

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑΣ Ν. ΗΜΑΘΙΑΣ

ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΦΩΤΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ Καθηγητής (Επιβλέπων)
Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΥΤΣΑΣ Προϊστάμενος Γεωθερμίας, Κ.Α.Π.Ε.
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ, αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά
Ιούνιος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενεργειακή κρίση που ζει η ανθρωπότητα τις τελευταίες δεκαετίες αποτελεί ένα γεγονός το οποίο μέρα με την μέρα επιδεινώνεται και επιβαρύνει όλο και περισσότερες πτυχές τις καθημερινής ζωής. Η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων έχει ως βασικότερο αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση της τιμής τους και κατά συνέπεια την οικονομική επιβάρυνση των πολιτών στο σύνολο τους.

Μια τέτοια κρίση δεν αναφέρεται μόνο στις βιοτικές ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων (ηλεκτροδότηση, θέρμανση κ.α.), αλλά αγγίζει ένα τεράστιο φάσμα δευτερευόντων, αλλά εξίσου σημαντικών, αναγκών. Έτσι, η ενεργειακή κρίση επιβαρύνει εξίσου τομείς όπως τη βιομηχανία, το εμπόριο, τις μεταφορές καθώς επίσης και μια ποικιλία κτηνοτροφικών, ιχθυοκαλλιεργητικών και αγροτικών εφαρμογών.

Η προαναφερθείσα κατάσταση έχει οδηγήσει ένα μέρος της επιστημονικής κοινότητας να στραφεί σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Οι μορφές αυτές, που είναι ευρέως γνωστές ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), προέρχονται από φυσικούς πόρους τις Γης όπως το νερό, τον αέρα, τον Ήλιο και τη φυσική θερμοκρασία του υπεδάφους. Τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται μεγάλες προσπάθειες για μερική ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα και ολική αντικατάσταση των συμβατικών ενεργειακών πόρων με ανανεώσιμους.

Μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι και η γεωθερμική ενέργεια. Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια, αναφερόμαστε στην ενέργεια η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και προκαλείται από επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς με ή χωρίς αέρια, σε θερμά νερά ή σε μείγματα των παραπάνω, καθώς και σε ξηρά-θερμά πετρώματα. [1]

Ήδη τα τελευταία χρόνια η έρευνα όσων αφορά την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, έχει παρουσιάσει μεγάλες προόδους. Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση της γεωθερμίας για θέρμανση και ψύξη χώρων αλλά και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι, εκτός από φιλικότερη προς το περιβάλλον, σημαντικά πιο οικονομική σε σχέση με την χρήση συμβατικών πόρων.

Ένας τομέας στον οποίο παρουσιάζει ιδιαίτερη άνθιση η χρήση γεωθερμικής ενέργειας, είναι η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας, κατά την διάρκεια όλου του έτους, σε θερμοκήπια και πτηνοτροφικές μονάδες. Η ακόλουθη διπλωματική εργασία ασχολείται με την εκπόνηση τεχνικής και οικονομικής μελέτης για την αξιοποίηση της γεώτρησης ΓΝ-ΙΠ στην περιοχή Νησί Αλεξάνδρειας για την θέρμανση πτηνοτροφικής μονάδας και θερμοκηπίου. Σκοπός της μελέτης είναι η σύγκριση μεταξύ της γεωθερμικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

εγκατάστασης και μιας συμβατικής όσων αφορά τόσο το κόστος , όσο και την περιβαλλοντική επιβάρυνση.

ABSTRACT

The energy crisis that we are facing in the last decades constitutes a fact which worsens daily and burdens more aspects of the everyday life. The reduction of mining fuels reserves has as a main result the continuous increase of their price which means worsening the financial state of the people.

A crisis like this does not affect only the energy needs to live (electrification, heating e.t.c.), but affects a greater amount of secondary, but equally important, needs. Thus, the energy crisis burdens equally sectors such as the industry, the trade, the transports as well as a variety cattle farming, fish farming and rural applications.

The situation that was mentioned above has led a part of the scientific community to turn to alternative forms of energy. These forms, which are widely known as Renewable Energy Sources (RES), emanate from natural resources such as water, air, Sun and the natural temperature of subsoil. In the past few years overwhelming efforts have been made for partial or, in certain cases, even total replacement of conventional energy resources to renewable.

A certain form of renewable energy source that is particularly interesting is geothermal energy. The term “geothermal energy” is referred to describe the energy which emanates from the interior of ground and is caused by surface or underground steams with or without gases, in hot waters or in mixtures of the above, as well as in dry-hot rocks.

Already in the past few year the research concerning the exploitation of geothermal energy, has made great progress. It has been proved that the use of geothermal for heating and refrigeration of spaces but also for production of electricity can be, not only friendlier to the environment, but also considerably more economical in comparison to the use of conventional resources.

An application in which geothermal energy is being widely used, is the maintenance of constant temperature, during all year long, in greenhouses and cattle farm units. The following essay deals with a technical and economic study on the use of the ΓN-1Π drill at Nisi in Alexandria for heating a poultry plant as well as a green house. The purpose of this study is the cost and environmental damage comparison between the geothermal and a conventional unit.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική με τίτλο «Εφαρμογές Γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην περιοχή Αλεξάνδρειας Νομού Ημαθίας» αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Στο πρώτο μέρος, με μια εκτεταμένη αναφορά, προσπαθεί να αποδείξει την σημαντικότητα και την αναγκαιότητα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της γεωθερμικής ενέργειας. Στο δεύτερο μέρος, μέσω μιας επιστημονικώς καταρτισμένης οικονομοτεχνικής μελέτης θα αποδείξει το ότι η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, στην εφαρμογή που αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί μία λύση η οποία παρουσιάζει οφέλη όχι μόνο οικονομικά, αλλά ταυτόχρονα και περιβαλλοντικά, διατηρώντας πάντα την απαιτούμενη αποτελεσματικότητα.

Η επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μετά από πολύ προσεκτική σκέψη. Σκοπός μου ήταν η επιλογή ενός θέματος το οποίο θα αφορά την σύγχρονη πραγματικότητα και ένα σημαντικό πρόβλημα της εποχής, αλλά παράλληλα να αποτελεί και μια πρόταση ως προς την επίλυση του. Η οικονομική κρίση που διανύει η ανθρωπότητα οφείλεται σε ένα μεγάλο μέρος στις συνεχείς διακυμάνσεις τις τιμές του πετρελαίου. Με την πάροδο των δεκαετιών γίνεται όλο και πιο συχνά λόγος για την μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων και δεν θα ήταν άτοπο αν την οικονομική αυτή κρίση την χαρακτηρίζαμε επίσης και ως ενεργειακή. Με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δίνετε η ευκαιρία να χρησιμοποιηθεί μια νέα ανεξάντλητη πηγή, η οποία είναι οικονομικότερη και σαφώς φιλικότερη στο περιβάλλον. Η επιλογή μου να ασχοληθώ με την γεωθερμία οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί μια ιδιαίτερα δημοφιλή μορφή ενέργειας, την οποία το γεωλογικό υπόβαθρο της Ελλάδας μας επιτρέπει να αξιοποιήσουμε σε αρκετές εφαρμογές.

Για την συγγραφή της διπλωματικής μου χρησιμοποιήθηκαν πηγές από την ελληνική και ξένη βιβλιογραφία καθώς επίσης και διάφορα συγγράμματα και κείμενα τα οποία έλαβα από διάφορες ιστοσελίδες του διαδικτύου. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν, τόσο για τον υπολογισμό διάφορων συντελεστών και μεγεθών για την πραγματοποίηση του τεχνικού μέρους της μελέτης, όσο και για τον υπολογισμό οικονομικών μεγεθών και την δημιουργία σχεδιαγραμμάτων για την ολοκλήρωση της οικονομικής μελέτης, πραγματοποιήθηκαν με την χρήση υπολογιστικών φύλλων εργασίας του προγράμματος Microsoft Excel. Τέλος, για την σχεδίαση του εξοπλισμού καθώς και για την δημιουργία σκαριφημάτων της συνδεσμολογίας των κυκλωμάτων, έγινε χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κύριο Θεόδωρο Μαρκόπουλο, για την βοήθεια του καθώς επίσης και για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Κωνσταντίνο Καρύτσα, Γεωλόγο Γεωθερμικό και Προϊστάμενο Γεωθερμίας Κ.Α.Π.Ε., για την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθώς και για την παροχή πολύτιμου υλικού, χωρίς το οποίο η πραγματοποίηση της διπλωματικής μου θα ήταν αδύνατη, καθώς επίσης και τον κύριο Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την βοήθειά του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Χωροπανίτη Ιωάννη, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων για την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κυρίους Ζαχαρία Αγιουτάντη και Σπυρίδωνα Μερτίκα που με το βιβλίο τους «Ένας πρακτικός οδηγός για την Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων», μου έδωσαν τις κατάλληλες οδηγίες ώστε η παρούσα διπλωματική να ολοκληρωθεί με την σωστή μορφή και δομή.

Στον Πατέρα μου...

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
1. εισαγωγή	1
1.2 Πόροι και παρούσες χρήσεις στην Ευρώπη	3
2. ΓΕΝΙΚΑ.....	1
2.1 Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση.....	1
2.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	3
2.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	3
2.4 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	4
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	10
3.1 Ιστορία της γεωθερμίας.....	10
3.2 Εφαρμογές της γεωθερμίας.....	13
3.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	15
3.2.2 Άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας	18
3.2.3 Βιομηχανικές εφαρμογές.....	21
3.2.4 Αγροτικές Εφαρμογές	22
3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμίας	23
3.4 Οφέλη.....	24
3.4.1 Περιβαλλοντικά οφέλη.....	24
3.4.2 Οικονομικά οφέλη	24
3.4.3 Κοινωνικά οφέλη	24
3.4 Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα.....	25
4. ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	28
4.1 Θέρμανση θερμοκηπίων	28
4.2 Κτηνοτροφικές μονάδες.....	29
4.3 Υδατοκαλλιέργειες	30
4.4 Καλλιέργεια σπιρουλίνας (Spirulina)	31
5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	33
5.1 Εναλλάκτες θερμότητας.....	33
5.2 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ).....	37
5.2.1 Πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμικών αντλιών.....	39
6. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	40
6.1 Γεωθερμική παραγωγική γεώτρηση ΓΝ-1Π	42
6.1.1 Γεωγραφική θέση και κατασκευή της ΓΝ-1Π.....	42
6.1.2 Δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες.....	45
6.1.3 Δοκιμαστική άντληση με σταθερή παροχή	47
6.2 Χημική σύσταση του νερού της γεώτρησης ΓΝ-1Π	49
7. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	57
7.1 Τεχνική μελέτη	57
7.1.1. Περιγραφή σχεδιασμού	57
7.1.2 Πτηνοτροφική μονάδα	58
7.1.3 Θερμοκήπιο	59
7.2 Σχεδιασμός εγκαταστάσεων.....	61
7.2.1 Διάμετρος σωληνώσεων.....	61
7.2.2 Ισχύς εξοπλισμού	62

7.2.3 Ηλεκτρική κατανάλωση	64
7.3 Κόστος κατανάλωσης - Σύγκριση	64
7.4 Συμπεράσματα.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69
Ελληνική βιβλιογραφία	69
Ξένη βιβλιογραφία	70
Ηλεκτρονικές σελίδες.....	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	71

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η φυσική θερμότητα της γης. Τεράστια ποσά θερμικής ενέργειας παράγονται και αποθηκεύονται στον πυρήνα, τον μανδύα και τον φλοιό της Γης. Η θερμότητα μεταφέρεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια μέσω επαγωγής. Αυτή η ροή θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας σε σχέση με το αυξανόμενο βάθος του φλοιού με μέσο όρο 25-30 °C/km.

Μια μέση γεωθερμική βαθμίδα 30 °C/km σημαίνει ότι σε ένα βάθος 2 χλμ η θερμοκρασία πετρωμάτων είναι γύρω στους 70°C, σε περιοχές όπου δεν υπάρχει καμία ηφαιστειακή δραστηριότητα και πού το επίγειο νερό δεν επηρεάζει τη γεωθερμική βαθμίδα.

Οι εκμεταλλεύσιμοι γεωθερμικοί πόροι συσχετίζονται γενικά όχι με τα αγωγίμα συστήματα αλλά με εκ μεταφοράς. Αυτό σημαίνει ότι η θερμότητα έρχεται στην επιφάνεια από τα ρευστά (κυρίως νερά) που ρέουν κάθετα προς την επιφάνεια, έτσι ώστε σημαντικά υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν μέσω γεωτρήσεων σε οικονομικά συμφέροντα βάθη.

Οι γεωθερμικοί πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές και ανάλογα με τη θερμοκρασία τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας είναι κατάλληλα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ, τα χαμηλής ενθαλπίας πεδία χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις.

Τα εκμεταλλεύσιμα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα.

Οι υψηλής θερμοκρασίας πόροι, που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (με θερμοκρασίες άνω των 150 °C) υπάρχουν μόνο σε γεωλογικά ενεργές περιοχές, δηλαδή περιοχές όπου οι μετακινήσεις του φλοιού της Γης φέρνουν το μάγμα κοντά στην επιφάνεια. Μια τέτοια κατάσταση επικρατεί σε περιοχές της κεντρικής Μεσογείου από την Τουρκία μέχρι την Ελλάδα και την Ιταλία όπου η Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα συγκρούεται και επικαλύπτει σταδιακά την Αφρικανική.

Ένα άλλο είδος γεωλογικού περιβάλλοντος που ευνοεί την ύπαρξη των γεωθερμικών πόρων είναι όπου υπάρχει απομάκρυνση λιθοσφαιρικών πλακών με αποτέλεσμα την δημιουργία μεσοωκεάνιων ραχών. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται η Ισλανδία και οι Αζόρες στον Ατλαντικό Ωκεανό.

Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζεται κυρίως σε υγρά θερμοκρασίας άνω των 150°C. Αλλά και σε υγρά με αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την εφαρμογή διφασικών ρευστών.

Η χρήση των συστημάτων cascade με τα οποία το ρευστό υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ το ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας για άλλες χρήσεις, εφαρμόζεται σε πολλές χώρες, όπως η Ισλανδία, η Ιταλία και η Ιαπωνία. Αυτό αυξάνει σημαντικά την συνολική αποδοτικότητα της γεωθερμικής ενέργειας. Σε μερικές περιπτώσεις διάφορα πολύτιμα μεταλλεύματα μπορούν επίσης να εξαχθούν από τα θερμικά ρευστά.

Οι πόροι χαμηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή θερμότητας (με θερμοκρασίες κάτω των 150°C) μπορούν, να βρεθούν στις περισσότερες χώρες. Διαμορφώνονται από την κυκλοφορία σε βάθος του μετεωρικού νερού κατά μήκος των αστοχιών και ρηγμάτων, καθώς και από το νερό που βρίσκεται σε πετρώματα με υψηλό πορώδες,, όπως ο ψαμμίτης και ο ασβεστόλιθος, σε συγκεκριμένα βάθη όπου το νερό θερμαίνεται από τη γεωθερμική βαθμίδα.

Η άμεση χρήση θερμότητας είναι μια από τις παλαιότερες, πιο ευπροσάρμοστες και επίσης η πιο κοινή μορφή αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Η θέρμανση κατοικιών, οι γεωργικές εφαρμογές και η υδατοκαλλιέργεια είναι οι πιο γνωστές και διαδεδομένες μορφές χρήσης. Οι βιομηχανικές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι επίσης ευρέως διαδεδομένες ενώ, σε περιοχές όπου οι γεωθερμικοί πόροι ικανοποιούν τις τοπικές ανάγκες, αποτελούν τυπική λύση.

Τα τελευταία χρόνια, σημαντικές πρόοδοι έχουν γίνει στην εφαρμογή αντλιών θερμότητας για την εξαγωγή ενέργειας από πολύ χαμηλής θερμοκρασίας πόρους (<20°C) για θέρμανση και ψύξη. Η εποχιακή αποθήκευση σε ρηχούς σχηματισμούς (< 200 μ) χρησιμοποιεί την ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης των πετρωμάτων. Αυτή η προσαρμογή έχει πολλαπλασιάσει τον αριθμό των χωρών και περιοχών που μπορούν να εκμεταλλευτούν τη γεωθερμική ενέργεια.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης γεωθερμικής ενέργειας πέρα από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και μερικές από τις άλλες πηγές ανανεώσιμων ενεργειών είναι τα εξής:

- είναι μια τοπική πηγή ενέργειας που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εισαγόμενων ορυκτών καυσίμων
- έχει έναν μεγάλο θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον
- είναι αποδοτικό και ανταγωνιστικό με τις συμβατικές πηγές ενέργειας

- είναι μια αξιόπιστη και ασφαλής πηγή ενέργειας που δεν απαιτεί την αποθήκευση ή τη μεταφορά εύφλεκτων καυσίμων.

Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικούς πόρους είναι περίπου 45 TWh/y και η εγκατεστημένη ικανότητα είναι περίπου 7.700 MWe. Η παγκόσμια θερμική ενεργειακή παραγωγή είναι περίπου 35 TWh/y και η εγκατεστημένη ικανότητα είναι περίπου 9.700 MWt.

1.2 Πόροι και παρούσες χρήσεις στην Ευρώπη

Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν κάποιους εκμεταλλεύσιμους χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικούς πόρους, ενώ οι υψηλής ενθαλπίας πόροι, κατάλληλοι για την ηλεκτρική παραγωγή στην ηπειρωτική Ευρώπη, βρίσκονται σε οικονομικά για διατήρηση βάθη, στην Ιταλία, την Ελλάδα και τη Ρωσία. Πόροι υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται συχνά σε ευρωπαϊκά νησιά ή νησιά που συνδέονται με τα κράτη μέλη της ΕΕ. Αυτές οι τοποθεσίες περιλαμβάνουν την Ισλανδία, τις Αζόρες (Πορτογαλία), τη Γουαδελούπη και τα Κανάρια νησιά (Ισπανία). Μερικοί από αυτούς τους πόρους αξιοποιούνται ήδη.

Η γεωθερμική αξιοποίηση 42 ευρωπαϊκών χωρών έχει αξιολογηθεί σε αυτήν την μελέτη (15 χώρες της ΕΕ, 3 χώρες ΕΟΧ, 11 χώρες Ατζέντας 2000, Ρωσία, Ελβετία, Τουρκία, καθώς επίσης και 11 άλλες ευρωπαϊκές χώρες).

Ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από γεωθερμικούς πόρους σε έξι ευρωπαϊκές χώρες αλλά μόνο δύο (Ιταλία και Ρωσία) στην ηπειρωτική Ευρώπη. Η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα είναι 866 MWe και η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 4.3 TWh/y (ισοδύναμο σε περίπου 0.4 MTOE). Η άμεση θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ασκείται σε 28 ευρωπαϊκές χώρες. Η εγκατεστημένη ικανότητα είναι περίπου 4600 MWt και τα παργώμενα ποσά θερμικής ενέργειας σε 18 TWh/y (ισοδύναμο σε περίπου 1.6 MTOE).

Η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να περιλάβει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες, ένα σημαντικό ποσοστό της καταναλωμένης ενέργειας αφιερώνεται στην παραγωγή θερμότητας, σε θερμοκρασίες 50-100 °C, οι οποίες είναι συνηθισμένες σε γεωθερμικές περιοχές χαμηλής ενθαλπίας. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας παρέχεται από την καύση του πετρελαίου, του άνθρακα ή του αερίου σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες. Το όφελος επομένως για τη χρήση του γεωθερμικού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

νερού μόνο, καθώς επίσης και σε συνδυασμό με άλλες τοπικές πηγές ενέργειας είναι πολύ μεγάλο.

Η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι σε σχετικά προχωρημένο στάδιο στις ευρωπαϊκές χώρες συγκριτικά με άλλα μέρη του κόσμου. Οι ευρωπαϊκές χώρες είναι πρωτοπόροι στην εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων. Η ευρωπαϊκή εμπειρία και εξειδίκευση σε αυτόν τον τομέα έχουν αντιγραφεί από άλλες χώρες παγκοσμίως. Εντούτοις, οι Ευρωπαίοι θα πρέπει να είναι ακόμα σε θέση να διατηρήσουν το ηγετικό ρόλο τους στην ανάπτυξη και αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας τόσο για την άμεση χρήση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2. ΓΕΝΙΚΑ

2.1 Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση

Η ιδέα μιας ενδεχόμενης ενεργειακής κρίσης εμφανίστηκε πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του '50 με την μορφή φιλοσοφικού στοχασμού. Το 1950 τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα εκτιμιόταν ότι θα έφταναν για 20 χρόνια. Παρά το γεγονός αυτό, επικρατούσε κάποια νηφαλιότητα σε σχέση με την ενεργειακή τροφοδότηση. Όταν έκανε την εμφάνιση της το 1973 η πρώτη ενεργειακή κρίση, τότε έγινε και για πρώτη φορά αντιληπτό το ενεργειακό πρόβλημα. Από την στιγμή εκείνη, ξεκίνησε μια έρευνα με σκοπό, τόσο τον εντοπισμό των αιτιών δημιουργίας της κρίσης και των επιπτώσεων της, όσο και πιθανών λύσεων για την αντιμετώπιση της.

Κατά το πέρασμα των δεκαετιών, μια ενεργειακή κρίση, ανεξάρτητα από τον χρόνο και τον τόπο που εμφανίζεται, χαρακτηρίζεται από κάποια κοινά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

1. Η συνεχής αύξηση της τιμής των καυσίμων, η οποία έχει αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους ζωής καθώς και της παροχής υπηρεσιών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι από την κρίση του '73 η τιμή του αργού πετρελαίου έχει τετραπλασιαστεί, γεγονός που δηλώνει ότι το ενεργειακό πρόβλημα είναι πλέον μόνιμο
2. Η διαρκής αβεβαιότητα για την επάρκεια της ενεργειακής τροφοδοσίας. Η αβεβαιότητα αυτή γίνεται εμφανής από τις διαρκείς συρράξεις, από την παρέμβαση τρίτων χωρών, που αποσκοπούν στην αύξηση της επιρροής τους στα διεθνή κυκλώματα πετρελαίου.
3. Η εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες.
4. Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτων. Πιο συγκεκριμένα η δυσμενής επίδραση στο περιβάλλον προκαλείται σε όλα τα στάδια της εκμετάλλευσης ενός ενεργειακού κοιτάσματος, από την εξόρυξη του μέχρι την τελική του χρήση. Συνέπεια της επίδρασης αυτής είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, από τις εκπομπές CO₂, καθώς και η μείωση του υδάτινου δυναμικού, με την μόλυνση υδροφόρων οριζόντων από απόβλητα.
5. Οι σημαντικές απώλειες αξιοποιήσιμων ενεργειακών πόρων(85%), η οποίες προέρχονται είτε από συμφωνίες μεταξύ κρατών και παραγωγών(cartel), είτε από την χαμηλή αποδοτικότητα του ενεργειακού συστήματος.

Τα παραπάνω στοιχεία περιγράφουν μια κατάσταση, η οποία βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην αξιοποίηση ορυκτών καυσίμων. Στην σημερινή εποχή το 80% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτούς πόρους, ενώ το 14% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας(ΑΠΕ) και το 6% από πυρηνικούς σταθμούς. Έτσι, προκειμένου να βρεθεί μια λύση στο ενεργειακό πρόβλημα, θα πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο η χρήση ορυκτών καυσίμων και παράλληλα να γίνει μεγαλύτερη αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Βασική προϋπόθεση ωστόσο, για να μπορέσει μια λύση να είναι βιώσιμη και αποτελεσματική είναι, εκτός από το να έχει την επιθυμητή αποτελεσματικότητα, να εξασφαλίζει επίσης τις αξίες, τις παραδόσεις, την ευημερία και τις ελευθερίες του κοινωνικού συνόλου. Για τον λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί τρεις στρατηγικές η εφαρμογή των οποίων θα πρέπει να γίνει σε διαδοχικές χρονικές περιόδους. Οι στρατηγικές αυτές αφορούν την ορθολογικότερη διαχείριση της ενέργειας, την υποκατάσταση ή ακόμα και αντικατάσταση των συμβατικών πηγών με ΑΠΕ και τέλος, την χρήση του υδρογόνου ως ενεργειακό φορέα.

Παρά το γεγονός πως με την στρατηγική ορθολογικής διαχείρισης ή εξοικονόμησης ενέργειας όπως αλλιώς ονομάζεται, υπάρχει η δυνατότητα να εξασφαλιστεί χαμηλή κατανάλωση ενεργειακών πόρων, η εφαρμογή της δεν πραγματοποιείται στον επιθυμητό βαθμό. Αυτού του είδους η στρατηγική βασίζεται στην αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η ενεργειακή στέρση. Αυξάνοντας την αποδοτικότητα σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής επιτυγχάνεται η περιστολή της αλόγιστης σπατάλης ενεργειακών πόρων. Έτσι, μέσω της εξοικονόμησης της ενέργειας χρησιμοποιείται η φιλικότερη μορφή ενέργειας για το περιβάλλον, αφού είναι το απόλυτα καθαρό καύσιμο με την έννοια ότι η εξοικονομούμενη ποσότητα καυσίμου δεν χρησιμοποιείται. Η ιδιότητα αυτή την καθιστά ταυτόχρονα ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Η δεύτερη στρατηγική, η οποία αφορά την υποκατάσταση ή και αντικατάσταση, όπου είναι δυνατό, των συμβατικών καυσίμων με ΑΠΕ είναι άμεσα συνδεδεμένη μ' εκείνη της εξοικονόμησης ενέργειας. Βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίηση της δεύτερης στρατηγικής είναι, να διασφαλιστούν μέσω της πρώτης, συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης και γεωπολιτικής σταθερότητας, προκειμένου να δημιουργηθούν συνθήκες για μια μακροχρόνια και επιτυχή εκμετάλλευσης των ΑΠΕ.

Τέλος, η αποτελεσματικότητα του υδρογόνου ως κύριου ενεργειακού φορέα, εξαρτάται από δύο σημαντικούς παράγοντες. Το υδρογόνο θα πρέπει να προέρχεται αποκλειστικά από το νερό και όχι από άλλες ενώσεις όπως προϊόντα ορυκτών καυσίμων. Επίσης, η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του υδρογόνου, να προέρχεται υποχρεωτικά από ΑΠΕ. Μόνο με τις προϋποθέσεις αυτές το ενεργειακό σύστημα του υδρογόνου θα αναδείξει την υπεροχή του ως προς τη βιωσιμότητά του και τη φιλικότητά του προς το περιβάλλον.

2.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Μια τέτοια κρίση δεν θα μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστη και την ελληνική κοινωνία. Η Ελλάδα, ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι υποχρεωμένη να ακολουθεί τις πολιτικές της, έστω και αν αυτές δεν είναι προσαρμοσμένες στα δεδομένα της χώρας. Μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί αρκετά προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας όπως αξιοποίησης ΑΠΕ, παραγωγής βιοκαυσίμων κ.α., τα οποία όμως υπολείπονταν του απαιτούμενου μεγέθους παρέμβασης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι μεταβολές στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας να είναι αμελητέες. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πλούσιο δυναμικό ΑΠΕ(ηλιακό, αιολικό, γεωθερμικό), του οποίου η εκμετάλλευση είναι άμεσα απαραίτητη σε συνδυασμό με πολλαπλές δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας και την εισαγωγή του φυσικού αερίου στην χώρα.

2.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Με τον όρο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) χαρακτηρίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Οι ΑΠΕ είναι οι πρώτες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο, προτού αρχίσει η έντονη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Οι ΑΠΕ μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανεξάντλητες. Η χρήση τους είναι φιλική στο περιβάλλον, ενώ η αξιοποίησή τους έγκειται μόνο στην ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα δεσμεύουν το δυναμικό τους.

Μια πρώτη σκέψη για την χρήση και αξιοποίηση των ΑΠΕ, παρουσιάστηκε πρώτη φορά μετά την ενεργειακή κρίση του 1973. Η σκέψη αυτή στην συνέχεια, μετατράπηκε σε επιτακτική ανάγκη, όταν έγινε αντιληπτή η επιβάρυνση που προκλήθηκε στο περιβάλλον από την εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Ορισμένες χώρες έχουν καταφέρει να χρησιμοποιούν τις ΑΠΕ σε τέτοιο βαθμό ώστε να αποτελούν κύριο ενεργειακό φορέα ο οποίος όχι μόνο παρουσιάζει ευνοϊκή συνεισφορά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, αλλά ταυτόχρονα βοηθάει στην ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο. Ένα ακόμα προτέρημα που παρουσιάζει η χρήση των ΑΠΕ είναι η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

2.4 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι ΑΠΕ είναι πηγές ενέργειας που προέρχονται από το φυσικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο ΑΠΕ χαρακτηρίζουμε τις ακόλουθες πηγές:

- **Η αιολική ενέργεια.** Χρησιμοποιώντας τα αέρια ρεύματα, είναι ικανή μέσω ανεμογεννητριών να παράγει δυναμικό για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δίχως σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι ανεμογεννήτριες (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με μπαταρία σε μικρές εγκαταστάσεις αλλά και συμπληρωματικά μαζί με φωτοβολταϊκά στοιχεία, παρά το γεγονός ότι συνήθως είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο. Η επερχόμενη απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας το 2001 έχει οδηγήσει στην κατασκευή πολλών αιολικών πάρκων ανά την Ελλάδα.



Σχ.2.1 Άποψη ανεμογεννητριών[23]

- **Η βιομάζα.** Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται τα κατάλοιπα που προκύπτουν από διεργασίες που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο. Τα κατάλοιπα αυτά προέρχονται από αστικά απόβλητα, από την αγροτική παραγωγή π.χ. υπολείμματα ξυλείας, σοδειάς, ζωικά απόβλητα, καθώς επίσης και υποπροϊόντα της βιομηχανίας π.χ. από επεξεργασία τροφίμων ή οργανικών υλών. Από τα κατάλοιπα αυτά, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, η βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο, το βιοαέριο (biofuel). Με την καύση του αερίου αυτού παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, με μεγάλη απόδοση αλλά και μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επίσης για θέρμανση και κίνηση. Η τεχνολογία καύσης της βιομάζας παρέχει το μέγιστο δυναμικό για παραγωγή ενέργειας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, η καύση της όμως δεν μπορεί να την καταστήσει ως καθαρή ως προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας.



Σχ.2.2 Εργοστάσιο επεξεργασίας Βιομάζας[24]

- **Η ηλιακή ενέργεια.** Αυτή η μορφή ενέργειας αξιοποιώντας την ακτινοβολία του Ήλιου, χρησιμοποιείται τόσο για την θέρμανση των κτιρίων με άμεσο ή έμμεσο τρόπο, με τη χρήση ενεργητικών ή και παθητικών συστημάτων, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε με την χρησιμοποίηση Φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, είτε μέσω ηλιακών θερμικών συστημάτων τα οποία, εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ενέργεια, θερμαίνουν ένα υγρό από το οποίο παράγεται ατμός που τροφοδοτεί μία τουρμπίνα και μία γεννήτρια.



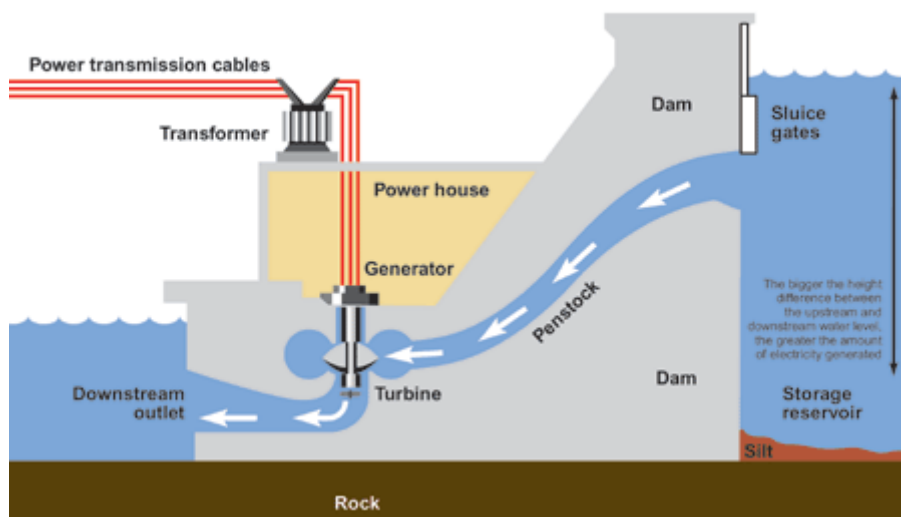
Σχ.2.3 Σειρές από ηλιακούς συλλέκτες[25]

- **Η κυματική ενέργεια.** Είναι μια μορφή ενέργειας η οποία εκμεταλλεύεται την κίνηση των κυμάτων της θάλασσας για την παραγωγή ενέργειας. Η δημιουργία κυμάτων οφείλεται σε δυνατούς ανέμους και έτσι, η εκμετάλλευσή τους γίνεται σε περιοχές με υψηλό δείκτη ανέμων ή σε ακτές ωκεανών.



Σχ.2.4 Συσκευές συγκομιδής κυματικής ενέργειας[26]

- **Η υδροηλεκτρική ενέργεια.** Με αυτόν τον όρο, χαρακτηρίζεται μια μορφή ενέργειας η οποία προέρχεται από την ροή των υδάτων. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρική γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Σε αυτά, η πτώση του νερού τροφοδοτεί μια τουρμπίνα, από την οποία παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Στα υδροηλεκτρικά έργα δεν παράγονται επιβλαβή αέρια. Στα μεγάλα φράγματα ωστόσο, λαμβάνονται υπόψη και άλλες παράμετροι, που αφορούν το περιβάλλον, όπως αντιπλημμυρικά έργα, η ποιότητα του νερού, καθώς επίσης και η επίδραση στην χλωρίδα και την πανίδα της εκάστοτε περιοχής. Επομένως, μόνο υδροηλεκτρικά εργοστάσια μικρής κλίμακας, με δυναμικό μικρότερο των 30 MW, θεωρούνται όντως φιλικά στο περιβάλλον, ενώ τα μεγαλύτερα θεωρούνται «καθαρά», δηλαδή ότι εκπέμπουν πολύ περιορισμένο ποσοστό ρύπων.



Σχ.2.5 Σχηματική αναπαράσταση παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας[27]

- Η γεωθερμική ενέργεια.** Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια, αναφερόμαστε στην ενέργεια η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και προκαλείται από επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς με ή χωρίς αέρια, σε θερμά νερά ή σε μείγματα των παραπάνω, καθώς και σε ξηρά-θερμά πετρώματα. Ένα γεωθερμικό πεδίο μπορεί να φτάσει θερμοκρασίες από 25 °C μέχρι 350 °C, ανάλογα με την περιοχή. Σε γεωθερμικά πεδία με θερμοκρασίες χαμηλότερες των 25 °C, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών και άλλων κτιρίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λ.π. Σε περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν θερμοκρασία πάνω από 150 °C, η ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στον ελλαδικό χώρο, η διαμόρφωση του υπεδάφους είναι τέτοια, που τον καθιστά πλούσιο σε γεωθερμική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή παρουσιάζει σήμερα αυξανόμενους ρυθμούς αξιοποίησης. Κυρίως σε περιοχές του Νότιου Αιγαίου παρουσιάζονται γεωθερμικά πεδία σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ενώ πληθώρα γεωθερμικών πεδίων με χαμηλότερες θερμοκρασίες βρίσκονται διάσπαρτα σε πολλές περιοχές της Ελλάδας.



Σχ.2.6 Εκτόνωση θερμοπίδακα[28]

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί ίσως την μορφή ενέργειας με τις πιο κατάλληλες, για την Ελλάδα, εφαρμογές. Το γεγονός ότι ανεξάρτητα με την θερμοκρασία του, το γεωθερμικό πεδίο μπορεί να αξιοποιηθεί, καθώς και το ότι η γεωθερμική ενέργεια βρίσκει έναν μεγάλο αριθμό εφαρμογών στον αγροτικό τομέα, την καθιστά την πλέον ιδανική εναλλακτική πηγή ενέργειας για την Ελλάδα.

Για τον λόγο αυτό, θα γίνει στην συνέχεια μια εκτενέστερη αναφορά τόσο στις χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας, όσο και στα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση της. Αρχικά όμως θα εξεταστεί η ιστορία της γεωθερμίας από τα πρώτα χρόνια της χρήσης της και η εξέλιξη των εφαρμογών της στο πέρασμα του χρόνου.

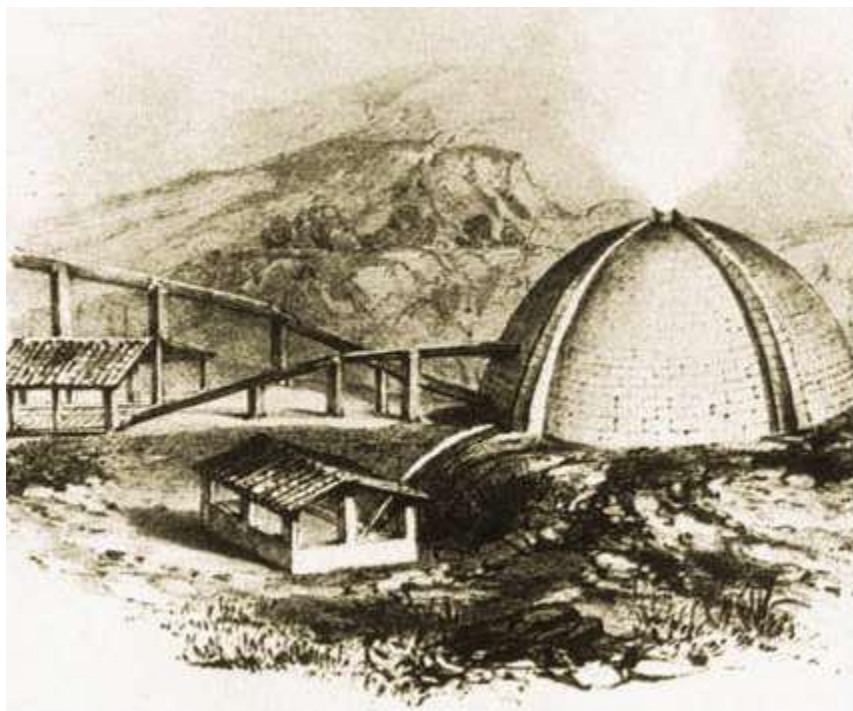
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

3.1 Ιστορία της γεωθερμίας

Τα διάφορα ηφαιστειακά φαινόμενα ανά τον κόσμο, καθώς επίσης και η χρήση των θερμών πηγών από αρχαιοτάτων χρόνων, δείχνει ότι η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας από τον άνθρωπο γίνεται εδώ και πολλά χρόνια. Έχει καταγραφεί ότι οι Ρωμαίοι, οι Κινέζοι, αλλά και οι ιθαγενείς Ινδιάνοι της Αμερικής χρησιμοποιούσαν την γεωθερμική ενέργεια και συγκεκριμένα τις θερμές πηγές για το μαγείρεμα, την θέρμανση, αλλά και για μπάνιο. Αρχαιολογικά στοιχεία που καταδεικνύουν το γεγονός αυτό χρονολογούνται για πάνω από 10 χιλιάδες χρόνια.

Παρά την τόσο εκτεταμένη χρήση, μόνο κατά την περίοδο μεταξύ του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα, που κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλεία και έφτασαν σε βάθη μερικών εκατοντάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, κατάφερε να γίνει αντιληπτό ότι η θερμοκρασία του υπεδάφους αυξάνετε με το βάθος. (15)

Η πρώτη εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας δεν έφτασε παρά μόνο μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα στην περιοχή του Larderello, στην Τοσκάνη της Ιταλίας. Στην περιοχή λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις. Για την παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν εξάτμιση των βοριούχων νερών σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλούμενα δάση της περιοχής, ανέπτυξε ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης. (15)



Σχ.3.1 Η καλυμμένη «λιμνούλα» (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος.[15]

Περίπου την ίδια περίοδο ξεκίνησε και η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Από το 1850 και μέχρι το 1875, οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη. Το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλε-θέρμανσης (district heating) τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Αινταχο των Η.Π.Α. το 1892. Μεταξύ του 1910 και του 1940, στο Larderello, ο χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Παράλληλα, σε ολόένα και περισσότερες χώρες άρχισε η ανάπτυξη των γεωθερμικών πόρων σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1928, μια ακόμα πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση κατοικιών.(15)



Σχ.3.2 Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό[15]

Η επιτυχία αυτής της πειραματικής προσπάθειας είχε ως αποτέλεσμα να αναδειχθεί η βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας, αλλά και ένας νέος τρόπος εκμετάλλευσης, ο οποίος παρουσίασε σημαντική ανάπτυξη στα επόμενα χρόνια.(15)

Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμο-ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 KWt. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berpu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες. (17)

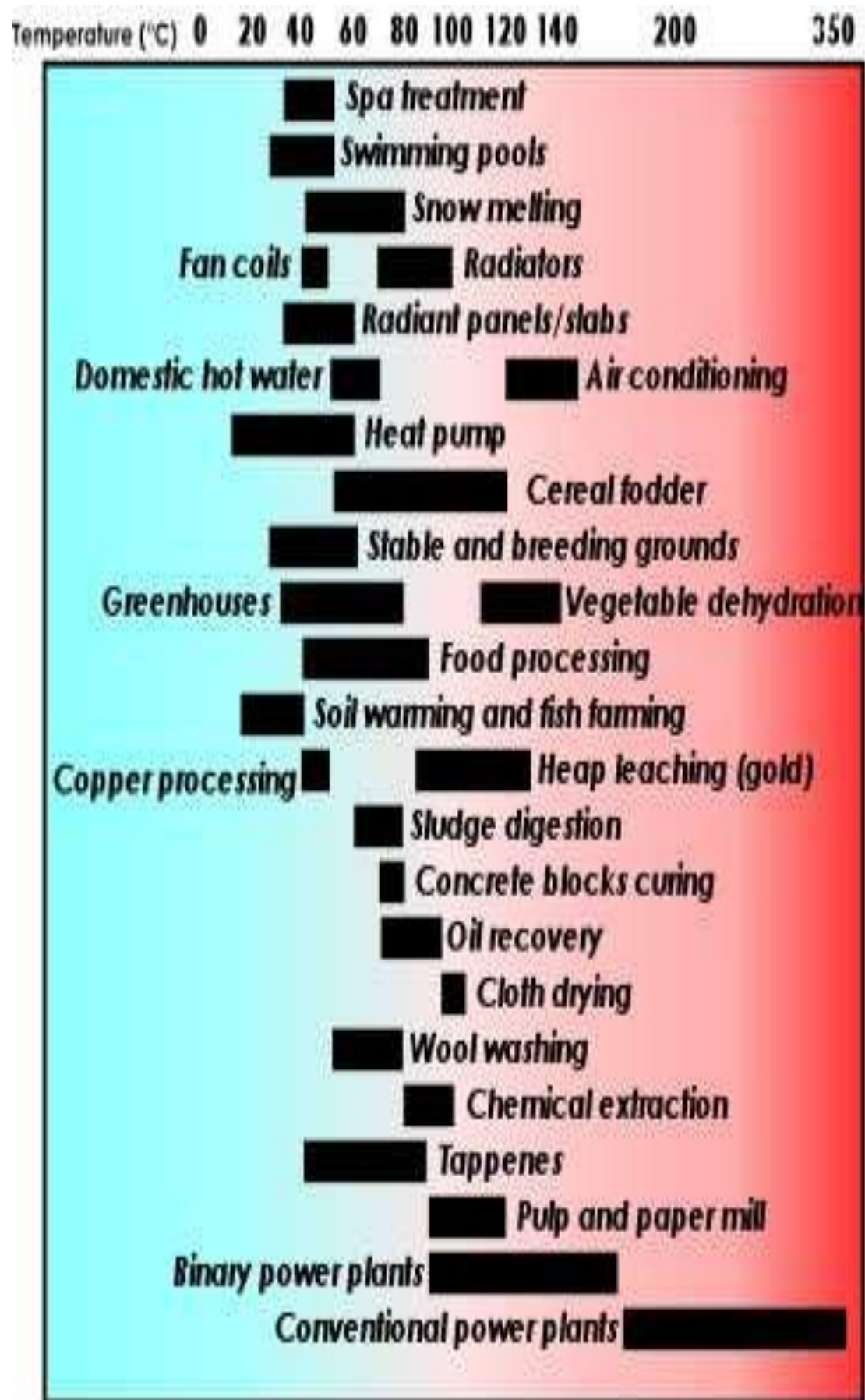
3.2 Εφαρμογές της γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών, από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και για λιώσιμο του χιονιού. Στην συνέχεια αναλύονται οι πιο διαδεδομένες από τις εφαρμογές.

Η σημαντικότερη μορφή αξιοποίησης της γεωθερμικών πόρων υψηλής θερμοκρασίας ($>150^{\circ}\text{C}$), είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για πόρους μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ($<150^{\circ}\text{C}$) υπάρχει μια πληθώρα διαφορετικών εφαρμογών. Στο διάγραμμα του Lindal, που παρατίθεται ακολούθως, παρουσιάζονται όλες οι πιθανές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους και ισχύει ακόμη μέχρι σήμερα. Υπάρχει ωστόσο και μια ακόμα εφαρμογή η οποία λείπει από το διάγραμμα και αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις δυαδικού κύκλου (binary cycle) από ρευστά που έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από 85°C . Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι υπό ορισμένες συνθήκες και με τη χρήση αντλιών θερμότητας, το όριο των 20°C μπορεί να ξεπεραστεί. (15)



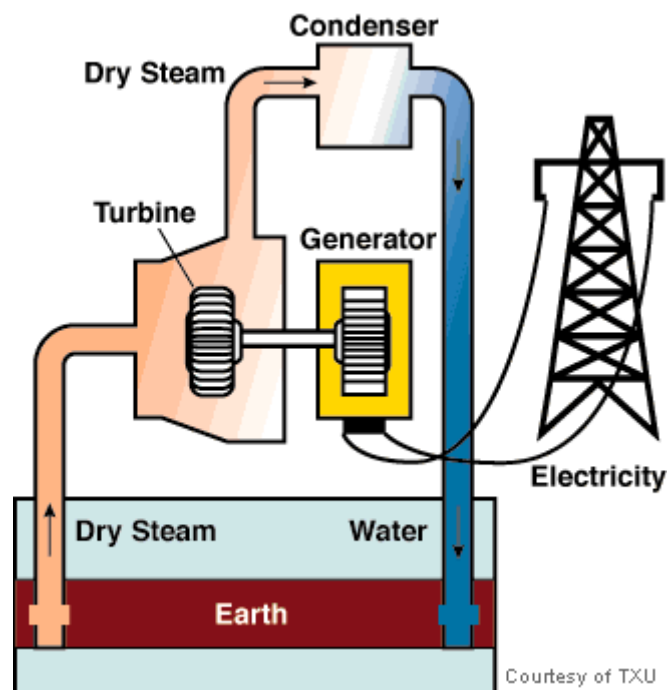
Σχ. 3.3 Εργοστάσιο παραγωγής γεωθερμικής ηλεκτρικής ενέργειας έξω από την Ισλανδία[29]



Σχ. 3.4 Το διάγραμμα Lindal[15]

3.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμικής ενέργειας, πραγματοποιείται σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς ατμοστρόβιλους ή με δυαδικό κύκλο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου. Για πεδία θερμοκρασιών τουλάχιστον 150 °C χρησιμοποιούνται συμβατικοί ατμοστρόβιλοι. Η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με ή χωρίς συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα, οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με ατμοστρόβιλους ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι απλούστερος και φθηνότερος. Ο ατμός που έρχεται, είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό, είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον ατμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Σε μια τέτοια μονάδα, η κατανάλωση ατμού ανά παραγόμενη κιλοβατώρα είναι περίπου διπλάσια από αυτήν σε μια μονάδα με συμπυκνωτές. Ωστόσο, οι ατμοστρόβιλοι ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε πιλοτικές ή εφεδρικές μονάδες, σε περιπτώσεις μικρών παροχών από μεμονωμένες γεωτρήσεις, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρισμού στη φάση των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων κατά την ανάπτυξη του πεδίου. Χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις όπου ο ατμός περιέχει μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων (>12% κατά βάρος). (15)



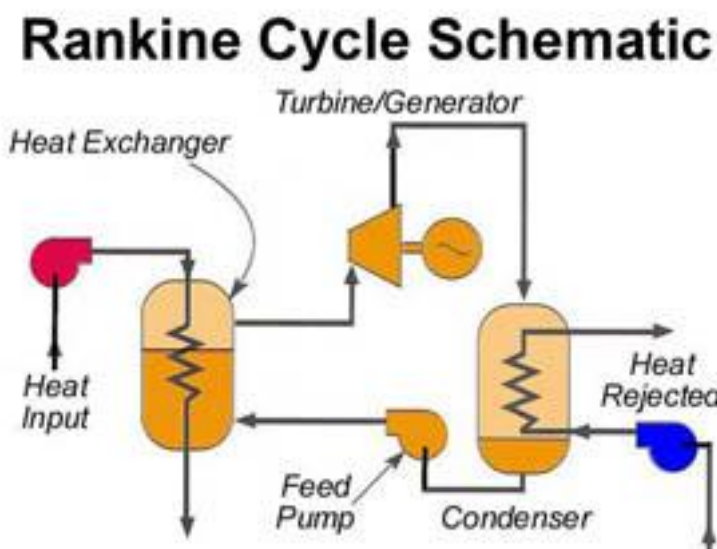
Σχ. 3.5 Απλοποιημένη αναπαράσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε γεωθερμικό εργοστάσιο[22]

Οι μονάδες διάθεσης του ατμού στην ατμόσφαιρα κατασκευάζονται και εγκαθίστανται πολύ γρήγορα και μπορούν να τεθούν σε λειτουργία μέσα σε περίπου 13-

14 μήνες από την ημερομηνία παραγγελίας τους. Τέτοιου είδους μονάδες είναι συνήθως διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (2,5-5 MWt). Οι μονάδες με συμπυκνωτές, εξαιτίας του ότι συνοδεύονται από περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό, είναι πιο περίπλοκες στο σχεδιασμό τους από τις προηγούμενες, και αυτές που είναι μεγαλύτερης ισχύος χρειάζονται διπλάσιο χρόνο κατασκευής και εγκατάστασης. Όμως, η κατανάλωση ατμού είναι περίπου μισή σε σχέση με την περίπτωση των ατμοστροβίλων ατμοσφαιρικής εκτόνωσης. Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις με συμπυκνωτές έχουν ισχύ 55-60 MWt, όμως πρόσφατα κατασκευάστηκαν και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μονάδες με ισχύ 110 MWt.

Αξιολόγηση ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας και από υψηλής θερμοκρασίας νερό που εξέρχεται από τους διαχωριστές στα γεωθερμικά πεδία υγρής φάσης και αυτό διότι, έχουν σημειωθεί μεγάλες πρόοδοι στην τεχνολογία των δυαδικών ρευστών.

Σε εγκαταστάσεις τέτοιου τύπου χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον, συνήθως οργανικό, ρευστό (π.χ. ισο-πεντάνιο), το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και υψηλή τάση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες, συγκρινόμενο με τον υδάτινο ατμό. Το δευτερεύον ρευστό χρησιμοποιείται μέσα σε ένα συμβατικό οργανικό κύκλο Rankine (OCR) ως εξής: το γεωθερμικό ρευστό προσφέρει θερμότητα στο δευτερεύον υγρό μέσω εναλλακτών θερμότητας, και στην συνέχεια εξατμίζεται. Ο ατμός που παράγεται κινεί έναν κανονικό στρόβιλο αξονικής ροής, στη συνέχεια ψύχεται και συμπυκνώνεται, οπότε ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Σχ. 3.6 Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου Rankine[21]

Με σωστή επιλογή του δευτερεύοντος ρευστού, τα δυαδικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούν γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 85-170 °C. Το ανώτερο όριο εξαρτάται από τη θερμική σταθερότητα του οργανικού ρευστού ενώ το κατώτατο όριο από οικονομοτεχνικούς παράγοντες. Κάτω από αυτή τη θερμοκρασία, εξαιτίας του μεγέθους και της ικανότητας των απαιτούμενων εναλλακτών, το όλο πρόγραμμα ίσως κατέληγε ασύμφορο από οικονομική άποψη. Εκτός από τις περιπτώσεις χαμηλής- μέσης ενθαλπίας, τα δυαδικά συστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου η εφαρμογή του κύκλου εκτόνωσης των ρευστών θα πρέπει να αποφεύγεται (π.χ. για την αποφυγή απόφραξης των γεωτρήσεων). Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει χρήση υποβρύχιων αντλιών, προκειμένου να παραμένουν υπό σταθερή πίεση και σε υγρή φάση τα ρευστά, ενώ η ενέργεια μπορεί να λαμβάνεται από το ρευστό κυκλοφορίας με τη βοήθεια του δυαδικού συστήματος.

Ένας νέος τύπος δυαδικών συστημάτων, ο επονομαζόμενος κύκλος Kalina που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990, χρησιμοποιεί ως δευτερεύον ρευστό εργασίας ένα μίγμα νερού-αμμωνίας. Το ρευστό αυτό εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες όταν διέρχεται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης και στη συνέχεια επαναθερμαίνεται πριν εισέλθει στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μετά τη δεύτερη εκτόνωση, οι κορεσμένοι ατμοί μεταφέρονται σε ένα θερμαντήρα και ακολούθως συμπυκνώνονται σε έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή. Ο κύκλος Kalina είναι πιο αποτελεσματικός από τα υπάρχοντα OCR δυαδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι πολύ πιο περίπλοκος.



Σχ. 3.7 Άποψη εξοπλισμού κύκλου Kalina

Μικρές «κινητές», συμβατικές ή όχι, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσαν όχι μόνο να συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου μερικής αποτυχίας των νέων γεωτρήσεων, αλλά κυρίως να βοηθήσουν στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομονωμένων περιοχών. Το βιοτικό επίπεδο απομονωμένων κοινοτήτων θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά εάν υπήρχε η δυνατότητα να βασιστούν σε τοπικούς ενεργειακούς πόρους. Η ηλεκτρική ενέργεια θα διευκόλυνε πολλές, φαινομενικά απλοϊκές, αλλά, εξαιρετικά σημαντικές εργασίες, όπως η άντληση νερού για άρδευση και η ψύξη φρούτων και λαχανικών για συντήρηση σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Η διευκόλυνση που παρέχουν οι «κινητές» μονάδες γίνεται περισσότερο εμφανής στις περιοχές που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε συμβατικά καύσιμα, και στις κοινότητες για τις οποίες το κόστος σύνδεσής τους με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι εξαιρετικά υψηλό, έστω και αν υπάρχουν γραμμές υψηλής τάσης σε κοντινές αποστάσεις. Τα έξοδα που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση αυτών των μικρών κοινοτήτων είναι απαγορευτικά, καθώς οι μετασχηματιστές που χρειάζεται να εγκατασταθούν και να συνδεθούν με δίκτυα υψηλής τάσης κοστίζουν περισσότερο από 675.000 δολάρια ο καθένας, ενώ η πιο απλή μορφή τοπικής διανομής ηλεκτρισμού στα 11 kV, με τη χρήση ξύλινων στύλων, κοστίζει το λιγότερο 20.000 δολ./χλμ. (τιμή δολαρίου 1994). Για σύγκριση, το κόστος κεφαλαίου (δολ.1998) ενός δυαδικού συστήματος είναι της τάξης των 1500-2500 δολ./εγκατάσταση, μη συμπεριλαμβανομένων των γεωτρητικών δαπανών. Οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ισχύ ανά άτομο στις περιοχές εκτός δικτύου θα κυμαίνεται μεταξύ 0,2 KWe στις λιγότερο ανεπτυγμένες και 1,0 KWe ή περισσότερο στις ανεπτυγμένες περιοχές. Μία μονάδα ισχύος 100 KWe θα μπορούσε να εξυπηρετήσει 100-500 άτομα, ενώ αντίστοιχα μια μονάδα 1 MWe 1000-5000 άτομα.

3.2.2 Άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας

Οι παλαιότερες και οι πλέον συνηθισμένες άμεσες χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών, αφορούν την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση. Η θέρμανση χώρων, η λουτροθεραπεία και η τηλεθέρμανση, καθώς επίσης και η χρήση σε αγροτικές εφαρμογές, υδατοκαλλιέργειες και κάποιες βιομηχανικές χρήσεις είναι οι πιο γνωστές μορφές χρήσεων. Ωστόσο, οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αξιοποίησης (12,5 % της συνολικής χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας κατά το έτος 2000). Υπάρχουν φυσικά και κάποιοι άλλοι μικρότερης κλίμακας τρόποι εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, οι οποίοι όμως δεν είναι τόσο συνηθισμένοι.

3.2.2.1 Η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση

Μεγάλη ανάπτυξη παρουσίασε στην Ισλανδία, όπου η συνολική ισχύς του γεωθερμικού συστήματος τηλεθέρμανσης ανέρχονταν στα τέλη του 1999 σε περίπου 1200 MWt. Σε χώρες όπως αυτές της Ανατολικής Ευρώπης, καθώς και τις Η.Π.Α., Κίνα, Ιαπωνία, Γαλλία, κλπ. παρουσίασε επίσης ιδιαίτερη ανάπτυξη. Τα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης απαιτούν μεγάλα αρχικά κεφάλαια. Το κύριο κόστος τους αφορά την αρχική επένδυση για την κατασκευή των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, την αγορά των συστημάτων άντλησης και μεταφοράς των ρευστών, την κατασκευή των δικτύων και των σωληνώσεων, την προμήθεια του εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης των εγκαταστάσεων, την κατασκευή των σταθμών διανομής και των δεξαμενών αποθήκευσης. Παρά το κόστος εγκατάστασης, τα λειτουργικά έξοδα, τα οποία αφορούν στην ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση των ρευστών, τη συντήρηση του συστήματος και τη διαχείριση της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας. Σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό του αρχικού κόστους του συστήματος, είναι η *πυκνότητα του θερμικού φορτίου* ή αλλιώς, οι απαιτήσεις σε θέρμανση δια την επιφάνεια που καλύπτει η περιοχή που πρόκειται να θερμανθεί.

$$\text{Θερμική πυκνότητα} = \frac{\text{απαιτήσεις σε θέρμανση}}{\text{επιφάνεια}}$$

Το μέγεθος της θερμικής πυκνότητας επηρεάζει σημαντικά την οικονομική βιωσιμότητα και την σκοπιμότητα του έργου τηλεθέρμανσης, αφού το μεγαλύτερο κομμάτι του κεφαλαίου απορροφάται από το δίκτυο διανομής. Σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες το επιτρέπουν, οικονομικά οφέλη είναι δυνατόν να προκύψουν από συνδυασμό θέρμανσης και ψύξης. Ο συντελεστής φορτίου σε ένα τέτοιο σύστημα ψύξης-θέρμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί μόνο στη θέρμανση, και η τιμή της ενεργειακής μονάδας πρέπει να είναι κατά συνέπεια χαμηλότερη.

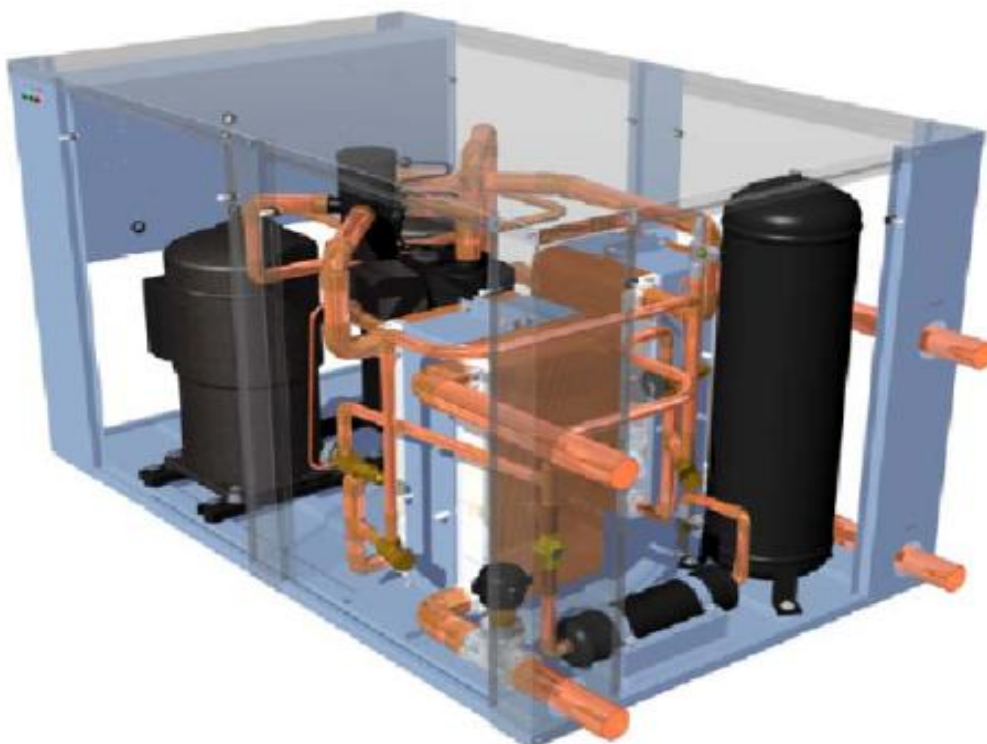
3.2.2.2 Ψύξη χώρων

Με την χρήση μηχανών απορρόφησης, οι οποίες βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο και η τεχνολογία τους είναι ευρέως γνωστή, η χρήση της γεωθερμικής

ενέργειας για ψύξη, αποτελεί μια αρκετά εφικτή και βιώσιμη επιλογή. Η απορρόφηση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας τη θερμότητα αντί του ηλεκτρισμού. Χρησιμοποιούνται δύο είδη υγρών: ένα ψυκτικού, το οποίο κυκλοφορεί, εξατμίζεται και συμπυκνώνεται, και ένα δευτερεύον ρευστού το οποίο λειτουργεί ως απορροφητικό. Για εφαρμογές πάνω από 0°C, ο κύκλος χρησιμοποιεί βρωμίδιο του λιθίου ως απορροφητικό και νερό ως ψυκτικό υγρό. Για εφαρμογές κάτω από τους 0°C χρησιμοποιείται ο κύκλος αμμωνίας-νερού, με την αμμωνία στο ρόλο του ψυκτικού και του νερού στο ρόλο του απορροφητικού μέσου. Τα γεωθερμικά ρευστά παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση αυτών των μηχανών, όμως η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες των 105 °C.

3.2.2.3 Γεωθερμικός Κλιματισμός

Κατά τη δεκαετία του 1980 σημαντική ανάπτυξη παρουσίασε η θέρμανση και η ψύξη χώρων, ακολουθώντας την εμφάνιση και την ευρεία διάδοση των **αντλιών θερμότητας** (*heat pumps*). Η ποικιλία τύπων αντλιών θερμότητας επιτρέπουν την απόληψη και χρήση με οικονομικό τρόπο του θερμικού περιεχομένου των σωμάτων χαμηλής θερμοκρασίας, όπως είναι το έδαφος ή οι ρηχοί υδροφόροι, τεχνητές ή φυσικές συγκεντρώσεις νερού κλπ.



Σχ. 3.7 Αντλία θερμότητας

Με τις αντλίες θερμότητας η θερμότητα κατευθύνεται αντίθετα από τη διεύθυνση που θα ακολουθούσε με φυσικό τρόπο, δηλαδή εξαναγκάζεται να κατευθυνθεί από ένα ψυχρό μέσο σε ένα άλλο θερμότερο. Οι αντλίες θερμότητας θα μπορούσαν να παρομοιαστούν με ψυγεία. Κάθε ψυκτική συσκευή (air-condition, ψυγείο, καταψύκτης κλπ.) παίρνει θερμότητα από ένα χώρο που πρέπει να παραμείνει σε χαμηλή θερμοκρασία και την απελευθερώνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η διαφορά με την αντλία θερμότητας έγκειται στο τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή η θέρμανση στην πρώτη περίπτωση και η ψύξη στη δεύτερη. Μια άλλη διαφορά εντοπίζεται στην αντιστρέψιμη λειτουργία πολλών αντλιών θερμότητας, δηλαδή στην ικανότητά τους να παρέχουν τόσο ψύξη όσο και θέρμανση στο χώρο. Βέβαια, απαιτείται δαπάνη ενέργειας για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας, ενώ η χρήση τους ενδείκνυται κατά κύριο λόγο σε περιοχές κατάλληλων κλιματικών συνθηκών, οπότε για να είναι θετική η ενεργειακή ισορροπία πρέπει να προηγηθεί ένας σωστός σχεδιασμός.

Ήδη, σε περισσότερες από 27 χώρες βρίσκονται εγκατεστημένα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας κλειστού κυκλώματος που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος και αντλιών επιφανειακού ή εδαφικού νερού (ground-water), με συνολική θερμική ισχύ που ανήλθε σε 6.875 MWt. Ο μεγαλύτερος αριθμός των εγκαταστάσεων βρίσκεται στις ΗΠΑ (4.800 MWt), την Ελβετία (500 MWt), τη Σουηδία (377 MWt), τον Καναδά (360 MWt), τη Γερμανία (344 MWt) και την Αυστρία (228 MWt). Για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών χρησιμοποιούνται ρηχοί υδροφόροι ορίζοντες ή εδάφη και υπόγεια πετρώματα, με θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 5-30 °C.

3.2.3 Βιομηχανικές εφαρμογές

Από το διάγραμμα του Lindal φαίνεται πως γεωθερμικά ρευστά, σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό τους εύρος, είτε πρόκειται για ατμό είτε για νερό, αξιοποιούνται και σε *βιομηχανικές εφαρμογές*. Σε αυτές τις μορφές αξιοποίησης περιλαμβάνετε η θέρμανση κατά τη διεργασία, η εξάτμιση, η ξήρανση, η απόσταξη, η αποστείρωση, το πλύσιμο, το λιώσιμο πάγων καθώς επίσης και η ανάκτηση αλάτων. Η χρήση της γεωθερμικής θερμότητας κατά τη βιομηχανική επεξεργασία διάφορων προϊόντων εφαρμόζεται σε 19 χώρες, όπου οι εγκαταστάσεις είναι γενικά πολύ μεγάλες και η κατανάλωση ενέργειας υψηλή. Παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών αποτελούν επίσης η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση

προϊόντων, η παραγωγή με διαχωρισμό του CO₂, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βορικών αλάτων και βορικού οξέος.

Το λιώσιμο πάγου και αντιπαγετική προστασία πεζοδρομίων, δρόμων και πλατειών καθώς και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια, αποτελούν βιομηχανικές εφαρμογές γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας. Στην Ιαπωνία λειτουργεί μια μικρή βιομηχανία που χρησιμοποιεί τις λευκαντικές ιδιότητες του υδρόθειου (H₂S) των γεωθερμικών νερών για την παραγωγή πρωτοποριακών και εξαιρετικής ποιότητας υφασμάτων για γυναικεία ρούχα. Στην ίδια χώρα, εφαρμόζεται σε πειραματικό στάδιο μια τεχνική για τη βιοτεχνική-βιομηχανική παρασκευή ενός ελαφρού «γεωθερμικού ξύλου», το οποίο θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλο για ειδικές κατασκευές. Κατά την επεξεργασία του κανονικού ξύλου με το νερό μιας γεωθερμικής πηγής, τα πολυσακχαρίδιά του υφίστανται υδρόλυση, οπότε το υλικό γίνεται πιο πορώδες και συνεπώς ελαφρύτερο.

3.2.4 Αγροτικές Εφαρμογές

Στις αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας περιλαμβάνονται κυρίως οι ανοικτές καλλιέργειες και η θέρμανση θερμοκηπίων. Το θερμό νερό χρησιμοποιείται στις ανοικτές καλλιέργειες για την άρδυσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό είναι το γεγονός ότι, για να επιτευχθεί η επιθυμητή μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους πρέπει η θερμοκρασία του νερού να είναι τέτοια ώστε να μην προκαλούνται ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Μια ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση υπεδάφειων αρδευτικών συστημάτων σε συνδυασμό με υπόγεια συστήματα σωλήνωσης, τα οποία θα λειτουργούν ως μέσο θέρμανσης του εδάφους. Η θέρμανση με υπεδάφειους σωλήνες χωρίς την ύπαρξη του αρδευτικού συστήματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής αγωγιμότητάς του εδάφους, εξαιτίας της μείωσης της υγρασίας γύρω από τους σωλήνες, και κατ' επέκταση τη θερμική μόνωση. Επομένως ως βέλτιστη λύση θεωρείται ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης. Προς αποφυγή τυχόν βλαβερών συνεπειών στα φυτά είναι σημαντική η προσεκτική μελέτη της χημικής σύστασης των γεωθερμικών νερών που χρησιμοποιούνται για άρδευση. Ο θερμοκρασιακός έλεγχος στις ανοικτές καλλιέργειες έχει τα εξής πλεονεκτήματα: (α) αποτρέπει τις ζημιές λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, παγετού, κλπ., (β) επεκτείνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών και δίνει σημαντική ώθηση στην παραγωγή, και (γ) αποστειρώνει το έδαφος.

3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμίας

- **Ενέργεια σε ελάχιστο κόστος**

Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης και της σχεδόν ανύπαρκτης συντήρησης του εξοπλισμού, τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού μπορούν να εξοικονομήσουν από 55% μέχρι και 70% από την ετήσια δαπάνη σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και δροσισμού. Το μόνο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τον συμπιεστή και τις αντλίες, το οποίο είναι οικονομικότερο σε σχέση με τη χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 20-25%

- **Απόδοση**

Ένα γεωθερμικό σύστημα είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Επειδή δεν καίει ορυκτά καύσιμα για να παράγει θερμότητα, παρέχει τρεις έως πέντε μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το σύστημα

- **Ανεξαρτησία από πετρέλαιο θέρμανσης**

- **Ευελιξία, Άνεση και Αυτονομία**

Τα γεωθερμικά συστήματα παράγουν θέρμανση και δροσισμό σε μια εγκατάσταση, με αποτέλεσμα να καταργούν το συμβατό τρόπο θέρμανσης, τους πύργους δροσισμού και τα κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου. Παρουσιάζουν ευελιξία στην αυτονομία, σε μελλοντικές επεκτάσεις και σε διαθεσιμότητα χώρου. Έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και είναι αξιόπιστα σε ακραίες συνθήκες θέρμανσης και δροσισμού.

- **Ασφάλεια**

Με ένα σύστημα γεωθερμίας, δεν υπάρχει καύση και φλόγα, δεν υπάρχουν καπνοί, καπναγωγοί και οσμές. Δεν υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης, φωτιάς ή ασφυξίας από το μονοξείδιο.

- **Φιλικό προς το περιβάλλον**

Επειδή δεν χρησιμοποιούνται καύσιμα, δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη. Δεν απαιτείται χρήση λεβητοστασίων, δεξαμενής καυσίμων, καμινάδων.

- **Αθόρυβη λειτουργία**

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν για να είναι σχεδόν αθόρυβες. Θα λειτουργούν πιο αθόρυβα και από το ψυγείο.

- **Γρήγορη απόσβεση.**

- Ζεστό νερό χειμώνα και καλοκαίρι.
- Δροσιά χωρίς κόστος το καλοκαίρι.
- Δυνατότητα επιδότησης.
- Αξιοπιστία κατασκευών και χρήσης

Τα συστήματα γεωθερμίας χρησιμοποιούνται παραπάνω από 20 χρόνια σε κράτη όπως Η.Π.Α., η Ιαπωνία, η Γερμανία, η Ελβετία, η Αυστρία και η Σουηδία.

3.4 Οφέλη

Πέρα των τεχνικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, τα οφέλη που παρατηρούνται υπερτερούν, επειδή αγγίζουν τομείς όπως το περιβάλλον που βάλλεται ολοένα και περισσότερο, συνεισφέρουν στην εγχώρια οικονομία και συντελούν στην κοινωνική ανάπτυξη, αναβαθμίζοντας τις περιοχές όπου εφαρμόζεται. (23)

3.4.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την άμεση θέρμανση χώρων είναι συνήθως κλειστά, που σημαίνει ότι τα γεωθερμικά ρευστά μετά τη χρήση τους επανεισάγονται σε δεύτερη γεώτρηση και αποφεύγονται έτσι τυχόν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το σημαντικότερο όφελος στις εφαρμογές της αβαθούς γεωθερμίας είναι ότι δεν υπάρχει έκλυση CO₂ στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα.

Η ωφέλεια από την προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της μείωσης της ρύπανσης του, δεν κοστολογείται άμεσα, αλλά αναγνωρίζεται και επικροτείται από τις τοπικές κοινωνίες, διότι προσφέρει ποιότητα ζωής. (23)

3.4.2 Οικονομικά οφέλη

Πρόκειται για μια εγχώρια πηγή ενέργειας χαμηλού κόστους. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει ανεξαρτησία από τα δαπανηρά, εισαγόμενα καύσιμα όπως το πετρέλαιο. Είναι μικρό το κόστος εγκατάστασης και οι δαπάνες συντήρησης και επισκευών. Επιπλέον αναβαθμίζεται η ποιότητα της θέρμανσης, ενώ είναι φθηνότερη όπως και το ζεστό νερό. (23)

3.4.3 Κοινωνικά οφέλη

Η θέρμανση με γεωθερμία εισάγει νέες ενεργειακές τεχνολογίες, αναπτύσσοντας παράλληλα την επιχειρηματικότητα και την ανταγωνιστικότητα. Αυτό συμβαίνει λόγω

του ότι μειώνει το κόστος παραγωγής προϊόντων που χρειάζονται θερμότητα, καθώς και τα λειτουργικά κόστη των χώρων που θερμαίνονται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέες ευκαιρίες ανάπτυξης με τη χρήση της θερμότητας για θερμοκήπια, ξηραντήρια, βαφεία, χώρους άθλησης, κέντρα υγιεινής. Τέλος, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας, αναπτύσσοντας το τοπικό εργατοτεχνικό και επιστημονικό δυναμικό, το οποίο απασχολείται στην κατασκευή και τη λειτουργία του εκάστοτε έργου. (23)

3.4 Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει τα τελευταία 30 χρόνια για εντοπισμό και χαρακτηρισμό των γεωθερμικών πεδίων, η χώρα μας αποδεικνύεται ιδιαίτερα ευνοημένη. Ο ελλαδικός χώρος εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι σχετικά πολύ μικρά κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη από 150°C), τα οποία αξιοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Υπάρχουν ταμιευτήρες των οποίων οι θερμοκρασίες ξεπερνούν τους 100°C και θεωρούνται μέσης ενθαλπίας. Δυστυχώς, συγκρίνοντας με την χρήση άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας ή με την ανάπτυξη της γεωθερμίας σε άλλες χώρες, η ανάπτυξή της στην Ελλάδα δε θεωρείται ικανοποιητική, παρά τον αξιόλογο γεωθερμικό πλούτο.

Τα σπουδαιότερα γεωθερμικά πεδία έχουν εντοπιστεί στη Μήλο και τη Νίσυρο, όπου από βαθιές γεωτρήσεις έρευνας και παραγωγής έχει διαπιστωθεί ότι το πιθανό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MWe. Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1000m και στη Νίσυρο 250 °C σε βάθος 1500m. Άλλες περιοχές όπου εμφανίζονται πεδία υψηλής ή μέσης ενθαλπίας είναι η Κίμωλος, η Σαντορίνη, η Κως, η Λέσβος, η Σαμοθράκη κ.α.

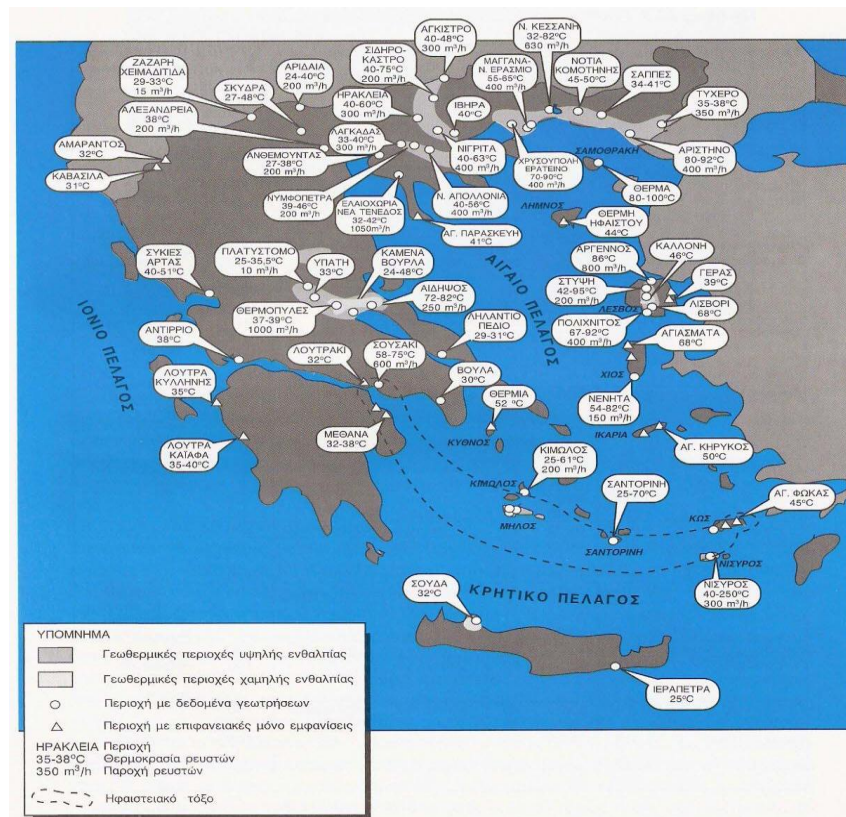
Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες σε διάφορες περιοχές της χώρας, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας, που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100 °C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια της γης θερμαίνει υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε αυξημένες θερμοκρασίες. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα, κυρίως στην

ανατολική, βόρεια και αιγαιακή χώρα. Η συμβολή τους στον ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ανανεώσιμο ενεργειακό πόρο, φιλικό προς το περιβάλλον και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.



Σχ. 3.8 Αντλίες θερμότητας στο Δημαρχείο Πυλαίας, Θεσσαλονίκη[3]

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία, π.χ. των πεδινών εκτάσεων της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, είναι δυνατόν να αντληθούν $2500\text{m}^3/\text{hr}$ θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μέχρι $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το εκμεταλλεύσιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι κατά μέσο όρο $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Έτσι, τα ρευστά αυτά ισοδυναμούν με θερμική ισχύ 100 MWt , που σημαίνει εξοικονόμηση 90.000 Τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ) το χρόνο. Η παραπάνω ενέργεια, μικρό μέρος μόνο της οποίας χρησιμοποιείται σήμερα, θα μπορούσε να συνδράμει στην ανάπτυξη του πρωτογενούς αγροτικού τομέα, κυρίως σε πρωτοπόρες και δυναμικές καλλιέργειες και διεργασίες. Επίσης θα συνέβαλε στην οικονομική ανάπτυξη μειονεκτικών γενικά περιοχών και στη δημιουργία πυρήνων οικονομικής δραστηριότητας και ευημερίας, στους ευαίσθητους εθνικά αυτούς χώρους. Τέτοιοι χώροι, όπως η Θράκη, η Σαμοθράκη αλλά και η Λήμνος, η Λέσβος, η Χίος έχουν αποδεδειγμένα μεγάλα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και ίσως μέσης ενθαλπίας, που περιμένουν την αξιοποίησή τους.



Σχ. 3.9 Χάρτης γεωθερμικών πεδίων Ελλάδας[3]

4. ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η γεωθερμική ενέργεια, όπως έχει αναφερθεί βρίσκει ένα σημαντικό αριθμό εφαρμογών στον αγροτικό τομέα. Δεδομένου του ότι η εφαρμογές αυτές δεν απαιτούν πάντα πεδία υψηλής ενθαλπίας και δεδομένου ότι η παρούσα διπλωματική αφορά μια συγκεκριμένη αγροτική εφαρμογή, στην συνέχεια γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των επικρατέστερων αγροτικών εφαρμογών.

4.1 Θέρμανση θερμοκηπίων

Η πιο διαδεδομένη γεωθερμική εφαρμογή στον αγροτικό τομέα είναι η *θέρμανση θερμοκηπίων*, η οποία παρουσίασε ιδιαίτερη ανάπτυξη σε πολλές χώρες. Με την χρήση της γεωθερμίας είναι σήμερα δυνατό να υπάρχουν εκτός εποχής καλλιέργειες κηπουρικών, οπωρικών και ανθοκομικών προϊόντων ή ακόμα και ανάπτυξη τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες. Η επίτευξη βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών, μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους, οι οποίοι βασίζονται στη χρήση της καλύτερης θερμοκρασίας για το κάθε είδος, στη σωστή ένταση του φωτός, στην ιδανική συγκέντρωση CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο, στην κατάλληλη υγρασία του εδάφους και του αέρα και στην κίνηση του αέρα μέσα στα θερμοκήπια. Ως υλικό κάλυψης των τοιχωμάτων των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται συνήθως γυαλί, fiberglass, πλάκες σκληρού πλαστικού ή πλαστικά φύλλα. Το γυαλί επειδή είναι διαφανέστερο υλικό σε σχέση με το πλαστικό, επιτρέπει τη διέλευση περισσότερου φωτός. Ωστόσο, το γυαλί προσφέρει μικρότερη θερμική μόνωση, είναι λιγότερο ανθεκτικό στην κρούση, είναι βαρύτερο και πολύ πιο ακριβό. Για τα απλούστερα θερμοκήπια, γίνεται χρήση μονών φύλλων πλαστικού, αν και τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται εξίσου διπλά στρώματα πλαστικών, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα κενό αέρος. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι θερμικές απώλειες από τα τοιχώματα σε ποσοστό μέχρι και 30-40%, με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του θερμοκηπίου. Ένας ακόμα τρόπος επίτευξης της θέρμανσης ενός θερμοκηπίου, είναι επίσης η εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα στους εναλλάκτες θερμότητας, στους σωλήνες ή τους αγωγούς θερμού νερού που βρίσκονται τοποθετημένοι μέσα ή πάνω στο έδαφος, στα θερμαντικά σώματα κατά μήκος των πλευρικών τοιχωμάτων και κάτω από τους πάγκους ή με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων. Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου μειώνει σημαντικά τα λειτουργικά του έξοδα, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις φτάνουν το 35% του κόστους παραγωγής (οπωρικά, άνθη, διακοσμητικά φυτά και δενδρύλλια). Η εκτροφή κτηνοτροφικών ειδών και οι υδρόβιοι οργανισμοί, όπως ακριβώς και τα φυτά,

επωφελούνται σημαντικά από τις άριστες συνθήκες της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου, τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την ποσότητα παραγωγής τους.



Σχ. 4.1. Γεωθερμική εγκατάσταση σε θερμοκήπιο[30]

4.2 Κτηνοτροφικές μονάδες

Σε πολλές περιπτώσεις τα γεωθερμικά νερά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ακόμη επικερδέστερα, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε *κτηνοτροφικές μονάδες* και γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για τη θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας επιφάνειας, οπότε η κλιμακωτή χρήση των γεωθερμικών ρευστών θεωρείται ενδεδειγμένη. Η εκτροφή ζώων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας συνεισφέρει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ η χρήση των θερμών ρευστών θα μπορούσε να επεκταθεί στον καθαρισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους.

Αγροτικές Εφαρμογές



Σχ. 4.2 Εκμετάλλευση γεωθερμικού πεδίου σε αγροτική φάρμα

4.3 Υδατοκαλλιέργειες

Οι υδατοκαλλιέργειες είναι στην ουσία εγκαταστάσεις στις οποίες γίνεται ελεγχόμενη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών. Οι υδατοκαλλιέργειες αποκτούν σήμερα ολοένα και μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της αυξημένης ζήτησης ψαριού στην αγορά. Εν συγκρίσει με τα είδη που αναπτύσσονται στην ξηρά (θηλαστικά και πτηνά), ο έλεγχος της θερμοκρασίας εκτροφής των υδρόβιων οργανισμών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξή τους. Διατηρώντας τη θερμοκρασία σταθερή σε βέλτιστα επίπεδα, επιτυγχάνεται η εκτροφή εξωτικών ειδών, η βελτίωση της παραγωγής ή ακόμη και ο διπλασιασμός του αναπαραγωγικού κύκλου σε ορισμένα είδη. Κατά παράδοση, σε τέτοιες μονάδες εκτρέφονται, κυπρίνοι, γατόψαρα, λαβράκια, κέφαλοι, χέλια, σολομοί, μουρούνες, γαρίδες, αστακοί, καραβίδες, κάβουρες, στρείδια, μύδια, χτένια κλπ. Στις υδατοκαλλιέργειες συμπεριλαμβάνεται επίσης η εκτροφή κροκοδείλων και αλιγατόρων, που αξιοποιούνται συνήθως ως τουριστικό αξιοθέατο, αλλά και για την εκμετάλλευση του δέρματός τους, η οποία μπορεί να αποφέρει σημαντικά κέρδη. Με βάση την εμπειρία από τις Η.Π.Α., φαίνεται ότι, διατηρώντας τη θερμοκρασία ανάπτυξης σταθερή στους 30 °C, ένας αλιγάτορας μπορεί να μεγαλώσει σε μήκος περίπου 2 μέτρα μέσα σε 3 χρόνια. Υπό κανονικές συνθήκες, στο ίδιο χρονικό

διάστημα το μήκος του δεν θα ξεπερνούσε τα 1,20 μέτρα. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τα υδρόβια είδη κυμαίνονται κατά βάση μεταξύ 20 °C και 30 °C. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων εξαρτάται από την αρχική θερμοκρασία των ρευστών, τη θερμοκρασία που απαιτείται στις δεξαμενές εκτροφής και από τις θερμικές απώλειες των τελευταίων.

4.4 Καλλιέργεια σπιρουλίνας (*Spirulina*)

Ως μια μορφή υδατοκαλλιέργειας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και η καλλιέργεια της σπιρουλίνας (*Spirulina*). Αυτό το μονοκυτταρικό, σπειροειδές και γαλάζιο-πράσινο φύκος, συχνά αποκαλείται «υπερ-τροφή», λόγω της υψηλής διατροφικής του αξίας. Επίσης, έχει προταθεί ως λύση στο πρόβλημα της ασιτίας στις φτωχότερες περιοχές του πλανήτη, όμως για την ώρα χαρακτηρίζεται στο εμπόριο απλά ως «συμπλήρωμα διατροφής». Η σπιρουλίνα καλλιεργείται σήμερα σε αρκετές τροπικές και υπο-τροπικές χώρες, σε λίμνες ή τεχνητές δεξαμενές, όπου επικρατούν ιδανικές συνθήκες για τη γρήγορη ανάπτυξή της (μέσα σε ένα ζεστό, αλκαλικό περιβάλλον, πλούσιο σε CO₂). Παρόλα αυτά, σε αρκετές χώρες των εύκρατων ζωνών η γεωθερμική ενέργεια έχει ήδη αξιοποιηθεί επιτυχώς σε τέτοιες υδατοκαλλιέργειες, για την ανάπτυξη της spirulina σε ετήσια βάση, παρέχοντας την απαραίτητη θερμότητα αλλά και το CO₂.



Σχ. 4.3 Μικροσκοπική άποψη Σπιρουλίνας[31]

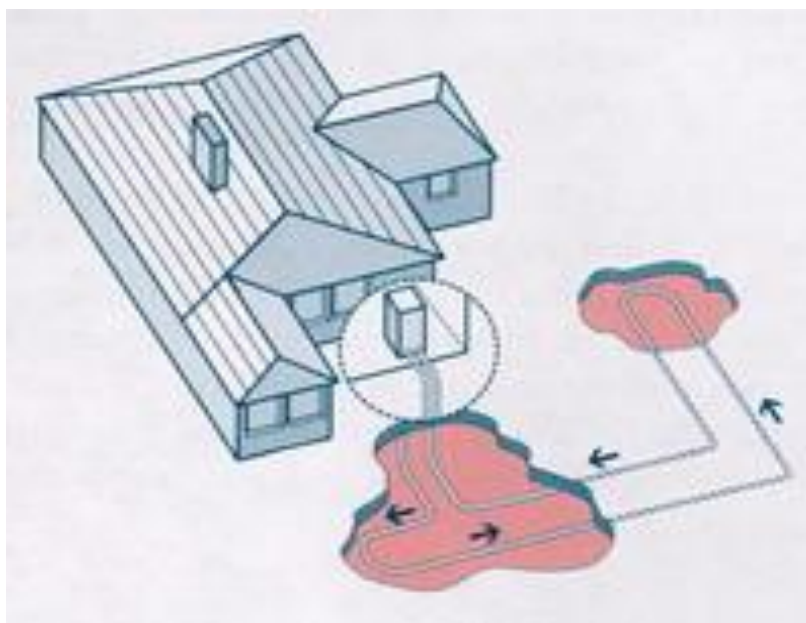
5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

5.1 Εναλλάκτες θερμότητας

Ως εναλλάκτες θερμότητας χαρακτηρίζονται οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Οι εναλλάκτες, διακρίνονται ανάλογα με τη διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας, σε άμεσης και έμμεσης επαφής. Στους εναλλάκτες άμεσης επαφής, δύο διαφορετικής φάσης ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και διαχωρίζονται πάλι. Στους έμμεσης επαφής, τα δύο ρευστά παραμένουν χωρισμένα και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω μιας διαχωριστικής επιφάνειας.

Στην περίπτωση που η επιφάνεια θερμοεναλλαγής έχει αρκετά μεγάλη θερμοχωρητικότητα ώστε να παίζει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο της μεταφοράς, οι έμμεσης επαφής εναλλάκτες ονομάζονται και «αναγεννητές» (regenerators).

Παρά το ότι οι εναλλάκτες θερμότητας δεν καταναλώνουν άμεσα καύσιμο, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη χρήση και η καλή λειτουργία τους, συμβάλουν άμεσα στην συνολική κατανάλωση του καυσίμου μιας βιομηχανίας.



Σχ. 5.1 Οριζόντιος εναλλάκτης

Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν τις βασικότερες συνιστώσες των συστημάτων ανάκτησης θερμότητας.

Ανάλογα με το μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

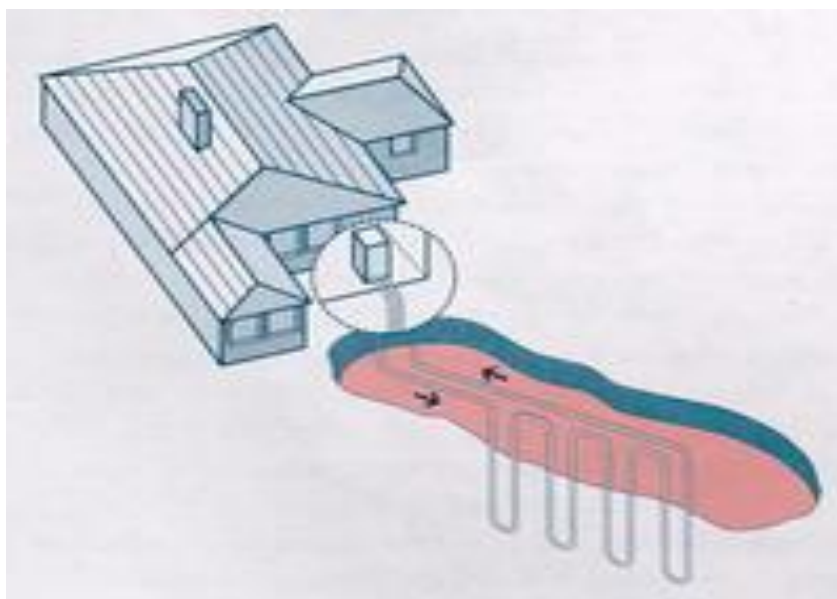
1. συναγωγής μιας φάσης και από τις δύο πλευρές
2. συναγωγής μιας φάσης από τη μια πλευρά και συναγωγής δύο φάσεων από την άλλη
3. συναγωγής δύο φάσεων και από τις δύο πλευρές και
4. συνδυασμένης συναγωγής και μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία

Ανάλογα με την κατασκευή τους οι εναλλάκτες διακρίνονται σε:

1. Ομοκεντρικούς κυκλικής διατομής
2. Εναλλάκτες κελύφους
3. Πλακοειδείς
4. Προεκτεταμένης επιφάνειας με πτερύγια. Τα πτερύγια αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής από την πλευρά του αέρα και, επομένως, το συντελεστή συναγωγής.
5. Εναλλάκτες αναγέννησης (αναγεννητές).

Τέλος, ανάλογα με το είδος της ροής μέσα στους εναλλάκτες, αυτοί διακρίνονται σε:

1. Ομορροής
2. Αντιρροής
3. Σταυρορροής
4. Σύνθετους - πηγή



Σχ. 5.2 Κάθετος εναλλάκτης

Διαχωρισμός των εναλλακτών γίνεται και σε σχέση με την πυκνότητα των κατασκευαστικών στοιχείων, σε συμπαγείς και μη συμπαγείς. Οι συμπαγείς εναλλάκτες παρουσιάζουν υψηλές τιμές του λόγου της επιφάνειας θερμοεναλλαγής προς τον όγκο τους και, εξ ορισμού, ο λόγος αυτός (πυκνότητα επιφάνειας) λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Μια ειδική περίπτωση εναλλάκτη αποτελεί και ο θερμικός τροχός (heat wheel), ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανάκτηση θερμότητας στη βιομηχανία και τη θέρμανση χώρων. Ο θερμικός τροχός ή περιστροφικός εναλλάκτης, χρησιμοποιείται όταν τα θερμικά ρευστά είναι αέρια. Αποτελείται από ένα δίσκο, περατό στη ροή των αερίων, που κατασκευάζεται από υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας. Ο δίσκος περιστρέφεται μεταξύ δύο γειτονικών αγωγών, από τους οποίους διέρχονται δύο ρεύματα αερίων διαφορετικής θερμοκρασίας. Ο άξονας περιστροφής του δίσκου είναι παράλληλος με τη ροή των ρευστών και βρίσκεται στην επιφάνεια επαφής των δύο αγωγών. –πηγη

Ορισμένα ρευστά που χρησιμοποιούνται στους εναλλάκτες περιέχουν αιρούμενες ή διαλυμένες ουσίες, οι οποίες μετά από κάποιο χρονικό διάστημα δημιουργούν επικαθίσεις στις επιφάνειες των εναλλακτών. Συνέπεια των επικαθίσεων αυτών είναι συνήθως η διάβρωση των εναλλακτών. Επίσης, οι επικαθίσεις αυτές έχουν συνήθως πολύ μικρό συντελεστή αγωγιμότητας με αποτέλεσμα, να προκαλείται μια πρόσθετη αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας κατά συνέπεια να μειώνεται η συνολική απόδοση του εναλλάκτη.

Η διαδικασία της εναπόθεσης των διαφόρων υλικών στις επιφάνειες θερμοεναλλαγής ονομάζεται ρύπανση αυτών, ενώ η αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας που προκαλείται από τις επικαθίσεις ονομάζεται αντίσταση ρύπανσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι συνηθέστερες επικαθίσεις και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς τους.

Υλικό	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m°C)
Βιολογικό φιλμ	0,7
Συστατικά γάλακτος	0,5-0,7
Ανθρακικό ασβέστιο	2,9
Θειϊκό ασβέστιο	2,3
Φωσφορικό ασβέστιο	2,6
Φωσφορικό μαγνήσιο	2,3
Μαγνητίτης	2,9
Αιμαμίτης	0,6
Ασβεστίτης	0,9
Γύψος	1,3

Πίνακας 5.1 : Επικαθίσεις και Συντελεστής αγωγιμότητας

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν ή ακόμα και να αποφευχθούν εντελώς οι επικαθίσεις στους εναλλάκτες θερμότητας, είναι σημαντικό να γίνετε σωστός σχεδιασμός τους.

Ο σωστός σχεδιασμός ενός εναλλάκτη θερμότητας θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- την επιλογή του κατάλληλου τύπου εναλλάκτη θερμότητας
- την αναζήτηση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας, όπως για παράδειγμα τη βέλτιστη ταχύτητα ροής των ρευστών και
- την όσο το δυνατόν καλύτερη κατασκευή του εναλλάκτη.

Για την απομάκρυνση της ρύπανσης χρησιμοποιούνται τόσο μηχανικά μέσα, όπως πεπιεσμένος αέρας ή ατμός, βούρτσισμα και ξύσιμο, όσο και χημικά μέσα, όπως πλύσιμο των επιφανειών του εναλλάκτη με κατάλληλα χημικά που προσβάλλουν το υλικό επικαθίσεων. Η χρήση χημικών ουσιών γίνεται και για προληπτικούς λόγους, έτσι ώστε να μειωθεί το φαινόμενο των επικαθίσεων από διαλυμένες ουσίες. Ωστόσο, η επιλογή των κατάλληλων υλικών για την κατασκευή των εναλλακτών αποτελεί τον σημαντικότερο

παράγοντα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης της ροής των ρευστών με το υλικό των επιφανειών.

5.2 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ)

Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές οι οποίες μεταφέρουν τη θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία, όταν χρησιμοποιούνται για ψύξη, και από ένα μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα με χαμηλότερη, όταν χρησιμοποιούνται για θέρμανση. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μία πηγή όπως το υπόγειο ή το επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας κτλ, και τη μεταφορά της σε ένα άλλο μέσο, όπως είναι το νερό ή ο αέρας, το οποίο και χρησιμοποιείται για ψύξη ή θέρμανση, ανάλογα με το κλίμα. Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστή, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια την πηγή ενέργειας.



Σχ. 5.3 Αντλία τύπου νερού-νερού[3]

Το έδαφος κατά την διάρκεια του χρόνου διατηρεί την θερμοκρασία του σταθερή. Έτσι, κατά την διάρκεια του χειμώνα έχει υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με αυτήν του περιβάλλοντος, ενώ το καλοκαίρι, η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλότερη. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και τη θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση.

Αναλυτικότερα, κατά τη θέρμανση, το ρευστό που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις επιστρέφει στην επιφάνεια ζεστό και διέρχεται από τη μονάδα ανταλλαγής θερμότητας

(εναλλάκτη θερμότητας). Εντός του εναλλάκτη, το εσωτερικό ρευστό εκτονώνεται (expansion) και μετατρέπεται σε αέριο, χρησιμοποιώντας τη θερμότητα του εξωτερικού ρευστού. Στη συνέχεια, το αέριο πλέον ρευστό οδηγείται στον συμπιεστή (compression) όπου συμπιέζεται, υγροποιείται και προσφέρει τη θερμότητα του στο σύστημα θέρμανσης της εγκατάστασης. Στη συνέχεια το εξωτερικό ρευστό που είχε προσφέρει εξ αρχής τη θερμότητα επιστρέφει στις σωληνώσεις, επαναθερμαίνεται και έχουμε επανάληψη της διαδικασίας. Όταν γίνεται χρήση της αντλίας για ψύξη, ακολουθείται η αντίθετη διαδικασία.



Σχ. 5.4 Αντλία τύπου νερού-αέρα[3]

Μεγάλης σημασίας είναι το γεγονός ότι από το περιβάλλον λαμβάνουμε τα $\frac{3}{4}$ της απαιτούμενης ενέργειας (Geothermal Heat $\frac{3}{4}$), ενώ μέσω ηλεκτρισμού προσφέρουμε μόλις το $\frac{1}{4}$ (Electrical Power $\frac{1}{4}$).

Η σωστή λειτουργία της αντλίας θερμότητας, σε σχέση με την θερμική ικανότητα της συσκευής, εκφράζεται με το συντελεστή απόδοσης ή επιτευξιμότητας COP (coefficient of performance), ο οποίος ορίζεται ως εξής :

$$COP = \frac{Q_H}{Q_e}$$

Όπου Q_H : η ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα

Q_e : ηλεκτρική ισχύς

Ο συντελεστής COP λαμβάνει συνήθως τιμές από 1,5 μέχρι και περισσότερο από 6 και, όπως φαίνεται και από την παραπάνω σχέση, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του COP, τόσο περισσότερο οικονομική γίνεται η χρήση της αντλίας.

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος αντλιών θερμότητας, για την εκάστοτε εγκατάσταση, πρέπει να γίνετε προσεκτικά και αφορά τόσο τον μηχανικό, όσο και τον ιδιοκτήτη. Το κάθε σύστημα έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και διαφορετικές

επιπτώσεις στην αρχιτεκτονική, στην ικανότητα ελέγχου του κλιματισμού και στην απόδοση του συστήματος. Πριν την εγκατάσταση ενός συστήματος, προηγείται ειδική μελέτη από τους μηχανικούς, με σκοπό τη σύγκριση των συστημάτων, έτσι ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη, βάσει των αναγκών, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε εναλλακτικής. Στη μελέτη αυτή συγκρίνονται η απόδοση, οι αρχιτεκτονικές επιπτώσεις, οι κύριες δαπάνες, οι λειτουργικές δαπάνες και η συντήρηση, προκειμένου να αναδειχθεί η βέλτιστη επιλογή.

5.2.1 Πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμικών αντλιών

Οι γεωθερμικές αντλίες χρησιμοποιούν 25%-50% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης. Συγκεκριμένα, παρέχοντας μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ΓΑΘ προκύπτουν τρεις μονάδες θερμότητας από τη γη. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, και τις αντίστοιχες εκπομπές, μέχρι και 44% σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια και μέχρι και 72% σε σχέση με τη θέρμανση με ηλεκτρικές αντιστάσεις, καθώς και με τον τυποποιημένο εξοπλισμό κλιματισμού. Βελτιώνουν επίσης τον έλεγχο υγρασίας με τη διατήρηση της σχετικής εσωτερικής υγρασίας περίπου 50%, γεγονός που τις καθιστά πολύ αποτελεσματικές στις υγρές περιοχές.

Οι ΓΑΘ χαρακτηρίζονται από ευελιξία κατά το σχεδιασμό τους και μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε νέες κατασκευές, όσο και σε ήδη υπάρχουσες, αντικαθιστώντας τα παλιά συστήματα θέρμανσης – ψύξης. Επιπλέον, ο εξοπλισμός απαιτεί μικρότερο χώρο από αυτόν που απαιτείται από τα συμβατικά συστήματα, με αποτέλεσμα να ελευθερωθεί χώρος για παραγωγική χρήση. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης παρέχουν τη δυνατότητα διαχωρισμού ζωνών, επιτρέποντας έτσι διαφορετικές θερμοκρασίες θέρμανσης ή ψύξης.

Οι ΓΑΘ αποτελούνται από λίγα κινούμενα μέρη, τα οποία προφυλάσσονται εντός του κτηρίου και είναι ανθεκτικά και ιδιαίτερα αξιόπιστα. Οι υπόγειες σωληνώσεις έχουν εγγύηση 25-50 ετών και οι αντλίες θερμότητας συνήθως διαρκούν 20 έτη ή περισσότερο. Δεν υπάρχει περίπτωση καταστροφής λόγω βανδαλισμού, δεδομένου ότι δεν έχουν συνήθως κανέναν υπαίθριο συμπίεστή. Αφ' ετέρου, η συντήρησή τους δεν προβληματίζει, καθώς οι εγκαταστάσεις είναι εύκολα προσβάσιμες και έτσι γίνεται εύκολα και έγκαιρα. Τέλος, εξαλείφεται ο εξωτερικός θόρυβος, αφού δεν υπάρχουν εξωτερικές μονάδες, όπως στην περίπτωση των κλιματιστικών και το σύστημα είναι τόσο αθόρυβο, που οι ένοικοι δεν αντιλαμβάνονται την λειτουργία του.

6. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Η λεκάνη της Θεσσαλονίκης καταλαμβάνει γεωγραφικά την χερσαία περιοχή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης - Κατερίνης, δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και εκτείνεται προς βορρά ως την F.Y.R.O.M. , προς νότο επικοινωνεί με τον Θερμαϊκό κόλπο, δυτικά περιορίζεται από τα Πιέρια Όρη και το Βέρμιο και ανατολικά από τον Χορτιάτη. Πρόκειται για έναν τεράστιο ιζηματογενή χώρο έκτασης 4200 km² στην ξηρά και 4000 km² σε θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ποταμοί Αξιός, Αλιάκμονας, Λουδίας και Γαλλικός ρέουν μέσα σε αυτή τη λεκάνη.

Η ιδιαίτερη γεωτεκτονική κατάσταση (ρηξιγενής τεκτονική) που διαμορφώθηκε στον Βορειοελλαδικό χώρο μετά τις αλπικές ορογενετικές κινήσεις, η παρουσία υπόθερμων νερών και η έντονη παρουσία Πλειοκαινικών λαβών δημιουργούν προϋποθέσεις ύπαρξης γεωθερμικού ενδιαφέροντος και τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την εγκαθίδρυση υδροθερμικών συστημάτων κυρίως χαμηλής ενθαλπίας.

Στην κεντρική Μακεδονία οι μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες, αποτέλεσμα κυρίως εφελκυστικής τεκτονικής, συνοδεύτηκαν από την αύξηση της ροής θερμότητας και επέτρεψαν τη συγκέντρωση θερμικής ενέργειας σε βαθείς γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν υψηλό πορώδες και φιλοξενούν γεωθερμικά ρευστά που μπορούν να αξιοποιηθούν για το υψηλό θερμοενεργειακό τους φορτίο.

Στη λεκάνη Θεσσαλονίκης έχουν ανορυχθεί αρκετές βαθιές γεωτρήσεις έρευνας υδρογονανθράκων από ξένες εταιρείες, ελληνικό δημόσιο και Δ.Ε.Π. όπως για παράδειγμα: Αλεξάνδρεια 1, Λουδίας, Κλειδί κ.τ.λ. Οι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην απόφαση της κατασκευής βαθιάς γεωθερμικής γεώτρησης έρευνας – παραγωγής B-BΔ της Αλεξάνδρειας είναι οι εξής:

- a) Η μεγαλύτερη θερμική ανωμαλία στην περιοχή της λεκάνης διαπιστώθηκε στην περιοχή Αλεξάνδρειας Ημαθίας.
- b) Σε όλη την ευρύτερη περιοχή οι θερμοκρασίες των νερών στις υδρογεωτρήσεις έχουν τιμές μεγαλύτερες των 17°C. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι κατάλληλες για την αξιοποίηση του θερμικού φορτίου μέσω αντλιών θερμότητας τόσο στον οικιακό όσο και στον αγροτικό τομέα.
- c) Η αναμενόμενη παρουσία Μειοκαινικών σχηματισμών είναι σημαντικού πάχους (~300m) και έχουν καλά υδραυλικά χαρακτηριστικά (πορώδες, περατότητα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Τα αποτελέσματα από το γεωτρητικό πρόγραμμα του Ι.Γ.Μ.Ε. με την ανόρυξη της συγκεκριμένης γεώτρησης, που χαρακτηρίζεται ως ΓΝ-1Π αναλύονται στην ακόλουθη παράγραφο.

6.1 Γεωθερμική παραγωγική γεώτρηση ΓΝ-1Π

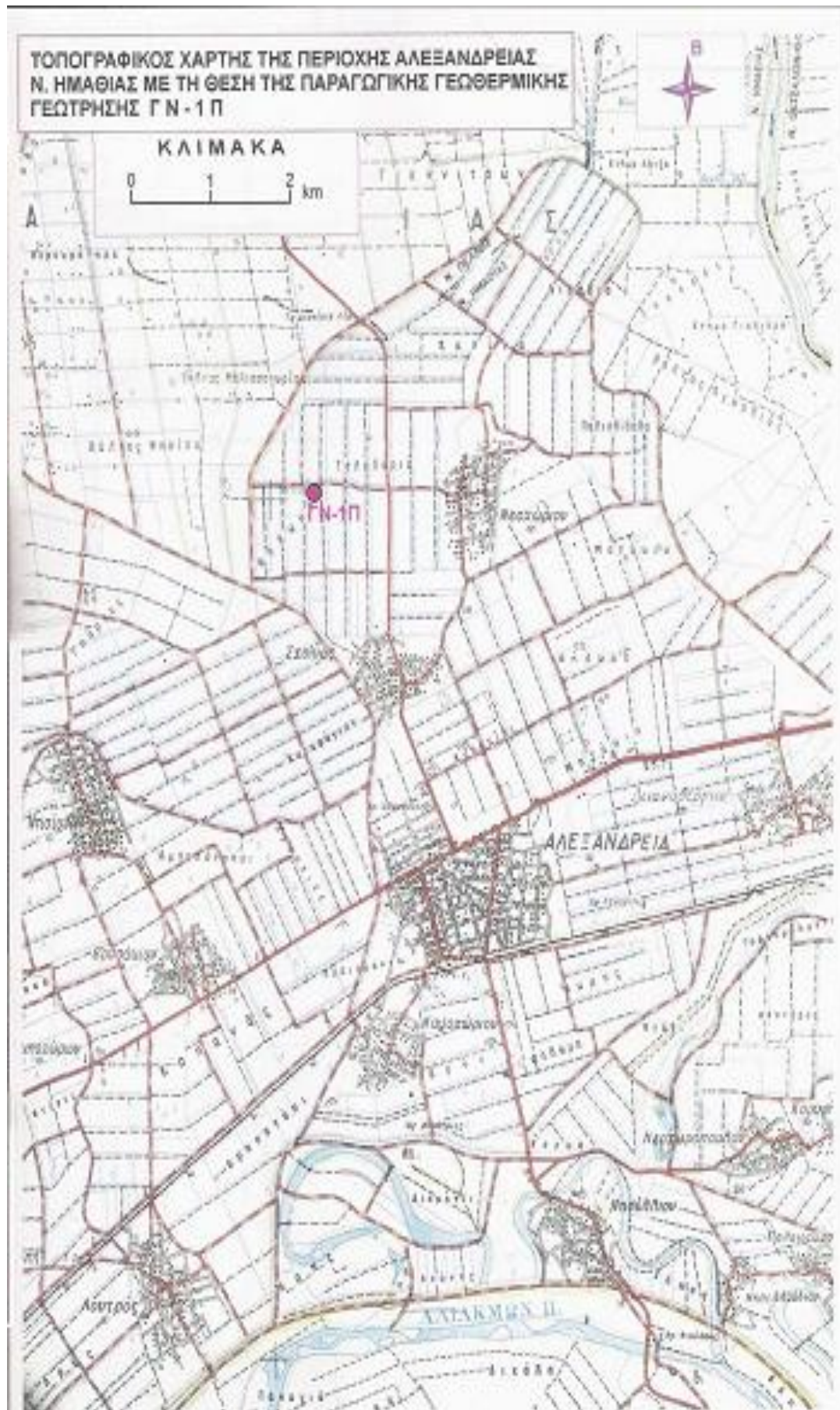
6.1.1 Γεωγραφική θέση και κατασκευή της ΓΝ-1Π

Η παραγωγική γεωθερμική γεώτρηση ΓΝ-1Π ανορύχθηκε Β-ΒΔ της Αλεξάνδρειας Ημαθίας, σε απόσταση ~4km ΒΒΔ της πόλης της Αλεξάνδρειας, 1,8 km ΒΒΔ του χωριού Σχοινάς και 1,6 km Δ του χωριού Νεοχώριο. Η θέση της γεώτρησης πάνω σε τοπογραφικό χάρτη παρουσιάζεται στην εικόνα 6.2. Η γεώτρηση ΓΝ-1Π έφθασε μέχρι βάθος 805m.

Μετά το πέρας της κατασκευής της γεώτρησης έλαβαν χώρα δοκιμαστικές αντλήσεις που έγιναν σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο περιελάμβανε την άντληση κατά βαθμίδες, ενώ το δεύτερο την άντληση με σταθερή παροχή. Η μέτρηση της παροχής των υδροφόρων στρωμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του φωρατή ροόμετρου. Οι δοκιμές άντλησης έγιναν για τη διαρκή και ακριβή παρακολούθηση της στάθμης στην αντλούμενη γεώτρηση και έχουν ως σκοπό τον καθορισμό των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων στρωμάτων της γεώτρησης, της μέγιστης παροχής, της κρίσιμης παροχής και της εκμεταλλεύσιμης παροχής.



Σχ. 6.1 Γεώτρηση ΓΝ-1Π[4]



Σχ. 6.2 Γεωγραφική απεικόνιση της γεώτρησης[4]

6.1.2 Δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες

Η δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες έγινε σε τρία στάδια με μεταβαλλόμενη παροχή άντλησης κατά στάδιο και διήρκεσε έξι ώρες. Το πρώτο στάδιο έγινε με παροχή $Q_1 = 80 \text{ m}^3/\text{h}$, το δεύτερο στάδιο έγινε με παροχή $Q_2 = 110 \text{ m}^3/\text{h}$ και το τρίτο στάδιο έγινε με παροχή $Q_3 = 144,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Κάθε στάδιο διήρκεσε δυο ώρες. Στον πίνακα 6.1. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης κατά βαθμίδες.

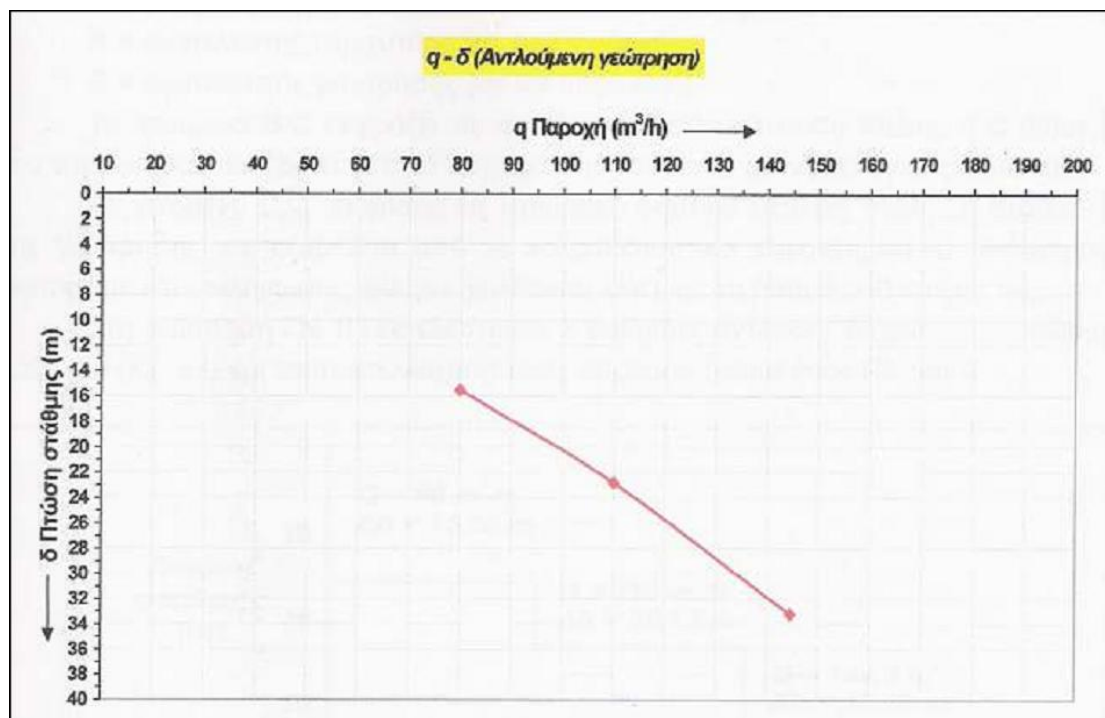
1 ^η Βαθμίδα	Χρόνος Μετρήσεων	Διάρκεια Αντλ. της	Συνολική Διάρκεια Αντλ. της	Πτώση Στάθμης (m)	Παροχή Αντλ. της (m)	Θερμότητα (°C)
1 ^η Βαθμίδα	11:30	0'	0'	0	80	
	11:35	5'	5'	12,10		35
	12:00	30'	30'	14,00		
	12:30	1h	1h	15,20		35
	13:00	1h 30'	1h 30'	15,48		
	13:30	2h	2h	15,55		35
2 ^η Βαθμίδα	13:35	5'	2h 5'	20,42	110	35
	14:00	30'	2h 30'	21,64		35
	14:30	1h	3h	22,15		35
	15:00	1h 30'	3h 30'	22,50		35
	15:30	2h	4h	22,83		35
3 ^η Βαθμίδα	15:35	5'	4h 5'	30,80	144,5	35
	16:00	30'	4h 30'	31,90		35
	16:30	1h	5h	32,34		35
	17:00	1h 30'	5h 30'	32,87		35,5
	17:30	2h	6h	33,20		35,5

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα δοκιμαστικής άντλησης[4]

Στο σχήμα 6.3. παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη της παροχής (Q) με την πτώση στάθμης (δ). Διαπιστώνεται ότι δεν παρατηρείται μια εμφανής δυσανάλογη πτώση στάθμης σε σχέση με την παροχή, ενώ από τη συνολική μορφή της καμπύλης μπορεί να θεωρηθεί ότι η κρίσιμη παροχή είναι $Q_c > 145 \text{ m}^3/\text{h}$.

Ως κρίσιμη παροχή ορίζεται η τιμή της παροχής πέραν της οποίας παρατηρείται δυσανάλογα μεγάλη πτώση στάθμης και επομένως για να αντληθεί μια ποσότητα νερού απαιτείται μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας από ότι αν η ίδια ποσότητα νερού αντληθεί με χαμηλότερες παροχές. Πρέπει να επισημανθεί ότι η κρίσιμη

παροχή δεν έχει καμία σχέση με τη μέγιστη παροχή μιας γεώτρησης αλλά αποτελεί απλά μια ένδειξη που καταδεικνύει μέχρι ποια παροχή είναι οικονομικά συμφέρουσα η εκμετάλλευση της γεώτρησης.



Σχ. 6.3 Καμπύλη Παροχής – Πτώση Στάθμης[4]

Αναφορικά με τη θερμοκρασία του νερού κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης κατά βαθμίδες διαπιστώνεται μια θερμοκρασιακή σταθερότητα ίση με 35°C σε όλη τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου σταδίου και στην πρώτη ώρα του τρίτου σταδίου και μια μικρή άνοδος (35,5 °C) στη δεύτερη και τελευταία ώρα του τρίτου σταδίου.

Μετά το πέρας της δοκιμαστικής άντλησης και για χρονικό διάστημα 35 λεπτών πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επαναφοράς στάθμης. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 6.2. Διαπιστώνεται η ταχεία επαναφορά της στάθμης μετά το τέλος της άντλησης αφού μετρήθηκαν 32,3m σε χρονικό διάστημα μόλις 35 λεπτών και η στάθμη της αντλούμενης γεώτρησης έφθασε σε βάθος μόλις 0,9 m από την επιφάνεια. Αυτή η γρήγορη επαναφορά της στάθμης είναι ενδεικτική του μεγάλου δυναμικού της γεώτρησης.

Χρόνος Μετρήσεων	Διάρκεια Επαναφοράς	Στάθμη από την Επιφάνεια (m)	Επαναφορά Στάθμης (m)
17:30:00	0	33,2	33,20
17:30:30	30''	15,0	18,20
17:31:00	1 min	10,0	23,20
17:38:00	8 min	5,0	28,20
17:41:00	11 min	3,9	29,30
17:43:00	13 min	3,5	29,70
17:45:00	15 min	3,1	30,13
17:55:00	25 min	1,5	31,70
18:05:00	35 min	0,9	32,30

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα επαναφοράς στάθμης[4]

6.1.3 Δοκιμαστική άντληση με σταθερή παροχή

Η κύρια δοκιμαστική άντληση διήρκεσε 72 ώρες, πραγματοποιήθηκε με σταθερή παροχή $Q=130\text{m}^3/\text{h}$ και ταυτόχρονη παρατήρηση της πτώσης στάθμης στην αντλούμενη γεώτρηση. Συγχρόνως γινόταν και μετρήσεις της θερμοκρασίας του αντλούμενου νερού και δειγματοληψίες νερού σε συγκεκριμένες και επιλεγμένες χρονικές στιγμές. Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης παρατίθενται στον πίνακα 6.3.

Χρόνος Μετρήσεων	Διάρκεια Αντλήσεως	Πτώση Στάθμης (m)	Παροχή Αντλήσεως (m ³ /h)	Θερμοκρασία (°C)
08:00	0	0	130	
08:05	5 min	20,30		
08:10	10 min	21,40		35
08:15	15 min	23,03		35
08:20	20 min	24,35		
08:30	30 min	25,55		
08:45	45 min	26,75		35
09:00	1h	27,09		
09:15	1h 15 min	27,68		
09:30	1h 30 min	27,95		
10:00	2h	28,32		
10:30	2h 30 min	28,60		
11:00	3h	28,97		
11:30	3h 30 min	29,46		35
12:00	4h	29,70		
12:30	4h 30 min	30,03		
13:00	5h	30,30		
13:30	5h 30 min	30,50		35,5
14:00	6h	30,90		
14:30	6h 30 min	31,22		
15:00	7h	31,60		35,5
15:30	7h 30min	31,95		
16:00	8h	32,18		
16:30	8h 30min	32,44		
17:00	9h	32,67		35,5
18:00	10h	32,99		
19:00	11h	33,30		
20:00	12h	33,68		35,5
21:00	13h	33,95		
22:00	14h	34,35		
23:00	15h	34,54		
00:00	16h	34,85		35,5

Χρόνος Μετρήσεων	Διάρκεια Αντλησης	Πτώση Στάθμης (m)	Παροχή Αντλησης (m ³ /h)	Θερμοκρασία (°C)
01:00	17h	35,16	130	
02:00	18h	35,35		
04:00	20h	35,78		35,2
06:00	22h	36,15		
08:00	24h	36,54		35,5
10:00	26h	36,85		
12:00	28h	37,03		35,5
16:00	32h	37,47		35,5
20:00	36h	38,18		
00:00	40h	38,91		
04:00	44h	39,29		35,5
08:00	48h	39,78		
12:00	52h	40,30		
16:00	56h	40,50		35,5
20:00	60h	40,65		
02:00	66h	40,90		35,5
08:00	72h	41,05		35,5

Πίνακας 6.3 Δοκιμαστική άντληση 1[4]

Αναφορικά με τη θερμοκρασία του αντλούμενου νερού διαπιστώνεται αρχικά θερμοκρασία 35°C και στη συνέχεια (μετά τα πρώτα 45λεπτά) μια σχετική θερμοκρασιακή σταθερότητα σε όλη σχεδόν τη διάρκεια της 72ώρης άντλησης με θερμοκρασία νερού $T = 35,5^{\circ}\text{C}$. Μοναδικές εξαιρέσεις αποτελούν οι θερμομετρήσεις σε χρόνους 3h και 30min και 20h από την έναρξη της άντλησης με αντίστοιχες θερμοκρασίες 35 και 35,2°C. Η παρατηρηθείσα μικρή διαφοροποίηση στις δυο αυτές χρονικές στιγμές όμως δεν μπορεί να αλλάξει τη γενικότερη εικόνα της θερμοκρασιακής σταθερότητας που παρουσιάζει η γεώτρηση κατά την άντληση.

6.2 Χημική σύσταση του νερού της γεώτρησης ΓΝ-1Π

Προκειμένου να εξεταστεί η χημική σύσταση του νερού αλλά και για να διαπιστωθούν τυχόν μεταβολές της χημικής σύστασης του νερού κατά την άντληση και λειτουργία της γεώτρησης πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε διάφορα στάδια και σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές της αντλητικής διαδικασίας. Έτσι ελήφθησαν συνολικά

έξι δείγματα νερού και αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων τους παρουσιάζονται στον πίνακα 6.4.

Σε γενικές γραμμές διαπιστώνεται ο σχεδόν αμετάβλητος χημικός χαρακτήρας του αντλούμενου γεωθερμικού νερού. Προκύπτει ότι το νερό ανήκει στην κατηγορία των Na-Cl νερών. Το κατιονικό φορτίο του νερού εκφράζεται κυρίως από το Na^+ (σε ποσοστό 80,2 - 81,4%) ενώ το ανιονικό από τα ιόντα Cl^- (91,7 - 92,4%).

Το σύνολο διαλυμένων αλάτων (Σ.Δ.Α.) ανέρχεται στα 2,18 g/l ενώ το pH είναι 7,99 δηλαδή ελαφρώς αλκαλικό. Για τις επιμέρους συγκεντρώσεις παρατηρείται αυξημένη παρουσία του B, χαμηλή συγκέντρωση των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- και ακόμα χαμηλότερη του K^+ και των SO_4^{2-} . Χαρακτηριστική είναι η μηδενική παρουσία του Li και η πολύ χαμηλή περιεκτικότητα του νερού σε SiO_2 , δηλαδή τιμή μέσα στα φυσιολογικά πλαίσια για κανονικά υπόγεια νερά.

Για την καλύτερη αξιολόγηση του νερού της γεώτρησης χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων νερών που προέρχονται από μικρότερου βάθους υδρογεωτρήσεις στην περιοχή της ΓΝ-1Π. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των νερών NIS, NIS-1 μέχρι και NIS-20 της περιοχής Νησίου, από τις υδρογεωτρήσεις NEO-1 και NEO-2 της περιοχής Νεοχωρίου καθώς και τις βαθύτερες γεωτρήσεις Γ-3 και Γ-4 του Ι.Γ.Μ.Ε.

Γενικά διαπιστώνεται η σαφής διαφοροποίηση του δείγματος γεωθερμικού νερού της ΓΝ-1Π, το οποίο ανήκει στην κατηγορία των Na-Cl νερών από τα υπόλοιπα νερά της περιοχής. Η συντριπτική πλειοψηφία των νερών της περιοχής, που προέρχονται από ρηχούς υδροφορείς και τα οποία τροφοδοτούν τις υπάρχουσες κοινές υδρογεωτρήσεις είναι του γενικότερου τύπου $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Na})\text{-HCO}_3$.

Το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων (Σ.Δ.Α ή T.D.S) του γεωθερμικού νερού είναι 2,178 mg/l ενώ στα νερά της περιοχής που προέρχονται από ρηχές υδρογεωτρήσεις το Σ.Δ.Α κυμαίνεται μεταξύ 244,3 και 683,3 mg/l. Όλα τα νερά (γεωθερμικά και μη) χαρακτηρίζονται από ουδέτερα έως ελαφρώς αλκαλικά αφού το pH κυμαίνεται μεταξύ 7,38 και 8,33. Η περιεκτικότητα σε SiO_2 του νερού της γεώτρησης είναι χαμηλή (19,9 mg/l) και αυτή η τιμή είναι πολύ χαμηλότερη τόσο από τα ψυχρά, επιφανειακότερα νερά της περιοχής (28,7C76.5 mg/l) όσο και από το δείγμα της ερευνητικής γεώτρησης Γ-3 (37,9 mg/l). Αντίθετα αυξημένη είναι η παρουσία του βορίου (4,8 mg/l), ενδεικτική της γεωθερμικής του προέλευσης. Στον πίνακα 6.5. παρατίθενται οι λόγοι Mg/Ca , Na/K , Na/Cl , Cl/SO_4 και $\text{Cl}/\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ για τα νερά της γεώτρησης ΓΝ-1Π και των γειτονικών υδρογεωτρήσεων της περιοχής.

ΠΕΙΡΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΔΕΙΓΜΑ 3	ΔΕΙΓΜΑ 4	ΔΕΙΓΜΑ 5	ΔΕΙΓΜΑ 6	ΔΕΙΓΜΑ 7	ΔΕΙΓΜΑ 8
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ						
υψόμετρο (m)	35,5	35,0	35,5	35,5	35,5	35,5
θερμοκρασία στο εργαστήριο (°C)	17,2	17,4	17,4	17,3	17,3	17,2
απώλεια (μδ/στμ) (κρυ.)	3.817,0	3.745,0	3.875,0	3.857,0	3.889,0	3.888,0
απώλεια (μδ/στμ) (κρυ.)	7,95	7,95	7,95	7,95	7,99	7,99
Α.Α. (ή T.O.S.) (mg/L)	2.175,35	2.169,22	2.156,80	2.174,93	2.177,95	2.179,00
αλκαλικότητα (P)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
αλικυδρότητα (°H)	37,27	34,37	35,61	35,99	36,63	36,66
αλικυδρότητα (°H)	15,50	15,00	14,30	14,30	15,30	14,50
αλικυδρότητα (°H)	21,77	19,37	21,31	21,69	21,33	22,16
αλικυδρότητα M	3,10	3,00	2,86	2,86	3,09	2,99
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ						
ΚΑΤΙΟΝΤΑ						
Na ⁺	mg/l	710,000	710,000	710,000	710,000	710,000
	meq/l	30,885	30,885	30,885	30,885	30,885
	%meq/l	85,266	81,435	80,910	80,746	80,396
K ⁺	mg/l	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
	meq/l	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153
	%meq/l	0,367	0,403	0,401	0,400	0,398
Ca ²⁺	mg/l	85,290	82,800	83,580	75,960	68,770
	meq/l	4,256	4,132	4,160	3,792	3,432
	%meq/l	11,053	10,896	10,828	9,914	8,934
Mg ²⁺	mg/l	38,880	33,330	36,010	41,400	47,430
	meq/l	3,198	2,742	2,962	3,408	3,904
	%meq/l	8,305	7,230	7,760	8,305	10,241
Li ⁺	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	meq/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	%meq/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn ²⁺	mg/l	0,064	0,046	0,060	0,064	0,060
	meq/l	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	%meq/l	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
NH ₄ ⁺	mg/l	0,210	0,212	0,182	0,218	0,181
	meq/l	0,012	0,012	0,010	0,012	0,010
	%meq/l	0,031	0,032	0,028	0,031	0,026
ΣΟΛΟ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ	meq/l	38,506	37,926	38,172	38,260	38,410
	%meq/l	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
ΑΝΙΟΝΤΑ						
Cl ⁻	mg/l	1,219,520	1,209,180	1,212,730	1,230,460	1,230,460
	meq/l	34,411	34,111	34,211	34,711	34,591
	%meq/l	91,670	91,783	92,270	92,390	91,601
HCO ₃ ⁻	mg/l	189,100	183,000	174,460	174,460	186,660
	meq/l	3,090	2,999	2,859	2,859	3,059
	%meq/l	8,356	8,059	7,711	7,610	8,099
CO ₃ ²⁻	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	meq/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	%meq/l	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SO ₄ ²⁻	mg/l	0,000	2,590	0,290	0,000	0,000
	meq/l	0,010	0,046	0,004	0,000	0,000
	%meq/l	0,027	0,129	0,011	0,000	0,000
F ⁻	mg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
	meq/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
	%meq/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Br ⁻	mg/l	0,010	0,170	0,070	0,010	< 0,010
	meq/l	0,0001	0,002	0,001	0,0001	< 0,0001
	%meq/l	0,0003	0,005	0,003	0,0003	< 0,0003
NO ₃ ⁻	mg/l	1,100	0,300	0,100	0,000	0,000
	meq/l	0,018	0,006	0,002	0,000	0,000
	%meq/l	0,048	0,013	0,005	0,000	0,000
NO ₂ ⁻	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	meq/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	%meq/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
ΣΟΛΟ ΑΝΙΟΝΤΩΝ	meq/l	37,538	37,166	37,077	37,670	37,770
	%meq/l	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
SiO ₂	mg/l	15,90	19,10	17,70	16,50	19,50
B	mg/l	4,90	5,90	4,70	4,70	4,80
Fe (ολικ)	mg/l	0,023	0,010	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ba	mg/l	< 0,10	1,10	0,20	2,10	< 0,10
Οξίδια Ο ₂	mg/l	0,32	0,32	0,48	0,48	0,32
αλικυδρότητα	%	+ 1,27	+ 1,01	+ 1,48	+ 0,96	+ 0,85

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων[4]

ΔΕΙΓΜΑ	Mg/Ca	Na/K	Na/Cl	Cl/SO ₄	Cl/HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻
ΓN-1Π	0,840	201,86	0,893	988,31	11,932
NIS-1	0,958	6,50	1,300	-	0,102
NIS-2	0,659	6,75	2,025	-	0,105
NIS-4	0,367	2,35	1,220	50,00	0,136
NIS-5	1,001	5,69	1,644	45,00	0,110
NIS-6	1,112	5,69	1,233	-	0,142
NIS-7	1,135	7,08	1,535	-	0,138
NIS-9	0,500	2,79	1,340	10,00	0,131
NIS-10	0,465	2,58	1,340	-	0,134
NIS-14	0,328	2,41	1,300	1,67	0,143
NIS-15	0,271	2,74	1,575	4,00	0,108
NIS-3	0,509	3,60	1,200	7,50	0,120
NIS-20	0,239	2,56	2,181	1,01	0,081
NIS-11	0,371	5,00	1,444	2,05	0,120
NIS-12	0,231	3,00	1,350	1,91	0,114
NIS-13	0,218	3,72	0,893	1,71	0,213
NEO-1	0,844	5,73	3,153	40,00	0,087
NEO-2	1,579	4,96	2,424	22,50	0,098
NIS	1,053	13,67	1,025	5,00	0,089
NIS-16	0,625	12,00	0,800	1,43	0,063
NIS-17	1,018	24,00	1,600	5,00	0,065
NIS-18	1,158	5,00	0,714	5,00	0,072
Γ-3	0,874	67,97	21,750	100,00	0,033
Γ-4	0,786	23,09	6,530	0,52	0,111

Πίνακας 6.5 Λόγοι Mg/Ca, Na/K, Na/Cl, Cl/SO₄, Cl/HCO₃⁻+CO₃²⁻[4]

Διαπιστώνεται ότι ενώ στα συνήθη υπόγεια νερά της περιοχής ο λόγος Na/K κυμαίνεται μεταξύ 2,41 και 67,97 (η υψηλότερη τιμή στο δείγμα Γ-3), το γεωθερμικό νερό της ΓN-1Π εμφανίζει πολύ υψηλή τιμή του λόγου αυτού (201,86), λόγω της πολύ υψηλής συγκέντρωσης Na⁺ και της διατήρησης της συγκέντρωσης K⁺ σε χαμηλά, φυσιολογικά πλαίσια (6,0 mg/l). Η τιμή του λόγου αυτού είναι πολύ μεγαλύτερη από την συνήθη τιμή του λόγου Na/K που παρατηρείται στο θαλασσινό νερό. Ο λόγος Na/Cl για τα νερά των κοινών, μικρού βάθους υδρογεωτρήσεων λαμβάνει τιμές μικρότερες από 3,15. Στο γεωθερμικό νερό της ΓN-1Π η τιμή του λόγου αυτού είναι 0,893. Η τιμή αυτή ανήκει μέσα στα πλαίσια τιμών που παρουσιάζουν τόσο τα κανονικά υπόγεια νερά, όσο και το θαλασσινό νερό. Ο λόγος Cl/SO₄²⁻ για το νερό της ΓN-1Π είναι υπερβολικά υψηλός (988,3) σε σχέση με τον αντίστοιχο του θαλασσινού νερού. Ο λόγος Cl/SO₄ είναι συνήθως μεγαλύτερος σε βαθιά νερά από ότι σε τοπικές πηγές εξαιτίας της οξειδωσης των σουλφιδίων και της χαμηλής διαλυτότητας των θειικών ορυκτών σε υψηλές θερμοκρασίες. Το γεωθερμικό νερό της γεώτρησης χαρακτηρίζεται ως

χλωριούχο. Η τιμή του λόγου $\text{Cl}/\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ (11,932), είναι πολύ υψηλή και διαφοροποιείται σημαντικά από τις τιμές του λόγου αυτού για τα υπόλοιπα δείγματα της περιοχής (0,033-0,213). Με βάση την τιμή του λόγου αυτού γίνεται σαφής η διαφοροποίηση του νερού της γεώτρησης από το κοινό θαλασσινό νερό. Επιπλέον, η υψηλή τιμή στο γεωθερμικό νερό είναι ενδεικτική της βαθύτερης προέλευσης του, αφού κοντά στις περιοχές τροφοδοσίας των υδροφόρων επικρατούν τα HCO_3^- ενώ οι συγκεντρώσεις του Cl^- αυξάνουν σε μεγαλύτερα βάθη.

Η συγκέντρωση του Br^- στο νερό της ΓΝ-1Π είναι πολύ χαμηλή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο λόγος Cl/Br να παρουσιάζει πολύ μεγάλες τιμές (17.056-34.910). Λαμβάνοντας υπόψη ότι στο θαλασσινό νερό η σχέση Cl/Br είναι περίπου 300 διαφαίνεται η διαφοροποίηση του νερού της ΓΝ-1Π από το θαλασσινό νερό. Ο υφάλμυρος χαρακτήρα νερών αποδίδεται κατά κύριο λόγο στο εγκλωβισμό τους μέσα σε ευρείς φακούς κλαστικών ιζημάτων ή κατά μήκος ρηγμάτων και κατά δεύτερο λόγο σε εναπόθεση μικροκρυσταλλικού άλατος μέσα σε θαλάσσια ιζήματα.

Στο νερό της γεώτρησης ΓΝ-1Π εμφανίζονται επίσης ορυκτά όπως ο ασβεστίτης, ο αραγωνίτης, ο δομίτης, ο χαλαζίας και ο τάλκης. Οι δείκτες κορεσμού (Is) του νερού ως προς τα ορυκτά αυτά παρατίθενται συγκεντρωτικά στον πίνακα 6.6 από τον οποίο προκύπτει ότι το νερό είναι ελαφρώς κορεσμένο ως προς τον ασβεστίτη με $Is=0,604$, γεγονός που υποδηλώνει ελαφριά τάση απόθεσης του ορυκτού αυτού. Επίσης παρουσιάζει το μεγαλύτερο δείκτη κορεσμού τόσο ως προς τον αραγωνίτη ($Is=0,468$) όσο και ως προς το δολομίτη ($Is=1,378$). Όλα τα νερά, τόσο το γεωθερμικό όσο και τα άλλα (υπόθερμα - ψυχρά) είναι κορεσμένα ως προς τον χαλαζία. Μάλιστα, τον χαμηλότερο δείκτη κορεσμού ($Is=0,366$) τον παρουσιάζει το νερό της ΓΝ-1Π. Αναφορικά με το δείκτη κορεσμού ως προς τη γύψο, διαπιστώνεται ότι όλα τα νερά είναι πολύ ακόρεστα ως προς το ορυκτό αυτό (πολύ χαμηλός δείκτης κορεσμού). Αντίθετα όλα εμφανίζονται να είναι κορεσμένα ως προς τον τάλκη και μάλιστα με σημαντικό δείκτη κορεσμού, που κυμαίνεται μεταξύ 0,298 και 4,288.

Αναφορικά με την ποσιμότητα του νερού της γεώτρησης θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι αυξημένες συγκεντρώσεις των κοινών ιόντων Na^+ (710 mg/l) και Cl^- (1226,21 mg/l) το καθιστούν ακατάλληλο για πόση, αφού αυτές οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν κατά πολύ τις ανώτατες παραδεκτές συγκεντρώσεις που καθορίζονται διεθνώς. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας το μέγιστο αποδεκτό όριο για Cl είναι 200 mg/l και το μέγιστο επιτρεπόμενο είναι 600 mg/l. Επίσης με βάση την Κοινοτική Οδηγία 80/778 και το ΦΕΚ 53Α/20C2C86, το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο

για το Na^+ είναι 150 mg/l (από το 1987), ενώ το Cl^- θεωρείται επικίνδυνο σε συγκέντρωση μεγαλύτερη των 200 mg/l.

Η αυξημένη τιμή του TDS -Σύνολο των διαλυμένων Αλάτων (2178 mg/l) που υπερβαίνει το προτεινόμενο από το U.S. ENVIRONMENTAL AGENCY όριο των 700 mg/l καθιστά το νερό προβληματικό για ενδεχόμενη άρδευση. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των Na^+ και Cl^- εγκυμονούν σοβαρά προβλήματα στη γεωργική απόδοση, ειδικά αν το νερό απορροφάται από τις ρίζες των φυτών, που είναι και το πιο σύνθητες.

Η διάβρωση και η απόθεση αλάτων από το νερό είναι απαραίτητο να είναι γνωστές πριν από κάθε χρήση του. Για την εκτίμηση της ικανότητας του νερού να αποθέτει άλατα ή να διαβρώνει είναι απαραίτητη η γνώση των δεικτών κορεσμού Langelier (LSi) και σταθερότητας ή Ryznar (Sti).

ΔΕΙΓΜΑ	Δείκτες Κορεσμού					
	Ασβασιτιτι	Αραγωνίτη	Δολομιτι	Χαλαζία	Γύψου	Τάλκη
ΓΝ-1Π	0,604	0,468	1,378	0,366	-3,589	3,914
NIS-1	0,272	0,123	0,565	1,011	-3,782	2,853
NIS-2	0,182	0,033	0,223	0,963	-	1,750
NIS-4	0,333	0,184	0,271	1,218	-3,967	2,642
NIS-5	0,409	0,260	0,860	0,975	-4,116	3,621
NIS-6	0,491	0,342	1,070	0,972	-	4,134
NIS-7	0,495	0,346	1,087	0,936	-	4,000
NIS-9	0,283	0,134	0,305	1,118	-3,315	2,384
NIS-10	0,524	0,375	0,756	1,102	-	3,173
NIS-14	0,558	0,412	0,727	1,073	-2,515	3,755
NIS-15	0,256	0,107	-0,015	1,126	-2,956	1,361
NIS-3	0,323	0,176	0,433	1,142	-3,233	2,954
NIS-20	0,078	-0,067	-0,035	1,024	-2,481	0,045
NIS-11	0,544	0,395	0,700	1,109	-2,622	3,442
NIS-12	0,226	0,079	-0,108	1,102	-2,614	1,111
NIS-13	0,246	0,097	-0,129	1,430	-2,278	1,097
NEO-1	0,087	-0,063	0,129	0,835	-4,103	0,482
NEO-2	0,417	0,268	1,074	1,000	-3,897	4,288
NIS	0,297	0,148	0,657	0,816	-3,132	1,810
NIS-16	0,458	0,309	0,753	1,064	-2,602	2,599
NIS-17	0,084	-0,065	0,215	0,793	-3,26	0,336
NIS-18	0,127	-0,022	0,358	0,938	-3,197	1,211
Γ-3	0,362	0,022	0,861	0,729	-4,636	0,298
Γ-4	-0,064	-0,202	-0,012	-	-2,422	-

Πίνακας 6.6 Δείκτες κορεσμού ορυκτών από ΓΝ-1Π[4]

Ο δείκτης κορεσμού ή Langelier χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων, που συμβάλλουν στην απόθεση CaCO_3 ή άλλων ορυκτών από το νερό στις σωληνώσεις κλπ. Ο δείκτης κορεσμού Langelier είναι ο αρχαιότερος και γνωστότερος δείκτης για την πρόβλεψη της τάσης ενός νερού για τη δημιουργία ανθρακικών επικαθίσεων.

Για τον καθορισμό του δείκτη κορεσμού απαιτείται η γνώση :

- 1) Της αλκαλικότητας, που είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης σε ppm, ανθρακικών, οξυανθρακικών και υδροξυλικών ιόντων.
- 2) Της συγκέντρωσης σε ppm των ιόντων που περιέχει το νερό.
- 3) Του pH.
- 4) Της θερμοκρασίας
- 5) Του συνόλου των διαλυμένων στο νερό αλάτων (TDS).

Ο δείκτης LSi ορίζεται ως $LSi = pH - pH_s$,

όπου pH_s = το πραγματικό pH, που μετρείται στα δείγματα του νερού, και pH_s είναι το pH στο οποίο ο ασβεστίτης βρίσκεται σε ισορροπία και υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα ιόντα Ca^{2+} και HCO_3^- , το TDS και τη θερμοκρασία.

Θετικές τιμές του LSi, δηλαδή $LSi > 0$, υποδηλώνουν ότι υπάρχει τάση για επικαθίσεις και πιθανότητα να καταβυθιστεί το $CaCO_3$, ενώ για $LSi < 0$, τότε δεν υπάρχει τάση για επικαθίσεις και το νερό θα διαλύσει το $CaCO_3$. Από τα δεδομένα της γεώτρησης ΓΝ-1Π προκύπτει ότι $LSi = +0,63$ και συνεπώς υπάρχει μια πολύ μικρή τάση απόθεσης $CaCO_3$.

Ο δείκτης σταθερότητας Ryznar είναι ένας δείκτης που προτάθηκε από τον Ryznar για προσδιορισμό του ποσού του $CaCO_3$ που αποτίθεται από το νερό σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μέχρι τους $93^\circ C$ και την πρόγνωση της διαβρωτικής ικανότητας των νερών που δεν αποθέτουν άλατα. Ο Ryznar θεώρησε ότι ο δείκτης κορεσμού δίνει ποιοτικές μόνο πληροφορίες για την ικανότητα του νερού να αποθέτει άλατα και για αυτό πρότεινε την αντικατάστασή του με έναν δείκτη που δίνει ποσοτικές πληροφορίες για το ίδιο φαινόμενο τον οποίο ονόμασε δείκτη σταθερότητας. Ο δείκτης σταθερότητας (Sti) δίνεται από την σχέση :

$$Sti = 2 pH_s - pH.$$

Όταν $Sti > 7$, τότε το νερό είναι διαβρωτικό. Όταν $Sti < 7$, τότε το νερό έχει την τάση να αποθέτει άλατα. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει $Sti = 6,73$ για τη ΓΝ-1Π. Από τον υπολογισμό των δεικτών LSi και Sti προκύπτει ότι το νερό της γεωθερμικής γεώτρησης ΓΝ-1Π εμπίπτει στην ουδέτερη ζώνη (ζώνη σταθερότητας).

Η παρουσία φυσαλίδων στο στόμιο της ΓΝ-1Π αποτέλεσε το έναυσμα για συλλογή και ανάλυση αέριου δείγματος από τη γεώτρηση αυτή. Η ανάλυση των αερίων έγινε με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας/φασματομετρίας μαζών. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της αέριας φάσης ήταν : $N_2 = 99,4\%$, $CO_2 = 0,4\%$ και

$O_2=0,2\%$ συνεπώς διαπιστώνεται ότι μεταξύ των αερίων που εκλύονται σε μορφή φυσαλίδων από τη γεώτρηση ΓΝ-1Π, κυριαρχεί το άζωτο (N_2).

Για τον προσδιορισμό των ραδιενεργών στοιχείων ραδίου (Ra), ουρανίου (U) και ραδονίου (Rn) πραγματοποιήθηκε συμπληρωματική δειγματοληψία νερού από την ΓΝ-1Π. Κατά την δειγματοληψία μετρήθηκαν επί τόπου οι ακόλουθες φυσικοχημικές παράμετροι:

- Θερμοκρασία νερού : $T=34,1^{\circ}C$
- Αγωγιμότητα νερού : $3.780 \mu S/cm$ (στους $33,1^{\circ}C$)
- pH νερού: 7,82

Από τις μετρήσεις και εργαστηριακές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των ραδιενεργών στοιχείων που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό προέκυψε ότι η τιμή του ραδονίου (^{222}Rn) είναι 663 pCi/l τιή που θεωρείται κάπως αυξημένη, αλλά όχι υπερβολικά υψηλή. Αυξημένη είναι και η παρουσία του ραδίου (^{226}Ra) η οποία ανέρχεται στα 89 pCi/l . Το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης στο πόσιμο νερό είναι τα 3 pCi/l . Τέλος το ουράνιο (U) εμφανίζεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις μόλις $6 \mu g/l$ πολύ κοντά στο όριο ανιχνευσιμότητας ($5 \mu g/l$) ενώ το ανώτατο όριο για το πόσιμο νερό ανέρχεται στα $20 \mu g/l$.

7. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

7.1 Τεχνική μελέτη

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά οι ανάπτυξη της τεχνικής μελέτης. Η γεώτρηση ΓΝ-1Π στην περιοχή Νησί Αλεξάνδρειας παρουσιάζει ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον αφού παράγει ρευστό σε θερμοκρασία 35 °C με παροχή $V=130 \text{ m}^3/\text{h}$.

Για λόγους χρηστικότητας πραγματοποιείται στραγγαλισμός της γεώτρησης με αποτέλεσμα στην ακόλουθη μελέτη να χρησιμοποιείται παροχή $V=50 \text{ m}^3/\text{h}$ σταθερή σε όλη την έκταση των εγκαταστάσεων.

Το γεωθερμικό ρευστό είναι πυκνότητας 0,994 kg/lit και θερμοχωρητικότητας 0,997 cal/g*°C. Η γεώτρηση πραγματοποιήθηκε σε βάθος 100 m ενώ η αντλία τοποθετείται σε βάθος 80 m κάτω από την επιφάνεια και η ταχύτητα ροής εντός των σωληνώσεων είναι 1,3 m/s.

Σκοπός της τεχνικής μελέτης είναι η πρόταση της βέλτιστης λύσης για την θέρμανση κτηνοτροφικής μονάδας εκτάσεως 4694 m² και ενός θερμοκηπίου εκτάσεως 1935m².

7.1.1. Περιγραφή σχεδιασμού

Το γεωθερμικό ρευστό εξέρχεται από την γεώτρηση σε θερμοκρασία 35°C και εισάγεται σε εναλλάκτη θερμότητας Ε.Θ.1. Από τον Ε.Θ.1 οδηγείται σε έναν δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας Ε.Θ.2 από τον οποίον στην συνέχεια επανεισάγεται μέσω γεώτρησης στο έδαφος (πρωτεύον κύκλωμα).

Ο Ε.Θ.1 θερμαίνει καθαρό νερό το οποίο με την βοήθεια κυκλοφορητή οδηγείται στην πτηνοτροφική μονάδα, όπου με χρήση ενδοδαπέδιας θέρμανσης σε τσιμέντο, επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία των 20 °C. Στην συνέχεια εξέρχεται από το πτηνοτροφείο και οδηγείται πίσω στον Ε.Θ.1 για αναθέρμανση (δευτερεύον κύκλωμα).

Ο Ε.Θ.2 με το γεωθερμικό ρευστό που λαμβάνει θερμαίνει επίσης ένα δευτερεύον κύκλωμα καθαρού νερού, το οποίο τροφοδοτεί μια γεωθερμική αντλία θερμότητας (Γ.Α.Θ.). Το νερό στην Γ.Α.Θ. θερμαίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και εισέρχεται στο θερμοκήπιο, από το οποίο μέσω εγκατάστασης επιδαπέδιας θέρμανσης οδηγείται πίσω στην Γ.Α.Θ. Από την αντλία θερμότητας το νερό οδηγείται στο δευτερεύον κύκλωμα και κατά συνέπεια πίσω στον εναλλάκτη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία σχεδιασμού εντός του θερμοκηπίου, της τάξης των 15 °C (δευτερεύον κύκλωμα θερμοκηπίου).

7.1.2 Πτηνοτροφική μονάδα

Η υπό μελέτη πτηνοτροφική μονάδα, όπως έχει προαναφερθεί έχει έκταση 4694 m². Ένα πτηνοτροφείο θεωρείται ότι έχει τις ίδιες θερμικές ανάγκες με ένα κοινό κτήριο ίδιας έκτασης, σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτηρίων (Κ.Θ.Κ.). Ένα κτήριο έκτασης 120 m² καταναλώνει περίπου 10 KW_{th}. (επικοινωνία με Ι. Χωροπανίτη) Συνεπώς η πτηνοτροφική μονάδα σχεδιασμού θα απαιτεί **391,16 KW_{th}** ή 336,4 Mcal/h για την λειτουργία του.

Γνωρίζοντας τις θερμικές απαιτήσεις του πτηνοτροφείου πρέπει στην συνέχεια να υπολογιστεί η διαφορά θερμοκρασίας του θερμού νερού που θα κυκλοφορεί στις ενδοδαπέδιες σωληνώσεις. Για αυτόν τον υπολογισμό γίνεται χρήση του τύπου:

$$Q=V*\Delta T*\gamma*\alpha \quad (6.1)$$

Q= θερμική ισχύς σε Mcal/h

V= παροχή σε m³/h

ΔT= διαφορά θερμοκρασίας (T_{εισ}-T_{εξ} από Ε.Θ.1 στο πρωτεύον κύκλωμα)

γ= το γινόμενο το γινόμενο της ειδικής θερμότητας του γεωθερμικού ρευστού και της πυκνότητάς του

α= απόδοση του εναλλάκτη

Ο εναλλάκτης θεωρείται ότι ποτέ δεν έχει απόδοση 100% και επομένως για λόγους σχεδιασμού θεωρείται απόδοση εναλλάκτη α=0,97.

Γνωρίζοντας όλα τα υπόλοιπα μεγέθη και λύνοντας ως προς ΔT, η διαφορά θερμοκρασίας θα είναι ίση με ΔT=7 °C. Προκειμένου να επιτευχθεί θερμοκρασία 20 °C εντός του πτηνοτροφείου, που είναι και η θερμοκρασία σχεδιασμού, προτείνεται η χρήση εναλλάκτη θερμότητας με πλάκες τιτανίου (Ε.Θ.1), στον οποίο το γεωθερμικό ρευστό θα εισάγεται σε θερμοκρασία 35 °C απευθείας από την γεώτρηση. Στην συνέχεια το γεωθερμικό ρευστό θα θερμαίνει καθαρό νερό σε θερμοκρασία 33 °C και θα εξέρχεται από τον εναλλάκτη σε θερμοκρασία 25 °C . Το καθαρό νερό θα οδηγείται με την βοήθεια κυκλοφορητή στην πτηνοτροφική μονάδα με σταθερή παροχή 50 m³/h και θα εξέρχεται από την πτηνοτροφική μονάδα πίσω στον εναλλάκτη θερμότητας σε θερμοκρασία 26 °C για αναθέρμανση.

7.1.3 Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο σχεδιασμού, όπως έχει προαναφερθεί θα είναι έκτασης 1935m² και διαστάσεων 25,8m x 75m. Το ύψος των τοιχωμάτων θα είναι 2m και το ύψος της σκεπής 1,6m. Η εξωτερική του επιφάνεια έχει υπολογιστεί ίση με 6374,61m² και ο συνολικός του όγκος ίσος με 10110,37 m³. Θα πρέπει να υπολογιστεί η ανάγκη σε θερμότητα του θερμοκηπίου, προκειμένου να επιλεγεί ο κατάλληλος εξοπλισμός. Για να υπολογιστεί κάτι τέτοιο, θα υπολογιστεί αρχικά η ανάγκη σε θερμότητα ενός θερμοκηπίου.

Η ανάγκη σε θερμότητα ενός θερμοκηπίου υπολογίζεται από τον τύπο (Nikita-Martzopoulou, 2002, Karytsas, 2003)

$$q = ThP_{\Theta} \cdot \Delta T_{\Theta} \quad (6.2)$$

όπου

ThP_{Θ} = η θερμική απόδοση του θερμοκηπίου

ΔT_{Θ} = η αποδιδόμενη στο θερμοκήπιο διαφορά θερμοκρασίας

Η θερμική απόδοση θερμοκηπίου δίνεται από τον τύπο (Nikita-Martzopoulou, 2002, Karytsas, 2003)

$$ThP_{\Theta} = (A_c \cdot U + 1/2 \cdot V \cdot n) \cdot 1,30 \quad (6.3)$$

Όπου

A_c = η συνολική εξωτερική επιφάνεια

U = συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για διπλό πλαστικό

V = ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου

n = ο αριθμός των εξαεριστήρων που χρησιμοποιούνται ανά ώρα

Επομένως όπως προκύπτει από τον τύπο 6.3 , για $A_c = 6374,61 \text{ m}^2$, $U = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$,

$V = 10110,37 \text{ m}^3$ και $n = 0,7$, θα είναι **$ThP_{\Theta} = 18630 \text{ W/K}$**

Η διαφορά θερμοκρασίας που πρέπει να αποδίδεται στο θερμοκήπιο είναι

$$\Delta T_{\Theta} = T_i - T_o \quad (6.4)$$

Όπου

T_i = επιθυμητή θερμοκρασία (αναγκαία για την ανάπτυξη φυτών)

T_o = θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι η ελάχιστη θερμοκρασία με την οποία αναπτύσσονται φυτά. Για τα περισσότερα είδη φυτών είναι 15 °C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Η συνιστώμενη θερμοκρασία για τον νομό Θεσσαλονίκης, που είναι και ο κοντινότερος νομός στην Αλεξάνδρεια, σύμφωνα με τον Κ.Θ.Κ. (Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτηρίων) είναι $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Από τον τύπο 6.4 προκύπτει ότι η διαφορά θερμοκρασίας για ένα θερμοκήπιο στην Αλεξάνδρεια είναι

$$\Delta T_{\theta}=15-(-5)=20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Από τον τύπο 6.2 για $\text{ThP}_{\theta}=18630\text{W/K}$ και $\Delta T_{\theta}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ προκύπτει ότι **$q=372,6\text{ KW}_{\text{th}}$** .

Για να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου προτείνεται να γίνει χρήση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (Γ.Α.Θ.). Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί αντλία θερμότητας με συντελεστή απόδοσης $\text{COP}=4$, που είναι και ο πιο συνηθισμένος τύπος για παρόμοιες εφαρμογές.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ισχύει:

$$\text{COP}=\frac{Q_H}{Q_e} \quad (6.4)$$

Όπου

Q_H : η ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα

Q_e : ηλεκτρική ισχύς

Η αποδιδόμενη στο σύστημα ενέργεια θα είναι ίση με την θερμική ανάγκη του θερμοκηπίου και το $\text{COP}=4$, επομένως η ηλεκτρική ισχύς που θα καταναλώνεται από την Γ.Α.Θ. θα είναι **$Q_e=93,15\text{ KW}_e$** .

Η Γ.Α.Θ. τροφοδοτείται με καθαρό νερό. Μέσω του κύκλου εξάτμισης – υγροποίησης του ψυκτικού υγρού της Γ.Α.Θ., η θερμοκρασία του νερού ανεβαίνει στους $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το νερό θα διατηρεί την θερμοκρασία του θερμοκηπίου στους $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ και θα εξέρχεται από αυτό στους $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Προτείνεται η χρήση ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας (Ε.Θ.2) με πλάκες τιτανίου, για την θέρμανση του καθαρού νερού που θα οδηγείται στην Γ.Α.Θ..

Το γεωθερμικό ρευστό όπως προαναφέρθηκε θα εξέρχεται από τον Ε.Θ.1 και θα εισέρχεται στον Ε.Θ.2 σε θερμοκρασία $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στον Ε.Θ.2, το γεωθερμικό ρευστό θα θερμαίνει καθαρό νερό στους $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ και θα εξέρχεται από αυτόν σε θερμοκρασία $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το γεωθερμικό ρευστό θα εξερχόμενο από τον Ε.Θ.2 θα οδηγείται στην γεώτρηση επανεισαγωγής και θα επιστρέφει στο έδαφος. Το καθαρό νερό που θα εξέρχεται από τον Ε.Θ.2 θα τροφοδοτεί την Γ.Α.Θ. και θα επιστρέφει στον εναλλάκτη σε θερμοκρασία $19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7.2 Σχεδιασμός εγκαταστάσεων

Η γεώτρηση ΓΝ-1Π εκτείνεται σε βάθος 100m. Κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Σε βάθος 80m. τοποθετείται υποβρύχια αντλία για την κυκλοφορία του γεωθερμικού ρευστού στο σύστημα. Η κυκλοφορία τόσο του γεωθερμικού ρευστού, όσο και του καθαρού νερού θα γίνει με την χρήση σωλήνων πολυαιθυλενίου τρίτης γενιάς. Προτιμάται το συγκεκριμένο υλικό λόγω της ανθεκτικότητας του σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και λόγω του ότι δεν διαβρώνεται εύκολα.

Για την απόσταση μεταξύ της γεώτρησης και του Ε.Θ.1 θα χρησιμοποιηθεί σωλήνας μήκους 50m. Στο δευτερεύον κύκλωμα της πτηνοτροφικής μονάδας θα χρησιμοποιηθεί σωλήνας 10m. από τον Ε.Θ.1 μέχρι την πτηνοτροφική μονάδα και 10m. για την επανεισαγωγή του νερού από το πτηνοτροφείο στον Ε.Θ.1.

Η πτώση πίεσης στην πτηνοτροφική μονάδα θα είναι της τάξης των 10bar. Επίσης θεωρείται δεδομένο πως για ταχύτητα ρευστού 1,35m/s για σωλήνα Φ-140 οι απώλειες πίεσης είναι της τάξης των 0,13bar ανά 100m. σωλήνα. (επικοινωνία με Ι. Χωροπανίτη)

Συνεπώς, για την θέρμανση της πτηνοτροφικής μονάδας με ενδοδαπέδια θέρμανση σε τσιμέντο, θα χρησιμοποιηθούν περίπου 7693 m. σωλήνα.

Για την απόσταση μεταξύ Ε.Θ.1 και Ε.Θ. 2 θα χρησιμοποιηθεί σωλήνας μήκους 40m. και εντός του δευτερεύοντος κυκλώματος του θερμοκηπίου σωλήνας μήκους 20m. Η θέρμανση του θερμοκηπίου θα γίνει επίσης με επιδαπέδια εγκατάσταση για την οποία απαιτούνται σωληνώσεις μήκους 4000m. (επικοινωνία με Ι. Χωροπανίτη)

Τέλος, για να οδηγηθεί το γεωθερμικό ρευστό στην γεώτρηση επανεισαγωγής χρησιμοποιούνται 30m. σωλήνα.

7.2.1 Διάμετρος σωληνώσεων

Ο υπολογισμός της διαμέτρου του σωλήνα που θα χρησιμοποιηθεί προκύπτει από τον τύπο της παροχής ρευστού σε σωλήνα:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot u \quad (6.7)$$

Όπου:

Q= παροχή

d= διάμετρος του σωλήνα

u= ταχύτητα ρευστού

Γνωρίζουμε πως η παροχή είναι 50m³/h και η ταχύτητα του ρευστού είναι 1,35 m/sec. Κάνοντας τις απαραίτητες μετατροπές μονάδων και λύνοντας τον τύπο 6.7 ως

προς την διάμετρο του σωλήνα, προκύπτει ότι η $d = 116,23 \text{ mm}$ και βάζοντας και ένα συντελεστή ασφαλείας 10%, η διάμετρος του σωλήνα θα είναι **$d = 127,91 \text{ mm}$** . Θα χρησιμοποιηθεί σωλήνας που θα έχει την πλησιέστερη ανώτερη διάμετρο, με βάση τους διαθέσιμους στο εμπόριο σωλήνες. Επομένως θα χρησιμοποιηθεί σωλήνας Φ-140.

7.2.2 Ισχύς εξοπλισμού

Για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων θα πρέπει να τοποθετηθεί στην γεώτρηση κατάλληλη αντλία για την κυκλοφορία του γεωθερμικού ρευστού στο πρωτεύον κύκλωμα, αλλά και κυκλοφορητών για την κυκλοφορία του καθαρού νερού στα δευτερεύοντα κυκλώματα.

Σκοπός είναι, ο εξοπλισμός που θα τοποθετηθεί να είναι ικανός να ξεπεράσει τις όποιες πτώσεις πίεσης παρουσιαστούν κατά την κυκλοφορία των ρευστών.

Για τον υπολογισμό της ισχύς τόσο της αντλίας, όσο και των κυκλοφορητών χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$Ισχύς = \frac{Πυκνότητα \text{ ρευστού} σε \frac{kg}{lt} * Παροχή σε \frac{lt}{sec} * Μανομετρικό}{Συντελεστής Απόδοσης Εξοπλισμού * 102} \quad (6.8)$$

Όπου

Μανομετρικό: το άθροισμα των απωλειών που συναντά κατά την διαδρομή του το ρευστό

Συντελεστής Απόδοσης Εξοπλισμού: θεωρείται ίσος με 0,8 τόσο για την αντλία, όσο και για τους κυκλοφορητές.

- **Αντλία γεώτρησης**

Η πυκνότητα του ρευστού είναι $0,994 \text{ kg/lt}$

Η παροχή είναι $13,888 \text{ lt/sec}$

Το μανομετρικό θα ισούται με:

- 8 bar για την άνοδο του ρευστού στην επιφάνεια (ισχύει απώλεια 1bar ανά 1m.)
- 0,156 bar κατά την κίνηση του ρευστού στις σωληνώσεις του πρωτεύοντος κυκλώματος (ισχύει για ταχύτητα ρευστού $1,35\text{m/sec}$, απώλεια 0,13 bar ανά 100m σωλήνα Φ-140)
- 0,25 bar οι τοπικές απώλειες του Εναλλάκτη Θερμότητας 1
- 0,25 bar οι τοπικές απώλειες του Εναλλάκτη Θερμότητας 2

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει η αντλία θα είναι $P_{αντλίας} = 14,64 \text{ KW}_e$

- **Κυκλοφορητής 1**

Η πυκνότητα του ρευστού 0,994 kg/l

Η παροχή είναι 13,888 lt/sec

Το μανομετρικό θα ισούται με:

- Απώλειες σωληνώσεων δευτερεύοντος κυκλώματος 0,026 bar
- Απώλειες σωληνώσεων πτηνοτροφείου 10bar
- Απώλειες βοηθητικού εξοπλισμού 0,15 bar
- Απώλειες Εναλλάκτη Θερμότητας 1 0,25 bar

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει ο κυκλοφορητής 1 θα είναι $P_{κυκλ.1} = 17,64 \text{ KW}_e$

- **Κυκλοφορητής 2**

Η πυκνότητα του ρευστού είναι 0,994

Η παροχή είναι 13,888

Το μανομετρικό θα ισούται με:

- Απώλειες σωληνώσεων δευτερεύοντος κυκλώματος 0,026 bar
- Απώλειες σωληνώσεων θερμοκηπίου 5,2 bar
- Απώλειες βοηθητικού εξοπλισμού 0,15 bar
- Απώλειες Εναλλάκτη Θερμότητας 2 0,25 bar

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει ο κυκλοφορητής 2 θα είναι $P_{κυκλ.2} = 10,36 \text{ KW}_e$

7.2.3 Ηλεκτρική κατανάλωση

Από τους προηγούμενους υπολογισμούς προέκυψε ότι η υποβρύχια αντλία απαιτεί 14,64 KWe, ο κυκλοφορητής 1 απαιτεί 17,64 KWe, ο κυκλοφορητής 2 απαιτεί 10,36 KWe και η γεωθερμική αντλία θερμότητας απαιτεί 93,15 KWe για την λειτουργία τους. Συνολικά δηλαδή η εγκατάσταση χρειάζεται 135,79 KWe. Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής κατανάλωσης πρέπει αρχικά να γίνει μετατροπή των βαθμομερών που αντιστοιχούν στην περιοχή (Παράρτημα Ι) σε βαθμοώρες με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Βαθμομέρες} \times 24 \text{ ώρες} = \text{Βαθμοώρες} \quad (6.10)$$

Στην περιοχή της Αλεξάνδρειας αντιστοιχούν 1812 Βαθμομέρες. Συνεπώς θα ισχύει

$$1812 \times 24 = 43488 \text{ Βαθμοώρες (B}\Omega\Theta\text{)}$$

Για τον υπολογισμό της ενέργειας στην θερμοκρασία σχεδιασμού $T_{σχ} = 20^{\circ}\text{C}$ υπολογίζεται αρχικά το $\Delta T_{σχ}$ σύμφωνα με την σχέση

$$\Delta T_{σχ} = T_{σχ} - (t_{\min \epsilon\chi}) \quad (6.9)$$

$$\text{και προκύπτει } \Delta T_{σχ} = 20 - (-5) = 25^{\circ}\text{C}$$

Το ζητούμενο είναι η ενέργεια της εν λόγω εγκατάστασης σε κιλοβατώρες (KWh). Για να υπολογιστεί αυτό χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$\text{ENERΓΕΙΑ}_{th} = \frac{\Sigma XY\Sigma}{\Delta T_{σχ}} \times \text{B}\Omega\Theta \quad (6.11)$$

Και με αντικατάσταση στον 6.11 προκύπτει ότι η απαιτούμενη ενέργεια για την θέρμανση είναι **295269,64 KWh**.

7.3 Κόστος κατανάλωσης - Σύγκριση

Στο τελευταίο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας γίνεται ο υπολογισμός του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και σύγκρισή του σε περίπτωση χρήσης πετρελαίου, για την θέρμανση των εγκαταστάσεων. Στην συνέχεια υπολογίζεται το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της ίδιας εγκατάστασης με χρήση συμβατικών μέσων θέρμανσης. Τέλος ακολουθεί σύγκριση μεταξύ κοστών προκειμένου να αποδειχθεί το αν και κατά πόσο συμφέρει η χρήση της γεωθερμίας.

Σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο της Δ.Ε.Η., το κόστος μιας κιλοβατώρας για αγροτική χρήση είναι 0,07 €/KWh. Οι εγκαταστάσεις της πτηνοτροφικής μονάδας και του θερμοκηπίου απαιτούν 295269,64 KWh για να θερμανθούν. Επομένως το κόστος θέρμανσης θα είναι

$$295269,64 \times 0,07 = \mathbf{20668,87 \text{ € ετησίως}}$$

Στο παραπάνω αποτέλεσμα, συμπεριλαμβάνεται το κόστος για την ηλεκτροδότηση της υποβρύχιας αντλίας, των δύο κυκλοφορητών καθώς και της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Με την λειτουργία αυτού του εξοπλισμού ικανοποιούνται οι θερμικές απαιτήσεις της πτηνοτροφικής μονάδας, αλλά και του θερμοκηπίου.

Για την θέρμανση των εγκαταστάσεων με συμβατικά μέσα, θα γινόταν χρήση 2 καυστήρων πετρελαίου οι οποίοι θα ικανοποιούσαν τις ανάγκες του θερμοκηπίου και τις πτηνοτροφικής μονάδας αντίστοιχα. Επομένως, θα υπολογιστεί αρχικά η ετήσια ποσότητα πετρελαίου που απαιτείται.

Έχει υπολογιστεί ότι το θερμοκήπιο σχεδιασμού απαιτεί $372,6 \text{ KW}_{\text{th}}$ για την θέρμανσή του, ενώ η πτηνοτροφική μονάδα χρειάζεται $391,22 \text{ KW}_{\text{th}}$. Συνεπώς, οι εγκαταστάσεις απαιτούν συνολικά $763,82 \text{ KW}_{\text{th}}$

Από την σχέση 6.11 προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση θα είναι $1328669,172 \text{ KW}_{\text{th}}$. Ισχύει ότι 1 τόνος πετρελαίου, μπορεί να αποδώσει $9302 \text{ KW}_{\text{th}}$, επομένως θα χρειαστούν $142,84$ τόνοι πετρελαίου τον χρόνο ή 171408 λίτρα. Θεωρείται ότι ο κάθε καυστήρας λειτουργεί στο 75% των δυνατοτήτων του, συνεπώς η κατανάλωση ανέρχεται στα 214260 λίτρα. Το κόστος πετρελαίου θέρμανσης στον νομό Ημαθίας είναι $0,716 \text{ €/lt}$.

Έτσι, το συνολικό ετήσιο κόστος για την κατανάλωση πετρελαίου θα ανέρχεται στα **153410,16 €**.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1 το κόστος του εξοπλισμού για την θέρμανση των εγκαταστάσεων με γεωθερμική ενέργεια.

ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ		
Είδος	Ποσότητα	Κόστος (€)
Γεωθερμικός Εναλλάκτης	2	30000
Κυκλοφορητής	2	4000
Υποβρύχια Αντλία	1	8000
Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	1	45000
Σωλήνες Ενδοδαπέδιας Θέρμανσης Πτηνοτροφείου	4694,66 m ²	279879,6
Σωλήνες Επιδαπέδια Θέρμανσης Θερμοκηπίου	1935,74 m ²	4000
Σωλήνες Σύνδεσης	20€/m	4800
Γεώτρηση επανεισαγωγής	80€/m	
Βοηθητικός εξοπλισμός		1000
Σύνολο		384697,6

Υπολογίστηκε ότι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για την θέρμανση των εγκαταστάσεων θα είναι 20668,87 €. Το κόστος του πετρελαίου για την θέρμανση τους θα είναι 153410,16 €. Επομένως, το κέρδος της χρήσης γεωθερμίας σε σχέση με μια συμβατική μορφή ενέργειας θα είναι 132741,29 € ετησίως. Έτσι η απόσβεση του έργου θα γίνει σε $(384697,6/132741,29)*12 \approx 34,8$ μήνες ή περίπου 3 χρόνια.

7.4 Συμπεράσματα

Από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε παρατηρείται πως η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, αποτελεί πλέον οικονομικότερη λύση. Το κέρδος σε σχέση με την καύση πετρελαίου είναι τεράστιο και επίσης η απόσβεση του εξοπλισμού θα πραγματοποιηθεί σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 3 χρόνων.

Πρέπει να σημειωθεί πως η καύση ενός τόνου πετρελαίου αποδίδει 3,20 τόνους CO₂. Κάτι τέτοιο, σημαίνει πως στην περίπτωση χρήσης πετρελαίου θα είχαμε την απελευθέρωση 457,078 τόνων CO₂ ετησίως. Σε σχέση με την χρήση γεωθερμίας όπου δεν

υπάρχει καθόλου απελευθέρωση CO₂, γίνεται αντιληπτό πως εκτός από το οικονομικό όφελος, υπάρχει και σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος.

Μετά από την παραπάνω μελέτη γίνεται κατανοητό πως η χρήση και εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί μια σωτήρια λύση, ιδιαίτερα σήμερα που τόσο η οικονομική δυσχέρεια του κόσμου, όσο και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος παίρνουν πρωτοφανείς διαστάσεις.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα η οποία μπορεί να ικανοποιήσει, σε ικανοποιητικό βαθμό, της ενεργειακές της ανάγκες από την γεωθερμία, αλλά και από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με την κατάλληλη προώθηση τους, αλλά και με την βοήθεια και διευκόλυνση από το κράτος η ευρεία χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να γίνει πραγματικότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Φυτίκας, Μ.Δ. & Ανδρίτσος Ν.Β. (2004), Γεωθερμία, Θεσσαλονίκη
2. Ατζεμόγλου, Α., Καρυδάκης Γ., Κολιός Ν. & Κουτσινός Σ. (2000), Γεωθερμική Έρευνα στη Δυτική Λεκάνη Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
3. Θανοπούλου, Π (2008), Θέρμανση – Ψύξη Γεωθερμικού Συγκροτήματος με Αντλίες Θερμότητας. Τεχνικο-οικονομική Μελέτη και Σύγκριση Αποδοτικότητας σε Σχέση με Υγρά Καύσιμα, Χανιά
4. Μαχαίρα, Σ. & Σιμούλη Α. (2009), Θέρμανση Θερμοκηπίου με Χρήση Γεωθερμίας, Θεσσαλονίκη
5. Καρύτσας Κ., Μενδρινός Δ., Μπένου Α. & Πολύζου Ο., Εφαρμογές συστημάτων τηλεθέρμανσης με γεωθερμικές αντλίες, Μεθοδολογία αξιολόγησης τεχνολογικών προτάσεων γεωθερμικής τηλεθέρμανσης
6. Κανονισμός δια την θερμομόνωσιν κτηρίων, Φ.Ε.Κ. 362/79 τεύχος 4ον.
7. Κανονισμός ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας, Παράρτημα ΙΙΙ, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)
8. Ευαγγελίδης, Ε & Γιαννούσας Ε. (2006), Γεωθερμία Άμεσης και Έμμεσης Χρήσης με Αντλίες Θερμότητας για Κλιματισμό Χώρων – Εφαρμογές στον Ελλαδικό Χώρο.
9. Καρύτσας, Κ. & Μενδρινός Δ. (2005) Γεωθερμία και Γεωθερμικές Αντλίες – Εμπειρία Κ.Α.Π.Ε., Αθήνα
10. Ημερίδα ΚΑΠΕ, στο πλαίσιο του έργου GROUNDREACH και της Ευρωπαϊκής εκστρατείας ευαισθητοποίησης «Αειφόρος Ενέργεια για την Ευρώπη», θέμα «Θέρμανση - Κλιματισμός με Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας», 24-01-2008 25 Οκτωβρίου 2004
11. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Αρ. Φύλλου 1595 της
12. Μπιρμπίλη, Μ., Χρηστάνης Κ., Λαμπράκης Ν. & Καρύτσας Κ. (2004), Μελέτη της Δυνατότητας Αξιοποίησης του Γεωθερμικού Πεδίου Θερμών Νιγρίτας (Ν. Σερρών), Αθήνα

Ξένη βιβλιογραφία

13. Schmitt, R.C. Agriculture, Greenhouse, Wetland and Other Beneficial Uses Of Geothermal Fluids and Heat, Idaho, U.S.A.
14. Harrison, R., Mortimer N.D., Smarason O.B. (1990), Geothermal Heating – A Handbook of Engineering Economics, Oxford, U.K.
15. Dickson, M.H., Fanelli M., What is Geothermal Energy?, Piza, Italy

Ηλεκτρονικές σελίδες

16. http://www.egec.org/target/ferrara_englisch.htm
17. <http://www.boudouri.gr/energeia.php>
18. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, www.cres.gr
19. AENAON, www.aenaon.net
20. GROUNDREACH, www.groundreach.eu
21. http://www.barber-nichols.com/capabilities/engineering_capabilities/thermodynamic_power_cycles/default.asp
22. <http://www.reuk.co.uk/Introduction-to-Geothermal.htm>
23. <http://www.conserve-energy-future.com/WindTurbines.php>
24. <http://www.windenergyplanning.com/whats-hot-and-whats-not-the-global-energy-scene/>
25. <http://www.theenvironmentalblog.org/2007/09/wave-power-set-for-oregon-coast.html>
26. <http://ga.water.usgs.gov/edu/wuhy.html>
27. http://www.treehugger.com/files/2007/07/geothermal_energy_poor_cousin.php
28. <http://www.inhabitat.com/2007/02/07/mit-study-geothermal-to-supply-10-of-energy-demands/>
29. <http://www.flickr.com/photos/lastef/2450635872/>
30. http://www.spirulina.sg/Spirulina_Nutrition.html

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΝΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
ΖΩΝΗ Α	ΖΩΝΗ Β	ΖΩΝΗ Γ	ΖΩΝΗ Δ
1. Αργολίδας 2. Δωδεκανήσου 3. Ζακύνθου 4. Ηρακλείου 5. Κεφαλληνίας 6. Κυκλάδων 7. Λακωνίας 8. Λασηθίου 9. Μεσσηνίας 10. Πειραιά ¹ 11. Ρεθύμνου 12. Σάμου 13. Χανίων	1. Αιτωλοακαρνανίας 2. Άρτας 3. Αττικής 4. Αχαΐας 5. Βοιωτίας 6. Εύβοιας 7. Ηλείας 8. Θεσπρωτίας 9. Κέρκυρας 10. Κορινθίας 11. Λέσβου 12. Λευκάδας 13. Μαγνησίας 14. Πρέβεζας 15. Φθιώτιδας 16. Φωκίδας 17. Χίου	1. Αρκαδίας ² 2. Δράμας 3. Έβρου 4. Ευρυτανίας 5. Ημαθίας 6. Θεσσαλονίκης 7. Ιωαννίνων 8. Καβάλας 9. Καρδίτσας 10. Κιλκίς 11. Λάρισας 12. Ξάνθης 13. Πέλλας 14. Πιερίας 15. Ροδόπης 16. Σερρών 17. Τρικάλων 18. Χαλκιδικής	1. Γρεβενών 2. Καστοριάς 3. Κοζάνης 4. Φλώρινας

1. Εκτός της ευρύτερης περιοχής της πόλης του Πειραιά και της Σαλαμίνας, που ανήκουν στη ζώνη Β.

2. Εκτός της επαρχίας Κυρνούριας, που ανήκει στη ζώνη Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
1. Αντίπαρος 2. Αργοστόλι 3. Αστυπάλαια 4. Γόρτυνος (Κρήτης) 5. Ζάκυνθος 6. Ηράκλειο 7. Θήρα 8. Ιεράπετρα 9. Ικαρία 10. Καλαμάτα 11. Κάρπαθος 12. Κύθηρα 13. Κως 14. Μεθώνη 15. Μήλος 16. Νάξος 17. Ναύπλιο 18. Παλαιοχώρα (Κρήτης) 19. Πάρος 20. Πειραιάς 21. Ρέθυμνο 22. Ρόδος 23. Σάμος 24. Σητεία 25. Σούδα 26. Σύρος 27. Τυμπάκιο	A από 601 - 1100 ΒΗΘ	899 998 835 1004 940 829 1082 681 877 992 697 1052 896 953 1068 856 1095 730 932 1001 714 935 1022 745 1055 971 898

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

1. Αθήνα 2. Αγρίνιο 3. Αίγιο 4. Ανάβρυτα 5. Άραξος 6. Άρτα 7. Βόλος 8. Ελευσίνα 9. Κάρυστος 10. Κέρκυρα 11. Κόρινθος 12. Κύμη 13. Λαμία 14. Λευκάδα 15. Λήμνος 16. Μυτιλήνη 17. Ορεοί 18. Πάτρα 19. Πύργος 20. Σκόπελος 21. Σκύρος 22. Τανάγρα 23. Χαλκίδα 24. Χίος	Β από 1101 - 1600 ΒΗΘ	1228 1331 1210 1537 1155 1276 1471 1240 1140 1203 1167 1516 1467 1146 1449 1234 1428 1207 1110 1452 1246 1546 1200 1113
1. Αγχίαλος 2. Αλεξανδρούπολη 3. Αλίartos 4. Ανώγεια 5. Δεσφίνα 6. Δράμα 7. Έδεσσα 8. Θάσος 9. Θεσσαλονίκη 10. Ιωνάννινα 11. Καβάλα 12. Καλαμπάκα 13. Κομοτινή 14. Κόνιτσα 15. Λάρισα 16. Λιδωρίκι 17. Ξάνθη 18. Ορεστιάς 19. Σέρρες 20. Σουφλί 21. Τζερμιάδες 22. Τρίκαλα 23. Τρίπολη 24. Φάρσαλα	Γ από 1601 - 2200 ΒΗΘ	1740 1923 1839 1703 1974 1945 2053 1781 1812 2027 1970 1813 1996 2003 1858 1991 1910 2187 2010 2124 2089 1702 2085 1777
1. Δομοκός 2. Καλάβρυτα 3. Κοζάνη 4. Πλάτανος (Ναυπακτίας) 5. Πολύγυρος 6. Πτολεμαΐδα 7. Φλώρινα	Δ >2201 ΒΗΘ	2376 2240 2469 2363 2300 2483 2620

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
1. Αγρίνιο	B	1331
2. Αγχίαλος	Γ	1740
3. Αθήνα	B	1228
4. Αίγιο	B	1210
5. Αλεξανδρούπολη	Γ	1923
6. Αλίαρτος	Γ	1839
7. Ανάβρυτα	B	1537
8. Αντίπαρος	A	899
9. Ανώγεια	Γ	1703
10. Άραξος	B	1155
11. Αργοστόλι	A	998
12. Άρτα	B	1276
13. Αστυπάλαια	A	835
14. Βόλος	B	1471
15. Γόρτυνος (Κρήτης)	A	1004
16. Δεσφίνα	Γ	1974
17. Δομοκός	Δ	2376
18. Δράμα	Γ	1945
19. Έδεσσα	Γ	2053
20. Ελευσίνα	B	1240
21. Ζάκυνθος	A	940
22. Ηράκλειο	A	829
23. Θάσος	Γ	1781
24. Θεσσαλονίκη	Γ	1812
25. Θήρα	A	1082
26. Ιεράπετρα	A	681
27. Ικαρία	A	877
28. Ιωνάννινα	Γ	2027
29. Καβάλα	Γ	1970
30. Καλάβρυτα	Δ	2240
31. Καλαμάτα	A	992
32. Καλαμπάκα	Γ	1813
33. Κάρπαθος	A	697
34. Κάρυστος	B	1140
35. Κέρκυρα	B	1203
36. Κοζάνη	Δ	2469
37. Κομοτινή	Γ	1996
38. Κόνιτσα	Γ	2003
39. Κόρινθος	B	1167
40. Κύθηρα	A	1052
41. Κύμη	B	1516
42. Κως	A	896
43. Λαμία	B	1467
44. Λάρισα	Γ	1858
45. Λευκάδα	B	1146
46. Λήμνος	B	1449
47. Λιδωρίκι	Γ	1991
48. Μεθώνη	A	953
49. Μήλος	A	1068
50. Μυτιλήνη	B	1234
51. Νάξος	A	856
52. Ναύπλιο	A	1095
53. Ξάνθη	Γ	1910
54. Ορεοί	B	1428
55. Ορεστιάς	Γ	2187
56. Παλαιοχώρα (Κρήτης)	A	730

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
57. Πάρος	A	932
58. Πάτρα	B	1207
59. Πειραιάς	A	1001
60. Πλάτανος (Ναυπακτίας)	Δ	2363
61. Πολύγυρος	Δ	2300
62. Πτολεμαίδα	Δ	2483
63. Πύργος	B	1110
64. Ρέθυμνο	A	714
65. Ρόδος	A	935
66. Σάμος	A	1022
67. Σέρρες	Γ	2010
68. Σητεία	A	745
69. Σκόπελος	B	1452
70. Σκύρος	B	1246
71. Σούδα	A	1055
72. Σουφλί	Γ	2124
73. Σύρος	A	971
74. Τανάγρα	B	1546
75. Τζερμιάδες	Γ	2089
76. Τρίκαλα	Γ	1702
77. Τρίπολη	Γ	2085
78. Τυμπάκιο	A	898
79. Φάρσαλα	Γ	1777
80. Φλώρινα	Δ	2620
81. Χαλκίδα	B	1200
82. Χίος	B	1113