

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΜΠΑΧΟΥΜΑ ΘΕΟΔΩΡΑ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΠΠΑΤΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
A.M. 8228

ΕΤΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	I
Περιεχόμενα	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Πηγές μόλυνσης	1
1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση	2
1.4 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	3
1.5 Τρύπα του όζοντος	4
1.6 Μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος	5
1.7 Διεθνή πρότυπα (International Organization for Standardization–ISO)	7
1.8 Επίλογος	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Ηλιακή ενέργεια	9
2.3 Αιολική ενέργεια	11
2.4 Υδραυλική ενέργεια	12
2.5 Βιομάζα	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	16
3.1 Εισαγωγή	16
3.2 Επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας	18
3.3 Γεωθερμική ενέργεια	19
3.4 Συνθήκες που ευνοούν τη γεωθερμία	20
3.5 Γεωθερμικά συστήματα και πεδία	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ	26
4.1 Εισαγωγή	26
4.2 Σύσταση υγρής φάσης	26
4.3 Ταξινόμηση των γεωθερμικών νερών	29
4.4 Φυσικό-Χημικά χαρακτηριστικά	31
4.5 Σύσταση αέριας φάσης	32
4.6 Υδροθερμική εξαλλοίωση	36
4.7 Δειγματοληψία γεωθερμικών ρευστών	38
4.8 Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων των γεωθερμικών ρευστών	40
4.9 Χημική γεωθερμομετρία ρευστών	43
4.9.1 Γεωθερμομετρία νερών	43
4.9.2 Γεωθερμομετρία αερίων	45
4.10 Μετρήσεις της παροχής των ρευστών	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΕΙΣ-ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	50
5.1 Εισαγωγή	50
5.2 Σταδία γεωθερμικής έρευνας	50
5.3 Πρώτο στάδιο	51
5.4 Δεύτερο στάδιο	51
5.5 Τρίτο στάδιο	59
5.6 Τέταρτο στάδιο	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	61
6.1 Εισαγωγή	61
6.2 Άμεσες χρήσεις	61
6.3 Αγροτικές χρήσεις	63

<i>6.4 Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών</i>	63
6.5 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	64
6.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	65
<i>7.1 Εισαγωγή</i>	65
<i>7.2 Γεωθερμικά θερμοκήπια</i>	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	75
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	78

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο επειδή, είναι πιο οικονομικές και πιο φιλικές ως προς το περιβάλλον με σχεδόν μηδενικές ή ήπιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα ορυκτά (συμβατικά) καύσιμα. Επίσης, με την χρήση τους περιορίζουμε την εξάντληση των συμβατικών καυσίμων.

Στις αρχές του 1970 η πρώτη ενεργειακή κρίση αναζωογόνησε το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μεταξύ των οποίων και της γεωθερμικής ενέργειας. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έχει γίνει εδώ και χιλιάδες χρόνια, κυρίως όμως για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, καθώς επίσης για πλύσιμο και μαγείρεμα.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι εφικτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, εξασφαλίζουν ένα συγκριτικά οικονομικά αποτέλεσμα.

Στις μέρες μας η γεωθερμική ενέργεια καλύπτει το 0.5% περίπου των αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια, ενώ μόλις το 50% της ενέργειας στην Ισλανδία καλύπτεται από γεωθερμικά ρευστά. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται τόσο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, όσο και για άμεσες χρήσεις της θερμότητας. Η κυριότερη όμως αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα εκτός από τη λουτροθεραπεία, είναι η θέρμανση θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Στη γεωθερμία η μεγάλη δαπάνη γίνεται για τις αρχικές έρευνες και εγκαταστάσεις, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μικρό.

Ο σκοπός της εργασίας είναι **αρχικά** να παρουσιάσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από τις διαφορές μορφές ενέργειας, καθώς και την αναζήτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον (**κεφάλαια 1-2**). Στη **συνέχεια** προσπαθεί να αναλύσει την σχέση της γεωθερμίας με τα γεωλογικά δεδομένα και να παρουσιάσει της ποικίλες εφαρμογές της ήπιας αυτής ενέργειας (**κεφάλαια 3-8**).

Παρουσιάζονται οι επιφανειακές εκδηλώσεις της γεωθερμικής ενέργειας, το γεωλογικό υπόβαθρο της δημιουργίας των γεωθερμικών συστημάτων, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών, και η μεθοδολογία έρευνας, τα στάδια παραγωγής των ρευστών και ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων.

Παρουσιάζονται οι άμεσες χρήσεις, καθώς και κάποια τεχνικά προβλήματα από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας. Ακολουθούν τα συμπεράσματα και οι προοπτικές της χρήσης της γεωθερμίας, καθώς και τα περιβαλλοντικά της οφέλη.

Στο παράρτημα δίνονται σημαντικές πληροφορίες για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Ευχαριστίες :

Στην πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε ο εισηγητής καθηγητής κύριος Καππάτος Βασίλειος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1.1 Εισαγωγή

Η ρύπανση και η βλάβη των φυσικών γήινων οικοσυστημάτων, παρότι είναι γνωστή από εκατοντάδες χρόνια πριν, συνειδητοποιήθηκε μόλις πριν 20 με 25 χρόνια. Μετά τον 'β παγκόσμιο πόλεμο και την έκρηξη της βιομηχανικής επανάστασης, ενώ οι τεχνολογικά προηγμένες χώρες είχαν μεγάλη πρόοδο στην οικονομία και τον πολιτισμό, οι Ευρωπαίοι κυρίως της κεντρικής και δυτικής Ευρώπης άρχισαν να αντιλαμβάνονται τα προβλήματα που υπήρχαν. Διαπιστώνονταν βλάβες και νεκρώσεις σε φυτά και κυρίως στα δάση τα οποία λόγω του ότι δέχονται για πολλά χρόνια τους ρύπους εμφανίζουν πιο έντονα τα συμπτώματα.

Η ρύπανση είναι δύσκολο να οριστεί λόγω της πολυπλοκότητας του μηχανισμού της. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι κάθε ανεπιθύμητη αλλοίωση της σύστασης ή της μορφής του, που μπορεί να οδηγήσει σε απότομες και σημαντικές διαταραχές της φυσικής ισορροπίας προκαλώντας βλάβες στην δραστηριότητα

και την υγεία του ανθρώπου και διαφέρει από τη μόλυνση λόγω μικροβίων και παθογόνων μικροοργανισμών.

1.2 Πηγές μόλυνσης

Οι πηγές μόλυνσης είναι πολλές και έχουν διάφορες προελεύσεις. Τα αστικά λύματα τα οποία προέρχονται από απορρίψεις που αφορούν ανθρώπινες χρήσεις, ρυπαίνουν τους υδάτινους αποδέκτες και τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Οι απορρίψεις αυτές αποτελούνται κυρίως από οργανικές ουσίες και με τα μικρόβια και τους παθογόνους μικροοργανισμούς που περιέχουν, προκαλούν διάφορες μολύνσεις. Πολλές φορές οι μολύνσεις μπορεί να είναι πολύ σοβαρές όπως η χολέρα ο τυφοειδής πυρετός και η εμφάνιση του μικροβίου της Σαλμονέλας. Επίσης η μόλυνση των νερών μπορεί να προκληθεί σε πολύ σοβαρό βαθμό από τα απόβλητα των εργοστασίων και των ραδιενεργών αποβλήτων που παλαιότερα ρίχνονταν σε ειδικά δοχεία στους ωκεανούς. Η ρύπανση από το πετρέλαιο είναι επίσης μια σοβαρή μορφή ρύπανσης διότι τα πετρελαιοειδή έχουν την ιδιότητα να διασπείρονται και να εξαπλώνονται σε τεράστιες εκτάσεις, επειδή σχηματίζουν μονομοριακές στρώσεις. Έτσι καλύπτοντας την επιφάνεια του νερού εμποδίζουν την ανταλλαγή των αερίων μεταξύ αέρα και νερού βλάπτοντας τους υδρόβιους μικροοργανισμούς.

Οι τοξικές ουσίες για τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι τα βαριά μέταλλα, όπως ο σίδηρος (Fe), το χρώμιο (Cr), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), ο χαλκός (Cu), το αρσενικό (As) κ.α. Κύριες πηγές βαρέων μετάλλων είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες που χρησιμοποιούν μέταλλα, είτε σαν συστατικά πρώτων υλών είτε σαν καταλύτες. Τα πυρηνικά ατυχήματα είναι μια ακόμα πηγή μόλυνσης της οποίας τα αποτελέσματα εκτός από τη στιγμή του ατυχήματος γίνονται αισθητά και για πολλά χρόνια αργότερα λόγω της ραδιενεργού μόλυνσης.

Το θείο (*Sulphur*), οξείδια αζώτου (*Nitrogen Oxides*) και η αμμωνία (*Ammonia*) προκαλούν μια αύξηση στην οξύτητα του εδάφους. Τα φυτά και ειδικότερα τα δέντρα που μεγαλώνουν σε αμμώδεις έδαφος, υποφέρουν από το συγκεκριμένο φαινόμενο. Εξαιτίας των δηλητηριωδών συστατικών αυξάνεται το επίπεδο της οξύτητας.

Ο φώσφορος καθώς και άλλα παρόμοια συστατικά προκαλούν πολλές δηλητηριάσεις στην ανθρώπινη ύπαρξη, οι οποίες μπορούν να επιφέρουν σαν αποτέλεσμα ένα είδος «υπεργονιμοποίησης». Με τον όρο «υπεργονιμοποίηση» εννοείται μία εκτεταμένη συσσώρευση από θρεπτικά συστατικά στο έδαφος. Σαν αποτέλεσμα τις παραπάνω συσσώρευση είναι η δημιουργία παραμορφωμένων φυτών και λαχανικών. Στο νερό προκαλείται μια τεράστια ανάπτυξη των θαλάσσιων φυκιών.

Βέβαια, εκτός των παραπάνω προβλημάτων υπάρχουν και άλλα προβλήματα που μπορεί να μην τους δίνεται η δέουσα σημασία όμως δεν παύουν να αποτελούν προβλήματα όπως η ηχορύπανση η δυσωδία οι χωματερές και πολλά άλλα.

1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενής. Οι πρωτογενείς εκλύονται από την καύση υγρών και στερεών καυσίμων και είναι ο καπνός, το διοξείδιο του θείου (SO_2), ο μόλυβδος (Pb), ο αμίαντος κ.α. Οι δευτερογενείς προέρχονται από τους πρωτογενείς με την επίδραση του ηλιακού φωτός στο οξυγόνο (O_2) του αέρα. Τέτοιοι είναι το όζον (O_3) το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), οι αλδεΐδες, τα νιτρικά υπεροξυακετυλένια (PAN) κ.α. Όταν σε μια περιοχή επικρατούν το CO_2 , ο καπνός και τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται κυρίως από τις βιομηχανίες και τις κεντρικές θερμάνσεις, αναφερόμαστε στην αιθαλομίχλη η οποία δεν σχετίζεται με την επίδραση του ήλιου αλλά είναι ένας συνδυασμός καπνού και ομίχλης.

Η φωτοχημική ρύπανση είναι και αυτή μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που για το σχηματισμό της απαιτεί ατμοσφαιρικές συνθήκες άπνοιας και ηλιακής ακτινοβολίας και περιέχει οξείδια του αζώτου, όζον, υδρογονάνθρακες και δευτερογενείς ρύπους.

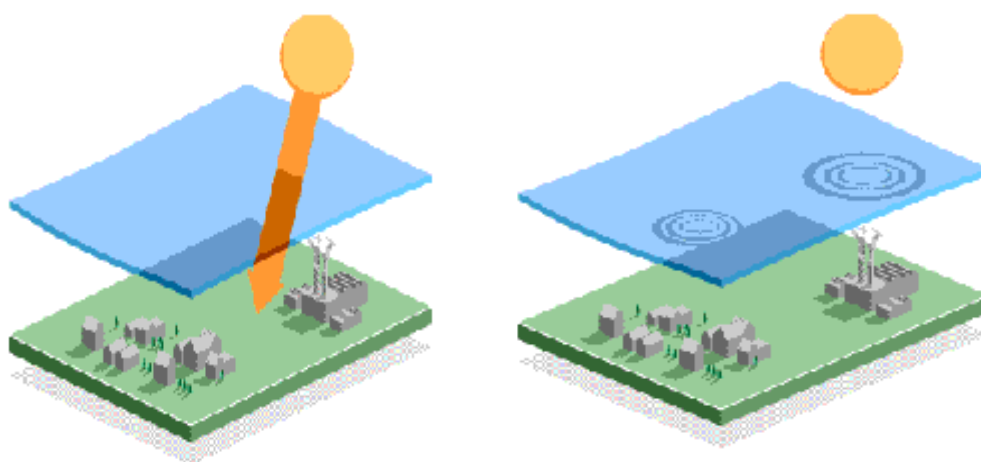
Τα οξείδια του αζώτου είναι τα βασικότερα συστατικά της που παράγονται στις ψηλές θερμοκρασίες των μηχανών εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων και των εργοστασίων, αλλά και από τη διύλιση καυσίμων. Το νέφος είναι δηλαδή αποτέλεσμα των λειτουργιών της πόλης και των παραγωγικών διαδικασιών σε σχέση με ειδικές αντίξοες τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες. Συνήθως οι δύο τύποι νέφους (αιθαλομίχλη, φωτοχημικό νέφος) συνυπάρχουν για ένα διάστημα, είναι το πιο αισθητό αποτέλεσμα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συνήθως βρίσκεται σε χαμηλό ύψος από την επιφάνεια της γης.

1.4 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο βοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας της γης κατά τη νύχτα. Κατά το φαινόμενο αυτό δημιουργείται ένα στρώμα από αέρια θερμοκηπίου κυρίως CO_2 και υδρατμούς που περιβάλλει τη γη. Το στρώμα αυτό αφήνει τις ακτίνες του ήλιου να εισέλθουν στην γήινη ατμόσφαιρα, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τη γη ενώ το υπόλοιπο εκπέμπεται. Στη συνέχεια το στρώμα

των αερίων απορροφά ένα τμήμα της ακτινοβολίας την οποία επανεκπέμπει προς το έδαφος με αποτέλεσμα να θερμαίνεται η γη.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες το φαινόμενο αυτό βοηθάει στην διατήρηση της ζωής του πλανήτη, όμως λόγω της υψηλής συγκέντρωσης CO₂ το στρώμα αυτό δεν αφήνει την ακτινοβολία να φύγει προς το διάστημα με αποτέλεσμα την βαθμιαία αλλά συνεχή άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη. Ως αποτέλεσμα αυτού δημιουργείται μια αστάθεια στην ισορροπία του πλανήτη με το λιώσιμο των πάγων των πόλων και την αύξηση της στάθμης των υδάτων.



Σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

1.5 Η τρύπα του όζοντος

Ενώ στη γη το όζον αποτελεί ρυπαντή, στην ατμόσφαιρα η συγκέντρωσή του σε μεγάλα στρώματα έχει προστατευτική επίδραση για τους ανθρώπους, γιατί απορροφά και προστατεύει κατά συνέπεια την γη από τις καρκινογόνες υπεριώδης ακτινοβολίες. Τον τελευταίο αιώνα λόγω της ανάπτυξης της βιομηχανίας, της πληθυσμιακής αύξησης και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου γίνεται αλόγιστη χρήση χημικών όπως είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs).

Τα χημικά αυτά συνεισφέρουν στο φαινόμενο της τρύπας του όζοντος δηλαδή της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος που γίνεται εμφανής στην Ανταρκτική την άνοιξη από το 1975. Εκτός από τους χλωροφθοράνθρακες, τα οξειδία του αζώτου και τα άτομα του βρώμιου είναι βλαβερά για το όζον.

Η μείωση του όζοντος είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του πλανήτη διότι η υπεριώδης και υπέρυθη ακτινοβολία που εισέρχεται σε μεγαλύτερο βαθμό από το

φυσιολογικό βλάπτει όλες της μορφές ζωής επηρεάζοντας τη δομή των κυττάρων και το DNA και ταυτόχρονα ανεβάζει επικίνδυνα τη θερμοκρασία του πλανήτη.

Το 1987 υπεγράφη το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ από 46 χώρες που συμφώνησαν να μειώσουν την παραγωγή χλωροφθορανθράκων κατά 50% μέχρι το 1999. Η ΕΟΚ και οι ΗΠΑ συμφώνησαν την ολοκληρωτική κατάργησή τους το 2000. Αμέσως μετά την υπογραφή του πρωτοκόλλου η ΝΑΣΑ ανακοίνωσε τα συμπεράσματα από έρευνα που έγινε με ειδικά εφοδιασμένο αεροπλάνο που πέταξε πάνω από την Ανταρκτική και τα οποία είχαν ως εξής: Η "τρύπα" είχε περίπου το μέγεθος των ΗΠΑ. Στο κέντρο της και σε ορισμένα σημεία η καταστροφή του όζοντος έφτανε τα 97.5%. Το μονοξειδίο του χλωρίου (ClO) το οποίο είναι ένα από τα προϊόντα διάσπασης των CFCs μετρήθηκε σε ποσότητες χιλιαπλάσιες των κανονικών. Τα συγκεκριμένα στοιχεία για να διαφύγουν από το στρώμα του όζοντος χρειάζονται περίπου 20 χρόνια. Επόμενος και να σταματήσει τώρα η εκπομπή των CFCs, η ζημιά θα συνεχιστεί για πάρα πολύ καιρό ακόμα. Υπολογίζεται ότι κάθε μείωση του στρώματος του όζοντος κατά 1% αυξάνει τα περιστατικά καρκίνου του δέρματος κατά 2% και τα ποσοστά καταρράκτη στο μάτι κατά 0,6%.



Σχήμα 1.2 Η τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική όπως αυτή φαίνονταν από τον δορυφόρο της NASA, Nimbus 7 στις 5 Οκτωβρίου του 1987.

1.6 Μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος

Ενώ παλαιότερες θεωρίες και μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης ανέφεραν ότι εφόσον συνεχιστεί ο υπάρχον ρυθμός ανάπτυξης θα οδηγηθούμε μακροπρόθεσμα σε καταστροφή και μαρασμό της κοινωνίας και του πολιτισμού μας σαν επακόλουθο της υποβάθμισης του

περιβάλλοντος, οι επιστήμονες συγκλίνουν πλέον στο εξής συμπέρασμα: Οι νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται θα δώσουν την δυνατότητα εφόσον πράγματι ευαισθητοποιηθεί περιβαλλοντικά η διεθνής κοινότητα, όχι μόνο να προστατευθεί το περιβάλλον στα πλαίσια της συνεχούς ανάπτυξης και της συνεχούς ανόδου των οικονομικών και παραγωγικών δεικτών, αλλά ακόμη και να βελτιωθεί η υπάρχουσα κατάσταση μέσω της αποκατάστασης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ρύπανσης.

Προϋπόθεση βέβαια για την πραγματοποίηση των παραπάνω, είναι ένα σημαντικό μέρος των κερδών που φέρνει η ανάπτυξη να διατίθεται και να επενδύεται για την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βιομηχανίες και οι επιχειρήσεις είναι οι κύριοι φορείς που θα πρέπει να συμβάλλουν μέσα από τον επιχειρηματικό σχεδιασμό τους στην προστασία του περιβάλλοντος. Είναι πλέον κυριαρχούσα περιβαλλοντική προτεραιότητα, ο περιορισμός της ρύπανσης να γίνεται στην «πηγή» παραγωγής της. Με άλλα λόγια είναι πολύ πιο οικονομικό και αποδοτικότερο τεχνολογικά να χρησιμοποιήσει κανείς «καθαρές» μεθόδους παραγωγής με περιορισμένη ή και μηδενική ρύπανση παρά να προσπαθήσει στην συνέχεια να την μειώσει μέσω άλλων τεχνολογικών μέτρων (π.χ. φίλτρα, βιολογικούς καθαρισμούς κλπ.). Παράλληλα, είναι τεχνοοικονομικά πολύ πιο συμφέρον ο σχεδιασμός των προϊόντων να λαμβάνει από την αρχή περιβαλλοντικά κριτήρια υπ' όψη του (π.χ. δυνατότητες ανακύκλωσης του προϊόντος και της συσκευασίας, επαναχρησιμοποίηση κλπ.) παρά να αναζητούνται λύσεις μετά την παραγωγή και διάθεση των προϊόντων. Σημαντική λοιπόν είναι η χρήση των βέλτιστων τεχνολογιών παραγωγής (*BAT-Best Available Technologies*). Για την βελτίωση των τεχνολογιών παραγωγής χρησιμοποιείται και η μέθοδος εκτίμησης του κύκλου ζωής των προϊόντων (*Life Cycle Assessment-LCA*), με την χρήση της οποίας πραγματοποιείται σχεδιασμός και παραγωγή προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον.

Ο υπερπληθυσμός και η υπερεκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών, χωρίς την λήψη δράσεων και προγραμματισμένων επεμβάσεων, θα μπορούσαν να οδηγήσουν μακροπρόθεσμα στην εξάντλησή τους, πράγμα που θα επέφερε σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, μεγάλη οικονομική ύφεση, μεγάλη μείωση των εισοδημάτων, αύξηση της φτώχειας, της ανεργίας και εν τέλει ακόμη και καταστροφή ή μαρασμό του πολιτισμού μας. Μόνο η ραγδαία ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνολογίας μπορεί να διασώσει την κοινωνία από μια τέτοια κατάληξη. Η δυνατότητα να στραφούμε σε νέους εναλλακτικούς και καινοτομικούς πόρους και πηγές ενέργειας (π.χ. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) είναι η λύση στο πρόβλημα της εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πλουτοπαραγωγικών πηγών. Προϋπόθεση γι' αυτό είναι βέβαια η κοινωνία μας, όχι μόνο να εντοπίσει το πρόβλημα, αλλά και να συναινέσει σε πρακτικές λύσεις που να δίνουν κίνητρα προς την κατεύθυνση αυτή, αλλά και παράλληλα να ευαισθητοποιηθούν όλοι οι φορείς, αλλά και ο κάθε πολίτης στο

πρόβλημα, μέσω ανάλογων προγραμμάτων ενημέρωσης, έτσι ώστε ο καθένας να μπορεί να συμβάλλει με τον τρόπο του σε αυτό. Ακόμη και το κάθε άτομο ξεχωριστά, με το να συμμετέχει για παράδειγμα σε προγράμματα ανακύκλωσης και σωστής περιβαλλοντικής συμπεριφοράς, μπορεί να επηρεάσει στην επίλυση του προβλήματος.

Οι νέες τεχνολογίες μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα σε τέτοιο βαθμό (π.χ. παραγωγή ειδών διατροφής, μεγαλύτερη εκμετάλλευση καλλιεργήσιμων εδαφών, ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών καλλιεργειών κλπ.) ώστε ο υπερπληθυσμός να μην αποτελέσει πρόβλημα και όχι μόνο να μην πέσει το βιοτικό επίπεδο, αλλά αντίθετα να έχουμε συνεχή βελτίωση του και μείωση της φτώχειας.

1.7 Διεθνή πρότυπα (International Organization for Standardization–ISO)

Η παγκόσμια αύξηση του ενδιαφέροντος για οικολογική βιομηχανική παραγωγή, έχει καταστήσει αναγκαία την εισαγωγή προτύπων στα πλαίσια των οποίων θα πρέπει να κινούνται όλες οι βιομηχανίες. Η ύπαρξη ενός μη εναρμονισμένου πακέτου προτύπων για όμοιες τεχνολογίες σε διαφορετικές χώρες ή περιοχές, συμβάλλει στην παρεμπόδιση του διεθνούς εμπορίου. Οι εξαγωγικές βιομηχανίες γνωρίζουν την ανάγκη δημιουργίας διεθνών προτύπων τα οποία βοηθούν στην διακίνηση των προϊόντων μεταξύ των χωρών του κόσμου.

Τα πρότυπα είναι έγγραφες συμφωνίες που περιέχουν τεχνικές προδιαγραφές ή άλλα συγκεκριμένα κριτήρια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κανόνες, οδηγοί αποφάσεων ή διαδικασίες, για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών, ώστε να διασφαλίζεται ότι τα υλικά, τα προϊόντα, οι διαδικασίες και οι υπηρεσίες είναι κατάλληλες για το σκοπό τους. Τα διεθνή πρότυπα συμβάλουν στην απλούστευση της ζωής και στην αύξηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας των αγαθών και των υπηρεσιών.

Τα διεθνή πρότυπα έχουν δημιουργηθεί από μια μη κυβερνητική οργάνωση, με την ονομασία **ISO (International Organization for Standardization)**. Η συγκεκριμένη οργάνωση ιδρύθηκε το 1947. Στόχος των διεθνών προτύπων ISO είναι να αναδείξουν την ανάπτυξη της προτυποποίησης και άλλων συσχετιζόμενων δραστηριοτήτων, με σκοπό τη διευκόλυνση των διεθνών ανταλλαγών σε προϊόντα και υπηρεσίες και στην ανάπτυξη συνεργασίας σε πνευματικό, επιστημονικό, τεχνολογικό και οικονομικό επίπεδο.

Υπάρχουν πολλές οικογένειες ISO, οι σημαντικότερες είναι οι ISO9000 και ISO14000. Το ISO9000 αφορά κυρίως στην ποιότητα των προϊόντων και διασφαλίζει ότι τα χαρακτηριστικά του προϊόντος (ή της υπηρεσίας) εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του πελάτη. Το ISO14000 αφορά κυρίως στην περιβαλλοντολογική επίδραση που έχουν οι διαδικασίες παραγωγής και τα προϊόντα και έχει ως στόχο τη μείωση των επιβλαβών αποτελεσμάτων της βιομηχανικής δραστηριότητας στο περιβάλλον.

Το ISO 14000 περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες:

- **Διαχείριση Συστημάτων:** Ανάπτυξη συστημάτων και ολοκλήρωση καθώς και εισαγωγή περιβαλλοντολογικού ενδιαφέροντος στη περιοχή της επιχείρησης.
- **Λειτουργίες:** Χρησιμοποίηση φυσικών πόρων, κατανάλωση ενέργειας, και διάφορες επιδράσεις.
- **Περιβαλλοντολογικά Συνδεδεμένα Συστήματα:** Για μετρήσεις, εκτιμήσεις, και διαχείριση εκροών, υδάτων υπονόμων, και παρόμοιων ροών αποβλήτων.

Μια βιομηχανία που ακολουθεί τα διεθνή πρότυπα ISO 14000 έχει την βεβαιότητα ότι ακολουθεί την νομοθεσία. Τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι άμεσα συνδεδεμένα με την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων γι' αυτό και κατά κανόνα γίνονται θετικά αποδεκτά από αυτούς. Με τα προγράμματα αυτά οργανώνονται επιχειρήσεις, με τρόπο τέτοιο ώστε να αποφεύγονται περιβαλλοντικά ατυχήματα (π.χ. εκρήξεις, χημικά ατυχήματα κλπ.) αλλά ακόμα και για την περίπτωση που αυτά παρ' ελπίδα συμβούν, να υπάρχουν άμεσοι και προγραμματισμένοι τρόποι αντίδρασης, τμήμα ενός σωστού, περιβαλλοντικά προσανατολισμένου σχεδιασμού των επιχειρησιακών διαδικασιών.

1.8 Επίλογος

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι είναι δυνατή η συνέχιση του αλματώδους ρυθμού ανάπτυξης στα πλαίσια της αειφορίας, εφόσον χρησιμοποιηθεί η διαρκώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία για τον σκοπό αυτό. Ένα μέρος των οικονομικών πόρων που θα προκύψουν από την συνεχιζόμενη ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου θα μπορούσε να καλύψει το κόστος, είναι σημαντικό όμως η περιβαλλοντική ευαισθησία να αποτελέσει συνείδηση, όχι μόνο των πολιτών του κόσμου, αλλά και των κυβερνήσεων τους, έτσι ώστε να συναινέσουν στη διαμόρφωση και υλοποίηση μιας παγκόσμιας αποδεκτής περιβαλλοντικής πολιτικής. Βέβαια το κράτος μπορεί και είναι απαραίτητο με την πολιτική που ακολουθεί να συνεισφέρει

αποφασιστικά σε αυτό δίδοντας κίνητρα (μέσω ανάλογων νομοθετημάτων) στις επιχειρήσεις να αναπτυχθούν με τον τρόπο αυτό.

Επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω είναι αναγκαία η διάθεση προϊόντων στην αγορά, που είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μην συμβάλλουν καθόλου ή να συμβάλλουν όσο το δυνατόν λιγότερο, λόγω της παραγωγής, της χρήσης ή της τελικής τους διάθεσης, στην αύξηση της ποσότητας ή της βλαπτικότητας των αποβλήτων και των κινδύνων ρύπανσης. Στον σχεδιασμό των προϊόντων πρέπει επίσης να επιζητείται και η μείωση της δαπανώμενης ενέργειας και των πρώτων υλών. Πιο συγκεκριμένα τα αποθέματα σε υγρά και σε στερεά καύσιμα μειώνονται συνεχώς. Η παραπάνω μείωση, όπως είναι φυσικό προκαλεί το παγκόσμιο ενδιαφέρον. Η χρήση αναλώσιμων πηγών ενέργειας όπως άνεμος, νερό και ηλιακή ενέργεια συχνά αντιμετωπίζει πολλά εμπόδια. Υπολογίζεται ότι στις επόμενες δεκαετίες θα έχουν εξαντληθεί όλες οι πρώτες ύλες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Τα ορυκτά καύσιμα κατά την καύση τους δημιουργούν ρύπους βλαβερούς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, με τη δημιουργία επικίνδυνων φαινομένων για την ισορροπία του πλανήτη με κυριότερα την όξινη βροχή την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Βέβαια τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι πολύ περισσότερα και πολλές φορές δεν γίνονται αντιληπτά. Η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί πολύ και τα τελευταία χρόνια οι ρύποι έχουν μειωθεί δραστικά με τη χρήση διάφορων καταλυτών και τεχνολογιών, όμως οι ρύποι δεν θα πάνε ποτέ να υπάρχουν εάν δεν κατευθυνθούμε σε εναλλακτικές και κυρίως ήπιες(αβλαβείς) μορφές ενέργειας.

Με τη χρήση των ήπιων μορφών ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδραυλική, βιομάζα, γεωθερμία κ.α.) που ως επί το πλείστον είναι ανανεώσιμες περιορίζουμε το πρόβλημα της εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων (αργό πετρέλαιο, λιθάνθρακας). Η αυξανόμενη χρήση του πετρελαίου για την κάλυψη των διογκούμενων αναγκών του πλανήτη έχει δημιουργήσει ανησυχία για το χρονικό διάστημα για το οποίο η γη θα μπορεί να μας προμηθεύει με το πολύτιμο αυτό καύσιμο. Οι προβλέψεις διαφέρουν και δεν υπάρχει μια κοινά αποδεκτή

απάντηση. Το χρονικό φάσμα για το πότε θα φτάσουμε το ζενίθ της παραγωγής αργού πετρελαίου κυμαίνεται από 5 ως 30 χρόνια. Πάντως σύμφωνα με τον οικονομολόγο Ρόμπερτ Κάουφμαν , από το Πανεπιστήμιο της Βοστώνης , «Στη διάρκεια της ζωής μας η παραγωγή πετρελαίου χαμηλού κόστους θα φτάσει στα όρια της».

2.2 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό) μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε αυτόνομα (ανεξάρτητα δηλαδή από το δίκτυο της ΔΕΗ), είτε σε συνεργασία με το δίκτυο (μειώνοντας τις απώλειες, απαλύνοντας τις αιχμές φορτίου και βοηθώντας στην αποτροπή black-out).

Μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν και ως συστήματα αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS), παρέχοντας ασφάλεια τροφοδοσίας σε επιχειρήσεις και διασφαλίζοντας ότι αυτές δεν θα υποστούν σοβαρές ζημιές σε περίπτωση διακοπής ή black-out.

Τα Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα αποτελούν μακροπρόθεσμα μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί έχουν την δυνατότητα να ενταχθούν σε όλους τους χώρους, όπως σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα, κεντρικά διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα και Φ/Β ενσωματωμένα στα κτίρια (BIPV – Building Integrated Photovoltaics) παράγοντας ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο. Σημαντικότερα πλεονεκτήματα αποτελούν: η δυνατότητα εξεύρεσης αισθητικών λύσεων που δεν επιβαρύνουν ιδιαίτερα το περιβάλλον και η επεκτασιμότητα των Φ/Β συστημάτων. Ο κλάδος των Φωτοβολταϊκών (Φ/Β) είναι μια από τις γρηγορότερα αναπτυσσόμενες βιομηχανίες αυτή τη στιγμή, ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η αύξηση της παραγωγής φωτοβολταϊκών το 2004 σε σχέση με το 2003 ήταν 60%. Τα τελευταία πέντε χρόνια, η παραγωγή και οι εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν αυξηθεί σταθερά, κατά έναν μέσο όρο 40% ετησίως.

Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,12 κιλών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μίγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν

το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Ένα κιλοβάτ φωτοβολταϊκών παράγει κατά μέσο όρο στην Ελλάδα 1.300 κιλοβατώρες το χρόνο και, έτσι, αποτρέπεται η έκλυση 1.450 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή απορροφούν ετησίως 2 περίπου στρέμματα δάσους ή αλλιώς 100 δέντρα.

Τα φωτοβολταϊκά εγγυώνται: μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια), ανεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, ελάχιστη συντήρηση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά, υποκαθιστώντας άλλα παραδοσιακά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις). Κατ' αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται χρήματα και φυσικοί πόροι. Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων σε προσόψεις εμπορικών κτιρίων, διατίθενται σήμερα διαφανή φωτοβολταϊκά με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεψιμότητας (low-e), τα οποία επιτυγχάνουν (πέραν της ηλεκτροπαραγωγής) και εξοικονόμηση ενέργειας 15-30% σε σχέση με ένα κτίριο με συμβατικά υαλοστάσια.

Εκτός από τα φωτοβολταϊκά συστήματα η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιήτε πόλλα χρόνια για απεύθείας θέρμανση νερού χωρίς τη μετατροπή της σε ηλεκτρισμό (ηλιακοί θερμοσίφονες κ.α.) που είναι ένας αποδοτικότερος τρόπος χρήσης της στον τομέα της θέρμανσης.



Σχήμα 2.1 Συστοιχία φωτοβολταϊκών στην οροφή κτιρίου.

2.3 Αιολική ενέργεια

Οι μετακινήσεις του αέρα, οι άνεμοι, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης

οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο. Αυτή η ενέργεια, η αιολική (ο Αίολος ήταν ο “διαχειριστής” των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80, όταν προκλήθηκε η πρώτη πετρελαϊκή κρίση και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια.

Η αιολική ενέργεια και ανεξάντλητη ως ανανεώσιμη είναι (αφού ο ήλιος θα φροντίζει πάντα να υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των διάφορων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι), και καθαρή, “φιλική” προς το περιβάλλον (αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει).

Περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην Γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, η οποία υπολογίζεται σε 3,6 δις μεγαβάτ. Η ενέργεια αυτή είναι τεράστια συγκρινόμενη με τις ανάγκες της ανθρωπότητας.

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν συνολικά αιολικά πάρκα εγκατεστημένος ισχύος 300μεγαβάτ. Στην Κρήτη την περίοδο 2000-2002 η αιολική ενέργεια κάλυψε 10% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, ισχύος 10 μεγαβάτ, προσφέρει ετησίως την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται 7250 νοικοκυριά (με βάση την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2002) και εξοικονομεί περίπου 580 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Μια συνηθισμένη ανεμογεννήτρια των 750 κιλοβάτ παράγει κατά μέσο όρο στην Ελλάδα 2,25 εκατομμύρια κιλοβατώρες το χρόνο, και έτσι αποτρέπεται η έκλυση 2250 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή απορροφούν ετησίως 3000 στρέμματα δάσους ή αλλιώς 150.000 δέντρα.



Σχήμα 2.2 Αιολικό πάρκο

2.4 Υδραυλική ενέργεια

Όπως όλα τα σώματα που κινούνται, έτσι και τα νερά που προέρχονται από το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού ή τη βροχή που πέφτει σε μεγάλο υψόμετρο, έχουν ενέργεια καθώς κατεβαίνουν προς χαμηλότερες περιοχές. Όμως, όταν η κάθοδός τους γίνεται από πολλά σημεία και συνεχώς, δεν είναι εύκολο ή δυνατό να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια. Αντίθετα, συγκεντρώνοντας τα νερά σε τεχνητές λίμνες (ταμιευτήρες) σε μεγάλο υψόμετρο, στην ουσία αποθηκεύουμε την ενέργειά τους.

Αφήνοντάς τα, στη συνέχεια, να ρέουν μέσα σε αγωγούς με ταχύτητα (λόγω της διαφοράς του υψομέτρου) προς χαμηλότερες περιοχές, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αυτή την αποθηκευμένη ενέργεια, μετατρέποντάς τη σε άλλη μορφή ενέργειας.

Πραγματικά, το νερό, πέφτοντας με ταχύτητα, είναι δυνατό να περιστρέψει μεγάλους τροχούς που έχουν πτερύγια στην περιφέρειά τους (υδροτροβίλους). Αυτή την περιστροφή είχε εκμεταλλευτεί από παλιά ο άνθρωπος για τη λειτουργία των νερόμυλων, κυρίως, που άλεθαν τα σιτηρά. Ακόμα και σήμερα υπάρχουν παραδοσιακές εγκαταστάσεις που λειτουργούν με το νερό μικρών ταμιευτήρων ή/και το νερό υδατορευμάτων, που βρίσκονται σε κάποιο υψόμετρο.

Στις μέρες μας το νερό των ταμιευτήρων, που συνήθως δημιουργούνται με τεχνητά φράγματα, χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Στη χώρα μας, όπου τα νερά δεν είναι άφθονα, οι υδατοταμιευτήρες δεν είναι δυνατό να τροφοδοτούν συνεχώς με νερό τους σταθμούς

παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν μόνο μερικές ώρες της ημέρας, τις ώρες αιχμής όπως λέγονται, όταν δηλαδή χρειαζόμαστε πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια.



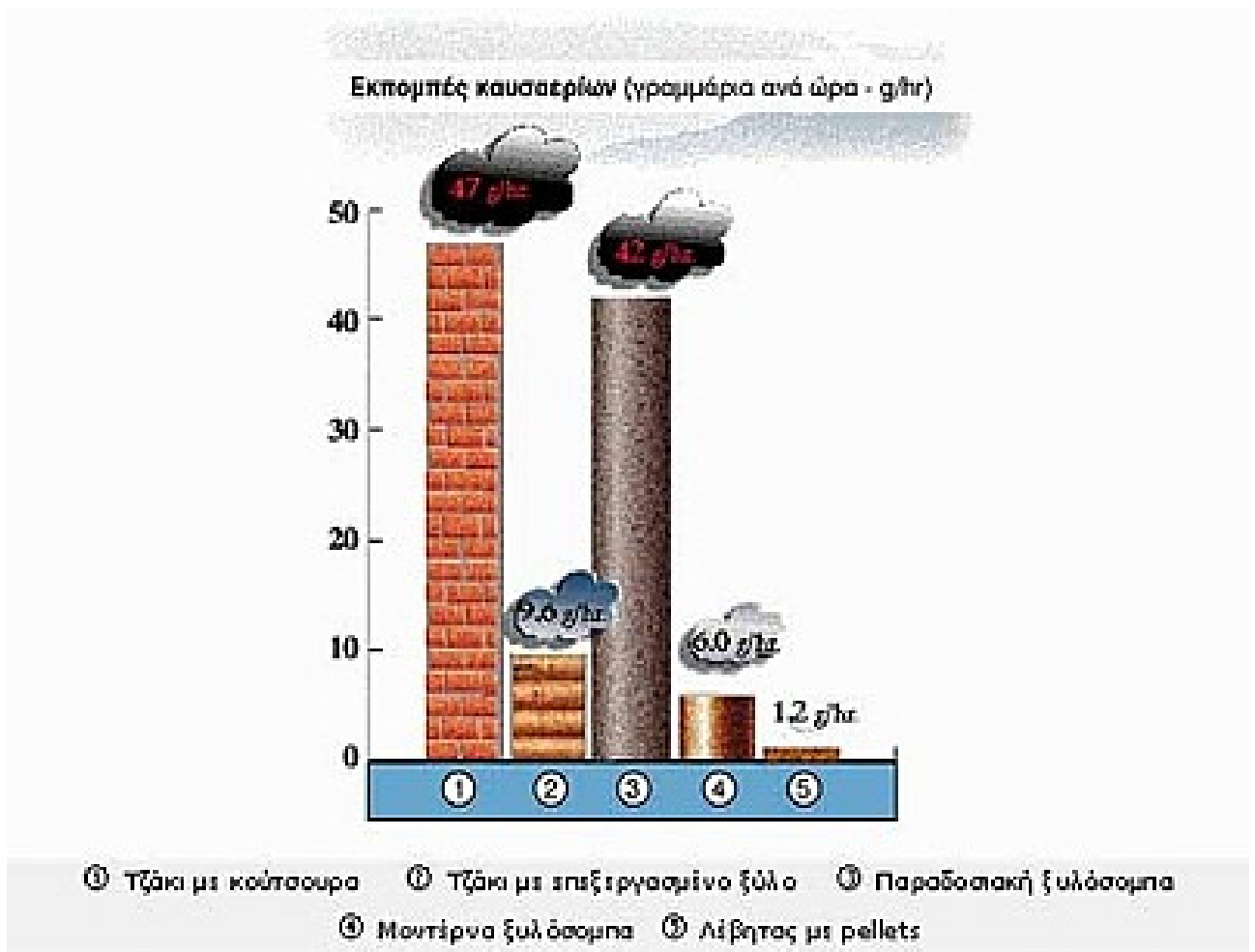
Σχήμα 2.3 Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο

2.5 Βιομάζα

Οι σύγχρονες τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας έχουν εξελιχθεί τόσο, που πλέον αποτελούν μια αξιόπιστη και ανταγωνιστική επιλογή, όχι μόνο σε επίπεδο κατοικίας, αλλά και σε ένα ευρύ φάσμα επιχειρηματικών δραστηριοτήτων. Εκτός από τα γνωστά καυσόξυλα, η χρήση της βιομάζας γίνεται συνήθως με την καύση θρυμμάτων ξύλου (wood chips) ή συσσωματωμάτων (pellets, μικρά πεπιεσμένα κομμάτια από σκόνη ξύλου ή αγροτικά παραπροϊόντα) σε σύγχρονους λέβητες υψηλής τεχνολογίας, με αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη παροχή αέρα, οι οποίοι είναι σε θέση να αποδώσουν περισσότερο από το 90% της ενέργειας που περιέχεται στο ξύλο για θέρμανση.

Τα πιο εξελιγμένα συστήματα διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού των επιφανειών εναλλακτών θερμότητας και αυτόματη απομάκρυνση της στάχτης, ενώ ορισμένα μοντέλα συμπιέζουν τις στάχτες, ώστε το καθάρισμα να είναι αναγκαίο μόνο δύο φορές το χρόνο. Οι σύγχρονοι λέβητες ξύλου δεν παράγουν ορατό καπνό και οι εκπομπές τους είναι πολύ χαμηλές.

Το βασικό πλεονέκτημα των εφαρμογών βιομάζας, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο, αέριο), πέραν του ανανεώσιμου χαρακτήρα τους, είναι πως είναι «ουδέτερες» ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), δε συμβάλλουν δηλαδή στην αποσταθεροποίηση του κλίματος, μιας και οι όποιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση της βιομάζας «ισοσκελίζονται» από ισοδύναμες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που απορροφήθηκαν από τα φυτά στη διάρκεια της ζωής τους.



Σχήμα 2.4 Εκπομπές καυσαερίων από διάφορες θερμαντικές συσκευές

Η εμπειρία των ευρωπαϊκών χωρών έδειξε ότι η χρήση βιομάζας είναι τελικά φθηνότερη για τον καταναλωτή από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Οι σύγχρονοι λέβητες βιομάζας αποδεικνύονται, για παράδειγμα, έως 20% φθηνότεροι από τους αντίστοιχους λέβητες πετρελαίου στην Αυστρία και έως 55% φθηνότεροι στη Δανία, όπως έδειξαν σχετικές έρευνες.

Παράλληλα, τα σύγχρονα συστήματα βιομάζας χρησιμοποιούνται ολοένα και συχνότερα σε υβριδικές εφαρμογές (π.χ. σε combisystems από κοινού με ηλιοθερμικά συστήματα), ενώ μπορούν να παράσχουν μία διέξοδο σε πολλούς αγρότες, οι οποίοι είτε μπορούν να στραφούν σε ενεργειακές καλλιέργειες είτε να αξιοποιήσουν τα αγροτικά και κτηνοτροφικά παραπροϊόντα που σήμερα θεωρούνται απόβλητα και η καταστροφή τους συνεπάγεται επιπλέον κόστος.



Σχήμα 2.5 Υλικό από βιομάζα για καύση σε ειδικό καυστήρα βιομάζας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

3.1 Εισαγωγή

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

Η Γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5000 °C στον πυρήνα. Η θερμότητα αυτή που περιέχεται στο εσωτερικό της γης και αποτελεί τη γεωθερμική ενέργεια είναι τόσο μεγάλη που θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητη για τα ανθρώπινα δεδομένα. Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής είναι εφικτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, εξασφαλίζουν ένα συγκριτικό οικονομικά αποτέλεσμα. Γεωθερμική ενέργεια περιέχεται και σε ξηρά θερμά πετρώματα σε μεγάλα βάθη, σε γεοπεπιεσμένους σχηματισμούς και σε λιωμένα πετρώματα (μάγματα), αλλά είναι δύσκολη η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Αντίθετα αναπτύσσεται συνεχώς η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας, από ρηχά ρευστά ή πετρώματα, έστω και αν έχουν μικρή θερμοκρασία.

Σε μερικές περιοχές της γης παρατηρούνται ασυνήθιστα υψηλές τιμές θερμικής ροής, δηλαδή μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης. Αυτές οι περιοχές έχουν προτεραιότητα στην γεωθερμική έρευνα και αξιοποίηση. Καθώς όμως δημιουργείται η ανάγκη για καινούργιες οικονομικότερες και ηπιότερες μορφές ενέργειας, λόγω της προοπτικής εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων αλλά και της ανάγκης προστασίας του περιβάλλοντος, αξιοποιούνται και περιοχές με μικρότερες θερμικές ανωμαλίες ή και χωρίς καμία θερμική ανωμαλία. Αρκεί μόνο να υπάρχουν αξιόλογες ποσότητες ρευστών σε σχετικά μικρά βάθη έως 3000m, που ορίζονται από το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων γεωθερμίας βάση των σημερινών οικονομικών δεδομένων.

Τα τελευταία χρόνια, ο ρόλος που διαδραματίζει η Γεωθερμία αυξάνεται συνεχώς, αφού η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια ανεξάντλητη και οικονομική μορφή ενέργειας, με πολλές και χρήσιμες εφαρμογές, με σχεδόν μηδενικές ή ήπιες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η εγκατεστημένη ισχύς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας (>150 °C) αυξήθηκε από 3887MWe το 1980 στα 7974MWe το 2000 και σήμερα πρέπει να ξεπερνά τα 11000MWe (Huttner 2001).

Ο μόνος περιοριστικός παράγοντας της εφαρμογής της γεωθερμίας είναι το γεγονός ότι τα γεωθερμικά ρευστά δεν μεταφέρονται μακριά από τον τόπο παραγωγής τους και πρέπει να αξιοποιηθούν στον τόπο παραγωγής τους. Αυτό αποθαρρύνει τις ανεπτυγμένες χώρες να επενδύσουν μεγάλα ποσά για την γεωθερμία. Οι γνώσεις μας για τον πλανήτη γη είναι

ουσιαστικά επιφανειακές και ό,τι γνωρίζουμε για το εσωτερικό του προέρχεται από έμμεσες πληροφορίες. Υποθέτουμε βέβαια ότι η γη είναι θερμή στο εσωτερικό της. Αυτό αποδεικνύεται περίτρανα από τα λωμένα πετρώματα (μάγματα), θερμοκρασίας μέχρι και 1200°C, τα οποία φτάνουν στην επιφάνεια με τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά επίσης ενδεικτικές της θερμότητας του εσωτερικού της γης, είναι οι υδροθερμικές εκρήξεις, οι θερμοπίδακες υπέρθερμου νερού (geysers), οι ατμίδες, τα θερμά εδάφη, οι θερμές πηγές και οι λεκάνες ιλύος. Η προέλευση της θερμότητας της γης δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες που αναφέρονται στους μηχανισμούς που συμμετέχουν στην παραγωγή της. Επικρατέστερη θεωρείται αυτή που αναφέρεται στη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου, του θορίου, του καλίου και άλλων στοιχείων.

Η μάζα της γης είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την επιφάνειά της και καλύπτεται από υλικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η θερμότητά της να συγκρατείται στο εσωτερικό της. Εμείς σήμερα μετράμε τη θερμοκρασία της γης κυρίως μέσα σε γεωτρήσεις και γνωρίζουμε ότι η θερμοκρασία αυξάνει με το βάθος, με μέσο ρυθμό 1°C για κάθε 30m ή καλύτερα 30°C ανά km. Ο ρυθμός αυτός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος καλείται γεωθερμική βαθμίδα. Η γεωθερμική βαθμίδα δεν είναι σταθερή σε όλα τα σημεία του πλανήτη, επειδή επηρεάζεται από διάφορους γεωλογικούς παράγοντες. Στις περιοχές, όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, έχουμε θετική γεωθερμική ανωμαλία και οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αναζήτηση και αξιοποίηση της γεωθερμίας.

3.2 Επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι σεισμοί είναι φαινόμενα τα οποία προκαλούν την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών καθώς και τη δημιουργία ρηγμάτων στον γήινο μανδύα, με την ταυτόχρονη ανοδική κίνηση του μάγματος και κυρίως των γεωθερμικών ρευστών προς την επιφάνεια της γης. Ως αποτέλεσμα αυτών μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας φτάνουν στην επιφάνεια της γης, σε σημείο που να είναι περισσότερο διαθέσιμη στον άνθρωπο. Πολλές φορές σε σεισμικά ενεργές περιοχές τα γεωθερμικά ρευστά φτάνουν στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργώντας κάποια φυσικά φαινόμενα και εκδηλώσεις.

Οι κυριότερες αυτών είναι:

1. Οι υδροθερμικοί ή φρεατικοί κρατήρες οι οποίοι σχηματίζονται με την έκρηξη που προκαλούν υπέρθερμα γεωθερμικά ρευστά που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε μικρό βάθος υπό πίεση και ανατινάζουν τα επιφανειακά πετρώματα. Τέτοιου είδους κρατήρες στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν στη Μήλο και στη Νίσυρο που ακόμα και σήμερα αναβλύζει ατμούς και θερμά αέρια.
2. Οι θερμές πηγές (hot springs) από τις οποίες αναβλύζει νερό σε θερμοκρασία περίπου στο σημείο ζέσεως του. Συνήθως η παροχή είναι μικρή διότι το περισσότερο νερό εγκλωβίζεται στο υπέδαφος και απαιτεί γεωθερμικές γεωτρήσεις. Υπάρχουν και περιοχές όπου η ποσότητα είναι μεγάλη όπως για παράδειγμα στην περιοχή των Θερμοπυλών με παροχή $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ οι οποίες αναβλύζουν από την εποχή του Λεωνίδα για 2500 χρόνια και φαίνεται η ανανεωσιμότητα της ενέργειας αυτής. Χαρακτηριστικό των θερμών πηγών είναι οι μεγάλες αποθέσεις αλάτων και η δημιουργία πετρωμάτων στα σημεία εκροής, με τη δημιουργία πολλές φορές αναβαθμίδων.
3. Οι θερμοπίδακες (geysers) οι οποίοι είναι πολύ σπάνιο φαινόμενο και δημιουργούνται από την κυκλοφορία υπέρθερμων νερών σε μικρό βάθος, τα οποία περιοδικά αποκτούν υψηλή πίεση και δημιουργείται έκρηξη νερού και υδρατμών που εκτινάσσονται αρκετά μέτρα από την επιφάνεια της γης.
4. Οι ατμίδες (fumaroles) οι οποίες είναι αναδύσεις υπέρθερμων ατμών χωρίς πίεση από ρωγμές και τρύπες του εδάφους με θερμοκρασία έως 600°C σε συνδυασμό με αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα και του θείου, υδρόθειο και άλλα ηφαιστειακά αέρια.
5. Οι λεκάνες ιλύος (mud pools) σχηματίζονται όταν δεν υπάρχει μεγάλη ροή και πίεση του νερού μια θερμής πηγής, ώστε να μεταφέρει μακριά τα αργιλοπυριτικά σωματίδια που συμπαρασύρονται από το νερό.
6. Αυτά συσσωρεύονται στην έξοδο ή τη λεκάνη της θερμικής εκδήλωσης, ενώ οι υδρατμοί, μαζί με τα μη συμπυκνώσιμα αέρια, συσσωρεύονται στην επιφάνεια της πηκτής ιλύος και σκάνε με χαρακτηριστικό ήχο. Οι θερμικοί αυτοί σχηματισμοί αποτελούν ενδιάμεσο τύπο μεταξύ ζέουσας θερμής πηγής και ατμίδας.
7. Τα θερμά εδάφη (hot grounds) σχηματίζονται από τη θερμική αγωγή των πετρωμάτων που παρεμβάλλονται μεταξύ μερικών σημείων της επιφάνειας της γης και των υποκείμενων αβαθών και πολύ θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες επιφάνειας έως 100°C . Τέτοιες περιοχές υπάρχουν στη μήλο και στη Νίσυρο καθώς και σε άλλα μέρη της Ελλάδας και συναντώνται συνήθως κοντά σε σημεία συνάντησης δύο ρηγμάτων.



Σχήμα 3.1 Ο θερμοπίδακας Old Faithful στο Yellowstone National Park, Η.Π.Α.

3.3 Γεωθερμική ενέργεια

Σε μερικές περιοχές, είτε λόγω ηφαιστειότητας σε πρόσφατη γεωλογική περίοδο, είτε λόγω ανόδου ζεστού νερού από μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, με αποτέλεσμα σε μικρό σχετικά βάθος να απαντώνται υδροφόροι ορίζοντες που περιέχουν νερό ή ατμό υψηλής θερμοκρασίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται γεωθερμικά πεδία, και εκεί η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι εξαιρετικά συμφέρουσα.

Ένα συνηθισμένο γεωθερμικό πεδίο αποτελείται από τρία κύρια μέρη: μια πηγή θερμότητας, έναν ταμιευτήρα και τα ρευστά, τα οποία είναι φορείς της θερμότητας.

Η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι μια μαγματική διείδυση (με θερμοκρασίες 600 έως 1200 °C), η οποία έφτασε σε σχετικά μικρά βάθη (3-10 km), είτε η κανονική θερμική ροή της γης, που δημιουργεί όλο και θερμότερους σχηματισμούς όσο πηγαίνουμε στο βάθος.

Ο ταμιευτήρας (reservoir) αποτελείται ουσιαστικά από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων, που επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών, τα οποία απάγουν θερμότητα.

Τα γεωθερμικά ρευστά είναι νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης (και σπάνια μαγματικής), σε υγρή ή αέρια φάση και συχνά περιέχουν σημαντικές ποσότητες

διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων. Η κατάσταση των γεωθερμικών ρευστών εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία τους.

Σήμερα αξιολογείται η υδροθερμική ενέργεια με τη μορφή θερμών ρευστών, η οποία είναι ένα μόνο μικρό μέρος της συνολικής γεωθερμικής ενέργειας. Σε ερευνητικό στάδιο βρίσκετε και η αξιοποίηση της ενέργειας των θερμών ξηρών πετρωμάτων, που όμως είναι πρακτικά μη αξιοποιήσιμη λόγω υψηλού κόστους με τα σημερινά τεχνικά δεδομένα.

Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει την εκμετάλλευση της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση και κλιματισμό. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου τοποθετημένης εντός του εδάφους, είτε εντός γεωτρήσεων και η οποία αποτελεί τον υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας, σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας η οποία παρέχει θέρμανση ή ψύξη στο κτήριο. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το 1/4 του ηλεκτρικού ρεύματος από μια ηλεκτρική αντίσταση και το 1/2 από ένα κλιματιστικό. Εάν υπολογιστεί το κόστος ενέργειας καθόλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στοιχίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

3.4 Συνθήκες που ευνοούν τη Γεωθερμία

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνειά της μέσω γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας υπέρθερμες περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από 700 c/Km. Το σημαντικότερο φαινόμενο είναι αυτό των λιθοσφαιρικών πλακών. Όπως γνωρίζουμε το εξωτερικό κέλυφος της γης αποτελείται από κομμάτια που ονομάζονται λιθοσφαιρικές πλάκες οι οποίες βρίσκονται σε διαρκή κίνηση με πολύ μικρή ταχύτητα μερικών εκατοστών το χρόνο. Κατά την κίνηση των πλακών παρατηρούνται τρία φαινόμενα.

1. Οι πλάκες αποκλίνουν δημιουργώντας ρήγμα που αναβλύζει μάγμα και γεμίζει το κενό δημιουργώντας τις λεγόμενες ράχες.
2. Οι πλάκες συγκλίνουν έτσι που η μια να βυθίζεται κάτω από την άλλη και τελικά να απορροφάται από το μανδύα ή να καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στα όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία εκτονώνεται με τη μορφή ηφαιστειακής δράσης. Έτσι δημιουργούνται οι τάφροι που καταστρέφεται η λιθόσφαιρα με το ρυθμό που δημιουργείται στις ράχες.

3. Οι δύο πλάκες γλιστρούν η μια παράλληλα στην άλλη με τρόπο που ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται λιθόσφαιρα.

Τόσο οι τάφροι όσο και οι ράχες συνδέονται με ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια με υπέρθερμες περιοχές. Γι αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές που ονομάζονται και ζώνες σεισμικών εστιών, και είναι τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών.

Περιοχές με μικρότερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, δηλαδή με γεωθερμική βαθμίδα λίγο υψηλότερη από τη μέση μπορεί να βρεθούν και εκτός των εν λόγω ζωνών. αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποιον από τους ακόλουθους παράγοντες.

1. Τοπικά υψηλή θερμική ροή από το μανδύα και τη βάση του φλοιού προς την επιφάνεια, σε μεγάλες περιοχές.
2. Αυξημένες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών στοιχείων ουρανίου, θορίου και καλίου σε ορισμένες περιοχές στο φλοιό της γης, που συντελούν στην παραγωγή θερμότητας και κατά συνέπεια στην αύξηση της γεωθερμικής βαθμίδας. Πετρώματα με αυξημένες αυτές τις συγκεντρώσεις είναι τα γρανιτικά με 5-10 ppm σε ουράνιο και 80 ppm σε θόριο.
3. Φαινόμενα συναγωγής που προκαλούνται από κυκλοφορία νερού διαμέσου πορωδών σχηματισμών ή μέσα από συστήματα ρηγμάτων. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται η θερμότητα σε μικρότερα βάθη και αυξάνεται η γεωθερμική βαθμίδα.
4. Σε μια περιοχή με δεδομένη θερμική ροή στη βάση του φλοιού και απουσία άλλης θερμής πηγής μέσα στο φλοιό, η γεωθερμική βαθμίδα ποικίλλει ανάλογα με τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων που αποτελούν το φλοιό. Τα αργιλικά πετρώματα έχουν τη χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα κρυσταλλικά χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμική αγωγιμότητα (περίπου 6 φορές αυτή των αργίλων) .

Σημαντικές γεωθερμικές ανωμαλίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, αντίθετα λόγω των παραπάνω μηχανισμών περιοχές με ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα συναντάμε σε όλη τη γη.

Δεδομένου ότι η θερμότητα του πλανήτη μας βρίσκεται στο εσωτερικό του, πρέπει να γίνουν γεωτρήσεις προκειμένου να προσπελαστεί στις ζώνες σεισμικών εστιών, θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να βρεθούν σε βάθη 2-3 km, ενώ σ' αυτά τα βάθη, σε περιοχές με μέση γεωθερμική βαθμίδα, οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες, ικανές μόνο για κάλυψη θερμικών αναγκών.

Σ' αυτές τις περιοχές χρειάζονται γεωτρήσεις βάθους 6-7 km για να βρεθούν θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά είναι και τα μέγιστα βάθη

γεωτρήσεων που πραγματοποιούνται επειδή οι βαθιές γεωτρήσεις κοστίζουν πολύ, δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλείς και επιπλέον σ' αυτά τα βάθη είναι πιθανόν να μη υπάρχει υδροφορία.

3.5 Γεωθερμικά συστήματα και πεδία

Ως γεωθερμικοί πόροι ορίζονται οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό αποτελείται από το σύνολο των γεωθερμικών ρευστών και ατμών καθώς και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που η θερμοκρασία τους υπερβαίνει τη μέση ετήσια θερμοκρασία της περιοχής.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική πηγή ενέργειας γήινης προέλευσης, σε ένα γεωλογικό χώρο που σχηματίζει στο σύνολό του ένα γεωθερμικό σύστημα. Γενικά οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμική ροή και η γεωθερμική τους βαθμίδα είναι ανώτερη από τις μέσες τιμές ($30\text{C}^\circ / \text{km}$). Η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι πολύ πιθανή σε περιοχές όπου υπάρχουν ρήγματα και ρωγμές στο φλοιό της γης και διευκολύνουν τις θερμές μάζες ρευστών και αερίων να αναδύονται από τα βαθύτερα στρώματα του φλοιού της γης. Οι καλύτερες περιοχές βρίσκονται μεταξύ των ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών όπου έχουμε και πολλές γεωθερμικές εκδηλώσεις.

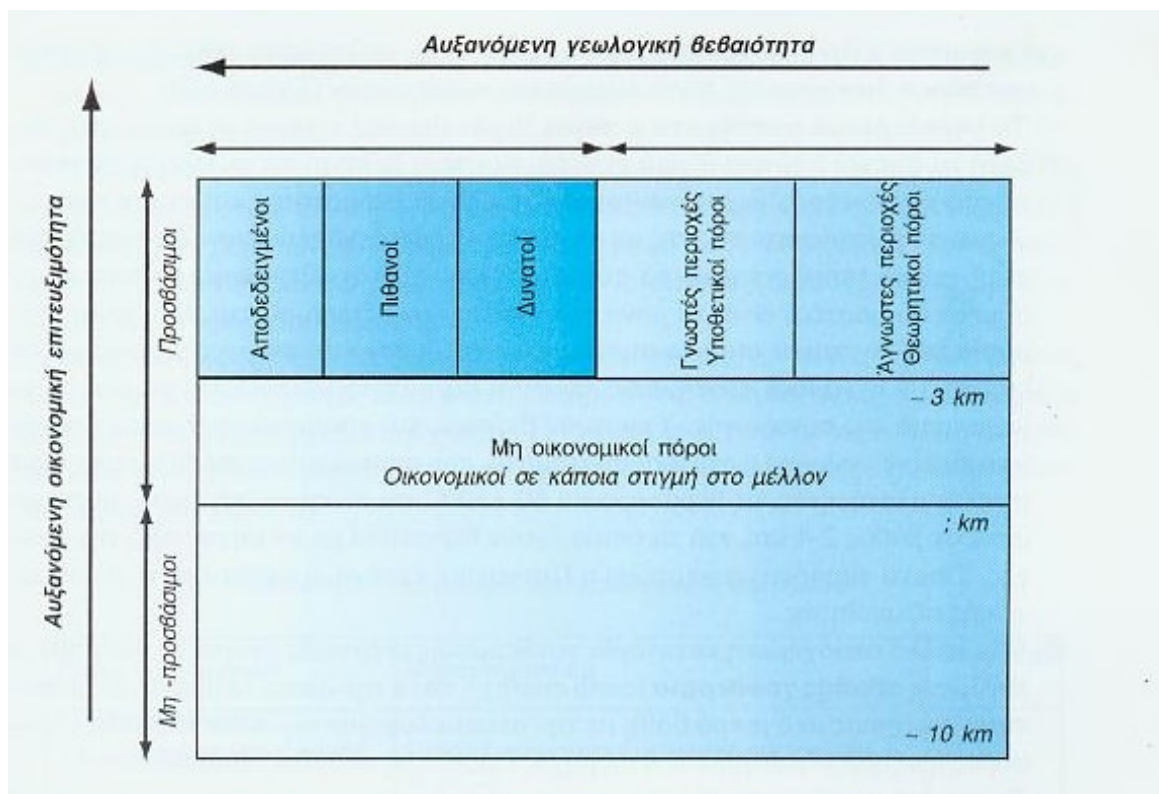
Για τη δημιουργία γεωθερμικών συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, τα γεωθερμικά ρευστά πρέπει να έχουν ικανοποιητική θερμοκρασία, να μην βρίσκονται σε πολύ μεγάλα βάθη και να έχουν καλά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, διότι οι γεωτρήσεις ανόρυξης των ρευστών είναι ιδιαίτερα δαπανηρές με γεωμετρική άνοδο του κόστους με την αύξηση του βάθους.

Για το λόγο αυτό όταν αναφερόμαστε σε γεωθερμικούς πόρους εννοούμε τους προσβάσιμους πόρους δηλαδή αυτούς που είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμοι ή μπορούν να γίνουν στο εγγύς μέλλον. Οι προσβάσιμοι και οικονομικοί πόροι διαχωρίζονται σε τυποποιημένους και σε μη ανακαλυφθέντες πόρους.

Οι προσβάσιμοι ή αλλιώς αποθέματα, είναι αυτοί που έχουν ανακαλυφθεί μετά από εμπειριστατωμένη έρευνα και μελέτη περιλαμβανομένων και ερευνητικών γεωτρήσεων. Διακρίνονται σε δυνατούς, πιθανούς και αποδεδειγμένους πόρους ανάλογα με πόσο σίγουροι είναι οι γεωλόγοι για τις εκτιμήσεις τους.

Το αξιοποιήσιμο προϊόν των γεωθερμικών ρευστών εκτός το ενεργειακό περιεχόμενο, μπορεί να είναι διάφορα ορυκτά (βορικά ή καλιούχα άλατα, ευγενή μέταλλα κτλ.) ή αέρια (μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα), τα οποία βρίσκονται διαλυμένα μέσα στην υγρή φάση των

ρευστών. Επίσης μετά τη χρήση της θερμότητας τους τα θερμομεταλλικά νερά χρησιμοποιούνται για τις ιαματικές τους ιδιότητες και τα γλυκά γεωθερμικά νερά για άρδευση και ύδρευση.



Σχήμα 3.2 Γραφική παράσταση των διαφόρων κατηγοριών γεωθερμικών πόρων.

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κ.α. Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων (πίνακας 3.1).

1. Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι, δηλαδή τα υπόγεια ρευστά που βρίσκονται στους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Είναι τα μόνα ουσιαστικά αξιοποιήσιμα συστήματα σήμερα γι' αυτό ταυτίζονται με το σύνολο των γεωθερμικών πεδίων. Ονομάζονται και συστήματα συναγωγής ή δυναμικά συστήματα λόγω του τρόπου μετάδοσης της θερμότητας.
2. Υπάρχουν και κάποια συστήματα αγωγής ή στατικά που αποτελούνται συνήθως από νερό υψηλής αλατότητας 60-150 C° σε κανονική πίεση, παγιδευμένα σε βάθος 2-4 km, τα οποία έχουν θερμανθεί με το μηχανισμό της αγωγής π.χ. η Παννονική λεκάνη στην Ουγγαρία.

3. Η αβαθής γεωθερμία, κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή ξηρές γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων.
4. Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα, τα οποία αποτελούνται από ρευστά περιορισμένα σε μεγάλο βάθος από μη περατά πετρώματα, με πίεση μεγαλύτερη της υδροστατικής και συνυπάρχουν με υδρογονάνθρακες.
5. Τα συστήματα βαθέων θερμών ξηρών πετρωμάτων, δηλαδή θερμά πετρώματα σε βάθος από 3 έως 10 km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια με νερό που διοχετεύεται από κατάλληλες γεωτρήσεις και ανακτάται θερμότερο από άλλες γεωτρήσεις.
6. Τα μαγματικά συστήματα αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις σε μικρό βάθος.

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

Πίνακας 3.1 Ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων

Τα υδροθερμικά συστήματα ταξινομούνται βάση της ενθαλπίας των γεωθερμικών ρευστών η οποία χρησιμοποιείται για να εκφράσει το θερμικό τους περιεχόμενο. Έτσι έχουμε τα συστήματα υψηλής ενθαλπίας ή θερμοκρασίας με θερμοκρασία πάνω από 150C°, μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασία 90 έως 150C° και χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασία μικρότερη από 90C°. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται διότι με ρευστά κάτω από 150C° δεν μπορούμε να παράγουμε εύκολα ηλεκτρική ενέργεια. αλλά και λόγω του ότι τα συστήματα χαμηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιετίες σε λουτροθεραπείες.

Τα συστήματα νερού είναι τα συνηθέστερα και παράγουν ανάλογα με τις συνθήκες θερμό νερό ή ατμό. Η εστία θέρμανσης είναι πρόσφατα λιωμένο ή στερεοποιημένο πέτρωμα σε βάθος 3-10 km. Τα νερά που κυκλοφορούν εμπλουτίζονται με NaCl και άλλα στοιχεία με μείωση του Mg.

Για να έχει ένα σύστημα θερμού νερού οικονομικό ενδιαφέρον για άμεση χρήση πρέπει ο ταμιευτήρας να βρίσκεται σε βάθος το πολύ 2km με παροχή νερού πάνω από 100m³/h και περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη από 50 g/L.

Τα κυριότερα συστήματα νερού που αξιοποιούνται είναι στη λεκάνη του Παρισιού, στην Παννονική λεκάνη της Ουγγαρίας, το Klamath Falls στις ΗΠΑ και στην κοιλάδα του ποταμού Πάδου στην Ιταλία. Το 90% των υδροθερμικών συστημάτων που αξιοποιούνται είναι συστήματα μίγματος νερού ατμού που περιέχουν πολλά άλατα και προκαλούν συχνά προβλήματα επικαθίσεων στις σωληνώσεις και διάβρωσης.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα πεδία της Μήλου και της Νισύρου. Στα συστήματα ατμού, συνυπάρχουν το νερό και ο ατμός αλλά από την επιφάνεια εξέρχεται μόνο υπέρθερμος ή ξηρός ατμός. Τα συστήματα αυτά είναι σπάνια και αρκετά έχουν αξιοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως, τα πεδία Larderello και Monte Amiata (Ιταλία), The Geysers (ΗΠΑ), Kamojang και Darajat (Ινδονησία), και Matsukawa (Ιαπωνία).

Στα συστήματα αυτά νερό υψηλής αλατότητας ανέρχεται σε συγκεκριμένο βάθος όπου και εξατμίζεται, κατόπιν ο ατμός κινείται ανοδικά μέσα από ρωγμές στα πετρώματα όπου θερμαίνεται και μπορεί να γίνει υπέρθερμος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Ο πρωταρχικός σκοπός ενός προγράμματος έρευνας και αποτίμησης σε μια γεωθερμική περιοχή είναι να προσδιορίσει ταχύτατα, αξιόπιστα και με το λιγότερο δυνατό κόστος τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών και την οικανότητα του πεδίου για την παραγωγή αξιοποιήσιμων ποσοτήτων ρευστών.

Η γεωχημεία παίζει σημαντικό ρόλο στη γεωθερμική έρευνα και αναζήτηση, αφού μπορεί να απαντήσει σε μεγάλο αριθμό ερωτημάτων με την μελέτη του χημισμού των γεωθερμικών ρευστών και των πετρωμάτων του ταμιευτήρα.

4.2 Σύσταση υγρής φάσης

Σχεδόν πάντα, τα γεωθερμικά νερά περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένων συστατικών, σε σχέση με τα κοινά υπόγεια νερά. Επικρατεί η άποψη ότι η σύσταση των γεωθερμικών νερών αποτελεί αντανάκλαση των αντιδράσεων του θερμού νερού με τα πετρώματα που το φιλοξενούν ή με τα πετρώματα από τα οποία πέρασε προτού φτάσει στον ταμιευτήρα.

Οι διάφορες αντιδράσεις που γίνονται επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την πίεση, την αλατότητα των νερών και τη σύσταση των πετρωμάτων. Τα νερά είναι κυρίως μετεωρικής προέλευσης, ενώ σε περιοχές κοντά στη θάλασσα το νερό προέρχεται από τη θάλασσα ή αποτελεί μίγμα με το μετεωρικό νερό.

Η σύσταση των νερών μπορεί να διαφέρει από πεδίο σε πεδίο ή από γεώτρηση σε γεώτρηση στο ίδιο πεδίο ή μπορεί να αλλάζει και με το χρόνο λόγω διάφορων φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στη διάρκεια της εκμετάλλευσης. Η διαφοροποίηση της σύστασης με το χρόνο είναι κυρίως ποσοτική και όχι ποιοτική.

Τα κυριότερα συστατικά των γεωθερμικών ρευστών είναι:

Κατιόντα: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Sr^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+}

Ανιόντα: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Br^-

Χωρίς φορτίο: SiO_2 , As, B, NH_3 , αέρια

Γενικά τα νερά από συστήματα χαμηλής ενθαλπίας περιέχουν πολύ λιγότερες διαλυμένες ουσίες σε σχέση με νερά υψηλής ενθαλπίας ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που τα γεωθερμικά νερά περιέχουν λιγότερα άλατα από το νερό ύδρευσης. Παρατηρείται μια συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και συγκέντρωσης SiO_2 , ενώ οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι προσεγγιστικά ανάλογες με την αλατότητα των νερών. Αν και δεν υπάρχει κάποια γενικά αποδεκτή ταξινόμηση των γεωθερμικών νερών, συχνά τα γεωθερμικά νερά διαχωρίζονται σε σχέση με το κυρίαρχο ανιόν.

Μερικές κατηγορίες γεωθερμικών νερών συνοψίζονται ως εξής:

1. Νερά πλούσια σε χλωριόντα. Είναι ο συνηθέστερος τύπος που συναντάται σε κάποιο βάθος στα γεωθερμικά συστήματα νερού με συγκεντρώσεις που φτάνουν τα 10000mg/L. Σπάνια έχουμε και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.(π.χ. Salton Sea California). Στις υψηλές συγκεντρώσεις συνεισφέρουν μικρές ποσότητες μαγματικού νερού υψηλής αλατότητας διότι αλλιώς δεν δικαιολογείται η συγκέντρωση αυτής της τάξης μόνο από την απόπλυση των πετρωμάτων. Τα χλωριούχα νερά περιέχουν Na και K 10:1, Ca και διοξείδιο του πυριτίου. Το διαλυμένο αέριο που κυριαρχεί είναι το CO₂. Οι συγκεντρώσεις θεικών και ανθρακικών ποικίλουν αλλά πάντα είναι μικρότερες από των χλωριόντων. Το pH είναι ελαφρά όξινο ή ουδέτερο σε συνθήκες μετά το διαχωρισμό του CO₂. Επίσης λόγω χαμηλού pH τα ορυκτά των βαρέων μετάλλων εμφανίζουν μεγάλη διαλυτότητα με τη δημιουργία συμπλόκων με τα χλωριόντα. Έτσι στα νερά υψηλής ενθαλπίας και αλατότητας έχουμε αυξημένες συγκεντρώσεις σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, χαλκού, ψευδαργύρου και αντιμονίου. Σε μικρότερο βαθμό συναντάμε και αλλά διαλυτά στοιχεία όπως αρσενικό, φθόριο, βρώμιο, βόριο, λίθιο.
2. Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα. Τα νερά αυτά σχηματίζονται στην επιφάνεια από την συμπύκνωση γεωθερμικών αερίων σε υπόγεια νερά που περιέχουν οξυγόνο, με αποτέλεσμα την οξειδωση του H₂S σε θειικά ιόντα. Κατ' επέκταση το pH φτάνει ακόμη και κάτω από το 2. Τα νερά αυτά αν και επιφανειακά, μπορούν να διεισδύσουν σε μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων.
3. Νερά πλούσια σε ανθρακικά ιόντα. Είναι νερά πλούσια σε CO₂, και ο σχηματισμός τους είναι συνήθως αποτέλεσμα της αντίδρασης του διαλυμένου στα μετεωρικά νερά διοξειδίου του άνθρακα με τα πετρώματα. Τα νερά αυτά περιέχουν πολύ ασβέστιο και μαγνήσιο και η απομάκρυνση του CO₂ με βρασμό ή διαχωρισμό των φάσεων οδηγεί σε σημαντική αύξηση του pH.
4. Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα-χλωριόντα. Αυτά τα νερά μπορούν να σχηματιστούν με διάφορες διεργασίες, με σπουδαιότερη την ανάμιξη χλωριούχων νερών με νερά πλούσια σε θειικά. Η χρήση γεωθερμομέτρων σε αυτά τα νερά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Εκτός των παραπάνω υπάρχουν και άλλα συστατικά που η χημική τους συμπεριφορά αναλύεται πιο κάτω.

Νάτριο και Κάλιο.

Η συγκέντρωση των κατιόντων αυτών ρυθμίζεται από την ισορροπία νερού-πετρωμάτων που επηρεάζεται από την θερμοκρασία.

Το νάτριο είναι το κυριότερο κατιόν των γεωθερμικών νερών και οι συγκεντρώσεις του είναι από 100 έως 2000mg/L. Η συγκέντρωση του καλίου είναι δέκα φορές μικρότερη του νατρίου το οποίο όμως δεν εμπλουτίζεται ούτε απομακρύνεται από το γεωθερμικό νερό, πράγμα που συμβαίνει με το κάλιο και το λίθιο.

Ασβέστιο.

Η συγκέντρωση του ασβεστίου εξαρτάται από τα ορυκτά του (CaCO_3 , CaSO_4 , CaF_2), και σε μικρότερο βαθμό από τα ασβεστούχα αργιλοπυριτικά. Η συγκέντρωση του ασβεστίου αυξάνει με την αύξηση της οξύτητας και της αλατότητας του εδάφους.

Μαγνήσιο.

Επειδή το στοιχείο αυτό ενσωματώνεται εύκολα με δευτερογενώς εξαλλοιομένα ορυκτά όπως ο ειλητής και ο χλωρίτης τα επίπεδα συγκέντρωσης είναι χαμηλά.

Υψηλές συγκεντρώσεις υποδεικνύουν απόληψη από τοπικά πετρώματα ή ανάμιξη των υπόγειων νερών με θαλασσινό νερό. Αν τα νερά έχουν θαλάσσια προέλευση τότε η συγκέντρωση Mg είναι χαμηλή ενώ η συγκέντρωση Ca αυξάνεται.

Φθόριο.

Η συγκέντρωσή του είναι μικρότερη από 10mg/L συνήθως και περιορίζεται από τη διαλυτότητα του CaF_2 . Ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις συνδέονται με συμπύκνωση μαγματικών αερίων HF, σε μετεωρικά νερά.

Διοξείδιο του πυριτίου.

Οι συγκεντρώσεις του SiO_2 στα γεωθερμικά ρευστά ρυθμίζονται από τη διαλυτότητα των διαφόρων ορυκτών του (κυρίως του χαλαζία και του άμορφου SiO_2), με τυπικές τιμές από 100 έως 300 mg/L και ανώτερες τιμές περίπου τα 1000 mg/kg.

Βόριο.

Συναντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 100mg B/L και εμφανίζεται ως βορικό οξύ.

4.3. Ταξινόμηση των γεωθερμικών νερών

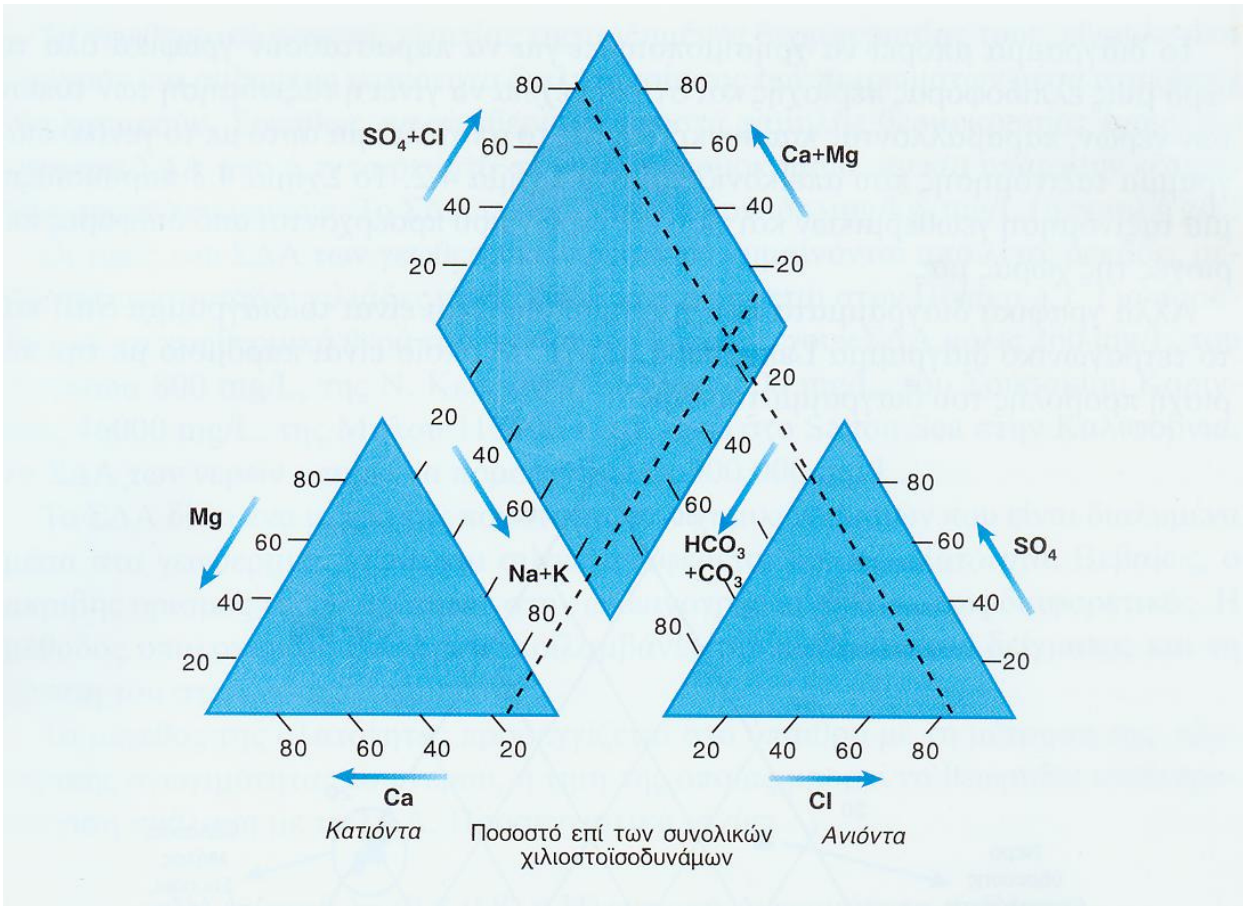
Διάφορα συστήματα έχουν επινοηθεί για να παραστήσουν σχηματικά, με τη μορφή διαγραμμάτων, το χημισμό του νερού (π.χ. Fetter 2001). Οι τεχνικές αυτές αποβλέπουν στην ταξινόμηση πολλών δειγμάτων νερών σε ένα διάγραμμα και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με ομοιότητες ή διαφορές των νερών, καθώς και ποια νερά αποτελούν προϊόντα ανάμιξης. Επίσης, μπορούν να χρησιμεύσουν στο χαρακτηρισμό των νερών ανάλογα με τα συστατικά που κυριαρχούν σε αυτά, π.χ. οξυανθρακούχα νερά, πλούσια σε θειικά κτλ. Ένα

από τα πιο δημοφιλή συστήματα ταξινόμησης στη γεωθερμική και υδρογεωλογική έρευνα είναι μία γραφική μέθοδος που έχει προταθεί από τον Piper(1944).

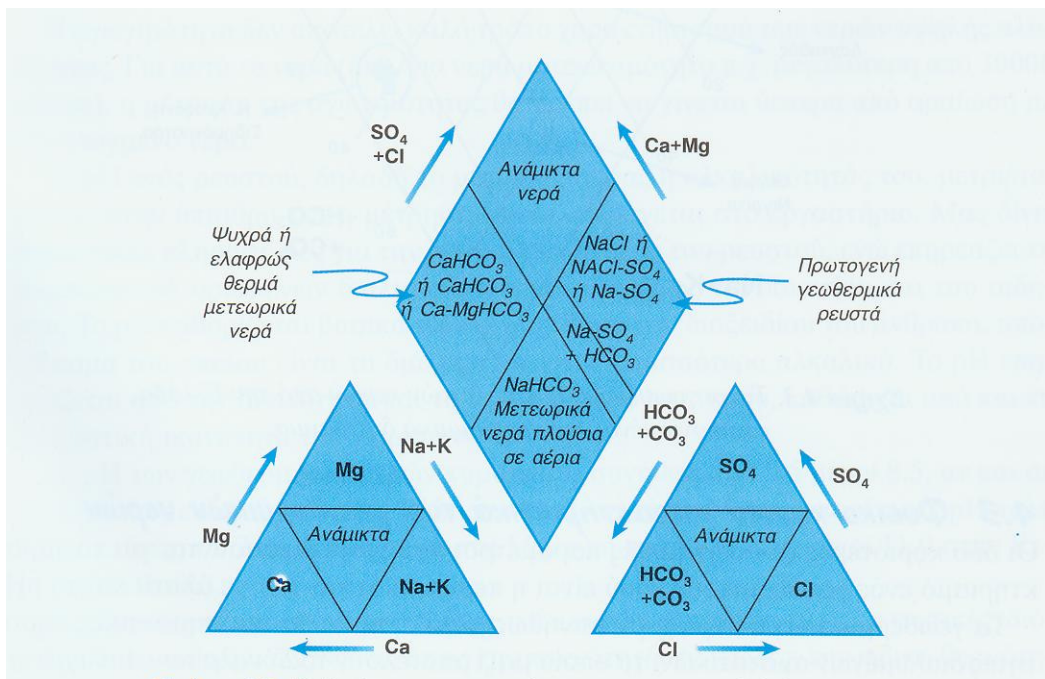
Η μέθοδος βασίζεται στις σχετικές συγκεντρώσεις (εκφρασμένες σε χιλιοστοϊσοδύναμα) των συστατικών Na+K, Mg, Ca, Cl, SO₄, και HCO₃+CO₃, σε ένα ρευστό. Τα συστατικά αυτά αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 95% των διαλυμένων συστατικών των νερών, θερμών ή ψυχρών, και οι ταξινομήσεις που βασίζονται σε αυτά τα συστατικά συμφωνούν ικανοποιητικά με τις παρατηρήσεις πάνω στο σχηματισμό των διαφόρων τύπων γεωθερμικών νερών.

Για να κατασκευαστεί το διάγραμμα Piper, το οποίο ονομάζεται επίσης και τριγραμμικό διάγραμμα, οι συγκεντρώσεις των κατιόντων και ανιόντων μετατρέπονται από μονάδες ppm ή mg/L σε μονάδες των χιλιοστοϊσοδύναμων (meq/L) και τα ποσοστά των διαφόρων κατιόντων και ανιόντων απεικονίζονται επάνω σε ένα διάγραμμα παρόμοιο με εκείνο που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1. Οποιαδήποτε ανάλυση νερού θα περιέχει κατιόντα που προσδιορίζουν ένα σημείο στο αριστερό τμήμα του διαγράμματος και ανιόντα που δίνουν ένα σημείο στο χαμηλότερο δεξιό τμήμα του διαγράμματος. Τα ποσοστά κατιόντων και ανιόντων συνδυάζονται καθώς αυτά προβάλλονται πάνω στον κεντρικό ρόμβο.

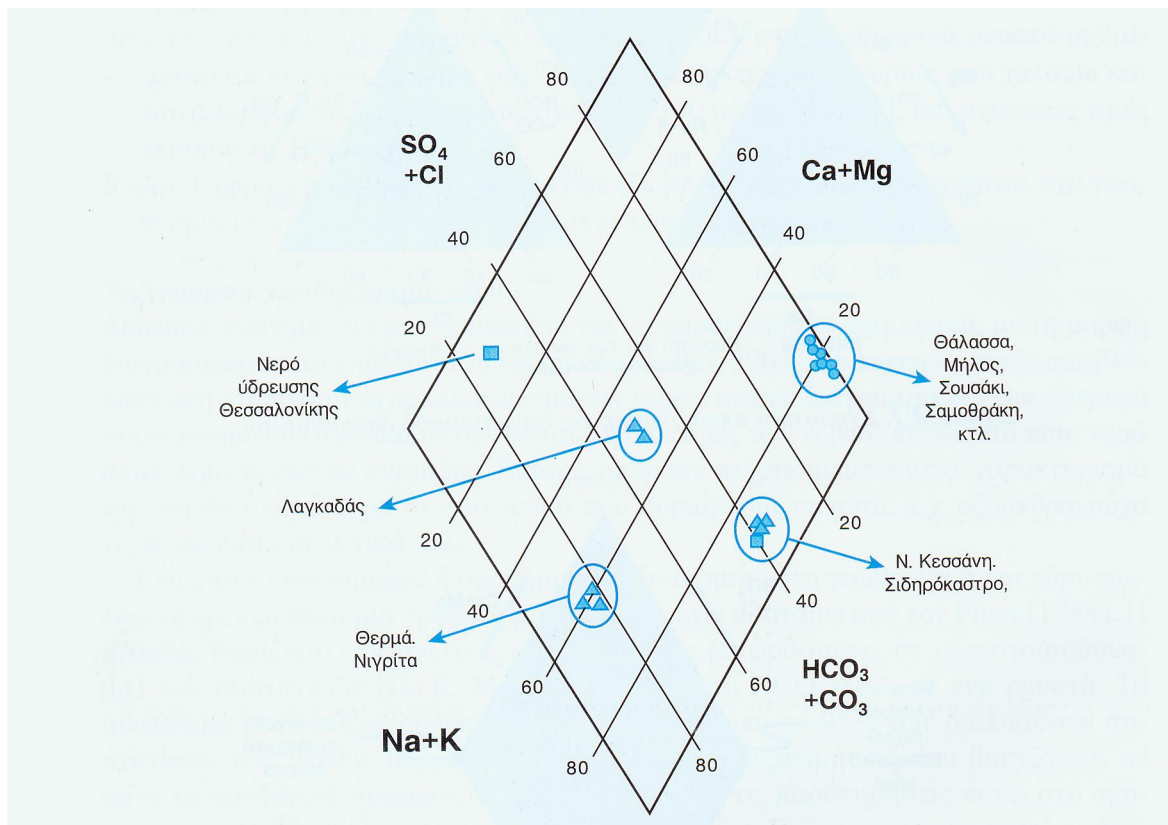
Το διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρασταθούν γραφικά όλα τα νερά μιας ελπιδοφόρα περιοχής και στη συνέχεια να γίνει η ταξινόμηση των τύπων των νερών, παραβάλλοντας και συγκρίνοντας το αποτέλεσμα αυτό με το γενικό διάγραμμα ταξινόμησης που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2. Το Σχήμα 4.4 παρουσιάζει μία ταξινόμηση γεωθερμικών και γλυκών νερών που προέρχονται από διάφορες περιοχές της χώρας μας. Άλλα γραφικά διαγράμματα που χρησιμοποιούνται είναι το διάγραμμα Stiff και το τετραγωνικό διάγραμμα το οποίο είναι παρόμοιο με την περιοχή προβολής του διαγράμματος Piper.



Σχήμα 4.1 Σχηματική απεικόνιση ενός τριγραμμικού διαγράμματος.



Σχήμα 4.2 Ταξινόμηση των νερών στο τριγραμμικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.3 Τύποι γεωθερμικών και γλυκών νερών από την Ελλάδα απεικονισμένοι στο τριγραμμικό διάγραμμα.

4.4 Φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά

Οι δύο φυσικοχημικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό ενός γεωθερμικού νερού είναι η περιεκτικότητα του σε άλατα και το pH. Τα γεωθερμικά ρευστά λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας τους έχουν αυξημένη ικανότητα διαλυτοποίησης των πετρωμάτων. Για το λόγο αυτό τα ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας έχουν κατά κανόνα μικρότερο ΣΔΑ (Σύνολο διαλυμένων αλάτων, Total dissolved solids-TDS) από τα ρευστά υψηλής θερμοκρασίας. Οι τιμές του ΣΔΑ κυμαίνονται από λίγες δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες χιλιάδες mg/L. Για παράδειγμα τα γεωθερμικά νερά του Λαγκαδά έχουν ΣΔΑ 800mg/L, ενώ της Μήλου 112.000mg/L.

Το ΣΔΑ αναφέρεται συχνά και ως αλατότητα και προσδιορίζεται στο ύπαιθρο με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού, η τιμή της οποίας μπορεί να θεωρηθεί κατά προσέγγιση ανάλογη με το ΣΔΑ. Προσεγγιστικά ισχύει

$$\text{ΣΔΑ(mg/L)} = (0,5-0,8) \times \text{Ηλεκτρική αγωγιμότητα}(\mu\text{S/cm})$$

Η αγωγιμότητα δεν αποτελεί καλό τρόπο χαρακτηρισμού των νερών υψηλής αλατότητας. Για τα νερά αυτά (δηλ. νερά με αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 30000(μS/cm), η μέτρηση της αγωγιμότητας θα πρέπει να γίνεται ύστερα από αραιώση με αποσταγμένο νερό.

Το pH ενός ρευστού, δηλαδή το μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητάς του μετριέται στο ύπαιθρο και στο εργαστήριο και μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για την αρχική κατάσταση του ρευστού, ενώ επηρεάζει τη συμπεριφορά ορισμένων διαλυτών συστατικών, όπως του πυριτίου και του σιδήρου. Το pH καθορίζεται βασικά από την απώλεια του διοξειδίου του άνθρακα, αποτέλεσμα του οποίου είναι το διάλυμα να γίνει περισσότερο αλκαλικό. Το pH επηρεάζεται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του νερού, καθώς και από και τη ρυθμιστική ικανότητα των ορυκτών.

Το pH των γεωθερμικών νερών κυμαίνεται συνήθως από 5,5 μέχρι 8,5, αν και σε γεωθερμικές εκδηλώσεις στην Ελλάδα και αλλού, έχουν καταγραφεί τιμές pH πολύ χαμηλές (μέχρι 2,2 σε θερμή πηγή στη Μήλο) ή πολύ υψηλές (μέχρι 11,0 στην Κεντρική Ελλάδα). Η αυξημένη αλατότητα επηρεάζει τις φυσικές ιδιότητες των νερών (πυκνότητα, ιξώδες, ειδική θερμότητα, σημείο ζέσεως κ.α.). Δεν είναι απαραίτητο να γίνουν πειραματικές μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων ενός γεωθερμικού νερού, επειδή οι περισσότερες ιδιότητες μπορούν να εκτιμηθούν από πίνακες για διάφορες θερμοκρασίες και αλατότητες.

4.5 Σύσταση αέριας φάσης

Όλα τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας περιέχουν πάντοτε σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αερίων, τα οποία απελευθερώνονται μαζί με τον ατμό κατά τη διάρκεια της εκτόνωσης του ρευστού. Η ισορροπία μεταξύ αέριας και υγρής φάσης καθορίζει την κατανομή των αερίων στις δύο φάσεις, τα οποία κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους μεταφέρονται στην αέρια φάση.

Τα αέρια από μία γεωθερμική γεώτρηση ή από μία φυσική εκδήλωση αναφέρονται ως μη συμπυκνώσιμα αέρια (non condensable gases), επειδή δε συμπυκνώνονται στις συνθήκες που εκπέμπονται ή στις συνθήκες λειτουργίας μιας γεωθερμικής μονάδας. Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια αποτελούνται συνήθως κατά 60-100% από δύο αέρια, τα οποία απορροφούνται από διάλυμα NaOH: το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το υδρόθειο (H_2S). Τα υπόλοιπα αέρια, τα οποία δε διαλύονται σε αλκαλικό διάλυμα, αποτελούνται από άζωτο(N_2), υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο, αλλά και αιθάνιο), υδρογόνο (H_2), ευγενή αέρια (He, Kr, Ar, Xe), οξυγόνο (O_2) και αμμωνία (NH_3). Η αμμωνία, μαζί με το CO_2 το CH_4 , το N_2 , το H_2 και το H_2S αποτελούν την ομάδα των λεγόμενων χημικά δραστικών αερίων

επειδή συμμετέχουν στη χημική ισορροπία του συστήματος. Τα αέρια αυτά μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις συνθήκες στον ταμιευτήρα, όπως π.χ. για τη θερμοκρασία.

Τα αδρανή αέρια (ευγενή αέρια και υδρογονάνθρακες, εκτός από το μεθάνιο) δε συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις, και μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την προέλευση των αερίων. Η συμμετοχή των μη συμπυκνώσιμων αερίων στην αέρια φάση στα κυριότερα πεδία υψηλής ενθαλπίας κυμαίνεται από 2,5 μέχρι 50 g/Kg ατμού. Η σύσταση της αέριας φάσης από ορισμένες γεωτρήσεις και φυσικές εκδηλώσεις δίνεται στον πίνακα 4.1, ενώ ο πίνακας 4.2 παρουσιάζει τις συστάσεις της αέριας φάσης ορισμένων γεωτρήσεων. Η συγκέντρωση των μη συμπυκνώσιμων αερίων στην αέρια φάση έχει ιδιαίτερη σημασία στην εκτίμηση και αξιολόγηση διαφόρων γεωθερμικών παραμέτρων, αλλά και στο σχεδιασμό των μονάδων εκμετάλλευσης της γεωθερμίας. Μερικά παραδείγματα είναι τα εξής:

1. Από την ισορροπία των αερίων στις δύο φάσεις ή από τη σχέση μεταξύ διαφορετικών αερίων, μπορεί να εκτιμηθεί η θερμοκρασία του ταμιευτήρα και η προέλευση των ρευστών.
2. Η σύσταση και η διαβρωτική δράση των αερίων αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στην επιλογή των υλικών των σωληνώσεων και των στροβίλων, του τρόπου απόληψης της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών και των μεθόδων δέσμευσης των περιβαλλοντικά επιβλαβών ουσιών.
3. Η μεταβολή της σύστασης των αερίων (όπως επίσης και η μεταβολή της σύστασης του νερού) μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση της επίδρασης του τρόπου αξιοποίησης των ρευστών πάνω στο γεωθερμικό σύστημα.

Αν και η σύσταση των μη συμπυκνώσιμων αερίων από γεωθερμικές γεωτρήσεις (αλλά και από θερμές πηγές και ατμίδες) ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, το Κυρίαρχο αέριο που συνδέεται με τη γεωθερμική δραστηριότητα είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Το δεύτερο σε αφθονία αέριο είναι το υδρόθειο, ιδιαίτερα σε ηφαιστειακές περιοχές. Βέβαια υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπου το κυρίαρχο αέριο μπορεί να είναι το H_2S το N_2 ή ακόμη και αέριοι υδρογονάνθρακες. Οι ατμίδες επάνω σε μαγματικά συστήματα χαρακτηρίζονται από την παρουσία σημαντικών ποσοτήτων HCl , H_2S και SO_2 .

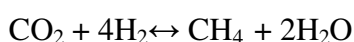
Σημειώνεται επίσης ότι η αέρια σύσταση μπορεί να αλλάζει σημαντικά, ποσοτικά κυρίως, και μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο. Συνδυάζοντας τις αναλύσεις της αέριας και της υγρής φάσης μιας γεώτρησης, είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων αερίων στο ρευστό πριν από την εκτόνωση, με την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν έχει γίνει ανάμιξη με άλλο ρευστό σε χαμηλό βάθος. Οι μερικές πιέσεις των αερίων που υπολογίζονται μπορούν τότε να συσχετιστούν με δεδομένα από την ισορροπία πετρώματος ρευστού.

Για τα κυριότερα πεδία χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα με αξιοσημείωτες ποσότητες μη συμπεκνώσιμων αερίων, οι αναλύσεις έχουν δείξει ότι το μη συμπεκνώσιμο τμήμα της αέριας φάσης αποτελείται κατά 90-99% από CO₂ με μικρές ποσότητες H₂S, N₂ και CH₄ (Νιγρίτα, Ν. Κεσσάνη). Εάν οι ποσότητες που εκλύονται είναι μικρές, τότε είναι δυνατόν το κυρίαρχο αέριο να είναι το μεθάνιο (π.χ. Σάνη, Πλατύστομο) ή το άζωτο (π.χ. Ν. Απολλωνία, Άγγιστρο Σερρών). Θα Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι το κυριότερο συστατικό της αέριας φάσης που ανιχνεύεται και σε θερμές πηγές και ατμίδες στην Ελλάδα είναι το CO₂. Ακόμη, σε ατμίδες της Μήλου και της Νισύρου, καθώς και σε πηγές ή γεωτρήσεις της Υπάτης, των Θερμοπυλών, των Μεθάνων, του Σουσακίου Κορινθίας κ.ά. έχουν εντοπιστεί σημαντικές ποσότητες H₂S. Βεβαίως, δε λείπουν και οι εξαιρέσεις, όπου σε θερμές Πηγές με μικρές ποσότητες αέριας φάσης κυριαρχούν το άζωτο και/ή το μεθάνιο.

Το πρόβλημα της προέλευσης των διαλυμένων αερίων και γενικότερα των διαλυμένων συστατικών στα γεωθερμικά ρευστά έχει προκαλέσει αρκετές συζητήσεις τα τελευταία χρόνια, χωρίς να έχει δοθεί μέχρι τώρα ικανοποιητική και ολοκληρωμένη απάντηση. Αρχικά θεωρούνταν ότι η παρουσία CO₂ και H₂S (όπως και άλλων συστατικών) στα γεωθερμικά ρευστά ήταν αποτέλεσμα της μαγματικής προέλευσης των νερών.

Πάντως, πειραματικά δεδομένα από αντιδράσεις θερμού νερού-πετρωμάτων και από ισοτοπικές αναλύσεις οδήγησαν στην ριζική επανεξέταση της παραπάνω θεώρησης. Το CO₂ θεωρείται ότι παράγεται σε ορισμένες περιπτώσεις από διεργασίες θερμομεταμόρφωσης.

Σε αρκετές άλλες περιπτώσεις, όμως μπορεί να προέρχεται από βιολογικές αντιδράσεις (αποσύνθεση οργανικής ύλης σε ιζηματογενή πετρώματα), ενώ μεγάλες ποσότητες μπορούν να παραχθούν από αντιδράσεις υδρόλυσης ασβεστίτη και δολομίτη σε ιζηματογενείς περιοχές. Σε άλλες περιπτώσεις μέρος του CO₂ μπορεί να προέρχεται από την αντίδραση σύνθεσης μεταξύ ανθρακούχων πετρωμάτων και ιόντων υδρογόνου. Το υδρόθειο μπορεί να παραχθεί από την εξαλλοίωση των πετρωμάτων του ταμιευτήρα ή να έχει μαγματική προέλευση. Είναι δυνατόν επίσης να απομακρυνθεί από τα γεωθερμικά ρευστά μέσω της αντίδρασής του με τα τοιχώματα των πετρωμάτων με το σχηματισμό αλάτων θειούχου σιδήρου. Το μεθάνιο είναι ο πιο συνηθισμένος υδρογονάνθρακας που απαντάται στα γεωθερμικά ρευστά. Η παρουσία του μπορεί να εξηγηθεί σε αρκετές περιπτώσεις από την αντίδραση Fischer-Tropsch:



Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν γεωθερμόμετρο (προσδιορισμός της θερμοκρασίας στον ταμιευτήρα).

Περιοχή	Θερμ. (°C)	% Αέρια στον ατμό	CO ₂	H ₂ S	HC*	H ₂	N ₂ +Ar+He	O ₂	NH ₃	H ₃ BO ₃
Wairakei, N. Ζηλανδία (ατμίδα)	115	0,2	94,6	2,3	0,7	1	1,1	-	0,3	-
San Ignacio, Ονδούρα (πηγή)	99	δ.α.	91,3	1,8	0,1	0,1	5,0	-	1,7	-
Larderello, Ιταλία (ατμίδα)	100	3%	92,3	2,0	1,4	2,5	1,6	0,1	-	0,5
Larderello, Ιταλία	200	2,0	94	1,6	1,2	2,3	0,8	-	0,8	0,33
The Geysers, ΗΠΑ	230	0,6	55,9	5,3	10,3	20,4	3,0	-	4,8	0,3
Matsukawa Ιαπωνία	220	1,5	91	8	-	-	-	-	-	-
Weirakei, N. Ζηλανδία	260	0,06	91,7	4,4	0,9	0,8	1,5	-	0,6	0,05
Reykjanes, Ισλανδία	190	δ.α.	92,0	3,8	<0,1	<0,1	3,9	-	-	-
Namafjall, Ισλανδία	259	δ.α.	33,6	48,7	-	13,2	4,4	-	-	-
Dunajska Streda, Σλοβακία	92	δ.α.	44,7	-	46,0	-	3,8	0,3	-	-
Senec, Τσεχία	52	δ.α.	79,0	-	3,8	-	13,9	2,7	-	-
Merksplas, Βέλγιο	35	δ.α.	80-93	-	8-15	-	-	-	-	-
Maastrichtaan, Βέλγιο	57	δ.α.	2,5	-	-	-	97	-	0,5	-
Geil, Dogger, Γαλλία	58	δ.α.	4,2	50 ppm	57	17,5	21,4	-	-	-

δ.α.: δεν αναφέρεται, *HC: υδρογονάνθρακες

Πίνακας 4.1 Συγκεντρώσεις των μη συμπηκνών αερίων σε γεωθερμικές γεωτρήσεις και φυσικές εκδηλώσεις (σε % mole/mole)

	Salton Sea	Broad-lands1	Μήλος	Dogger	Νέα Κεσσάνη	Σουσάκι Σ-4	Νιγρίτα ΤΗ-1
Θερμοκρασία, °C	214	270	230	58	80	76	59
Αέρια % στον ατμό	0,2	0,6	1,0	-	-	-	-
Περιεκτικότητα αερίων (g/kg ρευστού)	-	-	12	0,2	3,0	2,7	3,4
CO ₂	>90	95,9	95	4,2	98,6	97,9	99,2
H ₂ S	μ.π.	1,2	4,9	50	4 ppmv	1,0	<1
Υδρογονάνθρακες	μ.π.	1,8	<0,1	ppmv	0,05	0,0	ppmv
H ₂	μ.π.	0,1	<0,1	57	-	-	0,0
N ₂ +Ar+He	-	0,1	-	17,5	1,3	0,9	-
O ₂	-	-	-	21,4	0,15	0,2	0,8
NH ₃	-	0,2	-	-	-	-	0,0

μ.π. μικρές ποσότητες

Πίνακας 4.2 Συγκεντρώσεις (% mole/mole) των μη συμπηκνών αερίων από ορισμένες γεωθερμικές γεωτρήσεις.

Η αμμωνία είναι το πλέον διαλυτό από τα γεωθερμικά αέρια. Η παρουσία της είναι μεγαλύτερη σε πεδία με ιζηματογενή πετρώματα από ότι σε συστήματα ηφαιστειακών πετρωμάτων.

Το περισσότερο άζωτο στα γεωθερμικά συστήματα είναι μετεωρικής προέλευσης, αν και ένα μέρος του είναι πιθανόν μαγματική προέλευση.

Το άζωτο βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, όπου μπορεί να είναι ακόμα και το κυρίαρχο αέριο. Τα αδρανή αέρια είναι κυρίως ατμοσφαιρικής προέλευσης. Όπως έχει αναφερθεί, καθώς τα γεωθερμικά ρευστά προχωρούν και κινούνται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς αντιδρούν χημικά με τα πετρώματα.

4.6. Υδροθερμική εξαλλοίωση

Υδροθερμική εξαλλοίωση είναι ο όρος που αναφέρεται στις ορυκτολογικές μεταβολές που προκαλούνται στα πετρώματα από την αλληλεπίδραση με τα γεωθερμικά ρευστά. Ορισμένα ορυκτά των πετρωμάτων που αποτελούν τον ταμιευτήρα μπορεί να διαλύονται επιλεκτικά από τα ρευστά, ενώ ορισμένα άλατα μπορεί να κατακρημνίζονται από το διάλυμα. Ακόμη, ορισμένα χημικά στοιχεία από τα ρευστά μπορεί να αντικαταστήσουν κάποια άλλα στοιχεία σε ένα ορυκτό.

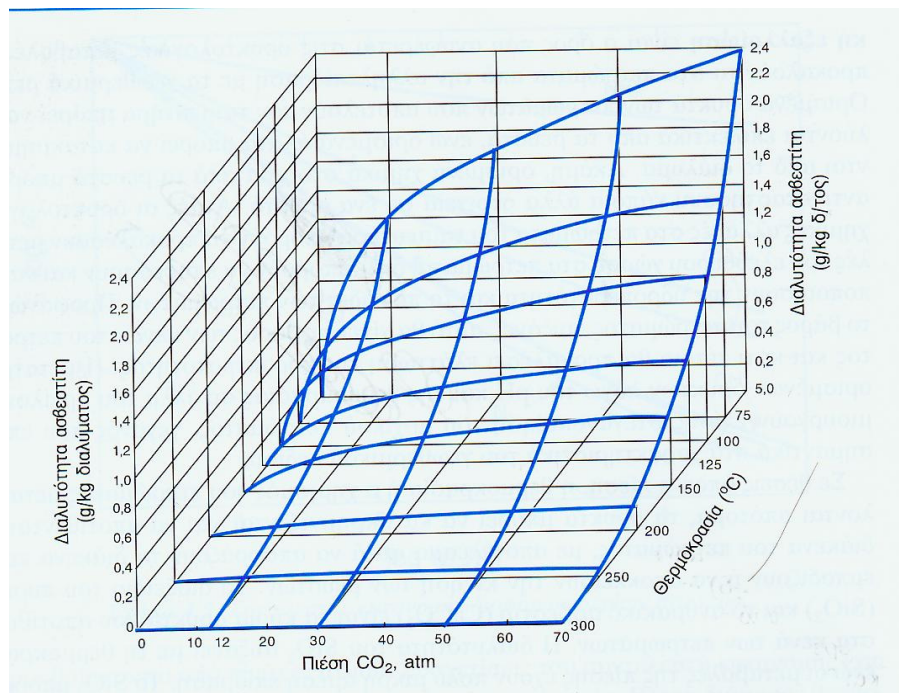
Αυτές οι ορυκτολογικές χημικές αλλαγές στα πετρώματα του ταμιευτήρα μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές του ελεύθερου χώρου στα πετρώματα, δηλ. μπορούν να επηρεάσουν και να τροποποιήσουν την υδροπερατότητα και το πορώδες των πετρωμάτων. Προφανώς, αν το βάρος του πετρώματος, αυξάνει, αυτό θα γίνει εις βάρος των κενών του πετρώματος και κάτι τέτοιο θα προκαλέσει ελάττωση της υδροπερατότητας. Η μετατροπή ορισμένων ορυκτών λόγω του pH και της θερμοκρασίας σε άλλα του αργίλου δημιουργούν επίσης στεγανοποίηση του αρχικού πετρώματος, γεγονός που επιδρά σημαντικά στα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου. Σε θέσεις όπου η πίεση, η θερμοκρασία ή ο χημισμός του πετρώματος μεταβάλλονται απότομα, τα ορυκτά μπορεί να κατακρημνίζονται και να αποτίθενται στα διάκενα του πετρώματος, με αποτέλεσμα αυτά να αποφράζουν τα διάκενα και να εμποδίζουν ή να αποκλείουν την κίνηση των ρευστών. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) είναι τα κύρια ορυκτά που αποτίθενται στα κενά των πετρωμάτων. Η διαλυτότητα του SiO_2 αυξάνει με τη θερμοκρασία, ενώ οι μεταβολές της πίεσης έχουν πολύ μικρή άμεση επίδραση.

Το SiO_2 μπορεί να κατακρημνίζεται και να αποτίθεται σε διάκενα (πόρους, ρωγμές και ανοικτά ρήγματα), σε περιοχές όπου λαμβάνει χώρα ελάττωση της θερμοκρασίας των ρευστών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αλλά και στην επιφάνεια, στα σημεία

εκφόρτισης θερμών πηγών. Ο χαλαζίας, το πιο συνηθισμένο πυριτικό ορυκτό, βρίσκεται σε φλέβες σε σύγχρονα γεωθερμικά συστήματα, καθώς επίσης και σε κοιτάσματα, μερικά από τα οποία σχηματίζουν απολιθωμένα γεωθερμικά συστήματα. Ο ασβεστίτης (όπως και ο αραγωνίτης) παρουσιάζει αντίστροφη (ή ανάδρομη) διαλυτότητα, δηλαδή η διαλυτότητά του μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4. Άλλα ανθρακικά ορυκτά (όπως ο δολομίτης) καθώς και θειικά ορυκτά (όπως ο ανυδρίτης) δείχνουν παρόμοιες σχέσεις ανάδρομης διαλυτότητας με τη θερμοκρασία. Επιπλέον, η διαλυτότητα των ανθρακικών ορυκτών μειώνεται με την ελάττωση της μερικής πίεσης του CO₂.

Έτσι, καθώς τα ρευστά που είναι κορεσμένα σε διαλυμένα ανθρακικά πλησιάζουν στην επιφάνεια, ανθρακικά ορυκτά, όπως ο ασβεστίτης, αποτίθενται ως αποτέλεσμα της απώλειας του CO₂ το οποίο διαφεύγει από το διάλυμα με την ελάττωση της υδροστατικής πίεσης. Παράδειγμα τέτοιων αποθέσεων απαντώνται κατά μήκος ρηγμάτων στην περιοχή Νυμφόπετρας Θεσσαλονίκης, οι οποίες σχηματίστηκαν στον παλιό πυθμένα της λίμνης(σχήμα 4.5). Τα διάφορα υδροθερμικά συστήματα βρίσκονται πάντα σε μία δυναμική κατάσταση. Δηλαδή, για οποιονδήποτε δεδομένο όγκο στοιχείου του ταμιευτήρα, η χημική σύσταση του ρευστού σε εκείνον τον όγκο μεταβάλλεται αργά με το χρόνο επιφέροντας μεταβολή στη σύσταση του πετρώματος, στο πορώδες και στην υδροπερατότητα. Εντούτοις, επειδή η ταχύτητα της κυκλοφορίας του ρευστού είναι ίσως μόνο λίγα εκατοστά ή λίγα μέτρα το χρόνο, στα περισσότερα υδροθερμικά συστήματα υπάρχει μια κατάσταση χημικής ισορροπίας ή σχεδόν ισορροπίας μεταξύ του ρευστού του ταμιευτήρα και των πετρωμάτων του ταμιευτήρα. Η υπόθεση της χημικής ισορροπίας βρίσκει εφαρμογή σε διάφορες γεωχημικές τεχνικές. Η έλλειψη ισορροπίας θα μπορούσε να εκληφθεί ως απόδειξη ταχείας κίνησης του ρευστού διαμέσου του ταμιευτήρα.

Με τη συλλογή και ανάλυση δειγμάτων ρευστών από επιφανειακές πηγές και από γεωτρήσεις μπορούν να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά των ρευστών στον ταμιευτήρα. Όπως προαναφέρθηκε, η χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών είναι αποτέλεσμα του τρόπου σχηματισμού τους. Τα φυσικά υπόγεια νερά είναι συνήθως σχεδόν ουδέτερα στο pH και ελαφρώς δισσάνθρακικά (περιέχουν ποσότητες όξινων ανθρακικών ιόντων) στο χαρακτήρα. Όταν τα νερά αυτά θερμαίνονται σε ένα γεωθερμικό σύστημα, τείνουν να γίνουν περισσότερο πλούσια σε NaCl. Εάν μέρος του ρευστού εξατμίζεται σε κάποιο βάθος, τότε τα μη συμπηκνώσιμα αέρια (π.χ. CO₂, H₂S) διαχωρίζονται μέσα στη φάση του ατμού και μεταναστεύουν ανεξάρτητα από το νερό, προς την επιφάνεια. Η φάση του πλούσιου σε αέρια ατμού μπορεί να συναντήσει απροσδόκητα στην πορεία του ψυχρό υπόγειο νερό, το οποίο και θερμαίνει.



Σχήμα 4.4 Διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου ως συνάρτηση του pH και της πίεσης του CO₂, η οποία ελέγχει το pH του συστήματος.



Σχήμα 4.5 Ανθρακικές αποθέσεις από εκροή υπολίμνιων θερμών πηγών, στη Νυμφόπετρα Θεσσαλονίκης.

4.7 Δειγματοληψία γεωθερμικών ρευστών

Οι ιδιότητες των θερμών ρευστών που εκρέουν από φυσικές πηγές ή από γεωτρήσεις ενός γεωθερμικού πεδίου αντιστοιχούν σε μεγάλο βαθμό στα χαρακτηριστικά του υδρογεωλογικού συστήματος. Τα φυσικοχημικά και ισοτοπικά δεδομένα των γεωθερμικών ρευστών μπορούν να μας βοηθήσουν για:

1. την εκτίμηση της προέλευσης των ρευστών και του βαθμού ανάμιξής τους με άλλα νερά,
2. την εκτίμηση της θερμοκρασίας του ταμιευτήρα (χημική γεωθερμομετρία),
3. τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των ρευστών, απαραίτητων δεδομένων για την τεχνολογική αποτίμηση και σχεδιασμό των μεθόδων ανάκτησης της θερμότητας, και
4. την πρόβλεψη της διαβρωτικότητας των ρευστών, της τάσης τους για δημιουργία επικαθίσεων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη διάθεσή τους.

Η αξιοπιστία και, επομένως, η χρησιμότητα των αναλύσεων των γεωθερμικών ρευστών εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δειγμάτων και από την προσοχή με την οποία γίνεται αυτή η συλλογή. Υπάρχει πληθώρα μεθόδων για τη συλλογή δειγμάτων των ρευστών που εξέρχονται, είτε από διάφορες θερμές εκροές (θερμές πηγές, ατμίδες), είτε από γεωθερμικές γεωτρήσεις. Στα δείγματα από τις φυσικές εκροές θα πρέπει να καταγράφονται όλα τα στοιχεία για την ταυτοποίηση των δειγμάτων (περιγραφή πηγής, όνομα πηγής, θέση στο χάρτη, θερμοκρασία, παροχή, έκλυση αερίων, ημερομηνία συλλογής κ.ά.).

Για τις γεωθερμικές γεωτρήσεις, οι τυπικές πληροφορίες που θα πρέπει να καταγράφονται είναι ο αριθμός του δείγματος, η ημερομηνία και ώρα συλλογής, η θερμοκρασία, η πίεση στην κεφαλή της γεώτρησης κ.ά. Οι όγκοι των δειγμάτων που πρέπει να συλλέγονται εξαρτώνται από τη συγκέντρωση των συστατικών και από την ανάγκη για διήθηση και συντήρηση των δειγμάτων. Για παράδειγμα, ο προσδιορισμός των Συνολικών Διαλυμένων Στερεών (ΣΔΑ) ενός αλμολοίπου με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα απαιτεί μόλις 1ml, ενώ για ένα ρευστό χαμηλής ενθαλπίας και αλατότητας απαιτούνται τουλάχιστον 500ml δείγματος για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια της μέτρησης. Πάντως, είναι καλύτερα να συλλέγονται πολύ μεγαλύτεροι όγκοι δειγμάτων (Π.χ. 0,5L) σε σχέση με τους όγκους που απαιτούνται θεωρητικά για την ανάλυση. Το υλικό των δοχείων συλλογής των υγρών προτιμάται να είναι πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο. Διάφορα είδη υγρών δειγμάτων απαιτούνται για τις αναλύσεις. Γενικά, τρία είναι τα κυριότερα είδη, αν και για εξειδικευμένες αναλύσεις απαιτούνται περισσότερα:

1. Ακατέργαστο δείγμα νερού για τον προσδιορισμό των ανιόντων και την ισοτοπική ανάλυση. Μέρος του δείγματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των σταθερών ισοτόπων των H, O, C και S.

2. Ακατέργαστο δείγμα νερού, διηθημένο από μεμβράνη 0,45 μm , για τον προσδιορισμό κατιόντων και πυριτικών. Για υγρά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 60°C απαιτείται κατάλληλη αραίωση με απεσταγμένο νερό, για να μην πολυμεριστούν τα πυριτικά κατά την ψύξη του δείγματος.
3. Δείγμα νερού διηθημένο από μεμβράνη 0,45 ή 0,1 μm και οξινισμένο με πυκνό υδροχλωρικό οξύ (Περίπου 10mL 6N HCl σε ένα λίτρο δείγματος) για τον προσδιορισμό κατιόντων και ιχνοστοιχείων. Καλείται και συντηρημένο δείγμα.

Τόσο για τα υγρά όσο και για τα αέρια δείγματα, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να επιδεικνύεται στην έγκαιρη μέτρηση ορισμένων παραμέτρων και ανάλυση ορισμένων συστατικών, τα οποία μπορούν να μεταβληθούν με την αλλαγή των συνθηκών ή με την αναμονή των δειγμάτων για ανάλυση. Τέτοια χαρακτηριστικά για τα υγρά δείγματα είναι το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η σκληρότητα, η αλκαλικότητα, η συγκέντρωση των θειούχων ιόντων κτλ. Συνήθως επιτόπου μετριέται και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού, η οποία, αν και δεν μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο, αποτελεί αξιόπιστη εκτίμηση για τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων.

4.8 Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων των γεωθερμικών ρευστών

Σε γενικές γραμμές οι αναλυτικές τεχνικές για τα γεωθερμικά ρευστά είναι όμοιες με τις τεχνικές ανάλυσης δειγμάτων νερών και αέριων μιγμάτων. Για το λόγο αυτό, η αναφορά στις Τεχνικές αυτές δεν είναι λεπτομερής και Θα περιοριστεί στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών.

Υγρά δείγματα

Τα συστατικά, που συνήθως προσδιορίζονται σε ένα γεωθερμικό νερό, εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες:

1. Κύρια διαλυμένα συστατικά, που περιλαμβάνουν τα Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} και SiO_2 , σε συγκεντρώσεις από μερικά mg/L μέχρι και 100.000mg/L.
2. Δευτερεύοντα διαλυμένα συστατικά, όπως Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Li^+ , NH_4^+ , F^- , Br^- , NO_3^- , και B που συνήθως βρίσκονται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τα κύρια συστατικά. Απαντώνται σε συγκεντρώσεις από 0,01mg/L μέχρι και 100mg/L. Σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, η συγκέντρωση ενός ή περισσότερων δευτερευόντων συστατικών μπορεί να φτάσει τις συγκεντρώσεις των κύριων συστατικών.

3. Συστατικά σε ίχνη, όπως Ba, Zn, Pb, Cu, Mo, Cr, Rb, As, I και πολλά άλλα, η συγκέντρωση των οποίων βρίσκεται στην περιοχή των $\mu\text{g/L}$, αν και μερικές φορές μπορεί να φτάσει μέχρι και ορισμένα mg/L .

Ο προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων και η ανάλυση των συστατικών γίνεται τις περισσότερες φορές με γνωστές μεθόδους της βιβλιογραφίας (π.χ. Clesceri, 1991, Ellis and Mahon, 1977). Η ανάλυση των περισσοτέρων συστατικών γίνεται από συντηρημένα (οξινισμένα) δείγματα. Για αρκετά όμως συστατικά απαιτείται ο άμεσος προσδιορισμός της συγκέντρωσής τους στην ύπαιθρο ή σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά τη συλλογή στο εργαστήριο από μη συντηρημένα δείγματα. Τέτοια συστατικά είναι το διαλυμένο CO_2 , τα όξινα ανθρακικά ιόντα και η διαλυμένη αμμωνία. Συντηρημένα δείγματα υγρού μπορούν να χαρακτηρισθούν ως προς τη σύστασή τους, χρησιμοποιώντας πληθώρα μεθόδων. Οι συνηθέστερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης (AA), η ιοντική χρωματογραφία (IC), η φασματοσκοπία Επαγωγικού Συζευγμένου Πλάσματος (ICP), τα εκλεκτικά ηλεκτρόδια και οι διάφορες χρωματομετρικές, σταθμικές και υγρές μεθόδους.

Αέρια δείγματα

Ο προσδιορισμός της σύστασης της αέριας φάσης είναι σχεδόν πάντα απαραίτητη για την εκτίμηση της διαβρωτικότητας των αερίων συστατικών, των ποσοτήτων H_2S ή άλλων επιβλαβών αερίων που μπορεί να εκπέμπονται και της απόδοσης των στροβίλων στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα αέρια δείγματα τις περισσότερες φορές συλλέγονται σε γυάλινες ή χαλύβδινες οβίδες και σε ειδικές πλαστικές σακούλες και αναλύονται στο εργαστήριο με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας (GC) και της φασματομετρίας μάζας (MS). Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιείται βασικά και για την ισοτοπική ανάλυση των αερίων (π.χ. μέτρηση της κατανομής των ισοτόπων του θείου) και την εύρεση των αδρανών αερίων, ενώ συγχρόνως συνδυάζει υψηλή ευαισθησία με μικρούς όγκους αερίων.

Η αέρια χρωματογραφία είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την ανάλυση των γεωθερμικών αερίων. Η μέθοδος είναι αρκετά διαδεδομένη, σχετικά φθηνή, έχει μεγάλη αξιοπιστία, απαιτεί μικρό δείγμα (κλάσμα του mL) και μπορεί να ανιχνεύσει σχεδόν όλα τα γεωθερμικά συστατικά. Κατά τη συλλογή των δειγμάτων, δύο προβλήματα πρέπει να προσεχθούν:

1. Η ρύπανση των δειγμάτων με αέρα, είτε στη φάση της δειγματοληψίας, είτε στην διάρκεια της εισαγωγής του δείγματος στο χρωματογράφο.

2. Η αποφυγή αντίδρασης μεταξύ των αέριων συστατικών και των τοιχωμάτων των οβίδων συλλογής, ιδιαίτερα όταν αυτές είναι μεταλλικές.

Οι συγκεντρώσεις του CO₂ και H₂S μπορούν να μετρηθούν από τις ποσότητές τους που δεσμεύονται σε αλκαλικό διάλυμα (2 N NaOH) γνωρίζοντας τον όγκο των αερίων που έχουν διέλθει μέσα από το διάλυμα. Αντίστοιχα, η αμμωνία μπορεί να δεσμευτεί σε όξινο διάλυμα, ενώ το οξυγόνο σε πυρογαλόλη.

Τέλος, μια άλλη προσέγγιση στο θέμα της ανάλυσης των γεωθερμικών αερίων είναι η χρήση ηλεκτροχημικών ανιχνευτών αερίων. Τέτοιοι ανιχνευτές έχουν αναπτυχθεί για όλα σχεδόν τα αέρια που βρίσκονται στα γεωθερμικά συστήματα. Έχουν το πλεονέκτημα να προσδιορίζουν τις συγκεντρώσεις ορισμένων αερίων συνεχώς με την εκροή της αέριας φάσης, δεν είναι ογκώδεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ανιχνευτές για τα τοξικά αέρια, όπως το υδρόθειο.

Το συνολικό περιεχόμενο των διαφόρων αερίων στα γεωθερμικά ρευστά υπολογίζεται από το ποσοστό στην αέρια φάση, από το λόγο των παροχών των δύο φάσεων και από τη συγκέντρωση των διαλυμένων αερίων στο γεωθερμικό νερό.

Ανάλυση δειγμάτων από συμπύκνωμα ατμού

Οι περισσότεροι κοινές μέθοδοι για την ανάλυση του συμπυκνώματος ως προς το H₂S, CO₂, NH₃ είναι:

1. Υδρόθειο: η συνηθέστερη μέθοδος είναι η μέθοδος του ιωδίου. Μέρος του αλκαλικού συμπυκνώματος προστίθεται τμηματικά σε ποτήρι ζέσεως που περιέχει γνωστό όγκο διαλύματος 0,01 N ιόντων ιωδίου και θειικό οξύ. Η περίσσεια του ιωδίου ογκομετρείται με διάλυμα θειοθειικού νατρίου, χρησιμοποιώντας ως δείκτη αμυλούχο γλυκολικό νάτριο. Άλλη μέθοδος είναι η ογκομέτρηση του αλκαλικού συμπυκνώματος με διάλυμα οξικού υδραργύρου ύστερα από την προσθήκη ακετόνης, χρησιμοποιώντας διθειζόνη ως δείκτη.
2. Διοξείδιο του Άνθρακος: σε αλκαλικό συμπύκνωμα το CO₂ προσδιορίζεται με τιτλοδότηση με διάλυμα 0,1 N HCl από το pH 8,25 στο pH 3,8, στο σημείο δηλαδή στο οποίο όλα τα όξινα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε CO₂. Θα πρέπει πάντως να προηγηθεί η απομάκρυνση του H₂S, η οποία επιτυγχάνεται με την προσθήκη ιόντων βαρέων μετάλλων.
3. Αμμωνία: Η αμμωνία στο συμπύκνωμα πρέπει να μετρηθεί αμέσως μετά τη συλλογή του δείγματος, σε περίπτωση που δε γίνει συντήρηση δείγματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται εκλεκτικά ηλεκτρόδια αμμωνίας.

4.9 Χημική γεωθερμομετρία ρευστών

Οι χημικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν μερικές φορές για να εκτιμηθεί η θερμοκρασία του υπόγειου ταμιευτήρα. Η πληροφορία αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια της έρευνας, ειδικά όταν δεν είναι διαθέσιμες πληροφορίες από μετρήσεις σε βαθιές γεωτρήσεις. Επιπλέον, η πληροφορία είναι σημαντική και κατά τη διάρκεια της ανόρυξης των γεωτρήσεων για τους παρακάτω λόγους.

Πρώτον, ακριβείς μετρήσεις της θερμοκρασίας δεν μπορούν να γίνουν σε μια γεώτρηση, μέχρις ότου εξαιρεθούν εντελώς οι επιδράσεις στη θερμοκρασία κατά τη διαδικασία της ανόρυξης της γεώτρησης, δηλαδή μέχρις ότου επέλθει θερμική ισορροπία, και συνεπώς αφού περάσει ένα χρονικό διάστημα εβδομάδων μέχρι μηνών μετά το πέρας της ολοκλήρωσης της γεώτρησης. Δεύτερον, η χημική γεωθερμομετρία μπορεί να υποδείξει ότι θερμοκρασίες υψηλότερες από εκείνες που βρέθηκαν μέσα σε μία γεώτρηση μπορούν να βρεθούν κάπου αλλού στην ευρύτερη περιοχή.

4.9.1 Γεωθερμομετρία νερών

Πολυάριθμα εμπειρικά χημικά γεωθερμόμετρα, βασισμένα σε συγκεκριμένα συστατικά των νερών, έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θερμοκρασίας στους γεωθερμικούς ταμιευτήρες. Τα περισσότερα γεωθερμόμετρα δίνονται με τη μορφή πινάκων.

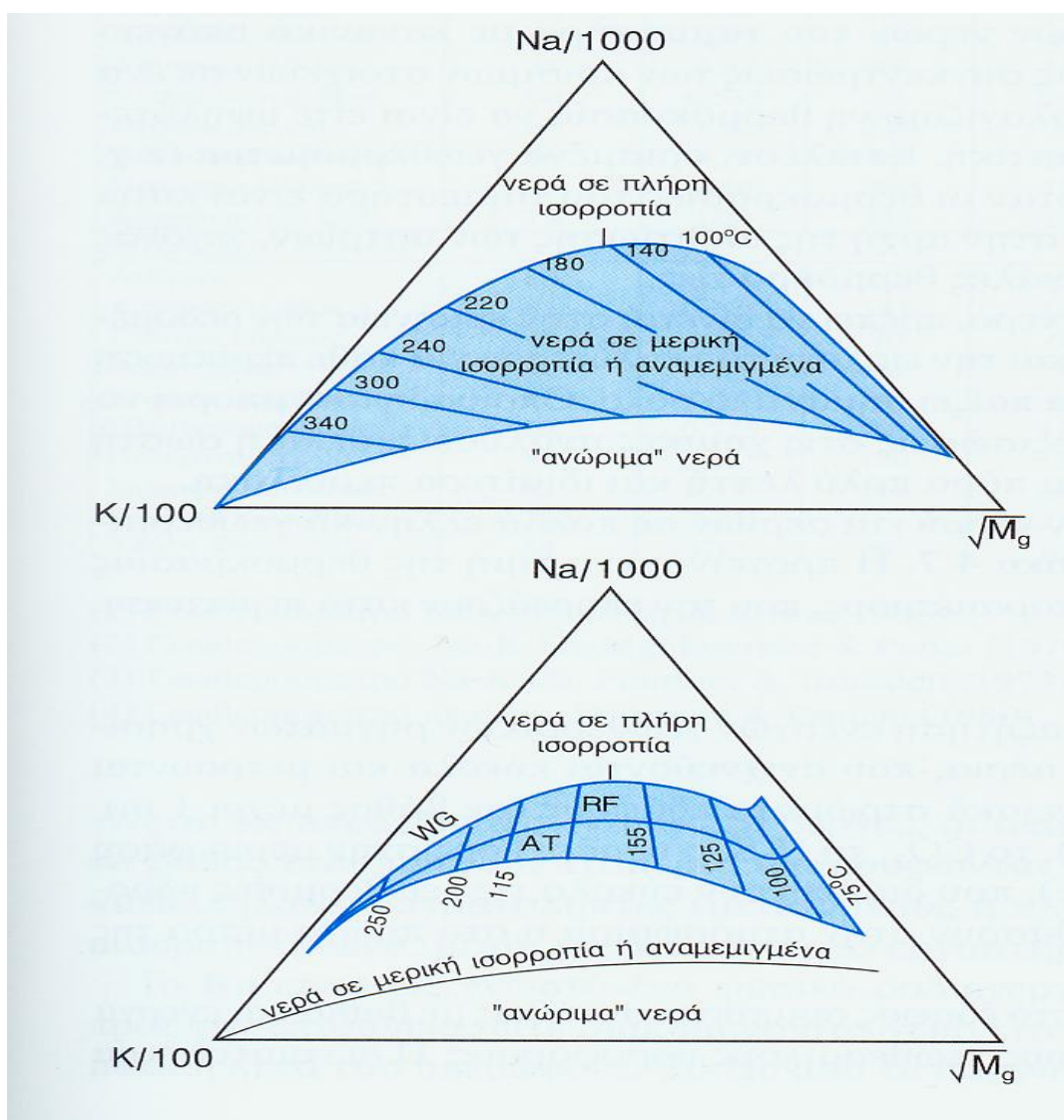
Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) είναι ένα ενδιαφέρον συστατικό των φυσικών νερών, του οποίου η διαλυτότητα μεταβάλλεται σε σχέση με τη θερμοκρασία. Η περιεκτικότητα σε SiO_2 των γεωθερμικών ρευστών φαίνεται να περιορίζεται πάνω από τους 160°C από τη διαλυτότητα του ορυκτού χαλαζία και κάτω από τους 164°C από τη διαλυτότητα του άμορφου SiO_2 . Ορισμένα γεωθερμόμετρα του πυριτίου βασίζονται στην ισορροπία με τα ορυκτά χαλκηδόνης, α-χριστοβαλίτης και β-χριστοβαλίτης, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πια πυριτικά ορυκτά υπάρχουν στα πετρώματα του ταμιευτήρα. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες από γεωτρήσεις θα πρέπει να στηριχτούμε σε γεωλογική έρευνα.

Ένα άλλο σύστημα γεωθερμόμετρου βασίζεται στην ισορροπία που επέρχεται μεταξύ διαφόρων αλκαλίων (Na, K, Ca, Mg, Li) με πετρώματα του ταμιευτήρα που περιέχουν χαλαζία και αστρίου. Στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Na, K, Mg, μπορούν να μας οδηγήσουν σε εκτίμηση της θερμοκρασίας των ρευστών στον ταμιευτήρα όταν πρόκειται για γεωθερμικά συστήματα $50-300^\circ\text{C}$.

Χρησιμοποιείται ένα τριγωνικό σχήμα με ισόθερμες καμπύλες, στις κορυφές του οποίου απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων $\text{Na}/1000$, $\text{K}/100$ και $\text{Mg}^{1/2}$ (σχήμα 4.6).

Επίσης οι μέθοδος αυτή επιτρέπει και την αναγνώριση νερών που έχουν επιτύχει ισορροπία με τα φιλοξενούντα

Διαφορετικά γεωθερμόμετρα δίνουν συχνά διαφορετικά αποτελέσματα όταν εφαρμοστούν στα ίδια θερμά νερά. Για παράδειγμα, η συγκέντρωση του SiO_2 μπορεί να επηρεαστεί από το pH του ρευστού. Επίσης, οι θερμοκρασίες που υπολογίζονται από το γεωθερμόμετρο Na-K-Ca μπορεί να περιέχουν σοβαρό λάθος αν οι συγκεντρώσεις του CO_2 ή του Mg είναι πολύ υψηλές ή αν έχουν προστεθεί κάποια από αυτά τα στοιχεία στο ρευστό, καθώς αυτό ανεβαίνει στην επιφάνεια, μέσω της αλληλεπίδρασης του ρευστού με τα ιζηματογενή πετρώματα ή με ορυκτά που παρουσιάζουν εύκολη ιοντο-ανταλλαγή, όπως πχ οι άργιλοι ή οι ζεόλιθοι. πετρώματα.



Σχήμα 4.6 Τριγωνικά διαγράμματα, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του ταμιευτήρα και για τη αναγνώριση του βαθμού ισορροπίας των νερών. Το επάνω διάγραμμα προτάθηκε από τον Giggenbach (1988) και το κάτω, όπως τροποποιήθηκε από τον Fournier (1990) WG: Giggenbach 1988 RF: Foyrnier 1990 AT: Truesdell 1976

Περιοχή/πεδίο	Μέγιστη επιφανειακή θερμοκρ. (°C)	Συγκ. SiO ₂ (mM)	(1) Γ/μ SiO ₂ (°C)	2) Γ/μ. Na-K-Ca-Mg (°C)	(3) Γ/μ. Na-K-Ca (°C)	(4) Γ/μ. αερίων (°C)	Προτεινόμενη θερμοκρασία ταμιευτήρα (°C)
ΘΡΑΚΗ							
Θέρμες Ξάνθης	52	2,50	154	188		35	150
N. Κεσσάνη Ξάνθης	80	1,04	108	190			120
Σαμοθράκη	100	1,110	166				180
Συκορράχη Σαπών	40	1,17	118	69	159		100
Τραϊανούπολη Έβρου	92	1,07	114	203	223		120
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ							
Αγ. Παρασκευή Χαλκ.	39	1,67	134	32	223		110
Άγγιστρο Σερρών	48	0,87	105	75		121	110
Ελαιχώρια Χαλκ.	42	0,85	104	115			110
Ελευθερές Καβάλας	52	0,93	108	198		93	110
Θέρμη-Σέδες Θεσ.	38	1,46	128	138	148		120
Θερμιά Δράμας	58	1,35	120	205			120
Λαγκαδάς Θεσσαλ.	40	0,57	89	60			90
Λουτράκι Πέλλας	38	0,52	86	118		68	85
N. Απολλωνία Θεσ.	56	0,535	87	157			90
Νιγρίτα Σερρών	63	1,92	141	50		104	100
Νυμφόπετρα Θεσσαλ.	46	0,75	99	107			100
Προμάχοι Πέλλας	26	0,50	84	150		78	85
Σιδηρόκαστρο Σερ.	75	1,70	135	126			120
ΥΠΟΛΟΙΠΗ ΕΛΛΑΔΑ							
Αιδηψός	80	1,04	110	103	174	99	105
Άργενος Λέσβου	85	0,775	141	165	191		150
Γιάλτρα Εύβοιας	42	0,33	70	60			70
Θερμοπύλες	40	0,75	99	50	170	123	100
Καμένα Βούρλα	41	0,56	99	55	121		90
Πλατύστομο Φθιώτ.	33	0,775	101	115		47	100
Πολιχνίτος Λέσβου	90	1,2	120	138	173	47	145
Σμόκοβο Καρδίτσας	42	1,17	118	87	137		90
Σουσάκι Κορινθίας	76	2,41		220	260		160
Υπάτη Φθιώτιδας	34	1,17	88	106		111	100

- (1) Γεωθερμόμετρο SiO₂ : Fournier & Rowe (1966)
(2) Γεωθερμόμετρο. Na-K-Ca-Mg: Fournier & Potter (1979)
(3) Γεωθερμόμετρο Na-K-Ca: Fournier & Truesdell (1973)
(4) Γεωθερμόμετρο αερίων: D'Amore & Panichi (1980)

Πίνακας 4.3 Εκτιμήσεις των θερμοκρασιών Ελληνικών πεδίων, με γεωθερμομετρία νερού και αερίων και προτεινόμενη θερμοκρασία του ταμιευτήρα του πεδίου.

4.9.2 Γεωθερμομετρία αερίων

Στη γεωθερμική έρευνα για την αναζήτηση ενεργών γεωθερμικών δειγμάτων χρησιμοποιούνται και ορισμένα ευκίνητα αέρια, που ανιχνεύονται εύκολα και μετρούνται με αναλύσεις ακριβείας σε επιφανειακά στρώματα εδάφους σε βάθος μέχρι ένα μέτρο. Τέτοια αέρια είναι το ραδόνιο (Rn), CO₂, H₂S, ο υδράργυρος στην αέρια φάση και τα ευγενή αέρια κυρίως το He, που διαπερνούν εύκολα τις γεωθερμικές υδροπερατές και μη ζώνες, μέχρι να φτάσουν στην ατμόσφαιρα ή στα πρώτα μέτρα της επιφάνειας.

Η αυξημένη συγκέντρωσή τους στο έδαφος συμπίπτει συνήθως με βαθιά και ενεργά γεωθερμικά ρήγματα ή υποκείμενους γεωθερμικούς υδροφόρους. Η δειγματοληψία γίνεται με ανοξείδωτες «κούφιες» βέργες, οι οποίες διατρύπουν εύκολα το έδαφος σε βάθος ενός μέτρου.

Τα αέρια αναρροφούνται με σύριγκα και τοποθετούνται σε κατάλληλους δειγματολήπτες μεταλλικούς ή πλαστικούς στους οποίους έχει δημιουργηθεί κενό, μέχρι να φτάσουν στο εργαστήριο για ανάλυση.

Το Rn είναι ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο που εύκολα μετακομίζει προς την επιφάνεια, είτε διαλυμένο στο νερό είτε μέσα από κανονικά ανοικτά ρήγματα ή κενά του υπεδάφους. Το He από τα ευγενή αέρια είναι ιδιαίτερα «ευκίνητο» και ακολουθεί τη ίδια πορεία με το ραδόνιο. Εξαιτίας της ιδιότητάς του να διαπερνά ακόμα και τα υπερκείμενα του ταμιευτήρα στεγανά καλύμματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον εντοπισμό κρυμμένων ταμιευτήρων.

Στη γεωχημική έρευνα και για διάφορους λόγους δίνεται μικρότερο βάθος στα αέρια σε σχέση με τα νερά. Πράγματι, η δειγματοληψία των αερίων είναι πολύ λεπτή εργασία. Αέρια μπορούν να συλλεχθούν από τα εξής σημεία:

1. ατμίδες, όπου κυριαρχεί ο ατμός, αλλά συνυπάρχουν σημαντικές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων, με κυρίαρχο αέριο το CO₂
2. «Kampruchean», όπου κυριαρχεί το CO₂ και λίγο H₂S σε συνθήκες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας, σε περιβάλλον αργίλων και σήψης οργανικών ουσιών,
3. θειωνίες, όπου στα αέρια κυριαρχεί το SO₂ με/ή χωρίς H₂S
4. εδάφη με άφθονο ατμό από αναβράζον γεωθερμικό νερό, τα οποία συνυπάρχουν πολλές φορές με υδροθερμικούς κρατήρες, όξινες πηγές και λεκάνες ιλύος,
5. θερμές αναβλύσεις νερού με αέρια, στις οποίες η δειγματοληψία είναι δύσκολη, γιατί εύκολα υπεισέρχεται ο ατμοσφαιρικός αέρας και
6. γεωτρήσεις, με θερμό ατμό ή νερό που περιέχει και αέρια.

Η σύσταση του παραγόμενου ατμού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες: τη θερμοκρασία και την πίεση του ταμιευτήρα, τη διαλυτότητα των αερίων στην υγρή φάση, το συντελεστή κατανομής των αερίων, την πίεση και θερμοκρασία διαχωρισμού του ατμού, τις αντιδράσεις στον ατμό κατά την άνοδο, όπως π.χ. συμπύκνωση, οξειδωση, αντίδραση με τα πετρώματα, ρύπανση από τον ατμοσφαιρικό αέρα ή από προϊόντα οργανικής εξαλλοίωσης (NH₃, CO₂ και CH₄) Η πλειονότητα των γεωθερμομέτρων αερίων προϋποθέτει τη γνώση των λόγων αερίων/ατμού και ατμού/νερού στην περίπτωση των ταμιευτήρων με υπέρθερμο νερό. Παρόλο που ο ατμός και η αντίστοιχη υγρή φάση εξέρχονται σπάνια μαζί στην επιφάνεια, οι παραπάνω λόγοι δεν μπορούν να προσδιορισθούν για θερμές πηγές ή ατμίδες, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή των γεωθερμομέτρων αερίων μόνο για τις εκροές των γεωτρήσεων.

4.10 Μετρήσεις της παροχής των ρευστών

Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις παράγουν συνήθως διφασικά ρευστά, δηλαδή μία υγρή και μία αέρια φάση, η οποία εκτός από τον ατμό περιέχει και τα μη συμπυκνώσιμα αέρια. Για την αξιοποίηση μιας παραγωγικής γεώτρησης είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε με ακρίβεια τις παροχές του υγρού και του αερίου ρεύματος. Η ολική μαζική παροχή από μία γεώτρηση μπορεί να υπερβαίνει τους 250tn/h και είναι δύσκολο πρακτικά να μετρηθεί με συμπύκνωση όλου του ατμού και μέτρηση του όγκου των ρευστών. Οι παρακάτω μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί σε γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας:

1. Διαχωρισμός και μέτρηση κάθε φάσης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συστηματικά σε πολλές χώρες και αποτελεί την πλέον αξιόπιστη Πρακτική μέτρησης των παροχών των δύο φάσεων. Ο διαχωριστής μπορεί να είναι τύπου κυκλώνα ή απλός. Η διαχωρισμένη αέρια φάση μετρείται με μετρητικά παροχής τύπου δια φράγματος (orifice), Venturi, ή μεταβλητής διαμέτρου. Η παροχή της υγρής φάσης μπορεί να μετρηθεί με σειρά τεχνικών, όπως με μαγνητικά ροόμετρα, με ροόμετρα υπερήχων, με μετρητικά τύπου διαφράγματος ή Venturi, με απλά στροβιλόμετρα ή με το χρόνο πλήρωσης ενός συγκεκριμένου όγκου. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται προφανώς και από τον τύπο του μετρητικού. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση της πυκνότητας και του ιξώδους των ρευστών:
2. Δειγματοληψία σε μία διάμετρο του κατακόρυφου αγωγού. Πραγματοποιείται συνεχής δειγματοληψία με μικρό σωληνάκι (Pitot tube), το οποίο μετακινείται σε διάφορα σημεία κατά μήκος μίας διαμέτρου του αγωγού. Το δείγμα συγκεντρώνεται σε θερμοδόμετρο. Υποθέτοντας ότι η ροή του ρευστού είναι συμμετρική ως προς τον άξονα και ολοκληρώνοντας τις επιμέρους παροχές, μπορεί να υπολογιστεί η συνολική παροχή της γεώτρησης.
3. Απορρόφηση ακτινών β ή γ. Γίνεται η μέτρηση της πυκνότητας του μίγματος με απορρόφηση ακτινών β ή γ κατά μήκος ενός ακροφυσίου, από το οποίο εξέρχονται ατμός και νερό. Η μαζική παροχή υπολογίζεται με τη βοήθεια εμπειρικής σχέσης, με μεταβλητές την πίεση και την πυκνότητα του μίγματος.
4. Χρήση διαφραγμάτων τύπου orifice με οξείες γωνίες. Από τη πτώση πίεσης του διφασικού μίγματος, που μετρείται σε διαφράγματα με οξείες γωνίες, μπορεί να υπολογιστεί η ολική μαζική παροχή για όλες τις αναλογίες ατμού/νερού.
5. Μέθοδος του James. Οι προηγούμενες μέθοδοι, αν χρησιμοποιηθούν με προσοχή μπορούν να δώσουν ακριβή αποτελέσματα.

Όμως, η χρησιμοποίηση των μεθόδων (1) και (3) είναι μάλλον δύσκολη στα αναγνωριστικά στάδια μίας γεώτρησης. Αντίθετα, η μέθοδος του James χρησιμοποιείται αρκετά εύκολα. Ο James(1962) απέδειξε ότι η μέτρηση της πίεσης στο χείλος ενός αγωγού από τον οποίο εξέρχεται διαφασικό μίγμα μπορεί να δώσει τη μαζική παροχή, με την προϋπόθεση ότι η ενθαλπία του μίγματος είναι γνωστή.

Η εμπειρική σχέση που πρότεινε είναι:

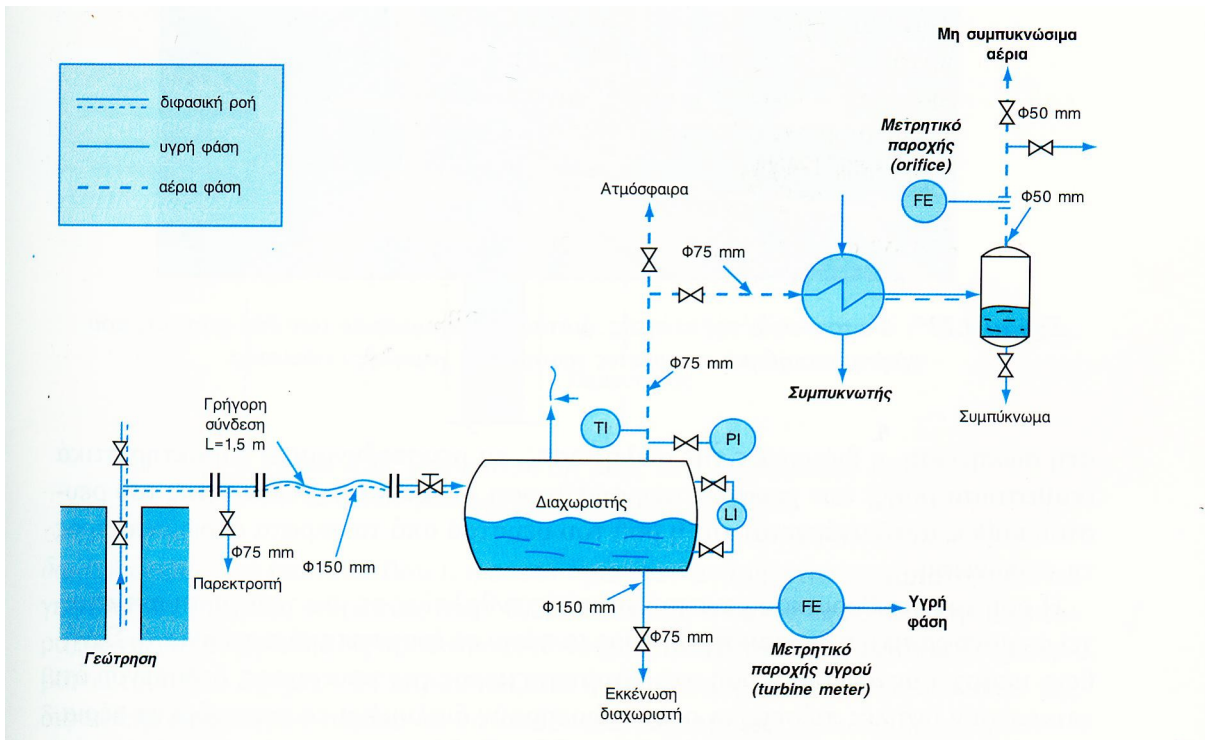
$$Gh^{1,102}/P^{0,96}=16,757*10^6$$

όπου G είναι ταχύτητα μάζας σε kg/m^2s , h η ενθαλπία ηρεμίας σε kJ/kg και P η πίεση εξόδου σε MPa. Υποστηρίζεται ότι η παραπάνω σχέση προβλέπει τη μαζική παροχή με ακρίβεια $\pm 3\%$.

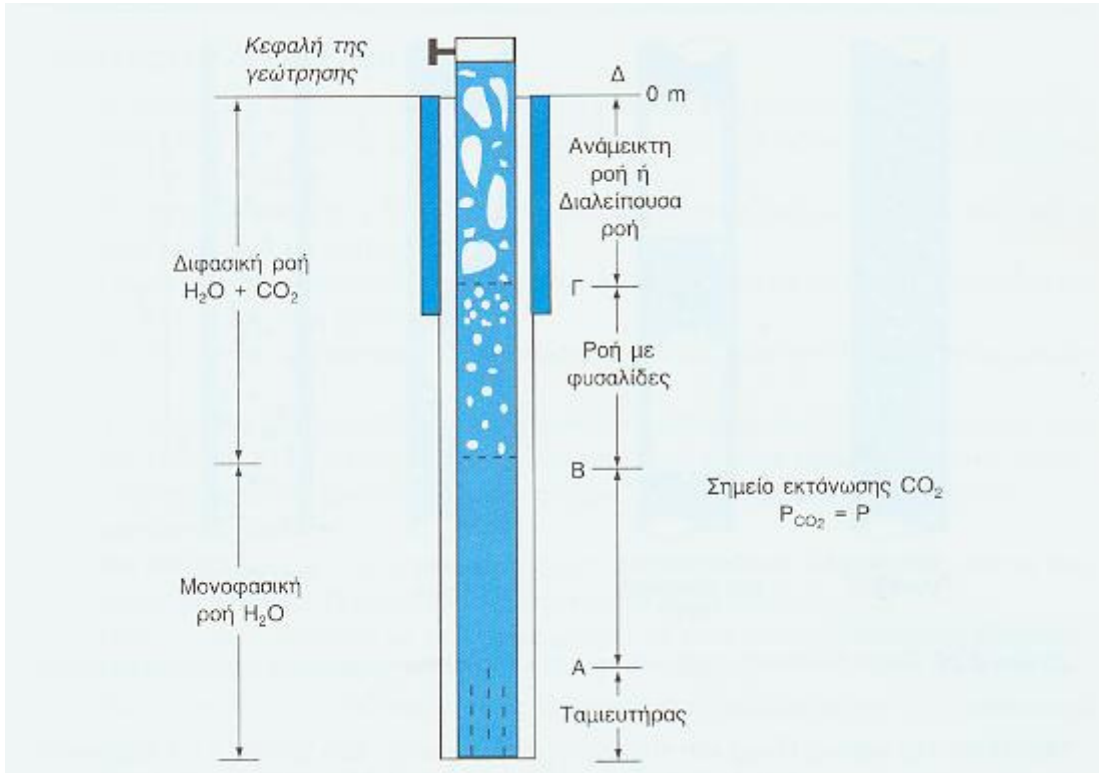
Και για τις γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας η πλέον αξιόπιστη μέθοδος είναι ο διαχωρισμός των δύο φάσεων και μέτρηση κάθε φάσης χωριστά. Βέβαια, προηγείται η συμπύκνωση του ατμού στην αέρια φάση. Η σχηματική απεικόνιση κινητής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε σε αρκετά πεδία στην Ελλάδα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.8, ενώ φωτογραφία της διάταξης δίνεται στο σχήμα 4.7. Από πολλές μετρήσεις με τη διάταξη επιβεβαιώθηκε ότι ο λόγος των παροχών των δύο φάσεων δε μεταβάλλεται με τη συνολική παροχή. Ως εκ τούτου, και επειδή μία ογκώδης διάταξη είναι δύσκολο να μεταφερθεί στις διάφορες γεωτρήσεις, ένας μικρός διαχωριστής, ο οποίος δέχεται μόνο ένα κλάσμα της συνολικής ροής της γεώτρησης, Θα μπορούσε να δώσει με αξιοπιστία το λόγο των παροχών των δύο φάσεων και να βοηθήσει στην αντιπροσωπευτική δειγματοληψία τους.



Σχήμα 4.7 Φωτογραφία της κινητής διάταξης διαχωρισμού των δύο φάσεων, που χρησιμοποιήθηκε σε αρκετές γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας.



Σχήμα 4.8 Σχηματικό διάγραμμα διάταξης διαχωρισμού των δύο φάσεων σε γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας.



Σχήμα 4.9 Απεικόνιση της ροής των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στη γεώτρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Για την αξιολόγηση της οικονομικότητας των γεωθερμικών χρήσεων και της αξίας του ενεργειακού προϊόντος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί τεχνοοικονομικοί παράγοντες, κυρίως το κόστος των γεωτρήσεων, καθώς και η θερμοκρασία η παροχή και η ποιότητα των γεωθερμικών ρευστών.

Είναι λοιπόν σαφές ότι για να έχουμε ένα αποδοτικό (οικονομικά και ποιοτικά) σύστημα εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη έρευνα η οποία όμως θα είναι όσο το δυνατόν πιο επιφανειακή ώστε να μειωθεί το κόστος και οι δαπάνες.

Η επιφανειακή έρευνα είναι χρονοβόρα και δίνει έμμεσες πληροφορίες αντίθετα με τις ερευνητικές γεωτρήσεις, όμως το κόστος της έρευνας είναι πολύ μικρότερο.

5.2 Στάδια γεωθερμικής έρευνας

Η γεωθερμική έρευνα διακρίνεται σε τέσσερα κύρια στάδια:

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

Τα στάδια αυτά ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις της γεωθερμικής έρευνας αν και μπορεί να αλλάζουν οι γεωλογικές συνθήκες καθώς και η ανάπτυξη των επιμέρους σταδίων της έρευνας, οι εργασίες όμως ακολουθούν την προαναφερθείσα σειρά.

Η γεωθερμική έρευνα στοχεύει στα ευνοϊκότερα αποτελέσματα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Για το λόγο αυτό πρέπει σε κάθε φάση να υπάρχει συντονισμός και συνεργασία και να γίνεται χρήση των πιο εξειδικευμένων και τέλειων μέσων έρευνας, για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

5.3 Πρώτο στάδιο: Γεωθερμική έρευνα μεγάλης κλίμακας

Κατά το στάδιο αυτό λαμβάνονται υπόψιν όλα τα γεωλογικά στοιχεία που υπάρχουν, όπως είναι οι γεωλογικοί και τεκτονικοί χάρτες μεγάλης και μεσαίας κλίμακας, φωτογεωλογικές εικόνες από αεροπλάνα και δορυφόρους, χάρτες και στοιχεία των θερμών επιφανειακών εκδηλώσεων, καθώς και γενικοί γεωφυσικοί και γεωχημικοί χάρτες.

Με τον τρόπο αυτό αποκλείονται ορισμένες περιοχές και έτσι επικεντρωνόμαστε σε κάποια σημεία και παίρνουμε μια γενική εικόνα της κατάστασης που επικρατεί στην περιοχή. Κατόπιν ακολουθούν αναγνωριστικές επισκέψεις στην περιοχή που παρουσιάζει γεωθερμικό ενδιαφέρον για τη λήψη δειγμάτων και για θερμομετρήσεις ορισμένων επιφανειακών εκδηλώσεων και ακολουθεί η επαλήθευση των προκαταρκτικών στοιχείων. Τέλος γίνεται προσπάθεια να παρατηρηθούν και να αναζητηθούν τα κύρια συστατικά ενός πιθανού πεδίου γεωθερμικών ρευστών (εστία θερμότητας, ταμιευτήρα και αδιαπέρατου καλύμματος). Έτσι αποκλείονται ευρύτερες περιοχές και μένουν οι πιο ενδιαφέρουσες, οι οποίες και κατατάσσονται σε σειρά προτεραιότητας. Έτσι, συντάσσεται μια πρόταση εκτέλεσης ερευνητικών προγραμμάτων για τις ενθαρρυντικές περιοχές, τονίζοντας τα θετικά και λιγότερο θετικά στοιχεία.

Σε αυτό το στάδιο απαιτούνται εξειδικευμένες γεωθερμικές γνώσεις. Αν και χρειάζεται αρκετός χρόνος, το συνολικό κόστος είναι περιορισμένο λόγω του ότι τα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι λίγα και φτηνά και οι επιστήμονες που απασχολούνται λίγοι. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στον τόπο που παράγεται γι αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η πρόσβαση, η υπάρχουσα ενεργειακή ζήτηση κ.α.

5.4 Δεύτερο στάδιο: Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών

Το στάδιο αυτό είναι το σημαντικότερο στάδιο της έρευνας, αφού γίνεται ο καθορισμός και η έρευνα των περιοχών που έχουν τις περισσότερες πιθανότητες ύπαρξης γεωθερμικών πεδίων σε μικρό σχετικά βάθος και ο προσδιορισμός κατά το δυνατόν των σημείων εκτέλεσης των βαθιών γεωτρήσεων.

Οι λεπτομερειακές έρευνες που εκτελούνται περιλαμβάνουν σειρά εργασιών από τις εργασίες που οδηγούν στη βασική γνώση έως τις πιο δαπανηρές, όπως είναι οι θερμομετρήσεις σε ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου.

Τελικός στόχος είναι η προσέγγιση του γεωθερμικού μοντέλου κάθε πεδίου και η γνώση της θέσης και της κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα ρευστά και τα πετρώματα. Συγχρόνως προτείνεται η σειρά το βάθος και τα χαρακτηριστικά των παραγωγικών γεωτρήσεων.

Οι βαθιές γεωτρήσεις είναι αρκετά δαπανηρές με κόστος αντίστοιχο των γεωτρήσεων πετρελαίου και κάποιες φορές μεγαλύτερο, γι' αυτό πρέπει να γίνονται με το μικρότερο γεωλογικό-μεταλλευτικό ρίσκο. Συνεπώς οι έρευνες πρέπει να γίνονται με μεγάλη λεπτομέρεια για να έχουμε όσο το δυνατό πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Το στάδιο αυτό είναι χρονοβόρο και απαιτεί τη διεξαγωγή πολλών εργασιών στην ύπαιθρο, στο εργαστήριο και το γραφείο όμως το συνολικό κόστος είναι αισθητά μικρότερο από αυτό των βαθιών γεωτρήσεων έρευνας παραγωγής. Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά σειρά, αν και όχι όλες αναγκαστικά αναφέρονται στη συνέχεια.

Γεωλογική μελέτη και ειδική χαρτογράφηση είναι η πρώτη επιστημονική μέθοδος που εφαρμόζεται σχεδόν παντού και πάντα. Στόχος αυτής της μεθόδου είναι η κατανόηση και αποτύπωση της γεωλογικής κατάστασης της περιοχής κατά τα πρώτα χιλιόμετρα της λιθόσφαιρας. Κατά τη μέθοδο αυτή γίνεται η γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακες 1:10000 και 1:20000. Επίσης κατασκευάζονται μερικές στρωματογραφικές στήλες ορισμένων τομών της περιοχής στα κεντρικά σημεία του πεδίου.

Μελετώνται στοιχεία όπως τα πετρώματα το πάχος κάθε σχηματισμού, η περατότητα, η στεγανότητα και άλλα χαρακτηριστικά του υπεδάφους. Όταν η υπό έρευνα περιοχή βρίσκεται σε χώρο με ηφαιστειακούς σχηματισμούς τότε χρειάζεται να ακολουθήσει ειδική ηφαιστειολογική αντιμετώπιση σε συνδυασμό με την γεωθερμική έρευνα. Η ηφαιστειολογία που εφαρμόζεται στη γεωλογική έρευνα μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανομή των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, για την ύπαρξη στεγανού καλύμματος και ικανοποιητικού ταμιευτήρα, καθώς και να εκτιμήσει την ελάχιστη θερμοκρασία των ρευστών.

Τεκτονική και νεοτεκτονική ανάλυση.

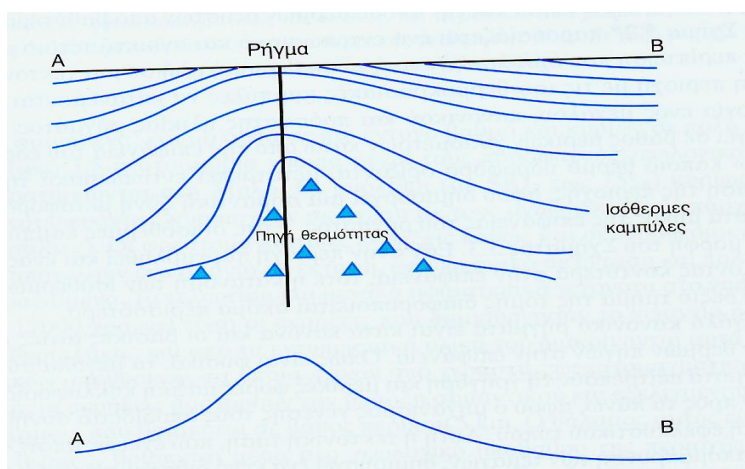
Η μετάδοση της θερμότητας με συναγωγή είναι ταχύτερη και περισσότερο σημαντική εξαιτίας της σχετικά ταχείας κυκλοφορίας των υπόγειων ρευστών, που ανεβαίνουν προς τα πάνω λόγω της πρωτογενούς ή δευτερογενούς περατότητας. Η πρωτογενής περατότητα οφείλεται στη φύση πολλών τύπων πετρωμάτων και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά μερικών ευνοϊκών γεωλογικών σχηματισμών, ενώ η δευτερογενής περατότητα οφείλεται σε υδροθερμικούς και, κυρίως, σε τεκτονικούς παράγοντες. Οι τεκτονικοί παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν τη γεωθερμική κατάσταση μιας περιοχής, δημιουργώντας συνθήκες ταχύτερης κυκλοφορίας και ανόδου των βαθύτερων και θερμότερων ρευστών, τα οποία μεταφέρουν από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας.

Η κλίμακα της θερμικής ροής αλλάζει ριζικά, και γίνεται πολλαπλάσια εκείνης που πραγματοποιείται με το συνεχή ρυθμό της θερμικής αγωγής των πετρωμάτων. Τα κανονικά ρήγματα που έχουν εφελκυστική τάση ανοίγουν μεγάλες και ανοικτές διόδους για την κυκλοφορία και την άνοδο θερμών ρευστών από βαθύτερα στρώματα. Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ένα εντυπωσιακό και ανοικτό τέτοιο ρήγμα.



Σχήμα 5.1 Χαρακτηριστική φωτογραφία πρόσφατου κανονικού ρήγματος στη Μήλο (ορυχείο Βάνι) με σημαντική οριζόντια διάνοιξη που πληρώθηκε από πρόσφατα κορήματα και αποτελεί ιδανική δίοδο ανόδου και κυκλοφορίας θερμών ρευστών. Τα χρώματα των πετρωμάτων δείχνουν και την έντονη κυκλοφορία και απόθεση σιδήρου και μαγγανίου.

Στην περίπτωση που έχουμε κανονική-μέση θερμική ροή σε μια τεκτονικά αδιατάρακτη περιοχή με τις ισοθερμοκρασιακές καμπύλες να κατανέμονται ομαλά, η δημιουργία ενός μεγάλου, κανονικού και πρόσφατης ηλικίας ρήγματος, το οποίο καταλήγει σε βάθος μερικών χιλιομέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και «τέμνει» κάποιο θερμό υδροφόρο ορίζοντα, μετατρέπει εντυπωσιακά τη θερμική κατάσταση της περιοχής, αφού δημιουργεί μια σημαντική ζώνη μεταφοράς θερμότητας κατά μήκος της επιφάνειας του ρήγματος. Έτσι, οι ισοθερμες καμπύλες παίρνουν τη μορφή του Σχήματος 5.2.



Σχήμα 5.2 Ισοθερμοκρασιακές καμπύλες πάνω από μία εστία θερμότητας με τη συνδρομή ενός σημαντικού τεκτονικού ρήγματος.

Τα μεγάλα κανονικά ρήγματα είναι κατά κανόνα και οι βασικές αιτίες δημιουργίας των θερμών πηγών στην επιφάνεια. Όπως είναι φυσικό, τα μεγάλα αυτά κανονικά ρήγματα επιτρέπουν τη γρήγορη και μερικές φορές μαζική κυκλοφορία θερμών ρευστών προς τα πάνω, αφού ο μηχανισμός γένεσής τους αποδίδεται συνήθως στην τεκτονική εφελκυστικού τύπου. Αυτή η τεκτονική τάση, που έχει ως αποτέλεσμα τη σχετική απομάκρυνση των τεμαχών, δημιουργεί ένα κενό διάστημα μεταξύ των διερρηγμένων επιφανειών, που «γεμίζει» αμέσως με θερμά ρευστά.

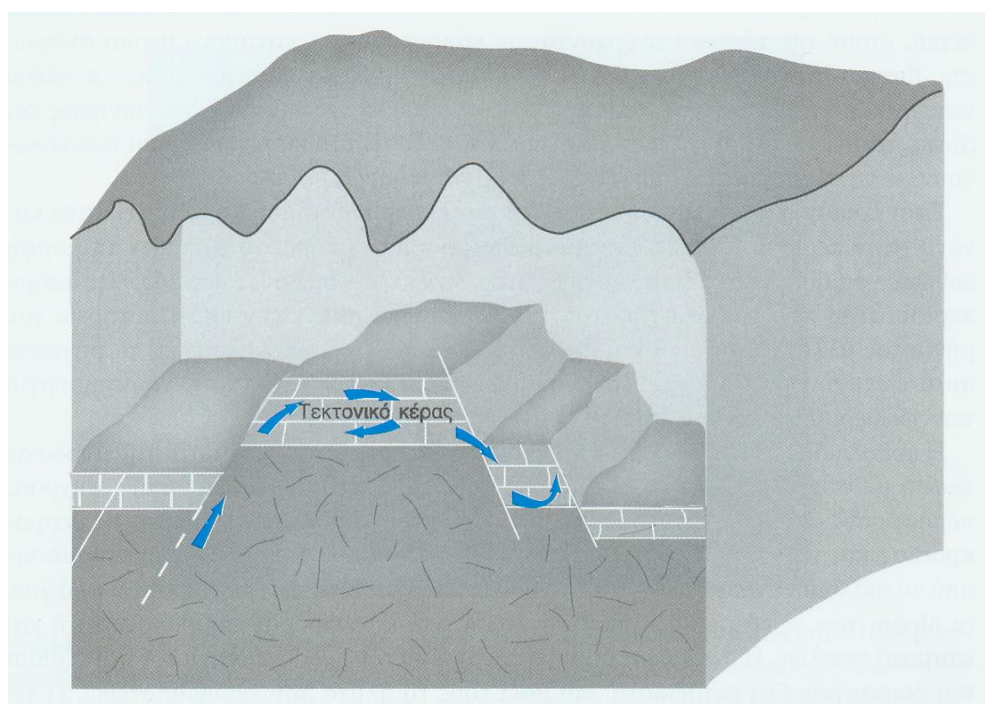
Τα ρευστά αυτά, επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα από τα ψυχρά νερά και περιέχουν διαλυμένα αέρια, έχουν την τάση να ανέρχονται με κάποια πίεση (φαινόμενο θερμοανύψωσης). Τα ρήγματα αυτού του τύπου δημιουργούν συνήθως και ζώνες μυλονιτίωσης, οι οποίες από τη φύση τους είναι υδροπερατές, και διευκολύνουν με τη σειρά τους την άνοδο των θερμών ρευστών.

Έτσι λοιπόν, μία τεκτονική ρηγμάτων εφελκυστικού τύπου δημιουργεί κατά κανόνα στην περιοχή μία Θερμική ανωμαλία, η οποία μπορεί να έχει είτε τη μορφή ευθείας γραμμής κατά μήκος του ρήγματος, είτε ελλειψοειδούς γραμμής, είτε ακόμα περισσότερο πολύπλοκα σχήματα όταν παρεμβάλλονται στην υπόγεια πορεία του ρήγματος άλλοι υδροφόροι και σύνθετες γεωλογικές δομές. Εν τέλει, τα ρήγματα αυτά επιταχύνουν την υδροθερμική κυκλοφορία και διευκολύνουν τη δημιουργία των γεωθερμικών πεδίων κοντά ή επάνω στην επιφάνεια. Η εύκολη όμως κυκλοφορία των θερμών ρευστών τα φέρνουν κατά την άνοδο σε επαφή με ψυχρότερα γεωλογικά πετρώματα, αλλά και με επιφανειακούς ψυχρούς υδροφόρους ορίζοντες. Αυτό επιφέρει σταδιακή ή και απότομη πτώση της θερμοκρασίας και της πίεσής τους, με αποτέλεσμα την απόθεση στο δρόμο ορισμένων από τα διαλυμένα άλατα (π.χ. ανθρακικά και πυριτικά).

Έτσι, με τον καιρό φράζουν οι δίοδοι των γεωθερμικών ρευστών και η ροή-κυκλοφορία επιβραδύνεται ή και σταματά εντελώς. Η ενεργός τεκτονική ξανανοίγει τους «δρόμους», αφού δονεί βίαια και διαρρηγνύει τα πετρώματα, και μαζί τους τα άλατα που έχουν αποθεθεί. Η τεκτονική αυτή μπορεί να δημιουργήσει και καινούργια ρήγματα ή μικροδιαρρήξεις, φτιάχνοντας και νέες διόδους κυκλοφορίας. Γι' αυτόν το λόγο, οι θετικές θερμικές ανωμαλίες βρίσκονται συνήθως σε περιοχές με πολύ πρόσφατη και ενεργό τεκτονική, κατά προτίμηση εφελκυστικού τύπου, η οποία εκτός από τη διάρρηξη προξενεί και διάνοιξη νέων κενών χώρων. Τέτοιες περιοχές χαρακτηρίζονται και από συχνή σεισμικότητα, γι' αυτό και η σεισμογενής Ελλάδα έχει ευνοϊκές γενικά γεωθερμικές συνθήκες. Βέβαια, αυτό δεν ισχύει για όλες τις σεισμικές περιοχές.

Για παράδειγμα, όταν επικρατεί η συμπίεστική τεκτονική, τότε οι διαρρήξεις που δημιουργούνται από το σεισμό πολύ γρήγορα κλείνουν και η κυκλοφορία των ρευστών

εμποδίζεται. Η νεοτεκτονική λοιπόν δραστηριότητα όταν είναι ενεργός και εφελκυστικού τύπου μπορεί, σε συνδυασμό με άλλες ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, να δημιουργήσει διάφορες επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας και, προπαντός, αξιόλογα γεωθερμικά πεδία. Πράγματι, ο συνδυασμός κανονικών ρηγμάτων δημιουργεί πολλές φορές τεκτονικά κέρατα που όταν καλύπτονται από στεγανούς σχηματισμούς, αποτελούν ιδανικές δομές σχηματισμού και ανάπτυξης γεωθερμικών κοιτασμάτων. Μία τεκτονική δομή (Σχήμα 5.3) έχει π.χ. καλύτερες συνθήκες θερμοκρασίας στο τεκτονικό κέρασ, επειδή εκεί επικρατεί ικανοποιητική θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος. Στα ακραία Τμήματα του κέρατος, εξαιτίας των ρηγμάτων, δημιουργούνται ακόμα καλύτερες συνθήκες κυκλοφορίας, λόγω και της δευτερογενούς περατότητας των σχηματισμών. Επομένως, στα σημεία αυτά οι γεωτρήσεις έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες ρευστών.

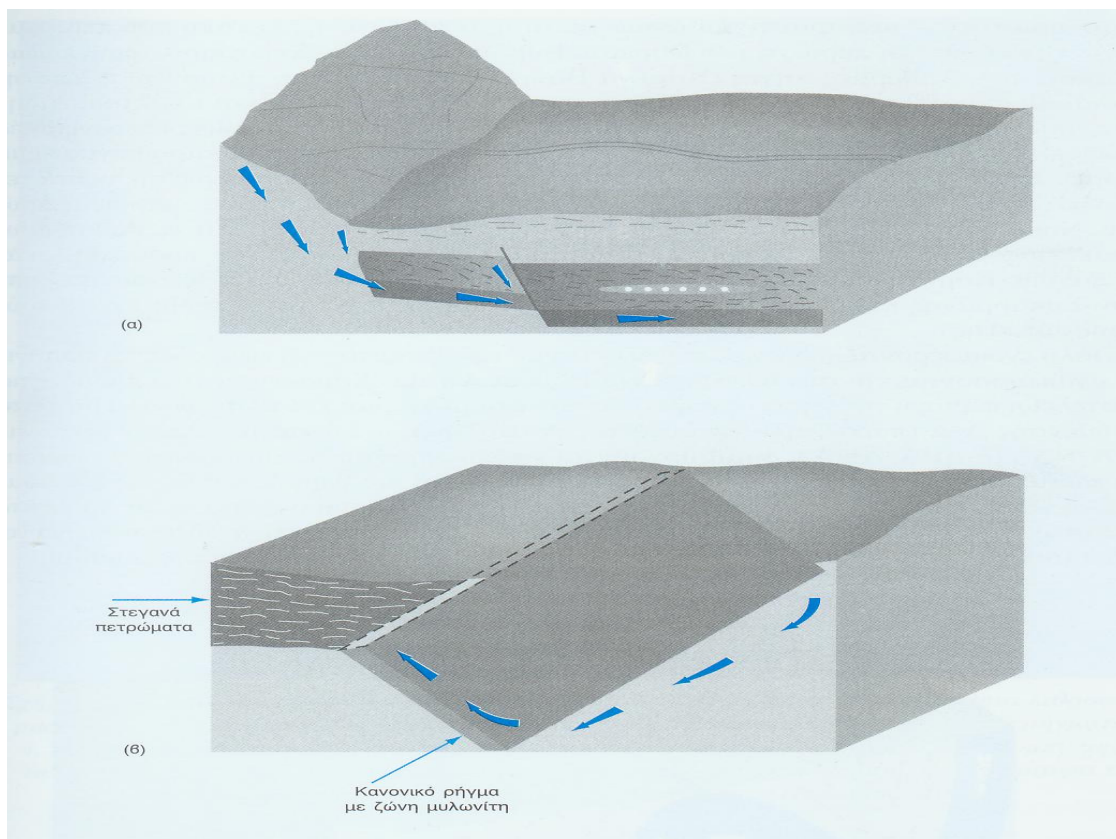


Σχήμα 5.3 Τεκτονική δομή στο τεκτονικό κέρασ του υπόβαθρου.

Τέτοιες συνθήκες επικρατούν στην πρόσφατη τεκτονική λεκάνη του Πάδου Ιταλίας και συγκεκριμένα κάτω από την πόλη της Φερράρας, όπου σχηματίζεται ένα σημαντικό γεωθερμικό πεδίο μέσα στους παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς και κάτω από τα τεταρτογενή ιζήματα. Αντίθετα, η τεκτονική κανονικών ρηγμάτων μπορεί να βυθίσει Τμήματα ενός περατού σχηματισμού και να υποβαθμίσει τις θερμοκρασιακές συνθήκες στα Πιο βυθισμένα τεμάχη του (Σχήμα 5.4α).

Τα σημαντικά ρήγματα μπορεί να επηρεάσουν και αρνητικά τη γεωθερμική κατάσταση, γι' αυτό χρειάζεται οπωσδήποτε να προσδιορισθούν από την έρευνα, έστω και αν

αυτό δεν είναι καθόλου εύκολο, όπως για παράδειγμα όταν είναι καλά καλυμμένα από πρόσφατα ιζήματα. Σε αυτήν την περίπτωση ο εντοπισμός τους γίνεται μόνο με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Η τεκτονική μεγάλων ρηγμάτων με ζώνες μυλωνιτίωσης (Σχήμα 5.4β) διευκολύνει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα στις ζώνες και τοπικά μπορεί να δημιουργήσει αλλού ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες (π.χ. στα σημεία ανόδου ή επιφανειακής εξόδου) και αλλού μη ευνοϊκές (π.χ. στις ζώνες κατείσδυσης - τροφοδοσίας).



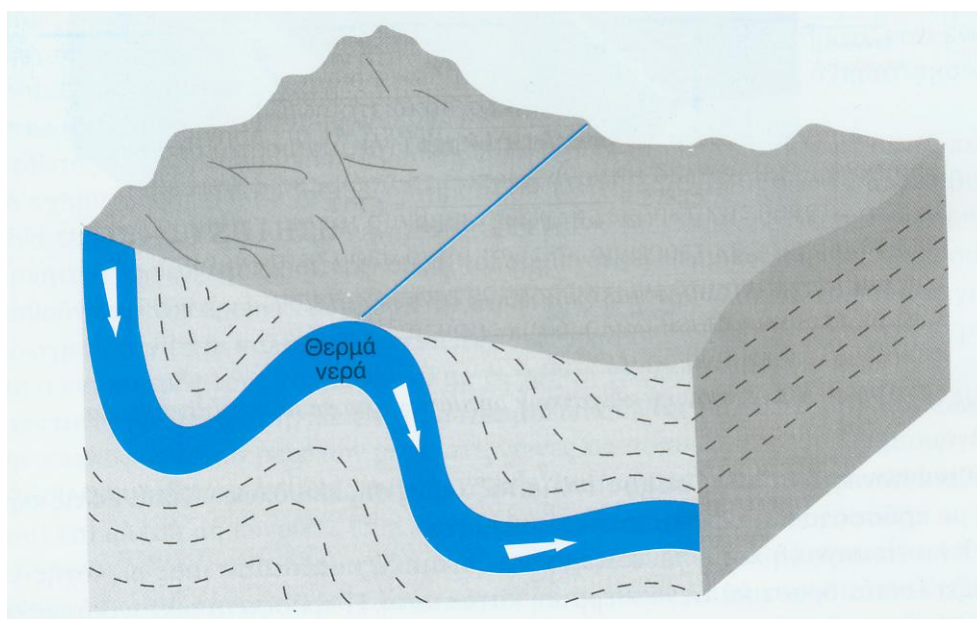
Σχήμα 5.4 Τεκτονική κανονικών ρηγμάτων που δημιουργεί βυθίσματα

Η τεκτονική δομή κάθε περιοχής που προσδιορίζεται από παλαιότερα αίτια (π.χ. πτυχώσεις, παλαιά ρήγματα) επηρεάζει λιγότερο τη γεωθερμική κατάσταση (Σχήμα 5.5). Οι αντικλινικές βέβαια δομές είναι πάντοτε καλύτερες σε σχέση με τις συγκλινικές, αλλά η θερμική ροή είναι γενικά αρκετά πιο ομαλή και γενικότερα δεν παρουσιάζει έντονες μεταβολές σε κοντινά μεταξύ τους σημεία, όπως γίνεται με τις περιοχές με πρόσφατα και μεγάλα ανοικτά ρήγματα. Η νεοτεκτονική και η γενικότερη γεωδυναμική κατάσταση μιας περιοχής επηρεάζει λοιπόν δραστικά τη γεωθερμική κατάσταση. Η πρόσφατη τεκτονική εφελκυστικού Τύπου δημιουργεί κυρίως τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες τριτογενούς και τεταρτογενούς ηλικίας, με πρόσφατη έως ενεργό τεκτονική και σεισμική δραστηριότητα.

Για παράδειγμα αναφέρεται η Τεταρτογενής λεκάνη που περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή του Βόρειου Ευβοϊκού και του Σπερχειού, όπου εμφανίζονται πολλές θερμές Πηγές (Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Ψωρονέρια, Υπάτη, Παλαιοβράχα, Πλατύστομο και Αρχάνι

στη λεκάνη Σπερχειού, και Γυάλτρα, Αιδηψός, Ίλια στη Βόρεια Εύβοια). Οι θερμές Πηγές αποτελούν συνήθως επιφανειακές ενδείξεις σημαντικών γεωθερμικών πεδίων.

Άλλα χαρακτηριστικά παραδείγματα με θερμές πηγές και κυρίως με σημαντικά γεωθερμικά πεδία προσδιορίστηκαν στα τεκτονικά βυθίσματα που σχημάτισαν τη λεκάνη της Μυγδονίας (πεδία Λαγκαδά, Δρυμού, Νυμφόπετρας και Ν. Απολλωνίας), του Στρυμόνα (πεδία Νιγρίτας, Λιθοτόπου Ηράκλειας, Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου, Ιβήρων-Αχινού κτλ.), την ευρύτερη λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής (πεδία Ν. Ερασμίου-Μαγγάνων, Ποταμιάς-Ν. Κεσσάνης, Σαπών-Συκορράχης κτλ., καθώς και τη λεκάνη του Δέλτα Νέστου (πεδίο Ερατεινού Χρυσούπολης).

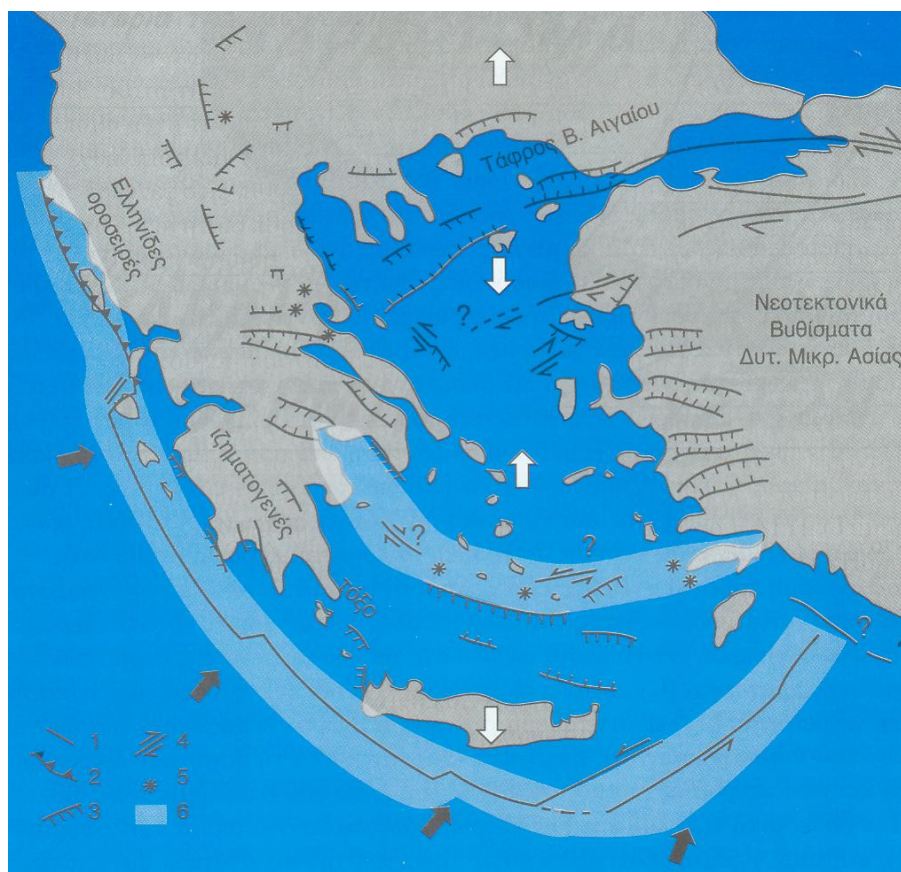


Σχήμα 5.5 Περιοχή με παλιά τεκτονική πτυχώσεων. Η πτυχή στο αντικλινικό τμήμα της μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες.

Πολύ ενδιαφέροντα πεδία που συνδέονται με την Τεταρτογενή εφελκυστική τεκτονική αναπτύσσονται και στο Κεντρικό και Βόρειο Αιγαίο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της νήσου Λέσβου, όπου κατά μήκος και κοντά σε μεγάλα ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ αλλά και με άλλες διευθύνσεις (ΒΑ-ΝΔ και ΔΒΔ-ΑΝΑ), δημιουργούνται τα πολυάριθμα σε συχνότητα γεωθερμικά πεδία και θερμές Πηγές, μεταξύ των οποίων και οι πιο θερμές πηγές της Ελλάδας (Πολιχνίτος, 88°C.) Η τεκτονική κατάσταση στον ελληνικό χώρο κατά το Μέσο Πλειστόκαινο έως σήμερα, περίοδο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τη γεωθερμική έρευνα, φαίνεται στο Σχήμα 5.6 με τις διευθύνσεις των αξόνων συμπίεσης και εφελκυσμού.

Η ευνοϊκή κατάσταση σε όλο το Κεντρικό και Βόρειο Αιγαίο, καθώς και στις γειτονικές ηπειρωτικές περιοχές, συνδέεται και με τη γενικότερη εκλέπτυνση του φλοιού που συνάγεται από βαρυτομετρικές έρευνες.

Η εκλέπτυνση του φλοιού βέβαια σχετίζεται με τη σειρά της με τη γενικότερη σημερινή γεωδυναμική και τεκτονική κατάσταση της ευρύτερης περιοχής, όπου η πίεση της βυθιζόμενης λιθосφαιρικής πλάκας της Αφρικής νότια της Κρήτης και δυτικά της Πελοποννήσου δημιουργεί συνθήκες έντονου εφελκυσμού πολύ πιο πίσω από το ηφαιστειακό τόξο, στην οπισθότοξη περιοχή του Κεντρικού-Βόρειου Αιγαίου, αλλά και της Κεντρικής Ελλάδας.



Σχήμα 5.6 Κύρια νεοτεκτονικά χαρακτηριστικά του χώρου του αιγαίου. 1. Όρια λιθосφαιρικών πλακών 2. Ζώνη ηπειρωτικής συμπίεσης 3. Τα σπουδαιότερα κανονικά ρήγματα 4. Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης 5. Πλειοτεταρτογενή ηφαιστεια 6. Ζώνη συμπίεσης. Τα λευκά βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του κύριου εφελκυστικού πεδίου, ενώ τα μαύρα τη διεύθυνση κίνησης της αφρικανικής λιθόσφαιρας (Παυλίδης, 2003).

Γεωχημεία εξειδικευμένη στη γεωθερμική έρευνα.

Η γεωχημική έρευνα μελετά τα υπόγεια και επιφανειακά νερά αναλύοντας τη σύστασή τους καθώς και τη σύσταση των πετρωμάτων. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να δοθούν σημαντικά στοιχεία για τη γεωθερμική έρευνα.

Γενικά είναι μια σύνθετη και πολύπλοκη μέθοδος με την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε και τη θερμοκρασία των ρευστών στον ταμιευτήρα.

Οι Γεωφυσικές μέθοδοι επιλέγονται ανάλογα με την περίπτωση και συμβάλουν πραγματικά σε όλη τη γεωθερμική έρευνα, αρκεί να χρησιμοποιηθούν σωστά. Λόγω του ότι είναι έμμεσες τεχνικές πρέπει να συνδυάζονται και με άλλες μορφές έρευνας (γεωχημική, τεκτονική).

Υπάρχουν πολλές γεωφυσικές μέθοδοι κάποιες από τις οποίες είναι:

1. Οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι που με ειδικές συσκευές και κάποιες τεχνικές μετρούν την αντίσταση του εδάφους ή την αγωγιμότητά του.
2. Οι μαγνητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν τα ηλεκτρονικά μαγνητόμετρα και μετρούν τις μαγνητικές ανωμαλίες στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού.
3. Η βαρυτομετρική μέθοδος που μελετά τις μεταβολές του βαρυτικού πεδίου της γης σε ένα συγκεκριμένο χώρο.
4. Η σεισμική μέθοδος η οποία μετρά μέσω σεισμικών κυμάτων την ταχύτητα αντανάκλασης του σήματος καθώς και την διάθλασή του.

5.5 Τρίτο στάδιο: Εντοπισμός – Περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων με γεωτρήσεις και μελέτη των χαρακτηριστικών τους.

Με τα αποτελέσματα από τα προηγούμενα στάδια έρευνας καταλήγουμε στον προσδιορισμό των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών. Επίσης καθορίζονται οι περιοχές που θα εκτελεστούν οι γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής με τη συνεργασία διάφορων επιστημόνων και τεχνικών. Οι γεωτρήσεις διακρίνονται σε ερευνητικές μικρής διαμέτρου και σχετικά απλής κατασκευής και σε παραγωγικές ή αλλιώς επανεισαγωγής μεγάλης διαμέτρου. Επίσης γίνεται και διαχωρισμός βάσει της ενθαλπίας.

Το κόστος των γεωτρήσεων εξαρτάται από πόλους παράγοντες όπως το βάθος, το είδος, τον τύπο και τη διάμετρο των σωληνώσεων κ.α. Με τιμές του 2000 οι παραγωγικές γεωτρήσεις (με τις σωληνώσεις) βάθους έως 500m κοστίζουν από 50 έως 100€ το μέτρο.

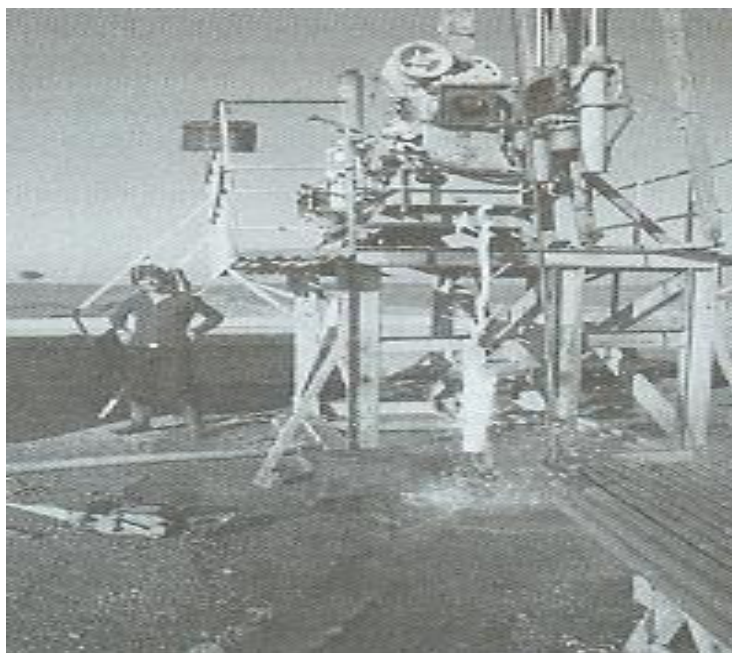
Γενικά οι γεωτρήσεις μέσης και υψηλής ενθαλπίας αρχίζουν από τα 10.000€ έως και 300.000€ ανάλογα με το βάθος και είναι λίγο ακριβότερες από τις γεωτρήσεις υδρογονανθράκων. Για το λόγο του αυξημένου κόστους πρέπει να γίνει σωστός σχεδιασμός και ακριβής μελέτη των αποτελεσμάτων καθώς και της λειτουργίας των ερευνητικών γεωτρήσεων, για την επιτυχία ενός προγράμματος εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Μετά από τη δοκιμαστική λειτουργία, μεγάλου χρονικού διαστήματος, των βαθιών γεωτρήσεων και την ανάλυση των δεδομένων της γεώτρησης, οριστικοποιούνται τα όρια του γεωθερμικού πεδίου.

5.6 Τέταρτο στάδιο: Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων

Στο στάδιο αυτό γίνεται η ανάπτυξη και διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου και η κατασκευή του γεωθερμικού μοντέλου. Γίνονται καινούριες γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου, με λιγότερα προβλήματα από τις προηγούμενες λόγω της εμπειρίας που αποκομίσθηκε, και προσδιορίζεται το συνολικό δυναμικό του πεδίου. Επίσης αποφασίζεται πίες γεωτρήσεις θα χρησιμοποιηθούν για την επανεισαγωγή και αν χρειάζονται καινούριες για αυτόν το σκοπό. Τέλος κατασκευάζεται και το δίκτυο κυκλοφορίας επανεισαγωγής και διαχείρισης των ρευστών.

Στα πεδία υψηλής ενθαλπίας οι επιφανειακές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, το σύστημα επανεισαγωγής, το σύστημα ψύξης του νερού και τις μονάδες συγκράτησης υδρόθειου εκτός εάν γίνεται πλήρης επανεισαγωγή και τότε δεν χρειάζονται. Μετά την απόληψη της θερμότητας τα ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κλιμακωτά για άλλες χρήσεις. Είναι προτιμότερο να γίνεται συνολική και όχι μερική ανάπτυξη του πεδίου με κλιμακωτές χρήσεις για να είναι οικονομικά αποδοτικότερο.



Σχήμα 5.7 Φωτογραφία ερευνητικού γεωτρητικού συγκροτήματος του ΙΓΜΕ στην περιοχή Νιγρίτας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 Εισαγωγή

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι δύο ειδών. Οι ηλεκτρικές χρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από ρευστά θερμοκρασίας πάνω από 150°C. Και οι άμεσες χρήσεις που καλύπτουν όλη την κλίμακα των θερμοκρασιών και χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρων, στις ιχθυοκαλλιέργειες, για ξήρανση αγροτικών προϊόντων και για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αν και η συνολική ενεργειακή χρήση της γεωθερμίας είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις παγκόσμιες ανάγκες (μόλις 0,5%), για ορισμένες χώρες όπως η Ισλανδία το 50% των αναγκών σε ενέργεια καλύπτεται από τα γεωθερμικά ρευστά. Όσο για το κόστος της παραγόμενης θερμότητας η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Στη γεωθερμία η μεγάλη δαπάνη γίνεται για τις αρχικές έρευνες και εγκαταστάσεις, αντίθετα το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μικρό.

6.2 Άμεσες χρήσεις

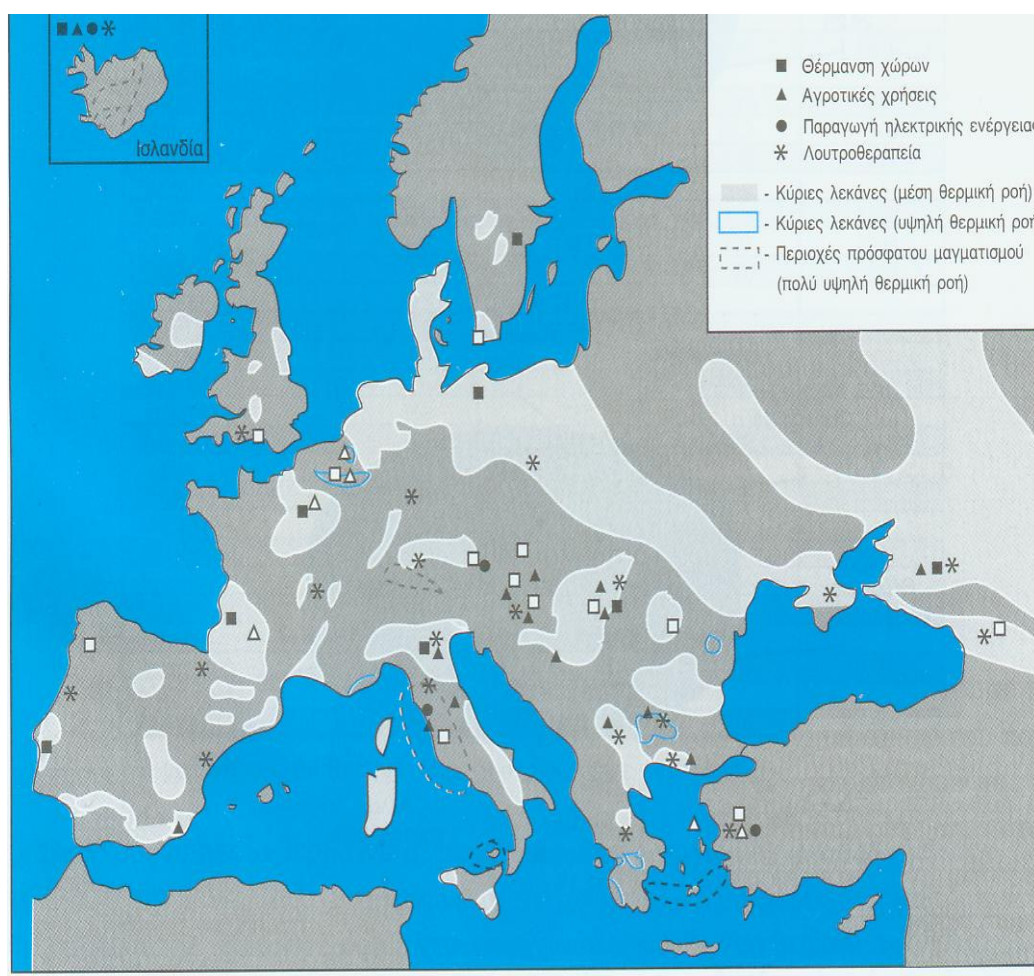
Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες όπως: θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις, λουτροθεραπεία και αντλίες θερμότητας. Βέβαια υπάρχουν πολλές άλλες χρήσεις ανά τον κόσμο όπως η χρήση μετά την αφαλάτωση κατάλληλου γεωθερμικού νερού για νερό άρδευσης και η χρήση του για πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού, καθώς και η χρήση του για διαύγαση ινών στη Ν. Ζηλανδία.



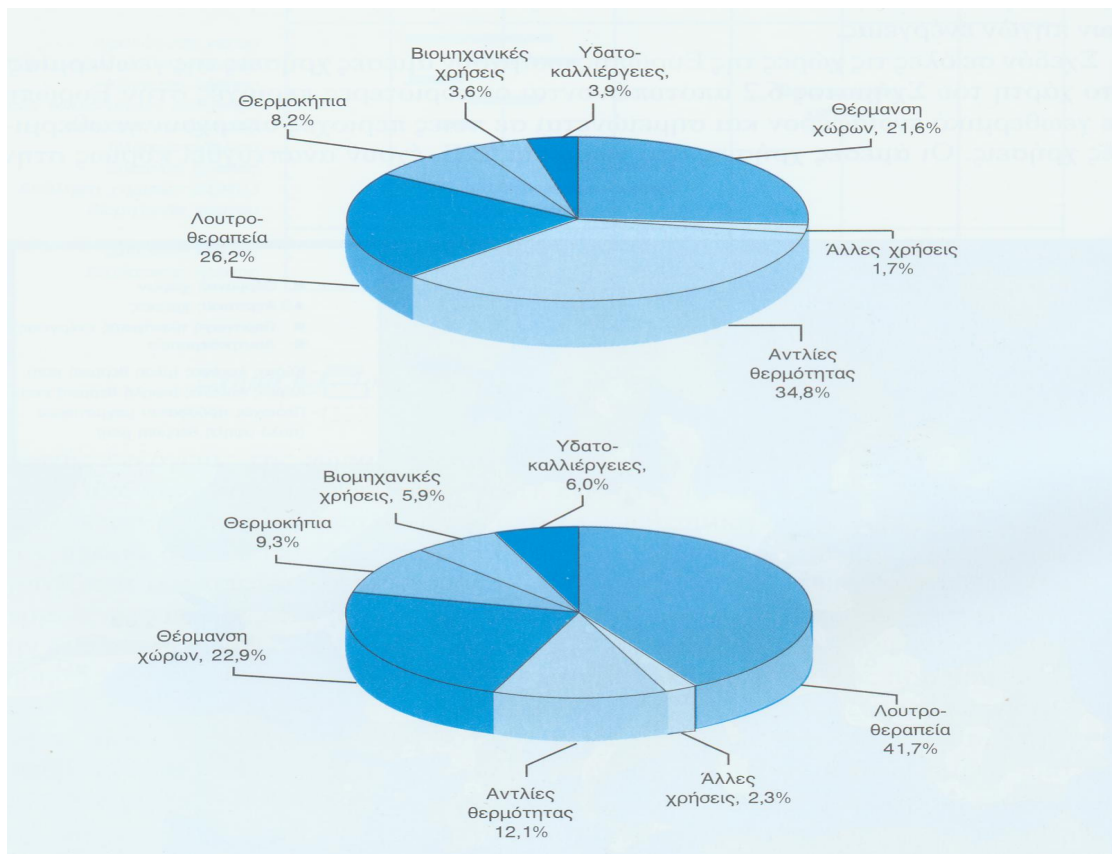
Σχήμα 6.1 Φωτογραφία πισίνας λουτροθεραπευτικού συγκροτήματος με γεωθερμικά νερά στο Pamukkale της Τουρκίας, στα ερείπια της αρχαίας Ιεράπολης.

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας αποτελείται συνήθως από τέσσερα υποσυστήματα:

1. Το σύστημα παραγωγής, που περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση με την αντλία παραγωγής και την κεφαλή της γεώτρησης.
2. Το σύστημα μεταφοράς των ρευστών, από την κεφαλή μέχρι το σύστημα εφαρμογής.
3. Το σύστημα εφαρμογής (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας) μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας (κυκλοφορητές, συστήματα ρύθμισης, σωληνώσεις κτλ). Συχνά, σε σχετικά μεγάλες εφαρμογές τηλεθέρμανσης τα συστήματα εφαρμογής βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μια κεντρική εγκατάσταση, στην οποία οδηγούνται τα γεωθερμικά ρευστά από διάφορες γεωτρήσεις της περιοχής.



Σχήμα 6.2 Οι κυριότερες γεωθερμικές περιοχές και χρήσεις στην Ευρώπη.



Σχήμα 6.3 Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά, (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση.

6.3 Αγροτικές χρήσεις

Οι αγροτικές διεργασίες και η βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων αποτελούν ενδιαφέρουσες περιοχές για την αξιοποίηση της γεωθερμίας. Πριν από μερικά χρόνια θεωρούνταν ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία για θέρμανση θερμοκηπίων ήταν οι 60 °C, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται ρευστά με θερμοκρασίες μέχρι και 40 °C. Τα καλύτερα αποτελέσματα αξιοποίησης σε αγροτικές χρήσεις έχουν επιτευχθεί στη θέρμανση θερμοκηπίων και στις υδατοκαλλιέργειες, και σε μικρότερο βαθμό στην ξήρανση αγροτικών προϊόντων.

6.4 Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών

Τα γεωθερμικά ρευστά δεν περιέχουν μόνο θερμότητα, αλλά αρκετές φορές περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ουσίες, στερεές ή αέριες. Στοιχεία που θα μπορούσαν θεωρητικά να ανακτηθούν είναι ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, το μαγνήσιο, το αντιμόνιο, το βόριο, το στρόντιο κλπ.

Στο Μεξικό ανακτάται κάλιο και μαγνήσιο, ενώ εδώ και 200 χρόνια λαμβάνουν βορικό οξύ στο Landarellο της Ιταλίας με εξάτμιση των νερών. Από τα αέρια των ρευστών το μόνο που μπορεί να τύχει εκμετάλευσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα.

6.5 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Γενικά η αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείτε με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή το επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας κτλ.) και τη μεταφορά της θερμότητας αυτής σε ένα θερμότερο μέσο όπως το νερό ή ο αέρας, το οποίο και χρησιμοποιείτε για παράδειγμα για τη θέρμανση μιας οικίας ή ενός θερμοκηπίου.

Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστή, τη βαλβίδα εκτόνωσης, και βέβαια την πηγή ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας της ίδιας συσκευής για ψύξη όσο και για θέρμανση. Η πιο συνηθισμένη πηγή ενέργειας για τις αντλίες θερμότητας είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας (συστήματα αέρα-αέρα, κοινά κλιματιστικά), με σοβαρό μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σε θερμοκρασίες μικρότερες των 5 °C.

Τα τελευταία 30 χρόνια βρίσκουν εφαρμογή οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν για πηγή θερμότητας το έδαφος και το νερό (υπόγειο ή επιφανειακό) και ονομάζονται γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ). Η μορφή ενέργειας αυτή καλείτε αβαθής γεωθερμία.

6.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ο τύπος (κύκλος) της μονάδας ο οποίος χρησιμοποιείτε για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική καθορίζεται από το είδος του πεδίου, από τη θερμοκρασία και την πίεση των ρευστών, από τη σύσταση τους, από τη δυναμικότητα της μονάδας και από την τάση των ρευστών για δημιουργία επικαθίσεων και διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών.

Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα είναι ο κύκλος ατμού, ο κύκλος εκτόνωσης διαφασικού ρευστού, ο δυαδικός κύκλος και ο κύκλος συνολικής ροής. Τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας είναι αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της μεγαλύτερης απόδοσης των συστημάτων αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

7.1 Εισαγωγή

Η κυριότερη αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σήμερα, εκτός από τη χρήση τους για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, είναι η θέρμανση θερμοκηπίων.

Τα πρώτα γεωθερμικά θερμοκήπια στη χώρα κατασκευάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Ν. Απολλωνία, Λαγκαδάς, Ν. Κεσσάνη Ξάνθης, Νιγρίτα, Πολίχνιτος Λέσβου, κ.α.), ενώ από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 αναπτύχθηκε σε σημαντικό βαθμό η υπεδάφια θέρμανση χώματος για την πρωίμηση σπαραγγιών σε περισσότερα από 130 στρέμματα (σχήμα 7.1). Κατά το 2002 τα γεωθερμικά θερμοκήπια κάλυπταν μια έκταση περίπου 340 στρεμμάτων εκ των οποίων τα περισσότερα βρίσκονται στη βόρεια Ελλάδα στη Λέσβο και τη Μήλο.



Σχήμα 7.1 Παραγωγή πράσινων σπαραγγιών στο πεδίο Ν. Ερασμίου Ξάνθης

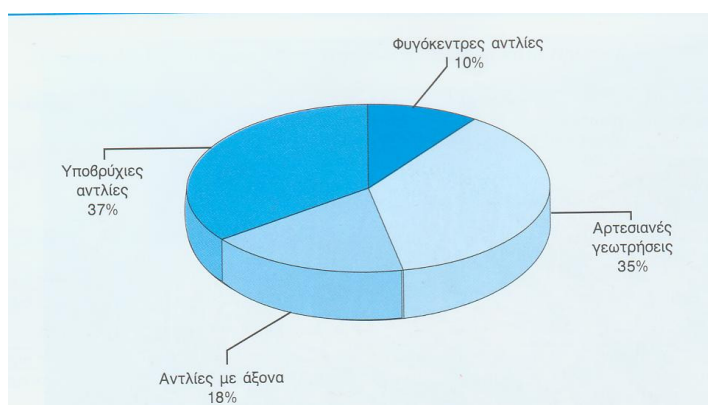
7.2 Γεωθερμικά θερμοκήπια

Μια γεωθερμική μονάδα που χρησιμοποιεί θερμό νερό για θέρμανση, στην προκειμένη περίπτωση για θέρμανση θερμοκηπίου, αποτελείται από ορισμένα βασικά τμήματα.

α) Γεώτρηση και παραγωγικές αντλίες.

Οι γεωτρήσεις πρέπει να κατασκευάζονται με το μικρότερο κόστος σε σχέση βέβαια και με το χαρακτήρα και τη σύσταση των ρευστών. Συνήθως όμως ο τελευταίος παράγοντας δεν λαμβάνεται υπόψιν και έτσι προκύπτουν πολλά προβλήματα όπως, η διάβρωση η κακή λειτουργία κάποιων εξαρτημάτων, η αδυναμία ελέγχου της ροής αρτεσιανών γεωτρήσεων λόγω υψηλών πιέσεων και σε ακραίες περιπτώσεις το φράξιμο ορισμένων γεωτρήσεων.

Πολλές γεωτρήσεις στην Ελλάδα παρουσιάζουν αρτεσιανισμό και δεν χρειάζονται αντλίες (Θερμά Νιγρίτας, Ν. Κεσσάνη, Ν. Εράσμιο κ.α.). Συνήθως τα ρευστά οδηγούνται σε δεξαμενές/διαχωριστές, από όπου διανέμονται στο θερμοκήπιο με κυκλοφορητές.



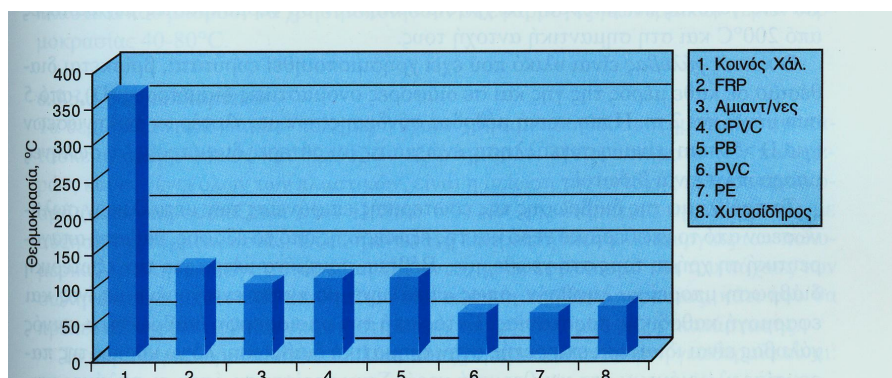
Σχήμα 7.2 Κατανομή τρόπου άντλησης των γεωθερμικών ρευστών (σύνολο 800 m³/h).

Όπου απαιτείται άντληση χρησιμοποιούνται στροβιλαντλίες (πομόνες) και υποβρύχιες ηλεκτρικές αντλίες. Σε ελάχιστες περιπτώσεις που το νερό βρίσκεται σε μικρό βάθος χρησιμοποιούνται φυγόκεντρες αντλίες (Μήλος). Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι υποβρύχιες αντλίες είναι πιο αξιόπιστες.

β) Σωληνώσεις μεταφοράς των νερών.

Η μεγαλύτερη απόσταση από τη θέση της γεώτρησης μέχρι το θερμοκήπιο που έχει καταγραφεί είναι 2,5 km, αν και συνήθως είναι μικρότερη των 500m. Οι σωληνώσεις μαζί με τη γεώτρηση φτάνουν συνήθως μέχρι και το 60% της συνολικής επένδυσης.

Για το λόγο αυτό πρέπει να επιλεγθεί με προσοχή το υλικό των σωληνώσεων, ώστε να είναι οικονομικό, λαμβάνοντας όμως υπόψιν παράγοντες όπως τη διάμετρο, τη μόνωση ή όχι των σωληνώσεων, την παροχή και τη θερμοκρασία του νερού, την αντοχή σε εφελκυσμό, η επιφανειακή ή υπόγεια εγκατάσταση καθώς και η χημική σύσταση του νερού.



Σχήμα 7.3 Ανώτατες θερμοκρασίες λειτουργίας υλικών σωληνώσεων.

(FRP: Θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, CPVC: Χλωριωμένο PVC, PB: Πολυβουτυλένιο, PVC: Πολυβινυλοχλωρίδιο, PE: Πολυαιθυλένιο)

Παλαιότερα και μέχρι το 1990 οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνταν περισσότερο σε τέτοιου είδους εφαρμογές ήταν οι αμιαντοσωλήνες, διότι ήταν οικονομικοί και δεν επηρεάζονταν από τη σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών. Σήμερα έχουν απαγορευθεί λόγω της αρνητικής επίδρασης των ινών αμιάντου στην υγεία του ανθρώπου. (Πιθανότητα καρκινογένεσης). Το υλικό που χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι το πλαστικό κυρίως το PVC, και λιγότερο ο χάλυβας, αν και στην Ευρώπη ο χάλυβας χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι οι προμονομένοι χαλύβδινοι σωλήνες και πλαστικοί σωλήνες με ταχυσυνδέσμους. Γενικότερα οι μεταλλικοί σωλήνες διαβρώνονται ευκολότερα. Η έλλειψη μόνωσης προκαλεί μείωση στη θερμοκρασία του νερού κατά τη μεταφορά 1-2 °C. Ο συνηθέστερος τρόπος εγκατάστασης των σωληνώσεων είναι σε όρυγμα βάθους 40-80 cm και επιχωμάτωση με τα ίδια υλικά εκσκαφής.

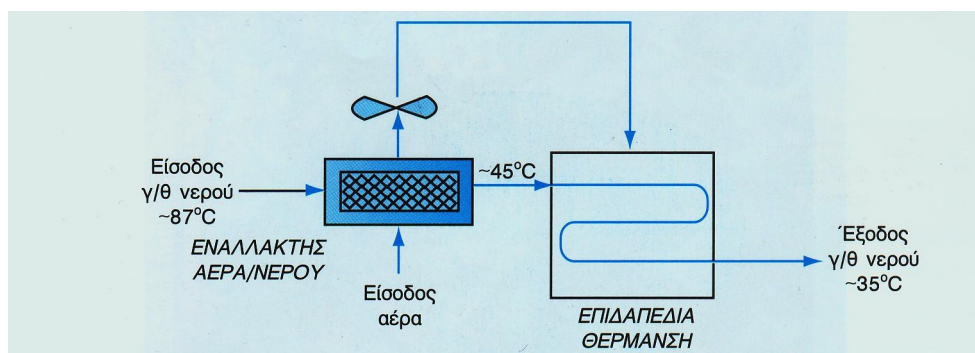
Η μόνωση είναι πολύ σημαντική όμως διπλασιάζει το κόστος των σωληνώσεων ανάλογα βέβαια και με το υλικό της μόνωσης. Η τοποθέτηση των σωλήνων στο έδαφος είναι από μόνη της ένα είδος μόνωσης η οποία είναι καλύτερη όσο πιο ξηρό είναι το χώμα. Τα συνηθέστερα υλικά μόνωσης είναι η πολυουρεθάνη και ο υαλοβάμβακας. Στις υπόγειες σωληνώσεις η μόνωση καλύπτεται από φύλλο PVC ή PE, ενώ στις υπέργειες από PVC και κατόπιν από φύλλο αλουμινίου. Το πάχος της μόνωσης κυμαίνεται από 25 μέχρι 75 mm.

γ) Μέθοδοι θέρμανσης

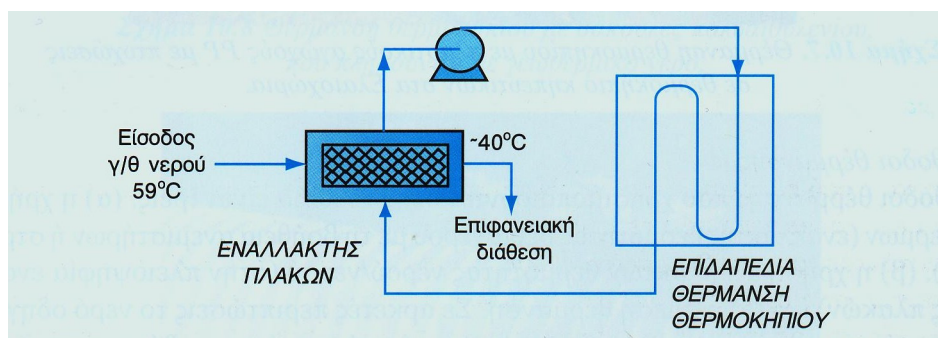
Οι μέθοδοι θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι τρεις

1. Η χρήση αερόθερμων (εναλλάκτες αέρα/νερού με τη βοήθεια ανεμιστήρων ή στροβίλων
2. Η χρήση εναλλακτών θερμότητας νερού/νερού
3. Η άμεση θέρμανση

Σε αρκετές περιπτώσεις το νερό οδηγείται πρώτα στα αερόθερμα και μετά στις σωληνώσεις άμεσης θέρμανσης (σχήμα 7.4). Γενικά τα νερά με θερμοκρασία κάτω από 50 °C χρησιμοποιούνται για άμεση θέρμανση(σχήμα 7.5).



Σχήμα 7.4 Σχηματική παράσταση θέρμανσης θερμοκηπίου στον Πολίχνιτο Λέσβου.

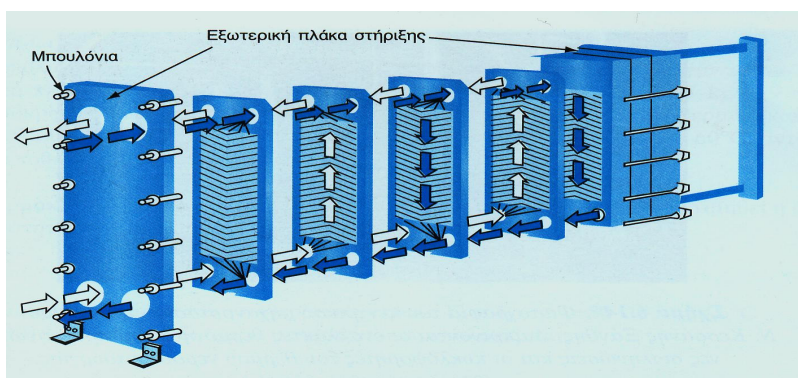


Σχήμα 7.5 Σχηματική παράσταση θέρμανσης θερμοκηπίου στα Θερμά Νιγρίτας.

Υπάρχουν διάφορα είδη εναλλακτών θερμότητας νερού/νερού όμως αυτοί που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια είναι ως επί το πλείστον εναλλάκτες πλακών. Οι εναλλάκτες αυτοί αποτελούνται από μεταλλικές πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα ή τιτανίου, οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ τους με μπουλόνια και φλάντζες ή με συγκόλληση.

Οι εναλλάκτες μαζί με τη γεώτρηση αποτελούν τα σημαντικότερα τμήματα του συστήματος. Μέσο του εναλλάκτη θερμότητας γίνεται η μεταφορά θερμότητας από το γεωθερμικό νερό στο ρευστό λειτουργίας. Οι εναλλάκτες πλακών λειτουργούν σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, έχουν τη δυνατότητα επέκτασης με την προσθήκη επιπλέον πλακών και μπορούν να ανοιχτούν και να καθαριστούν από τις επικαθίσεις ή να αλλαχθούν φθαρμένα

εξαρτήματα. Οι εναλλάκτες με συγκολλημένες πλάκες είναι φθηνότεροι και απλούστεροι, αλλά δεν μπορούν να ανοιχθούν ούτε να χρησιμοποιηθούν σε γεωθερμικά ρευστά που περιέχουν αμμωνία ή υδρόθειο σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 1-2 ppm λόγω του υλικού συγκόλλησης (χαλκός) που αντιδρά με τα στοιχεία αυτά.



Σχήμα 7.6 Σχηματική απεικόνιση εναλλάκτη πλακών

Τρία συστήματα χρησιμοποιούνται για την άμεση θέρμανση

1. οι ειδικές πλαστικές σωληνώσεις PP Φ28 mm με πτυχώσεις (σχήμα 7.7 κ 7.8)
2. οι φαρδιές σακούλες PE (σχήμα 7.9)
3. οι μεταλλικοί αγωγοί με πτερύγια (σχήμα 7.10)

Οι σωληνώσεις PP τοποθετούνται σε όποιο ύψος θέλουμε επιφανειακά αλλά και υπεδάφια. Οι σακούλες τοποθετούνται επιφανειακά στα κηπευτικά και έχουν το φθηνότερο κόστος. Οι μεταλλικοί αγωγοί με πτερύγια τοποθετούνται σε ορισμένο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους.



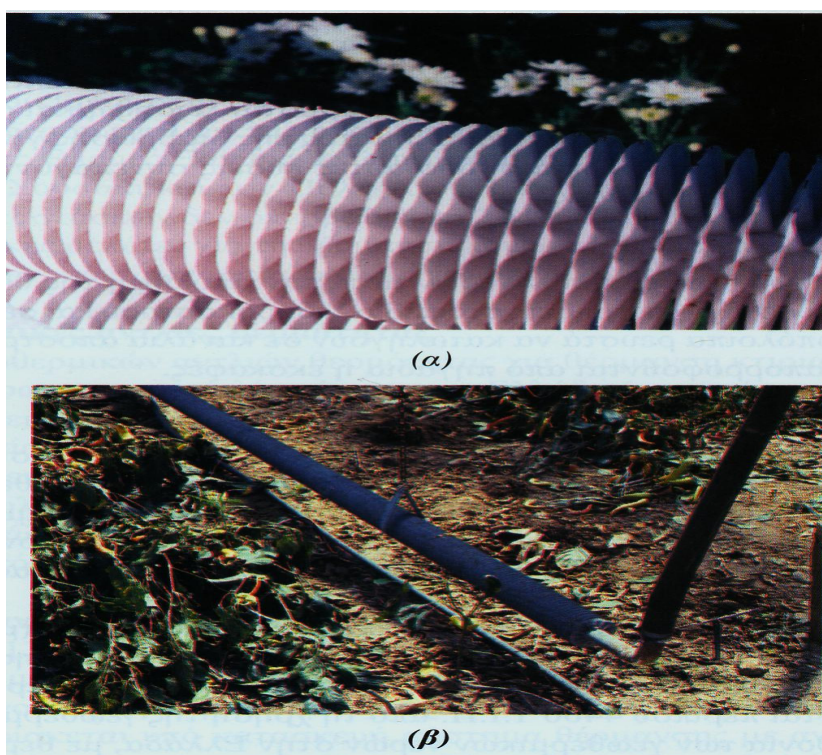
Σχήμα 7.7 Θέρμανση θερμοκηπίου με πλαστικούς αγωγούς PP με πτυχώσεις σε θερμοκήπιο λουλουδιών σε γλάστρες στο Σιδηρόκαστρο.



Σχήμα 7.8 Θέρμανση θερμοκηπίου με πλαστικούς αγωγούς PP με πτυχώσεις σε θερμοκήπιο κηπευτικών στα Ελαιοχώρια.



Σχήμα 7.9 Θέρμανση θερμοκηπίου με σακούλες πολυαιθυλενίου, που πληρούνται με γεωθερμικό νερό.



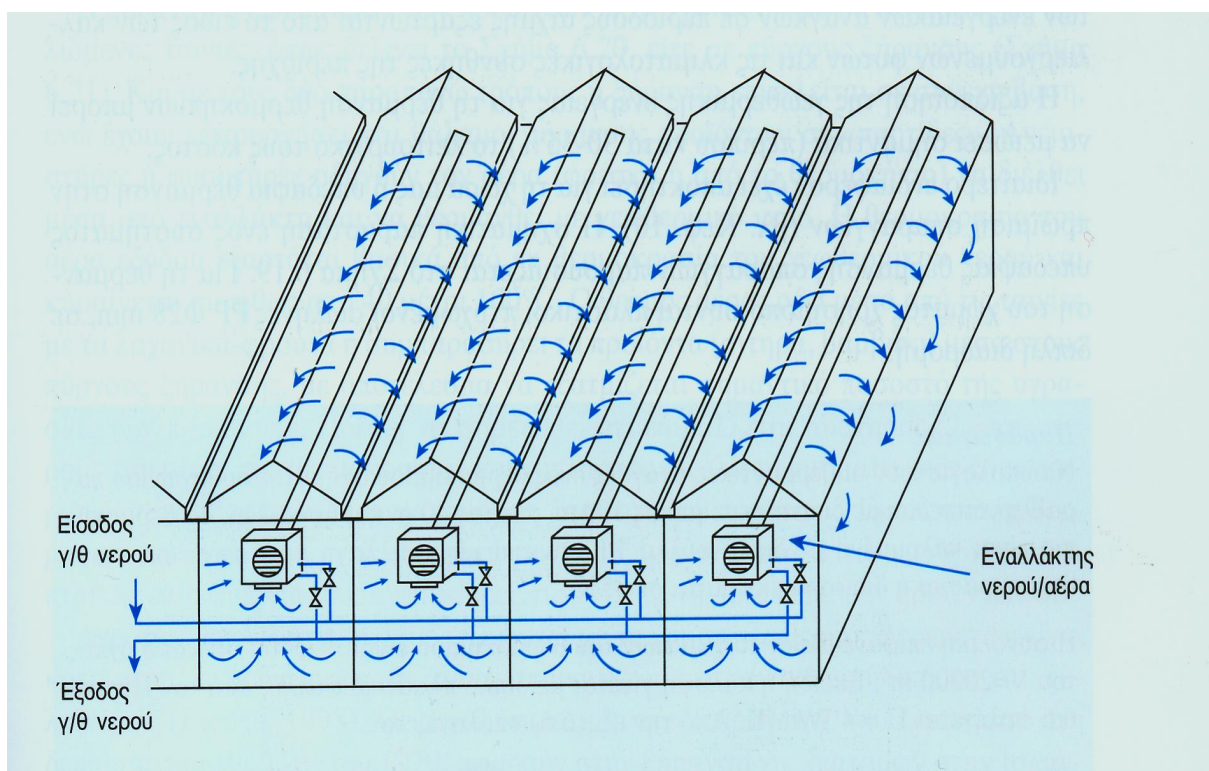
Σχήμα 7.10 Φωτογραφίες θέρμανσης θερμοκηπίου με μεταλλικούς αγωγούς με πτερύγια.

Η επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών μετά την απόληψη της θερμότητας τους εφαρμόζεται σε λίγες περιπτώσεις (Σιδηρόκαστρο, Θερμά Νιγρίτας), με τα υπόλοιπα ρευστά να καταλήγουν σε κανάλια αποστράγγισης, ποτάμια ή λίμνες.

Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν δεν είναι διαβρωτικά ή υψηλής αλατότητας, για άρδευση για ψεκασμό του καλύμματος του θερμοκηπίου ή για κυκλοφορία μέσα από τα διπλά τζάμια του θερμοκηπίου για αντιπαγετική προστασία(σπάνια).

Τα τελευταία δέκα χρόνια δεν υπήρξε σημαντική αύξηση των κλασικών γεωθερμικών θερμοκηπίων, με έκταση 180 στρεμμάτων το 2002 έναντι 160 το 1995. Η σημαντικότερη εξέλιξη ήταν η γεωθερμική προώμιση σπαραγγιών σε έκταση 130 στρεμμάτων σε τρία πεδία. Η εγκατεστημένη ισχύς στα θερμοκήπια το 2002 ήταν 20 MWt. Σε μια καλλιεργητική περίοδο εξοικονομήθηκαν περίπου 4400 ΤΠΠ (Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) από τη χρήση της γεωθερμίας.

Παρά την αφθονία των γεωθερμικών νερών στην Ελλάδα με θερμοκρασίες πάνω από 100 °C, το 75% των ρευστών που αξιοποιούνται στα θερμοκήπια έχουν θερμοκρασίες μικρότερες από 50 °C. Σε κανένα θερμοκήπιο δεν καταγράφονται τα στοιχεία της γεώτρησης και η εξοικονόμηση ενέργειας (με εξαίρεση ένα στο Σιδηρόκαστρο).



Σχήμα 7.11 Γεωθερμικό θερμοκήπιο με θέρμανση αέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η χώρα μας είναι από τις πλουσιότερες γεωθερμικά χώρες, παρά το γεγονός ότι μόνο ένα μέρος του γεωθερμικού δυναμικού έχει βεβαιωθεί και είναι ήδη τεράστιο. Μέχρι στιγμής όλες οι προσπάθειες που έχουν γίνει έχουν αποτύχει λόγω μη σωστής μελέτης, αλλά και λόγω του ότι δεν υπάρχουν φορολογικά κίνητρα. Η προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Μήλο έληξε άδοξα το 1989. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τεχνολογικής άποψης οι εκπομπές υδρόθειου που ήταν και η κύρια αιτία αντίδρασης των κατοίκων μπορούσαν να επιλυθούν, όπως και να περιορισθεί το πρόβλημα της δημιουργίας επικαθίσεων.

Η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας στη Νίσυρο και στη Μήλο θα μπορέσει να αναπτυχθεί, αν ξεπεραστούν οι αντιδράσεις των κατοίκων ύστερα από μια νέα σοβαρή προσπάθεια ενημέρωσης τους από αξιόπιστο φορέα. Στο πλαίσιο δημιουργίας κλίματος εμπιστοσύνης του κόσμου προς τη γεωθερμία, θα ήταν πιθανόν σκόπιμο η λειτουργία μικρής μονάδας με δυαδικό κύκλο ισχύος 1 MWe, ή και με μικρότερη ισχύ, σε ένα από τα νησιά Μήλο, Νίσυρο ή τη Λέσβο, με ολική επανεισαγωγή των ρευστών ή σε συνδυασμό με άμεσες χρήσεις (π.χ. θέρμανση οικισμών και θερμοκηπίων, αφαλάτωση).

Η κατανομή των γεωθερμικών περιοχών χαμηλής ενθαλπίας στη Βόρεια Ελλάδα και στα νησιά του Βόρειου Αιγαίου, θα αποτελούσε σημαντικό πλεονέκτημα για την επέκταση των υπάρχοντων θερμοκηπίων στις περιοχές αυτές, με σωστή όμως διαχείριση των γεωθερμικών πόρων και επανεισαγωγή στον ταμιευτήρα των ρευστών μετά τη χρήση τους.

Όχι μόνο η ανάπτυξη της γεωθερμίας είναι περιορισμένη, αλλά και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία αρκετών θερμοκηπίων κυρίως των συνεταιριστικών είναι μικρά. Κάποια γεωθερμικά θερμοκήπια είναι εκτός λειτουργίας ή υπολειτουργούν για διάφορους λόγους άσχετους με τη γεωθερμία, και άλλα παρουσιάζουν ορισμένα τεχνικά προβλήματα. Επίσης άλλοι παράγοντες είναι ο ερασιτεχνισμός στο σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης, στην κατασκευή και τη λειτουργία των θερμοκηπίων, καθώς και η ανυπαρξία συμβουλευτικής καθοδήγησης από τους αρμόδιους φορείς. Αν και τα αποτελέσματα των μέχρι τώρα προσπαθειών ανάπτυξης της γεωθερμίας στη χώρα μας είναι πενιχρά, υποστηρίζεται ότι είναι θετικές οι προοπτικές για την καλύτερη αξιοποίησή της. Επίσης θα πρέπει να προωθηθεί και στη χώρα μας η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, κυρίως σε περιοχές με αυξημένες ανάγκες θέρμανσης, με τη θέσπιση οικονομικών κινήτρων.

Υπάρχουν σε εξέλιξη διάφορα ενδιαφέροντα προγράμματα για την αξιοποίηση της γεωθερμίας και άλλα τα οποία βρίσκονται υπό μελέτη. Κάποια από αυτά είναι:

1. Τηλεθέρμανση δημόσιων κτιρίων στο Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, με ρευστά 30-40°C και αντλίες θερμότητας

2. Πρόγραμμα αφαλάτωσης και ηλεκτροπαραγωγής στη Μήλο (2000m³/ημέρα και 350 KW αντίστοιχα) με ρευστά 80-98 °C.
3. Πρόγραμμα θέρμανσης-κλιματισμού ΑΠΘ/Θέρμη με αντλίες θερμότητας.
4. Πρόγραμμα θέρμανσης-κλιματισμού του νέου αεροδρομίου «Μακεδονία» με νερά θερμοκρασίας 50 °C και 20 °C για θέρμανση και ψύξη, αντίστοιχα.
5. Νέες θερμοκηπιακές μονάδες στη Βόρεια Ελλάδα και επέκταση υπαρχουσών.

Γενικά οι προοπτικές και τα οφέλη από τη χρήση της γεωθερμίας είναι πολλά, και συνοψίζονται ως εξής:

1. Συνεχής παροχή ενέργειας επί 24ώρες για 365 ημέρες το χρόνο αντίθετα με άλλες Α.Π.Ε. και με συντελεστή αξιοποίησης έως 90% έναντι 70% για υδροηλεκτρικές, 20% για ηλιακές και 35% για αιολικές μονάδες.
2. Μικρό λειτουργικό κόστος. Το λειτουργικό κόστος των γεωθερμικών μονάδων είναι σχεδόν μηδαμινό, ή πιο μικρό από άλλες μορφές ενέργειας.
3. Περιορισμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με την καύση συμβατικών καυσίμων.
4. Περιορισμένες απαιτήσεις γης για εγκαταστάσεις και μεταφορά υλικών μιας και δεν απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους.
5. Συμβολή στην ενεργειακή εξάρτηση μιας χώρας με τον περιορισμό εισαγωγής ορυκτών καυσίμων.
6. Αξιοπίστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή. Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται 24 ώρες την ημέρα.
7. Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο, με τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωθερμία:– Ν.Ανδρίτσος. Εκδόσεις Τζιόλα 2004
2. Θερμικήπια: Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλου. Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης Έκδοση 2005
3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού: Μήτρακας Μ. Εκδόσεις Τζιόλα 2001
4. Renewable Energy Resources: Twidell, J. and Weir, E & FN Spon, London, 1996.
5. Energy and problems of technical society: Kraushaar and Ristinen, Wiley-Second edition, 1993

Ιστοσελίδες σχετικές με τη Γεωθερμία

1. International Geothermal Association: <http://iga.igg.cnr.it/index.php>
2. Geothermal energy association: <http://www.geotherm.org>
3. Geo-HEAT CENTER, Oregon Institute of New Zealand: <http://www.geoheat.oit.edu>
4. ΚΑΠΕ: <http://www.cres.gr>
5. GreenPeace: <http://www.greenpeace.org>
6. <http://www.dei.gr>
7. <http://www.aidengineering.gr>
8. <http://www.egnatia.ee.auth.gr>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου. **σελ. 3**
- Σχήμα 1.2 Η τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική όπως αυτή φαίνονταν από τον δορυφόρο της NASA, Nimbus 7 στις 5 Οκτωβρίου του 1987. **σελ.5**
- Σχήμα 2.1 Συστοιχία φωτοβολταϊκών στην οροφή κτιρίου. **σελ.10**
- Σχήμα 2.2 Αιολικό πάρκο. **σελ.12**
- Σχήμα 2.3 Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο. **σελ.13**
- Σχήμα 2.4 Εκπομπές καυσαερίων από διάφορες θερμαντικές συσκευές. **σελ.14**
- Σχήμα 2.5 Υλικό από βιομάζα για καύση σε ειδικό καυστήρα βιομάζας **σελ.15**
- Σχήμα 3.1 Ο θερμοπίδακας Old Faithful στο Yellowstone National Park, Η.Π.Α. **σελ.19**
- Σχήμα 3.2 Γραφική παράσταση των διαφόρων κατηγοριών γεωθερμικών πόρων. **σελ.23**
- Σχήμα 4.1 Σχηματική απεικόνιση ενός τριγραμμικού διαγράμματος. **σελ.30**
- Σχήμα 4.2 Ταξινόμηση των νερών στο τριγραμμικό διάγραμμα **σελ.30**
- Σχήμα 4.3 Τύποι γεωθερμικών και γλυκών νερών από την Ελλάδα απεικονισμένοι στο τριγραμμικό διάγραμμα. **σελ.31**
- Σχήμα 4.4 Διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου ως συνάρτηση του pH και της πίεσης του CO₂, η οποία ελέγχει το pH του συστήματος. **σελ.38**
- Σχήμα 4.5 Ανθρακικές αποθέσεις από εκροή υπολίμνιων θερμών πηγών, στη Νυμφόπετρα Θεσσαλονίκης. **σελ.38**
- Σχήμα 4.6 Τριγωνικά διαγράμματα, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του ταμιευτήρα και για τη αναγνώριση του βαθμού ισορροπίας των νερών. Το επάνω διάγραμμα προτάθηκε από τον Giggenbach (1988) και το κάτω, όπως τροποποιήθηκε από τον Fournier (1990) WG: Giggenbach 1988 RF: Foyrnier 1990 AT: Truesdell 1976 **σελ.44**
- Σχήμα 4.7 Φωτογραφία της κινητής διάταξης διαχωρισμού των δύο φάσεων, που χρησιμοποιήθηκε σε αρκετές γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας. **σελ.48**
- Σχήμα 4.8 Σχηματικό διάγραμμα διάταξης διαχωρισμού των δύο φάσεων σε γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας. **σελ.49**

Σχήμα 4.9 Απεικόνιση της ροής των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στη γεώτρηση. **σελ.49**

Σχήμα 5.1 Χαρακτηριστική φωτογραφία πρόσφατου κανονικού ρήγματος στη Μήλο (ορυχείο Βάνι) με σημαντική οριζόντια διάνοιξη που πληρώθηκε από πρόσφατα κορήματα και αποτελεί ιδανική δίοδο ανόδου και κυκλοφορίας θερμών ρευστών. Τα χρώματα των πετρωμάτων δείχνουν και την έντονη κυκλοφορία και απόθεση σιδήρου και μαγγανίου. **σελ.53**

Σχήμα 5.2 Ισοθερμοκρασιακές καμπύλες πάνω από μία εστία θερμότητας με τη συνδρομή ενός σημαντικού τεκτονικού ρήγματος. **σελ.53**

Σχήμα 5.3 Τεκτονική δομή στο τεκτονικό κέρασ του υπόβαθρου. **σελ.55**

Σχήμα 5.4 Τεκτονική κανονικών ρηγμάτων που δημιουργεί βυθίσματα. **σελ.56**

Σχήμα 5.5 Περιοχή με παλιά τεκτονική πτυχώσεων. Η πτυχή στο αντικλινικό τμήμα της μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες. **σελ.57**

Σχήμα 5.6 Κύρια νεοτεκτονικά χαρακτηριστικά του χώρου του αιγαίου. 1. Όρια λιθοσφαιρικών πλακών 2. Ζώνη ηπειρωτικής συμπίεσης 3. Τα σπουδαιότερα κανονικά ρήγματα 4. Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης 5. Πλειοτεταρτογενή ηφαίστεια 6. Ζώνη συμπίεσης. Τα λευκά βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του κύριου εφελκιστικού πεδίου, ενώ τα μαύρα τη διεύθυνση κίνησης της αφρικανικής λιθόσφαιρας (Παυλίδης, 2003). **σελ.58**

Σχήμα 5.7 Φωτογραφία ερευνητικού γεωτρητικού συγκροτήματος του ΙΓΜΕ στην περιοχή Νιγρίτας **σελ.60**

Σχήμα 6.1 Φωτογραφία πισίνας λουτροθεραπευτικού συγκροτήματος με γεωθερμικά νερά στο Pamukkale της Τουρκίας, στα ερείπια της αρχαίας Ιεράπολης. **σελ.61**

Σχήμα 6.2 Οι κυριότερες γεωθερμικές περιοχές και χρήσεις στην Ευρώπη. **σελ.62**

Σχήμα 6.3 Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά, (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση. **σελ.63**

Σχήμα 7.1 Παραγωγή πράσινων σπαραγγιών στο πεδίο Ν. Ερασμίου Ξάνθης **σελ.65**

Σχήμα 7.2 Κατανομή τρόπου άντλησης των γεωθερμικών ρευστών (σύνολο 800 m³/h). **σελ.66**

Σχήμα 7.3 Ανώτατες θερμοκρασίες λειτουργίας υλικών σωληνώσεων.

(FRP: Θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, CPVC: Χλωριωμένο PVC, PB: Πολυβουτυλένιο, PVC: Πολυβινυλοχλωρίδιο, PE: Πολυαιθυλένιο) **σελ.67**

Σχήμα 7.4 Σχηματική παράσταση θέρμανσης θερμοκηπίου στον Πολίχνιτο Λέσβου. **σελ.68**

Σχήμα 7.5 Σχηματική παράσταση θέρμανσης θερμοκηπίου στα Θερμά Νιγρίτας. **σελ.68**

Σχήμα 7.6 Σχηματική απεικόνιση εναλλάκτη πλακών **σελ.69**

Σχήμα 7.7 Θέρμανση θερμοκηπίου με πλαστικούς αγωγούς PP με πτυχώσεις σε θερμοκήπιο λουλουδιών σε γλάστρες στο Σιδηρόκαστρο. **σελ.69**

Σχήμα 7.8 Θέρμανση θερμοκηπίου με πλαστικούς αγωγούς PP με πτυχώσεις σε θερμοκήπιο κηπευτικών στα Ελαιοχώρια. **σελ.70**

Σχήμα 7.9 Θέρμανση θερμοκηπίου με σακούλες πολυαιθυλενίου, που πληρούνται με γεωθερμικό νερό. **σελ.70**

Σχήμα 7.10 Φωτογραφίες θέρμανσης θερμοκηπίου με μεταλλικούς αγωγούς με πτερύγια. **σελ.70**

Σχήμα 7.11 Γεωθερμικό θερμοκήπιο με θέρμανση αέρα. **σελ.71**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων **σελ.24**

Πίνακας 4.1 Συγκεντρώσεις των μη συμπηκνώσιμων αερίων σε γεωθερμικές γεωτρήσεις και φυσικές εκδηλώσεις (σε % mole/mole) **σελ.35**

Πίνακας 4.2 Συγκεντρώσεις (% mole/mole) των μη συμπηκνώσιμων αερίων από ορισμένες γεωθερμικές γεωτρήσεις. **σελ.35**

Πίνακας 4.3 Εκτιμήσεις των θερμοκρασιών Ελληνικών πεδίων, με γεωθερμομετρία νερού και αερίων και προτεινόμενη θερμοκρασία του ταμειυτήρα του πεδίου. **σελ.45**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Για τη γεωθερμική ενέργεια και την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στην Ελλάδα ψηφίστηκε πρόσφατα ο νόμος 3175/2003(Αρ.ΦΕΚ 207Α΄/29.8.2003), ο οποίος αντικατέστησε τον Προηγούμενο νόμο 1475/84. Συνοπτικά, ο νέος νόμος περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις που αφορούν στη γεωθερμία:

1. Το γεωθερμικό δυναμικό χαρακτηρίζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλλει στην αειφόρο ανάπτυξη και το γενικό συμφέρον των πολιτών. Για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού (Γ.Δ.) και για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούνται οι διατάξεις του Μεταλλευτικού Κώδικα (Ν.Δ. 210/73).
2. Ως Γ.Δ. Θεωρούνται οι γηγενείς φυσικοί ατμοί, τα θερμά νερά και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C.
3. Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής Θερμοκρασίας (25-90°C η αρμοδιότητα ανήκει στις περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερη των 90°C αρμόδιο είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης (Υ.Α).
4. Εισάγεται ο όρος της διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου για την παραγωγική εξόρυξη των ρευστών, την ορθολογική αξιοποίηση των διαφόρων προϊόντων κτλ., τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή τους σε τρίτους και για κάθε είδους χρήσιμες εφαρμογές.
5. Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του Γ.Δ. ανήκει στο Δημόσιο. Στα βεβαιωμένα πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 25 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για πέντε ακόμα χρόνια.
6. Για τους χώρους και πεδία που δεν έχουν ερευνηθεί εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας, πάλι με διαγωνισμό, για 5 χρόνια, με δικαίωμα παράτασης για άλλα δύο. Εφόσον η έρευνα καταλήξει θετικά, παρέχεται στο μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης χωρίς νέο διαγωνισμό.
7. Οι ειδικότεροι όροι και οι διαδικασίες της εκμίσθωσης θα ρυθμίζονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης. Η εκμίσθωση και η διαχείριση των πεδίων χαμηλής Θερμοκρασίας διενεργείται σύμφωνα με το μεταλλευτικό κώδικα.

8. Ο μισθωτής υποχρεώνεται σε κατάθεση εγγυητικών επιστολών εκπλήρωσης των όρων της σύμβασης και στην εκτέλεση των ερευνητικών προγραμμάτων και των οικονομοτεχνικών μελετών.

Επίσης καταβάλλει στο Δημόσιο αναλογικό μίσθωμα βάσει του μεταλλευτικού κώδικα (5 ή 10% της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας) και εφοδιάζεται με τις προβλεπόμενες διοικητικές άδειες και εγκρίσεις.
9. Το 30% του εισπραττόμενου μισθώματος προορίζεται για τους ΟΤΑ, στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το Πεδίο.
10. Ο μισθωτής δικαιούται να διαχειρίζεται το γεωθερμικό πεδίο στο πλαίσιο της μελέτης και να διαθέτει ελεύθερα τα προϊόντα, παραπροϊόντα και υποπροϊόντα του πεδίου. Ακόμη, μπορεί να καταλαμβάνει προσωρινώς εδάφη με τη διαδικασία του μεταλλευτικού κώδικα.
11. Τα δικαιώματα εκμίσθωσης μπορούν να εκχωρηθούν σε τρίτους μόνο ύστερα από έγκριση του Δημοσίου.
12. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης Θεσπίζεται Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών.
13. Απαγορεύεται η έρευνα, διαχείριση, εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων χωρίς το σχετικό δικαίωμα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Γ.Δ. επιτρέπεται μόνο ύστερα από διαγωνισμό και την έκδοση άδεια Παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 2773/1999 (ΦΕΚ 286Α', «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση Θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»).
14. Αντιμετωπίζεται και η δυνατότητα θέρμανσης-ψύξης χώρων με εκμετάλλευση της Θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών με θερμοκρασίες 25°C (αβαθής γεωθερμίας), για την οποία αρμόδια είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση.
15. Δικαιώματα έρευνας ή εκμετάλλευσης Γ.Δ., που έχουν παραχωρηθεί μέχρι την έκδοση του Νόμου αυτού, παραμένουν ισχυρά με τους ίδιους όρους. Επέκταση αυτών μπορεί να γίνει μόνο με τις διαδικασίες του νέου νόμου.
16. Επιτρέπεται η εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους ύστερα από άδεια του ΥΑ. και γνωμάτευση της Ρ.Α.Ε. (Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας).
17. Οι κυριότεροι νεωτερισμοί και βελτιώσεις που εισάγονται με το νέο νόμο είναι:

18. Ίση αντιμετώπιση των υποψηφίων μισθωτών του Γ.Δ. ύστερα από διαγωνισμό, οι όροι του οποίου είναι διοικητικά ίδιοι και η πλειοδοσία προκύπτει από τα στοιχεία, τις μελέτες και τις ικανότητες των υποψηφίων.
19. Προκήρυξη διαγωνισμού με πρωτοβουλία της δημόσιας αρχής, που αφορούν σε ενιαία κατά το δυνατόν γεωθερμικά πεδία (και όχι κατατεμαχισμένα) και για κάθε πεδίο χωριστά. Οι ειδικοί όροι των διαγωνισμών και η διαδικασία εκμίσθωσης ρυθμίζονται από την απόφαση του Υ.Α. και είναι ενιαίοι.
20. Ο διαχειριστής πεδίου θα πρέπει να έχει τα τεχνικά προσόντα και να μπορεί να προβεί στις αναγκαίες επενδύσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη υποδομή για παραγωγή και διάθεση σε τρίτους έτοιμης ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής).
21. Αποφασιστικό ρόλο για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας των εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα (όπου υπάρχει σημαντικό έλλειμμα) πιστεύεται ότι θα παίξουν οι κατάλληλοι διαχειριστές των βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων, τα οποία είναι αρκετά και το βεβαιωμένο δυναμικό τους ανέρχεται σε πολλές εκατοντάδες MW.