S. συν. αλ. ppm
1	N. Λουτρ.	160	38	Γεώτρηση	7.3	1200	907.0
2	N. Λουτρ.	216	31	"	7.8	961	764.0
3	"	200	30	"	8.4	670	614.2
4	"	"	39	Πηγή	7.1	881	794.2
5	"	"	40	Γεώτρηση	6.8	971	795.4
6	Ιδιώτης	160	30	"	6.9	892	724.5
7	Άλμνη	"	26	Πηγή	8.5	11.8	935.4
8	N. Λουτρ.	200	38	Γεώτρηση	7.4	11.8	903.0
9	"	120	18	"	7.6	19.5	703.8

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται παρουσίαση των φυσικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού πεδίου Λαγκαδά.

ΠΙΝΑΚΑΣ III. Αποτίμηση των μέχρι σήμερα εντοπισθέντων αποθεμάτων των γεωθερμικών ρευστών στο πεδίο Λαγκαδά.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ km ²	ΒΑΘ. ΡΕΖΕΡ. ΒΟΥΑΡ	Μέση Γεωθερ. βαθμίδα	T ° C	ΒΕΒΑΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ* T.I.P./χρόνος	ΠΙΘΑΝΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ Q(m ³ /h) T.I.P./χρόνος
1.5km N. Λαγκαδά						
	6	210μ	8° C/100m	32-39°	300	2600
						400-6003450-5200

* "T.I.P." Η μονάδα "Τόννοι Ισοδύναμου Πετρελαίου", T.I.P., που χρησιμοποιείται για την έκφραση του δυναμικού του πεδίου σε T.I.P. είναι η ποσότητα του πετρελαίου, που απαιτείται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας ισοδύναμης με εκείνη που μπορεί να παραχθεί από τη χρήση των γεωθερμικών ρευστών, που έχουν θερμοκρασία απόληψης 25° C και τα οποία χρησιμοποιούνται για την θέρμανση θερμοκηπίων με συντελεστή ωρών λειτουργίας τους 80% #00% = 8760 ώρες / 1 έτος).

Εδώ, θα πρέπει να αναφερθεί ότι έχει γίνει ήδη η αξιοποίηση ενός μέτρου των μέχρι σήμερα εντοπισθέντων ρευστών με την κατασκευή 30 στρεμμάτων "θερμοκηπίων" με υπολογιζόμενη ισχύ 1,5 Mwt.

Γεωθερμικό πεδίο N. Απολλωνίας

Η κύρια ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος (γεωθερμικό πεδίο), που εντοπίστηκε, έχει έκταση 2km², αρχίζει 1,5km ανατολικά των Λουτρών και φθάνει μέχρι 500m δυτικά των Λουτρών.

Στην περιοχή αυτή, λόγω του αυξημένου γεωθερμικού ενδιαφέροντος (Τραγανός 1982), τοποθετήθηκαν 3 γεωτρήσεις σε ένα άξονα ΒΔ-ΝΑ, ο οποίος θεωρήθηκε ότι ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων που δημιούργησαν το βύθισμα της υπολεκάνης Βόλβης. Τα κύρια αυτά ρήγματα τέμνονται από άλλα συστήματα ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ. Στα σημεία επαφής των παραπάνω συστημάτων ρηγμάτων που τέμνονται διευκολύνεται η κυκλοφορία και η άνοδος προς την επιφάνεια των γεωθερμικών ρευστών. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει μία θετική θερμική ανωμαλία με μέση γεωθερμική βαθμίδα 28° C/100m.

Για τον υδροχημικό χαρακτηρισμό των νερών των πηγών και των γεωτρήσεων και για την εφαρμογή της μεθόδου του γεωθερμομέτρου του Si πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες θερμών ρευστών από 7 διαφορετικές θέσεις και στη συνέχεια έγινε ποιοτική και ποσοτική ανίχνευση αυτών. Τα αποτελέσματα των χημικών αυτών αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα IV.

ΠΙΝΑΚΑΣ IV. Χημικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών του πεδίου N. Απολλωνίας.

A/A	ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΑ										ΜΕΡΗ ΑΝΑ ΕΚΑ				ΑΕΡΙΑ ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ			
	ΚΑΤΙΟΝΤΑ					ΑΝΙΟΝΤΑ					ΤΟΜΜΥΡΙΟ ppm							
	Ca	Mg	Na	K	Σύνολο	CO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Σύνολο	SiO ₂	Fe	B	F	NH ₄	Sr	Li
1	4.60	3.72	1.5	.14	10.10	=	6.66	1.80	0.89	7.5	10.05	18.0	0	0.0	1.25	0	.11	.01
2	.40	0.34	5.5	.10	6.30	-	5.70	.63	0.04	0	8.37	16.5	0	.4	2.55	3.2	.09	.00
3	.26	0.1	3.4	.25	9.01	.88	4.68	.95	2.41	0	8.92	25.0	0	.3	1.60	0.0	.13	.03
4	1.02	0.14	1.25	.26	13.92	-	5.44	1.15	7.38	0	13.97	37.0	.09	.0	12.0	0.2	.56	.19
5	.76	0.12	1.38	.24	14.92	-	5.12	1.90	7.88	-	14.90	33.0	.12	1.1	10.8	0.05	.40	.19
6	.92	0.15	1.35	.21	14.79	-	4.84	1.25	7.88	0	14.68	33.0	.21	0.0	17.5	0.10	.56	.18
7	.96	2.32	1.10	.15	9.53	-	4.78	3.15	1.62	0	9.35	5.0	.65	0.0	1.9	0.20	.28	.00

Οι τιμές των ανιόντων και κατιόντων του Πίνακα IV χαρτογραφήθηκαν πάνω σε τριγωνικό διάγραμμα εκατοστιαίας αναλογίας (mval%), κατά Davis & De Wiest από όπου προέκυψε, ότι τα νερά της περιοχής N. Απολλωνίας ανήκουν στην κατηγορία των ανθρακικών θειούχων νατρίουχων.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του μητρικού υδροφόρου στρώματος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του γεωχημικού θερμομέτρου του πυριτίου (Fournier 1973). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή έγινε επεξεργασία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων

των νερού του Πίνακα IV και υπολογίστηκαν η ποσότητα του πυριτίου σε ppm και κατά συνέπεια και οι μητρικές θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών. Έτσι, για τη Ν. Απολλωνία βρέθηκε ότι η πιθανή θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι περίπου 30° C.

Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια παρουσίασης των φυσικοχημικών στοιχείων του Γεωθερμικού πεδίου της Ν. Απολλωνίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ V. Φυσικοχημικά στοιχεία του πεδίου Ν. Απολλωνίας

A/A ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΑΘ. ΔΕΙΓ. m	T° C	ΣΗΜΕΙΑ ΝΕΡ.	PH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ μhos/cm	T.D.S. συν. αλ. ppm
1 ΠΕΡΙΣΤΕΡΑΝ		17	Πηγή	7.3	8.57	753.41
2 ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ		17	Γεώτρηση	8.1	5.62	536.34
3 ΑΤΡ. Μ. ΑΛΕΞ		29	Πηγή	8.7	8.36	691.53
4 ΑΤΡ. ΒΟΛΒΗΣ		51	Πηγή	7.6	13.63	1096.92
5 "	80	48	Γεώτρηση	7.5	13.37	1148.00
6 ΒΟΛΒΗ	110	45	Γεωτ. ΙΓΜΕ	7.2	13.33	1336.35
7 Λιμν. ΒΟΛΒΗ		24	Πηγή	7.8	9.08	682.73

Από το χάρτη των ισόθερμων καμπύλων του σχήματος (6) προκύπτει ότι αυτές των 30° C, 40° C και 50° C περιβάλλουν μία περιοχή, η οποία συμπίπτει με την περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος, όπου έχουν παρατηρηθεί οι υψηλότερες θερμοκρασίες 28°- 50° C σε σχετικά μικρά βάθη.

Γεωθερμικό πεδίο Νυμφόπετρας

Η κύρια ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος του πεδίου, που εντοπίστηκε, έχει έκταση 2 km² και βρίσκεται στο ΝΑ μέρος του χωριού "Νυμφόπετρα", στην τοποθεσία "Βοϊδολίβαδο". Η περιοχή αυτή τοποθετείται σε έναν άξονα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων, που δημιουργήσαν το βύθισμα.

Για τον υδροχημικό χαρακτηρισμό των νερών των πηγών και των γεωτρήσεων και για την εφαρμογή της μεθόδου του γεωθερμομέτρου του Si πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες θερμών ρευστών από 6 διαφορετικές θέσεις και στη συνέχεια έγινε ποιοτική και ποσοτική ανίχνευση αυτών. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα VI.

Οι τιμές των ανιόντων και κατιόντων του Πίνακα VI χαρτογραφήθηκαν πάνω σε τριγωνικό διάγραμμα εκατοστιαίας αναλογίας (mval%), κατά Davis & De Wiest από όπου προέκυψε, ότι τα επιφανειακά νερά της περιοχής Νυμφόπετρας ανήκουν στην κατηγορία των ανθρακικών θειούχων νατριούχων.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του μητρικού υδροφόρου στρώματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του γεωχημικού θερμομέτρου του πυριτίου (Fournier 1973). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή έγινε επεξεργασία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού του Πίνακα VI και υπολογίστηκαν η ποσότητα του πυριτίου σε ppm και κατά συ-

νέπεια και οι μητρικές θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών. Έτσι, για τη Νυμφόπετρα βρέθηκε ότι η πιθανή θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι περίπου 80° C.

ΠΙΝΑΚΑΣ VI. Χημικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών του πεδίου της Νυμφόπετρας.

A/A	ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ										ΜΕΡΗ ΑΝΑ ΕΚΑΤ.				ΑΕΡΙΑ ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ			
	ΚΑΤΙΟΝΤΑ					ΑΝΙΟΝΤΑ					ΤΟΜΜΥΡΙΟ ppm				ΛΥΜΕΝΑ			
	Ca	Mg	Na	K	Σύνολο	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Σύνολο	SiO ₂	Fe	B	F	NH ₄	Sr	Li
1	0.40	0.36	9.00	10	10.66	.08	5.86	0.80	5.90	-	10.64	45.0	3.31	11.10	-	26	.04	
2	0.36	0.48	9.00	20	10.04	.24	2.34	2.10	5.40	-	10.08	12.5	1.54	0.73	-	87	.01	
3	0.90	0.08	10.60	10	11.66	-	5.14	1.25	7.70	0	11.77	30.0	.14	1.10	-	29	.84	.01
4	0.80	0.30	10.35	14	11.59	-	3.22	.80	7.70	0	11.72	28.0	.29	1.14	-	42	.25	.05
5	0.80	0.30	9.50	16	10.76	-	4.36	.80	5.46	0	10.67	29.5	.17	1.16	-	87	.25	.05
6	1.04	0.44	11.00	15	12.63	-	3.60	.95	8.15	0	12.70	52.0	2.20	1.56	-	75	.39	.06

Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια παρουσίασης των φυσικοχημικών στοιχείων του Γεωθερμικού πεδίου της Νυμφόπετρας.

ΠΙΝΑΚΑΣ VII. Φυσικοχημικά στοιχεία του πεδίου Νυμφόπετρας

A/A ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΑΘ. ΔΕΙΓ. m	T° C	ΣΗΜΕΙΑ ΝΕΡ.	PH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ μhos/cm	T.D.S. συν. αλ. ppm
1 Νυμφόπετρ.	100	36	Γεωτ. ΙΓΜΕ	8.25	1219	851.78
2 Βοϊδολίβ.	30	18	"	8.60	900	729.50
3 "		38	Γεωτ. ΥΕΒ	7.50	1193	904.15
4 "	53	33	Ιδιώτης	7.80	1152	941.61
5 "	40	30	Ιδιώτης	7.14	1050	936.18
6 "	70	36	Ιδιώτης	7.60	1217	1001.37

Στο χάρτη των ισόθερμων καμπύλων παρατηρούμε ότι αυτές των 30° C, 40° C περιλαμβάνουν μία περιοχή που συμπίπτει με τη "ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος", όπου μετρήθηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες των 30° C-45° C σε βάθη 80m-120m (σχ. 6).

Δεν αποκλείεται η πιθανότητα επέκτασης της "ζώνης γεωθερμικού ενδιαφέροντος" προς τη ΝΑ πλευρά της περιοχής (διεύθυνση κύριου ρήγματος), μέσα στη Λιμνη Βόλβη, ώστε να αποτελέσει ένα ενιαίο γεωθερμικό πεδίο με τη "ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος".

Επίσης, οι ισόθερμες καμπύλες των 22° C και 24° C ορίζουν μία ευρύτερη περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος, που περιλαμβάνει τις ζώνες γεωθερμικού ενδιαφέροντος των περιοχών Ν. Απολλωνίας και Νυμφόπετρας καθώς και ένα μέρος του δυτικού τμήματος της λίμνης Βόλβης.

Είναι δε πιθανό, οι παραπάνω περιοχές να αποτελούν ένα ενιαίο γεωθερμικό πεδίο όπου η μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της θερμοκρασίας εντοπίζεται κατά μήκος των 10km του άξονα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (διεύθυνση κύριων ρηγμάτων), εκάτερωθεν του οποίου αρχίζει μία ομαλή πτώση των θερμοκρασιών, όσο απομακρυνόμαστε από αυτόν.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία και λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των Ισ-

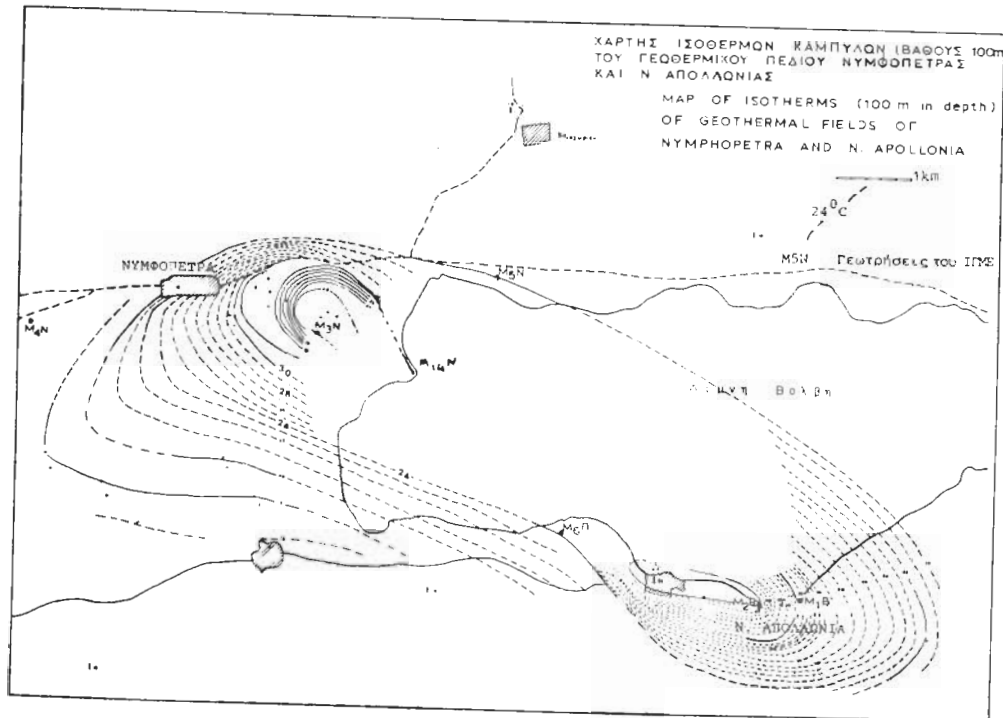
ματικών πηγών Βόλβης, συμπεραίνεται ότι η αιτία της θερμικής ανωμαλίας των γεω-θερμικών πεδίων Ν. Απολλωνίας και Νυμφόπετρας είναι η ύπαρξη ρηγμάτων και διαρρήξεων, που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία των ρευστών από το βάθος στην επιφάνεια.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών πεδίων Ν. Απολλωνίας και Νυμφόπετρας.

ΠΙΝΑΚΑΣ VIII. Αποτίμηση των μέχρι σήμερα εντοπισθέντων αποθεμάτων των γεωθερμικών ρευστών στα πεδία Ν. Απολλωνίας και Νυμφόπετρας.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ km ²	ΒΑΘ. ΡΕΖΕΡ. ΒΟΥΑΡ	Μέση Γεωθερ. βαθμίδα	T °C ρευσ.	ΒΕΒΑΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ* Q(mh)T.I.Π*/χρό- νος	ΠΙΘΑΝΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ* Q(m h)T.I.Π./χρό- νος
Ν. Απολλωνίας λουτρά Βόλβης	2	50m-110m	28°C/100m	40-50	300 5250	200-400 4000-8000
Νυμφό- πετρα	2	60m-110m	20.9°C/100m	32-44	200 2300	200-400 1700-3400

Στην περιοχή Ν. Απολλωνίας υπάρχουν 15 στρέμματα "γεωθερμοκηπίων" με υπολογιζόμενη ισχύ 2.05 Μwt.



Σχ. 6. Χάρτης ισοθερμών καμπύλων (βάθους 100m) του γεωθερμικού πεδίου Νυμφόπετρας και Ν. Απολλωνίας.

Fig. 6. Map of isotherms (100m in depth) of geothermal fields of Nymfopetra and N. Apollonia.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μέχρι τώρα πορεία των ερευνητικών εργασιών (γεωλογικών, γεωθερμικών, γεωφυσικών, γεωτροπικών) στη λεκάνη της Μυγδονίας και την πολύπλευρη συνθετική ερμηνεία όλων των στοιχείων, που συλλέχθηκαν προκύπτουν:

α) Γεωθερμικό πεδίο Λαγκαδά

Η κύρια "ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος" έχει έκταση 6km² με θετική θερμική ανωμαλία περίπου 8°C/100 m. Τα γεωθερμικά ρευστά που εντοπίστηκαν σε μικρά βάθη (100-230 m) έχουν T=32°-40°C και παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Η παραπάνω ζώνη τοποθετείται σ'έναν άξονα, ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων ή διαρρήξεων, που δημιούργησαν το βύθισμα. Ο άξονας αυτός διέρχεται μέσα από τα Λουτρά Λαγκαδά με διεύθυνση ΝΑ προς τη λίμνη.

Η μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της θερμότητας εντοπίζεται κατά μήκος του άξονα αυτού εκατέρωθεν του οποίου αρχίζει μία πτώση των θερμοκρασιών. Στο ανατολικό τμήμα του παρατηρείται ομαλή πτώση των θερμοκρασιών, ενώ στο δυτικό απότομη. Η ασύμμετρη αυτή κατανομή των θερμοκρασιών που παρατηρείται, πιθανά οφείλεται αφ'ενός στην έντονη τεκτονική δομή του υποβάθρου και αφ'ετέρου στο μεγάλο πάχος του ιζηματογενούς υδατοπερατού υλικού, που βοηθά στη συγκέντρωση και στην ανάμειξη των ρευστών με τα κρύα υδροφόρα στρώματα.

Τα γεωθερμικά ρευστά αποδείχθηκε ότι ανήκουν στην κατηγορία των ανθρακικών νατριούχων ή δυσανθρακικών ασβεστούχων και έχουν PH=7-8. Οι πιθανές θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών είναι 100°C και τα μέχρι τώρα βέβαια αποθέματα φθάνουν τους 2600 τόννους ισοδυνάμου πετρελαίου

β) Γεωθερμικό πεδίο Ν. Απολλωνίας

Η κύρια ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος, που εντοπίστηκε έχει έκταση 2 km² με θετική θερμική ανωμαλία 28°C/100m. Τα γεωθερμικά ρευστά εμφανίζονται σε μικρά βάθη 50-110m, έχουν θερμοκρασία T=40°-50°C και παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Η παραπάνω ζώνη τοποθετείται σ'έναν άξονα ΒΔ-ΝΑ, ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων, που δημιούργησαν το βύθισμα.

Από γεωχημικής πλευράς τα γεωθερμικά ρευστά ανήκουν στην κατηγορία των ανθρακικών θειούχων νατριούχων με PH=8. Οι πιθανές θερμοκρασίες προέλευσης είναι της τάξης των 80°C και τα βέβαια αποθέματα του πεδίου φθάνουν τους 4000 τόννους ισοδυνάμου πετρελαίου.

γ) Γεωθερμικό πεδίο Νυμφόπετρας

Η κύρια ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος έχει έκταση 2km² με θετική θερμική ανωμαλία της τάξης των 20.9°C/100m. Τα γεωθερμικά ρευστά που εντοπίστηκαν σε μικρά βάθη 80-120m έχουν T=30°-44°C και παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Η περιοχή αυτή έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων. Δεν αποκλείεται η πιθανότητα το πεδίο αυτό να αποτελεί τη συνέχεια του γεωθερμικού πεδίου της Ν. Απολλωνίας, που παρουσιάζει σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά με το γεωθερμικό πεδίο της Νυμφόπετρας.

- BRGM -O.Y.Θ. (1972). Etude Hydrologique du bassin de Mygdonia pour l'alimentation en eau de la ville de Salonique.
- FOURNIER, R.O. & TRUSDELL, A.H. (1973). An empirical Na-K-Ca Geot -
hermometer for Natural Waters. -*Geochem. Cosmochim. Acta* ,37,
1255-1276.
- ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, Κ. (1983). Γεωφυσική διασκόπηση της Μυγδονίας λεκάνης και της ευρύτε-
ρης περιοχής. -Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,1-146,Θεσσα -
λονίκη.
- KAUFMANN,G.-KOCKEL,F. & MOLLAT, H. (1976). Notes on the stratigraphic and paleo-
geographic position of the Svoula Formation in the Innermost zone of the Hel-
lenides (Northern Greece). - *Bull. Soc. geol.,France*.
- KOCKEL, G.- MOLLAT, H.& WALTHER, H. (1971). Geologie des Serbomazedonischen Mas -
sius und seines mesozoischen Rahmens. - *Geol. Ab 89*.
- KOCKEL, F. & MOLLAT, H. (1977). Erlauterungen zur Geologischen Karte der Cnalki -
diki und angrenzender Gebiete, 1:100.000.
- MERCIER,N. - SIMEAKIS, K.-RONDOJIANNI,T. & ANGELIDIS, G. (1979). Intraplatte de -
formation: a quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessalo -
niki earthquakes. - *Nat.* , 178 , 15-48.
- SOTIRIADIS, L.- PSILOVIKOS, A. & ASTARAS, Th. (1972). Origin and formation of so -
me characteristic geomorphological occurrences in the tectonic valley of Lan -
gada-Volvi(Nymphopetra) - *Se. Ann. Fac. Phys. Math. Univ. Thessaloniki*,12,
207-224.
- THANASSOULAS, C.-TSELENTIS, G.A. & TRAGANOS, G. (1987). A preliminary resistivity
investigation (VES) of the Langada, hot springs area in Northern Greece. -*Ge -
othermics*,16,3,227-238.
- ΤΡΑΓΑΝΟΣ, Γ. (1982). Πρόδρομη έκθεση επί της γεωθερμικής έρευνας της λεκάνης της
Μυγδονίας (Λίμνη Λαγκαδά - Βόλβη). - *Ι.Γ.Μ.Ε.*,5943,1-35,Αθήνα.
- ΤΡΑΓΑΝΟΣ, G. & THANASSOULAS, Κ. (1985). Low enthalpy geothermal exploration for
possible domestic and industrial heating in the south and southeastern sub -
urbs of Thessaloniki. -*Ι.Γ.Μ.Ε.*
- ΤΡΑΓΑΝΟΣ,Γ. (1987). Πρώτη φάση της γεωτρητικής έρευνας για την επιβεβαίωση του γε -
ωθερμικού ενδιαφέροντος των περιοχών Λαγκαδά-Βόλβης στη λεκάνη Μυγδονίας. -
Ι.Γ.Μ.Ε.,5212,1-49,Αθήνα.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α. (1977). Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγ -
δονίας (ΛΑΓΚΑΔΑ,ΒΟΛΒΗ). - Διδακτορική Διατριβή ,Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης ,
1-156,Θεσσαλονίκη.