



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"Παραγωγή και διαχείριση ενέργειας"

“Δυνατότητες αξιοποίησης του γεωθερμικού πεδίου της Μήλου, περιβαλλοντικά θέματα και περιπτωσιολογικές μελέτες (case studies)”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΜΑΛΙΑ Κ. ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΗ

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού κ' Μηχανικού Υπολογιστών
Πολυτεχνείου Κρήτης

Επιβλέπων

Καθηγητής Βραχόπουλος Μιχαήλ

Αθήνα, Ιούνιος 2021

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	6
Κεφάλαιο 1 - Γεωθερμία	7
1.1. Γεωθερμική Ενέργεια	7
1.2. Γεωθερμικά πεδία	7
1.3. Αξιοποίηση Γεωθερμίας	8
1.3.1. Πεδίο Υψηλής ενθαλπίας	9
1.3.2. Πεδίο Μέσης ενθαλπίας	9
1.3.3. Πεδίο Χαμηλής ενθαλπίας	9
1.4. Εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας	10
1.4.1. Ηλεκτροπαραγωγή	12
1.4.2. Γεωργία	17
1.4.3. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού	18
1.4.4. Τηλεθέρμανση	18
1.5. Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα Γεωθερμίας	19
1.6. Παγκόσμια χρήση Γεωθερμίας	21
1.7. Γεωθερμία στην Ελλάδα	25
Κεφάλαιο 2 - Γεωθερμία στη Μήλο	27
2.1. Το νησί της Μήλου	27
2.2. Θερμική κυκλοφορία	27
2.3. Χαρακτηριστικά γεωλογίας Μήλου	28
2.4. Ερευνητικές γεωτρήσεις Μήλου	30
2.5. Τεκτονική Μήλου	40
2.6. Χαρακτηριστικά υδροφόρου ορίζοντα	42
2.7. Γεωθερμικό πεδίο Μήλου	47
2.8. Ιστορική αναδρομή γεωθερμικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας Μήλου	50
2.9. Ανάγκη για χρήση γεωθερμικής ενέργειας στη Μήλο	52
2.10. Το μέλλον της γεωθερμίας στη Μήλο	53
Κεφάλαιο 3 - Τεχνολογίες αξιοποίησης Γεωθερμικής ενέργειας	54
3.1. Χαρακτηριστικές τεχνολογίες Γεωθερμίας	54
3.1.1. Γεωεναλλάκτες	54
3.1.2. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Γ.Α.Θ)	57

3.1.3.	Συστήματα Διανομής Θερμικών και Ψυκτικών Φορτίων	58
3.1.4.	Κύκλος ORC για ηλεκτροπαραγωγή	59
	Κεφάλαιο 4 - Τυπικές εγκαταστάσεις αξιοποίησης Γεωθερμικής ενέργειας για το νησί της Μήλου	65
4.1.	Περιγραφή.....	65
4.2.	Γεωργικές χρήσεις	65
4.2.1.	Διαστασιολόγηση Θερμοκηπίου	70
4.2.2.	Αξιολόγηση κόστους θερμοκηπίου	76
4.3.	Αφαλάτωση	76
4.4.	Τηλεθέρμανση	82
	Κεφάλαιο 5 - Aspen Hysys	84
5.1.	Λογισμικό Σχεδίασης συστημάτων Aspen Hysys.....	84
5.2.	Εισαγωγή στο Aspen Hysys.....	84
5.3.	Δημιουργία νέας προσομοίωσης	85
	Κεφάλαιο 6 - Σενάρια γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής στο νησί της Μήλου	89
6.1.	Ενεργειακό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής Μήλου	89
6.2.	Ηλεκτροπαραγωγή με χρήση Γεωθερμικής ενέργειας	91
6.2.1.	Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής 5MW	91
6.2.2.	Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής 10MW	93
6.2.3.	Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής 15MW	95
	Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα	98
	Κεφάλαιο 8 – Βιβλιογραφία.....	100
	Βιβλία – Άρθρα - Εργασίες	100
	Ιστοσελίδες.....	101

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Δρ. Βραχόπουλο Μιχαήλ για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της διατριβής μου με την διπλωματική αυτήν εργασία. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον Ι.Γ.Μ.Ε., τον Δ.Ε.Δ.Η.Ε Μήλου, την ΔΕΗ Μήλου και τον Δήμο Μήλου για τις πολύτιμες πληροφορίες, συμβουλές αλλά και συμβουλές όσον αφορά την διπλωματική μου εργασία.

Περίληψη

Η Μήλος είναι ένα μέρος όπου υπάρχει ένα αξιόλογο γεωθερμικό πεδίο. Αυτό το πεδίο αξιολογείται και ταξινομείται ανάμεσα σε χαμηλής, μέσης αλλά και υψηλής ενθαλπίας. Αναλόγως τον τύπο του γεωθερμικού πεδίου ορίζονται οι επικινδυνότητες όσον αναφορά το περιβάλλον αλλά και την τοπική κοινωνία η οποία είχε παλαιότερα πληγεί από την αξιοποίηση ενός γεωθερμικού πεδίου. Για κάθε τύπο γεωθερμικού πεδίου δίνονται συγκεκριμένοι τρόποι αξιοποίησης αναλόγως τις ανάγκες της κάθε περιοχής στο νησί της Μήλου. Εξετάζεται επιπλέον η λειτουργία μιας εγκατάστασης αξιοποίησης γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας. Ανάμεσα σε περιπτωσιολογικές μελέτες επιλέγονται τα ασφαλέστερα αλλά και τα βέλτιστα οικονομικά σενάρια για κάθε περίπτωση γεωθερμικού πεδίου. Μέχρι στιγμής υπάρχουν εφαρμογές εκμετάλλευσης γεωθερμικών πεδίων υψηλής μέσης αλλά και χαμηλής ενθαλπίας ανά τον κόσμο. Η εκμετάλλευση χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικών πεδίων έχουν εφαρμογή σε αγροτικές χρήσεις, σε θέρμανση ή ψύξη χώρων και σε θέρμανση νερού. Η εκμετάλλευση της μέσης και υψηλής ενθαλπίας γεωθερμικών πεδίων γίνεται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και για την κάλυψη των αναγκών σε βιομηχανικές χρήσεις. Επί της ουσίας θα μελετηθεί η εν δυνάμει εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας εφόσον αρχικά καταγραφεί αυτή από τις πληροφορίες που υπάρχουν σε βάσεις δεδομένων (Ελληνικές και Διεθνείς – ΙΓΜΕ, Πανεπιστήμια κ.λπ.). Η εκμετάλλευση της θα επεκταθεί σε όλες τα επιστημονικά και λειτουργικά πεδία όπως ηλεκτρική παραγωγή, θερμική εκμετάλλευση (οικιστική, αγροτική και άλλες επαγγελματικές δραστηριότητες), εκμετάλλευση ψύξης και κλιματισμού.

Κεφάλαιο 1 - Γεωθερμία

1.1. Γεωθερμική Ενέργεια

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ροή ενέργειας από βαθύτερα στρώματα της γης υπό μορφή θερμού νερού ή ατμού προς την επιφάνεια για την παραγωγή ενέργειας. Η θερμότητα αυτή που έρχεται στην επιφάνεια ουσιαστικά είναι αποθηκευμένη στα κατώτερα στρώματα κάτω από τη στερεή επιφάνεια της Γης, όπου αναφέρετε ως ο κύριος ορισμός σύμφωνα με το άρθρο 2 της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/EK (1) για την γεωθερμική ενέργεια. Συνήθως βρίσκεται σε συγκεκριμένες περιοχές ή πεδία τα οποία έχουν συγκεκριμένα όρια. Οι περιοχές αυτές ορίζονται από τις ιδιότητες τους ως προς την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Ορίζεται ως μια ήπια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας διότι θεωρείται απίθανο να σταματήσει να υπάρχει ροή θερμότητας από βαθύτερα στρώματα της Γης σε υψηλότερα καθώς επίσης και ανανεώσιμη θεωρείται ως προς τον φυσικό πόρο. Βέβαια σε πολλές περιπτώσεις αξιοποίησης των πεδίων αυτών, λόγω υπερβάλλουσας χρήσης, παρουσιάζουν μείωση θερμοκρασίας και παροχής ρευστού, κάτι το οποίο αντιμετωπίζεται με την μείωση για κάποιο χρονικό διάστημα της εκμετάλλευσης του ώστε να ανακάμψει.[1]

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας με την σημερινή τεχνολογία είναι δυνατό να καλύψει μεγάλες και σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Επιπλέον βάση του ορισμού χαρακτηρίζεται και η θερμοαποθηκευτική ικανότητα των επιφανειακών στρωμάτων της Γης όπου με τις σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις μπορεί να καλύψει τις καθημερινές ανάγκες όσον αναφορά την κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας με οικονομικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

1.2. Γεωθερμικά πεδία

Ως γεωθερμικό πεδίο ορίζεται μια περιοχή όπου υπάρχει θερμική ενέργεια συγκεντρωμένη σε μεγαλύτερη ποσότητα από ότι σε άλλες περιοχές, με αποτέλεσμα να μπορεί να αξιοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Συνήθως, εντοπίζεται σημαντική ηφαιστειακή δραστηριότητα και συνεπώς υπέρθερμες περιοχές. Ο διαχωρισμός στα γεωθερμικά πεδία γίνεται βάση των υδρολογικών, γεωλογικών και θερμικών ιδιοτήτων τους.

- i. Υδροθερμικά συστήματα ή πόροι (hydrothermal system or resources)
Είναι φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε ταμειυτήρες, θερμαίνονται από κάποια πηγή θερμότητας και εμφανίζονται στην επιφάνεια ως θερμές εκδηλώσεις. Μια επιπλέον ονομασία δυο δίνεται σε αυτά τα συστήματα είναι συστήματα συναγωγής (convective system) διότι η θερμότητα μεταφέρεται στο ρευστό υπό τη διαδικασία της συναγωγής. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται κατά κόρων μέχρι στιγμής και αποτελούν σχεδόν όλο το σύνολο των γεωθερμικών πεδίων. Αυτά τα συστήματα χρειάζεται να διαστασιοποιηθούν.
- ii. Επιφανειακή γεωθερμία (earth energy)
Η ενέργεια που αξιοποιείται είναι από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία κάποιου μέσου με χρήση υλικών αντοχής αναλόγως το βάθος. Επίσης μπορεί να αξιοποιηθούν υπόγεια νερά ή και νερά από ποτάμια και θάλασσα. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται η επιφανειακή γεωθερμία με ταχύτατους ρυθμούς.

- iii. Προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα (enhanced geothermal systems)
Υφίσταται σε βάθος από 2 μέχρι 10 km όπου η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή χωρίς να περιέχεται κυκλοφορία ή ύπαρξη νερού διότι δεν υπάρχουν ρήγματα ώστε να το επιτρέπουν. Η ανάκτηση της ενέργειας απ' αυτά μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση νερού που διοχετεύεται από την επιφάνεια, μέσω γεωτρήσεων, και επιστρέφει ζεστό νερό ή και ατμό μέσω άλλων γεωτρήσεων. Αυτά τα συστήματα χρειάζεται να διαστασιοποιηθούν.
- iv. Γεωπεπιεσμένα συστήματα (geopressed systems)
Αποτελούνται από εγκλωβισμένα ρευστά σε μεγάλο βάθος, τα οποία έχουν παγιδευτεί από πετρώματα όπου η πίεσή τους είναι αρκετά μεγαλύτερη της υδροστατικής. Ενώ υπάρχει η τεχνολογία για την αξιοποίηση τέτοιων συστημάτων, λόγω βάθους και χρόνου δεν είναι μια οικονομικά αποδοτική επένδυση.
- v. Μαγματικά συστήματα (magma systems)
Με τη βοήθεια γεωτρήσεων σε μαγματικές διεισδύσεις ανακτούν τη θερμότητα μαγματικών σχηματισμών σε μικρά βάθη όπου το κόστος βάσης της υπάρχουσας τεχνολογίας είναι χαμηλό.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση γίνεται αναλόγως την θερμοκρασία των ρευστών που έρχονται στην επιφάνεια της Γης:

- i. Χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες μικρότερες από 90°C¹)
- ii. Μέσης ενθαλπίας (θερμοκρασίες ανάμεσα σε 90°C - 150°C)
- iii. Υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150°C)

1.3. Αξιοποίηση Γεωθερμίας

Για την αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων, η χρησιμοποιούμενη τεχνική σήμερα είναι αυτή των γεωτρήσεων μέσω των οποίων γίνεται η εξόρυξη του ρευστού που βρίσκεται αποθηκευμένο στο εσωτερικό του εδάφους. Σημειώνεται ότι και για τα τρία είδη πεδίων χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας η διαδικασία αξιοποίησης είναι παρόμοια. Μέσω των γεωτρήσεων δίνεται διέξοδος στο ρευστό ως προς την άνοδο του και έξοδό του στην επιφάνεια ενώ παράλληλα ενώ δημιουργείται και η γεώτρηση της επανέγχυσης ρευστού πίσω στον φυσικό του ορίζοντα. Η γεώτρηση επιτρέπει την ελεγχόμενη άνοδο του ρευστού γεγονός που το καθιστά πιο εύκολα αξιοποιήσιμο. Συνήθως τα ρευστά ανεβαίνουν με την δική τους πίεση και αξιοποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή με διάφορους τρόπους. Η γεώτρηση της επανέγχυσης ωθεί το ρευστό πίσω στην Γη ώστε να κλείσει ο κύκλος. Στην επιφανειακή γεωθερμία δεν είναι πάντα απαραίτητη η γεώτρηση άντλησης υπόγειου ρευστού διότι η αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους σε χαμηλά βάθη αξιοποιείται με μια διάταξη σωληνώσεων που βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους που ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης (γεωεναλλάκτης) θερμότητας καθώς και μιας αντλίας θερμότητας. Πολύ σημαντική είναι η διαφοροποίηση ανάμεσα στα κλειστά και ανοιχτά συστήματα όσον αφορά την απαιτούμενη χρήση γης. Η απόδοση των κλειστών συστημάτων απαιτεί μεγάλη έκταση γης και μεγάλο μήκος σωληνώσεων εναλλάκτη σε αντίθεση με αυτά του ανοιχτού συστήματος τα οποία όμως υπάρχει ο κίνδυνος διαβρώσεων – επικαθήσεων αλλά και μεταβολή της ποιότητας και ποσότητας των υπεδάφικων ρευστών. Διαπιστώνεται

¹ Κατ' άλλους 100° C

τελικά, πως η τεχνολογία και ο τρόπος αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτάται πάντα από την μορφή της και το δυναμικό της.

1.3.1. Πεδίο Υψηλής ενθαλπίας

Ως πεδία υψηλής ενθαλπίας αναφέρονται εκείνα που οι υδροφόροι ορίζοντες τους έχουν με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 150°C. Το ρευστό που υπάρχει σε αυτά τα πεδία είναι συνήθως μείγμα υγρού ατμού και θερμού νερού. Ως συμπέρασμα προκύπτει ότι τα πεδία αυτών των θερμοκρασιών αξιοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή. Η αξιοποίηση τους γίνεται με πανομοιότυπο τρόπο όπως και κατά την λειτουργία ενός θερμοηλεκτρικού εργοστασίου.[2]

Επιπλέον διαχωρισμός ως προς τον τρόπο αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας γίνεται από την σύσταση και φάση του γεωθερμικού ρευστού.

- Όταν το γεωθερμικό ρευστό εξορύσσεται σε θερμοκρασίες άνω των 180°C υπό τη μορφή ξηρού ατμού, η αξιοποίηση του γίνεται απευθείας από τον ατμοστρόβιλο (εφόσον ο ατμός οδηγείται άμεσα σε αυτόν) όπου θέτει σε κίνηση γεννήτρια με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Όταν το γεωθερμικό ρευστό εξορύσσεται ως διφασικό (υγρό και ατμός), γίνεται διαχωρισμός της υγρής από την αέρια φάση η οποία στη συνέχεια εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση της κεφαλής της γεώτρησης. Η παραπάνω διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα ο ατμός να οδηγηθεί στον στρόβιλο και η υγρή φάση είτε να εκτονωθεί εκ' νέου ώστε να προκύψει ατμός είτε να αξιοποιηθεί για άλλες χρήσεις.

1.3.2. Πεδίο Μέσης ενθαλπίας

Ως πεδία μέσης ενθαλπίας αναφερόμαστε για υδροφόρους ορίζοντες με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 100°C έως και 150°C. Όταν το γεωθερμικό ρευστό εξορύσσεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100°C, γίνεται χρήση οργανικού κύκλου ή κύκλου αμμωνίας, σπάνια σε λίγες περιπτώσεις. Η χρήση των δυο παραπάνω κύκλων γίνεται με τη χρήση ενδιάμεσου εναλλάκτης θερμότητας διαμέσου του οποίου ρέει ρευστό με σημείο βρασμού χαμηλότερο από τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού αλλά και από το σημείο βρασμού του νερού, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται και αυτοί οι ατμοί χρησιμοποιούνται σε στρόβιλο για ηλεκτροπαραγωγή.

1.3.3. Πεδίο Χαμηλής ενθαλπίας

Σε πεδία χαμηλής ενθαλπίας αναφέρονται εκείνα τα πεδία που οι υδροφόροι ορίζοντες τους έχουν θερμοκρασίες ανάμεσα σε 25°C² και 100°C. Στην περίπτωση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας η αξιοποίηση τους γίνεται επί το πλείστον για την παραγωγή θερμότητας συνήθως μικρής κλίμακας. Αυτό περιέχει θέρμανση χώρων ξήρανση προϊόντων και άλλες τέτοιες χρήσεις. Στις εφαρμογές θέρμανσης παρεμβάλλεται συνήθως εναλλάκτης θερμότητας ή σπανίως γεωθερμική αντλία θερμότητας. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις άμεσης θέρμανσης χώρων όπου το ρευστό διοχετεύεται απευθείας σε κύκλωμα, ακόμα σπανιότερα. Σε γενικές γραμμές τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν το γεωθερμικό ρευστό

² Με την νομοθεσία της Ελλάδας του 2019, ορίζεται ως χαμηλή ενθαλπία η περιοχή θερμοκρασιών από 30° – 90° C

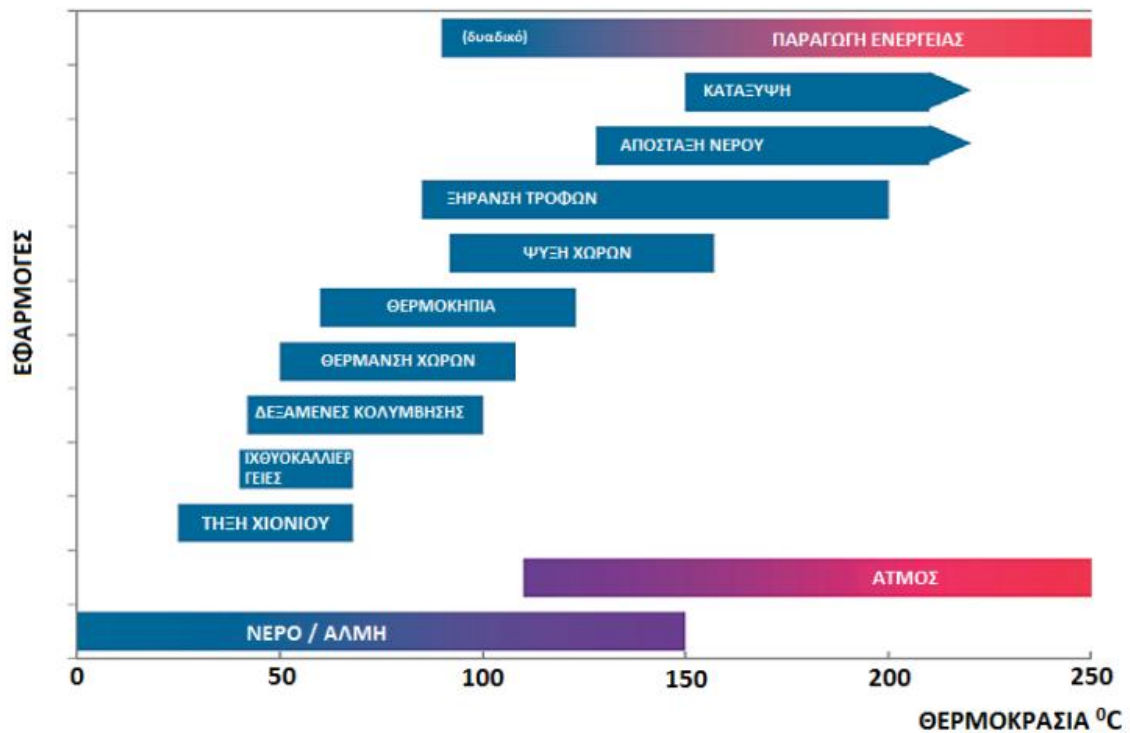
ως θερμοπηγή συνεπώς απαιτείται σχεδόν πάντα μία ενδιάμεση διάταξη που θα το αξιοποιήσει.

1.4. Εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας

Οι χρήσεις ή οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι πάρα πολλές. Η χρήση της για ηλεκτροπαραγωγή αλλά και θέρμανση είναι οι δυο βασικές μορφές αξιοποίησης της. Αναλόγως την θερμοκρασία αλλά και το βάθος που βρίσκεται το γεωθερμικό ρευστό ορίζει διαφορετικές εφαρμογές αξιοποίησης της γεωθερμίας. Παρακάτω παραθέτονται θερμοκρασίες γεωθερμικού ρευστού σύμφωνα με τις οποίες μπορούν να υλοποιηθούν διάφορες εφαρμογές χρησιμοποιώντας ως πηγή την γεωθερμική ενέργεια:[1]

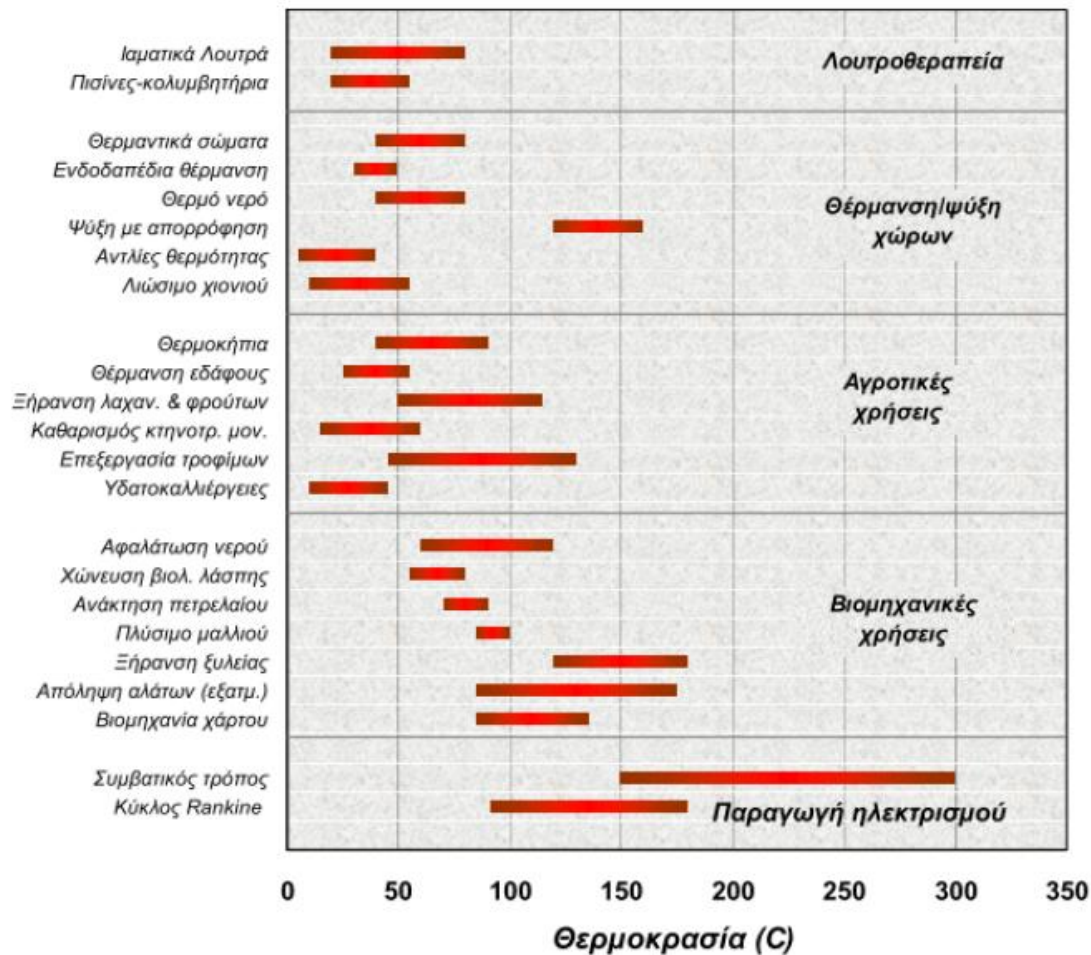
- i. 180 °C, εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, ψύξη με απορρόφηση (βαθιά κατάψυξη), κατεργασία χαρτομάζας
- ii. 170 °C: παραγωγή βαρέως ύδατος, ξήρανση διατομών
- iii. 160 °C: ξήρανση ψαριών, ξυλείας, παραγωγή ηλεκτρισμού με ατμοστρόβιλο
- iv. 150 °C, παραγωγή αλουμίνιας με τη μέθοδο Bayer
- v. 140 °C: ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κονσερβοποίηση
- vi. 130 °C: εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση
- vii. 120 °C: παραγωγή γλυκού νερού με απόσταξη
- viii. 110 °C: ξήρανση τσιμεντόλιθων
- ix. 100 °C: ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων, πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού, παραγωγή ηλεκτρισμού με οργανικά μέσα
- x. 90 °C: ξήρανση ψαριών
- xi. 80 °C: θέρμανση οικισμών, θέρμανση θερμοκηπίων, παραγωγή ηλεκτρισμού με οργανικά μέσα κάτω όριο
- xii. 70 °C: ψύξη (κατώτερο όριο) για κλιματισμό
- xiii. 60 °C: εκτροφή διαφόρων ζώων
- xiv. 50 °C: καλλιέργεια μανιταριών
- xv. 40 °C: θέρμανση εδάφους, θέρμανση οικισμών, ιαματικά λουτρά
- xvi. 30 °C: πισίνες, ζύμωση, θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών
- xvii. 20 °C: ιχθυοκαλλιέργειες
- xviii. 10 °C: εγκαταστάσεις αξιοποίησης κανονικού γεωθερμικού πεδίου

Τα παραπάνω παρατίθεται στο διάγραμμα Lindal (1973) όπου διαχωρίζονται οι εφαρμογές οι οποίες είναι εφαρμόσιμες αναλόγως με την θερμοκρασία του ρευστού. Το διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών υπογείων ρευστών.[1]



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα Lindal

Το ίδιο διάγραμμα τροποποιήθηκε από τον καθηγητή Φυτίκα Μ. το 2008 δίνοντας μια πιο λεπτομερή μορφή του διαγράμματος και αναλύοντας περισσότερο τις δυνητικές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας. Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων, δοκιμασμένων και πιθανών, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.



Διάγραμμα 2 Χρήσεις γεωθερμίας τροποποιημένο διάγραμμα lindal

1.4.1. Ηλεκτροπαραγωγή

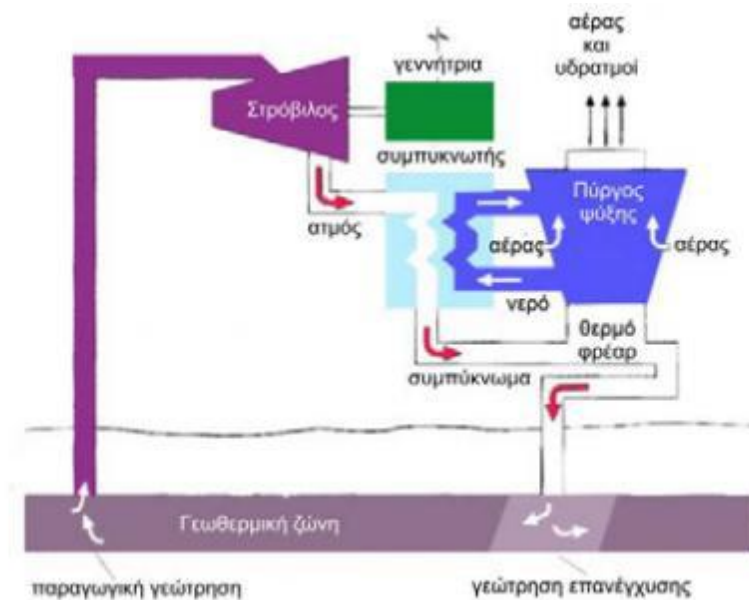
Η ηλεκτροπαραγωγή είναι μια από τις βασικότερες και σημαντικότερες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας. Για την υλοποίηση ενός ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού με χρήση γεωθερμίας είναι απαραίτητη η ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας³. Για την υλοποίηση ενός ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού με χρήση γεωθερμικού πεδίου διακρίνονται τα παρακάτω κύρια συστήματα:

i. Κύκλος ξηρού ατμού (Dry Steam), (θερμοκρασία ρευστού >180°C)

Η μέθοδος ξηρού ατμού ορίζεται για μικρό αριθμό ταμιευτήρων οι οποίοι εξάγουν κορεσμένο ατμό ή υπέρθερμο ατμό. Στις μονάδες ξηρού ατμού ο ξηρός ατμός, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, από τη γεώτρηση ωθείται απευθείας στον ατμοστρόβιλο, όπου εκτονώνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις παράγοντας μηχανικό έργο το οποίο στην συνέχεια μετατρέπεται μέσω γεννητριών σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αν υπάρχουν υδρατμοί στο ρευστό πριν από την είσοδο του ατμού στον ατμοστρόβιλο τοποθετείται ένας διαχωριστής με σκοπό την αφαίρεση της υγρασίας ατμού (moisture remover separator). Αφού εκτονωθεί ο ατμός στον στρόβιλο, σε χαμηλότερη πίεση από την αρχική, οδηγείται στον

³ Βεβαίως η σύγχρονη τεχνολογία, όπως και η ενεργειακή κρίση επιτρέπει και την αξιοποίηση χαμηλότερων θερμοκρασιών.

συμπυκνωτή ώστε να μετατραπεί σε συμπύκνωμα (ή άλμη). Το συμπύκνωμα επανεγχύεται στη γεώτρηση επανέγχυσης ώστε να δημιουργηθεί ένα κλειστό κύκλωμα. Η παραπάνω διαδικασία βελτιώνει την απόδοση του ατμοστρόβιλου και εκμηδενίζει το ποσοστό ρύπανσης του περιβάλλοντος που θα μπορούσε να προκληθεί από την άμεση συμπύκνωση του ατμού από τον πύργο ψύξης στην ατμόσφαιρα. Το τυπικό μέγεθος τέτοιων μονάδων ξηρού ατμού είναι 50-60MWe, αν και πρόσφατα έχουν τεθεί σε λειτουργία μονάδες της τάξης των 110MWe.



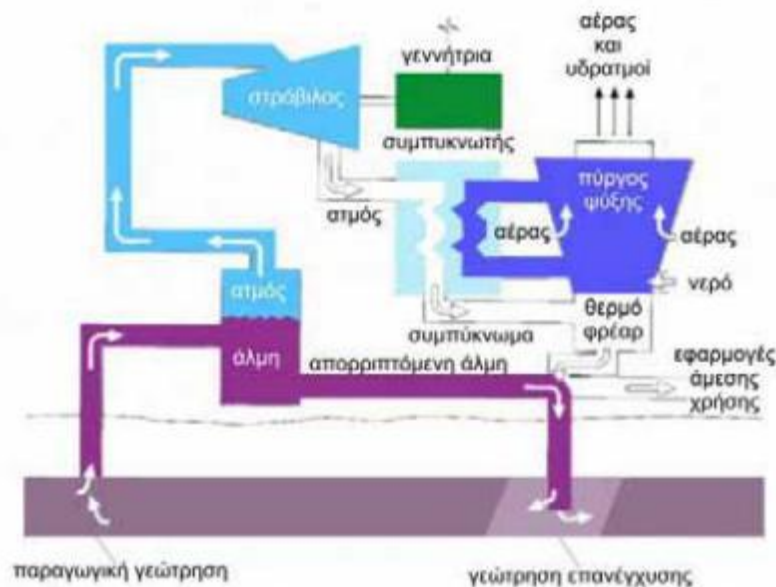
Σχήμα 1 Σύστημα Ξηρού Ατμού. (ENER, 2018)

ii. Κύκλος άμεσης ατμοποίησης (Flash Steam), (Θερμοκρασία ρευστού >150°C)

Το σύστημα άμεσης ατμοποίησης αποτελεί το πλέον πιο κοινό σύστημα γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής. Τα αξιοποιήσιμα πεδία είναι αυτά με θερμοκρασίες γεωθερμικού ρευστού άνω των 150°C⁴. Το ρευστό που υπάρχει στον ταμιευτήρα είναι υπέρθερμος ατμός, όμως με την άνοδο του στην επιφάνεια χάνει πίεση και φτάνει υπό τη μορφή υγρού ατμού. Ένας σταθμός άμεσης ατμοποίησης μπορεί να είναι μονού είτε πολλαπλού flash. Το μίγμα υγρού-ατμού σε οποιαδήποτε περίπτωση διαχωρίζεται σε ένα διαχωριστή και η ατμώδης φάση οδηγείται στον ατμοστρόβιλο της εγκατάστασης για την παραγωγή ενέργειας στην γεννήτρια του ατμοστρόβιλου, ενώ η υγρή φάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για θερμικούς σκοπούς (θέρμανση χώρων, πισινών, χρήση ως θερμικός φορέας σε δυαδικούς κύκλους) είτε να επανεγχυθεί στον ταμιευτήρα, είτε να υποστεί έναν επιπλέον τεχνητό στραγγαλισμό (double flash), ώστε να παραχθεί ένα νέο μίγμα υγρού-ατμού για να επαναληφθεί η προηγούμενη διαδικασία. Τα παραπάνω προϋποθέτουν μεγάλη πίεση ρευστού στην γεώτρηση. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω σταθμός άμεσης ατμοποίησης μπορεί να είναι μονού είτε πολλαπλού flash το οποίο ορίζεται αναλόγως με την θερμοκρασία του ρευστού. Σύμφωνα με τα

⁴ με την ανάπτυξη της τεχνολογίας σήμερα η δυνατότητα εκμετάλλευσης των πεδίων ξεκινά από 120°C

παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο στάδια δεξαμενών ακαριαίας ατμοποίησης. Στην περίπτωση αυτή, το νερό που διαχωρίζεται στη δεξαμενή του πρώτου σταδίου οδηγείται στη δεξαμενή ακαριαίας ατμοποίησης δεύτερου σταδίου, όπου διαχωρίζεται επιπλέον ατμός σε χαμηλότερη πίεση. Το νερό, που απομένει στη δεξαμενή αυτή απορρίπτεται. Η εγκατάσταση διπλής ακαριαίας ατμοποίησης double flash steam ωθεί ατμό σε δύο διαφορετικές πιέσεις στον στρόβιλο. Για να είναι εφικτή η παραπάνω διαδικασία αλλά και αποδοτική χρησιμοποιείται ένας στρόβιλος διπλής εισόδου, ο οποίος μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια το μεγαλύτερο μέρος του ατμού. Εάν, το γεωθερμικό ρευστό έχει υψηλό επίπεδο αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών ενσωματώνεται ειδικός εξοπλισμός για τον έλεγχο των επικαθήσεων στο δοχείο ακαριαίας ατμοποίησης του ατμού στην είσοδο της μονάδας και επιπλέον ειδικός εξοπλισμός αποκατάστασης των στερεών στην έξοδο αυτής. Αυτό εξασφαλίζει ασφαλή λειτουργία εξοπλισμού με μεγαλύτερη αντοχή στον χρόνο.

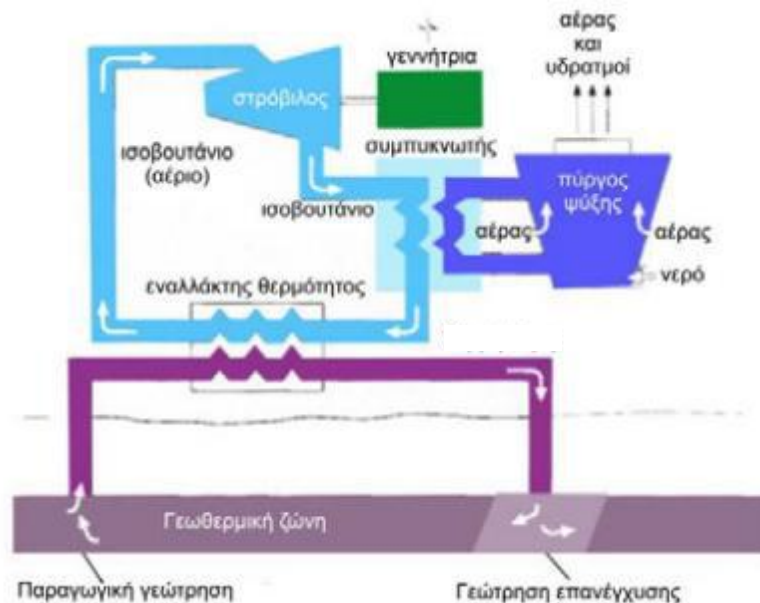


Σχήμα 2 Σύστημα άμεσης ατμοποίησης

iii. Διαδικού κύκλου (Binary Cycle)

Οι μονάδες δυαδικού κύκλου ορίζονται σε χαμηλής ή μέσης ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία, όμως πολλές είναι οι περιπτώσεις που συναντάται και σε υψηλής ενθαλπίας πεδία. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται υβριδικές μονάδες, όπου το γεωθερμικό ρευστό βρίσκεται σε υγρή φάση, διέρχεται από εναλλάκτη θερμότητας για να θερμάνει και να ατμοποιήσει το πτητικό ρευστό το οποίο εισέρχεται σε υγρή φάση όπου και αυτό διέρχεται από τον ίδιο εναλλάκτη θερμότητας (working or process or motive fluid) και ακολούθως διοχετεύεται στη γεώτρηση επανέγχυσης. Ουσιαστικά οι μονάδες αυτές λειτουργούν με ένα ενδιάμεσο εργαζόμενο μέσο (working fluid), όπως το ισοπεντάνιο ή ισοβουτάνιο ή μίγμα αμμωνίας-νερού, το οποίο εξατμίζεται και κινεί τον στρόβιλο. Κάθε ρευστό που έχει χαμηλό σημείο βρασμού και υψηλή πίεση ατμών σε σύγκριση με το νερό σε δεδομένη θερμοκρασία είναι κατάλληλο ως εργαζόμενο μέσο. Τα πτητικά ρευστά (working fluids) χρησιμοποιούνται στα δυαδικά συστήματα για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη

μεταφορά θερμότητας και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από χαμηλότερες θερμοκρασίες. Πρόκειται για ένα κλειστό κύκλωμα ροής του γεωθερμικού ρευστού με μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, τα δύο ρευστά παραμένουν εντελώς διαχωρισμένα με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το γεωθερμικό ρευστό στο εργαζόμενο μέσο όπως προαναφέρθηκε. Το γεωθερμικό ρευστό σε υγρή φάση, συνήθως με χρήση αντλητικού συγκροτήματος, διοχετεύεται πρώτα στον υπερθερμαντήρα, στην συνέχεια στον εξατμιστή και ακολούθως στον προθερμαντήρα, όπου ψύχεται και μεταφέρει τη θερμότητα του στο εργαζόμενο μέσο. Οι τρεις αυτές διατάξεις είναι εναλλάκτες θερμότητας. Τέλος ωθείται στην γεώτρηση επανέγχυσης δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα ροής του γεωθερμικού ρευστού. Το εργαζόμενο μέσο λειτουργεί και αυτό σε κλειστό κύκλωμα, διέρχεται από τους τρεις διαδοχικούς εναλλάκτες (ή έναν με τρεις διακριτές βαθμίδες), όπου εξατμίζεται και υπερθερμαίνεται, απορροφώντας θερμότητα από το γεωθερμικό ρευστό, και ακολούθως εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο σε αέρια φάση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εξερχόμενο, το εργαζόμενο μέσο, από τον ατμοστρόβιλο διέρχεται από τον συμπυκνωτή για τη ψύξη του, όπου συμπυκνώνεται. Ακολούθως με μια αντλία κυκλοφορίας και ανύψωσης πίεσης προωθείται προς τον προθερμαντήρα για την πρώτη αύξηση της θερμοκρασίας του από το γεωθερμικό ρευστό και ακολούθως οδεύει στον εξατμιστή και τον υπερθερμαντή για την επανάληψη του κλειστού κύκλου διεργασίας του. Οι εναλλάκτες θερμότητας συμπυκνωτή, προθερμαντήρα, εξατμιστή και υπερθερμαντήρα που χρησιμοποιούνται στις μονάδες δυαδικού τύπου είναι συνήθως τύπου κελύφους – αυλών (shell and tube exchanger) ή πλακοειδείς. Με κατάλληλες επιλογές εργαζόμενων μέσων ή δευτερευόντων ρευστών μπορεί να γίνει αξιοποίηση γεωθερμικών πεδίων με θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών η πρωτευόντων ρευστών από 85°C έως 170°C.

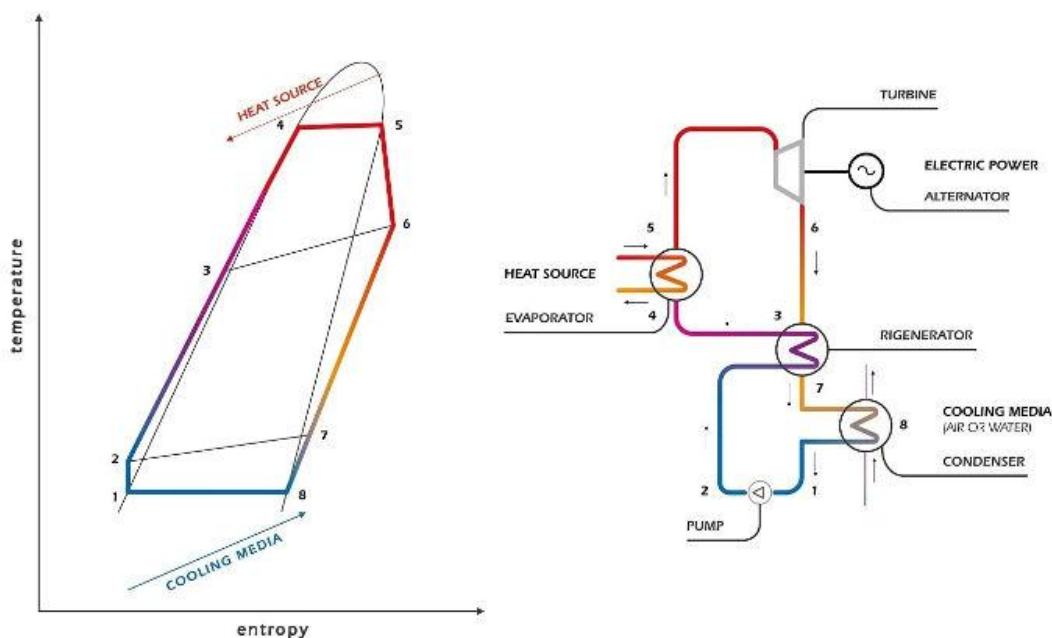


Σχήμα 3 Σύστημα δυαδικού κύκλου

Υπάρχουν τρεις διατάξεις μονάδων δυαδικού τύπου με κύρια διαφοροποίηση στην επιλογή του πτητικού ρευστού εργασίας (εργαζόμενο μέσου) :

❖ Η διάταξη μονάδας δυαδικού τύπου Rankine (Organic Rankine Cycle, ORC)

Η μονάδα δυαδικού τύπου (Binary Cycle) με σύστημα Organic Rankine Cycle (ORC) χρησιμοποιεί εκτός των άλλων εξαρτημάτων (ατμοστρόβιλος, αντλίες, πύργοι ψύξης, κλπ) και τέσσερις τύπους εναλλακτών θερμότητας (συμπυκνωτής, υπερθερμαντήρας, προθερμαντήρας και εξατμιστής). Το βασικό εργαζόμενο μέσο που χρησιμοποιείται σε αυτήν τη διάταξη είναι το ισοπεντάνιο (isopentane).



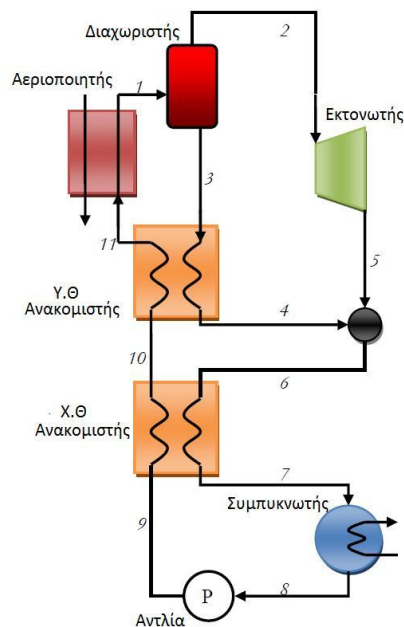
Σχήμα 4 Σύστημα δυαδικού τύπου Rankine ORC (Turboden)

❖ Η διάταξη μονάδας δυαδικού τύπου Kalina (Kalina Cycle)

Αυτή η διάταξη αποτελεί μια τροποποίηση του κύκλου Clausius-Rankine. Το βασικό εργαζόμενο μέσο που χρησιμοποιείται είναι το υδατικό διάλυμα αμμωνίας (ammonia-water mixture). Η μονάδα δυαδικού τύπου Kalina Cycle χρησιμοποιεί εκτός των άλλων εξαρτημάτων (ατμοστρόβιλος, αντλίες, πύργοι ψύξης, κλπ) και τέσσερις τύπους εναλλακτών θερμότητας συμπυκνωτής, εξατμιστής, προθερμαντήρας χαμηλής θερμοκρασίας και προθερμαντήρας υψηλής θερμοκρασίας. Η σύσταση του ρευστού λειτουργίας στον ατμοποιητή είναι διαφορετική από αυτή στο στρόβιλο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μια διάταξης απόσταξης η οποία αναφέρεται σε ορισμένες εργασίες και ως θερμική συμπίεση (thermal compression). Το μείγμα, το οποίο δεν έχει περιέλθει εξ' ολοκλήρου σε αέρια μορφή κατά την έξοδο από τον εναλλάκτη, εισέρχεται σε διαχωριστή φάσεων. Το ρεύμα του αέριου μείγματος (πλούσιο σε αμμωνία) κατά την έξοδο του από το διαχωριστή εισάγεται σε στρόβιλο και εκτονώνεται στην πίεση του συμπυκνωτή παράγοντας ωφέλιμο έργο. Το υγρό μείγμα αμμωνίας - νερού, με τη σειρά του, αμέσως μετά την έξοδο του από το διαχωριστή, εισέρχεται σε συσκευή αναγέννησης θερμότητας υψηλής πίεσης και στη συνέχεια σε βαλβίδα στραγγαλισμού για να επανέλθει η πίεση του στην τιμή της πίεσης του συμπυκνωτή. Τα δύο ρεύματα αναμειγνύονται σε μείκτη και με την αρχική

συγκέντρωση αμμωνίας το νέο μείγμα εισάγεται στη συσκευή αναγέννησης θερμότητας χαμηλής πίεσης πριν εισέλθει στο συμπυκνωτή. Εξ' αιτίας της μείωσης της θερμοκρασίας του μείγματος, μια διεργασία απορρόφησης λαμβάνει χώρα, στην οποία ο πλούσιος σε αμμωνία ατμός απορροφάται απ' το φτωχότερο σε αμμωνία υγρό, λειτουργώντας συμπληρωματικά στη συμπύκνωση. Η κινητική της διεργασίας απορρόφησης καθορίζει το ρυθμό της απορρόφησης, ενώ ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας ελέγχει τη συμπύκνωση. Τελικά το μείγμα εξέρχεται σε κατάσταση κορεσμένου υγρού από τον συμπυκνωτή και εισέρχεται σε κυκλοφορητή - αντλία, ο οποίος επαναφέρει την πίεση του ρευστού λειτουργίας στο υψηλό επίπεδο πίεσης του συστήματος. Στη συνέχεια το μείγμα σε υψηλή πλέον πίεση, προθερμαίνεται στις συσκευές αναγέννησης θερμότητας χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας, διαδοχικά. Ο συμπυκνωτής που χρησιμοποιείται είναι συνδεδεμένος με πύργο ψύξης, ο οποίος είναι στις περισσότερες περιπτώσεις υδρόψυκτος.

Ένα πλεονέκτημα του κύκλου Kalina έναντι του ORC είναι ότι εργάζεται σε υψηλότερα επίπεδα πίεσης, επομένως για την ίδια ισχύ απαιτεί μικρότερη ροή όγκου εργαζόμενου μέσου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι διαστάσεις αλλά και διατομές του ατμοστροβίλου και των σωληνώσεων να είναι μικρότερες.



Σχήμα 5 Διάταξη δυαδικού κύκλου Kalina

❖ Η διάταξη μονάδας δυαδικού τύπου Kalex/New Kalina

Ένας νέος κύκλος γνωστός ως Kalex/New Kalina έχει εφευρεθεί πρόσφατα από τον ίδιο τον Kalina A. Αυξημένες πληροφορίες θεωρητικά και εμπορικά δεν υπάρχουν ακόμη.

1.4.2. Γεωργία

Η αξιοποίηση της γεωθερμίας στην γεωργία είναι μια πολύ σημαντική εφαρμογή. Ενδιαφέρον έχει η ανάπτυξη εφαρμογών όπως η θέρμανση θερμοκηπίων, η πρωίμηση υπαίθριων καλλιεργειών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων αλλά και η θέρμανση

ιχθυοδεξαμενών. Ένας κύριος παράγοντας που ωθεί την αξιοποίηση της γεωθερμίας στην γεωργία είναι το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας όσον αναφορά την ενέργεια.

Η ξήρανση ή αφυδάτωση αγροτικών προϊόντων αποτελεί τη συνηθέστερη βιομηχανική χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής και μέσης ενθαλπίας. Χρησιμοποιείται σε ξηραντήρια που λειτουργούν με χρήση θερμού αέρα και διαφορά των γεωθερμικών ξηραντηρίων με τα συμβατικά ξηραντήρια έγκειται στη χρήση γεωθερμικής ενέργειας για την θέρμανση του αέρα που εισέρχεται στο ξηραντήριο. Αγροτικά προϊόντα που αφυδατώνονται με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών είναι κρεμμύδια, σκόρδα, μήλα, αχλάδια, μπανάνες, μάγκο, ανανάς, μηδική, φύκια, ξυλεία κτλ. Οι μεγαλύτερες μονάδες ξήρανσης, που ξεκίνησαν στη δεκαετία του 60 και του 70, αφορούν στη ξήρανση μηδικής, ξυλείας και χαρτοπολτού στη Ν. Ζηλανδία. Οι μονάδες αυτές εμφανίζουν αυξημένη ανταγωνιστικότητα καθώς το κόστος τους είναι ανταγωνιστικό αλλά και μικρότερο από το κόστος των συμβατικών μονάδων. Τα γεωθερμικά ξηραντήρια είναι από τις πλέον αποδοτικές, οικονομικά, εφαρμογές γεωθερμίας. Απαιτεί πολύ μικρότερα κεφάλαια σε σχέση με μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργεί περισσότερες θέσεις εργασίας και επιπρόσθετα απόσβεσή γίνεται σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

Στην Ελλάδα είχε λειτουργήσει σε πιλοτικό στάδιο ένα προ ξηραντήριο βαμβακιού (τύπου πύργου) που λειτούργησε επιδεικτικά την περίοδο 1990-91 στη Ν. Κεσσάνη Ξάνθης. Από το 2001 όμως λειτούργει παραγωγικά στη περιοχή του Νέου Εράσμιου Ξάνθης μία μονάδα ξήρανσης ντομάτας με ιδιαίτερη επιτυχία.[1]**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της ναφοράς δεν βρέθηκε.**[5]

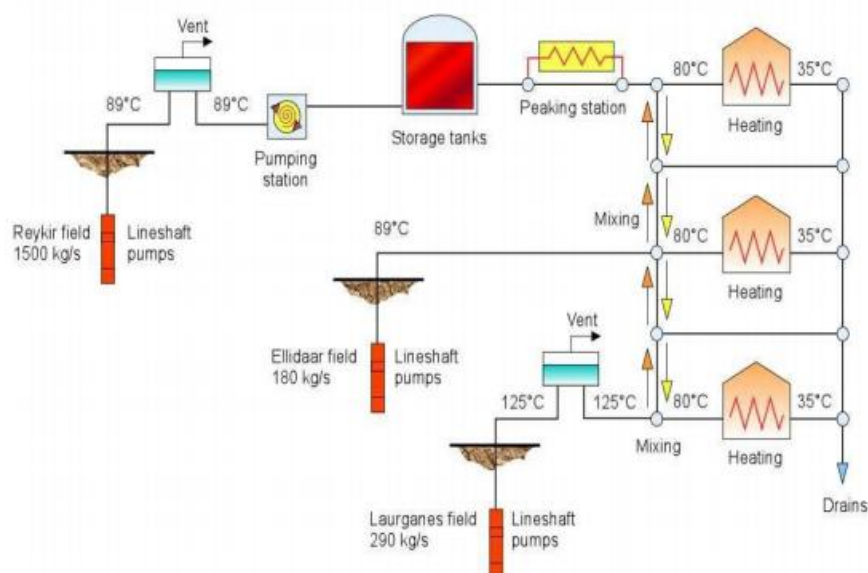
1.4.3. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού γίνεται με χρήση γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας που είναι διαχειρίσιμα σε μικρά αλλά και οικονομικά βάθη. Η αφαλάτωση αυτή γίνεται με θερμική απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (δράσεων) σε εξατμιστήρες, είτε καθέτων αυλών (MEO-VT), είτε οριζοντίων αυλών (MEO-HT), είτε υβριδικών συστημάτων (MSFMEO), είτε άλλων μεθόδων. Σε όλες τις θερμικές αυτές μεθόδους η εξάτμιση γίνεται μέσα σε κατακόρυφους ή οριζόντιους εξατμιστήρες.[1]

1.4.4. Τηλεθέρμανση

Ως τηλεθέρμανση ορίζεται μια εγκατάσταση που έχει ως σκοπό να τροφοδοτήσει με θερμότητα ένα σύνολο καταναλωτών, μέσω ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής, από μια ή περισσότερες εγκαταστάσεις οι οποίες μπορούν να προσφέρουν θερμότητα. Αυτή η εφαρμογή γίνεται σε σύνολα κτηρίων, νοσοκομειακές εγκαταστάσεις, στρατόπεδα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και άλλες μεγάλες εγκαταστάσεις όπου χρήζουν ανάγκη θερμότητας όπως ολόκληρες πόλεις. Ονομάστηκε τηλεθέρμανση διότι η παραγωγή θερμότητας είναι απομακρυσμένη από το μέρος της κατανάλωσης της θερμότητας. Τα θερμικά φορτία μπορεί να προορίζονται για θέρμανση χώρων και παρασκευή θερμού νερού χρήσης οπότε η εγκατάσταση αποτελεί τηλεθέρμανση πόλεων και οικισμών, βιομηχανική χρήση όπου αναφέρεται σε βιομηχανικά φορτία είτε γεωργική χρήση όπου αναφέρεται σε γεωργικά φορτία. Η παραπάνω διάκριση είναι σκόπιμη εξαιτίας της διαφορετικής ποιότητας των θερμικών φορτίων και ανεξάρτητα από την ισχύ τους. Τα θερμικά φορτία για θέρμανση χώρων απαιτούν θερμοκρασίες περί τους 80°C. Τα γεωργικά

φορτία (θερμοκήπια – ξηραντήρια σε περιοχή θερμοκρασιών κάτω των 50 °C. Τα βιομηχανικά φορτία καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών γεωθερμικού ρευστού. Η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση (space and district heating) παρουσίασαν μεγάλη ανάπτυξη στην Ισλανδία. Αποτελούν επίσης ιδιαίτερα διαδεδομένες εφαρμογές και στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, καθώς και τις Η.Π.Α., Κίνα, Ιαπωνία, Γαλλία, κλπ.



Σχήμα 6 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του συστήματος τηλεθέρμανσης του Reykjavik [6]

1.5. Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα Γεωθερμίας

Η γεωθερμία είναι μια μορφή ενέργειας η οποία ενώ κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι τόσο αποδεκτή όσο οι υπόλοιπες από το κοινό διότι παλαιότερα λόγω κακής διαχείρισης εξοπλισμού υπήρχαν επικίνδυνες επιπτώσεις για το περιβάλλον αλλά και για τους πολίτες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι πολίτες να μην έχουν ενημερωθεί σωστά και να έχουν μια άποψη η οποία δεν είναι επιστημονικά σωστή και τεκμηριωμένη. Ανεξαρτήτως όμως με τα παραπάνω η γεωθερμική ενέργεια όπως όλες οι μορφές ενέργειας έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

Κάποια από τα πραγματικά μειονεκτήματα της χρήσης των γεωθερμικών πεδίων είναι τα ακόλουθα όπου αναφέρονται και οι λύσεις τους.

i. Επικαθήσεις αλάτων ανθρακικού ασβεστίου

Η παρουσία αλάτων που βρίσκονται στο γεωθερμικό ρευστό αντιμετωπίζεται με χημική επεξεργασία του, με προσθήκη μικρών ποσοτήτων ουσιών που αντιδρούν προς τις αποθέσεις ουσιών για την εξάλειψη τους ή με τακτικό καθαρισμό των γεωτρήσεων και των σωληνώσεων.

ii. Διάβρωση υλικών

Η διάβρωση υλικών αντιμετωπίζεται ουσιαστικά ελέγχοντας αρχικά το γεωθερμικό ρευστό και επιλέγοντας κατάλληλα υλικά, με κατάλληλα σχεδιασμένα δίκτυα, με την εφαρμογή μεθόδων αντιδιαβρωτικής προστασίας, καθώς επίσης και με χημική

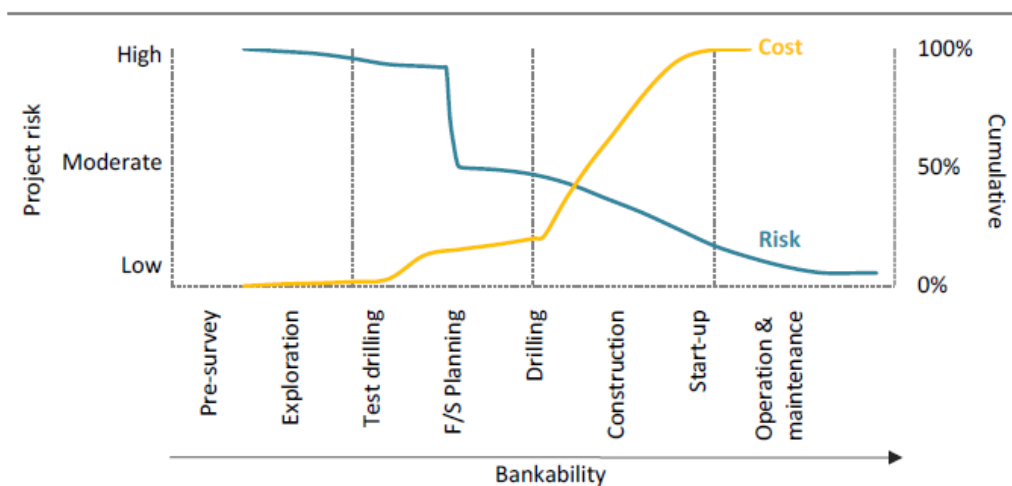
επεξεργασία του γεωθερμικού ρευστού και προσθήκη μικρών ποσοτήτων ουσιών που καταστέλλει τη διάβρωση ουσιών.

iii. Ποσότητες επικίνδυνων αερίων στο γεωθερμικό ρευστό

Σε ορισμένα γεωθερμικά πεδία είναι δυνατόν να υπάρχει διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα ή ποσότητες υδροθείου στο γεωθερμικό ρευστό τα οποία απομακρύνονται με τη βοήθεια ενός διαχωριστή ή με την επανένχυση του ρευστού στην γεώτρηση. Επιπλέον ότι έχει να κάνει με τον ατμό ο οποίος περιέχει ποσότητες επικίνδυνων αερίων η λύση μπορεί να είναι η συμπύκνωση του ατμού και μετά η επανένχυση του και ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας όπου δεν επιτρέπει αποφυγή των αερίων προς το περιβάλλον. Η πιο δραστική λύση για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος είναι η χημική επεξεργασία του ρευστού. Ένα αξιοσημείωτο δεδομένο το οποίο καθορίζει το μέγεθος του προβλήματος είναι ότι η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που βρίσκεται στο ρευστό είναι περίπου το 1/10 από εκείνη που εκλύεται από την καύση ισοδύναμης ενέργειας ορυκτών καυσίμων.

iv. Κόστος – Ρίσκο

Βασικό μειονέκτημα είναι και το μεγάλο κόστος του ερευνητικού ρίσκου και της χωροθέτησης των υποδομών σε εκτάσεις οι οποίες βρίσκονται μακριά από την περιοχή χρήσης.



IEA. All rights reserved.

Geothermal projects face additional risks during early stages of development which require public support to mitigation such risks, especially in countries with little experience.

Εικόνα 1 Financing Clean Energy Transitions in EMDEs | Special Report IEA page 114

Εκτός από μειονεκτήματα η εφαρμογή τεχνολογιών γεωθερμίας συγκεντρώνει πολλά πλεονεκτήματα με τα κυριότερα να αριθμούνται παρακάτω.

i. Οικονομικό όφελος

Το λειτουργικό κόστος των εφαρμογών γεωθερμίας δηλαδή το κόστος για παραγωγή θερμότητας εξασφαλίζει εξοικονόμηση χρημάτων σε σχέση με τη χρήση οποιουδήποτε ορυκτού καυσίμου σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Δεν απαιτείται ούτε αγορά καυσίμου αλλά ούτε και ενδιάμεσες διαδικασίες παραγωγής. Ταυτόχρονα

απουσιάζουν τα κοστολόγια μεταφοράς, αποθήκευσης όπως και το κόστος καθαρισμού των εγκαταστάσεων όπως αυτό φυσιολογικά προκύπτει από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Σε ότι έχει να κάνει με την θέρμανση και ψύξη χώρων, επειδή η θερμοκρασία του εδάφους σε μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια είναι σχεδόν σταθερή όλο το χρόνο και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των εσωτερικών χώρων και του εδάφους είναι μικρή, η χρήση αντλιών θερμότητας θέρμανσης –ψύξης έχει κατά 30% μικρότερο κόστος λειτουργίας από τα συμβατικά συστήματα.

ii. Φιλικό προς το περιβάλλον

Η γεωθερμική ενέργεια σε οποιαδήποτε χρήση της ,για παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, εάν υλοποιηθεί σωστά δεν είναι ρυπογόνος ενώ δεν εκλύει και αέρια του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης. Τα αέρια που ενδεχομένως εκλύονται κατά τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι από τις γεωτρήσεις. Αυτά τα αέρια στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν είναι επιβλαβή αλλά εάν είναι περιορίζονται μέσα στους αγωγούς και δεν έρχονται σε επαφή με το περιβάλλον. Επιπλέον είναι φιλική προς το περιβάλλον χωρικά. Συγκεκριμένα, ο χώρος ο οποίος καταλαμβάνει είναι σχετικά μικρός σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας όπως π.χ. ένα αιολικό πάρκο ή και άλλα πάρκα ΑΠΕ.

iii. Κοινωνικό όφελος

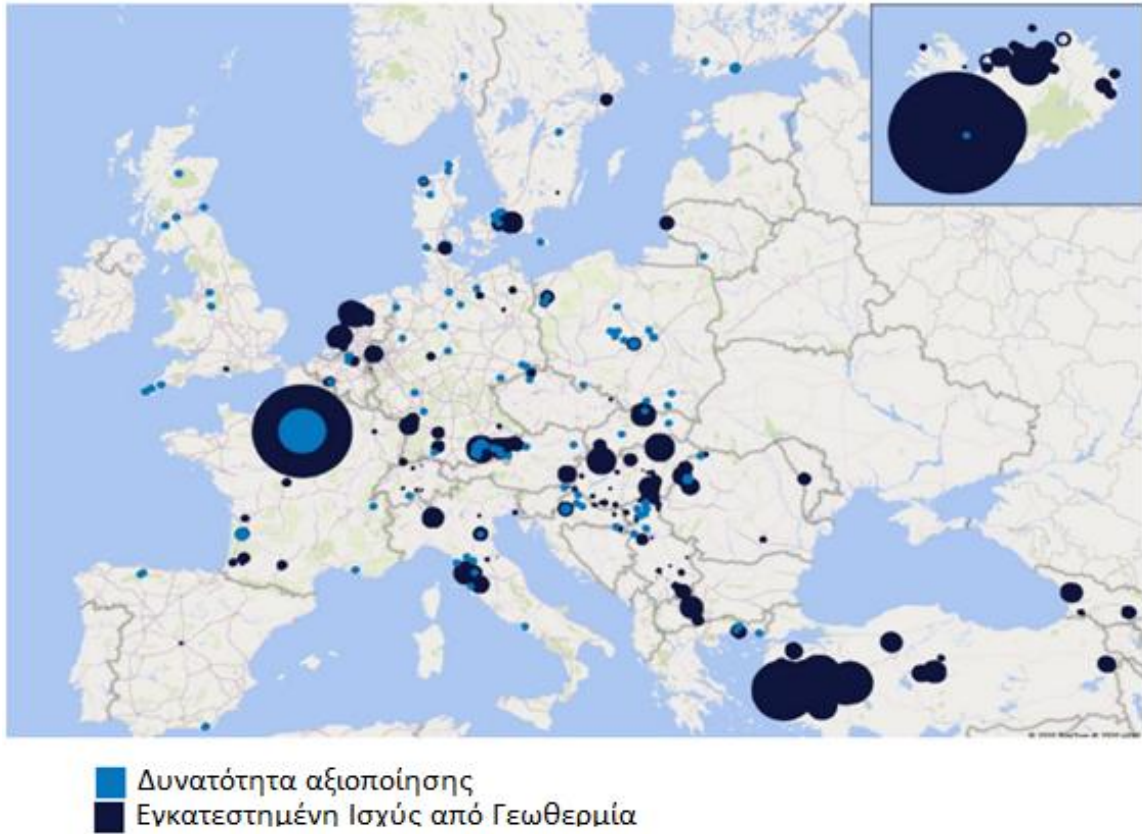
Με την αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων κατά τόπους δημιουργούνται θέσεις εργασίας όχι μόνο στην εγκατάσταση της γεωθερμίας αλλά και σε άλλες εφαρμογές οι οποίες βασίζονται στο ήδη υπάρχον γεωθερμικό πεδίο. Πολλές φορές μπορεί να επιτευχθεί και οικονομική ανάπτυξη ανάλογα με τη χρήση του πεδίου αντίστοιχα.

iv. Ευρεία αξιοποίηση από την μια γεώτρηση

Το ρευστό που προέρχεται από μια γεώτρηση αναλόγως τα χαρακτηριστικά του μπορεί να συντελέσει σε παραπάνω από μια εφαρμογές, καθώς το ρευστό μπορεί να βρεθεί σε διάφορες θερμοκρασίες κατά την εξόρυξη του ή και μετά την αξιοποίησή του.

1.6. Παγκόσμια χρήση Γεωθερμίας

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είτε για θέρμανση είτε για ηλεκτροπαραγωγή, συγκριτικά με τις δυνατότητες που υπάρχουν είναι ελάχιστη. Διάφορες χώρες παγκοσμίως έχουν επιλέξει να επενδύσουν στην χρήση της γεωθερμικής ενέργειας σε μεγάλο βαθμό. Μερικές από αυτές είναι η Ιταλία, η Τουρκία, η Ισλανδία, οι Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής και άλλες. Από το Σχήμα 7 όπου παρουσιάζεται η εγκατεστημένη και η συνολική προς αξιοποίηση γεωθερμική ενέργεια, διαπιστώνεται ότι μόνο το 5% των συνολικών δυνατοτήτων αξιοποίησης γεωθερμίας παγκοσμίως χρησιμοποιείται.



Σχήμα 7 Δυνατότητα αξιοποίησης γεωθερμίας - Εγκατεστημένη Ισχύς

Είναι αξιοσημείωτη αλλά και προφανής η αύξηση του ενδιαφέροντος για την χρήση της γεωθερμίας λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται αφενός οι δυνατότητες όπου έχουν διάφορες χώρες αλλά και η μέχρι σήμερα αξιοποίηση που έχει υλοποιηθεί. Είναι προφανές ότι οι χώρες οι οποίες έχουν αξιοποιήσιμο γεωθερμικό πεδίο το αξιοποιούν με συνεχή ανάπτυξη.

Πίνακας 1 Εξέλιξη χρήσης γεωθερμικής ενέργειας

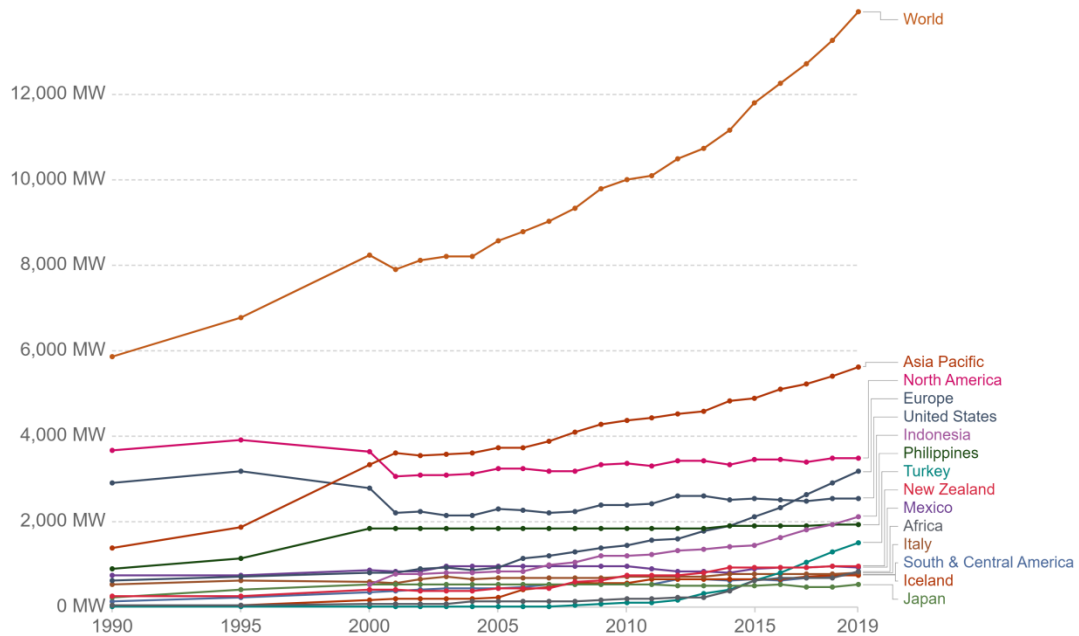
Ανάπτυξη Γεωθερμίας (MW)		
Χώρες	1990	2019
Αφρική	45	830,3
Ασία	1393,4	5631,51
CIS	23,00	74
Χιλή	0	39,7
Κίνα	29,3	25,75
Κόστα Ρίκα	0	261,86
Κροατία	0	10
Ελ Σαλβαδόρ	95	204,4
Αιθιοπία	0	7,3
Ευρώπη	617,6	3172,63
Γαλλία	4,2	15,9
Γερμανία	0	42
Γουατεμάλα	0	52
Ονδούρα	0	35
Ισλανδία	44,8	753
Ινδονησία	525	2130,5
Ιταλία	545	800
Ιαπωνία	214,6	525
Κένυα	45	823
Μεξικό	743	935,6
Νέα Ζηλανδία	261	965
Νικαράγουα	35	153,24
Βόρεια Αμερική	3656,5	3490,9
Ειρηνικός & Ασία	0,5	1,16
Νέα Γουινέα	0	56
Φιλιππίνες	888	1928,1
Πορτογαλία	3	29,1
Ρωσία	11	74
Νότια & Κεντρική Αμερική	130	776,2
Τουρκία	20,6	1514,7
ΗΠΑ	2913,5	2555,3
Παγκόσμια	5853,5	13930,58

Αυτήν τη στιγμή η γεωθερμία τείνει να γίνει μια καθαρή πηγή ενέργειας κάτι το οποίο παρατηρείται και στο παρακάτω γράφημα όπου η συνολική εικόνα από την αξιοποίηση της σε παγκόσμιο επίπεδο παίρνει συνεχώς ανοδική πορεία. Δεδομένα από το 1990 έως και το 2019 δίνουν την δυνατότητα να παρατηρηθεί αυτή η αύξηση στον ρυθμό αξιοποίησης των χρήσεων της γεωθερμικής ενέργειας. Είναι αξιοσημείωτο ότι κοντά στο έτος 2000 και για λίγα χρόνια μετά η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας φθίνει. Είναι ένα γεγονός το οποίο προήλθε από τον φόβο που είχε προκληθεί στους πολίτες διότι ήταν μια τεχνολογία αμφιλεγόμενη όσον αφορά την ρύπανση του περιβάλλοντος. Αυτήν τη στιγμή οι

αντιρρυπαντικές τεχνολογίες έχουν ωριμάσει άλλωστε για αυτό υπάρχει και μεγαλύτερη αλλά και συνεχή ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως.

Installed geothermal energy capacity

Cumulative installed capacity of geothermal energy, measured in megawatts.



Source: BP Statistical Review of Global Energy (2020)

OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

Διάγραμμα 3 Εξέλιξη αξιοποίησης γεωθερμίας παγκοσμίως [5]

Με δεδομένα του 2020 προερχόμενα από το IRENA στο παρακάτω γράφημα παρατίθενται η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής σε MW, τα οποία προέρχονται από την χρήση της γεωθερμίας. Υπάρχουν χώρες όπως οι ΗΠΑ, Ισλανδία, Ιταλία και Τουρκία οι οποίες έχουν αναπτύξει, σε σχέση με το γεωθερμικό δυναμικό το οποίο κατέχουν, την διείσδυση της γεωθερμίας για άμεσες ή έμμεσες χρήσεις.



Διάγραμμα 4 Χώρες με τη μεγαλύτερη αξιοποίηση Γεωθερμίας

Αυτά τα ποσά ενδέχεται να αλλάξουν και να αυξηθούν λόγω της διάθεσης παγκοσμίως για μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ και ανεξαρτητοποίηση από τα βαρέα καύσιμα.

1.7. Γεωθερμία στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, όπως και πολλές άλλες μεσογειακές χώρες, έχει πλούσιο γεωθερμικό υπόβαθρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος της χώρας βρίσκεται σε μια γεωδυναμικά πολύ ενεργή περιοχή, ως αποτέλεσμα της κίνησης της αφρικανικής πλάκας προς την ευρωασιατική πλάκα. Διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό επιβεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας που είναι διασπαρμένα σε ολόκληρη σχεδόν τη χώρα. Το βεβαιωμένο δυναμικό ανέρχεται σε 300 MW θερμικής ενέργειας τάξης MW_{th} ενώ το πιθανό και μη επιβεβαιωμένο ακόμη στα 700 MW_{th} . Ακόμη, γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας έχουν εντοπισθεί στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου και ειδικότερα στα νησιωτικά συμπλέγματα της Μήλου, Σαντορίνης και Νισύρου. Από τις έρευνες προέκυψε ότι το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό είναι της τάξεως των 180 MW_{th} εκ των οποίων τα 120 MW_{th} στη Μήλο και τα 60 MW_{th} στη Νίσυρο. Πεδία μεγάλου γεωθερμικού ενδιαφέροντος εντοπίζονται πέραν του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου και στη νήσο Λέσβο όπου μέχρι σήμερα, έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας στην περιοχή της Αργέννου. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας, 2006)

Η συστηματική εξερεύνηση του μεγάλου γεωθερμικού δυναμικού της Ελλάδας ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '70, από το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Ορυκτών και Γεωλογικών Ερευνών). Το πρώτο ερευνητικό πρόγραμμα περιελάμβανε τα πεδία στα Μέθανα, Σουσάκι και στα νησιά Μήλο, Νίσυρος και Λέσβο. Από αυτήν την έρευνα προκύπτει ότι το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα είναι σίγουρα πολύ σημαντικό. Τα περισσότερα από τα γεωθερμικά πεδία που ερευνήθηκαν βρίσκονται σε περιοχές με ευνοϊκές αναπτυξιακές γεωλογικές συνθήκες για τη δημιουργία τους, ενώ οι προοπτικές άμεσης εκμετάλλευσης των ρευστών είναι πολύ ευοίωνες. Τα γεωθερμικά ρευστά έχουν

συνήθως μικρή περιεκτικότητα σε διαβρωτικά άλατα και αέρια ως αποτέλεσμα να μην δημιουργούν ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα κατά την αξιοποίηση τους ούτε βέβαια περιβαλλοντικά προβλήματα. Η διαβρωτική δράση των γεωθερμικών ρευστών σχετίζεται με το pH και το υπέδαφος στο οποίο κινείται το ρευστό. Σε κάποιες περιοχές η έρευνα προχώρησε αρκετά, έτσι ώστε σήμερα να έχουν αναπτυχθεί αξιόλογες εφαρμογές. Γεωθερμικά θερμοκήπια συνολικής έκτασης 240 περίπου στρεμμάτων λειτουργούν σήμερα στη Νέα Απολλωνία Θεσσαλονίκης, στο Σιδηρόκαστρο και στη Νιγρίτα Σερρών, στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης (80 στρέμματα), στον Πολιχνίτο Λέσβου και στη Μήλο. Αξιόλογες και πρωτοποριακές εφαρμογές αποτελούν η ξήρανση αγροτικών προϊόντων (κυρίως τομάτας) και η θέρμανση εδάφους για τη δημιουργία πρώιμων σπαραγγιών στο Νέο Εράσμιο, την παραγωγή σπιρουλίνας στη Νιγρίτα και τις ιχθυοκαλλιέργειες στο Νέο Εράσμιο και στο Πόρτο Λάγος. Τα τελευταία χρόνια η ΔΕΗ έχει ξεκινήσει έρευνες για την εγκατάσταση μιας δυαδικής μονάδας ORC στη Λέσβο διότι προσπαθεί να αποφύγει παρόμοιες καταστάσεις από το παλιό εργοστάσιο γεωθερμίας της Μήλου. Επίσης, προγραμματίζεται η εγκατάσταση ενός μικρού δυαδικού κύκλου με σκοπό την παροχή ηλεκτρισμού στη μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου. Το δυναμικό για ηλεκτροπαραγωγή χρησιμοποιώντας συστήματα ORC σε αρκετά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος και ενδεχομένως Χίο) είναι μεγάλο και εκτιμάται περίπου στα 20 MW_e. (Καλογερόπουλος, 2012)

Κεφάλαιο 2 - Γεωθερμία στη Μήλο

2.1. Το νησί της Μήλου

Η Μήλος είναι ένα ηφαιστειακό νησί, ξηρό και ανεμώδες με ετήσια βροχόπτωση κάτω των 400 mm. Οι οικισμοί του νησιού αποτελούν σήμερα τον Δήμο της Μήλου με κύριο λιμάνι στον Αδάμαντα. Οι περισσότεροι οικισμοί εντοπίζονται στο βόρειο με βορειοανατολικό μέρος του νησιού. Είναι εξ' ολοκλήρου ένα ηφαιστειακό νησί, και ανήκει στο ονομαζόμενο «ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου». Το τόξο αυτό ξεκινάει από την Κόρινθο και περνώντας από την Αίγινα, Μέθανα, Μήλο, Σαντορίνη, και Νίσυρο καταλήγει στην Μικρά Ασία. Το νησί βρίσκεται πάνω στην ευρασιατική πλάκα και απέχει περίπου 220km από το σημερινό όριο σύγκρουσης με την αφρικανική πλάκα και περιέχει δύο μεγάλα ηφαίστεια τα οποία είναι ανενεργά. Το ένα είναι το ηφαίστριο της Φυριπλάκας, το οποίο βρίσκεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού και έχει ένα εντυπωσιακό κρατήρα με διάμετρο 1.700m και ύψος 220m, και το δεύτερο είναι το ηφαίστριο του Τράχηλα, που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού. Η μορφολογία του εδάφους της Μήλου είναι γενικά λοφώδης όχι όμως σε όλη την έκταση της. Ειδικότερα υπάρχουν τόσο λόφοι με ήπιες πλαγιές όσο και μικρά υψώματα με απότομες κλίσεις, εξαιτίας της διαφορετικής διάβρωσης των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Η υψηλότερη κορυφή της Μήλου είναι ο Προφήτης Ηλίας με υψόμετρο 751m. Οι ακτές της Μήλου, μήκους 126km περίπου έχουν μεγάλη ποικιλομορφία σε ότι έχει να κάνει με τα πετρώματα αλλά και με την μορφολογία τους αλλά και στην πολύ πρόσφατη τεκτονική των ρηγμάτων. Στον κόλπο της Μήλου υπάρχουν χαμηλές ακτές με μεγάλη έκταση κατά μήκος των πυροκλαστικών και των άλλων χαλαρών σχηματισμών, αλλά και υψηλές ακτές πλησίον των δόμων και των ρευμάτων λάβας. Ο μεγάλος κόλπος της Μήλου διαμορφώθηκε από τη δράση δύο συστημάτων ρηγμάτων, διεύθυνσης Β-ΒΔ – Ν-ΝΑ και Α-ΒΑ – Δ-ΝΔ αντίστοιχα. Επιπλέον, οι δόμοι και οι ηφαιστειακοί κώνοι συντελούν στη δημιουργία υδρογραφικού δικτύου με ακτινοειδή μορφή και στις περιοχές με μεγάλη μορφολογική κλίση και εκεί όπου απαντούν παράλληλα ρήγματα το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει παράλληλη ανάπτυξη. Από ραδιοχρονολογήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, οι επιστήμονες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ηφαιστειότητα στο νότιο Αιγαίο άρχισε πριν από 2 με 3 εκατομμύρια χρόνια περίπου. Στη Μήλο η ηφαιστειακή αυτή δραστηριότητα σταματά οριστικά πριν από 90.000 χρόνια και θεωρείται σχετικά πρόσφατη.

2.2. Θερμική κυκλοφορία

Ως αποτέλεσμα της πρόσφατης ή παλαιότερης ηφαιστειότητας, στη Μήλο πολύ σύνηθες είναι οι ατμίδες δηλαδή πηγές αερίων, κυρίως στην Α. και Ν.Α. περιοχή του νησιού. Στις περιοχές αυτές, λόγω της τεκτονικής τους κατασκευής, διαφεύγουν αέρια τα οποία προέρχονται από το εσωτερικό της γης όπως ατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, κ.λ.π.. Χαρακτηριστικό αυτών των περιοχών είναι το κίτρινο χρώμα του θείου και η οσμή του, ενώ η θερμοκρασία του εδάφους περιμετρικά από τις ατμίδες είναι πολύ υψηλή. Τέτοιες περιοχές είναι η Αγ. Κυριακή 102°C, οι Πυρωμένες 100°C, το Παλιοχώρι 101°C, η Βουνάλια 54°C, ο Καστανάς 86°C, ο Αδάμαντας 100°C. [8]

Ατμίδες συναντώνται και σε υποθαλάσσιες περιοχές, όπου και πάλι το κίτρινο χρώμα του θείου είναι χαρακτηριστικό. Τα αέρια υφίσταται υπό μορφή φυσαλίδων και αναδύονται στην επιφάνεια του νερού. Τέτοιες περιοχές είναι η Αγ. Κυριακή, το Παλιοχώρι, η Κάναβα,

το Ριβάρι. Λόγω της έντονης ηφαιστειακής υδροθερμικής δράσης στο έδαφος της Μήλου παρατηρείται η ύπαρξη πολλών θερμών πηγών, με πολύτιμα συστατικά για θεραπεία πολλών παθήσεων. Τα ιαματικά λουτρά του νησιού ήταν γνωστά από την αρχαιότητα. Ο Ιπποκράτης το αναφέρει στο Ε΄ βιβλίο του Περί Επιδημιών. Αναφορά σε αυτά κάνει πολύ αργότερα, το 1717 και ο γάλλος καθηγητής της Βοτανικής pitton de Tournefort στα περιηγητικά του κείμενα [9]. Σήμερα, λίγες πηγές χρησιμοποιούνται και αυτές είναι ελάχιστα αξιοποιημένες. Οι πιο γνωστές πηγές είναι τα χλωριονατριούχα λουτρά του Λάκκου που βρίσκονται σε μια φυσική σπηλιά κοντά στο λιμάνι του Αδάμαντα τα οποία ανακατασκευάστηκαν και λειτούργησαν για ένα εύλογο χρονικό διάστημα αλλά αυτήν την στιγμή παραμένουν κλειστά. Εκεί έχουν σκαλιστεί θάλαμοι με μπανιέρες, από όπου αναβλύζει το νερό, όπου είναι ένα κλειστό περιβάλλον. Η πηγή αυτή είναι κατάλληλη για δερματικά νοσήματα ,αρθριτικά, ραχισμό, ισχιαλγία, αδενοπάθεια, χρόνια ρινίτιδα κ.ά. Μία ακόμα αξιόλογη ιαματική πηγή είναι στην Κάναβα. Τα νερά βγαίνουν στην αμμούδια και χύνονται στην θάλασσα , νοτιοδυτικά του εργοστασίου της Δ.Ε.Η. Από την ίδια πηγή προέρχονται και οι ατμίδες που βγαίνουν λίγα μέτρα πιο πέρα μέσα στην θάλασσα ζεσταίνοντας την. Τα νερά αυτά λέγεται ότι θεραπεύουν αρθριτικά. Η συγκεκριμένη πηγή είναι υπαίθρια και αξιοποιείται από τους πολίτες καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Οι επιφανειακές εκδηλώσεις υψηλής θερμοκρασίας, στο πέρασμα εκατομμυρίων ετών, έχουν δράσει έτσι ώστε να αλλοιωθεί το έδαφος και να μας δώσει διάφορα εκμεταλλεύσιμα ορυκτά και πετρώματα αλλά να εμφανιστούν ενδιαφέροντα γεωθερμικά πεδία, το οποίο με περαιτέρω μελέτες μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμο με σωστό τρόπο. Επιστήμονες του ΙΓΜΕ και της ΔΕΗ απέδειξαν την ύπαρξη ατμού σε μεγάλο βάθος (1100 μέτρα περίπου) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλων παραγωγικών δραστηριοτήτων του οποίου έγινε χρήση με την εγκατάσταση ενός γεωθερμικού σταθμού στην Ζεφυρία που δεν κατασκευάστηκε σωστά.

2.3. Χαρακτηριστικά γεωλογίας Μήλου

Η Μήλος ως ένα ηφαιστειογενές νησί διότι, βρίσκεται πάνω στο τόξο του νοτίου Αιγαίου, με εκτεταμένες ηφαιστειακές δραστηριότητες που έχουν ως αποτέλεσμα να καθιστούν τη Μήλο σε ένα νησί με απίστευτο ενδιαφέρον οικονομικό αλλά και μεταλλουργικό. Κυρίως στην Ανατολική Μήλο εξορύσσονται καολίνη, μπετονίτης, περλίτης, βαρύτης , άργυρος, θείο, μαγγάνιο και άλλα προϊόντα που ορίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό της οικονομίας του νησιού. Η εξόρυξη κάποιον από τα παραπάνω έχει σταματήσει όπως το θείο ενώ άλλων συνεχίζει μέχρι και σήμερα.

Σύμφωνα με την δημοσίευση του ομότιμου καθηγητή γεωλογίας ΑΠΘ κ Φύτικα το 1973 αλλά και το 1977[10] οι τρεις κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν το νησί της Μήλου είναι παρακάτω:

❖ Τεταρτογενές

Οι κυριότεροι ιζηματογενείς σχηματισμοί, που απαντούν στη νήσο Μήλο, είναι οι αλλουβιακές (al) και παράκτιες αποθέσεις (H.cd), όπως κροκαλολατύπες, άμμοι, ιλύς και άργιλοι, με πάχος μέχρι 100m στην περιοχή της Ζεφυρίας. Απαντούν ακόμα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (Q.cs,sc), καθώς και παλαιότερες ποταμοχειμάρριες αποθέσεις (Q.t) από κροκάλες και λατύπες, ελαφρά συνδεδεμένες. Οι υπόλοιποι σχηματισμοί του Τεταρτογενούς είναι ηφαιστειακής προέλευσης, όπως πορώδεις τόφφοι (Q.tv) στρωμένοι και συνεκτικοί, λαχάρ Φυριπλάκας (Q.lh2, lh1, lh) συνιστώμενο από ρυολιθικά – περλιτικά υλικά, που

αποτελείται από εκτεταμένες αποθέσεις ασύνδετων ετερογενών κροκαλολατύπων μεταμορφωμένων, ηφαιστειακών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Επίσης, απαντούν ρυολιθικές, δακτικικές, ρυοδακτικικές και ανδευσιτικές λάβες (Q.ρ2, Q.α.δα2, Q.α.δα1, Q.ρ,ρ.δα), οι οποίες αποτελούνται από δόμους και αλληπάλληλα ρεύματα με τις λάβες αυτές να εμφανίζονται κατά τόπους υδροθερμικά εξαλλοιωμένες (Q.1a), λεπτά στρώματα από πυροκλαστικά υλικά (Q.tf2) και πυροκλαστικοί κώνοι και αποθέσεις (Q.ρ1, Q.br1, Q.br2), οι οποίοι συνίστανται από στρώματα, σε συνεχείς εναλλαγές τέφρας, άμμου, κίσηρης και λάβας ποικίλης σύστασης. Τέλος, απαντούν και μερικώς εξαλλοιωμένοι ρυολιθικοί ιγνιμβρίτες (Q.ig) στη Β0 Μήλο, που παρεμβάλλονται σε ρεύματα λάβας, πάχους μέχρι 5m.

❖ Νεογενές

• Ανώτερο Πλειόκαινο

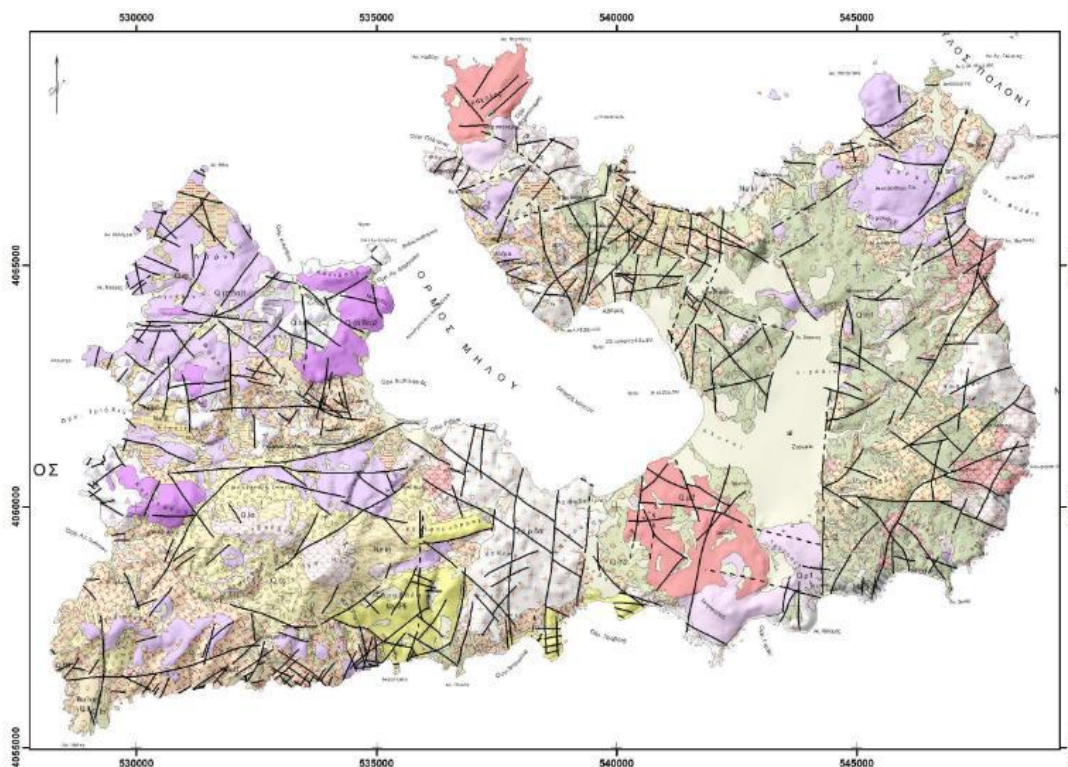
Οι σχηματισμοί, που κυριαρχούν είναι ηφαιστειακής προέλευσης και συνίστανται από ιγνιμβρίτες (Ne.ig) στα Ν0 της Μήλου, καλά συγκολλημένους, εξαλλοιωμένους, και αποτελούμενους από θραύσματα υάλου, κίσηρης και ξενολίθων, οι οποίοι μεταβαίνουν προς τα πάνω σε τόφφους (το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 100m). Επίσης, απαντούν παλαιοί τοφφίτες (Ne.tt) θαλάσσιας προέλευσης, λευκοί έως υποκίτρινοι, αποτελούμενοι από ηφαιστειακά υλικά και οι οποίοι εναλλάσσονται με παλαιούς τόφφους (Ne.tf) χερσαίας απόθεσης, λευκούς έως στακτόμαυρους και γενικά όξινης σύστασης. Ενίοτε, οι τόφφοι (t) παρουσιάζονται πολύ εξαλλοιωμένοι, λόγω υδροθερμικής δράσης. Ακόμα, απαντούν και αποθέσεις ρευμάτων κίσηρης (Ne.ki), καθώς και ηφαιστίτες (vol) πολύ υδροθερμικά εξαλλοιωμένοι.

• Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο

Πρόκειται για επικλυσιογενή κροκαλοπαγή, στα οποία παρεμβάλλονται στρώματα άμμου και ερυθρής αργίλου και για ασβεστόλιθους (Ms-Pli), οι οποίοι εμφανίζονται λεπτο-μεσοστρωματώδεις, λίγο ή καθόλου μαργαϊκοί, μερικές φορές σφιγροί και με σπάνια στρώματα ερυθρής αργίλου.

❖ Μεσοζωικό

Στη Μήλο απαντά το κρυσταλλικό υπόβαθρο (Mz.sch) σε περιορισμένη έκταση στα ΝΑ του νησιού στον ορεινό όγκο του Χάλακα και συνίσταται από ένα σύστημα πρασινοσχιστολίθων από φυλλίτες, μεταβασάλτες, σπανιότερα μάρμαρα έως και φλέβες χαλαζία, ενώ εμφανίζονται και μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής πίεσης (κυρίως γλαυκοφανιτικοί σχιστόλιθοι).

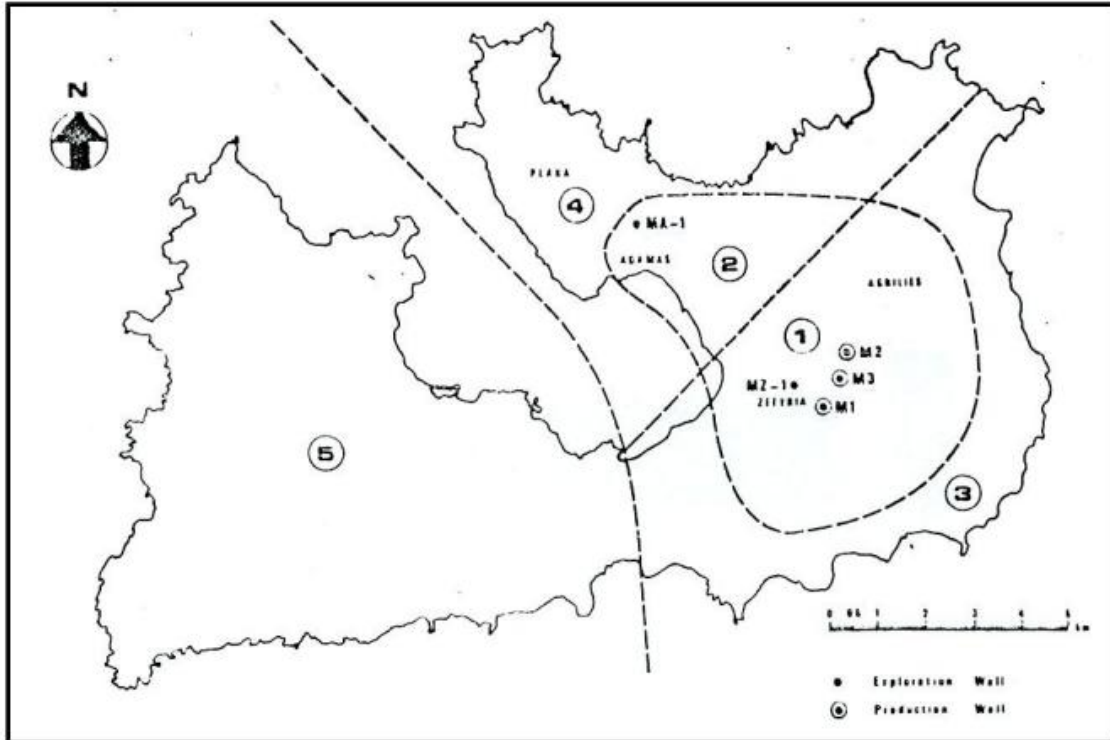


Εικόνα 2 Γεωλογικός χάρτης νήσου Μήλου (κατά Φύτικα, 1973)

2.4. Ερευνητικές γεωτρήσεις Μήλου

Οι γεωθερμικές έρευνες στη χώρα μας άρχισαν από τη Μήλο το 1971. Στην πρώτη φάση, διάρκειας δύο ετών, προσδιορίστηκαν οι ευνοϊκότερες περιοχές για βαθιές γεωτρήσεις ύστερα από συστηματική και λεπτομερειακή έρευνα επιφανείας. Διαπιστώθηκε μία μεγάλη θερμική ανωμαλία στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού, η ενεργός τεκτονική των ρηγμάτων, η ύπαρξη λιθολογικών σχηματισμών κατάλληλων για την ύπαρξη ταμιευτήρων, καθώς και η ύπαρξη οριζόντων ηφαισιτιτών που στεγανοποιήθηκαν υδροθερμικά εκ των υστέρων, σχηματίζοντας ένα ιδανικό κάλυμμα των γεωθερμικών ρευστών. Μετά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, η Δ.Ε.Η. αποφάσισε την όρυξη δύο βαθιών γεωτρήσεων έρευνας – παραγωγής στη Ζεφυρία (ΜΖ1) και στον Αδάμαντα (ΜΑ1), σε 1101 m και 1163 m, αντίστοιχα, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1975-76 Σχήμα 8.

Με βάση τα συμπεράσματα αυτά καταρτίστηκε ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη του πεδίου σε τρεις φάσεις, από τις οποίες, η πρώτη αφορούσε στην κατασκευή άλλων 3-4 γεωτρήσεων παραγωγής και την εγκατάσταση μιας πειραματικής γεωθερμοηλεκτρικής μονάδας, η δεύτερη την κατασκευή του απαιτούμενου αριθμού συμπληρωματικών γεωτρήσεων παραγωγής, για την εγκατάσταση μιας μονάδας 30 MW_e, και, τέλος, η τρίτη φάση που περιελάμβανε την όρυξη πρόσθετων γεωτρήσεων παραγωγής για την εγκατάσταση δύο ακόμα μονάδων των 30 MW_e ισχύς παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας η κάθε μία. Το Νοέμβριο του 1981 ολοκληρώθηκε η όρυξη τριών παραγωγικών γεωθερμικών γεωτρήσεων, Μ1, Μ2 και Μ3 στην περιοχή της Ζεφυρίας, σε βάθος 1180m, 1381m και 1017m, αντίστοιχα Σχήμα 8.

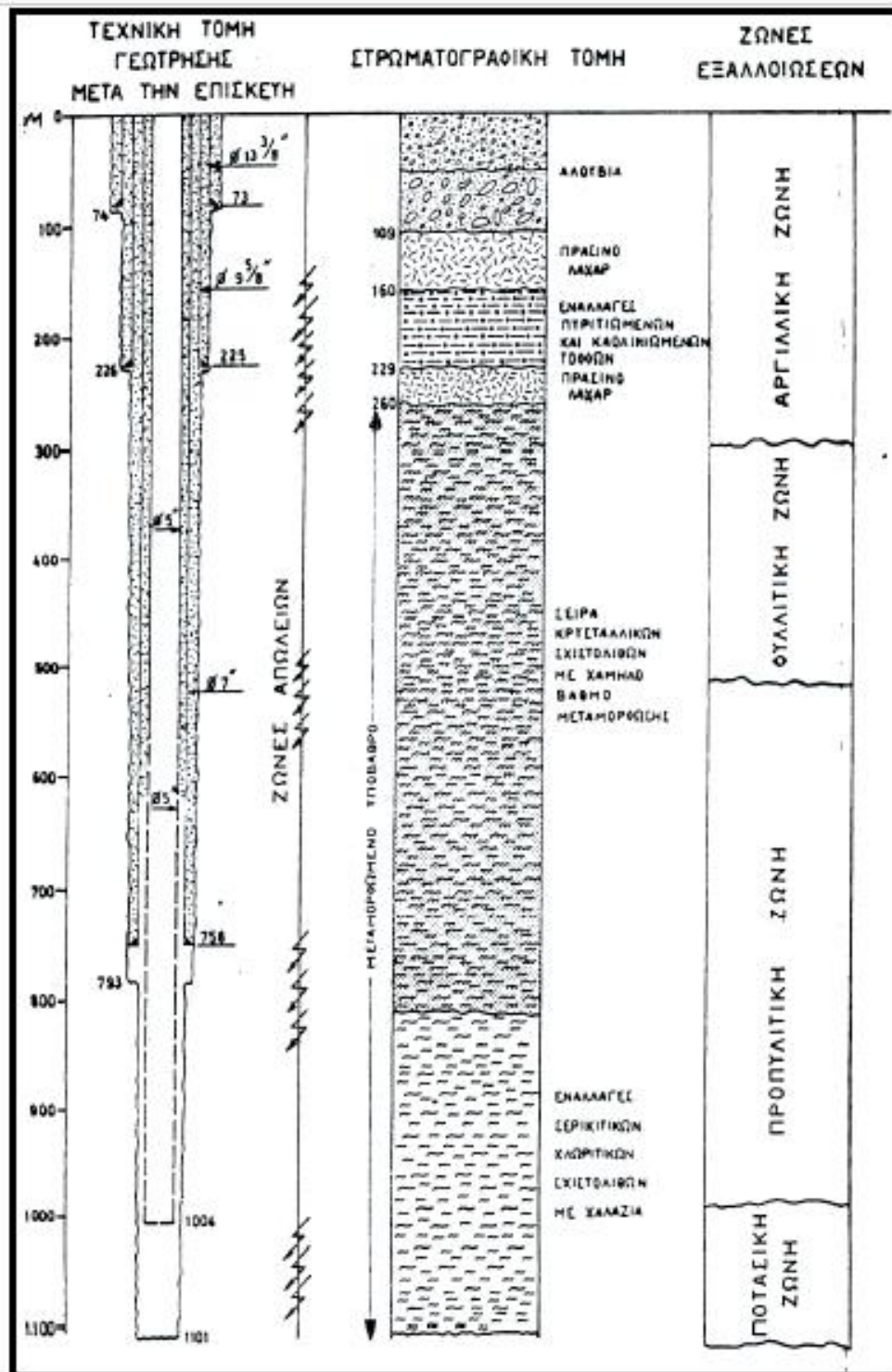


Σχήμα 8 Θέσεις των γεωτρήσεων στη Μήλο (Πηγή: ΙΓΜΕ)

Οι γεωτρήσεις που έγιναν εκείνη την περίοδο παρατίθενται παρακάτω αναλυτικά:

- **Γεώτρηση MZ1 (Μήλος-Ζεφυρία 1^η)**

Η γεώτρηση MZ1 τοποθετήθηκε στη χαμηλή μορφολογικά περιοχή της κεντρικής Μήλου, 500m ΒΔ του οικισμού της Ζεφυρίας. Οι γεωφυσικές έρευνες της ηλεκτρικής αντίστασης του υποβάθρου έδιναν πάχος καλύμματος της τάξης των 300-400 m. Στη θέση αυτή, παλαιότερη γεώτρηση έδωσε πολύ υψηλή γεωθερμική βαθμίδα της τάξης των 8°C/10 m. Η γεώτρηση MZ1 άρχισε στις αρχές του Ιουλίου 1975 και τελείωσε στο τέλος του Σεπτεμβρίου του ίδιου έτους, φτάνοντας σε βάθος 1101m. Για τεχνικούς όμως λόγους, η γεώτρηση παρέκκλινε μέχρι και 16ο και έτσι το πραγματικό βάθος που έφτασε ήταν τα 1080m περίπου, που αντιστοιχούν σε 1070 m περίπου κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Στη γεώτρηση MZ1 οι παραγωγικοί ορίζοντες βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο των 800m, όπου η θερμοκρασία που μετρήθηκε είναι 310°C και η παροχή στις λίγες ώρες δοκιμών κυμάνθηκε μεταξύ 40 και 60 τόνων την ώρα, από τους οποίους ποσοστό μεγαλύτερο από το 50% ήταν κορεσμένος ατμός και το υπόλοιπο νερό. Η ενθαλπία του ρευστού που μετρήθηκε ήταν περίπου 450 Kcal/Kg.



Σχήμα 9 Βαθιά γεώτρηση MZ1 (Μήλος-Ζεφυρία 1η)(Πηγή: ΙΓΜΕ)

Η σωλήνωση έγινε μέχρι το βάθος των 760 m και η όρυξη σταμάτησε σε βάθος 1101m, αφού πέρασε ένα τελευταίο υδατοπερατό ορίζοντα. Το "άνοιγμα" της γεώτρησης πραγματοποιήθηκε στις 15-10-75 και τότε σημειώθηκε κανονική έκρηξη. Η γεώτρηση έμεινε ανοιχτή σε ελεύθερη παραγωγή 12 ώρες, για να αποβληθεί το μεγαλύτερο μέρος της λάσπης διάτρησης και των θρυμμάτων των πετρωμάτων από τα τοιχώματα του τμήματος που δεν σωληνώθηκε. Σφραγίστηκε με βάνες ασφαλείας και ανοίχτηκε 3-

4 φορές ακόμη προκειμένου να γίνουν μετρήσεις και δειγματοληψίες ρευστών για χημική ανάλυση Η χημική ανάλυση του συμπυκνώματος ατμού φαίνεται στον Πίνακας 2 (Φυτίκας, 1977).

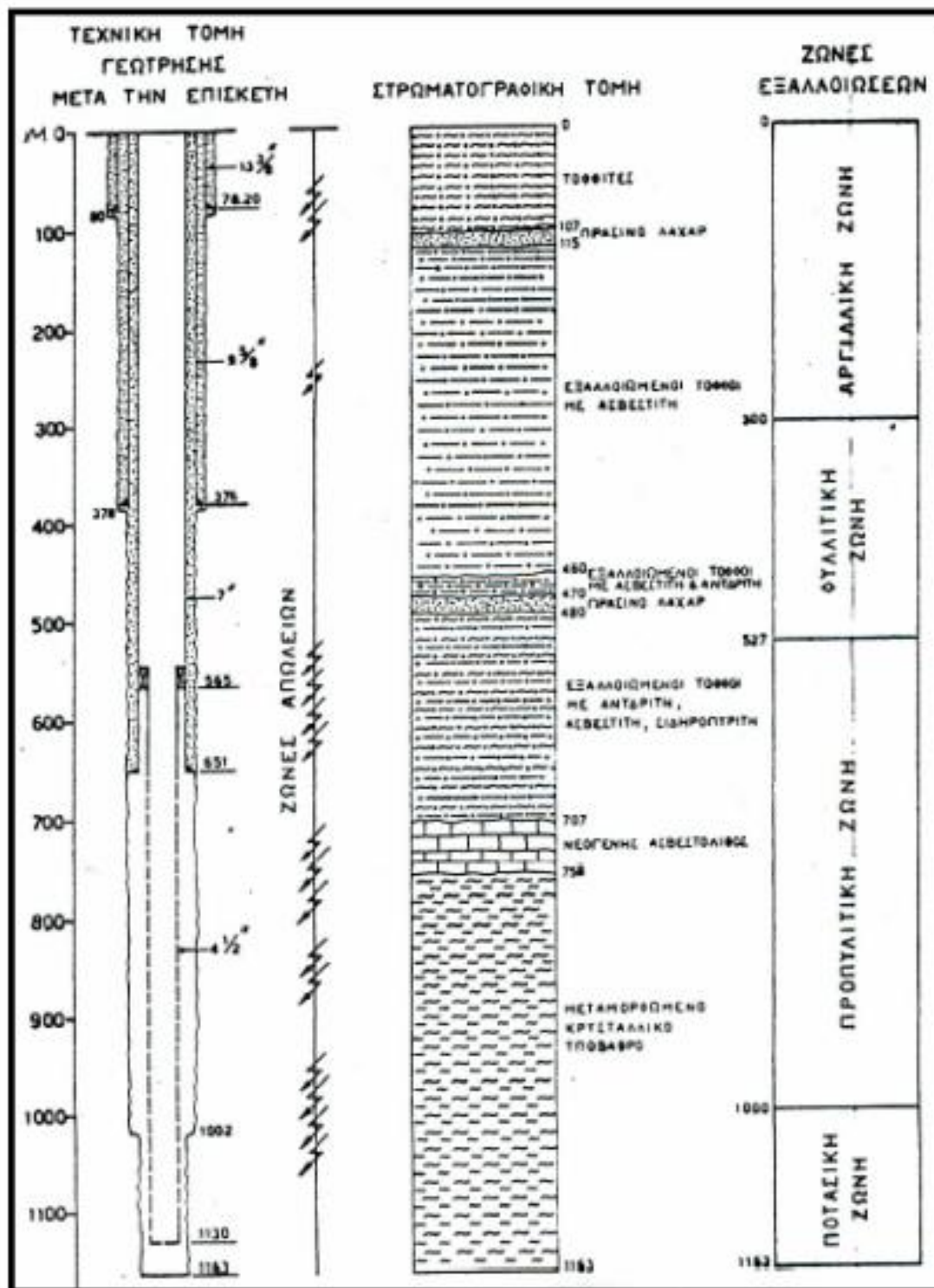
Πίνακας 2 Χημικές αναλύσεις ρευστών από τη γεώτρηση MZ1 (Πηγή: Φυτίκας, 1977)

Δείγμα	Ημερομηνία δειγματοληψίας	Σύνολο διαλυμένων στερεών	pH	Χιλιοστοίσοδύναμα ανά λίτρο (meq/l)										Μέρη ανά εκατομμύριο (ppm)			
				Κατιόντα					Ανιόντα					NH ₄	SiO ₂	B	CO ₂
				Ca	Mg	Na	K	Άθροισμα	Άθροισμα	HCO ₃	Cl	SO ₄					
Z - 1/1	15/10/75	428,20	5,70	0,48	0,04	3,54	0,54	4,60	7,24	2,07	5,00	0,17	1,20	2,60	1,01	482,0	
Z - 1/3α	30/10/75	466,07	5,75	0,54	0,04	2,85	0,52	3,95			5,00	0,09	3,00	2,00	1,12	537,0	
Z - 1/3β			7,20	0,83	0,03	4,85	0,80	6,51	8,13	0,47	7,50	0,16	1,80	2,00	1,42		
Z - 1/4α		398,87	6,40	0,32	0,01	1,95	0,33	2,61			3,00	0,11	2,50	2,00	0,92	102,0	
Z - 1/4β			7,40	0,67	0,024	3,71	0,67	5,07	6,94	0,82	6,00	0,12	1,20	3,00	1,78		
Z - 1/5α		293,31	7,00	0,34	0,015	1,94	0,34	2,635	4,98	1,85	3,00	0,13	2,20	2,00	0,92		
Z - 1/5β		407,22	7,55	0,70	0,017	4,17	0,70	5,587	6,90	0,76	6,00	0,14	1,00	2,00	1,54		
Z - 1/6α			6,85	0,32	0,01	2,05	0,34	2,72			3,00	0,11	2,50	2,00	0,96	32,0	
Z - 1/6β		327,28	7,40	0,47	0,016	2,71	0,54	3,736	5,59	1,18	4,25	0,16	1,20	2,00	1,78		
Z - 1/7α		347,66	6,40	0,38	0,013	2,63	0,45	3,47	5,83	2,00	3,75	0,08	2,50	2,00	0,91		
Z - 1/7β		166,16	6,80	0,26	0,01	1,48	0,23	1,98	2,75	0,60	2,00	0,15	1,80	2,00	0,64		
Z - 1/8α		291,84	7,55	0,47	0,04	2,19	0,38	3,08	5,00	1,34	3,50	0,16	1,50	2,00	0,87		
Z - 1/8β		299,23	7,90	0,46	0,01	2,90	0,44	3,81	4,93	0,98	3,75	0,20	1,20	2,00	1,09		

- **Η γεώτρηση MA1 (Μήλος-Αδάμαντας 1η)**

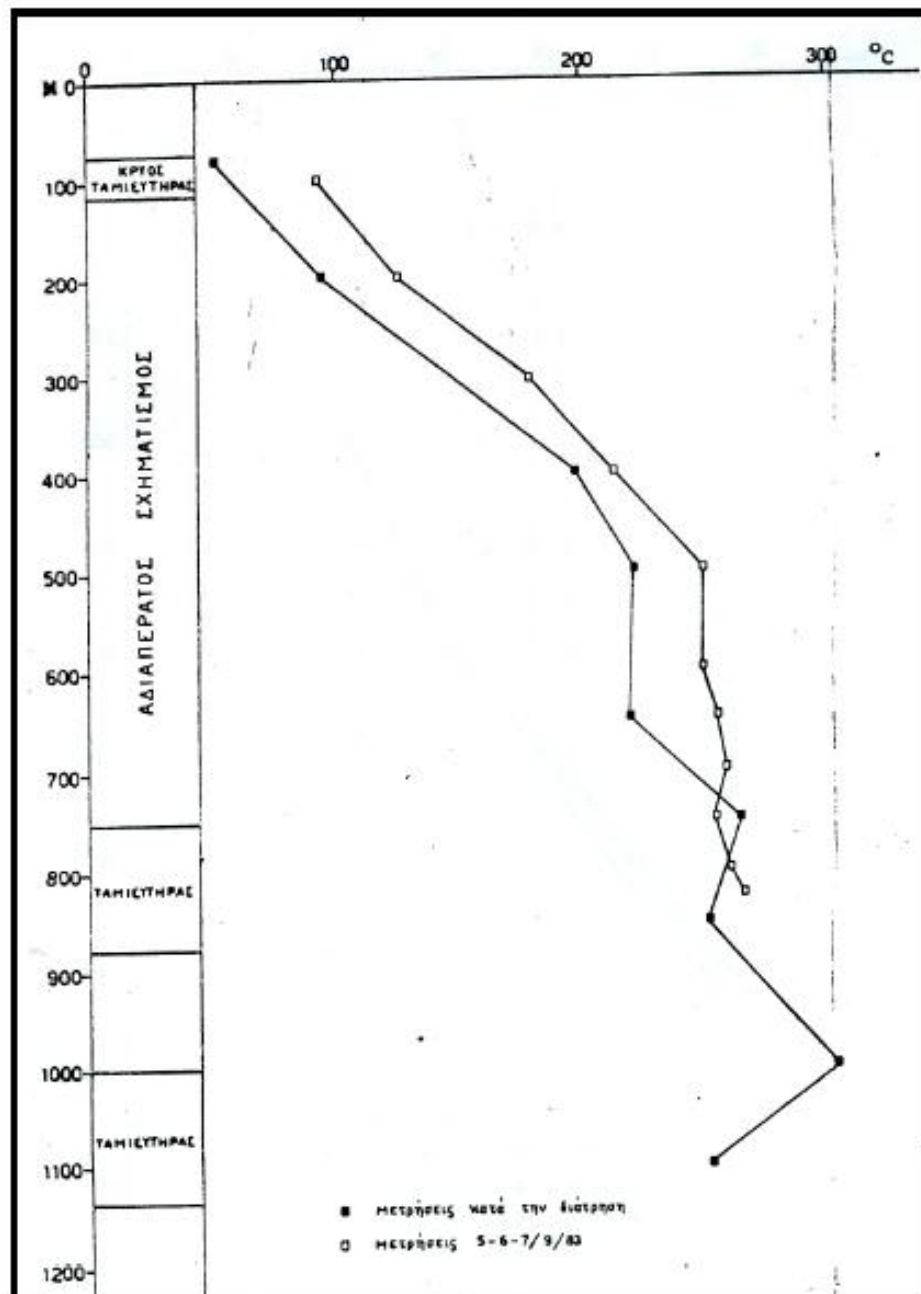
Η δεύτερη γεώτρηση MA1 πραγματοποιήθηκε 1000 m Β.ΒΔ. της περιοχής του Αδάμαντα. Η εκτέλεσή της άρχισε 11 Φεβρουαρίου 1976 και περατώθηκε τέλη Απριλίου του ίδιου έτους, σε βάθος 1163m. Το γεωτρήπανο (IDECO H30) ήταν προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις των γεωθερμικών γεωτρήσεων και διέθετε: πλατφόρμα, πύργο ψύξης στο δίκτυο κυκλοφορίας της θερμής λάσπης, συστήματα ασφαλείας (B.O.P., HYDRIL) κ.λπ. Στην γεώτρηση MA1 η παραγωγή προερχόταν από βάθος μεγαλύτερο των 745m, όπου η θερμοκρασία που μετρήθηκε έφτανε τους 308°C και οι συνθήκες παραγωγής για διάστημα δυόμισι μηνών ήταν: πίεση 4,80 kg/cm², θερμοκρασία 155-159°C, παροχή 58-63 tn/h, εκ των οποίων 55% κορεσμένος ατμός και 45% νερό.

Ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα που ανέκυψαν κατά την όρυξη της γεώτρησης MA1 ήταν η απώλεια λάσπης σε διάφορα βάθη. Συγκεκριμένα, σε βάθος 83m παρατηρήθηκε απώλεια 45 m³/h και για αυτό το λόγο η όρυξη πραγματοποιήθηκε με θαλάσσιο νερό (Βλαχαντώνης-Κουτίνας, 1977).



Σχήμα 10 Βαθεία γεώτρηση MA1 (Μήλος-Αδάμαντας 1η) (Πηγή: ΙΓΜΕ)

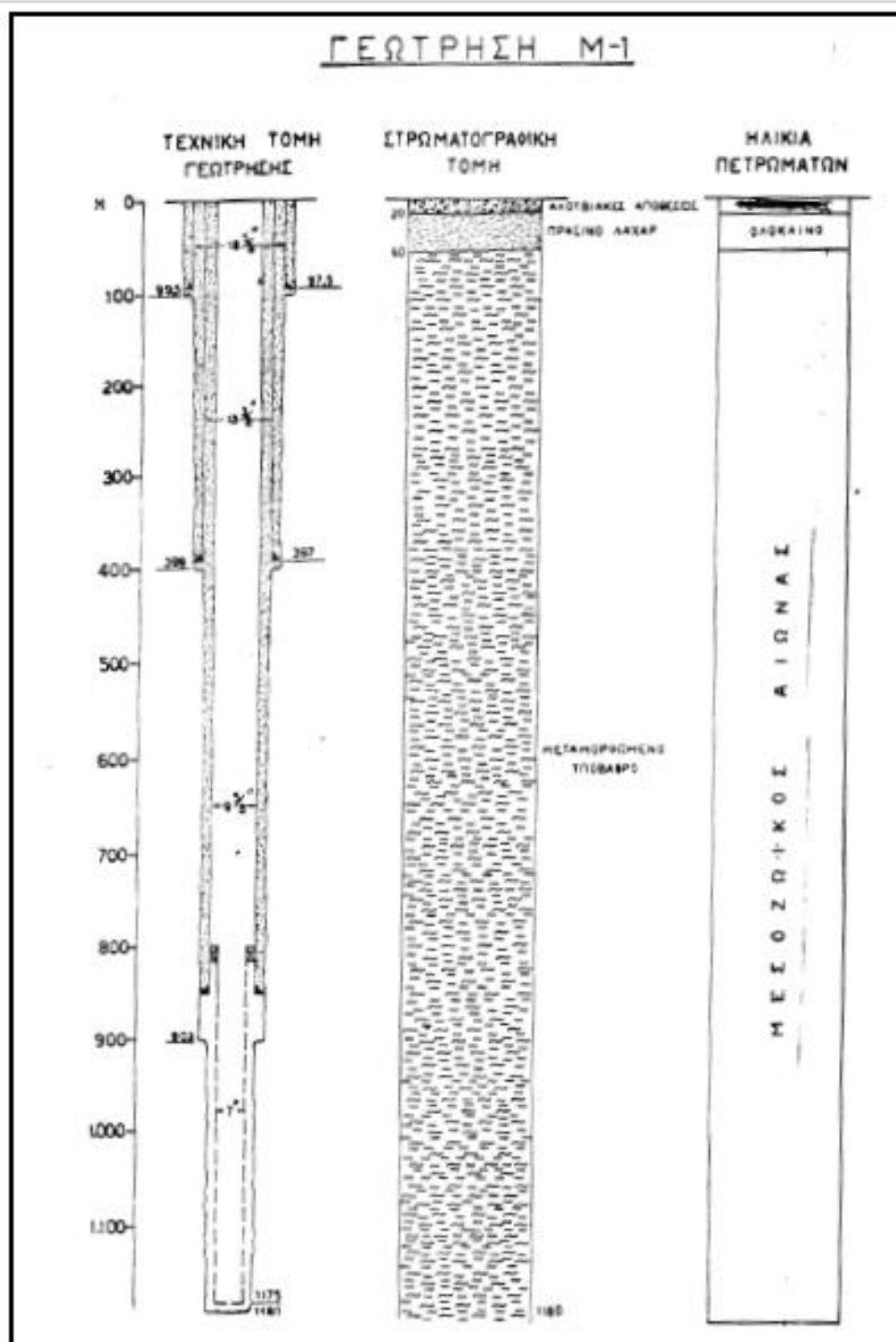
Η θερμοκρασία των 302°C σε βάθος 1002m ελαττώνεται σημαντικά μέχρι το βάθος των 1095m, εξαιτίας των μεγάλων απωλειών κυκλοφορίας στην περιοχή αυτή, λόγω της μεγάλης ρωγμάτωσης (υδροπερατά πετρώματα)(Βλαχαντώνης-Κουτίνας, 1977).



Σχήμα 11 Θερμοκρασίες στη γεώτρηση MA1 (Πηγή:ΙΓΜΕ)

- **Η γεώτρηση M-1 (Μήλος 1η)**

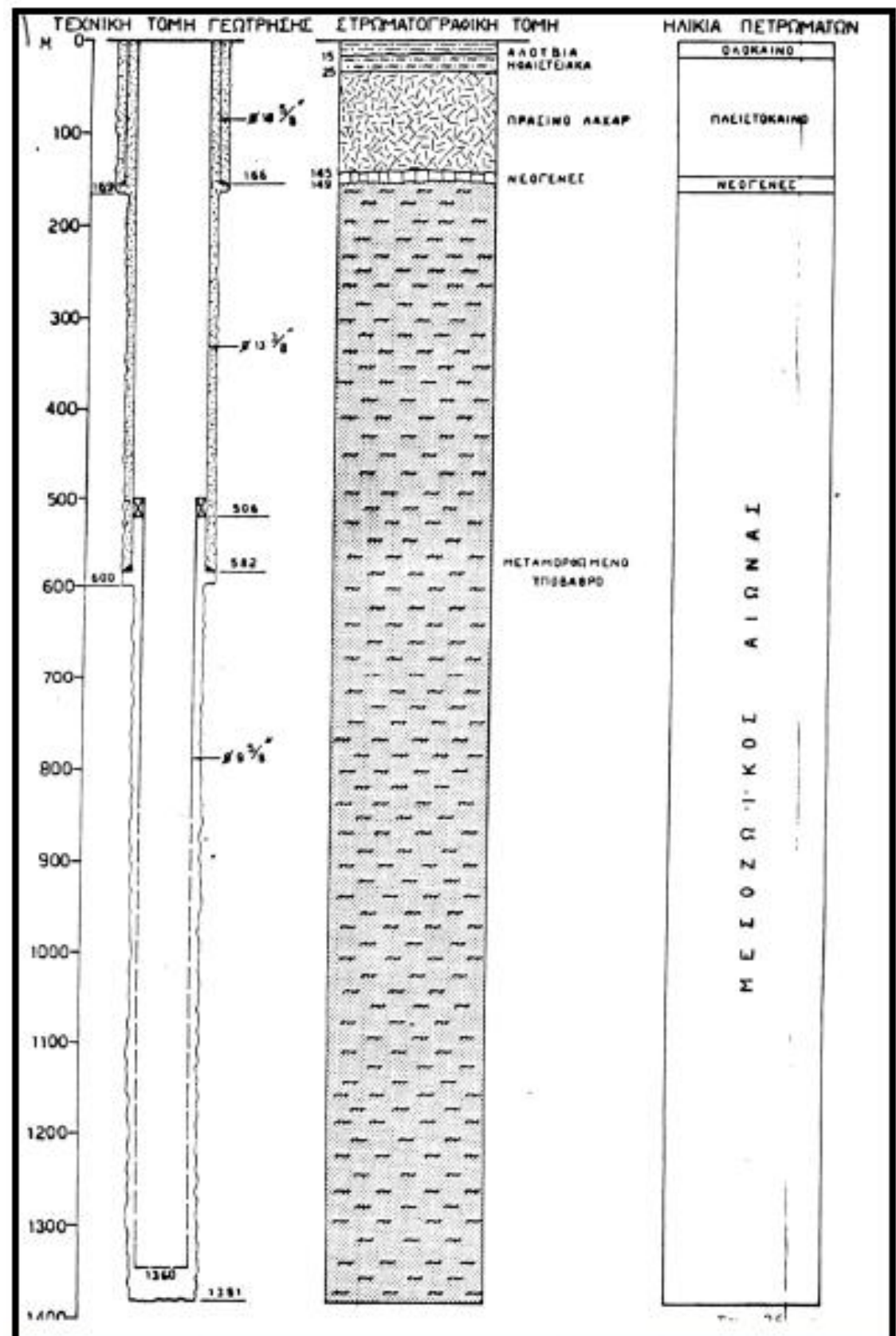
Η γεωθερμική γεώτρηση M1 έγινε στην περιοχή της Ζεφυρίας που βρίσκεται στο κεντρικό-ανατολικό τμήμα του νησιού. Η όρυξη άρχισε στις 6 Οκτωβρίου 1980 και τελείωσε στις 6 Μαρτίου 1981, σε τελικό βάθος 1180m.



Σχήμα 12 Γεώτρηση Μ1 (Μήλος 1η) (Πηγή: ΙΓΜΕ)

- **γεώτρηση Μ-2 (Μήλος 2η)**

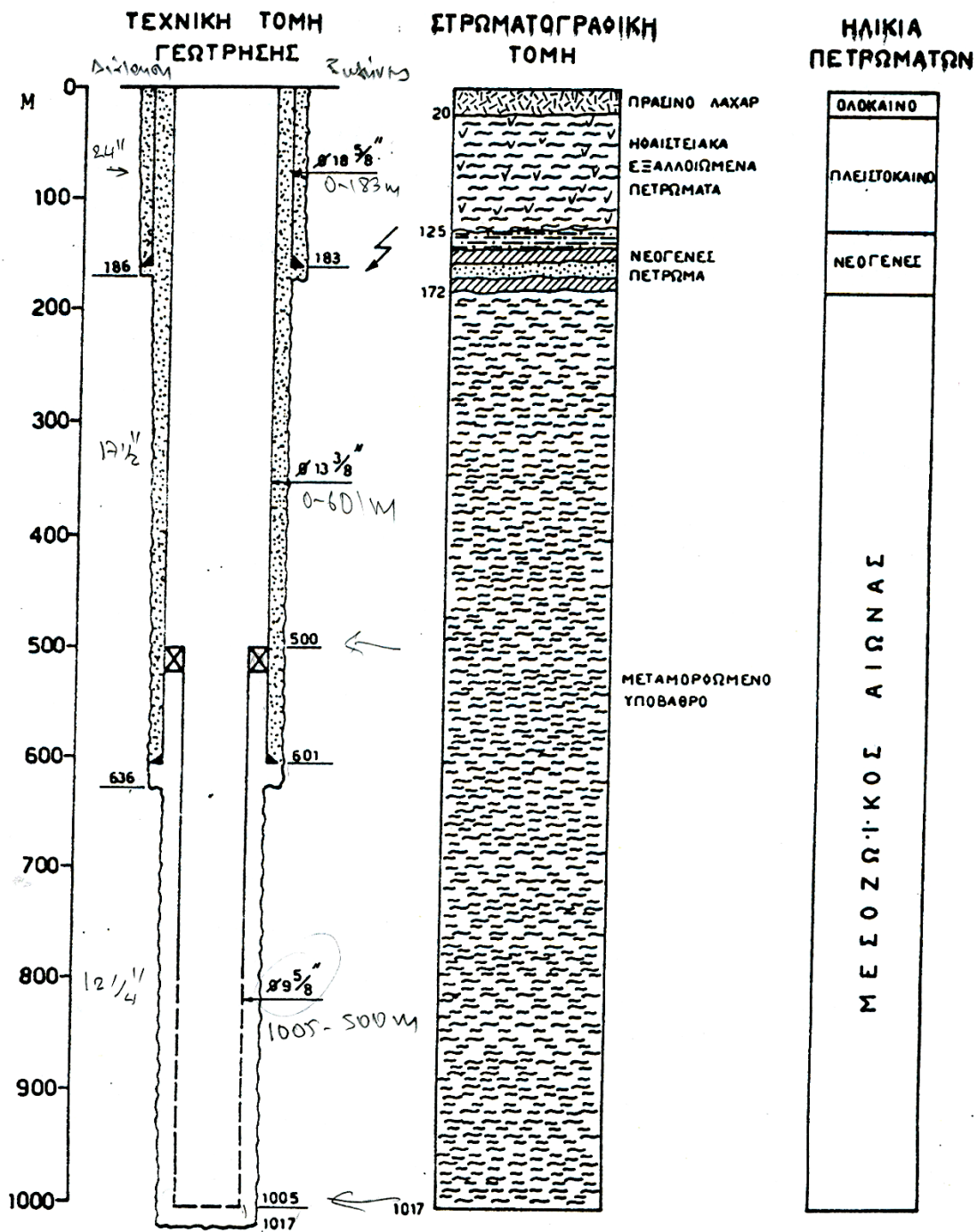
Η γεωθερμική γεώτρηση Μ2 έγινε και αυτή στην πεδιάδα της Ζεφυρίας. Η όρυξη άρχισε στις 16 Μαρτίου και τελείωσε την 1 Ιουλίου 1981, με τελικό βάθος 1381m.



Σχήμα 13 Γεώτρηση M2 (Μήλος 2η) (Πηγή: ΙΓΜΕ)

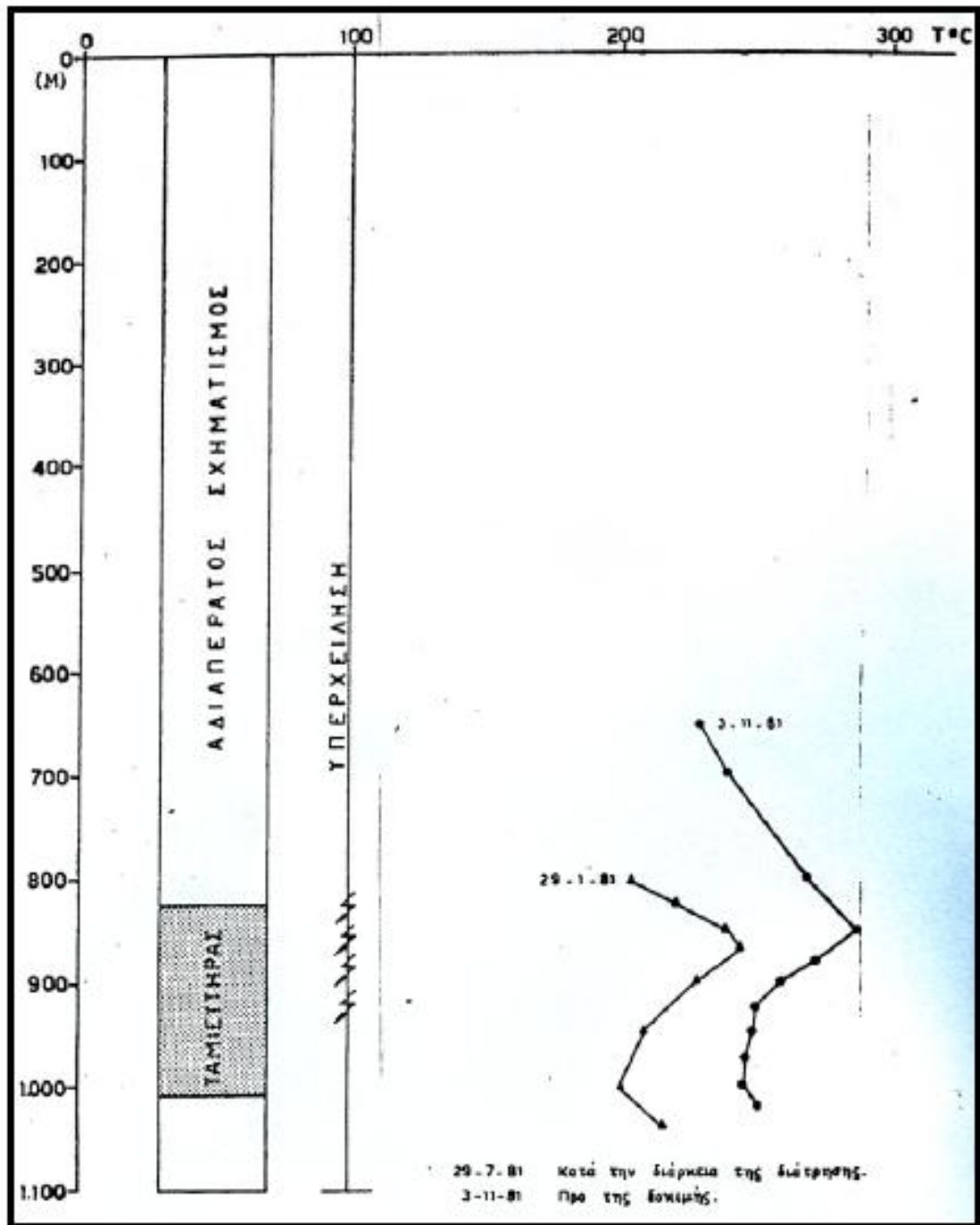
- **γεώτρηση M-3 (Μήλος 3η)**

Η γεωθερμική γεώτρηση M3, όπως και οι προηγούμενες, βρίσκεται στην περιοχή της Ζεφυρίας. Η διάτρηση άρχισε στις 16 Ιουνίου και τελείωσε στις 15 Νοεμβρίου 1981. Το τελικό βάθος της γεώτρησης είναι 1017 m και το υψόμετρο είναι 102 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο ταμιευτήρας της M3 αρχίζει από τα 812 m με την πρώτη εμφάνιση του επίδοτου $[Ca_2 (Fe,Al) Al_2 (O/OH/SiO_4/Si_2O_7)]$. Το επίδοτο σχηματίζεται κατά τη μεταμόρφωση και βρίσκεται σε μεταμορφωμένα πετρώματα, είναι δε γεωθερμόμετρο υψηλής θερμοκρασίας. Τα παραγωγικά τμήματα της γεώτρησης συμπίπτουν με την παρουσία του επίδοτου, την υπερχείλιση και τη μεγαλύτερη ταχύτητα διάτρησης. Τα παραπάνω εμφανίζονται λόγω ρωγμάτωσης του ταμιευτήρα, κυκλοφορίας νερού και υψηλής θερμοκρασίας.



Σχήμα 14 Γεώτρηση M3 (Μήλος 3η) (Πηγή:ΙΓΜΕ)

Το θερμοκρασιακό προφίλ κατά τη διάρκεια της όρυξης και μετά το πέρας αυτής παρουσιάζονται παρακάτω:

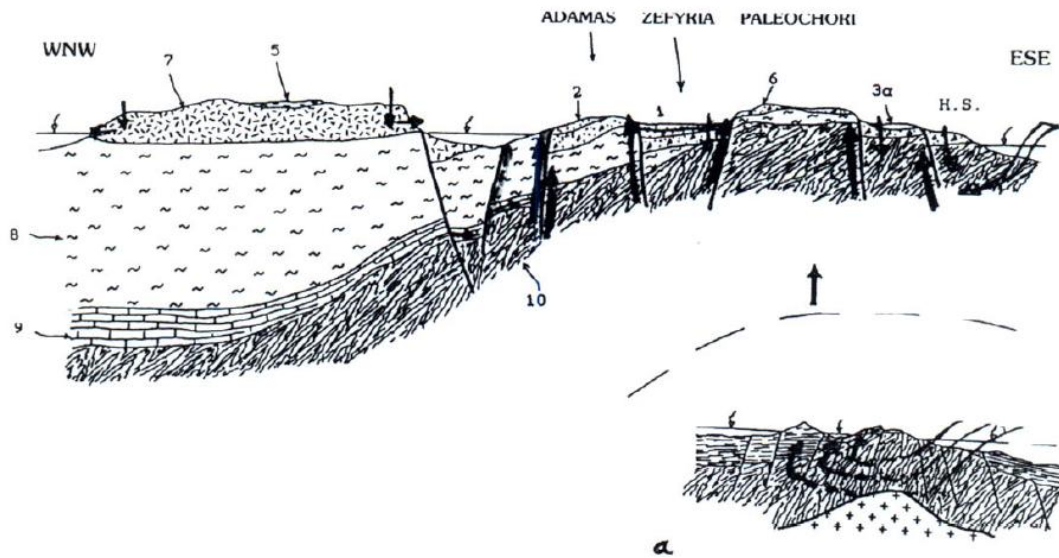


Σχήμα 15 Θερμοκρασίες στη γεώτρηση M3 (πηγή: ΙΓΜΕ)

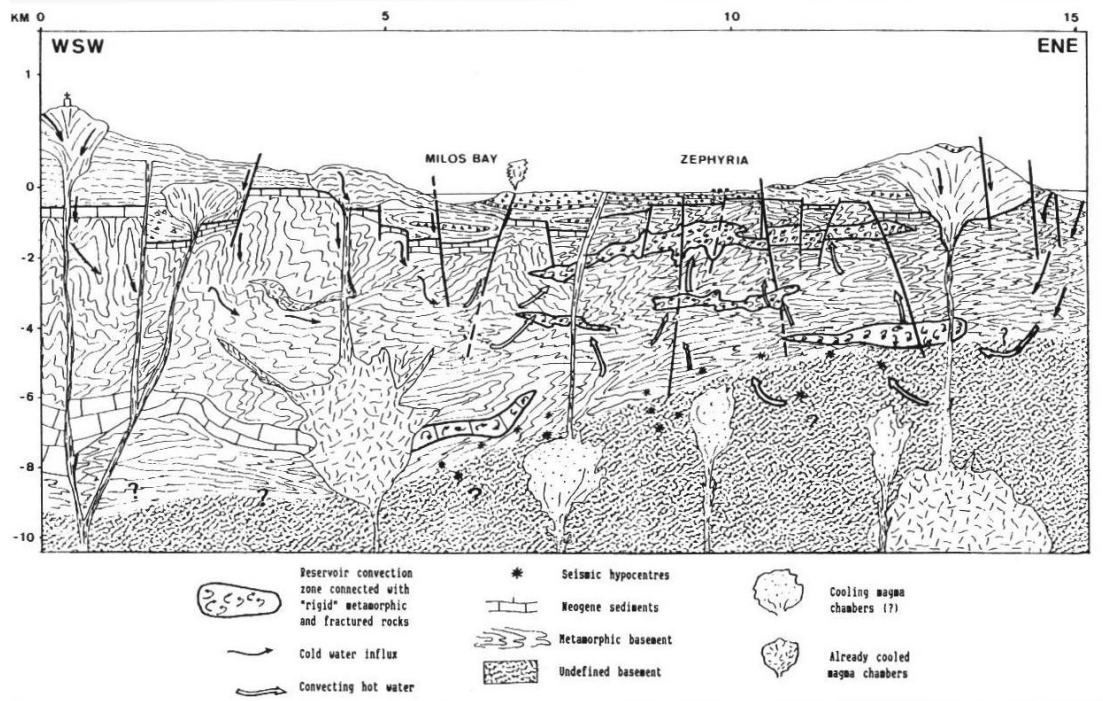
2.5. Τεκτονική Μήλου

Ένα συστήματα ρηγμάτων με διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ το οποίο ορίζεται ως το σπουδαιότερο, επιπλέον είναι παράλληλο προς το ηφαιστειακό τόξο και θεωρείται ο κύριος λόγος για τη δημιουργία της τεκτονικής ρηξιγενών τεμαχών, που σχηματίζει ένα σύνολο κεράτων και βυθισμάτων του υποβάθρου. Παράλληλα άλλη μια τεκτονική διεύθυνση, που επηρεάζει παρόμοια συστήματα ανυψώσεων – καταβυθίσεων του νησιού, είναι η διεύθυνση Α – Δ η οποία έχει διαμορφωθεί κατά την περίοδο της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Σημαντική διεύθυνση αποτελεί επίσης, το σύστημα ρηγμάτων και διαρρήξεων με διεύθυνση Β – Ν, το οποίο είναι ευδιάκριτο επιφανειακά και αποτελεί τον λόγο ύπαρξης και δημιουργίας του μεγαλύτερου μέρους της ηφαιστειακής δραστηριότητας, λόγω της εξόδου των μαγμάτων

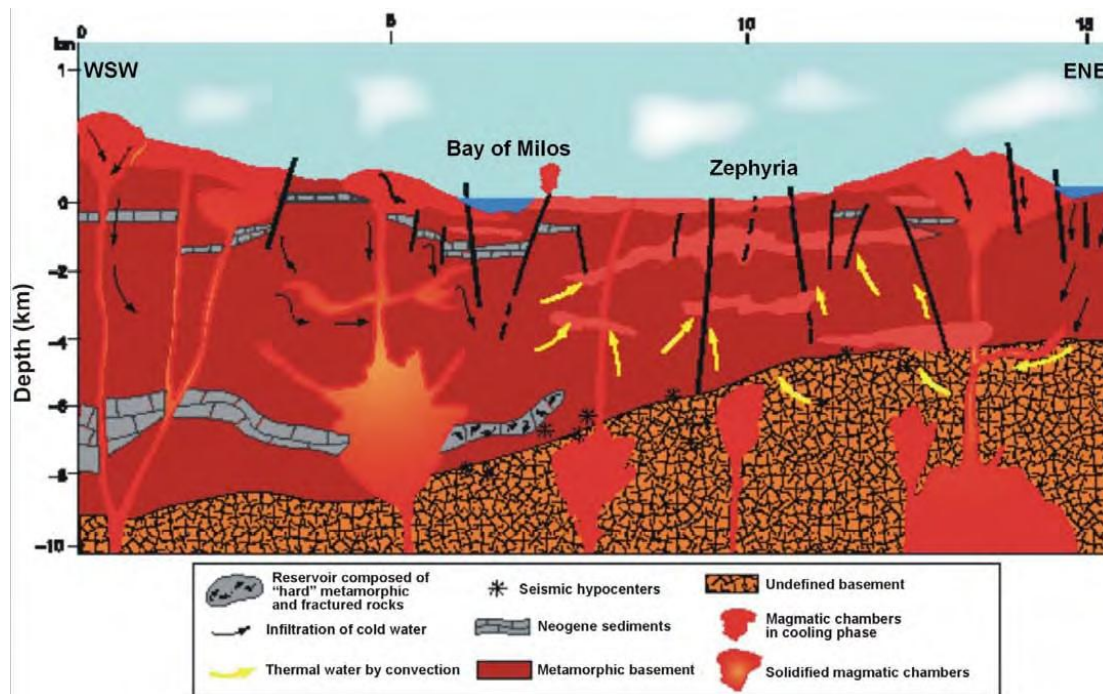
στην επιφάνεια. Φανερά παραδείγματα του γεγονότος αυτού είναι η ευθυγράμμιση πολλών δόμων και σημείων εξόδου λάβας (Φυτίκας, 1973, Φυτίκας, 1977)[10]. Το σύστημα των ρηγμάτων, με διεύθυνση Β – Ν σχημάτισε τα δύο τεκτονικά βυθίσματα του νησιού: το μεγαλύτερο, της πεδιάδας της Ζεφυρίας, το οποίο έχει διαρρήξει μόνο το ηφαιστειακό κάλυμμα και όχι το υπόβαθρο, που αποτελεί τεκτονική ανύψωση και το μικρότερο, το οποίο σχημάτισε τον ισθμό Προβατά – Χιβαδολίμνης. Αντίθετα, τα τεκτονικά κέρατα είναι περισσότερο πολυάριθμα και δημιουργήθηκαν από ρήγματα με κυριότερη διεύθυνση Α – Δ (Φυτίκας, 1973, Φυτίκας, 1977)[10].



Εικόνα 3 Γενική τεκτονική Μήλου και σχηματικό γεωθερμικό πρότυπο (α), 1:Αλλούβια, 2:Πρόσφατοι πορώδεις τόφφοι και ψαμμίτες, 3α: τοφφίτες Φυριπλάκας, 5:Νέοι τοφφίτες, 6:Λαχάρ, 7: Κατώτερες Λάβες, 8: Παλιοί Τοφφίτες, 9: Ασβεστόλιθοι κλπ. Ιζήματα Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου, 10:Μεταμορφωμένο υπόβαθρο.



Εικόνα 4: Γεωλογική – Στρωματογραφική τομή της ν. Μήλου



Εικόνα 5: Γεωλογική – Στρωματογραφική τομή της ν. Μήλου

2.6.Χαρακτηριστικά υδροφόρου ορίζοντα

Η υδροφορία στη Μήλο παρατηρείται κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις – προσχώσεις των περιοχών της Ζεφυρίας, της Φυλακωπής, της Απολλώνιας του Παλαιοχωρίου κ.ά.. Επιπλέον ένας λόγος για την υδροφορία στη Μήλο είναι οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί, εφόσον οι συνθήκες το επιτρέπουν, δηλαδή εκεί όπου αναπτύσσεται εκτεταμένος μανδύας αποσάθρωσης ή ρηξιγενής ζώνη, που επιτρέπει την κατείδυση ομβρίων υδάτων και τη

δημιουργία υδροφόρου ορίζοντα. Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι ότι τα ηφαιστειακά πετρώματα, λόγω της υδρολιθολογικής τους συμπεριφοράς δεν επιτρέπουν τη δημιουργία μεγάλων και αξιοποιήσιμων αποθεμάτων νερού αφού θεωρούνται εν γένει ημιπερατοί έως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Προκύπτει, λοιπόν, βάσει της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων, πως στη Μήλο αναπτύσσεται κοκκώδες υδροσύστημα.

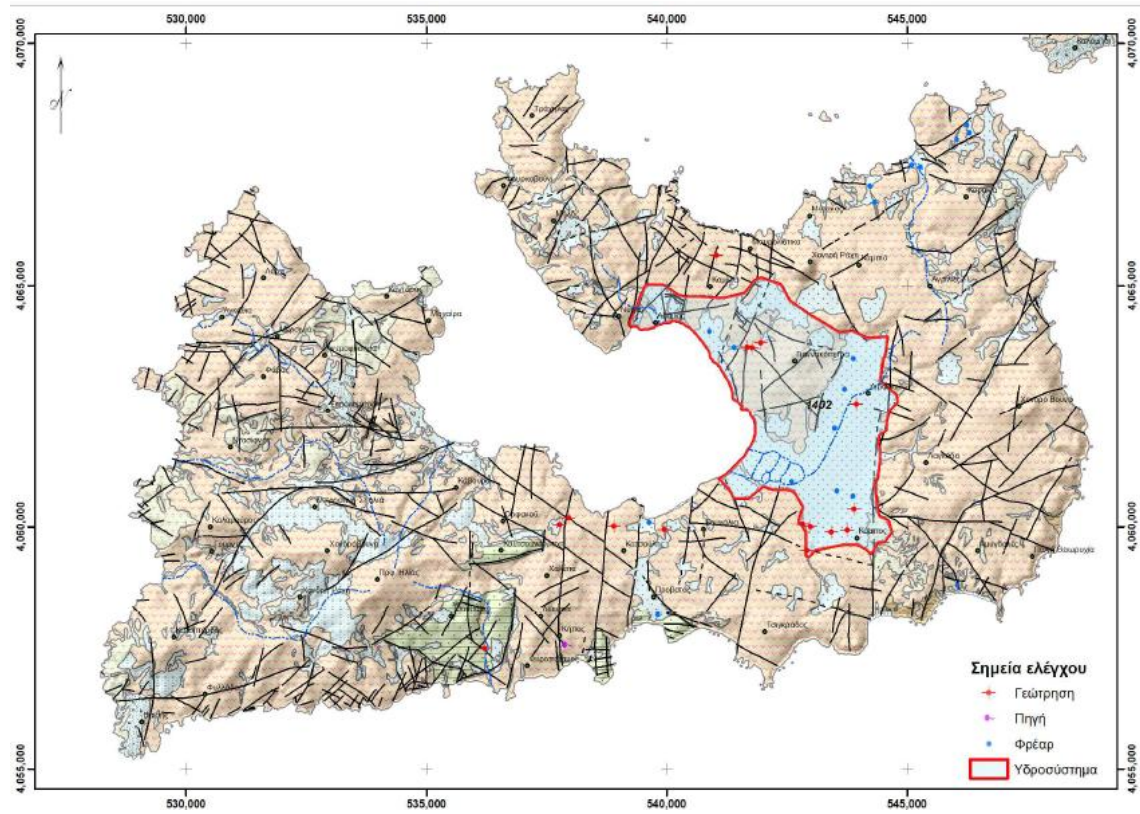
Η υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των προσχωματικών σχηματισμών στην περιοχή της Ζεφυριάς συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην Μήλο. Πρόκειται για έναν ελεύθερο (φρεάτιο) υδροφόρο, ο οποίος αποτελείται από αδρομερείς προσχωματικές αποθέσεις με υποκείμενα αργιλικά στρώματα, καθώς και από αποθέσεις αξιοσημείωτου πάχους ηφαιστειακών αναβλημάτων⁵, τα οποία καλύπτουν σε ένα βαθμό την επιφάνεια τροφοδοσίας των κοιλάδων. Ο υδροφόρος ορίζοντας τροφοδοτείται από την κατείδουση των ομβρίων υδάτων και από την πλευρική τροφοδοσία των ηφαιστειακών πετρωμάτων και λαβών διαμέσου ρωγμών και διακλάσεων, με κύρια χρήση για κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Η αξιοποίηση αυτού του υδροφόρου ορίζοντα γίνεται για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών με την παρουσία ρηχών φρεάτων τα οποία είναι από 3m μέχρι 27m, και οι παροχές τους περιορίζονται στα 10 – 20m³/h, ενώ οι στάθμες τους κυμαίνονται από 1m έως 17m. Συχνά, η υπερβολική άντληση από τα φρεάτια, ιδιαίτερα στη λεκάνη του Αδάμαντα, οδηγεί σε φαινόμενα υφαλμύρωσης, εξαιτίας της άμεσης υδραυλικής επικοινωνίας των προσχώσεων με τη θάλασσα. Οι υπόλοιποι ηφαιστειακοί σχηματισμοί, όπως οι λάβες (δακίτες, ρυόλιθοι, ανδεσίτες), οι σκωρίες και τα πυροκλαστικά, παρουσιάζουν πολύ μικρή υδροπερατότητα και υδαταγωγιμότητα και έτσι χαρακτηρίζονται ως υδροστεγανοί σχηματισμοί. Όπου οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζονται ψαμμιτικοί και αμμούχοι, καθώς επίσης και έντονα ρωγματωμένοι διεισδύει ποσότητα νερού μέσα σε αυτούς, έτσι ώστε σε μεγαλύτερα βάθη, λόγω σημαντικού ποσοστού αργιλικών ορυκτών, ορίζονται ως ημιπερατοί έως υδροστεγανοί (Γεώτρηση Γ14).

Η Μήλος αποτελείται, στο μεγαλύτερο ποσοστό της, από ηφαιστειακά πετρώματα όπου η υδροπερατότητα και η υδραυλική αγωγιμότητα τους να είναι πολύ χαμηλή και η υδροαποθηκευτικότητά τους είναι πολύ μεγάλη, κάτι το οποίο σε μεγάλα βάθη και σε περιοχές με έντονη ρηξιγενή δραστηριότητα αναπτύσσεται θερμομεταλλική υδροφορία, η οποία προέρχεται κυρίως από κατείδουση μετεωρικού νερού.

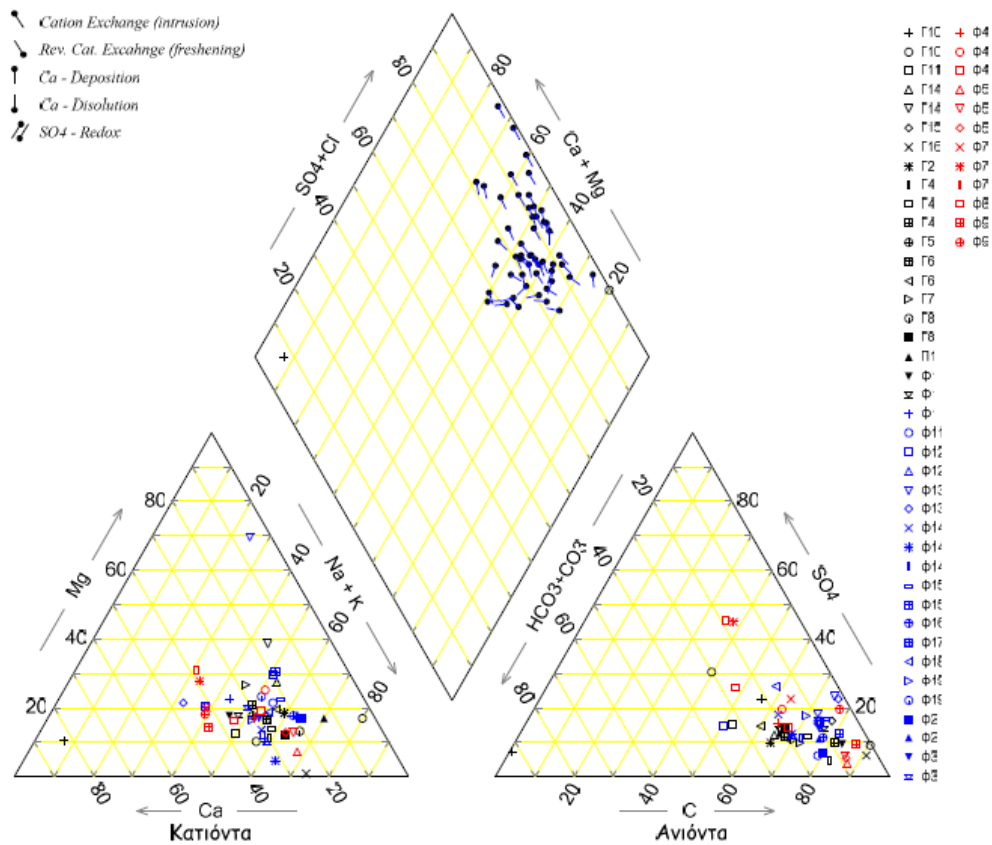
Τα υπόγεια νερά τα οποία κυκλοφορούν στον υδροφόρο ορίζοντα της Μήλου βάσει χημικών αναλύσεων για τον έλεγχο των υδροχημικών μηχανισμών που υπεισέρχονται στη διαμόρφωση της ποιότητας του υπόγειου νερού. Παρουσιάζονται παρακάτω τα διαγράμματα Duron και το λογαριθμικό διάγραμμα. Σύμφωνα με αυτά, τα υπόγεια νερά της Μήλου βρίσκονται πάνω στη γραμμή συντηρητικής μίξης και σχεδόν εξολοκλήρου προς τα αλμυρά νερά με το γενικό υδροχημικό τους τύπο να είναι Mg – Cl έως Na – Cl (υφάλμυρα νερά), ενώ αναμιγνύονται πολλές φορές με θύλακες θερμομεταλλικών νερών. Γενικά χαρακτηρίζονται ως νερά υψηλού έως πολύ υψηλού κινδύνου αλατότητας και χαμηλού κινδύνου αλκαλίωσης. Όπως παρουσιάζεται και στο χάρτη κατανομής κύριων ιόντων σε διαγράμματα πίτας Σχήμα 21, σε περιοχές όπως ο Αδάμαντας (κεντρικά) και η Πολλώνια (βόρεια), παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων (TDS), ως αποτέλεσμα υφαλμύρωσης. Η υψηλή συγκέντρωση σε θειικά ιόντα οφείλεται στην διέλευση του υπόγειου νερού μέσω των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Εμφανίζονται αυξημένες σχετικά τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας ιόντων χλωρίου (Cl), νατρίου (Na) και καλίου (K), πέραν των επιτρεπτών ορίων για ανθρώπινη κατανάλωση. Επίσης, παρατηρείται υπέρβαση στην παραμετρική τιμή των θειικών ιόντων (SO₄). Τέλος, παρατηρείται σε αρκετές περιπτώσεις

⁵ Αναβλήματα ονομάζονται υλικά που δημιουργούνται κατά την έκρηξη του ηφαιστείου

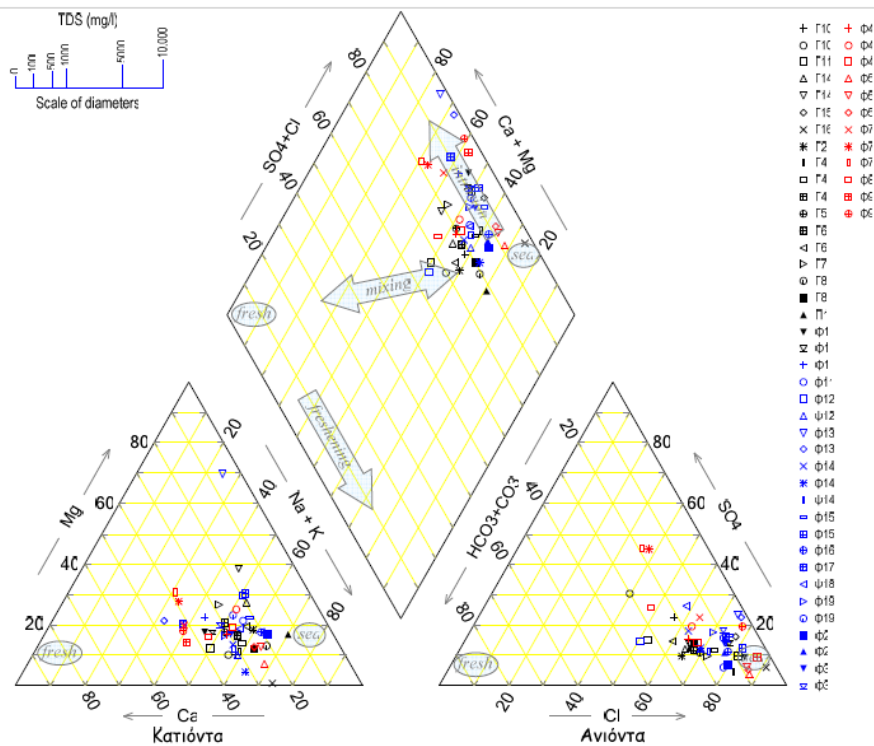
υπέρβαση της ενδεικτικής τιμής σε σίδηρο (Fe) και της αραμετρικής τιμής σε νικέλιο (Ni), μαγγάνιο (Mn), μόλυβδο (Pb), σελήνιο (Se) και αργίλιο (Al), όπου για τις συγκεντρώσεις σιδήρου και νικελίου μπορεί να είναι αποτέλεσμα της ηλεκτρόλυσης των σωλήνων γεωτρήσεων λόγω των μεγάλων τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας (δηλαδή διαλύματα με μεγάλο ιοντικό δυναμικό).



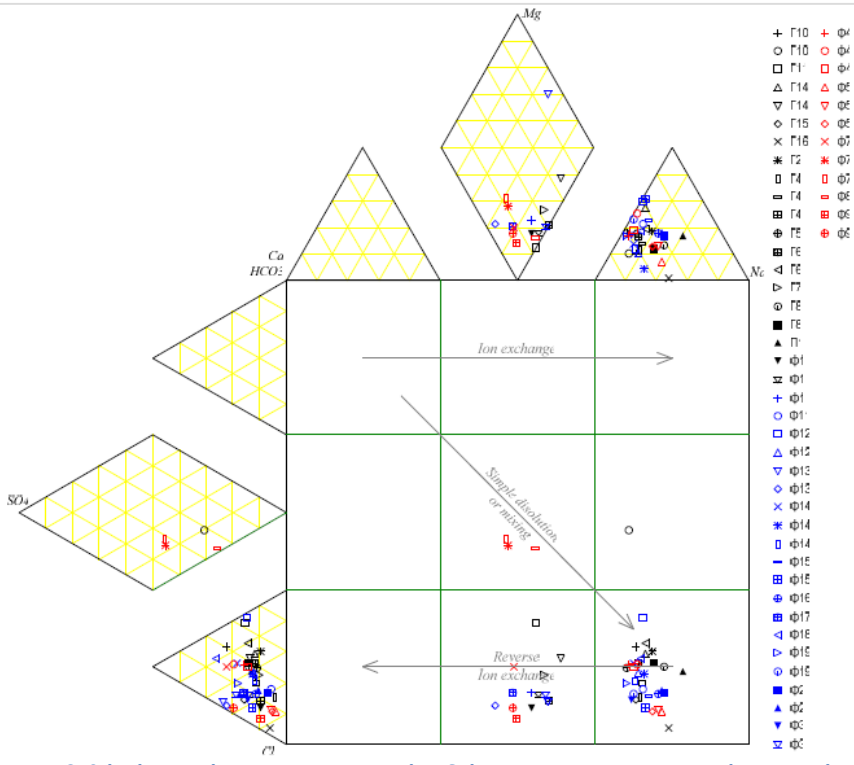
Σχήμα 16 Κατανομή υδροσυστημάτων Νήσου Μήλου



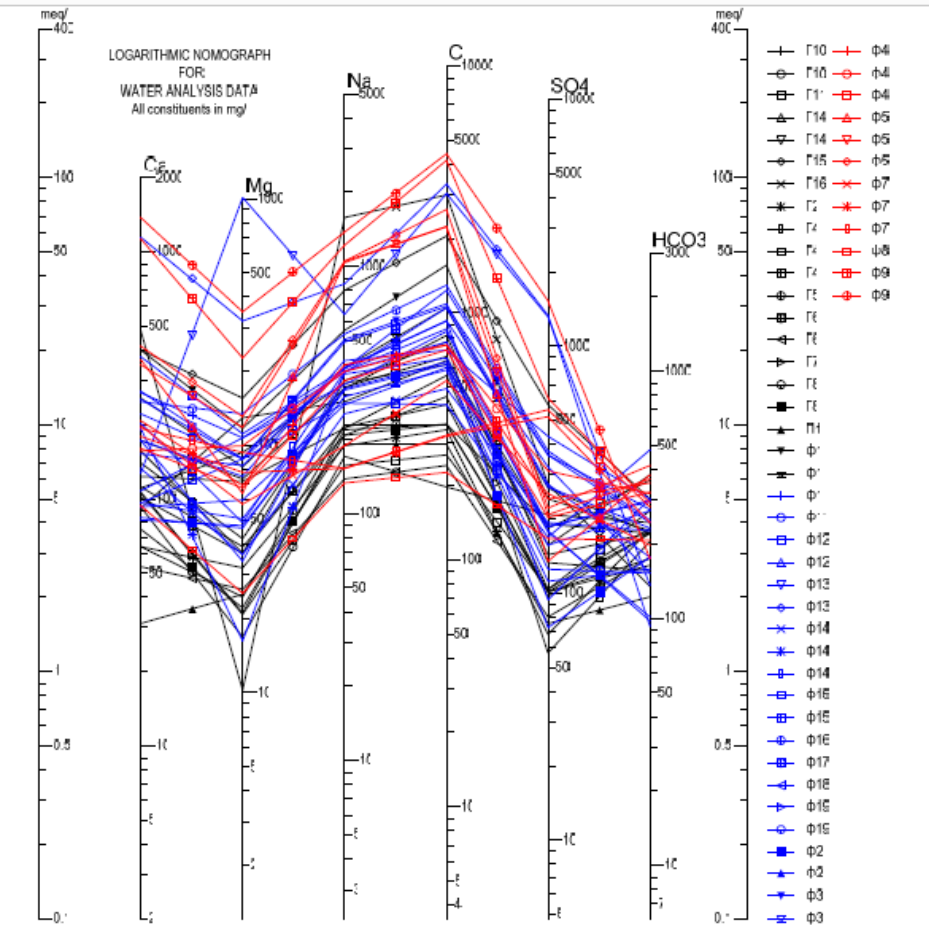
Σχήμα 17 Προβολή κύριων ιόντων σε εξειδικευμένο διάγραμμα Piper για τα υπόγεια νερά της Μήλου



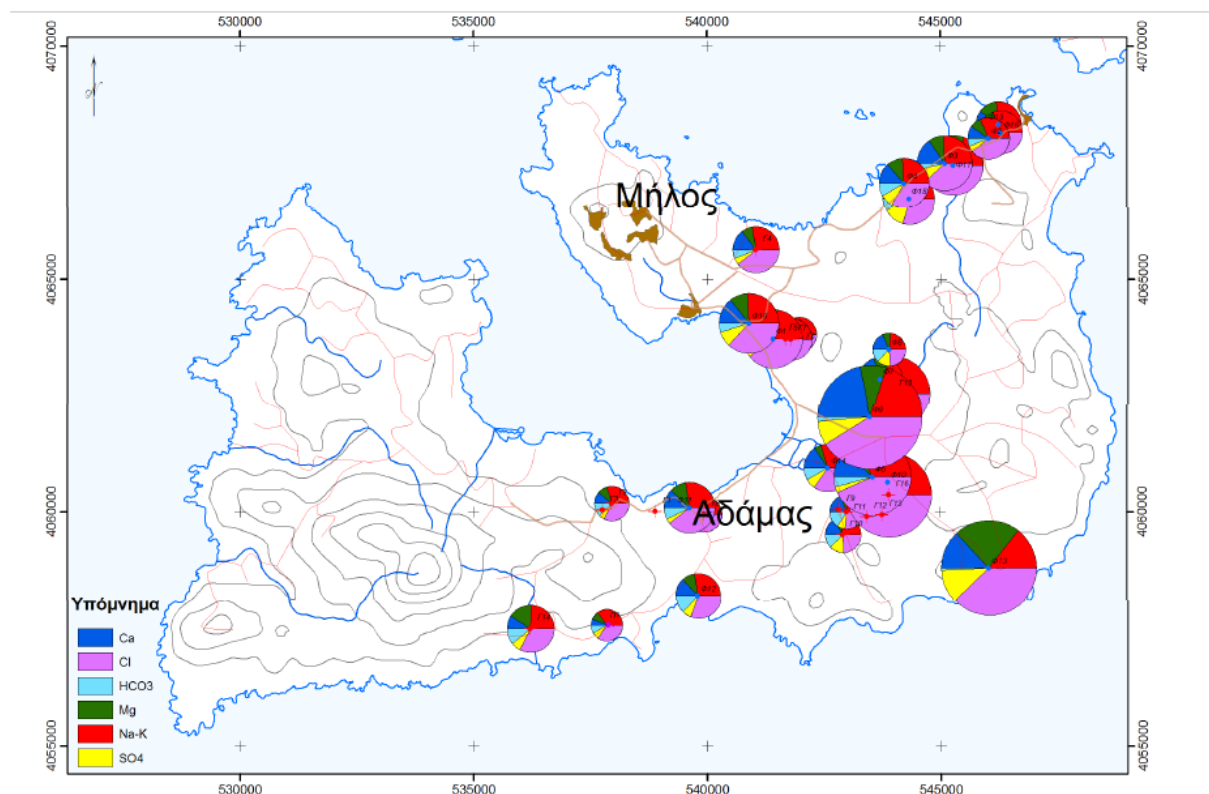
Σχήμα 18 Προβολή κύριων ιόντων σε διάγραμμα Piper για τα υπόγεια νερά της Νήσου Μήλου



Σχήμα 19 Προβολή κύριων ιόντων σε αναπτυγμένο διάγραμμα Durov για τα υπόγεια νερά της Νήσου Μήλου



Σχήμα 20 Προβολή κύριων ιόντων σε λογαριθμικό διάγραμμα για τα υπόγεια νερά της Νήσου Μήλου



Σχήμα 21 Προβολή κύριων ιόντων σε διάγραμμα πίτας για τα υπόγεια νερά της Νήσου Μήλου

2.7.Γεωθερμικό πεδίο Μήλου

Το γεωθερμικό πεδίο ολόκληρου του νησιού της Μήλου έχει εξεταστεί και μελετηθεί από ερευνητικές εργασίες του ΙΓΜΕ αλλά και της εταιρίας ΜΗΛΟΣ Α.Ε. Υπάρχει το επιβεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο αλλά και πιθανό γεωθερμικό πεδίο όπου ουσιαστικά καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης του νησιού. Οι δυο βασικές κατηγοριοποιήσεις του βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου της Μήλου είναι το πεδίο υψηλής ενθαλπίας και το πεδίο χαμηλής ενθαλπίας.

ι. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας

Στην Μήλο έχει βρεθεί το πρώτο γεωθερμικό πεδίο υψηλής θερμοκρασίας στη χώρα. Παράλληλα διαπιστώθηκε, από τις ερευνητικές εργασίες του ΙΓΜΕ, ότι σε ολόκληρο το νησί αναπτύσσεται ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας⁶ μέχρι του βάθους των 200 μ. περίπου στο οποίο αδιαπέραστοι λιθολογικοί σχηματισμοί το διαχωρίζουν από το πεδίο υψηλής ενθαλπίας που εντοπίζεται σε μεγαλύτερα βάθη. Βάση ερευνών περιχαράσσεται ένα βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας ενώ ολόκληρο το νησί αποτελεί ένα πιθανό πεδίο.

➤ Τα βασικά χαρακτηριστικά του βεβαιωμένου πεδίου χαμηλής ενθαλπίας:

- Έκταση 63 km²
- Θερμοκρασία 60- 99 °C

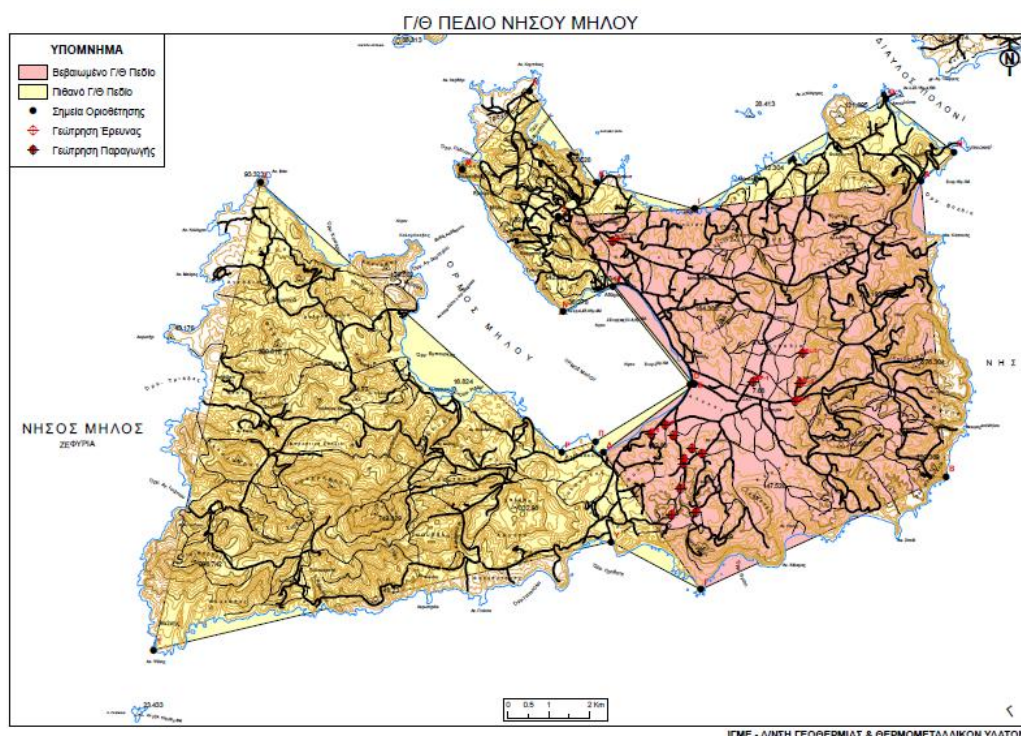
⁶ Χαρακτηρίζεται χαμηλής ενθαλπίας κατά την Ελληνική νομοθεσία.

- Βάθος ταμιευτήρα: 50 - 200 m.
- Παροχή γεωθερμικού ρευστού: 750 m³/h

- Τα βασικά χαρακτηριστικά του πιθανού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας:
 - Έκταση 87 km²

Πίνακας 3 Χημικές αναλύσεις νερού γεωτρήσεων χαμηλής ενθαλπίας

" ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΜΗΛΟΥ (mg/l) "	
Δείγμα	Στόλοι
Αγωγιμότητα (μS/cm)	3.630
pH	6,8
T.D.S	2260
Ca	202,4
Mg	25,05
Na	506
K	39,1
CO ₃	-
HCO ₃	202
Cl	1037,2
SO ₄	121
SiO ₂	124
Al	-
B	1,1
Fe	0,4
F	0,9



Σχήμα 22 Γεωθερμικό πεδίο Μήλου

a. Γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας

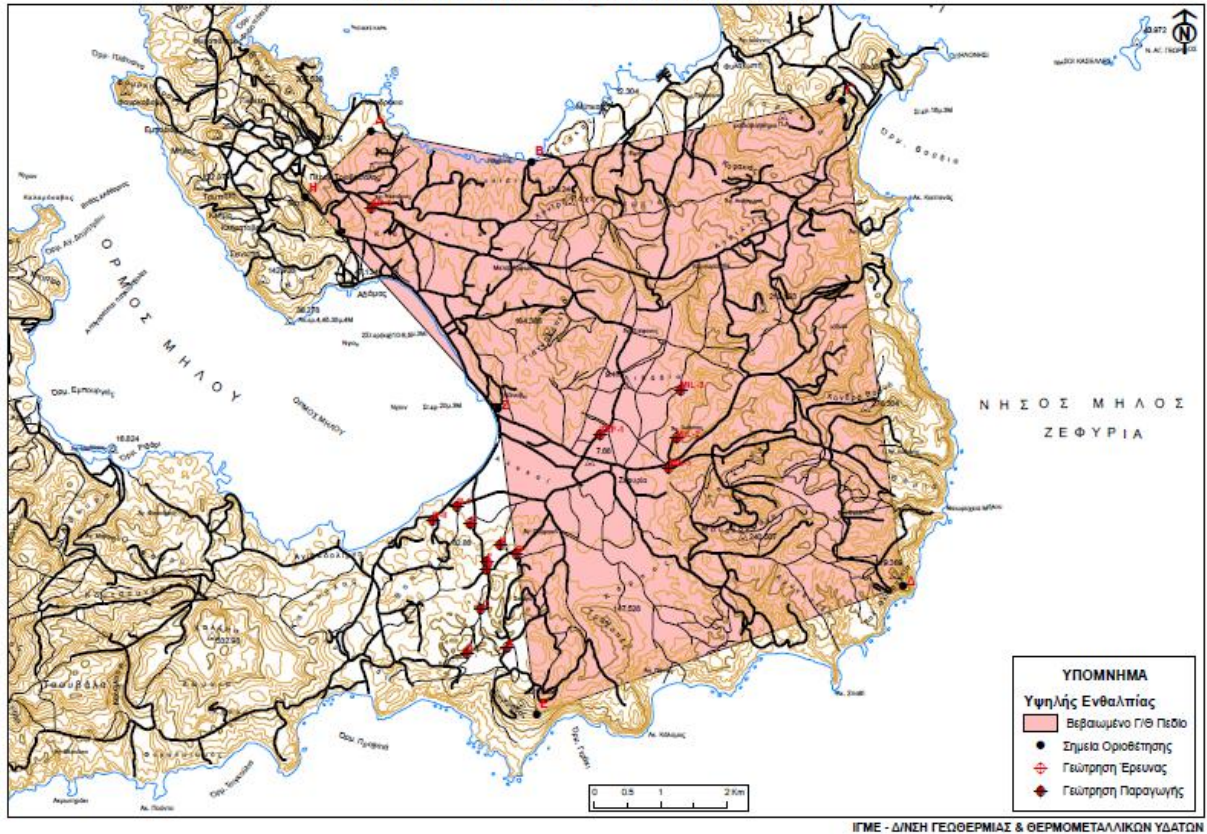
Στη Μήλο εντοπίστηκε το πρώτο γεωθερμικό πεδίο υψηλής θερμοκρασίας στη χώρα. Ερευνήθηκε πρωταρχικά από το ΙΓΜΕ τη δεκαετία του 1970 με την εκτέλεση διαφόρων μεθόδων επιφάνειας μεταξύ των οποίων άνοιξε 48 αβαθείς γεωτρήσεις γεωθερμικής βαθμίδας. Εν συνεχεία η ΔΕΗ άνοιξε πέντε γεωτρήσεις παραγωγής αλλά και έρευνας στις οποίες εκτέλεσε δοκιμές παραγωγής. Κατά τη δεκαετία του 1980 εγκαταστάθηκε στην Μήλο και λειτούργησε για λίγο, σε πειραματικό επίπεδο, μικρή πιλοτική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 1,8 MWe. Η βιομηχανική αξιοποίηση δεν προχώρησε λόγω αντίθεσης των κατοίκων αλλά και κακής λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας.

- Τα βασικά χαρακτηριστικά του βεβαιωμένου πεδίου υψηλής ενθαλπίας:
 - Έκταση: 50 km²
 - Θερμοκρασία (στον πυθμένα των γεωτρήσεων): 280-320°C
 - Βάθος ταμιευτήρα: 1000m - 1380m.
 - Παραγωγή: 339 ton/h ρευστού εκ των οποίων οι 200 ton/h κεκορεσμένου ατμού και οι 139 ton/h θερμού νερού.
 - Πίεση: 11 – 29 atm.

Πίνακας 4 Χημικές αναλύσεις δειγμάτων αλμόλουπου γεωτρήσεων υψηλής ενθαλπίας Μήλου

" ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΛΜΟΛΟΠΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΥΨΥΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΜΗΛΟΥ (mg/l) "	
Δείγμα	M-1
Αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$	135.000
pH	4,3
T.D.S	120.000
Ca	4750
Mg	14
Na	33500
K	8700
CO₃	-
HCO₃	0
Cl	68000
SO₄	60
SiO₂	1000
Al	0
B	87
Fe	47,3
F	3

Γ/Θ ΠΕΔΙΟ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΝΗΣΟΥ ΜΗΛΟΥ



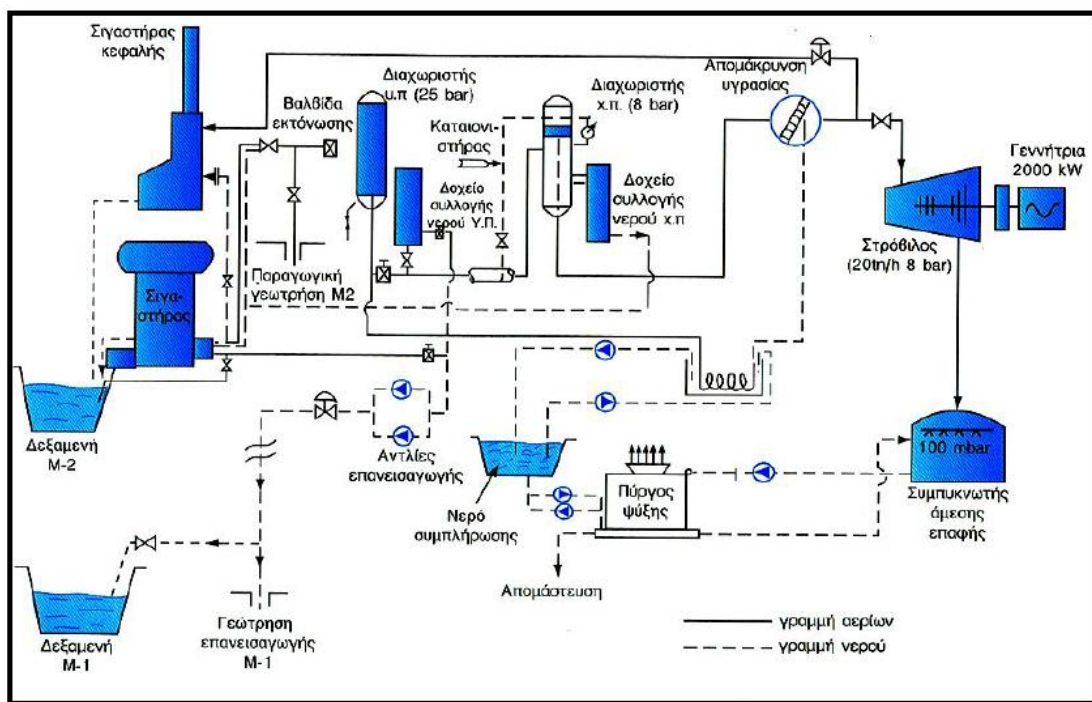
Σχήμα 23 Γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας Μήλου

2.8. Ιστορική αναδρομή γεωθερμικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας Μήλου

Η Μήλος όσον αφορά τη γεωθερμική ενέργεια στον Ελλαδικό χώρο, βρίσκεται κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Στο νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου-Κιμώλου-Πολυαίγιου έχει εντοπιστεί το πρώτο γεωθερμικό πεδίο υψηλής θερμοκρασίας στη χώρα. Η ΔΕΗ ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1970, με σκοπό την αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων στην Μήλο. Πραγματοποιήθηκε έρευνα σε διάφορες περιοχές του νησιού, που περιέλαβε δέκα γεωτρήσεις μέτρησης θερμοβαθμίδας, για την αξιολόγηση και επιλογή των κατάλληλων προς εκμετάλλευση περιοχών. Το 1975 κατασκευάστηκε από τη ΔΕΗ δύο βαθιών γεωτρήσεων (ΜΑ1 και ΜΖ1), με τις οποίες πιστοποιήθηκε η ύπαρξη δύο σημαντικών γεωθερμικών πεδίων. Το 1982 ακόμη τρεις παραγωγικές γεωθερμικές γεωτρήσεις βάθους από 1.000 – 1.500m δημιουργήθηκαν. Μετά από δοκιμαστική παραγωγή εκτιμήθηκε το εκμεταλλεύσιμο γεωθερμοηλεκτρικό δυναμικό της Μήλου της τάξεως των 120 MW_e. Με βάση τα παραπάνω εγκαταστάθηκε μία πιλοτική γεωθερμική μονάδα ισχύος 2 MW. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε γεωθερμική έρευνα στην Κίμωλο, κατασκευάζοντας 8 γεωτρήσεις θερμοβαθμίδας, σε βάθη ως 100 m όπου έγιναν και 2 γεωθερμικές γεωτρήσεις με σκοπό τη λειτουργία γεωθερμικού συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού όπου λειτουργεί μέχρι και σήμερα. Για την κατασκευή της πρώτης πιλοτικής γεωθερμικής μονάδα ισχύος 2MW επιλέχθηκε η εταιρία MITSUBISHI. Η μονάδα αυτή τέθηκε σε λειτουργία στις 4/12/1986, όπου αρχικά λειτούργησε κανονικά και κάλυψε εξ ολοκλήρου την ηλεκτρική κατανάλωση του νησιού για δυο χρόνια. Ο σχεδιασμός της

μονάδας έγινε με βάση τις προκαταρκτικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών. Η κατασκευή της μονάδας ολοκληρώθηκε στις αρχές του 1986. Ο σχεδιασμός προέβλεπε τον διαχωρισμό του γεωθερμικού ρευστού σε κυκλωνικό διαχωριστή πίεσεως 8bar. Ο κορεσμένος ατμός θα οδηγούνταν στον ατμοστρόβιλο, ενώ η υγρή φάση θα ακολουθούσε επανέγχυση στον ταμιευτήρα.

Η μονάδα αντιμετώπισε από την αρχή προβλήματα λόγω δημιουργίας επικαθίσεων στη βαλβίδα εκτόνωσης και στις κατάντη επιφανειακές εγκαταστάσεις. Οι επικαθίσεις αποτελούνταν από θειούχα άλατα βαρέων μετάλλων και πυριτικές επικαθίσεις. Οι τελευταίες επικαθίσεις περιορίστηκαν σημαντικά με την αλλαγή των συνθηκών της εκτόνωσης του γεωθερμικού ρευστού, από τα 8bar στα 25bar. Για την επανεισαγωγή της υγρής φάσης, σε συνθήκες 220°C, 25 bar, χρησιμοποιήθηκε η γεώτρηση M1, η οποία βρίσκεται σε απόσταση 1350m από την παραγωγική γεώτρηση M2.



Σχήμα 24 Σχηματικό διάγραμμα της γεωθερμικής μονάδας της Μήλου (Πηγή: Φυτίκας-Ανδρίτσος, 2004)

Μετά όμως, λόγω διαρροής υδρόθειου στην ατμόσφαιρα, υπήρξαν αντιδράσεις των κατοίκων βαθμιαίως εντεινόμενες, που τελικά οδήγησαν στη διακοπή λειτουργίας της μονάδας, καθώς και κάθε άλλης δραστηριότητας σχετικής με τη γεωθερμία στο νησί. Ακολούθως, και μετά από μακροχρόνια παραμονή της Μονάδας εκτός λειτουργίας, στις 19/9/1993 στη γεώτρηση M2 υπήρξε θραύση της σωλήνωσης και ανεξέλεγκτη διαρροή γεωθερμικού ρευστού με εκτόνωση της συνολικής παραγωγής της γεώτρησης στην ατμόσφαιρα. Κατά το συμβάν αυτό καταστράφηκε το μεγαλύτερο μέρος των εγκαταστάσεων. Η βλάβη αντιμετωπίστηκε με την τοποθέτηση πώματος από ειδικό τοιμέντο μέσα στη γεώτρηση. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τέτοιου είδους πώματα και στις υπόλοιπες γεωτρήσεις M1, M2, MA1 και MZ1 του γεωθερμικού πεδίου, ώστε να βρίσκονται σε συνθήκες ασφαλείας ανεξάρτητα από τον χρόνο που θα μεσολαβήσει μέχρι την αξιοποίησή τους.

Τη διετία 2009 - 2010 εκτελέστηκε νέο ερευνητικό πρόγραμμα γεωφυσικών μετρήσεων στην Μήλο και στην Κίμωλο, από το οποίο προέκυψαν νέες πιθανές θέσεις για γεωτρήσεις και εγκατάσταση σταθμού παραγωγής τόσο στη Μήλο όσο και στην Κίμωλο μακριά από κατοικημένες περιοχές. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και την αύξηση της αξιοπιστίας του γεωθερμικού εξοπλισμού, θα μπορούσε να εξετασθεί η δυνατότητα εγκατάστασης γεωθερμικού ηλεκτρικού σταθμού στο Ανατολικό τμήμα του νησιού στην ευρύτερη περιοχή της σημερινής χωματερής. Στη θέση αυτή άλλωστε, δεν υπάρχει περιβαλλοντική όχληση και ενδεχόμενη εγκατάσταση γεωθερμικού ηλεκτρικού εργοστασίου θα συνέβαλε στην αξιοποίηση της υποβαθμισμένης αυτής περιοχής. [16]



Σχήμα 25 Υπό αξιολόγηση γεωθερμικά πεδία για έγκριση γεωθερμικού εργοστασίου (<https://geo.rae.gr>)

2.9. Ανάγκη για χρήση γεωθερμικής ενέργειας στη Μήλο

Σύμφωνα με τα στοιχεία του 2.7 το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας υπολογίζεται περίπου στα 30MW - 64MW δυνατότητας αξιοποίησης. Επιπλέον, το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας υπολογίζεται περίπου στα 59MW - 68MW.

Η Μήλος σύμφωνα με το γεωθερμικό της υπόβαθρο, είναι ένα νησί το οποίο θα μπορούσε να ανεξαρτητοποιηθεί εξολοκλήρου από την χρήση υγρών καυσίμων για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Αν αναλογιστούμε πως ένα στρέμμα θερμοκηπίου χρειάζεται περίπου 170kW ενέργειας θα μπορούσε με χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας να καλύψει ανάγκες θερμοκηπίων έως και 376 στρεμμάτων. Επιπλέον, αν μια οικία απαιτεί 70 W/m² ενέργειας θέρμανσης το γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας θα μπορούσε να καλύψει ανάγκες έως και 9285 σπιτιών των 100m² περίπου. Οι ανάγκες του νησιού για ηλεκτρική ενέργεια δεν ξεπερνάει, μέχρι και σήμερα, τα 12MW (ωριαίας κατανάλωσης) άρα η αξιοποίηση ενός

μικρού μέρους του γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας για ηλεκτροπαραγωγή θα εξοικονομούσε πολλούς τόνους υγρών καυσίμων.

2.10. Το μέλλον της γεωθερμίας στη Μήλο

Σύμφωνα με τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΔΜΗΕ, η διασύνδεση της Μήλου με το Ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έγκειται στην Δ' Φάση του έργου το οποίο αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί το 2029. Στην Δ' Φάση του έργου εμπεριέχεται συγκεκριμένα η διασύνδεση της Σαντορίνης, Φολεγάνδρου, Μήλου και Σέριφου. Ο σχεδιασμός του έργου βασίσθηκε στα συμπεράσματα διερεύνησης εναλλακτικών ηλεκτροδότησης των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων (ΜΔΝ), από Επιτροπή αποτελούμενη από αρμόδια στελέχη των ΡΑΕ, ΑΔΜΗΕ, ΔΕΔΔΗΕ και ΔΕΣΦΑ. Η ηλεκτρική διασύνδεση των Νότιων και Δυτικών Κυκλάδων με το ΕΣΜΗΕ θα πραγματοποιηθεί μέσω υποβρυχίων καλωδίων εναλλασσόμενου ρεύματος, μήκους περίπου 353,2 χλμ. και υπογείων καλωδίων εναλλασσόμενου ρεύματος, μήκους περίπου 19,6 χλμ.

Τα παραπάνω καθιστούν την γεωθερμία μια από τις καλύτερες αλλά και πιο οικονομικές λύσεις όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή αλλά και τις υπόλοιπες χρήσεις της γεωθερμίας. Είναι αναμενόμενο να αναπτυχθεί η χρήση της γεωθερμίας στο νησί της Μήλου διότι υπάρχει πολύ ισχυρό υπόβαθρο. Μετέπειτα, είναι φρόνιμο να γίνει από την τοπική αρχή του νησιού μια σωστή ενημέρωση για την γεωθερμία ώστε οι πολίτες να αποκτήσουν μια εμπειριστατωμένη άποψη γύρω από το θέμα της γεωθερμίας. Η συναίνεση των πολιτών είναι πολύ σημαντική για την αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων όπου είναι απαραίτητο πλέον οι εγκαταστάσεις να γίνονται με υπερβάλλουσα προσοχή και τήρηση των κανόνων ασφαλείας για την αποφυγή παρόμοιων όπως παλαιότερα κακών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 3 - Τεχνολογίες αξιοποίησης Γεωθερμικής ενέργειας

3.1. Χαρακτηριστικές τεχνολογίες Γεωθερμίας

3.1.1. Γεωεναλλάκτες

Η πηγή θερμότητας που είναι αξιοποιήσιμη για θέρμανση ή ψύξη βρίσκεται στο υπέδαφος, με αποτέλεσμα να χρειάζεται ένα σύστημα το οποίο να διαχέει αυτήν την θερμότητα στο σημείο που χρειάζεται. Αυτό το σύστημα είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας. Ως γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας ονομάζεται ο υπόγειος αγωγός τοποθετημένος σε υπόγειες τάφρους, σε βάθος έως και 3 μέτρα από την επιφάνεια της γης, μέσα στους οποίους ρέει το ρευστό, το οποίο ανάλογα με το είδος του συστήματος, μπορεί να είναι νερό, ψυκτικό υγρό ή και αέρας. Οι γεωθερμικές συνδέσεις με το έδαφος μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

- Συστήματα με γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος:
εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσω της συναλλαγής θερμότητας με τα υλικά του υπεδάφους.
- Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος
εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.

3.1.1.1. Σύστημα Ανοιχτού Κυκλώματος

Το σύστημα ανοιχτού κυκλώματος λειτουργεί με την χρήση του υπόγειου ή του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα με γεωτρήσεις. Η επιλογή αυτού του συστήματος έχει ως πλεονέκτημα την εύκολη εγκατάσταση αλλά ως μειονέκτημα το υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω της κατανάλωσης του υποβρύχιου συγκροτήματος στη γεώτρηση της άντλησης. Τα ανοικτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται από το κύκλωμα των γεωτρήσεων, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής της θέρμανσης ή της ψύξης και εφαρμόζονται σε περιοχές που παρουσιάζουν συνεχή υψηλή υπόγεια ή επιφανειακή υδροφορία. Συγκεκριμένα, νερό αντλείται από γειτονικό υδροφόρο ορίζοντα, διέρχεται μέσω του γεωεναλλάκτη στην αντλία θερμότητας και τελικά αποφορτίζεται. Μετά την απομάκρυνση του από το κτίριο, το νερό διατίθεται με μία από τις τρεις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω, ανάλογα κάθε φορά τους ισχύοντες τοπικούς κανονισμούς και περιορισμούς.

- Αποστράγγιση επιφάνειας, συμβαίνει σε περιοχές όπως λίμνες, ποτάμια, ρυάκια.
- Υπόγεια, σε μία συγκεκριμένη περιοχή αποστράγγισης μεγέθους, ανάλογης με τον όγκο του απαιτούμενου νερού της αντλίας θερμότητας.
- Επαναφόρτιση στον ίδιο υδροφόρο ορίζοντα

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου συμπεριλαμβάνουν ένα ή περισσότερα φρεάτια άντλησης και ένα ή περισσότερα φρεάτια επαναφόρτισης. Στα συστήματα ανοιχτού βρόγχου, το υπόγειο νερό προέρχεται μέσω του φρεατίου άντλησης από τον

υδροφόρο ορίζοντα έπειτα, εισάγεται στην αντλία θερμότητας και για να κλείσει το κύκλωμα επιστρέφεται στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω του φρεατίου φόρτισης. Περιοριστικό ρόλο στην εφαρμογή και εγκατάσταση των συστημάτων ανοιχτού βρόγχου έχουν οι τοπικές περιβαλλοντικές αρχές με τους θεσπισμένους νόμους, κώδικες, διατάγματα καθώς και τις απαιτήσεις. Συνίσταται να προηγούνται έλεγχοι του διαθέσιμου νερού για την σκληρότητα, την οξύτητα και την περιεκτικότητα σε σίδηρο πριν την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας. Μια τέτοια εγκατάσταση δεν έχει κάποια περιβαλλοντική επίπτωση, δεδομένου ότι το νερό που αντλείται, επιστρέφεται στον υδροφόρο ορίζοντα χωρίς να έρθει σε επαφή με το περιβάλλον. Η μοναδική αλλαγή που επέρχεται είναι η μικρή αύξηση της θερμοκρασίας (αντίστοιχα μείωσης κατά την χειμερινή περίοδο) του χρησιμοποιούμενου νερού από το φρεάτιο άντλησης στο φρεάτιο φόρτισης. Σημαντικό επίσης παράγοντα για τη λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού κυκλώματος, αποτελεί η απόσταση μεταξύ των φρεατίων άντλησης και επαναφόρτισης. Η αποφυγή της ροής από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης δεν είναι απαραίτητη, θα πρέπει όμως να επιβεβαιωθεί ότι η κυκλοφορία του νερού μεταξύ των φρεατίων είναι επαρκώς χαμηλή, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης, να είναι σχεδόν ίδια με τη θερμοκρασία του υδροφόρου ορίζοντα. Όσον αφορά τις διαστάσεις του φρεατίου, αυτό θα πρέπει να είναι μήκους ανάλογο με το μέγιστο ψυκτικό ή θερμικό φορτίο του συστήματος, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου, καθώς και από το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφόρου ορίζοντα. Πολύ μεγάλης προσοχής χρήζει ο παράγοντας σχεδιασμού του συστήματος, διότι μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφόρου ορίζοντα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών.

3.1.1.2. Σύστημα με γεωεναλλάκτες Κλειστού Κυκλώματος

Ένα κλειστό γεωθερμικό σύστημα λειτουργεί με τη χρήση της θερμοκρασίας του εδάφους. Το κλειστό κύκλωμα χρησιμοποιεί γεωεναλλάκτες που τοποθετούνται σε κατακόρυφη ή οριζόντια διάταξη. Η επιλογή μεταξύ κατακόρυφης και οριζόντιας διάταξης, εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής και τη διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου σε κάθε περίπτωση. Με τον τρόπο που περιεγράφηκε οι συλλέκτες μεταφέρουν θερμότητα από ή προς το έδαφος για την θέρμανση, ή για την ψύξη αντίστοιχα. Τα κλειστά γεωθερμικά κυκλώματα, αποτελούνται από το συλλέκτη – διανομέα των γεωεναλλακτών, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής θέρμανσης ή ψύξης. Το γεωθερμικό κύκλωμα τοποθετείται υπόγεια και είναι τυπικά κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (Pex-a or HDPE). Πρόκειται για ένα σχετικά σκληρό πλαστικό, το οποίο είναι εξαιρετικής ανθεκτικότητας, καθώς και μεγάλης διάρκειας ζωής, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη μετάδοση θερμότητας με αποτελεσματικό τρόπο. Η ένωση των επιμέρους τμημάτων γίνεται με θερμική συγκόλληση, γεγονός που καθιστά τις συνδέσεις ανθεκτικότερες από τους ίδιους τους αγωγούς. Το ρευστό που ρέει στο εσωτερικό του κυκλώματος είναι είτε νερό, είτε αντιψυκτικό υγρό ασφαλές προς το περιβάλλον.

3.1.1.2.1. Οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα

Τα οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει εύλογη έκταση για την τοποθέτηση τους αλλά και καταλληλότητα υπεδάφους, είναι από τα πιο οικονομικά συστήματα. Η εκσκαφή γίνεται με σκαπτικά μηχανήματα οποία φτάνουν σε

βάθος 1,5 με 2 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Εν συνεχεία γίνεται τοποθέτηση των αγωγών σε διάταξη που εξαρτάται από τη μελέτη. Μετέπειτα με την απαραίτητη προσοχή στο υλικό συμπλήρωσης, καθώς υπολείμματα βράχου ή άλλων κοφτερών τεμαχίων μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους αγωγούς, γίνεται επιχωμάτωση των υπόγειων τάφρων συνήθως με στρώμα άμμου. Ένα τυπικό σύστημα οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος, αποτελείται από αγωγούς συνολικού μήκους 70 με 700 μέτρα ανά kW θερμικής ή και ψυκτικής ικανότητας. Η απαιτούμενη έκταση γης για την τοποθέτηση οριζόντιων γεωεναλλακτών κυμαίνεται από 50m² έως 100m² ανά kW θερμικής/ψυκτικής ικανότητας, ενώ ταυτόχρονα καθοριστικό ρόλο έχουν οι ιδιότητες και η θερμοκρασία του εδάφους [1]. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει περιορισμός στην έκταση γης οι αγωγοί τοποθετούνται με σχετικά πιο πυκνή διάταξη και συνδέονται, ανάλογα την περίπτωση, είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Υπάρχουν βέβαια και άλλες τεχνικές τοποθέτησης του κυκλώματος όπως είναι η σπειροειδής. Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται με σκοπό τη μείωση του μήκους του γεωεναλλάκτη ανά μήκος ορύγματος, απαιτεί όμως περισσότερο μήκος αγωγού ανά kW ικανότητας. Ο αγωγός περιστρέφεται σε σπειροειδή μορφή, επικαλυπτόμενος και εν συνεχεία τοποθετείται μέσα στο όρυγμα. Συστήματα αποτελούμενα από δύο αγωγούς απαιτούν 20m-25m αγωγού περισσότερα, ανά kW ονομαστικής ικανότητας του γεωεναλλάκτη. Επιπλέον, το μήκος του ορύγματος μειώνεται, καθώς ο αριθμός των τοποθετούμενων αγωγών αυξάνεται ή καθώς πυκνώνουν οι σπείρες της διάταξης. Τέλος, μία επιπλέον εναλλακτική λύση τοποθέτησης του κυκλώματος όπου εφαρμόζεται σε περίπτωση μικρής διαθέσιμης έκτασης, είναι η εγκατάσταση των αγωγών σε μικρότερη επιφάνεια αλλά σε μεγαλύτερο βάθος ορύγματος, υπό τη μορφή κυκλωμάτων στενής διαμέτρου αγωγού, όπως απεικονίζεται παραπάνω.

3.1.1.2.2. Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα

Τα κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα εφαρμόζονται όπου ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης είναι μικρός ή το υπέδαφος λόγω βράχων καθιστά το σκάψιμο μη πρακτικό. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται διάνοιξη κατακόρυφων γεωτρήσεων με τη χρήση γεωτρήσανου, μήκους 50m-100m, ακολουθεί τοποθέτηση μονών ή πολλαπλών αγωγών σχήματος U έως τον πυθμένα της γεώτρησης και τέλος ακολουθεί εγκιβωτισμός των αγωγών. Κάθε κατακόρυφος αγωγός συνδέεται εν συνεχεία με οριζόντιο υπόγειο αγωγό, μέσα στον οποίο ρέει το ρευστό από και προς την εσωτερική μονάδα εναλλαγής θερμότητας. Η τοποθέτηση κατακόρυφου συστήματος γεωεναλλακτών είναι ακριβότερη, όμως απαιτεί μικρότερο μήκος αγωγών από τα οριζόντια συστήματα, καθώς η θερμοκρασία είναι πιο σταθερή καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια. Οι τυπικές απαιτήσεις αγωγών κυμαίνονται από 20m-40m μήκους βάθους γεώτρησης ανά kW θερμικού ή και ψυκτικού συστήματος, το οποίο εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους και τις θερμοκρασιακές συνθήκες αυτού [1]. Σημαντικός παράγοντας για τον σχεδιασμό αποτελεί η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων, σύμφωνα με εμπειρικές τεχνικές η απόσταση αυτή θα πρέπει να είναι 5m-8,5m μακριά, έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε θερμική επίδραση κατά την διαδικασία άντλησης ή επανέγχυσης θερμότητας μεταξύ των γεωτρήσεων. Στην Ευρώπη, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ελαχιστοποίησης της απαιτούμενης έκτασης γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τοποθέτηση 2 ή 3 ζευγών αγωγών σχήματος U, έναντι της τοποθέτησης 1. Στις Η.Π.Α αντιθέτως, συνηθίζεται περισσότερο η χρήση μονού ζεύγους αγωγών. Μία αξιοσημείωτη μέθοδος κατακόρυφων γεωθερμικών

συστημάτων, είναι αυτή των ενεργειακών πασσάλων. Πρόκειται για εξοπλισμό των πασσάλων θεμελίωσης σε συστήματα αγωγών γεωεναλλακτών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε ήδη κατασκευασμένους ή σε επί τόπου χωνευτούς πασσάλους, μεγέθους 3" έως 16".

3.1.2. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Γ.Α.Θ)

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή η οποία έχει την ικανότητα να αντλεί θερμότητα από πηγή χαμηλής θερμοκρασίας και να τη μεταφέρει σε αποδέκτη υψηλότερης θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, κατά τη χειμερινή περίοδο η αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από τον ψυχρό εξωτερικό αέρα σε ένα χώρο, με σκοπό τη θέρμανση του χώρου. Επίσης κατά τη θερινή περίοδο η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά θερμότητας από τον χώρο προς τον θερμότερο εξωτερικό αέρα, με σκοπό την ψύξη του χώρου. Οι αντλίες θερμότητας είναι σχεδιασμένες για θέρμανση και ψύξη. Η παραπάνω διαδικασία απαιτεί την ανύψωση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας σε τιμές άνω των 30°C και την μεταφορά της στον εσωτερικό χώρο. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται από τον ψυκτικό κύκλο (εξάτμισης, συμπύεσης, συμπύκνωσης και εκτόνωσης). Το ψυκτικό υγρό, το οποίο ρέει μέσα στην αντλία θερμότητας, χρησιμοποιείται ως εργαζόμενο μέσο το οποίο μεταφέρει ρεετήν θερμότητα. Υπάρχουν διαφορετικά είδη γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σχεδιασμένες για τις ανάλογες εφαρμογές. Αρκετές είναι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας που αξιοποιούν υπόγειο νερό με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες, όπως στα ανοιχτά κυκλώματα. Άλλες λειτουργούν με θερμοκρασίες εισόδου υπόγειου νερού τόσο χαμηλές, όπως -4°C⁷, που συναντώνται στα συστήματα κλειστού κυκλώματος γεωεναλλάκτη. Αρκετές γεωθερμικές αντλίες θερμότητας παρέχουν και ψύξη το θέρος, υπάρχουν όμως μερικά μοντέλα που είναι σχεδιασμένα μόνο για θέρμανση το χειμώνα. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας διαφέρουν επίσης και στον τρόπο που είναι σχεδιασμένες. Υπάρχουν συστήματα που τροφοδοτούν το εσωτερικό κύκλωμα διανομής της θερμότητας του κτιρίου με νερό και λέγονται νερού-νερού, και συστήματα που το τροφοδοτούν με αέρα και λέγονται νερού-αέρα

Η αντλία θερμότητας αλλά και ο κύκλος λειτουργίας της αποτελείται από τέσσερα κύρια κατασκευαστικά μέρη, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή, τον εξατμιστή και την εκτονωτική βαλβίδα. Η μεταφορά της θερμότητας από την χαμηλή στην υψηλή θερμοκρασία γίνεται με κατανάλωση μηχανικής ενέργειας για την λειτουργία του συμπιεστή της συσκευής. Η ενέργεια αυτή προέρχεται είτε από ηλεκτρικό κινητήρα είτε από μία μηχανή εσωτερικής καύσης. Το μηχανικό έργο που δαπανάται για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας χρησιμεύει για την μεταφορά μιας ποσότητας θερμότητας, που ήδη υπάρχει σε μία πηγή ενέργειας (αέρας, νερό, έδαφος), σε υψηλότερη θερμοκρασία και όχι για την παραγωγή θερμότητας. Η διεργασία αυτή της μεταφοράς θερμότητας έχει ένα βαθμό επίδοσης από 2-4, δηλαδή η αντλία θερμότητας παρέχει από 2-4 φορές περισσότερη θερμότητα, μετρούμενα σε kW_{th}, από την ηλεκτρική ενέργεια (kW_e) που καταναλώνει. Αυτό συμβαίνει γιατί η θερμότητα που μεταφέρεται στην υψηλή θερμοκρασία περιέχει τόσο το μηχανικό έργο όσο και τη θερμική ενέργεια που απορροφάται από τη χαμηλή θερμοκρασία. Η μεταφορά της θερμότητας μεταξύ των δύο χώρων διαφορετικής θερμοκρασίας γίνεται με

⁷ Στην περίπτωση αυτή πρέπει να εισάγεται μίγμα με υλικό προστασίας από την στερεοποίηση, το οποίο όμως μειώνει την θερμοχωρητικότητα του ρευστού και την θερμική απόδοση του.

τη βοήθεια των ψυκτικών ρευστών. Τα ψυκτικά ρευστά, ακολουθώντας την κυκλική λειτουργία σε ένα θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφούν θερμότητα όταν εξατμίζονται και αποβάλλουν θερμότητα όταν συμπυκνώνονται. Η χρήση των ψυκτικών ρευστών είναι πολύ διαδεδομένη γιατί τα περισσότερα έχουν την ιδιότητα να εξατμίζονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι μπορούν να απορροφήσουν θερμότητα ακόμη και όταν η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας (π.χ. αέρα) είναι μικρότερη από τους 0°C. Βέβαια όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας. Γενικά, μικρές αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και ψύξη μικρών χώρων (κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων και άλλων χώρων). Για τη θέρμανση και τη ψύξη μεγαλύτερων χώρων (νοσοκομείων, πολυκαταστημάτων, γραφείων, θερμοκηπίων), για τη θέρμανση νερού σε κολυμβητήρια και για την κεντρική παραγωγή θερμού νερού χρήσης χρησιμοποιούνται μεγάλα κεντρικά συστήματα αποτελούμενα επίσης από αντλίες θερμότητας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί να χρησιμοποιηθεί μία μόνο αντλία θερμότητας, η συνολική ισχύς μοιράζεται σε πολλές μικρότερης ισχύος συσκευές, για να εξυπηρετηθεί ένα κτίριο κατά ζώνες. Επίσης συχνά εγκαθίστανται συστήματα με αντλίες θερμότητας, τα οποία παρέχουν συγχρόνως θέρμανση και ψύξη σε ένα κτίριο.

3.1.3. Συστήματα Διανομής Θερμικών και Ψυκτικών Φορτίων

Ένα σύστημα διανομής θερμικών-ψυκτικών φορτίων στο εσωτερικό ενός κτιρίου είναι ένα σύνολο από δίκτυα, τα εξαρτήματα και τους αυτοματισμούς που είναι υπεύθυνα για τη διανομή της παραγόμενης θερμότητας ή ψύξης στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν τη δυνατότητα απόδοσης της θέρμανσης-ψύξης, απευθείας σε συστήματα αέρα ή νερού. Οι αντλίες θερμότητας δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιηθούν με τα κοινά θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ), καθώς αυτή η τεχνική απαιτεί πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού. Η χρήση αντλίας θερμότητας φτάνει σε υψηλά επίπεδα απόδοσης με σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα χρησιμοποιώντας Fan Coils ή με ενδοδαπέδια ή επιτοιχία θέρμανση. Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι η τεχνική που βελτιστοποιεί την απόδοση, καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει και την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες, επιπλέον, είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος, καθώς αποτρέπει τη θερμική διαστρωμάτωση του αέρα. Ωστόσο, η διαμόρφωση των εσωτερικών δικτύων αποτελεί αρχιτεκτονική επιλογή και αποτέλεσμα μηχανολογικής μελέτης.

Μια εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες κατοικιών, επαγγελματικών χώρων καθώς και θερμοκηπίων αλλά και άλλων εφαρμογών με παρόμοιες ανάγκες θερμότητας. Η θέρμανση λειτουργεί με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, μικρότερες από 30°C-45°C, το οποίο ρέει σε σωλήνες μέσα στο δάπεδο. Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο μπετόν που περιβάλλει τους πλαστικούς σωλήνες και στη συνέχεια το δάπεδο αποδίδει την θερμότητα στο χώρο. Αυτό σημαίνει ότι θερμαντικό σώμα είναι το δάπεδο, το οποίο κάνει την εφαρμογή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης να έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες τεχνικές. Η θέρμανση του χώρου πραγματοποιείται με ακτινοβολία και συναγωγή της θερμότητας από το δάπεδο και διαχέεται ομοιόμορφα στον χώρο από κάτω προς τα πάνω. Προσφέρει πολύ χαμηλό λειτουργικό κόστος διότι λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες, με συνέπεια τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το σύστημα αυτό είναι σημαντικά οικονομικότερο, φιλικό προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα

πολύ αποδοτικό, αφού η επιφάνεια των σωμάτων ενός αντίστοιχου συστήματος έχει αντικατασταθεί στη δάπεδο θέρμανση, με την επιφάνεια όλου του δαπέδου, με συνέπεια τη μεγάλη αύξηση της θερμαντικής ισχύος. Εκτός από την θέρμανση η εφαρμογή του ενδοδαπέδιου συστήματος μπορεί να αξιοποιηθεί και ως σύστημα δροσισμού με ιδιαίτερη προσοχή. Το σύστημα ενδοδαπέδιου δροσισμού λειτουργεί αξιοποιώντας το ήδη υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Είναι ένα λειτουργικό σύστημα που προσφέρει άνεση, απορροφώντας ομοιόμορφα θερμότητα από όλες τις κατευθύνσεις. Η θερμοκρασία νερού προσαγωγής του δροσισμού στις σωληνώσεις είναι 18°C - 20°C , ενώ η θερμοκρασία του δαπέδου πρέπει να είναι 22°C - 24°C . Με τη λειτουργία του δροσισμού επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας του χώρου 4°C - 6°C .

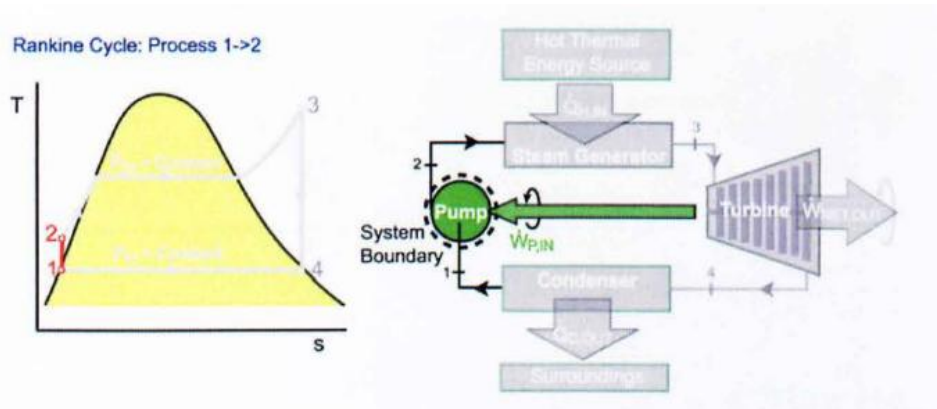
Μια άλλη τεχνική μεταφοράς και αξιοποίησης της θερμότητας από αντλία θερμότητας ως θερματικό και παρόμοια με την ενδοδαπέδια είναι και τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα τα οποία απαιτούν για τη λειτουργία τους νερό χαμηλών θερμοκρασιών. Τα Fan Coils μοιάζουν εξωτερικά με τα κοινά κλιματιστικά, αλλά λειτουργούν με τροφοδοσία θερμού ή κρύου νερού, το οποίο χρησιμοποιούν για να ζεστάνουν ή να δροσίουν τον αέρα. Αντίθετα με τα κλιματιστικά, τα Fan Coils δεν χρειάζονται πολλές μικρές μονάδες στους εξωτερικούς χώρους, αλλά μόνο μία κεντρική αντλία θερμότητας. Μία μονάδα Fan Coil είναι ένα απλό μηχάνημα, το οποίο ουσιαστικά αποτελείται από ένα θερμικό/ψυκτικό πηνίο και τον ανεμιστήρα. Η λειτουργία τους βασίζεται στη θέρμανση-ψύξη του ψυκτικού μέσου που ρέει στις σπείρες σωλήνων στο εσωτερικό τους, οι οποίες με τη σειρά τους θερμαίνουν ή ψύχουν τον αέρα που ρέει, μέσω των ειδικών πτερυγίων και διανέμεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η θέρμανση/ψύξη προέρχεται από την αντλία θερμότητας. Κατά την ψυκτική λειτουργία της σπείρας σωλήνων, προβλέπεται η ταυτόχρονη ύγρανση του εισερχόμενου αέρα. Το προϊόν της συμπύκνωσης είναι διαστέλλοντα υγρά, η απομάκρυνση των οποίων πραγματοποιείται με ειδικό κύκλωμα αποστράγγισης. Τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο. Από τον πίνακα του σχήματος φαίνεται, πως η απόδοση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι μικρότερη στην περίπτωση των Fan Coils απ' ό τι στην ενδοδαπέδια θέρμανση, το οποίο προκύπτει και από το γεγονός ότι απαιτούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες για τη λειτουργία τους.

3.1.4. Κύκλος ORC για ηλεκτροπαραγωγή

Ο οργανικός κύκλος Rankine είναι ουσιαστικά ένας απλός κύκλος Rankine ο οποίος ως εργαζόμενο μέσο δεν χρησιμοποιεί το νερό αλλά κάποιο άλλο ρευστό ώστε να εκμεταλλευτεί και χαμηλότερες θερμοκρασίες. Είναι ένας βασικός παράγοντας για την λειτουργία τέτοιων συστημάτων σε συνδυασμό με μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

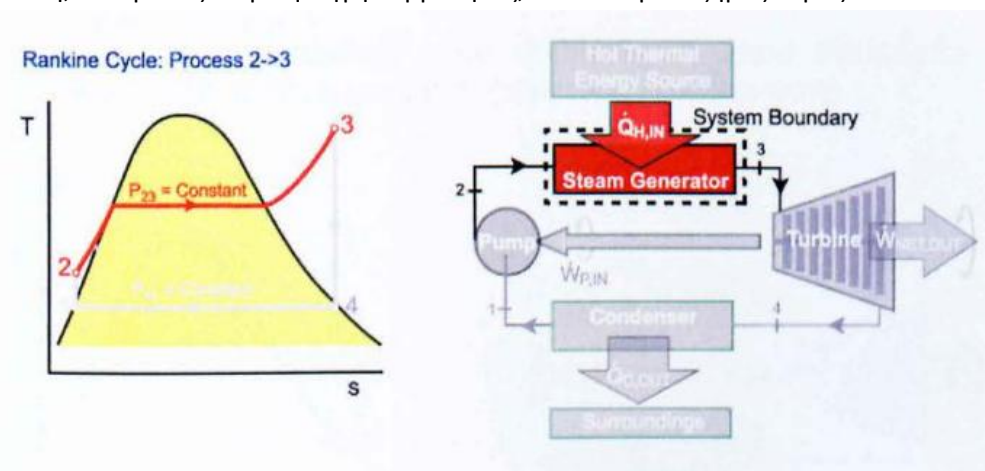
Αναλύοντας τον ιδανικό κύκλο Rankine ως προς τις θερμοδυναμικές του διεργασίες παρατηρείται πως αποτελείται από τέσσερις διεργασίες οι οποίες παρατίθενται παρακάτω σχηματικά και αναλυτικά:

- 1 – 2 Αύξηση της πίεσης μέσω αντλίας
Το ρευστό αντλείται από χαμηλή σε υψηλή πίεση με την βοήθεια της αντλίας



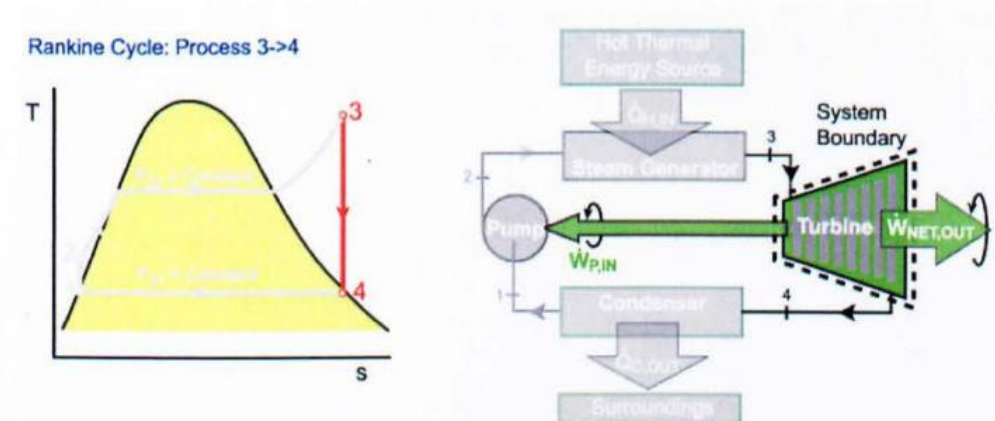
Σχήμα 26 Διεργασία Rankine 1-2: Αύξηση της πίεσης μέσω αντλίας

- 2 – 3 Ισοβαρής προσθήκη θερμότητας σε βραστήρα
 Το υψηλής πίεσης ρευστό εισάγεται σε ένα λέβητα όπου θερμαίνεται σε σταθερή πίεση, από μία εξωτερική πηγή θερμότητας, ώστε να γίνει ξηρός ατμός.



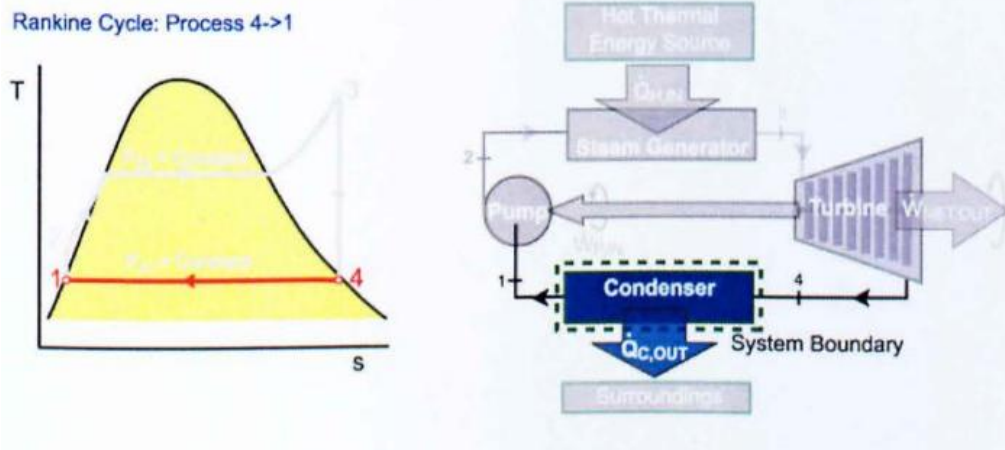
Σχήμα 27 Διεργασία Rankine 2-3: Ισοβαρής προσθήκη θερμότητας

- 3 - 4 Θεωρητική ισηντροπική εκτόνωση σε στρόβιλο
 Ο ξηρός ατμός διοχετεύεται στον στρόβιλο παράγοντας έργο. Αυτό μειώνει την θερμοκρασία και την πίεση του ατμού.



Σχήμα 28 Διεργασία Rankine 3-4: Θεωρητική ισηντροπική εκτόνωση

- 4 - 1 Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας σε συμπυκνωτή
Ο υγρός ατμός εισάγεται στον συμπυκνωτή όπου απορρίπτοντας θερμότητα συμπυκνώνεται υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία.

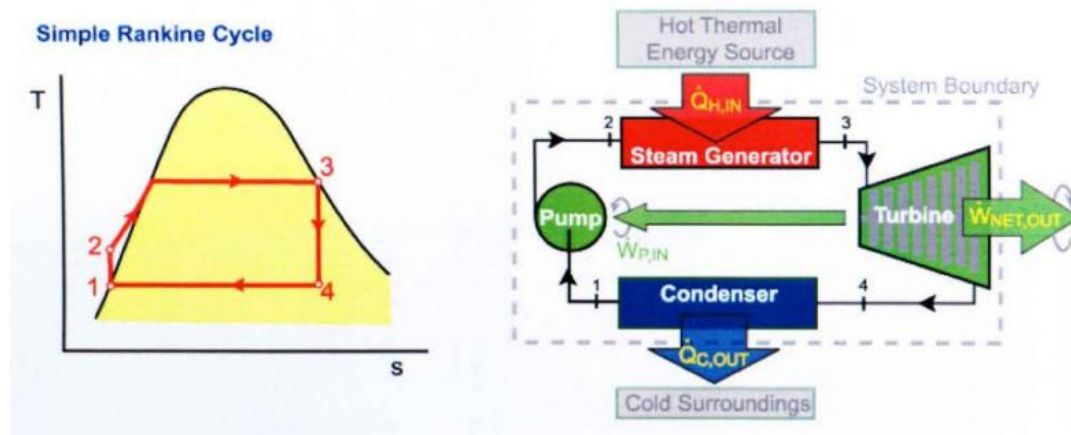


Σχήμα 29 Διεργασία Rankine 4-1: Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας

Το ρευστό εισέρχεται στην αντλία [κατάσταση 1] ως κορεσμένο υγρό και μέσω αντλίας αυξάνει την πίεση του περίπου ισεντροπικά στην πίεση λειτουργίας του βραστήρα. Η θερμοκρασία του υγρού αυξάνει ελάχιστα κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας εξαιτίας της τυπικά ασήμαντης μικρής μείωσης στον ειδικό όγκο του υγρού. Το ρευστό εισέρχεται στον βραστήρα ως συμπιεσμένο υγρό [κατάσταση 2] και εξέρχεται ως υπέρθερμος ατμός [κατάσταση 3]. Ο 'βραστήρας' είναι ένας μεγάλος εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο η θερμότητα προέρχεται από αέρια καύσης, πυρηνικούς αντιδραστήρες ή άλλες πηγές και μεταφέρεται στο υγρό ιδανικά υπό σταθερή πίεση. Ο βραστήρας με το τμήμα στο οποίο οι υδρατμοί υπερθερμαίνονται συνήθως αποκαλείται ως γεννήτρια ατμού (steam generator). Ο υπέρθερμος ατμός [κατάσταση 3] εισέρχεται στον στρόβιλο, όπου εκτονώνεται ισεντροπικά και παράγει έργο περιστρέφοντας την άτρακτο η οποία είναι συνήθως συνδεδεμένη με ηλεκτρογεννήτρια. Κατά την διεργασία αυτή η πίεση και η θερμοκρασία του ατμού μειώνονται [κατάσταση 4] και στην συνέχεια οι υδρατμοί εισέρχονται στον συμπυκνωτή. Στην κατάσταση αυτή οι υδρατμοί είναι συνήθως μίγμα κορεσμένου υγρού - ατμού με μεγάλη ποιότητα. Ο ατμός συμπυκνώνεται υπό σταθερή πίεση στον συμπυκνωτή ο οποίος είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, απορρίπτοντας θερμότητα σε ένα ψυκτικό μέσο όπως ένα ποτάμι, μία λίμνη ή στην ατμόσφαιρα. Ο υδρατμός εξαρτάται από τον συμπυκνωτή σε κατάσταση κορεσμένου υγρού και εισέρχεται στην αντλία ολοκληρώνοντας τον κύκλο. Σε περιοχές όπου το νερό είναι πολύτιμο οι εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος ψύχονται με αέρα αντί για νερό. Αυτή η μέθοδος ψύξης που χρησιμοποιείται και στις μηχανές των αυτοκινήτων καλείται ξηρή ψύξη (dry cooling). Αρκετά εργοστάσια παραγωγής ισχύος ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν αυτόν τον τρόπο ψύξης για την προστασία και διατήρηση των υδάτινων πόρων ή λόγω της έλλειψης αυτών. Η επιφάνεια κάτω από την γραμμή διεργασίας στο διάγραμμα T-s αντιπροσωπεύει την μεταφορά θερμότητας για εσωτερικά αντιστρεπτές διεργασίες. Τότε η περιοχή κάτω από την γραμμή διεργασίας 2-3 αντιπροσωπεύει την θερμότητα που μεταφέρθηκε στο εργαζόμενο μέσο (νερό) μέσα στον βραστήρα, ενώ η περιοχή κάτω από την γραμμή διεργασίας 4-1 αντιπροσωπεύει την θερμότητα που απορρίφθηκε στον συμπυκνωτή. Η

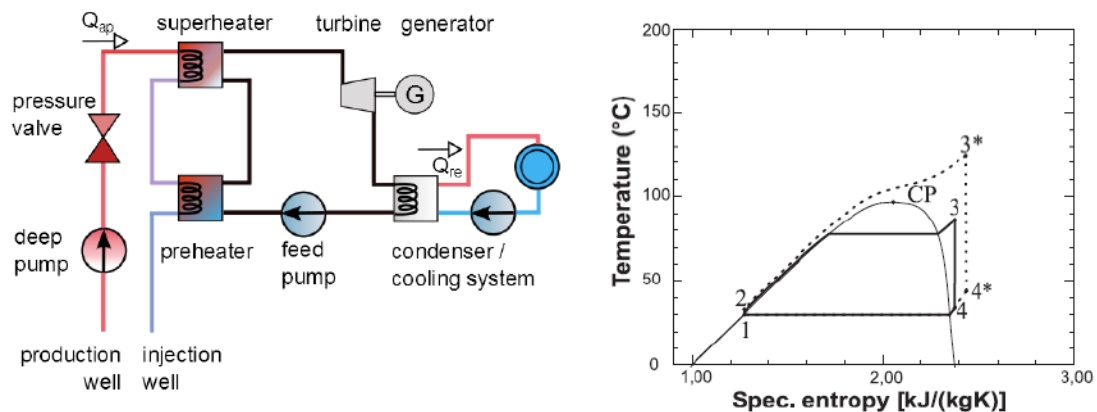
διαφορά μεταξύ των δύο (η περιοχή που περιβάλλεται από τον κύκλο) είναι το καθαρό έργο που παράχθηκε κατά την διάρκεια του κύκλου.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κύκλου Rankine είναι βάση των θερμοδυναμικών διεργασιών που προαναφέρθηκαν είναι η αντλία, από έναν εναλλάκτη θερμότητας ή από ένα εξάρτημα το οποίο προσδίδει θερμότητα όπως ένας λέβητας, από μια γεννήτρια για την παραγωγή έργου και από ένα σύστημα ψύξης, όπου μπορεί να είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας είτε ένας πύργος ψύξης, για να κλείσει ο κύκλος.



Σχήμα 30 Θερμοδυναμικός κύκλος Rankine

Η διαφοροποίηση του οργανικού κύκλου Rankine έρχεται να αντικαταστήσει αφενός τον τρόπο προσθήκης θερμότητας αλλά και την επιλογή του εργαζόμενου μέσου που στην περίπτωση αυτή είναι διαφορετικό από το νερό. Συγκεκριμένα για μια γεωθερμική εφαρμογή σε συνδυασμό με ORC κύκλο για ηλεκτροπαραγωγή προστίθενται δυο παραπάνω εναλλάκτες θερμότητας, ο προθερμαντήρας και ο υπερθερμαντήρας, οι οποίοι είναι αυτοί που μεταφέρουν την θερμότητα από την πηγή θερμότητας (γεωθερμικό υγρό) στο εργαζόμενο μέσο του κύκλου.



Σχήμα 31 Θερμοδυναμικός οργανικός κύκλος Rankine (ORC)[7]

3.1.4.1. Αντλίες

Η αντλία είναι μία βασική συσκευή για μια εγκατάσταση ORC. Οι θέσεις των αντλιών είναι συγκεκριμένες αλλά και η χρήση τους. Χρειάζονται δύο αντλίες οι οποίες να μεταφέρουν το γεωθερμικό ρευστό από και προς τα πηγάδια παραγωγής και επανεισαγωγής αντίστοιχα. Σε περιπτώσεις όπου το πεδίο είναι υπό υψηλή πίεση και ειδικότερα στα πεδία υψηλής και μέσης ενθαλπίας πολλές φορές το ρευστό εκρέει φυσικά από την γεώτρησης εξαγωγής και τότε δεν απαιτείται άντλησή. Στην περίπτωση αυτή η επανέγχυση είναι σημαντικά μεγαλύτερης κατανάλωσης ενέργειας λόγω της ανύψωσης της πίεσης του εισερχόμενου ρευστού στο ύψος της πίεσης του ταμειυτήρα.

Η θερμική ισχύς της αντλίας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

- $N_{αντλ} = M_v \cdot (I_{1'} - I_1)$ όταν θεωρείται ιδανική η συμπίεση
- $N_{αντλ} = M_v \cdot (I_{1''} - I_1)$ όταν θεωρείται πραγματική η συμπίεση

Για τις παραπάνω αντλίες υπάρχουν δυο υποθέσεις:

- δεν μεταβάλλεται κατά τη συμπίεση η εσωτερική ενέργεια του ρευστού :
 $U_v \cong U_1$ όταν θεωρείται ιδανική η συμπίεση
 $U_{v'} \cong U_1$ όταν θεωρείται πραγματική η συμπίεση
- δεν μεταβάλλεται ο ειδικός όγκος του ρευστού :
 $u_1 \cong u_{1'}$ όταν θεωρείται ιδανική η συμπίεση
 $u_1 \cong u_{1''}$ όταν θεωρείται πραγματική η συμπίεση

3.1.4.2. Ψύξη

Η ψύξη του συστήματος ή του εργαζόμενου μέσου συγκεκριμένα συνήθως επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό ενός συμπυκνωτή και ενός πύργου ψύξης (ψύξη υγρού) ή ανεμιστήρες ψύξης (ψύξη αέρος).

3.1.4.3. Γεννήτρια - Στρόβιλος

Είναι ένα ανοικτό σύστημα που θεωρείται αδιαβατικό και η εκτόνωση μπορεί να είναι ιδανική αδιαβατική (= αντιστρέψιμη) άρα και ισεντροπική ή αδιαβατική πραγματική με αυξημένη εντροπία στο τέλος της εκτόνωσης λόγω της μη αντιστρεψιμότητας.

3.1.4.4. Εναλλάκτες Θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας σε ένα κύκλωμα ORC είναι βασικό εξάρτημα. Ουσιαστικά υπάρχουν τρεις τύποι εναλλακτών:

- Συμπυκνωτής
Εναλλάκτης θερμότητας όπου η θερμότητα που έχει το σύστημα μετά την εκτόνωση (μίγμα επιθυμητού βαθμού ξηρότητας) μεταδίδεται στο νερό ψύξεως του εναλλάκτη λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.
- Ατμοποιητής
Εναλλάκτης θερμότητας όπου η θερμότητα διατίθεται για την ατμοποίηση του εργαζόμενου μέσου.

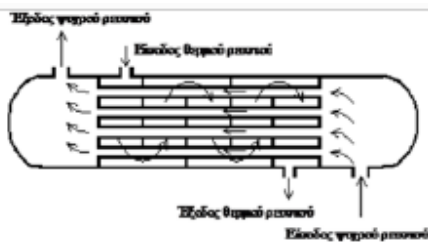
- Προθερμαντήρας
Εναλλάκτης θερμότητας όπου η θερμότητα που έχει το εργαζόμενο μέσο μετά την αντλία θερμαίνεται από θερμότητα που λαμβάνει από το γεωθερμικό ρευστό πριν επανέγχυθεί στο πηγάδι επανέγχυσης λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.
- Υπερθερμαντήρας
Εναλλάκτης θερμότητας όπου η θερμότητα που έχει το εργαζόμενο μέσο μετά τον ατμοποιητή θερμαίνεται από θερμότητα που λαμβάνει από το γεωθερμικό ρευστό λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.

Ο θερμικός ισολογισμός είναι :

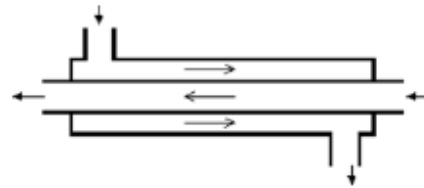
Θερμότητα που αποβάλλεται
από το μείγμα

=

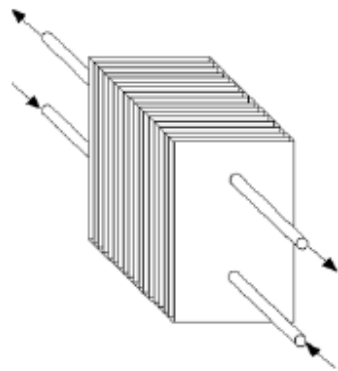
Θερμότητα που παραλαμβάνει
το νερό ψύξεως του εναλλάκτη



Εναλλακτης κελύφους - σωλήνων



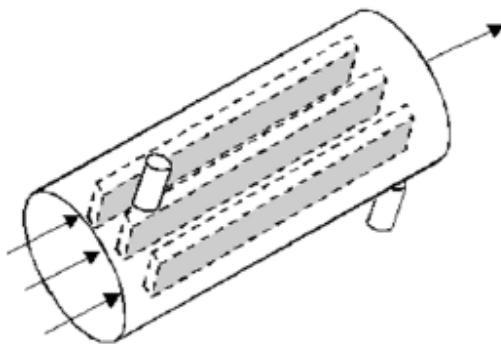
Εναλλάκτης διπλού σωλήνα



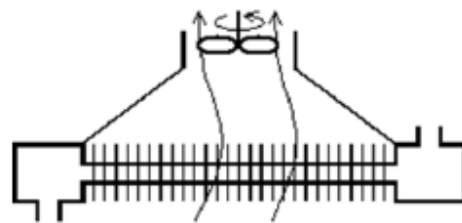
Εναλλάκτης με επίπεδες πλάκες



Εναλλάκτες με ελικοειδή ελάσματα



Εναλλάκτης με ελάσματα



Εναλλάκτης αερόψυκτος

Εικόνα 6 Διάφορα είδη εναλλακτών

Κεφάλαιο 4 - Τυπικές εγκαταστάσεις αξιοποίησης Γεωθερμικής ενέργειας για το νησί της Μήλου

4.1. Περιγραφή

Οι γεωθερμικές εφαρμογές όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι αρκετές. Η κάθε εφαρμογή κάνει χρήση διαφορετικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού δυναμικού όπου αυτό είναι αξιοποιήσιμο. Στο νησί της Μήλου οι εφαρμογές που είναι άμεσου ενδιαφέροντος είναι η χρήση της Γεωθερμικής ενέργειας για παροχή θερμότητας σε αγροτικές είτε για την ξήρανση προϊόντων είτε και την θέρμανση – ψύξη χώρων. Επιπλέον, η αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας είναι ένα ζήτημα το οποίο ανεξαρτητοποιεί το κάθε νησί από την ενδοχώρα κάτι πολύ σημαντικό για την ομαλότητα της καθημερινότητας των κατοίκων. Τέλος, η ηλεκτροπαραγωγή με χρήση γεωθερμίας στο νησί της Μήλου είναι ένα ζήτημα πολύ δύσκολο όσον αναφορά στην αποδοχή του από την τοπική κοινωνία η οποία δεν έχει ενημερωθεί σωστά καθώς επίσης είναι η βασική εφαρμογή βάση του μεγάλου και αξιοποιήσιμου γεωθερμικού δυναμικού όπου υπάρχει στο νησί της Μήλου.

4.2. Γεωργικές χρήσεις

Οι γεωργία είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της Μήλου κάτι το οποίο χρήζει εξοικονόμησης ενέργειας και βελτιστοποίηση κόστους. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για γεωργικές χρήσεις, λόγω χαμηλού κόστους λειτουργίας, ορίζεται ως η πλέον βέλτιστη μορφή ενέργειας. Το θερμοκήπιο με χρήση γεωθερμικής ενέργειας είναι ο πλέον πιο γνωστός τρόπος αξιοποίησης. Το γεωθερμικό πεδίο της Μήλου μπορεί να υποστηρίξει την εφαρμογή θερμοκηπίων τα οποία κάνουν χρήση πεδία χαμηλής και μέσης ενθαλπίας.

Ένα θερμοκήπιο απαιτεί συνεχόμενη παροχή θερμότητας συγκεκριμένης θερμοκρασίας ώστε να εξασφαλισθεί η ασφαλής και υγιεινή καρποφορία των φυτών. Τα θερμοκήπια απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C. Οι θερμικές ανάγκες τους είναι περί τις 150.000 kcal/h ανά στρέμμα για την περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο, 1.250 ωρών (Load Factor 14%) διατηρώντας την εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον σε 14°C.

Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί με πέντε τρόπους:

- με εναέριους, με επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20cm)
- με εναλλάκτη αέρα - γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας το γνωστό αερόθερμο
- με τοποθέτηση θερμομαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου
- με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής κυρίως για προστασία από τον πάγο
- με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων

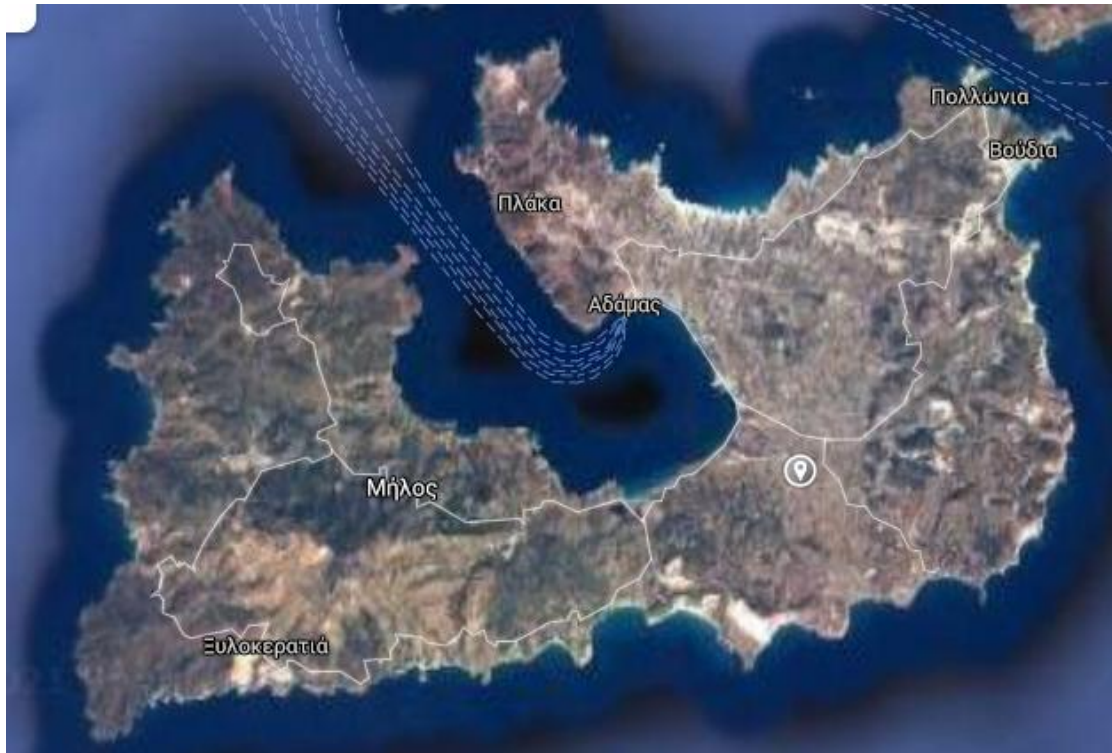
Οι θερμοκρασίες στο νησί της Μήλου βάση της βάσης δεδομένων του meteo [6] για το έτος 2020 παρατίθενται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5 Μέση θερμοκρασία ανά ημέρα του έτους 2020 (Πηγή:[6])

Παρατηρείται πως η θερμοκρασία τον χειμώνα και την άνοιξη κυμαίνεται από 7 – 19 με αυξημένες θερμοκρασίες την ημέρα και χαμηλότερες το βράδυ. Άρα για ένα θερμοκήπιο το οποίο πρέπει να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία ώστε να μην προκαλεί έντονο σοκ στα φυτά η θερμοκρασία από 16°C – 20°C είναι ιδανική για όλο το έτος.

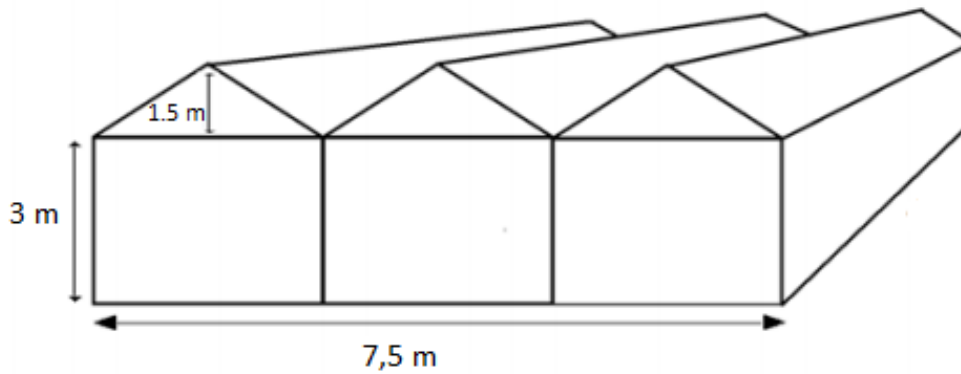
Μια τέτοια εφαρμογή θερμοκηπίου παρουσιάζεται παρακάτω για ένα τυπικό συμβατικό θερμοκήπιο. Στα νησιά για να γίνει μια εγκατάσταση εκτός σχεδίου πόλεως χρειάζεται η ελάχιστη έκταση των τεσσάρων στρεμμάτων. Μια περιοχή που συνηθίζεται να δραστηριοποιούνται αγρότες είναι η περιοχή του Κάμπου όπου μέχρι στιγμής υπάρχουν τρία θερμοκήπια.



Σχήμα 32 Τοποθεσία Κάμπος Μήλου

Για ένα τυπικό θερμοκήπιο το οποίο χρησιμοποιείται για μελέτη, ορίζονται παρακάτω Εικόνα 7 τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Πρόκειται για ένα αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο με τις παρακάτω διαστάσεις και χαρακτηριστικά:

- Πλάτος βασικής κατασκευαστικής μονάδας: 2,5 m
- Μήκος βασικής κατασκευαστικής μονάδας: 8 m
- Ύψος βασικής κατασκευαστικής: 4,5 m
- Αριθμός βασικών κατασκευαστικών μονάδων: 3
- Πλάτος θερμοκηπίου: 7,5 m
- Μήκος θερμοκηπίου: 8 m
- Εμβαδόν θερμοκηπίου: 60 m²
- Ύψος υδρορροής: 3 m
- Εμβαδόν υλικού κάλυψης: 293,973m²
- Όγκος θερμοκηπίου: 225m³



Εικόνα 7 Διαστάσεις θερμοκηπίου

Απαραίτητο είναι να υπολογιστούν οι θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου το οποίο θεωρείται ως ένα σώμα που αυξάνει την ενέργειά του με την ακτινοβολία που δέχεται από τον ήλιο και τη θερμότητα που απελευθερώνεται μέσα σ' αυτό από το σύστημα θέρμανσης και χάνει ενέργεια μέσω του καλύμματος και με τις διαφυγές του αέρα από το χώρο του. Οι συνολικές απώλειες θερμότητας θα υπολογιστούν ανά m^2 καλυμμένου επιπέδου από την σχέση[1]:

$$q = q_c + q_v \quad W / m^2$$

όπου:

- q_c είναι όλες οι απώλειες ενέργειας μέσω του καλύμματος σε W / m^2
- q_v είναι οι απώλειες ενέργειας από τις διαρροές αέρα σε W / m^2

Οι απώλειες ενέργειας μέσω καλύμματος κατά προσέγγιση, μπορούν να εκφραστούν από τη γραμμική σχέση[1]:

$$q_c = U * A_c * (T_i - T_o) \quad W / m^2$$

όπου:

- A_c είναι η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου σε m^2
- T_i είναι η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε $^{\circ}C$
- T_o είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}C$.
- U είναι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα σε W/m^2K

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των δομικών στοιχείων του θερμοκηπίου μπορεί να προσδιορισθεί αν συνδυασθούν οι θερμικές αντιστάσεις των υλικών από τα οποία αποτελείται το κάθε στοιχείο αλλά και με την κατάλληλη αντίσταση συνθηκών της κάθε επιφάνειας και δίνεται από τη σχέση:

$$U = \frac{1}{R_i + R_{\lambda} + R_{o,t}} \quad W/m^2K$$

όπου:

- R_i είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας σε m^2K/W
- R_l είναι η θερμική αντίσταση του υλικού σε m^2K/W
- R_{out} είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας σε m^2K/W

Τιμές θερμικών αντιστάσεων συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5 Τιμές θερμικών αντιστάσεων συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος

Σύστημα θέρμανσης	Θερμική αντίσταση των συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας R_i , [m^2K/W]
Σωλήνες ψηλά	0,09
Σωλήνες στα τοιχώματα και στους ενδιάμεσους στύλους	0,09
Σωλήνες κάτω από τραπέζια της καλλιέργειας	0,10
Σωλήνες στο έδαφος	0,12
Αερόθερμα ελεύθερα	0,09
Αερόθερμα με αγωγούς αέρα	0,10
Μικτό σύστημα θέρμανσης με σωλήνες και αερόθερμα	0,10

Τιμές του R_l για συνήθη υλικά κάλυψης θερμοκηπίου δίδονται στον πίνακα παρακάτω:

Πίνακας 6 Τιμές του R_l για συνήθη υλικά κάλυψης θερμοκηπίου

Υλικό κάλυψης	Θερμική αντίσταση του υλικού R_l , [m^2K/W]
Απλός υαλοπίνακας	0,01
Απλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού, κυματοειδής πάχους 1mm	0,01
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 15mm	0,24
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,11
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 6mm	0,09
Απλό φύλλο πλαστικού PE, PVC	0,01
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,15
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 5mm	0,15

Η τιμή της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας, επηρεάζεται επομένως από τον άνεμο, τη βροχή και την ακτινοβολία του ουρανού. Τιμές της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας δίδονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 7 Τιμές της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας

Έκθεση στον άνεμο	Θερμική αντίσταση πλευρών m^2K/W	Θερμική αντίσταση οροφής m^2K/W
Υπήνεμη	0,080	0,070
Κανονική	0,055	0,045
Προσήνεμη	0,030	0,020

Συνολικά ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος δίνεται από τον Πίνακα 8:

Πίνακας 8 Ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος

Κάλυμμα θερμοκηπίου	Τιμή U σε W/m ² K
Απλό τζάμι	5.8
Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	6.3
Fiber Glass	4.0
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	2.9
Διπλό τζάμι	2.9
Πλαστικό φύλλο & τζάμι	2.9
Απλό τζάμι & θερμοκουρτίνα	2.4

Οι απώλειες από διαφυγές αέρα αναφέρονται στην ενέργεια που συναλλάσσεται με την είσοδο και έξοδο του αέρα στο θερμοκήπιο. Ο ρυθμός εναλλαγών αέρα εξαρτάται από το σχήμα του θερμοκηπίου, το υλικό κάλυψης, τον τρόπο προσαρμογής του υλικού κάλυψης, τη θέση των παραθύρων εξαερισμού και την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου. Η παρακάτω σχέση υπολογίζει τις απώλειες από την διαφυγή αέρα [1]:

$$q_v = 0.373 * (T_i - T_o) * V_o * NAE \quad (W)$$

όπου:

- V_o είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε m³
- T_i είναι η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε °C
- T_o είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε °C
- NAE είναι ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα

4.2.1. Διαστασιολόγηση θερμοκηπίου

➤ Υπολογισμός θερμικών φορτίων και απωλειών

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι συνολικές απώλειες θερμότητας υπολογίζονται μετά τον υπολογισμό της επιφάνειας του θερμοκηπίου αλλά και τον υπολογισμό των συντελεστών για κάθε είδος απωλειών αλλά και των συνολικών θερμικών αναγκών. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά κατασκευής Θερμοκηπίου

Πλάτος βασικής κατασκευαστικής (m)		2,5
Μήκος βασικής κατασκευαστικής (m)		8
Πλάτος θερμοκηπίου (m)		7,5
Μήκος θερμοκηπίου (m)		8
Εμβαδόν θερμοκηπίου (m ²)	V _o	60
Ύψος υδρορροής (m)		3
Μέγιστο ύψος (m)		4,5
Εμβαδόν υλικού κάλυψης (m ²)	A _c	293,973
Όγκος θερμοκηπίου (m ³)	V _g	225
Μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου (°C)	T _i	25
Μέση θερμοκρασία εξωτερικού του θερμοκηπίου (°C)	T _o	18
Οι ανανεώσεις του αέρα την ώρα	NAE	2,95
Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα (W/m ² K)	U	4
Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα(W)	q _c	8231,2
Απώλειες από διαφυγές του αέρα (W)	q _v	1733,1
Συνολικές Θερμικές ανάγκες (W)	q	9964,3
Συνολικές Θερμικές ανάγκες (kW)	q	9,964

➤ Επιλογή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 30°C και εισόδου στον εξατμιστή 15°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της γεωθερμικής αντλίας να υπερκαλύψει το $Q_{\text{heat}}=9,96\text{kW}$ επιλέγουμε την γεωθερμική αντλία θέρμανσης GEO010 με παροχή $Q=2.150\text{l/h}$. Ο πίνακας της GEO για αυτές αντλίες θερμότητας μας οδήγησε σε αυτήν την επιλογή.

Πίνακας 10 Προδιαγραφές αντλιών θερμότητας BCool

MODEL	50 Hz	GEO 008	GEO 010	GEO 015	GEO 020	GEO 030	GEO 040	GEO 050	GEO 060	GEO 080	GEO 090	GEO 100	
Nominal Cooling capacity ¹	kW	7,65	10,55	15,2	20,6	30,9	39,1	45,9	61,8	78,2	91,8	100,4	
	RT	2,2	3,0	4,3	5,9	8,8	11,1	13,0	17,6	22,2	26,1	28,5	
	Btu/h	26.080	35.966	51.818	70.227	105.682	133.295	156.477	211.364	266.591	312.955	342.273	
Nominal Heating capacity ²	kW	9,0	12,2	17,8	24,0	35,4	44,9	52,9	70,9	89,7	105,8	113,0	
Construction	Material/Color	Galvanized steel / Light grey-beige (RAL 9002)											
Compressor		SCROLL											
Quantity		1						2 (1 TANDEM)					
Capacity steps		0 - 100%						0 - 50 - 100%					
Absorbed power	kW	1,6	2,1	3,1	4,1	5,8	7,5	9,04	11,6	15,0	18,0	19,0	
Nominal operating current	A	3,36	3,79	5,95	8,7	12,5	14,9	19,39	24,0	29,8	38,8	40,8	
Maximum operating current	A	6,5	8,0	11,8	15,0	22,0	31,0	34,0	44,0	62,0	68,0	68,0	
Water heat exchanger (source)		Brazed, plate type											
Quantity		1											
Max. operating pressure	Water side Bar	25											
	Refrigerant side Bar	45											
Connections		1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	2"	2"	2"	2"	
Nominal water flow	Lit/h	1.580	2.150	3.130	4.200	6.290	7.960	9.390	12.580	15.920	18.780	20.539	
Water heat exchanger (load)		Brazed, plate type											
Quantity		1											
Max. operating pressure	Water side Bar	25											
	Refrigerant side Bar	45											
Connections		1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	2"	2"	2"	2"	
Nominal water flow	Lit/h	1.550	2.090	3.060	4.130	6.120	7.700	9.150	12.230	15.400	18.290	19.461	
Electrical characteristics		Electric network 400 V / 3 Ph / 50 Hz											
Total absorbed power	kW	1,6	2,1	3,1	4,1	5,8	7,5	9,0	11,6	15,0	18,0	19,0	
Nominal operating current	A	3,4	3,8	6,0	8,7	12,5	14,9	19,4	24,0	29,8	38,8	40,8	
Compressor Carter resistance power	W	90	90	90	90	90	90	180	180	180	180	180	
Voltage operating limits	V	360 - 440											
Refrigerant circuit		1											
Number of circuits		1											
Expansion device		Electronic expansion valve											
Refrigerant type		R410a											
Dimensions	Width mm	604	604	604	604	604	604	604	850	850	850	850	
	Length mm	604	604	604	604	604	604	604	1.660	1.660	1.660	1.660	
	Height mm	1.079	1.079	1.079	1.079	1.079	1.079	1.079	985	985	985	985	

➤ Υπολογισμός εναλλάκτη

Για την επιλογή ενός εναλλάκτη αλλά και για τον υπολογισμό του χρειάζεται να υπολογιστούν η διάμετρος των σωληνώσεων του εναλλάκτη και το μήκος του. Αρχικά η διάμετρος των σωληνώσεων υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση [18]:

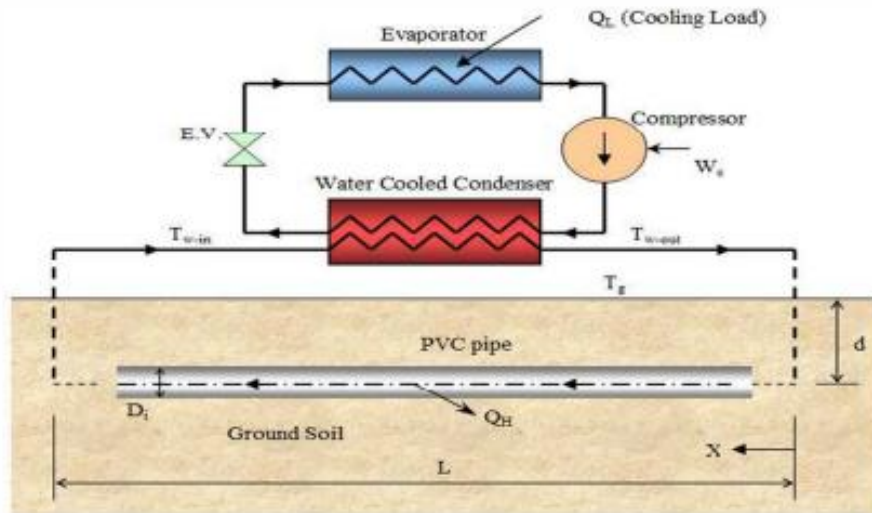
$$Q = \frac{\pi D^2}{4} u \rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u}}$$

Όπου για ταχύτητα $u=1\text{m/s}$ η διάμετρος των σωληνώσεων υπολογίζεται 0,0275m.

Η επιλογή των σωληνώσεων γίνεται για τυποποιημένη διάμετρο $\Phi 32\text{mm}$. Επιλέγεται σωλήνας με εξωτερική διάμετρο 32mm και εσωτερική 30mm τύπου PE DN32 PN8.

Παρακάτω πρέπει να υπολογιστούν και οι θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος του σωλήνα που διαμέσου του ρέει το νερό. Η συνολική θερμική αντίσταση R_{total} ορίζεται από τον παρακάτω τύπο [18]:

$$R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil}$$



Σχήμα 33 Θερμικές αντιστάσεις συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος

Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς τη σωλήνωση [18]:

$$R_{conv} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_w} \quad \text{όπου } h_w = 4017.49 \text{ W/m}^2\text{K για θέρμανση}$$

$$h_w = 3306.63 \text{ W/m}^2\text{K για ψύξη}$$

$$\text{Η αντίσταση σωληνώσεων } R_{conv} = \begin{cases} 0,0028 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}, \text{ για θέρμανση} \\ 0,0376 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}, \text{ για ψύξη} \end{cases}$$

Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας μέσω της σωλήνωσης [18]:

$$R_{pipe} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{pipe}} \quad \text{όπου } K_{pipe} = 0.42 \text{ W/mK}$$

Θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από τη σωλήνωση προς το έδαφος [18]:

$$R_{soil} = \frac{1}{S \cdot K_{soil}} \quad \text{όπου } S = \frac{2 \cdot \pi}{\ln\left[\frac{2 \cdot d}{D_o} + \sqrt{\frac{2 \cdot d^2}{D_o^2} - 1}\right]}$$

$$\text{Άρα } R_{totalh} = 0.0028 + 0.02445 + 0.4393 = 0.46671 \text{ mK/W}$$

$$\text{Άρα } R_{totalc} = 0.0376 + 0.02445 + 0.4393 = 0.50148 \text{ mK/W}$$

Το απαιτούμενο μήκος του γεωθερμικού εναλλάκτη μπορεί να υπολογιστεί ξεχωριστά για την θέρμανση και την ψύξη [17][18]:

$$Lh = m_{wh} \cdot C_v \cdot R_{totalh} \cdot \ln\left(\frac{t_{wo}}{t_{wi}}\right) = 789.34 \text{ m}$$

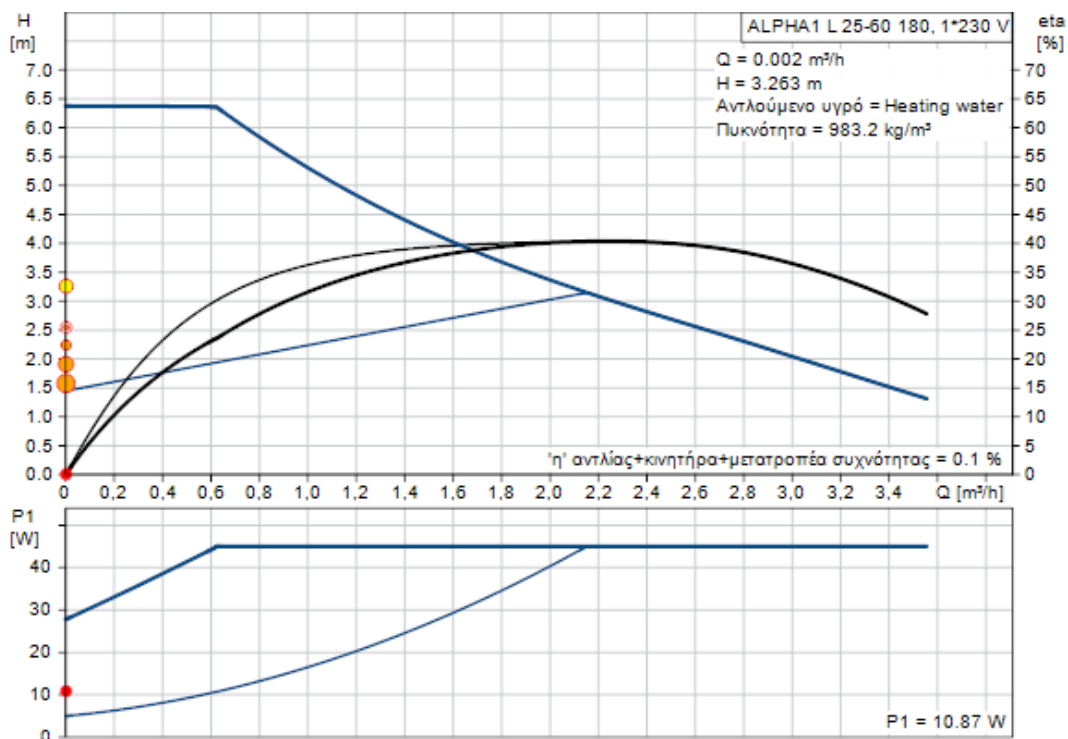
$$L_c = m_{wc} \cdot C_v \cdot R_{totalc} \cdot \ln\left(\frac{t_{wo}}{t_{wi}}\right) = 163.11m$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω ένας χρήσιμος εμπειρικός κανόνας είναι ότι για τοποθέτηση του οριζόντιου εναλλάκτη σε βάθος 1,5 – 2m και απόσταση μεταξύ των σωληνώσεων 0,35-0,50m. Για αυτήν την περίπτωση η απόδοση του εναλλάκτη σε ισχύ ισούται περίπου με 30W/m²

Επιλέγοντας το μεγαλύτερο εκ των δυο L_h, L_c το μήκος εναλλάκτη ορίζεται σε 800m σε 10 παράλληλες σειρές απόστασης 0,5m μεταξύ τους, το μήκος κάθε σειράς ισούται με 80m και το πλάτος της εγκατάστασης ισούται με 4,5m. Συνεπώς, η απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση του εναλλάκτη υπολογίζεται σε 360m².

➤ Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής

Για παροχή 0.58 lt/s, ταχύτητα 1m/s και εσωτερική διάμετρο 30mm από το Διάγραμμα 6 υπολογίζεται ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι : Δp/100m=0,25 bar , για 800m μήκος οριζόντιου εναλλάκτη. Οπότε οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι 0,25bar. Σύμφωνα με τον τύπο μετατροπής 1bar = 10,2m H₂O τότε έχουμε 2,55 m H₂O. Με H= 2,55 m H₂O και παροχή V= 0.00215m³/h επιλέγεται κυκλοφορητής τύπου ALPHA1 L 25-60 180.



Διάγραμμα 6 Χαρακτηριστική Κυκλοφορητή[2]

➤ Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη δοχείου διαστολής. Το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια. Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη σε κάθε δίκτυο.

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση [17][18]:

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{v_2}{v_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

όπου:

- V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3
- V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3
- t_1 : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0^\circ C$)
- t_2 : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50^\circ C$)
- P_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- P_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- v_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg
- v_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των $0^\circ C$ είναι $v_1=0,0010002m^3/kg$ ενώ στη θερμοκρασία των $50^\circ C$ είναι $v_2=0,0010121m^3/kg$. Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση. Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται 2m (0,2bar). Συνεπώς, η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται: $P_1=0,7+0,2=0,9bar=90kPa$. Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι:

$$P_2 = P_1 + 1,3bar = 2,2bar = 220kPa.$$

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του οριζόντιου εναλλάκτη, υπολογίζεται:

$$V_s = 4 \cdot L \cdot \frac{\pi \cdot d_{in}^2}{4} = 2,26m^3$$

Συνεπώς ο όγκος του δοχείου διαστολής σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$V_t = 0,0455m^3 = 455lt$$

Σύμφωνα με τις τυποποιημένες χωρητικότητες επιλέγεται δοχείο διαστολής 500lt Aquasystem VAV κάθετο[3].

4.2.2. Αξιολόγηση κόστους θερμοκηπίου

Σύμφωνα με τα παραπάνω το κόστος για την υλοποίηση του θερμοκηπίου απαρτίζεται από το κόστος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, του απαραίτητου γεωσυλλέκτη και του επιμέρους εξοπλισμού που είναι αναγκαίος για το χώρο του μηχανοστασίου. Ειδικότερα, η παρούσα αξιολόγηση κόστους αναφέρεται στον απαραίτητο εξοπλισμό για τη σωστή λειτουργία της εκάστοτε γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ), συμπεριλαμβανομένου του αυτοματισμού και των εργασιών τοποθέτησης, σύνδεσης, εκκίνησης και ελέγχου του εξοπλισμού. Το κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από οριζόντιους γεωσυλλέκτες (slinky coils) που θα τοποθετηθούν σε βάθος 1,2m από την επιφάνεια.

- Η επιφάνεια που πρέπει να γίνει η εκσκαφή για την τοποθέτηση του οριζόντιου γεωεναλλάκτη είναι 360m² και κοστίζει 2600€.
- Το μήκος του γεωεναλλάκτη είναι 800m με τιμή μέτρου 1,15€ άρα η τιμή του είναι 920€.
- Το δοχείο διαστολής χωρητικότητας 500 lt που υπολογίστηκε, της Aquasystem VAV κάθετο κοστίζει 538 € καθώς και ο κυκλοφορητής κόστους 258€.
- Η αντλία θερμότητας, τα fan coil και τα διάφορα εξαρτήματα, καθώς και το κόστος μελέτης και εγκατάστασης παρουσιάζονται παρακάτω. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας της Bcooil κοστίζει 12.000 € και η εγκατάσταση fan-coil ανέρχεται στα 3.000 €.
- Για την μελέτη, εγκατάσταση και διάφορων εργασιών το κόστος είναι περί τα 1.000 €.
- Τέλος τα διάφορα υδραυλικά και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα το κόστος ανέρχεται στα 3.000€.

Το συνολικό κόστος του οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος είναι 23.316€

4.3. Αφαλάτωση

Αυτήν την στιγμή η Μήλος έχει έναν σταθμό αφαλάτωσης νερού στην περιοχή της Συκιάς η οποία τροφοδοτείται από ΑΠΕ συγκεκριμένα αιολικά και φωτοβολταϊκά. Ειδικότερα, για την παραγωγή πόσιμου νερού, χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό μετά από επεξεργασία, αφαλάτωση και στην συνέχεια, εμπλουτισμό. Η μέθοδος αφαλάτωσης που επιλέχθηκε είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO), η οποία βασίζεται, κυρίως, στην τεχνολογία ειδικών μεμβρανών, με εφαρμογή υψηλής πίεσης νερού και χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και ηλεκτρική ενέργεια. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, σε αντίθεση με άλλες παρόμοιες εφαρμογές αφαλάτωσης, στη μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου, χάρη στο σχεδιασμό της και στην τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιήθηκε δεν πραγματοποιείται προχλωρίωση – αποχλωρίωση και δοσομέτρηση θειϊκού οξέος στην είσοδο των μεμβρανών, ούτε στο παραγόμενο νερό, και σε γενικές γραμμές, έχει επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή χρήση χημικών. Η μονάδα αφαλάτωσης αποτελείται από τέσσερα βασικά υποσυστήματα: το αντλιοστάσιο παροχής θαλασσινού νερού και τους σωλήνες προσαγωγής - απόρριψης, την προεπεξεργασία θαλασσινού νερού, τη διάταξη των μεμβρανών (αντίστροφη ώσμωση), την μετεπεξεργασία αφαλατωμένου νερού και την δεξαμενή γλυκού νερού. Το θαλασσινό νερό που αντλείται από τη θάλασσα περνάει αρχικά από μια φάση προεπεξεργασίας, με αυτόματα πολυστρωματικά φίλτρα χαλαζιακής άμμου/ανθρακίτη και σακόφιλτρα από πολυπροπυλένιο, για την κατακράτηση ξένων

σωμάτων και οργανισμών. Ως χημικό προκατεργασίας χρησιμοποιείται μόνο αντικαθαλατωτικό⁸, κατάλληλο για χρήση σε μονάδες αφαλάτωσης παραγωγής πόσιμου νερού. Το φιλτραρισμένο νερό οδηγείται στην συνέχεια στις μεμβράνες υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας, οι οποίες τροφοδοτούνται από αντλίες θετικής εκτόπισης, υψηλής απόδοσης, κατασκευασμένες από υπερκράματα ανοξειδώτου χάλυβα. Η μονάδα λειτουργεί σε τέσσερις (4) ημιαυτόνομες συστοιχίες των 560 m³/d, προσδίδοντας έτσι στο σύστημα σημαντική λειτουργική ευελιξία, μεγιστοποιώντας παράλληλα τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία της. Το σημαντικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης τεχνολογίας, που την καθιστά σαφώς πιο αποδοτική από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης, είναι το πλέον σύγχρονο σύστημα ανάκτησης ενέργειας που βασίζεται στην τεχνική της εναλλαγής πίεσης. Με το πρωτοποριακό αυτό σύστημα ανακτάται το 97% της πίεσης του συμπυκνώματος και μεταφέρεται στο φρέσκο θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται εντυπωσιακά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, προσφέροντας παράλληλα υψηλή απόδοση και λειτουργική αξιοπιστία, ακόμα και για σημαντικές μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας (αλατότητα, θερμοκρασία θαλασσινού νερού κ.τ.λ.), καθώς και μειωμένες ανάγκες συντήρησης. Η μετακατεργασία του αφαλατωμένου νερού πραγματοποιείται με φίλτρα δολομιτικού πετρώματος που επιτρέπουν τη ρύθμιση της σκληρότητας και τον έλεγχο του pH, χωρίς την ανάγκη δοσομέτρησης θειικού οξέος. Επιπλέον, πραγματοποιείται χλωρίωση του αφαλατωμένου νερού, όπως σε οποιαδήποτε εγκατάσταση ύδρευσης, με χρήση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου και ειδικό σύστημα δοσομέτρησης. Το απομένον αλμόλοιπο απορρίπτεται στη θάλασσα, σε κατάλληλο σημείο (μακριά από το σημείο άντλησης), το οποίο επιλέχθηκε βάσει ειδικής μελέτης διάχυσης που εκπονήθηκε. Η μονάδα είναι εξοπλισμένη με όλο τον απαιτούμενο ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, καθώς και με πληθώρα βοηθητικών συστημάτων (αυτόματη έκπλυση μεμβρανών και χημικού καθαρισμού κ.τ.λ.) και οργάνων ελέγχου σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (τιμές ροών, αγωγιμότητας, PH, πιέσεων, θερμοκρασιών, σήματα alarm κ.τ.λ.). Επιπλέον, παρέχεται υψηλό επίπεδο αυτοματισμών και παρακολούθησης του συστήματος, βάσει ειδικού προγράμματος που έχει αναπτυχθεί. Το σύνολο του εξοπλισμού της προκατεργασίας, της αντίστροφης ώσμωσης και της μετεπεξεργασίας είναι εγκατεστημένο σε containers, ομαδοποιημένο σε δύο πλήρως αυτόνομες υπομονάδες των 1120 m³/d. Χωριστά μέρη του συστήματος αποτελούν οι αντλίες αναρρόφησης θαλασσινού νερού, το σημείο απόρριψης του αλμόλοιπου και η δεξαμενή πόσιμου ύδατος (100 m³), απ' όπου το πόσιμο νερό οδηγείται, μέσω αντλιών μεταπρώθησης, στην κεντρική συστοιχία δεξαμενών (3.000 m³), για διοχέτευσή του στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Μήλου. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης παράγεται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, με την επέκταση του υφιστάμενου Αιολικού Πάρκου της Αιολικής Μήλου Α.Ε. στη θέση «Κουτσούνόρραχη». Ουσιαστικά, η ηλεκτρική ενέργεια την οποία καταναλώνει η μονάδα

⁸ Το αντικαθαλατωτικό που χρησιμοποιείται για την προστασία των μεμβρανών των μονάδων αφαλάτωσης, είναι οργανοφωσφορική σύνθεσης και η χρήση του αποσκοπεί στην προστασία των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης από καθαλατώσεις και άλλες επικαθίσεις σε ένα ευρύ φάσμα αποθέσεων αλάτων. Η έγχυσή του γίνεται στο νερό τροφοδοσίας της αντίστροφης όσμωσης, πριν από τα φίλτρα εξευγενισμού μέσω κατάλληλης διάταξης έγχυσης με δοσομετρική αντλία. Το αντικαθαλατωτικό υγρό δεν αντιδρά με άλλα πολυμερή που χρησιμοποιούνται ως κροκιδωτικά, δεν επηρεάζεται από το χλώριο ή από άλλα οξειδωτικά απολυμαντικά με κανονικές συνθήκες χρήσης, είναι αναμίξιμο με το νερό σε όλες τις αναλογίες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σύστημα μεμβρανών στο οποίο γίνεται έγχυση χλωρίου και όξινου θειώδους νατρίου

αφαλάτωσης από το δίκτυο, αντισταθμίζεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εγχέεται στο δίκτυο από την ανεμογεννήτρια. Κάθε υποσύστημα του έργου, δηλαδή η μονάδα αφαλάτωσης και η ανεμογεννήτρια, ελέγχονται μέσω αυτόνομων συστημάτων scada. Επιπλέον, για το συντονισμό των δύο συστημάτων και για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος πρόβλεψης και διαχείρισης της μονάδας αφαλάτωσης και της ανεμογεννήτριας, έχει εγκατασταθεί κεντρικό σύστημα τηλε-ελέγχου - τηλεχειρισμού (Master Scada), το οποίο έχει σχεδιαστεί, ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει όλες τις ανάγκες πρόβλεψης, λειτουργίας και διαχείρισης της μονάδας αφαλάτωσης, των κεντρικών δεξαμενών λειτουργίας, καθώς και της ανεμογεννήτριας. Το σύστημα αυτό συλλέγει στοιχεία και εκτελεί σενάρια λειτουργίας, έχοντας πάντα σαν κύριο στόχο τη βέλτιστη διαχείριση της ανεμογεννήτριας και της μονάδας αφαλάτωσης, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής ή και κατά τις ώρες υψηλής αιολικής παραγωγής, σε συνδυασμό με τα μέγιστα και ελάχιστα φορτία, επιτυγχάνοντας παράλληλα την ελάχιστη δυνατή παρέμβαση του συντηρητή – χειριστή των μονάδων.

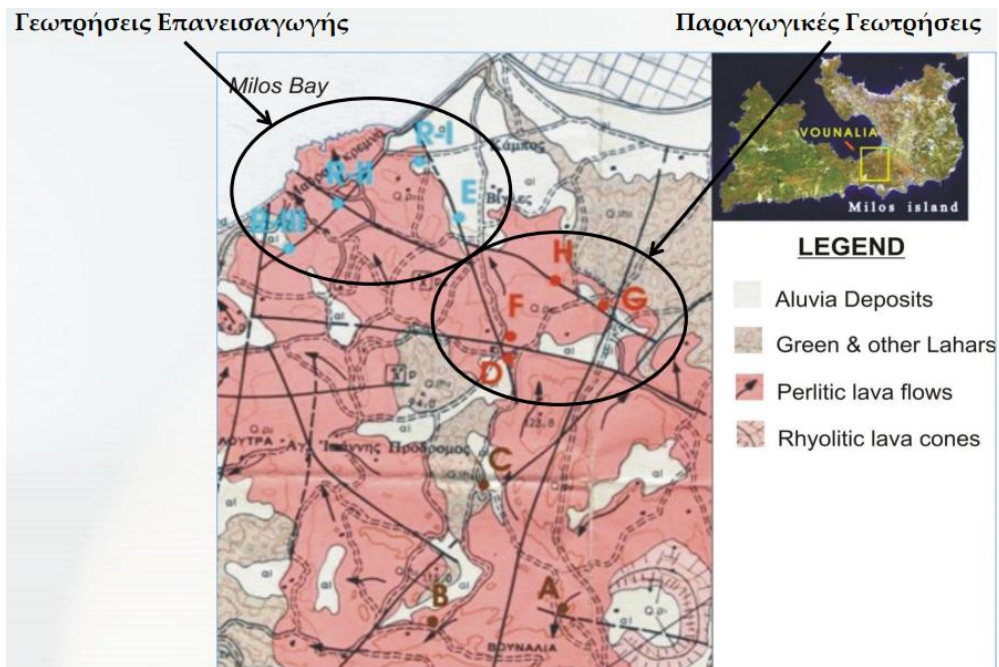
Ο συνολικός προϋπολογισμός έργου ανέρχεται στα 4.800.000 € με τιμή πώλησης του νερού στα 1,8€/m³.

Η παραπάνω εγκατάσταση αφαλάτωσης μπορεί να λειτουργήσει με μια μικρή αναβάθμιση - αλλαγή συστήματος όσον αφορά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα μπορεί να προέρχονται από χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Παρακάτω αναλύεται μια μελέτη αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής ενέργειας.

Μια μελέτη στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Έργου MIDES τη διετία 2001-2002 έγιναν στην περιοχή “Βουνάλια” της Μήλου 10 γεωτρήσεις μικρού βάθους (63-184 m), οι οποίες εντόπισαν νερά θερμοκρασίας 50-99°C. Οι γεωτρήσεις εντοπίζονται στις ρυολιτικές – περλιτικές λάβες των Βουναλίων, που αποτελούν το νεότερο ηφαιστειακό σχηματισμό της Μήλου (ηλικίας 80.000 ετών) και ο οποίος είναι καλά διαρρηγμένος. Από τις γεωτρήσεις αυτές, εκείνες που είχαν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες και βρίσκονταν κοντά στην ακτή θεωρήθηκαν γεωτρήσεις επανεισαγωγής, ενώ οι υπόλοιπες ήταν παραγωγικές. Οι δύο περισσότερο παραγωγικές γεωτρήσεις, βάθους 85m και 89m, παρήγαγαν νερά θερμοκρασίας 98,5°C και 97°C με παροχή 100 m³/h. Το γεωθερμικό ρευστό είναι εξίσου ή και πιο αλμυρό από το θαλασσινό νερό. Η γεωθερμική έρευνα στα Βουνάλια εντόπισε έναν υδροφορέα υψηλής διαπερατότητας μέσα στις περλιτικές λάβες και τα λαχάρ, που εκτείνεται από την ακτή μέχρι πάνω από 1 km στο εσωτερικό του νησιού και του οποίου το πάχος κυμαίνεται μεταξύ 100m και 150 m. Θερμοκρασίες των 40°C -60°C σημειώνονται σε μια ζώνη 0-500m από την ακτή, με εμφανή θερμοκρασιακή αναστροφή στο εσωτερικό των γεωτρήσεων. Σε απόσταση περίπου 1km από την ακτή, οι θερμοκρασίες στον υδροφορέα φτάνουν τους 80-100°C. Οι γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν μπορούν να παράγουν 400 m³/h νερού θερμοκρασίας 85°C -99°C.[25]



Εικόνα 8 Τοποθεσία Βουνάλια Μήλου[25]

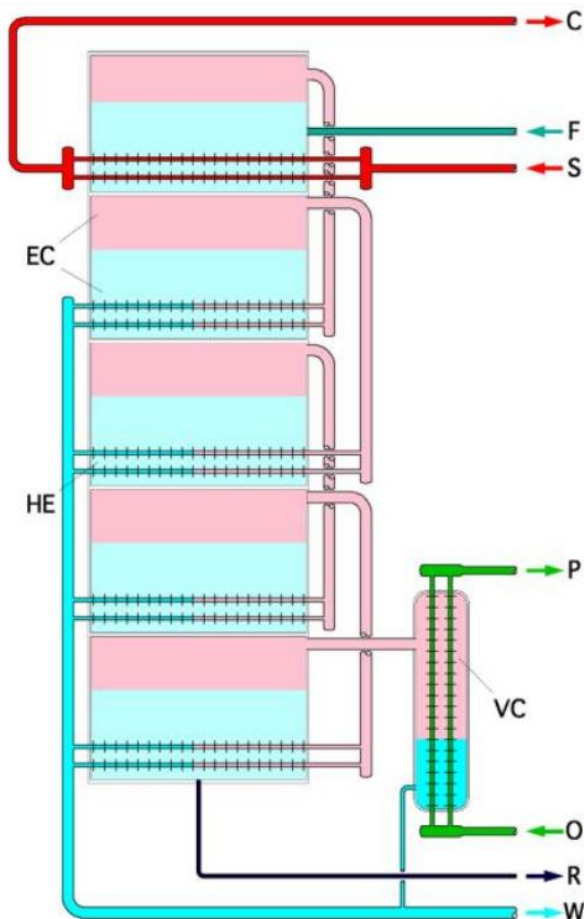


Εικόνα 9 Χάρτης γεωτρήσεων στα Βουνάλια Μήλου

Σύμφωνα με τα παραπάνω αλλά και στα πλαίσια του Έργου MIDES σχεδιάστηκε η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδα δυαδικού κύκλου (κύκλος ORC) ισχύος 470 kWe και 75 m³/h αφαλατωμένου θαλασσινού νερού από μονάδα αφαλάτωσης

MED (Multi-Effect Distillation), χρησιμοποιώντας τα νερά των γεωτρήσεων θερμοκρασίας 85°C -99°C.

Τα συστήματα αφαλάτωσης MED (Multi-Effect Distillation), αποτελούνται από μια πηγή θέρμανσης, έναν αποστακτήρα, έναν συμπυκνωτή ατμών και έναν διαχωριστή που παγιδεύει τις λεπτές σταγόνες της άλμης και τις αποχωρίζει από τον ατμό. Αποτελούνται από πολλά εξατμιστήρια στην σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας του συστήματος. Ο ατμός θέρμανσης εισάγεται μόνο στην πρώτη βαθμίδα, όπου θερμαίνεται το αλμυρό νερό μέχρι την θερμοκρασία βρασμού του (100°C). Οι ατμοί που σχηματίζονται στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιούνται ως ατμός θέρμανσης στην δεύτερη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από την πρώτη ώστε το διάλυμα της άλμης να βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί), ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν από την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη.[27][28][29]

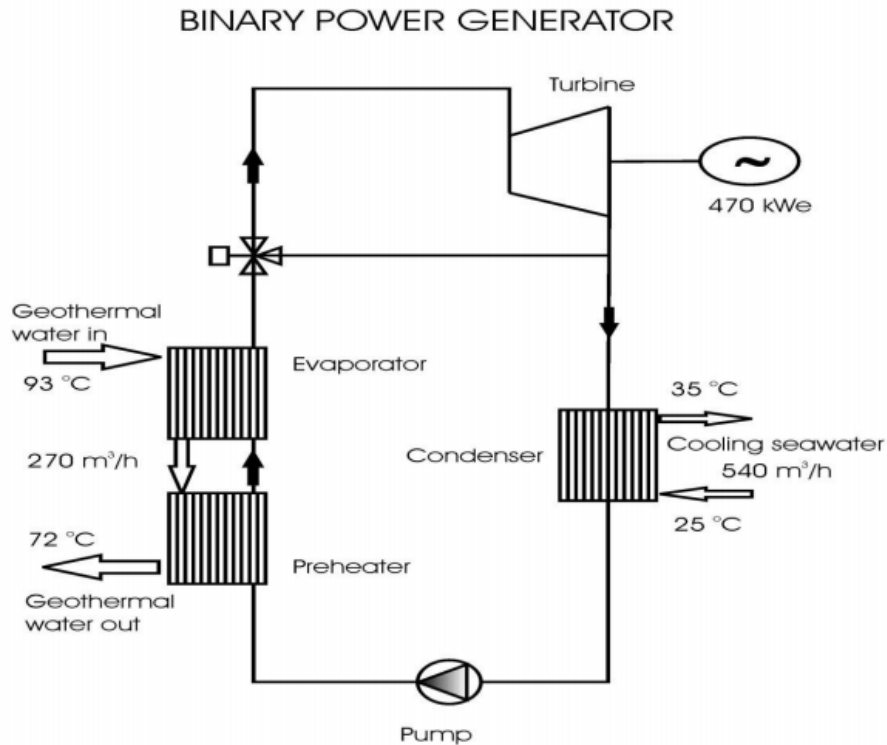


Εικόνα 10 Σχηματική απεικόνιση διάταξης αφαλάτωσης MED. Το πρώτο στάδιο βρίσκεται στην κορυφή. Οι ροζ περιοχές είναι ατμοί και οι γαλάζιες περιοχές είναι υγρό νερό τροφοδοσίας. Το πιο έντονο τυρκουάζ χρώμα είναι συμπύκνωμα F: τροφοδοσία νερού. S: θέρμανση εισερχόμενου ατμού. C: θέρμανση εξερχόμενου ατμού. W: Έξοδος αφαλατωμένου νερού (συμπύκνωμα). R: Έξοδος άλμης. O: ψύξη εισόδου. P: ψύξη εξόδου. VC: Το τελικό στάδιο ψύξης.[30]

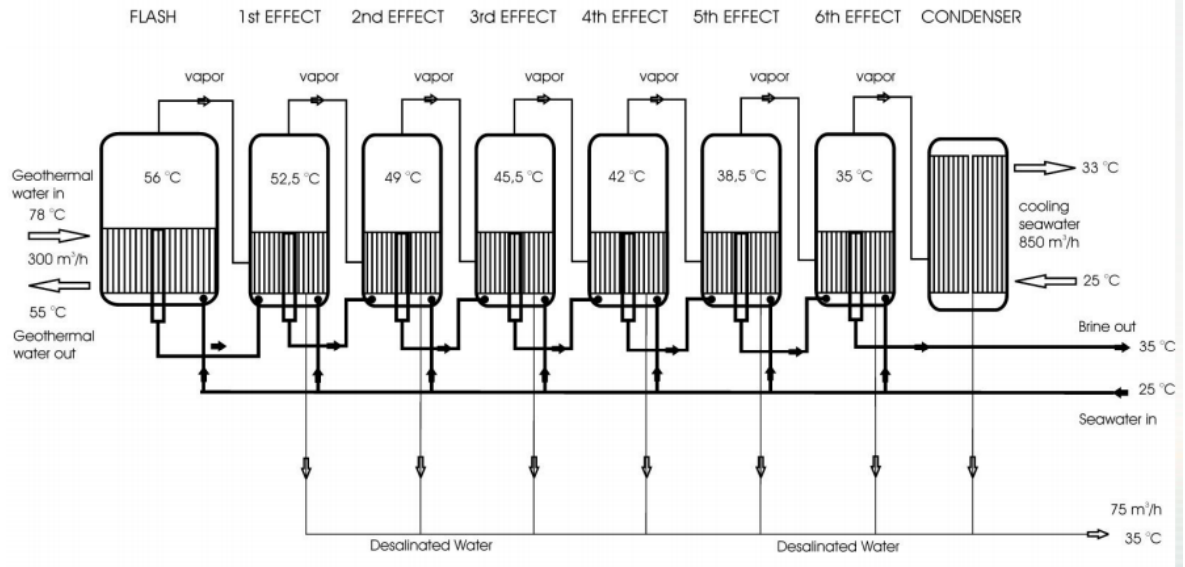
Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά Πολυβάθμιας εξάτμισης

Πολυβάθμια εξάτμιση MED (Multi-Effect Distillation)	
Νερό τροφοδοσίας	Θαλασσινό
Ποσότητα νερού	500 – 20.000 m ³ /ημ.
Ποιότητα παραγόμενου νερού	10 ppm TDS
Απαιτούμενη ενέργεια	Θερμική (290 KJ/kg) Ηλεκτρική (4-6kWh/m ³)

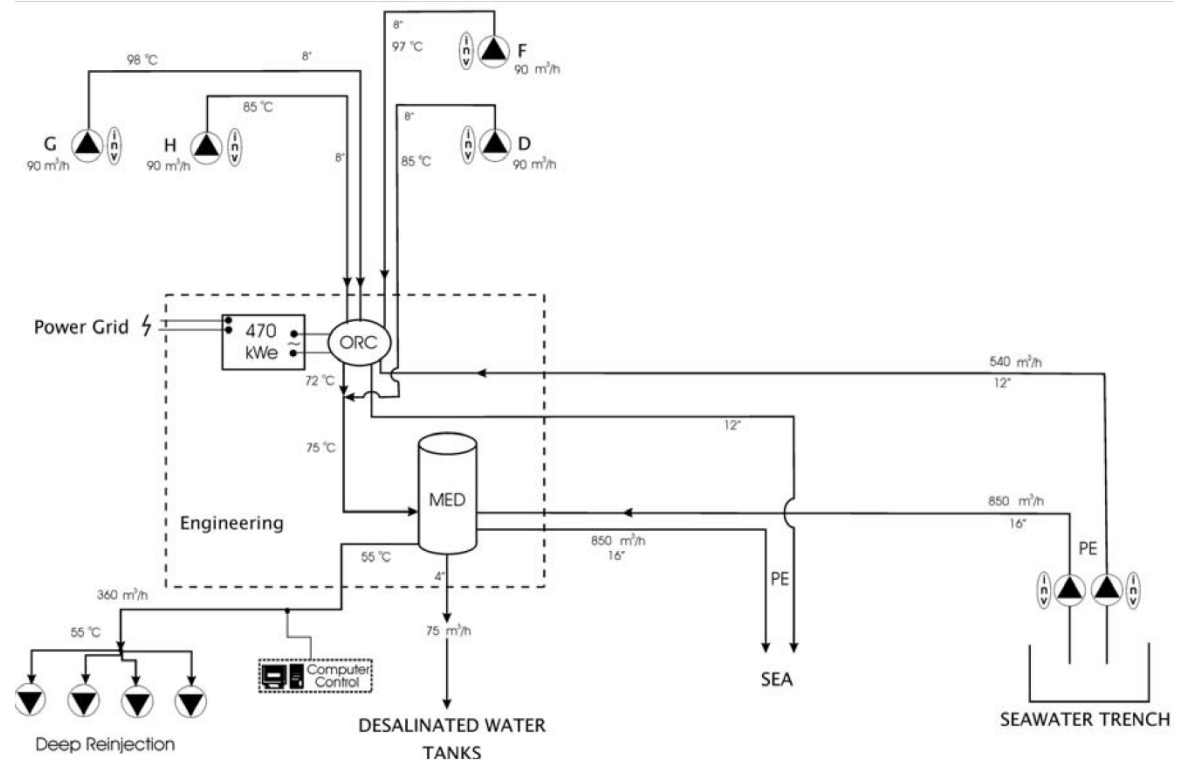
Το κύκλωμα ORC όπου σχεδιάστηκε ήταν το παρακάτω:



Εικόνα 11 Διάγραμμα ORC στα Βουνάλια



Διάγραμμα 7 Διάγραμμα MED αφαλάτωσης



Διάγραμμα 8 Σύστημα αφαλάτωσης και ηλεκτροπαραγωγής ORC στα Βουνάλια Μήλου

4.4. Τηλεθέρμανση

Η έκταση της Μήλου ορίζεται σε 160,1km². η δημιουργία ενός σταθμού τηλεθέρμανσης θα ήταν μια εφαρμογή η οποία θα μείωνε σε μεγάλο βαθμό το αρνητικό αποτύπωμα ρύπων στο νησί κατά τους χειμερινούς μήνες. Η τηλεθέρμανση θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο νησί της Μήλου χρησιμοποιώντας ατμό απομαστεύοντας από το εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής ORC κύκλου που αναφέρεται παρακάτω στο 6.2.

Για την χρήση και αξιοποίηση, από τους κάτοικους του νησιού, θερμότητας, απαιτείται να υπάρχουν ένας λέβητας εφεδρείας ο οποίος συνήθως είναι ένας λέβητας πετρελαίου, ένα σύστημα μεταφοράς του θερμού νερού, αντλιοστάσια μεταφοράς, δίκτυο διανομής, υποσταθμοί υποπεριοχών και τέλος ένα σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Ο λέβητας πετρελαίου είναι απαραίτητος για την λειτουργία του συστήματος ώστε να εξυπηρετεί την αιχμή. Ουσιαστικά θα λειτουργεί άμεσα μόλις η ζήτηση του θερμικού φορτίου θα είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα μπορεί να καλύψει το σύστημα γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής.

Με χρήση εναλλακτών θερμότητας το εργαζόμενο μέσο θα θερμαίνει νερό το οποίο θα κατευθύνεται με αγωγούς στο κεντρικό αντλιοστάσιο το οποίο θα διανέμει το νερό στους καταναλωτές όπου μεταφέρει την θερμότητα του και ψύχεται και επιστρέφει μέσω των αγωγών επιστροφής για επαναθέρμανση.

Το σύστημα διανομής στους καταναλωτές είναι ουσιαστικά αυτόνομο και θα λειτουργεί με αυτοματισμούς PLC για να εξυπηρετεί την ζήτηση ανά πάσα στιγμή.

Για την βελτιστοποίηση του συστήματος θα χρειαστεί να τοποθετηθεί ένα σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει δεξαμενές υπό πίεση, κατάλληλης χωρητικότητας στις οποίες θερμική ενέργεια με τη μορφή θερμού νερού αποθηκεύεται για την αξιοποίηση του όταν χρειαστεί. Ουσιαστικά, θερμική ενέργεια αποθηκεύεται κατά την διάρκεια της νύχτας όταν η ζήτηση θερμότητας είναι μικρή ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της ημέρας όπου η ζήτηση είναι μεγαλύτερη.

Απαραίτητο όμως είναι οι καταναλωτές να κάνουν συγκεκριμένες αλλαγές στις οικιακές τους εγκαταστάσεις ώστε να μπορέσουν να εκμεταλλευτούν και να καταναλώσουν τέτοιου είδους θερμότητα. Ένα τυπικό μέσο πάγιο τέλος σύνδεσης των καταναλωτών αστικής χρήσης ίσο με 500€/κτίριο, ενώ η τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας προτείνεται σε 25-50€/MWh ενώ η τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αυτήν τη στιγμή κοστολογείται σε 155€/MWh.

Κεφάλαιο 5 - Aspen Hysys

5.1. Λογισμικό Σχεδίασης συστημάτων Aspen Hysys

Ο σχεδιασμός είναι ένα απαραίτητο θεωρητικό και πρακτικό εργαλείο για το σύγχρονο μηχανικό. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συστημάτων εξ' αιτίας του αυξανόμενου ανταγωνισμού σε παγκόσμιο επίπεδο και της ανάπτυξης νέων τεχνικών και τεχνολογιών. Έχει γίνει κατανοητό ότι δεν είναι πλέον αρκετή η ανάπτυξη ενός συστήματος που απλά να εκτελεί ένα έργο για να ικανοποιήσει μια ανάγκη της κοινωνίας, είναι όμως πολύ σημαντικό να βελτιστοποιείται η διεργασία, έτσι ώστε μια επιλεγμένη ποσότητα, γνωστή και ως αντικειμενική συνάρτηση να μεγιστοποιείται ή να ελαχιστοποιείται. Έτσι, για ένα δοσμένο σύστημα, η απόδοση, το κέρδος, η παραγωγικότητα κ.ά. μπορούν να αυξάνονται ενώ το κόστος, η προδιδόμενη ενέργεια κ.α. να ελαχιστοποιείται. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό στο σχεδιασμό, όπως και σε άλλες δραστηριότητες του μηχανικού, είναι η διατύπωση του προβλήματος. Είναι υποχρεωτικό να καθοριστούν οι απαιτήσεις του συστήματος, τα δεδομένα και οι σταθερές όπως επίσης και οι μεταβλητές που μπορούν να αλλαχθούν για να επιτευχθεί πιο ικανοποιητικά ο σχεδιασμός. Ο τελικός σχεδιασμός είναι απαραίτητο να πληροί όλες τις απαιτήσεις, ενώ ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που αφορούν περιβαλλοντικές, οικονομικές υλικές και άλλες εκτιμήσεις. Η διαδικασία του σχεδιασμού εξαρτάται από την τοποθέτηση του προβλήματος καθώς επιτρέπεται στο σχεδιαστή να επικεντρώσει την προσοχή του στις ποσότητες και τις παραμέτρους του συστήματος που μπορεί να μεταβάλλει.

Από τις πρώτες ρίζες στο πανεπιστήμιο MIT με την πρωτοποριακή έκδοση του Aspen One v8, η Aspen Tech ήταν πάντα στην πρώτη γραμμή της καινοτομίας στις βιομηχανίες μεταποίησης. Με ενσωματωμένες λύσεις της Aspen One, οι διαδικασίες κατασκευών μπορούν να εφαρμόσουν τις βέλτιστες πρακτικές για την βελτιστοποίηση των μηχανικών της κατασκευής και τις αλυσίδες εφοδιασμού. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες της Aspen Tech είναι σε καλύτερη θέση για την επίτευξη των στόχων λειτουργικής αριστείας, την αύξηση ικανότητας, την βελτίωση των περιθωρίων κέρδους, τη μείωση του κόστους και να γίνει ενεργά πιο αποδοτική. Σήμερα, οι λύσεις της Aspen One χρησιμοποιούνται σχεδόν από κάθε εταιρεία στον κλάδο της διαδικασίας παρασκευής. Πάνω από 100.000 χρήστες σε περισσότερες από 1.500 επιχειρήσεις έχουν βασιστεί στην Aspen One για την επίτευξη υψηλών οικονομικών και λειτουργικών αποτελεσμάτων. Η ηγεσία και η εμπειρία της Aspen Tech πάνω από 30 χρόνια βασίζεται σε κορυφαίες αγορές και στις λύσεις του λογισμικού της Aspen One. Το λογισμικό Aspen One αποτελεί το πρότυπο της βιομηχανίας στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας, επαναπροσδιορίζοντας την ευκολία στη χρήση, βοηθώντας τις εταιρείες να επιτύχουν τη λειτουργική αρτιότητα και την οδήγηση της κερδοφορίας πιο γρήγορα και πιο αποτελεσματικά από ποτέ.

5.2. Εισαγωγή στο Aspen Hysys

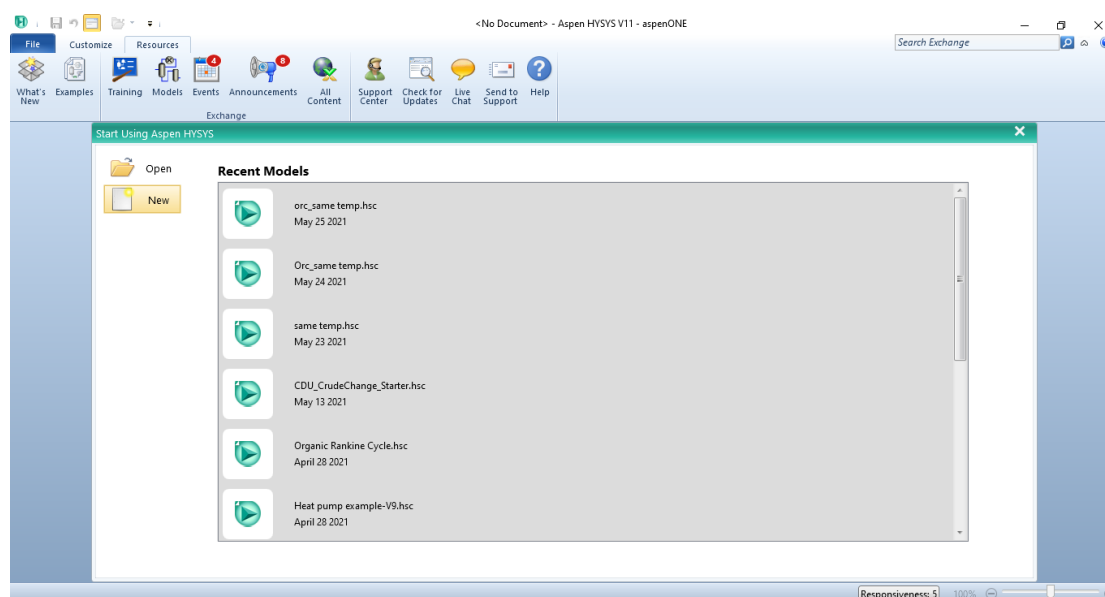
Η Aspen Hysys είναι η κορυφαία διαδικασία στην αγορά εργαλείων μοντελοποίησης με αποδεδειγμένη εμπειρία για την παροχή σημαντικών οικονομικών οφελών σε όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής της μηχανικής διαδικασίας. Φέρνει την δύναμη της διαδικασίας προσομοίωσης στην επιφάνεια εργασίας μηχανικών, επιτρέποντας στις εταιρείες να

προβούν σε νέες εγκαταστάσεις και σχέδια γρηγορότερα και πιο αποτελεσματικά σε μια υψηλότερη απόδοση της επένδυσης. Ο στόχος των προγραμμάτων όπως το Hysys και το Aspen είναι να παρέχουν την δυνατότητα της σχεδίασης μιας ολόκληρης διαδικασίας όσο το δυνατόν πλήρης και με ακρίβεια διαμορφωμένη. Οι περισσότερες (αν όχι όλες) από τις διαφορές μεταξύ των δυο βρίσκονται στο περιβάλλον εργασίας τους. Το Hysys είναι πολύ καλύτερο και έχει έξυπνο περιβάλλον εργασίας από ότι το Aspen. Σε αντίθεση με το Aspen, το Hysys δεν περιμένει μέχρι να πληκτρολογηθούν τα πάντα πριν την έναρξη των υπολογισμών, υπολογίζει ανά πάσα στιγμή όσα μπορεί και τα αποτελέσματα είναι πάντοτε διαθέσιμα, ακόμη και κατά τους υπολογισμούς. Όλες οι αλλαγές που γίνονται στα δεδομένα αντιγράφονται αυτόματα σε όλο το πρόγραμμα, έτσι η είσοδος εμφανίζεται και όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται άμεσα.

Το Aspen HYSYS είναι ένας προσομοιωτής διεργασιών που επιλύει από απλές μονάδες (διαχωριστές, αντιδραστήρες, στήλες) μέχρι ολοκληρωμένες χημικές εγκαταστάσεις. Η επίλυση βασίζεται στη μοντελοποίηση των μιγμάτων και ουσιών που συμμετέχουν στη διεργασία (φυσικοχημικές ιδιότητες, θερμοδυναμική συμπεριφορά, κινητικές αντιδράσεων κλπ) και στην επίλυση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας.

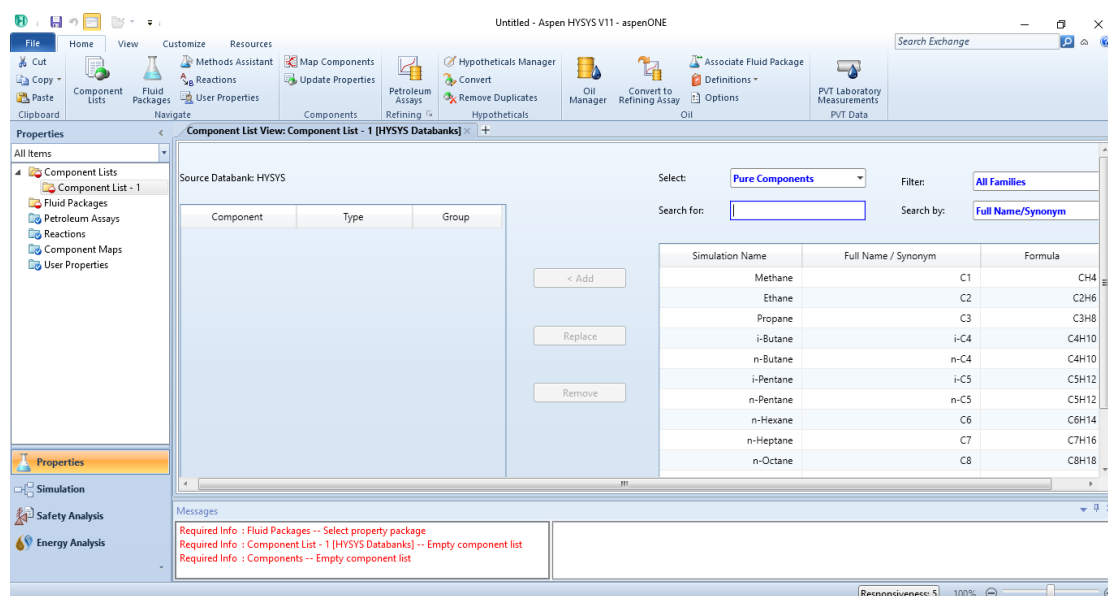
5.3. Δημιουργία νέας προσομοίωσης

Το περιβάλλον προσομοίωσης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του διαγράμματος ροής της διάταξης. Εκεί γίνεται ορισμός των χαρακτηριστικών των ρευμάτων υλικών και η τοποθέτηση των αντιδραστήρων, των αποστακτικών στηλών και όλων των υπολοίπων μπλοκ, όπου τελούνται οι χημικές αντιδράσεις, οι διαχωρισμοί και οι υπόλοιπες διεργασίες. Για την δημιουργία μιας νέας προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το Aspen HYSYS, πρέπει αρχικά να οριστούν τα ρευστά τα οποία θα χρησιμοποιούνται και οι καταστατικές εξισώσεις αλλά και μέθοδοι προσέγγισης ιδιοτήτων των ρευστών. Η αρχική σελίδα του Aspen HYSYS είναι η Εικόνα 12, όπου επιλέγεται οποιοδήποτε αρχείο προσομοίωσης το οποίο υπάρχει ήδη ή δημιουργείται ένα νέο αρχείο προσομοίωσης πατώντας την επιλογή "New".

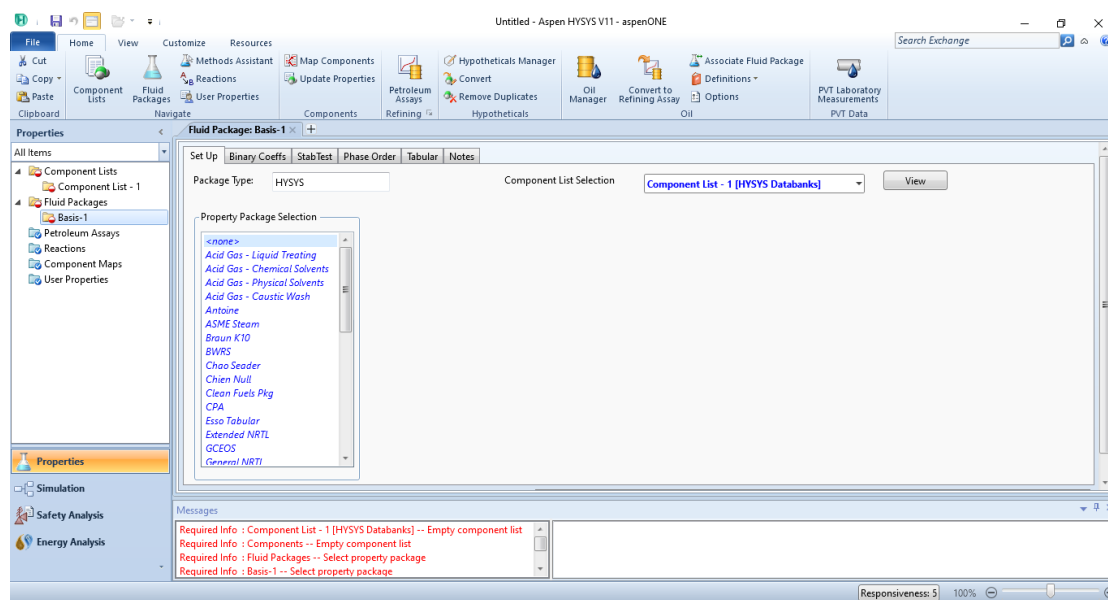


Εικόνα 12 Αρχική σελίδα Aspen HYSYS

Η επιλογή των ρευστών γίνεται επιλέγοντας την καρτέλα Component list και αναζητώντας και επιλέγοντας το Εικόνα 13. Επιπλέον για να μπορέσει να λειτουργήσει η προσομοίωση πρέπει να επιλεγεί και η καταστατική εξίσωση Εικόνα 14.

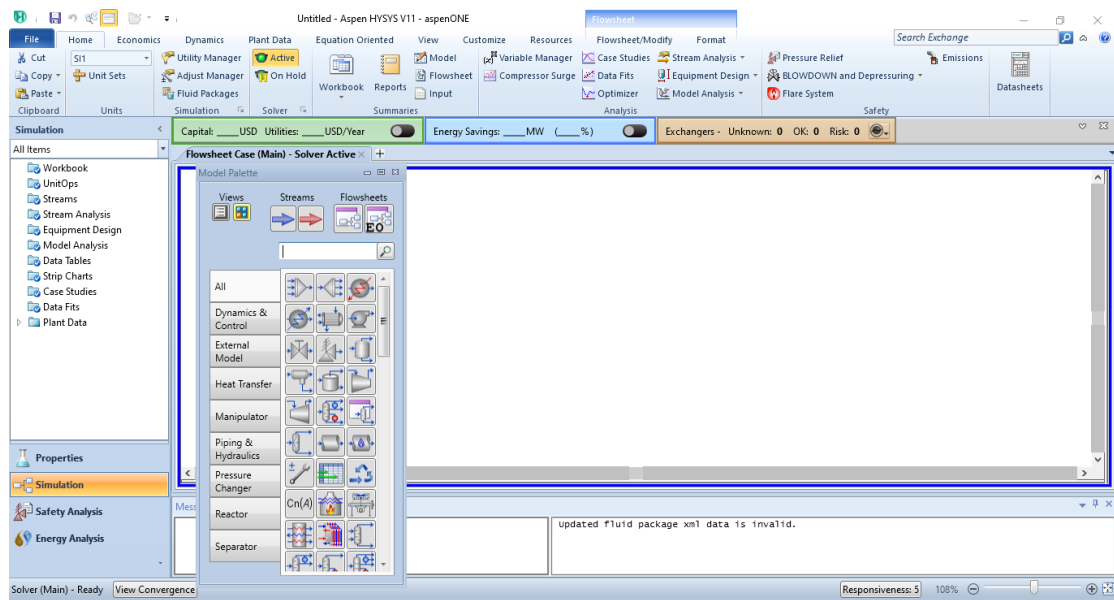


Εικόνα 13 Επιλογή ρευστών



Εικόνα 14 Καταστατικές εξισώσεις αλλά και μέθοδοι προσέγγισης ιδιοτήτων των ρευστών

Αφού προσδιοριστούν οι αρχικές παράμετροι, σχεδιάζεται το διάγραμμα ροής χρησιμοποιώντας τα διάφορα blocks του Aspen HYSYS για τη προσομοίωση των αντιδραστήρων, διαχωριστών, συμπιεστών και εναλλακτών θερμότητας της διάταξης και τοποθετώντας τα κατάλληλα ρεύματα υλικών μεταξύ αυτών Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Components και στοιχεία κυκλωμάτων

Καταστατική εξίσωση ονομάζεται κάθε εξίσωση που συνδέει τη θερμοκρασία την πίεση και τον ειδικό όγκο μιας ουσίας. Η απλούστερη και πιο γνωστή είναι η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων. Οι καταστατικές εξισώσεις Peng-Robinson (PR) και Soave-Redlich-Kwong (SRK) είναι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι πιο διαδεδομένες κυβικές καταστατικές εξισώσεις για εγκαταστάσεις αερίου καθώς έχουν βελτιωμένη συμπεριφορά στην πρόβλεψη του ισοζυγίου ατμού - υγρού σε συστήματα που περιέχουν πολικά μόρια (πχ. αμμωνία, νερό).

- Ιδανική προσέγγιση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων

Η ιδανική προσέγγιση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων γίνεται μέσω του νόμου των ιδανικών αερίων (καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων) συνδυάζει τους νόμους των Boyle και Gay-Lussac. Προσομοιώνει τον ατμό ως ένα σύνολο σημειακών μαζών χωρίς καμία αλληλεπίδραση. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προσομοιώσεις αερίων μιγμάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η εξίσωση είναι:

$$p = \frac{RT}{V} \quad (1)$$

- Κυβική καταστατική εξίσωση Peng-Robinson

Η κυβική καταστατική εξίσωση Peng Robinson προτάθηκε το 1976 και είχε ως στόχο τα ακόλουθα: Οι παράμετροι της εξίσωσης είναι συνάρτηση των κρίσιμων ιδιοτήτων και του ακεντρικού παράγοντα, φυσιολογική ακρίβεια κοντά στο κρίσιμο σημείο ειδικά για υπολογισμούς του παράγοντα συμπιεστότητας και της πυκνότητας υγρής φάσης, ένας μόνο δυαδικός παράγοντας αλληλεπίδρασης που είναι ανεξάρτητος της πίεσης, θερμοκρασίας και συγκεντρώσεων απαιτείται για την ανάμιξη και τέλος έχει την ικανότητα πρόρρησης μιγμάτων διεργασιών φυσικού αερίου.

Η μορφή της εξίσωσης είναι η ακόλουθη:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a(T)}{V * (V + b) + b * (V - b)} \quad (2)$$

Όπου $a(T)$ είναι:

$$a(T) = 0.45724 * \frac{R^2 * T_c^2}{pc} * \left\{ 1 + k * \left(1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^{0.5} \right) \right\}^2 \quad (3)$$

$$k = 0.37464 + 1.5422 * \omega - 0.26922 * \omega^2 \quad (4)$$

$$B = 0.07780 * \frac{R * T_c}{pc} \quad (5)$$

- Κυβική καταστατική εξίσωση Soave-Redlich-Kwong

Αρχικά οι Redlich-Kwong θέλησαν να αλλάξουν την van der Waals ώστε ο ελκτικός όρος να είναι εξαρτημένος από την θερμοκρασία. Η κυβική καταστατική που πρότειναν (1949) είναι η ακόλουθη:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a}{V * (V + b) * T^{0.5}} \quad (6)$$

Οι νέοι παράγοντες a, b είναι:

$$a = 0.4278 * \frac{R^2 * T_c^{2.5}}{pc} \quad (7)$$

$$b = 0.0867 * \frac{R * T_c}{pc} \quad (8)$$

Το 1972 ο Soave πρότεινε μια νέα τροποποίηση που αφορούσε τον όρο $a(T) / 0,5$. Ο όρος που πρότεινε είναι ένας πιο γενικός θερμοκρασιακά εξαρτώμενος. Ο όρος αυτός $a(T)$ ήρθε να αντικαταστήσει τον προηγούμενο. Έτσι η εξίσωση έγινε:

$$p = \frac{R * T}{V - b} - \frac{a(T)}{V * (V + b)} \quad (9)$$

Όπου $a(T)$ είναι:

$$a(T) = 0.45724 * \frac{R^2 * T_c^2}{pc} * \left\{ 1 + m * \left(1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^{0.5} \right) \right\}^2 \quad (10)$$

$$m = 0.480 + 1.57 * \omega - 0.176 * \omega^2 \quad (11)$$

$$b = 0.08664 * \frac{R * T_c}{pc} \quad (12)$$

Όπου ο όρος ω είναι ο ακκεντρικός⁹ παράγοντας. Ο Soave υπολόγισε τις τάσεις ατμών για μια σειρά από υδρογονάνθρακες και αρκετά δυαδικά μίγματα και αφού συνέκρινε τα αποτελέσματα με αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα παρατήρησε ότι η πειραματική καμπύλη εφάρμοζε καλά με την θεωρητικά υπολογιζόμενη (με την χρήση και της δικιάς του μετατροπής). Ακόμα παρατήρησε ότι προσφέρει καλή πρόβλεψη του κρίσιμου σημείου μιγμάτων.

⁹ Ο ακκεντρικός παράγοντας μιας καθαρής χημικής ουσίας ορίζεται σε σχέση με την τάση ατμών του.

Κεφάλαιο 6 - Σενάρια γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής στο νησί της Μήλου

Η Μήλος είναι ένα νησί των Κυκλάδων αυτόνομο ηλεκτρικά. Η χρήση της γεωθερμίας ως πηγή ανανεώσιμης ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή είναι ένα πολύ ενδιαφέρον σενάριο το οποίο θα εξετασθεί διεξοδικά σε αυτό το κεφάλαιο. Το νησί καλύπτει μόνο του τις ανάγκες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με την βοήθεια ενός σταθμού βάσης και μικρών εγκαταστάσεων ΑΠΕ, συγκεκριμένα τεσσάρων ανεμογεννητριών με μέγεθος αιολικού πάρκου 2.9MW και ηλιακών πάνελ μεγέθους 0,618 MW. Υπάρχει το βασικό εργοστάσιο, πάνω στο οποίο στηρίζεται όλο το νησί, και για υποβοήθηση υπάρχουν ΑΠΕ τα οποία χειρίζεται κατάλληλα το εργοστάσιο ώστε να πληρούνται όλοι οι κανονισμοί ενός ΣΗΕ.

6.1. Ενεργειακό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής Μήλου

Στην περιοχή της Κάναβας βρίσκεται ο σταθμός της ΔΕΗ όπου είναι οι εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Το εργοστάσιο απαρτίζεται από ντιζελομηχανές καταταγμένες με σειρά ένταξης αναλόγως την ζήτηση ενέργειας του νησιού εκείνη την ώρα. Τα χαρακτηριστικά των γεννητριών που λειτουργούν βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα. Χρησιμοποιείται καύσιμο diesel αλλά και mazut. **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**

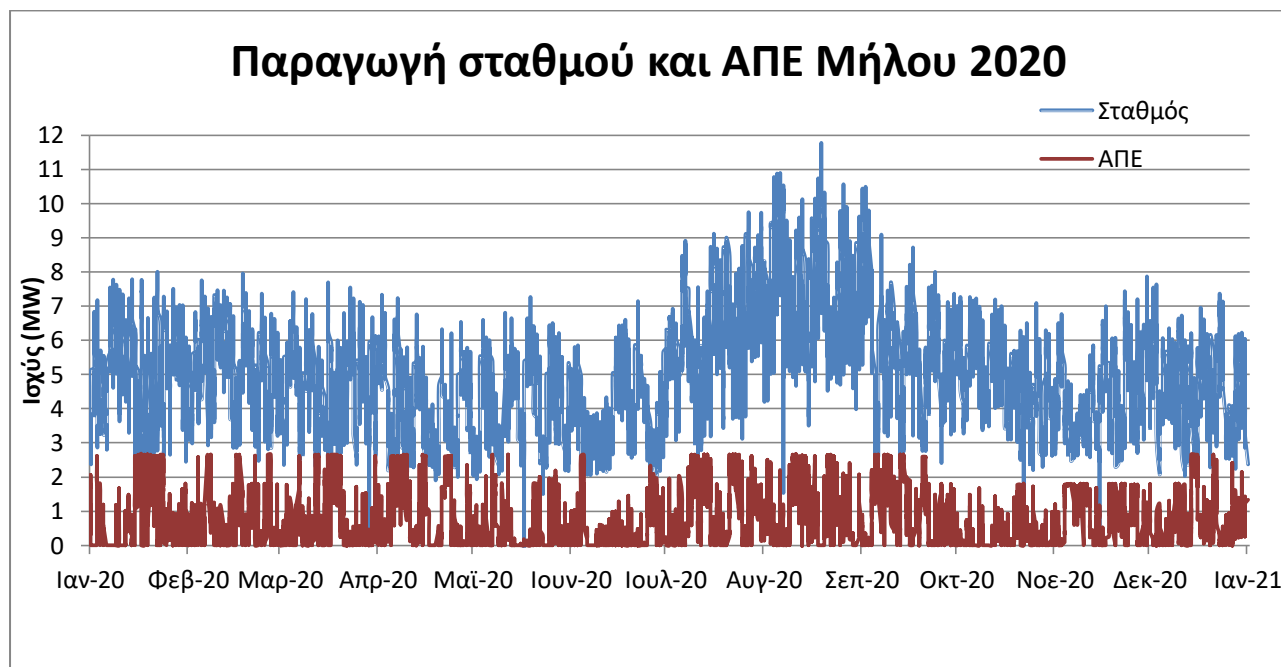
Πίνακας 12 Μονάδες βάσης

ΑΣΠ ΜΗΛΟΥ				
A/A	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα / Ισχύς (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο / Ισχύς (MW)	Καύσιμο
1	MAN V32/40	5,000	2,750	MAZOYT
2	MAN V32/40	5,000	2,750	MAZOYT
3	MAN V32/40	5,000	2,750	MAZOYT
4	CKD 12V27.5B8S	1,500	1,300	DIESEL
5	CKD 12V27.5B8S	1,500	1,300	DIESEL
6	MITSUBISHI S16R-PTA	1,000	0,638	DIESEL
ΣΥΝΟΛΟ			19,000	

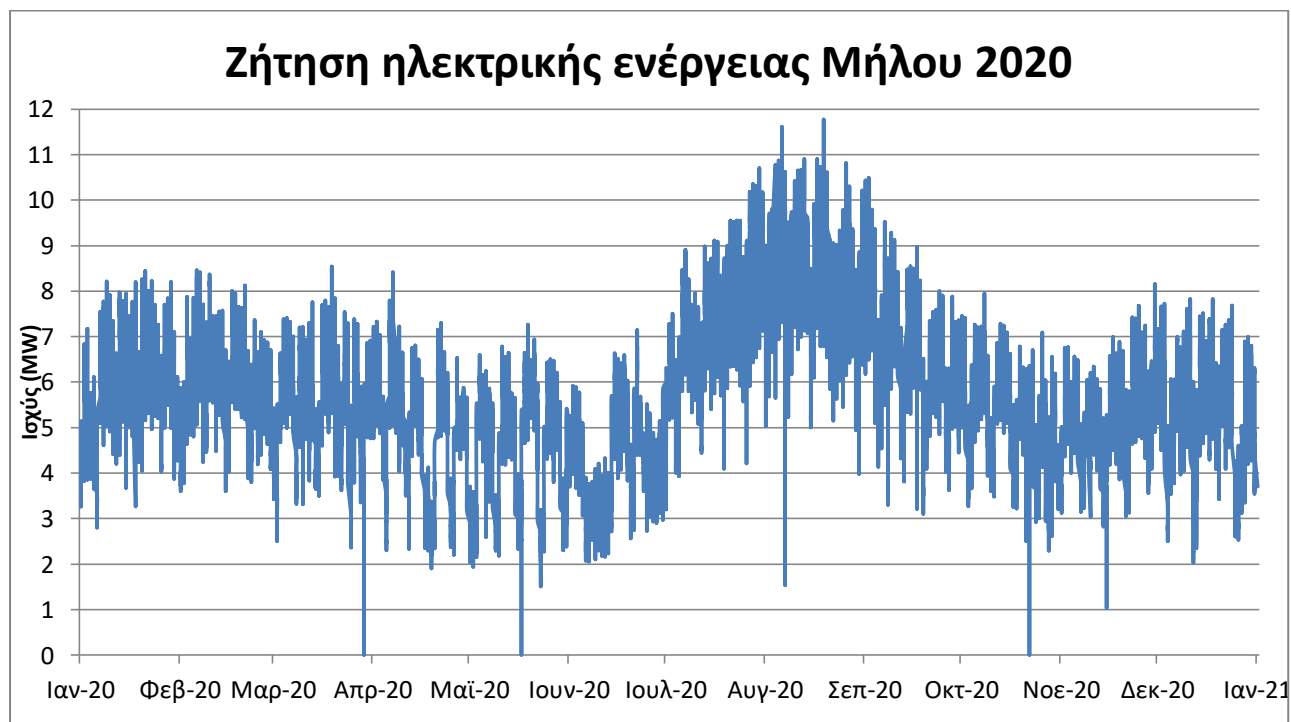
Το σύστημα των ΑΠΕ της μήλου αυτή την στιγμή απαρτίζεται από ένα αιολικό πάρκο στην περιοχή Χάλακας - Κουτσουνόρραχη και από λίγα Φωτοβολταϊκά διάσπαρτα σε κάποιες περιοχές της Μήλου, σε συστοιχίες το πολύ των τριών επί τριών, ενώ υπάρχουν και καταναλωτές που έχουν εγκαταστήσει μικρό αριθμό φωτοβολταϊκών σε οροφές για την εξυπηρέτηση των δικών τους αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας. Το αιολικό πάρκο της Μήλου της εταιρείας ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε. στη θέση Κουτσουνόρραχη του νήσου αυτήν τη στιγμή απαρτίζεται από τέσσερις ανεμογεννήτριες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2.9 MW. Οι δύο ανεμογεννήτριες είναι VESTAS τύπου V52-850 kW ενώ οι άλλες δύο ανεμογεννήτριες είναι VESTAS τύπου V42-600 kW. Αντίστοιχα τα φωτοβολταϊκά βρίσκονται διάσπαρτα σε όλο το νησί και με τον ήλιο και απλά μετατρέπουν την ενέργεια και την δίνουν ως αρνητική

ισχύ στο δίκτυο και συγκεκριμένα στο ζυγό στον οποίο είναι τοποθετημένα. Αυτή η ισχύς ή καταναλώνεται από το Φωτοβολταϊκό πάρκο ή αν είναι παραπάνω δίνεται στο σύστημα. Η ισχύ που υπάρχει ήδη εγκατεστημένη η οποία προέρχεται από τα Φωτοβολταϊκά στη Μήλο είναι 0,618 MW.

Αυτήν τη στιγμή σύμφωνα με δεδομένα από τον σταθμό βάσης της Μήλου ΑΣΠ η ζήτηση ενέργειας κυμαίνεται από μέχρι και 11,77MW.



Διάγραμμα 9 Ωριαία Παραγωγή ενέργειας Μήλου 2020



Διάγραμμα 10 Ωριαία ζήτηση ενέργειας Μήλου

Σύμφωνα με τα στοιχεία του σταθμού της Μήλου αλλά και από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται ότι η παραγωγή του σταθμού είναι χαμηλή και δεν φτάνει τα όρια των 15MW. Συγκεκριμένα ο σταθμός παράγει το μέγιστο 11,77MW, το οποίο συμπίπτει με την μέγιστη ζήτηση ενέργειας, στην περίοδο του καλοκαιριού και συγκεκριμένα τον Αύγουστο. Ουσιαστικά το αιολικό πάρκο, το οποίο δίνει ενέργεια στο σύστημα, καλύπτει τις αιχμές ζήτησης αλλά επιπλέον βοηθάει το σύστημα να λειτουργεί με το πιο αποδοτικό και οικονομικό τρόπο στο κομμάτι της ένταξης μονάδων στο σύστημα.

6.2. Ηλεκτροπαραγωγή με χρήση Γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια μορφή ΑΠΕ η οποία σύμφωνα με τη μορφολογία αλλά και το υπέδαφος της Μήλου είναι κατάλληλη για αξιοποίηση στο νησί. Σκεπτόμενοι αυτό αλλά και σύμφωνα με διατριβές πάνω στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Μήλου έχει αποδειχθεί πως ένα από τα πιο οικονομικά αποδοτικό σενάριο για την ανάπτυξη του συστήματος αυτού είναι ο συνδυασμός της διασύνδεσης, η οποία αναμένεται, και εγκατάσταση σταθμού παραγωγής ενέργειας με χρήση γεωθερμικής ενέργειας. [21]

Σε αυτήν την εργασία θα εξεταστεί η ηλεκτροπαραγωγή με χρήση γεωθερμικής ενέργειας με χρήση κύκλου ORC, σε τρία σενάρια παραγωγής 5 MW, 10MW και 15MW.

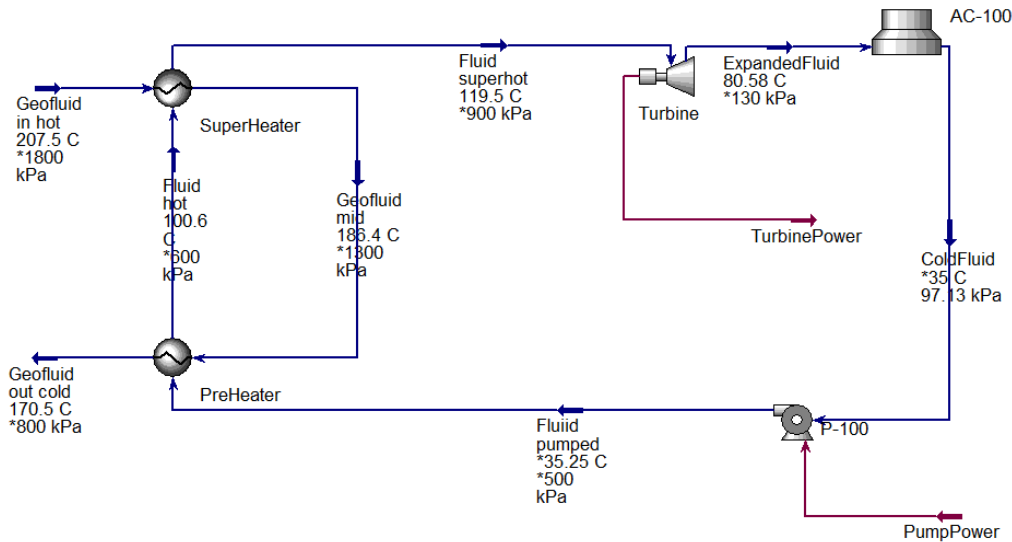
Η επιλογή του κύκλου λειτουργίας ORC ή γενικότερα ενός δυαδικού κύκλου είναι ότι αρχικά το γεωθερμικό ρευστό δεν έχει την απαραίτητη καθαρότητα, ώστε να μπορεί να διέλθει από τον ατμοστρόβιλο. Έπειτα, βασικό στοιχείο για να συμφωνήσει η τοπική κοινωνία της Μήλου με την εγκατάσταση ενός τέτοιου σταθμού προϋποθέτει να μην υπάρχουν εκπομπές αερίων στο περιβάλλον το οποίο ένας κύκλος ORC το καλύπτει.

Για την λειτουργία του συστήματος χρειάζεται η επιλογή ενός εργαζόμενου μέσου το οποίο να είναι κατάλληλο για χρήση γεωθερμίας υψηλών θερμοκρασιών [21][23][24]. Για τις παραγωγές όπου πρέπει να επιτευχθούν ένα εργαζόμενο μέσο το οποίο είναι διαδεδομένο αλλά και κατάλληλο για χρήση υψηλών θερμοκρασιών είναι το n-Pentane.

Τα σενάρια των διαφόρων συστημάτων έχουν κοινά χαρακτηριστικά το εργαζόμενο μέσο, την θερμοκρασία γεωθερμικού ρευστού η οποία ανέρχεται στους 200 °C και τέλος την σύσταση του συστήματος ώστε να επιτευχθεί όσον το δυνατότερο μικρότερο Pinch Point της θερμοκρασίας εξόδου στο περιβάλλον. Η προσομοίωση θα γίνει με το λογισμικό Aspen Hysys V11 και χρήση αερόψυκτου συστήματος ψύξης.

6.2.1. Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής 5MW

Η προσομοίωση του συστήματος για ισχύ παραγωγής 5MW όπως και κάθε προσομοίωση ουσιαστικά λαμβάνει γεωθερμικό ρευστό από το πηγάδι παραγωγής το οποίο διέρχεται μέσω δυο εναλλακτών θερμότητας αρχικά του υπερθεμαντήρα και μετέπειτα του προθεμαντήρα και καταλήγει στο πηγάδι επανένγχυσης όπου επιστρέφει στην γη. Ο κύκλος λειτουργίας με εργαζόμενο μέσο το n-Pentane περνάει από διάφορα στάδια τα οποία παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 16 Μονογραμμικό γεωθερμικής εγκατάστασης ισχύος 5MW

Η λειτουργία του παραπάνω κυκλώματος ορίζεται από τους δυο εναλλάκτες θερμότητας SuperHeater και PreHeater οι οποίοι μεταδίδουν τη θερμότητα από το γεωθερμικό ρευστό στο εργαζόμενο μέσο το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το n-Pentane. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού υγρού είναι 207,5°C και η πίεση του στα 1800kPa. Οι εναλλάκτες έχουν επιλεγθεί κελύφους – σωλήνων. Στην συνέχεια το εργαζόμενο μέσο υπό μορφή υπέρθερμου ατμού εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο. Το ρευστό εκτονώνεται μέχρι την πίεση εξόδου και την θερμοκρασία του πύργου ψύξης και μέσω της γεννήτριας παράγεται ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 5MW. Το εργαζόμενο μέσο στην έξοδο του στροβίλου είναι υπό πίεση 130kPa. Το εργαζόμενο πρέπει να υγροποιηθεί διέρχεται από αερόψυκτο σύστημα 20 ανεμιστήρων ώστε να προσεγγίσει την θερμοκρασία των 40°C αέρα εξόδου στο περιβάλλον. Τέλος για την ολοκλήρωση της κυκλικής λειτουργίας τοποθετείται αντλία μεγέθους 79,47kW η οποία ανυψώνει την πίεση του εργαζόμενου μέσου στην αντίστοιχη εισόδου στους εναλλάκτες θερμότητας.

Πίνακας 13 Θερμοδυναμικά στοιχεία ρευμάτων Ισχύος 5MW

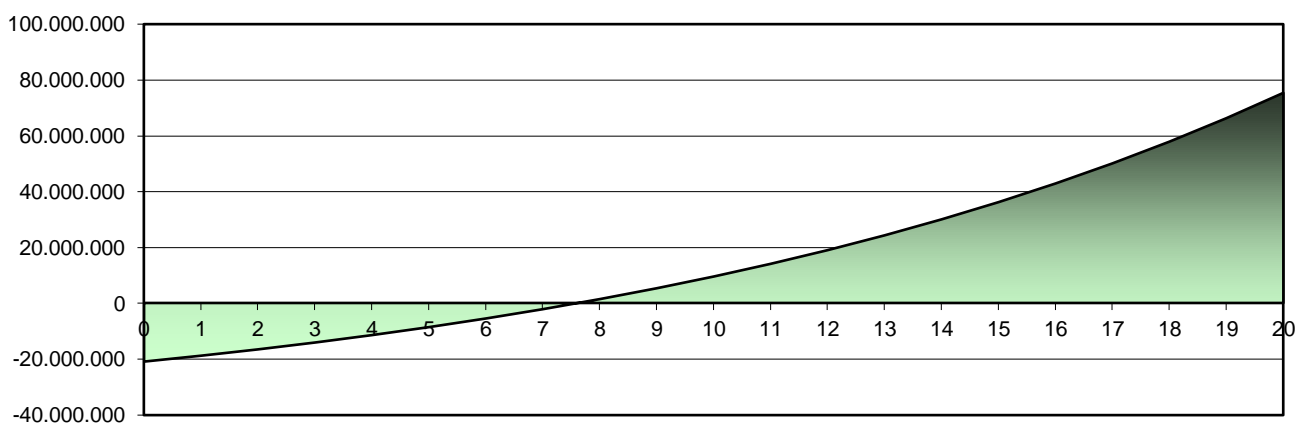
Name	Geofluid in hot	Fluid superhot	Geofluid mid	Fluid hot	Fluid pumped	Geofluid out cold	Expanded Fluid	Cold Fluid
Pressure [kPa]	1800	900	1300	600	500	800	130	97,13
Temperature [C]	207,5	119,5	186,3	100,5	35,25	170,5	80,5	35
Mass Flow [kg/h]	720000	325080	720000	325080	325080	720000	325080	325080
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	721,45	516,22	721,45	516,2	516,22	721,45	516,22	516,22
Vapor / Phase Fraction	0,0238	1	0	0	0	0	1	0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-270565	-1355415	-273251	-159375	-171421	-274609	-139539	-171484

Μια οικονομική αποτίμηση του έργου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το λογισμικό RetScreen που χρησιμοποιείται για οικονομοτεχνική ανάλυση των υπό μελέτη σεναρίων. Συγκεκριμένα, το RETSCREEN υπολογίζει τις ετήσιες ταμειακές ροές του έργου

του εκάστοτε σεναρίου καθώς και χρηματοοικονομικά κριτήρια όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR), η απλή αποπληρωμή και παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα με στοιχεία:

- Επιτόκιο αναγωγής δηλαδή το πόσο χάνει το χρήμα την αξία του μέσα στην χρόνο:8%
- Διάρκεια ζωής έργου: 20 έτη
- Κόστος ORC κύκλου 5MW: 20.000.000€
- Κόστος γεωτρήσεων για 1km: 1.000.000€
- Ετήσιο κόστος άντλησης – επανέγχυσης 2.869.199,4€
- Ετήσιο Κόστος περιβαλλοντικών έργων ανά έτος: 300.000€
- Ετήσιο Κόστος συντήρησης και λειτουργίας μονάδας ORC ανά έτος: 300.000€
- Πληρωμή στα 139€/MWh σύμφωνα με τον ορισμός της τιμής αναφοράς του νόμου 44,14/2016

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.



Πίνακας 14 Οικονομική Βιωσιμότητα Σεναρίου 5MW

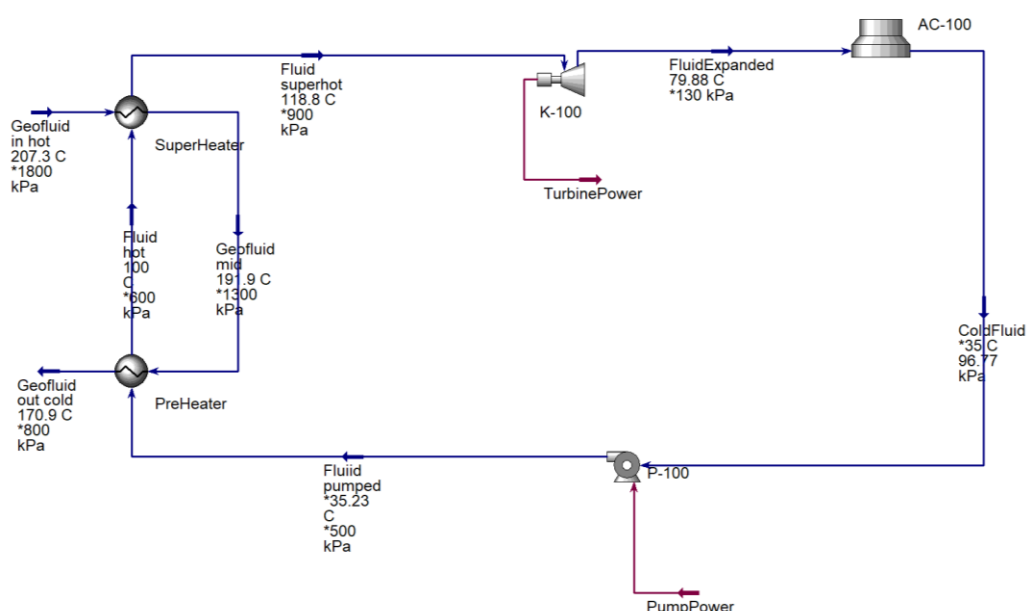
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	15,3%
Απλή αποπληρωμή	έτος	10,8
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	7,6

6.2.2. Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής 10MW

Για την προσομοίωση του γεωθερμικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 10MW, ισχύουν ότι ισχύει και παραπάνω ως σύστημα και συνδεσμολογία. Οι θερμοκρασία εισόδου γεωθερμικού ρευστού παραμένει η ίδια όπως και η παροχή του. Οι διαφορές εδώ παρατηρείται στην παροχή του εργαζόμενου μέσο το οποίο φτάνει να το ρέει μια αντλία μεγέθους 158,5kW ώστε να επιτευχθεί ηλεκτρική ισχύς εξόδου συστήματος 10MW. Για την τελειοποίηση του συστήματος, το εργαζόμενο μέσο πρέπει αν ψυχθεί το οποίο επιτυγχάνεται με αερόψυκτο σύστημα 30 ανεμιστήρων.

Πίνακας 15 Θερμοδυναμικά στοιχεία ρευμάτων ισχύος 10MW

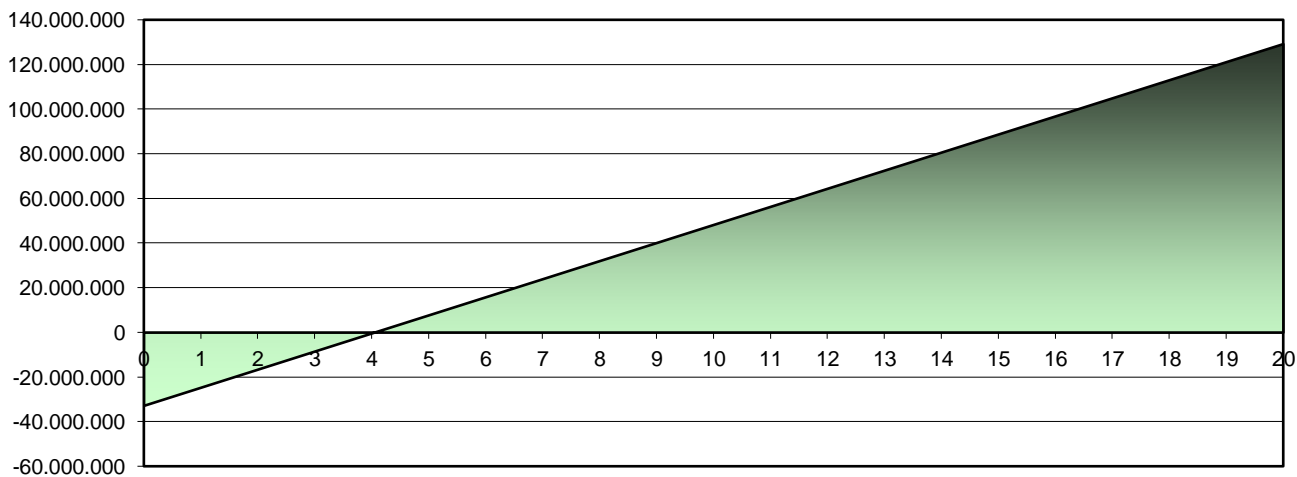
Name	Geofluid in hot	Fluid superhot	Geofluid mid	Fluid hot	Fluid pumped	Geofluid out cold	FluidExpanded	ColdFluid
Pressure [kPa]	1800	900	1300	600	500	800	130	96,77
Temperature [C]	207,3	118,8	191,9	100	35,2	170,9	80	35
Mass Flow [kg/h]	720000	648000	720000	648000	648000	720000	648000	648000
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	721,45	1029	721,45	1029	1029	721,45	1029	1029
Vapor / Phase Fraction	0,143	1	0,0279	0	0	0	1	0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-267046	-135623	-272440	-159627	-171818	-275180	-139634	-171881



Εικόνα 17 Μονογραμμικό γεωθερμικής εγκατάστασης ισχύος 10MW

Μια οικονομική αποτίμηση του έργου χρησιμοποιώντας όπως παραπάνω το RETScreen με στοιχεία:

- Επιτόκιο αναγωγής δηλαδή το πόσο χάνει το χρήμα την αξία του μέσα στην χρόνο: 8%
- Διάρκεια ζωής έργου: 20 έτη
- Κόστος ORC κύκλου 10MW: 40.000.000€
- Κόστος γεωτρήσεων για 1km: 1.000.000€
- Ετήσιο κόστος άντλησης – επανέγχυσης 2.869.199,4€
- Ετήσιο Κόστος περιβαλλοντικών έργων ανά έτος: 300.000€
- Ετήσιο Κόστος συντήρησης και λειτουργίας μονάδας ORC ανά έτος: 300.000€
- Πληρωμή στα 139€/MWh σύμφωνα με τον ορισμό της τιμής αναφοράς του νόμου 44,14/2016



Διάγραμμα 12 Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών 10MW

Πίνακας 16 Οικονομική Βιωσιμότητα Σεναρίου 10MW

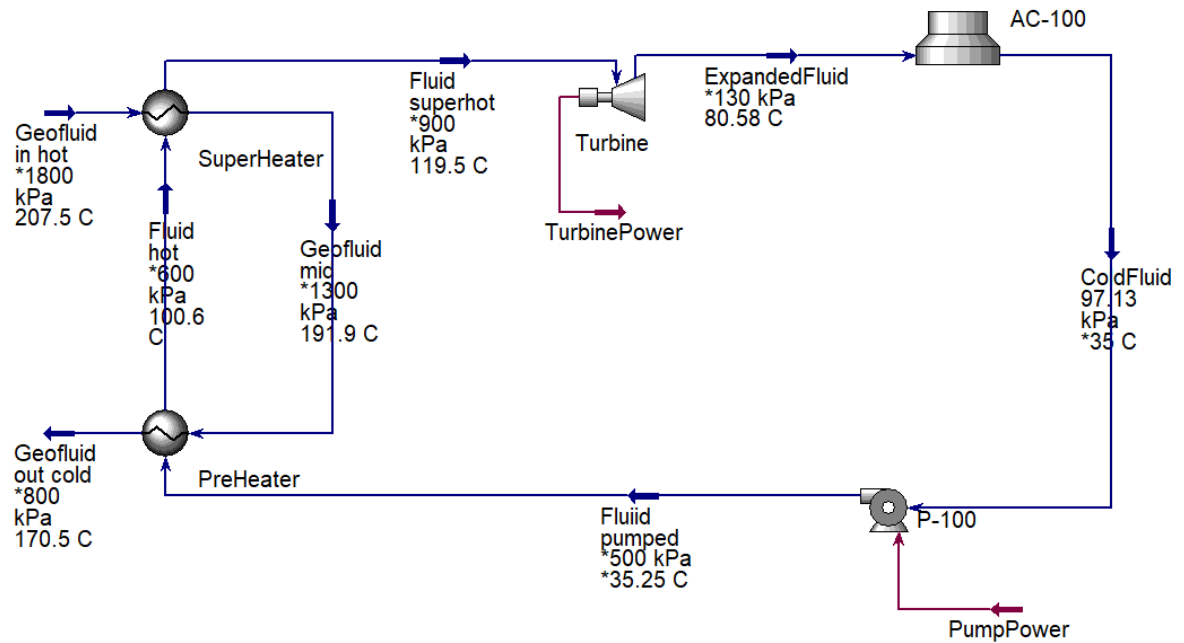
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχές	%	24,4%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	19,2%
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,0

6.2.3. Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής 15MW

Για την προσομοίωση του γεωθερμικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 15MW, ισχύουν ότι ισχύει και παραπάνω ως σύστημα και συνδεσμολογία. Οι θερμοκρασία εισόδου γεωθερμικού ρευστού παραμένει η ίδια όπως και η παροχή του. Οι διαφορές εδώ παρατηρείται στην παροχή του εργαζόμενου μέσο το οποίο φτάνει να το ρέει μια αντλία μεγέθους 238,5kW ώστε να πετύχουμε ηλεκτρική ισχύ εξόδου συστήματος 15MW. Για την τελειοποίηση του συστήματος, το εργαζόμενο μέσο πρέπει αν ψυχθεί το οποίο επιτυγχάνεται με αερόψυκτο σύστημα 50 ανεμιστήρων.

Πίνακας 17 Θερμοδυναμικά στοιχεία ρευμάτων Ισχύος 15MW

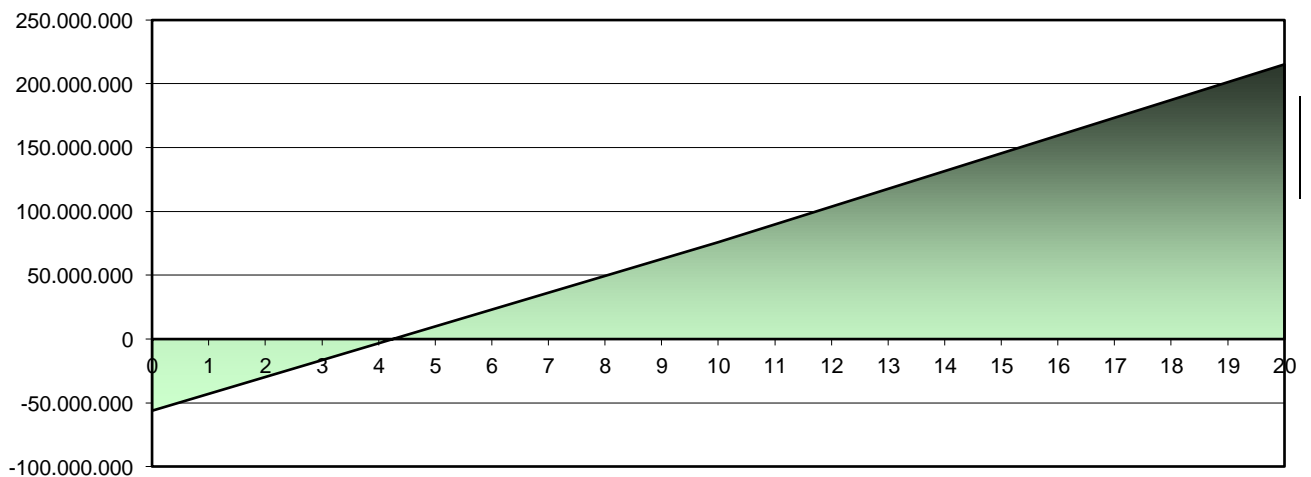
Name	Geofluid in hot	Fluid superhot	Geofluid mid	Fluid hot	Fluid pumped	Geofluid out cold	Expanded Fluid	Cold Fluid
Pressure [kPa]	1800	900	1300	600	500	800	130	97,13
Temperature [C]	207,5	119,5	191,9	100,6	35,3	170,5	80,6	35
Mass Flow [kg/h]	720000	975600	720000	975600	975600	720000	975600	975600
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	721,45	1549,2	721,45	1549,2	1549,2	721,45	1549,2	1549,2
Vapor / Phase Fraction	0,2556	1	0,0623	0	0	0	1	0
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-262471	-135541	-270534	-159375	-171421	-274609	-139539	-171484



Εικόνα 18 Μονογραμμικό γεωθερμικής εγκατάστασης ισχύος 15MW

Μια οικονομική αποτίμηση του έργου χρησιμοποιώντας όπως παραπάνω το RETScreen με στοιχεία:

- Επιτόκιο αναγωγής δηλαδή το πόσο χάνει το χρήμα την αξία του μέσα στην χρόνο: 8%
- Διάρκεια ζωής έργου: 20 έτη
- Κόστος ORC κύκλου 15MW: 60.000.000€
- Κόστος γεωτρήσεων για 1km: 1.000.000€
- Ετήσιο κόστος άντλησης – επανέγχυσης 2.869.199,4€
- Ετήσιο Κόστος περιβαλλοντικών έργων ανά έτος: 300.000€
- Ετήσιο Κόστος συντήρησης και λειτουργίας μονάδας ORC ανά έτος: 300.000€
- Πληρωμή στα 139€/MWh σύμφωνα με τον ορισμό της τιμής αναφοράς του νόμου 44,14/2016

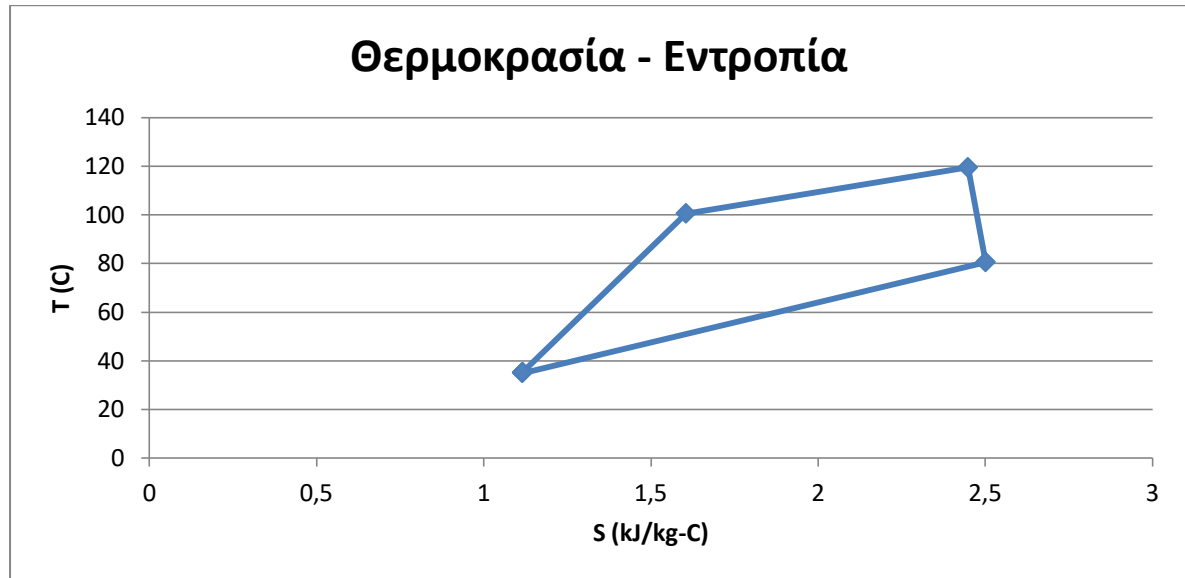


Διάγραμμα 13 Διάγραμμα αθροιστικών χρηματορορών 15MW

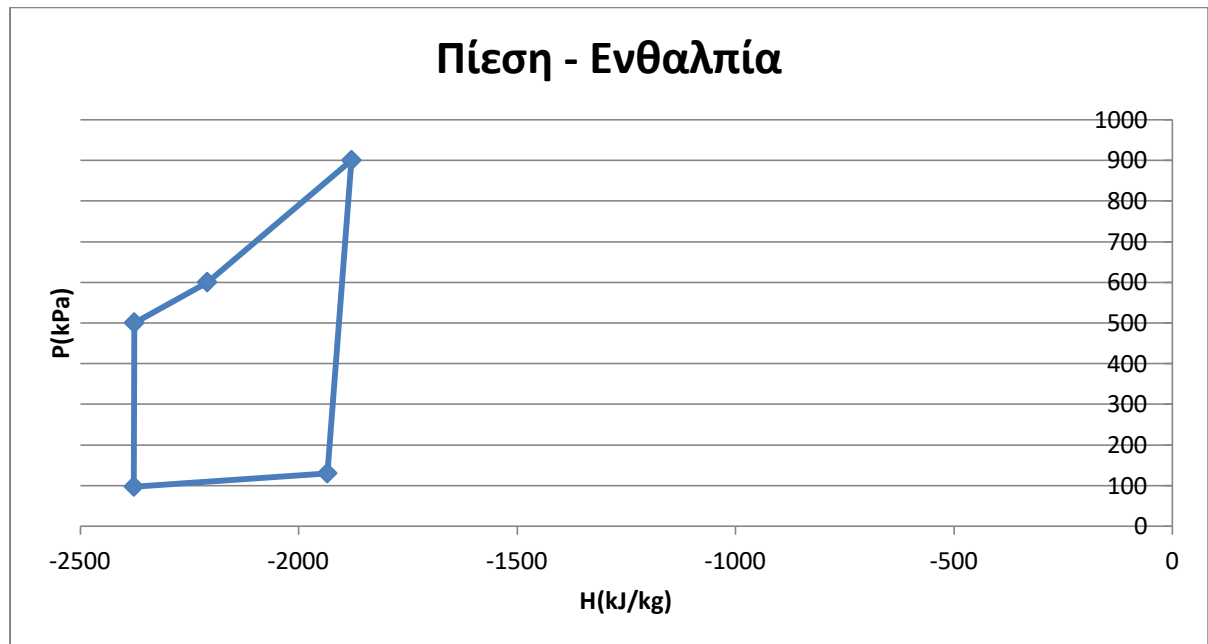
Πίνακας 18 Οικονομική Βιωσιμότητα Σεναρίου 15MW

Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχές	%	23,3%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	21,3%
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,2

Ο κύκλος λειτουργίας του ORC κύκλου που προσομοιώνεται παραπάνω σε όλες τις περιπτώσεις αναλύεται στα διαγράμματα παρακάτω όπου κάθε κύκλος συμπίπτει με τον άλλο διότι η παροχή είναι εκείνη που αλλάζει:



Διάγραμμα 14 Διάγραμμα εργαζόμενου Θερμοκρασίας - Εντροπίας



Διάγραμμα 15 Διάγραμμα εργαζόμενου μέσου Πίεσης - Ενθαλπίας

Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα

Αυτή η διατριβή εξετάζει διάφορα σενάρια χρήσης γεωθερμίας στο νησί της Μήλου βάση του επιπέδου ενθαλπίας για κάθε περίπτωση. Η Μήλος είναι ένα νησί το οποίο έχει ένα αξιόλογο και μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές. Έτσι στα παραπάνω κεφάλαια αναλύθηκαν τεχνικές, τεχνολογίες αλλά και εφαρμογές με χρήση γεωθερμικής ενέργειας.

Η χρήση γεωθερμίας μπορεί να αποφέρει μεγάλη μείωση εκπομπών CO₂ στο επίπεδο της χρήσης της για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Για την παραγωγή θερμότητας αλλά και ηλεκτρισμού, σε παγκόσμιο επίπεδο, το περιβάλλον μολύνεται από αέρια και απόβλητα τα οποία δεν υφίσταται κατά τη χρήση της γεωθερμίας.

Οι εφαρμογές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας που προτείνονται για το νησί της Μήλου είναι η παραγωγή θερμότητας για θερμοκήπια, αφαλάτωση νερού, τηλεθέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναλύθηκε το κόστος ενός θερμοκηπίου με χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ένας χώρος όπου ενδείκνυται για την εφαρμογή ενός θερμοκηπίου στην τοποθεσία του Κάμπου Μήλου και αναλύθηκε η διαστασιολόγηση του. Επιπλέον, αναλύθηκε το κόστος κατασκευής του όπου αρχικά μπορεί να είναι μεγάλο αλλά το λειτουργικό κόστος του είναι πολύ χαμηλό σε σχέση με την χρήση άλλων καυσίμων.

Μια επιπλέον πολύ σημαντική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι η αφαλάτωση του νερού. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν πολλά νησιά της Ελλάδας συμπεριλαμβανομένου και της Μήλου είναι το νερό χρήσης, άρα η αφαλάτωση νερού είναι μια εγκατάσταση που είναι απαραίτητη. Στην Μήλο υπάρχει ήδη μια εγκατάσταση αφαλάτωσης η οποία λειτουργεί με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία για καλύτερη απόδοση αλλά και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας θα μπορούσε να διαμορφωθεί ώστε να λειτουργεί με χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Επιπλέον έχουν γίνει μελέτες για λειτουργία εγκατάστασης αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής ενέργειας στην τοποθεσία Βουνάλια Μήλου χρησιμοποιώντας κύκλο ORC.

Η εφαρμογή της τηλεθέρμανσης είναι μια χρήση γεωθερμικής ενέργειας η οποία μπορεί κάλλιστα να εφαρμοστεί στο νησί της Μήλου ώστε να περιορίσει επιπλέον την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων. Η θέρμανση χώρων στην Μήλο γίνεται με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων το οποίο είναι αρκετά ρυπογόνο για το περιβάλλον.

Δημιουργήθηκαν τρία σενάρια γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής με τρεις διαφορετικές ισχύς εξόδου 5MW, 10 MW και 15 MW. Τα παραπάνω μεγέθη επιλέχθηκαν διότι, η μέγιστη ωριαία ζήτηση για το νησί της Μήλου δεν ξεπερνάει τα 12MW συγκεκριμένα φτάνει μέχρι τα 11,77MW. Σύμφωνα με τα οικονομοτεχνικά στοιχεία, συμβουλευόμενοι το λογισμικό RETScreen παρατηρείται πως για τα τρία διαφορετικά σενάρια ισχύος εξόδου η αποπληρωμή γίνεται σε χρόνο από 4 έως 7,2 έτη, η οποία είναι μια αξιοσημείωτη διαφορά η οποία μπορεί γίνει κριτήριο επιλογής ή απόρριψης. Συγκεκριμένα, για ισχύ εξόδου 5MW η αποπληρωμή γίνεται στα 7,2 έτη το οποίο σε σχέση με τα άλλα δυο σενάρια, των 10MW και 15MW ισχύος εξόδου με την αποπληρωμή να

γίνεται στα 4 και 4,2 έτη αντίστοιχα, το κάνει να μην είναι μια από τις επιλογές για το νησί της Μήλου. Ανάμεσα στα σενάρια των 10MW και 15MW ισχύος εξόδου το κριτήριο δεν μπορεί να είναι η περίοδος αποπληρωμής διότι η διαφορά τους είναι αμελητέα. Η επιλογή πλέον γίνεται με βάση τις ανάγκες του νησιού σε ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα στα σενάρια των 10MW και 15MW ισχύος εξόδου. Συγκρίνοντας όλα τα παραπάνω επιλέγουμε ως καλύτερη λύση αυτή του γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής ισχύος εξόδου 15MW διότι μπορεί η ωριαία μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας να είναι στα 11,77MW αλλά βάση της ανάπτυξης που παίρνει το νησί της Μήλου τα τελευταία χρόνια προβλέπεται αύξηση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στα επόμενα χρόνια.

Η Μήλος είναι ένα νησί με 5000 περίπου μόνιμους κατοίκους. Αυτό συνεπάγεται, πως το καλοκαίρι ως ένα νησί, με βασικό στοιχείο τον τουρισμό, ο πληθυσμός μπορεί μέχρι και να τετραπλασιαστεί. Σύμφωνα με τις δυνατότητες και τις προοπτικές που έχει το νησί της Μήλου στον Πίνακα 19 αναφέρονται στοιχεία για τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν και που ήδη υπάρχουν για ενέργεια. Στον Πίνακα 20 αναφέρονται ξεκάθαρα οι ανάγκες και το μέγεθος των δυνατοτήτων που έχει το νησί της Μήλου. Συγκεκριμένα παρατηρείται στον Πίνακα 20 πως πολύ μεγάλο μέρος του διαθέσιμου δυναμικού γεωθερμικής ενέργειας παραμένει ανεκμετάλλευτο λόγω το μέγεθος του νησιού της Μήλου και της μικρής ποσότητας βιομηχανικών εγκαταστάσεων που δραστηριοποιούνται στην Μήλο.

Πίνακας 19 Ανάγκες ενέργειας Μήλου

Τύπος ενέργειας	Μέγεθος (MW)
Ηλεκτρική ενέργειας	12
Ανάγκη για χρήση γεωργίας	5
Ανάγκη για χρήση θέρμανσης χώρων	20

Πίνακας 20 Δυνατότητες - ανάγκες αξιοποίησης γεωθερμικής ενέργειας

Πεδίο	Δυνατότητα αξιοποίησης (MW)	Ανάγκη για ενέργεια (MW)	Υπερέκλυψη αναγκών (MW)
Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας	30 - 64	25	5 - 39
Γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας	59 - 68	12	47 - 56

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία η Μήλος, βάση του γεωθερμικού της δυναμικού θα μπορούσε, πέραν του ότι μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της για ενέργεια, να φιλοξενήσει βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες θα λειτουργούν με χρήση γεωθερμικής ενέργειας όπως θα μπορούσε να γίνει σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για διπλανά νησιά.

Κεφάλαιο 8 – Βιβλιογραφία

Βιβλία – Άρθρα - Εργασίες

- [1] Δρ. Μιχαήλ Γρ. Βραχόπουλος Δρ. Μαρία Κ. Κούκου Δρ. Κωνσταντίνος Καρύτσας «Κανονική γεωθερμία – αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές.»
- [2] Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος (2004). «Γεωθερμία», Εκδόσεις Τζιόλα
- [3] Χρυσάφη Νικόλαο Διπλωματική Εργασία «Ξήρανση αγροτικών προϊόντων με χρήση γεωθερμίας»
- [4] John W. Lund , Derek H. Freeston , Tonya L. Boyd « Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review»
- [5] Andritsos, N., Dalampakis, P., Karydakos, G., Kolios, N. and Fytikas, M., «Update and Characteristics of Low-enthalpy Geothermal Applications in Greece», Proceedings, European Geothermal Congress EGC 2007, May 30-June 1, 2007, Unterhaching, Germany
- [6] Payam Allahvirzizadeh «A review on geothermal wells: Well integrity issues»
- [7] Sarah Herfurth, Dietmar Kuhn, Hans-Joachim Wiemer «Performance Optimization of ORC Power Plants»
- [8] Περιφέρεια νότιου αιγαίου γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής «Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014 – 2020»
- [9] TOURNEFORT JOSEPH PITTON DE «Ταξίδι στην Κρήτη και τις νήσους του αρχιπελάγους (1700-1702)»
- [10] Φυτίκας Μιχάλης Δ. (1977), «Γεωλογική και Γεωθερμική μελέτη της νήσου Μήλου», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, TOM. XVIII VOL. Γεωλογικές και Γεωφυσικές μελέτες No 1, Αθήναι.
- [11] Φυτίκας Μιχάλης Δ. (1979), «Έκθεση για τις δυνατότητες χρησιμοποίησεως των γεωθερμικών ρευστών της νήσου Μήλου», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήναι.
- [12] Φυτίκας Μιχάλης Δ., Μαυρογιαννόπουλος Γ. (1985), «Γεωθερμική ενέργεια από πεδία θερμών εδαφών και ατμίδων στη Μήλο», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- [13] Φυτίκας Μιχάλης Δ., Παπαχρήστου Μ. (2008), «Γεωθερμική ενέργεια (What is Geothermal energy)», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [14] Φυτίκας Μιχάλης Δ., Βουγιουκαλάκης Γ. (1992), «Ηφαιστειακή δομή και εξέλιξη Κιμώλου και Πολυαίγου (Νησιώτικο σύμπλεγμα Μήλου)», 6ο Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Αθήνα.
- [15] Καταγραφή & αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών & και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας (7.3.2.1) Υποέργο 7: Αξιολόγηση υδατικών πόρων νήσων Αιγαίου
- [16] Michael Fytikas, George Radoglou, Constantine Karytsas, Dimitrios Mendrinou, Antonis Vasalakis, Nikos Andritsos «Geothermal Research in Vounalia Area, Milos Island (Greece), for Seawater Desalination and Power Production»

- [17] Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης «Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη» Καινοτόμες Τεχνολογίες Εφαρμογές ΑΠΕ και εξοικονόμηση ενέργειας Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθηση»
- [18] Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης «Διαστασιολόγηση οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη» Καινοτόμες Τεχνολογίες Εφαρμογές ΑΠΕ και εξοικονόμηση ενέργειας Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθηση
- [19] Larry Caretto Mechanical Engineering 375 «Steady Heat Transfer with Steady Heat Transfer with Conduction and Convection»
- [20] Εισαγωγή στο Aspen HYSYS Εργαστήριο Θερμοδυναμικής & Φαινομένων Μεταφοράς ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
- [21] Αμαλία Μαυρογιάννη, «Ανάπτυξη και προσομοίωση τεχνικών βελτιστοποίησης και αποθήκευσης ενέργειας για τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο αυτόνομο νησί της Μήλου», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
- [22] ĐURKOV M. Kukurugyová , Gülden Gökçen Akkurt, J. Nalevanková , R. Dzurňák «COMPARISON OF WORKING FLUIDS FOR ORC GEOTHERMAL POWER PLANT»
- [23] Riccardo Vescovo «High Temperature Organic Rankine Cycle (HT-ORC) For Cogeneration of Steam and Power»
- [24] Ngoc Anh Lai , Martin Wendland, Johann Fischer «Working fluids for high-temperature organic Rankine cycles»
- [25] Michael Fytikas , George Radoglou, Constantine Karytsas , Dimitrios Mendrinou , Antonis Vasalakis, Nikos Andritsos «Geothermal Research in Vounalia Area, Milos Island (Greece), for Seawater Desalination and Power Production»
- [26] Μπιλλίας Κωνσταντίνος πτυχιακή «Μελέτη τηλεθέρμανσης δήμου Πτολεμαΐδας»
- [27] Panagopoulos, Argyris (2019). «Process simulation and techno-economic assessment of a zero liquid discharge/multi-effect desalination/thermal vapor compression (ZLD/MED/TVC) system» International Journal of Energy Research
- [28] Panagopoulos, Argyris Haralambous, Katherine-Joanne, Loizidou Maria (2019). «Desalination brine disposal methods and treatment technologies - A review». Science of The Total Environment 693
- [29] Warsinger David M., Tow Emily W. ,Nayar Kishor G., Maswadeh Laith A.,Lienhard V, John H. (2016). «Energy efficiency of batch and semi-batch (CCRO) reverse osmosis desalination». Water Research.
- [30] Ελένη Ειρήνη Μπούτσικου και τον Αντώνη Δραγανίγο 2019 «Αφαλάτωση και συνοδά έργα» Ομάδα Υποστήριξης Δικαιούχων Νησιωτικών και Απομακρυσμένων Περιοχών της ΜΟΔ με τη συμβολή του Τομέα Υπηρεσιών Σχεδιασμού και Οργάνωσης (ΤΥΣΟ) της ΜΟΔ

Ιστοσελίδες

- [1] https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/crop-management/print_heating-and-venting.html
- [2] <https://product-selection.grundfos.com>
- [3] <http://www.aquasystem.co.uk/home>
- [4] <https://ourworldindata.org/grapher/installed-geothermal-capacity>
- [5] <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>
- [6] <https://meteosearch.meteo.gr/>