

**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε**

**“ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ”**



Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος
Καθηγητής
Σπουδαστής: Κωνσταντίνος Τερζής ΑΜ: 35086

Αθήνα

Ιούνιος - 2016

Copyright © Α.Ε.Ι Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α.Ε.Ι Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια , τους φίλους μου και τον καθηγητή μου κύριο Κ.Ψωμόπουλο για την αμέριστη συμπαράσταση, υποστήριξη που μου δώσανε κατά την διάρκεια της ολοκλήρωσης αυτής της εργασίας. Χωρίς τη βοήθεια σας δεν θα τα είχα καταφέρει. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών (ΔΔΝ) του ΔΕΔΔΗΕ για την παροχή στοιχείων, απαραίτητων για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Λίστα εικόνων	iv
Λίστα πινάκων	v
Λίστα σχημάτων	v
Περίληψη.....	1
Summary	ii
Πρόλογος	1
1^ο Κεφάλαιο “ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”	2
1.1 Γενικά για την ηλεκτρική ενέργεια	2
1.2 Πυρηνική ενέργεια	3
1.3 Αιολική ενέργεια	4
1.4 Φωτοβολταϊκά	6
1.5 Βιομάζα	7
2^ο Κεφάλαιο “ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ”	1
2.1 Ορισμοί.....	1
2.2 Γεωθερμικά πεδία.....	2
2.3 Ταξινόμηση γεωθερμικών πεδίων σύμφωνα με την ενθαλπία.....	4
2.4 Ταξινόμηση γεωθερμικών πεδίων σύμφωνα με τη γεωτεκτονική δομή	5
2.4.1 Υδροθερμικά συστήματα	5
2.4.2 Γεωπιεσμένα συστήματα.....	7
2.4.3 Συστήματα αγωγιμότητας.....	8
2.4.4 Θερμά ξηρά πετρώματα	8
2.4.5 Μαγματικές μάζες	9
2.5 Περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις	10
2.5.1 Χρήση γης και μορφολογίας εδάφους.....	10
2.5.2 Θόρυβος.....	11
2.5.3 Φυσικές γεωθερμικές πηγές	12
2.5.4 Χλωρίδα ανθεκτική στη θερμότητα	13
2.5.5 Καθίζηση εδάφους.....	14
2.5.6 Σεισμική δραστηριότητα	14
2.5.7 Έκλυση θερμότητας στο περιβάλλον	15
2.5.8 Χρήση νερού	16
2.5.9 Στερεά κατάλοιπα.....	16
2.5.10 Επιπτώσεις στην ποιότητα αέρα	17
2.5.11 Τοξικές και περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις	18
2.5.12 Επιπτώσεις στην ποιότητα νερού.....	21
2.5.13 Κοινωνικές επιπτώσεις.....	24
2.5.14 Επιπτώσεις στο χώρο εργασίας.....	25
3^ο Κεφάλαιο “ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”	29
3.1 Τύποι Γεωθερμικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας	29
3.1.1 Σταθμοί Ξηρού ατμού	29
3.1.2 Σταθμοί εκτόνωσης διφασικού υγρού	30
3.1.3 Σταθμοί δυαδικού κύκλου	31
3.2 Πλεονεκτήματα Γεωθερμικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας.....	34
3.3 Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας	35

3.4	Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	35
3.5	Διαδικασία Υλοποίησης Ενός Γεωθερμικού Σταθμού.....	42
4^ο	Κεφάλαιο “ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ”	45
4.1	Εισαγωγή.....	45
4.2	Γενικά περί μεθοδολογίας ΑΚΖ.....	47
4.3	Εφαρμογή ΑΚΖ σε ενεργειακά συστήματα	49
4.3.1	Γενικά.....	49
4.3.2	Εφαρμογή ΑΚΖ σε γεωθερμικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	49
4.4	Εκπομπές ρύπων και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	52
4.4.1	Χρήση γης.....	52
4.4.2	Γεωλογικά Φαινόμενα.....	53
4.4.3	Απορριπτόμενη Θερμότητα.....	54
4.4.4	Χρήση και Κατανάλωση Νερού.....	55
4.4.5	Θόρυβος και κοινωνικές επιπτώσεις.....	59
4.4.6	Στερεά απόβλητα, εκπομπές στο έδαφος και το νερό	60
4.4.7	Ατμοσφαιρικές Εκπομπές.....	61
4.4.8	Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα	63
4.5	Ανθρακικό αποτύπωμα.....	64
4.5.1	Εισαγωγή.....	64
4.5.2	Βιβλιογραφική διερεύνηση του αποτυπώματος άνθρακα σε γεωθερμικούς σταθμούς... ..	65
5^ο	Κεφάλαιο “ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ”	71
5.1	Εισαγωγή.....	71
5.2	Ηφαιστειακό τόξο Νοτίου Αιγαίου	71
5.2.1	Μήλος.....	72
5.2.2	Νίσυρος.....	73
5.3	Σαντορίνη.....	74
5.3.1	Άλλα νησιά.....	75
5.4	Νησιά κεντρικού και βορείου Αιγαίου.....	76
5.4.1	Λέσβος.....	76
5.4.2	Χίος.....	76
5.4.3	Σαμοθράκη.....	77
5.4.4	Λήμνος.....	77
5.4.5	Άλλα Νησιά.....	78
5.5	Νησιά νοτίου Αιγαίου και Ιόνια νησιά.....	78
6^ο	Κεφάλαιο “ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ”	79
6.1	Εισαγωγή.....	79
6.2	Κως.....	79
6.2.1	Καμπύλη φορτίου 2013.....	80
6.3	Μήλος.....	85
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	91
	Βιβλιογραφία.....	93

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.2-1 : Μέρη ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα.....	3
Εικόνα 3.1-1 : Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας	30
Εικόνα 3.1-2 : Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας με διαδικασία εκτόνωσης.....	31
Εικόνα 3.1-3 : Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία μέσης ενθαλπίας.....	33
Εικόνα 3.4-1 : Στρόβιλος Γεωθερμικού Σταθμού	40
Εικόνα 3.4-2 : Πύργος Ψύξης.....	41
Εικόνα 3.4-3 : Σωληνώσεις Γεωτρήσεων.....	41
Εικόνα 3.4-4 : Αντλία Γεώτρησης.....	42
Εικόνα 3.4-5 : Εναλλάκτης Θερμότητας.....	42
Εικόνα 4.1-1 : Κύκλος Ζωής Ενός Προϊόντος	45
Εικόνα 4.2-1 : Στάδια Της ΑΚΖ.....	48
Εικόνα 4.3-1 : Όρια συστήματος που περιλαμβάνονται στην ανάλυση κύκλου ζωής σε συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΠΕ και με συμβατικά καύσιμα.....	50
Πίνακας 4.3-2 Σύνθεση των εισροών και εκροών για την εκτίμηση	51
Πίνακας 4.4-1 : Χρήση γης (X1000 m ²) κατά την ανάπτυξη γεωθερμικού σταθμού ισχύος 30-50 MW	53
Εικόνα 4.4-2 : Απορριπτόμενη θερμότητα (MWt), ανά μονάδα ηλεκτρικής ισχύος (MWe), για διαφορετικούς τύπους γεωθερμικών σταθμών	55
Πίνακας 4.4-3 : Συγκεντρωτική κατανάλωση νερού (lt/kwh) για τα διάφορα στάδια λειτουργίας σε διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.	57
Εικόνα 4.4-4 Σύγκριση της κατανάλωσης νερού κατά την λειτουργία για διαφορετικούς γεωθερμικούς σταθμούς και τεχνολογίες ψύξης (N:νερό, A: αέρας, P:γεωρευστό, Y:υβριδικό)	58
Εικόνα 6.2-1 : Καμπύλη φορτίου για το έτος 2013 για το σύμπλεγμα της Κω	80
Εικόνα 6.3-1 : Καμπύλη Φορτίου για το έτος 2015 για το σύμπλεγμα της Μήλου.....	86

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.4-1 : Ατμοσφαιρικές εκπομπές από γεωθερμικούς σταθμούς(τα εύρη αναφέρονται στην βιβλιογραφία και εκτιμούμενες μέσες τιμές	63
Πίνακας 4.5-1 : Παραγόμενο CO ₂ και SO ₂ (gr/kWh) σε γεωθερμικούς σταθμούς της Ισλανδίας	65
Πίνακας 4.5-2 :Κατηγοριοποίηση ανάλογα με τη δυναμικότητα του σταθμού	66
Πίνακας 4.5-3 :Παραγόμενο CO ₂ (gr/kWh) από σταθμό διπλής εκτόνωσης.....	67
Πίνακας 4.5-4 :Σύγκριση Παραγόμενο CO ₂ eq(gr/KWh) του Μοντέλου Με την Βιβλιογραφία	69
Πίνακας 6.2-1: Υπάρχουσα Κατάσταση Στο Σύμπλεγμα της Κω.....	79
Πίνακας 6.2-2 :Ετήσια Παραγωγή ΑΠΕ για το Σύμπλεγμα της Κω.....	81
Πίνακας 6.2-3 :Προσδοκώμενη Συνολική Παραγωγή Από ΑΠΕ	82
Πίνακας 6.2-4 :Σύγκρισης Τεχνολογιών Όσον Αφορά Παραγωγή Ενέργειας ανά MW	82
Πίνακας 6.2-5 : Πιθανές Τιμές του Συντελεστή Χρησιμοποίησης	82
Πίνακας 6.2-6 :Διαφορά Εκπομπών Γεωθερμίας-Μαζούτ.....	83
Πίνακας 6.2-7 :Επίδραση Γεωθερμίας στις Συνολικές Εκπομπές.....	84
Πίνακας 6.2-8 :Καταγραφείσες Τιμές Ηλεκτρικής Παραγωγής	84
Πίνακας 6.2-9 :Προσδοκώμενες Τιμές Μετά Την Προσθήκη του Γεωθερμικού Σταθμού	84
Πίνακας 6.3-1 :Υπάρχουσα Κατάσταση Στο Σύμπλεγμα Της Μήλου.....	85
Πίνακας 6.3-2 :Ετήσια Παραγωγή ΑΠΕ για το Σύμπλεγμα Της Μήλου	87
Πίνακας 6.3-3 :Προσδοκώμενη Παραγωγή Από ΑΠΕ	87
Πίνακας 6.3-4 :Προσδοκώμενη Παραγωγή Από ΑΠΕ	88
Πίνακας 6.3-5 : Πιθανές Τιμές του Συντελεστή Χρησιμοποίησης	88
Πίνακας 6.3-6 :Διαφορά Εκπομπών Γεωθερμίας-Μαζούτ.....	89
Πίνακας 6.3-7 :Επίδραση Γεωθερμίας στις Συνολικές Εκπομπές.....	89
Πίνακας 6.3-8 :Καταγραφείσες Τιμές Ηλεκτρικής Παραγωγής	90
Πίνακας 6.3-9 :Προσδοκώμενες Τιμές Μετά Την Προσθήκη του Γεωθερμικού Σταθμού	90

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.5-1 :Παραγόμενο ανά Τύπο CO ₂ (gr/kWh) Ηλεκτροπαραγωγικού Σταθμού	66
Σχήμα 4.5-2 :Αέρια του θερμοκηπίου που παράγονται στον κύκλο ζωής για διάφορες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής.....	70

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την εργασία θα ασχοληθούμε με την γεωθερμική ενέργεια και πως αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο 1_ο και 2_ο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις πηγές που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο 3_ο κεφάλαιο θα αναλύσουμε τους διάφορους τύπους γεωθερμικών σταθμών που υφίστανται καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Στο 4_ο κεφάλαιο γίνεται μία ανάλυση κύκλου ζωής ενός γεωθερμικού σταθμού καθώς και το ανθρακικό του αποτύπωμα. Στο 5_ο κεφάλαιο καταγράφουμε την κατάσταση των γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα με έμφαση στη Νησιωτική Ελλάδα. Τέλος στο 6_ο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης μιας μελλοντικής εγκατάστασης στη Νησιωτική Ελλάδα και το τι πλεονεκτήματα υπάρχουν και ποιες είναι οι τεχνικές δυσκολίες για ένα τέτοιου είδους εγχείρημα.

Λέξεις κλειδιά: Γεωθερμία, Γεωθερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΑΠΕ, Αποτύπωμα Άνθρακα, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ηλεκτροπαραγωγή Νησιωτικής Ελλάδας.

SUMMARY

While the global demand for power is increasing we are noticing that the resources that we have for power generation are decreasing. As a result we are always trying to maximize the usage of our current resources and find and tap into new ones like Renewable Energy Resources (RES). This thesis is about geothermal energy and in particular geothermal power plants, their types, advantages – disadvantages, their emission and overall their place in a power grid. Also we are going to examine how these plants can be installed in autonomous power grids in the islands of Greece.

Keywords: Geothermal Energy, Geothermal Power Plants, RES, Carbon Footprint, LCA, Power Generation in the Islands of Greece.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια προσπαθούμε να αξιοποιήσουμε όποια πηγή ενέργειας μπορούμε να βρούμε για να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε ηλεκτρισμό, με όσο το δυνατόν μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς και να αντικαταστήσουμε τις υπάρχουσες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πηγές πιο “πράσινες”, αλλά βιώσιμες. Σε αυτήν την εργασία θα εξετάσουμε μια τέτοια πηγή την γεωθερμία και πιο συγκεκριμένα τους γεωθερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Θα εξετάσουμε τα πλεονεκτήματά τους, τα μειονεκτήματά τους, το κατά πόσο μπορούν να αντικαταστήσουν συμβατικούς σταθμούς από ορυκτά καύσιμα (μαζούτ και ντήζελ) ιδιαίτερα στη Νησιωτική Ελλάδα.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

1.1 Γενικά για την ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, που αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού.

Όταν γίνεται χρήση του ηλεκτρισμού η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας π.χ. σε κινητική ενέργεια όταν λειτουργεί ένας κινητήρας ή σε φως όταν ανάβει ένας λαμπτήρας.

Ο σύγχρονος κόσμος εξαρτά την επιβίωση και την ευημερία του από αυτό το είδος ενέργειας. Η πλειονότητα των συσκευών λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυριότεροι είναι η καύση διαφόρων ουσιών (λιγνίτης, πετρέλαιο, κάρβουνο), τα πυρηνικά εργοστάσια, τα ηλιακά πάρκα, τα υδροηλεκτρικά φράγματα και τα αιολικά πάρκα. Τα τελευταία 20 χρόνια γίνονται έντονες προσπάθειες αύξησης του ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.).

Το μεγάλο μειονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δύσκολη, σχεδόν αδύνατη μακροχρόνια αποθήκευσή της. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να καταναλώνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή της ή να αποθηκεύεται αφού πρώτα μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. χημική, δυναμική κ.λ.π.). Η ανάγκη άμεσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει

οδηγήσει στην κατασκευή ενός παγκόσμιου πλέγματος ηλεκτρικών δικτύων, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα, από το σημείο παραγωγής της, στο σημείο κατανάλωσης.[17]
[15]

1.2 Πυρηνική ενέργεια

Το 1951, που αρχίζει η λειτουργία του πρώτου πυρηνικού αντιδραστήρα, μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλά βήματα στον τομέα της τεχνολογίας των πυρηνικών αντιδραστήρων, όχι όμως τέτοια που να έχουν καταστήσει την ατομική ενέργεια μια ασφαλή και οικονομική μέθοδο παραγωγής Η.Ε.

Η «επέμβαση» στον πυρήνα ενός ατόμου πραγματοποιείται είτε με σχάση είτε με σύντηξη. Το αποτέλεσμα είναι μία μη ελεγχόμενη απελευθέρωση ενέργειας, όπως συμβαίνει στα πυρηνικά όπλα, ή μία ελεγχόμενη απελευθέρωση θερμικής ενέργειας, όπως συμβαίνει στους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η αντίδραση που χρησιμοποιούν μέχρι σήμερα οι πυρηνικοί αντιδραστήρες είναι η πυρηνική σχάση. Για την πραγματοποίησή της απαιτούνται κάποια ισότοπα βαρέων στοιχείων που διασπώνται εύκολα, όπως είναι το ουράνιο-235 και το πλουτόνιο-239. Για την έναρξη της διαδικασίας της σχάσης, οι πυρήνες βομβαρδίζονται με νετρόνια και καθώς διαχωρίζονται εκπέμπουν με την σειρά τους 2-3 νέα νετρόνια, που και αυτά διασπών τα κοντινότερα σχάσιμα άτομα, προκαλώντας έτσι μία αλυσιδωτή αντίδραση. Τα δύο τμήματα που προέρχονται από τον διασπασμένο πυρήνα αποτελούν διαφορετικά χημικά στοιχεία, τα οποία σχεδόν πάντα είναι πολύ ραδιενεργά. Τέτοια είναι το στρόντιο-90, το καίσιο-137 και το ιώδιο-131. Για να μπορεί να αξιοποιηθεί η αντίδραση θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη, ώστε κάθε σχάση να προκαλεί μόνο μία νέα σχάση. Είναι η λεγόμενη «κρίσιμη κατάσταση» του αντιδραστήρα. Για την διατήρηση της ισορροπίας, στο εσωτερικό του αντιδραστήρα υπάρχουν οι ράβδοι ελέγχου που αποτελούνται από υλικά που έχουν μεγάλη

ικανότητα απορρόφησης νετρονίων, ώστε να δεσμεύουν τα επιπλέον νετρόνια που δημιουργούνται από την σχάση. Τέτοια υλικά είναι το κάδμιο, το βόριο και άλλα. Οι ράβδοι έχουν δυνατότητα κίνησης στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, ώστε όσο βαθύτερα εισέρχονται, τόσο μειώνεται ο αριθμός των νετρονίων, και άρα η ισχύς. Εκτός όμως από τον αριθμό των νετρονίων, σημαντικό ρόλο παίζει και η ταχύτητά τους. Για την ομαλή και σωστή διάσπαση του ουρανίου-235 πρέπει να είναι μειωμένη. Η επιβράδυνση των νετρονίων επιτυγχάνεται με κατάλληλες ουσίες, τους επιβραδυντές, όπως το νερό, ο γραφίτης, το βηρύλλιο και το βαρύ ύδωρ. Οι ουσίες αυτές βρίσκονται στο εσωτερικό των αντιδραστήρων και καθώς τα νετρόνια διέρχονται μέσα τους υφίστανται πολλαπλές συγκρούσεις, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητά τους. Τα προϊόντα της σχάσης απελευθερώνουν την ενέργειά τους με την μορφή θερμότητας. Η θερμική αυτή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με την βοήθεια στροβίλων κατά παρόμοιο τρόπο, όπως στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Σαν ψυκτικά μέσα χρησιμοποιούνται νερό, βαρύ ύδωρ, αέρας, διοξείδιο του άνθρακα, ήλιο, νάτριο, μπορεί δε να είναι και ο ίδιος ο επιβραδυντής.[17]

1.3 Αιολική ενέργεια

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα

οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιολογώσιμα.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος περιβάλλει την Γη βρίσκεται σε διαρκή κίνηση, εξ αιτίας μιας σειράς παραμέτρων οι οποίες είναι

- Η ηλιακή ακτινοβολία
- Η ανομοιογένεια του ανάγλυφου του εδάφους
- Η περιστροφική κίνηση της γης γύρω από τον άξονά της

Εκτιμάται ότι το ποσοστό το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 1,5% και 2,5% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα.

Η τεχνολογία των συνδεδεμένων με το δίκτυο ανεμογεννητριών έχει φτάσει σε τέτοιο επίπεδο ωριμότητας, ώστε η αιολική ενέργεια να ανταγωνίζεται οικονομικά άλλες μορφές ενέργειας σε περιοχές με ευνοϊκές συνθήκες.

Το εξωτερικό και κοινωνικό κόστος της αιολικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Επίσης, η διάλυση και απομάκρυνση πεπαλαιωμένων αιολικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής δεν συνοδεύεται από κόστη αποκατάστασης της περιοχής.

Σήμερα η αιολική ενέργεια αποτελεί μια μορφή ενέργειας ανταγωνιστική και με προοπτικές. Η επιστημονική έρευνα παρόλα ταύτα συνεχίζεται γιατί είναι απαραίτητη η περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και η βελτίωση της διεθνούς ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας αιολικών μηχανών.

Το θεωρητικό αιολικό δυναμικό της Ευρώπης, θα μπορούσε να καλύψει τις συνολικές ανάγκες της σε ηλεκτρισμό. Το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό μπορεί να καλύψει τις μισές ανάγκες σε ηλεκτρισμό των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μεταξύ των πλέον πρόσφορων περιοχών της Ευρώπης συγκαταλέγεται και η πλειοψηφία των Ελληνικών νησιών. [17]

1.4 Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) στοιχεία μετατρέπουν μέρος της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας σε συνεχές ρεύμα (DC). Αυτή η άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστά τα ΦΒ σαν μία από τις κατάλληλες τεχνολογίες, για την κάλυψη των αναγκών απομονωμένων περιοχών. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να αποθηκευτεί σε μπαταρίες. Το συνεχές ρεύμα μπορεί μέσω ενός μετατροπέα να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο (AC) το οποίο χρησιμοποιούν οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές.

Τα ΦΒ συστήματα παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Δεν καταναλώνουν άλλη πρωτογενή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Δεν ρυπαίνουν κατά την λειτουργία τους
- Δεν αφήνουν κατάλοιπα (με εξαίρεση τις μπαταρίες όταν χρησιμοποιούνται σαν αποθηκευτικό μέσο)
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές
- Έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν αυτόνομα

Θεωρητικά, τα ΦΒ έχουν διάρκεια ζωής όση και τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται και σε περίπτωση βλάβης κάποιου στοιχείου η επισκευή γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα –λιγότερο από δύο μέρες. Πρακτικά τα ΦΒ έχουν περίπου 30 διάρκεια ζωής. Οι μπαταρίες έχουν συνήθως μικρότερη διάρκεια ζωής περίπου 5 χρόνια. Συνεπώς, τα ΦΒ είναι μια αξιόπιστη τεχνολογία και η συχνότητα διακοπής λειτουργίας τους δεν είναι πάνω από δύο φορές ετησίως. Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι τουλάχιστον 800 kWh/kWp, ενώ μπορούν να μειώσουν τουλάχιστον κατά 20% το φορτίο αιχμής μίας περιοχής.[17]

1.5 Βιομάζα

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική πηγή ενέργειας. Καλύπτει περίπου 9 με 13 % των παγκοσμίων απαιτήσεων ενέργειας ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες με ποσοστό που μπορεί να φτάνει μέχρι και 90% .

Η βιομάζα προέρχεται από

- Προϊόντα, υποπροϊόντα και κατάλοιπα φυτικής, δασικής, και αλιευτικής παραγωγής
- Υποπροϊόντα που προέρχονται από την επεξεργασία των υλικών αυτών
- Αστικά λύματα και απορρίμματα (υγρά και στέρεα οργανικά απόβλητα)
- Φυσικές ύλες που προέρχονται από φυσικά ή τεχνητά οικοσυστήματα (δάση, φυτά).

Η διαδικασία παραγωγής της βιομάζας αρχίζει με την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια . Η βιομάζα παράγεται από τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας , με βασικές πρώτες ύλες το νερό και τον άνθρακα . Από την επεξεργασία της βιομάζας παράγονται στέρεα , υγρά και αέρια καύσιμα , για παραγωγή λιπασμάτων , τροφών και βιομηχανικών υλικών .

Οι μέθοδοι της ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας χωρίζονται σε

- Παραγωγή θερμότητας και στη συνέχεια ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση μπορεί να γίνει απευθείας σε λέβητα για παραγωγή ατμού , ο οποίος τροφοδοτεί στη συνέχεια ατμοστρόβιλο συνδεδεμένο με ηλεκτρογεννήτρια . Μέρος του ατμού μπορεί να διοχετευθεί για θερμική χρήση. Περιλαμβάνει την πυρόλυση (θέρμανση χωρίς την παρουσία αέρα) για παραγωγή βιοαερίου, βιοάνθρακα, βιοελαίου κατόπιν θέρμανσης της φυτικής ύλης και αποσύνθεσης της. Αεριοποίηση για παραγωγή κινητικής ενέργειας με θερμικό κύκλο και θερμότητας και προϊόντα επανασύνθεσης που χρησιμοποιούνται σαν καύσιμα για οχήματα

- Παραγωγή αιθυλικής αλκοόλης από ξυλώδη υλικά , έτοιμα σάκχαρα , παραγωγή μεθανίου με αναερόβια ζύμωση της πάσης φύσεως αποβλήτων . Το μεθάνιο μπορεί να παραχθεί από αστικά ή ζωικά απόβλητα ή τις χωματερές.
- Παραγωγή οργανικών λιπασμάτων με ζύμωση χρησιμοποιώντας κάθε μορφή βιομάζας .[17]

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ”

2.1 Ορισμοί

Θερμική ροή ή ροή θερμότητας μέσω ενός υλικού ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας (μcal) που διαχέεται δια μέσου ενός υλικού από τη μονάδα επιφάνειας του (cm^2) στη μονάδα του χρόνου (s) , μετράται σε $\text{Joule}/\text{cm}^2 \text{ s}$. Στη γεωθερμία, ως (γεωθερμική) ροή θερμότητας ορίζεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα ανέρχεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης και μεταδίδεται με αγωγή, αναφέρεται δε στην κατακόρυφη διανυσματική συνιστώσα της γήινης ροής θερμότητας.[15]

Γεωθερμική βαθμίδα είναι ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της γης ανά μονάδα μήκους , η μέση τιμή της είναι $3 \text{ }^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$ βάθους και χαρακτηρίζεται κανονική γεωθερμική βαθμίδα. Η εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών σε σχέση με την κανονική χαρακτηρίζεται ως θετική γεωθερμική ανωμαλία, οφείλεται δε στην ύπαρξη μιας τοπικά αυξημένης ροής (μεγαλύτερης της μέσης τιμής $5.987121 \mu\text{Joule} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$) [15]

Η **ενθαλπία** (H') αναφέρεται στην ικανότητα που έχουν τα σώματα να αποθηκεύουν θερμότητα και ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας ενός σώματος ή συστήματος η οποία απαιτείται (με αντιστρεπτό τρόπο) για την αύξηση της θερμοκρασίας του από το απόλυτο

μηδέν (-273 °C) μέχρι της θερμοκρασίας T του σώματος ή του συστήματος (απόλυτη θερμοκρασία : $K = C + 273$) . Μονάδα μέτρησης της ενθαλπίας είναι το KJ / Kg .[15]

Εντροπία ενός συστήματος χαρακτηρίζεται η απαιτούμενη θερμότητα για τη μετάβαση από μια κατάσταση του συστήματος σε άλλη υπό σταθερή θερμοκρασία (και με αντιστρεπτό τρόπο), είναι ανεξάρτητη της ακολουθούμενης διαδικασίας . Μονάδα μέτρησης της εντροπίας είναι το $joule/grad$ ή $cal/grad$. Στη γεωθερμία η εντροπία προσδιορίζει την κατάσταση υγρή ή αέρια που βρίσκεται το γεωθερμικό ρευστό στον ταμιευτήρα. [15]

Εξέργεια ενός σώματος ή ενός συστήματος ορίζεται το μέγιστο τμήμα της ενέργειας του που μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμο έργο, όταν το σύστημα φθάνει σε ισορροπία μέσω ιδανικών αντιστρεπτών διεργασιών. Το υπόλοιπο τμήμα της ενέργειας ορίζεται ως ανέργεια .[15]

2.2 Γεωθερμικά πεδία

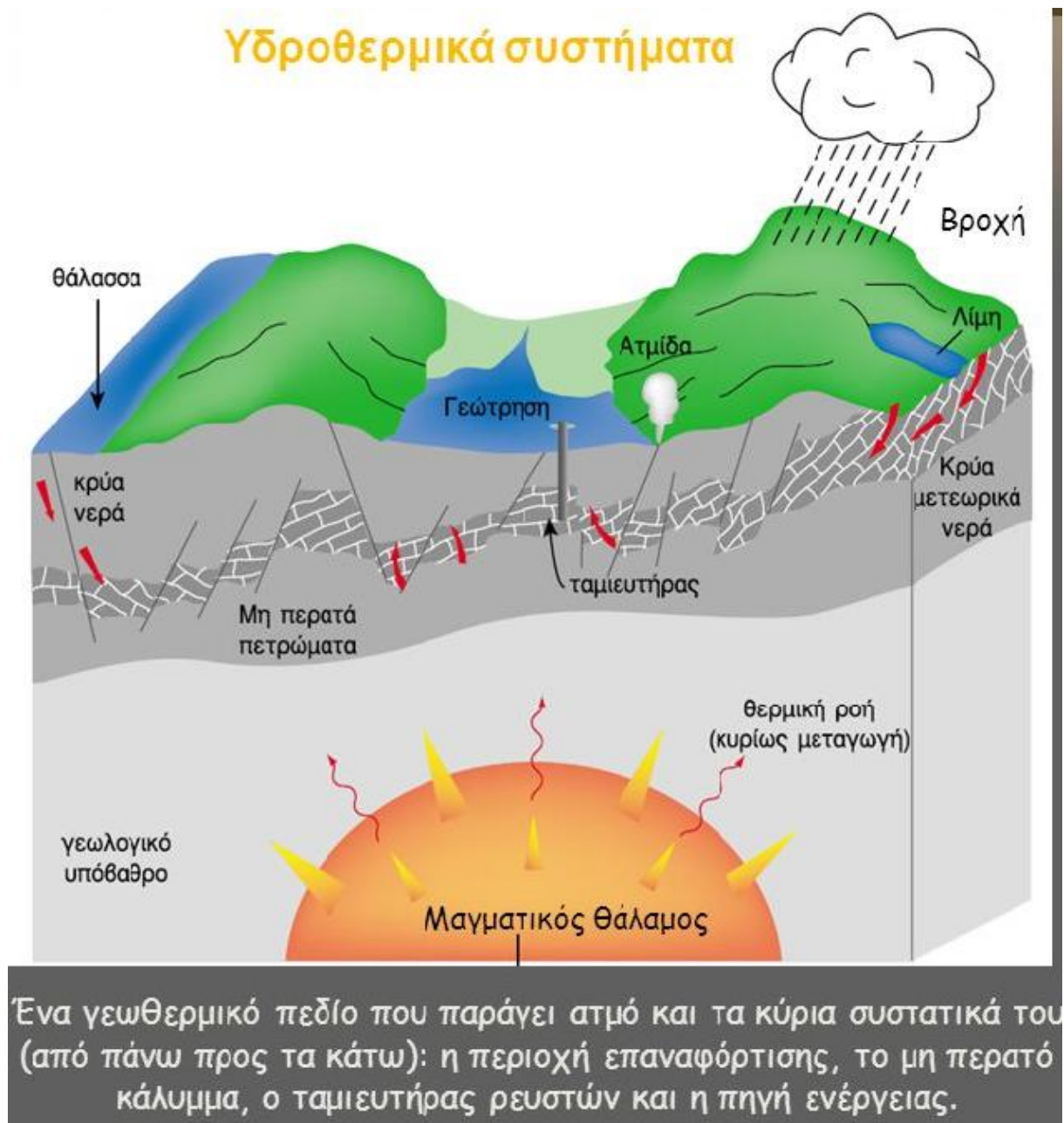
Για να σχηματιστεί ένα γεωθερμικό πεδίο πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις όπως :

- **Εστία θερμότητας**

Συνήθως η εστία θερμότητας ενός πεδίου είναι μαγματικές μάζες ποικίλων διαστάσεων που διείσδυσαν στο φλοιό της γης από μεγαλύτερα βάθη και είτε παραμένουν μέσα σε αυτόν ή βγαίνουν στην επιφάνεια. [15][17][20]

- **Ύπαρξη συνεχούς τροφοδοσίας ρευστών**

Τα γεωθερμικά συστήματα είναι ανοιχτά έτσι θα πρέπει να αναπληρώνονται τα θερμά ρευστά που διαρκώς εκφεύγουν από αυτά. Γενικά τα ρευστά μπορεί να είναι μετεωρικά νερά , δηλαδή νερά της βροχής ή από την τήξη του χιονιού ή πάγου στην επιφάνεια της γης .



Εικόνα 2.2-1 : Μέρη ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα

Πιστεύεται ότι το 90% των γεωθερμικών ρευστών είναι μετεωρικής προέλευσης , μαγματικά νερά, που προέρχονται από ελευθερούμενους ατμούς κατά την πήξη και κρυστάλλωση μαγματικής ύλης, νερά που δημιουργήθηκαν με σχηματισμούς πετρωμάτων όπως θαλασσινό νερό παγιδευμένο σε σχηματισμούς θαλάσσιων πετρωμάτων ή νερό κρυστάλλωσης που ελευθερώνεται από μερικά πετρώματα όταν καταστρέφεται η σταθερότητα τους με φυσικές ή χημικές αλλαγές. [15][17][20]

- **Ύπαρξη περατού και πορώδους πετρώματος**

Το συγκεκριμένο πέτρωμα θα εσωκλείει για σημαντικό χρονικό διάστημα τα θερμανθέντα νερά μέχρι της τελικής διαφυγής τους από το σύστημα. Το πέτρωμα αυτό ορίζεται ως ο γεωθερμικός ταμιευτήρας και είναι ο γεωτρητικός στόχος μιας γεωθερμικής εκμετάλλευσης. Το πορώδες εξασφαλίζει τη σημαντική περιεκτικότητα του σε θερμά ρευστά ενώ η περατότητα τη σημαντική αποληψιμότητα των ρευστών από λιγότερες γεωτρήσεις και με περιορισμένα αντλητικά έξοδα. [15][17][20]

- **Ύπαρξη αδιαπέρατου πετρώματος**

Είναι ένα πέτρωμα κάλυμμα πάνω από το αποταμιευτήριο πέτρωμα. Το πέτρωμα κάλυμμα παρεμποδίζει τη διαφυγή των θερμών ρευστών προς την επιφάνεια (συντελεί στη μακρότερη παραμονή τους στο αποταμιευτήριο πέτρωμα) και ακόμα προστατεύει τον ταμιευτήρα από άμεση ψύξη που θα προκαλούσε η κάθοδος ψυχρότερων υπόγειων νερών προς αυτόν. Το πέτρωμα κάλυμμα πιθανόν να ήταν στο παρελθόν περατό και να απώλεσε τη διαπερατότητά του από επικαθήσεις που προκαλούσαν τα θερμά ρευστά που το διέρρεαν. [15][17][20]

2.3 Ταξινόμηση γεωθερμικών πεδίων σύμφωνα με την ενθαλπία

Μια μορφή ταξινόμησης των γεωθερμικών πεδίων είναι σύμφωνα με την ενθαλπία τους, που είναι περίπου ανάλογη με την θερμοκρασία των ρευστών τους. Έχουμε τριών ειδών πεδία:

- **Χαμηλής ενθαλπίας**

Με θερμοκρασίες 50-100 °C με δυνατότητα κυρίως αξιοποίησής τους για θερμικές χρήσεις.

- **Μέσης ενθαλπίας**

Με θερμοκρασίες 100 – 150 °C με δυνατότητα κυρίως αξιοποίησής τους για θερμική χρήση και σε μερικές περιπτώσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (με ενδιάμεση χρήση πτητικού υγρού, ισοβουτάνιο, φρέον κλπ.)

- **Υψηλής ενθαλπίας**

Με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 150 °C αξιοποιούμενα κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.[17][20]

2.4 Ταξινόμηση γεωθερμικών πεδίων σύμφωνα με τη γεωτεκτονική δομή

Ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει η ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων με βάση τη γεωτεκτονική δομή και την κυκλοφορία – κατάσταση των γεωθερμικών ρευστών. Έτσι έχουμε:

- Υδροθερμικά συστήματα
- Γεωπιεσμένα συστήματα
- Συστήματα αγωγιμότητας
- Θερμά ξηρά πετρώματα
- Μαγματικές μάζες

2.4.1 Υδροθερμικά συστήματα

Στα συστήματα αυτά η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με την ανοδική κυκλοφορία του φυσικά εμφανιζόμενου νερού (υγρό ή ατμός), που βρίσκεται πάνω από στερεοποιημένες μαγματικές διεισδύσεις (600-1000°C). Άλλα υδροθερμικά συστήματα μεταφοράς οφείλονται στην κυκλοφορία μετεωρικού νερού μέσω ρηγμάτων και ρωγματώσεων σε μεγάλα βάθη, όπου υπάρχει υψηλή θερμοκρασία λόγω βάθους ή μαγματικών διεισδύσεων, θερμαίνεται και ακολουθεί ανοδική πορεία.

Τα συστήματα αυτά, ανάλογα με την κατάσταση του νερού διακρίνονται:

- Σε γεωθερμικά πεδία ατμού (ξηρό ή υπέρθερμος)
- Σε γεωθερμικά πεδία υγρού ατμού
- Και σε γεωθερμικά πεδία θερμού νερού

Η ποιότητα ενός ατμού αναφέρεται στο ποσοστό του (%) στο γεωθερμικό ρευστό, όταν είναι 0% τότε το εξερχόμενο στην επιφάνεια ρευστό είναι όλο υγρό, ενώ όταν είναι 100% το εξερχόμενο είναι όλο ξηρός ατμός.

Υπέθερμος ατμός χαρακτηρίζεται όταν η θερμοκρασία του είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία ζέσεως στην υφιστάμενη πίεση. Ξηρός ατμός είναι όταν δεν περιέχει υγρή φάση και υγρός ατμός όταν ο ατμός περιέχει και ποσότητες υγρού (νερό) από το οποίο έχει παραχθεί.

Στα περισσότερα πεδία το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, αφού συνήθως η θερμοκρασία του είναι μικρότερη από την θερμοκρασία ζέσεώς του στην υφιστάμενη πίεση του ταμιευτήρα. Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία του νερού δεν μπορεί να υπερβεί τη θερμοκρασία ζέσεως, απλά τότε ατμοποιείται και η ενθαλπία του μπορεί να φτάσει τη μέγιστη τιμή των 2800 kJ/kg ,όταν η πίεση είναι τουλάχιστον 31,8atm σε θερμοκρασία 236°C.

Κατά την εκτέλεση μιας γεώτρησης σε γεωθερμικό ταμιευτήρα όπου η θερμοκρασία του νερού είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία ζέσεως (στη δεδομένη πίεση), τότε το γεωθερμικό νερό(σε υγρή κατάσταση) θα εισέλθει στη γεώτρηση όπου στον πυθμένα ή σε κάποιο βάθος της θα διαχωριστεί σε δύο φάσεις (υγρή και ατμός) ως υγρός ατμός (λόγω απότομης πτώσης της πίεσης και επομένως της θερμοκρασίας ζέσεως) και η γεώτρηση θα παράγει υγρό ατμό.

Αντίθετα όταν η θερμοκρασία του ταμιευτήρα είναι κοντά στην θερμοκρασία ζέσεως (για την υφιστάμενη πίεση) τότε πιθανά να υπάρχουν ποσότητες ατμού κυρίως προς την οροφή του, όμως με την εκτέλεση της γεώτρησης, στο σημείο αυτό είναι βέβαιο ότι θα παράγει ατμό

(υπέρθερμο ή ξηρό) λόγω της απότομης πτώσης της πίεσης στην περιοχή αυτή κατά την είσοδό του στη γεώτρηση.

Γεωλογικά τα πεδία ατμού και υγρού ατμού δεν διαφέρουν. Γιατί πολλές φορές μετά από μιας χρονικής διάρκειας λειτουργία τα πεδία υγρού ατμού μπορούν να μετατραπούν σε πεδία ατμού.

Γεωθερμικά πεδία ξηρού ατμού είναι τα Larderello και Monte Amiata (Ιταλία), Matsukawa (Ιαπωνία), Geysers (ΗΠΑ), ενώ γεωθερμικά πεδία υγρού ατμού είναι τα Waireki (Ν.Ζηλανδία), Cerro Prieto (Μεξικό), Reykjavik (Ισλανδία), Salton Sea (ΗΠΑ), Μήλος (Ελλάδα), στο Ελ Σαλβαντόρ, Φιλιππίνες και Κένυα. [17][20]

2.4.2 Γεωπιεσμένα συστήματα

Υπάρχουν περιοχές με ιζηματογενείς λεκάνες μεγάλου βάθους (2-6 km), όπου με κανονική ή αυξημένη θερμική ροή η θερμοκρασία φθάνει σε επίπεδα των 150 °C. Μέσα στους περατούς ιζηματογενείς σχηματισμούς υπάρχει ζεστό νερό που παγιδεύτηκε κατά την απόθεση των ιζημάτων, εγκλωβισμένο από στεγανά περιβάλλοντα πετρώματα υπό πίεση αρκετά μεγαλύτερη της υδροστατικής που αντιστοιχεί στο βάθος αυτό, ενώ πάνω από αυτό αυξάνεται (η πίεση) κανονικά. Περιέχουν συνήθως και μεγάλες ποσότητες μεθανίου. Τα γεωθερμικά πεδία αυτά περιλαμβάνουν :

- Θερμική ενέργεια λόγω θερμοκρασίας
- Υδραυλική ενέργεια λόγω υψηλής πίεσης
- Ενέργεια λόγω μεθανίου

Αν και τεχνολογικά η εκμετάλλευσή τους φαίνεται εφικτή , τα προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν στους γεωθερμικούς ταμιευτήρες υπό πίεση (Geopressurised Reservoirs)

είναι τα μεγάλα βάθη (κόστος) και η χρονική διάρκεια εκμετάλλευσής τους. Τέτοιοι ταμειυτήρες υπάρχουν σε βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες των ΗΠΑ, Νιγηρίας, Α. Ευρώπης και Μεξικού. [17][20]

2.4.3 Συστήματα αγωγιμότητας

Αναφέρονται σε γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας που θερμαίνονται με αγωγή και εμφανίζονται σε ιζηματογενείς λεκάνες όπου στρώματα σχιστόλιθων με χαμηλή αγωγιμότητα και υψηλές γεωθερμικές βαθμίδες υπέρκεινται των υδροφόρων.

Άλλη ενδιαφέρουσα περίπτωση συναντάται σε περιοχές, όπου καλύπτονται από ένα στρώμα ιζηματογενών πετρωμάτων, θερμικά μονωμένο. Κάτω από τα ιζήματα υπάρχουν πετρώματα που παρουσιάζουν αυξημένη θερμική ροή που οφείλεται στη διάσπαση ραδιενεργών ισοτόπων. Η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στα ιζήματα. Η έρευνα των συστημάτων αυτών με αγωγή έχει μερικώς αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. [17][20]

2.4.4 Θερμά ξηρά πετρώματα

Υπάρχουν περιοχές όπου σε προσιτά βάθη η θερμοκρασία των πετρωμάτων είναι αρκετά υψηλή όμως η έλλειψη ρωγματώσεων και περατότητας δεν επιτρέπει την κυκλοφορία και ύπαρξη νερού. Τα θερμά ξηρά πετρώματα (Hot Dry Rocks) έχουν μελετηθεί αρκετά χρόνια με στόχο τη δημιουργία τεχνητών ρωγματώσεων σε προσιτά βάθη (τεχνητός ταμειυτήρας) ώστε να διαμορφωθεί μια γεωθερμική περιοχή συνήθως υψηλής ενθαλπίας .

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει την εκτέλεση μιας γεώτρησης και την υδραυλική ρωγμάτωση του πετρώματος στο προβλεπόμενο βάθος ώστε να δημιουργηθεί ένας τεχνητός ταμειυτήρας . Με τη μέθοδο των γεωφυσικών διασκοπήσεων γίνεται καταγραφή των ρωγματώσεων (θέση, έκταση). Ακολουθεί η εκτέλεση μιας δεύτερης γεώτρησης σε σχετική απόσταση από την

πρώτη που να συναντά τον ταμειυτήρα. Στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή κρύου νερού από τη μια γεώτρηση, η διέλευσή του μέσα από τα ρωγματωμένα θερμά πετρώματα έχει αρχικά ως συνέπεια την θέρμανση του νερού και τελικά την έξοδο του από την άλλη γεώτρηση.

Αν και τεχνολογικά φαίνεται εφικτή η δημιουργία ρωγματωμένων περιοχών σε προσιτά βάθη, η εκτίμηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος και του ρυθμού απωλειών πρέπει να αξιολογηθούν ώστε να καταστεί οικονομικά βιώσιμη μια τέτοια εκμετάλλευση. [17][20]

2.4.5 Μαγματικές μάζες

Ενδιαφέρουσες έρευνες διεξάγονται για τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας μαγματικών μαζών με συμβατική τεχνολογία και οικονομικό κόστος.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου απαιτείται η ανάπτυξη των πιο κάτω παραγόντων.

- Ο εντοπισμός και οριοθέτηση των μαγματικών μαζών στο φλοιό της γης ώστε να είναι δυνατή η επιλογή των θέσεων των γεωτρήσεων.
- Η τεχνολογία της διάτρησης και εκτέλεσης των γεωτρήσεων λόγω υψηλών θερμοκρασιών πρέπει να αναπτυχθεί ώστε να είναι δυνατή η είσοδος στο μάγμα .
- Η επιλογή του μηχανικού εξοπλισμού και των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να ελεγχθούν και να δοκιμαστούν ώστε να είναι συμβατά με το περιβάλλον του μάγματος .
- Επίσης η τεχνολογία παραγωγής – εξαγωγής θερμικής ενέργειας από το μάγμα πρέπει να αναπτυχθεί. [17][20]

2.5 Περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις

Κατά την αξιοποίηση της γεωθερμίας υπάρχουν πολλές παράμετροι οι οποίοι πρέπει να υπολογιστούν και να αντιμετωπιστούν κατάλληλα ώστε να μην υπάρχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο βαθμός στον οποίο θα επηρεάσει το περιβάλλον η γεωθερμική εκμετάλλευση είναι ανάλογη του πόσο αξιοποιείται το πεδίο.

2.5.1 Χρήση γης και μορφολογίας εδάφους

Το οπτικό αποτέλεσμα εξαρτάται από το τοπίο, το μέγεθος της εκμετάλλευσης και το στάδιο της εγκατάστασης. Γενικά η έκταση που χρειάζεται για μια γεωθερμική αξιοποίηση είναι ανάλογη της ισχύς εξόδου της εγκατάστασης, του τύπου του εδάφους και των ιδιοτήτων και ιδιαιτεροτήτων του ταμιευτήρα. Από την φύση τους οι γεωθερμικές περιοχές βρίσκονται κοντά σε ηφαίστεια όπου το έδαφος είναι απόκρημνο και με δύσκολη πρόσβαση. Τέτοιο περιβάλλον μπορεί να έχει υποστεί εκτεταμένη διάβρωση ειδικά σε περιοχές υψηλής βροχόπτωσης. Για την κατασκευή δρόμων σε τέτοιες περιοχές απαιτούνται μεγάλες παρεμβάσεις στο τοπίο. Τα οχήματα προκαλούν καθιζήσεις και κατολισθήσεις με παράλληλη απώλεια βλάστησης προκαλώντας έτσι ακόμα μεγαλύτερη διάβρωση. Το μέγεθος και οι επιπτώσεις του σταθμού παράγωγης εξαρτάται από τις εγκαταστάσεις έχουν μπει στην περιοχή. Τυπικά εγκαθίσταται τουρμπίνες, δίκτυο διανομής επίσης υπάρχουν διαχωριστές, πύργοι ψύξης και εγκαταστάσεις για μείωση των μη-συμπυκνώσιμων αερίων. Τέτοιες εγκαταστάσεις απαιτούν χώρο και σε τέτοια εδάφη οι απαραίτητες διεργασίες για να εγκατασταθούν αυτές οι μονάδες μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο τοπίο. Οι σωληνώσεις είναι συνήθως 3-5 μέτρα σε διάμετρο και ανάλογα το μέγεθος τους μπορεί να χρειαστούν δρόμοι για την κατασκευή τους και την συντήρησή τους. Οι γραμμές μεταφοράς

χρειάζονται ένα “διάδρομο“ καθαρό από φυτά και δέντρα και δρόμους πρόσβασης για την κατασκευή και συντήρηση των πυλώνων.

Τρόποι αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων είναι προγράμματα αναφύτευσης σωστός σχεδιασμός των δρόμων με κατάλληλες αποχετεύσεις, η χρήση τεχνητών λιμνών στην φάση της κατασκευής για αποφυγή διάβρωσης του εδάφους. Επίσης με τις σύγχρονες μεθόδους γεωτρήσεων μπορούμε με μια γεώτρηση να αξιοποιήσουμε ένα μεγάλο μέρος του ταμιευτήρα με μικρό βαθμό παρέμβασης στην περιοχή. [16][19]

2.5.2 Θόρυβος

Θόρυβος ή ηχορύπανση είναι μια σοβαρή επίπτωση και κάθε είδους αξιοποίηση θα πρέπει να προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την ζημία την οποία προκαλεί. Πολλές γεωθερμικές εφαρμογές γίνονται σε απομακρυσμένες περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου είναι πολύ χαμηλά και η οποιαδήποτε ενέργεια γίνεται εύκολα αντιληπτή. Επίσης οι κάτοικοι αυτών των περιοχών αντιλαμβάνονται αυτόν τον θόρυβο σαν εισβολή στο κατά τα άλλα ήσυχο περιβάλλον τους. Η συμπεριφορά των ζώων επίσης επηρεάζεται από τον θόρυβο με αναφορές για αλλαγές στο βάρος, μέγεθος, συμπεριφορά και αναπαραγωγικές διαδικασίες.

Ο ήχος μετριέται σε Decibels (dB). Είναι μια λογαριθμική κλίμακα βασισμένη στην πίεση των ηχητικών κυμάτων. Η κλίμακα ξεκινάει από το 0 (όριο της ακοής) μέχρι περίπου το 130 (ανυπόφορος). Το ανθρώπινο αυτί αντιδρά διαφορετικά σε διαφορετικές συχνότητες την λεγόμενη A καμπύλη για αυτό και ο θόρυβος συχνά αναφέρεται ως dBA για να μας δείχνει την ανθρώπινη αντίδραση σε αυτόν.

Ο θόρυβος συμβαίνει σχεδόν σε όλες τις φάσεις της ανάπτυξης. Στην φάση των γεωτρήσεων ο θόρυβος είναι πολύ υψηλός γύρω στα 120 dBA . Μετά υπάρχει μια περίοδος δοκιμών των γεωτρήσεων που παρόλο την χρήση σιγαστήρων υπάρχει αρκετός θόρυβος.

Έπειτα στην φάση της κατασκευής ο θόρυβος που οφείλεται κυρίως στα μηχανήματα είναι περίπου γύρω στα 90 dBA. Στο στάδιο της παραγωγής υπάρχει ο θόρυβος από την ροή του ατμού μέσα από τις σωληνώσεις και τις εκάστοτε εκτονώσεις βαλβίδων. Στο σταθμό παραγωγής οι κύριες πηγές θορύβου είναι ο πύργος ψύξης, ανεμιστήρες, εκτοξευτήρες ατμού και τον θόρυβο μιας γεννήτριας όταν λειτουργεί.

Κατάλληλοι σιγαστήρες χρησιμοποιούνται για να μειώσουν αυτά τα επίπεδα θορύβου. Ο θόρυβος εξασθενεί με την απόσταση που διανύουν τα ηχητικά κύματα στον αέρα σαν γενικός κανόνας υπάρχει μια εξασθένιση 6 dB κάθε φορά που η απόσταση διπλασιάζεται. Επίσης προσεκτικός σχεδιασμός για την τοποθέτηση θορυβωδών μηχανημάτων μακριά από κατοικημένες περιοχές μπορεί να ωφελήσει και διάφορα χαντάκια και βλάστηση μπορεί να βοηθήσουν στην μείωση θορύβου. [16][19]

2.5.3 Φυσικές γεωθερμικές πηγές

Ατμίδες, ιαματικά λουτρά πίδακες είναι μερικές επιφανειακές ενδείξεις γεωθερμικού ταμιευτήρα. Λόγο της σπανιότητάς τους είναι συχνά τουριστικά αξιοθέατα ή χρησιμοποιούνται από τους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής. Η γεωθερμική εκμετάλλευση που χρησιμοποιεί τον ίδιο ταμιευτήρα μπορεί να επηρεάσει αυτές τις πηγές. Αυτές οι οπτικές ενδείξεις της γεωθερμίας είναι μέρος των χαρακτηριστικών και ταυτότητας της περιοχής για αυτό θα πρέπει όσο είναι δυνατό να προστατεύουν από την γεωθερμική εκμετάλλευση. Με την τωρινή τεχνολογία είναι δύσκολο να προβλέψουμε την επίδραση μιας εκμετάλλευσης σε μια οποιαδήποτε επιφανειακή ένδειξη της γεωθερμίας. Όμως υπάρχει αρκετή εμπειρία στην εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων και κάποιες γενικές παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν. Σε υδροθερμικά πεδία που βασίζονται στην κυκλοφορία νερού παρατηρείται μια μείωση των επιφανειακών ενδείξεων, στα υδροθερμικά συστήματα που βασίζονται στην

κυκλοφορία ατμού δείχνουν μια αύξηση στην δραστηριότητα τους και μπορεί να μετακινηθούν κατά την διάρκεια της εκμετάλλευσης. Στα πεδία ατμού η μείωση της πίεσης του ταμιευτήρα οδηγεί σε μείωση των επιφανειακών εκτονώσεων.

Μια πιθανή λύση σε αυτό το δίλημμα μπορεί να είναι η ταξινόμηση των εκτονώσεων αυτών ως προς την αξία τους και μετά να υπολογίζεται το κέρδος που θα έχουμε από την ενεργεία που θα πάρουμε να συγκρίνουμε αυτά τα δυο μεγέθη και να παίρνεται η απόφαση εκμετάλλευσης ή όχι. Τα κριτήρια φυσικά θα διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από χώρα σε χώρα. Επίσης πριν την οποιαδήποτε εκμετάλλευση θα πρέπει οι φυσικές πηγές αυτές να καταγράφονται να παρακολουθούνται για όσο το δυνατό μεγαλύτερο διάστημα γιατί η μελέτη της σύστασης τους, της θερμοκρασίας τους, της ροής τους μπορούν να μας δώσουν στοιχεία για τον ίδιο τον ταμιευτήρα. [16][19]

2.5.4 Χλωρίδα ανθεκτική στη θερμότητα

Σε πολλές γεωθερμικές περιοχές έχει αναπτυχτεί βλάστηση που είναι ανθεκτική στην μεγαλύτερη θερμοκρασία του εδάφους. Σε αυτές τις περιοχές μόνο πολύ ανθεκτικά είδη μπορούν να επιζήσουν και σε μερικές περιπτώσεις μερικά σπάνια είδη μπορεί να αναπτυχτούν που μπορούν να επιβιώσουν σε υψηλές θερμοκρασίες και σε όξινα εδάφη. Όμως οι ρίζες των περισσότερων φυτών δεν αντέχουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 50 °C και σε θερμοκρασίες 50 με 70 βαθμούς κελσίου επιζούν μόνο βρύα και λειχήνες. Σε ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες δεν υπάρχει χλωρίδα. η γεωθερμική εκμετάλλευση έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή των θερμικών περιοχών, για παράδειγμα η περιοχή γύρω από την εξόρυξη γίνεται πιο θερμή που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση κάποιων ειδών. Πριν την εξόρυξη θα πρέπει η κατανομή και τα είδη αυτών των φυτών με όσες περισσότερες πληροφορίες και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα να καταγράφονται

για να μπορούμε να τα συγκρίνουμε με την εικόνα που θα έχουμε μετά την εκμετάλλευση. Επίσης μπορεί να χρειαστούν διάφορες ενέργειες αναφύτευσης των πιο ευαίσθητων φυτών. [16][19]

2.5.5 Καθίζηση εδάφους

Η αφαίρεση υγρού από έναν υπόγειο ταμιευτήρα θα επιφέρει μείωση της πίεσης του ταμιευτήρα που σε μερικές περιπτώσεις προκαλεί καθίζηση. Καθίζηση έχει παρατηρηθεί σε υπόγεια νερά, σε πετρελαιοπηγές και σε γεωθερμικούς ταμιευτήρες. Μαζί με την κάθετη κίνηση υπάρχει συνήθως και μια οριζόντια κίνηση ακτινικά προς το σημείο της μέγιστης καθίζησης. Αυτές οι δυο κινήσεις μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες στην στατικότητα σωληνώσεων, οχετών και κεφάλες γεωτρήσεων.

Φαίνεται ότι η καθίζηση είναι μεγαλύτερη σε υδροθερμικά πεδία νερού από ότι σε υδροθερμικά πεδία ατμού. Αν ο ταμιευτήρας είναι κοντά σε κατοικημένη περιοχή τότε μπορεί να επηρεάσει την στατικότητα κτιρίων, κατοικιών κ.ά. Σε μη κατοικημένες περιοχές μπορεί να επηρεαστεί η φυσική ροή του νερού.

Δεν μπορούν να γίνουν και πολλά στην αντιμετώπιση της καθίζησης. Παρόλα αυτά μπορεί να καταγραφεί και να εκτιμηθεί η σοβαρότητα της. Πριν τις αρχικές έρευνες πρέπει να καταγραφεί το ύψος του εδάφους και στην συνέχεια να καταγράφεται όσο προχωρεί η εκμετάλλευση η καθίζηση του εδάφους. [16][19]

2.5.6 Σεισμική δραστηριότητα

Από την φύση τους τα γεωθερμικά πεδία συνήθως βρίσκονται σε περιοχές με μεγάλη σεισμική δραστηριότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν σεισμοί οι οποίοι δεν

σχετίζονται με την εκμετάλλευση του πεδίου. Οι μικροσεισμοί είναι σεισμοί μικρής εντάσεως που μπορούν να μετρηθούν μόνο με την βοήθεια οργάνων, τέτοιοι σεισμοί μπορεί να συμβαίνουν σε υδροθερμικά συστήματα. Η επανέγχυση των γεωθερμικών ρευστών πίσω στον ταμιευτήρα σε μεγάλα βάθη μπορεί να προκαλέσει σεισμική δραστηριότητα. [16][19]

2.5.7 Έκλυση θερμότητας στο περιβάλλον

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν ρευστά με σχετική χαμηλή θερμοκρασία, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η εκλυόμενη θερμότητα στο περιβάλλον να είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλου είδους σταθμού παραγωγής ανά MW ηλεκτρικής ισχύος. Αυτή η θερμότητα πρέπει να εκλυθεί στο περιβάλλον με έναν οικολογικό τρόπο. Σε πεδία ατμού η θερμότητα αποβάλλεται μέσω πύργων ψύξης στην ατμόσφαιρα ή με ψύξη μέσω των επίγειων νερών δηλαδή η θερμότητα αποβάλλεται στα επίγεια νερά. Οι πύργοι ψύξης είναι το βασικό μέσο μεταφοράς της θερμότητας στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις στο τοπικό κλίμα που έχουν γίνει ορατές είναι αύξηση της θερμοκρασίας, αύξηση της υγρασίας που μπορεί υπό τις κατάλληλες συνθήκες να γίνει ομίχλη. Μεταξύ αποβολής της θερμότητας στον αέρα ή στα επίγεια νερά προτιμάται η αποβολή τους στον αέρα γιατί η αποβολή τους στα νερά θα επηρεάσει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς της περιοχής που θεωρούνται πιο ευαίσθητοι. Πλέον υπάρχει μεγάλη ανάγκη να προστατευτεί το περιβάλλον από την αποβολή θερμότητας. Σε υδροθερμικά συστήματα το αποβαλλόμενο ρευστό χρησιμοποιείται σε δυαδικό κύκλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρώτον και δεύτερον για να μειωθεί και άλλο η θερμοκρασία του ρευστού. Επίσης ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης είναι η βαθιά επανεισαγωγή των ρευστών σε μεγάλο βάθος που θα κάνει την επίδραση τους μηδενική αλλά αυτή η μέθοδος εμπεριέχει μερικά προβλήματα όπως επιστροφή από αυτές τις εισαγωγές προβλήματα στις γεωτρήσεις κ.ά. . Τελευταία υπάρχει μια

σκέψη για χημική επεξεργασία των ρευστών πριν την αποβολή τους στα επίγεια νερά.
[16][19]

2.5.8 Χρήση νερού

Το νερό είναι απαραίτητο στη φάση των γεωτρήσεων, της κατασκευής, για έλεγχο των γεωτρήσεων και για ψύξη στη φάση πλέον της παραγωγής. Οι επιπτώσεις από την άντληση νερού από τις τοπικές πηγές διαφέρει από μέρος σε μέρος ανάλογα με την διαθεσιμότητα του π.χ. σε απομακρυσμένες περιοχές μπορεί να είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, σε αυτή την περίπτωση νερό από τις πρώτες γεωτρήσεις χρησιμοποιείται και στα επόμενα στάδια της εκμετάλλευσης. Όμοια στην φάση των γεωτρήσεων νερό θα βγει από αυτές τις γεωτρήσεις το οποίο λόγω της χημικής του φύσης πρέπει να γίνει πρόβλεψη για την επεξεργασία τους. Για τις ανάγκες νερού μπορεί να δημιουργηθούν κοντά στο πεδίο τεχνητές λίμνες είτε για την αποθήκευση νερού είτε για την συγκράτηση των νερών που βγαίνουν από τις γεωτρήσεις. Επίσης το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να επανεισαχτεί στο πεδίο όπως επίσης πρέπει να παρθούν μέτρα για την προστασία τυχόν ταμιευτήρων πόσιμου νερού στην περιοχή. [16][19]

2.5.9 Στερεά κατάλοιπα

Η εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου μπορεί να παράγει αρκετά στερεά κατάλοιπα και πρέπει να υπάρχουν κατάλληλοι μέθοδοι απόρριψης. Επειδή τα κατάλοιπα αυτά εμπεριέχουν τοξικές ουσίες όπως αρσενικό και υδράργυρο που βρίσκονται στα γεωθερμικά ρευστά, αυτά τα κατάλοιπα δεν μπορούν να απλά να τα αφήσουμε κάπου στο έδαφος γιατί μπορεί να προκληθεί μόλυνση του εδάφους ή μόλυνση των γύρω υπόγειων νερών. Αυτά τα κατάλοιπα μπορούν να απορριφτούν μόνο σε ειδικά σημεία απόρριψης σχεδιασμένα για αυτό

ακριβώς τον σκοπό. Συχνά όμως πρέπει να απορριφτούν στη τοπική περιοχή . Θα μπορούσαν επίσης να επανεισαχθούν πίσω στο ταμιευτήρα, αν αυτό δεν είναι δυνατόν μπορούν να θαφτούν σε ειδικά διαμορφωμένα χώρους χωρίς ρίσκο για μόλυνση του εδάφους ή του νερού. [16][19]

2.5.10 Επιπτώσεις στην ποιότητα αέρα

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται μια «καθαρή» ενέργεια σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα που εκπέμπουν παραπάνω διοξείδιο του άνθρακα και αέρια μεθανίου κατά την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όμως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί και αυτή να επηρεάσει την ποιότητα του αέρα λόγω εκπομπής βλαβερών αερίων κατά την διάρκεια ελέγχων των γεωτρήσεων από τους συμπυκνωτές από τους σιγαστήρες κ.ά.. Στα γεωθερμικά πεδία ατμού που όλα τα γεωθερμικά ρευστά μπαίνουν ξανά στο ταμιευτήρα μερικά αέρια και ατμός είναι οι συνήθεις εκπομπές. [16][19]

Σύσταση Αέριας φάσης

Τα πιο σημαντικά αέρια που εκπέπονται από οικολογική ματιά είναι

- Διοξείδιο του άνθρακα (συνήθως το κύριο συστατικό)
- Υδρόθειο
- Αμμωνία
- Υδράργυρος
- Βορικό Οξύ

Τα αέρια επίσης μπορεί να περιέχουν μεθάνιο, ραδόνιο κ.ά. αλλά αυτά τα συστατικά δεν μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες επιπτώσεις στο τοπικό κλίμα. Οι συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων διαφέρουν από πεδίο σε πεδίο ανάλογα με το γεωχημικό χαρακτήρα του κάθε πεδίου και τις συνθήκες παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τον αρχικό διαχωρισμό του γεωθερμικού ρευστού τα στοιχεία αυτά μπορεί να περάσουν στην αέρια φάση σχεδόν εξ ολοκλήρου ανάλογα την πτητικότητα τους. Το βορικό οξύ και η αμμωνία π.χ. επειδή έχουν χαμηλή πτητικότητα θα περάσουν στην υγρή φάση ενώ το υδρόθειο και ο υδράργυρος θα περάσουν στην αέρια φάση, το διοξείδιο του άνθρακα θα περάσει σχεδόν όλο στην αέρια φάση. Οι συγκεντρώσεις στον ατμό που βγαίνει στην ατμόσφαιρα εξαρτώνται από τα ποσοστά που υπάρχουν στον ατμό πριν συμπυκνωθεί από τους συμπυκνωτές, πύργους ψύξης κ.ά. Αφού το διοξείδιο του άνθρακα, ο υδράργυρος και το υδρόθειο έχουν μικρή διαλυτότητα στο νερό αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των μη-συμπυκνώσιμων αερίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Το βορικό οξύ και η αμμωνία που είναι πιο διαλυτά θα είναι ένα πολύ μικρότερο ποσοστό αυτών των αερίων. Ο ρυθμός με τον οποίο τα συστατικά αυτά φεύγουν από την ατμόσφαιρα από την βροχή ή υδάτινα αερολύματα πχ ομίχλη επηρεάζεται από την διαλυτότητα των αερίων π.χ. η αμμωνία στον αέρα επειδή έχει μεγάλη διαλυτότητα θα απομακρυνθεί σχετικά γρήγορα σε αντίθεση με τον υδράργυρο που θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα πολύ παραπάνω και να εξαπλωθεί σε μεγάλη έκταση. Η παρουσία των συστατικών αυτών μπορεί να προκαλέσει μόλυνση στο χώμα ή μολυσμένη βλάστηση και μπορεί να επηρεάσει την σύσταση των τοπικών νερών δηλαδή λιμνών και ποταμών . Αυτές οι επιπτώσεις συχνά αναφέρονται ως δευτερεύουσες επιπτώσεις από τις εκπομπές αερίων και ατμού. [16][19]

2.5.11 Τοξικές και περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις

Η εκπομπή τέτοιων αερίων επηρεάζουν τόσο το περιβάλλον όσο και τον άνθρωπο. Το δεύτερο είναι πολύ πιο εύκολο να ανιχνευτεί και να ποσοτικοποιηθεί και είναι η βάση για τα κριτήρια ποιότητας του αέρα. Η ανθρώπινη υγεία χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, σε δημόσια υγεία που περιλαμβάνει τους κατοίκους γύρω από το σταθμό και την υγεία των ατόμων που δουλεύουν μέσα στο σταθμό. Η διαφορά τους είναι στο χρόνο έκθεσης και στις συγκεντρώσεις των αερίων.

Διοξείδιο του Άνθρακα

Όταν το διοξείδιο του άνθρακα εκπέμπεται από έναν σταθμό παραγωγής υπό τις σωστές συνθήκες είναι απίθανο να προκαλέσει άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Όμως το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου –όπως το μεθάνιο- και η εκπομπή του στην ατμόσφαιρα συνεισφέρει στην παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη. Υπάρχουν κίνδυνοι όταν υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα γιατί είναι βαρύτερο από τον αέρα, είναι ιδιαίτερα τοξικό ακόμα και με την παρουσία αέρα καθώς αλλάζει το pH του αίματος. Είναι άοσμο, έχει μια ελαφριά όξινη γεύση και σε ποσοστό 5% μπορεί να προκαλέσει δύσπνοια, ζαλάδα, πονοκέφαλο και πιθανή απώλεια αισθήσεων. Σε ποσοστό 10% το άτομο συνήθως χάνει τις αισθήσεις του και θα επέλθει ο θάνατος αν δεν απομακρυνθεί. Με λίγη ή καθόλου προειδοποίηση από την οσμή ή την γεύση πολλοί εργάτες έχουν εισέρθει μέσα σε χώρους με μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και πέθαναν σε μικρό χρονικό διάστημα.

Υδρόθειο

Το υδρόθειο έχει μια χαρακτηριστική μυρωδιά “χαλασμένων αυγών” που είναι ανιχνεύσιμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,3 mg/kg). Η εκπομπή υδρόθειου στην ατμόσφαιρα λοιπόν μπορεί να προκαλέσει έντονη οσμή και μετέπειτα παράπονα της γύρω περιοχής. Όσο η συγκέντρωση ανεβαίνει η οσμή γίνεται πιο “γλυκιά” και εξαφανίζεται περίπου στα 150 mg/kg κάνοντας την οσμή όχι αξιόπιστο κριτήριο για την συγκέντρωση του

υδρόθειου και οι επιπτώσεις μιας υψηλής συγκέντρωσης είναι πολύ μεγάλες στον ανθρώπινο οργανισμό. Όπως το διοξείδιο του άνθρακα το υδρόθειο είναι βαρύτερο από τον αέρα και θα συσσωρεύεται κοντά στο έδαφος άρα τα άτομα που εργάζονται μέσα στα όρια του γεωθερμικού πεδίου είναι σε μεγαλύτερο κίνδυνο. Οι επιπτώσεις διαφέρουν από πονοκεφάλους, πόνοι στα πόδια, ερεθισμός αναπνευστικής οδού και ματιών για συγκεντρώσεις 10-500 mg/kg, κωματώδη κατάσταση με υποβοηθούμενη αναπνοή για συγκεντρώσεις 500-700 mg/kg και θάνατος από ασφυξία για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1500 mg/kg. Δεν απορροφάται από το σώμα και απεκκρίνεται από τα ούρα, έντερα και την εκπνοή. Οι επιπτώσεις του υδρόθειου στο περιβάλλον είναι περιορισμένες και είναι μέρος των δευτερέων επιπτώσεων των μη συμπυκνώσιμων αερίων. Το διαλυμένο υδρόθειο θα οξειδωθεί στον αέρα και σε διάφορους τύπου θείου που έχουν αναγνωριστεί ως συστατικά της όξινης βροχής. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει ακόμα σύνδεση μεταξύ εκπομπής υδρόθειου και της οξύτητας της βροχής στην εκάστοτε περιοχή.

Υδράργυρος

Η εκπομπή ατμού που περιέχει υδράργυρο θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα και θα διασκορπιστεί σε μια μεγάλη έκταση. Ο υδράργυρος δεν θεωρείται ακόμα καρκινογόνο ουσία αλλά είναι γνωστό ότι εισέρχεται στην τροφική αλυσίδα. Κατά την εισπνοή ένα μεγάλο μέρος του υδράργυρου θα παραμείνει στο σώμα (περίπου 80% σε σχέση με το 10% αν μπει στο σώμα μέσω τροφής) και αποθηκεύεται στα νεφρά όπου ο χρόνος αποβολής του μπορεί να είναι από μερικές μέρες έως μερικές εβδομάδες. Παρόλο που οι επιπτώσεις στα νεφρά εμφανίζονται πρώτα, το κεντρικό νευρικό σύστημα είναι αυτό που είναι το πιο ευαίσθητο όργανο σε έκθεση υδράργυρου. Έκθεση για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλεί ελαφρύ τρέμουλο και τελικά παράνοια που μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη.

Πριν την εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου τα πιθανά βλαβερά συστατικά των μη συμπυκνώσιμων αερίων και του ατμού που βγαίνει από τον σταθμό μπορούν να προβλεφθούν από την χημική σύσταση του πεδίου και από τις διαδικασίες που θα εφαρμόζονται κατά την λειτουργία του σταθμού. Υπάρχουν μοντέλα μέσω H/Y που μπορούν υπολογίσουν τις συγκεντρώσεις στα μη συμπυκνώσιμα αέρια και στον ατμό καθώς και τις συγκεντρώσεις σε διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Οι επιπτώσεις μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αν τηρούνται τα διεθνή ή εθνικά πρότυπα. [16][19]

2.5.12 Επιπτώσεις στην ποιότητα νερού

Η απόρριψη γεωθερμικού ρευστού ή συμπυκνωμένου ατμού σε τοπική ροή νερού όπως ένας ποταμός ή ένα μικρό ρυάκι θα αλλάξει την χημεία του νερού και θα επηρεάσει και τους ζωντανούς οργανισμούς που ζουν μέσα στο νερό και τους οργανισμούς που χρησιμοποιούν αυτό το ποταμό ως πηγή νερού (ζώα ή ακόμη και ο άνθρωπος). Παρόλο που τα συστατικά που υπάρχουν στο γεωθερμικό ρευστό υπάρχουν και σε φυσικές θερμές πηγές τα συστατικά αυτά σε αυτές τις πηγές είναι εξασθενημένα λόγω βροχής ή άλλων παραγόντων. Ακόμα και αν τα ρευστά επανεγχυθούν στο πεδίο τα συστατικά αυτά πάλι μπορούν να βρουν τον δρόμο τους στα επίγεια νερά μέσω των υπόγειων νερών. Μόλυνση των υπογείων νερών μπορεί επίσης να γίνει από τεχνητές λίμνες που συγκρατούν νερά από γεωτρήσεις και νερά από δοκιμές γεωτρήσεων όπως και από διαρροές διαφόρων χημικών στοιχείων κατά την λειτουργία του σταθμού. Οι διαρροές αυτές είναι απρόβλεπτες αλλά αντιμετωπίσιμες και τα αποτελέσματα αυτών των διαρροών πρέπει να περιληφθούν σε μια περιβαλλοντική μελέτη.

Σύσταση Των Απορριπτόμενων Ρευστών

Όπως και στον ατμό και στα μη συμπυκνώσιμα αέρια η σύσταση των ρευστών που βγαίνουν από έναν σταθμό ορίζεται από την χημική σύσταση του πεδίου και τις συνθήκες λειτουργίας των σταθμών. Τα πιο συνήθη συστατικά των ρευστών αυτών είναι

- Λίθιο
- Βορικό Οξύ
- Αρσενικό
- Υδράργυρος
- Υδρόθειο
- Αμμωνία

Η “άλμη” μπορεί επίσης να περιέχει πολλά άλατα και άλλες μετρήσιμες συγκεντρώσεις στοιχείων όπως αντιμόνιο, θάλιο, ασήμι και σελήνιο. Ο συμπυκνωμένος ατμός τυπικά θα περιέχει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από διαλυτά στοιχεία όπως αέρια, ενώ τα ρευστά των γεωτρήσεων θα περιέχουν μη διαλυτά ή λιγότερο διαλυτά όπως λίθιο, αρσενικό και βόριο.

[16][19]

Τοξικότητα Και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η αλλοίωση των επίγειων νερών μπορεί να επηρεάσει ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων στον περιβάλλον όπως :

- Υδρόβια Ζωή
- Ζώα , αν χρησιμοποιείται για τις ανάγκες νερού των ζώων
- Σοδιές , αν τα νερά χρησιμοποιούνται στην άρδευση
- Άνθρωποι , αν τα νερά είναι πόσιμα ή από ζώα και σοδιές ως τροφή .

Λίθιο Βορικό Οξύ και Υψηλή Αλατότητα

Αν τα επίγεια νερά χρησιμοποιούνται για άρδευση οι σοδιές εκτίθενται σε λίθιο, βόριο, νάτριο και χλώριο. Οι επιπτώσεις ανάλογα τη σοδειά ποικίλουν από βλάβες στα φύλλα μέχρι αλλαγές στην δομή και ιδιότητες του χώματος. Αυτά τα στοιχεία είναι δύσκολο να προκαλέσουν βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό ή τα ζώα αν και οι υψηλές συγκεντρώσεις βόριου μπορούν να προκαλέσουν απώλεια βάρους στα ζώα και γαστρεντερικά προβλήματα στους ανθρώπους. Η υψηλή αλατότητα μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την υδρόβια ζωή.

Αρσενικό

Η σχετική τοξικότητα των διαφόρων μορφών του αρσενικού έχει ως εξής $\text{αρσενικό} < \text{αρσενικός} < \text{αρσενικόδες}$. Πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αρσενικόδες μπορεί να προκαλέσει χρόνια ή οξεία δηλητηρίαση σε ανθρώπους, ζώα, και υδρόβια ζωή. Υδρόβια φυτά απορροφούν μεγάλες ποσότητες μη οργανικού αρσενικού και είναι τοξικό εάν καταναλωθούν. Τα επίγεια φυτά ή σοδιές συνήθως δεν απορροφούν από κανάλια άρδευσης αρσενικό σε βαθμό που να είναι επικίνδυνο για τον καταναλωτή, αλλά ζημιά στα φύλλα μπορεί να υπάρξει. Το αρσενικό επίσης είναι γνωστό ότι είναι καρκινογόνο για τον άνθρωπο, σχετικά ένας μεγάλος αριθμός καρκίνου του δέρματος και πιθανόν άλλων μορφών καρκίνου έχουν εμφανιστεί σε πληθυσμούς που χρησιμοποιούσαν νερό με υψηλές συγκεντρώσεις αρσενικού.

Υδράργυρος

Το βασικό πρόβλημα με τον υδράργυρο είναι η τάση του να απορροφάται μέσω της υδρόβιας και επίγεια τροφικής αλυσίδας, μια διαδικασία που ονομάζεται βίο – απορρόφηση. Ο υδράργυρος απορροφάται από υδρόβια φυτά και ζώα κυρίως ως μεθυλδράργυρος, που είναι η πιο τοξική μορφή και επηρεάζει το κεντρικό νευρικό σύστημα. Αυτό βάζει τους ανθρώπους και τα άλλα είδη που είναι κοντά στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας σε μεγάλο κίνδυνο έκθεσης. Η κατάποση υδραργύρου συμβαίνει συνήθως μέσω της τροφής, παρά με

την άμεση κατανάλωση νερού. Επίσης τα ζώα φαίνεται ότι είναι πιο ευαίσθητα στον υδράργυρο και στο μεθυλυδράργυρο από ότι τα φυτά.

Υδρόθειο

Είναι απίθανο διαλυμένο υδρόθειο μέσα σε πόσιμο νερό να φτάσει σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις ώστε να προκαλέσει προβλήματα στον άνθρωπο ή στα ζώα. Όμως ως διαλυτό αέριο είναι πολύ τοξικό για την υδρόβια ζωή καθώς επηρεάζει την ποσότητα οξυγόνου που λαμβάνεται από τα βράγχια.

Αμμωνία

Διαλυμένη αμμωνία σε πόσιμο νερό δεν επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, ούτε τα ζώα αλλά, μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα οσμής και γεύσης. Ως διαλυτό αέριο είναι πολύ τοξικό κυρίως στα ψάρια και η συνολική του τοξικότητα μειώνεται όταν αυξάνεται η οξύτητα και η αμμωνία μετατρέπεται στο μη τοξικό ιόντα αμμωνίου. Η μόλυνση των υπόγειων υδάτων μπορεί να αποφευχθεί με σωλήνωση των γεωτρήσεων που περνούν από τους επίγειους υδάτινους πόρους και επενδύοντας τις τεχνητές λίμνες για να αποτρέψουμε μεγάλους ρυθμούς διήθησης. [16][19]

2.5.13 Κοινωνικές επιπτώσεις

Μια γεωθερμική εκμετάλλευση σε μια περιοχή θα έχει κάποιες συνέπειες για την τοπική κοινότητα. Μια εκμετάλλευση κοντά σε κατοικημένη περιοχή θα επιφέρει αλλαγές στην κοινωνία καθώς και πιο άμεσες επιπτώσεις στο τοπίο και στην χημική σύσταση της περιοχής . Η πρώτη αιτία διαμάχης είναι γύρω από την χρήση της γης, από τη μια υπάρχει η γεωθερμική εκμετάλλευση και από την άλλη υπάρχουν απόψεις για χρήση γεωργίας, στέγασης ή άλλου είδους χρήσης. Η συμβατότητα μεταξύ διαφόρων χρήσεων γης έχει πραγματοποιηθεί σε διάφορα μέρη του κόσμου σε διάφορα γεωθερμικά πεδία, αλλά το κάθε πεδίο έχει τα δικά του

προβλήματα όσον αφορά αυτήν την συμβατότητα. Η ιδιοκτησία του πεδίου καθώς και τα νόμιμα δικαιώματα εκμετάλλευσης του πεδίου προφανώς είναι τα πρώτα πράγματα που πρέπει να αποσαφηνιστούν. Η συμμετοχή της τοπικής κοινωνίας σε αυτήν την διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας. Επίσης η συμμετοχή της κοινωνίας πρέπει να γίνεται από την αρχή του έργου και όσο μεγαλύτερη η εκμετάλλευση τόσο πρέπει η τοπική κοινωνία να είναι καλά πληροφορημένη για τους στόχους και να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ενεργή στις διαδικασίες αυτές. [16][19]

2.5.14 Επιπτώσεις στο χώρο εργασίας

Έκθεση σε αερομεταφερόμενους μολυσματικούς παράγοντες

Κατάλοιπα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα αναμιγνύονται με τον αέρα σε οποιαδήποτε αναλογία. Η μονάδα μέτρησης συνήθως είναι το ppm (μέρη ανά εκατομμύριο ανά όγκο). Τα κατάλοιπα που υπάρχουν στον αέρα έχουν χαρακτηριστεί ως μολυσματικά, καρκινογόνα, αλλεργιογόνα, ερεθιστικά και μπορούν να προκαλέσουν ινώσεις. Συνήθως αυτοί οι παράγοντες μπαίνουν μέσα στον οργανισμό μέσω της εισπνοής, όμως μερικοί μπορούν να εισχωρήσουν και να απορροφηθούν μέσω του δέρματος. Αυτός δεν είναι ο κύριος μηχανισμός απορρόφησης από το σώμα αλλά, υπάρχουν διάφοροι ατμοί και υγρά με μεγάλο βαθμό απορρόφησης από το δέρμα. Τα κύρια συστατικά κινδύνου είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο. Άλλοι κίνδυνοι μπορεί να είναι ο υδράργυρος και σε μικρότερο βαθμό η αμμωνία. Το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοντά σε βαλβίδες για εκτόνωση αερίων και σε περιοχές που το γεωθερμικό πεδίο βγάζει ατμούς στην επιφάνεια. Επίσης υπάρχουν και κάποια στέρεα που μπορεί να βρίσκονται στον αέρα κατά της διάρκειας κατασκευής ενός σταθμού, αμίαντος για μόνωση, σκόνη πυριτίου στις γεωτρήσεις και θειάφι πλούσιο σε υδράργυρο που μπορεί να βρίσκεται

στους πύργους ψύξης. Ο αμιάντος όμως πλέον αρχίζει να αντικαθίσταται από άλλα υλικά για μόνωση γιατί ο αμιάντος είναι καρκινογόνο και προκαλεί αμιαντίαση που είναι μια ίνωση των πνευμόνων. Εισπνοή σκόνης πυριτίου μπορεί να προκαλέσει πνευμονοκονίαση που είναι και αυτό ίνωση των πνευμόνων. Η ένωση που συναντάται συνήθως στα γεωθερμικά πεδία είναι το άμορφο πυρίτιο που δεν αντιδρά πολύ με τους πνεύμονες όσο πχ ο κρυσταλλικός χαλαζίας.

Η έκθεση σε αυτούς τους παράγοντες πρέπει να μειωθεί όσο το δυνατόν στο ελάχιστο και οι περιοχές επικινδυνότητας να επισημανθούν με προειδοποιητικές πινακίδες. Τα ανώτατα επιτρεπτά όρια έκθεσης καθορίζονται από διάφορα πρότυπα, αλλά αυτά τα όρια είναι για ομαλές συνθήκες λειτουργίας και δεν προβλέπουν μια υψηλή συγκέντρωση πχ από ένα ατύχημα. Σε περιοχές υψηλού κίνδυνου τα άτομα που εισέρχονται πρέπει να έχουν ατομικούς μετρητές πχ για υδρόθειο. Γενικά η έκθεση σε καρκινογόνα υλικά πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη και αν είναι τεχνικά εφικτό να γίνει αντικατάσταση αυτών των υλικών. [16][19]

Έκθεση σε υγρούς μολυσματικούς παράγοντες

Μερικοί από τους υγρούς “κίνδυνους“ είναι η καυστική σόδα που χρησιμοποιείται στους πύργους ψύξης και μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στο δέρμα. Επίσης υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιείται στην χημική δειγματοληψία, στην χημική επεξεργασία του αλμόλοιπου και στο καθάρισμα των επικαθίσεων στις γεωτρήσεις επαναεισαγωγής. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά εγκαύματα στο δέρμα και στους πνεύμονες και στις βλεννογόνους μεμβράνες αν εισπνεύσουμε τις αναθυμιάσεις.

Πρέπει να προσέχουμε παρά πολύ κατά τον χειρισμό αυτών των διαβρωτικών ουσιών και πρέπει να χρησιμοποιούμε και κατάλληλο εξοπλισμό (γάντια, στολή, μπότες κ.ά.). Τα χημικά αυτά πρέπει να αποθηκεύονται σε συγκεκριμένο χώρο με τις κατάλληλες προδιαγραφές έτσι ώστε όταν υπάρχει μια διαρροή να γίνεται σε έναν μικρό χώρο που μπορεί να αντιμετωπιστεί

γρήγορα και άμεσα. Ντουζιέρες πρέπει να εγκατασταθούν σε αυτά τα σημεία και εκπαιδευτικά σεμινάρια στο προσωπικό θεωρούνται αναγκαία καθώς και πρωτοκόλλα αποθήκευσης. [16][19]

Έκθεση σε Θόρυβο

Τα επίπεδα θορύβου που υπάρχουν σε μια γεωθερμική εκμετάλλευση που λειτουργεί ομαλά μπορεί να είναι κάποιες φορές να είναι υψηλά. στο πεδίο ο θόρυβος προέρχεται από γεωτρήσεις άντλησης, δοκιμή γεωτρήσεων και εκτονώσεις γεωτρήσεων ενώ στο σταθμό η πηγή θορύβου συνήθως είναι οι ανεμιστήρες στους πύργους ψύξης, οι εκτονώσεις βαλβίδων και το χαρακτηριστικό βουητό της γεννήτριας.

Ο θόρυβος συνήθως αντιμετωπίζεται με ειδικά ακουστικά, ωστόσο πολλές χώρες έχουν θεσπίσει ανώτατα όρια στα επίπεδα θορύβου στον εργασιακό χώρο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος εξασθένησης της ακοής. Τυπικά όρια είναι 85 dBA για 8ωρη έκθεση με ανώτατη τιμή τα 145 dBA, 88 dBA για 4ωρη έκθεση και 91 dBA για 2ωρη έκθεση. [16][19]

Έκθεση σε Θερμότητα

Ένας από τους κύριους κινδύνους σε ένα γεωθερμικό πεδίο είναι τα εγκαύματα τα οποία μπορούν να προκληθούν από πολλά ρευστά ή και αέρια υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμική επιβάρυνση ή θερμοπληξία συμβαίνει όταν το σώμα μας δεν μπορεί να αποδώσει στο περιβάλλον την θερμότητα που πρέπει. Αυτή η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από μια εξωτερική πηγή, να δουλεύεις κοντά σε σωληνώσεις ή εσωτερικά δηλαδή η μόνωση των ρούχων (συνήθως ειδικά σχεδιασμένα ρούχα για ειδικούς σκοπούς) να είναι μεγάλη και να μην αφήνει την θερμότητα να βγαίνει προς τα έξω με αποτέλεσμα να ανεβαίνει η θερμοκρασία του σώματος. Η απώλεια της ικανότητας του σώματος να αποβάλει την απαιτούμενη θερμότητα μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες βλάβες στο σώμα και μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στο θάνατο.

Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να αποφευχθούν με αεραγωγούς σε απομονωμένα μέρη με υψηλή θερμοκρασία, με καλή μόνωση σωληνώσεων και εκπαίδευσης του προσωπικού για αυτούς τους κινδύνους. [16][19]

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

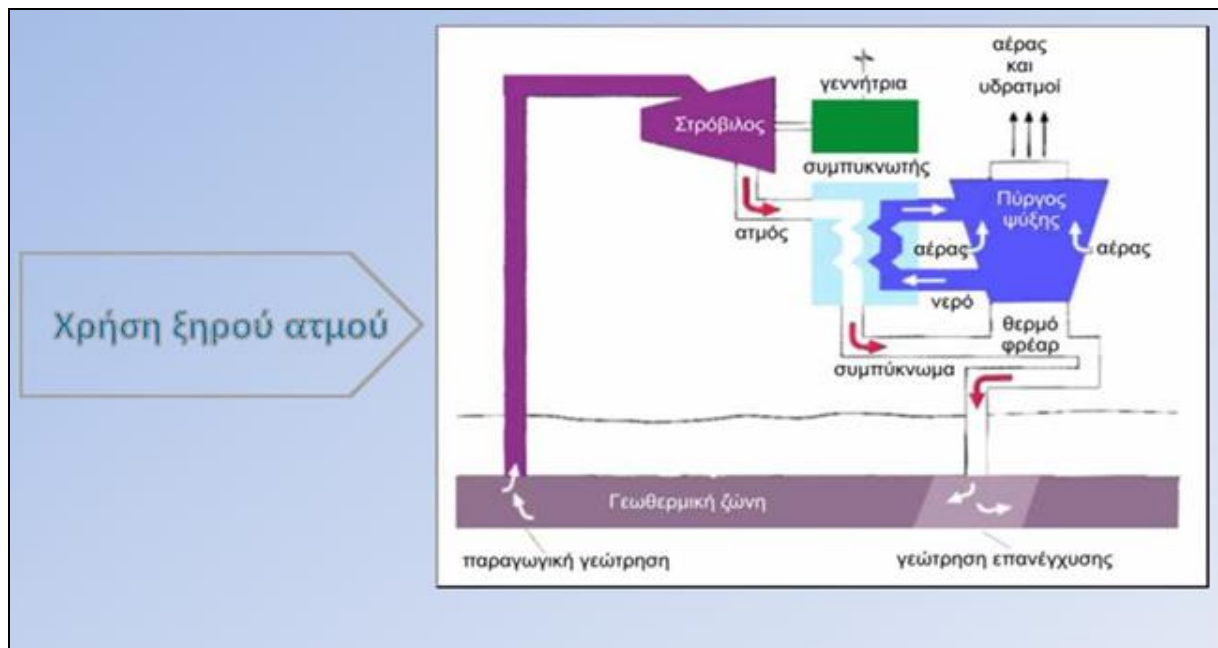
3.1 Τύποι Γεωθερμικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι σταθμών που χρησιμοποιούνται :

3.1.1 Σταθμοί Ξηρού ατμού

Οι σταθμοί ξηρού ατμού (direct or dry steam expansion) χρησιμοποιούνται στα ολιγάριθμα πεδία ξηρού ατμού ανά τον κόσμο. Παρόλο που υπάρχουν μόνο δυο πεδία ξηρού ατμού στον κόσμο το Larderello (Italy) και τα Geysers (ΗΠΑ) λειτουργούν 61 τέτοιοι σταθμοί ανά τον κόσμο από τον Μάη του 2007 και σε σύνολο είναι το 12% όλων των γεωθερμικών σταθμών. Έχουν συνολική ισχύ 2.471 MW που αντιστοιχεί στο 26% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς. Ένας μέσος σταθμός έχει ισχύ γύρω στα 40 MW. Είναι τα πιο φθηνά όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης και τα πιο αποδοτικά σε σχέση με τον συνολικό βαθμό απόδοσης. Λειτουργούν ως εξής ο ατμός από τις διάφορες γεωτρήσεις μέσω των σωληνώσεων οδηγείται κατευθείαν στο στρόβιλο, χωρίς καμιά επεξεργασία ή μετά από αφαίρεση επιβλαβών ουσιών που βρίσκονται στον ατμό. Υπάρχουν δυο τύποι μονάδων, με συμπυκνωτή (condensing type) όπου η πίεση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, με τυπική τιμή 0.12 Bara, ή όχι (back pressure type), δηλαδή ο ατμός εξέρχεται στην ατμόσφαιρα. Η επιλογή του τύπου γίνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του ατμού σε μη συμπυκνώσιμα αέρια. Για ατμό με μεγάλη περιεκτικότητα (πάνω από 50% mol/mol) δεν συνιστάται η χρήση συμπυκνωτή. Όμως μια μονάδα με συμπυκνωτή θέλει την μισή ποσότητα ατμού από έναν χωρίς για την

ίδια ισχύ εξόδου. Επίσης η μονάδα χωρίς συμπυκνωτή είναι φθηνότερη από την μονάδα με συμπυκνωτή.[15][16][19][20]



Εικόνα 3.1-1 :Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας

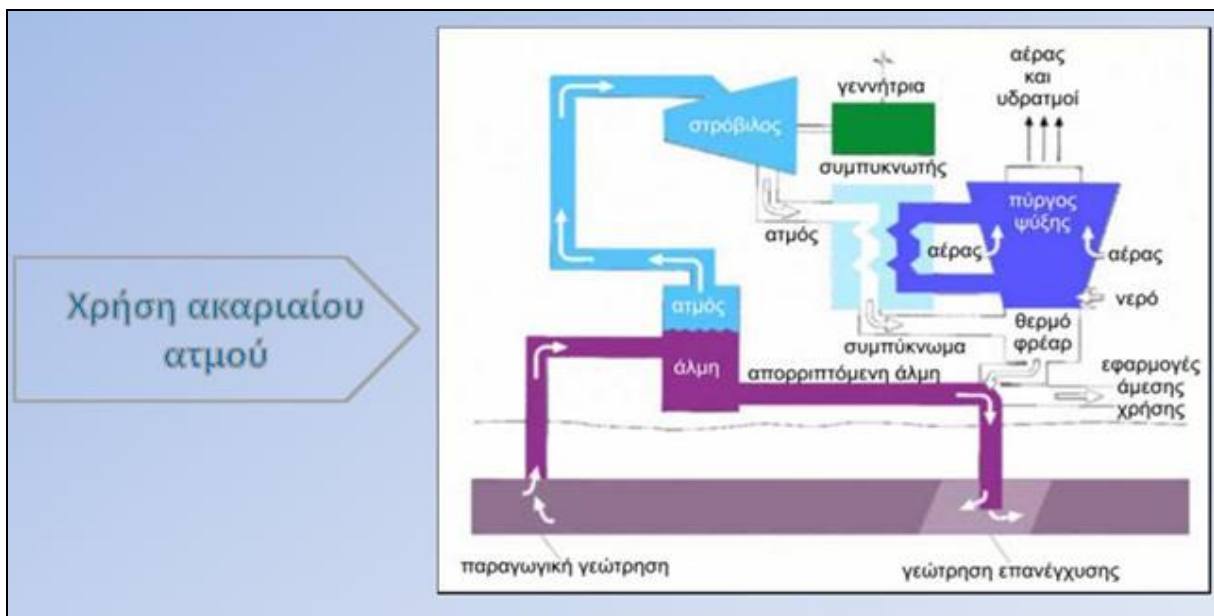
3.1.2 Σταθμοί εκτόνωσης διφασικού υγρού

Οι σταθμοί εκτόνωσης διφασικού υγρού (flash condensing type) είναι ο πιο σύνηθες γεωθερμικός σταθμός. Είναι επίσης ο πρώτος που εγκαθίσταται σε καινούργια πεδία. Από το 2007 λειτουργούν 159 τέτοιοι σταθμοί σε 18 χώρες ανά τον κόσμο και σε σύνολο είναι το 32 % όλων των γεωθερμικών σταθμών και κατέχουν το 42% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς των γεωθερμικών σταθμών. Η ισχύς μιας μονάδας κυμαίνεται από 3 έως 90 MW και μια μέση μονάδα έχει ισχύ γύρω στα 25.3 MW.

Χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν υγρά πάνω από 150 C και μεγάλης πίεσης. Όταν το γεωθερμικό ρευστό βγαίνει από τις γεωτρήσεις μειώνεται αρκετά η πίεση του με αποτέλεσμα να πέφτει η θερμοκρασία ζέσεως του χωρίς να μειώνεται πολύ η θερμοκρασία του, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα μίγμα νερού – ατμού. Αυτό το μίγμα οδηγείται σε έναν κατακόρυφο διαχωριστή όπου ο ατμός στην συνέχεια περνά μέσα από έναν στρόβιλο παράγοντας έτσι ηλεκτρισμό και το υγρό αν έχει αρκετή εξέργεια τότε εκτονώνεται ξανά

(dual flashing process) σε μικρότερη πίεση ώστε να παραχθεί ακόμα περισσότερος ατμός αυξάνοντας έτσι και την ισχύ εξόδου και την απόδοση της μονάδας ή οδηγείται σε γεώτρηση επανεισαγωγής.

Η προσθήκη βέβαια δεύτερης εκτόνωσης ανεβάζει το κόστος της εγκατάστασης και την πολυπλοκότητα του σταθμού άρα και την συντήρηση και τα πιθανά σημεία βλάβης. Επίσης για ρευστά με υψηλό ΣΔΑ (Συντελεστής Διαλυμένων Αλάτων) όπως στην Μήλο ή στο Salton Sea ο ατμός ψεκάζεται με νερό πριν το στρόβιλο για να απομακρυνθούν τα άλατα που έχει συμπαρασύρει ο ατμός. Πάλι σε αυτές τις μονάδες έχουμε δύο τύπους με συμπυκνωτή ή χωρίς με τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.[15][17][19][20]



Εικόνα 3.1-2 : Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας με διαδικασία εκτόνωσης

3.1.3 Σταθμοί δυαδικού κύκλου

Οι σταθμοί δυαδικού κύκλου ή κύκλου Rankine με οργανικό ρευστό χρησιμοποιείται κυρίως σε πεδία μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες από 85 έως 160 επειδή για θερμοκρασίες κάτω από αυτές η εκτονωτική διαδικασία έχει διάφορα προβλήματα για αυτό έχει υιοθετηθεί αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας. Αυτές οι μονάδες είναι οι πιο διαδεδομένες με 164 μονάδες από το 2007 έχοντας συνολική ισχύ 373 MW, είναι το 32 % της συνολικής

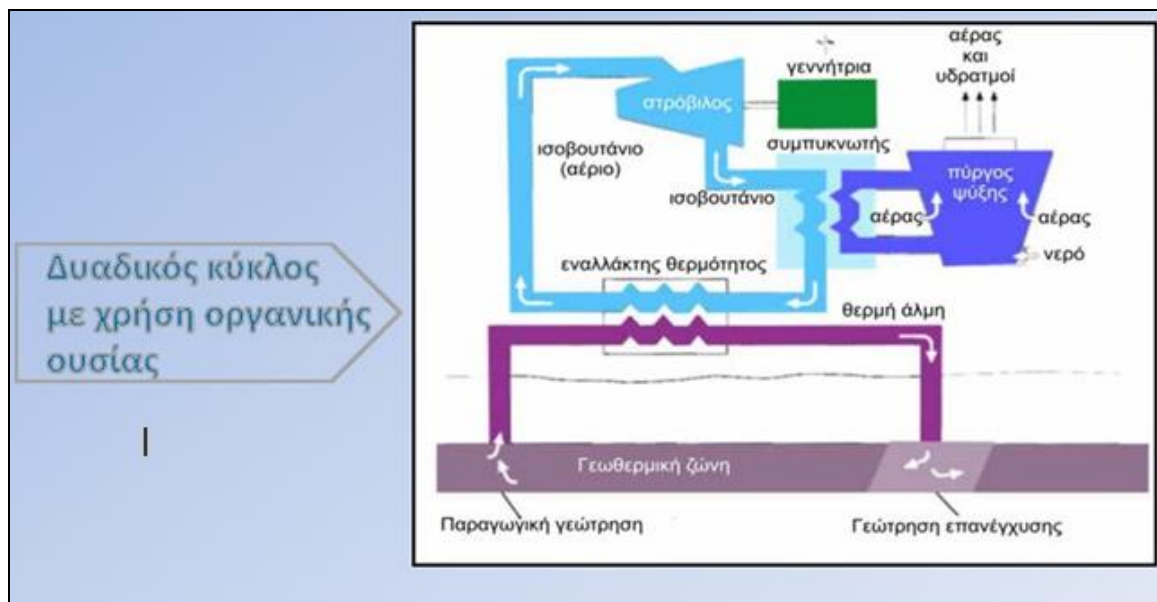
εγκατεστημένης ισχύς από γεωθερμικούς σταθμούς αλλά παράγουν μόνο το 4% της συνολικής ενέργειας. Μια μέση μονάδα έχει ισχύ 2.3 MW αλλά μονάδες της τάξεως των 7 – 10 MW με βελτιωμένο κύκλο θα τεθούν σε λειτουργία στο εγγύς μέλλον. Επίσης πολλές τέτοιες μονάδες έχουν προστεθεί σε υπάρχουσες μονάδες εκτόνωσης υγρού. Επίσης τα πεδία μέσης ενθαλπίας είναι περισσότερα από τα υψηλής άρα μπορούμε να παράγουμε περισσότερη ενέργεια. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να είναι ιδιαίτερα τοξικό ώστε να περνά μέσα από τον στρόβιλο, συμπυκνωτή κ.ά. έτσι με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεις τέτοιου είδους προβλήματα. Λειτουργεί ως εξής το γεωθερμικό ρευστό περνάει μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας δίνοντας την θερμότητα σε ένα δευτερεύον υγρό (ισοβουτάνιο, φρέον, μίγμα νερού και αμμωνίας, ισοπεντάνιο, CO₂) το οποίο έχει μικρότερο σημείο ζέσεως από το νερό. Ο ατμός στη συνέχεια περνάει μέσα από το στρόβιλο και εν συνεχεία από το συμπυκνωτή ολοκληρώνοντας τον κύκλο αυτό. Μια άλλη τύπου μονάδα είναι η μονάδα Kalina η οποία χρησιμοποιεί μίγμα αμμωνίας νερού σε ποσοστό 70 - 30. Το μίγμα αυτό εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες και διέρχεται από στρόβιλο υψηλής πίεσης και ακολούθως επαναθερμαίνεται πριν περάσει από το στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Ο κύκλος αυτός είναι κατά 40% περίπου πιο αποδοτικός από τις συμβατικές μονάδες. Μερικά άλλα πλεονεκτήματα είναι τα εξής :

- Κάνει δυνατή την απόληψη μεγαλύτερων ποσών θερμότητας με απόρριψη των ρευστών σε χαμηλότερες θερμοκρασίες
- Κάνει δυνατή τη χρήση πεδίων μέσης ενθαλπίας γιατί τα δευτερεύοντα υγρά έχουν χαμηλό σημείο ζέσεως
- Περιορίζει τα προβλήματα διάβρωσης και επικαθίσεων στον εναλλάκτη , ενώ δεν παρουσιάζει καμία περιβαλλοντική επίπτωση γιατί γίνεται επανεισαγωγή των ρευστών στο ταμιευτήρα

- Κάνει δυνατή την αξιοποίηση των ρευστών διαβρωτικών και με μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων .

Έχουν βέβαια και μειονεκτήματα όπως :

- Κάνει απαραίτητη τη χρήση εναλλάκτη , ο οποίος είναι γενικά μια δαπανηρή διάταξη, που συνήθως παρουσιάζει έντονα προβλήματα διάβρωσης . Αντιμετωπίζονται με τη χρήση ανθεκτικών μετάλλων ή κραμάτων όπως τιτάνιο ή Hastelloy
- Τα οργανικά ρευστά που χρησιμοποιούνται είναι πτητικά , ορισμένα από αυτά είναι τοξικά , ενώ πολλές οργανικές ουσίες είναι επιβλαβείς στη στρατοσφαιρική στοιβάδα του όζοντος και θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για τυχόν διαρροές .
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτών των μονάδων είναι η μικρή δυναμικότητά τους. Για αυτό το λόγο κατασκευάζονται πολλές μονάδες σε συστοιχία
- Το κόστος κατασκευής των δυαδικών μονάδων είναι το υψηλότερο από τις τρεις μεθόδους.[15][16][19]20]



Εικόνα 3.1-3 : Ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία μέσης ενθαλπίας

3.2 Πλεονεκτήματα Γεωθερμικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας

Τα πεδία που αξιοποιούνται αυτή τη στιγμή στον κόσμο είναι τα υδροθερμικά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά οι σταθμοί έχουν κάποια πλεονεκτήματα. Όπως :

- Είναι σταθμοί κάλυψης φορτίου βάσης.

Δηλαδή λειτουργούν πολλές ώρες μέσα σε μία χρονική περίοδο (συνήθως ένα χρόνο)

Μάλιστα από όλους τους τύπους σταθμών (πυρηνικών, λιγνιτικών, diesel) οι γεωθερμικοί σταθμοί είναι αυτοί με τις περισσότερες ώρες λειτουργίας.

- Το “καύσιμο” είναι δωρεάν.

Επειδή τα πεδία δεν μπορούν να μετακινηθούν η εκμετάλλευση γίνεται ακριβώς στο πεδίο βοηθώντας έτσι τοπικές κοινωνίες στην ανάπτυξη τους. Αυτό βέβαια μπορεί να λειτουργεί αρνητικά γιατί μια περιοχή μπορεί να έχει ένα αξιόλογο πεδίο να εκμεταλλευτεί αλλά να μην υπάρχει τόσο μεγάλο φορτίο π.χ. νησιωτική Ελλάδα

- Κόστος.

Είναι σχετικά φτηνή ενέργεια συγκριτικά με άλλες ΑΠΕ εκτός από το κόστος εγκατάστασης.

- Χώρος.

Δεν χρειάζονται μεγάλο χώρο γιατί δεν απαιτούνται αποθηκευτικοί χώροι για το καύσιμο κ.ά. .

- Παράπλευρη αξιοποίηση

Εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια σε ένα σταθμό μπορούν να αξιοποιηθούν και τα παραπροϊόντα της γεωθερμίας π.χ. μετατροπή υδρόθειου σε θειάφι , η χρησιμοποίηση του CO₂ για ξηρό πάγο ή σε ποτά και αναψυκτικά.[15][16][17][18][19][20]

3.3 Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας

Τα πεδία που αξιοποιούνται αυτή τη στιγμή στον κόσμο είναι τα υδροθερμικά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά οι σταθμοί έχουν κάποια μειονεκτήματα. Όπως :

- Η ισχύς τους σπάνια φτάνει σε υψηλό επίπεδο με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συνδεθούν σε γραμμές υψηλής τάσης.
- Έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης
- Υπάρχει κίνδυνος καθίζησης του εδάφους (πολύ σπάνια περίπτωση)
- Υπάρχουν πολλοί περιβαλλοντικοί παράμετροι οι οποίοι πρέπει να υπολογιστούν και να παρθούν κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης. [15][16][17][18][19][20]

3.4 Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ενέργειας γίνεται με συμβατικούς ατμοστρόβιλους και σταθμούς δυαδικού κύκλου, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου.

Οι συμβατικοί ατμοστρόβιλοι χρειάζονται ρευστά τουλάχιστον 150 βαθμών κελσίου και υπάρχουν δύο τύποι, με συμπυκνωτή (condensing) δηλαδή τα αέρια συμπυκνώνονται και επανεισάγονται στον ταμιευτήρα και με απόρριψη του ατμού στην ατμόσφαιρα (back-pressure). Ο τύπος χωρίς συμπυκνωτή είναι απλούστερος και φθηνότερος, ο ατμός κατευθείαν από τις γεωτρήσεις ή μετά από τον διαχωριστή περνάει μέσα από έναν στρόβιλο και μετά εξέρχεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης είναι εξαιρετικά χρήσιμος στην φάση της κατασκευής του σταθμού ή ως εφεδρεία σε μικρές παροχές από απομονωμένες γεωτρήσεις ή στην φάση δοκιμών των γεωτρήσεων και σε περιπτώσεις που τα ρευστά έχουν μεγάλη συγκέντρωση σε μη συμπυκνώσιμα αέρια. Οι μονάδες αυτές μπορούν να κατασκευαστούν και να συναρμολογηθούν σε περίπου 13 με 14 μήνες από την παραγγελία τους και έχουν ισχύ από 2.5 έως 5 MW.

Οι μονάδες με συμπυκνωτή έχουν περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό, είναι πιο πολύπλοκες και λόγω μεγαλύτερου μεγέθους η διάρκεια κατασκευής τους είναι διπλάσια από τού άλλου τύπου. Μία συνηθισμένη ισχύς ενός σταθμού με τέτοιες μονάδες είναι γύρω στα 60 MW, αλλά πρόσφατα κατασκευάστηκαν και λειτουργούν μονάδες με ισχύ περίπου 110 MW.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από χαμηλής και μέσης ενθαλπίας πεδία καθώς και από θερμά νερά που βγαίνουν από τους διαχωριστές ατμού σε υδροθερμικά πεδία νερού έχει σημειώσει αξιόλογη πρόοδος λόγω των βελτιωμένων τεχνικών στον δυαδικό κύκλο. Οι σταθμοί δυαδικού κύκλου χρησιμοποιούν ένα δευτερεύον υγρό, συνήθως πεντάνιο (C_5H_{12}) που έχει χαμηλό σημείο βρασμού και υψηλή πίεση ατμού σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το δευτερεύον υγρό λειτουργεί μέσω ενός συμβατικού κύκλου Rankine. Το γεωθερμικό ρευστό δίνει θερμότητα στο δευτερεύον μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας και στην συνέχεια το υγρό θερμαίνεται και ατμοποιείται, ο ατμός οδηγείται σε έναν στρόβιλο, ο στρόβιλος κινείται και μετά ο ατμός συμπυκνώνεται και ο κύκλος ξεκινάει από την αρχή. Με την κατάλληλη επιλογή δευτερεύοντος υγρού οι σταθμοί δυαδικού κύκλου μπορούν να αξιοποιήσουν ρευστά με θερμοκρασίες από 85 έως 170 Βαθμούς Κελσίου. Το ανώτατο όριο καθορίζεται από την θερμική ευστάθεια του υγρού και το κατώτατο όριο από τεχνικό-οικονομικούς όρους, πιο κάτω από αυτήν την θερμοκρασία ο εναλλάκτης παίρνει μεγάλες διαστάσεις και γίνεται αντισυμβατικός. Εκτός από την εκμετάλλευση ρευστών χαμηλής – μέσης ενθαλπίας ο δυαδικός κύκλος χρησιμοποιείται και σε περιπτώσεις που η εκτόνωση (flashing) πρέπει να αποφευχθεί πχ λόγω φραγής σωληνώσεων. Σε αυτήν την περίπτωση το γεωθερμικό ρευστό μένει σε υγρή μορφή και η ενέργεια μπορεί να αποσπάται μέσω δυαδικών μονάδων. Οι σταθμοί αυτοί είναι συνήθως συστοιχίες και έχουν ισχύ μερικά εκατοντάδες KW. Αυτές οι συστοιχίες έπειτα συνδέονται και φτιάχνουν σταθμούς περίπου των 10 -15 MW.

Οι μονάδες με εξαγωγή στην ατμόσφαιρα, δηλαδή δεν συμπυκνώνουν τον ατμό για επανεισαγωγή στο πεδίο, είναι οι απλούστερες και πιο φθηνές μονάδες που μπορούν να εγκατασταθούν. Σε αυτού του τύπου μονάδων ο ατμός που διαχωρίζεται από τις γεωτρήσεις διέρχεται από έναν στρόβιλο αξονικής ροής και διοχετεύεται κατευθείαν στο περιβάλλον. Αυτές οι κατασκευές καταναλώνουν διπλάσια ποσότητα ατμού για κάθε KWh παραγόμενης ενέργειας από ότι μια μονάδα με συμπυκνωτή καθιστώντας αυτή τη τεχνική ενεργοβόρα και γεννά την ανάγκη για παραπάνω γεωτρήσεις. Όμως χρησιμεύουν ως πιλοτικές μονάδες στην αρχή της εκμετάλλευσης του πεδίου, ως μονάδες εφεδρείας, για μικρές παροχές από μεμονωμένες γεωτρήσεις και για παραγωγή ενέργειας κατά την δοκιμή των γεωτρήσεων στην φάση ανάπτυξης του πεδίου. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι μονάδες αυτές μπορούν να ξεκινήσουν χωρίς εξωτερική τροφοδοσία, αφού το μοναδικό ουσιαστικό βοηθητικό κομμάτι η αντλία λίπανσης μπορεί να λειτουργήσει με μια μικρή τουρμπίνα ατμού. [16][19][20]

Κατανάλωση ατμού

Η κατανάλωση ατμού σε μία τυπική μονάδα χωρίς συμπυκνωτή φαίνεται στο παρακάτω γράφημα. Αυτό το γράφημα έχει βγει με συγκέντρωση μη συμπυκνώσιμων αερίων στο 0% . Οι καμπύλες κατανάλωσης ατμού μας δείχνουν την κατανάλωση ατμού και την ισχύ εξόδου που μπορεί να επιτευχθεί για μία συγκεκριμένη πίεση εισόδου σε ένα προκαθορισμένο σημείο λειτουργίας. Οι καμπύλες αυτές δεν δείχνουν την μεταβολή της ροής του ατμού και του φορτίου για μία συγκεκριμένη πίεση εισόδου, αλλά δείχνουν σημεία λειτουργίας που μπορούν να επιτευχθούν με κατάλληλη τοποθέτηση του στρόβιλου. Επίσης το υψόμετρο δυο οποίο η μονάδα θα λειτουργήσει έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ισχύ εξόδου για μία δεδομένη πίεση εισόδου και ροής ατμού. Σε μεγάλα υψόμετρα η χαμηλή πίεση στην ατμόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη ισχύ εξόδου π.χ. στην Κέννα(1.950 m πάνω από την θάλασσα) όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι 0,8 bara (1 bara= 1 bar absolute 1 bar= 1×10^5 Pa) η ισχύς εξόδου για μία σταθερή ροή ατμού αυξάνεται κατά 10,5 % για μία τυπική

πίεση εισόδου 8 bara. Αυτό το ποσοστό αυξάνεται αν χρησιμοποιηθούν μικρότερες πιέσεις εισόδου. [19]

Μονάδες με συμπυκνωτή

Αυτού του είδους οι μονάδες είναι μία θερμοδυναμική βελτίωση των μονάδων με εξαγωγή στην ατμόσφαιρα και είναι ο πιο σύνηθες σταθμός που υπάρχει για παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία. Αντί ο ατμός να απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα εισέρχεται σε έναν συμπυκνωτή που διατηρείται σε πάρα πολύ χαμηλή πίεση συνήθως 0,10 bara. Λόγω της μεγάλης πτώσης της πίεσης στο μήκος του συμπυκνωτή παράγεται διπλάσια ισχύς για δεδομένη ροή ατμού και πίεσης. Όμως η προσθήκη ενός συμπυκνωτή και των πύργων ψύξης και των αντλητικών εξαρτημάτων ανεβάζει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης του σταθμού. Επίσης οι αντλίες των πύργων και οι ανεμιστήρες καταναλώνουν ενέργεια και μπορεί η βοηθητική ιδιοκατανάλωση του σταθμού να φτάσει το 4,6 % της συνολικής παραγωγής. Ο λόγος που ο ατμός συμπυκνώνεται είναι ότι θα χρειαζόταν μία μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να αντληθεί ο ατμός στην χαμηλή πίεση που βρίσκεται μέσα στον συμπυκνωτή, αν πρώτα δεν περάσει στην υγρή μορφή.

Το μέγιστο μέγεθος μίας μηχανής περιορίζεται από το μέγεθος των πτερυγίων του στροβίλου που παλιά ήταν 660 mm, αλλά πρόσφατα έχει φτάσει στα 765 mm για εφαρμογή στα 50 Hz. Η πίεση του ατμού για παραγωγή ενέργειας μέσω γεωθερμίας είναι μεταξύ 3 και 15 bara, που είναι σημαντικά μικρότερη από ενός συμβατικού σταθμού ορυκτού καυσίμου. Λόγω της σχετικά μικρής πυκνότητας του ατμού σε αυτές τις πιέσεις και του περιορισμού του μήκους των πτερυγίων η μέγιστη ισχύς μιας μηχανής κυμαινόταν μεταξύ 55 και 60 MW με στρόβιλο διπλής ροής με πτερύγια 660 mm. Πρόσφατα όμως έχουν κατασκευαστεί μηχανές ισχύος 110 MW, με πίεση ατμού στα 10 bara και πτερύγια 765 mm που και πάλι είναι σημαντικά μικρότερη από έναν συμβατικό σταθμό που η ισχύς του κυμαίνεται μεταξύ 600 και 1000 MW.[19]

Συμπυκνωτής

Αφού δεν υπάρχει ανάγκη για ανάκτηση του συμπυκνωμένου ατμού για επαναχρησιμοποίηση συμπυκνωτές άμεσης επαφής χρησιμοποιούνται για την συμπύκνωση του ατμού που βγαίνει από τον στρόβιλο. Στους συμπυκνωτές αυτούς διέρχεται κρύο νερό και έτσι ο ατμός υγροποιείται. Ο συμπυκνωμένος ατμός και το νερό αναμιγνύονται και μέσω αντλιών οδηγούνται στο πύργο ψύξης για επανακυκλοφόρηση. Το ποσοστό του ατμού που συμπυκνώνεται είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό του νερού που εξατμίζεται από τον πύργο ψύξης και έτσι υπάρχει η ανάγκη να αφαιρέσουμε νερό από τον πύργο ψύξης περίπου 20% του συμπυκνωμένου ατμού. Το γεγονός αυτό όμως μπορεί να θεωρηθεί και πλεονέκτημα γιατί δεν χρειάζεται ποτέ συμπλήρωση του νερού του πύργου ψύξης, ενώ σε συμβατικούς σταθμούς λόγω εξατμησης απαιτείται συμπλήρωση του νερού ανά διαστήματα. Για να μειώσουμε το ποσοστό των μη συμπυκνώσιμων αερίων που διαλύονται μέσα στο νερό αυτό και για να αυξήσουμε την μεταφορά θερμότητας το τελευταίο στάδιο της συμπύκνωσης γίνεται σε έναν ξεχωριστό χώρο όπου ο ατμός και τα αέρια οδηγούνται προς τα πάνω κάθετα. Συνήθως 10 % του ατμού θα συμπυκνωθεί σε αυτή τη φάση και χρειάζεται περίπου 11% της ροής του νερού για να πραγματοποιηθεί και έτσι μόνο αυτό το σχετικά μικρό ποσοστό του νερού έρχεται σε επαφή με τα μη συμπυκνώσιμα αέρια. Όταν η συγκέντρωση των μη συμπυκνώσιμων αερίων είναι υψηλή και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί επιβάλουν την εγκατάσταση συστήματος δέσμευσης του υδρόθειου, συνήθως εγκαθίσταται ένας αυλωτός συμπυκνωτής. Ο συμπυκνωμένος ατμός πάλι αναμιγνύεται με το νερό από τον πύργο ψύξης αφού αντληθεί ξεχωριστά από τον συμπυκνωτή, όμως αυτή η διάταξη ελαχιστοποιεί το ποσοστό των μη συμπυκνώσιμων αερίων που διαλύονται στο νερό. [19]

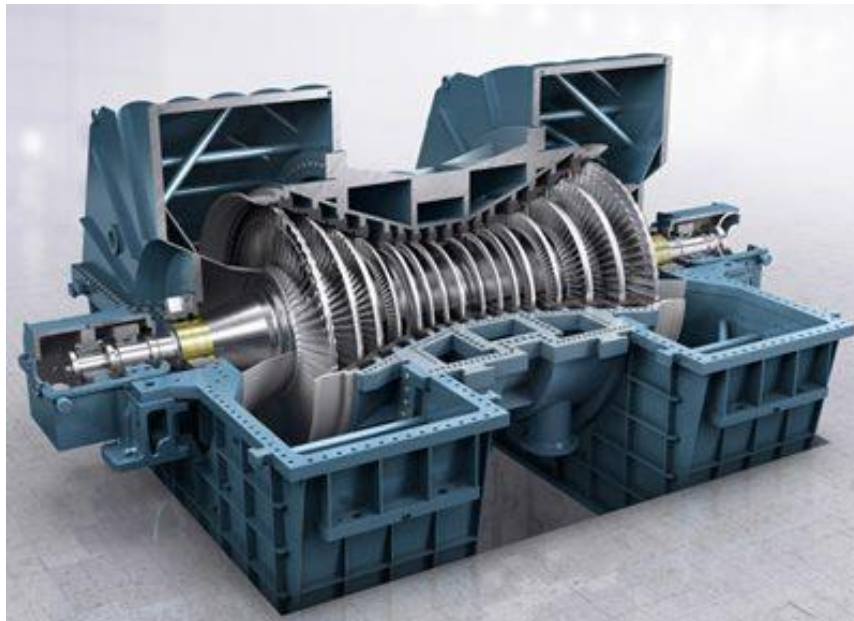
Κατανάλωση ατμού

Η κατανάλωση ατμού μιας γεωθερμικής μονάδας με συμπυκνωτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτό το γράφημα έχει γίνει με παραδοχή ότι το ποσοστό των μη συμπυκνώσιμων

αερίων είναι 0 % και πίεση συμπύκνωσης 0,1 bara. Στην περίπτωση μονάδων χωρίς συμπυκνωτή αυτό το γράφημα δεν αντιπροσωπεύει την απόδοση κανενός στρόβιλου, αλλά χρησιμεύουν ως σημεία λειτουργίας που μπορούν να επιτευχθούν. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι δεν μπορούμε να συγκρίνουμε την κατανάλωση ατμού μεταξύ μονάδων με συμπυκνωτή και χωρίς για την ίδια πίεση εισόδου (του ατμού) γιατί η ιδανική πίεση εισόδου για μία μονάδα χωρίς συμπυκνωτή είναι μεγαλύτερη από ότι μίας μονάδας με συμπυκνωτή.[19]

Μέρη Γεωθερμικού

Μερικές εικόνες που δείχνουν τα διάφορα μέρη ενός γεωθερμικού σταθμού .



Εικόνα 3.4-1 :Στρόβιλος Γεωθερμικού Σταθμού



Εικόνα 3.4-2 : Πύργος Ψύξης



Εικόνα 3.4-3 : Σωληνώσεις Γεωτρήσεων



Εικόνα 3.4-4 : Αντλία Γεώτρησης



Εικόνα 3.4-5 :Εναλλάκτης Θερμότητας

3.5 Διαδικασία Υλοποίησης Ενός Γεωθερμικού Σταθμού

Η υλοποίηση ενός γεωθερμικού σταθμού απαιτεί πολλά βήματα . Παρακάτω βλέπουμε τα βήματα που χρειάζονται για την ολοκλήρωσή του .

- **Έρευνα**

1. Σύσταση του ατμού, εύρεση ιδανικών συνθηκών πίεσης ατμού, ποσοστό μη συμπυκνώσιμων αερίων του ατμού.
2. Έκταση του πεδίου, μακροπρόθεσμη χωρητικότητα και φυσική αναπλήρωση των ρευστών.
3. Θερμοκρασία και πίεση του γεωθερμικού ρευστού.
4. Χημική ανάλυση (αέρια και υγρή φάση) του γεωθερμικού ρευστού.
5. Γεωλογική έρευνα για την στατικότητα και τις ιδιότητες του πεδίου (τύπος περατού πετρώματος, τύπος μη περατού στρώματος κ.ά.)
6. Έκταση ζωνών παραγωγής ρευστών και επαναισαγωγή τους.
7. Παραγωγή γεωτρήσεων
8. Ανταπόκριση πεδίου στις γεωτρήσεις παραγωγής και επαναισαγωγής ρευστών
9. Μοντελοποίηση του ευρύτερου χώρου, ηλεκτρονική απεικόνιση του γεωθερμικού ταμιευτήρα και μοντέλα πρόβλεψης παραγωγής ρευστών
10. Παρακολούθηση και έλεγχος του πεδίου.

- **Προσβασιμότητα**

1. Τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής του γεωθερμικού πεδίου
2. Εγγύτητα σε αστικά κέντρα.
3. Εγγύτητα σε εθνικά πάρκα και προστατευόμενες περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

- **Δίκτυα**

1. Μέγεθος, τύπος και ασφάλεια των δικτύων.
2. Εγγύτητα σε υπάρχουσες δομές
3. Προσβασιμότητα σε υπάρχουσες γραμμές μεταφοράς, υποσταθμούς.

- **Αδειοδότηση**
 1. Εξευρένηση γεωθερμικού πεδίου
 2. Γεωτρήσεων γεωθερμικού πεδίου
 3. Περιβαλλοντική Μελέτη
 4. Άδεια για κτίρια και άλλες εγκαταστάσεις.

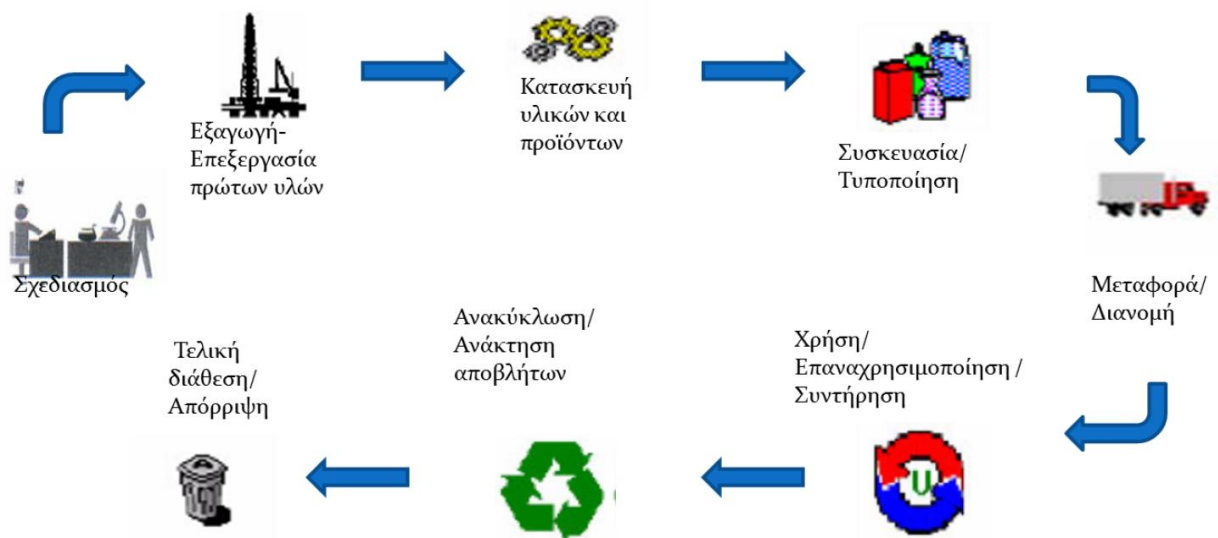
Επίσης κρίνεται αναγκαίο να πραγματοποιηθούν επενδυτικές μελέτες πριν και μετά την ολοκλήρωση του έργου και επιχειρηματικού σχεδίου (business plan).[15][16]

4^ο Κεφάλαιο

“ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ”

4.1 Εισαγωγή

Η ουσία της ανάλυσης του κύκλου ζωής – Α.Κ.Ζ. (life cycle assessment – L.C.A.) είναι η αξιολόγηση των σχετικών περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνολογικών συνεπειών ενός υλικού, μιας διεργασίας ή ενός προϊόντος καθ’ όλη τη ζωή του από τη δημιουργία ως την απόρριψη ή, σε ιδανική κατάσταση, στην αναδημιουργία του στην ίδια ή άλλη χρήσιμη μορφή.



Εικόνα 4.1-1 : Κύκλος Ζωής Ενός Προϊόντος

Η Society of Environmental Toxicology And Chemistry (S.E.T.A.C.) ορίζει τη διαδικασία της Εκτίμησης Κύκλου Ζωής ως εξής:

«Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια αντικειμενική μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών φορτίων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μια δραστηριότητα με αναγνώριση και υπολογισμό της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται και των εκπομπών τους στο περιβάλλον και η αξιολόγηση και η εκμετάλλευση ευκαιριών για επίτευξη περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η εκτίμηση καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας, συμπεριλαμβάνοντας την παραλαβή και επεξεργασία πρώτων υλών, τη μεταποίηση, τη μεταφορά και τη διανομή, τη χρήση ή την επαναχρησιμοποίηση, τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόθεση».

Το πρότυπο ISO δίνει τον ακόλουθο ορισμό για την Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής:

«Εκτίμηση Κύκλου Ζωής είναι μία τεχνική για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών θεμάτων και των πιθανών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, με:

- Υπολογισμό των εισροών και εκροών ενός συστήματος,
- Αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εισροές και εκροές,
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των φάσεων αναλύσεως των εισροών και εκροών και των επιπτώσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης.

Η Α.Κ.Ζ. μελετά τα περιβαλλοντικά θέματα και τις πιθανές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος «από τη γέννηση ως το θάνατο» (cradle to grave), δηλαδή από την απόκτηση του υλικού ως την παραγωγή, τη χρήση και τη διάθεση. Οι γενικές κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που χρειάζονται θεώρηση, περιλαμβάνουν τη χρήση των πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές συνέπειες».

Συνεπώς, η ανάλυση περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που συνδέονται με την παράδοση αυτού του προϊόντος, από την εξαγωγή των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση των αποβλήτων.

Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις ο σκοπός μιας Α.Κ.Ζ. είναι η σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων, σε κάθε περίπτωση παρέχει την ευκαιρία για αλλαγές και διορθώσεις σε κάποια στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, ούτως ώστε αυτό να γίνει φιλικότερο προς το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια, μεγάλη έμφαση δίνεται σε αυτόν τον τομέα με σκοπό να γνωρίζουμε που και ποιες διορθωτικές κινήσεις χρειάζεται να γίνουν, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές προς το περιβάλλον ή το κόστος ή οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός συστήματος.

Η αξιοπιστία της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από:

- τον τρόπο μοντελοποίησης και τον βαθμό απλοποίησης των υπό εξέταση συστημάτων,
- το σύνολο των παραδοχών και υποθέσεων που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα της ανάλυσης και
- τη διαθεσιμότητα σύγχρονων και αξιόπιστων δεδομένων.[1][3][4]

4.2 Γενικά περί μεθοδολογίας ΑΚΖ

Η ΑΚΖ είναι ένα νέο εργαλείο ανάλυσης που βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη γι' αυτό δεν είναι δυνατό να καθοριστούν αυστηροί κανόνες μεθοδολογίας. Η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων για την εισαγωγή απλοποιήσεων ή του κατάλληλου επιπέδου ανάλυσης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σκοπό κάθε μιας μελέτης ξεχωριστά.

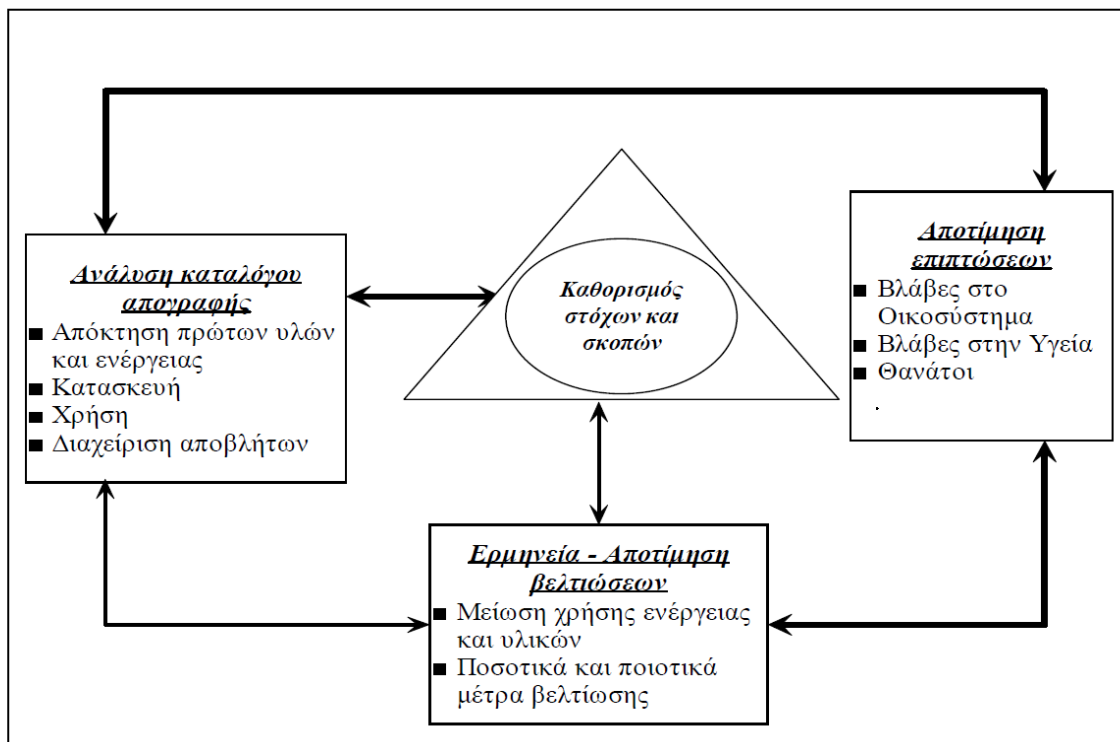
Το πλαίσιο μεθοδολογίας της ΑΚΖ που προτείνεται από τον SETAC (1991, 1992, και 1993) αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια:

1) τον προσδιορισμό του στόχου και της έκτασης της μελέτης, 2) την αναλυτική απογραφή δεδομένων, 3) την εκτίμηση επιπτώσεων και 4) την εκτίμηση βελτιώσεων.

Ο προσδιορισμός του στόχου και της έκτασης της μελέτης καθορίζεται από τον σκοπό, το αντικείμενο, και τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης που επηρεάζουν την κατεύθυνση, το βάθος της, και τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς και της επανεξέτασής της.

Κατά την αναλυτική απογραφή του κύκλου ζωής, συλλέγονται και παρουσιάζονται δεδομένα στοιχείων εισόδου και εξόδου του υπό εξέταση συστήματος. Η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις αναλυτικές απογραφές, αποτελεί υπόθεση υψίστης σημασίας λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας των πηγών προέλευσης και της ευρύτητας του αντικειμένου.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων δίνει μία προοπτική στα δεδομένα και στις πληροφορίες εισόδου και εξόδου. Χωρίς την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων, και της ελάττωσης των αποθεμάτων, είναι δύσκολο να γίνει κατανοητή η σχέση των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος με το περιβάλλον, ή το όφελος από την επίτευξη βελτιώσεων στο σύστημα.



Εικόνα 4.2-1 : Στάδια Της ΑΚΖ

Η εκτίμηση βελτιώσεων βοηθά στο να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες δυνατές στρατηγικές μείωσης και τα προγράμματα βελτίωσης που δεν θα δημιουργούν επιπρόσθετες απρόβλεπτες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την υγεία του περιβάλλοντος.

Αυτό το δίκτυο των διαδικασιών σχηματίζει τον κύκλο ζωής του προϊόντος.[4][6][7][8]

4.3 Εφαρμογή AKZ σε ενεργειακά συστήματα

4.3.1 Γενικά

Οι περισσότερες μελέτες AKZ έχουν επικεντρωθεί σε προϊόντα, και υπάρχουν περιορισμένες εφαρμογές σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού με εξέταση ολόκληρου του κύκλου ζωής του ενεργειακού πόρου που χρησιμοποιείται.

Εντούτοις, η AKZ μπορεί να διαδραματίσει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση της φιλοσοφίας του οικολογικού σχεδιασμού (ή όπως λέγεται αλλιώς, σχεδιασμός για το περιβάλλον) και στην ενσωμάτωση της στο σχεδιασμό ενεργειακών συστημάτων και διεργασιών. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο εξασφαλίζεται ότι όλες οι διαδικασίες οι οποίες συμβάλουν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή του ηλεκτρισμού περιλαμβάνονται στο τελικό αποτέλεσμα.[2][10]

4.3.2 Εφαρμογή AKZ σε γεωθερμικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής (LCA) για γεωθερμική παραγωγή ενέργειας είναι ελάχιστες στη διεθνή βιβλιογραφία και αφορούν μεμονωμένες περιπτώσεις ή υποθετικά σενάρια για διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και διαφορετικές δυναμικότητες.

Ένας βασικός λόγος είναι ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από ορισμένα εργοστάσια είναι συχνά πολύ τοπικές και αφορούν συγκεκριμένες εγκαταστάσεις. Ως εκ τούτου δύσκολα μπορεί να συναχθούν γενικά συμπεράσματα από μεμονωμένες μελέτες.

Δεύτερον, η επίδραση των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην τοπική και περιφερειακή ποιότητα του νερού, η προκαλούμενη αλλαγή του υδραυλικού συστήματος και επικίνδυνα γεωλογικά συνέπειες είναι πάντα μοναδικές, ενώ ταυτόχρονα τα δυνητικά απειλούμενα φυσικά περιβάλλοντα είναι μοναδικά.



Εικόνα 4.3-1 :Όρια συστήματος που περιλαμβάνονται στην ανάλυση κύκλου ζωής σε συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΠΕ και με συμβατικά καύσιμα

Μια τυπική ανάλυση των εισροών και εκροών για την εφαρμογή της μεθόδου σε γεωθερμικό σταθμό παραγωγής παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Σε αυτή διακρίνονται τέσσερα στάδια που αντιπροσωπεύουν τον κύκλο λειτουργίας του έργου:

Στάδιο 1^ο :Όρυξη των διερευνητικών και παραγωγικών φρεάτων

Στάδιο 2^ο :Κατασκευή του σταθμού και εγκατάσταση του εξοπλισμού

Στάδιο 3^ο:Το κυρίως παραγωγικό στάδιο

Στάδιο 4^ο:Παροπλισμός και αποξήλωση των εγκαταστάσεων

Σε όλα αυτά τα στάδια καθορίζονται τα απαιτούμενα υλικά, μέσα και διεργασίες που χρησιμοποιούνται καθώς και οι προκύπτουσες επιδράσεις από την εφαρμογή τους. Κατόπιν

γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης αυτών, ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα αφενός για τα απαιτούμενα μεγέθη καθώς και για την επίδραση καθενός από αυτά στο περιβάλλον.

Τελικός σκοπός είναι να αναχθούν όλες οι απαιτούμενες ποσότητες στην μονάδα κάθε υλικού ανά kWh, π.χ. tn σιδήρου ή m³ σκυροδέματος ανά kWh.

ΣΤΑΔΙΟ ΕΡΓΟΥ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Ερευνητικές Γεωτρήσεις και γεωτρήσεις παραγωγής	Χρήση γης
	Κατασκευή Δρόμων
	Υλικά γεωτρήσεων (τσιμέντο , άμμος ασάλι
	Καύσιμα
	Οδικές Μεταφορές
	Θαλάσσιες Μεταφορές
	Απόριψη χώματος και ορυκτών αποβλήτων
	Συνολικές εκπομπες στην Υδρόβια Ζωή
	Ορυκτά
Κατασκευή και Εγκατάσταση	Υλικά για Κατασκευή και Εγκατάσταση (Τσιμέντο , Ατσάλι , Χαλκός , Ηλεκτρικά Εξαρτήματα)
	Οδικές Μεταφορές
	Θαλάσσιες Μεταφορές
	Καύσιμα
	Λιπαντικά
Λειτουργία	Χρήση Νερού
	Απόρριψη Στέρεων Κατάλοιπων στο Έδαφος
	Απόρριψη Χλωρίου στην Θάλασσα
	Απόρριψη Θεικού Άλατος στην Θάλασσα
	Απόρριψη Αμμωνίας στην Θάλασσα
	Λοιπές Απορρίψεις στην Θάλασσα
	Εκπομπή διοξειδίου του Άνθρακα στην Ατμόσφαιρα
	Εκπομπή Υδρόθειου στην Ατμόσφαιρα
	Έκπομπή Μεθανίου στην Ατμόσφαιρα
	Περαιτέρω Γεωτρήσεις
Αποσυναρμολόγηση	Ανακύκλωση Μετάλλων
	Ανακύκλωση ορυκτών
	Ανακύκλωση πλαστικών
	Τσιμέντο για Φραγή Γεωτρήσεων
	Χαλίκι για Φραγή Γεωτρήσεων

Πίνακας 4.3-2:Σύνθεση των εισροών και εκροών για την εκτίμηση

Στη συνέχεια με ορισμένους δείκτες που υπάρχουν μπορεί να γίνει αναγωγή σε ισοδύναμη ποσότητα CO₂, που απελευθερώνεται στο περιβάλλον για την παραγωγή μιας κιλοβατώρας ηλεκτρικής ενέργειας.[10][11][12][13][14]

4.4 Εκπομπές ρύπων και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

4.4.1 Χρήση γης

Στη γενική αυτή κατηγορία αντιστοιχεί η χρήση της γης, οι αλλαγές τις αλλαγές στο τοπίο και τα φυσικά χαρακτηριστικά. Η επιφάνεια της γης είναι απαραίτητη κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής μιας μονάδας γεωθερμικής ενέργειας, και αυτό μπορεί να είναι διαχρονικά (κυρίως κατά την κατασκευή , την ποιοτική αποκατάσταση) ή μόνιμη (κυρίως κατά τη λειτουργία.

Γεωθερμικές μονάδες μπορούν να κατασκευάζονται έτσι ώστε να εναρμονίζονται με το περιβάλλον, ελαχιστοποιώντας το την απαιτούμενη χρήση της γης και συχνά επιτρέποντας δραστηριότητες όπως η γεωργία, το σκι και το κυνήγι για τα ίδια εδάφη. Επίσης οι αγωγοί που συνδέουν τη βάση των γεωθερμικών γεωτρήσεων με τη μονάδα παραγωγής ενέργειας, μπορεί να τοποθετηθούν υψηλότερα από το έδαφος, έτσι ώστε τα μικρά ζώα μπορούν να περιφέρονται ελεύθερα και να μπορεί να ανθίσει η τοπική βλάστηση. Γη μπορεί να διαταραχθεί, χωρίζεται σε μικρά αγροτεμάχια, αλλά δεν έχει χαθεί.

Δεδομένου ότι ένα μέρος της γης (εξερεύνηση, προετοιμασία του τόπου) χρησιμοποιείται μόνο προσωρινά, η μόνιμη χρήση της γης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης εκτιμάται ότι είναι μικρότερη, αν και δεν υπάρχουν ακριβή νούμερα.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τυπικές απαιτήσεις χρήσης γης ανά φάση εξέλιξης ενός γεωθερμικού σταθμού παραγωγής.

Μελέτη	
Γεωλογική Χαρτογράφηση	8,1-28,3
Γεωλογική Μελέτη	Αμελητέα
Βαρυτική και Μαγνητική έρευνα	
Σεισμική έρευνα	

Έρευνα Αντίστασης	
Μέτρηση Ρηχών Θερμοκρασιών	
Οδοποιία	4-24,3
Θερμοκρασίες Βαθμωτών Γεωτρήσεων	4
Έργα Γεωτρήσεων και Λειτουργία	206,4-1416,4
Γεωτρήσεις και Ανάπτυξη Πεδίου Γεωτρήσεων	20,2-202,3
Βελτιστοποίηση δρόμων και κατασκευών	16,2-129,5
Κατασκευή Γεωθερμικού Σταθμού	60,7-101,2
Εγκατάσταση εξοπλισμού πεδίου και Σωληνογραμμών από Γεωτρήσεις	20,2-80,9
Εγκατάσταση Γραμμών Μεταφοράς	97,1-971,3
Συντήρηση και Επισκευή Γεωτρήσεων	Αμελητέα

Πίνακας 4.4-1 :Χρήση γης ($\times 1000 \text{ m}^2$) κατά την ανάπτυξη γεωθερμικού σταθμού ισχύος 30-50 MW

Σύμφωνα με τα όρια που παρουσιάζονται στον πίνακα, εκτιμώνται ότι οι μέγιστες τιμές για το σύνολο των διαταραχών της γης είναι περίπου επτά φορές υψηλότερες από την ελάχιστη τιμή. Η εγκατάσταση των γραμμών μεταφοράς διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο σε αυτό, ενώ τα κτίρια του σταθμού καλύπτουν μόνο περίπου το ένα δέκατο του συνόλου του αποτυπώματος γης κατά μέσο όρο .[2][11]

4.4.2 Γεωλογικά Φαινόμενα

Η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας συνδέεται με την εκτεταμένη εξόρυξη ή την κυκλοφορία των ρευστών ή/και ατμού, καθώς μεγάλης κλίμακας τοπική διαχείριση του εδάφους και υπεδάφους. Κατά συνέπεια, μια σειρά από γεωλογικές επιπτώσεις εγκυμονούν τον κίνδυνο, συνήθως και τον μοναδικό για γεωθερμικές δραστηριότητες, όπως η πρόκληση σεισμών.

Τα απόκρημα ηφαιστειογενή εδάφη, όπου οι γεωθερμικές δραστηριότητες είναι εγκατεστημένες, είναι ένας κύριος παράγοντας και για τη συχνή εμφάνιση κατολισθήσεων.

Οι κατολισθήσεις μπορούν επίσης να διεγερθούν από την αλλαγή στην τοπική ροή νερού και θερμότητας, καθώς και όταν ενοποιημένα ιζήματα, όπως ελαφρόπετρα, αποσταθεροποιούνται.

Οι παραμορφώσεις του εδάφους συχνά παρατηρούνται ως συνέπεια της πτώση πίεσης του ταμιευτήρα μετά από την απομάκρυνση του ρευστού.

Οι καθιζήσεις επιτείνονται από συμπιεστούς γεωλογικούς σχηματισμούς πετρώματα στο ανώτερο μέρος ή πάνω από έναν ρηχό ταμιευτήρα, ο οποία στραγγίζεται και συμπιέζεται μετά πτώση της πίεσης των πόρων. Παρουσιάζονται πιο συχνά σε τομείς κυριαρχεί το υγρό, και που βρίσκονται συχνά σε νεαρά μη ενοποιημένα ηφαιστειακά πετρώματα. Οι καθιζήσεις μπορούν να μετριαστούν με την επανέγχυση χρησιμοποιημένων ρευστών.

Υπό εξαιρετικές συνθήκες, υδροθερμικές εκρήξεις και ανεξέλεγκτη ροή του υδροθερμικού ρευστού μπορεί να συμβεί, όταν μεγάλες μάζες ατμού αναπτυχθούν πάνω από την επιφάνεια υπογείων υδάτων ή λόγω ξαφνικής μείωσης της πίεσης των υπερκείμενων που προκαλείται για παράδειγμα από σεισμό.

Η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας συνήθως εστιάζεται σε γεωλογικά νέους και δραστήριους σχηματισμούς που αποτελούν, εύθραυστα και ευαίσθητα περιβάλλοντα, τα οποία συχνά είναι παρθένα και η πρόσβαση σε αυτά δύσκολη. Υπό αυτές τις συνθήκες, το απαιτούνται σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων, και ο κίνδυνος των γεωλογικών κινδύνων είναι μεγαλύτερη από ό, τι αλλού. Αυτοί οι κίνδυνοι όχι μόνο απειλούν τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις, αλλά και την τοπική βλάστηση και συχνά ιδιαίτερα οικοσυστήματα, καθώς και τις φυσικές υδρολογικές συνθήκες. [4][7][11]

4.4.3 Απορριπτόμενη Θερμότητα

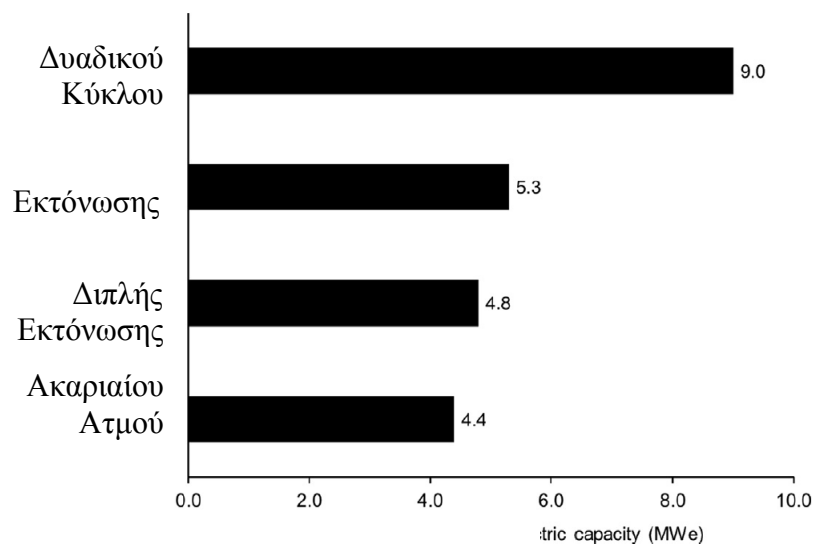
Όλα τα συστήματα μετατροπής της θερμικής ισχύος αποβάλλουν θερμότητα. Αυτό ισχύει για γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό της απορριπτόμενης θερμότητας στους γεωθερμικούς σταθμούς είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τους σταθμούς των άλλων (συμβατικών) τεχνολογιών καθότι ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης είναι

μικρότερος.

Το ποσοστό της θερμότητας η οποία απορρίπτεται εξαρτάται από τον τύπο του γεωθερμικού πεδίου (κυρίως από την θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού) και την τεχνολογία μετατροπής της θερμικής ενέργειας.

Όταν η απορριπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για σκοπούς άμεσης θέρμανσης π.χ. για να τροφοδοτήσει τα δίκτυα τηλεθέρμανσης), όχι μόνο η οικονομία του γεωθερμικού σταθμού αυξάνεται, αλλά προκύπτει και ένα σημαντικό όφελος λόγω της αποφυγής της διάθεσης της απορριπτόμενης θερμότητας στην παρακείμενη περιοχή.

Εξαιτίας του σημαντικά χαμηλότερου βαθμού απόδοσης των δυαδικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, αυτές απορρίπτουν συγκριτικά υψηλές ποσότητες θερμότητας, ενώ του ξηρού ατμού (direct steam) καθώς και του διφασικού υγρού (flash type) εκπέμπουν λιγότερη, όπως παρουσιάζεται και στην επόμενη εικόνα. [8][19]



Εικόνα 4.4-2 : Απορριπτόμενη θερμότητα (MWt), ανά μονάδα ηλεκτρικής ισχύος (MWe), για διαφορετικούς τύπους γεωθερμικών σταθμών

4.4.4 Χρήση και Κατανάλωση Νερού

Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής απαιτούν κατά την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους σημαντική ποσότητα νερού. Σε ένα συμβατικό σύστημα, προέρχεται από την γεωθερμική πηγή και επανεγχύεται πίσω στη δεξαμενή για τη διατήρηση της πίεσης της δεξαμενής και την πρόληψη της εξάντλησης της. Το νερό της βροχής καθώς και το λιώσιμο του χιονιού φροντίζουν για την φυσική αναπλήρωση του.

Η επανέγχυση κρατά το ορυκτό υφάλμυρο νερό που βρίσκεται σε γεωθερμικά συστήματα διαχωρισμένο από τα υπόγεια ύδατα και πηγές γλυκού νερού και έτσι αποφεύγεται η ανάμιξη τους. Τα φρέατα επανέγχυσης περιβάλλονται από πυκνές γεωτρήσεις από σωλήνα οι οποίες περιβάλλονται από τσιμέντο. Μόλις το νερό επιστρέφεται στο γεωθερμικό ταμιευτήρα, είναι αναθερμαίνεται με θερμά πετρώματα της Γης και μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Η κατανάλωση του νερού πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια κατά την ανάπτυξη της γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Πρώτον, απαιτείται στην κατασκευή όλων των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, ιδιαίτερα στην όρυξη των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής. Δεύτερον, για τις υπέργειες λειτουργίες του επιμέρους εξοπλισμού. Τρίτον, χρησιμοποιείται για την ψύξη των υγρών και υβριδικών συστημάτων. Τέταρτον, για άλλες χρήσεις όπως, την καταστολή της σκόνης, τον καθαρισμό, τη συντήρηση, και τις ιδιαίτερες ανάγκες σε νερό όλων των υποσυστημάτων.

Η χρήση του γλυκού νερού εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης, την εφαρμοζόμενη τεχνολογία, τις υπάρχουσες θερμοκρασίες εργασίας καθώς και από την τεχνολογία ψύξης.

Τα έργα γεωθερμικής ενέργειας χρειάζονται περισσότερο νερό (δηλ ρευστό) από τους συμβατικούς σταθμούς με ατμό, λόγω της χαμηλότερης απόδοσης μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητας (8-15%).

Σύμφωνα με τον επόμενο πίνακα, σε όλο τον κύκλο ζωής, οι σταθμοί εκτόνωσης (flash) καταναλώνουν 0,01 gal / kWh, οι δυαδικοί σταθμοί καταναλώνουν μεταξύ 0,08 και 0,271 gal / kWh και τα έργα EGS καταναλώνουν μεταξύ 0,3 και 0,73 gal / kWh.

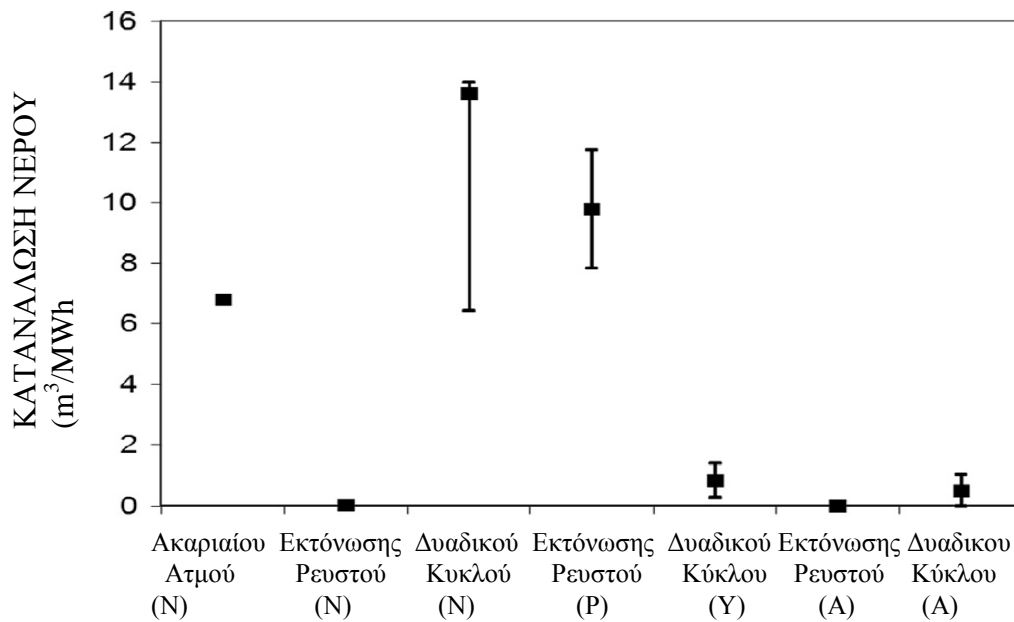
Σταθμός Παραγωγής	Παραγωγή Καυσίμου		Κατασκευή Σταθμού		Λειτουργία Σταθμού		Συνολικός Κύκλος	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Λιγνιτικός	0,98	-	-	-	0,02	4,54	0,98	5,53
Λιγνιτικός με Δέσμευση Άνθρακα	0,04	0,64	0,49	0,95	1,89	4,54	2,16	5,79
Πυρηνικός	0,53	-	-	-	0,53	3,22	1,06	3,75
Συμβατικός Φυσικού Αερίου	1,10	-	-	-	0,34	2,61	1,44	3,71
Συνδυασμένου Κύκλου Φθσικού Αερίου	0,83	-	-	-	0,08	0,19	0,91	3,48
Υδροηλεκτρικός	-	-	-	-	17,03	-	17,03	-
Ηλιοθερμικός	-	-	0,08	0,30	2,91	3,48	3,29	4,24
Φωτοβολταϊκός	-	-	0,23	0,06	0,02	0,08	0,26	0,72
Αιολικό Πάρκο	-	-	0,08	-	-	-	0,04	-
Γεωθερμικό EGS	-	-	0,04	-	1,10	2,73	1,14	2,76
Γεωθερμικό δυαδικού Κύκλου	-	-	-	-	0,30	1,02	0,30	1,03
Γεωθερμικό εκτόνωσης ρευστού	-	-	-	-	0,02	0,04	0,04	-
Βιομάζα	-	-	-	-	1,14	2,31	1,14	2,31

Πίνακας 4.4-3 :Συγκεντρωτική κατανάλωση νερού (lt/kwh) για τα διάφορα στάδια λειτουργίας σε διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα βελτιωμένα γεωθερμικά συστήματα (EGS) απαιτούν επιπλέον νερό για τη διέγερση και τον έλεγχο της ροής των γεωτρήσεων. Επιπλέον στα συστήματα EGS υπάρχει η τάση διαρροής του νερού σιγά-σιγά προς τον περιβάλλοντα σχηματισμό και το οποίο πρέπει να αντικατασταθεί μέσω συμπληρωματικής έγχυσης νερού για τη διατήρηση της απόδοσης του συστήματος.

Ένας κύριος καθοριστικός παράγοντας για τη χρήση και την κατανάλωση νερού είναι η τεχνολογία ψύξης. Η ποσότητα του απαιτούμενου νερού συνδέεται άμεσα με τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του γεωρευστού/ατμού.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η κατανάλωση νερού ανάλογα με τον τύπο του γεωθερμικού σταθμού και την τεχνολογία ψύξης.



Εικόνα 4.4-4 Σύγκριση της κατανάλωσης νερού κατά την λειτουργία για διαφορετικούς γεωθερμικούς σταθμούς και τεχνολογίες ψύξης (N: νερό, A: αέρας, P: γεωρευστό, Y: υβριδικό)

Αερόψυκτοι και υβριδικά ψυχόμενοι σταθμοί καταναλώνουν νερό σε ένα εύρος 0-1,5 m³ / MWh, Ψύξη με νερό επιφέρει αύξηση έως και 14 m³ /MWh.

Στους σταθμούς εκτόνωσης (flash), απαιτείται ψύξη του ατμού στην υγρή κατάσταση προκειμένου να γίνει η επανέγχυση. Περίπου 15-20% της ποσότητας του γεωθερμικού ρευστού απελευθερώνεται με την μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα μετά αναβοσβήνει με ατμό και εξάτμιση από πύργους ψύξης ή εκμετάλλευση λίμνες. Αυτό, ωστόσο, δεν είναι ζωτικής σημασίας για την κατανάλωση του γλυκού νερού του σταθμού, καθότι καμία πρόσθετη ποσότητα γλυκού νερού δεν απαιτείται ώστε να καλυφθεί το ισοζύγιο του νερού.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να κάνει χρήση των λυμάτων που θα μπορούσαν να βλάψουν τα επιφανειακά ύδατα. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι το συμπύκνωμα σε εγκαταστάσεις γεωθερμικής ενέργειας θα μπορούσε δυνητικά να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πόσιμου νερού, αλλά δεν έχει υπάρξει εφαρμογή μέχρι στιγμής. [2][4][5][8]

4.4.5 Θόρυβος και κοινωνικές επιπτώσεις

Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενδεχόμενες πηγές θορύβου είναι η κατασκευή του σταθμού, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την ανόρυξη των γεωτρήσεων, αυτές που προκύπτουν από τις εργασίες για τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου (π.χ. εγγειοβελτιωτικά έργα) καθώς και οι διεργασίες που εφαρμόζονται εντός του κτιρίου,

Ενώ ο θόρυβος από την κατασκευή και αποκατάσταση θεωρείται κανονικός, υψηλά επίπεδα θορύβου περίπου 120 dB (σε σίγαση περίπου 85 dB) αναφέρονται για γεωτρήσεις. Κατά τη διάρκεια και των δοκιμών, ατμός υψηλής πίεσης απελευθερώνεται μέσω ενός σιγαστήρα με τα επίπεδα θορύβου να φθάνουν τα 70-110 dB. Η σωρευτική επίδραση εξαρτάται από το συνολικό αριθμό των φρεατίων υπό δοκιμή, για χρονικές περιόδους οι οποίες είναι συνήθως αρκετοί μήνες.

Κατά την κατασκευή και αποξήλωση του έργου ο θόρυβος προκαλείται κυρίως από φορτηγά, μπουλντόζες, γκρέιντερ και γεραμούς για την εκτέλεση των χωματουργικών κυρίως έργων. Κατά το κανονικό στάδιο λειτουργίας, οι πύργοι ψύξης, και ο χώρος παραγωγής και μετασχηματισμού της ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι κύριες πηγές θορύβου. Οι υδρόψυκτοι παράγουν υψηλότερη στάθμη θορύβου από τους αερόψυκτους συμπυκνωτές.

Οι εκπομπές θορύβου είναι οι πιο έντονες κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης και της κατασκευής των φρεατίων των γεωτρήσεων. Δεδομένου ότι η εγκατάσταση των φρεατίων συχνά δεν τελειώνει όταν ξεκινά την παραγωγή, αλλά συνεχίζεται και κατά τη λειτουργία με τη συνεχή όρυξη νέων, ώστε να αυξηθεί ή να διατηρηθεί το επίπεδο παραγωγής, προβλήματα θορύβου ενδέχεται να είναι παρόντα σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός γεωθερμικού σταθμού.

Μια γενική εκτίμηση των κοινωνικών επιπτώσεων είναι σχεδόν αδύνατη. Η παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας συχνά συγκεντρώνεται σε περιοχές με εξαιρετικά τοπία, τα οποία

είναι τα τουριστικά αξιοθέατα με, θερμοπίδακες, ατμίδες κλπ, και είναι συχνά απομακρυσμένες και παρθένες.

Με την εξαφάνιση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας του εδάφους τα οποία έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της γεωθερμικής δραστηριότητας και τη βιομηχανική ανάπτυξη σε αυτές τις περιοχές, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος η να χαθεί τμήμα της γης με υψηλή κοινωνικής αξία.

Οι ιαματικές πηγές (κυρίως η ταχύτητα ροής τους) επηρεάζονται συχνά από τα φρέατα της παραγωγής του γεωθερμικού ρευστού. Συχνά, τα αποτελέσματα δεν είναι άμεσα καιγίνονται ορατά μόνο μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Μεγάλης κλίμακας υδρογεωλογικές επιπτώσεις από γεωθερμική παραγωγή ενέργειας μπορούν να μετριάσουν την παραγωγικότητα των ιαματικών πηγών. Ως εκ τούτου οι γεωθερμικοί σταθμοί βρίσκονται σε ανταγωνιστική θέση με τον τουριστικό τομέα.

Η παροχή ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές, και τη δημιουργία θέσεων εργασίας είναι τα θετικά αποτελέσματα. Οι τοπικές κοινότητες ωστόσο, συνήθως έχουν μόνο ένα οριακό άμεσο όφελος της απασχόλησης, δεδομένου ότι ως επί το πλείστον απαιτούνται ειδικευμένες τεχνικοί για την εξερεύνηση, τις όρυξη των γεωτρήσεων και τη λειτουργία της εγκατάστασης.

Αντίθετα, οι τομείς του λιανικού εμπορίου, της υγειονομικής περίθαλψης και της κοινωνικής πρόνοιας, των υπηρεσιών διαμονής και διατροφής, συχνά παρέχουν πιθανές νέες πηγές απασχόλησης για τις τοπικές κοινότητες.[8][11][13]

4.4.6 Στερεά απόβλητα, εκπομπές στο έδαφος και το νερό

Στα υδροθερμικά συστήματα γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας οι εξαγόμενα όγκοι των γεωθερμικών ρευστών και των αποβλήτων που θα προκύψουν μπορεί να είναι σημαντικά μεγάλα. Τα γεωθερμικά ρευστά μπορεί να προκύψουν σε μεγάλες ποσότητες.

Αυτά στην ιδανική περίπτωση επανεγγύονται πλήρως. Για τεχνικούς ή οικονομικούς λόγους, αυτό συχνά δεν γίνεται και συνεπώς απαιτείται επεξεργασία πριν από την απόρριψη τους σε επιφανειακά ύδατα.

Η σύσταση των γεωθερμικών ρευστών είναι ποικίλη, με πολλά ειδικά συστατικά και συνθέσεις ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες, τον τρόπο παραγωγής, το χρόνο και την τεχνολογία.

Ο ανεπαρκής έλεγχος της απόρριψης των γεωθερμικών ρευστών, προκαλεί σοβαρά τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδιαίτερα όταν η απόρριψη περιλαμβάνει πολύ επιβλαβείς ενώσεις, όπως υδράργυρο και αρσενικό.

Γενικά, η συνολική ποσότητα των στερεών αποβλήτων θεωρείται μικρή και δεν προκύπτει περιβαλλοντική ανησυχία που να σχετίζεται με την απόρριψη τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι από τα στερεά απόβλητα υπάρχουν και οφέλη. Η εξόρυξη μετάλλων και ορυκτών ως παραπροϊόντα μπορεί να είναι κερδοφόρα κατά τη διάρκεια της γεωθερμικής εξαγωγή ενέργειας. Η ύπαρξη τους και η εξόρυξη τους εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις που υπάρχουν στο γεωθερμικό ρευστό καθώς και αν αυτές είναι εκμεταλλεύσιμες. [11][12][19]

4.4.7 Ατμοσφαιρικές Εκπομπές

Τα γεωθερμικά συστήματα συχνά βρίσκονται σε ηφαιστειακές περιοχές ή άλλες περιοχές υψηλής ροής CO₂ εξαιτίας της μαγματικής προέλευσης αλλά επίσης μπορεί να προέρχεται από την μεταμόρφωση των θαλάσσιων ανθρακικών πετρωμάτων των οποίων τα υπόγεια ύδατα είναι επίσης συχνά πλούσια σε διαλυμένο CO₂.

Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, παρουσιάζονται εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων οι οποίες προκύπτουν από τη λειτουργία μηχανών εσωτερικής καύσης οι οποίες σχετίζονται με τις μεταφορές, τη διάνοιξη οδών,

φρεάτων και εν γένει την κατασκευή όλου του έργου, αλλά και από την παρουσία αερίων στοιχείων και ιδιαίτερα του CO₂ στο γεωρευστό. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εκπομπές καυσαερίων είναι σχετικά μικρές σε σύγκριση με τις διάχυτες εκπομπές που προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία.

Αν γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται επιπλέον και για την ψύξη, τότε δυνητικά μπορεί να απελευθερωθούν επιπλέον ποσότητες από επικίνδυνες ουσίες.

Σταθμοί οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω ξηρού ατμού ή από την εκτόνωση του ρευστού σε ατμό (flash) απελευθερώνουν μη συμπυκνωμένα αέρια στην ατμόσφαιρα καθότι στον ατμό μπορεί να περιέχεται σημαντική ποσότητα επί τοις εκατό κατά βάρος. Σε αυτούς τους σταθμούς τα αέρια που περιέχονται στους ταμιευτήρες διέρχονται μέσω του στροβίλου μαζί με τον ατμό, αλλά σε αντίθεση με αυτόν, δεν συμπυκνώνονται στην έξοδο του στροβίλου, αλλά απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αφού διέλθουν από ένα σύστημα απομάκρυνσης του περιεχόμενου H₂S.

Σε αντίθεση, τα δυαδικά συστήματα παραγωγής δεν απελευθερώνουν κανένα μη συμπυκνώσιμο αέριο, επειδή τα γεωθερμικά ρευστά δεν εκτίθενται στην ατμόσφαιρα με συνέπεια να μην υπάρχουν απώλειες προς αυτήν.

Η ποσότητα των μη συμπυκνωμένων αερίων που εκπέμπονται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής: ξηρός ατμός ή υγρό, η σύνθεση του και η θερμοκρασία του ρευστού
- μέθοδος παραγωγής (flash, δυαδικά, ή συνδυασμένου κύκλου),
- τα χαρακτηριστικά του σταθμού :αποτελεσματικότητα, εξοπλισμού μείωσης των εκπομπών H₂S.
- η κατάσταση λειτουργίας των γεωθερμικών πεδίων (παραγωγικά ή μη παραγωγικά)

Πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει σπανιότητα στη βιβλιογραφία για τιμές που αφορούν τις εκπομπές, καθώς και ότι συνήθως αυτές αφορούν μελέτες περίπτωσης (case study).

Στοιχείο	Μ.Μέτρησης	Εύρος Τιμών		Μέση Τιμή
H ₂ S	(g/kWh)	0,085	7	0,1
SO ₂	(g/kWh)	0,00001	0,16	0,001
CO ₂	(g/kWh)	4	740	122
CH ₄	(g/kWh)	0,75	0,85	0,8
NH ₃		-	-	0,6
NO _x		-	-	Αμελητέο
B,Hg κ.ά.		-	-	Αμελητέο

Πίνακας 4.4-1 : Ατμοσφαιρικές εκπομπές από γεωθερμικούς σταθμούς(τα εύρη αναφέρονται στην βιβλιογραφία και εκτιμώμενες μέσες τιμές

Περαιτέρω ανάλυση για τις εκπομπές αερίων γίνεται στο κεφάλαιο που αναφέρεται στο αποτύπωμα άνθρακα.

4.4.8 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα

Μια αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα είναι δυσχερής, διότι οι γενικοί δείκτες που εφαρμόζονται δύσκολα μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με την λιγοστές διαθέσιμες πληροφορίες. Τα γεωθερμικά περιβάλλοντα, με τα εγγενή είδη τους και πληθυσμούς φυτών, ζώων και μικροοργανισμών καθώς και τα οικοσυστήματα στα οποία βρίσκονται, θεωρούνται εύθραυστα και ευαίσθητα.

Έτσι αν και η παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία καλύπτει μόνο ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής παγκόσμια, οι τοπικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα μπορεί να είναι σημαντικές.[7][11][14]

4.5 Ανθρακικό αποτύπωμα

4.5.1 Εισαγωγή

Το ανθρακικό αποτύπωμα υπολογίζει το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα από μία δραστηριότητα, είτε συσσωρεύεται κατά τα στάδια ζωής ενός προϊόντος από ένα άτομο, οργανισμό, εκδήλωση ή προϊόν.

Το Ανθρακικό Αποτύπωμα ενός Προϊόντος είναι το συνολικό διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία εκπέμπονται κατά τη διάρκεια ζωής (κύκλο ζωής) του προϊόντος. Περιλαμβάνει επίσης τις εκπομπές που προκαλούνται από τη μεταφορά του προϊόντος κατά τη διανομή του στα σημεία πώλησης καθώς και της απόρριψης της συσκευασίας από τον τελικό καταναλωτή. Ουσιαστικά το ανθρακικό αποτύπωμα είναι μια ανάλυση κύκλου ζωής που περιορίζεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Το αποτύπωμα λαμβάνει υπόψη και τα έξι αέρια του θερμοκηπίου του Πρωτοκόλλου του Κυότο: Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), Μεθάνιο (CH_4), Μονοξείδιο του Αζώτου (N_2O), Υδροφθοράνθρακες (HFCs), Υπερφθοράνθρακες (PFCs) και Εξαφθοριούχο θείο (SF_6).

Ένα ανθρακικό αποτύπωμα μετριέται σε τόννους ισοδυνάμου του διοξειδίου του άνθρακα (tCO_2e). Το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2e) επιτρέπει τα διαφορετικά αέρια του θερμοκηπίου να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους σε μια βάση υπολογισμού η οποία ως μονάδα μέτρησης έχει τη μια μονάδα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).

Το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε τις εκπομπές καθενός από τα έξι αέρια του θερμοκηπίου με το Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη εντός συγκεκριμένης περιόδου (global warming potential). Το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη ορίζεται ως ένας δείκτης που μας δείχνει τη σχετική συνεισφορά ενός αερίου του θερμοκηπίου στην κλιματική αλλαγή, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπως 100 χρόνια. Για την απλοποίηση των εκθέσεων υπολογισμού, εκφράζεται σε όρους συνολικού

βάρους διοξειδίου του άνθρακα ή του ισοδυνάμου του και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον.[9][10][11][12]

4.5.2 Βιβλιογραφική διερεύνηση του αποτυπώματος άνθρακα σε γεωθερμικούς σταθμούς

Εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι εξαιρετικά δύσκολη η αποτίμηση του ανθρακικού αποτυπώματος λόγω των πολλών μεταβλητών που εισέρχονται, υπάρχουν λίγες μελέτες οι οποίες ποσοτικοποιούν τα αποτελέσματα. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν π.χ. αναλύσουμε την εγκατάσταση ενός μέτρου σιδηροσωλήνα γεωτρήσεων. Για να υπολογιστεί το αποτύπωμα άνθρακα, θα πρέπει να εκτιμηθούν οι ποσότητες CO₂ που αφορούν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του, δηλ. εξόρυξη μεταφορά και εμπλουτισμός του μεταλλεύματος, εξαγωγή του σιδήρου μεταφορά σε βιομηχανία παραγωγής μεταλλικών σωλήνων, μεταφορά στο έργο, τοποθέτηση, απαιτούμενα εξαρτήματα σύνδεσης, αποξήλωση στο τέλος της ζωής του έργου, μεταφορά προς απόρριψη (ανακύκλωση) κλπ

Κυρίως είναι μελέτες περίπτωσης ή ανάπτυξης μοντέλων υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος και σύγκριση των αποτελεσμάτων με την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

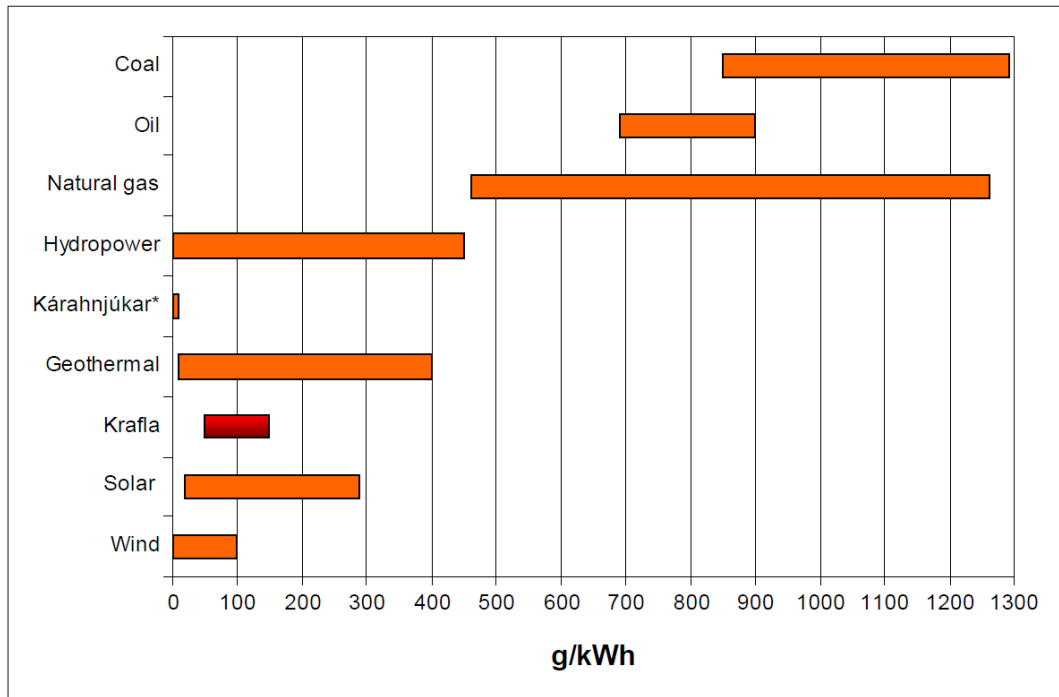
Στα επόμενα παρουσιάζονται μελέτες εκτιμήσεις του ανθρακικού αποτυπώματος από διάφορους ερευνητές.

Ο Ármansson [1] παρουσιάζει τις εκπομπές CO₂ και S εκφρασμένο ως SO₂ από τους μεγαλύτερους γεωθερμικούς σταθμούς της Ισλανδίας.

Σταθμός	Παραγωγή Ενέργειας Μόνο		Συνολική Παραγωγή	
	CO ₂ (gr/kWh)	S as SO ₂ (gr/kWh)	CO ₂ (gr/kWh)	S as SO ₂ (gr/kWh)
Krafla	152	23	152	23
Svartsengi	181	5	74	2
Nesjavellir	26	21	10	8

Πίνακας 4.5-1 : Παραγόμενο CO₂ και SO₂(gr/kWh) σε γεωθερμικούς σταθμούς της Ισλανδίας

Λαμβάνοντας δεδομένα από την international Geothermal Association (2002) παρουσιάζει στο επόμενο σχήμα τις εκπομπές CO₂ ανά kWh, από διάφορους τύπους ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών. Παρατηρούνται οι σχετικά μικρές εκπομπές (έως 400 gr CO₂ /kWh) σε σχέση με τους λιγνιτικούς οι οποίοι φθάνουν τα 1300 gr CO₂ /kWh .



Σχήμα 4.5-1 :Παραγόμενο ανά Τύπο CO₂ (gr/kWh) Ηλεκτροπαραγωγικού Σταθμού

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο επόμενος πίνακας, στον οποίον κατηγοριοποιούνται οι εκπομπές CO₂ ανάλογα με τη δυναμικότητα του σταθμού. Παρατηρείται μια γενική μείωση των εκπομπών με την αύξηση της δυναμικότητας του σταθμού.

Εκπομπές (g/kWh)	Εγκ. Ισχύς MWe	Μέση τιμή (g/kWh)
>500	197	603
400-499	81	419
300-399	207	330
250-299	782	283
200-249	346	216
150-199	176	159
100-149	658	121
50-99	1867	71
<50	2334	24

Πίνακας 4.5-2 :Κατηγοριοποίηση ανάλογα με τη δυναμικότητα του σταθμού

Ο Hondo [8] ανέπτυξε ένα μοντέλο υπολογισμού των εκπομπών στη διάρκεια κύκλου ζωής σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στον επόμενο πίνακα φαίνεται η κατανομή των εκπομπών CO₂ κατά την κατασκευή και λειτουργία ενός γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μεγαλύτερο ποσοστό παρατηρείται κατά την λειτουργία του σταθμού (64,7%), σε σχέση με την κατασκευή (35,3%). Το μοντέλο αυτό αφορά ένα σταθμό διπλής εκτόνωσης, με διάρκεια ζωής 30 χρόνια, με πέντε εξερευνητικά φρέατα, δεκατέσσερα παραγωγικά και επτά φρέατα επανέγχυσης, ενώ έχουν ληφθεί υπόψη οι αστοχίες των γεωτρήσεων καθώς και η όρυξη ενός παραγωγικού φρέατος κάθε χρόνο και ενός φρέατος.

	g-CO ₂ /kWh	Ποσοστό %
Κατασκευή	5,3	35,3
Θεμελίωση	2	13,2
Μηχανικά Εξαρτήματα	3,2	21,2
Έρευνα Πεδίου	0,1	0,9
Λειτουργία	9,7	64,7
Επιπλέον Γεωτρήσεις	2,9	19,6
Γενική συντήρηση	2,3	15,1
Αλλαγή Εξαρτημάτων	4,5	30
Σύνολο	15	100

Πίνακας 4.5-3 :Παραγόμενο CO₂ (gr/kWh) από σταθμό διπλής εκτόνωσης

Η Marchand *et al*, [2] ανέπτυξαν ένα παραμετρικό μοντέλο για συμβατικά γεωθερμικά συστήματα που παρουσιάζουν θερμοκρασιακό εύρος στον ταμιευτήρα 230° -300° C. Προσδιορίζεται ότι το 90% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου παράγεται στη φάση της λειτουργίας και κυρίως από τις διαρροές του CO₂ και CH₄.

Τα τρία σενάρια αξιολογούνται μέσω μιας πολυκριτηριακής προσέγγισης χρησιμοποιώντας μια ποικιλία των περιβαλλοντικών δεικτών κύκλου ζωής, όπως την κλιματική αλλαγή, την κατανάλωση νερού, ευτροφισμός, τη χρήση γης, την

οικοτοξικότητα , τη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας, όξυνση και τοξικότητα στον άνθρωπο. Αυτοί οι περιβαλλοντικοί δείκτες αξιολογούνται σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των σταθμών : τις γεωτρήσεις , την κατασκευή και εγκατάσταση του εξοπλισμού επιφάνειας, τη λειτουργία, και το τέλος ζωής (παροπλισμού).

Το πρώτο (βασικό) σενάριο αντιπροσωπεύει το γεωθερμικό σταθμό του Bouillante (καραιβική), για τον οποίο υπάρχουν μετρήσεις 30 ετών. Ο σταθμός αυτός παρουσιάζει μερικά ασυνήθιστα διαμορφώσεις του σχεδιασμού που σχετίζονται με σχετικά παλιά κατασκευή του : χρήση θαλασσινού νερού σύστημα ψύξης και απουσία επανέγχυσης του γεωθερμικών ρευστού.

Με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση πιο σύγχρονης τεχνολογίας αναπτύσσονται δύο ακόμα σενάρια: στο ένα η ψύξη γίνεται με πύργο ψύξης ενώ στο άλλο με αερόψυκτο συμπυκνωτή.

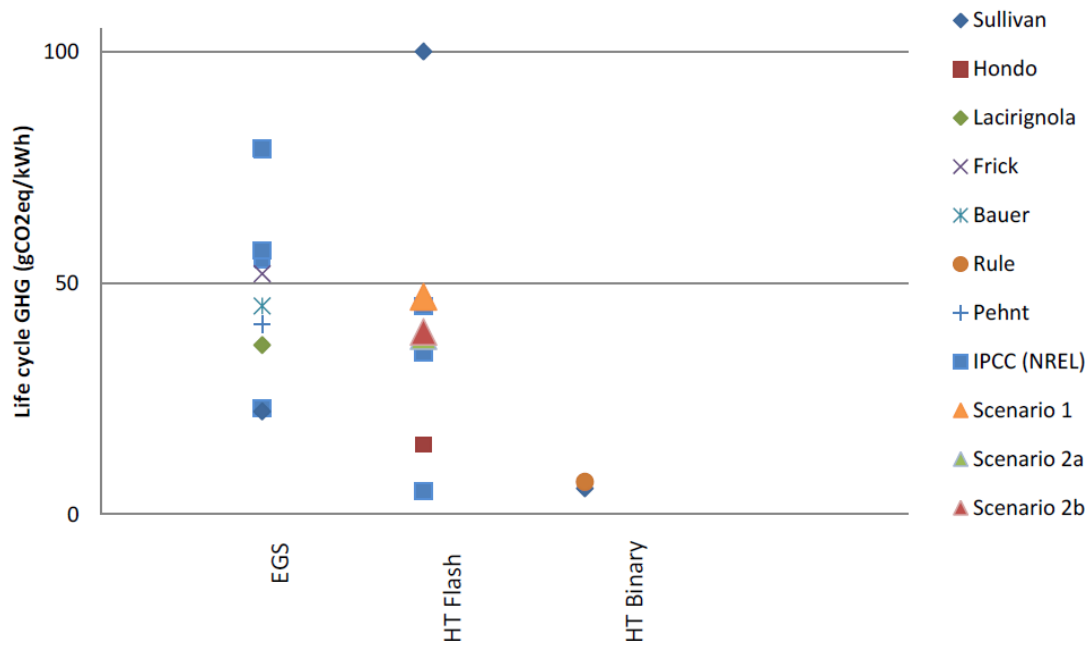
Λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο ζωής στο σύνολό της, η φάση κατασκευής και εγκατάστασης σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη μεγαλύτερη επίδραση όλων των επιπτώσεων στις κατηγορίες αξιολόγησης.

Η σύγκριση των τριών σεναρίων επιτρέπει την ταυτοποίηση των περιβαλλοντικών οφελών του συστήματος με επανεισαγωγή του γεωρευστού, παρά την ανάγκη γεώτρησης συμπληρωματικών φρεατίων επανέγχυσης. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανηγμένες σε CO₂, με αυτές που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

Οι τιμές κυμαίνονται από 22 gCO_{2eq}/kWh σε 80 gCO_{2eq}/kWh για σταθμούς EGS και από 5 gCO_{2eq}/kWh έως 100 gCO_{2eq}/kWh για την τεχνολογία flash, ενώ λίγα γραμμάρια CO_{2eq}/kWh εκτιμώνται για τους σταθμούς δυαδικής τεχνολογίας.

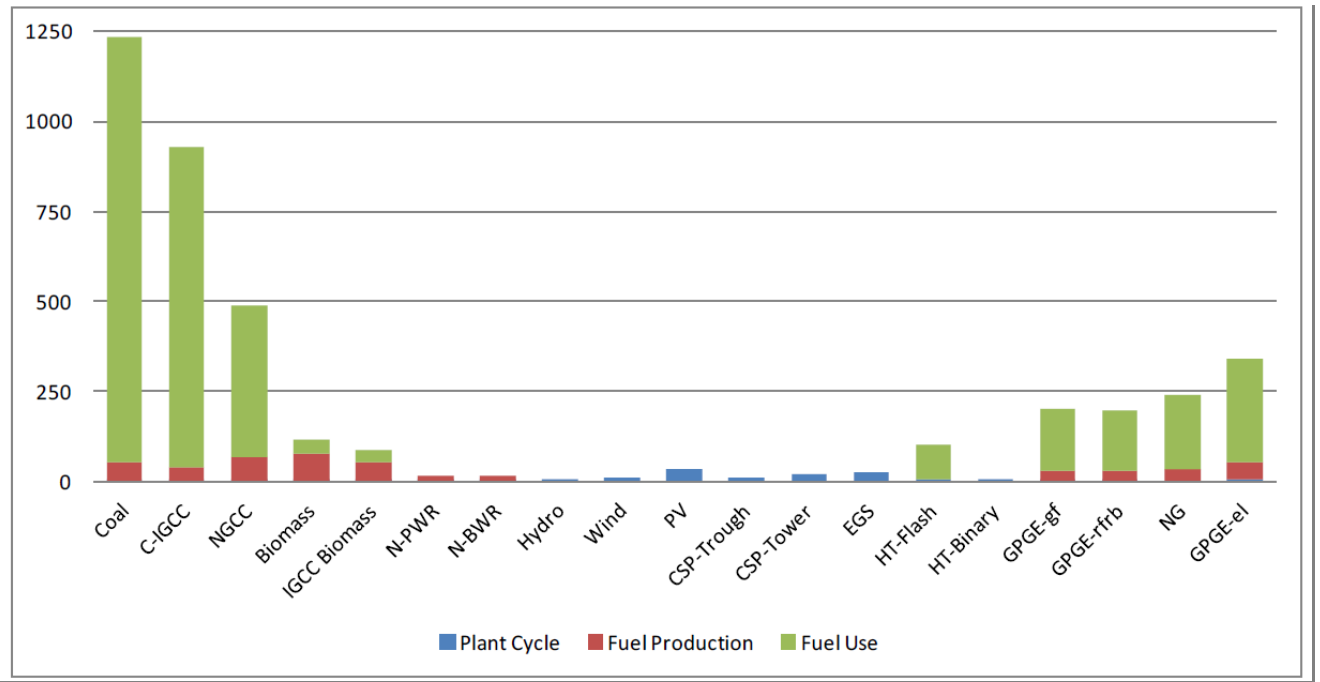
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθώς και η σύγκριση των σεναρίων με άλλου είδους μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μονάδες ορυκτών καυσίμων παράγουν πολύ περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου ανά kWh από ανανεώσιμες πηγές , τα υβριδικά και εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας.



Πίνακας 4.5-4 : Σύγκριση Παραγόμενο CO₂eq(gr/KWh) του Μοντέλου Με την Βιβλιογραφία

Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα ως υβριδική τεχνολογία , έχουν ένα υψηλότερο ποσοστό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από ό, τι εκείνες για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας , αν και τα ποσοστά αυτά είναι και πάλι πολύ μικρότερα σε σύγκριση με εκείνα που προέρχονται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων.[1][2][8]



Σχήμα 4.5-2 : Αέρια του θερμοκηπίου που παράγονται στον κύκλο ζωής για διάφορες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ”

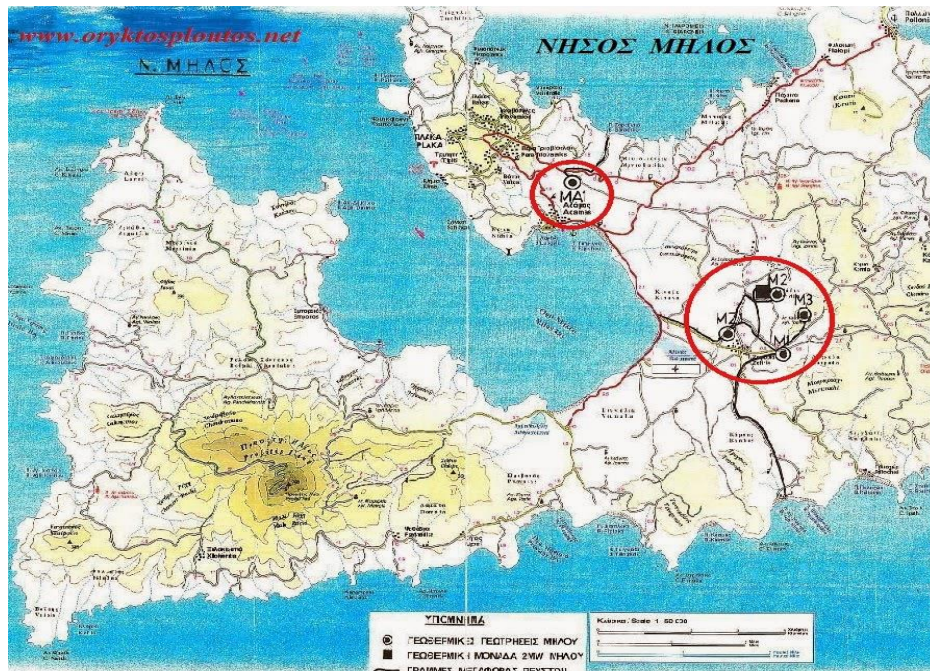
5.1 Εισαγωγή

Τα νησιά του Αιγαίου και κυρίως αυτά που βρίσκονται στην περιοχή του ηφαιστειακού τόξου του Ν. Αιγαίου παρουσιάζουν άμεσο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Σε μερικά από αυτά έχουν εντοπιστεί γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας και τα πιο αξιόλογα πεδία υψηλής ενθαλπίας.

5.2 Ηφαιστειακό τόξο Νοτίου Αιγαίου

Βόρεια της επαφής των λιθοσφαιρικών πλακών και σε απόσταση 200 Km δημιουργείται το ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου. Το τόξο αυτό καλύπτεται από δυο ηφαιστειακές γραμμές εύρους 30–40 Km και μήκους 500 Km.[15]

5.2.1 Μήλος



Εικόνα 5.2-1 :Γεωτρήσεις στο Νησί της Μήλου

Η Μήλος είναι από τα πρώτα και πιο χαρακτηριστικά νησιά του ηφαιστειακού τόξου του Ν. Αιγαίου που προκάλεσε το γεωθερμικό ενδιαφέρον από το 1970. Γεωλογικά η περιοχή ανήκει στην Αττικοκυκλαδική μάζα της Πελαγονικής ζώνης με μεταμορφωμένο υπόβαθρο (φλυσχοειδείς σχηματισμοί με οφιόλιθους) πάνω στο οποίο έχει αποθεθεί ασβεσταλκαλικής σύστασης με ηφαιστειακά προϊόντα (κυριαρχούν οι ρυόλιθοι , οι ανδεσίτες και οι δακίτες) κατά το Αν. Πλειόκαινο.

Με την άνοδο και τον εγκλωβισμό του το μάγμα σε μικρά βάθη (της τάξης των 5 Km) μέσα στο υπόβαθρο δημιούργησε μια υψηλή γεωθερμική ανωμαλία στην περιοχή, που επιβεβαιώνεται από την έκταση και το μέγεθος των υδροθερμικών εκρήξεων και εξαλλοιώσεων. Η αξιολόγηση των υδροθερμικών ορυκτών των ξενολίθων, που βρίσκονται στις αποθέσεις των φρεατομαγματικών εκρήξεων, οδήγησε γεωλογικά στην πρόβλεψη υψηλών θερμοκρασιών στον ταμιευτήρα, που επιβεβαιώθηκε από τις γεωτρήσεις.

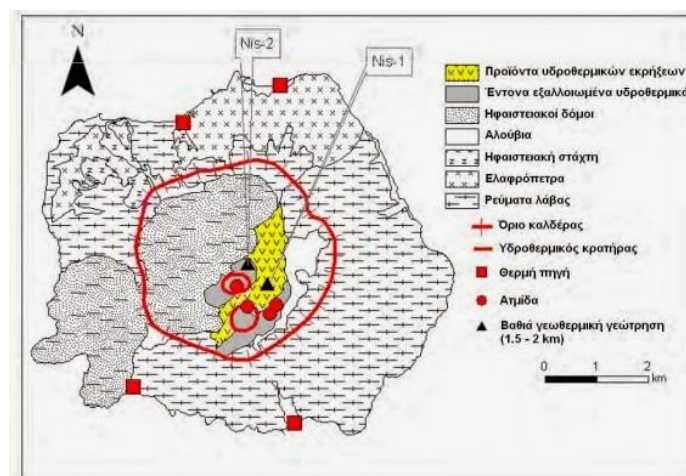
Κατά την γεωθερμική ερευνά το 1971-73 και με την εκτέλεση γεωτρήσεων θερμοβαθμίδας σε βάθη 60-80 m εντοπιστήκαν στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού περιοχές με θερμική ροή μέχρι 20 φορές μεγαλύτερη της κανονικής. Επίσης οι επιφανειακές θερμές

εκδηλώσεις στο νησί είναι πολλές και χαρακτηριστικές (ζεστά εδάφη – 100 C , πηγές – 75 C, ατμίδες -102 C). Η τεκτονική στο νησί είναι έντονη με ρήγματα διευθύνσεων ΒΔ-ΝΑ, Α-Δ και Β-Ν, ειδικά δε κατά το Τεταρτογενές δημιουργήθηκαν τεκτονικά κέρατα και τάφροι. Η ρηγματογενής τεκτονική του υπόβαθρου δημιούργησε κατάλληλες προϋποθέσεις για την ύπαρξη ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα αυξημένης περατότητας σε μικρά βάθη (>500 m), ενώ η υδροθερμική στεγανοποίηση των ηφαιστειτών δημιούργησε το απαιτούμενο στεγανό κάλυμμα.

Η εκτέλεση για λογαριασμό της ΔΕΗ πέντε ερευνητικών –παραγωγικών γεωτρήσεων (1974-81) σε βάθη 1000-1400 m (κυρίως στην περιοχή της Ζεφυρίας) επιβεβαίωσε την ύπαρξη ενός πολύ αξιόλογου γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες των ρευστών του ταμιευτήρα που φθάνουν τους 320 °C. Οι εκτιμήσεις για το δυναμικό του πεδίου (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) υπερβαίνουν τα 120 MWe.

Τα κοντινά νησιά Πολύαιγος, Κίμωλος και Αντίμηλος παρουσιάζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον και για υψηλή ενθαλπία. Στη Κίμωλο ήδη με την εκτέλεση αβαθών γεωτρήσεων έχουν εντοπιστεί γεωθερμικά ρευστά (60 °C).[15][20]

5.2.2 Νίσυρος



Εικόνα 5.2-2 :Γεωτρήσεις στο Νησί της Νισύρου

Η Νίσυρος, όπως και η Μήλος, ανήκουν στα νησιά με υψηλή θερμική ροή στο ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου. Ήδη μετά το 1980 με την εκτέλεση δύο ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων (για τη ΔΕΗ) σε βάθη 1550 και 1820 m εντοπιστήκαν γεωθερμικά ρευστά άνω των 350 °C, ικανά να παράγουν τουλάχιστον 5 MWe, όμως οι δυνατότητες του πεδίου εκτιμούνται πολύ μεγαλύτερες, της τάξης των 50 MWe. Επίσης τα κοντινά νησιά, όπως το Γυαλί, παρουσιάζουν εξίσου γεωθερμικό ενδιαφέρον.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της Νισύρου αποτελείται από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους πάνω στους οποίους έχουν αποθεθεί ασβεσταλκαλικής σύστασης ηφαιστειακά προϊόντα κατά το Πλειστόκαινο. Η δημιουργία της καλδέρας έγινε αργότερα με την καταστροφή του ηφαιστειακού κώνου. Κατά την άνοδο του το μάγμα εγκλωβίστηκε σε σχετικά μικρό βάθος της τάξης των 5 Km δημιουργώντας ένα μαγματικό θάλαμο μέσα στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο μεγάλης θερμικής ενέργειας με αποτέλεσμα την ύπαρξη έντονης γεωθερμικής ανωμαλίας, που επιβεβαιώνεται από τις τελευταίες φρεατομαγματικές και υδροθερμικές εκρήξεις. Στα ηφαιστειακά υλικά της Νισύρου κυριαρχούν οι ρυόλιθοι και οι δακίτες. Η αξιολόγηση των υδροθερμικών ορυκτών των φρεατομαγματικών εκρήξεων οδήγησε γεωλογικά στην πρόβλεψη του γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας της Νισύρου στην περιοχή της καλδέρας (διαμέτρου 4 Km) με πιθανότητα εντοπισμού ταμιευτήρα με ρευστά άνω των 200 °C, που επιβεβαιώθηκε με τις γεωτρήσεις. Η ύπαρξη δύο μεγάλων ρηγμάτων με διευθύνσεις B150A έως B170A και B50A έως B70A επηρεάζουν την εφελκυστική τεκτονική δομή της Νισύρου και την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών. [15][20]

5.3 Σαντορίνη

Η Σαντορίνη ανήκει σε περιοχή ενεργού ηφαιστειότητας, όπου οι μέχρι τώρα ερευνητικές γεωτρητικές εργασίες οριοθέτησαν θέσεις για την εκτέλεση βαθιών γεωτρήσεων με

πιθανότητα ανεύρεσης γεωθερμικών ρευστών μέσης και υψηλής ενθαλπίας.

Γεωλογικά η περιοχή ανήκει στο ΝΑ κράσπεδο της Αττικοκυκλαδικής μάζας με μεταμορφωμένο σχιστολιθικό υπόβαθρο, ενώ ιζηματογενείς ορίζοντες εμφανίζονται πάνω σε πυροκλαστικά υλικά, που είναι μερικώς εξαλλοιωμένοι. Κατά το Τεταρτογενές έχουμε την εμφάνιση ηφαιστειακής δράσης με τη δημιουργία της καλδέρας. Η ύπαρξη μιας μαγματικής εστίας σε μικρό βάθος λειτουργεί ως μία αξιόλογη πηγή υψηλής θερμότητας. Η τεκτονική στο νησί λόγω ηφαιστειακής δράσης είναι έντονη με περιμετρικής και ακτινωτής μορφής ρήγματα. Στα ευρύτερης έκτασης ρήγματα και κατά τη διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ υπάρχουν τα ηφαιστειακά κέντρα του νησιού. Η περατότητα των πετρωμάτων του υπόβαθρου (σχιστόλιθοι) είναι μικρή, όμως η παρεμβολή ασβεστολιθικών σχηματισμών και η έντονη τεκτονική πιθανόν να εξασφαλίζει μία δευτερογενή περατότητα. Οι επιφανειακοί σχηματισμοί δε προσφέρονται ιδιαίτερα στο ρόλο ενός στεγανού καλύμματος. Οι επιφανειακές θερμές εκδηλώσεις είναι λίγες και εντοπίζονται κυρίως κατά μήκος των ρηγμάτων του υπόβαθρου.

Η εκτέλεση αρκετών γεωτρήσεων θερμοβαθμίδας βάθους 150-180 m οριοθέτησε μία ζώνη γεωθερμικού ενδιαφέροντος στη νότια περιοχή του νησιού (40-50 °C).[15][20]

5.3.1 Άλλα νησιά

Υπάρχουν όμως και μερικά άλλα νησιά που ανήκουν στο ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου, όπου η ύπαρξη θερμών πηγών με υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη γεωτεκτονική τους δομή προκαλούν το άμεσο ερευνητικό ενδιαφέρον, όπως η Κως (46 °C), η Κάλυμνος (37 °C), η Κύθνος(52 °C), η Αίγινα κλπ.[15]

5.4 Νησιά κεντρικού και βορείου Αιγαίου

Η περιοχή βόρεια του ηφαιστειακού τόξου του Ν. Αιγαίου (κεντρικό και βόρειο Αιγαίο) σε απόσταση 200 Km δημιουργεί εφελκυστικού τύπου τεκτονική με μεγάλα βαθιά ρήγματα, που είναι προέκταση του τεράστιου ρήματος της Ανατολίας. Το ρήγμα αυτό εμφανίστηκε κατά το Αν. Μειόκαινο, οπότε ενεργοποιήθηκε πάλι ο χώρος των τεκτονικών βυθισμάτων με συνέπεια τη συγκέντρωση θερμικής ενέργειας και τη δημιουργία κυρίως γεωθερμικών πεδίων χαμηλής και πιθανόν μέσης ενθαλπίας.

5.4.1 Λέσβος

Η Λέσβος χαρακτηρίζεται από έντονο γεωθερμικό ενδιαφέρον για τον εντοπισμό ρευστών χαμηλής αλλά και μέσης ενθαλπίας, όπου τα μεγάλα ενεργά ρήγματα Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ, κυρίως στο τμήμα με τα πετρώματα καινοζωικής ηφαιστειότητας, δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις. Γεωλογικά στο ΝΔ τμήμα του νησιού το υπόβαθρο αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (ανθρακικά, οφιόλιθοι) και στο υπόλοιπο τμήμα από κάτω Μειοκαινικά πετρώματα καινοζωικής ηφαιστειότητας. Ήδη η μέχρι τώρα έρευνα έχει οριοθετήσει τρεις αξιόλογες περιοχές Πολυχνίτος, Στύψη και Άργενος με υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 90 °C) και αποδόσεις (>150m³/h) σε μικρά βάθη. Επίσης η ύπαρξη πλήθους ζεστών πηγών επιβεβαιώνει το γεωθερμικό ενδιαφέρον στην περιοχή, όπως του Λισοβρίου (69°C), του Κόλπου Γέρας (39 °C), της Θέρμης (47 °C), της Ευθαλούς (46 °C), κλπ.[15]

5.4.2 Χίος

Η περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος βρίσκεται στο νοτιοανατολικό (Νένητα) και στο ανατολικό (Θυμιανά) τμήμα της νήσου Χίου. Γεωλογικά η περιοχή ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, είναι μία νεογενής ιζηματογενής λεκάνη, όπου το υπόβαθρο αποτελείται από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες. Η ύπαρξη μεγάλων τεκτονικών διαρρήξεων

(εφελκυστική τεκτονική) με διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ ευνοεί την κυκλοφορία γεωθερμικών ρευστών στους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους. Η γεωθερμική βαθμίδα σε μερικές θέσεις είναι 7πλάσια της κανονικής. Από τη μέχρι τώρα γεωτρητική έρευνα, στην περιοχή Νένητα εντοπίστηκε μια έκταση 24 Km² γεωθερμικού ενδιαφέροντος με θερμοκρασίες μέχρι 83 °C σε βάθη 300-400 m. Τα γεωθερμικά ρευστά ανήκουν στην κατηγορία των χλωριονατριούχων με αυξημένες ποσότητες διαλυμένων αλάτων (DTS), που φθάνου μέχρι και τα 60-7- g/lit. Οι πρώτες δοκιμές άντλησης σε ερευνητικές-παραγωγικές γεωτρήσεις χαρακτηρίζουν τον ταμειυτήρα καλής απόδοσης.

Στην περιοχή Θυμιανά εντοπίστηκε μια έκταση 20 Km² γεωθερμικού ενδιαφέροντος με θερμοκρασίες 34 °C σε βάθη 50-300 m, η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη.[20]

5.4.3 Σαμοθράκη

Η περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος εντοπίζεται αρχικά στο βόρειο τμήμα του νησιού, όπου υπάρχουν θερμές πηγές με θερμοκρασίες μέχρι 57 °C. Γεωλογικά το υπόβαθρο του νησιού αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (ανθρακικά, οφιόλιθοι), ενώ στο νότιο-κεντρικό τμήμα του υπάρχει μεγάλη πλουτωνική μάζα γρανιτικής σύστασης. Η εκτέλεση αβαθούς γεώτρησης στο χώρο των θερμών πηγών εντόπισε γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασίες >90 °C . δεν έχει γίνει ολοκληρωμένη έρευνα, που να αξιολογεί τα γεωθερμικά στοιχεία της περιοχής .[15]

5.4.4 Λήμνος

Η Λήμνος γεωλογικά είναι μέρος του ιζηματογενούς χώρου του Β. Αιγαίου, όπου κυριαρχούν φλυσχοειδείς και ψαμμιτικοί σχηματισμοί (Ολιγόκαινο-Ιώκαινο) με έντονη ηφαιστειακή δράση ασβεσταλκαλικού τύπου του κατώτερου Μειόκαινου. Κατά μήκος των ρηγμάτων σε ηφαιστειακούς δόμους υπάρχουν οι θερμές πηγές στην περιοχή Θερμών

Λήμνου με 42 °C, που χημικά τα ζεστά νερά ανήκουν στα νατριχλωριούχα. Ιδιαίτερη γεωθερμική έρευνα στη Λήμνο δεν έχει γίνει .[15]

5.4.5 Άλλα Νησιά

Υπάρχουν όμως και μερικά άλλα νησιά, όπως η Σάμος, η Ικαρία κλπ, όπου η ύπαρξη θερμών πηγών με υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη γεωτεκτονική τους δομή προκαλούν το άμεσο γεωθερμικό ερευνητικό ενδιαφέρον.[15]

5.5 Νησιά νοτίου Αιγαίου και Ιόνια νησιά

Στην περιοχή σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών στο Ν. Αιγαίο, όπου δημιουργούνται συνθήκες συμπιεστικής τεκτονικής, δεν υπάρχει συνήθως σχετικό γεωθερμικό ενδιαφέρον, αφού οι διαρρηγμένες ζώνες κλίνουν και εμποδίζουν την κυκλοφορία ρευστών από μεγάλα βάθη. Επομένως ακριβώς βόρεια των λιθοσφαιρικών πλακών, όπου δημιουργείται το ιζηματογενές τόξο του Ν. Αιγαίου, στα νησιά Κρήτη και νότια Δωδεκάνησα δεν φαίνεται να υπάρχει γεωθερμικό ενδιαφέρον από τις μέχρι τώρα έρευνες.

Τα Ιόνια νησιά δεν φαίνεται να παρουσιάζουν κάποιο γεωθερμικό ενδιαφέρον λόγω των χαμηλών τιμών θερμικής ροής που παρουσιάζουν από τις μέχρι σήμερα μετρήσεις.[15]

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ”

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε την πιθανότητα εγκατάστασης ενός γεωθερμικού σταθμού ισχύος 5 MW σε δύο νησιωτικά συμπλέγματα με αποδεδειγμένο γεωθερμικό δυναμικό στην Μήλο και στην Κω. Θα παρουσιάσουμε την τρέχουσα κατάσταση και θα ποσοτικοποιήσουμε όσο είναι δυνατόν τις διαφοροποιήσεις που θα προκύψουν από αυτήν την εγκατάσταση όσο αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καμπύλη φορτίου κ.ά.

6.2 Κως

Η Κως είναι διασυνδεδεμένη με την Νίσυρο και την Κάλυμνο. Η Νίσυρος έχει ένα γεωθερμικό πεδίο της τάξεως των 60 MW.

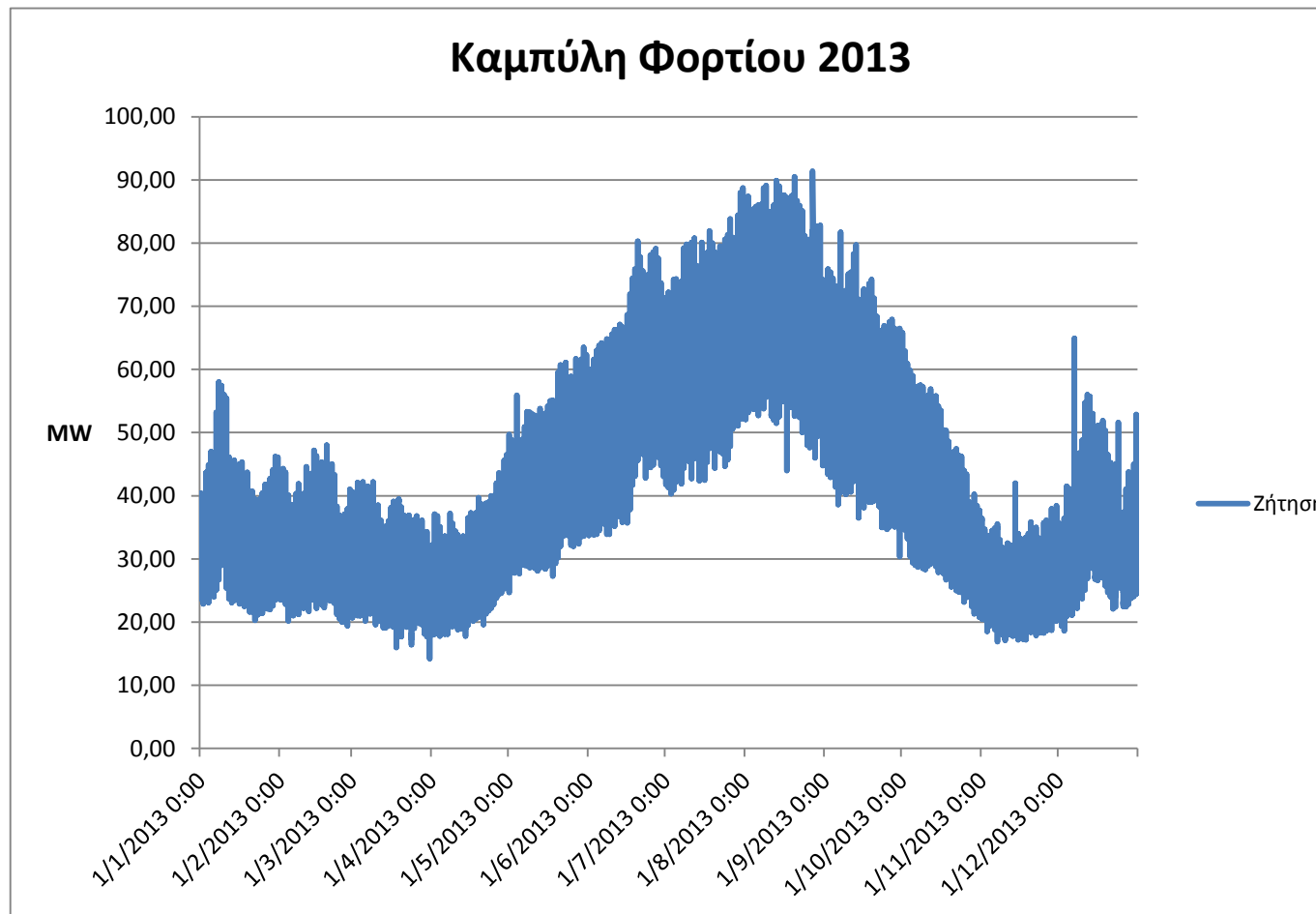
Η τωρινή κατάσταση στο σύμπλεγμα αυτό έχει ως εξής:

ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	MW
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	124,45
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΠ	15,2
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΦΒ	8,777
ΣΥΝΟΛΟ	148,427

Πίνακας 6.2-1: Υπάρχουσα Κατάσταση Στο Σύμπλεγμα της Κω

Τα εγκατεστημένα ΑΠΕ αντιστοιχούν σε ποσοστό 19.2 % της εγκατεστημένης θερμικής ισχύος.

6.2.1 Καμπύλη φορτίου 2013



Εικόνα 6.2-1 : Καμπύλη φορτίου για το έτος 2013 για το σύμπλεγμα της Κω

Αυτή είναι η καμπύλη φορτίου για το σύμπλεγμα για το έτος 2013. Η τιμή της χαμηλότερης ζήτησης είναι 14.2 MW και η υψηλότερη είναι 91.40 MW. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι πάντοτε ζητείται από το δίκτυο ισχύς 14.2 MW.

Οι γεωθερμικοί σταθμοί είναι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί και χρησιμοποιούνται κυρίως σαν σταθμοί βάσης, δηλαδή καλύπτουν μια μόνιμη ζήτηση του δικτύου και εφόσον ο σταθμός είναι 5 MW μπορεί αυτός ο σταθμός να λειτουργήσει και να προσφέρει το μέγιστο που μπορεί στην τροφοδότηση και ευστάθεια του δικτύου .

Η εγκατάσταση του γεωθερμικού σταθμού αυτού θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς ΑΠΕ κατά 5 MW φτάνοντας την συνολική ισχύ ΑΠΕ στα 29.30 MW

που σε ποσοστό με την εγκατεστημένη θερμική ισχύ θα είναι 23.5 %. Ένας γενικός κανόνας υπαγορεύει να μην υπερβαίνουν το 30 % της εγκατεστημένης θερμικής ισχύος τεχνολογίες ΑΠΕ που χρησιμοποιούν inverter. Οι γεωθερμικοί σταθμοί δεν έχουν τέτοιο περιορισμό διότι είναι αμοστροβιλικοί σταθμοί συμβατικής τεχνολογίας .

Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ

ΜΗΝΑΣ	MWh
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	4057,8
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	4142,86
ΜΑΡΤΙΟΣ	3307,85
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	3977,69
ΜΑΙΟΣ	2930,08
ΙΟΥΝΙΟΣ	4474,51
ΙΟΥΛΙΟΣ	5354,5
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	4152,14
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	3462,04
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	4187,58
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	3388,4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	3509,82
ΣΥΝΟΛΟ	46945,27

Πίνακας 6.2-2 :Ετήσια Παραγωγή ΑΠΕ για το Σύμπλεγμα της Κω

Η συνολική παραχθείσα ενέργεια από ΑΠΕ για το έτος 2013 που αφορά το σύμπλεγμα της Κω που φαίνεται στον παραπάνω πίνακα είναι 46.945,27 MWh. Έστω ότι εισάγουμε έναν γεωθερμικό σταθμό 5 MW, προφανώς θα υπάρξει αύξηση της παραχθείσας ενέργειας εξαρτάται όμως από τον συντελεστή χρησιμοποίησης του σταθμού. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να φτάσει συνήθως μέχρι το 90 % των ωρών του χρόνου. Θα εξετάσουμε όμως τρεις περιπτώσεις (συντελεστής χρησιμοποίησης N=90% , N=80%, N=70%) για να καλύψουμε συμβάντα όπως βλάβες , διακοπές ρεύματος ,συντήρηση κ.ά.

ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΠΕ (MWh)	ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ (MWh)	ΝΕΟ ΣΥΝΟΛΟ (MWh)	ΑΥΞΗΣΗ
46945,27	39420	86365,27	83,97%
46945,27	35040	81985,27	74,64%
46945,27	30660	77605,27	65,31%

Πίνακας 6.2-3 :Προσδοκώμενη Συνολική Παραγωγή Από ΑΠΕ

Παρατηρούμε ότι η αύξηση στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ μπορεί ακόμα και στην περίπτωση που ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι στο 70% η αύξηση ξεπερνά το 65%. Σε μία προσπάθεια σύγκρισης της παραχθείσας ενέργειας από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες αναλογικά με την εγκατεστημένη ισχύ τους σε σχέση με τον γεωθερμικό σταθμό και την δική του αναλογία (ενέργειας-ισχύς) παρατηρούμε τα εξής.

Στο σύμπλεγμα υπάρχουν ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος της τάξεως των 15,2 MW και φωτοβολταϊκά συνολικής ισχύος 8,78 MW. Δηλαδή η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ είναι σχεδόν 24 MW και η συνολική παραχθείσα ενέργεια είναι 46.945,27 MWh . Άρα κάθε MW εγκατεστημένης ισχύος προσφέρει κάθε χρόνο 1957 MWh. Τώρα για τον γεωθερμικό σταθμό και για εγκατεστημένη ισχύ 5 MW και συντελεστές χρησιμοποίησης N=70% ,N= 80 % και N=90% θα έχουμε τις εξής παραγωγές :

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΕ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)			ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ MW ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ (MWh)		
ΑΠ	15,2	46945,27			1957		
ΦΒ	8,78						
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ	5	39420	35040	30660	7884	7008	6132

Πίνακας 6.2-4 :Σύγκριση Τεχνολογιών Όσον Αφορά Παραγωγή Ενέργειας ανά MW .

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ N
N=90%
N=80%
N=70%

Πίνακας 6.2-5 : Πιθανές Τιμές του Συντελεστή Χρησιμοποίησης

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο γεωθερμικός σταθμός παράγει για κάθε MW εγκατεστημένης ισχύος 2ή 3 φορές παραπάνω ενέργεια από τα ΑΠΕ που υπάρχουν τώρα στο δίκτυο .

Ένα άλλο τεράστιο πλεονέκτημα ενός γεωθερμικού σταθμού είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εφόσον αντικαθιστά σταθμούς που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα.

Στο σύμπλεγμα της Κω υπάρχουν θερμικές μηχανές που καταναλώνουν μαζούτ και ντήζελ. Επειδή οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπουν αυτές οι δύο πηγές είναι σχεδόν ίδιες για διευκόλυνση των πράξεων και χωρίς να αλλοιώνουμε το τελικό αποτέλεσμα θα χρησιμοποιήσουμε μία τιμή και για τα δύο καύσιμα η οποία είναι 778,95 Kg CO₂/MWh[5] .

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την άλλη δεν έχουν όλοι οι σταθμοί τις ίδιες εκπομπές γιατί οι εκπομπές αυτές εξαρτώνται από το είδος των πετρωμάτων που αποτελείται ο γεωθερμικός ταμιευτήρας και την τεχνολογία του σταθμού (δυναμικού κύκλου, εκτόνωσης , χρήση ακαριαίου ατμού) για αυτό το λόγο λοιπόν θα χρησιμοποιήσουμε μία μέση τιμή από διάφορα πεδία και αυτή είναι 200 Kg CO₂/MWh.

Σύμφωνα με την καμπύλη φορτίου και την ενέργεια που παράχθηκε οι συνολικές εκπομπές για το έτος 2013 είναι : 272376,9 tn CO₂.

Οι συνολικές εκπομπές για ένα γεωθερμικό σταθμό ισχύος 5 MW για συντελεστή χρησιμοποίησης N=90% και παραγωγής της ίδιας ενέργειας από συμβατικά καύσιμα είναι

ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	MWh	CO ₂ (tn)	ΔΙΑΦΟΡΑ (tn)	ΔΙΑΦΟΡΑ %
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ (N=90%)	39.420	7.884	-22.822	-74.32%
ΜΑΖΟΥΤ-ΝΤΗΖΕΛ	39.420	30.706		

Πίνακας 6.2-6 : Διαφορά Εκπομπών Γεωθερμίας-Μαζούτ

Παρατηρούμε ότι η διαφορά ανάμεσα στους δύο τρόπους παραγωγής (μαζουτ-ντήζελ και γεωθερμία) είναι αρκετά μεγάλη της τάξεως του 290% δηλαδή η παραγωγή με μαζούτ και ντήζελ εκπέμπει σχεδόν 3 φορές περισσότερα kg CO₂ από ότι παραγωγή μέσω γεωθερμίας.

Και στο σύνολο των εκπομπών αν αντικαταστήσουμε ενέργεια παραγόμενη από συμβατικά καύσιμα με ενέργεια παραγόμενη από γεωθερμία παρατηρούμε μία πτώση της τάξεως του 8,4%.

	CO ₂ (tn)
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΧΩΡΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	272376,9
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	249554,7
ΔΙΑΦΟΡΑ	-8,38%

Πίνακας 6.2-7 :Επίδραση Γεωθερμίας στις Συνολικές Εκπομπές

Εφόσον συμπεριληφθεί η παραχθείσα ενέργεια του γεωθερμικού στο σύνολο του ενεργειακού μίγματος η συμμετοχή των ΑΠΕ καθορίζεται ως εξής στους παρακάτω πίνακες: Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την υπάρχουσα κατάσταση όσον αφορά την θερμική παραγωγή και την παραγωγή από ΑΠΕ.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΙΣΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΕ (MWh)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΕ ΕΠΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
349671,849	46945,27	396617,1194	11,84%

Πίνακας 6.2-8 :Καταγραφείσες Τιμές Ηλεκτρικής Παραγωγής

Με την προσθήκη του γεωθερμικού σταθμού η κατάσταση διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΘΑΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	310.251,8
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh) N=90%	39420
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΕ (MWh)	86365,27
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	396617,1
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΕ ΕΠΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	21,78%
ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΕ	54,36%
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΑΥΞΗΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	27,84%

Πίνακας 6.2-9 :Προσδοκώμενες Τιμές Μετά Την Προσθήκη του Γεωθερμικού Σταθμού

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης για τον γεωθερμικό σταθμό θεωρείται $N=90\%$.

6.3 Μήλος

Η Μήλος είναι συνδεδεμένη με την Κίμωλο που και αυτό είναι ένα νησί γεωθερμικού ενδιαφέροντος χωρίς όμως εμπειριστατωμένες επιστημονικές αποδείξεις όπως η Μήλος. Το νησί έχει ένα γεωθερμικό πεδίο της τάξεως των 120 MW.

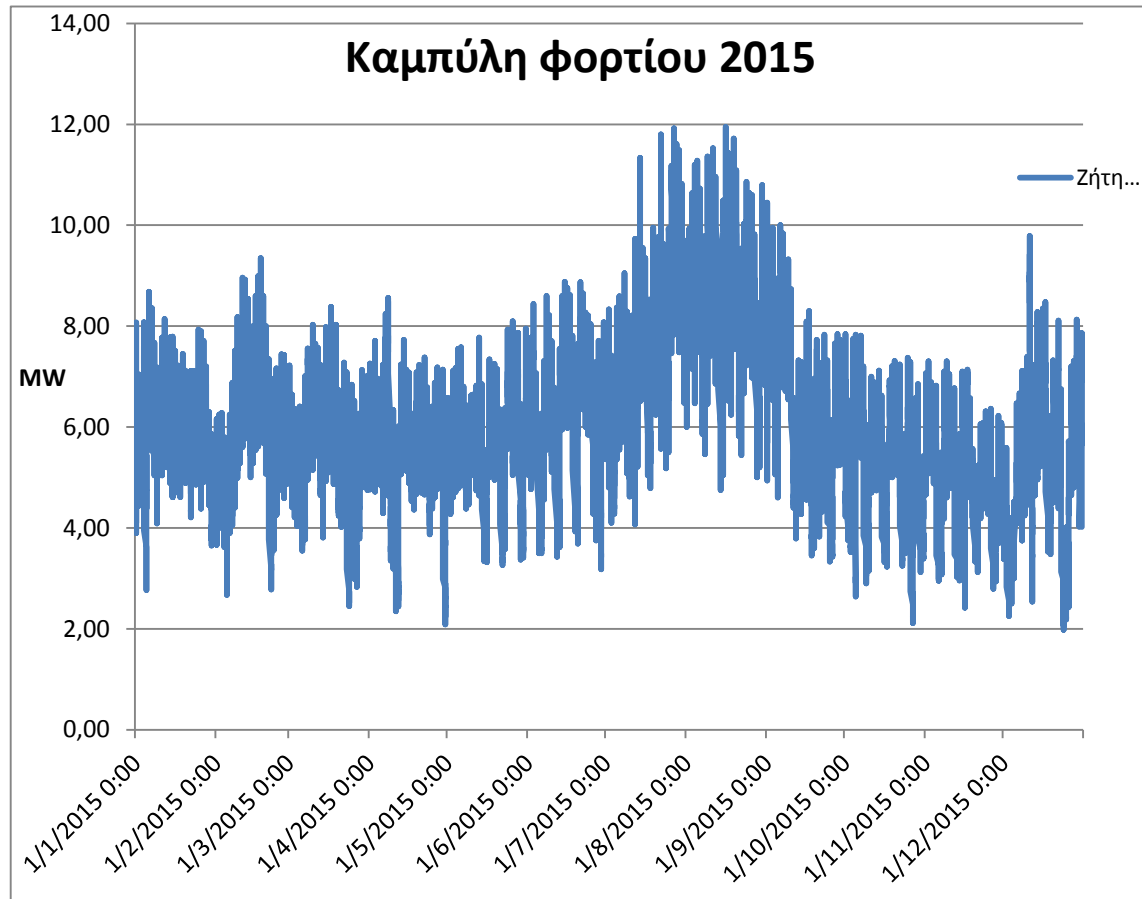
Η τωρινή κατάσταση στο σύμπλεγμα αυτό έχει ως εξής:

ΤΥΠΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	MW
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	20.6
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΠ	2.65
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΦΒ	0.618
ΣΥΝΟΛΟ	23.868

Πίνακας 6.3-1 :Υπάρχουσα Κατάσταση Στο Σύμπλεγμα Της Μήλου

Τα εγκατεστημένα ΑΠΕ αντιστοιχούν σε ποσοστό 15.8 % της εγκατεστημένης θερμικής ισχύος .

Η τιμή της χαμηλότερης ζήτησης είναι 1.98 MW και η υψηλότερη είναι 11.95 MW. Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ισχύς που ζητείται καθ'όλη την διάρκεια του έτους είναι 2 MW. Το γεγονός αυτό μας δείχνει ένα πρόβλημα που υπάρχει για το συγκεκριμένο νησί και αυτό είναι ότι η ζήτηση σε σχέση με το δυναμικό του νησιού είναι πολύ μικρή που σημαίνει ότι δεν μπορεί να απορροφήσει και να εκμεταλλευτεί την απρόσκοπτη λειτουργία ενός γεωθερμικού σταθμού 5 MW Αυτή είναι η καμπύλη φορτίου για το σύμπλεγμα για το έτος 2015.



Εικόνα 6.3-1 :Καμπύλη Φορτίου για το έτος 2015 για το σύμπλεγμα της Μήλου

Η τιμή της χαμηλότερης γιατί όπως έχουμε ήδη αναφέρει ένας γεωθερμικός σταθμός είναι σταθμός βάσης άρα στοχεύει να καλύψει μία μόνιμη ζήτηση και είναι δύσκολο λόγω της δομής του (ατμοστροβιλικός σταθμός) να μεταβάλει εύκολα την ισχύ εξόδου του. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο τρόπους.

- 1) Ένας γεωθερμικός σταθμός 5 MW δεν έχει μόνο μία γεννήτρια . Έχει παραπάνω από μία άρα μπορούμε να μειώσουμε την ισχύ εξόδου του σταθμού καθώς και οι γεννήτριες αυτές να μην δουλεύουν στο 100% του φορτίου τους. Μέγαλο μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι ενώ υπάρχει δωρεάν καύσιμο εμείς δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε.

- 2) Ο δεύτερος τρόπος είναι το νησί να διασυνδεθεί με ένα άλλο νησί , δημιουργώντας έτσι ένα μεγαλύτερο δίκτυο για να μπορεί να λειτουργεί ο γεωθερμικός σταθμός στο πλήρες φορτίο του. Δυσκολίες όμως όπως το κόστος της διασύνδεσης, η απόσταση των δύο νησιών δυσχεραίνουν τέτοιου είδους μεθόδους .

Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ

ΜΗΝΑΣ	MWh
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	733,51
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	743,12
ΜΑΡΤΙΟΣ	817,02
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	638,15
ΜΑΙΟΣ	642,65
ΙΟΥΝΙΟΣ	628,91
ΙΟΥΛΙΟΣ	1097,12
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	865,73
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	584,22
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	748,8
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	542,74
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	862,56
ΣΥΝΟΛΟ	8904,53

Πίνακας 6.3-2 :Ετήσια Παραγωγή ΑΠΕ για το Σύμπλεγμα Της Μήλου

Η συνολική παραχθείσα ενέργεια απο ΑΠΕ για το έτος 2015 που αφορά το σύμπλεγμα της Μήλου που φαίνεται στον παραπάνω πίνακα είναι 8904,53 MWh. Αν εγκαταστήσουμε έναν σταθμό 5 MW προφανώς η παραχθείσα ενέργεια θα αυξηθεί αλλά λόγω των περιορισμών που αναφέραμε προηγουμένως θα υποθέσουμε ότι ο σταθμός θα λειτουργεί στο 1,5 MW και θα εξετάσουμε πάλι τρεις περιπτώσεις συντελεστών χρησιμοποίησης 70% , 80% και 90%.

ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΠΕ (MWh)	ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ (MWh)	ΝΕΟ ΣΥΝΟΛΟ (MWh)	ΑΥΞΗΣΗ
8904,53	11826	20730,53	132,81%
8904,53	10512	19416,53	118,05%
8904,53	9198	18102,53	103,30%

Πίνακας 6.3-3 :Προσδοκώμενη Παραγωγή Από ΑΠΕ

Παρατηρούμε ότι και όταν $N=70\%$ η παραγωγή ΑΠΕ του νησιού αυξάνεται τουλάχιστον στο διπλάσιο.

Σε μία προσπάθεια σύγκρισης της παραχθείσας ενέργειας από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες αναλογικά με την εγκατεστημένη ισχύ τους σε σχέση με τον γεωθερμικό σταθμό και την δική του αναλογία (ενέργειας-ισχύς) παρατηρούμε τα εξής.

Στο σύμπλεγμα υπάρχουν ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος της τάξεως των 2,65 MW και φωτοβολταϊκά συνολικής ισχύος 0,618 MW. Δηλαδή η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ είναι σχεδόν 3,3 MW και η συνολική παραχθείσα ενέργεια είναι 8904,53 MWh. Άρα κάθε MW εγκατεστημένης ισχύος προσφέρει κάθε χρόνο 2725 MWh. Τώρα για τον γεωθερμικό σταθμό και για εγκατεστημένη ισχύ 5 MW θα υποθέσουμε ότι δουλεύει στο 1,5 MW και συντελεστές χρησιμοποίησης 70% , 80 % και 90% θα έχουμε τις εξής παραγωγές

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΕ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)			ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ MW ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ (MWh)		
ΑΠ	2,7	8904,53			2725		
ΦΒ	0,62						
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ	1,5 (5)	11826	10512	9198	7884	7008	6132

Πίνακας 6.3-4 :Προσδοκώμενη Παραγωγή Από ΑΠΕ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ N
N=90%
N=80%
N=70%

Πίνακας 6.3-5 : Πιθανές Τιμές του Συντελεστή Χρησιμοποίησης

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο γεωθερμικός σταθμός παράγει για κάθε MW εγκατεστημένης ισχύος 2 ή 3 φορές παραπάνω ενέργεια από τα ΑΠΕ που υπάρχουν τώρα στο δίκτυο.

Όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα η εισαγωγή του γεωθερμικού σταθμού θα έχει τα εξής αποτελέσματα :

Σύμφωνα με την καμπύλη φορτίου και την ενέργεια που παράχθηκε οι συνολικές εκπομπές για το έτος 2015 είναι : 40.479,63 tn CO₂.

Οι συνολικές εκπομπές για ένα γεωθερμικό σταθμό ισχύος 5 MW για συντελεστή χρησιμοποίησης N=90% ,που όμως θεωρούμε ότι δουλεύει στο 1,5 MW και παραγωγής της ίδιας ενέργειας από συμβατικά καύσιμα είναι

ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	MWh	CO ₂ (tn)	ΔΙΑΦΟΡΑ (tn)	ΔΙΑΦΟΡΑ %
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ (N=90%)	11.826	2.365,2	-6.846,6	-74,32%
ΜΑΖΟΥΤ-ΝΤΗΖΕΛ	11.826	9.211,8		

Πίνακας 6.3-6 :Διαφορά Εκπομπών Γεωθερμίας-Μαζούτ

Παρατηρούμε ότι η διαφορά ανάμεσα στους δύο τρόπους παραγωγής (μαζούτ-ντήζελ και γεωθερμία) είναι αρκετά μεγάλη της τάξεως του 290% δηλαδή η παραγωγή με μαζούτ και ντήζελ εκπέμπει σχεδόν 3 φορές περισσότερα Kg CO₂ από ότι παραγωγή μέσω γεωθερμίας . Και στο σύνολο των εκπομπών αν αντικαταστήσουμε ενέργεια παραγόμενη από συμβατικά καύσιμα με ενέργεια παραγόμενη από γεωθερμία παρατηρούμε μία πτώση της τάξεως του 16.91 % . Επίσης αυτή η μείωση εκπομπών μπορεί να γίνει ακόμη μεγαλύτερη εάν τους καλοκαιρινούς μήνες ο γεωθερμικός σταθμός λειτουργεί –λόγω αυξημένης ζήτησης -σε ισχύ μεγαλύτερη του 1,5 MW.

	CO ₂ (tn)
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΧΩΡΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	40.479,63
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	33.632,97
ΔΙΑΦΟΡΑ	-16.91 %

Πίνακας 6.3-7 :Επίδραση Γεωθερμίας στις Συνολικές Εκπομπές

Εφόσον συμπεριληφθεί η παραχθείσα ενέργεια του γεωθερμικού στο σύνολο του ενεργειακού μίγματος η συμμετοχή των ΑΠΕ καθορίζεται ως εξής στους παρακάτω πίνακες:

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την υπάρχουσα κατάσταση όσον αφορά την θερμική παραγωγή και την παραγωγή από ΑΠΕ.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΙΣΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΙΣΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΕ (MWh)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΕ ΕΠΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
51,966,92	8,904,53	60,871,45	14,63%

Πίνακας 6.3-8 :Καταγραφείσες Τιμές Ηλεκτρικής Παραγωγής

Με την προσθήκη του γεωθερμικού σταθμού η κατάσταση διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΘΑΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	40.140,92
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh) N=90%	11826
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΕ (MWh)	20730,53
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (MWh)	60.871,45
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΕ ΕΠΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	34,06%
ΑΥΞΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΕ	232,81%
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΑΥΞΗΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΕ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	51,64%

Πίνακας 6.3-9 :Προσδοκώμενες Τιμές Μετά Την Προσθήκη του Γεωθερμικού Σταθμού

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης για τον γεωθερμικό σταθμό θεωρείται N=90% .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής μπορούν να αντικαταστήσουν σταθμούς που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα καθώς λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, το μόνο που αλλάζει είναι το καύσιμο.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ΑΠΕ άρα η εισαγωγή τους στο δίκτυο δημιουργεί ένα πιο “πράσινο” ενεργειακό μείγμα.

Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά) η παραγωγή ενέργειας από γεωθερμία είναι συνεχής και ελεγχόμενη καθ'όλη την διάρκεια ενός έτους και δεν εξαρτάται από διάφορα καιρικά φαινόμενα όπως βροχή, ανέμους, συννεφιά κ.ά.

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παράγουν 2 μπορεί και 3 φορές παραπάνω ενέργεια από άλλες ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά) για κάθε MW εγκατεστημένης ισχύος.

Για την κατασκευή ενός γεωθερμικού σταθμού απαιτούνται αρκετά μεγάλες δαπάνες στην αρχή του έργου (ερευνητικές γεωτρήσεις, μελέτες για την σύσταση των ρευστών, ταξινόμηση βάσει της ενθαλπία του πεδίου κ.ά.) γεγονός που μπορεί αποθαρρύνει επενδύσεις λόγω του υψηλού κόστους τέτοιων ενεργειών.

Η αντίληψη των τοπικών κοινωνιών όσον αφορά το τι ακριβώς είναι η γεωθερμία και πως λειτουργεί είναι ένα ζήτημα που πρέπει να απασχολήσει τους φορείς που θα ασχοληθούν με τέτοιου είδους έργα και να εξηγήσουν στις τοπικές κοινωνίες τι ισχύει και τι δεν ισχύει για την γεωθερμία.

Στην Ελλάδα δυστυχώς αν και υπάρχουν πολλά αξιόλογα γεωθερμικά πεδία δεν υπάρχει εγκατεστημένος σταθμός άρα λείπει σε κάποιο βαθμό η τεχνογνωσία και η εμπειρία για την κατασκευή και λειτουργία ενός τέτοιου σταθμού.

Ο κίνδυνος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που αν δεν αντιμετωπιστούν κατάλληλα μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα.

Οι γεωθερμικοί σταθμοί σε κάποια μέρη όπως νησιά μπορεί να έχουν δυνατότητες που υπερβαίνουν τις ανάγκες του αυτόνομου δικτύου και έτσι να απαιτείται διασύνδεση με άλλα νησιά για την πλήρη αξιοποίηση του σταθμού που όμως ανεβάζει το κόστος ενός τέτοιου εγχειρήματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ármannsson H. Sept. 2003 “*CO₂ emission from Geothermal Plants*” Reykjavik International Geothermal Conference,
- [2] Marchand M., Blanc I., Marquand A., Beylot A., Bezelgues-Courtade S., Traineau H. 2015 “*Life Cycle Assessment of High Temperature Geothermal Energy Systems*”, Proceedings World Geothermal Congress Melbourne, Australia,
- [3] Bloomfield K.K. and Moore J. N., 1999 “*Geothermal Electrical Production CO₂ Emissions Study*”, Geothermal Resource Council Annual Meeting.
- [4] Clark C., Sullivan J., Harto C., Han J., Wang M. 2012 “*Life cycle environmental impacts of geothermal systems*”, Stanford, California proceedings, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University.
- [5] Θεοδοσίου Γ. “*Οικολογικός Σχεδιασμός Μονάδων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας*”, 2008 Θεσσαλονίκη Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,.
- [6] Sullivan J.L., Clark C.E., Han J., Wang M. “*Life-Cycle Analysis Results of Geothermal Systems in Comparison to Other Power Systems*”, 2010 Argonne National Laboratory,
- [7] Hondo H., 2005 “*Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case*”, Energy 30, 2042–2056
- [8] Bayer P., Rybach L., Blum P., Brauchler R, 2013, “*Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 26 ,446–463.

- [9] Sullivan J. L., Wang M. Q., “*Impact of Well Field Exploration on the Life Cycle Analysis of Geothermal Power Production*” , 2013 , Illinois Argonne National Laboratory, Argonne, GRC Transactions, Vol. 37.
- [10] Skone J T., P.E.,2012 “*Power Generation Technology Comparison from a Life Cycle Perspective*”, National Energy Technology Laboratory, DOE/NETL-1567.
- [11] Frick, S., Kaltschmitt, M., Schröder, G. 2010 “*Life cycle assessment of geothermal binary power plants using enhanced low-temperature reservoirs*”. - Energy, 35, 5, 2281-2294.
- [12] Sullivan J. L. and Wang M. Q., 2013“*Impact of Well Field Exploration on the Life Cycle Analysis of Geothermal Power Production*”, Argonne, Illinois, Argonne National Laboratory, GRC Transactions, Vol. 37,
- [13] Clark C.E, Harto, C.B., Sullivan J. L. Wang M. Q. 2010 “*Water Use in the Development and Operation of Geothermal Power Plants*” Argonne, Illinois Argonne National Laboratory,.
- [14] Aksoy N., Solak O., Mutlu H., Kılınc G. 2015 “*CO₂ Emission from Geothermal Power Plants in Turkey*”, Melbourne, Australia , Proceedings World Geothermal Congress 2015,.
- [15] Καρυδάκης Ι. Γ. 2005 “*Γεωθερμική Ενέργεια*” Αθλότυπο
- [16] DiPippo R. 2012 “*Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact Thrid Edition* “Butterworth-Heinemann
- [17] Μπαλάρας Α.Κ. , Αργυρίου Α.Α., Καραγιάννης Ε.Φ. 2016 “*Συμβατικές και Ήπιες Μορφές Ενέργειας* “ Τεκδοτική
- [18] Καρύτσας Κ. 2012 “*Η αξιοποίηση της Γεωθερμικής Ενέργειας και η Συμβολή της Στην Αειφόρο Ανάπτυξη*”

- [19] Dickson H. M. , Fanelli M. 2003 “Geothermal Energy: Utilization and Technology “
Earthscan
- [20] Φυτίκας, Δ.Μ. 2004 “Γεωθερμία : Γεωθερμικοί πόροι: Γεωθερμικά ρευστά:
Εφαρμογές: Περιβάλλον “ Θεσσαλονίκη Τζιόλα,

Αθήνα

Ιούνιος - 2016