

Μιχάλης Φυτίκας
Αναπλ. Καθηγητής Γεωθερμίας
Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΚΔΟΣΗ
ΤΜΗΜΑ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΤΥΠΟΓΡΑΦΕΙΟ
1998-1999

Θεσσαλονίκη

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1. Θερμότητα του εσωτερικού της γης	3
1.2. Θερμική ροή	3
1.3. Ερμηνεία των τιμών θερμικής ροής	4
2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ	7
2.1. Περιοχές ωκεάνιας απομάκρυνσης (Spreading)	7
2.2. Περιοχές βύθισης λιθασφαιρικών πλακών (Subduction Zones)	7
2.3. Περιοχές ηπειρωτικών βυθισμάτων	7
2.4. Ηπειρωτικές περιοχές διογκώσεων (Swellings) ή θερμών κηλίδων (Hot Spots)	8
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	8
3.1. Εισαγωγή - Ορισμοί	8
3.2. Πρότυπα (μοντέλλα) γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας	10
3.2.1. Γεωθερμικά ρευστά	10
3.2.2. Διεργασίες μέσα στα γεωθερμικά μοντέλλα	11
3.3. Πρότυπα (μοντέλλα) πεδίων χαμηλής ενθαλπίας	12
3.4. Περιοχές με υψηλή θερμική ροή στον κόσμο και την Ελλάδα	12
3.4.1. Θερμική ανωμαλία των νησιωτικών τόξων	15
3.4.1.1. Θερμική ανωμαλία της Μήλου και Νισύρου	16
3.4.1.2. Αίτια της θερμικής ανωμαλίας στη Μήλο και Νίσυρο	16
3.4.1.3. Συνέπειες της ανωμαλίας	17
3.4.2. Οπισθότοξες περιοχές	20
3.4.3. Περιοχές με όξινο πλουτώνιο μαγματισμό	20
3.4.4. Περιοχές με ευνοϊκές "καλυμμένες" τεκτονικές δομές	22
3.4.5. Περιοχές μεγάλων ρηγμάτων ή ευνοϊκών σημείων	22
3.5. Περιοχές λιγότερο ευνοϊκές	22
4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	24
4.1. Γεωθερμική επισκόπηση σε μεγάλη κλίμακα	24
4.2. Συστηματική έρευνα των πιθανών γεωθερμικών περιοχών	24
4.3. Εντοπισμός-περιχάραξη πεδίου με γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής	27
4.4. Εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου	29
4.5. Γενικές παρατηρήσεις	30
5. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ-ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΣΥΣΚΕΥΕΣ	30
5.1. Γεωτρήσιμα έρευνας (μικρής διαμέτρου)	30
5.2. Γεωτρήσιμα έρευνας - παραγωγής (μεγάλης διαμέτρου)	31
5.3. Θερμόμετρα-Όργανα loggings	31
5.4. Όργανα υπαίθριας δειγματοληψίας και προσδιορισμού ρευστών	32
5.5. Προσδιορισμοί σε εργαστήρια	32
6. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	32
6.1. Ιστορική αναδρομή	32
6.2. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα	35
7. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ	38
7.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	38
7.2. Σχέδιο "Plowshare" (θερμά ξηρά πετρώματα)	39
7.3. Παραγόμενη "γεωθερμική" ηλεκτρική ενέργεια στον κόσμο	40
7.4. Αφαλάτωση	41
7.5. Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών	41
7.6. Άλλες χρήσεις	41
7.7. Άμεσες χρήσεις (Direct uses)	42
7.8. Επίδραση στο περιβάλλον	43

8. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	45
8.1. Περιγραφή του προγράμματος ερευνών	45
8.2. Ηφαιστειότητα στον ελληνικό χώρο	49
8.3. Περιγραφή μερικών γεωθερμικών πεδίων ή περιοχών και μέσης ενθαλπίας	49
8.3.1. Νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου	50
8.3.2. Νίσυρος	51
8.3.3. Λέσβος	52
8.3.4. Λοιπές περιοχές υψηλής και μέσης ενθαλπίας	53
8.4. Περιγραφή μερικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας στη Ελλάδα	54
8.4.1. Ν. Κεσσάνη Ξάνθης	54
8.4.2. Πεδία λεκάνης Στρυμόνα	54
8.4.2.1. Θερμά Νιγρίτας	55
8.4.2.2. Λιθότοπος Ηράκλειας	56
8.4.2.3. Θερμοπηγή Σιδηροκάστρου	56
8.4.2.4. Περιοχή πόλης Σερρών	56
8.4.3. Περιοχή Δέλτα Νέστου	56
8.4.3.1. Πεδίο Ερατεινού Χρυσούπολης	57
8.4.3.2. Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης	57
8.4.4. Λεκάνη Μυγδονίας Θεσ/νίκης	57
8.4.5. Περιοχή Ανθεμούντα Θεσ/νίκης	57
8.4.6. Περιοχές Χαλκιδικής	57
8.4.7. Λεκάνη Δυτικής Θεσ/νίκης	58
8.4.8. Λεκάνη Αλωπίας	58
8.4.9. Λεκάνη Θεσσαλίας	58
8.4.10. Λοιπές πιθανές περιοχές χαμηλής ενθαλπίας	58
8.5. Χαρακτηριστικά των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας	59

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η θερμότητα του εσωτερικού της γης και η θερμική ροή

Ο πλανήτης μας είναι ζεστός στο εσωτερικό του. Εντυπωσιακότερη απόδειξη για αυτό είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα που παρατηρούμε σε πολλά σημεία της γης, δραστηριότητα που φέρνει στην επιφάνεια θερμά, λειωμένα υλικά που έχουν θερμοκρασία μέχρι και 1200° C.

Λιγότερο εντυπωσιακοί είναι οι θερμοί ατμοί, νερά και αέρια, που επίσης προέρχονται από το υπέδαφος και σχηματίζουν geysers, ατμίδες, θερμές πηγές κ.λπ..

Το ότι η γη είναι ζεστή στο εσωτερικό της φαίνεται και από τη θερμοκρασία που αυξάνει όσο απομακρυνόμαστε με τεχνητά έργα από την επιφάνεια, εισερχόμενοι στο εσωτερικό, είτε με υπόγειες στοές ορυχείων, σήραγγες δρόμων και κυρίως με γεωτρήσεις.

Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος είναι γνωστός με τον όρο "γεωθερμική ροή" και η μέση τιμή του ανέρχεται σε 30° C/Km.

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, σε θερμά νερά ή μίγματα αυτών, ως και σε θερμά ξερά πετρώματα.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη σε ανθρώπινη κλίμακα μορφή ενέργειας και με αυτή την έννοια ανανεώσιμη, γιατί, όπως θα δούμε, τα ρευστά που εκμεταλλευόμαστε έχουν μετεωρική προέλευση και "ανακυκλώνονται", ανανεώνονται.

Ας γυρίσουμε όμως στην θερμότητα της γης. Διάφορες θεωρίες προσπαθούν να εξηγήσουν την αυξημένη θερμοκρασία του εσωτερικού της γης. Από τους περισσότερους ερευνητές είναι παραδεκτή σήμερα η άποψη ότι η αυξημένη αυτή θερμοκρασία του εσωτερικού της γης έχει αστρική προέλευση, διατηρήθηκε δηλ. από τη στιγμή της δημιουργίας της γης και ενισχύεται πιθανότατα από τη ραδιενεργό μεταστοιχείωση μερικών στοιχείων που συμβαίνει στο εσωτερικό του πλανήτη μας.

1.2. Θερμική ροή

Κατά την τελευταία δεκαετία αναπτύχθηκαν σημαντικά οι έρευνες και οι μέθοδοι μέτρησης της θερμικής ροής, της θερμότητας δηλ. που μεταδίδεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της Γης. Σκοπός των ερευνών αυτών είναι η διερεύνηση και ερμηνεία της εμφάνισης των μεγάλων θερμικών ανωμαλιών σε μερικές γεωλογικές περιοχές, δηλ. ροών θερμότητας ασυνήθιστα υψηλών, που εμφανίζονται σε περιοχές μεγάλης έκτασης. Τέτοιες ροές είναι δυνατό να συσχετιστούν με τις μεταφορικές κινήσεις στον ανώτερο μανδύα της Γης, που με τη σειρά τους θεωρούνται υπεύθυνες για την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών.

Οι μετρήσεις της θερμικής ροής πραγματοποιούνται σχετικά εύκολα και με ακρίβεια στους ωκεάνιους βυθούς, ενώ στις ηπειρωτικές περιοχές οι μετρήσεις γίνονται δύσκολα και συχνά δύσκολα εξηγούνται.

Η ροή της θερμότητας εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από τη γεωθερμική βαθμίδα, αφού είναι το γινόμενο

αυτών των δύο παραμέτρων και μετريέται με τις μονάδες θερμικής ροής (heat flow units, (HFU) σε $\mu\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$ ή σε mW/m^2). Είναι ευνόητο ότι στον πυθμένα των ωκεανών, όπου υπάρχουν συνήθως χαλαρά ιζήματα σε μορφή λάσπης που δεν έχει ακόμα στερεοποιηθεί και εμποδίζει τις μεταφορικές κινήσεις θερμότητας από το θαλασσινό νερό, με το οποίο έχουν εμποτιστεί, οι μετρήσεις αυτές παίρνονται αρκετά εύκολα. Πραγματικά, η αγωγιμότητα του μέσου αυτού προσδιορίζεται εύκολα και η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο νερό που εμποτίζει τα ιζήματα (όπου η θερμοκρασία μετριέται με την εισαγωγή ενός θερμόμετρου μέσα στα ανώτερα ιζήματα του πυθμένα) και του νερού του ωκεάνιου πυθμένα, που είναι γενικά σταθερή στους 4°C , προσδιορίζεται με ακρίβεια. Έτσι έχουμε αξιόπιστες τιμές της θερμικής ροής. Αντίθετα, στις ηπειρωτικές περιοχές η κυκλοφορία νερού μέσα στα πετρώματα-σχηματισμούς που τρυπήθηκαν από τις γεωτρήσεις, αλλοιώνει συνήθως τις θερμοκρασίες και προξενεί εσφαλμένες τιμές στην βαθμίδα και επομένως τη θερμική ροή. Εξάλλου και η θερμική αγωγιμότητα των διαρρηγμένων πετρωμάτων συνήθως δεν είναι δυνατό να μετρηθεί με ακρίβεια, γιατί αυτά δεν έχουν ομοιογένεια και ούτε τις ίδιες συνθήκες μέχρι να μεταφερθούν από τη γεώτρηση στο εργαστήριο. Θα ήταν πιο αξιόπιστες οι μετρήσεις που εκτελούνται μέσα στις βαθιές γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται π.χ. για την έρευνα υδρογονανθράκων, όμως οι γεωτρήσεις αυτές για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους, όταν είναι στείρες, φράσσονται λίγες ώρες μετά το τέλος της διάτρησης. Η γεωθερμική βαθμίδα στο μεταξύ, κατά τη διάτρηση, έχει αλλοιωθεί: α) γιατί κυκλοφορεί μέσα στην γεώτρηση λάσπη, με αποτέλεσμα την ελάττωση της θερμοκρασίας των τοιχωμάτων και β) γιατί δημιουργούνται σοβαρές τριβές από το κοπτικό άκρο και αυξάνεται η θερμοκρασία. Χρειάζεται γιαυτό αρκετός χρόνος (μερικών ημερών, για να αποκατασταθεί η θερμική ισορροπία, ώστε να εκτελεστούν οι μετρήσεις με ακρίβεια. Ο χρόνος όμως αυτός δεν διατίθεται για οικονομικούς λόγους. Οι ρηχότερες γεωτρήσεις έχουν συνήθως το μειονέκτημα της ύπαρξης κυκλοφορίας σχετικά επιφανειακών νερών σε υδροφόρους ορίζοντες ή ορίζοντα, που υποβιβάζουν την τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας.

Μόλες αυτές τις δυσκολίες, η στατιστική των μετρήσεων απόδειξε ότι η θερμική ροή είναι σχεδόν η ίδια και στις ηπείρους και στους ωκεανούς. Για να σχηματίσουμε σαφέστερη αντίληψη των διαφορετικών τιμών της θερμικής ροής σε διαφορετικά τεκτονικά περιβάλλοντα παραθέτουμε τον πίνακα I, που περιλαμβάνει τα στοιχεία που συγκέντρωσαν οι LEE και UYEDA (1965). Στον πίνακα αυτόν φαίνονται οι σταθερές αποκλίσεις από τη μέση τιμή, γεγονός που δίνει μια ιδέα σχετικά με τη διασπορά των πειραματικών τιμών. Στον πίνακα φαίνεται ακόμη ο αριθμός των μετρήσεων από τις οποίες υπολογίστηκε η μέση τιμή.

1.3. Ερμηνεία των τιμών θερμικής ροής

Στον πίνακα I φαίνεται πόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μετρήσεων στις ωκεάνιες περιοχές και τούτο, γιατί αυτές παίρνονται ευκολότερα και είναι πιο αξιόπιστες. Φαίνεται ακόμα πόσο αυξημένη θερμική ροή παρουσιάζουν οι περιοχές με καινοζωϊκή ηφαιστειότητα ($2,16 \pm 0,46$ HFU). Μπορούμε, λοιπόν, να πούμε ότι ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια (Active continental margins), που χαρακτηρίζονται από μια έντονη ηφαιστειακή δράση, όπως είναι π.χ. οι περιοχές της Ιαπωνίας, των Άνδεων και πιθανότατα του - ότιου Αιγαίου, παρουσιάζουν την υψηλότερη μέχρι σήμερα γνωστή μέση θερμική ροή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (Κατά LEE - UYEDA, 1965)

	Μέση τιμή ροής μέσα στο φλοιό σε $\mu\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$)	Αριθμός μετρήσεων
Α) ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
1. Προκάμβριες "ασπίδες" (Shields)	0.92±0.17 HFU*	26
2. Μετα-Προκάμβριες, που δεν εκδηλώθηκε ορογένεση, περιοχές	1.54±0.38 "	23
3. Μετα-Προκάμβριες, που εκδηλώθηκε ορογένεση, περιοχές (εκτός από το 4)	1.48±0.56 "	68
4. Περιοχές με καινοζωϊκής ηλικίας ηφαιστειότητα	2.16±0.46 "	11
5. Μέση ηπειρωτική τιμή, έξω από τις γεωθερμικές περιοχές	1.43±0.56 "	128
6. Μέση ηπειρωτική τιμή μέσω των τιμών περιοχών έκτασης 300X300 ναυτικών τετρ.μιλλίων	1.41±0.52 "	51
Β) ΩΚΕΑΝΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
1. Ωκεάνιες λεκάνες (Basins)	1.28±0.53 "	275
2. Ωκεάνιες ράχεις (Ridges)	1.82±1.56 "	338
3. Τάφροι (Trenches)	0.99±0.61 "	21
4. Ηπειρωτικές κρηπίδες (Shelves) κ.λπ.	1.71±1.05 "	281
5. Μέση τιμή ωκεάνιων περιοχών	1.60±1.18 "	915
6. Μέση τιμή μέσω των τιμών ωκεάνιων περιοχών έκτασης 300X300 ναυτικών τετρ.μιλλίων	1.42±0.78 "	338
Γ) ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		
Παγκόσμια μέση τιμή μέσω των τιμών περιοχών έκτασης 300X300 ναυτικών τετρ.μιλλίων	1.58±1.14 "	1043
	1.43±0.75 "	389

* HFU Heat flow unit, σε $\mu\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$.

Ψηλές σχετικά τιμές μετρήθηκαν επίσης και στις ωκεάνιες ράχεις. Στα περιβάλλοντα όμως αυτά παρατηρήθηκε ισχυρή μεταβολή και διασπορά των τιμών της θερμικής ροής. Πραγματικά και η σταθερή απόκλιση, δηλ. 1,56, είναι η μεγαλύτερη που παρατηρήθηκε. Τούτο αποδίδεται στο γεγονός ότι κατά μήκος των ράχων, όπως π.χ. στην ατλαντική, οι περιοχές υψηλής και υψηλότερης ροής έχουν συγκεντρωθεί σε πολύ λίγα και καλά προσδιορισμένα σημεία. Το πιο ουσιαστικό στοιχείο της συλλογής αυτής των τιμών είναι, όπως αναφέραμε, η ίση μέση θερμική ροή στις ηπειρωτικές και στις ωκεάνιες περιοχές (1,41 HFU και 1,42 HFU αντιστοίχως), γεγονός που είναι πολύ δύσκολο να ερμηνευτεί, εάν μάλιστα έχουμε υπόψη τη θερμότητα που παράγεται από τη μετάπτωση των κυριότερων ραδιενεργών ισοτόπων και ακόμη τη σχετική συγκέντρωσή τους στους διάφορους λιθολογικούς τύπους. Πραγματικά και ο μέσος όρος των U, Th και K, που περιέχεται στα γρανιτικά πετρώματα, είναι περίπου εξαπλάσιος από εκείνον των γαββρικών και βασαλτικών πετρωμάτων, που σχηματίζουν τον ωκεάνιο φλοιό. Αυτό σημαίνει ότι η θερμική ροή, που οφείλεται μόνο στην κατανομή των ραδιενεργών στοιχείων, δηλ. στη θερμότητα που παράγεται από την μετάπτωση των ποικίλων ραδιενεργών ουσιών, θα έπρεπε να είναι τριπλάσια στις ηπειρωτικές περιοχές απ'αυτήν που παράγεται στις ωκεάνιες. Αυτό όμως δεν επαληθεύεται στην πράξη και γι'αυτό συμπεραίνουμε ότι η θερμική ροή από τον μανδύα προς τον ωκεάνιο φλοιό θα πρέπει να είναι τριπλάσια από εκείνη που κατευθύνεται από τον μανδύα προς τον ηπειρωτικό φλοιό.

Μια από τις περισσότερο παραδεκτές υποθέσεις, που προσπαθούν να εξηγήσουν το φαινόμενο αυτό, είναι ότι ο ανώτερος μανδύας (περίπου 400 χλμ.) έπαθε κάθετη διαφοροποίηση. Έτσι τα λιθόφιλα στοιχεία (με ιόντα μεγάλης ακτίνας) συγκεντρώθηκαν στον ηπειρωτικό σιαλικό φλοιό. Ο υπο-ηπειρωτικός, λοιπόν, μανδύας θα πρέπει να έγινε φτωχότερος γενικά σε λιθόφιλα στοιχεία και ειδικά σε ραδιενεργά σε σχέση με τον υπο-ωκεάνιο μανδύα.

Την υπόθεση αυτή υποστηρίζουν όχι μόνο γεωφυσικοί, αλλά και γεωχημικοί, όπως ο RINGWOOD, που δέχεται την ύπαρξη ενός υπο-ηπειρωτικού μανδύα δουνιτικού πιθανώς τύπου. Ο γεωχημικός αυτός δέχεται την ύπαρξη υπο-ωκεάνιου μανδύα πιο ζεστού από τον υπο-ηπειρωτικό.

Οι λύσεις που δίνονται στο πρόβλημα αυτό είναι συνυφασμένες με εξηγήσεις που έχουν υπόψη τους την τεκτονική ολόκληρης της Γης. Η τεκτονική αυτή μας κάνει να δεχτούμε ότι η ισότητα της θερμικής ροής στις διάφορες περιοχές του πλανήτη μας είναι το αποτέλεσμα ενός δυναμικού ισοζυγίου, που προέκυψε από ένα ανώτερο μανδύα που επηρεάζεται από μεταφορικά φαινόμενα. Ο μανδύας αυτός θα πρέπει να είναι πλαστικός μέχρι στερεός και με κανένα τρόπο υγρός.

2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ

Εκτός από τις περιοχές με θερμική ροή ίση με τη μέση γήινη, υπάρχουν και περιοχές με ανώμαλη, μεγαλύτερη θερμική ροή. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν τιμές θερμικής ροής, που μπορούν να φτάσουν μέχρι και το εξαπλάσιο της κανονικής. Θα αναφέρουμε μερικές από τις περιοχές αυτές.

2.1. Περιοχές ωκεάνιας απομάκρυνσης (Spreading)

Είναι οι περιοχές όπου τμήματα του ωκεάνιου φλοιού απομακρύνονται μεταξύ τους. Στις περιοχές αυτές παρατηρούμε τη μεγαλύτερη, σε απόλυτες τιμές, θερμική ροή, πράγμα που δικαιολογείται, όταν έχει κανείς υπόψη του τη μεταφορική κίνηση του μανδύα που προκαλεί την άνοδο από τα βάθη προς την επιφάνεια θερμότερων μαγματικών μαζών. Είναι οι περιοχές των ωκεάνιων ράχων (π.χ. η Ατλαντική) οι οποίες όμως δεν έχουν συνήθως πρακτικό γεωθερμικό ενδιαφέρον γιατί βρίσκονται στο εσωτερικό των ωκεανών (λίγες οι εξαιρέσεις, όπως π.χ. η Ισλανδία, που αποτελεί αναδημένο τμήμα της Ατλαντικής ράχης).

2.2. Περιοχές βύθισης λιθωσφαιρικών πλακών (Subduction zones)

Στις περιοχές αυτές και συγκεκριμένα 150-250 Km από την τάφρο-όριο της καταδυόμενης πλάκας σχηματίζονται νησιώτικα τόξα ή πτυχωσιγενείς οροσειρές (κορδιλλιέρες) στα ηπειρωτικά περιθώρια. Η αιτία που προκαλεί την ανωμαλία της θερμικής ροής στην περίπτωση αυτή οφείλεται στις τεράστιες ποσότητες μαγμάτων που ανεβαίνουν από τον ενυδατωμένο μανδύα που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο του Benioff (βλέπε παρακάτω). Η άνοδος του υλικού αυτού διευκολύνεται από την τεκτονική καταβυθίσεων. Είναι γνωστό ότι στις περιοχές αυτές εμφανίζεται η μεγαλύτερη ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως π.χ. στην περιπειρηνική 'ζώνη πυρός'. Οι ποσότητες των μαγμάτων που φτάνουν μέχρι τη γήινη επιφάνεια είναι οπωσδήποτε πολύ μικρότερες, αν συγκριθούν με εκείνες που παραμένουν σε μικρό σχετικά βάθος.

Η ανωμαλία της θερμικής ροής των νησιώτικων τόξων φαίνεται ότι αποτελεί γενικό φαινόμενο, αν και μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν στοιχεία μετρήσεων θερμικής ροής απ'όλα τα γνωστά ενεργά νησιώτικα τόξα. Ένα από τα νησιώτικα τόξα με σημαντική ανωμαλία, τουλάχιστο σε ένα τμήμα του, είναι και εκείνο του Νότιου Αιγαίου.

2.3. Περιοχές ηπειρωτικών βυθισμάτων

Τα μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα, όπως είναι π.χ. το αφρικανικό Rift Valley, εκείνο της κοιλάδας του Ρήνου, το βύθισμα της Παννονικής πεδιάδας στην Ουγγαρία κ.λπ., παρουσιάζουν και αυτά ανωμαλίες θερμικής ροής, που όμως, συνήθως, δε φτάνουν σε τόσο μεγάλες τιμές, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις διεύρυνσης των ωκεανών ή στις περιοχές κάτω από νησιώτικα τόξα και πτυχωσιγενείς οροσειρές (κορδιλλιέρες). Συγκεκριμένα, στο κεντρικό τμήμα της Παννονικής πεδιάδας μετρήθηκαν θερμικές ροές, που κυμαίνονται ανάμεσα σε 1,2 και 2,4 HFU. Στη χώρα μας έχουμε πολλές θερμικές ανωμαλίες σε πολλές λεκάνες της Κεντρικής και Βόρειας Ανατολικής Ελλάδας.

2.4. Ηπειρωτικές περιοχές διογκώσεων (Swellings) ή θερμών κηλίδων (Hot spots)

Εδώ και μερικά χρόνια διατυπώθηκε η θεωρία των θερμών κηλίδων (Hot Spots) του φλοιού, που προσπαθεί να εξηγήσει την εμφάνιση ηφαιστειών σε ευθεία γραμμή, που δημιουργούνται στον ωκεάνιο βυθό και στο εσωτερικό των πλακών, σε σταθερές περιοχές, που δεν επηρεάζονται από την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Τα ευθυγραμμισμένα αυτά ηφαιστεια, όπως είναι π.χ. αυτά των νησιών Χαβάης, δεν σχηματίζονται σε περιοχές που υπάρχουν ρήγματα και διαρρήξεις και, το σπουδαιότερο, παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό φαινόμενο της προοδευτικής αλλαγής της ηλικίας τους από το ένα άκρο της ευθείας προς το άλλο.

Η εξήγηση που δόθηκε στο φαινόμενο αυτό είναι ότι σε μεγάλο βάθος του μανδύα αναπτύσσονται σταθερές μεταφορικές κινήσεις τούτου, που πιθανώς δημιουργούν μερικά σταθερά 'θερμά' σημεία. Όταν ένα εσωτερικό τμήμα μιας λιθοσφαιρικής πλάκας που μετατοπίζεται, περνά πάνω από κάποιο τέτοιο θερμό σημείο, αποσπά βασαλτικό υγρό ασθενοσφαιρικής (ως προέλευσης και δημιουργεί ένα ηφαιστειο. Η σταδιακή μετακίνηση της πλάκας προκαλεί και τον συνεχή σχηματισμό νέων ηφαιστειακών κέντρων στην ίδια πάντα ευθεία.

Στην περίπτωση ηπειρωτικών πλακών, ανάλογα φαινόμενα καλούνται να εξηγήσουν ειδικές διογκώσεις (Swellings) του φλοιού, που σχηματίζονται στο εσωτερικό περιοχών τελείως σταθερών από τεκτονική άποψη. Κλασικό παράδειγμα αποτελούν οι διογκώσεις του εσωτερικού της Αφρικής στις περιοχές Tibesti και Air της Σαχάρας, του υψιπέδου στο Jos της Νιγηρίας κ.ά. Με τέτοιες διογκώσεις συνδέονται μερικές φορές τα αλκαλικά βασαλτικά μάγματα και οι όξινες διαφοροποιήσεις τους, που είναι πλούσιες σε κοιτάσματα ψεύδαργυρου.

Σε διογκώσεις του τύπου αυτού σφείλονται πιθανώς οι ανάλογοι σχηματισμοί της δυτικής Τοσκάνης στην Ιταλία, όπου βρίσκονται δύο από τα πιο σημαντικά γεωθερμικά πεδία του κόσμου, του Larderello και του Monte Amiata και της περιοχής του Mendere στα ενδότερα της Σμύρνης, όπου βρίσκεται επίσης το σημαντικό γεωθερμικό πεδίο του Kizildere.

Εκτός από τις παραπάνω τέσσερις περιπτώσεις περιοχών ανώμαλης θερμικής ροής σε μεγάλη επαρχιακή κλίματα η θερμική ροή στο μεγαλύτερο τμήμα της Γης είναι σχεδόν σταθερή. Αποτελούν παραπέρα εξαίρεση στον κανόνα αυτό και οι λεγόμενες 'ανωμαλίες σημείων', που συνδέονται με εκείνες τις σπάνιες ηφαιστειακές δραστηριότητες, που δημιουργούνται μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών και είναι δύσκολο να εξηγηθούν.

Τα νησιά Μήλος και Νίσυρος αποτελούν τμήμα ενός ηφαιστειακού τόξου, που ονομάζεται 'ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου'. Αποτελούν τυπικό παράδειγμα περιοχών με θετική θερμική ανωμαλία. Πρόκειται, όπως είδαμε παραπάνω για χαρακτηριστική περίπτωση "γενικού (επαρχιακού) γεωθερμικού πεδίου".

Σημειώνουμε ότι χαρακτηρίζουμε ένα γεωθερμικό πεδίο σε "τοπικό", αν αυτό έχει μικρή έκταση, της τάξης μερικών Km².

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

3.1. Εισαγωγή - Ορισμοί

Από τη θερμότητα που βρίσκεται σε τεράστιες ποσότητες στο εσωτερικό της Γης και που οι πιο φανερές εκδηλώσεις της είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις, που φέρνουν στο φως πυρωμένα υλικά με θερμοκρασία μέχρι και 1000°C , ελάχιστο μόνο μέρος προσφέρεται για άμεση και οικονομικά συμφέρουσα εκμετάλλευση.

Γεωθερμική ενέργεια καλείται η φυσική πηγή με γήινη προέλευση που με τη μορφή θερμών ρευστών ατμού, νερού, αερίων είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Γεωθερμική είναι και η ενέργεια των θερμών ξερών πετρωμάτων ή λειωμένων μαγματικών υλικών.

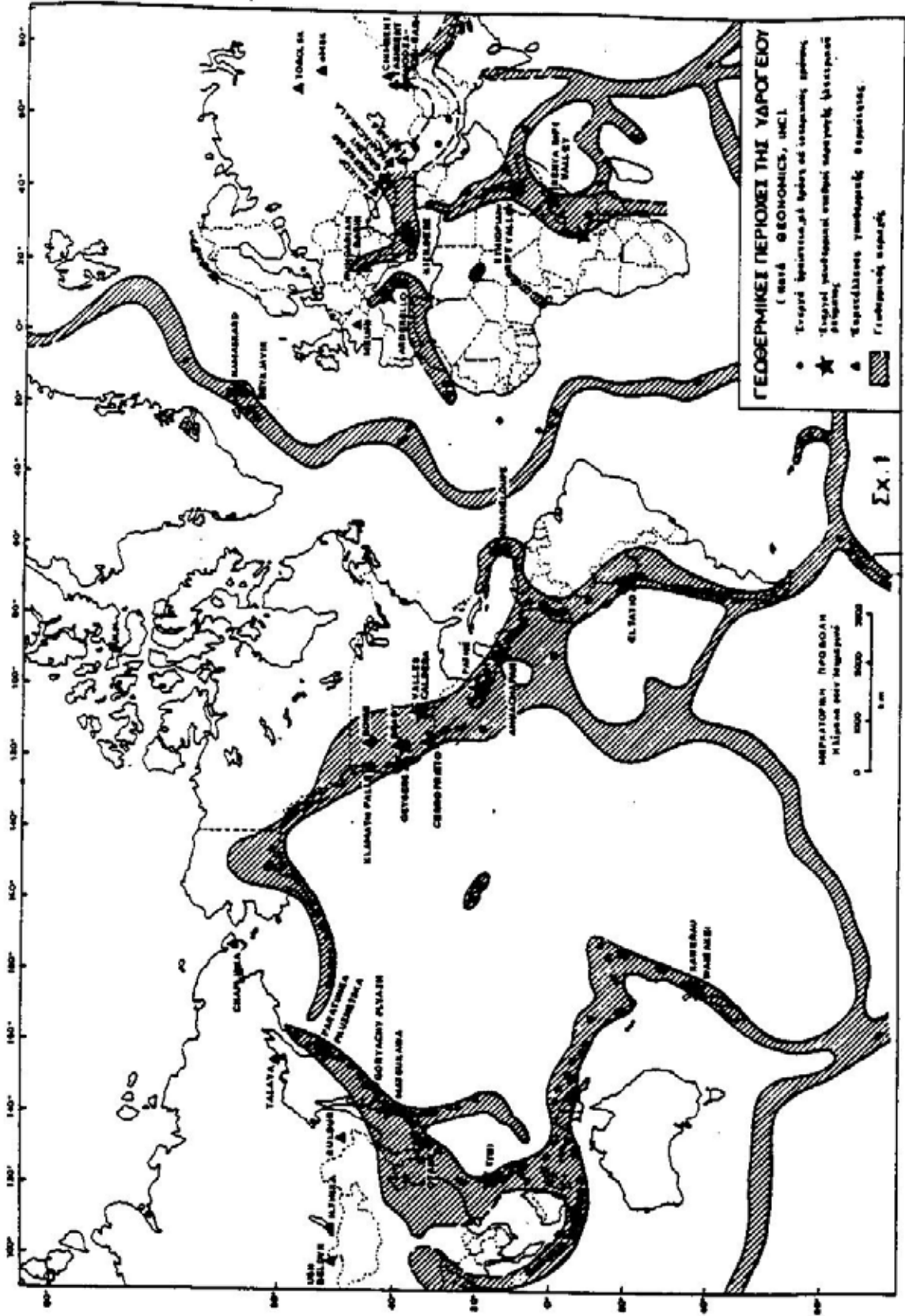
Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ πιθανή σε εκείνες τις περιοχές της Γης όπου μάζες ρευστών (νερό, ατμός και διάφορα άλλα αέρια) ανεβαίνουν προς την επιφάνεια μέσα από ρήγματα, από βαθύτερα και θερμότερα σημεία του φλοιού της Γης και μεταφέρουν έτσι σημαντικές ποσότητες θερμότητας. Τέτοιες περιοχές συνδέονται πολύ συχνά με γεωλογικά πολύ πρόσφατη ή και ενεργό ηφαιστειότητα (Σχ. 1).

~~Οι διαφορές στην~~ είναι θεωρητικά εκείνες που για ~~διαφορετικές αιτίες διαδίδουν θερμική ροή και επομένως γεωθερμική~~ βαθμίδα ανώτερη από τις μέσες τιμές (η μέση ροή είναι περίπου $1,2 \text{ kcal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ και η μέση βαθμίδα $30^{\circ}\text{C}/1000 \text{ m}$). Οι περισσότερες από τις παραπάνω περιοχές βρίσκονται κοντά στα όρια των λιθωσφαιρικών πλάκων, όπως αναφέραμε στην εισαγωγή (Κεφ. 1).

Δεν αρκεί όμως μόνον η θερμική ανωμαλία για τη δημιουργία γεωθερμικών κοιτασμάτων ή πεδίων όπως πιο κοινά λέγονται. Χρειάζονται και άλλες ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες (τις οποίες θα εξετάσουμε πιο κάτω) ώστε να έχουμε γεωθερμικά ρευστά σε όχι πολύ μεγάλα βάθη, με ικανοποιητική θερμοκρασία, με καλά έως αποδεκτά φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά κ.λπ. και οπωσδήποτε αξιόλογη ποσότητα. Η θερμική ενέργεια των φυσικών ρευστών εξαρτάται ως γνωστό από την ποσότητα και την θερμοκρασία τους, ενώ η οικονομικότητά της είναι συνάρτηση τόσο των χημικών χαρακτηριστικών της που προκαλούν ή όχι προβλήματα διάβρωσης ή και απόθεσης όσον και του βάθους, αφού οι γεωτρήσεις ανόρυξης των ρευστών απαιτούν πολύ σημαντικές δαπάνες και το κόστος τους ανεβαίνει με σχεδόν γεωμετρικό ρυθμό με το βάθος.

Ο WHITE υπολόγισε ότι η ολική ποσότητα θερμότητας ($= 3 \cdot 10^{26}$ θερμίδες) που περιέχεται στα ανώτερα 10 χλμ. του φλοιού της Γης, που είναι και από τα μεγαλύτερα βάθη που έφτασαν μέχρι σήμερα τα γεωτρήματα, είναι 2000 φορές μεγαλύτερη από την ποσότητα της θερμότητας, που θα μπορούσαν να δώσουν όλα τα αποθέματα καυσίμων της Γης.

Θα πρέπει όμως να αναφέρουμε ότι, όπως συμβαίνει και με την ηλιακή ενέργεια, τέτοια ποσότητα θερμότητας δεν είναι ολόκληρη εκμεταλλεύσιμη. Εξαρτάται από το πόσο συγκεντρωμένη είναι. Τέτοια ποσότητα δημιουργεί αξιόλογη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην αρχική της πηγή και την ατμοσφαιρική. Η θερμική ενέργεια θα πρέπει να είναι αποθηκευμένη μέσα στα στερεά πετρώματα, που βρίσκονται σε μικρά σχετικά βάθη, αλλά και μέσα στο νερό και στον ατμό, που γεμίζουν τους πόρους και τις ρωγμές των πετρωμάτων που αναφέραμε. Υπολογίστηκε ότι η ηλιακή ενέργεια αντιστοιχεί σε ισχύ $15 \cdot 10^{13} \text{ kW}$ για ολόκληρη την επιφάνεια της Γης, ενώ η ισχύ της θερμικής ροής είναι μόνο $3 \cdot 10^{10} \text{ Kw}$.



ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΙ ΠΕΡΙΟΧΕΙ ΤΗΙ ΥΑΡΓΕΙΟΥ
 (ΣΥΝΔ. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, Σ.Μ.Ε.)

- Έργον επενδυσματ' ἑργασίᾳ ἢ κατασκευᾳ ἑργῶν
- ★ Έργον γεωδυσματ' ἑργασίᾳ ἢ κατασκευᾳ ἑργῶν
- ▲ Ἐπεκτάσεις γυμνασίου ἑργασίᾳ
- ▨ Γεωδυσματ' ἑργῶν

ΜΕΤΡΩΝΤΕΣ ΠΡΟΣΘΟΝ
 ΗΜΕΡΩΝ ΠΟΥ ΑΡΧΙΖΟΥΝ

0 1000 2000 3000
 1 km

Σ.Χ. 1

3.2. Πρότυπα (μοντέλλα) γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας

Ένα κέντρο που βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος μέσα στο φλοιό της Γης κι έχει υψηλή θερμοκρασία αποτελεί τη βάση όλων των προτύπων των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας. Συνήθως μια τέτοια εστία αποτελείται από μαγματικές μάζες ποικίλων διαστάσεων, που ανέβηκαν στο φλοιό από μεγαλύτερα βάθη και είτε παρέμειναν μέσα σ'αυτόν είτε βγήκαν στην επιφάνεια.

3.2.1. Γεωθερμικά ρευστά

Όταν στις μάζες αυτές δεν κυκλοφορούν ρευστά, η μεταφορά θερμότητας στο φλοιό πραγματοποιείται μόνο με την αγωγιμότητα (που για τα πετρώματα είναι γενικά πολύ περιορισμένη), γιατί δεν είναι δυνατός ο σχηματισμός ρευμάτων μεταφοράς.

Κοντά στην επιφάνεια της Γης η κάπως μεγαλύτερη υδατοπερατότητα των πετρωμάτων επιτρέπει την κατείσδυση των ρευστών, που θερμαίνονται στο βάθος από την επαφή τους με τα θερμά πετρώματα. Έτσι γίνονται ελαφρότερα και ανεβαίνουν, ενώ νέα ψυχρότερα και, επομένως, βαρύτερα ρευστά παίρνουν τη θέση τους. Σχηματίζεται έτσι ένα σύστημα κυκλοφορίας, που έχει σαν πρακτικό αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από το βάθος στην επιφάνεια.

Για πετρώματα με την ίδια περατότητα η σπουδαιότητα ενός μεταφορικού συστήματος είναι συνάρτηση της διαφοράς των θερμοκρασιών και της απόστασης ανάμεσα στην εστία θερμότητας και στην επιφάνεια της Γης. Έτσι, όσο θερμότερη και όσο πιο κοντά στην επιφάνεια είναι η εστία, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενθαλπία των ρευστών που κυκλοφορούν ανάμεσα στην επιφάνεια και την εστία.

Τα νερά που κυκλοφορούν μέσα στο φλοιό της Γης έχουν, κατά κύριο λόγο, επιφανειακή προέλευση. Ο GOGUEL υποστήριξε από το 1953 με θερμοδυναμικά επιχειρήματα, ότι το μεγαλύτερο μέρος του ατμού του Larderello δεν είναι δυνατό να έχει μαγματική προέλευση και δεν μπορεί να είναι νεαρό ή νεηλυδον (juvenile). Ο MARINELLI παραδέχτηκε την άποψη του Goguel και προσθέτει το παρακάτω γεωλογικό επιχειρήμα: Η υδατοπερατότητα των πετρωμάτων σε ένα γεωθερμικό πεδίο μικραίνει όσο μεγαλώνει το βάθος και κοντά στο μαγματικό θάλαμο είναι πολύ μικρή. Έτσι, στην περιοχή αυτή κυκλοφορεί μικρή ποσότητα νερού με κυρίαρχο το νεαρό. Αντίθετα, όσο απομακρυνόμαστε από τον μαγματικό θάλαμο, προστίθεται όλο και περισσότερο νερό επιφανειακής προέλευσης και η αναλογία σε νεαρό μικραίνει μέχρι να γίνει αμελητέα. Με τις σκέψεις αυτές καταλήγει ότι τα γεωθερμικά πεδία τροφοδοτούνται κυρίως από νερά επιφάνειας. Η άποψη αυτή αποδείχτηκε στην πράξη από ισοτοπικές κυρίως αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών που προέρχονται από διάφορα πεδία του κόσμου: σε όλες τις περιπτώσεις και σε μέγιστο ποσοστό που υπερβαίνει την ακρίβεια των εργαστηριακών προσδιορισμών

Το μοντέλλο που στηρίζεται στην εστία θερμότητας και στη μεταφορική κυκλοφορία των ρευστών προσδιορίστηκε από τον GOGUEL στην κλασική για τη γεωθερμία εργασία του. Το μοντέλλο αυτό χρησιμοποιείται και σήμερα για να καθοριστούν οι αναγκαίες συνθήκες δημιουργίας ενός πεδίου, που μπορεί να δώσει εκμεταλλεύσιμο, με τα σημερινά οικονομοτεχνικά δεδομένα, ατμό.

Θα εξετάσουμε με λίγες λέξεις τις αναγκαίες αυτές συνθήκες: Πάνω από την εστία θερμότητας, που βρίσκεται σε βάθος από 3 μέχρι 10 χλμ., θα πρέπει να υπάρχει σειρά πετρωμάτων, συνήθως μεταμορφωμένων, που να διαθέτει κάθετα ή σχεδόν κάθετα συστήματα διαρρήξεων ή ρηγμάτων, που να επιτρέπουν την κυκλοφορία

ρευστών και επομένως τη μεταφορά θερμότητας προς την επιφάνεια. Με την κυκλοφορία αυτή, εκτός από τη θέρμανση των πετρωμάτων που βρέχουν τα θερμά ρευστά, γίνεται και απόθεση ορυκτών. Τα ορυκτά αυτά φράζουν τις ρωγμές εμποδίζοντας έτσι προοδευτικά την κυκλοφορία. Η σεισμική δράση δημιουργεί νέα ρήγματα και διαρρήξεις κάτι που γίνεται σε μεγάλη έκταση σ'όλες τις σεισμοπαθείς περιοχές.

Πάνω από τη σειρά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων και σε βάθος που κυμαίνεται από 300 μέχρι 3000 μέτρα θα πρέπει να αναπτύσσεται σχηματισμός, ακόμα και σε μικρό πάχος, που να χαρακτηρίζεται από μεγάλη πρωτογενή ή δευτερογενή περατότητα. Ο σχηματισμός, που μέσα σ'αυτό κυκλοφορούν τα ζεστά νερά, ονομάζεται συλλέκτης (ρεζερβουάρ) από τον αντίστοιχο όρο που χρησιμοποιούν στην κοιτασματολογία των πετρελαίων. Ο συλλέκτης θα πρέπει να προστατεύεται από ένα στεγανό κάλυμμα που εμποδίζει την διάχυση της θερμικής ενέργειας στην ατμόσφαιρα. Η στεγανότητα του καλύμματος μπορεί να είναι πρωτογενής, να οφείλεται δηλ. στη φύση του σχηματισμού από τότε που αυτός δημιουργήθηκε, μπορεί όμως να προέκυψε δευτερογενώς εξ αιτίας των ειδικών τοπικών συνθηκών (αυτο-στεγανοποίηση ή Self Sealing). Το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε πολλές φαισειακές περιοχές εξ αιτίας κυρίως της υδροθερμικής εξαλλοίωσης των αρχικών πετρωμάτων και τον σχηματισμό αργιλικών ορυκτών (π.χ. μπεντονίτη, καολίνη) όπως έγινε στη Μήλο και τη Νίουρο.

3.2.2. Διεργασίες μέσα στα γεωθερμικά μοντέλλα

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται μέσα σε μια τέτοια στρωματογραφική σειρά είναι οι παρακάτω: Νερό μετεωρικής γενικά προέλευσης κατεβαίνει (Σχ. 2), θερμαίνεται, πλουτίζεται με άλατα και αέρια και μπαίνει στον κύκλο της θερμικής μεταφοράς. Μέσα στο συλλέκτη, όπου η κυκλοφορία είναι πιο εύκολη και γρήγορη, υπάρχει νερό (σπάνια με ατμό) κάτω από συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που βρίσκονται κοντά στο σημείο βρασμού.

Οι παραγωγικές γεωτρήσεις, μόλις φτάσουν στο συλλέκτη, προκαλούν βρασμό του νερού, γιατί ελαττώνεται δραστικά η πίεση. Αν η υδροστατική πίεση μέσα στο συλλέκτη είναι περίπου ίση με την πίεση βρασμού που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του υγρού, έχουμε τις καλύτερες προϋποθέσεις για εκμετάλλευση, γιατί στην περίπτωση αυτή σχηματίζεται ατμός μέσα στο συλλέκτη και με την γεώτρηση ανεβαίνει στην επιφάνεια ξερός και συχνά ελαφρά υπέρθερμος. Αυτό συμβαίνει, γιατί καταλήγει να έρθει σε επαφή με θερμότερα πετρώματα (περίπτωση Α).

Αν, αντίθετα, συμβαίνει να απομακρυνόμαστε από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, το ρευστό ανεβαίνει μέσα στη γεώτρηση σαν μέσα σε αρτεσιανό σύστημα, ο μερικός διαχωρισμός των φάσεων πραγματοποιείται κατά την άνοδο μέσα στη γεώτρηση και ο ατμός καταλήγει να είναι υγρός και να περιβάλλεται από ψυχρότερο, αλμυρό και με διασβρωτικές ιδιότητες νερό (περίπτωση Β).

Μετά την εκτέλεση της γεώτρησης η ποσότητα του ρευστού που ανεβαίνει στην επιφάνεια εξαρτάται από τη διάμετρο της γεώτρησης και από την περατότητα του συλλέκτη. Η ποιότητα του ρευστού που παράγεται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία του ρευστού μέσα στο συλλέκτη, το βάθος του (που έχει σχέση με την υδροστατική πίεση), η αλμυρότητα του νερού, ο βαθμός περατότητας των στρωμάτων, που μέσα σ'αυτά πραγματοποιείται η εξάτμιση του νερού, και τέλος, η διάμετρος της γεώτρησης.

Οι πολυάριθμοι παράγοντες που παίζουν ρόλο σε κάθε περίπτωση

είναι δύσκολο ή και αδύνατο να ερευνηθούν. Για το λόγο αυτό γενικά περιπλέκεται η θερμοδυναμική μελέτη των γεωθερμικών πεδίων. Αν εξετάσει κανείς το διάγραμμα του Mollier (Σχ. 3), διαπιστώνει ότι η τιμή των 670 cal/gm αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ενέργεια που είναι σε θέση να έχει μέσα του ο κορεσμένος ατμός και τέτοια πολύ μεγάλη τιμή περιμένουμε στην πίεση των 30 ατμοσφαιρών περίπου. Ο ατμός υπερθερμαίνεται, όταν, διατηρώντας τέτοια τιμή ενθαλπίας, συμβαίνει να βρεθεί σε πίεση κατώτερη από τις 30 ατμόσφαιρες.

Η χημική σύνθεση των γεωθερμικών ρευστών έχει μεγάλη σημασία γιατί απ'αυτή εξαρτιούνται πολλές φορές οι ισορροπίες στο βάθος, αλλά και ο πιο σωστός τρόπος εκμετάλλευσης κάθε γεωθερμικού πεδίου. Η αλμυρότητα του νερού που μένει στο συλλέκτη, ανεβαίνει με εντυπωσιακό τρόπο μετά τη μετατροπή μέρους του ρευστού σε αέριο. Όταν το νερό αυτό παρασύρεται προς τα πάνω από τον ατμό, δημιουργεί συνήθως σοβαρά προβλήματα περιλίθωσης, αλλά και διάβρωσης των σωλήνων. Τα αλμυρά νερά, όταν είναι και ζεστά γίνονται περισσότερο διαβρωτικά και μερικές φορές δημιουργούν και προβλήματα μόλυνσης του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται μια κατάλληλη γεώτρηση και γίνεται επανέγχυση (re-injection) του γεωθερμικού ρευστού στον συλλέκτη και έτσι, όχι μόνον δεν υπάρχει καμία επίπτωση στο περιβάλλον, αλλά επανατροφοδοτείται και το ρεζερβουάρ και διατηρείται συνεχώς υπό πίεση.

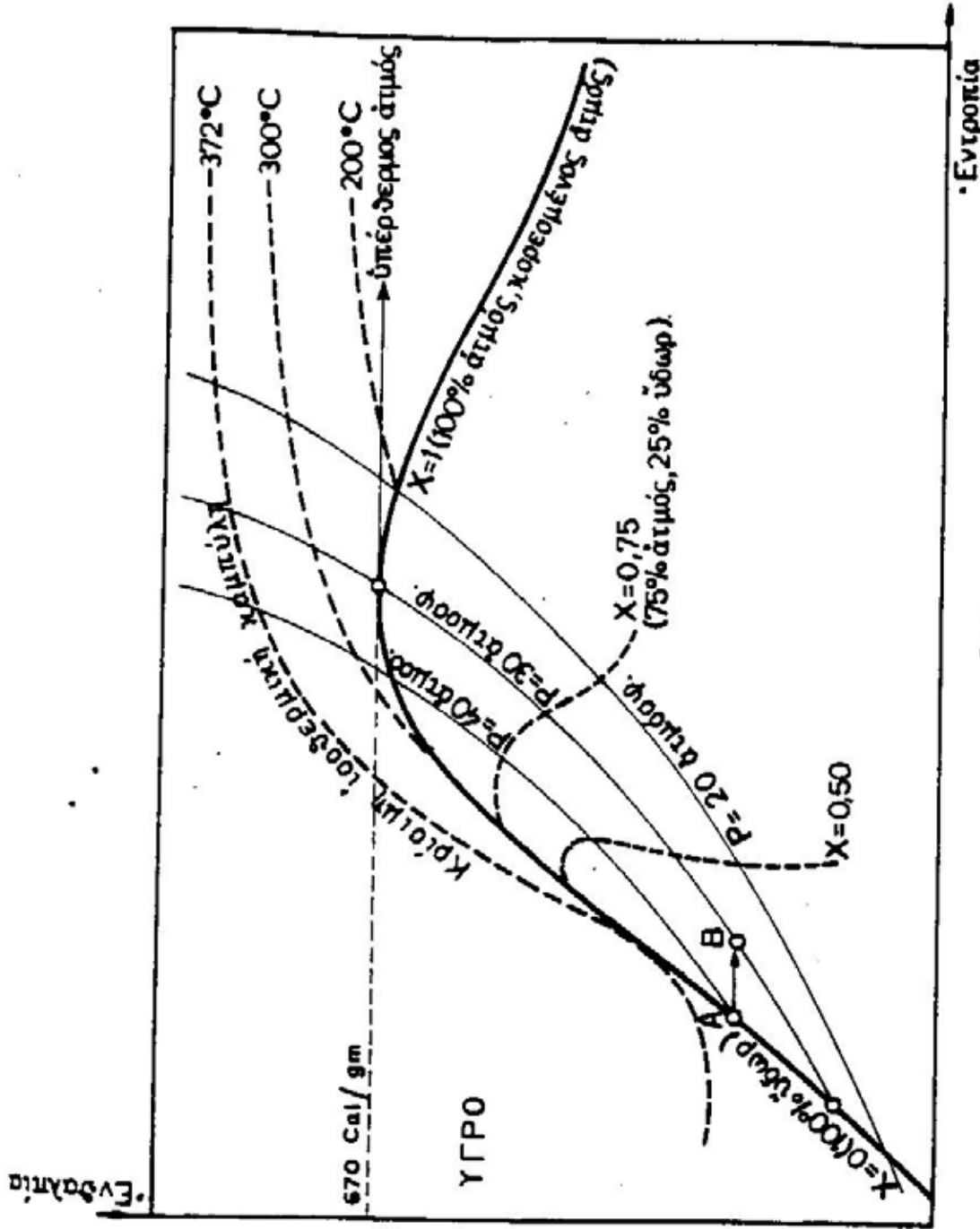
3.3. Πρότυπα μοντέλλα πεδίων χαμηλής ενθαλπίας

Όταν από τις προηγούμενες συνθήκες λείπει η εστία θερμότητας με τη μορφή λειωμένου μάγματος, 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 εξ αιτίας των "ανοικτών" ρηγμάτων που επιτρέπουν τη σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Δημιουργούνται έτσι ευνοϊκές σχετικά συνθήκες και εφόσον συντρέχουν και οι υπόλοιποι παράγοντες (κατάλληλος ταμιευτήρας, στεγανό κάλυμμα κ.λπ.) έχουμε γεωθερμικά πεδία χαμηλής και πολλές φορές μέσης ενθαλπίας.

Σε παλλότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές περιοχές, γεωτεκτονικά σταθερές, με γεωθερμική βαθμίδα κανονική και ανάλογες λοιπές συνθήκες, μπορεί επίσης να εντοπισθούν ταμιευτήρες χαμηλής ενθαλπίας (π.χ. 75° C σε βάθος 1.5-2 Km). Είναι η περίπτωση της λεκάνης των Παρισίων.

3.4. Περιοχές με υψηλή θερμική ροή στον κόσμο και την Ελλάδα

Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή, οι σημαντικότερες περιοχές μεγάλων επαρχιακών θερμικών ανωμαλιών είναι οι περιοχές με πρόσφατη (καινοζωϊκή) ηφαιστειότητα, ουσιαστικά δηλ. οι περιοχές που βρίσκονται στα ηπειρωτικά περιθώρια και τις ωκεάνιες απομακρύνσεις. Οι τελευταίες από τις παραπάνω περιοχές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για πρακτική εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, γιατί βρίσκονται συνήθως κάτω από τους ωκεανούς. Αποτελούν εξαίρεση το μεγάλο ηφαιστειακό νησί της Ισλανδίας, που βρίσκεται πάνω στην ωκεάνια ράχη του βόρειου Ατλαντικού και η ταπεινή περιοχή της Δανκαλίας στην ανατολική Αφρική, που αποτελεί τμήμα της ωκεάνιας απομάκρυνσης της Ερυθράς θάλασσας και του Κόλπου του Άντεν. Στην Ισλανδία είναι γνωστό



Σχ. 3

Διάγραμμα Mollier, που συσχετίζει την ένθαλπια και την έντροπία του ύδατος.

Παρατηρείται ότι η εξέλιξη του ρευστού προς την υπέρθερη φάση εξαρτάται από την πίεση (συνεχώς καμπύλες) και την θερμοκρασία (διακεκομμένες καμπύλες). Τα χ έμφερζουν το ποσοστό ατμού σε σχέση με το άλλο βέρος του μίγματος.

Ενθαλπία

ότι εκμεταλλεύονται πολύπλευρα και εντατικά τη γεωθερμική ενέργεια εδώ και πολλά χρόνια (από το 1930) και στη Δανκαλία οι έρευνες βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο με σοβαρότατες πιθανότητες τελικής επιτυχίας.

Το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών περιοχών υψηλής ενθαλπίας της Γης, που η εκμετάλλευσή τους ή η έρευνα βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο, ξαπλώνονται σε περιοχές νησιώτικων τόξων ή πτυχωσιγενών οροσειρών. Οι περιοχές της κατηγορίας αυτής, που χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμική ροή, θα μας απασχολήσουν παρακάτω ιδιαίτερα:

Εκτός από τις δυο γενικές περιπτώσεις, που αναφέραμε, υπάρχουν άλλες δυο, που παρουσιάζουν συχνά ενδιαφέρουσα θετική θερμική ανωμαλία: Είναι οι περιοχές των "διογκώσεων" (Swellings) στο εσωτερικό ηπειρωτικών περιοχών και οι περιοχές των ηπειρωτικών βυθισμάτων (Grabens). Στην πρώτη από τις δυο αυτές περιπτώσεις ανήκουν τα γεωθερμικά πεδία της Τοσκάνης - Ιταλίας (Larderello και Monte Amiata) και το πεδίο της κοιλάδας του Μαιάνδρου (περιοχή Kizildere) στη Μ. Ασία. Στην τελευταία, τέλος, περίπτωση ανήκει το γεωθερμικό πεδίο της Ουγγρικής (Παννονικής) ταπεινής περιοχής (λεκάνης).

Από τις παραπάνω τέσσερις περιπτώσεις περιοχών που παρουσιάζουν υψηλή θερμική ροή, θα εξετάσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την περίπτωση των ηφαιστειακών νησιώτικων τόξων, γιατί είναι εκείνη που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τον ελληνικό χώρο, αφού εκεί σχηματίζονται πεδία υψηλής ενθαλπίας. Η περίπτωση των εσωτερικών - ηπειρωτικών βυθισμάτων είναι και αυτή θεωρητικά ενδιαφέρουσα για τη χώρα μας, αλλά από γεωθερμική σκοπιά αφορά τη μέση και χαμηλή ενθαλπία.

3.4.1. Θερμική ανωμαλία των νησιώτικων τόξων

Αν και δεν διαθέτουμε ακριβείς και λεπτομερείς μετρήσεις θερμικής ροής για το μεγαλύτερο μέρος των πρόσφατων τόξων του κόσμου, θα επιχειρήσουμε με βάση τις μετρήσεις που έχουμε από μερικά τέτοια τόξα να εξηγήσουμε τις αιτίες που δημιουργούν τις θετικές θερμικές ανωμαλίες.

Όπως αναφέραμε, η κυριότερη διεργασία στις περιοχές πλακών που συγκλίνουν είναι η ολίσηση της ωκεάνιας λιθόσφαιρας κάτω από το νησιώτικο τόξο κατά μήκος του επιπέδου Benioff, που αρχίζει από την ωκεάνια τάφρο. Σε ένα ορισμένο βάθος γίνεται τήξη, που έχει σαν τελικό αποτέλεσμα τη μαζική μετανάστευση θερμότητας προς την επιφάνεια, που διευκολύνεται από την άνοδο μαγμάτων που δημιουργούνται και τις μαγματικές μεταφορικές κινήσεις. Έτσι είναι δυνατό να ξεχωρίσουν τρεις θερμικές ζώνες με τα στοιχεία (α), (β) και (γ) αντίστοιχα, από την τάφρο προς το τόξο. Η πρώτη ζώνη (α) έχει χαμηλή θερμική ροή, γιατί υπάρχουν εκεί πολλά ψυχρά ακόμη ωκεάνια ιζήματα. Η δεύτερη ζώνη (β) έχει ενδιάμεση τιμή θερμικής ροής και αποτελείται ή από ιζήματα, που είχαν συγκεντρωθεί εκεί προηγουμένα, ή από παλιό φλοιό. Η τρίτη ζώνη (γ) χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμική ροή, γιατί βρίσκεται πάνω από τις περιοχές που γίνεται η τήξη και δημιουργούνται μάγματα που ανεβαίνουν και φτάνουν σύντομα κοντά ή και πάνω στην επιφάνεια. Έτσι σχηματίζονται τα ηφαιστειακά τόξα και διαδίδεται και στις δύο περιπτώσεις θερμότητα από μεταφορά.

Το πλάτος των τριών ζωνών, που αναφέραμε, δεν είναι σταθερό, γιατί εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από την ταχύτητα της βύθισης. Όταν η ταχύτητα αυτή είναι μεγάλη (της τάξης δηλ. των 8-10 cm το χρόνο), τότε στη ζώνη (α) δημιουργούνται οι συνθήκες που χρειάζονται για να γίνει μεταμόρφωση υψηλής πίεσης και χαμηλής

θερμοκρασίας. Πρόκειται για την περίπτωση των γαλάζιων σχιστολίθων με γλαυκοφανή. Στη ζώνη (β) δεν υπάρχουν πολύ πρόσφατα ωκεάνια ιζήματα και η θερμική ροή είναι κανονική, γιατί αυτή εξαρτάται κύρια από τη ροή, που προέρχεται από βαθύτερα σημεία και κατά δεύτερο λόγο από την κατανομή των ραδιενεργών στοιχείων. Η θερμική ροή μέσα στη ζώνη (β) κυμαίνεται ανάμεσα σε 1 και 2 $\mu\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$, ανάλογα με την ποσότητα των ραδιενεργών στοιχείων.

Από τη μερική κυρίως τήξη η θερμική ροή στη ζώνη (γ) είναι υψηλή και ξεπερνά κατά μέσο όρο τα 2,5 $\mu\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$. Στη ζώνη αυτή επικρατούν ιδανικές συνθήκες για την πραγματοποίηση μεταμόρφωσης υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής πίεσης (του τύπου ανδολουσίτη - σιλλιμανίτη).

Με βάση πραγματικές μετρήσεις και θεωρητικές σκέψεις οι OXBURGH και TURCOTTE κατασκεύασαν διαγράμματα ροής και βαθμίδας για τις τρεις παραπάνω ζώνες (Σχ. 4) για δύο διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας στη βάση του φλοιού και για θερμότητες, που προέρχονται από τη ραδιενέργεια (600 και 850° C και 10^{-7} και 5.25×10^{-6} cal/g. έτος) αντίστοιχα. Στα διαγράμματα αυτά δεν υπολογίστηκε η θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων. Η κάμψη προς τα πάνω των καμπυλών πραγματοποιείται στη ζώνη (γ), που μέσα της τα μάγματα κρυσταλλώνονται, χάνουν θερμότητα και σταματούν να ανεβαίνουν.

Για να ανακεφαλαιώσουμε: Στην περίπτωση καταβύθισης λιθοσφαιρικής πλάκας δημιουργείται υψηλή, ανώμαλη θερμική ροή (στοιχείο απαραίτητο για τη δημιουργία των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας) μέσα στη ζώνη (γ), σε απόσταση 200-300 χιλιομέτρων από την τάφρο και στην αντίθετη από τον ωκεανό πλευρά. Η απόσταση της ζώνης (γ) από την τάφρο, το βάθος, η ένταση της θερμικής ροής, η σύσταση των μαγμάτων κ.λπ. εξαρτιούνται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η ταχύτητα και η κλίση της βύθισης, η σύσταση των υλικών που λειώνουν, η ραδιενέργεια του φλοιού, η θερμική αγωγιμότητα των υπερκειμένων πετρωμάτων κ.λπ..

3.4.1.1. Η θερμική ανωμαλία της Μήλου και Νισύρου.

Θα επιχειρήσουμε να εφαρμόσουμε τις θέσεις του προηγούμενου κεφαλαίου στη συγκεκριμένη περίπτωση της Μήλου και της Νισύρου.

Όπως αναφέραμε, τα νησιά αυτά ανήκουν στο ηφαιστειακό τόξο (μέτωπο) της μικρής πλάκας του Αιγαίου. Κάτω από την πλάκα αυτή, που κινείται τελευταία με πολύ μικρή ταχύτητα (περίπου 1,6 cm το χρόνο) προς νοτιοδυτικά, βυθίζεται η μεγάλη αφρικανική πλάκα κατά μήκος των σημείων που αντιστοιχούν στην ελληνική τάφρο. Το φαινόμενο αυτό, που έχει ουσιαστικά συμπληρωθεί και έτσι, πολύ πιθανόν, τελειώνει, δημιούργησε εκτός από τα άλλα και το ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νότιου Αιγαίου, που τμήματά του είναι και τα νησιώτικα συμπλέγματα Μήλου και Νισύρου, που περιλαμβάνουν αντίστοιχα: Μήλο, Κίμωλο, Πολύαιγο, Αντίμηλο κ.λπ. και τη Νίσυρο, Γυαλί, Παχειά, Στρογγυλή, Περιγούσα και άλλες νησίδες.

Τα νησιά Μήλος και Νίσυρος ανήκουν σήμερα, με βεβαιότητα, στη ζώνη (γ), δηλ. στη ζώνη υψηλής θερμικής ροής. Στο παρελθόν η σημερινή θέση τους πιθανότατα αντιστοιχούσε διαδοχικά στις ζώνες (α) και (β). Η αυξημένη θερμική ροή κατά μήκος του τόξου φαίνεται στο Σχ. 5.

3.4.1.2. Αίτια της θερμικής ανωμαλίας της Μήλου και Νισύρου

Ο κύριος λόγος της υψηλής θερμικής ροής, που παρατηρείται στα νησιά Μήλος και Νίσυρος και πιθανότατα σε άλλα νησιά των

συμπλεγμάτων, αλλά και του τόξου, είναι η ύπαρξη σε μικρά σχετικά βάθη μεγάλων ποσοτήτων μαγμάτων σε κατάσταση κρυστάλλωσης. Τα μάγματα αυτά δημιουργήθηκαν από τη μερική τήξη υλικών σε βάθος μέχρι 180 χιλιόμετρα, που είναι το μεγαλύτερο βάθος του τόπου των σεισμικών εστιών μεγάλου βάθους. Δεν αποκλείεται φυσικά η υψηλή αυτή θερμική ροή να ενισχύεται και από τη ραδιενέργεια του ηπειρωτικού φλοιού.

Η σε μεγάλη έκταση σχετικά υψηλή θερμική ροή, που περιμένει κανείς να συναντήσει στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, δεν είναι ίσως ικανή από μόνη της να δικαιολογήσει την πολύ υψηλή θερμική ροή που πιστεύουμε ότι υπάρχει σε μερικά σημεία του τόξου (όπως π.χ. στην Κεντρική Μήλο και στην καλδέρα της Νισύρου).

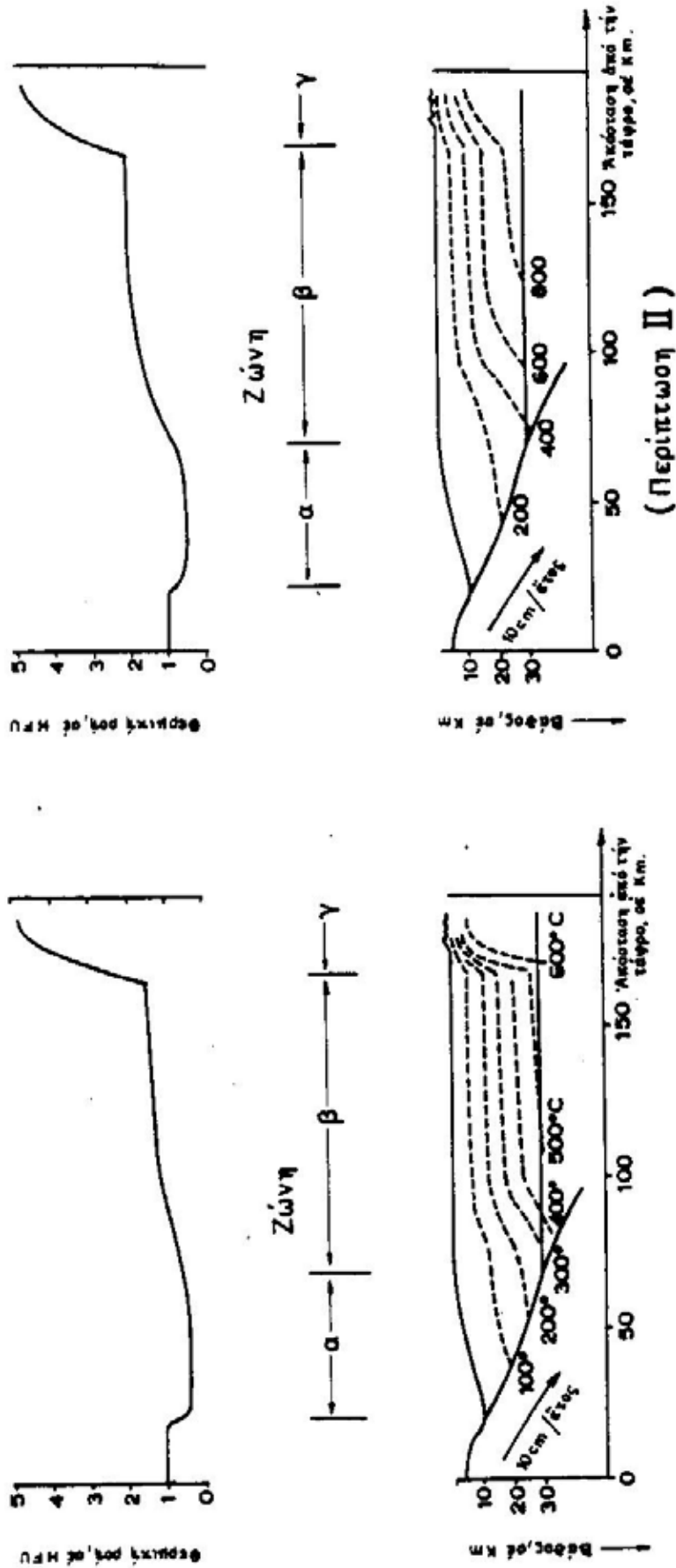
Μια προσεκτική μελέτη των διάφορων τύπων ηφαιστειακών προϊόντων που βρίσκονται σε μια περιοχή είναι ικανή να επιτρέψει τον εντοπισμό του βάθους που παρέμεινε το μάγμα για μεγάλο χρονικό διάστημα και με την παραμονή του αυτή εκεί την παροχή θερμότητας όχι μόνο στα γύρω πετρώματα αλλά και στα ρευστά που κυκλοφορούσαν μέσα σ'αυτά.

Αξιολόγη και σημαντική επιβεβαίωση της υψηλής θερμικής ροής στη Μήλο και Νίσυρο αποτελούν οι πολύ υψηλές τιμές της γεωθερμικής βαθμίδας (Σχ. 6) σε πολυάριθμα σημεία και η παρουσία των φρεατικών κρατήρων που είναι πολύ εντυπωσιακοί, πολύ πρόσφατοι έως ιστορικοί και με διάμετρο που φτάνει μέχρι και τα 600 μέτρα.

3.4.1.3. Συνέπειες της θερμικής ανωμαλίας.

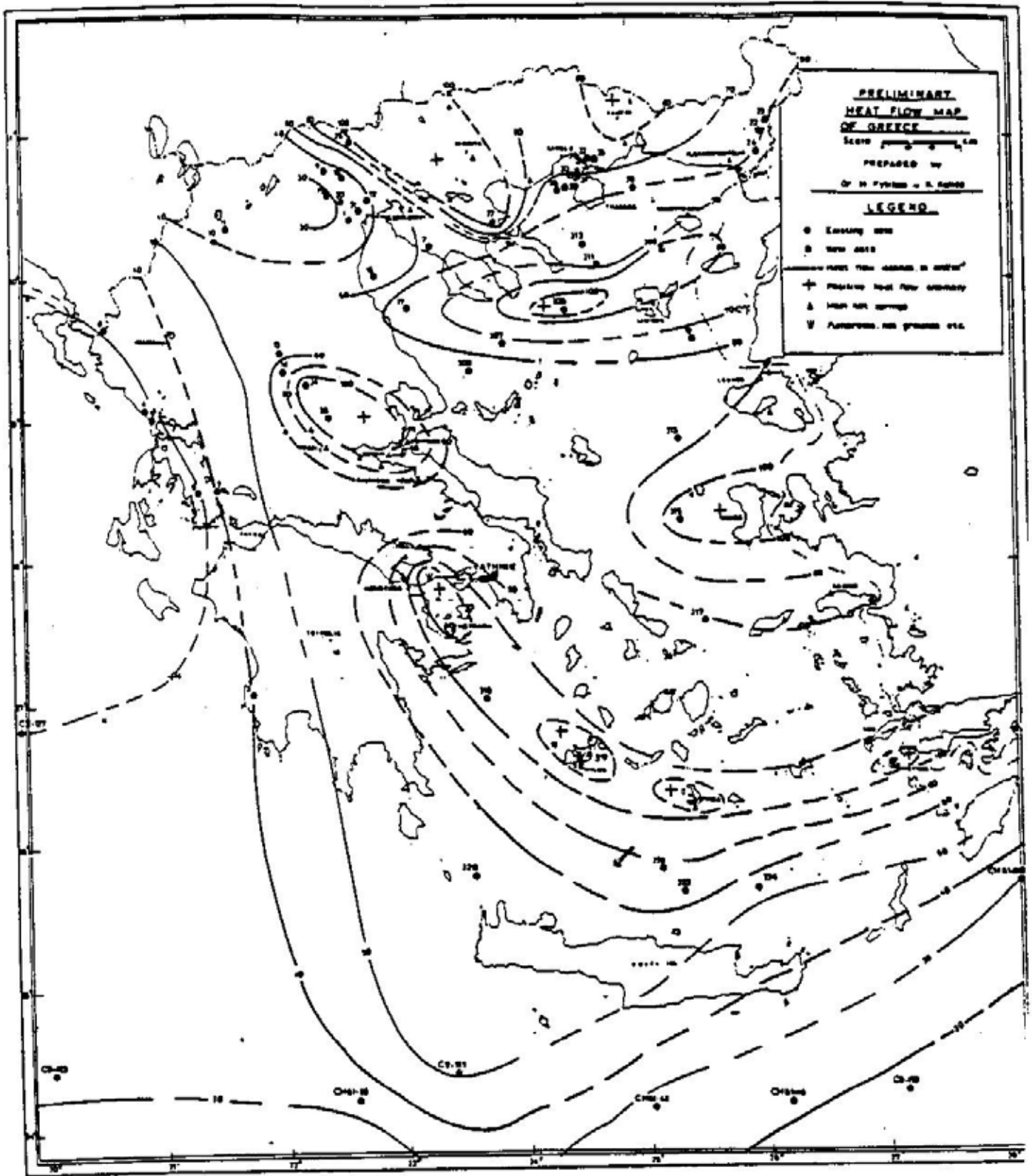
Η άνοδος των μαγμάτων από το μανδύα στις επιφανειακές θέσεις του φλοιού προξένησε, εκτός από την πρόσφατη ηφαιστειότητα στα νησιωτικά συμπλέγματα Μήλου και Νισύρου και διάφορα πρόσφατα και αυτά, φαινόμενα, που οφείλονται στην υδροθερμική δράση των θερμών ρευστών. Τα ρευστά αυτά θερμάνθηκαν κατά κύριο λόγο από την άμεση επαφή του νερού, που έχει μετεωρική ή θαλασσινή προέλευση, με τα πετρώματα μέσα στα οποία κυκλοφορεί και που βρίσκονται πάνω από το μαγματικό θάλαμο.

Τα φαινόμενα, που πραγματοποιήθηκαν σαν αποτέλεσμα της δραστηριότητας των υδροθερμικών ρευστών είναι πολυάριθμες φρεατικές εκρήξεις, μεγάλης έκτασης μπεντονίτιση και καολινίτιση των ηφαιστιτών, σχηματισμός υδροθερμικών ορυκτών (βαρύτη, θείου, πυριτικών, αλουμίτη, μαγγανίου, γαληνίτη κ.λπ.). Είναι φανερό ότι η μελέτη των υδροθερμικών φαινομένων, που είναι σύγχρονα ή μεταγενέστερα από την ηφαιστειακή δράση, παρουσιάζει ενδιαφέρον για τη γεωθερμική έρευνα.



(Περίπτωση I)

(Περίπτωση II)



Σχ. 5. Προκαταρκτικός χάρτης θερμικής ροής Ελλάδας, σε mWm^{-2} .

3.4.2. Οπισθότοξες περιοχές.

Όταν απομακρυνθούμε από την περιοχή του ηφαιστειακού νησιωτικού τόξου, που έχει ένα εύρος 30-40 Km, και με κατεύθυνση προς τα πίσω (δηλ. προς το Κεντρικό Αιγαίο), έχουμε διαφορετικές τεκτονικές συνθήκες.

Η εφελκυστικού τύπου τεκτονική κυριαρχεί, πιθανόν σαν αντίδραση της συμπιεστικής τεκτονικής της περιοχής κοντά στη σύγκλιση των πλακών (περιοχή νότιας Κρήτης και Λυβικού) και αυτό δημιουργεί ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες.

Ως γνωστό, η εφελκυστική τεκτονική προκαλεί τη δημιουργία μεγάλων και βαθειών ρηγμάτων που είναι συνήθως φορείς ανερχομένων θερμών ρευστών, τα οποία έτσι μεταφέρουν στην επιφάνεια ή κοντά σ'αυτή μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας και δημιουργούν αξιόλογες γεωθερμικές ανωμαλίες.

Τα βαθειά αυτά ρήγματα προκαλούν καταβυθίσεις και δημιουργούν συνήθως τεκτονικά βυθίσματα (grabens) που ευνοούν τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων όταν δεν βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η ύπαρξη θερμικής ανωμαλίας στην περιοχή του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου ως και τις πλησίον ηπειρωτικές περιοχές διαπιστώθηκε και από μετρήσεις της θερμικής ροής κάτω από το βυθό της θάλασσας, αλλά και σε κοντινές ηπειρωτικές ή νησιωτικές περιοχές.

Η ανωμαλία αυτή δικαιολογείται και από την πιθανή εκλέπτυνση του φλοιού της Γης που πιθανολογείται από σχετικές βαρυτομετρικές μετρήσεις που έγιναν στον ευρύτερο χώρο.

Οι θερμικές ανωμαλίες φαίνεται να είναι τονισμένες και κατά μήκος μεγάλων ρηγμάτων σαν αυτό π.χ. που αποτελεί την προέκταση του τεράστιου ρήγματος της Ανατολίας που διασχίζει όλη τη βόρεια Τουρκία, εισέρχεται στο Αιγαίο στον κόλπο της Ταρσού και περνώντας μεταξύ Σαμοθράκης και Λήμνου καταλήγει στην κοιλάδα του Σπερχειού.

Οι περιοχές των τριτογενών και τέταρτογενών τεκτονικών βυθισμάτων με έντονη και συνήθως ενεργό τεκτονική εφελκυστικού τύπου έχουν ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Η συνήθης γεωθερμική ανωμαλία που παρατηρείται σ αυτές, σε συνδυασμό με την ύπαρξη καλών υδροφόρων οριζόντων κυρίως στη βάση των νεότερων ιζημάτων και το επάνω τμήμα του μεταμορφωμένου ή μεσοζωϊκής ηλικίας υποβάθρου, ως επίσης και καλών στεγανών σχηματισμών πάνω από αυτούς, έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων χαμηλής και μέσης ενθαλπίας με πολύ καλούς οικονομικούς όρους.

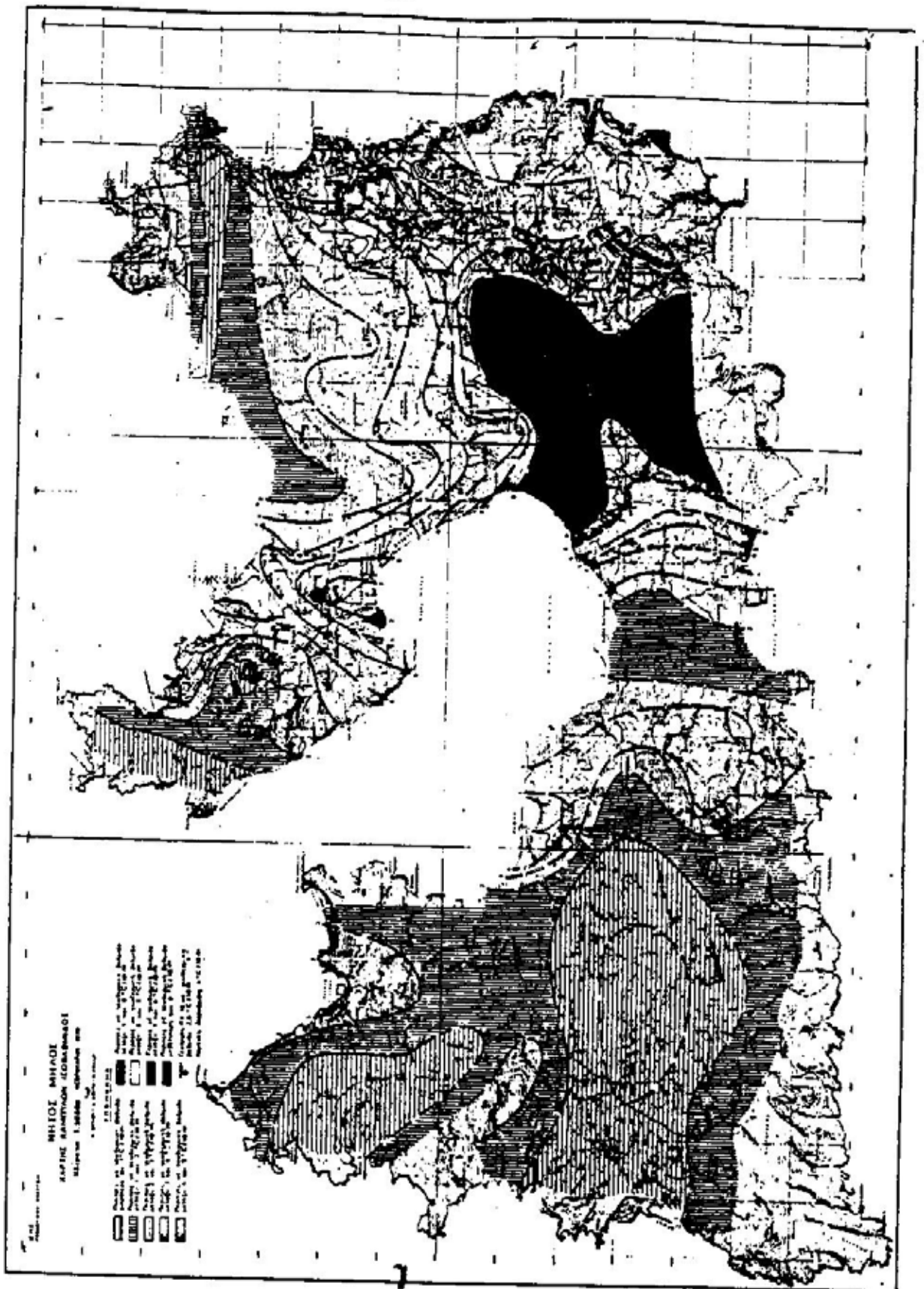
Τέτοια βυθίσματα, με εντοπισμένα γεωθερμικά πεδία στη χώρα μας υπάρχουν ήδη στη Θράκη, Ανατολική και Κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλία, αλλά και σε νησιωτικές περιοχές, όπως στη Λέσβο, Χίο, Σαμοθράκη κ.ά..

3.4.3. Περιοχές με όξινο πλουτώνιο μαγματισμό.

Οι περιοχές με επιφανειακό ή υπόγειο όξινο πλουτώνιο μαγματισμό, οποιασδήποτε ηλικίας, παρουσιάζουν γενικά κάποια θερμική ανωμαλία, εξ αιτίας της αυξημένης παρουσίας ραδιενεργών ορυκτών στη σύσταση των πετρωμάτων.

Όταν υπάρχουν πάνω από τα πλουτώνια πετρώματα οι υπόλοιπες ευνοϊκές συνθήκες (σχηματισμός με καλή υδροφορία και στεγανό κάλυμμα πάνω από αυτόν) δημιουργούνται ενδιαφέροντα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και μέσης πιθανόν ενθαλπίας.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι παραπάνω συνθήκες, τα όξινα πλουτώνια μπορεί μελλοντικά να αποτελέσουν στόχους γεωθερμικών γεωτρήσεων του τύπου "θερμών ξηρών πετρωμάτων" (Σχ. 7).



Σχ. 6 - Χάρτης καμπυλών ισοβαθμίδας μήλου και θέσεις βαθειών παραγωγικών γεωτρήσεων. Οι τιμές της γεωθερμικής βαθμίδας δίνονται σε °C/10 m (η μέση γήινη είναι 0,3°C/10 m).

3.4.4. Περιοχές με ευνοϊκές "καλυμμένες" τεκτονικές δομές.

Στις ζώνες με έντονη τεκτονική ρημάτων, όπως συμβαίνει σε πολλές ελληνικές περιοχές, είναι πολλές φορές δυνατόν να βρεθούν ευνοϊκές, σχετικά ανυψωμένες δομές μεσοζωικών ή παλαιοζωικών σχηματισμών που σήμερα καλύπτονται από νεογενή ή τεταρτογενή ιζήματα. Τα τελευταία έχουν συνήθως σημαντικού πάχους στεγανά στρώματα και αποτελούν έτσι πολύ καλό "καπάκι" των γεωθερμικών ρευστών.

Σε σχηματισμούς καλής υδροπερατότητας, όπως είναι οι καρστικοποιημένοι και διαρρηγμένοι ασβεστόλιθοι κ.λπ., σχηματίζονται με την ευκολία κυκλοφορίας των υπόγειων ρευστών, συνήθως ρεύματα μεταφοράς θερμότητας που εξισώνουν ουσιαστικά τις θερμοκρασίες μέσα σ'αυτούς. Έτσι, τα "υψηλά" σημεία των σχηματισμών αυτών αποτελούν ευνοϊκές περιοχές σχηματισμού γεωθερμικών πεδίων, αφού τα ρευστά έχουν σχετικά μεγάλες θερμοκρασίες σε μικρά βάθη (Σχ. 8).

Είναι δύσκολο βέβαια να προσδιοριστούν από την επιφάνεια τέτοιες δομές και ευνοϊκές συνθήκες χωρίς την συνδρομή βαθειών γεωτρήσεων που γίνονται πολλές φορές για αναζήτηση πετρελαίου, νερών ή για μεταλλευτικούς λόγους. Στον εντοπισμό τους επίσης μπορεί να συμβάλλουν αποφασιστικά τα γεωφυσικά στοιχεία, μετρήσεις θερμικής ροής ή θερμοκρασιών κ.λπ..

Στον ελληνικό χώρο έχουν εντοπισθεί τέτοιες περιοχές. Η πιο χαρακτηριστική είναι αυτή στη λεκάνη του Δέλτα Νέστου, όπου προσδιορίσθηκε ένα πολύ ενδιαφέρον γεωθερμικό πεδίο κοντά στο Ερατεινό Καβάλας.

3.4.5. Περιοχές μεγάλων ρημάτων ή ευνοϊκών σημείων.

Τα μεγάλα και βαθιά κανονικά ρήγματα που αφορούν σχηματισμούς μάλλον άκαμπτους (όχι πλαστικούς) κόβουν πολλές φορές βαθείς και επομένως θερμούς υδροφόρους.

Τα ρευστά εκεί εξ αιτίας της υδροστατικής πίεσης, αλλά κυρίως της θερμοκρασίας τους που τα κάνει ελαφρύτερα και των αερίων που περιέχουν, τείνουν να ανέβουν προς την επιφάνεια. Εάν η τεκτονική, αλλά και η όλη γεωμετρία του ρήματος και των δορυφόρων του αφήνουν ανοικτή τη δίοδο, επιτρέπουν την άνοδο των γεωθερμικών ρευστών, που πολλές φορές σχηματίζουν θερμές πηγές. Τις περισσότερες όμως φορές τα ρευστά δεν καταφέρνουν να φθάσουν μέχρι την επιφάνεια, εγκλωβίζονται κοντά σ'αυτήν και σχηματίζουν γεωθερμικά πεδία στην περιοχή των ρημάτων ή πολύ κοντά σ'αυτή.

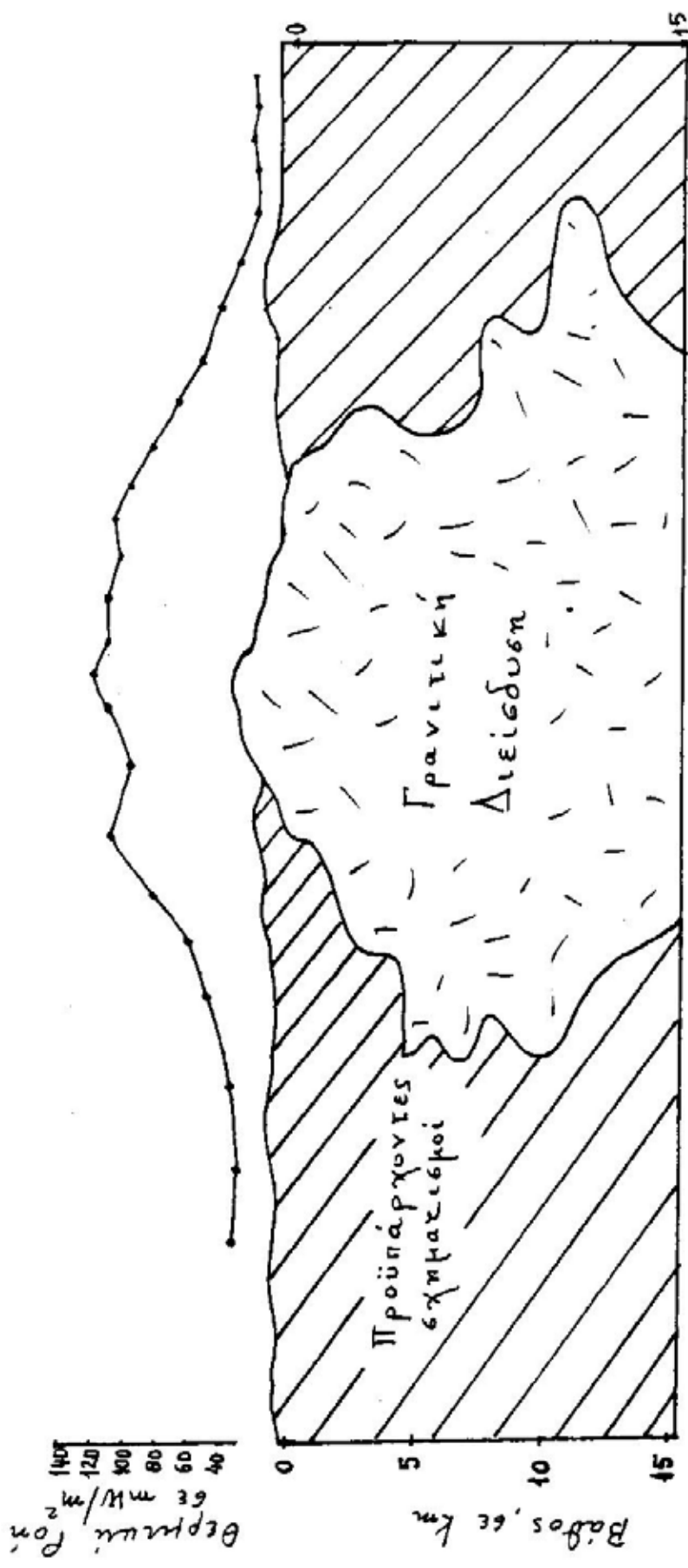
Υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία αυτού του είδους με πιο χαρακτηριστικά αυτά που συνδέονται με το ενεργό ρήγμα των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης.

Τα "σημεία" στα οποία υπάρχουν διασταυρώσεις ρημάτων ή άλλες ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν επίσης την άνοδο σημαντικών ποσοτήτων θερμών ρευστών και μπορεί να αποτελέσουν περιορισμένης έκτασης, αλλά ικανοποιητικής καμιά φορά παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας σε μικρά βάθη.

3.5. Περιοχές λιγότερο ευνοϊκές

Οι περιοχές με χαμηλές τιμές θερμικής ροής, όπως είναι π.χ. αυτές της δυτικής Ελλάδας, είναι λιγότερο ευνοϊκές από γεωθερμική άποψη.

Δεν αποκλείεται βέβαια ούτε σ'αυτές να βρεθούν επί μέρους περιοχές με ευνοϊκές γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες (ήδη έχουν εντοπισθεί κάποιες τέτοιες περιοχές) οπωσδήποτε όμως οι



Σχ. 7. Γρανιτική διείσδυση και θερμική ροή, που φθάνει μέχρι και 120 αντε της κανονικής τιμής των 50 μWm^{-2} .

πιθανότητες και η θερμοκρασιακή κατάσταση δεν είναι υψηλές.

4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Τα γεωθερμικά ρευστά αποτελούν ως γνωστό ενεργειακή ορυκτή ύλη που βρίσκεται στο υπέδαφος και για όλο το φάσμα, από τον εντοπισμό μέχρι την αξιοποίηση, ακολουθείται μια μεθοδολογία έρευνας, που αν και διαφέρει από χώρα σε χώρα και από περίπτωση σε περίπτωση, μπορούμε να πούμε ότι ακολουθεί σε γενικές γραμμές τα εξής τέσσερα βασικά στάδια:

- Γενική αναγνωριστική γεωθερμική επισκόπηση σε μεγάλη κλίμακα.
 - Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων περιοχών με διάφορες γεωεπιστημονικές μεθόδους.
 - Εντοπισμός και περιχάραξη του κάθε γεωθερμικού πεδίου - Γεωτρήσεις έρευνας - παραγωγής.
 - Μελέτη των χαρακτηριστικών παραγωγής του πεδίου - Εκμετάλλευση.
- Ας εξετάσουμε όμως πιο αναλυτικά τα στάδια αυτά

4.1. Γεωθερμική επισκόπηση σε μεγάλη κλίμακα

Στην προκαταρκτική αυτή φάση γίνεται συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων που αφορούν τα γενικά γεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής, τις κύριες τεκτονικές γραμμές, τα δεδομένα (αν υπάρχουν) των χαρτών θερμικής ροής, τις πληροφορίες για ύπαρξη επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας (ζεστές πηγές, ατμίδες, κ.λπ.), τα δεδομένα γεωφυσικών εργασιών μεγάλης κλίμακας κ.λπ..

Η αρχική επεξεργασία των στοιχείων αυτών οδηγεί στον αποκλεισμό μερικών και στην επιλογή των γεωθερμοπιθανών περιοχών.

Ακολουθεί, στο ίδιο στάδιο, η αναγνωριστική επίσκεψη των γεωθερμο-πιθανών περιοχών, που συνοδεύεται και από μερικές δειγματοληψίες πετρωμάτων και θερμών ρευστών ως και επί τόπου προσδιορισμούς και παρατηρήσεις.

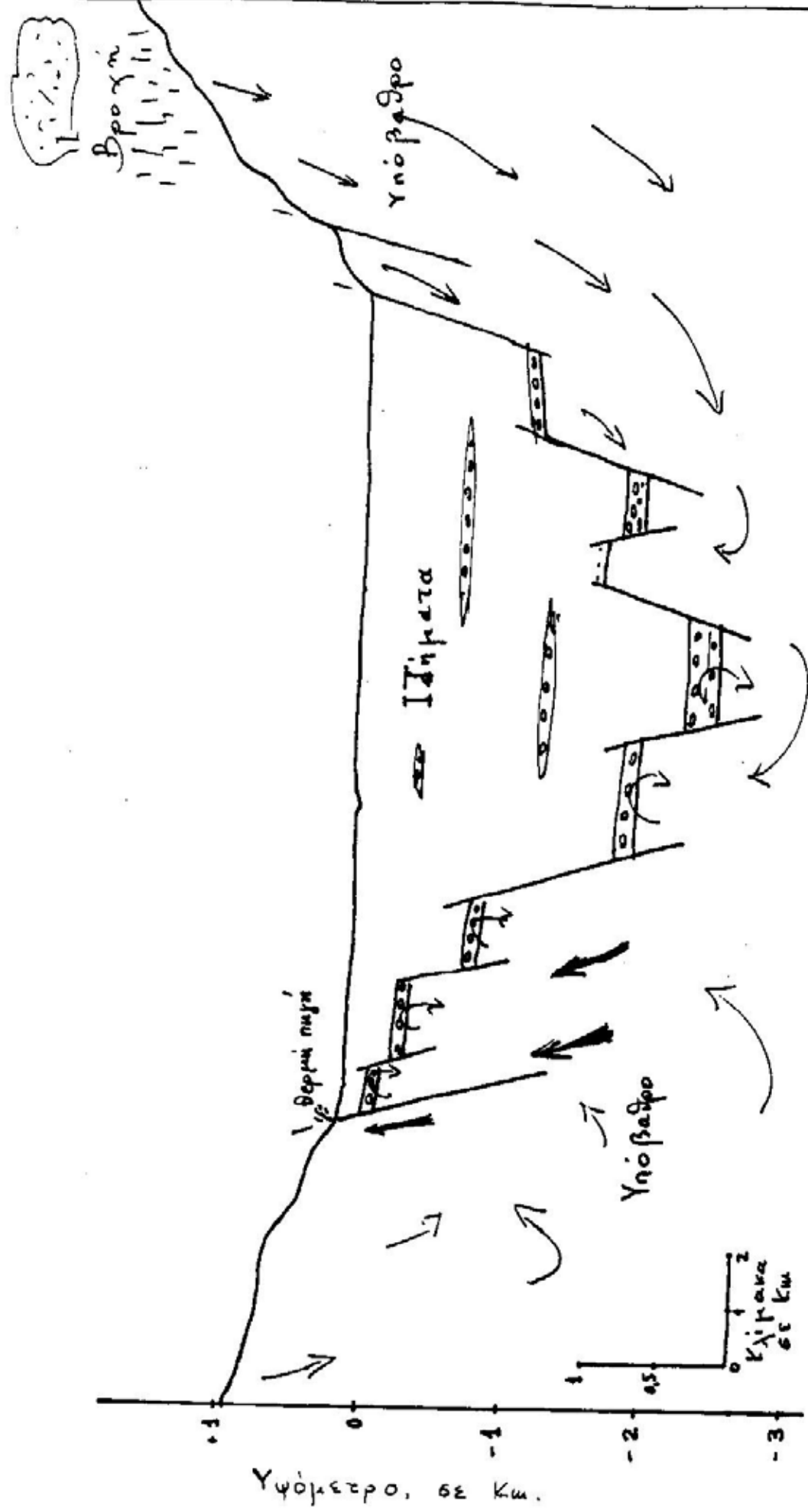
Η άμεση επαφή με τις ευρύτερες περιοχές, η επαλήθευση μερικών σκέψεων που είχαν γίνει στην αμέσως προηγούμενη φάση, τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ή επιτόπιων προσδιορισμών κ.λπ. οδηγούν στην επιλογή μερικών περιοχών μικρότερης έκτασης και στην κατάταξή τους σε κατηγορίες και σειρά προτεραιότητας. Η προτεραιότητα αναφέρεται στις περισσότερο ή λιγότερο ελπιδοφόρες, ενώ η κατηγορία αφορά το είδος των ρευστών που αναμένεται να υπάρχουν σε οικονομικά βάθη (δηλ. ρευστά υψηλής, μέσης ή χαμηλής ενθαλπίας).

Στο εξεταζόμενο στάδιο έρευνας χρησιμοποιούνται γεωεπιστήμονες με αρκετά μεγάλη εμπειρία στη γεωθερμία αλλά και πλατειά γνώση σε περισσότερους τομείς, αφού θα πρέπει να συνεκτιμηθούν όλα τα κάθε είδους υπάρχοντα στοιχεία και να προσδιορισθούν μερικά απαραίτητα και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

4.2. Συστηματική έρευνα των πιθανών γεωθερμικών περιοχών.

Το στάδιο αυτό της έρευνας είναι το πιο σημαντικό και το πιο χρονοβόρο, έχει δε σκοπό να εξετάσει μεθοδικά και συστηματικά όλα εκείνα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για να δοθούν απαντήσεις στα ερωτήματα:

- Ποιές περιοχές έχουν τις περισσότερες πιθανότητες ανεύρεσης γεωθερμικών ρευστών σε μικρά σχετικά βάθη.
- Ποιό το γεωλογικό - στρωματογραφικό και τεκτονικό μοντέλλο της



Σχ.8. Σχηματική παράσταση γεωθερμικού μοντέλλου χαμηλής ενθαλπίας σε λεκάνη απο βύθισθ. Τα θερμά ρευστά βρίσκονται ή κυκλοφορούν σε κροκαλοπαγή της λεκάνης, στην οροφή του υποβάθρου ή κοντά σε ρήγματα. Τα βέλη δείχνουν την υπόγειο κυκλοφορία και τα ρεύματα μεταφοράς θερμότητας.

κάθε περιοχής.

- Ποιά η υδρογεωλογική και θερμοδυναμική κατάσταση των ρευστών, το βάθος τους κ.λπ..
- Ποιές θέσεις, με σειρά προτεραιότητας, προτείνονται για βαθιές γεωτρήσεις.

Οι βαθιές γεωτρήσεις στη γεωθερμία είναι πολύ δαπανηρές, όπως εκείνες του πετρελαίου και ακόμα περισσότερο. Αν συγκρίνει όμως κανείς το τελικό προϊόν, που δεν είναι τόσο πολύ μεγάλης αξίας, θα πρέπει οι γεωτρήσεις αυτές να γίνονται με όσο γίνεται πιο μικρό μεταλλευτικό "ρίσκο". Γι αυτό, οι έρευνες του στάδιου αυτού επιβάλλεται να είναι και λεπτομερείς, αλλά και όσο γίνεται πιο σωστές.

Η συστηματική γεωθερμική έρευνα μιας περιοχής περιλαμβάνει συνήθως (αν και διαφέρει στις λεπτομέρειες από περιοχή σε περιοχή) τις παρακάτω εργασίες:

- Λεπτομερής και ειδική γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:10.000 ή 1:20.000 και προσδιορισμό της ακριβούς στρωματογραφικής σειράς.

- Ηφαιστειολογική μελέτη, όταν πρόκειται για περιοχή με σχετικά πρόσφατη ηφαιστειακή δράση, καθόσο η δράση αυτή είναι δεμένη και με τη θερμική κατάσταση στην περιοχή. Η εξακρίβωση της εξέλιξης των ηφαιστειακών δραστηριοτήτων και των προϊόντων τους βοηθάει συχνά στη διαπίστωση ύπαρξης, σε όχι μεγάλο βάθος, μαγματικών θαλάμων που τροφοδοτούν την ηφαιστειότητα, αλλά και δημιουργούν στους υπερκείμενους σχηματισμούς μια πολύ μεγάλη θερμική ανωμαλία που παίζει βασικό ρόλο στη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων.

- Τεκτονική μελέτη σε γενικές γραμμές, αλλά και λεπτομερειακά, γιατί η τεκτονική και κυρίως η νεοτεκτονική συμβάλλει στον εντοπισμό των κύριων γραμμών κυκλοφορίας των ρευστών, στον προσδιορισμό των "υψηλών σημείων" του σχηματισμού - ταμειυτήρα των γεωθερμικών ρευστών, στον προσδιορισμό των συστημάτων ρηγμάτων και των αιτίων που τα δημιούργησαν κ.λπ.. Οι εφελκυστικές τάσεις σε ορισμένες εποχές που εκδηλώθηκαν με συγκεκριμένες διευθύνσεις, έχουν μεγάλη σημασία στη γεωθερμική έρευνα, γιατί είναι αυτές που διευκολύνουν αποφασιστικά την κυκλοφορία των θερμών ρευστών στο υπέδαφος και τη μεταφορά, με τα σχετικά ρεύματα, της θερμότητας προς τα πάνω.

- Φωτογεωλογική μελέτη για παρατηρήσεις πάνω στους γεωλογικούς σχηματισμούς, τη γενική τεκτονική, γεωμορφολογία, υδρογραφικό δίκτυο, τις ζώνες υδροθερμικών εξαλλοιώσεων, το μηχανισμό τροφοδοσίας του πιθανού γεωθερμικού ταμειυτήρα ρευστών κ.λπ..

- Συστηματική γεωχημική έρευνα των επιφανειακών ρευστών (κυρίως θερμών πηγών, ατμίδων κ.λπ.) και των ρευστών που υπάρχουν σε αβαθείς γεωτρήσεις και πηγάδια. Έτσι παίρνουμε πληροφορίες σχετικά με την υπόγεια κυκλοφορία των ρευστών, το είδος αυτών, τις χημικές τους ισορροπίες και κυρίως πληροφορίες σχετικά με την αρχική θερμοκρασία των ρευστών στο βάθος, ενδεχομένως στο ταμειυτήρα. Η περιεκτικότητα των σχετικά επιφανειακών ρευστών σε μερικά στοιχεία είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων στο βάθος: ο εμπλουτισμός σε μερικά ή η μείωση σε άλλα χημικά στοιχεία σχετίζεται πολλές φορές με τη θερμοκρασία τους εκεί. Έτσι, προέκυψαν μερικά εμπειρικά χημικά γεωθερμόμετρα, π.χ. σχέση θερμοκρασίας με περιεκτικότητα σε SiO_2 (Σχ. 9), ομοίως με το λόγο $\text{Na}:\text{K}$, τους λόγους $\text{Na}:\text{K}:\text{Ca}$, με την περιεκτικότητα σε NH_4 , ή με την περιεκτικότητα σε μερικά ευαίσθητα στη θερμοκρασία αέρια κ.λπ.. Τα γεωχημικά θερμόμετρα, όταν χρησιμοποιηθούν και ερμηνευθούν σωστά, παίρνοντας υπόψη και τις άλλες γεωλογικές συνθήκες, δίνουν πολλές φορές πολύτιμες πληροφορίες για τις πραγματικές θερμοκρασίες των

ρευστών στο βάθος.

- Υδρολογική και υδρογεωλογική έρευνα που μελετά την τροφοδοσία σε νερό και την υπόγεια κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών, που ως γνωστό είναι αρχικής μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης. Ισοτοπικοί προσδιορισμοί, μετρήσεις στην επιφάνεια και τις πηγές, μελέτη των σημείων νερού και των αβαθών υδροφόρων οριζόντων κ.λπ. δίνουν χρήσιμες πληροφορίες στη γεωθερμική έρευνα.

- Γεωχημική έρευνα υδροθερμικά εξαλλοιωμένων πετρωμάτων, υδροθερμικών αποθέσεων κ.λπ.. Έχει σαν αποτέλεσμα τη συλλογή πολύτιμων πληροφοριών σχετικών με τον χημισμό των ρευστών που τις δημιουργήσαν και κυρίως με τη θερμοκρασία που αυτά είχαν κατά τη στιγμή απόθεσης ή εξαλλοίωσης. Η έρευνα αυτή προσδιορίζει επίσης τις περιοχές όπου, αρχικά υδροπερατά πετρώματα, εξαλλοιώνονται υδροθερμικά και στεγανοποιούνται με self-sealing και δημιουργούν ιδανικό κάλυμμα των γεωθερμικών ρευστών.

- Γεωφυσική έρευνα, που χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους ή συνδυασμό αυτών, ανάλογα με τις γεωλογικές και τοπογραφικές συνθήκες και τα κατά περίπτωση προς επίλυση προβλήματα. Η έρευνα αυτού του είδους επιδιώκει την απόκτηση στοιχείων πάνω στη βαθειά τεκτονική, τις ζώνες εξαλλοιώσεων, περιοχές κυκλοφορίας ρευστών, τη θέση και το βάθος του ενδεχόμενου ταμιευτήρα κ.λπ.. Οι γεωφυσικές μέθοδοι στη γεωθερμία είναι ποικίλες: οι πιο συνήθεις είναι οι γεωηλεκτρική, η βαρυτομετρική, η μαγνητική, η μαγνητοτελλουρική, σπανιότερα, λόγω κόστους, η σεισμική κ.λπ.. Η καλή επιλογή της ή των μεθόδων και η σωστή ερμηνεία τους, που παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες, λόγω των ειδικών και πολύπλοκων συνθηκών ενός γεωθερμικού πεδίου, δίνει πολύτιμα στοιχεία και έχει σημαντική βαρύτητα στην όλη επιτυχία της γεωθερμικής έρευνας και τον προσδιορισμό των θέσεων για βαθειές παραγωγικές γεωτρήσεις.

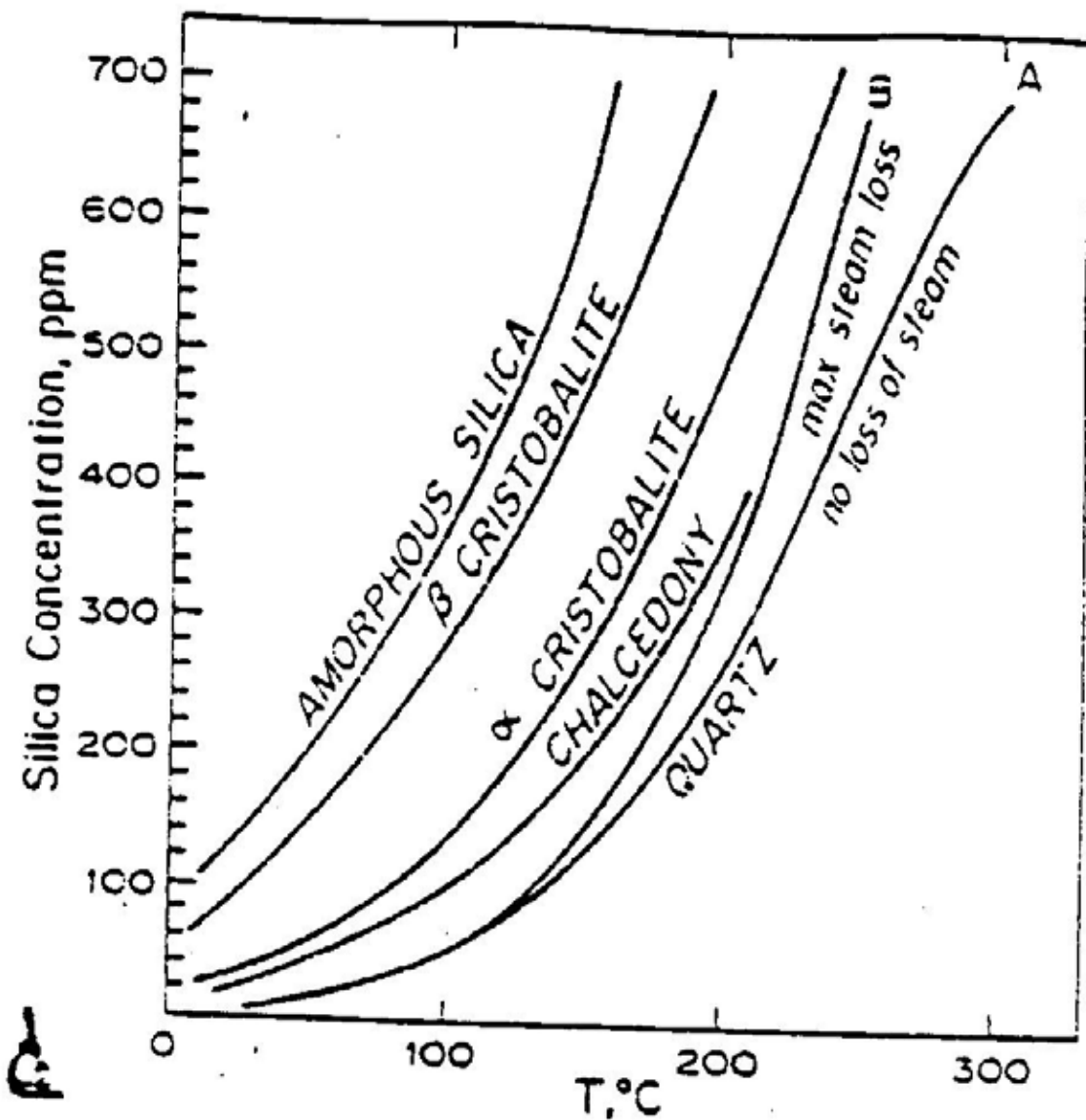
- Μετρήσεις γεωθερμικής βαθμίδας και θερμικής ροής που γίνονται μέσα σε γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου και όχι μεγάλου βάθους (50 - 400 μ.), κατά προτίμηση σε στεγανούς σχηματισμούς. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται ποιά τμήματα της περιοχής έχουν μεγαλύτερη θερμική ροή, υπολογίζεται προσεγγιστικά η θερμοκρασία σε μεγαλύτερα βάθη και διευκολύνεται η επιλογή των καλύτερων θέσεων για παραγωγικές γεωτρήσεις. Η μέθοδος έχει επίσης ιδιαίτερη βαρύτητα στη γεωθερμική έρευνα.

Είναι νομίζουμε περιττό να τονίσουμε το πλήθος των γεωεπιστημόνων που εμπλέκονται στις εργασίες του εξεταζόμενου στάδιου έρευνας, όπως και η απαιτούμενη εξειδίκευση του καθενός στις διάφορες μεθόδους. Πρόκειται για γεωλόγους, φαισσειολόγους, τεκτονικούς, γεωμορφολόγους, πετρογράφους, υδρογεωλόγους, γεωφυσικούς, γεωχημικούς, γεωλόγους γεωτρήσεων κ.λπ..

4.3. Εντοπισμός - περιχάραξη πεδίου με γεωτρήσεις έρευνας - παραγωγής.

Οι συστηματικές έρευνες του προηγούμενου στάδιου και η συνθετική ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους καταλήγει στον προσδιορισμό των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών, αλλά και των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εκτέλεση των πρώτων βαθειών ερευνητικών και παραγωγικών μαζί γεωτρήσεων.

Στη συνέχεια καταρτίζεται το πρόγραμμα γεωτρήσεων στο οποίο προσδιορίζονται, κατά προσέγγιση βέβαια, οι αναμενόμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί στη γεώτρηση, οι θερμοκρασίες, τα πιθανά ρευστά και το βάθος του ή των ταμιευτήρων (δηλ. των υδροπερατών οριζόντων που έχουν θερμά και εκμεταλλεύσιμα ρευστά). Σε



Σχ. 9. Διαγράμματα διαλυτότητας των διαφόρων ειδών του SiO₂ που είναι διαλυμένα σε θερμά νερά.

συνεργασία με τους μηχανικούς γεωτρήσεων και άλλους τεχνικούς παράγοντες προσδιορίζεται το λεπτομερές πρόγραμμα, τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν (γεωτρίπανο, κοπτικά, σωλήνες, τσιμέντα, λάσπη διάτρησης κ.λπ.), ο απαιτούμενος χρόνος, ο προϋπολογισμός δαπανών, οι μετρήσεις και οι δοκιμές κατά και μετά τη διάτρηση.

Για την καλή εκτέλεση των βαθειών και τεχνικά δύσκολων αυτών γεωτρήσεων συνεργάζονται διάφοροι τεχνικοί. Η συμμετοχή των γεωεπιστημόνων συνίσταται στην παρακολούθηση της γεώτρησης, τον προσδιορισμό των διατρηνομένων σχηματισμών με πετρογραφικές και παλαιοιολογικές μεθόδους, τον προσδιορισμό του χημισμού των συναντομένων ρευστών, των θερμοκρασιών τους και των πιέσεων ως και ουσιαστική συμμετοχή στις αποφάσεις εκτέλεσης διαφόρων επιχειρήσεων και φάσεων της γεώτρησης κ.λπ.. Επίσης στη μελέτη των αποτελεσμάτων (παροχή, ενθαλπία, χημισμός ρευστών κ.λπ.) και την αξιολόγηση των γεωτρήσεων.

Η συμμετοχή των γεωεπιστημόνων στην παρακολούθηση των γεωτρήσεων παραγωγής προσφέρει σημαντικές υπηρεσίες στη σωστή εκτέλεσή τους, την καλλίτερη τελική επιτυχία τους και σε τελευταία ανάλυση στην εξοικονόμηση δαπανών.

Σφάλματα από λανθασμένη εκτίμηση της γεωλογικής και θερμικής κατάστασης της γεώτρησης μπορούν να στοιχίσουν πολλά εκατομμύρια δραχμών, να χαθούν αξιόλογες υδροφορίες και καμμιά φορά ολόκληρη η γεώτρηση.

Οι δοκιμές παραγωγής για σχετικά μακρύ χρονικό διάστημα, σε συνδυασμό με τα γεωλογικά κ.λπ. στοιχεία κάθε γεώτρησης, βοηθούν στην κατανόηση της βαθείας κυκλοφορίας, του ρυθμού ανανέωσης των ρευστών, τον τρόπο λειτουργίας του ταμειευτήρα και επιτρέπει να κατασκευαστεί με αρκετή προσέγγιση το μοντέλλο του γεωθερμικού πεδίου.

4.4. Εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου.

Ύστερα από τις πρώτες ερευνητικές - παραγωγικές γεωτρήσεις και την κατασκευή του γεωθερμικού μοντέλλου του πεδίου, ακολουθεί το στάδιο της περιχάραξης του, της κατασκευής πλήρους δικτύου παραγωγικών γεωτρήσεων και της συστηματικής εκμετάλλευσης των ρευστών με κατάλληλες κατά περίπτωση εγκαταστάσεις επιφάνειας.

Οι βαθείες γεωτρήσεις στο στάδιο αυτό έχουν συνήθως λιγότερα προβλήματα αφού αποκτήθηκαν ήδη αρκετές γνώσεις του πεδίου.

Στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 180° C, τα ρευστά χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού με πολύ ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες. Ο ατμός και το νερό μετά τη χρήση στη στροβιλογεννήτρια έχουν πάρα πολλές ακόμα θερμίδες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αλυσιδωτή χρήση, για άλλες εκμεταλλεύσεις (π.χ. θερμάνσεις οικοδομών, θερμοκηπίων, πισίνων κ.λπ.).

Τα πεδία που παράγουν ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται είτε για παραγωγή ηλεκτρισμού, μέσω κλειστού κυκλώματος ειδικών ρευστών χαμηλού σημείου ζέσεως, είτε για ποικίλες άλλες χρήσεις (θερμάνσεις, βιομηχανικές εφαρμογές κ.λπ.).

Τέλος, τα πεδία με ρευστά χαμηλής ενθαλπίας (25 - 100° C) χρησιμοποιούνται επωφελώς και κατά περίπτωση σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές, θερμάνσεις χώρων, οικιών, θερμοκηπίων, ιχθυο-δεξαμενών, πισίνων και πολλές άλλες.

Το στάδιο αυτής καθεαυτής της εκμετάλλευσης εμπλέκει τεχνικούς διαφόρων ειδικοτήτων, ο συμβουλευτικός και βοηθητικός όμως ρόλος των γεωεπιστημόνων δεν παύει να είναι πάντα χρήσιμος για να μην πούμε απαραίτητος.

4.5. Γενικές παρατηρήσεις

Η επιτυχία των ερευνών για εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως ικανότητα και εμπειρία των ερευνητών, διάθεση των απαραίτητων μέσων, πλήρης και αρμονική συνεργασία των διαφόρων ειδικοτήτων επιστημόνων που παίρνουν μέρος σ' αυτές.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, κυρίως στη μέση και χαμηλή ενθαλπία, είναι η καλή και σωστή επιλογή των περιοχών έρευνας, που γίνεται σε συνδυασμό των γεωθερμικών με τις τοπικές συνθήκες, αφού η ενέργεια αυτού του είδους δεν μεταφέρεται μακριά και πρέπει η χρήση της να αναπτυχθεί επί τόπου.

Κατά τον προγραμματισμό και επιλογή των προτεραιοτήτων συνεκτιμούνται οι γεωλογικές συνθήκες, το μέγεθος του "κοιτάσματος", το βάθος του, τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά των ρευστών, η οικιστική κατάσταση, οικονομική δραστηριότητα, γεωγραφική θέση, κλίμα, μορφολογία κ.λπ..

Το συνολικό κόστος των εργασιών για αναζήτηση και εντοπισμό των γεωθερμικών ρευστών ισοδυναμεί συνήθως με ένα πολύ μικρό ποσοστό της όλης επένδυσης του έργου, που μεγαλώνει μετά, με τις δαπάνες των γεωτρήσεων και των εγκαταστάσεων επιφανείας.

Επειδή οι γεωτρήσεις παραγωγής απαιτούν μεγάλα ποσά, της τάξης των δεκάδων και συνήθως εκατοντάδων εκατομμυρίων δραχμών, χρειάζεται να ελαχιστοποιηθεί το "μεταλλευτικό ρίσκο", δηλ. η πιθανότητα αποτυχίας. Αυτό πετυχαίνεται με τις συστηματικές, συνήθως χρονοβόρες, αλλά οπωσδήποτε απαραίτητες και σχετικά φθηνές επιφανειακές έρευνες που προηγούνται.

Στην περίπτωση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας το "μεταλλευτικό ρίσκο" των τελικών γεωτρήσεων έρευνας-παραγωγής κατά μέσο όρο στον κόσμο είναι χαμηλότερο του 50% (πολύ κατώτερο από εκείνο των γεωτρήσεων πετρελαίου). Στη χαμηλή ενθαλπία, όταν προπαντός πρόκειται για μη ανανεώσιμα κοιτάσματα, επιβάλλεται να ελαχιστοποιηθεί αυτό το ρίσκο, αφού το τελικό προϊόν δεν έχει μεγάλο ποσοστιαία αριθμητικό κέρδος.

Θα πρέπει γενικά στη γεωθερμική έρευνα να βρεθεί η χρυσή τομή μεταξύ κόστους και ρίσκου, δηλ. να συμπίεζεται το πρώτο αλλά όχι πολύ, για να μην αποβεί σε βάρος του δεύτερου.

5. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ - ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Η υλοποίηση της γεωθερμικής έρευνας σε όλο το φάσμα της απαιτεί την χρησιμοποίηση διαφόρων μηχανικών μέσων, οργάνων μετρήσεων και συσκευών στο ύπαιθρο και το εργαστήριο, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο.

5.1. Γεωτρύπανα έρευνας (μικρής διαμέτρου)

Για τον προσδιορισμό της θερμικής ροής, της γεωθερμικής βαθμίδας και των θερμοκρασιών σε διάφορα βάθη χρειάζονται γεωτρήσεις μικρής συνήθως (για λόγους οικονομίας) διαμέτρου. Χρησιμοποιούνται γιαυτό κοινά γεωτρύπανα (μεταλλευτικά ή υδρογεωτρύπανα), περιστροφικά και χωρίς ιδιαίτερες τεχνικές διαφοροποιήσεις στη γεωθερμία, αφού μας χρειάζονται πληροφορίες κυρίως για τη λιθολογία και θερμοκρασία. Σε μικρά συνήθως βάθη (μέχρι 400 μ.) δεν έχουμε συνήθως ιδιαίτερα δύσκολες συνθήκες θερμοκρασιών και πίεσης, αν και το γεωτρύπανο πρέπει να είναι

προετοιμασμένο για την αντιμετώπισή τους. Έτσι θα πρέπει να υπάρχει ειδική ράμπα για ασφαλή εργασία των γεωτρυπανιστών, συστήματα πλευρικής εκτόνωσης θερμών αρτεσιανών ρευστών κ.λπ.

5.2. Γεωτρύπανα έρευνας-παραγωγής (μεγάλης διαμέτρου)

Οι γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου, που στο τέλος θα πρέπει να παραδώσουν γεώτρηση με δυνατότητα παραγωγής γεωθερμικών ρευστών υψηλής ή χαμηλής ενθαλπίας, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: - Γεωτρύπανα μεγάλου βάθους (πάνω από 1000 μ.) που μπορούν να κάνουν και γεωτρήσεις μικρότερου βάθους, τα οποία δεν διαφέρουν ουσιαστικά από τα γεωτρύπανα πετρελαίου. Έχουν επί πλέον συστήματα ψύξεως της λάσπης κυκλοφορίας ώστε αυτή να μην υπερθερμαίνεται, χρησιμοποιούν ειδική λάσπη που να έχει φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που δεν αλλοιώνονται στις μεγάλες θερμοκρασίες, επίσης ειδικό τσιμέντο για τις τσιμεντώσεις των σωλήνων (Σχ. 10).

- Γεωτρύπανα μικρότερου βάθους, που μπορεί να είναι υδρογεωτρύπανα με πρόσθετα συστήματα για την αντιμετώπιση υψηλών πιέσεων (Blow Up Preventer), ειδική λάσπη και τσιμέντα, ειδικά συστήματα δοκιμών παραγωγής προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις της γεωθερμίας, όπου έχουμε 2 φάσεις ρευστών και συνήθως διαλυμένα αέρια στο νερό.

Και οι δύο τύποι γεωτρυπάνων πρέπει να έχουν ειδικά συστήματα προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις της γεωθερμίας και φυσικά προσωπικό με εμπειρία στις γεωτρήσεις αυτού του είδους.

5.3. Θερμόμετρα - Όργανα Loggings

Θερμόμετρα κάθε είδους χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα κατά τη γεωθερμική έρευνα από την αρχική αναγνωριστική φάση μέχρι και το στάδιο εκμετάλλευσης ενός πεδίου.

Εκτός από τα γυάλινα υδραργυρικά θερμόμετρα που είναι όμως πολύ εύθραυστα για εργασία υπαίθρου, χρησιμοποιούνται κατά κόρον τα ηλεκτρικά θερμόμετρα, που δουλεύουν με την αρχή της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης των ευαίσθητων μεταλλικών ακίδων με την θερμότητα.

Έτσι υπάρχουν θερμόμετρα που χρησιμοποιούν "ακίδες" με αντίσταση πλατίνης, θερμίστορς, θερμοζεύγη κ.λπ.. Διακρίνονται σε θερμόμετρα "τσέπης", με μικρό καλώδιο (μέχρι 1-2 μέτρα) για επιφανειακές μετρήσεις) και αυτά με μεγάλο καλώδιο (μέχρι 500-600 μ.) για μετρήσεις μέσα σε γεωτρήσεις, ενώ η ανάγνωση της θερμοκρασίας γίνεται άμεσα ή έμεσα στην επιφάνεια με χρήση κατάλληλων "γεφυρών".

Για βαθύτερες γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται ειδικά θερμόμετρα τύπου Amerada ή Custer, που έχουν πολύπλοκο ενσωματωμένο σύστημα αυτο-καταγραφής της μεταβολής θερμοκρασιών, πιέσεων κ.λπ. με το χρόνο. Τα θερμόμετρα αυτά εισάγονται στη γεώτρηση και εξάγονται με συρματόσχοινο και η ανάγνωση γίνεται μετά την εξαγωγή.

Υπάρχουν και θερμόμετρα συνεχούς καταγραφής για την διαπίστωση της μεταβολής με το χρόνο κατά τις δοκιμές παραγωγής ή και κατά την εκμετάλλευση. Θερμομετρήσεις γίνονται και κατά την εκτέλεση γεωτρήσεων έρευνας-παραγωγής.

Μετά το πέρας κάθε γεώτρησης προγραμματίζονται συστηματικές θερμομετρήσεις, αλλά και loggings μέσα στις γεωτρήσεις για να προσδιορισθούν διάφοροι χρήσιμοι παράγοντες της κάθε γεώτρησης όπως λιθολογία, πορώδες, υδροφορία των σχηματισμών κ.λπ.. Χρησιμοποιούνται μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης, φυσικού

δυναμικού, γάμμα-ακτινοβολίας κ.λπ..

5.4. Όργανα υπαίθριας δειγματοληψίας και προσδιορισμού ρευστών.

Κατά τη γεωχημική έρευνα των ρευστών χρησιμοποιούνται στο υπαίθρο διάφορα όργανα προσδιορισμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH, μερικών χημικών στοιχείων ή ενώσεων (π.χ. του SiO₂) ανίχνευσης και προσδιορισμού αερίων κ.λπ..

Κατά την θερμομετρική και υδρογεωλογική έρευνα μετριοούνται οι στάθμες πηγαδιών και γεωτρήσεων με κατάλληλα σταθμήμετρα, όπως επίσης οι παροχές των γεωτρήσεων κ.λπ. σε νερό και αέρια.

Τέλος, η γεωχημική έρευνα των ρευστών χρειάζεται και κλασσικές αλλά και ειδικές χημικές αναλύσεις σε κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο.

Για τη σωστή δειγματοληψία χρειάζονται ειδικά δοχεία και κατά περίπτωση σχετική προετοιμασία τους με πρόσθετα χημικά, ώστε να διατηρηθούν αναλλοίωτα τα στοιχεία τους μέχρι να φθάσουν τα δείγματα στον χημικό προσδιορισμό στο εργαστήριο.

Ειδική μέριμνα και προετοιμασία, ως και λεπτομερειακή διαδικασία δειγματοληψίας χρειάζονται τα αέρια, ανάλογα με το σημείο εξόδου τους. Ειδικά γυάλινα δοχεία και σωλήνες, πώματα ασφαλείας, τεχνητό κενό και διάφορες τεχνικές επιτρέπουν στην σωστή δειγματοληψία γεωθερμικών αερίων (με αποφυγή του ατμοσφαιρικού) την ασφαλή μεταφορά στο εργαστήριο (πολλές φορές μακριά στον τόπο και χρόνο) και τον σωστό προσδιορισμό.

Τα αέρια είναι πολύ "ευκίνητα" και άχρωμα, είναι γιαυτό δύσκολη η σύλληψη, ο εγκλωβισμός και η διατήρησή τους, χώρια που είναι συνήθως μικρή η ποσότητά τους στα σημεία εξόδου των γεωθερμικών ρευστών ή τις γεωτρήσεις.

5.5. Προσδιορισμοί σε εργαστήρια

Κατά τη γεωθερμική έρευνα χρησιμοποιούνται μετρήσεις και προσδιορισμοί στο εργαστήριο. Έτσι έχουμε:

- Ειδικούς χημικούς προσδιορισμούς σε νερά, αέρια.
- Ομοίως σε πετρώματα και ορυκτά.
- Πετρογραφικούς προσδιορισμούς σε πετρώματα.
- Ομοίως Παλαιοντολογικούς προσδιορισμούς.
- Μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας πετρωμάτων.
- Γεωφυσικές μετρήσεις σχηματισμών.
- Τέλος, γίνεται επεξεργασία στοιχείων των επί μέρους ερευνητικών μεθόδων, με τη χρήση υπολογιστών και κατάλληλων προγραμμάτων.

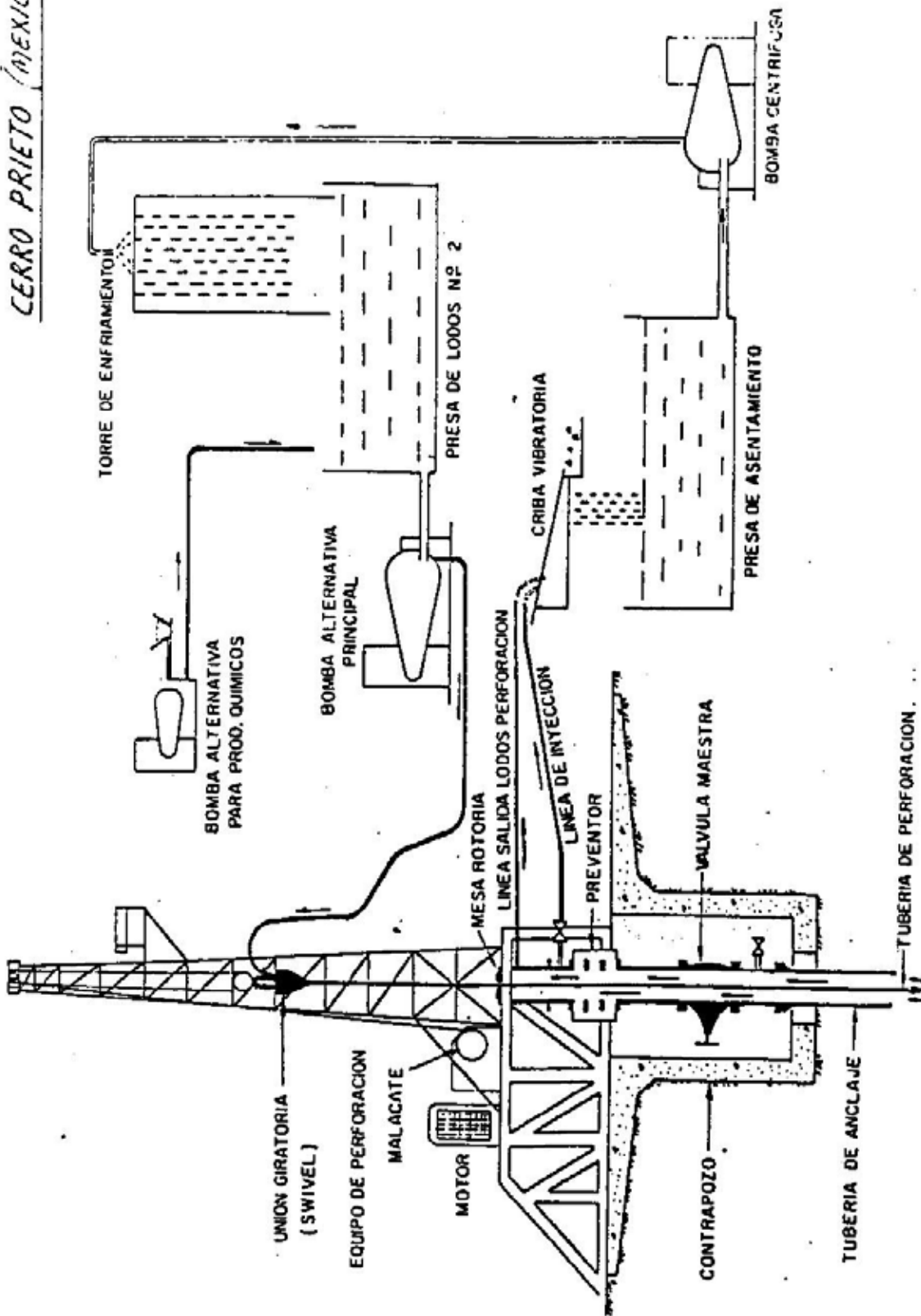
6. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Η εκμετάλλευση μέρους της φυσικής γεωθερμικής ενέργειας, με τη σημερινή τεχνολογία, είναι δυνατή για όλα τα ρευστά με θερμοκρασία από 25 έως 200 και παραπάνω βαθμούς Κελσίου.

6.1. Ιστορική αναδρομή.

Η χρήση της γεωθερμίας ήταν γνωστή από πανάρχαιους χρόνους για ιαματικούς σκοπούς. Ξέρουμε όμως ότι σε ιστορικούς χρόνους, οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν τα νερά για θέρμανση στην περιοχή Campi Flegrei, κοντά στη Νάπολη. Ο αυτοκράτορας Γαληνός (218-268 μ.Χ.) πρόσφερε στους καλεσμένους του όλα τα χειμώνα πεπόνια, σύκα και άλλα νωπά κηπευτικά από γεωθερμικά θερμοκήπια.

CERRO PRIETO (MEXICO)



Σχ. 10. Τυπικό διάγραμμα ενός συγκροτήματος γεωτεμπάνου γεωθερμικών γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου και υψηλής ενθαλπίας.

Η πρώτη βιομηχανική εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε στο Larderello της Ιταλίας, όπου από τα μέσα του περασμένου αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός ατμός για να εξατμίσει τα νερά που περιείχαν βορικό οξύ, αλλά και να θερμάνει διάφορα κτίρια. Στο 1904, στο ίδιο μέρος, έγινε η πρώτη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τη γεωθερμία (σήμερα παράγονται εκεί 2,5 δισεκατομ. KWh το χρόνο).

Το πρώτο αξιόλογο πρόγραμμα θέρμανσης με γεωθερμικά ρευστά άρχισε το 1920 στην μακρινή και κρύα Ισλανδία, όπου ήδη το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού θερμαίνεται με τον τρόπο αυτό. Στο Reykjavik (σπουδαιότερο αστικό κέντρο) θερμαίνονται με ρευστά μέχρι 130° C όχι μόνο τα σπίτια, αλλά και βιομηχανίες, δημόσια κτίρια, πισίνες, θερμοκήπια κ.λπ.. Στην Ισλανδία υπάρχουν και άλλες εφαρμογές της γεωθερμίας που ξεπερνούν το 33% του εθνικού ενεργειακού ισοζυγίου.

Το παράδειγμα της Ισλανδίας μιμήθηκαν αργότερα πολλές άλλες χώρες. Τα τελευταία χρόνια η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας αναπτύχθηκε σημαντικά στη Γαλλία.

Πάνω από 54 χώρες στον κόσμο έχουν σήμερα εμπλακεί άμεσα ή έμμεσα στη γεωθερμική έρευνα και εκμετάλλευση. Τα κράτη που, μετά την Ιταλία, μπήκαν στο χώρο της παραγωγής ηλεκτρισμού με γεωθερμία είναι η Ν. Ζηλανδία, Η.Π.Α., Ιαπωνία, Ισλανδία, Μεξικό, Ελ Σαλβαδόρ, Φιλιππίνες κ.λπ.. Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς το 1979 ήταν 1916 MW με παραγωγή 12 δισεκατομ. KWh το χρόνο. Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένα πάνω από 5000 MW και πολλά νέα πεδία είναι έτοιμα να προχωρήσουν σε συστηματική εκμετάλλευση. Σύντομα (ίσως το 2000) θα πρέπει να υπολογίζονται περίπου 40.000 MW και παραγωγή 230 δισεκατομ. KWh, αντικαθιστώντας έτσι 50 εκατομ. τόνους πετρελαίου.

6.2. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα

Σε πολλά γεωθερμικά πεδία με ρευστά υψηλής ενθαλπίας (πάνω από 180° C) συνδιάζονται και άλλες χρήσεις αρχικά ή κλιμακωτά, μετά δηλ. τον ατμοηλεκτρικό στρόβιλο. Είναι ενδιαφέρον να αναφερθούν δύο παραδείγματα διαφορετικής κλιμακωτής χρήσης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας.

Στο Reykjanes της Ισλανδίας μία μονάδα παράγει κοινό αλάτι από γεωθερμικά ρευστά που έχουν 270° C στον ταμιευτήρα και σύνολο διαλυμένων αλάτων 33,6 gr/l (στη Μήλο είναι πολύ περισσότερα). Η μονάδα δούλεψε πειραματικά για 2 χρόνια σε 24ωρο βάση και παρήγαγε διάφορα άλατα αφού ξεπέρασε μερικά τεχνικά προβλήματα και απέδειξε τη σκοπιμότητα του έργου: μια οικονομικά συμφέρουσα μονάδα του τύπου αυτού πρέπει να παράγει ετήσια τουλάχιστον 40.000 τόν. αλατιού και επί πλέον 7.000 τόν. CaCl₂, 4000 KCl και μερικά άλλα άλατα σε μικρές ποσότητες.

Στο Monte Amiata της Ιταλίας μια γεωθερμική μονάδα 15 MW παράγει από χρόνια ρεύμα από υπέρθερμο ατμό παροχής 190 t/h, που στη συνέχεια διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα. Κατασκευάστηκαν 250 στρέμματα θερμοκηπίων μοντέρνας τεχνολογίας και θα κατασκευαστεί μονάδα ξήρανσης αγροτικών προϊόντων για παραπέρα εκμετάλλευση της ενέργειας των αποβαλλόμενων στην ατμόσφαιρα γεωθερμικών ρευστών. Έτσι, η εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας, από 10% που ήταν με την ηλεκτροπαραγωγή, θα φτάσει το 60-70% (20-25% με τα θερμοκήπια και 30-35% με τα ξηραντήρια). Γίνεται συμπύκνωση του νερού μετά το στρόβιλο και διοχετεύεται στα θερμοκήπια, όπου καλλιεργούνται καλλοπιστικά φυτά το χειμώνα και στα ξηραντήρια το καλοκαίρι (παραγωγή 100.000 τόννων/χρόνο ζωοτροφών και 3.500 τόννων ξερών λαχανικών για ανθρώπινη κατανάλωση). Η γεωθερμική ενέργεια αντιστοιχεί με 15.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (T.I.Π.) το χρόνο από τα θερμοκήπια και 22.000 T.I.Π. το χρόνο από τα ξηραντήρια. Προβλέπεται επίσης θέρμανση δημόσιων κτιρίων της κοντινής πόλης Piancastagnaio, ισοδύναμη με 314 T.I.Π. = 7,2 εκατ. δραχ./χρόνο. Τα θερμοκήπια (μαζί με άλλα 200 στρέμματα ηλιακά) απασχολούν 400 υπαλλήλους και τα ξηραντήρια άλλους 150 (όταν λειτουργήσουν).

Η σωστή μελέτη και προσπάθεια εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό έχει έτσι σοβαρές οικονομικές αλλά και κοινωνικές ωφέλειες.

Το 1970 άρχισε στο Los Alamos του Ν. Μεξικού (Η.Π.Α.) το πρόγραμμα "hot dry rocks" (θερμών ξερών πετρωμάτων) με ζεύγος γεωτρήσεων: Η επικοινωνία μεταξύ των δύο γεωτρήσεων επιτυγχάνεται τεχνητά με εκρήξεις στο βάθος και υδραυλική ρωγμάτωση. Το πρόγραμμα είναι εφικτό από τεχνική άποψη, αλλά αντιοικονομικό με τα σημερινά δεδομένα. Παρόμοια προγράμματα γίνονται με επιτυχία και στη Μ. Βρεταννία με χρηματοδότηση της Ε.Ο.Κ. και θ' αρχίσουν σύντομα και σ' άλλες χώρες.

Τα ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται μερικές φορές και αυτά για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Στο Ζαΐρ και την Ε.Σ.Σ.Δ. (Καμπούτσα) βρίσκονται σε λειτουργία εγκαταστάσεις που παράγουν ρεύμα χρησιμοποιώντας σε κλειστό κύκλωμα φρέον, που ως γνωστό έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και εξατμίζεται θερμαινόμενο από γεωθερμικά νερά 85° C περίπου. Ο ατμός που προέρχεται από το ρευστό αυτό κινεί μικρούς στρόβιλους.

Στις Η.Π.Α. (Imperial Valley Καλιφόρνιας) χρησιμοποιείται σαν πτητικό υγρό το ισοβουτάνιο και το προπάνιο. Από 3 γεωτρήσεις βάθους 1500-2000 μ. παράγονται ρευστά των 120° C περίπου, που με

εναλλάκτες θερμαίνουν και εξατμίζουν ισοβουτάνιο αρχικά (εγκατεστημένη ισχύς 10 MW) και προπάνιο στη συνέχεια (άλλα 2 MW). Το γεωθερμικό νερό τέλος επαναδιοχετεύεται στο γεωλογικό ταμειυτήρα με 2 άλλες γεωτρήσεις.

Στη Γαλλία, με τη μέθοδο GEOWATT, χρησιμοποιείται ανάλογη θερμοδυναμική μετατροπή με πτητικά ρευστά (αμμωνία ή φρέον) σε κλειστό κύκλωμα. Τα ρευστά κινούν ένα κοχλιοτό κινητήρα ή ένα στρόβιλο και παράγουν μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια ή ακόμη και ψήξη.

Είναι έτσι εύκολο και οικονομικά συμφέρον να εγκατασταθούν μονάδες 10-100 KW στην περίπτωση μεμονωμένων αγροτικών οικισμών ή νησιών και να παράγεται το αναγκαίο γι' αυτά ρεύμα σε τιμές ανταγωνιστικές με τις μονάδες ντήζελ.

Στο Bradys Hot Springs (Νεβάδα, Η.Π.Α.), με γεώτρηση που παράγει ρευστά 132° C, λειτουργεί μονάδα ξήρανσης αγροτικών προϊόντων που απασχολεί 75 άτομα. Ξεραίνονται ημερησίως 113 τόνοι χλωρών κρεμμυδιών, παράγοντας 16,3 - 19,6 τόννους κρεμμύδια κομμένα ή αλεσμένα και πακετάρονται. Η μονάδα δουλεύει σε 24ωρο βάση επί 6 μήνες (Μάης-Οκτώβρης) και γίνεται ενεργειακή εξοικονόμηση 22,5 εκατ. δρχ. (με τιμές 1983). Μεταξύ Νοέμβρη και Γενάρη γίνεται ξήρανση σέλινου και μεταξύ Μάρτη και Απρίλη καρότων.

Στο Kelley Hot Springs (Καλιφόρνια, Η.Π.Α.), μονάδα που χρησιμοποιεί γεωθερμία παράγει 29.000 χοιρίδια το χρόνο, 3 X 10⁶ lt την ημέρα μεθάνιο και 1,2 m³/h νερό-λίπασμα για γεωργική χρήση.

Στην πόλη Kawerau (Ν. Ζηλανδία) η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρισμού για ξήρανση ξυλείας, εξατμισμό "Black liquor", ξήρανση πούλπας και χαρτιού. Η παραγωγή της μονάδας είναι: 386.400 τόνοι δημοσιογραφικού χαρτιού, 179-200 τόνοι πούλπας και 80 εκατ. σανίδες ξυλείας. Σημαντικό μέρος της ενέργειας για παραγωγή του απαραίτητου ατμού παράγεται από μερικές γεωθερμικές γεωτρήσεις. Το κόστος των καυσίμων της μονάδας θα μειωθεί χάρη στη γεωθερμία κατά 70%, με ετήσια οικονομία 117 εκατ. δρχ. (πάντα σε τιμές 1983).

Στην Atagawa της Ιαπωνίας, 4 γεωτρήσεις παράγουν ατμό και νερό για μια πολύ καλά οργανωμένη επιχείρηση: καλλιεργούνται 5.400 διαφορετικά είδη τροπικών φυτών σε 4 στρέμματα και 13 κτίρια και εκθέτονται σε τουριστική επίσκεψη. Το γεωθερμικό νερό, μετά τα θερμοκήπια, χρησιμοποιείται στους λουτήρες των κοντινών ξενοδοχείων. Υπάρχουν επίσης 18 τεχνητές λιμνούλες (60-80 m²), όπου εκτρέφονται 450 αλιγάτορες (είδος κροκοδείλων).

Η γεωθερμική θέρμανση λειτουργεί μεταξύ Οκτώβρη και Μάη και η τουριστική αξιοποίηση γίνεται όλο το χρόνο (800.000 επισκέπτες). Μέρος των εισπράξεων διατίθενται σε διάφορα ερευνητικά ιδρύματα. Τα θερμαινόμενα φυτά και ζώα έχουν βεβαίως και εμπορική αξία (π.χ. το δέρμα των κροκοδείλων).

Η Γαλλία ανέπτυξε τα τελευταία χρόνια σημαντικά μια τεχνολογία θέρμανσης οικισμών με νερά χαμηλής ενθαλπίας. Αυτά είναι άφθονα στις τεράστιες ιζηματογενείς της λεκάνες και σε βάθη 1500-2000 μ.. Χρησιμοποιείται συνήθως ζεύγος γεωτρήσεων: απ' τη μια παράγεται ζεστό νερό 60-75° C και από την άλλη διοχετεύεται το νερό αυτό, μετά τη χρήση, στον ταμειυτήρα. Για τη θέρμανση των χώρων χρησιμοποιείται συνήθως γλυκό νερό σε κλειστό κύκλωμα που θερμαίνεται, με την χρήση εναλλακτών θερμότητας, από το γεωθερμικό νερό. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται και αντλίες θερμότητας. Το ζεύγος γεωτρήσεων, με το νερό που δεν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, έχει σα βασικά προτερήματα ότι δεν προκαλεί σοβαρά προβλήματα περιλίθωσης και οξείδωσης, δεν

μολύνει καθόλου το περιβάλλον και διατηρεί τον ταμειευτήρα υπό πίεση. Οι οικονομικές συνθήκες είναι ευνοϊκές σε σχέση με τη θέρμανση με πετρέλαιο. Η εξοικονόμηση καυσίμων από κάθε ζεύγος γεωτρήσεων είναι της τάξης των 2.000 T.I.Π. το χρόνο και επιτυγχάνεται μ' αυτό θέρμανση 2.500 διαμερισμάτων κατά 70-75% (η υπόλοιπη ενέργεια διατίθεται από πρόσθετα συμβατικά καύσιμα).

Στη Γαλλία θερμαίνονται ήδη 300.000 διαμερίσματα και σκοπεύεται σύντομα η γεωθερμία να θερμάνει σε 1.000.000 διαμερίσματα και να πλησιάσει μια εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων της τάξης των 800.000 T.I.Π. το χρόνο.

Στο Klamath Falls ('Ορεγκον, Η.Π.Α.) θερμαίνεται ήδη το Πολυτεχνείο, το Νοσοκομείο και 14 άλλα δημόσια κτίρια. Σε δεύτερη φάση, με δύο νέες γεωτρήσεις, θα θερμανθεί το εμπορικό κέντρο της πόλης (συνολικά 41,8 MWt), ενώ το γεωθερμικό δυναμικό στην περιοχή της πόλης ανέρχεται σε 200 MWt.

Στο Susanville (Καλιφόρνια, Η.Π.Α.), θερμαίνεται οικισμός με έργο μεγέθους $4,5 \times 10^{13}$ J/χρόνο. Το κόστος ανέρχεται σε 126 εκατ. δρχ. και η απόσβεση θα γίνει σε 7-10 χρόνια.

Στο Litchfield (Καλιφόρνια, Η.Π.Α.), με γεώτρηση 78° C θερμαίνονται οι Επανορθωτικές Φυλακές και εξοικονομούνται 2.350 T.I.Π./χρόνο.

Στην Ισλανδία το 61% όλου του πληθυσμού θερμαίνεται γεωθερμικά. Η πρωτεύουσά της θερμαίνεται σχεδόν όλη, με ισχύ 540 MWt, σε ένα από τα πιο μεγάλα συστήματα θέρμανσης οικισμών του κόσμου.

Στην πόλη Makhachkala (Δημοκρατία του Dogestan, Ε.Σ.Σ.Δ.) θερμαίνονται με γεωθερμικά νερά 150.000 κάτοικοι, δηλ. το 60% του πληθυσμού και προβλέπεται επέκταση του δικτύου.

Στο "Kotchany" της ΝΑ/κής Γιουγκοσλαβίας γεώτρηση 328 μ. βάθους παράγει νερό 78° C σε παροχή μέχρι και 926 m³/h.

Μελετήθηκε και ήδη εγκαταστάθηκε το μεγαλύτερο μέρος από τεράστιο συγκρότημα θερμοκηπίων 310 στρεμμάτων, με κλιμακωτή αξιοποίηση των γεωθερμικών νερών (78-53° C, 53-33° C και 33-20° C, το τελευταίο για θερμά ποτίσματα) σε διαδοχικές μονάδες. Η συνολική ισχύς του γεωθερμικού νερού θα είναι 57,8 MWt (84,5% της όλης ενέργειας του συγκροτήματος).

Στο Abano (λουτροθεραπευτικό κέντρο της ΒΑ/κής Ιταλίας) νερά 70° C σε συνολική ποσότητα 1800 m³/h θερμαίνουν 80 ξενοδοχεία (εξοικονόμηση 30.000 T.I.Π./χρόνο) και θερμοκήπια.

Μια επαρχιακή βιομηχανία γάλακτος στο Klamath Falls ('Ορεγκον, Η.Π.Α.), χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό 87° C για θέρμανση του κτιρίου, παστερίωση 227 τόνων γάλακτος το μήνα, πλύσιμο σκευών, παστερίωση παγωτού κ.λπ..

Μια βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου στην παραπάνω κωμόπολη, με γεωθερμική θέρμανση του εργοστασίου και δευτερεύουσες χρήσεις εξοικονομεί 3,2 εκατ. δρχ./χρόνο.

12 συνεταιρισμένες φάρμες στο Broadlands (Ν. Ζηλανδία) ξεραίνουν τριφύλλι (κατεβάζοντας το βάρος του πέντε φορές) με γεωθερμικά ρευστά.

Στην Ιαπωνία ιχθυοκαλλιέργειες χελιών (3.800 Kg/χρόνο) και κυπρίνων γίνονται σε νερό σταθερής θερμοκρασίας (23° C) μετά από ανάμιξη γεωθερμικού και ποταμίσσιου νερού. Το οικονομικό όφελος είναι σημαντικό.

Τα γυάλινα γεωθερμικά θερμοκήπια στην Ουγγαρία το 1977 ξεπερνούσαν τα 1700 στρέμματα. Θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων και γεωργικών προϊόντων συμπληρώνουν τη γεωργική γεωθερμική εικόνα στη χώρα αυτή.

Στο 'Ορεγκον (Η.Π.Α.) μεγάλη μονάδα επεξεργασίας πατάτας

χρησιμοποιεί θερμότητα από γεωθερμικά νερά των 77° C, παράγοντας 13 διαφορετικά πακεταρισμένα προϊόντα πατάτας.

Υπάρχουν βέβαια και άλλα διαφορετικά παραδείγματα, σταχυολογίσαμε όμως μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα που μπορούν να εφαρμοσθούν ενδεχόμενα και στη Χώρα μας. Φαίνεται ότι η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας έχει τις πιο πολλές και τις πιο ποικίλες χρήσιμες εφαρμογές και παρουσιάζει μεγάλο οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

7. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

7.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Μέχρι σήμερα πήραμε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρησιμοποίηση γεωθερμικών ρευστών (κυρίως ατμού), που βρέθηκαν σε μικρά σχετικά βάθη (300-2000 μ.) και σε περιοχές με ισχυρές ανωμαλίες θερμικής ροής. Ο θερμός ατμός φτάνει στην επιφάνεια με πίεση, με δυνατό θόρυβο και με ταχύτητα 1000 περίπου χλμ./ώρα.

Αν ο ατμός είναι ξερός, καθαρίζεται από τα άλλα αέρια και διοχετεύεται στους ηλεκτροπαραγωγούς στρόβιλους, που μετατρέπουν τη γεωθερμική σε μηχανική και μετά σε ηλεκτρική ενέργεια με μέγιστο βαθμό απόδοσης 12%. Για τη μεταφορά των ρευστών από τις γεωτρήσεις στους στρόβιλους χρησιμοποιούνται θερμο-μονωτικές σωληνώσεις, για να αποφεύγεται η απώλεια θερμοκρασίας. Μέσα σ' αυτές ελάχιστη είναι η περιλίθωση και η διάβρωση. Μια και μόνο γεώτρηση ξερού ατμού είναι ικανή να τροφοδοτήσει ένα στρόβιλο μετατροπής ενέργειας ισχύος μέχρι 10.000 kW και να δώσει 80.000 .000 κιλοβατώρες το χρόνο περίπου.

Αν ο ατμός είναι υγρός, επιβάλλεται να χωριστεί από το νερό και να αντιμετωπιστούν σοβαρά προβλήματα περιλίθωσης και διάβρωσης. Τα προβλήματα αυτά δεν είναι βέβαια άλυτα, προκαλούν όμως αύξηση των εξόδων παραγωγής. Η πίεση για τη λειτουργία των γεωθερμικών γεννητριών κυμαίνεται από 3 μέχρι 7 ατμόσφαιρες, είναι δηλ. πολύ χαμηλή, αν τη συγκρίνουμε με τις πιέσεις λειτουργίας των κλασσικών θερμικών ή πυρηνικών γεννητριών. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης είναι εδώ 4-6%. Η τιμή της κιλοβατώρας της γεωθερμικής ενέργειας είναι αρκετά έως πολύ χαμηλή, ανάλογα με την ποιότητα του ατμού. Η τιμή το 1970 ήταν κατώτερη κατά το 1/3 τουλάχιστο από την τιμή της κιλοβατώρας των θερμικών εργοστασίων και είναι φανερό ότι η διαφορά αυτή της τιμής μεγάλωσε ακόμα πιο πολύ μετά την άνοδο της τιμής του πετρελαίου.

Έχει διαπιστωθεί στατιστικά από τις μέχρι τώρα γεωτρήσεις παραγωγής στον κόσμο ότι η πιθανότητα ανευρέσεως ξερού ατμού (πρώτη περίπτωση) σε σχέση με την ανεύρεση υγρού ατμού (δεύτερη περίπτωση) είναι μόνο 1:20.

Και στις δύο περιπτώσεις η εκμετάλλευση του νερού πριν το διαχωριστή και του ατμού μετά τον στρόβιλο μπορεί να συνεχισθεί σε θερμική ενέργεια για τη θέρμανση χώρων, αγροκίτες ή/και βιομηχανικές χρήσεις κ.λπ..

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατό να έχουμε και αν μεταδώσουμε ένα μέρος της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικώς ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με πολύ χαμηλό σημείο βρασμού, όπως είναι π.χ. το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο. Στην Ε.Σ.Σ.Δ. πειραματικός σταθμός 680 kW λειτουργεί με φρέον, που θερμαίνεται με νερό θερμοκρασίας 81,5° C.

Οι δυνατότητες που προσφέρει ο τρόπος αυτός της εκμετάλλευσης

είναι τεράστιες και οι προοπτικές για το μέλλον θα είναι ακόμη μεγαλύτερες με την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας. Με τη μέθοδο αυτή είναι οπωσδήποτε δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα νερά που διαχωρίζονται από τον υγρό ατμό και που η θερμική ενέργειά τους θα πήγαινε αλλιώς χαμένη. Η χρησιμοποίηση του κύκλου RANKINE, με ρευστά χαμηλού σημείου ζέσεως για την εκμετάλλευση ζεστών νερών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να είναι συμφέρουσα σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. στα μικρά νησιά, όπου το κόστος παραγωγής με μηχανές Diesel είναι πολύ μεγάλο. Η ύπαρξη ζεστού νερού σε μικρά βάθη στο υπέδαφος είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε πολλές περιοχές της γης και μπορεί να αναπτυχθεί πολύ ευρύτερα η εκμετάλλευσή του.

7.2. "Σχέδιο plowshare" (θερμά ξηρά πετρώματα).

Για να έχουμε ατμό ή θερμό νερό πρέπει να υπάρχουν ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες. Η σπουδαιότερη είναι η κάθετη περατότητα, που είναι γενικά πολύ ελαττωμένη (σχεδόν μηδαμινή) σε μεγάλα σχετικά βάθη. Εκεί η θερμοκρασία των γεωλογικών σχηματισμών είναι αρκετά ψηλή, π.χ. 350° C. Τέτοια θερμοκρασία παρουσιάζεται σε πολλές περιοχές της γης και σε βάθος από 1500 μέχρι 8000 μέτρα. Η πρώτη είναι η περίπτωση π.χ. της Νισύρου και η δεύτερη το πιο μεγάλο βάθος των γεωτρήσεων. Όμως στις περιοχές αυτές, με γεωθερμική βαθμίδα κατά 1,4 μέχρι και 6 φορές μεγαλύτερη της μέσης γήινης, σπάνια βρίσκονται γεωθερμικά πεδία, ακριβώς επειδή απουσιάζει η κάθετη περατότητα.

Υπολογίστηκε ότι 1 κυβ. χλμ. από ξηρά πετρώματα με την προοδευτική ελάττωση της θερμοκρασίας του από 350° σε 177° C είναι ικανά να δώσουν θερμική ενέργεια, που αντιστοιχεί σε ενέργεια 9 εκατομ. τόνων πετρελαίου.

Έγινε η σκέψη ότι, αν το βάθος των πετρωμάτων με τέτοια αρχική θερμοκρασία δεν είναι πολύ μεγάλο, θα ήταν δυνατό να επιχειρηθεί τεχνητή αύξηση των διαρρήξεων και να γίνει έτσι δυνατή η εκμετάλλευση των γιγαντιαίων ποσοτήτων της ενέργειας που βρίσκεται σε λανθάνουσα κατάσταση. Ας δούμε ένα υπολογισμό που έγινε. Αν σε βάθος 3000 έως 5000 μέτρων και κάτω από μια έκταση 100 μόνο τετρ. χλμ. υπάρχουν πετρώματα με θερμοκρασία 350° C (φτάνει γι' αυτό γεωθερμική βαθμίδα κατά 2,3 έως 3,9 φορές μεγαλύτερη από τη μέση τιμή) είναι δυνατό να παραχθούν 200 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες το χρόνο και για 15 χρόνια.

Για την αύξηση της περατότητας των πετρωμάτων υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι, που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των πετρελαίων, αλλά και άλλες που βρίσκονται στο στάδιο της μελέτης. Όλες όμως προϋποθέτουν την ύπαρξη σχετικής ρηγμάτωσης των πετρωμάτων.

Το "σχέδιο plowshare" ερευνά τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ατομικές εκρήξεις μέσα σε θερμά πετρώματα, που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος. Όταν από τις εκρήξεις αυτές δημιουργηθεί πολύ μεγάλη περατότητα, τότε θα διχοτετευτεί νερό στο κατώτερο τμήμα του τεχνητού συλλέκτη και θα παραχθεί ατμός στο ανώτερο τμήμα του. Το κύκλωμα πρέπει να είναι απαραίτητα κλειστό, για να μη μολυνθούν από τα ραδιενεργά ισότοπα, που μοιραία δημιουργούνται από τις πυρηνικές εκρήξεις, οι επιφανειακοί υδροφόροι ορίζοντες και το περιβάλλον. Η μοναδική σοβαρή επιφύλαξη για την εφαρμογή του σχεδίου αυτού είναι μήπως προκληθούν σεισμοί σε ασταθείς περιοχές από τη διαταραχή της ισορροπίας των πετρωμάτων (απότομη έκλυση της λανθάνουσας σεισμικής ενέργειας).

Οι WHITE και MUEFFLER υπολόγισαν το 1972 ότι τα παγκόσμια

γεωθερμικά αποθέματα, που βρίσκονται σε βάθος μικρότερο από 3000 μέτρα, για αποκλειστική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μόνο 2×10^{19} θερμίδες, που ισοδυναμούν με 58.000 MW για 50 χρόνια, με τα σημερινά πάντοτε δεδομένα της τεχνολογίας μας. Για τα ανεπτυγμένα κράτη η γεωθερμική ενέργεια θα έχει περιορισμένη σημασία, αν η εκμετάλλευσή της θα εξακολουθήσει να βασίζεται στη γνωστή κλασική τεχνολογία. Αν, αντίθετα, μια ανεπτυγμένη τεχνολογία κατορθώσει να εκμεταλλευτεί τα θερμά και ξερά πετρώματα, θα είναι δυνατό να παραχθεί ενέργεια ωφέλιμη ακόμη και για τα πιο ανεπτυγμένα κράτη.

Με το "σχέδιο plowshare" υπολογίστηκε ότι είναι δυνατό να παραχθούν $200 \cdot 10^9$ κιλοβατώρες το χρόνο, για 30 χρόνια (και σε τιμή χαμηλή: 0,95 δρχ/κιλοβάτώρα), αν γίνουν 300-400 υπόγειες πυρηνικές εκρήξεις με δύναμη 200 χιλιοτόνους η κάθε μια σε βάθος 3000 μ., εκμεταλλευόμενοι την πτώση της θερμοκρασίας των πετρωμάτων από 350 σε 250° C.

Στην ΕΣΣΔ πραγματοποιούνται έρευνες που έχουν διαφορετικό στόχο, δηλαδή την εκμετάλλευση της ενέργειας των ενεργών ηφαιστείων. Το σχέδιο ερευνών προβλέπει γεωτρήσεις, με σκοπό την αύξηση της περατότητας, χρησιμοποιώντας παραδοσιακές εκρηκτικές ύλες, σε βάθος π.χ. 3.300 μ., όπου η θερμοκρασία των πετρωμάτων μπορεί να φθάνει ακόμα και τους 600° C. Μετά προβλέπεται η εισαγωγή νερού και η δημιουργία ατμού, που υπολογίζεται ότι θα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει σταθμό με ισχύ 300.000 kW.

7.3. Παραγόμενη "γεωθερμική" ηλεκτρική ενέργεια στον κόσμο

Στον πίνακα II, που δείχνει την ηλεκτρική ισχύ των γεωθερμικών μονάδων σ'όλο τον κόσμο, παρατηρούμε ότι 19 κράτη παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από τη γεωθερμική ενέργεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ II. (E.Barbier (1990)

Εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στον κόσμο κατά το 1982 και 1989 (σε Μεγαβάτ).

Χώρα	1982	1989
ΗΠΑ	936	2212
Φιλιππίνες	570	894
Μεξικό	180	700
Ιταλία	440	548
Ιαπωνία	215	215
Ν. Ζηλανδία	202	167
Ινδονησία	95	95
Κένυα	41	41
Νικαράγουα	35	35
Τουρκία	0,5	20,6
Κίνα	4	17,3
ΕΣΣΔ	11	11
Γαλλία (Γουαδελούπη)		4
Πορτογαλία (Αζόρες)	3	3
Ελλάδα		2
Ρουμανία		1,5
Αργεντινή		0,6
Ταϊλάνδη		0,2
Ζάμπια		0,2
ΣΥΝΟΛΟ	2792,5	5154,5

7.4. Αφαλάτωση

Το πρόβλημα επάρκειας γλυκού νερού για οικιακή, γεωργική και βιομηχανική χρήση, γίνεται καθημερινά οξύτερο. Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν οικονομικά να συμβάλουν στη λύση του προβλήματος, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου άλλες λύσεις είτε είναι ουσιαστικά ανεφάρμοστες, είτε υπερβολικά δαπανηρές.

Η αφαλάτωση μπορεί να γίνει με συμπύκνωση του παραγόμενου ρευστού (Ξερού ή υγρού ατμού), όπως στην περίπτωση Salton Sea (ΗΠΑ), ή χρησιμοποιώντας τη θερμική ενέργεια για αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού, είτε με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης ή με εκείνη της πολυσταδιακής εξάτμισης σε συνθήκες υποπίεσης.

7.5. Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών

Τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν μερικές φορές χρήσιμα άλατα ή αέρια. Μεταξύ των πρώτων σημειώνουμε τη χρησιμοποίηση των αλάτων του Καλίου και Μαγνησίου στο Salton Sea (ΗΠΑ), όπου παράγονται σαλαμούρες (brines) από γεωθερμικές γεωτρήσεις.

Παρόμοια ρευστά πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο βρέθηκαν τελευταία στο καινούργιο γεωθερμικό πεδίο Cesano Ιταλίας.

Στο Larderello γινόταν παλιότερα ευρεία εκμετάλλευση του βορικού οξέος των γεωθερμικών ρευστών.

Ένα αέριο που έχει μεγάλη σημασία για τα θερμοκήπια είναι το CO₂, που παράγεται συνήθως σε αφθονία από τις γεωθερμικές γεωτρήσεις. Είναι γνωστό ότι με τη θερμότητα καλυτερεύουμε την απόδοση στις καλλιέργειες, γι' αυτό κατασκευάζουμε τα θερμοκήπια. Είναι επίσης γνωστό ότι το CO₂ έχει ζωτική σημασία στη δημιουργία των οργανικών ουσιών και επομένως στην ανάπτυξη των φυτών. Λίγοι όμως γνωρίζουν ότι η τεχνητή αύξηση της περιεκτικότητας του CO₂ σε κλειστούς χώρους, όπως τα θερμοκήπια, αποτελεί το καλύτερο χημικό λίπασμα και μπορεί ακόμα να διπλασιάσει την παραγωγή.

Έτσι τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν μαζί με τη θερμότητα να δώσουν και το πολύτιμο CO₂ στα θερμοκήπια. Το θέμα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα γεωθερμικά πεδία της Βόρειας Ελλάδας.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν, σε ελάχιστες ποσότητες, πολύτιμα ορυκτά που μπορούν να αξιοποιηθούν σαν υποπροϊόντα της όλης εκμετάλλευσης.

7.6. Άλλες χρήσεις

Τα θερμά νερά χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά για ιαματικούς βασικά σκοπούς. Η ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί παράλληλα να δημιουργήσει τέτοιες αξιοποιήσεις και σε περιοχές που δεν είχαν παραδοσιακές ιαματικές πηγές, αφού το γεωθερμικό νερό έχει συνήθως τέτοιες ιδιότητες.

Όταν η περιεκτικότητα σε άλατα των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρή μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μετά την ενεργειακή εκμετάλλευση, για οικιακή χρήση, αρδεύσεις και εμπλουτισμό των υπογείων υδροφόρων οριζόντων.

Αναφέρεται επίσης η χρήση για παραγωγή βαρέος ύδατος στο Salton Sea (ΗΠΑ).

Γενικά, μπορούν να αναπτυχθούν διάφορες χρήσεις, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού και τις τοπικές συνθήκες.

7.7. Άμεσες χρήσεις (Direct uses)

Οι εφαρμογές της γεωθερμίας χαμηλής κυρίως ενθαλπίας σε άμεσες χρήσεις της ενέργειας είναι πολλές και ποικίλες και πρέπει να προσαρμόζονται κατά περίπτωση στις τοπικές συνθήκες και ανάγκες.

Η χρησιμοποίηση της θερμότητας των ζεστών νερών στις σημερινές συνθήκες παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Η θέρμανση στις ψυχρές και ανεπτυγμένες χώρες καλύπτει ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στη Γαλλία π.χ. η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση φτάνει στο 30% της συνολικής. Επομένως η χρησιμοποίηση ζεστών φυσικών νερών έχει μεγάλη σημασία για χώρες που δεν διαθέτουν δικά τους καύσιμα.

Εκτός από τη θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας σε βιομηχανικές, εκτροφικές, τουριστικές εφαρμογές και ιδιαίτερα σημειώνουμε τη δυνατότητα εφαρμογών σε ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Για τις ποικίλες χρήσεις των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας αναφέρουμε παρακάτω μερικά στοιχεία και παραδείγματα:

- Η θέρμανση σπιτιών και πισίνων ως και η παροχή νερού ζεστού χρήσης είναι κάτι που γίνεται όλο και περισσότερο στον κόσμο με την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών.
- Ο κλιματισμός κτιρίων το καλοκαίρι είναι κάτι που ήδη γίνεται και χρησιμοποιούνται γι' αυτό γεωθερμικά ρυστά 80-120° C.
- Η θέρμανση διαφόρων τύπων θερμοκηπίων γίνεται επίσης με ποικίλες μεθόδους, όπως με θερμό αέρα, καλοριφέρ, θερμαινόμενο έδαφος (οπότε αρκούν νερά ακόμη και 25° C). Η ενδεχόμενη χρησιμοποίηση στα θερμοκήπια του παραγόμενου συχνά από τις γεωθερμικές γεωτρήσεις CO₂ ευνοεί σημαντικά την γεωργική απόδοση γιατί διευκολύνει την χλωροφυλλική φωτοσύνθεση των φυτών. Τα νερά, μετά τη χρήση στη θέρμανση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για υδροπονικές καλλιέργειες και θερμά ποτίσματα.
- Πολύ ενδιαφέρουσα είναι και η συντήρηση αγροτικών προϊόντων με μερική ή ολική ξήρανση ή και με κατάψυξη, γιατί μπορεί να συνδιάσει χρήση των ρευστών σε άλλη εποχή (π.χ. το καλοκαίρι που δεν τα χρησιμοποιούμε στα θερμοκήπια).
- Στο γεωργικό πάντοτε τομέα είναι δυνατή η αντιπαρασιτική αποστείρωση του εδάφους (με ρευστά 60o C), το πλύσιμο και παστερίωση των προϊόντων κ.λπ..
- Στη ζωοτροφία υπάρχουν εφαρμογές θέρμανσης στα ορνιθοτροφεία, σταύλους, εκκολαπτήρια κ.λπ..
- Στην περίπτωση των ψαριών μπορούν να γίνουν πολλά πράγματα:
 - α) Ιχθυοκαλλιέργειες σε τεχνητές λίμνες ή δεξαμενές (κυρίως χέλια, τσιπούρες, λαβράκια, κεφαλόπουλα κ.λπ., αλλά και κροκόδειλοι). Επίσης καλλιέργειες γαρίδων, αστακών κ.λπ..
 - β) Πολύ ενδιαφέρουσα μπορεί να είναι μια αλυσιδωτή γεωθερμική καλλιέργεια: φήκια πλούσια σε πρωτεΐνες, στη συνέχεια φυτοφάγα καρκινοειδή σε θερμοκρασία 25-27 C που τρέφονται με φήκια και που, με τη σειρά τους, αποτελούν τροφή για άλλα καλής ποιότητας ψάρια (που αναπτύσσονται ιδανικά στους 22° C.
 - γ) Αξιόλογη είναι επίσης η διατήρηση μερικών ψαριών με ξήρανση ή με κατάψυξη (στην Ισλανδία ξεραίνεται ο μπακαλιάρος).
- Στο βιομηχανικό τομέα πολύ σημαντικό (πολύ ενδιαφέρον για πολλά ελληνικά νησιά) είναι η παραγωγή γλυκού νερού με συμπύκνωση γεωθερμικού ατμού ή εξάτμιση θαλασσινού. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί συγχρόνως να κερδίσουμε και την παραγωγή αλατιού (ήδη υπάρχουν ανάλογα έργα ή μελέτες στην Ιταλία και Φιλιππίνες).

- Χρήσιμη οπωσδήποτε και η ανάκτηση μερικών ορυκτών ή αερίων που περιέχονται ενδεχομένως στα γεωθερμικά ρευστά (π.χ. λίθιο, κάσιο, ρουβίδιο, άλατα καλίου, βορικό οξύ, αμμωνία, CO₂, θειάφι, ήλιο, κ.λπ.).

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς για τις μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμίας είναι 9.529 MWt, ως εξής:

- Θέρμανση, κλιματισμός, νερό χρήσης	1.252 MWt
- Γεωργία, κτηνοτροφία, ιχθυοκαλλιέργεια	5.884 "
- Βιομηχανία, Χημεία	337 "
- θερμά λουτρά, τουριστικές εγκαταστάσεις κλπ.	2.056 "

7.8. Επίδραση στο περιβάλλον

Η επίδραση στο περιβάλλον από την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, εκτός από την ανάπτυξη του γεωθερμικού πεδίου κατά το στάδιο των γεωτρήσεων, που είναι περιορισμένη σε έκταση και χρόνο, διακρίνεται σε:

- ατμοσφαιρική, από την έκλυση των μη συμπυκνούμενων αερίων και των ατμών,
- χημική, από τα περιεχόμενα στα νερά άλατα και
- θερμική, από την απόρριψη ζεστού νερού σε επιφανειακούς αποδέκτες.

Σχετικά με την μόλυνση της ατμόσφαιρας και του υπόγειου νερού από τα γεωθερμικά ρευστά έχουμε να παρατηρήσουμε τα παρακάτω.

Οι γεωτρήσεις που δίνουν ατμό, φέρνουν στην επιφάνεια, μαζί με αυτόν, και μη συμπυκνούμενα αέρια και νερό κατά περίπτωση. Μεταξύ των αερίων κυριαρχεί το CO₂, που είναι συνηθισμένο στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα δεν είναι δυνατό να αυξηθεί σημαντικά, γιατί η περιεκτικότητα σε βάρος είναι της τάξης του 1-5% και οπωσδήποτε είναι πολύ μικρότερη η ποσότητα του ανά παραγόμενη KWh σε σχέση με τις κλασσικές ενεργειακές εγκαταστάσεις (πλην υδροηλεκτρικών).

Τα αέρια N₂, H₂, CH₄ και NH₃ δε μολύνουν το περιβάλλον γιατί: το πρώτο είναι κοινό συστατικό της ατμόσφαιρας, το δεύτερο ξεφεύγει με αργό ρυθμό τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας λόγω διάχυσης και μικρής πυκνότητας, το μεθάνιο είναι φυσικό προϊόν της αναερόβιας σήψης και τέλος το NH₃ ενώνεται με το CO₂ και το νερό δημιουργώντας ανθρακική αμμωνία, που αποτελεί χρήσιμο λίπασμα για το έδαφος.

Απομένει το H₂S, που αποτελεί συνήθως λιγότερο από 1% των ρευστών υψηλής ενθαλπίας. Αυτό οξειδώνεται σε H₂SO₄, μέσα στο νερό που αποβάλλεται από τις γεωθερμικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες ή διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Σε περίπτωση που το H₂S είναι άφθονο μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε βιομηχανικά, διαφορετικά αυτό διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα, οξειδώνεται αργά σε SO₂, μετά σε SO₃, που πέφτει με τις βροχές σαν H₂SO₄. Όταν η συγκέντρωση του H₂SO₄ είναι μικρή, η βλάστηση αφομοιώνει ένα μέρος του SO₂ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα και το θειικό οξύ που φθάνει στη γη μετατρέπεται γρήγορα σε γύψο, που δεν επηρεάζει την οικολογία. Όταν το H₂S είναι άφθονο, τότε συμφέρει η βιομηχανική παραγωγή του. Όταν η ποσότητά του είναι μικρή, η διαφυγή του στην ατμόσφαιρα δε βλάπτει αισθητά την οικολογία και το μοναδικό πρόβλημα είναι η δυσάρεστη οσμή του, που δυστυχώς παραμένει και σε μικρές περιεκτικότητες. Σήμερα υπάρχουν διάφορες μέθοδοι τεχνητής δέσμευσής του με οικονομικό τρόπο ώστε να μην αποτελεί εμπόδιο στην ανάπτυξη της γεωθερμίας σε βιομηχανικό επίπεδο.

Το βορικό οξύ δε βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα στα γεωθερμικά ρευστά. Εξαίρεση αποτελούν τα ρευστά των ιταλικών πεδίων. Όταν

τούτο περάσει ορισμένη περιεκτικότητα, γίνεται τοξικό για τη βλάστηση. Επειδή η οικονομική του αξία είναι σημαντική, ισχύουν και στην περίπτωση αυτή τα όσα είπαμε για το H_2S .

Τα γεωθερμικά πεδία με υγρό ατμό παράγουν, εκτός από τον ατμό και τα αέρια, και αλμυρό νερό. Προτού, λοιπόν, διοχετευτεί ο ατμός στις γεννήτριες, πρέπει να γίνεται ο διαχωρισμός του όχι μόνο από τα αέρια, αλλά και από το νερό. Το νερό αυτό περιέχει συνήθως χλωριούχα και θειικά άλατα Na , K , Ca και Mg , σε διάφορες ποσότητες. Πολλές φορές είναι πλούσιο σε πυριτικά και ανθρακικά άλατα. Όλα τα παραπάνω δεν έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον, αφού αποτελούν κοινά και μη βλαβερά από οικολογική άποψη στοιχεία. Τέλος, περιέχει μερικές φορές και κάποια ζημιογόνα στοιχεία, ευτυχώς σε ίχνη, όπως αρσενικό ή υδράργυρο.

Για τα γεωθερμικά πεδία που βρίσκονται μακριά από τη θάλασσα δημιουργείται το πρόβλημα της αποχέτευσης του νερού αυτού, γιατί υπάρχει κίνδυνος να αυξηθεί πολύ η αλμυρότητα του νερού των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων ή των κοντινών ποταμών, λιμνών, χειμάρρων κλπ. Μια καλή λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να

ξαναχυθούν τα νερά αυτά στο συλλέκτη.

Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας παράγουν νερό και μη συμπυκνούμενα αέρια, σε μικρότερο συνήθως ποσοστό. Πολλές φορές δεν έχουν καθόλου αέρια και άλατα στα νερά.

Στην περίπτωση σημαντικής περιεκτικότητας αλάτων και/ή αερίων, ισχύει και εδώ το ίδιο με τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας.

Όσον αφορά τη θερμική ρύπανση, αυτή είναι πολύ περιορισμένη στο σημείο αποβολής έως ανύπαρκτη όταν γίνεται επαναδιοχέτευση των ρευστών στον ταμιευτήρα.

Από τα παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας έχει πολύ μικρές έως ανύπαρκτες επιπτώσεις στο περιβάλλον (ατμοσφαιρική και χημική ρύπανση), γιαυτό και η γεωθερμία θεωρείται ήπια μορφή ενέργειας.

8. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στη χώρα μας η έρευνα γεωθερμίας άρχισε ουσιαστικά το 1971, με βασικό φορέα το Ι.Γ.Μ.Ε.. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η Δ.Ε.Η., σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επί πλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές.

Το πρώτο ερευνητικό πρόγραμμα άρχισε το 1971 και περιέλαβε τις παρακάτω περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθαινα, Σουσακι Κορινθίας, Καμμένα Βούρλα-Θερμοπούλες-Υπάτη, Αιδηψός.

Στη συνέχεια ερευνήθηκαν και άλλες περιοχές όπως η Κίμωλος και Πολυαίγιος, Σαντορίνη, Κως, Σαμοθράκη, Νότιος Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή του Στρυμόνα, της Ξάνθης, Θεσσαλονίκης και άλλες (Σχ. 11).

8.1. Περιγραφή του προγράμματος ερευνών

Η Μήλος φάνηκε από την αρχή ότι είχε τις πιο ενθαρρυντικές προϋποθέσεις και σ'αυτήν οι έρευνες προχώρησαν περισσότερο από τις άλλες περιοχές. Έγιναν πράγματι το 1971-73 λεπτομερείς έρευνες.

Μετά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, η Δ.Ε.Η. αποφάσισε την ανάπτυξη του πεδίου και έκανε τις δύο πρώτες ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Οι γεωτρήσεις αυτές, ΜΖ1 (στην περιοχή Ζεφυρίας) και ΜΑ1 (στην περιοχή Αδάμαντα), κατασκευάστηκαν το 1975-76 σε βάθος 1101 μ. και 1163 μ. αντίστοιχα, με τελική διάμετρο 5 5/8". Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού κοντά στον πυθμένα των γεωτρήσεων ανέρχεται σε 280-320 °C.

Το Νοέμβριο 1981 ολοκληρώθηκε η κατασκευή τριών νέων γεωτρήσεων και η εκτέλεση των προκαταρκτικών δοκιμών παραγωγής που έδωσαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (290 τόνοι κορεσμένου ατμού συνολικά, από τους οποίους 200 περίπου τόνοι ατμού, που ισοδυναμούν με 18-24 MW).

Η Δ.Ε.Η. εγκατέστησε σε πρώτη φάση μια πειραματική μονάδα 2 MW, για να καλύψει τις ανάγκες του νησιού σε ρεύμα.

Το γεωθερμικό πεδίο της Μήλου έχει έκταση τουλάχιστον 50 Km² και το δυναμικό του θα μπορούσε να φτάσει τα 100-120 MW, χωρίς να υπολογιστούν οι δυνατότητες των διπλανών νησιών Κιμώλου και Πολυαίγιου.

Περισσότερα για το πολύ σημαντικό πεδίο που ανακαλύφθηκε στη Μήλο και τις δυνατότητες αξιοποίησής του θα αναφερθούν σε παρακάτω κεφάλαια.

Εκτός από τη Μήλο και μετά τις πολύ ενθαρρυντικές προκαταρκτικές έρευνες, έγιναν από τη Δ.Ε.Η. δύο βαθιές γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής στη Νίσυρο και συναντήθηκαν ρευστά με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 350° C, που είναι και αυτά εκμεταλλεύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού και άλλες χρήσεις. Με τις δύο γεωτρήσεις στο νησί το δυναμικό φθάνει 3-4 MW.

Οι περιοχές Σαντορίνης και δυτικής Κω ανήκουν, όπως η Μήλος και η Νίσυρος, στο ίδιο ενεργό ηφαιστειακό τόξο και παρουσιάζουν σημαντικό γεωθερμικό ενδιαφέρον υψηλής ενθαλπίας.

Στη Σαντορίνη έχει γίνει μια σειρά από ερευνητικές εργασίες (γεωλογίας-ηφαιστειολογίας, γεωχημείας, γεωφυσικής και γεωτρήσεων για μετρήσεις θερμοκρασιών) από τις οποίες εντοπίστηκε μια περιοχή 20 Km² περίπου στο Νότιο μέρος, όπου οι γεωθερμικές συνθήκες για ανεύρεση ρευστών μέσης και πιθανόν υψηλής ενθαλπίας φαίνονται πολύ ενθαρρυντικές.

Στη δυτική Κω έχουν αρχίσει μερικές γεωθερμικές έρευνες που είναι ακόμα σε προκαταρκτικό στάδιο.

Άλλες περιοχές, στις οποίες υπάρχουν ενθαρρυντικά γεωθερμικά στοιχεία, είναι μερικά νησιά του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου και κυρίως η Λέσβος, ως επίσης οι περιοχές Σουσακίου Κορινθίας, Μεθάνων, βυθίσματος Σπερχειού, Αιδηψού και άλλες.

Στις περιοχές αυτές υπάρχουν πολλές ή λιγότερες ελπίδες για ανεύρεση ρευστών υψηλής ενθαλπίας. Εάν όμως κάπου ή και παντού αυτές διαψευσθούν, παραμένουν βάσιμες οι ελπίδες ύπαρξης ρευστών μέσης ή χαμηλής ενθαλπίας σε οικονομικά βάθη, αφού η θερμική ανωμαλία είναι εξασφαλισμένη.

Στο χώρο της Βόρειας Ελλάδας υπάρχουν πολλές περιοχές που προσφέρονται για ανεύρεση ρευστών χαμηλής και ίσως μέσης ενθαλπίας με ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες. Θα πρέπει σχετικά να ληφθεί υπόψη και το διαφορετικό κλίμα αυτών των περιοχών. Είναι πράγματι γνωστό ότι το κλίμα είναι αρκετά ψυχρότερο, προπαντός στις μη παράκτιες πόλεις της Β. Ελλάδας. Έτσι, η μέση ημερήσια θερμοκρασία φτάνει σε αρκετούς βαθμούς κάτω από το μηδέν, ευτυχώς για λίγες μέρες το χρόνο, ενώ υπάρχει μεγάλη περίοδος του χρόνου, από τον Οκτώβρη μέχρι τον Απρίλη και ίσως πιο πέρα ακόμη, κατά τη διάρκεια της οποίας χρειάζεται θέρμανση.

Έτσι η γεωθερμία, που είναι ακριβή μόνο στην αρχική επενδυτική φάση, προσφέρεται σε ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες όταν καλύπτει τη "βάση" των αναγκών θέρμανσης, αφήνοντας τις λίγες μέρες αιχμής στη συμπληρωματική συνδρομή του πετρελαίου ή άλλων καυσίμων.

Οι καμπύλες ζήτησης για θέρμανση στις Σέρρες και την Αθήνα έχουν σημαντικές διαφορές: στην πρώτη χρειάζονται πάνω από 200 μέρες και στη δεύτερη 160 μόνο μέρες θέρμανσης.

Αν τέλος ληφθεί υπόψη ότι η γεωργία και η κτηνοτροφία είναι πολύ ανεπτυγμένες ως επίσης και η βαρειά αλλά και η γεωργική βιομηχανία, νομίζουμε ότι οι συνθήκες ανάπτυξης της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στον βορειοελλαδικό χώρο είναι ιδιαίτερα ελκυστικές.

Μετά την ενεργειακή κρίση του 1979, το Ι.Γ.Μ.Ε. άρχισε σχετικές έρευνες σε διάφορα τμήματα του βορειοελλαδικού χώρου και θα αναφερθούν παρακάτω μερικά από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα.

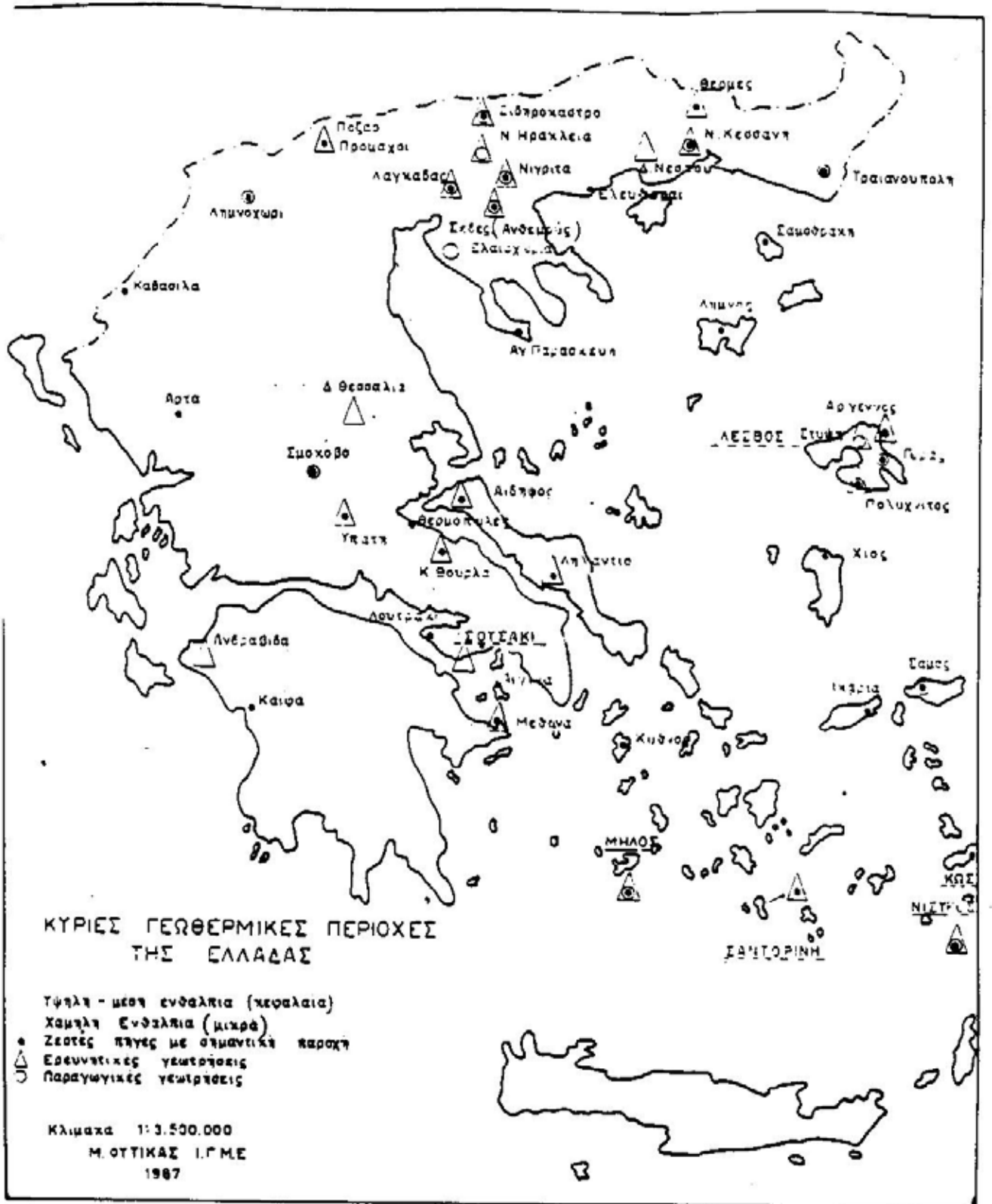
Οι έρευνες, όπως είναι φυσικό, ξεκίνησαν από μερικές περιοχές που έχουν κατ' αρχήν ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, δηλ. περιοχές τεκτονικών κυρίως βυθισμάτων.

Η περιοχή του βυθίσματος νότια της Θεσσαλονίκης και εκείνη των λιμνών Λαγκαδά-Βόλβης έχουν αξιόλογο ενδιαφέρον και η έρευνα εκεί προχώρησε αρκετά.

Στην πεδινή περιοχή Ξάνθης (περιοχή Ποταμιάς - Ν.Κεσσόνης) υπάρχει ένα ενδιαφέρον, από γεωθερμική άποψη, τεκτονικό βύθισμα με αξιόλογη θερμική ανωμαλία και κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες για τον εντοπισμό ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. Μέχρι τώρα έχουν εκτελεστεί πάνω από 20 ερευνητικές γεωτρήσεις μέσου βάθους 150-450 μ. με θερμοκρασίες 40-81° C. Στην περιοχή φαίνεται ότι υπάρχουν σημαντικές ποσότητες εκμεταλλεύσιμων ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. Έχουν επίσης γίνει γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Η περιοχή του βυθίσματος Στρυμόνα έχει επίσης μεγάλο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Στα θερμά Νιγρίτας εντοπίστηκε γεωθερμικό πεδίο που παράγει νερά μέχρι 60° C από βάθη 120-450 μ. σε σημαντικές παροχές. Το ίδιο συμβαίνει στην περιοχή Λιθότοπου-Χρυσόχωρα των Ηράκλειας Σερρών και θερμοπηγής Σιδηροκάστρου.

Άλλες περιοχές όπου οι έρευνες άρχισαν αλλά δεν βρίσκονται



Σχ. 11 -

ακόμα σε προχωρημένο στάδιο και από τα πρώτα στοιχεία φαίνονται ενθαρρυντικές, είναι οι παρακάτω: περιοχές Μαγγάνων Ξάνθης, Άγγιστρου Σερρών, περιοχή Αλμωπίας (Πέλλας), περιοχή Νότιας Θεσσαλίας και Ξυλιάδας (Δομοκού), θερμών Ξάνθης, περιοχή Ελαιοχωρίων-Ν.Τενέδου, Χαλκιδικής, Ελευθερών Καβάλας, Δέλτα - έστου, Αλεξανδρούπολης και μερικές άλλες. Οπωσδήποτε υπάρχουν και τόσες άλλες περιοχές που δεν εξετάστηκαν ακόμα και μπορούσαν να είναι ευνοϊκές, όπως π.χ. τα περιθώρια της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτών, Πτολεμαΐδας-Φλώρινας, Σαπών Ροδόπης και άλλες.

Παράλληλα με τις γεωθερμικές έρευνες συντάχτηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. και ο προκαταρκτικός χάρτης θερμικής ροής της Χώρας (βλ. Σχ. 5.), που τώρα συμπληρώνεται και τελειοποιείται μαζί με διάφορους χάρτες υπεδαφικών θερμοκρασιών. Στο χάρτη αυτό φαίνεται καθαρά ότι η Χώρα μας έχει ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες, αφού αν εξαιρέσει κανείς τη δυτική Ελλάδα, η θερμική ροή είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, δηλ. υψηλότερη από 50 mW/m^2 . Επί πλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, η ύπαρξη ενός ενεργού ηφαιστειακού τόξου στο Νότιο Αιγαίο, όπου η θερμική ανωμαλία είναι τεράστια και δημιουργεί δυνατότητες σχηματισμού πεδίων υψηλής ενθαλπίας. Το τόξο αυτό ξεκινάει απ'την περιοχή Σουσακίου Κορινθίας και δια της Αίγινας, Μεθάνων, Πόρου, νησιωτικού συμπλέγματος Μήλου, ομοίως Σαντορίνης, Νισύρου και δυτικής Κω καταλήγει στη Μ. Ασία.

Η υψηλή γενικά θερμική ροή σημαίνει ότι στο μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού χώρου η θερμοκρασία ανεβαίνει με πιο γρήγορο ρυθμό με το βάθος και επομένως οι γεωθερμικοί ταμειευτήρες (ρεζερβουάρ) είναι λιγότερο βαθείς, γεγονός που έχει σαν συνέπεια ρηχότερες και επομένως φθηνότερες γεωτρήσεις. Αν ληφθεί δε υπόψη και η έντονη εφελκυστική τεκτονική μεγάλου τμήματος του ελληνικού χώρου, που δημιουργεί μεγάλα ρήγματα τα οποία επιτρέπουν τη γρήγορη άνοδο βαθύτερων και επομένως ζεστότερων ρευστών προς την επιφάνεια, τότε καταλαβαίνουμε γιατί υπάρχουν τόσες πολλές θερμές πηγές στην Ελλάδα. Οι πηγές βέβαια αποτελούν, ως γεωλογικό φαινόμενο, μάλλον εξαιρετική γενικά περίπτωση, γιατί συνήθως τα ζεστά νερά δεν καταφέρνουν εύκολα να φτάσουν μέχρι την επιφάνεια και τις περισσότερες φορές εγκλωβίζονται σε υδροφόρους ορίζοντες που συναντούν κατά την άνοδο και έτσι δημιουργούνται στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στα ρήγματα, γεωθερμικές συνθήκες ακόμα πιο ευνοϊκές. Κατ' αυτό τον τρόπο έχουμε πολύ ζεστά ρευστά σε αρκετά μικρά βάθη.

Η δημιουργία των γεωθερμικών πεδίων σε αρκετά μεγάλη οριζόντια έκταση προϋποθέτει βέβαια και την ύπαρξη ανάλογων υδροπερατών γεωλογικών σχηματισμών και αυτό επιτυγχάνεται αρκετά εύκολα στις μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες. Έτσι, με υδροφόρους ορίζοντες σε κατάλληλο βάθος, που τροφοδοτούνται με μετεωρικά νερά και θερμαίνονται από τη γήινη θερμική ροή, δημιουργούνται εύκολα γεωθερμικά πεδία σε μεγάλη, πολλές φορές, έκταση.

Βέβαια, υπάρχουν και άλλες περιοχές της Χώρας με παλιότερα ιζήματα, στα οποία μπορεί να κυκλοφορούν ζεστά ρευστά. Η σύνθετη τεκτονική και γεωλογική κατασκευή δυσκολεύει τον προσδιορισμό των πεδίων αυτού του τύπου, που δεν παύει όμως να είναι πιθανά και σε μερικές περιπτώσεις πολύ σημαντικά.

Τέλος, γεωλογικοί σχηματισμοί με παλιά μεταμορφωμένα και κυρίως πλουτώνια πετρώματα, προσφέρονται για γεωθερμική εκμετάλλευση του τύπου των θερμών ξηρών πετρωμάτων (hot dry rocks), όταν μελλοντικά η σχετική τεχνολογία γίνει οικονομική.

8.2. Ηφαιστειότητα στον Ελληνικό Χώρο

Η περιοχή του Αιγαίου είναι μια περιοχή με ενεργή λιθσφαιρική καταβύθιση, που δημιουργήσε ένα μέτωπο συμπίεσης και ένα ενεργό ηφαιστειακό τόξο.

Πίσω απ' αυτό αναπτύχθηκε κατά κύριο λόγο μια ευρεία περιοχή με διεργασίες διάτασης (εφελκυσμού) και εκτεταμένες τεκτονικές λεκάνες (κυρίως graben) από βύθιση.

Στο βόρειο τμήμα της περιοχής παρατηρείται μια μεγάλη τεκτονική γραμμή διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ με οριζόντια μετατόπιση. Φαίνεται ότι είναι η προέκταση του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας.

Η μελέτη της χρονικής εξέλιξης της ηφαιστειότητας (από το Τριτογενές μέχρι σήμερα) σε ολόκληρο τον Αιγαϊακό χώρο βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση και συσχέτιση μεταξύ της φύσης της ηφαιστειότητας και στον προσδιορισμό της γεωδυναμικής εξέλιξης της περιοχής.

Τέλος, η ηφαιστειολογική εξέταση βοηθάει μερικά και στην καλύτερη εφαρμοσμένη έρευνα και αναζήτηση γεωθερμικών πηγών στον ευρύτερο ελληνικό χώρο.

Στο συνθετικό χάρτη των ηφαιστιτών Τριτογενούς-Τεταρτογενούς με ηλικίες και μαγματική συγγένεια διακρίνονται:

- Ο ΒΑ/κός Αιγαϊακός χώρος και η γύρω περιοχή (μέχρι Σαμοθράκη), που έχει τυπικά ασβεστοαλκαλικά μέλη (ηλικία Ολιγοκαινική).

- Ο Βόρειος-Κεντρικός Αιγαϊακός χώρος που εκτείνεται προς και ανατολικά έχει ηφαιστειότητα πιο πλούσια σε K_2O (με εξαίρεση τη Σκύρο και Εύβοια) (Κατ.-Μέσο Μειόκαινο).

- Η περιορισμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα σε μεμονωμένες περιοχές στο Κεντρικό-Νότιο Αιγαίο (Αν. Μειόκαινο).

- Το Τόξο Νότιου Αιγαίου που είναι το αποτέλεσμα της καταβύθισης λιθσφαιρικής πλάκας (Αν. Πλειόκαινο-Σήμερα). Έχει παράγει τυπικά ασβεστο-αλκαλικά προϊόντα με συνεχή εξέλιξη από βασάλτες μέχρι ρυολίθους. Μοιάζουν με προϊόντα ηφαιστειακών νησιωτικών τόξων σε λεπτά ηπειρωτικά περιθώρια.

Στο δυτικό τμήμα του τόξου έχουμε δόμους και ρεύματα λάβας, σπάνια πυροκλαστικά, ενώ από Μήλο και προς ανατολές κυριαρχούν ηφαιστεια με κεντρικές καλδέρες, μέσα στους οποίους γίνονται διεργασίες διαφορικής κρυστάλλωσης και δημιουργούνται συνθήκες μεγάλης εκρηκτικής δράσης.

Ίσως οι διαφορές οφείλονται σε διαφορετικές συνθήκες πιέσεων και σύμφωνα με νεοτεκτονικά και γεωφυσικά στοιχεία: στο δυτικό τμήμα είναι λιγότερο αναπτυγμένη η τεκτονική διάτασης και δυσκολεύει τα μάγματα να φθάσουν στην επιφάνεια, ευνοεί έτσι το διαφορισμό τους μόνο σε βαθύτερες συνθήκες, ενώ αντίθετα, στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου Νότιου Αιγαίου, η έντονα εφελκυστική τεκτονική που κυριαρχεί ευνοεί την άνοδο βασικών μαγμάτων και σχηματισμό μαγματικών θαλάμων μεγάλων διαστάσεων σχετικά κοντά στην επιφάνεια.

Αυτό βέβαια έχει ιδιαίτερη σημασία για τη γεωθερμία, γιατί ακριβώς δημιουργεί ιδανικές συνθήκες σχηματισμού πεδίων υψηλής ενθαλπίας.

8.3. Περιγραφή μερικών γεωθερμικών πεδίων ή περιοχών υψηλής και μέσης ενθαλπίας.

Παρακάτω θα περιγραφούν πιο αναλυτικά μερικά γεωθερμικά πεδία της Χώρας, που ήδη εντοπίστηκαν και είναι γνωστά, αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο, τα βασικά χαρακτηριστικά τους,

ώστε να είναι δυνατή η προσέγγιση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής τους.

8.3.1. Νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου.

Το νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου και κυρίως η Μήλος, Κίμωλος και Πολύαιγος, που έχουν πρακτικά γεωθερμικό ενδιαφέρον, είναι ηφαιστειακά νησιά του ενεργού τόξου του Νότιου Αιγαίου. Η ηφαιστειότητα εδώ άρχισε πριν από 3,5 εκατ. χρόνια περίπου και τέλειωσε μόλις πριν 0,1 εκατ. χρόνια. Το λειωμένο μαγματικό υλικό που τροφοδότησε τα διάφορα ηφαιστειακά κέντρα των νησιών αυτών φαίνεται ότι είχε σταθευθεί σε μικρό σχετικά βάθος, είναι ακόμα πολύ ζεστό και δημιουργεί μια εντονότατη και εκτεταμένη θερμική ανωμαλία από πάνω του. Έτσι, στη Μήλο διακρίνονται αρκετές περιοχές, όπου η γεωθερμική βαθμίδα φτάνει στις 30 και πλέον φορές από τη μέση γήινη, είναι μερικές φορές δηλ. της τάξης του 1° C/m.

Από τη Μήλο άρχισαν το 1971 οι γεωθερμικές έρευνες στη Χώρα μας και σ'αυτή προχώρησαν περισσότερο από τις άλλες περιοχές.

Στην πρώτη φάση, που κράτησε πάνω από δύο χρόνια, προσδιορίστηκαν οι ευνοϊκότερες περιοχές και οι θέσεις για τις πρώτες βαθιές γεωτρήσεις. Οι εργασίες αυτές περιέλαβαν αναζήτηση και μελέτη όλων των θερμικών εκδηλώσεων επιφάνειας, ειδική γεωλογική και ηφαιστειολογική μελέτη και λεπτομερή χαρτογράφηση (σε κλίμακα 1:10.000), εκτέλεση 48 θερμομετρικών γεωτρήσεων μέσου βάθους 50 μ. και σύνταξη του χάρτη θερμοβαθμίδας (Σχ.), γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις και υδρολογική-υδρογεωλογική εξέταση.

Διαπιστώθηκε η πολύ μεγάλη θερμική ανωμαλία στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού, η εντονότατη και ενεργός τεκτονική ρηγμάτων, η ύπαρξη λιθολογικών σχηματισμών κατάλληλων για ρεζερβουάρ (μεταμόρφωμένο σύστημα με δευτερογενή περατότητα και νεογενείς ασβεστόλιθοι κ.λπ.) και τέλος, η ύπαρξη οριζόντιων ηφαιστειτών που στεγανοποιήθηκαν υδροθερμικά εκ των υστέρων και αποτελούν ιδανικό κάλυμμα των γεωθερμικών ρευστών.

Μετά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, η Δ.Ε.Η. αποφάσισε την όρυξη δύο ερευνητικών γεωτρήσεων μεγάλου βάθους, που κατασκευάστηκαν το 1975-76. Κατά τις προκαταρκτικές δοκιμές παραγωγής, η κάθε μια έδωσε περίπου 60 τον./ώρα μίγμα κορεσμένου ατμού και νερού σε αναλογία 1:1 περίπου. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού στην παραγωγική ζώνη και κοντά στον πυθμένα των γεωτρήσεων ανέρχεται σε 280-320° C, όπως ήδη αναφέρθηκε.

Τα αποτελέσματα των προκαταρκτικών αυτών δοκιμών απέδειξαν την ύπαρξη ενός σημαντικού γεωθερμικού πεδίου που μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες παράλληλες ή κλιμακωτές εφαρμογές.

Το 1977 μετά την υπογραφή της συμφωνίας Δ.Ε.Η. και Εθνικού Οργανισμού Ηλεκτρισμού της Ιταλίας (ENEL), έγιναν ορισμένες συμπληρωματικές έρευνες στη Μήλο.

Με βάση τα συμπεράσματα αυτά και την αξιολόγηση των στοιχείων από τις δύο πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις, καταρτίστηκε ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη του πεδίου σε τρεις φάσεις από τις οποίες η πρώτη φορά την κατασκευή 3-4 γεωτρήσεων παραγωγής και την εγκατάσταση μιας πειραματικής γεωθερμοηλεκτρικής μονάδας, η δεύτερη την κατασκευή του απαιτούμενου αριθμού συμπληρωματικών γεωτρήσεων παραγωγής για την εγκατάσταση μιας μονάδας 30 MW και τέλος η τρίτη την κατασκευή και άλλων συμπληρωματικών γεωτρήσεων παραγωγής για την εγκατάσταση δύο ακόμα μονάδων των 30 MW η κάθε μια.

Για την πραγματοποίηση της πρώτης φάσης, το Νοέμβριο του

1981, ολοκληρώθηκε η κατασκευή τριών νέων γεωθερμικών γεωτρήσεων M1, M2 και M3 στην περιοχή Ζεφυρίας, σε βάθος 1180 μ., 1381 μ. και 1017 μ. αντίστοιχα, καθώς και η εκτέλεση των προκαταρκτικών δοκιμών παραγωγής με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, που ξεπέρασαν και τις πιο αισιόδοξες προσδοκίες. Συγκεκριμένα, κατά τις δοκιμές οι τρεις γεωτρήσεις είχαν συνολική παραγωγή 289 τον./ώρα γεωθερμικού ρευστού που διαχωριζόταν σε 150 τον./ώρα κορεσμένου ατμού και 139 τον./ώρα θερμού νερού. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας και πίεσης, καθώς και ο υπολογισμός της ενθαλπίας αυτού του μίγματος στην κεφαλή των γεωτρήσεων, έδωσαν αντίστοιχα 187-235° C, 11-29 Kg/cm² και 350-550 Kcal/Kg, ενώ η θερμοκρασία στον πυθμένα ήταν μεταξύ 282-323° C.

Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι η παραγωγή των 139 τον./ώρα φυσικού ατμού από τρεις νέες γεωτρήσεις μπορεί να εξασφαλίσει τη λειτουργία γεωθερμικών μονάδων με συνολική ισχύ 18 MW (για μονάδες με συμπυκνωτή).

Σε μια δεύτερη σειρά δοκιμών στις γεωτρήσεις M1 και M2, που κράτησε περισσότερες ημέρες, τα αποτελέσματα ήταν πιο ενθαρρυντικά γιατί αυξήθηκε η παραγωγή του ατμού σημαντικά, ενώ μειώθηκε αντίστοιχα η παραγωγή θερμών νερών. Έτσι, διαπιστώθηκε ότι η παραγωγή ατμού από τις τρεις γεωτρήσεις ανέρχεται συνολικά σε 200 τον./ώρα, που σημαίνει αύξηση της ισχύος των μονάδων από 18 σε 24 MW.

Τελικά συμπεράσματα θα εξαχθούν μετά την εκτέλεση των αλληλέγγυων συστηματικών δοκιμών και μετρήσεων, μεγάλης χρονικής διάρκειας, που θα γίνουν με διαχωριστές κλειστού τύπου και ειδικά όργανα μετρήσεων.

Παράλληλα όμως, με βάση τα παραπάνω προκαταρκτικά αποτελέσματα, η Δ.Ε.Η. προχώρησε στην εγκατάσταση πειραματικής μονάδας 2 MW, που καλύπτει σχεδόν όλες τις ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρικά φορτία. Η μονάδα χρησιμοποιεί 18 περίπου τόνους/ώρα από τον ατμό της γεώτρησης M2. Το διαχωριζόμενο νερό (αλμόλοιπο), επαναδιοχετεύεται μέσω της γεώτρησης M1 εν θερμώ και με πίεση στον ταμιευτήρα.

Σχετικά με τη χημική σύσταση του γεωθερμικού ρευστού, που προσδιορίστηκε σ'αυτές τις γεωτρήσεις, σημειώνεται ότι συνολικά η περιεκτικότητα του ρευστού σε άλατα, μεταξύ των οποίων κυριαρχεί το NaCl, ανέρχεται σε ποσοστό μέχρι και 10%.

8.3.2. Νίσυρος.

Η Νίσυρος είναι το οικοδόμημα ενός σύνθετου ηφαιστείου. Στο κεντρικό τμήμα του δημιουργήθηκε μια καλδέρα διαμέτρου 4 χιλιομ. και βάθους 400 μ., όπου βρίσκονται πολυάριθμοι κρατήρες φρεατικών εκρήξεων και μια σειρά από ατμίδες με θερμοκρασίες που φτάνουν μέχρι 115° C. Έξω από την καλδέρα και περιφερειακά στο νησί υπάρχουν θερμές πηγές με θερμοκρασίες μέχρι 50° C.

Οι έρευνες άρχισαν το 1973 και περιέλαβαν την εκτέλεση εννέα συνολικά ερευνητικών γεωτρήσεων μέσου βάθους 70 μ., απ'όπου διαπιστώθηκε η μεγάλη θερμική ανωμαλία (γεωθερμική βαθμίδα που φτάνει και 20 φορές τη μέση γήινη), μια δε απ'αυτές παράγει λίγο ατμό.

Μελετώντας τους πρόσφατους (ο τελευταίος σχηματίστηκε μόλις το 1872) φρεατικούς κρατήρες, που έχουν διάμετρο μέχρι 250 μ., υπολογίστηκαν οι πιέσεις των ρευστών που θα ήταν απαραίτητες για να υπερνικήσουν το λιθολογικό φορτίο και να προκαλέσουν τις εκρήξεις. Από τις πιέσεις αυτές αναγάζονται οι ανάλογες θερμοκρασίες.

Έτσι, φαίνεται ότι οι θερμοκρασίες των ρευστών πρέπει να

ήταν μεγαλύτερες από 250° C, το οποίο επαληθεύεται και από τον υπολογισμό των θερμοκρασιών των ρευστών στο ρεζερβουάρ με βάση τα γεωθερμόμετρα (γεωχημεία των ζεστών νερών από τις πηγές και τις αβαθείς γεωτρήσεις).

Από γεωλογική σκοπιά, η Νίσυρος εμφανίζει όλες τις συνθήκες για τη δημιουργία ενός γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας, αφού : είναι σίγουρη η εστία θερμότητας, έχουμε ικανό στεγανό κάλυμμα (διαφορετικά δεν θα προκαλούνταν οι φρεατικές εκρήξεις) και υπάρχουν οι κατάλληλοι υδατοπερατοί σχηματισμοί (ρεζερβουάρ) σε οικονομικά βάθη.

Από τα αποτελέσματα των ερευνών που έγιναν στη Νίσυρο, έχει εκτιμηθεί προκαταρκτικά ότι το πιθανό γεωθερμικό δυναμικό αυτού του νησιού ανέρχεται σε 40-50 MW. Το πλεόνασμα της γεωθερμοηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγεται μελλοντικά στη Νίσυρο θα μπορούσε να μεταφερθεί με εγκατάσταση υποβρύχιου καλώδιου στο συγκρότημα των νησιών Κως-Κάλυμνος-Λέρος, μεταξύ των οποίων υπάρχει ήδη διασύνδεση με υποβρύχια καλώδια. Εξάλλου, δεν αποκλείεται να επεκταθεί αυτή η διασύνδεση αργότερα και σε άλλα νησιά. Για τη μεταφορά αυτής της ενέργειας από τη Νίσυρο στην Κω έγιναν από τη Δ.Ε.Η. ήδη σχετικές μελέτες, με θετικά αποτελέσματα.

Η πρώτη από τις δύο βαθιές γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής, άρχισε να κατασκευάζεται το 1982 και η δεύτερη τέλειωσε το Σεπτέμβριο του 1983. Οι θερμοκρασίες που συναντήθηκαν ξεπερνούν, όπως είπαμε, τους 350° C, τα παραγόμενα ρευστά είναι μίγματα ατμού και νερού (με περισσότερο ατμό), ικανοποιητική χημική σύσταση και πολύ καλή ενθαλπία. Οι δύο γεωτρήσεις μπορούν να επιτρέψουν την εγκατάσταση 3 MW με συμπυκνωτή, αλλά περισσότερο θετικά στοιχεία θα υπάρξουν μετά τις δοκιμές μακράς διάρκειας. Τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων της Νίσυρου ήταν γενικά πολύ καλλίτερα από τα αναμενόμενα, τουλάχιστον όσον αφορά τις θερμοκρασίες.

Μετά τις δοκιμές μακράς διάρκειας, έγινε μελέτη των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων και θα εγκατασταθεί πειραματική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Στη συνέχεια εκπονήθηκε πρόγραμμα για μια ενδιαφέρουσα ηλεκτρική εκμετάλλευση σε βιομηχανική κλίμακα, με παράλληλη υλοποίηση του έργου μεταφοράς της ενέργειας στην Κω και σε άλλα νησιά της Δωδεκανήσου.

8.3.3. Λέσβος.

Στη Λέσβο οι γεωθερμικές έρευνες άρχισαν ήδη το 1970 και δεν έχουν ακόμα συμπληρωθεί. Κατά καιρούς έχουν γίνει διάφορες ειδικευμένες εργασίες, αρχικός και κύριος σκοπός των οποίων ήταν και παραμένει η μελέτη της βαθιάς γεωλογικής δομής του νησιού, ώστε να κατασκευαστεί ένα γεωθερμικό μοντέλλο και να εντοπιστούν οι περιοχές που παρουσιάζονται πιο ευνοϊκές από γεωθερμική άποψη.

Από την αξιολόγηση όλων των μέχρι σήμερα επί μέρους λεπτομερειακών εργασιών, εντοπίστηκαν τρεις περιοχές που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον: Περιοχή Πέτρας-Άργεννου, Περιοχή Στύψης και Περιοχή Πολιχνίτου.

Οι επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας είναι πολυάριθμες πηγές που έχουν θερμοκρασίες πολύ υψηλές, μέχρι 86° C.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι κυρίως ηφαιστειακά προϊόντα, μερικά από τα οποία είναι πιο πρόσφατα. Και εδώ τα κύρια συστήματα ρηγμάτων έχουν ΒΑ/κή και ΒΔ/κή διεύθυνση.

Η γεωφυσική έρευνα δείχνει ότι στο κεντρικό τμήμα του νησιού υπάρχει ένα πάχος υπερκειμένων ηφαιστειτών κ.λπ. της τάξης των 1000 μ., αλλά και χαμηλές αντιστάσεις σε μικρό βάθος. Πράγματι,

από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. και τη Δ.Ε.Η., συναντήθηκαν θερμοκρασίες νερών 90-92° C στα 100 μ. βάθους.

Για τους παραπάνω λόγους, διαφαίνεται ότι στην περιοχή υπάρχει ένα γεωθερμικό σύστημα 100° C περίπου, το οποίο δημιουργείται με τη θέρμανση ρηχών υδροφόρων από ρευστά που ανέρχονται από μεγάλο βάθος κατά μήκος μεγάλων ρηγμάτων. Με τη μεθοδο των γεωθερμομέτρων προκύπτει ότι τα ρευστά αυτά πρέπει να έχουν αρχικές θερμοκρασίες της τάξης των 130-185° C.

Στη Λέσβο έγινε και ένα εκτεταμένο υδρογεωλογικό πρόγραμμα ερευνών με γεωτρήσεις για αναζήτηση πόσιμου και αρδευτικού νερού.

Από τη μέχρι τώρα έρευνα, η Λέσβος παρουσιάζεται σαν ένα γεωθερμικό πεδίο με πραγματικά αξιόλογο δυναμικό, τουλάχιστον στις τρεις περιοχές που έχουν ευνοηθεί ιδιαίτερα από γεωθερμική άποψη. Φαίνεται ότι οι δυνατότητες χαμηλής και μέσης ενθαλπίας είναι δεδομένες, ενώ οι πιθανότητες για την υψηλή ενθαλπία δεν είναι μηδαμινές.

Σύντομα θα παρθεί η απόφαση για εκτέλεση βαθειών γεωτρήσεων παραγωγής, ενώ παράλληλα μπορεί να προχωρήσουν οι προσπάθειες ανεύρεσης εκμεταλλεύσιμων θερμών ρευστών με θερμοκρασίες μέχρι 100° C σε μικρά βάθη και σε διάφορες και πολυάριθμες περιοχές της Λέσβου, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, αλλά και για παραγωγή ηλεκτρισμού με τον κύκλο Rankine (χρήση Freon, που είναι υγρό χαμηλού σημείου ζέσεως). Έχουν ήδη αρχίσει σχετικά προγράμματα που χρηματοδοτούνται και από την Ε.Ο.Κ.

8.3.4. Λοιπές περιοχές υψηλής και μέσης ενθαλπίας.

Στη Σαντορίνη, το γνωστό ενεργό ηφαιστειακό νησί, έγιναν διάφορες έρευνες και μερικές αβαθείς γεωτρήσεις. Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα φαίνονται ενθαρρυντικά σε μια περιοχή του νησιού, όπου οι εργασίες θα συνεχιστούν μέχρι να αποφασιστεί η εκτέλεση βαθειών γεωτρήσεων παραγωγής. Ήδη μετρήθηκαν γεωθερμικές βαθμίδες πολλαπλάσιες (μέχρι και 10 φορές) της μέσης γήινης.

Στην περιοχή Σουσακίου Κορινθίας υπάρχουν επίσης ευνοϊκές γεωλογικές προϋποθέσεις: πρόσφατη ηφαιστειότητα και ενεργός τεκτονική καταβύθισως. Σε αβαθείς γεωτρήσεις μετρήθηκαν μέχρι 73° C σε βάθος 150 μ. Έγιναν και εδώ πολλές έρευνες στα πλαίσια της συνεργασίας Δ.Ε.Η. - Ι.Γ.Μ.Ε.. Γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής σε βάθος 100 περίπου μέτρων παράγουν νερό μέχρι 75° C σε πολύ ικανοποιητικές παροχές (μέχρι και 150 και πλέον m³/h).

Στην περιοχή Μεθάνων, όπου το γνωστό ιστορικής δράσης ηφαιστείο, οι έρευνες προχώρησαν λιγότερο και τα στοιχεία δεν είναι ακόμα επαρκή.

Η ευρύτερη περιοχή του πρόσφατου τεκτονικού βυθίσματος Σπερχειού, με τη γνωστή σειρά θερμοπηγών στα Καμμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Πλατύστομο κ.λπ., την πρόσφατη ηφαιστειότητα στις Λιχάδες και την ευνοϊκή στρωματογραφία, παρουσιάζεται αινιγματική ως προς την ύπαρξη θερμικής εστίας ικανής να δημιουργήσει γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας. Σίγουρα όμως υπάρχουν σημαντικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας σε πολύ μικρά βάθη.

Το ίδιο ισχύει και για την κοντινή περιοχή της Αιδηψού, στη ΒΔ/κή Εύβοια, όπου υπάρχουν οι γνωστές θερμές (μέχρι 78,5° C) πηγές. Η παροχή των πηγών είναι πολύ μεγάλη (>250 m³/h).

Άλλες περιοχές, στις οποίες χρειάζεται να προχωρήσει η έρευνα, είναι μερικά νησιά του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου, όπως Χίος, Λήμνος και Σαμοθράκη, καθώς επίσης και η Κως, το δυτικό τμήμα της οποίας ανήκει στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο.

Όπως αναφέρθηκε, σ' όλες τις παραπάνω περιοχές, αν τελικά αποδειχθούν μη ρεαλιστικές οι ελπίδες για ρευστά υψηλής ενθαλπίας, είναι πάντα βέβαιες οι προοπτικές ανεύρεσης ρευστών χαμηλής και πιθανές εκείνες της μέσης ενθαλπίας.

8.4. Περιγραφή μερικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας στη Βόρεια Ελλάδα.

8.4.1. Ν. Κεσσάνη Ξάνθης.

Η ευρύτερη περιοχή Ξάνθης-Κομοτηνής έχει αξιόλογο γεωθερμικό ενδιαφέρον, όπως φαίνεται από μερικά στοιχεία επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας και κυρίως από γεωλογικά-γεωθερμικά στοιχεία.

Οι συνθήκες φαίνονται κατ'αρχήν καλύτερες στις Τριτογενείς και Τεταρτογενείς λεκάνες (που συμπίπτουν με τις ομαλότερες και πιο κατοικημένες περιοχές) και οι συστηματικές έρευνες ήδη δείχνουν για μερικές από αυτές τις πραγματικές γεωθερμικές δυνατότητες. Θα περιοριστούμε για τώρα στο γεωθερμικό πεδίο Ποταμιάς-Ν.Κεσσάνης, για το οποίο διαθέτουμε ήδη αρκετά στοιχεία.

Η ταφρογενής λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής άρχισε να δημιουργείται κατά το Τριτογενές, με τη βύθιση των νότιων παρυφών της μεταμορφωμένης μάζας της Ροδόπης. Έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και διαστάσεις περίπου 70X20 Km.

Αποτέλεσμα αυτής της βύθισης, που άρχισε πριν από 60 εκατ. χρόνια περίπου (Αν. Ηώκαινο) και τέλειωσε κατά το Ολιγόκαινο, υπήρξε η δημιουργία μιας πολύ παχειάς σειράς θαλάσσιων ιζημάτων. Στη συνέχεια, τεκτονικές κινήσεις διατάραξαν την περιοχή, η θάλασσα αποσύρθηκε και μόλις κατά το τέλος του Νεογενούς (πριν 2-3 εκατομ. χρόνια) άρχισε η απόθεση των πρόσφατων ιζημάτων που συνεχίστηκαν μέχρι σήμερα και δημιούργησαν την τωρινή μορφή της λεκάνης. Η τεκτονική της όλης περιοχής συνεχίζει να είναι ενεργός και έντονη, με επικράτηση δύο κύριων συστημάτων ρηγμάτων εφελκυσμού, με διευθύνσεις Β 50° και Β 120° περίπου.

Στα μεγάλα αυτά κανονικά ρήγματα οφείλεται μάλλον και η ύπαρξη της θερμικής ανωμαλίας, που εντοπίστηκε πρόσφατα στην περιοχή ΝΑ του χωριού Ποταμιά Ξάνθης και η οποία εκτείνεται και βόρεια, ακόμα και ΒΔ του χωριού Ν.Κεσσάνη, σε μια έκταση 25 τουλάχιστον Km².

Το 1981, ύστερα από την αξιολόγηση όλων των γεωλογικών κ.λπ. στοιχείων, άρχισε το γεωτρητικό πρόγραμμα. Οι γεωτρήσεις έγιναν με στενή διάμετρο, έφτασαν σε βάθος 450 μ. και εξυπηρετούν το σκοπό της θερμομετρικής έρευνας, του στρωματογραφικού ελέγχου, κατ'αρχήν διαπίστωσης ενδεχόμενης υδροφορίας κ.λπ..

Εντοπίστηκαν ζεστοί υδροφόροι ορίζοντες σε μικρά σχετικά βάθη (μεταξύ 120-300 μ.) που είναι ικανοί να παράγουν αρτεσιανό ζεστό νερό που φτάνει μέχρι και 78° C στην κεφαλή των γεωτρήσεων.

Στην περιοχή έγιναν και γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, αφού παράγονται από αυτές νερά της τάξης των 70-80° C και παροχής 100-150 m³/h από κάθε μια γεώτρηση.

8.4.2. Πεδίο λεκάνης Στρυμόνα Σερρών.

Η ευρύτερη περιοχή του ποταμού Στρυμόνα αποτελεί βασικά ένα τεκτονικό βύθισμα, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ/κή, που άρχισε να σχηματίζεται κατά το Μέσο Μειόκαινο, αλλά είναι ακόμα ενεργό και έχει σαν τελικό αποτέλεσμα την εύφορη πεδιάδα του Στρυμόνα, έκτασης 60 X 15 Km² περίπου.

Τα κρᾶσπεδα του βυθίσματος αποτελούν μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μάρμαρα κ.λπ.), όπως επίσης πλουτώνια πετρώματα (γρανίτες Βροντούς). Δεν λείπουν και μερικά ηφαιστειακά οικοδομήματα (Σήτσι-Κάμεν, Στρυμονικό κ.λπ.) που παρ'όλο ότι είναι τριτογενούς ηλικίας, δεν

φαίνεται να είναι τόσο πρόσφατα, ώστε να συνδέσει κανείς μαζί τους κάποια ενεργό μαγματική δραστηριότητα.

Τα νεώτερα ιζήματα, συνήθως ηπειρωτικής, υφάλμυρης και σπάνια θαλάσσιας φύσης, που γέμισαν το βύθισμα, έχουν πάχος μέχρι και 4.000 μ., όπως φαίνεται από τις γεωφυσικές τομές και τις γεωτρήσεις της Δ.Ε.Π., κατά μήκος του κεντρικού άξονά του, αλλά είναι και αυτά αρκετά τεκτονισμένα.

Η τεκτονική είναι έντονη και όπως είπαμε ακόμα ενεργή, όπως μαρτυρούν τα αρκετά και μεγάλα ρήγματα που τέμνουν τα νεογενή ηπειρωτικά ιζήματα στα περιθώρια του βυθίσματος.

Οι θερμές εκδηλώσεις επιφάνειας εντοπίζονται κυρίως στα περιθώρια της λεκάνης. Έχουμε το συγκρότημα των θερμών πηγών Σιδηρόκαστρου (Λουτρά σε λειτουργία, πηγές Αγ. Βαρβάρας, πηγές ανατολικά της πόλης), που φτάνουν μέχρι 56° C. Επίσης είναι πολύ γνωστές οι πηγές των θερμών Νιγρίτας, με μέγιστη θερμοκρασία 52 °C.

Όλα τα ζεστά νερά του βυθίσματος είναι αλκαλικά διοξυγονικά και φαίνεται ότι προέρχονται από ρεζερβουάρ των νεογενών ιζημάτων. Τα γεωχημικά θερμομέτρα δίνουν σαν πιθανή αρχική θερμοκρασία των ρευστών στο ρεζερβουάρ μεταξύ 90 και 130° C.

Δεν είναι φυσικά η περίπτωση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας, όμως οι συνθήκες για τη χαμηλή και ίσως μέση ενθαλπία είναι μάλλον καλές σε αρκετά μεγάλη έκταση. Απόδειξη αυτού αποτελούν και τα αποτελέσματα των θερμομετρήσεων, που έγιναν στις 3 βαθιές γεωτρήσεις πετρελαίου της Δ.Ε.Π. και που απόδειξαν ότι η γεωθερμική βαθμίδα είναι λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη στο κέντρο της λεκάνης και προφανώς πολύ μεγάλη σε μερικά σημεία κοντά στα κρᾶσπεδα (κυρίως τα δυτικά και βόρεια).

8.4.2.1. Θερμά Νιγρίτας.

Το γεωτρητικό πρόγραμμα του Ι.Γ.Μ.Ε. άρχισε από την περιοχή Νιγρίτας, όπου οι προηγηθείσες γεωλογικές, γεωχημικές και γεωφυσικές έρευνες έδειξαν το ιδιαίτερο ενδιαφέρον της.

Μετά την εκτέλεση του γεωτρητικού προγράμματος στην περιοχή θερμών και τα στοιχεία που προέκυψαν, είναι πια φανερό το οικονομικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει η αξιοποίηση αυτών των γεωτρήσεων. Έγιναν 9 ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου, ενώ σήμερα υπάρχουν και αρκετές παραγωγικές γεωτρήσεις.

Η πλέον ενδιαφέρουσα ζώνη, έκτασης 12,5 Km², είναι αυτή που περικλείεται από το μεγάλο ρήγμα, το οποίο περνά μέσα από τα θερμά και την παράλληλη νοητή γραμμή προς Α που συνδέει τις γεωτρήσεις Χ₁, ΤΗ₂, ΤΗ₃. Το όριο προς ανατολάς δεν είναι περιοριστικό. Απλώς δεν έγιναν γεωτρήσεις διότι τα ιζήματα αποκτούν μεγαλύτερα πάχη και τα γεωτρήματα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν όριο τα 500 μ. Η υδροφορία των ζεστών νερών ακολουθεί το κροκαλοπαγές της βάσης των Νεογενών ιζημάτων. Η τροφοδοσία γίνεται πιθανώς από το μεγάλο ρήγμα του υπόβαθρου, το οποίο διατρέχει όλη την περιοχή, καθώς και από τα μικρότερα ρήγματα που παρουσιάζονται κάθετα προς αυτό.

Η γεώτρηση ΤΗ₁ έμεινε ανοικτή αρκετό καιρό (μήνες) χωρίς να μειωθεί η παραγωγή της σε νερό, πράγμα που σημαίνει ότι η τροφοδοσία της από το ρήγμα είναι δεδομένη και σταθερή.

Ειδικότερα για την ΤΗ₁, έγινε ένας υπολογισμός για να καταδειχθεί το οικονομικό όφελος από μια μελλοντική εκμετάλλευσή της. Συγκεκριμένα, η παροχή της γεώτρησης είναι 50 m³/h με πίεση 2,7 ατμόσφαιρες και η θερμοκρασία στην έξοδο 60° C.

Κάνοντας την υπόθεση ότι είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε το νερό μέχρι τη θερμοκρασία 30° C, μπορεί να διαπιστωθεί κανείς ότι

θα υπάρξει σαν οικονομικό όφελος το αντίστοιχο της αξίας 1.300 τόνους πετρελαίου περίπου το χρόνο, με 80% λειτουργία, για να ζεστάνει θερμοκήπια και για άλλες χρήσεις (π.χ. ξηράσεις αγροτικών προϊόντων). Επίσης δε θα πρέπει να παραληφθεί και η αξιοποίηση του CO₂, που η ίδια γεώτρηση TH₁ παράγει σε μεγάλη ποσότητα σαν υποπροϊόν.

Τα παρόμοια χαρακτηριστικά σε παροχή νερού, θερμοκρασίες κ.λπ. και των άλλων γεωτρήσεων θα πρέπει να οδηγήσουν στη σκέψη ότι τα οικονομικά οφέλη θα είναι πολλαπλά εάν αξιοποιηθεί ολόκληρη η προαναφερθείσα περιοχή. Ήδη λειτουργούν πάνω από 40 στρέμματα θερμοκηπίων που θερμαίνονται με ένα μικρό μέρος γεωθερμικών νερών του πεδίου θερμών Νιγρίτας.

8.4.2.2. Λιθότοπος Ηράκλειας

Μια άλλη, ενδιαφέρουσα για τη γεωθερμία, περιοχή είναι κοντά στο Λιθότοπο, όπου παλιότερα μια γεώτρηση της Υ.Ε.Β. είχε συναντήσει ζεστό νερό (38° C) σε μικρό σχετικά βάθος.

Μετά από προκαταρκτικές έρευνες, το Ι.Γ.Μ.Ε. προχώρησε στο γεωτρητικό πρόγραμμα. Έγιναν γεωτρήσεις, 73-430 μ. βάθους, που έφτασαν μέχρι το μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Οι περισσότερες από τις γεωτρήσεις συνάντησαν ζεστούς υδροφόρους ορίζοντες, με θερμοκρασία που φτάνει μέχρι 62° C. Το πεδίο έχει έκταση 25 Km² περίπου.

8.4.2.3. Θερμοπηγή Σιδηροκάστρου.

Στην περιοχή θερμοπηγής Σιδηροκάστρου εντοπίστηκαν ενδιαφέροντες γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες σε βάθη 30-400 μ. που παράγουν νερά πολύ καλής ποιότητας (Σ.Δ.Α. 1-2 g/l) και θερμοκρασίας (40-57° C).

Έχουν ήδη γίνει τρεις γεωτρήσεις παραγωγής μικρού βάθους (μέχρι 50 μ.) που έχουν νερά μέχρι 52° C και το βεβαιωμένο δυναμικό τους είναι τουλάχιστον 150 m³/h. Υπάρχει σημαντική υδροφορία και σε μεγαλύτερα βάθη (μέχρι 450 μ.) που μπορεί να αυξήσει κατά πολύ το δυναμικό του πεδίου και σχετικά τη θερμοκρασία του.

Συνεταιριστική Επιχείρηση του Δήμου Σιδηροκάστρου, προχώρησε στην κατασκευή ενός θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων σε πρώτη φάση, που θερμαίνεται με νερά μιας γεώτρησης του Ι.Γ.Μ.Ε.

8.4.2. Περιοχή πόλης Σερρών.

Στην περιοχή κοντά στις Σέρρες και μετά από πολύπλευρη έρευνα, προέκυψε η ύπαρξη οριακών συνθηκών οικονομικής θέρμανσης μέρους της πόλης με γεωθερμικά ρευστά.

Η βαθειά γεώτρηση που έγινε, σταμάτησε στα 2000 μ. μετά από τη διαπίστωση θερμοκρασιών της τάξης των 60° C, που ήταν κατώτερες των προβλεφθεισών από την οικονομοτεχνική μελέτη.

Το πεδίο της περιοχής έχει ενδιαφέρον για μελλοντική αξιοποίηση όταν υπάρξουν δυσμενέστερες από τις σημερινές τιμές πετρελαίου.

Η ευρύτερη λεκάνη Στρυμόνα έχει ενδιαφέρον και σε άλλα σημεία της. Υπάρχει επίσης σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό σε μεγάλα σχετικά βάθη για μελλοντικούς στόχους.

8.4.3. Περιοχή Δέλτα Νέστου.

Στην ευρύτερη λεκάνη του Δέλτα Νέστου έχει προσδιοριστεί ύπαρξη σημαντικών γεωθερμικών ανωμαλιών σε μεγάλη έκταση. Ανακαλύφθηκαν μέχρι τώρα δύο σπουδαία γεωθερμικά πεδία.

8.4.3.1. Πεδίο Ερατεινού-Χρυσούπολης.

Στην πεδινή περιοχή Ερατεινού-Χρυσούπολης και σε απόσταση 2 Km από τη νέα βιομηχανική περιοχή Καβάλας της ΕΤΒΑ εντοπίστηκε ένα πολύ σημαντικό πεδίο έκτασης 40 Km², όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι 3 έως 4 φορές μεγαλύτερη από τη μέση γήινη.

Σε βάθος 500-700 μ. περίπου, μέσα σε νεογενείς σχηματισμούς, υπάρχει ένας πρώτος ταμιευτήρας νερών με θερμοκρασία 60-80° C, ενώ βαθύτερα, μέσα στο υπόβαθρο πιθανώς, κυκλοφορούν νερά πολύ θερμότερα, αφού σε μια βαθειά γεώτρηση μετρήθηκαν 125° C στα 1370 μ. Η γεωθερμική βαθμίδα είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από τη μέση γήινη.

Ο πρώτος θερμός υδροφόρος είναι οπωσδήποτε εκμεταλλεύσιμος, ενώ ο δεύτερος θα πρέπει να αναζητηθεί μετά από παραπέρα έρευνες και να προσδιοριστούν τα ακριβή χαρακτηριστικά του.

8.4.3.2. Νέο Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης

Στην πεδινή αυτή περιοχή γίνεται συστηματική έρευνα με ερευνητικές γεωτρήσεις και έχει βεβαιωθεί το γεωθερμικό της ενδιαφέρον. Έχουν εντοπισθεί ζεστά νερά πολύ καλής ποιότητας ελαφρώς αρτεσιανά σε μικρά σχετικά βάθη (300-400 μ.). Η έρευνα συνεχίζεται στη βάση των νεογενών και στο ανώτερο τμήμα του μεταμορφωμένου υποβάθρου.

8.4.4. Λεκάνη Μυγδονίας Θεσσαλονίκης.

Στη λεκάνη των λιμνών Λαγκαδά-Βόλβης έχουν εντοπιστεί ενδιαφέροντα "ρηχά" γεωθερμικά ρεζερβουάρ, με νερά 35-50°C, που έχουν πολύ καλή χημική σύσταση (είναι πόσιμα).

Η γεωθερμική περιοχή του Λαγκαδά έχει έκταση 6 Km² με ταμιευτήρα στα 100-230 μέτρα βάθος και θερμοκρασίες 35-40° C. Ήδη βεβαιώθηκαν 400 m³/h από υπάρχουσες γεωτρήσεις και το δυναμικό υπολογίζεται της τάξης των 4.000 τόννων ισοδύναμου πετρελαίου το χρόνο.

Στην περιοχή της Νέας Απολλωνίας, μια μικρή γεωθερμική περιοχή, έχουν εντοπισθεί γεωθερμικά ρευστά 40-50° C σε μικρά βάθη (μέχρι 100 μέτρα) και το δυναμικό του πεδίου υπολογίζεται της τάξης των 4.000 T.I.Π. το χρόνο.

Στη Νυμφόπετρα, επίσης ένα μικρό πεδίο μέχρι 120 μ. βάθους, οι θερμοκρασίες φθάνουν τους 45° C και το νερό επίσης είναι άριστης ποιότητας.

Στις περιοχές Λαγκαδά, Νυμφόπετρας και Νέας Απολλωνίας λειτουργούν ήδη δεκάδες στρέμματα πλαστικών "γεωθερμικών" θερμοκηπίων.

Στην περιοχή Λαγκαδά είχε λειτουργήσει και για δυο χρόνια μικρή πειραματική μονάδα εκτροφής χελιών, που χρησιμοποιούσε μικρό μέρος από τα νερά μιας γεώτρησης.

8.4.5. Περιοχή Ανθεμούντα Θεσσαλονίκης.

Η λεκάνη νότια της Θεσσαλονίκης (περιοχή αεροδρομίου) έχει γεωθερμικό ενδιαφέρον. Εντοπίστηκαν νερά μέχρι 38° C σε μικρά βάθη. Το δυναμικό του κεντρικού-νότιου τμήματος της λεκάνης θα μπορούσε να αποδειχθεί σημαντικό.

8.4.6. Περιοχές Χαλκιδικής.

Στα Ελαιοχώρια Χαλκιδικής μια γεώτρηση 62 μ. βάθους παράγει αρτεσιανό νερό μέχρι και 600 m³/h, σε θερμοκρασία 34° C. Στην περιοχή έχουν γίνει και άλλες γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου και μάλιστα πολύ μακριά από την προηγούμενη, στην περιοχή Ν. Τενέδου,

που παράγουν γεωθερμικό νερό μέχρι 41° C. φαίνεται ότι υπάρχει αξιόλογο γεωθερμικό πεδίο μικρού βάθους και μεγάλου δυναμικού, με νερό πολύ καλής ποιότητας και αρτεσιανό. Σε 1,5 συνολικά στρέμματα λειτουργούν 6 μικρά πειραματικά θερμοκήπια.

Στην Αγ. Παρασκευή Κασσάνδρας φαίνεται ότι υπάρχουν επίσης καλές συνθήκες για ανεύρεση ρευστών χαμηλής ενθαλπίας σε μικρά σχετικά βάθη.

8.4.7. Λεκάνη Δυτικής Θεσσαλονίκης.

Στη λεκάνη αυτή υπάρχουν στοιχεία από γεωτρήσεις πετρελαίου. Φαίνεται ότι σε μερικά σημεία της σχηματίζονται βαθειά ρεζερβουάρ γεωθερμικών ρευστών (π.χ. περιοχή Κλειδίου-Αλεξάνδρειας).

Από την προκαταρκτική έρευνα, ενδιαφέρον παρουσιάζει σε μικρότερα βάθη η περιοχή Καρυώτισας Γιαννιτσών.

8.4.8. Λεκάνη Αλμωπίας.

Η ευρύτερη λεκάνη Αλμωπίας (Ν. Πέλλας) έχει ερευνηθεί προκαταρκτικά. Εκτός από την περιοχή Λουτρακίου-Πόζαρ, όπου φυσικές θερμές πηγές έχουν πολύ σημαντική παροχή, με θερμοκρασία 36° C, φαίνεται ότι υπάρχουν ταμειευτήρες σε μερικές περιοχές του υπόβαθρου της λεκάνης (π.χ. περιοχή Σωσάνδρας) σε σημαντικό όμως βάθος (1000 και πλέον μέτρων).

8.4.9. Λεκάνη Θεσσαλίας

Στη λεκάνη της Θεσσαλίας, κυρίως στο ΝΔ/κό της τμήμα, έχουν εντοπιστεί περιοχές με καταρχήν γεωθερμικό ενδιαφέρον. Γεωθερμικές ανωμαλίες, ικανοποιητικοί έως άριστοι υδροφόροι και καλά καλύμματα δημιουργούνται σε διάφορες υποπεριοχές (π.χ. κοντά στους Σοφάδες). Το γεωθερμικό δυναμικό της λεκάνης θεωρείται μεγάλο και οικονομικά ενδιαφέρον και χρειάζεται να ερευνηθεί συστηματικά.

8.4.10. Λοιπές πιθανές περιοχές χαμηλής ενθαλπίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχουν στοιχεία από αναγνωριστικές έρευνες και για άλλες περιοχές που παρουσιάζουν κατ'αρχήν γεωθερμικό ενδιαφέρον για ύπαρξη ρευστών χαμηλής ενθαλπίας σε όχι μεγάλο βάθος.

Θεωρείται ότι, λόγω της έλλειψης αρκετών γεωλογικών στοιχείων, δεν είναι δυνατόν, αλλά και ούτε αποτελεί στόχο του παρόντος κειμένου η ανάπτυξη των γεωλογικών και γεωθερμικών συνθηκών τους, γι'αυτό μόνο θα απαριθμηθούν επιγραμματικά

- Περιοχή Λουτρακίου Αριδαίας και Λουτροχωρίου Πέλλας.

- Περιοχή Ελευθερών Καβάλας.

- Περιοχή Τραϊανουπόλεως και Λυκόφης Έβρου.

- Περιοχή Σαππών Ροδόπης.

- Περιοχή Θέρμων Ξάνθης.

- Περιοχή Θερμιών Δράμας.

- Περιοχή Ξυνιάδας Δομοκού Φθιώτιδας.

- Περιοχή Λιμνοχωρίου Αμυνταίου Φλώρινας.

- Περιοχή Νεάπολης Κοζάνης.

- Περιοχή Ανδραβίδας Ηλείας.

- Περιοχή ΝΑ/κά Άρτας.

- Περιοχή Καβάσιλων Ιωαννίνων.

- Περιοχή Αηλιάντιου πεδίου Ευβοίας.

- Περιοχή Αλιάρτου Βοιωτίας και πολλές άλλες.

8.5. Χαρακτηριστικά των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας.

Πολύ λίγα από τα γεωθερμικά πεδία που εντοπίστηκαν μέχρι στιγμής έχουν μελετηθεί σε βάθος, ώστε να προσδιοριστούν όχι τόσο τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά τους, που είναι ήδη αρκετά γνωστά, όσο τα στοιχεία παραγωγής, δυναμικού ταμειυτήρα και γενικότερα συμπεριφοράς του στο χρόνο.

Η κυριώτερη αιτία γιαυτό είναι η έλλειψη πολυάριθμων και κατάλληλων γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου, στις οποίες να μπορούν να γίνουν αντλήσεις μακράς διάρκειας και μετρήσεις των διαφόρων παραμέτρων στο χρόνο.

Μόνο στα πεδία με "ρηχό" ταμειυτήρα και παραγωγικές γεωτρήσεις (π.χ. πεδία Μυγδονίας, Νιγρίτας, Ν.Κεσσάνης) υπάρχουν ασφαλέστερες εκτιμήσεις.

Στα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια κάλυψης του σημαντικού αυτού κενού, παρόλες τις δυσκολίες που υπάρχουν (κυρίως έλλειψη γεωτρυπάνων για μεγαλύτερα βάθη, τεχνικών μέσων, πιστώσεων και εν μέρει εμπειρίας).

Φαίνεται ότι γενικά τα γεωθερμικά πεδία στη βόρεια και κεντρική Ελλάδα έχουν ρευστά με χαμηλή σχετικά αλατότητα (κυρίως ανθρακικά άλατα), που ως γνωστό δημιουργούν τα λιγότερα προβλήματα στην εκμετάλλευση.

Σε πολλές περιπτώσεις (π.χ. Μυγδονία, Ελαιοχώρια Χαλκιδικής, Σιδηρόκαστρο) έχουμε σχεδόν πόσιμο γεωθερμικό νερό.

Επίσης δεν παρατηρούνται σχεδόν καθόλου δυσάρεστα στην οσμή αέρια. Συνήθως απαντά το αέριο CO₂ που είναι αβλαβές και σε μερικές περιπτώσεις εκμεταλλεύσιμο, σαν υποπροϊόν της γεωθερμικής ενέργειας (π.χ. Νιγρίτα, Ν.Κεσσάνη).

Στις περιπτώσεις με σχετικά αφθονότερα άλατα (Ν.Κεσσάνη) οι καθαλατώσεις αντιμετωπίζονται εύκολα και αποτελεσματικά με τη χρήση οργανικών προσθετικών ουσιών μέσα στις γεωτρήσεις.

Σε μερικά πεδία όπως στην Λέσβο, Μήλο, Νίσυρο, Σουσάκι, τα ρευστά περιέχουν αρκετές ποσότητες διαβρωτικών αλάτων και αερίων. Η εκμετάλλευσή τους απαιτεί λήψη κατάλληλων μέτρων (χρήση ανοξείδωτων εναλλακτών θερμότητας, αντλιών που αντέχουν στη διάβρωση κ.λπ.).

Σε τελική ανάλυση όμως, τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας στον ελληνικό χώρο φαίνεται ότι έχουν συνήθως μικρή έως μηδαμινή περιεκτικότητα σε διαβρωτικά άλατα και αέρια και δεν δημιουργούν σοβαρά τεχνικά προβλήματα εκμετάλλευσης ούτε βέβαια περιβαλλοντικά προβλήματα.

Φυσικά αυτό δεν είναι δυνατόν να γενικευθεί : τα ρευστά και οι συνθήκες είναι διαφορετικές από πεδίο σε πεδίο, γιαυτό θα πρέπει να μελετούνται και να εξετάζονται κατά περίπτωση.

Το ίδιο θα πρέπει να ληφθεί για τις υδραυλικές παραμέτρους του κάθε ταμειυτήρα και επομένως για την ποσότητα ρευστών που μπορούν να παραχθούν.

Υπάρχουν γεωτρήσεις που βγάζουν μεγάλες ποσότητες (π.χ. γεώτρηση Ελαιοχωρίων με 600 m³/h αρτεσιανό, γεώτρηση Αργέννου Λέσβου με 400 και πλέον m³/h) όπως και άλλες με μικρότερες παροχές.

Σημαντικό στοιχείο είναι και ο αρτεσιανισμός πολλών ταμειυτήρων (π.χ. Νιγρίτα) που διευκολύνει την εκμετάλλευση, κάνοντάς την πολύ ελκυστική από οικονομική άποψη.

Η σωστή εκμετάλλευση και διαχείριση των πεδίων που ανακαλύπτονται προϋποθέτει την πλήρη μελέτη των στοιχείων και παραμέτρων τους, κάτι που άρχισε να γίνεται σιγά-σιγά, αλλά

χρειάζεται μεγαλύτερη ένταση και διάθεση αρκετών οικονομικών, τεχνικών και ανθρώπινων μέσων.

Συμπερασματικά, το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα είναι σίγουρα πολύ σημαντικό, όπως προέκυψε από τις μέχρι τώρα έρευνες.

Υπάρχουν ήδη πολλά πεδία με ρευστά μέχρι 100°C σε μικρά σχετικά και οπωσδήποτε οικονομικά βάθη.

Τα περισσότερα από τα γεωθερμικά πεδία που ερευνήθηκαν βρίσκονται σε περιοχές με ευνοϊκές αναπτυξιακές συνθήκες και οι προοπτικές άμεσης εκμετάλλευσης των ρευστών είναι πολύ ευαίωτες.

Οριστικά και κυρίως προκαταρκτικά στοιχεία για το βάθος, θερμοκρασία, χαρακτηριστικά του ταμειυτήρα, χημισμό των ρευστών κ.λπ. δόθηκαν και δίνονται με την πρόοδο των εργασιών που κάνει κυρίως το Ι.Γ.Μ.Ε. σ' αυτόν τον τομέα.

Έχουν βεβαιωθεί αρκετές χιλιάδες m^3/h γεωθερμικού νερού από μικρά βάθη (μέχρι 500μ) που αντιστοιχούν με δεκάδες χιλιάδες τόννων ισοδύναμου πετρελαίου το χρόνο.

Η ισχύς των γεωθερμικών ρευστών (με απόρριψη στους 30°C) που είναι ήδη γνωστά μετά από πρόχειρους υπολογισμούς φαίνεται ότι είναι 450 MWt περίπου.

Το βεβαιωμένο δυναμικό είναι ένα πολύ μικρό μέρος του όλου γεωθερμικού δυναμικού της χώρας.

Η έρευνα των πεδίων κατά περίπτωση θα πρέπει να περάσει από το στάδιο του εντοπισμού και των προκαταρκτικών στοιχείων και περιχάραξης, στο στάδιο προσδιορισμού όλων των παραμέτρων για σταθερή εκμετάλλευση στο χρόνο και εξυπηρέτηση προκαθορισμένων εφαρμογών με διαδικασίες που θα αποδειχθούν τεχνικο-οικονομικά βιώσιμες.

Η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας έχει πολλά πλεονεκτήματα : συμφέρει ενεργειακά-οικονομικά, είναι μάλλον ανανεώσιμη, είναι εγχώρια και ήπια εναλλακτική πηγή ενέργειας, δεν μολύνει το περιβάλλον και προπαντός προσφέρεται για πολύπλευρη τοπική και περιφερειακή ανάπτυξη.-

Τα κυριότερα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα κατά το 1989

ΠΕΡΙΟΧΗ	Εκταση (km ²)	Βάθος ταμειωτήρα (m)	Εύρος θερμοκρασιών (°C)	Μέση θερμ. πεδίου (°C)	Βεβαιωμένο δυναμικό (m ³ /h)	Πιθανό δυναμικό (m ³ /h)	Αλατότητα (TDS) (g/l)	Φαρματηρήσιες
Ν. Κεσσάνη Ξάνθης	20	120-350	40-80	70	250	1000	6	Αρτεσιανό+CO ₂
Μάγνανα "		250-400	40-65	55	-	-	1	Ελαφρά αρτεσιαι
Χρυσούπολη Καβάλας	40	500-700	60-80	70	-	1000	-	"
" "(Βαθ.γεωτ.)		800-1500(;))		100	-	1000	-	"
Σιδηροκάστρο Σερρών	6	50-350	40-57	50	150	1000	1,5	Ελαφρά αρτεσιαι
Ηράκλεια "	25	200-400	35-62	50	-	500	-	"
Μιγρίτα "	15	120-450	40-60	50	400	1000	4	Αρτεσιανό+CO ₂
Λαγκαδός θεσ/νίκης	6	100-250	35-40	37,5	400	1000	1	Ελαφρά αρτεσιαι
Μυμόπετρα "	2	100-150	37-44	40	200	500	1,5	"
Ν. Απολλωνία "	2	50-100	44-52	47,5	350	600	1,5	"
Ελαιχώρια Χαλκιδικής	7	60-100	33-42	38	800	1500	1,5	Αρτεσιανό
Σουσάκι Κορινθίας	>10	80-150	50-75	65	200	500	10	"
Πολύχνιτος Λέσβου	10	50-150	70-95	85	300	1000	12	"
Αργεννος Λέσβου	-	40-100	80-86	85	600	1500	-	"
Σ Υ Ν Ο Λ Ο	>126	40-1400	35-100	37,5-100	3850	11600	1-12	