



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
**«Ανάλυση Έρευνας, Διαχείρισης και Εφαρμογών Γεωθερμίας σε διεθνές και Ελληνικό επίπεδο,
Τεχνολογική, Νομική και Οικονομική προσέγγιση»**

Μπαντάσης Χρήστος (03300891)
Επιβλέπων Καθηγητής : Μιχαήλ Βραχόπουλος



**Αθήνα,
Οκτώβριος 2021**

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Μιχαήλ Βραχόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, καθώς και για την καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές που μου έδωσε κατά καθ' όλη την διάρκεια υλοποίησης της παρούσας διατριβής.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη που μου έδωσε αυτά χρόνια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την ακατάπαυστη υποστήριξη τους κατά όλη την διάρκεια της συγγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Η γεωθερμία θεωρείται ότι είναι μια από τις παλαιότερες πηγές παραγωγής ενέργειας με την εκμετάλλευσή της να τοποθετείται κάπου στην απαρχή σχηματισμού του κόσμου.

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι κοινώς αποδεκτό ότι μπορεί να συνεισφέρει στη δημιουργία ενός βιώσιμου ενεργειακού ισοζυγίου τόσο στην Ελλάδα όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο και να αναδειχθεί σε ένα πολύτιμο εργαλείο στη μάχη κατά της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια ανασκόπηση των Γεωθερμικών Συστημάτων τόσο σε ερευνητικό αλλά κυρίως σε νομικό και οικονομικό επίπεδο. Δύο παράγοντες, αυτοί της οικονομίας και της νομικής όπου μέσα από τα πλαίσια των δύο επιστημών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό η ανάπτυξη των γεωθερμικών τεχνολογιών.

Το 1^ο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή, παρουσιάζεται μια πρώτη προσέγγιση του ζητήματος θεωρητικά καθώς και αποτυπώνεται με σαφήνεια το θέμα που καλείται να διερευνηθεί μέσω αυτής της εργασίας.

Το 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερευνητική και η τεχνολογική προσέγγιση του θέματος

Το 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το νομικό πλαίσιο που ισχύει για τα γεωθερμικά συστήματα σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Το 4^ο κεφάλαιο καταγράφεται το οικονομικό πλαίσιο που ισχύει για τα γεωθερμικά συστήματα καθώς και οι επενδύσεις γεωθερμικών συστημάτων ή ζητήματα που σχετίζονται με αυτές.

Τέλος, το 5^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για το ζήτημα των γεωθερμικών συστημάτων καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

Abstract

Geothermy is considered to be one of the oldest sources of energy production, with its exploitation being traced somewhere around the beginning of earth's formation.

It is commonly accepted that the use of geothermal energy can create a sustainable energy equilibrium both in Greece but also on global scale, and can become a valuable tool in the fight against global warming.

In this thesis, a review of geothermal systems is attempted in a reasearch but mainly in a legal and economic level.

Two factors, those of economy and law, largely determine the development of geothermal energy, within the framework of the two sciences.

In the first chapter, (introduction) a first attempt is made to approaching the issue theoretically as well as clearly stating the issue to be under investigation.

In chapter two, the research and technological approach to the subject are presented as wall as answers to some problems related to the applications of shallow geothermal energy.

Chapter 3 presents the legal framework applicable to geothermal systems on a national but also on a global level.

Chapter 4 records the economic framework that applies to geothermal systems in Greece and worldwide as well as investments in geothermal systems or issues related to them.

Finally, in the 5th chapter the conclusions that were drawn on the issue of geothermal systems throughout the writing of the work are presented.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Περίληψη	3
Abstract.....	4
Περιεχόμενα	5
1. Εισαγωγή	8
1.1 Διατύπωση του προβλήματος.....	8
1.2 Γεωθερμική ενέργεια και γεωθερμικά συστήματα.....	11
1.3 Η Γεωθερμία στην Ελλάδα	14
1.4 Ιστορική Αναδρομή.....	18
1.5 Γεωθερμική Ενέργεια και εφαρμογές της.....	19
Βιβλιογραφία 1 ^{ου} κεφαλαίου.	22
2. Ερευνητική και τεχνολογική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων παγκοσμίως	24
2.1 Ερευνητική και τεχνολογική προσέγγιση Γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας	24
2.1.1. Χρήσεις γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας.....	26
2.1.3. Παγκόσμια επισκόπηση – ενδεικτικές χρήσεις γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας έως το 2020	28
2.3.3 Κένυα.....	29
2.3.4 Νιγηρία	29
2.3.5. Τυνησία.....	30
2.3.6 Κίνα.....	30
2.3.7. Ισραήλ.....	31
2.3.8. Ιορδανία.....	31
2.3.9 Μαλαισία.....	31
2.3.10 Τουρκία.....	31
2.3.11 Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής.....	32
2.3.12 Βραζιλία	32
2.3.13. Μεξικό	32
2.3.14 Αργεντινή	32
2.3.15 Βιετνάμ	33
2.3.16 Βουλγαρία.....	33
2.3.17. Ιταλία	34
2.3.18 Γαλλία	34

2.3.19. Ισλανδία.....	34
2.1.4 Χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα	35
2.1.5. Παράδειγμα εφαρμογής γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας - Συστήμα Τηλεθέρμανσης στο Boise (Αϊντάχο).....	38
2.2 Ερευνητική και τεχνολογική προσέγγιση Γεωθερμικών συστημάτων μέσης ενθαλπίας	39
2.2.1 Οργανικός κύκλος Rankine - Organic Rankine Cycle (ORC)	39
2.2.2. Κύκλος Kalina (Kalina Cycle).....	41
2.2.3 Συνοπτική επισκόπηση συστημάτων παραγωγής ενέργειας από πεδία μέσης ενθαλπίας.....	42
2.2.4. Πεδία μέσης ενθαλπίας στην Ελλάδα	43
2.2.5. Ερευνητική Προοπτική στην περιοχή 'Pismanta'	43
2.3 Γεωθερμικά συστήματα υψηλής ενθαλπίας.....	45
2.3.1 Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ρευστών υψηλής ενθαλπίας.....	45
2.4 Γεωθερμικά συστήματα κανονικής γεωθερμίας.....	49
2.4.1 Ιδιότητες που επηρεάζουν την λειτουργία των συστημάτων κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας.....	49
3.1.2 Αντλίες Θερμότητας.....	53
2.4.2. Προοπτική συστήματος κανονικής γεωθερμίας για την απόψυξη του πάγου	55
Βιβλιογραφία 2 ^{ου} κεφαλαίου	59
3. Νομική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων	65
3.1 Ιστορική αναδρομή της ανάγκης νομικής κάλυψης ενεργειακών ζητημάτων	65
3.2 Κλιματική αλλαγή και περιβαλλοντική προστασία	65
3.3 Συνοπτική επισκόπηση αναφορικά με την γεωθερμία	68
3.4 Ευρωπαϊκές οδηγίες σχετικά με την χρήση γεωθερμίας	70
3.5. Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Γαλλία	71
3.6 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Σερβία	73
3.7 Νομικό πλαίσιο γεωθερμίας στην Σλοβενία	74
3.8 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Σουηδία.....	75
3.9 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Τουρκία	77
3.10 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κροατία	78
3.11 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Ελλάδα	79
3.12 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κύπρο	82
3.13 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Ιταλία.....	82
3.14 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Γερμανία	84
3.15 Νομικό πλαίσιο γεωθερμίας στην Λετονία	85

3.16 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Πορτογαλία	86
3.17 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Αυστραλία	88
3.18 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Νέα Ζηλανδία	91
3.19 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στον Καναδά	91
3.20 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κίνα	93
3.21 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Ινδονησία	94
3.22 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κένυα	97
3.23 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στις Η.Π.Α.	98
Βιβλιογραφία 3^{ου} κεφαλαίου	99
4. Οικονομική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων παγκοσμίως.	103
4.1 Οικονομική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας	104
4.1.1 Εφαρμοσμένα Οικονομικά στοιχεία συστημάτων κανονικής γεωθερμίας.....	106
4.2 Οικονομική επισκόπηση γεωθερμικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	107
4.2.1. Στατιστικά στοιχεία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία σε παγκόσμια κλίμακα	108
4.2.2 Παράγοντες που συμβάλουν στα ενεργειακά κοστολόγια των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	110
4.2.3 Εφαρμοσμένη Οικονομική προσέγγιση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	117
4.2.4 Παγκόσμια Οικονομική επισκόπηση	121
4.2.5 Οικονομικό-κοινωνική συνεισφορά	137
Βιβλιογραφία 4^{ου} κεφαλαίου	138
5. Συμπεράσματα.....	142

1. Εισαγωγή

1.1 Διατύπωση του προβλήματος

Στο Παρίσι, τον Δεκέμβριο του 2015, υπογράφηκε η παγκόσμια συμφωνία μεταξύ διαφόρων κρατών του πλανήτη, η οποία είναι γνωστή ως ‘Συμφωνία των Παρισίων’ και αποτελεί σημαντική προσπάθεια για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Τα εμπλεκόμενα κράτη δεσμεύονται να τροποποιήσουν τα προγράμματα τους για τη μείωση των εκπομπών του CO₂. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαμόρφωση μιας νέας κατάστασης τόσο στον ενεργειακό τομέα όπου σημαντικό ρόλο πλέον διαδραματίζουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όσο και στις οικονομίες των ανεπτυγμένων αλλά και αναπτυσσόμενων κρατών.

Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE) για το έτος 2019 παρατηρήθηκε σχετική ανακατεύθυνση του παγκόσμιου ενεργειακού στερεώματος. Πιο συγκεκριμένα, στην έκθεση αναφέρεται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ αντιστοιχεί πλέον στο 25% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής. Η απανθρακοποίηση έχει προβλεφθεί σε μεγάλο βαθμό, ενώ η παγκόσμια κατανάλωση άνθρακα υποχώρησε το 2015 και το 2016 αλλά αυξήθηκε το 2017. Βέβαια, στον αντίποδα ενώ τα κράτη έχουν δεσμευτεί να αντιμετωπίσουν τη κλιματική αλλαγή, έπειτα από κάποια χρόνια σταθερής πορείας οι εκπομπές του θερμοκηπιακών αερίων ακολουθούν και πάλι ανοδική πορεία. Το γεγονός αυτό συνέβαλε ακόμα περισσότερο στην αναζήτηση τρόπων ικανοποίησης των ολοένα και αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών, με μορφές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον [(1)].

Η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζεται ως μια πολύ ελκυστική λύση στη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κρατών. Κάποια από τα πλεονεκτήματά της είναι ότι σαν μορφή ενέργειας είναι φιλική προς το περιβάλλον και ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν επηρεάζουν την απόδοσή της.

Συνυπολογίζοντας, ότι στους σταθμούς παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας δεν χρησιμοποιούνται τα συνήθη ορυκτά καύσιμα γίνεται αντιληπτό ότι οι εκπομπές ρύπων είναι πολύ χαμηλότερες συγκριτικά με αυτές από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Ταυτόχρονα, η γεωθερμία παρουσιάζει μια ευελιξία ως προς την αύξηση και μείωση της ζήτησης της γεγονός που προσδίδει σταθερότητα στο δίκτυο. Επιπρόσθετα, οι σταθμοί παραγωγής της έχουν μια ικανοποιητική διάρκεια ζωής όπως αποδεικνύεται και από τον πρώτο σταθμό παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας που τέθηκε σε λειτουργία και εξακολουθεί να είναι παραγωγικός. Πρόκειται για τον σταθμό στο Larderello της Ιταλίας ο οποίος λειτουργεί από το 1913.

Εξίσου σημαντικό είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού από την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας σταθεροποιεί το κόστος της ενέργειας. Είναι γνωστό ότι το κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού επηρεάζουν τη τελική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που πληρώνει ο καταναλωτής. Κάποιος θα μπορούσε να σκεφτεί ότι το κόστος των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την παραγωγή ενέργειας είναι χαμηλό, αυτό όμως δεν αλλάζει το γεγονός ότι η τιμή κόστους τους ολοένα και αυξάνεται. Από την άλλη, το κόστος ενός γεωθερμικού σταθμού εξαρτάται κυρίως από το

κόστος του κεφαλαίου, μιας και η πρώτη ύλη δεν υφίσταται χρέωση και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι περιορισμένο. Τέλος, οι αναδυόμενες γεωθερμικές τεχνολογίες αναμένεται να μειώσουν το κόστος της ενέργειας και μέχρι το 2030 να έχουν γίνει πλήρως ανταγωνιστικές στην αγορά [(2)].

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που καλούνται να λύσουν τα κράτη ως προς το ενεργειακό ζήτημα είναι η εξάλειψη της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και από τις εισαγωγές της ενέργειας. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 δημιούργησε την επιτακτική ανάγκη τα κράτη της Ευρώπης να διασφαλίσουν την ενεργειακή τους αυτονομία. Η γεωθερμία ως ανανεώσιμος και εγγώριος ενεργειακός πόρος μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία διαφοροποίησης του μίγματος της ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα να μειώσει τα ποσοστά των καυσίμων όπου εισάγει το κάθε κράτος συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αύξηση της ασφάλειας του εφοδιασμού.

Κρίνεται ακόμη σκόπιμο να τονιστεί ότι η γεωθερμική ενέργεια εμφανίζει ένα πλούσιο δυναμικό προς εκμετάλλευση. Η θερμότητα που αναπτύσσεται στα δέκα χιλιάδες μέτρα από την επιφάνεια της γης υπολογίζεται ότι εμπεριέχει πενήντα χιλιάδες φορές περισσότερη ενέργεια από το πετρέλαιο και τους πόρους φυσικού αερίου παγκοσμίως, [(3)].

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο πίνακας 1 στον οποίο καταγράφονται τα κράτη τα οποία έχουν ήδη εγκαταστημένους γεωθερμικούς σταθμούς. Στις δύο πρώτες στήλες του πίνακα μπορεί κάποιος να δει την εγκατεστημένη ισχύ των χωρών που αναφέρονται κατά το έτος 2015 καθώς και την ενέργεια που παράχθηκε. Εν συνεχεία, καταγράφεται η εγκατεστημένη ισχύς για το έτος 2020 και η ενέργεια που παράχθηκε κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους. Στις δύο τελευταίες στήλες καταγράφεται η εγκατεστημένη ισχύς που προβλέπεται να έχει εγκατασταθεί μέχρι το έτος 2050 και παράλληλα η μεταβολή της ενέργειας που θα παράγεται από αυτή.

Πίνακας 1. Στατιστικά στοιχεία γεωθερμικής ενέργειας και παραγωγή ενέργειας κατά την χρονική περίοδο 2015-2020.

Πηγή: [(4)]

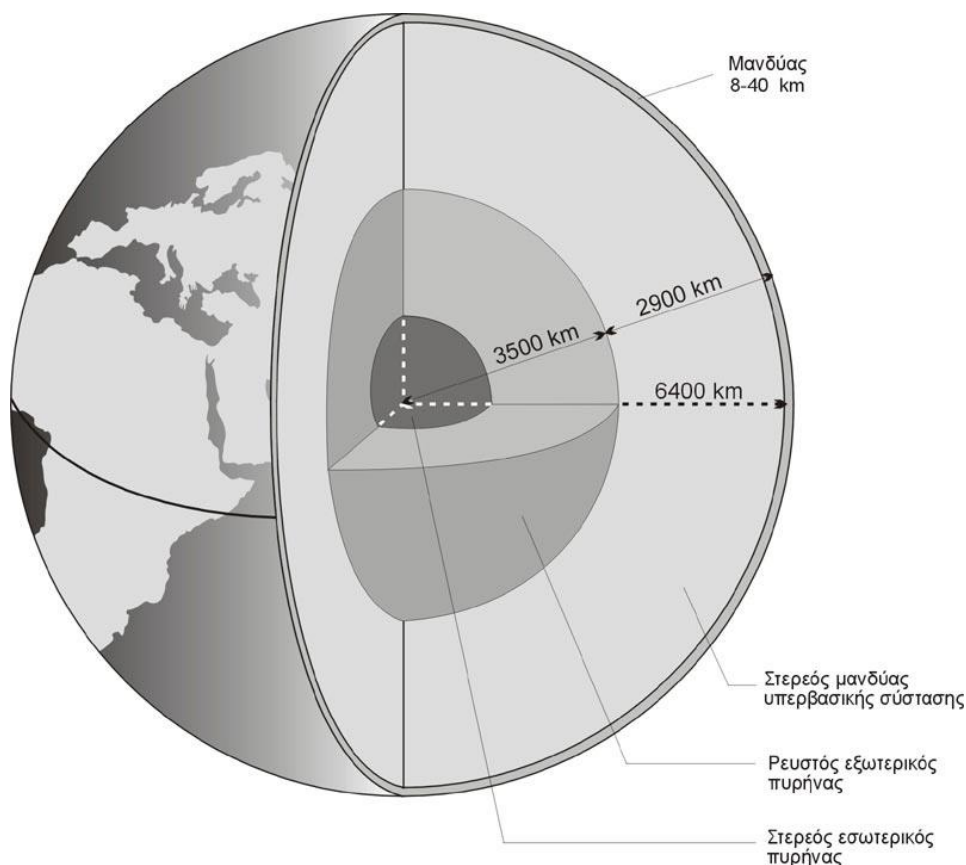
Χώρα	Εγκατεστημένη Ισχύς 2015 (Mwe)	Ενέργεια 2015 (Gwh/έτος)	Εγκατεστημένη Ισχύς 2020 (Mwe)	Ενέργεια 2020 (Gwh/έτος)	Αναμενόμενη Εγκατεστημένη Ισχύς 2015 (Mwe)	Αναμενόμενη Αύξηση Ενέργειας 2020 (Gwh/έτος)
Αργεντινή	0	0	0	0	30	0
Αυστραλία	1,1	0,5	0,62	1,70	0,31	-0,48
Αυστρία	1,4	3,8	1,25	2,20	2,2	-0,15
Βέλγιο	0	0	0,80	2	0,2	0,8
Χιλή	0	0	48	400	81	48
Κίνα	27	150	34,89	174,6	386	7,89
Κόστα Ρίκα	207	1.511	262	1.559	262	55
Κροατία	0	0	16,5	76	24	16,5
Ελ Σαλβαδόρ	204	1.442	204	1.442	284	0
Αιθιοπία	7,3	10	7,3	58	31,3	0
Γαλλία	16	115	17	136	25	1
Γερμανία	27	35	43	165	43	16
Γουατεμάλα	52	237	52	237	95	0
Ονδούρας	0	0	35	297	35	35
Ουγγαρία	0	0	3	5,30	3	3
Ισλανδία	665	5.245	755	6.010	755	90
Ινδονησία	1.340	9.600	2.289	15.313	4.362	949
Ιταλία	916	5.660	916	6.100	936	0
Ιαπωνία	519	2.678	550	2.409	554	31
Κένυα	594	2.848	1.193	9.930	600	599
Μεξικό	1.017	6.071	1.005,80	5.375	1.061	-11,20
Νικαράγουα	159	492	159	492	159	0
Νέα Ζιλανδία	1.005	7.000	1.064	7.728	200	59
Νέα Γουινέα	50	432	11	97	50	-39
Φιλιπίνες	1.870	9.646	1.918	9.893	2,009	48
Πορτογαλία	29	196	33	216	43	4
Ρωσία	82	441	82	441	96	0
Ταϊβάν	0,10	1	0,3	2,6	162	0,2
Τουρκία	397	3.127	1.549	8.168	2.600	1.152
Η.Π.Α.	3.098	16.600	3.700	18.366	4.313	602

1.2 Γεωθερμική ενέργεια και γεωθερμικά συστήματα.

Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια περιγράφεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης.. Αυτή η θερμότητα αποτελεί κινητήριο δύναμη για τον πλανήτη και σε γεωλογικό χρόνο καθορίζει το γίνεσθαι στην επιφάνεια. [(5)]

Η ενέργεια αυτή φτάνει στην επιφάνεια και στη συνέχεια ακτινοβολείται στο διάστημα, παράλληλα αποθηκεύεται και σε υπόγειους ή επιφανειακούς σχηματισμούς με τη μορφή θερμών ατμών, υπόγειων θερμών νερών καθώς και θερμών ξηρών πετρωμάτων. [(6)]

Η γεωθερμική βαθμίδα εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η θερμοκρασία ως συνάρτηση του βάθους από την επιφάνεια προς το εσωτερικό της γης. Η δομή της γης αποτελείται από τέσσερα στρώματα τα οποία χωρίζονται κατά βάθος. Αυτά τα στρώματα αποτελούνται από τον εξωτερικό μανδύα, τον στερεό μανδύα υπερβασικής σύστασης, τον ρευστό εξωτερικό πυρήνα και τον στερεό εσωτερικό πυρήνα. Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται τα συγκεκριμένα στρώματα της γης.



Εικόνα 1. Αναπαράσταση των στρωμάτων της Γης κατά βάθος.

Πηγή: [(7)]

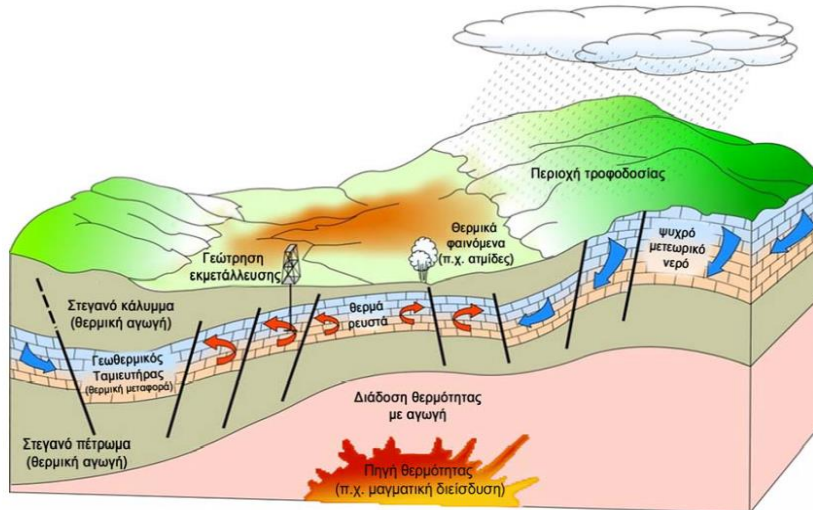
Εκτιμάται ότι στα βάθη που είναι προσβάσιμα με τις μέχρι σήμερα μεθόδους, τα οποία φτάνουν τα δέκα χιλιάδες μέτρα βάθος, η μέση γεωθερμική βαθμίδα που συναντάται κυμαίνεται στους δύομισι με τρεις βαθμούς Κελσίου ανά εκατό μέτρα. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε πως η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή στους δεκαπέντε βαθμούς Κελσίου, τότε μπορεί να υποθεθεί ότι η θερμοκρασία στο βάθος των δύο χιλιάδων μέτρων θα είναι περίπου εξήντα πέντε με εβδομήντα πέντε βαθμούς Κελσίου.

Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί απόλυτο κανόνα. Παρατηρούνται περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα αποκλίνει από την μέση τιμή. Αυτό συμβαίνει σε σημεία που το γεωλογικό υπόβαθρο βυθίστηκε πολύ γρήγορα και συνεπώς η λεκάνη έχει πληρωθεί με γεωλογικά πολύ «νέα» ιζήματα και επομένως η γεωθερμική βαθμίδα να είναι μικρότερη από αυτή που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αντίστοιχα, σε ωκεάνιες περιοχές όταν απομακρύνονται ή συγκρούονται τεκτονικές πλάκες με αποτέλεσμα να εξέρχεται μαγματικό υλικό παρατηρούνται γεωθερμικές βαθμίδες μεγαλύτερες της μέσης [(8)].

Η διαφορά στην θερμοκρασία μεταξύ των βαθιών θερμότερων και των ρηχών ψυχρότερων ζωνών δημιουργεί δι' αγωγής ροή θερμότητας από τις θερμές ζώνες στις ψυχρές με την τάση να δημιουργούνται ομοιόμορφες συνθήκες.

Τα γεωθερμικά συστήματα συναντώνται σε περιοχές με μέσης ή ελαφρώς πάνω από της μέσης γεωθερμικής βαθμίδα καθώς και σε περιοχές κοντά στα όρια μιας γεωλογικής πλάκας όπου οι γεωθερμικές βαθμίδες είναι υψηλότερες από το μέσο όρο.

Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η γενική μορφή της γήινης συμπεριφοράς. Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία, τη θερμή πηγή, το συλλέκτη και το ρευστό μέσω του οποίου πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας. Σε αυτά τα συστήματα το ρευστό κυκλοφορεί βάσει της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ των ψυχρότερων ανώτερων μαζών του ενδιάμεσου ρευστού που εισέρχεται στον συλλέκτη και των θερμότερων μαζών του γεωθερμικού ρευστού που ανέρχονται προς την επιφάνεια λόγω άνωσης. Ως συλλέκτης μπορεί να λειτουργήσει μια συστάδα θερμών διαπερατών πετρωμάτων από όπου η κυκλοφορία των ρευστών παράγει θερμότητα. Ο συλλέκτης καλύπτεται από ένα στρώμα αδιαπέρατων πετρωμάτων τα οποία συνδέονται με την περιοχή κοντά στην επιφάνεια μέσω της οποίας οι απώλειες των ρευστών που διαφεύγουν από τον συλλέκτη αντικαθίστανται από μετεωρικό νερό [(9)].



Εικόνα 2. Γεωθερμικό σύστημα κατά Dickson. Πηγή: [(9)]

Μπορεί να γίνει κατηγοριοποίηση των γεωθερμικών συστημάτων βάσει διαφορετικών παραγόντων. Κάποιοι από αυτούς τους παράγοντες είναι η κατανομή της υδραυλικής αγωγιμότητας, το βάθος του ταμιευτήρα και η ενθαλπία. [(5)]

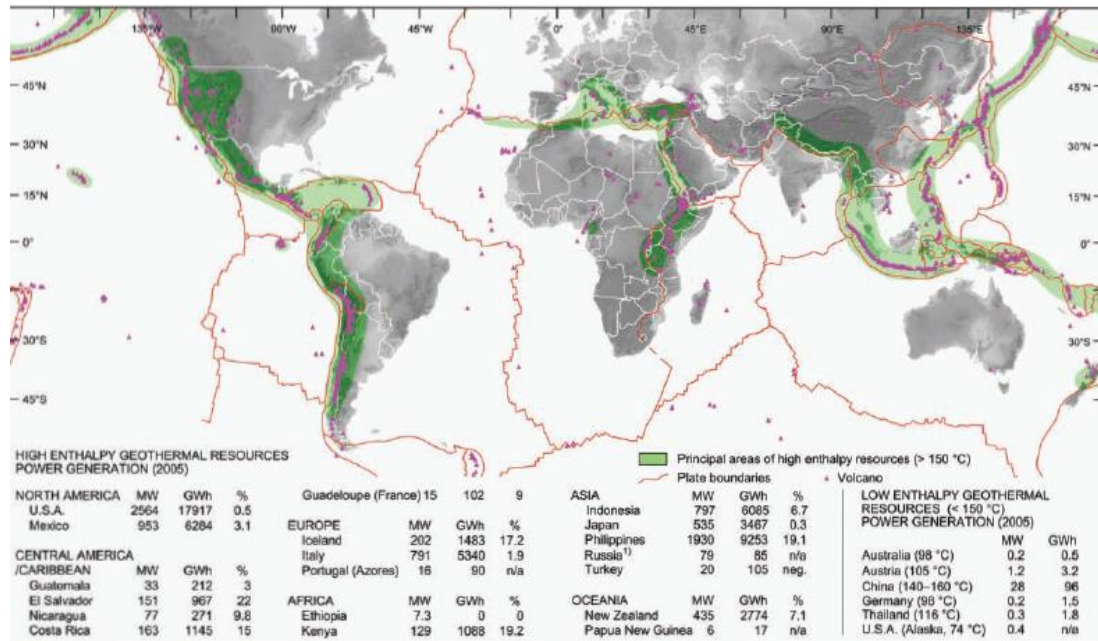
Ανάλογα λοιπόν τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μεταφορά θερμότητας, τα γεωθερμικά συστήματα υποδιαιρούνται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

- Συστήματα ροής θερμότητας με ροή μάζας.
- Συστήματα ροής θερμότητας δι' αγωγής [(10)]

Ως κριτήριο για τη ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων χρησιμοποιείται η ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών. Με τον ελληνικό όρο ενθαλπία, διεθνή σήμερα, που προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα ενθάλπω, που σημαίνει 'ζεσταίνω', 'κρύβω μέσα μου', χαρακτηρίζεται το ολικό ποσό θερμικής ενέργειας που περιέχει ένα θερμοδυναμικό σύστημα. Συμβολίζεται με το αγγλικό γράμμα H και ισούται με $H = U + pV$, όπου U είναι η εσωτερική ενέργεια, p η πίεση και V ο όγκος. Η ενθαλπία χρησιμοποιείται για να δείξει την ποσότητα της θερμότητας στον ατμό ή το νερό που παράγεται από έναν γεωθερμικό πόρο. Ως μονάδα μέτρησης της ενθαλπίας χρησιμοποιείται το Joule (J). [(11)]

Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται μια άποψη των αποθεμάτων υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας ανά τον πλανήτη όπως αυτά είναι κατανομημένα κατά μήκος των ορίων των πλακών. Μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ότι το δυναμικό συστημάτων μέσης και χαμηλής ενθαλπίας είναι υψηλότερο από αυτό των συστημάτων υψηλής ενθαλπίας αφού αυτά τα συστήματα είναι πιο διαδομένα και βρίσκονται σε μικρά βάθη τα οποία είναι και πιο εύκολα προσβάσιμα.

Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι τα συστήματα χαμηλής ενθαλπίας, την σήμερα, δεν αξιοποιούνται με σκοπό παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας [(12)].



Εικόνα 3. Κατανομή των γεωθερμικών πόρων παγκοσμίως.

Πηγή: [(12)]

1.3 Η Γεωθερμία στην Ελλάδα

Είναι γνωστό ότι η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογα γεωθερμικά πεδία με αυτά της Μήλου και της Νισύρου να προσελκύουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Στα νησιά αυτά υπάρχουν πεδία με σημαντικό βεβαιωμένο δυναμικό, υψηλής ενθαλπίας ($> 150^{\circ}\text{C}$). Σε λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας και σε πολλά μεγάλα νησιά του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου εντοπίζονται πεδία με μέση ενθαλπία ($90^{\circ} - 150^{\circ}\text{C}$) των οποίων μπορεί να γίνει χρήση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και σε πολλές άλλες θερμικές χρήσεις. Σε τουλάχιστον 50 γεωθερμικά πεδία που εντοπίζονται στη χώρα και η θερμοκρασία τους ποικίλει από $25^{\circ} - 90^{\circ}\text{C}$, η απόδοση τους εκτιμάται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) πως είναι γύρω στις 1000MWh και παρόλα αυτά μόλις το 9% εξ αυτών έχουν εξερευνηθεί. [(13)]

Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι η κανονική (αβαθής) γεωθερμία συναντάται σε κάθε γωνιά του πλανήτη, με ανεκμετάλλευτο δυναμικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κυρίως στη θέρμανση, ψύξη και την παραγωγή θερμού νερού χρήσης.

Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των γεωθερμικών πεδίων στον ελλαδικό χώρο.

Ξεχωρίζει ο μεγάλος αριθμός γεωθερμικών πεδίων στις περιοχές της Μακεδονίας, της Θράκης και του Αιγαίου Πελάγους καθώς και τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, της Μήλου και της Νισύρου όπου η θερμοκρασία των πεδίων ξεπερνά τους 320°C . Το γεωθερμικό δυναμικό

των πεδίων των δυο νησιών υπολογίζεται πως ξεπερνά τα 30MW και εκτιμάται ότι μπορεί να φτάσει τα 230MW. [(14)]



Εικόνα 4. Γεωγραφική κατανομή των γεωθερμικών πεδίων στον ελληνικό χώρο.
Πηγή: [(13)]

Η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών ξεκίνησε στην Ελλάδα από το ΙΓΜΕ κατά τη δεκαετία του 1970 και έκτοτε γίνεται ολοένα και περισσότερο εντατική προσπάθεια έρευνας και αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας.

Μια από τις πιο σημαντικές περιοχές όσον αφορά τη γεωθερμική ενέργεια, συναντάται κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νότιου Αιγαίου, στο οποίο βρίσκεται η Μήλος καθώς και η Νίσυρος. Στο νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου – Κίμωλου – Πολυαίγου έχει εντοπιστεί το πρώτο γεωθερμικό πεδίο υψηλής θερμοκρασίας στη χώρα.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η) σε συνεργασία με το ΙΓΜΕ και τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) συνεργαστήκαν με σκοπό την ανεύρεση γεωθερμικών πεδίων στον ελλαδικό χώρο. Συγκεκριμένα στο νησί της Μήλου πραγματοποιήθηκαν συνολικά δέκα γεωτρήσεις μέτρησης θερμοβαθμίδας προκειμένου να

εντοπιστούν οι κατάλληλες περιοχές προς εκμετάλλευση. Το 1975, η έρευνα οδήγησε στη κατασκευή δύο βαθιών γεωτρήσεων με τις οποίες επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη των αντίστοιχων σημαντικών γεωθερμικών πεδίων. Το 1982 κατασκευάστηκαν από τη Δ.Ε.Η ακόμα τρεις παραγωγικές γεωθερμικές γεωτρήσεις βάθους 1000 – 1500m.

Ως αποτέλεσμα της έρευνας, κατά τα έτη 1986-88 λειτούργησε στην Ελλάδα ο πρώτος γεωθερμικός σταθμός από ανάθεση της Δ.Ε.Η στην εταιρεία Mitsubishi. Επρόκειτο για μια πιλοτική μονάδα η οποία είχε ισχύ 2 MW και βρισκόταν εγκατεστημένος στο νησί της Μήλου. [(15)]

Ωστόσο, υπήρξε αντίδραση από τους κατοίκους λόγω της έντονης οσμής του υδρόθειου στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς η ανάπτυξη του συστήματος γεωθερμίας στη Μήλο σταμάτησε το 1989. Δύο δεκαετίες αργότερα, το 2009 πραγματοποιήθηκαν εκ νέου μετρήσεις του γεωθερμικού δυναμικού του νησιού. [(16)]

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εικόνα 5 όπου φαίνεται η περιοχή που ήταν εγκατεστημένος ο σταθμός στη Μήλο και η περιοχή όπως είναι σήμερα μετά την αποξήλωση του σταθμού.

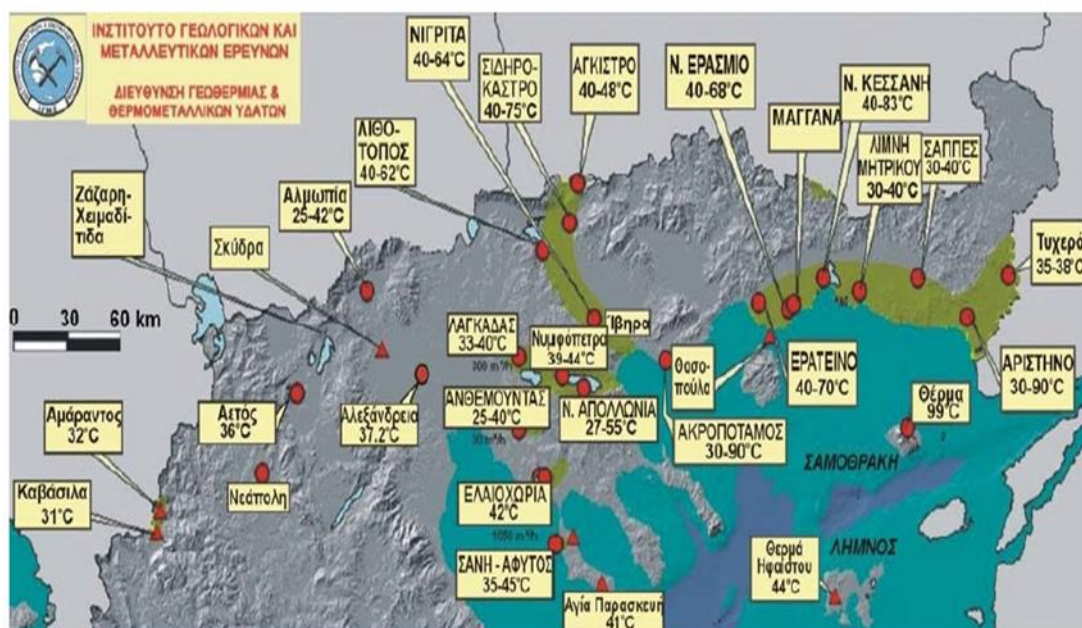
Έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη Δ.Ε.Η το 2013 ανέδειξε ότι στην Ελλάδα από το 1973 έχουν πραγματοποιηθεί πάνω από 130 μελέτες και πέντε παραγωγικές γεωτρήσεις στη Μήλο βάθους 1000-1800m. Μάλιστα, αξίζει να τονιστεί το γεγονός ότι η δημιουργία του γεωθερμικού σταθμού στη Μήλο ήταν μια πρωτοπορία τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκοσμίως αφού όταν ξεκίνησαν οι έρευνες που οδήγησαν στην εγκατάσταση του σταθμού, μόνο λίγες χώρες παρήγαγαν ηλεκτρισμό από γεωθερμία, μεταξύ αυτών, οι ΗΠΑ, η Ιταλία, η Ισλανδία και η Νέα Ζηλανδία.



Εικόνα 5. Δεξιά: Άποψη του γεωθερμικού σταθμού στη Μήλο. Αριστερά: Η περιοχή σήμερα μετά την αποξήλωση του σταθμού.

Πηγή: [(15)]

Αξίζει επιπλέον να αναφερθεί ότι με βάση το βαθμό γνώσης των χαρακτηριστικών τους, αρκετές περιοχές της Μακεδονίας και της Θράκης που παρουσιάζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον έχουν χαρακτηριστεί κατόπιν εισήγησης και γνωμοδότησης του ΙΓΜΕ ως «βεβαιωμένα ή / και πιθανά γεωθερμικά πεδία». Τα εντοπισθέντα και επίσημα χαρακτηρισθέντα ως «βεβαιωμένα ή / και πιθανά γεωθερμικά πεδία» γεωθερμικά πεδία της Μακεδονίας και της Θράκης καθώς και οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος παρουσιάζονται στην εικόνα 6. Επισημαίνεται ότι οι περιοχές που σημειώνονται με κεφαλαία γράμματα εντός πλαισίου αντιστοιχούν στα χαρακτηρισθέντα με Υπουργικές Αποφάσεις ως «βεβαιωμένα ή / και πιθανά γεωθερμικά πεδία», ενώ οι περιοχές με μικρά γράμματα αντιστοιχούν σε περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος χωρίς επίσημο χαρακτηρισμό. Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι το 2019 τα γεωθερμικά πεδία που έχουν εντοπιστεί στον ελληνικό χώρο είναι περισσότερα από 40. [(16)].



Εικόνα 6. Γεωθερμικά πεδία και περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος στην Ελλάδα.

Πηγή: [(16)].

1.4 Ιστορική Αναδρομή

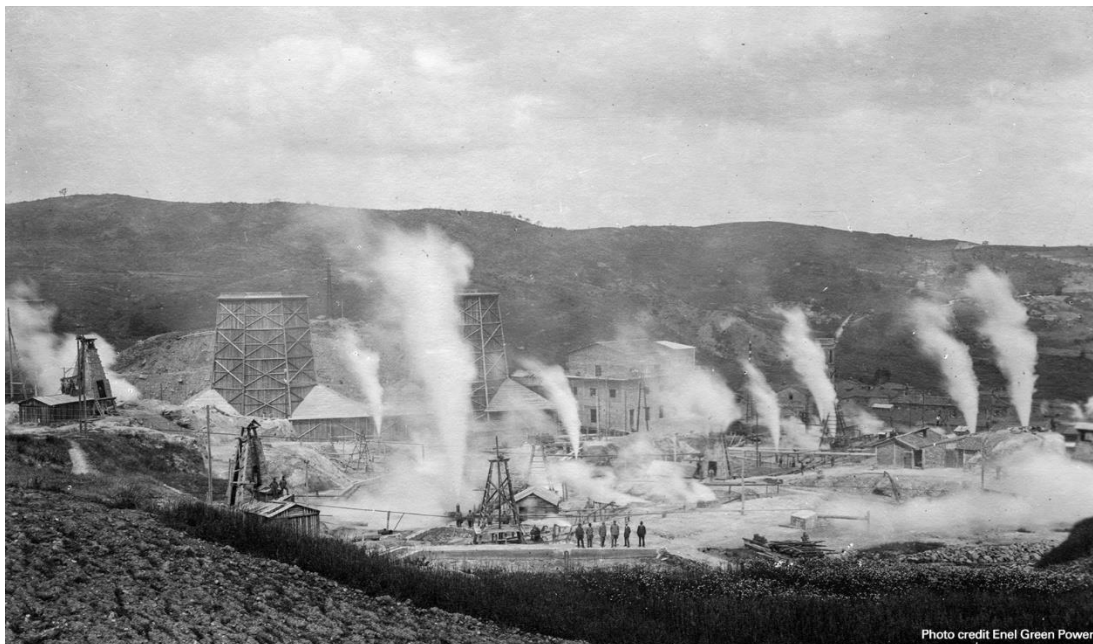
Η μεταφορά της θερμότητας αλλά και η εσωτερική δομή του πλανήτη συνέστησαν αντικείμενο μελέτης από τα αρχαία χρόνια. Θεωρείται πως η αρχή της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας δόθηκε από τους Ινδιάνους οι οποίοι χρησιμοποιούσαν τις ζεστές πηγές για μαγείρεμα, καθαριότητα και θέρμανση.

Ωστόσο, η πρώτη απόπειρα επιστημονικής αντιμετώπισης των γεωθερμικών φαινομένων έγινε κατά τον 17^ο αιώνα στην Αγγλία από τον Robert Boyle, όταν με τη κατασκευή των πρώτων βαθέων ανθρακωρυχείων έγινε σαφές ότι υπάρχει μια γεωθερμική βαθμίδα, δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας της Γης με το βάθος. [(4)]

Εν τούτοις, η παραγωγή ενέργειας από τη γεωθερμία καταγράφεται πρώτη φορά στην Ευρώπη τον 18^ο αιώνα κοντά στην περιοχή της Πίζας στην Ιταλία. Ο ατμός που έβγαινε από φυσικές οπές αερισμού χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή βορικού οξέος από θερμές πηγές οι οποίες τώρα είναι γνωστές ως πεδία του Larderello. Μάλιστα, στο Larderello λειτούργησε ο πρώτος σταθμός παραγωγής ηλεκτρισμού από γεωθερμική ενέργεια το 1904 (εικόνα 7). [(17)]

Το 1958 τέθηκαν σε λειτουργία οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας στη Ζηλανδία και μόλις δύο χρόνια αργότερα, το 1960, στη Βόρεια Καρολίνα, στην Αμερική.

Η πρώτη προσπάθεια καταγραφής και ανάλυσης γεωθερμικών πόρων στην Ελλάδα χρηματοδοτήθηκε το 1971 και αφορούσε τα νησιά της Μήλου, Νισύρου, Λέσβου καθώς και στις περιοχές των Μεθάνων, Σουσακίου, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη και Αιδηψό. Από τη συγκεκριμένη ερευνητική προσέγγιση προέκυψαν αρκετές δημοσιεύσεις οι οποίες έγιναν από το ΙΓΜΕ κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, συμπεριλαμβάνοντας μια σύντομη περιγραφή του γεωλογικού υπόβαθρου και περίπου 1300 χημικές αναλύσεις από τις καταγεγραμμένες θερμές και ιαματικές πηγές. [(18)]



Εικόνα 7. Κατασκευή του γεωθερμικού σταθμού του Larderello, στην Τοσκάνη της Ιταλίας.

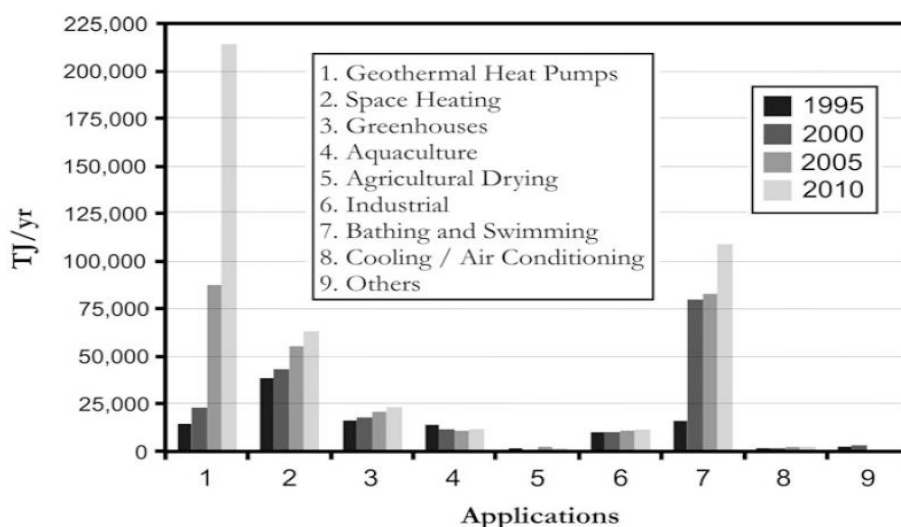
Πηγή: [(19)]

1.5 Γεωθερμική Ενέργεια και εφαρμογές της.

Ο Tesla ήδη από πολύ νωρίς είχε οραματιστεί τη χρησιμότητα της εκμετάλλευσης της γεωθερμίας και δήλωνε : «είναι γνωστό ότι τα εσωτερικά τμήματα του πλανήτη είναι πολύ ζεστά, η θερμοκρασία αυξάνεται, όπως δείχνουν οι παρατηρήσεις, κατά προσέγγιση 1 βαθμός °C κατά 100 πόδια βάθους. Η δυσκολία βύθισης αξόνων και λεβήτων σε μεγάλα βάθη, για παράδειγμα, δώδεκα χιλιάδων ποδιών, που αντιστοιχούν σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 120°C, δεν είναι ανυπέρβλητες και σίγουρα θα μπορούσαμε να επωφεληθούμε με αυτό τον τρόπο της θερμότητας που βρίσκεται στο εσωτερικό του πλανήτη. Στην πραγματικότητα δεν θα ήταν απαραίτητο να πάμε σε κανένα βάθος για να αντλήσουμε ενέργεια από την επίγεια αποθηκευμένη θερμότητα εφόσον τα επιφανειακά στρώματα της Γης είναι σε θερμοκρασία αρκετά υψηλή για να εξατμιστούν ορισμένες εξαιρετικά πτητικές ουσίες με τις οποίες θα μπορούσαμε να αντικαταστήσουμε το νερό στους λέβητες». [(20)]

Για να μπορέσει να γίνει αξιοποίηση του δυναμικού της θερμότητας που εντοπίζεται στο εσωτερικό της γης με αποδοτικό τρόπο είναι πρώτα σκόπιμο να γίνουν κατανοητές οι πηγές αυτής της θερμότητας. [(21)]

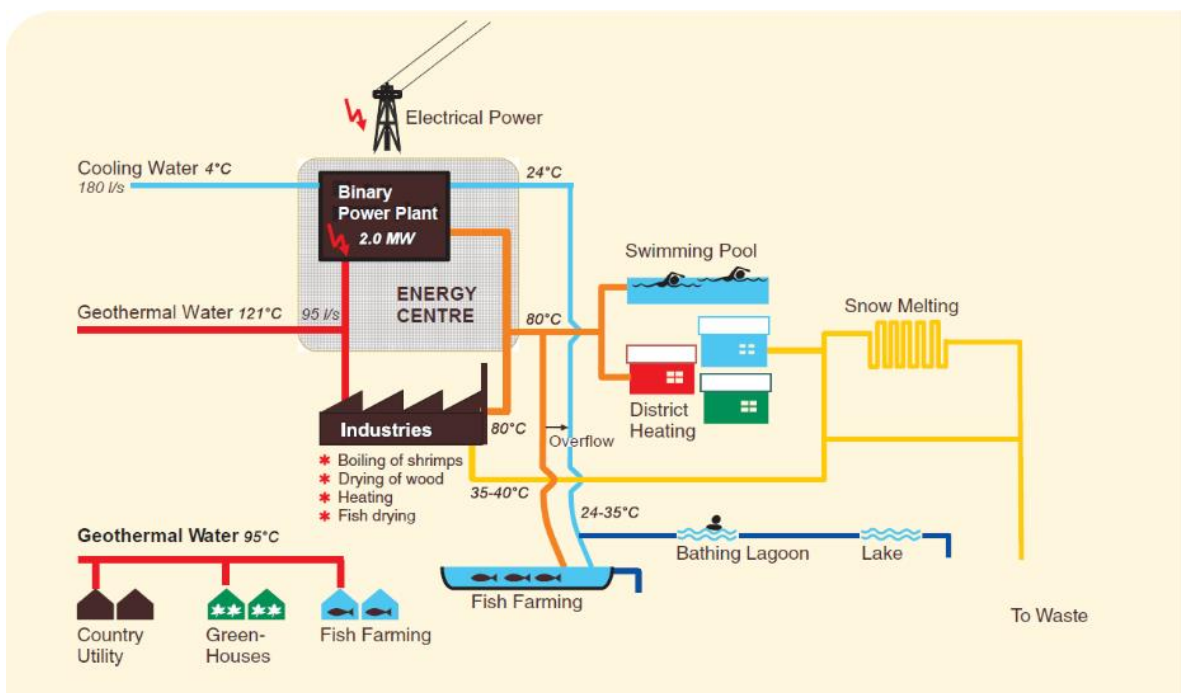
Η γεωθερμική ενέργεια, το 2019 χρησιμοποιούταν από 78 χώρες για σκοπούς θέρμανσης και από 24 χώρες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην εικόνα 9 παρουσιάζονται οι διάφορες εφαρμογές της χρήσης της γεωθερμίας σε TJ/ έτος, παγκοσμίως, κατά την χρονική περίοδο 1995-2010. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη στήλη παρουσιάζει την χρήση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ), η δεύτερη στήλη την χρήση γεωθερμίας για θέρμανση περιοχών, η τρίτη την χρήση γεωθερμίας σε θερμοκήπια, η τέταρτη την χρήση γεωθερμίας για θέρμανση υδατοκαλλιεργειών και θέρμανση δρόμων, η πέμπτη την χρήση γεωθερμίας για ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η έκτη την χρήση γεωθερμίας για την διεξαγωγή εμπορικών διεργασιών θέρμανσης, η έβδομη την χρήση γεωθερμίας για λιώσιμο των πάγων και ψύξη χώρου, η όγδοη την χρήση γεωθερμίας για θέρμανση και ψύξη πισινών ή λουτρών ενώ η τελευταία εμπεριέχει λιγότερο διαδεδομένες χρήσεις της γεωθερμίας στα πεδία της κτηνοτροφίας, των καλλιεργειών σπιρουλίνας, των αφαλατώσεων και της αποστείρωσης προϊόντων [(21)] .



Εικόνα 8. Χρήση της γεωθερμίας από το 1995 – 2010, παγκοσμίως. Πηγή: [(21)].

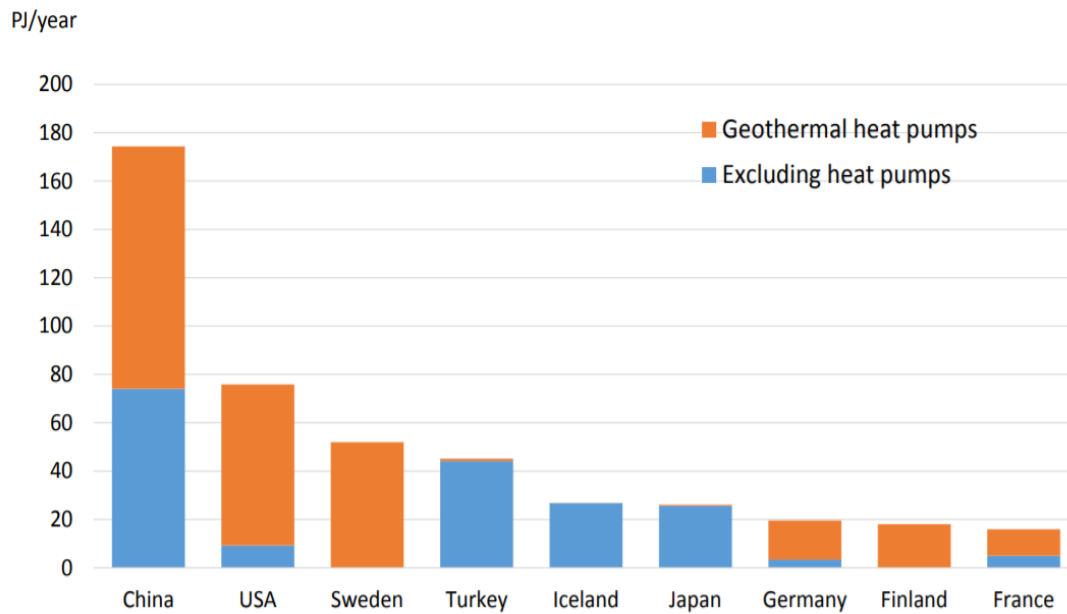
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ιδεατό παράδειγμα διαδοχικής χρήσης της γεωθερμίας που παρουσιάζεται στην εικόνα 9. Στην συγκεκριμένη εικόνα παρατηρείται ένας μικρός γεωθερμικός σταθμός ισχύος 2MW, δυαδικού κύκλου που βρίσκεται 18km μακριά από το σημείο της γεώτρησης. Το σύστημα χρησιμοποιεί την απορριπτόμενη θερμότητα του ρευστού (μετά την παραγωγή ενέργειας) ώστε να θερμάνει κοντινές οικίες, να ανεβάσει την θερμοκρασία στις ιχθυοκαλλιέργειες καθώς και για να λιώσει ο πάγος από την επιφάνεια των δρόμων.

Το συγκεκριμένο ιδεατό μοντέλο παρουσιάστηκε στην Ισλανδία, η οποία είναι μια χώρα όπου επενδύει σε αρκετά μεγάλο βαθμό στη χρήση της γεωθερμίας. Από την πολιτεία της Ισλανδίας υιοθετείται η άποψη ότι η βιώσιμη και ορθολογική αξιοποίηση των εγχώριων πόρων, στο πλαίσιο προστασίας του περιβάλλοντος, προσφέρει ευημερία στους πολίτες της χώρας.



Εικόνα 9. Άποψη πολλαπλών χρήσεων της γεωθερμίας. Πηγή: [(22)]

Στην εικόνα 10 παρουσιάζονται οι χώρες που εμφανίζουν την μεγαλύτερη χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Με πορτοκαλί χρώμα συμβολίζεται η γεωθερμική ενέργεια που αξιοποιείται με την χρήση ΓΑΘ ενώ με μπλε χρώμα η γεωθερμική ενέργεια που αξιοποιείται με άλλες τεχνικές. Εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κάποιος από το διάγραμμα (εικόνα 10) ότι οι χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ γεωθερμίας είναι η Κίνα, η Η.Π.Α., η Σουηδία η Τουρκία και η Γερμανία. Εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως στην Σουηδία και στην Φινλανδία η πλήρης εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας γίνεται με την χρήση ΓΑΘ, καθώς και πως στην Ισλανδία δεν γίνεται καθόλου χρήση των ΓΑΘ [(23)].



Εικόνα 10. Θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ανά χώρα. Πηγή: [(24)].

Βιβλιογραφία 1^{ου} κεφαλαίου.

1. IENE (2019). Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας – Ετήσια Έκθεση 2019. <https://www.iene.gr/articlefiles/file/meletes/iene-meleti-2019.pdf>
2. GEOELEC (2013). Prospective study on the geothermal electricity potential in EU in 2020/2030/2050, pp. 1-42. <http://www.geoelec.eu/wp-content/uploads/2013/11/Deliverable-2.5-A-prospective-study-on-the-geothermal-potential-in-Europe.pdf>
3. IRENA (2017). Geothermal Power. Technology brief. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf
4. Huttner G. W., (2020). Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report. Proceedings World Geothermal Congress, pp 1-17. Reykjavik, Iceland. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
5. Τζάνης Α., (2010). Σημειώσεις για την έρευνα γεωθερμικών πεδίων. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. ΕΚΠΑ.
6. Βραχόπουλος Μ., (2020). Γεωθερμική ενέργεια. Εργαστήριο Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Ερευνών. ΕΚΠΑ.
7. Βουβαλίδης Κ. (2013) . Φυσική γεωγραφία. ΑΠΘ.
8. Dincer I., Ozturk M., (2021). Geothermal Energy Systems. Elsevier. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com>
9. Dickson M.H., Fanelli M., (2004). What is Geothermal Energy. International Geothermal Association. Bochum. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com>
10. Μιχόπουλος Α., (2012). Χρήσεις των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας. Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία, κεφ. 3^ο. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.
11. Αρβανίτης Α., (2003). Γεωθερμική Μελέτη ΝΔ τμήματος της λεκάνης του Στρυμόνα. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
12. Chandrasekharam D., Bundschuh J., (2008). Low Enthalpy Geothermal Resources for Power Generation. Taylor and Francis Group (Eds), London, UK.
13. Karytsas S., Polyzou O., Karytsas C., (2019). Social Aspects of Geothermal Energy in Greece. Lectures Notes in Energy. Geothermal Energy and Society, pp 123-141 (67). Διαθέσιμο από: <https://www.springer.com/gp/book/9783319782850>

14. Papachristou M., Mendrinou D., Dalampakis P., Arvanitis A., Karytsas C, Andritsos N (2016). Geothermal Energy Use, Country Update for Greece. European Geothermal Congress 2016 Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
15. ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ (2013). Ανάπτυξη γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, σελ. 1-31. Αθήνα 2013. Διαθέσιμο από: https://www.oryktosploutos.net/2014/12/blog-post_25-19/
16. Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (2018). Ελληνική γεώσφαιρα Διαθέσιμο από: <https://www.eagme.gr/>
17. Κολιός Ν., Αρβανίτης Α., Κουτσινός Σ., (2009). Διερεύνηση της δυνατότητας της ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμικά ρευστά μέσω θερμοκρασιών σε Μακεδονία και Θράκη. Διεθνές Forum «Η Γεωθερμική Ενέργεια στο Προσκήνιο», Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2009.
18. Britannica (2021). Geothermal Energy, history. Διαθέσιμο από: <https://www.britannica.com/science/geothermal-energy/History>
19. Fytikas M., Leonidopoulou G., M., (1999). Geothermal Energy in Ancient Greece: From Mythology to Late Antiquity. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
20. ENEL Green Power. Italy: Larderello geothermal plant. Διαθέσιμο από: <https://www.enelgreenpower.com/media/photo/2020/03/larderello-tuscany-history>
21. Glassey W., (2015). Geothermal Energy. Renewable Energy and the Environment. CRC Press, 2nd edition.
22. Saibi H., Finsterle S., Bertani R., Nishijima J., (2013). Geothermal Energy. Handbook of Sustainable Engineering, pp 1019-1064, (ch. 54). Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
23. Gehring M., Loksha V., (2012). Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. Technical Report. Energy Sector Management Assistance Program. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
24. Ragnarsson A., (2016). Overview of direct geothermal applications and uses worldwide.

2. Ερευνητική και τεχνολογική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων παγκοσμίως

2.1 Ερευνητική και τεχνολογική προσέγγιση Γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας θα μπορούσε να αποτελέσει μια αξιόπιστη λύση στο ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση κτιρίων, σε βιομηχανικές διαδικασίες, στην γεωργία συμβάλλοντας έτσι στην ανάπτυξη βιώσιμων κοινωνιών καθώς και σε αναρίθμητες ακόμα χρήσεις .

Για την αξιολόγηση του γεωθερμικού πεδίου πρέπει να οριστεί η εν δυνάμει ενεργειακή του απόδοση που μπορεί να παρέχει και που σχετίζεται τόσο με την θερμοκρασία όσο και με την παροχή του ρευστού. Για το σκοπό αυτό αλλά και για τον προσδιορισμό της υποκατάστασης «συμβατικής» ενέργειας συγκρίνεται και παρουσιάζεται η ποσότητα ισοδύναμου πετρελαίου που υποκαθιστά για τις διάφορες χρήσεις του (λ.χ. θέρμανση χώρων, θέρμανση οικισμών, άλλες χρήσεις). Αυτή η μονάδα μέτρησης ονομάζεται TEP (Tonne Equivalent Petrole = ισοδύναμος τόνος πετρελαίου) [(1)].

Ως πεδία χαμηλής ενθαλπίας ορίζονται αυτά που έχουν θερμοκρασία ρευστού χαμηλότερη από 90°C [(1)].

Με την πάροδο του χρόνου και την συνεχιζόμενη τεχνολογική ανάπτυξη παρατηρείται συνεχώς αύξηση της χρήσης και εκμετάλλευσης γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμια κλίμακα[(2)].

Για την ορθή κατανόηση των γεωθερμικών συστημάτων κρίνεται αναγκαίο να εισαχθούν δύο βασικές έννοιες. Η εγκατεστημένη ισχύς (MWt) και η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (TJ/έτος).

Η εγκατεστημένη ισχύς, δηλαδή η συνολική ισχύς ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας [(3)], υπολογίζεται με την βοήθεια του παρακάτω τύπου :

$$Q_{installed} = F_{max}(T_{in} - T_{out}) \times C_{pwater@20}$$

Αντίστοιχα, η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται ως εξής :

$$E_{annual} = F_{av}(T_{in} - T_{out}) \times C_{pwater@20T} \times 31.536.000$$

Πίνακας 2. Αντιστοιχίας συμβόλων εγκατεστημένης ισχύος

Πίνακας αντιστοιχίας συμβόλων	
$Q_{installed}$	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)
F_{max}	Μέγιστη παροχή (kg/s)
T_{in}	Θερμοκρασία εισόδου ($^{\circ}C$)
T_{out}	Θερμοκρασία εξόδου ($^{\circ}C$)
F_{av}	Μέση παροχή (kg/s)
$C_{pwater@20}$	0,004185 ($MJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
$C_{pwater@20T}$	0,000000004185 ($TJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
E_{annual}	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (TJ/year)
31.536.000	Τα δευτερόλεπτα που απαρτίζουν ένα τυπικό έτος (s/year) $365 (d) \times 24 (hr) \times 60 (min) \times 60 (s)$

Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς (MWt), η ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/yr) καθώς και οι συντελεστές χρησιμοποίησης (capacity factor) ανά ήπειρο παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Συνοπτικά στοιχεία για τη χρήση της γεωθερμίας παγκοσμίως εξαιρώντας την παραγωγή ενέργειας και τα αβαθή γεωθερμικά συστήματα.

Πηγή: [(4,5)]

Ήπειρος	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)	Ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/ έτος)	Συντελεστής χρησιμοποίησης
Αφρική	198	3730	0,597
Αμερική	23.330	180.414	0.245
Κεντρική και Καραϊβική	9	195	0.687
Βόρεια Αμερική	22.700	171.510	0,24
Νότια Αμερική	621	8709	0,445
Ασία	49.079	545.019	0,352
Ευρώπη	32.386	264.843	0,259
Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη	3439	28.098	0,259
Βόρεια και Δυτική Ευρώπη	28.947	236.745	0,259
Ωκεανία	613	10.974	0,568
Σύνολο	107.727	1.020.887	0,300

2.1.1. Χρήσεις γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας

Στην συνέχεια γίνεται μία αναφορά στους συνηθέστερους σκοπούς χρήσης της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας :

- Τηλεθέρμανση
- Θέρμανση θερμοκηπίων και αγροτικών εδαφών
- Θέρμανση Ιχθυοκαλλιεργειών
- Θερμά λουτρά
- Τήξη των πάγων από την επιφάνεια του εδάφους
- Εκτροφή διαφόρων ζώων
- Καλλιέργεια μανιταριών [(6)]

2.1.1.1 Τηλεθέρμανση

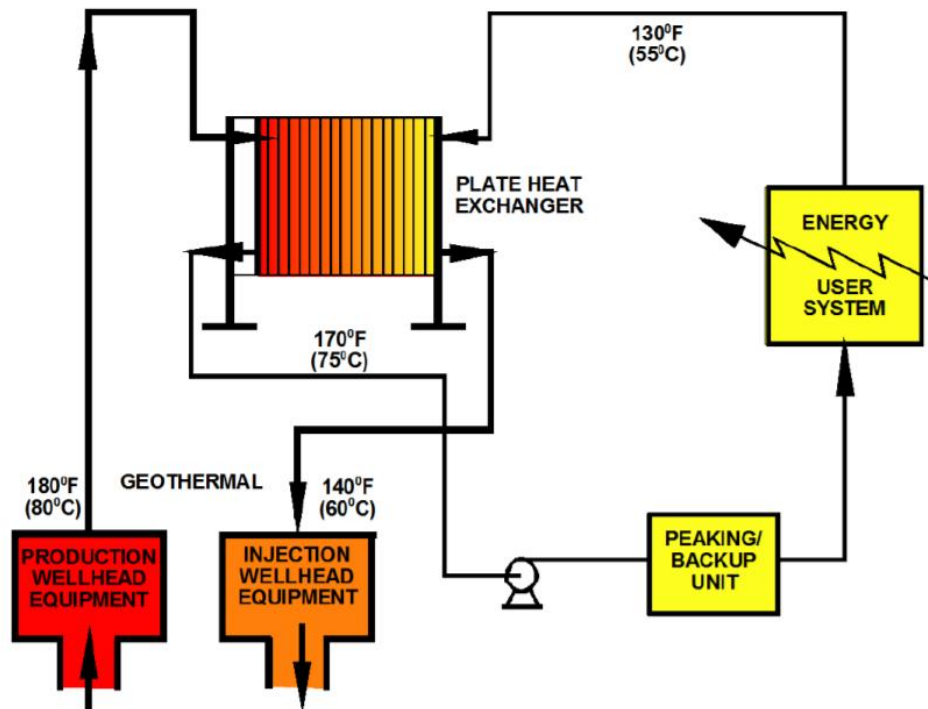
Διεθνώς η τηλεθέρμανση (Τ/Θ) είναι γνωστή με τον αγγλικό όρο «District Heating». Ως Τ/Θ ορίζεται η παροχή θέρμανσης με ειδικό δίκτυο μεμονωμένων αγωγών που μεταφέρουν ζεστό νερό, το οποίο θερμαίνεται σε λέβητες, συνήθως σε θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, αρκετά μακριά από τον χώρο κατανάλωσης. Θα μπορούσε δηλαδή να είναι η θέρμανση κτιρίων μιας πόλης ή ενός τμήματος της πόλης από κεντρικό καυστήρα [(7)].

Η τηλεθέρμανση αποτελεί αδιαμφισβήτητα μια λύση στο ενεργειακό πρόβλημα των κρατών δεδομένου ότι για πολλά χρόνια εφαρμόζεται και δοκιμάζεται σε ολοένα και περισσότερες πόλεις του πλανήτη, [(8)].

Αντιπροσωπεύει μια ποικιλία τεχνολογιών όπου επιδιώκεται να αναπτυχθούν συνέργειες μεταξύ της παραγωγής και της παροχής θερμότητας, ψύξης, οικιακού ζεστού νερού και ηλεκτρικού ρεύματος. Αυξανόμενος είναι ο αριθμός των πόλεων που υιοθετούν τη χρήση συστημάτων τηλεθέρμανσης προκειμένου να επιτύχουν τη μείωση εξάρτησης από εισαγωγές ενέργειας και ορυκτών καυσίμων, τη βιώσιμη οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα καθώς και τη μείωση της εκπομπής των ρύπων του CO₂, [(8)].

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελείται από την πηγή θερμότητας, το δίκτυο των καταναλωτών και το δίκτυο διανομής, [(9)].

Μια απεικόνιση των εξαρτημάτων ενός γεωθερμικού συστήματος τηλεθέρμανσης παρουσιάζεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 11. Μέρη που απαρτίζουν ένα γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης.
 Πηγή: [(9)].

Η εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων τηλεθέρμανσης που λειτουργούσαν με γεωθερμία παγκοσμίως το έτος 2019, ανερχόταν τα 12.768 MWt και η ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι 162.979 TJ/έτος. Οι χώρες που χρησιμοποιούν περισσότερο συστήματα τηλεθέρμανσης είναι η Κίνα, η Ισλανδία, η Τουρκία, Γαλλία και η Γερμανία. Αυτά τα πέντε κράτη αντιπροσωπεύουν περίπου το 90% του παγκόσμιου συνόλου της χρήσης τηλεθέρμανσης [(10)].

2.1.2.2. Θέρμανση θερμοκηπίων και αγροτικών εδαφών

Η Παγκόσμια χρήση γεωθερμικής ενέργειας με σκοπό την θέρμανση θερμοκηπίων βρίσκεται σε συνεχόμενη αύξηση. Το 2019, η εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως υπολογιζόταν στα 2.459 MWt ενώ η παραγωγή ενέργειας υπολογιζόταν στα 35.826 TJ/έτος. Συνολικά 32 χώρες κάνουν χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για να θερμάνουν θερμοκήπια. Οι χώρες που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας τέτοιας μορφής είναι η Τουρκία, η Κίνα, οι Κάτω Χώρες, η Ρωσία και η Ουγγαρία. Υπολογίζεται πως αυτές οι χώρες αντιπροσωπεύοντας περίπου το 83% του παγκόσμιου συνόλου. Συνολικά υπολογίζεται πως θερμαίνονται παγκοσμίως θερμοκήπια συνολικής εκτάσεως 1.791 εκταρίων [(10)].

2.1.2.3. Θέρμανση ιχθυοκαλλιέργειών

Το 2019, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων γεωθερμίας με σκοπό την θέρμανση ιχθυοκαλλιέργειών ήταν 950 MWt και η συνολική ενεργειακή κατανάλωση ήταν 13.573 TJ/έτος. Παρατηρείται ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων σε είκοσι μία χώρες παγκοσμίως. Οι χώρες που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας τέτοιας μορφής είναι η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες, Ισλανδία, Ιταλία και το Ισραήλ.

Παρατηρείται σχετικά αργή ανάπτυξη αυτών των συστημάτων κυρίως λόγω της χαμηλής οικονομικής αποδοτικότητας [(10)].

2.1.2.4. Θερμά λουτρά

Η χρήση των θερμών πηγών αποτελεί μία από τις αρχαιότερες χρήσεις της γεωθερμίας. Ωστόσο, η ανάλυση των δεδομένων των θερμών λουτρών είναι αρκετά περίπλοκη, δεδομένου ότι παρατηρείται ένα πολύ μεγάλο νούμερο παγκοσμίως και υπολογίζεται ότι κάποια λουτρά μπορεί να ξεφεύγουν από τις μέχρι τώρα μελέτες. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς το 2019, υπολογιζόταν περίπου στα 12.253 MWt και η παραγωγή ενέργειας περίπου στα 184.070 TJ/έτος. Οι χώρες που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση παγκοσμίως είναι η Κίνα, η Ιαπωνία, η Τουρκία, η Βραζιλία και το Μεξικό [(10)].

2.1.2.5. Τήξη των πάγων από την επιφάνεια του εδάφους

Τα συγκεκριμένα συστήματα είναι ακόμη αρκετά πίσω και παρουσιάζουν αρκετά περιθώρια ανάπτυξης. Εκτιμάται πως το 2020, παγκοσμίως 2,5 εκατομμύρια τετραγωνικά θερμαίνονταν με την χρήση γεωθερμίας έχοντας σαν σκοπό την τήξη των πάγων. Υπολογίζεται μάλιστα πως το 74% αυτών βρίσκεται στην Ισλανδία. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως για τέτοιες εφαρμογές υπολογιζόταν για το ίδιο έτος στα 415 MWt και η συνολική παραγωγή ενέργειας στα 2.389 TJ/έτος [(10)].

2.1.3. Παγκόσμια επισκόπηση – ενδεικτικές χρήσεις γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας έως το 2020

2.1.3.1 Αλγερία

Ενδεικτικά, οι κύριες χρήσεις γεωθερμίας στην Αλγερία είναι η λουτροθεραπεία και θέρμανση θερμοκηπίων. Λαμπρό παράδειγμα χρήσης γεωθερμίας στην χώρα αποτελεί η ιχθυοκαλλιέργεια που υλοποιήθηκε στην Σαχάρα. Στην συγκεκριμένη ιχθυοκαλλιέργεια γίνεται χρήση ρευστού 60°C. Ταυτόχρονα, στην χώρα παρατηρούνται Δεκαοκτώ θερμοκήπια που καλύπτουν συνολική επιφάνεια 7.200 m², τα οποία θερμαίνονται από γεωθερμικά ρευστά που προέρχονται από την Σαχάρα και βρίσκονται στους 57°C. Υπολογίζεται πως στην Αλγερία

είναι εγκατεστημένα 77 MWt γεωθερμικών συστημάτων και καταναλώνονται ετησίως 2.375,1 TJ. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor 0,969) [(11)].

2.1.3.2. Αιθιοπία

Στην Αιθιοπία, ενδεικτικά, οι χρήσεις γεωθερμίας συνδέονται αποκλειστικά με την χρήση θερμών λουτρών. Μεγάλος είναι ο αριθμός των θέρετρων και των ξενοδοχείων που κάνουν χρήση γεωθερμικών ρευστών με επίκεντρο την περιοχή της Addis Abba. Εκτιμάται πως συνολικά στην χώρα για αυτήν την χρήση είναι εγκατεστημένα 2,2 MWt και καταναλώνονται 41,6 TJ/έτος [(12)].

2.3.3 Κένυα

Το κύριο γεωθερμικό πεδίο της χώρας βρίσκεται στην περιοχή Eburru όπου γίνεται ξήρανση χρυσανθέμων από το 1939. Ταυτόχρονα, εκτεταμένη χρήση γεωθερμικής ενέργειας γίνεται στο θερμοκήπιο Oserian στην περιοχή της Ναϊβάσας. Πρόκειται για το μεγαλύτερο θερμοκήπιο παγκοσμίως που κάνει χρήση γεωθερμικής ενέργειας και έχει την δυνατότητα να εξάγει ένα εκατομμύριο τριαντάφυλλα ημερησίως. Επίσης ενδεικτικά, στην χώρα παρατηρούνται αρκετά λουτρά. Συνολικά υπολογίζεται πως η χώρα παρουσιάζει συνολική εγκατεστημένη ισχύ της τάξης των 18,5 MWt και κατανάλωση ενέργειας της τάξης των 602,4 TJ/έτος [(13)].

2.3.4 Νιγηρία

Η Νιγηρία χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη θέρετρων τα οποία βασίζονται στην παρουσία γεωθερμικών πεδίων. Τα πιο γνωστά είναι το Ikogosi Warm Spring Resort που βρίσκεται στην πόλη της Ikogosi και το Wiki Spring Resort στην πολιτεία Bauchi. Όσο αναφορά το Ikogosi Warm Spring Resort βασίζεται σε ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας το οποίο παρουσιάζει θερμοκρασία περίπου 70°C. Το ρεύμα που εξέρχεται από το πεδίο αναμειγνύεται με ένα ψυχρότερο ρεύμα με αποτέλεσμα το ρευστό που φτάνει στο θέρετρο να βρίσκεται στους 37°C. Αντίστοιχα, το Wiki Spring Resort βασίζεται σε γεωθερμικό πεδίο του οποίου το ρευστό βρίσκεται στους 32°C. Ενδεικτικά, εκτιμάται πως συνολικά στην χώρα υπάρχει δυναμικό 0,7 MWt και καταναλώνονται 14 TJ/έτος [(14)].

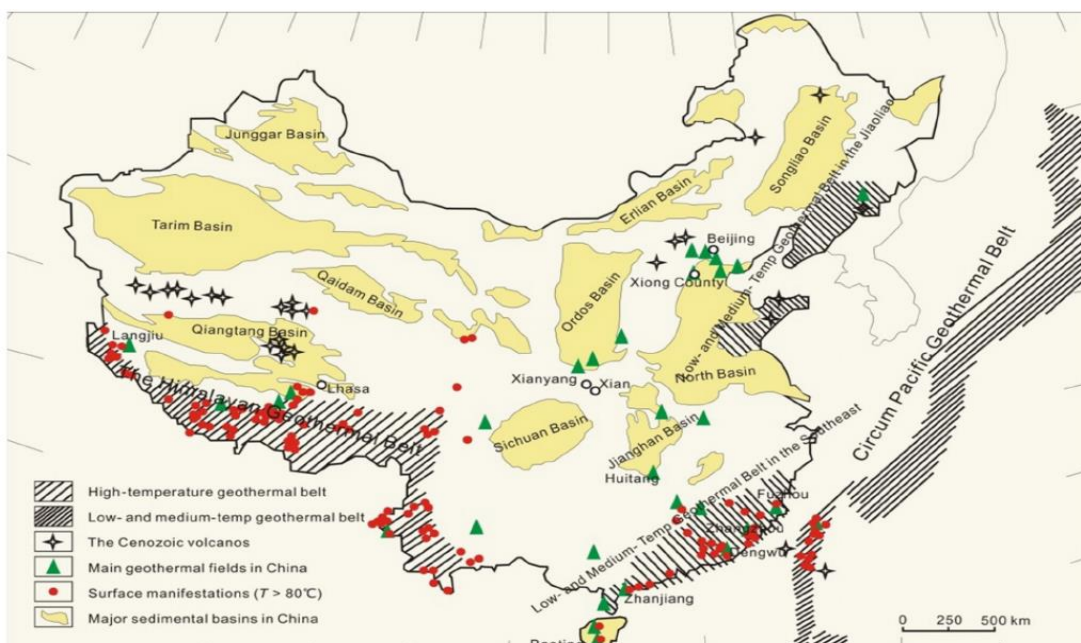
2.3.5. Τυνησία

Στην τυνησία παρατηρούνται μόνο γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας, τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στο Νότιο τμήμα της χώρας. Την δεκαετία του 1980 η κυβέρνηση της προσπάθησε να προώθηση την χρήση γεωθερμίας με σκοπό την άρδευση. Ενδεικτικά, μεγάλο μέρος των γεωθερμικών ρευστών χρησιμοποιείται για την άρδευση αφού πρώτα περάσει από ψύξη με την χρήση ενός πύργου ψύξης. Φυσικά, σε περίπτωση που το γεωθερμικό ρευστό δεν ξεπερνά τους 45°C χρησιμοποιείται απευθείας, δίχως να δημιουργείται η ανάγκη κάποιας διεργασίας ψύξης. Επίσης το 1986 η κυβέρνηση ξεκίνησε την προώθηση θερμοκηπίων με την χρήση γεωθερμίας με αποτέλεσμα σήμερα τα θερμοκήπια που κάνουν χρήση γεωθερμίας να καλύπτουν 244 ha της χώρας. Ενδεικτικά υπολογίζεται, πως στην Τυνησία υπάρχουν 3,8 MWt εγκατεστημένης ισχύς και καταναλώνονται 364 TJ/έτος [(15)].

2.3.6 Κίνα

Η ύπαρξη της γεωθερμίας στην Κίνα είναι γνωστή από την αρχαιότητα και έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για ιαματικούς σκοπούς αλλά η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων και η ανάπτυξη εφαρμογών μεγάλης κλίμακας ξεκίνησε μόλις τον 20^ο αιώνα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι γεωθερμικοί πόροι της Κίνας υπολογίζεται ότι αποτελούν το 8% των παγκόσμιων γεωθερμικών πόρων, όμως αυτοί είναι άνισα κατανεμημένοι μέσα στο κράτος [(16)].

Τα συστήματα χαμηλής και μέσης ενθαλπίας στην Κίνα κατανέμονται ως επί το πλείστον σε μεγάλης κλίμακας ιζηματογενείς λεκάνες και σε ορεινές ρηξιγενείς ζώνες [(17)]. Η κατανομή των γεωθερμικών πόρων της Κίνας παρουσιάζονται αναλυτικά στην εικόνα 12.



Εικόνα 12. Κατανομή γεωθερμικών πόρων της Κίνας. Πηγή: [(16)].

Το Πεκίνο και η Τιεντζίν είναι δύο από τις πόλεις της Κίνας που έχουν καταφέρει και αξιοποιούν σε μεγάλο βαθμό τη γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας.

Ενδεικτικά στο κράτος, παρατηρούνται επτά μονάδες γεωθερμικής τηλεθέρμανσης, πολλά θερμοκήπια, ξήρανση γεωργικών προϊόντων και φυσικά θερμά λουτρά. Ενδεικτικά, υπολογίζεται ότι στην χώρα συναντώνται 40.610 MWt εγκατεστημένης ισχύος και καταναλώνονται 443.492 TJ/έτος [(17)].

2.3.7. Ισραήλ

Η χώρα του Ισραήλ, ενδεικτικά παρουσιάζει χρήσεις γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας που σχετίζονται με την θέρμανση θερμοκηπίων, την θέρμανση ιχθυοκαλλιεργειών και φυσικά με τα θερμά λουτρά. Ενδεικτικά, υπολογίζεται πως στη χώρα είναι εγκατεστημένα 82,4 MWt και καταναλώνονται 2.193 TJ/έτος [(10)].

2.3.8. Ιορδανία

Οι ιαματικές πηγές έχουν χρησιμοποιηθεί για μπάνιο και άρδευση από τα αρχαία κιόλας χρόνια στην Ιορδανία. Παρατηρείται αύξηση ξενοδοχείων που προσφέρουν στους καταναλωτές τους υπηρεσίες θερμών πηγών. Ταυτόχρονα, στην χώρα γίνεται χρήση γεωθερμικών ρευστών για την θέρμανση ιχθυοκαλλιεργειών. Η Arab Fish Company, διαθέτει 40 λεκάνες παραγωγής, χωρητικότητας 20-55 τόνων ετησίως. Ενδεικτικά, στο κράτος έχουν εγκατασταθεί 153,3 MWt και καταναλώνονται 1.540 TJ/έτος. [(18)].

2.3.9 Μαλαισία

Η μόνη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας που παρατηρείται στην Μαλαισία είναι η χρήση των θερμών ρευστών στα λουτρά. Ενδεικτικά, το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος στην Μαλαισία είναι περίπου 5 MWt και η κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στα 100 TJ/έτος [(19)].

2.3.10 Τουρκία

Η Τουρκία είναι μία χώρα που παρουσιάζει τεράστιο γεωθερμικό δυναμικό. Μελέτες στη χώρα εντοπίζουν ενδεικτικά, περισσότερα από 460 γεωθερμικά πεδία. Βρίσκονται σε λειτουργία 17 συστήματα τηλεθέρμανσης τα οποία εξυπηρετούν 116.000 ισοδύναμους κατοίκους. Τα θερμοκήπια που χρησιμοποιούν γεωθερμική ενέργεια συνολικά καλύπτουν 4,3 εκατομμύρια m^2 επιφάνειας. Το κύριο προϊόν που καλλιεργείται σε αυτά τα θερμοκήπια είναι ντομάτες. Φυσικά παρατηρούνται και διάφορες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης γεωθερμικών ρευστών

για λουτροθεραπεία. Στην χώρα ενδεικτικά έχουν εγκατασταθεί 3.059,5 MWt και γίνεται κατανάλωση 49.678 TJ/έτος [(20)].

2.3.11 Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής

Οι ενδεικτικές χρήσεις που παρατηρούνται εντός της χώρας είναι η θέρμανση πισινών και λουτρών, η θέρμανση θερμοκηπίων, η θέρμανση εγκαταστάσεων για υδατοκαλλιέργειας, τηλεθερμάνσεις καθώς και η τήξη χιονιού. Οι πολιτείες στις οποίες παρατηρείται η πιο εκτεταμένη χρήση γεωθερμικής ενέργειας είναι η Καλιφόρνια, το Όρεγκον και το Αϊνταχο. Ενδεικτικά υπολογίζεται ότι στις Η.Π.Α. έχουν εγκατασταθεί 391,67 MWt γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας και γίνεται κατανάλωση 6.259,2 TJ/έτος [(21)].

2.3.12 Βραζιλία

Ενδεικτικά, στην χώρα της Βραζιλίας έχουν εντοπιστεί 42 εγκαταστάσεις οι οποίες κάνουν χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας. Η κύρια χρήση των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας στην Βραζιλία είναι η λουτροθεραπεία ενώ υπάρχει και μία ιχθυοκαλλιέργεια. Ενδεικτικά 356,9 MWt εγκατεστημένης ισχύος παρατηρούνται στην χώρα και γίνεται κατανάλωση 6.702,7 TJ/έτος [(22)].

2.3.13. Μεξικό

Στο Μεξικό εντοπίζονται περίπου 450 πεδία χαμηλής ενθαλπίας. Ωστόσο, η χρήση των πεδίων αυτών δεν είναι τόσο διαδεδομένη επειδή το κράτος δίνει έμφαση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πεδία μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Ενδεικτικά, το μεγαλύτερο μέρος της χρήσης γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην χώρα γίνεται για θεραπευτικούς ή ψυχαγωγικούς σκοπούς μέσω των θερμών λουτρών. Ενδεικτικά υπολογίζεται πως στην χώρα είναι εγκατεστημένα συστήματα συνολικής ισχύος 155 MWt και γίνεται κατανάλωση περίπου 4.166 TJ/έτος [(23)].

2.3.14 Αργεντινή

Η αργεντινή είναι άλλη μία χώρα που φαίνεται να έχει έντονη γεωθερμική δραστηριότητα. Στην χώρα υπάρχει μία εγκατάσταση η οποία χρησιμοποιεί γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας με σκοπό την τήξη των πάγων, η οποία βρίσκεται στο Correhue, στις Άνδεις. Επίσης στην χώρα παρατηρείται ένα θερμοκήπιο που κάνει χρήση γεωθερμίας για θέρμανση, δύο για ιχθυοκαλλιέργειες και 61 θερμά λουτρά. Ενδεικτικά η χώρα παρουσιάζει 182,38 MWt και καταναλώνονται 1.159 TJ/έτος [(24)].

2.3.15 Βιετνάμ

Η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας συναντάται στο Βιετνάμ σχεδόν αποκλειστικά υπό την μορφή θερμών λουτρών. Τα τελευταία μόλις χρόνια στις περιοχές Quynh Phu και Hung Ha της επαρχίας Thai Binh άρχισε να χρησιμοποιείται θερμό ρευστό για τη θέρμανση των ιχθυοτροφείων. Ενδεικτικά υπολογίζεται πως στον Βιετνάμ είναι εγκατεστημένα 18.21 MWt και γίνεται κατανάλωση ενέργειας της τάξης των 188.52 TJ/έτος [(25)].

2.3.16 Βουλγαρία

Πλούσιο δυναμικό γεωθερμίας εντοπίζεται στη γειτονική Βουλγαρία όπου επικρατεί η ύπαρξη πεδίων με γεωθερμικά ρευστά των οποίων η πλειοψηφία παρουσιάζει θερμοκρασία ρευστών που δεν ξεπερνούν τους 105⁰C (δηλαδή πεδία χαμηλής και μέσης ενθαλπίας). Ενδεικτικά, η γεωθερμία στη Βουλγαρία χρησιμοποιείται ευρέως στη λουτροθεραπεία, στη θέρμανση χώρων και στην τροφοδοσία οικιών με θερμά νερά χρήσης, στη θέρμανση θερμοκηπίων, σε πισίνες κολύμβησης, στην εμφιάλωση νερών, σε υδατοκαλλιέργειες (μικροφύκη) και σε απόσπαση χημικών προϊόντων, [(26)].

Συνολικά στην χώρα παρατηρείται εγκατεστημένη ισχύς της τάξης των 99,37 MWt και ταυτόχρονα παρατηρείται κατανάλωση της τάξης των 1279,66 TJ/έτος [(27)]. Οι διάφορες χρήσεις του γεωθερμικού νερού στη Βουλγαρία που προέρχεται από υδροθερμικούς πόρους παρουσιάζονται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13. Χρήσεις του γεωθερμικού νερού στο κράτος της Βουλγαρίας. Πηγή: [(27)].

2.3.17. Ιταλία

Αν και η Ιταλία είναι ευρέως γνωστή λόγω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην χώρα γίνεται και χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας. Ενδεικτικά, παρατηρούνται 5 εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης, 6 ιχθυοκαλλιέργειες, 4 θερμοκήπια και 16 ιαματικά λουτρά. Συνολικά, αναφέρονται 818 MWt εγκατεστημένης ισχύος και γίνεται κατανάλωση 7.103 TJ/έτος [(28)].

2.3.18 Γαλλία

Η χρήση της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας είναι αρκετά αναπτυγμένη στη Γαλλία. Στην λεκάνη του Παρισιού βρίσκονται 5 γεωθερμικά πεδία μεγάλης εκτάσεως. Ένα από αυτά, το μεγαλύτερο, ονομάζεται 'Dogger' και παρέχει γεωθερμική ενέργεια περίπου στο 6-7 % του συνολικού πληθυσμού του Παρισιού. Ενδεικτικά, στην χώρα παρατηρούνται αρκετές εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης, θερμοκήπια που κάνουν χρήση γεωθερμικής ενέργειας, ιχθυοκαλλιέργειες και λουτρά. Ενδεικτικά στην χώρα παρατηρούνται 558 MWt εγκατεστημένης ισχύος και η συνολική κατανάλωση είναι 5.693,9 TJ/έτος [(29)].

2.3.19. Ισλανδία

Η Ισλανδία παρουσιάζει μεγάλη παράδοση στην χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση γεωθερμικής ενέργειας έγινε από έναν αγρότη στο Sudur-Reykir, περιοχή που βρίσκεται κοντά στο Ρέικιαβικ το 1908. Τότε ξεκίνησε να γίνεται χρήση γεωθερμικού ρευστού με σκοπό την οικιακή θέρμανση. Πιο συγκεκριμένα, έγινε μεταφορά ρευστού μέσω αγωγού σε απόσταση περίπου 500 μ. Σε μεγάλη κλίμακα η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ξεκίνησε το 1930 με την εγκατάσταση αγωγού μήκους 3 χιλιομέτρων που μεταφέρει θερμό ρευστό από τις θερμές πηγές του Laugardalur στο Ρέικιαβικ. Η πρώτη απόπειρα τηλεμετρίας έγινε επίσης στο Ρέικιαβικ το 1946. Ενδεικτικά, την σήμερα ημέρα περίπου 30 γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης λειτουργούν σε πόλεις και χωριά της Ισλανδίας. Στην συγκεκριμένη χώρα παρατηρούνται πάνω από 165 θερμά λουτρά. Επίσης στην χώρα υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα γεωθερμίας με σκοπό την τήξη των πάγων συνολικής έκτασης $1.200.000 \text{ m}^2$ καθώς και θερμοκήπια με συνολική έκταση 200.000 m^2 . Τέλος, στην χώρα υπάρχουν 60 ιχθυοκαλλιέργειες οι οποίες παρήγαγαν περίπου 21.000 τόνους το 2017. Ενδεικτικά στην Ισλανδία παρουσιάζονται 2367,4 MWt εγκατεστημένης ισχύος και καταναλώνονται ετησίως 33.579 TJ [(30)].

2.1.4 Χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα

Στη χώρα μας η αξιοποίηση της γεωθερμίας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα περιορισμένη αφού η διείσδυση της στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο ήταν της τάξης του 0.1% το κοντινό 2015, ωστόσο αυτό το ποσοστό δεν συμπεριλαμβάνει τη χρήση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ). [(31)]. Αν αυτό το ποσοστό συγκριθεί με το ποσοστό που καταλαμβάνει το σύνολο της ενέργειας που παραγόταν από τις ΑΠΕ στην Ελλάδα (31.1%, 2641 ktoe) σε σχέση με την συνολική παραγωγή ενέργειας (8473 ktoe), [(31)] γίνεται αντιληπτό ότι η χρήση της γεωθερμίας βρίσκεται σε εντελώς πρώιμο στάδιο στη χώρα μας.

2.1.4.1 Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα εντοπίζεται ένα πλούσιο δυναμικό γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας στις περιοχές της Κιμώλου, Πολυαίγου, Βόρειας Εύβοιας (Αιδηψός), Λέσβου, Χίου, Σαμοθράκης και βορειανατολικά της ενδοχώρας και πιο συγκεκριμένα στην ανατολική Μακεδονία και Θράκη. Στην χώρα μας το πλούσιο αυτό δυναμικό των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας ($T \leq 90^{\circ}\text{C}$) οφείλεται στη βαθιά κυκλοφορία του ρευστού κατά μήκος “ανοιχτών” ρηγμάτων στα βυθίσματα, [(32)].

Μεγάλο ενδιαφέρον ως προς την εξερεύνηση παρουσιάζουν τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας που εντοπίζονται στο νησί της Λέσβου.

Κάποια από αυτά τα πεδία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4. Γεωθερμικά πεδία Λέσβου. Πηγή [(32)]

Γεωθερμικό πεδίο	Εμβαδόν (km ²)	Βάθος (m)	Παροχή (m ³ /h)	Θερμοκρασία (°C)
Πολιχνίτος	10	50-200	300	65-95
Αργένος	4	10-150	300	90
Καλλονή	10	50-200	300	25-30
Θέρμη – Γέρας	>2	20-80	150	40
Θέρμη		10-50	200	60
Μυτιλήνη	10	50-150	500	30-35
Πέτρα	10	100-200	100	25-60
Λισβόρι			20	68

Προφανώς υπάρχουν σκέψεις για την αξιοποίηση ορισμένων από αυτών των πεδίων. Συγκεκριμένα θεωρείται πως το γεωθερμικό πεδίο του Πολιχνίτου μπορεί να φανεί ενεργειακά χρήσιμο όσο αναφορά την γεωργική εκμετάλλευση καθώς και όσο αναφορά την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης [(33)].

Στον επόμενο πίνακα γίνεται παρουσίαση πεδίων χαμηλής ενθαλπίας που εντοπίζονται στην Ελλάδα. Γίνεται αναφορά στις θερμοκρασίες τους, τα βάθη τους αλλά και στην παροχή ρευστού τους.

Πίνακας 5. Γεωθερμικά Πεδία χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα

Πηγή : [(32)]

Πεδίο	Ευρύτερη Τοποθεσία	Ελάχιστη Θερμοκρασία (C°)	Μέγιστη Θερμοκρασία (C°)	Βάθος (m)	Παροχή ρευστού (m ³ /h)
Νιγρίτα	Σέρρες	40	64	70-500	1000
Σιδηρόκαστρο	Σέρρες	40	75	30-500	200
Άγκιστρο	Σέρρες	40	48	100-300	80
Ν. Εράσμιο	Ξάνθη	27	68	350-500	250
Ν. Κεσσάνη	Ξάνθη	40	83	160-500	>300
Ερατεινό	Καβάλα	65	70	650	300
Ανθεμούντα	Χαλκιδική	25	40	>100	15
Ελαιοχώρι	Χαλκιδική	42	42	250	-
Σουσάκι	Κορινθία	60	76	50-200	600
Αρίστηνο	Έυρος	30	82	150-450	200
Νενίτα	Χίος	78	62	300-500	100
Λιθότοπος	Σέρρες	40	45	300-450	-
Άφυτος	Χαλκιδική	35	40	500	100
Σάπες	Κομοτηνή	30	40	50-380	100
Λίμνη	Κομοτηνή	30	90	350-500	-
Μητρικού					
Ακροπόταμος	Καβάλα	45	51	100-515	415
Συκιών	Άρτα	32	65	>320	100
Σαντορίνη	Κυκλάδες	30	99	50-250	-
Μήλος	Κυκλάδες	60		50-200	750

2.1.4.2 Χρήσεις χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ο πίνακας 6 όπου καταγράφονται αναλυτικά οι συνολικές χρήσεις της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη ισχύς καθεμίας εξ αυτών καθώς και η ετήσια κατανάλωση

Πίνακας 6. Χρήσεις γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα. Πηγή [(31)]

Χρήση	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)	Ετήσια ενεργειακή χρήση (Tj/ετος)
Λουτρά	42	251
Θέρμανση θερμοκηπίων	33,38	571
Θέρμανση εδάφους	4,42	19,6
Θέρμανση χώρου	1,65	17,82
Ιχθυοκαλλιέργειες	0,05	0,91
Ξήρανση	0,58	5,54

Όπως διαπιστώθηκε και παραπάνω η χρήση της γεωθερμίας για τη λουτροθεραπεία στην Ελλάδα είναι ευρέως διαδεδομένη. Θα ήταν λοιπόν ενδιαφέρον να αναφερθούν κάποιες σημαντικές πληροφορίες για τη λουτροθεραπεία στην Ελλάδα.

Στην ελληνική επικράτεια λειτουργούν περισσότερα από 60 λουτρά (spa) τα οποία εκμεταλλεύονται θερμά νερά. Επιπρόσθετα, μέχρι σήμερα, υπάρχουν 25 εξωτερικές πισίνες κολύμβησης οι οποίες λειτουργούν με τη χρήση θερμών νερών. Μάλιστα εκτιμάται ότι η συνολική ροή νερού από τις θερμές πηγές είναι περίπου 1000kg/s. [(31)].

Ταυτόχρονα, αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας είναι σημαντική για τη χώρα μας αφού δύναται να αξιοποιηθεί για τη θέρμανση των θερμοκηπίων, τα οποία αποτελούν σημαντικό κομμάτι της οικονομίας. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων από τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Στην Ελλάδα, το έτος 2016 βρίσκονταν σε λειτουργία 19 θερμοκήπια (συνολικής έκτασης 21 εκτάρων), συνολικά με τη χρήση της γεωθερμίας στις περιοχές της βόρειας Ελλάδας (Μακεδονία και Θράκη) καθώς και στα νησιά της Λέσβου και της Μήλου. Πιο συγκεκριμένα, η εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται ότι ήταν 33.38MW και η ετήσια παραγωγή ενέργειας ανέρχόταν στα 571TJ [(31)].

Η θερμοκρασία της πλειοψηφίας των νερών που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων φτάνει περίπου τους 60°C. Γενικά όταν η ποιότητα των νερών είναι καλή χρησιμοποιούνται ευθέως στις εγκαταστάσεις θέρμανσης. Σε διαφορετικές περιπτώσεις γίνεται χρήση εναλλακτών θερμότητας [(31)].

2.1.5. Παράδειγμα εφαρμογής γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας - Σύστημα Τηλεθέρμανσης στο Boise (Αϊντάχο)

Ένα παράδειγμα εφαρμογής γεωθερμικού συστήματος χαμηλής ενθαλπίας που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτό της πόλης Boise, της πρωτεύουσας του Αϊντάχο.

Η γεωθερμία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο Αϊντάχο το 1890 για την θέρμανση των Βικτωριανών κατοικιών καθώς και του πρωτότυπου Natatorium [(34)].

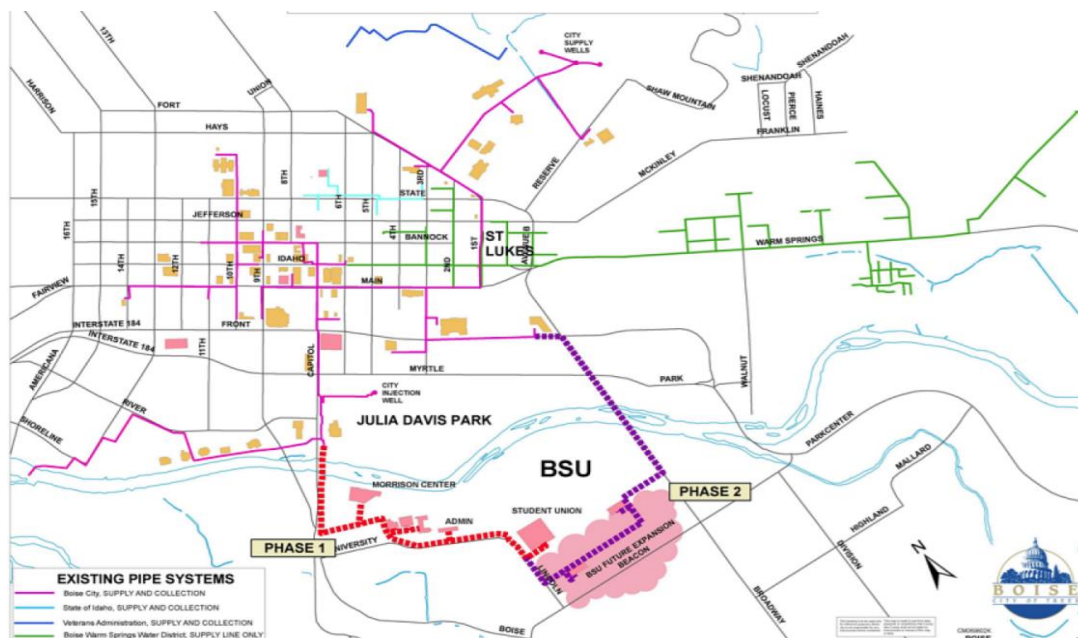
Το 1982 εφαρμόστηκε στην πόλη Boise για πρώτη φορά ένα σύστημα τηλεθέρμανσης, το οποίο εξακολουθεί ακόμα και σήμερα να εξυπηρετεί τις ενεργειακές ανάγκες του Καπιτωλίου καθώς και 8 ακόμα κρατικών κτιρίων [(35)].

Το σύστημα τηλεθέρμανσης θερμαίνει μια περιοχή έκτασης 1,5 εκατομμυρίου τετραγωνικών ποδιών ($\approx 92.903\text{m}^2$) [(36)].

Το σύστημα γεωθερμικής τηλεθέρμανσης αντλεί γεωθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 77°C , [(37)] από τέσσερις γεωτρήσεις που διανοίχτηκαν το 1981 βορειανατολικά του κέντρου της πόλης σε μια περιοχή γνωστή ως Military Reserve Park, σε συνεργασία της πολιτείας του Boise με την εταιρεία Boise Geothermal Limited. Οι τρεις από αυτές τις γεωτρήσεις είναι διαθέσιμες για άντληση ενώ η τέταρτη χρησιμοποιείται για παρακολούθηση, [(38)].

Μέσω του συστήματος, σήμερα εξυπηρετούνται 81 κτίρια σε μία περιοχή έκτασης 353000 m^2 . Εκτιμάται ότι η συνολική ετήσια ακαθάριστη άντληση είναι περίπου 775 εκατομμύρια γαλόνια αλλά λόγω της έγχυσης η καθαρή άντληση εκτιμάται ότι είναι μικρότερη από 300 εκατομμύρια γαλόνια.

Στην εικόνα 14 παρουσιάζεται μια άποψη του συστήματος τηλεθέρμανσης της πόλης Boise [(38)].



Εικόνα 14. Το σύστημα τηλεθέρμανσης στην πόλη Boise, στο Αϊντάχο.

Πηγή: [(37)].

2.2 Ερευνητική και τεχνολογική προσέγγιση Γεωθερμικών συστημάτων μέσης ενθαλπίας

Ένα γεωθερμικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως μέσης ενθαλπίας όταν η θερμοκρασία του ρευστού του είναι μεγαλύτερη των 90°C και χαμηλότερη των 150°C [(39)].

Οι γεωθερμικοί πόροι μέσης ενθαλπίας μπορούν αξιοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα χρήσεων, όπως η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, η ανάκτηση αλάτων. Ωστόσο μεγάλο ενδιαφέρον προσελκύει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμικών ρευστών μέσης ενθαλπίας [(40)].

Λόγω της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας όπου βρίσκονται τα ρευστά ($>150^{\circ}\text{C}$), οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό είναι ο οργανικός κύκλος Rankine και ο κύκλος Kalina.

2.2.1 Οργανικός κύκλος Rankine - Organic Rankine Cycle (ORC)

Ο οργανικός κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle, ORC) είναι μία τροποποίηση του κλασικού κύκλου Rankine (Clausius-Rankine Cycle).

Η μονάδα δυαδικού τύπου αποτελείται από τον αμοστρόβιλο, την αντλία, τον πύργο ψύξης, τον συμπυκνωτή, τον αναθερμαντήρα, τον προθερμαντήρα και τον εξάτμιστή.

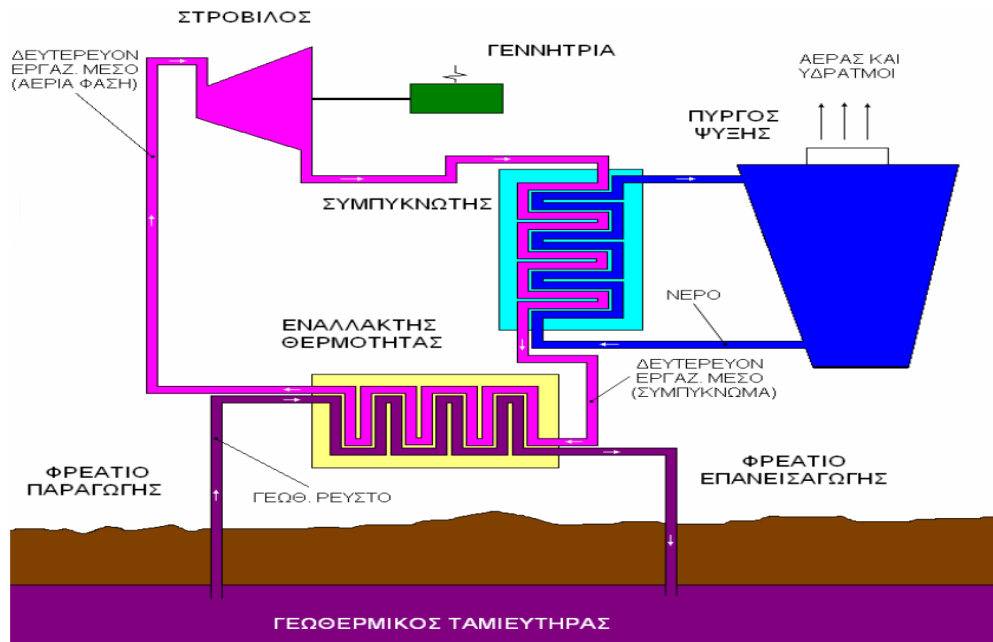
Η συγκεκριμένη διάταξη (εικόνα 5) θεωρείται η πλέον κατάλληλη για γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας ($<150^{\circ}\text{C}$)

Στην διάταξη χρησιμοποιούνται δύο εργαζόμενα μέσα. Το πρωτεύον και το δευτερεύον. Το πρωτεύον γεωθερμικό μέσο λαμβάνεται μέσω του παραγωγικού φρεατίου και οδηγείται σε κατάλληλο θερμικό εναλλάκτη, όπου αποδίδει μέρος της θερμικής του ενέργειας στο δευτερεύον εργαζόμενο μέσο και στη συνέχεια επιστρέφει στο γεωθερμικό ταμιευτήρα μέσω του αγωγού επανεισαγωγής. Το γεωθερμικό αυτό ρευστό μπορεί να βρίσκεται σε κατάσταση θερμού ατμού, θερμού νερού ή κορεσμένου μείγματος. Το δευτερεύον εργαζόμενο μέσο είναι αυτό που ρέει στον οργανικό κύκλο Rankine. Τα ρευστά που φαίνεται να έχουν την καλύτερη απόδοση είναι το R134a, το ισο-βουτάνιο και η τολουϊνη [(41)].

Συγκεκριμένα το ρευστό περνάει από τον εναλλάκτη απορροφά θερμότητα και στην συνέχεια ατμοποιείται καθώς παρουσιάζει χαμηλό σημείο ζέσεως ($<100^{\circ}\text{C}$). Εφόσον έχει ατμοποιηθεί εισέρχεται στον αμοστρόβιλο όπου εκτονώνεται και μετά μέσω της ηλεκτρογεννήτριας πραγματοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας . [(42)]

Ουσιαστικά το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των τεχνολογιών εντοπίζεται στο γεγονός πως μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από πηγές θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών, όπως είναι η βιομάζα, η ηλιακή ενέργεια, τα γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας και η απορριπτόμενη θερμότητα από βιομηχανικές διεργασίες.

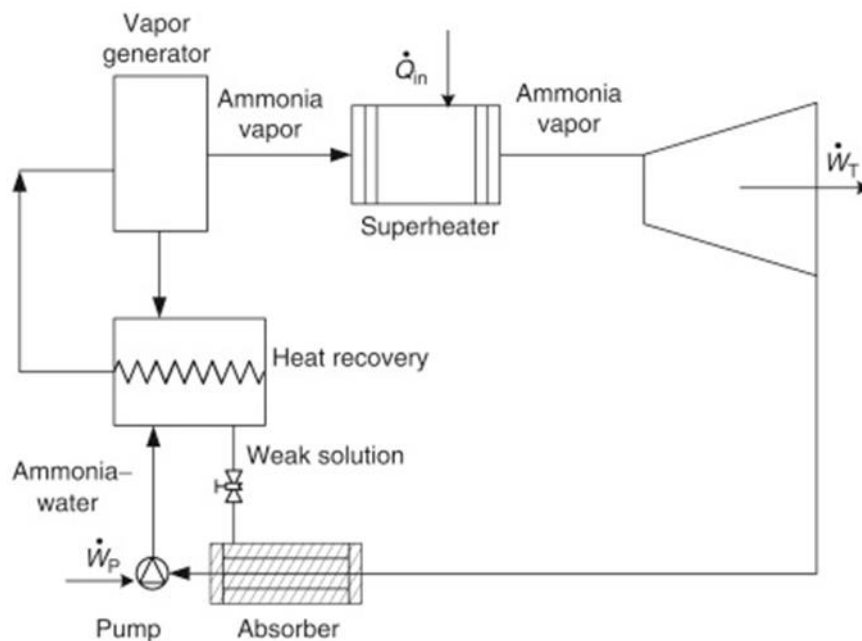
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσέγγιση του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών όπου πειραματικά ανέπτυξε μια σειρά από τέτοιους τύπους μηχανών, οι οποίες λειτουργούν για την εκπαίδευση των σπουδαστών. Πρόκειται για μηχανές ORC μικρής κλίμακας ισχύος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (από 30 – 60kW) [(43)].



Εικόνα 15. Διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση οργανικού κύκλου Rankine. Πηγή: [(43)].

2.2.2. Κύκλος Kalina (Kalina Cycle)

Μία ακόμη τροποποίηση του Κύκλου Clausius-Rankine που βρίσκει εφαρμογή στα γεωθερμικά συστήματα μέσης ενθαλπίας είναι ο δυαδικός κύκλος Kalina. Το όνομα του κύκλου προέρχεται από τον εφευρέτη του A. Kalina. Βασικό χαρακτηριστικό είναι πως ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται υδατικό διάλυμα αμμωνίας. Κύριο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου κύκλου είναι πως λειτουργεί σε υψηλή πίεση με αποτέλεσμα για την παραγωγή ισχύος να χρειάζεται μικρότερη παροχή ρευστού συγκριτικά με τον κλασικό κύκλο Clausius-Rankine και συνεπώς γίνεται χρήση σωληνώσεων μικρότερης διαμέτρου και άρα χαμηλότερης τιμής. Ταυτόχρονα σημαντικό πλεονέκτημα συγκριτικά με τον κύκλο ORC παρουσιάζεται στο γεγονός πως όσο η εξάτμιση όσο και η συμπύκνωση του υδατικού διαλύματος αμμωνίας διεκπεραιώνεται σε μεταβλητή θερμοκρασία [(44)]. Στην παρακάτω εικόνα 6 μπορεί να παρατηρήσει κανείς ένα τυπικό διάγραμμα κύκλου Kalina.



Εικόνα 16. Διάγραμμα κύκλου Kalina. Πηγή : [(44)].

2.2.3 Συνοπτική επισκόπηση συστημάτων παραγωγής ενέργειας από πεδία μέσης ενθαλπίας

Στην συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά, τα τεχνικά χαρακτηριστικά συγκεκριμένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διαδίκου κύκλου που εκμεταλλεύονται γεωθερμικά ρευστά μέσης ενθαλπίας.

Πίνακας 7. Στοιχεία μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πηγή : [(45)].

Κράτος	Γεωθερμικό πεδίο	Έτος ίδρυσης	Εγκατεστημένη ισχύς (MWe)	Παροχή (t/h)	Θερμοκρασία Εισόδου (°C)	Θερμοκρασία Εξόδου (°C)	Ενθαλπία (kJ/kg)
Η.Π.Α.	Wyoming-Casper	2008	0,25	166	91	52	381
Γερμανία	Neustadt-Glew	2003	0,23	93	95	70	398
Η.Π.Α.	Nevada	1984	2,2	407	104	62	436
Αυστραλία	Altheim	2002	1	172	106	70	444
Αυστραλία	Blumau	2004	0,2	103	110	85	461
Η.Π.Α.	California-Honey	1985	0,7	226	110	82	461
Κίνα	Nagqu	1993	1	300	112	77	470
Ταϊλάνδη	Fang	1989	0,3	28	116	55	487
Γερμανία	Unter-Haching	2009	3,36	424	120	44	504
Η.Π.Α.	California-East Mesa 1 ^E	1989	10	1054	136	58	527
Η.Π.Α.	Idaho	2007	13	1440	140	85	589
Η.Π.Α.	California-East Mesa 1	1987	24	2652	147	80	619
Γερμανία	Landau	2008	3	231	150	56	632

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάζονται στον προηγούμενο πίνακα είναι διάδικου τύπου. Η απόδοση αυτής της μορφής συστημάτων υπολογίζεται πως κυμαίνεται από 1 έως 17 % [(45)]. Συνεπώς είναι φανερό πως η απόδοση τέτοιων συστημάτων είναι χαμηλότερη συγκριτικά με την απόδοση των ‘συμβατικών’ σταθμών παραγωγής ενέργειας αλλά και χαμηλότερη συγκριτικά με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (ξηρού ατμού, υγρού ατμού μονής και διπλής εκτόνωσης) [(46)].

2.2.4. Πεδία μέσης ενθαλπίας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα συναντώνται γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας. Οι ευνοϊκές περιοχές γεωθερμικών πεδίων μέσης ενθαλπίας είναι οι λεκάνες του Σπερχειού, τα Δέλτα των ποταμών Νέστου και Έβρου, το νησί της Σαμοθράκης, το Σουσάκι, η Λέσβος, και το νότιο μέρος της Χίου, ωστόσο τα πεδία αυτά παραμένουν ανεξερεύνητα [(47)].

Πρέπει να αναφερθεί πως η Δ.Ε.Η έχει τα αποκλειστικά δικαιώματα για την εξερεύνηση, την εκμετάλλευση, και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού των περιοχών της Μήλου - Κιμώλου - Πολυαίγου, Νισύρου, Λέσβου και Μεθάνων. Μελλοντικός στόχος της Δ.Ε.Η είναι να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού που υπάρχει στις περιοχές αυτές.

2.2.5. Ερευνητική Προοπτική στην περιοχή 'Pismanta'

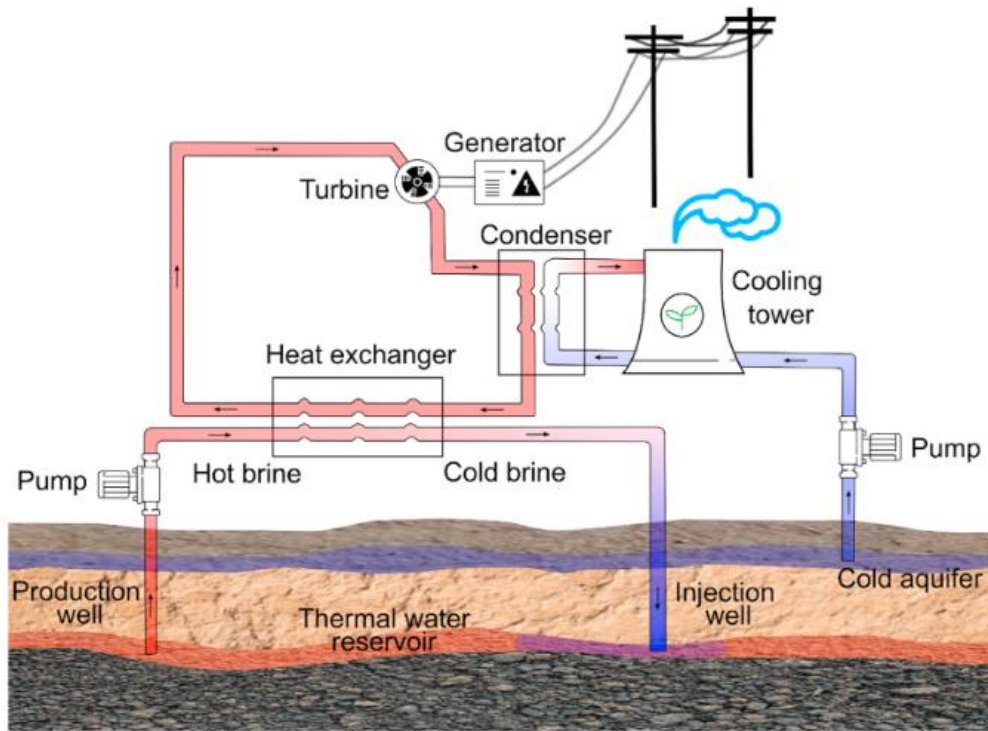
Ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί η ερευνητική προσέγγιση που έγινε για το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής 'Pismanta' που βρίσκεται στους πρόποδες της οροσειράς των Άνδεων στην Αργεντινή. [(48)]

Προτείνεται λοιπόν ερευνητικά, να γίνει χρήση της γεωθερμικής ενέργειας του συγκεκριμένου γεωθερμικού πεδίου με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εγκατάστασης μικρών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής δυαδικού κύκλου. Πιο αναλυτικά, προτείνεται να γίνεται μεταφορά της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών στο εργαζόμενο μέσο το οποίο θα παρουσιάζει χαμηλό σημείο ζέσεως μέσω εναλλακτών με αποτέλεσμα να εξατμίζεται το εργαζόμενο μέσο και να κινείται ο στρόβιλος [(49)] Η απομάκρυνση της απορριπτόμενης θερμότητας (waste heat) από τον δυαδικό κύκλο, επιτυγχάνεται μέσω του ψυκτικού μέσου, το οποίο μπορεί να είναι τα υπόγεια ύδατα ή ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Το διάγραμμα του συγκεκριμένου συστήματος φαίνεται στην εικόνα 17. Όπως φαίνεται στην συγκεκριμένη εικόνα, εισέρχονται ρευστά δύο διαφορετικών θερμοκρασιών στο σύστημα. Το θερμότερο γεωθερμικό ρευστό είναι αυτό που χρησιμοποιείται στον εναλλάκτη ώστε να γίνει αύξηση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου. Το ψυχρότερο ρευστό οδηγείται στον πύργο ψύξης.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα του συστήματος είναι η θερμοκρασία και η παροχή του συστήματος ([(49)])

Έγινε λοιπόν μαθηματική προσομοίωση ώστε να υπολογιστεί η ισχύς που θα μπορούσε να παράγει το γεωθερμικό σύστημα σε τέσσερις περιπτώσεις. Στις τέσσερις περιπτώσεις η υψηλότερη θερμοκρασία του νερού ήταν 95 C° ενώ η παροχή κυμάνθηκε από 10,2 έως 66,1 l/s . Αντίστοιχα, το κρύο ρευστό (για την ψύξη) κυμάνθηκε μεταξύ των 15 και των 27 C°, παρουσιάζοντας παροχή μεταξύ των 14,8 και των 70 l/s. Η προσομοίωση έδειξε ως αποτέλεσμα ότι μπορεί να παραχθεί ισχύς η οποία κυμαίνεται από 30 έως 280 kW .



Εικόνα 17. Γεωθερμικό σύστημα μέσης ενθαλπίας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πηγή : [(49)]

2.3 Γεωθερμικά συστήματα υψηλής ενθαλπίας

Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα πεδία των οποίων η θερμοκρασία των ρευστών ξεπερνά τους 150°C.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας συναντώνται σε πολύ μικρότερο βαθμό παγκοσμίως σε σχέση με τα πεδία χαμηλής ενθαλπίας τα οποία είναι πολύ πιο διαδεδομένα. Αυτά τα πεδία είναι τα πλέον ενδεδειγμένα για χρησιμοποιηθούν ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια.

Στην Ελλάδα παρουσιάζονται (2) πεδία αυτής της κατηγορίας, στην Μήλο και στην Νίσυρο. Το γεγονός ότι σε μια περιοχή εντοπίζεται υψηλή γεωθερμική βαθμίδα δεν αποτελεί τη μοναδική συνθήκη για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Το οικονομικό ενδιαφέρον των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας, όπως και όλων των γεωθερμικών πηγών, εξαρτάται και από τη μέγιστη παροχή γεωθερμικού ρευστού που μπορεί να αντληθεί, χωρίς να εξαντληθούν οι πόροι του πεδίου και χωρίς να μειωθεί σημαντικά η θερμοκρασία του ([(50)]).

2.3.1 Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ρευστών υψηλής ενθαλπίας

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών πόρων επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία συνδράμουν στην επιλογή του κύκλου λειτουργίας είναι :

- η θερμοκρασία και η πίεση (ενθαλπία) στην οποία βρίσκεται το ρευστό.
- η χημική σύσταση του ρευστού.
- η παροχή [(47)].

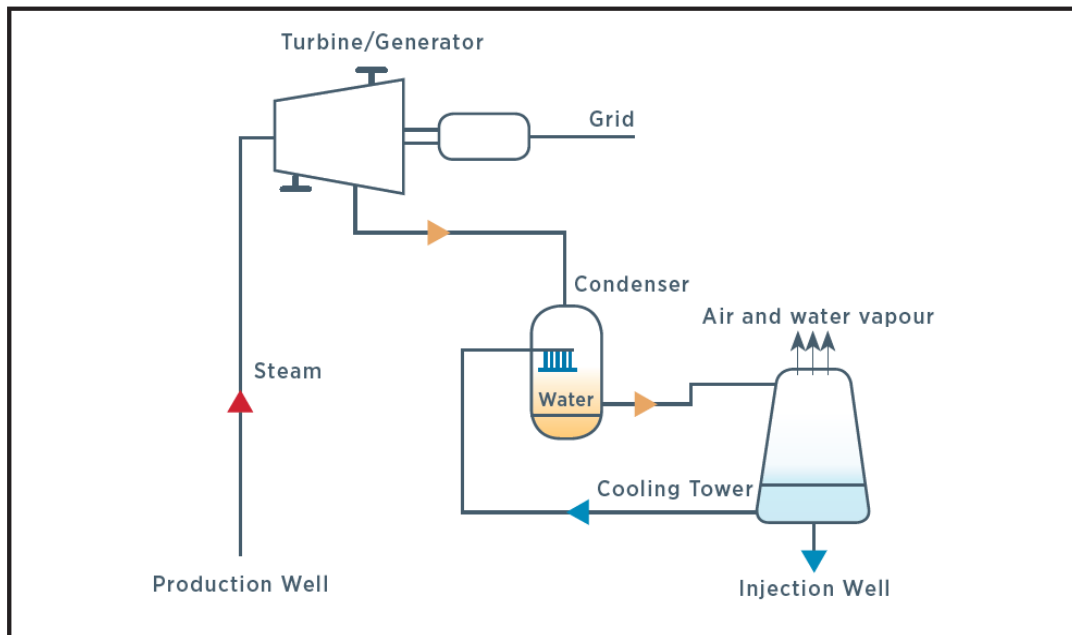
Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα είναι :

- μονάδες ξηρού ατμού (Dry steam power plants)
- μονάδες υγρού ατμού (Flash steam power plants)
- μονάδες δυαδικού κύκλου (Binary power plants)
- μονάδες συνδυασμένου κύκλου (Hybrid power plants).

2.3.1.1. Συστήματα ξηρού ατμού (θερμοκρασία ρευστών >150°C) (Dry steam plants).

Πρόκειται για τον παλαιότερο τύπο γεωθερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο Larderello στην Ιταλία το 1904.

Στην τεχνολογία αυτή το γεωθερμικό μέσο, το οποίο είναι υπέρθερος ατμός οδηγείται απευθείας στον αμοστρόβιλο, στον οποίο εκτονώνεται και στην συνέχεια μέσω ηλεκτρογεννήτριας επιτυγχάνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες παραγωγής ξηρού ατμού χρησιμοποιούν συνήθως στρόβιλος συμπύκνωσης. Το συμπύκνωμα επανεγχύεται (κλειστός κύκλος) ή εξατμίζεται σε πύργους υγρής ψύξης. Μια σχηματική διάταξη τέτοιων τύπων εγκατάστασης απεικονίζεται στην εικόνα 8. Αυτοί οι τύποι εγκατάστασης χρησιμοποιούν ατμό θερμοκρασίας από 150°C και άνω. Ο ατμός που εισέρχεται στον στρόβιλο πρέπει να είναι κατά 99,995% ξηρός αφού σε αντίθετη περίπτωση παρουσιάζεται κίνδυνος διάβρωσης της τουρμπίνας και των σωληνώσεων, [(50)]. Το εύρος της ισχύος των σταθμών αυτών κυμαίνεται από 8-140MW.

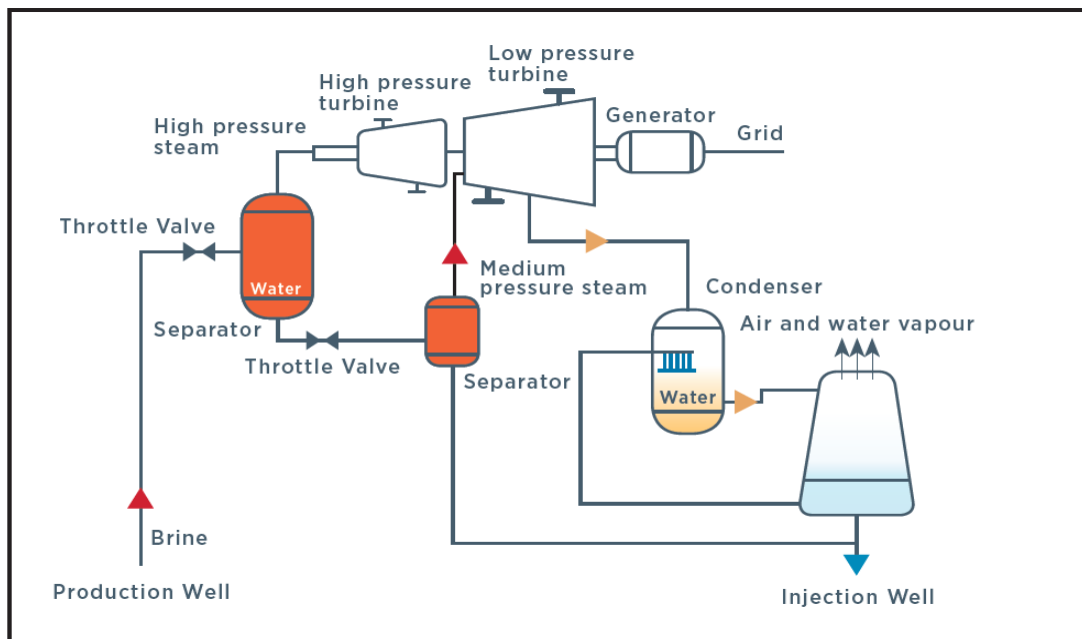


Εικόνα 18. Διάταξη μονάδας ξηρού ατμού.

Πηγή: [(50)].

2.3.1.2. Συστήματα υγρού ατμού (>180°C) (Flash plants).

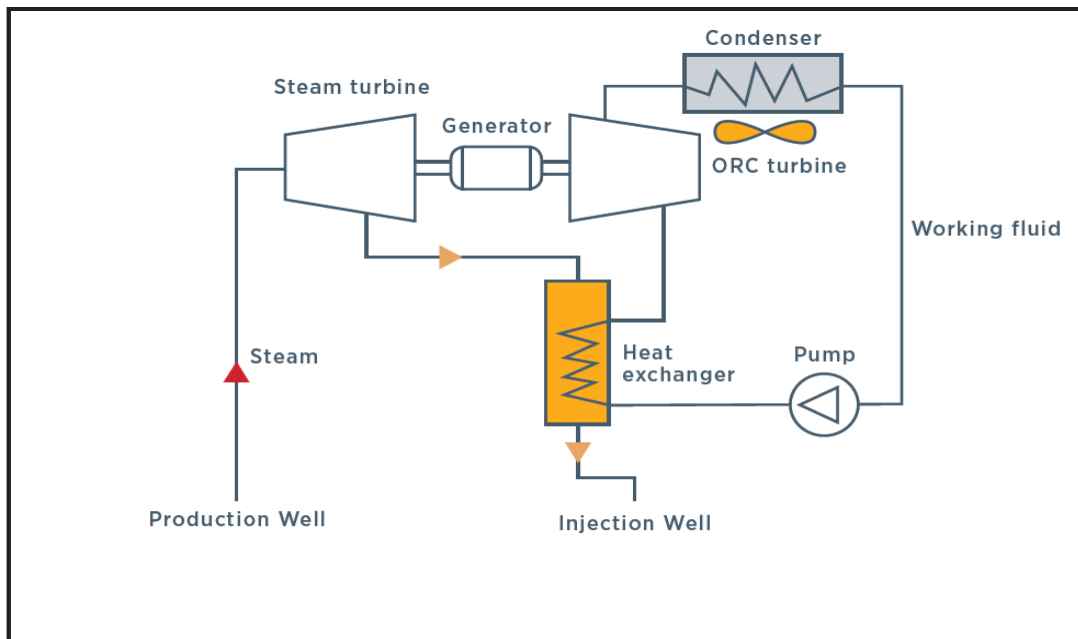
Οι μονάδες υγρού ατμού αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυτή τη στιγμή στον πλανήτη. Είναι παρόμοιες με τις μονάδες ξηρού ατμού, ωστόσο σε αυτές τις μονάδες ο ατμός διοχετεύεται πρώτα στον διαχωριστή. Στη συνέχεια, οδηγείται στον στρόβιλο και το συμπύκνωμα που προκύπτει στη γεώτρηση ανακυκλοφορίας. Μετά την έξοδο του ατμού από τον ατμοστρόβιλο διοχετεύεται προς τον συμπυκνωτή, όπου το δημιουργούμενο συμπύκνωμα είτε επανεισάγεται στη γεώτρηση ανακυκλοφορίας σε κλειστό κύκλωμα είτε εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα από τον πύργο ψύξης. Η θερμοκρασία του υγρού μειώνεται καθώς μειώνεται η πίεση, οπότε οι μονάδες παραγωγής υγρού ατμού λειτουργούν καλύτερα με θερμοκρασίες ταμειυτήρα μεγαλύτερες από 180°C. Οι μονάδες υγρού ατμού διαφέρουν σε μέγεθος ανάλογα με τον τύπο τους. Οι υγρού ατμού μονού τύπου έχουν ισχύ (0.2 - 80MW), οι υγρού ατμού διπλού τύπου έχουν ισχύ (2-110MW) και οι τριπλού τύπου (60-150MW). Άποψη της διάταξης της μονάδας υγρού ατμού, διπλού τύπου απεικονίζεται στην εικόνα 19. [(50)]



Εικόνα 19. Διάταξη μονάδας υγρού ατμού διπλού τύπου. Πηγή: [(50)].

2.3.1.3. Συστήματα συνδυασμένου κύκλου ή υβριδικού τύπου (Combined cycle or hybrid plants).

Οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου βασίζονται στη λειτουργία διαφορετικών τεχνολογιών γεωθερμικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιώνοντας τη συνολική θερμική και ηλεκτρική απόδοση της μονάδας. Συνήθως πρόκειται για συνδυασμό μιας μονάδας υγρού ατμού απλού τύπου και μιας ή δυο μονάδων δυαδικού τύπου που αξιοποιούν ταυτόχρονα το ίδιο γεωθερμικό ρευστό. Οι μονάδες αυτές αξιοποιούν επιπλέον είτε τον εξερχόμενο ατμό από τον ατμοστρόβιλο με διάταξη «backpressure» είτε την άλμη από τον διαχωριστή είτε και τα δύο συγχρόνως. Σχηματική διάταξη της μονάδας συνδυασμένου κύκλου παρουσιάζεται στην εικόνα 20.



Εικόνα 20. Διάταξη μονάδας συνδυασμένου κύκλου.

Πηγή: [(50)].

2.4 Γεωθερμικά συστήματα κανονικής γεωθερμίας

Ως Κανονική ή Αβαθούς γεωθερμική ενέργεια ορίζεται ως ‘η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών και των επιφανειακών και υπογείων νερών που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό. Επιπρόσθετα, η αβαθούς γεωθερμική ενέργεια αναφέρεται σε ένα βάθος μέχρι 400m, όμως σε πραγματικές περιπτώσεις το βάθος που χαρακτηρίζει την αβαθή γεωθερμία μπορεί να μην ξεπερνά τα 100m’ [(51)].

Η αβαθούς γεωθερμία χρησιμοποιείται κυρίως για την επίτευξη ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης σε οικιακές και λοιπές κτιριακές εγκαταστάσεις. Φαίνεται να γίνεται όλο και πιο δημοφιλής στον οικιακό τομέα ωστόσο εξακολουθεί να χρησιμοποιούνται ελάχιστα στον βιομηχανικό τομέα [(52)].

Σημαντική ιδιότητα η οποία και θα πρέπει να αναφερθεί είναι η θερμοχωρητικότητα του υπεδάφους. Όταν παρουσιάζει υψηλές τιμές, υπάρχει δυνατότητα να αντληθούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας χωρίς να υπάρξει διαφοροποίηση στην θερμοκρασιακή κατάσταση του εδάφους. Φυσικά και η θερμοκρασία του εδάφους αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιλογή αλλά και για τον σχεδιασμό συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας [(51)].

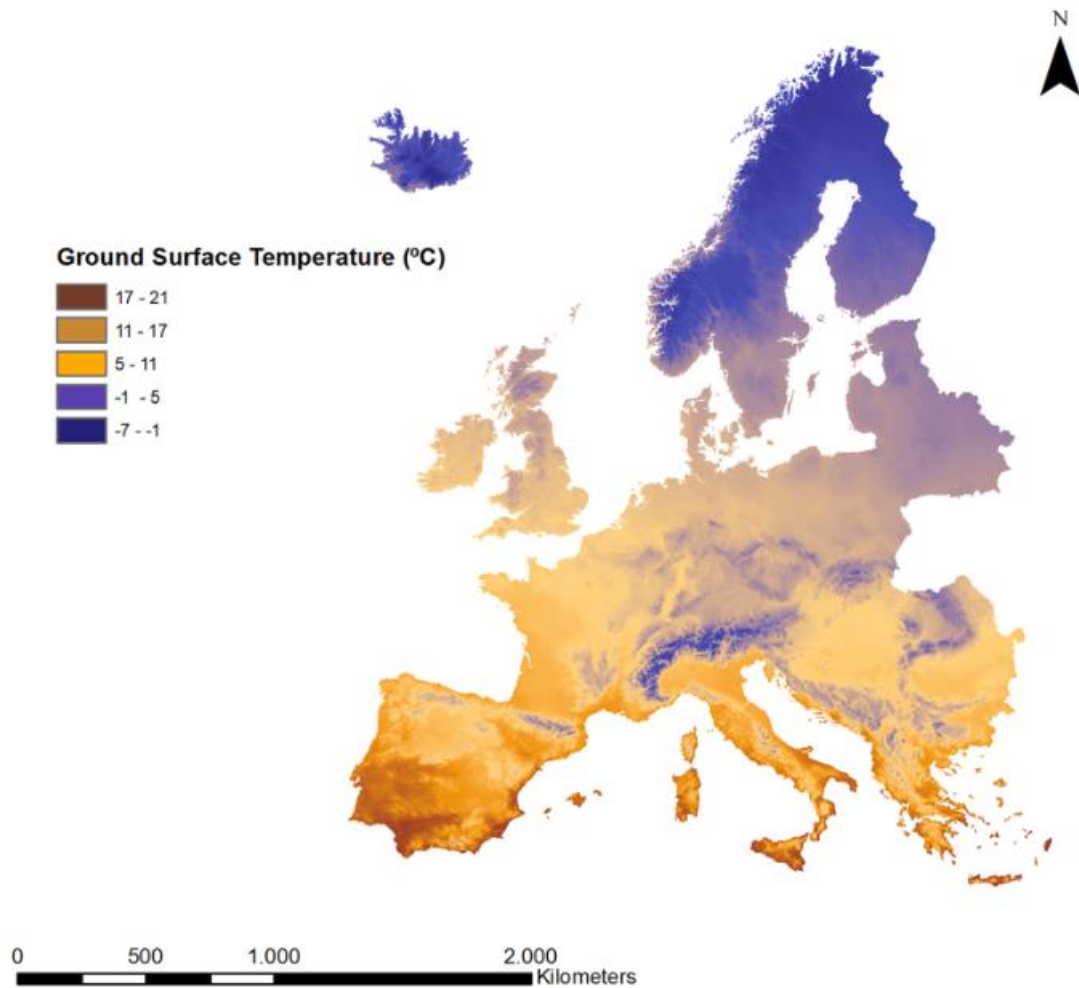
2.4.1 Ιδιότητες που επηρεάζουν την λειτουργία των συστημάτων κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας

Οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους αποτελούν βασικό παράγοντα που επηρεάζει τη λειτουργία των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποιες από τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους.

- Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους η οποία συμβολίζεται με το γράμμα (k) και ορίζεται ως η ικανότητα του υλικού ή του πετρώματος να μεταφέρει θερμότητα με αγωγή. Μονάδα μέτρησης είναι το ($W/m^{\circ}K$).
- Ειδική θερμότητα η οποία συμβολίζεται με το γράμμα c παρουσιάζει την αποθηκευμένη θερμική ενέργεια από το έδαφος. Μέσω της ειδικής θερμότητας επίσης φαίνεται η αύξηση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας για κάθε μοναδιαία αύξηση της απόλυτης θερμοκρασίας. Μονάδα μέτρησης είναι το (J/kgK).
- Θερμική διαχυτότητα που συμβολίζεται με το γράμμα ‘ a ’ δείχνει την ταχύτητα διάχυσης της θερμότητας μέσα στο έδαφος. Πρόκειται για το πηλίκο της αγόμενης θερμότητας προς την αποθηκευμένη θερμότητα.
- Θερμοχωρητικότητα του εδάφους όπου ορίζεται ως το γινόμενο της ειδικής θερμότητας και του φαινομένου βάρους. Αντιπροσωπεύει την ικανότητα συγκεκριμένου όγκου υλικού του εδάφους και μαλακού πετρώματος να αποθηκεύει εσωτερική ενέργεια. Ως μονάδα μέτρησης θεωρείται το ($MJ/m^3^{\circ}K$). [(51)]

2.4.1.1 Θερμοκρασία του εδάφους

Σημαντικό παράγοντα λειτουργίας των συστημάτων κανονικής γεωθερμίας αποτελεί η θερμοκρασία του εδάφους αφού αυτή προσδιορίζει την ποσότητα της θερμότητας που περικλείεται στα πρώτα στάδια του εδάφους . Παρατίθεται λοιπόν ο χάρτης που παρουσιάζει την επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους στην Ευρώπη [(53)].

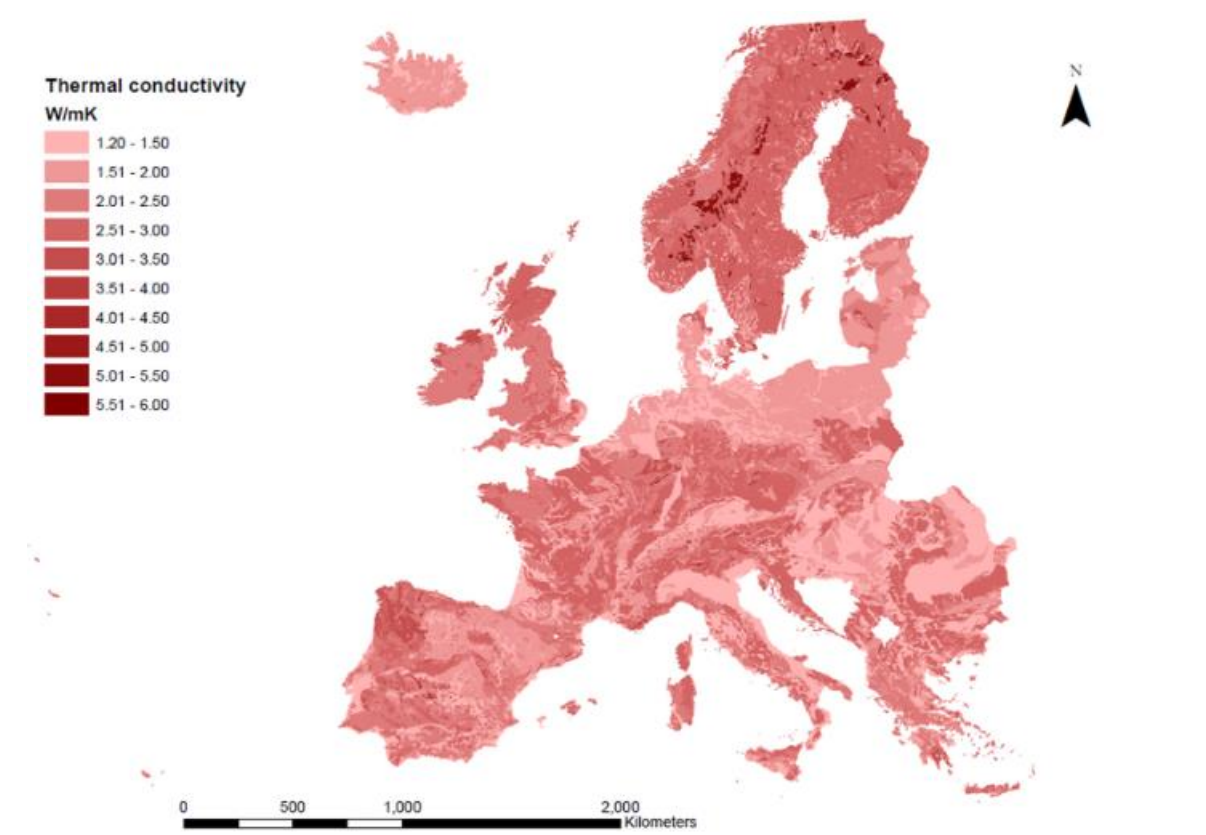


Εικόνα 21. Επιφανειακή θερμοκρασία στην Ευρώπη. Πηγή: [(53)].

2.4.1.2. Θερμική αγωγιμότητα

Ταυτόχρονα, η θερμική αγωγιμότητα όπως είναι λογικό διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στις διεργασίες μετάδοσης θερμότητας των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) κλειστού κυκλώματος και συνεπώς επιδρά σημαντικά στην απόδοση και τη λειτουργία ενός συστήματος ΓΑΘ.

Στην επόμενη εικόνα 22 μπορεί να παρατηρήσει κανείς τον Ευρωπαϊκό χάρτη που παρουσιάζει την θερμική αγωγιμότητα ανά περιοχή.



Εικόνα 22. Θερμική αγωγιμότητα στην Ευρώπη. Πηγή : [(53)].

Η θερμική αγωγιμότητα ορίζεται ως η ικανότητα ενός υλικού να άγει τη θερμότητα. Η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας των υλικών μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία [(51)].

Πρόκειται για έναν πολύ βασικό δείκτη καθώς καθορίζει την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των εναλλάκτων και του εδάφους των συστημάτων αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας [(53)].

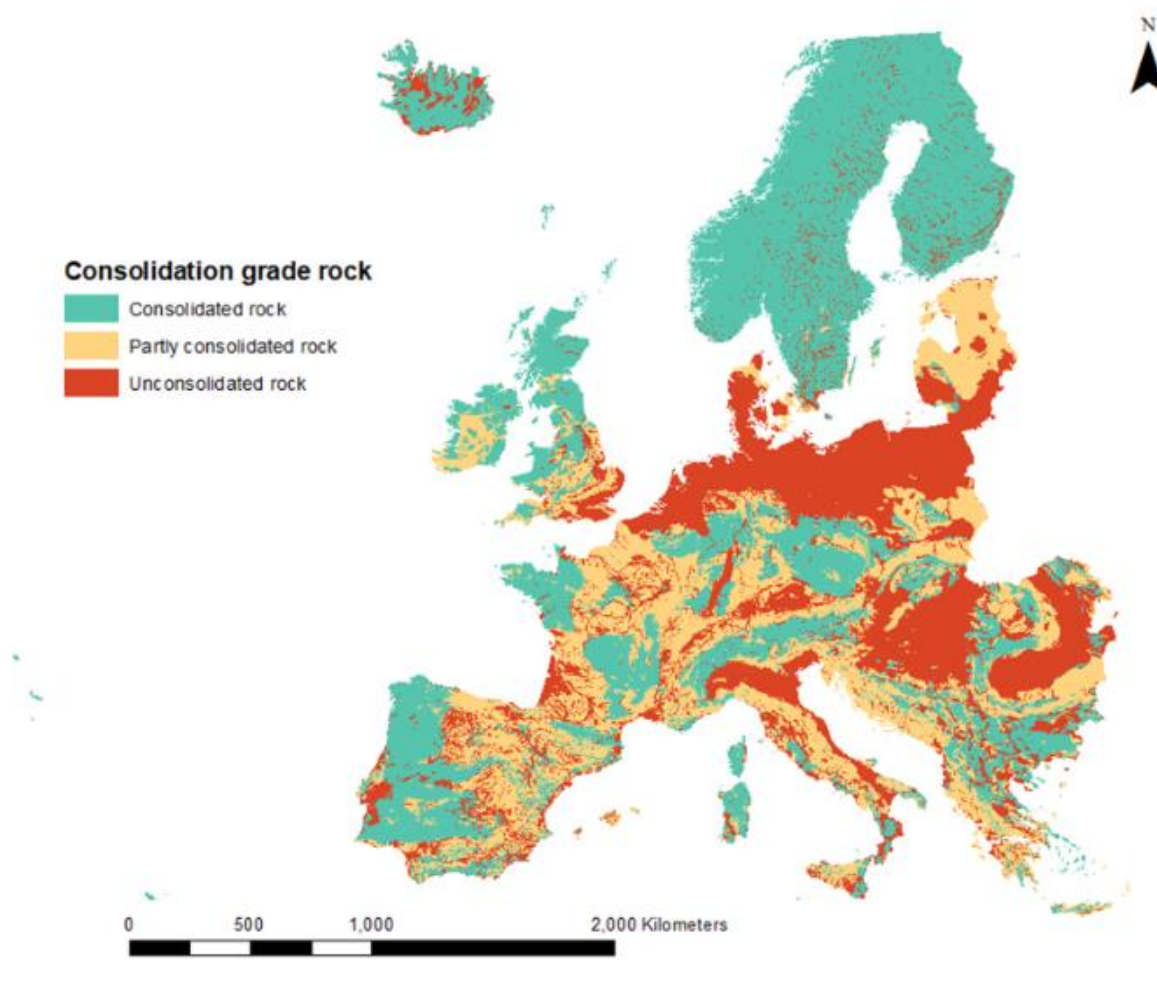
Στην συνέχεια λοιπόν, γίνεται μία νύξη στους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της θερμικής αγωγιμότητας:

- Η κοκκομετρία του εδάφους (μέγεθος και σχήμα κόκκων).
- Η ορυκτολογική σύσταση των κόκκων.
- Η υγρή πυκνότητα του εδάφους (ρ_b , kg/m^3).
- Η ξηρή πυκνότητα του εδάφους (ρ_d , kg/m^3).
- Το μοναδιαίο ειδικό βάρος των κόκκων (ρ_s , kg/m^3).
- Η υγρασία (w , %)
- Ο κορεσμός σε νερό (S , %).
- Η κατ' όγκον περιεκτικότητα του αέρα (V_a , %).
- Το πορώδες, [(47)].

2.4.1.3 Είδος του υπεδάφους

Τέλος πρέπει να γίνει αναφορά στο είδος του υπεδάφους στο οποίο θέλει κανείς να εγκαταστήσει ένα σύστημα αβαθούς ενθαλπίας. Το υπεδάφος είναι βασικός παράγοντας που επηρεάζει την γεώτρηση και μπορεί να φτάσει το 50% του συνολικού κόστους της εγκατάστασης. [(54)]

Όσο πιο σταθερό είναι το υπεδάφος, τόσο πιο εύκολα υλοποιείται η γεώτρηση. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η εικόνα 10 όπου φαίνεται ο Ευρωπαϊκός χάρτης. Σε αυτόν τον χάρτη έχει γίνει διαχωρισμός του υπεδάφους ανάλογα με την σταθερότητα του. Με γαλάζιο χρώμα συμβολίζεται το πολύ σταθερό υπεδάφος, με κίτρινο χρώμα το μερικώς σταθερό ενώ με πορτοκαλή χρώμα συμβολίζεται το ασταθές υπεδάφος [(53)]



Εικόνα 23. Ευρωπαϊκός χάρτης υπεδάφους. Πηγή: [(53)]

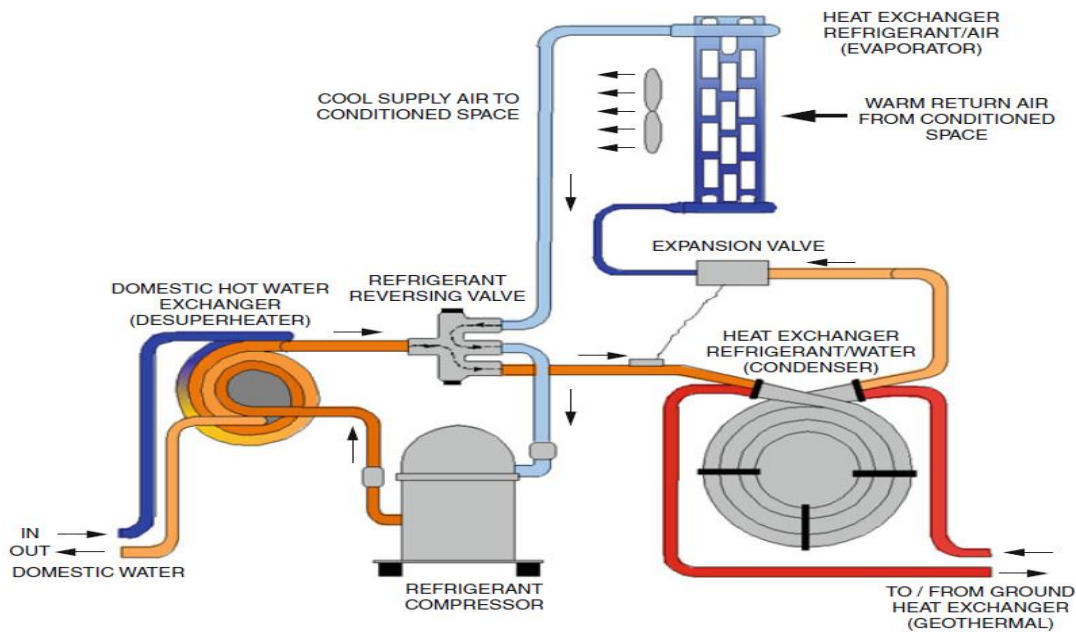
3.1.2 Αντλίες Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας με σκοπό την θέρμανση και την ψύξη [(55)].

Οι αντλίες θερμότητας είναι απλές συσκευές που λειτουργούν σε υψηλά επίπεδα απόδοσης στον τομέα της μεταφοράς θερμότητας. Η αρχή λειτουργίας τους βρίσκεται σε αρμονία με την αρχή λειτουργίας του ιδανικού κύκλου Carnot.

Αποτελεί γεγονός πως η θερμότητα έχει την τάση να μετακινείται από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Ωστόσο, το σύστημα της αντλίας θερμότητας έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα από τη φυσική της ροή. Δηλαδή, αντλεί θερμότητα από χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και ένα ψυγείο, με τη μόνη διαφορά ότι στις αντλίες

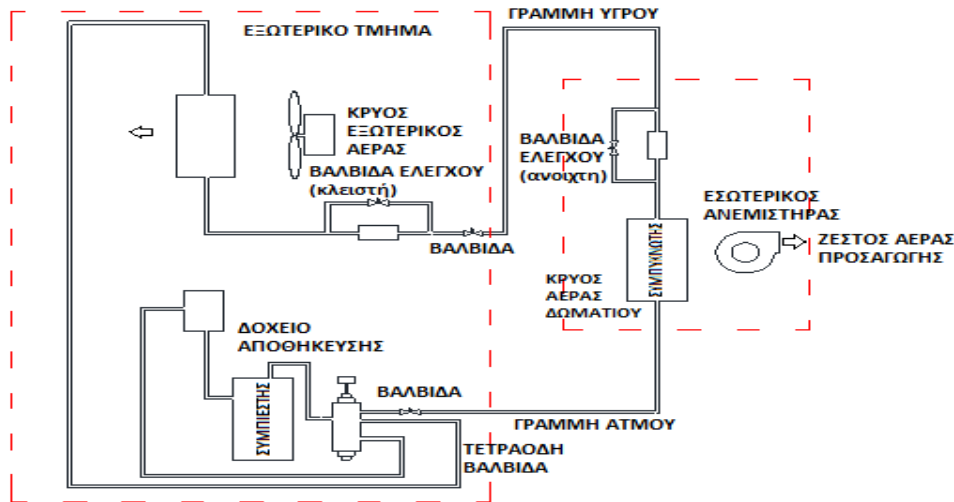
θερμότητας το ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην θέρμανση και όχι στην ψύξη. Συνεπώς, με την ίδια λογική, η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει θερμότητα από έναν ψυχρότερο χώρο A σε ένα θερμότερο χώρο B (ψύξη του κτιρίου) ή αντίστροφα από τον χώρο B στον χώρο A (θέρμανση κτιρίου). Στις εικόνες 11 και 12 παρουσιάζεται σχηματικά ο κύκλος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα [(51)].



Εικόνα 24. Σχηματική Απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας για ψύξη. Πηγή: [(56)]

Μπορεί κανείς να διακρίνει (5) τμήματα σε μία αντλία θερμότητας, αυτά είναι :

- Το τμήμα συμπιεστή και συμπυκνωτή, ρόλος του συγκεκριμένου τμήματος είναι η απόρριψη ή η απορρόφηση θερμότητας (ανάλογα με το αν πρόκειται για ψυκτικό ή θερμικό κύκλο)
- Το τμήμα ανεμιστήρα και ατμοποιητή, ρόλος του συγκεκριμένου τμήματος είναι επίσης η απόρριψη ή η απορρόφηση θερμότητας, πράττοντας ωστόσο πάντα την αντίθετη διεργασία από το τμήμα συμπιεστή – συμπυκνωτή που έγινε αναφορά προηγουμένως.
- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που είναι ουσιαστικά η τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο στον κύκλο θέρμανσης και το ανάποδο.
- Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση. Η χρησιμότητα της συγκεκριμένης αντίστασης είναι να αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος στην περίπτωση που η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατώτερη από το απαιτούμενο όριο.
- Το τμήμα αυτοματισμών για τον έλεγχο του συστήματος [(51)].



Εικόνα 25. Σχηματική Απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας της ΑΘ για θέρμανση.

Πηγή: [(51)]

Όπως θα μπορούσε κανείς να συμπεράνει και από την προηγούμενη αναφορά στα τμήματα της αντλίας, ο παράγοντας που καθορίζει αν η αντλία κάνει ψυκτικό ή θερμικό κύκλο είναι η λειτουργία που εκτελεί ο συμπυκνωτής και ο ατμοποιητής. Ουσιαστικά, το θέρος το εσωτερικό στοιχείο του συστήματος ψύχει τον χώρο, ενώ τον χειμώνα, τον θερμαίνει. Ωστόσο, αντί να μεταφέρονται οι συσκευές γίνεται χρήση της τετραοδής βαλβίδας ώστε να επιτευχθεί αντιστροφή του ψυκτικού μέσου [(51)].

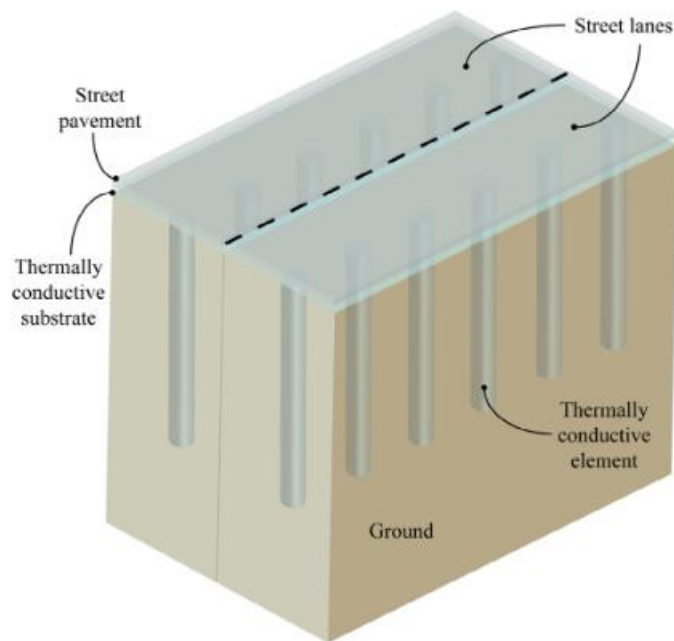
2.4.2. Προοπτική συστήματος κανονικής γεωθερμίας για την απόψυξη του πάγου

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσέγγιση της χρήσης γεωθερμικού συστήματος κανονικής γεωθερμίας με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του επιφανειακού στρώματος και με αποτέλεσμα την απόψυξη του πάγου που δημιουργείται στους δρόμους. Συγκεκριμένα, προτείνεται η χρήση υλικού υψηλής θερμικής αγωγιμότητας (αλουμίνιο) το οποίο εισάγεται στο έδαφος με την μορφή πασσάλων, δημιουργώντας ‘μονοπάτια’ για την μεταφορά της γεωθερμικής ενέργειας έως την επιφάνεια του δρόμου. Οι πάσσαλοι συνδέονται με ένα λεπτό στρώμα αλουμινίου τοποθετημένο ακριβώς κάτω από τον δρόμο. Το βασικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης τεχνικής λύσης είναι πως δεν υπάρχουν κόστη συντήρησης και λειτουργίας, καθώς το σύστημα λειτουργεί χωρίς εργαζόμενο μέσο και οι δαπάνες εγκατάστασης είναι χαμηλότερες από αυτές που αντιστοιχούν στις άλλες διαθέσιμες λύσεις. ([(56)])

Ο δρόμος ο οποίος θα πρέπει να θερμανθεί θεωρείται στις συγκεκριμένες προσομοιώσεις διαστάσεων (10 m x 5,5 m) και δύο λωρίδων. Μία σειρά έξι πασσάλων τοποθετείται κάτω από κάθε λωρίδα, με αποτέλεσμα να γίνεται χρήση συνολικά δώδεκα πασσάλων.

Κρίσιμο κριτήριο αποτελεί η επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πασσάλων που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση για την μεγιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας.

Η ερευνητική αυτή προσέγγιση περιλαμβάνει πασσάλους διαμέτρου 15 cm και μήκους 20 m, σε απόσταση 1,5 m μεταξύ τους. Ταυτόχρονα, Το υπόστρωμα θεωρείται πάχους 2 cm και είναι τοποθετημένο αμέσως κάτω από την επιφάνεια του δρόμου, η οποία θεωρείται ότι έχει πάχος 10 cm. Γίνεται μελέτη του εδάφους το οποίο εκτείνεται σε βάθος 30 μέτρων κάτω από την επιφάνεια του δρόμου, βάθος το οποίο θεωρείται αρκετό για να υποθέσει κανείς πως η θερμοκρασία του εδάφους μεταβάλλεται ([(56)])



Εικόνα 26. Σύστημα χαμηλής ενθαλπίας κατά Mauro ([(56)])

Με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το αν μια τέτοια κατασκευή θα προσφέρει αρκετή θερμική ενέργεια, αποτρέποντας τον σχηματισμό πάγου, πραγματοποιήθηκε μια σειρά τρισδιάστατων αριθμητικών προσομοιώσεων με βάση τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων ('finite element method', FEM).

Κατά την διάρκεια της μοντελοποίησης θεωρήθηκε θερμική αγωγιμότητα των πασσάλων και του υποστρώματος ίση με 237 W/(m K) και πυκνότητα ίση με 2700 kg/m^3 (Ιδιότητες του αλουμινίου).

Υπολογίστηκε λοιπόν, η θερμοκρασία για δύο διαφορετικά σημεία. Το πρώτο σημείο όπου γίνεται υπολογισμός της θερμοκρασίας βρίσκεται απευθείας πάνω από πάσσαλο ενώ το

δεύτερο ακριβώς στην μέση μεταξύ των δύο λωρίδων. Προσομοιώνοντας έτσι την θεωρητικά υψηλότερη αλλά και την θεωρητικά χαμηλότερη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται.

Μετρήθηκε πως οι τιμές της θερμοκρασίας στο έδαφος (χωρίς την χρήση του προτεινόμενου συστήματος) κυμαίνονται μεταξύ των $-4,5^{\circ}\text{C}$ έως $28,9^{\circ}\text{C}$.

Αποδεικνύεται με την χρήση του μοντέλου πως η αντίστοιχη επιφανειακή θερμοκρασία που επικρατεί μεταξύ των λωρίδων με την χρήση του συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος κυμαίνεται μεταξύ των $0,1^{\circ}\text{C}$ και των $24,0^{\circ}\text{C}$. Παρατηρώντας σημαντική διαφορά στην ελάχιστη καθώς και στην μέγιστη θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα γίνονται ακόμη πιο εγκαρδιωτικά στην περίπτωση που το υπόστρωμα θεωρηθεί πάχους 5 cm. Σε εκείνη την περίπτωση η ελάχιστη θερμοκρασία που συναντάται είναι $0,6^{\circ}\text{C}$ και η μέγιστη $23,9^{\circ}\text{C}$.

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες εδάφους που υπολογίστηκαν ακριβώς πάνω από τους πασσάλους, όπως ήταν αναμενόμενο επέφεραν ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Η ελάχιστη θερμοκρασία είναι $1,8^{\circ}\text{C}$ ενώ η μέγιστη $23,4^{\circ}\text{C}$. Στην περίπτωση που το υπόστρωμα θεωρηθεί 5 cm η ελάχιστη θερμοκρασία είναι $0,9^{\circ}\text{C}$ ενώ η μέγιστη είναι $23,4^{\circ}\text{C}$.

Στην συγκεκριμένη έρευνα δεν πραγματοποιήθηκε λεπτομερή ανάλυση κόστους, ωστόσο αναφέρεται πως το συνολικό κόστος του συστήματος θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει το κόστος αγοράς του αλουμινίου, την εκσκαφή που απαιτείται για την τοποθέτηση των πασσάλων και το κόστος εγκατάστασης.

Εκτιμάται πως λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες, το συνολικό κόστος του συστήματος κυμαίνεται μεταξύ των 850 και των 1250 Ευρώ/ m^2 .

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων) δείχνουν πως με την χρήση αυτής της μεθόδου θα μπορούσε να αποτραπεί ο σχηματισμός πάγου στην επιφάνεια του δρόμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, γεγονός που θα αύξανε και τη διάρκεια ζωής του δρόμου λόγω των χαμηλότερων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας.

([(56)])

2.4.3. Συστήματα κανονικής γεωθερμίας σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό σύστημα

Επίσης, ενδιαφέρον φαίνεται να παρουσιάζει η ιδέα της χρήσης αβαθούς γεωθερμίας σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό σύστημα ώστε να αυξηθεί η απόδοση μετατροπής των φωτοβολταϊκών πάνελ και συνεπώς του συστήματος. Το προτεινόμενο σύστημα παρουσιάζεται στην εικόνα 27. Στην ουσία πρόκειται για σύστημα ψύξης όπου μειώνει την θερμοκρασία στο πάνελ ψεκάζοντας σε αυτό νερό από την πίσω πλευρά του. Στην συνέχεια το ρευστό επιστρέφει στην δεξαμενή και με την χρήση της αντλίας οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας με αποτέλεσμα να γίνεται μεταφορά θερμότητας από το γεωθερμικό σύστημα.

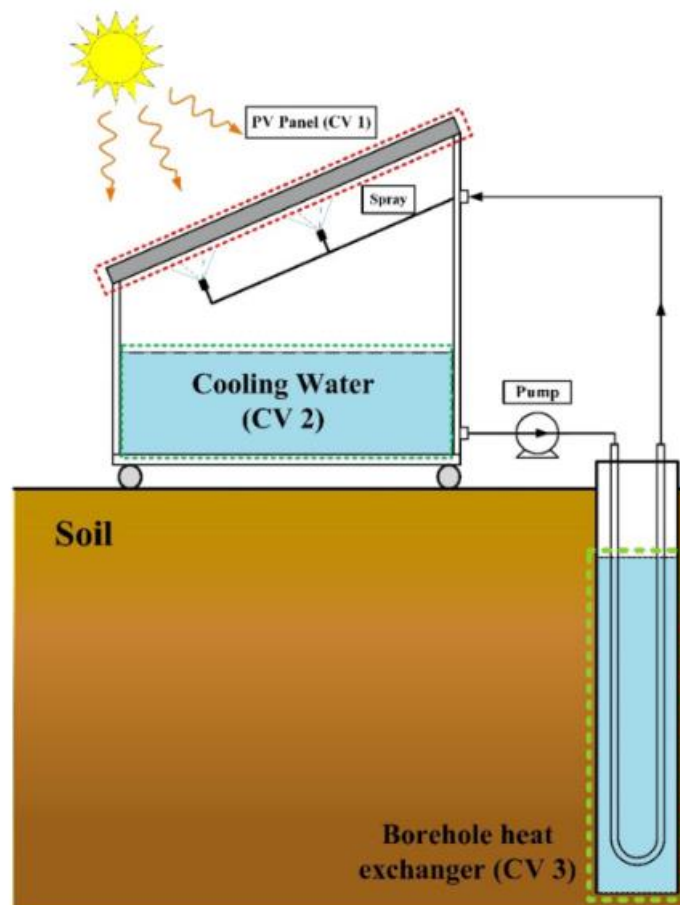
Με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το συγκεκριμένο σύστημα υλοποιήθηκε μία σειρά από πειράματα. Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν από τις 11 : 40 έως τις 14 : 45, ενώ για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας έγινε χρήση 60 W.

Αρχικά, έγιναν μετρήσεις θερμοκρασίας καθώς και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο φωτοβολταϊκό σύστημα χωρίς να γίνεται χρήση αβαθούς γεωθερμίας.

Στην συνέχεια έγιναν οι ίδιες μετρήσεις στο προτεινόμενο σύστημα όπου γινόταν αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση η αντλία ξεκίνησε την λειτουργία της όταν η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ έφτανε τους 45 °C και λειτουργούσε μέχρι η ίδια θερμοκρασία να φτάσει τους 35 °C.

Τα επιπλέον κόστη αγοράς εξαρτημάτων για την περίπτωση που γίνεται εκμετάλλευση αβαθούς γεωθερμίας αποτελούνται από το κόστος της αντλίας, το κόστος εκσκαφής και το κόστος σωληνώσεων.

Συγκρίνοντας τα πειραματικά αποτελέσματα, φαίνεται πως με την χρήση αυτής της μεθόδου η απόδοση μετατροπής μπορεί να βελτιωθεί έως και κατά 14.3 %. Επιπλέον, ενδεικτικά υπολογίζοντας μία τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 0,1935 \$/kW, η απόσβεση των χρημάτων που επενδύθηκαν γίνεται σε 8,3 έτη [(57)].



Εικόνα 27. Προτεινόμενο σύστημα αβαθούς γεωθερμίας για την αύξηση απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος. Πηγή : [(58)].

Βιβλιογραφία 2^{ου} κεφαλαίου

1. Μπαλτζή Α., (2012). Γεωθερμία – Γενικά. Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία, pp 31-48. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.
2. Ragnarsson A., (2016). Overview of direct geothermal applications and uses worldwide. Harpa Conference Center, Reykjavik April 25-26, 2016.
3. Μαμάσης Ν., Ευστρατιάσης Α., (2019). Σημειώσεις μαθήματος ‘Βασικές ενεργειακές τεχνολογίες’ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διαθέσιμο από: http://users.ntua.gr/dkoutso/courses/ape/slides/APE2019_Intro.pdf
4. Zahratul K., Kaya E., Zarrouk J., (2021). Reinjection in geothermal fields: An updated worldwide review 2020. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
5. Αμανατίδης Ε., (2007). Σημειώσεις: Γεωθερμία και Γεωθερμικά συστήματα. Ήπιες Μορφές Ενέργειας. Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
6. Βραχόπουλος Μ., (2020). Σημειώσεις μαθήματος γεωθερμίας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
7. Steiner A., Yumkella K., Clos J., Begin G., (2015). District Energy in Cities. Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy. United Nations Environment Programme. Διαθέσιμο από: <https://c2e2.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/3/2016/01/districtenergyreportbook-0.pdf>
8. Talebi B., Mirzaei P.A., Bastani A., Haghghat F., (2016). A review of District Heating Systems: Modeling and Optimization. Frontiers in Built Environment. Διαθέσιμο από: <https://www.frontiersin.org/articles>
9. Lund J. W., (2015). Geothermal District Heating. Oregon Institute of Technology. Διαθέσιμο από: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/07/f24/10-District-Heating---J-Lund_0.pdf
10. Lund J., Toth A., (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. Geothermics. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
11. Ait Ouali, A., Ayadi, A., Maizi, D., Issaadi, A., Ouali, S., Bouzidi, K., Imessaad, K., (2020). Updating of the most important Algerian geothermal provinces. Διαθέσιμο από : www.ResearchGate.net

12. Solomon K., (2020). Status of geothermal exploration and development in Ethiopia. Διαθέσιμο από :
13. Omenda P., Mangi P., Ofwana C., Mwangi M., (2020). Country Update Report for Kenya 2015-2019. Διαθέσιμο από : www.ResearchGate.net
14. Kwaya, M.Y., Kurowska, E., (2020). Geothermal energy resource potential of Nigeria sedimentary basins. Διαθέσιμο από : www.ResearchGate.net
15. Ben Mohammed, M., (2015). Geothermal energy development: the Tunisian experience. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
16. Zhang L., Chen Sh., Zhang C., (2019). Geothermal Power Generation in China: Status and prospects. Energy Science & Engineering, [online]. Διαθέσιμο από: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.365>
17. Bertani R., (2010). Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report. Διαθέσιμο από : www.ResearchGate.net
18. Saudi, A., Swarieh, A., (2015). Geothermal energy resources in Jordan, country update report. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
19. Lawless, J., Hussien, Z.F., Brotheridge, J., (2020). Country update: geothermal development in Malaysia. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
20. Mertoglu, O., Simsek, S., Basarir, N., 2020. Geothermal energy use: projections and country update for Turkey. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
21. Lund, J.W., Sifford, A., Hamm, S.G., Anderson, A., 2020. The United States of American country update 2020. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
22. Vieira, F.P., Guimarães, S.N.P., Hofmann, H., Hamza, V.M., (2020). Updated assessment of geothermal resources in Brazil – 2020. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com

23. Gutierrez-Negrin, L.C.A., Canchola-Felix, I., Romo-Jones, J.M., Quijano-Leon, J.L., (2020). Geothermal energy in Mexico: update and perspectives. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
24. Lindsey C., Ayling B., Asato G., Seggiaro R., Carrizo N., Larcher N., Marquetti C., Naón V., Conde Serra A., Faulds J., Coolbaugha M., (2021). Play fairway analysis for geothermal exploration in north-western Argentina. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
25. Thang, T.T., Cuong, N.T., (2020). An overview on geothermal potential assessment and geothermal development in Vietnam. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
26. Αρβανίτης Απ., (2010). Γεωθερμία στα Βαλκάνια. Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.
27. Hristov, V., Benderev, A., Stoyanov, N., Antonov, D., Trayanova, M., Kolev, S., (2020). Geothermal update for Bulgaria (2014-2018). Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
28. Bargiacchi, E., Conti, P., Manzella, A., Vaccaro, M., Cerutti, P., Cesari, G., (2020). Thermal Uses of Geothermal Energy, Country Update for Italy. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
29. Boissavy, C., Schmidlé-Bloch, V., Pomart, A., Lahlou, R., (2020). France Country update. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
30. Ragnarsson, A., Steingrímsson, B., Thorhallsson, S., 2020. Geothermal development in Iceland 2015-2019. Διαθέσιμο από : www.scholar.google.com
31. Παπαχρήστου Μ., Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Α, Δαλμπάκης Π., (2018). Εξέλιξη της αξιοποίησης της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα και την Ευρώπη. 11^ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας. Θεσσαλονίκη 14-16 Μαρτίου, 2018.
32. Arvanitis Ap., (2017). Geothermal Energy in Greece: Exploration – Fields – Exploitation – Legal Framework. EuroWorkshop: Geothermal – The energy of the future. Fira, Santorini, Greece, 18-19 May 2017.

33. Thanassoulas C., Xanthopoulos N., (1991). Location of possibly productive geothermal fracture zones/faults using integrated geophysical methods over Lesvos island geothermal field, Greece. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
34. Anderson Au., Rezaie B., (2019). Geothermal Technology: Trends and potential role in a sustainable future. Applied Energy, pp 18-34, [online]. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
35. IDAHO Governor's office of Energy and Mineral Resources (2021). Idaho Energy Landscape. Διαθέσιμο από: <https://oemr.idaho.gov/wp-content/uploads/Idaho-Energy-Landscape-2021.pdf>
36. Thorsteinsson H., (2005). U.S Geothermal District Heating: Barriers and Enablers. Master Thesis in Science in Technology and Policy. MIT.
37. Lund J. Geothermal District Heating system. Oregon Institute of Technology. Διαθέσιμο από: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/07/f24/10-District-Heating---J-Lund_0.pdf
38. Kenneth N., Galinato G., Johnson K., (2006). City of Boise Geothermal District Heating System. CRC Transactions, (30), [Online]. Διαθέσιμο από: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.731.4678&rep=rep1&type=pdf>
39. Dickson M., Fanelli M., (2004). What is geothermal energy. International Geothermal Association. Μετάφραση: Φύτικας Μ., Παπαχρήστου Μ. Α.Π.Θ. – Τμήμα Γεωλογίας.
40. Sveinbjornsson B., (2016). Medium Enthalpy Geothermal Systems in Iceland. Thermal and Electric potential. National Energy Authority of Iceland.
41. Darvish K., Ehyaei A., Atabi F., Rosen M., (2015). Selection of Optimum Working Fluid for Organic Rankine Cycles by Exergy and Exergy-Economic Analyses
42. Μιχόπουλος Απ., (2012). Χρήσεις των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας. Κεφ. (3), Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.
43. Nondy J., Gogoi J.K., (2021). Exergoeconomic investigation and multi-objective optimization of different ORC configurations for waste heat recovery. A comparative study. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

44. Dincer I., Demir M., (2018). Steam and Organic Rankine Cycles. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
45. Zarrouka S., Moon H., (2014). Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
46. Bleim C., Mines G., (1991). Overview of the heat cycle research project. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
47. Arvanitis Ap., (2017). Geothermal Energy in Greece: Exploration – Fields – Exploitation – Legal Framework. EuroWorkshop: Geothermal – The energy of the future. Fira, Santorini, Greece, 18-19 May 2017.
48. Chandrasekharam D., Bundshuh J., (2008). Low-enthalpy geothermal resources for power generation.
49. Christiansen R., Clavel F., Gonzalez M., García H., Ortiz D., Ariza J., Martinez M., Wohnlich S., (2021). Low-enthalpy geothermal energy resources in the Central Andes of Argentina: A case study of the Pismanta system. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
50. IRENA (2017). Geothermal Power. Technology Briefs, [online]. Διαθέσιμο από: www.irena.org
51. Βραχόπουλος Μ.ΓΡ., Κούκου Μ.Κ., Καρύτσας Κ. (2015). Κανονική Γεωθερμία- Αρχές Σχεδιασμού Γεωθερμικών Συστημάτων και Εφαρμογές. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, [online]. Διαθέσιμο από: www.kallipos.gr
52. Goetzler W., Zogg R., Heather A., Burgos J., (2009). Ground-Source Heat Pumps. Overview of Market Status, Barriers to Adoption, and Options for Overcoming Barriers. . Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
53. Ramos-Escudero A., García-Cascales M.S., Cuevas J., Sanner B., Urchueguía j. (2021). Spatial analysis of indicators affecting the exploitation of shallow geothermal energy at European scale. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
54. Sigfusson B., Uihlein A. (2015). Geothermal energy status report - JRC science and policy reports. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

55. Lund J.W., Toth A.N., (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. Geothermics, [online]. Διαθέσιμο από: www.elsevier.com

56. Saibi H., Finsterle S., Bertani R., Nishijima J., (2013). Geothermal Energy. Handbook of Sustainable Engineering, pp 1019-1064, (ch. 54).

57. Mauro A., Grossman J., (2017). Street-heat: Controlling road temperature via low enthalpy geothermal energy. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

58. Li-Hao Yang., Jyun-De Liang., Chien-Yeh Hsu., Tai-Her Yang., Sih-Li Chen (2019). Enhanced efficiency of photovoltaic panels by integrating a spraycooling system with shallow geothermal energy heat exchanger. . Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

3. Νομική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων

3.1 Ιστορική αναδρομή της ανάγκης νομικής κάλυψης ενεργειακών ζητημάτων

Η ανάγκη για ανάπτυξη συγκεκριμένης πολιτικής στρατηγικής που αφορά τους ενεργειακούς πόρους δημιουργήθηκε μετά το πέρας του Β΄ Παγκόσμιου Πολέμου. Αρχικά, η πρόθεση ήταν να διασφαλιστεί ο εφοδιασμός της ενέργειας εγκαθιδρύοντας μια αγορά άνθρακα, η διαχείριση της οποίας θα γινόταν σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτό, ήταν μια προσπάθεια ενίσχυσης και αναζωογόνησης της βαριά πεσμένης από τον πόλεμο οικονομίας.

Έπειτα, η κρίση του πετρελαίου τη δεκαετία του 1970 ήταν η αιτία να υπάρξει αναδιάρθρωση της μέχρι τότε κατάστασης παγκοσμίως.

Οι περισσότερες χώρες ενέταξαν την πυρηνική ενέργεια και το αέριο στο ενεργειακό ισοζύγιο τους προκειμένου να μειώσουν τη χρήση του άνθρακα και του πετρελαίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ορισμένες χώρες όπως η Ισλανδία, η Ιταλία και η Ουγγαρία ξεκίνησαν να αναπτύσσουν γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης. Την ίδια περίοδο αναπτύσσονται εθνικές πολιτικές υποστήριξης της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας από την Ιταλία, τη Γερμανία και την Γαλλία.

Αυτές οι ενέργειες οδήγησαν σε μια πρώιμη συλλογή γεωθερμικών δεδομένων τα οποία ενσωματώνονται στο βιβλίο «Terrestrial Heat Flow in Europe» το οποίο εκδόθηκε το 1979 [(1)].

3.2 Κλιματική αλλαγή και περιβαλλοντική προστασία

Φυσικά, η εξέλιξη της τεχνολογίας είναι απαραίτητο να σέβεται το περιβάλλον και τις κλιματικές συνθήκες. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την υλοποίηση νομικών πλαισίων με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος. Η πρώτη φορά που θεσπίστηκε ένα ισχυρό θεσμικό πλαίσιο για το κλίμα σε Διεθνές επίπεδο ήταν με την δημιουργία της Σύμβασης - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή το 1992 η οποία ξεκίνησε να ισχύει τον Μάρτιο του 1994. Η συγκεκριμένη σύμβαση προέβλεπε :

- την ανάπτυξη, την τακτική ενημέρωση και την δημοσιοποίηση εθνικών απογραφών των ανθρωπογενών εκπομπών
- τη δημοσίευση, αναθεώρηση και εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.
- την υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων με στόχο την επαναφορά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του έτους 1990 μέχρι το 2000 για τα ανεπτυγμένα κράτη.

Πέντε χρόνια αργότερα Ακολούθησε το Πρωτόκολλο του Κιότο [(1)].

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο, οι συνολικές εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων των ανεπτυγμένων χωρών έπρεπε να μειωθούν τουλάχιστον κατά 5 % την περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Πιο συγκεκριμένα, τα θερμοκηπιακά αέρια που έπρεπε να μειωθούν ήταν :

- το διοξειδίου του άνθρακα (CO_2)
- το μεθανίου (CH_4)
- το πρωτοξειδίου του αζώτου (N_2O)
- οι υδροφθοράνθρακες (HFC),
- οι υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFC)
- του εξαφθοριούχου θείου (SF_6).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο του αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής και μάλιστα είχε λάβει μια επέκταση 8 χρόνων με τη δέσμευση των Κρατών για μείωση 20% των εκπομπών αερίων έως το 2020.

Το πρωτόκολλο του Κιότο διαδέχτηκε η συμφωνία των Παρισίων το 2015. Τα βασικά σημεία που αναφέρονται στην συμφωνία είναι :

- Η διατήρηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2 °C συγκριτικά με τα προβιομηχανικά επίπεδα και της συνέχισης των προσπαθειών για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας σε 1,5 °C συγκριτικά με τα προβιομηχανικά επίπεδα, αναγνωρίζοντας ότι αυτό θα μειώσει σημαντικά τους κινδύνους και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
- Η αύξηση της ικανότητας προσαρμογής στις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και η ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή και της ανάπτυξης χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με τρόπο που δεν απειλεί την παραγωγή τροφίμων
- Η προσπάθεια να γίνουν οι χρηματοδοτικές ροές συμβατές με την κατεύθυνση της ανάπτυξης χαμηλών εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου και της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή.

Τον Νοέμβριο του 2016 παρουσιάστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία που αφορά τις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αποτελεί μια προσπάθεια για θέσπιση καινούριων κλιματικών στόχων μέχρι και το 2030 και της μακροπρόθεσμης στρατηγική της ΕΕ για την επίτευξη ουδέτερου ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 (κλιματική ουδετερότητα έως το 2050).

Μέσα σε αυτό το νομοθετικό πλαίσιο συμπεριλήφθηκε και η αναδιατύπωση της Οδηγίας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η αναθεώρηση της Οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση και ο κανονισμός της διακυβέρνησης.

Η αναθεώρηση του πλαισίου της ενεργειακής πολιτικής, το 2019, αποτελεί τη βάση του νομικού Ευρωπαϊκού πλαισίου για το κλίμα και την ενέργεια μετά το 2020. Αν και οι στόχοι που θεσμοθετούνται μέσα από τον νέο αυτό Κανονισμό δεν είναι φιλόδοξοι για την χρήση της Γεωθερμίας, εντούτοις καθορίζεται ένα πλαίσιο όπου επιτρέπει την επιταχυνόμενη ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας [(2)].

Επίσης, το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για την πολιτική ενέργειας - κλίματος περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό οδηγιών, κανονισμών, καθώς και εγγράφων πολιτικής, στρατηγικών σχεδίων δράσης, οδικών χαρτών που ορίζουν οράματα και στόχους για το 2030 και 2050.

Κύριος στόχος των πολιτικών αυτών είναι η δημιουργία μιας αποδοτικής οικονομίας όπου θα προκύψει μέσα από την βιωσιμότητα, τον ανταγωνισμό και την διασφάλιση του εφοδιασμού. Μάλιστα, προβλέπεται ότι η προώθηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας θα επιτευχθεί με την ενίσχυση της ηγετικής θέσης της ΕΕ με την έγκριση ενός σχεδίου δράσης για την ενεργειακή απόδοση, με την περαιτέρω ανάπτυξη της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και με την έναρξη προγραμμάτων που θα ενισχύουν την Έρευνα και την Ανάπτυξη.

Ταυτόχρονα, στην Ευρώπη γίνεται σημαντική προσπάθεια για την μείωση των αερίων που συνδέονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου μέσω του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του κανονισμού για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [(3)].

3.3 Συνοπτική επισκόπηση αναφορικά με την γεωθερμία

Σε κάθε χώρα θεσπίζεται ένα νομικό πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο λειτουργούν οι κανονισμοί και οι απαιτήσεις που αφορούν την χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Όπως είναι λογικό, από χώρα σε χώρα αυτό το νομικό «καθεστώς» διαφέρει. [(3)].

Βέβαια, στις περισσότερες χώρες του πλανήτη, οι γεωθερμικοί πόροι ανήκουν στο κράτος αλλά ακόμα και όταν ανήκουν σε φυσικά πρόσωπα όπως συμβαίνει στην Ισλανδία, η χρήση τους και πάλι ορίζεται μέσω αυστηρά καθορισμένων πολιτικών. Επιπρόσθετα, υπάρχουν και οι περιπτώσεις των ΗΠΑ και των Φιλιππίνων όπου οι γεωθερμικοί πόροι χαρακτηρίζονται ως ορυκτά και κατηγοριοποιούνται στους ανανεώσιμους πόρους ενέργειας.

Μάλιστα, η πλήρης κατανόηση του νομικού συστήματος της γεωθερμικής ενέργειας σε μια δεδομένη ευρωπαϊκή χώρα είναι δύσκολη εάν κάποιος δεν γνωρίζει το γενικό νομικό πλαίσιο που ορίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση [(1)].

Θα μπορούσε σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι η γνώση των πολιτικών που χρησιμοποιούνται από ένα κράτος για κάποιον ανανεώσιμο ενεργειακό πόρο είναι μείζονος σημασίας εφόσον διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του συγκεκριμένου πόρου.

Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλά κράτη προκειμένου να ενισχύσουν την ανάπτυξη της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεσπίζουν νομικά πλαίσια. Αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Στήριξη των επενδύσεων (επιχορηγήσεις κεφαλαίου, δάνεια με χαμηλά επιτόκια, φοροαπαλλαγές και μειώσεις στην αγορά αγαθών).
- Στήριξη λειτουργίας (τιμές επιδότησης, υποχρεώσεις ποσοτώσεων σε συνδυασμό με εμπορεύσιμα πράσινα πιστοποιητικά καθώς και φοροαπαλλαγές είτε μειώσεις), [(4)].

Η καθεμία από τις δύο κατηγορίες παρουσιάζει πλεονεκτήματα που μπορούν να διαδραματίσουν σημαντική βοήθεια στην ανάπτυξη της γεωθερμίας. Για παράδειγμα η κρατική στήριξη κατά τη λειτουργία μιας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής επηρεάζει άμεσα το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή την παράδοση ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο προωθώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Από την άλλη η στήριξη κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης ενός τέτοιου έργου όπως είναι η επιχορήγηση των κεφαλαίων αλλά και οι φορολογικές ελαφρύνσεις μπορεί να συνδράμει σημαντικά στην πορεία του έργου εφόσον στην αρχή τα διαθέσιμα κεφάλαια είναι περιορισμένα [(4)].

Σε πολλά κράτη παγκοσμίως, όπως και στην Κένυα ένα σημαντικό μέτρο που ακολουθείται για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η πολιτική των προγραμμάτων σταθερής τιμής (Feed-in Tariffs) για την ενέργεια. Στόχος της πολιτικής αυτής είναι η διευκόλυνση την κινητοποίηση για τους πόρους παρέχοντας ασφάλεια στις επενδύσεις και σταθερότητα στην αγορά για τους επενδυτές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ [(4)]. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας 8 που παρουσιάζει την σταθερή τιμή

ηλεκτρικής ενέργειας (\$/kW) και την διάρκεια του συμβολαίου για την ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται με την χρήση της γεωθερμίας σε συγκεκριμένα κράτη το 2019.

Πίνακας 8. Αναφορά σταθερής τιμής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το έτος 2019

Πηγή : [(5)].

Κράτος	Σταθερή Τιμή (\$/kW)	Διάρκεια (έτη)
Αυστρία	0,072	13
Εσθονία	0,060	12
Γερμανία	0,282	20
Ουγγαρία	0,109	14
Ιαπωνία	0,303	15
Ολλανδία	0,055	15
Ελβετία	0,353	15
Τουρκία	0,105	10
Ινδονησία	0,105	18
Κένυα	0,085	20

3.4 Ευρωπαϊκές οδηγίες σχετικά με την χρήση γεωθερμίας

Τα τελευταία χρόνια, τα συστήματα γεωθερμίας αυξάνονται ραγδαία στην Ευρώπη, γεγονός που υποδεικνύει ότι είναι απαραίτητο να θεσπιστεί ένα συγκεκριμένο και λεπτομερές νομικό πλαίσιο [(2)]. Σε αυτό το σημείο λοιπόν γίνεται μία ανασκόπηση των νομοθετικών πλαισίων που εφαρμόζονται στα γεωθερμικά συστήματα γεωθερμίας. Τα κράτη που βρίσκονται εντός Ευρωπαϊκής ένωσης ακολουθούν τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου ως κατευθυντήριες γραμμές. Συνεχίζοντας λοιπόν, αναφέρονται οι βασικές οδηγίες και τα άρθρα της Ε.Ε. σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας :

- Σύμφωνα με το άρθρο 13 της Οδηγίας 2009/28/EK, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από Α.Π.Ε. (Directive 2009/28/EC on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources), τα κράτη μέλη της Ε.Ε. υποχρεούνται να μεταρρυθμίσουν και να συντονίσουν τις διοικητικές τους διαδικασίες για την έγκριση, την πιστοποίηση και την αδειοδότηση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, στα οποία φυσικά συμπεριλαμβάνονται και τα γεωθερμικά συστήματα. Οι διαδικασίες έγκρισης πρέπει να είναι σαφείς, ακολουθώντας ένα σύντομο και απλό χρονοδιάγραμμα [(6)]
- Σύμφωνα με το άρθρο 14 της Οδηγίας 2009/28/EK της ίδιας οδηγίας, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από Α.Π.Ε. (Directive 2009/28/EC on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources), απαιτείται από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. να παρέχουν σε όλα τα εμπλεκόμενα μέρη τις σχετικές πληροφορίες που απαιτούνται και την αντίστοιχη εκπαίδευση, προκειμένου να γίνει πρόσληψη του κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού με σκοπό την ορθή λειτουργία των συστημάτων [(6)].
- Σύμφωνα με την Οδηγία 2010/31/EK, σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, (Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings), τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να εισαγάγουν μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των νέων και των υφιστάμενων κτιρίων που ανακαινίζονται ριζικά. Η οδηγία αυτή ταυτόχρονα όσο αναφορά τα νέα κτίρια προτείνει την χρήση συστημάτων ΑΠΕ [(7)].
- Η οδηγία 2009/125/EK σχετικά με την υλοποίηση πλαισίου για τις οικολογικές απαιτήσεις για τα ενεργειακά προϊόντα (Directive 2009/125/EC establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products), θέτει τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού για τα συστήματα γεωθερμίας [(8)].
- Το άρθρο 11 της οδηγίας 2000/60/EK, σχετικά με την υλοποίηση πλαισίου πολιτικής στην χρήση των υδάτων (Directive 2000/60/EC on establishing a framework for Community action in the field of water policy) απαγορεύει την απόρριψη ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Αναφέρει ωστόσο πως στα κράτη μέλη επιτρέπεται η επανέγχυση στον

ίδιο υδροφόρο ορίζοντα ρευστού που χρησιμοποιείται για γεωθερμικά συστήματα, εάν η διαδικασία αυτή δεν θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που έχουν προκαθοριστεί [(9)].

Η οδηγία 2006/118/EK, σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και από την αλλοίωση (Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration), καθορίζει τα πρότυπα και μέτρα για την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση [(10)].

Κάθε κράτος της Ευρώπης παρουσιάζει διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες όπως και διαφορετική γεωλογική μορφολογία. Επομένως είναι λογικό πέρα από τις γενικές Ευρωπαϊκές οδηγίες που διαμορφώνουν την νομοθεσία του συνόλου των κρατών της Ενωμένης Ευρώπης, το κάθε κράτος ξεχωριστά να έχει και τους δικούς του νόμους σχετικά με την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

3.5. Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Γαλλία

Από γεωγραφικής και μορφολογικής άποψης, η Γαλλία ευνοείται για την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Συγκεκριμένα πρόκειται για την δεύτερη μεγαλύτερη δεξαμενή αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη και για την Πέμπτη χώρα από άποψη ηλιοφάνειας. Ταυτόχρονα παρατηρούνται άφθονοι υδροηλεκτρικοί πόροι και πολλά γεωθερμικά κοιτάσματα. Στο τέλος του 2016, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα ανερχόταν στο 16%, ενώ 100.000 άτομα περίπου εργάζονταν στον τομέα των ΑΠΕ [(11)].

Στις 22 Ιουλίου 2015, το γαλλικό κοινοβούλιο ενέκρινε τον νόμο JORF (n. 0189, 2015) για την ενεργειακή μετάβαση στην πράσινη ανάπτυξη, η οποία καθορίζει φιλόδοξους στόχους για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, βάσει αυτού του νόμου, οι ΑΠΕ έως το 2030 θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν :

- το 32% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
- το 40% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- το 38% της τελικής κατανάλωσης θερμότητας,
- το 15% της τελικής κατανάλωσης καυσίμου
- το 10% της κατανάλωσης αερίου [(11)].

Στην χώρα της Γαλλίας έχει θεσπιστεί αυστηρό νομικό πλαίσιο σχετικά με την χρήση γεωθερμίας δεδομένου ότι η χρήση αυτή ρυθμίζεται ταυτόχρονα από τον εθνικό κώδικα εξόρυξης (code minier), τον εθνικό περιβαλλοντικό κώδικα και τον δημόσιο κώδικα υγείας. Η νομοθεσία διαφοροποιείται ανάλογα με την θερμοκρασία του ρευστού. Ο διαχωρισμός γίνεται μεταξύ ρευστών υψηλής θερμοκρασίας (>150°C) και ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας (<150°C).

Η διαδικασία αδειοδότησης εγκαταστάσεων γεωθερμίας υψηλής θερμοκρασίας ορίζεται από τον κώδικα εξόρυξης (code minier). Ορίζεται πως η μέγιστη χρονική διάρκεια της άδειας για

εξερεύνηση αυτής της κατηγορίας έργου είναι τα (5) χρόνια, ενώ η μέγιστη χρονική διάρκεια για εκμετάλλευση του γεωθερμικού ρευστού ορίζονται τα (50) χρόνια. Η έκδοση αυτής της κατηγορίας αδειών γίνεται μέσω του διατάγματος n. 74-498 του 1978 (The Decree 74 – 498/24 March 1978 Geothermal prospecting and exploitation licenses).

Αντίστοιχα, μέσω του ίδιου διατάγματος ορίζεται η διαδικασία αδειοδότησης εγκαταστάσεων γεωθερμίας χαμηλής θερμοκρασίας. Ορίζεται πως η μέγιστη χρονική διάρκεια της άδειας για εξερεύνηση αυτής της κατηγορίας έργου είναι τα (3) χρόνια, ενώ η μέγιστη χρονική διάρκεια για εκμετάλλευση του γεωθερμικού ρευστού ορίζονται τα (30) χρόνια. Η έκδοση αυτής της κατηγορίας αδειών γίνεται υπό την ευθύνη του διευθυντή περιβάλλοντος της περιφέρειας όπου γίνεται αίτηση.

Ταυτόχρονα, με την υπουργική απόφαση n. 2015-15 της 8ης Ιανουαρίου 2015, τα κοιτάσματα βάθους άνω των 10m και μικρότερα των 200m, τα οποία έχουν εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 500 kWt, ωφελούνται από ένα καθεστώς απλοποιημένης αδειοδότησης. Προφανώς αυτή η ΥΑ αποδεικνύεται βασική για την ανάπτυξη γεωθερμικών συστημάτων που τηρούν αυτά τα κριτήρια αφού οι διαδικασίες γίνονται ευκολότερα, ταχύτερα και οικονομικότερα. Το 2016 δημοσιεύτηκε τεχνικός οδηγός σχετικά με την αξιοποίηση των γεωθερμικών συστημάτων με σκοπό την παροχή βοήθειας και οδηγιών σε μηχανικούς, σύμβουλους και εργολάβους (CFMS/SYNTEC INGENIERIE/SOFFONS-FNTP) [(12)].

Πίνακας 9. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Γαλλίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
JORF (n. 0189, 2015) Εθνικός κώδικας εξόρυξης (code minier)	Προώθηση των Α.Π.Ε. θέτοντας στόχους Διαχωρισμός κατηγοριών γεωθερμικών ρευστών σε ρευστά υψηλής θερμοκρασίας (>150°C) και ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας (<150°C).
Π.Δ. n. 74-498 του 1978	Μέγιστη διάρκεια άδειας εξερεύνησης γεωθερμικών ρευστών υψηλής θερμοκρασίας έως 5 χρόνια και άδειας εκμετάλλευσης έως 50. Μέγιστη διάρκεια άδειας εξερεύνησης γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας έως 3 χρόνια και άδειας εκμετάλλευσης έως 30.
Υ.Α. n. 2015-15 του 2015	Προώθηση της χρήσης γεωθερμικών κοιτασμάτων βάθους (>10 m, <200 m) όταν αυτά έχουν εγκατεστημένη ισχύ < 500 kWt μέσω απλοποιημένων διαδικασιών αδειοδότησης.

3.6 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Σερβία

Η Σερβία, παρά το σχετικά μικρή έκταση που καταλαμβάνει, παρουσιάζει υψηλότερο γεωθερμικό δυναμικό συγκριτικά με τον μέσο όρο της ηπειρωτικής Ευρώπης.

Το 2015, η κυβέρνηση της Σερβίας ενέκρινε τον νόμο περί ‘Μεταλλευτικές και Γεωλογικές Εξερευνήσεις’ (law on mining and geological explorations, official gazette of RS no. 101/2015), προκειμένου να ρυθμιστεί με ορθότερο τρόπο η χρήση γεωθερμίας στην χώρα. Ο νόμος λοιπόν αναφέρει πως οι γεωθερμικοί πόροι ανήκουν στο κράτος της Σερβίας, ωστόσο για την οποιαδήποτε χρήση ο αιτών θα πρέπει υποχρεωτικά να πάρει την έγγραφη συγκατάθεση του ιδιοκτήτη της γης που βρίσκεται πάνω από το γεωθερμικό πεδίο.

Βάσει αυτού του νόμου οι γεωθερμικοί πόροι χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι:

- Υποθερμικοί πόροι (θερμοκρασία έως 30 °C),
- Πόροι χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία μεταξύ 30 °C και 100 °C)
- Πόροι μέσης/υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία πάνω από 100 °C).

Για την εξερεύνηση, την εκμετάλλευση και την εγκατάσταση συστημάτων γεωθερμικών πόρων είναι απαραίτητη η έκδοση ειδικών αδειών.

Επίσης, ο νόμος ορίζει ότι, η Γεωλογική Υπηρεσία της Σερβίας μπορεί να εκτελεί γεωλογική έρευνα χωρίς τη συγκατάθεση του κατόχου της αδείας που εκμεταλλεύεται τα γεωθερμικά πεδία, με σκοπό την υλοποίηση βασικών γεωλογικών χαρτών ή οποιασδήποτε άλλης μελέτης εξυπηρετεί τις ανάγκες του κράτους[(13)]

Για την υλοποίηση γεωθερμικών συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας δεν είναι απαραίτητη κάποια άδεια σε περίπτωση που το σύστημα δεν ξεπερνάει το 1 MWt.

Όσον αφορά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας το κράτος της Σερβίας δεν έχει κάποιο πρότυπο ή κάποια τεχνική οδηγία , συνεπώς για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων ακολουθούνται διεθνή πρότυπα όπως είναι το EN ISO 17628: 2015.

Πίνακας 10. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Σερβίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος περί Μεταλλευτικών και Γεωλογικών Εξερευνήσεων 101/2015	Διαχωρισμός κατηγοριών γεωθερμικών ρευστών σε: υποθερμικά (>30°C) Χαμηλής ενθαλπίας (>30°C και <100°C) Μέσης/υψηλής ενθαλπίας (>100°C).

3.7 Νομικό πλαίσιο γεωθερμίας στην Σλοβενία

Το νομοθετικό πλαίσιο στο οποίο βασίζεται η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην Σλοβενία είναι η ‘πράξη εξόρυξης 14/2014’ (Mining Act, Ur. L. RS 14/2014, 2014).

Σύμφωνα με τον ορισμό της πράξης ‘περί εξόρυξης’, ένας γεωθερμικός ενεργειακός πόρος είναι η θερμική ενέργεια που αποθηκεύεται στα γεωλογικά στρώματα από κάτω την επιφάνεια της στερεάς γης και η οποία ανακτάται από τη ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης.

Οι ορυκτοί πόροι, συμπεριλαμβανομένων των πόρων γεωθερμικής ενέργειας και του ιαματικού νερού, ανήκουν στη Δημοκρατία της Σλοβενίας. Ιδιώτες μπορούν να αποκτήσουν το δικαίωμα εξερεύνησης και εκμετάλλευσης βάσει χορηγημένης άδειας έρευνας και παραχώρησης χρήσης. Η άδεια αυτή χορηγείται από το κράτος, ωστόσο ο ιδιοκτήτης του εδάφους που βρίσκεται πάνω από το γεωθερμικό ρευστό θα πρέπει να δώσει έγγραφη συγκατάθεση. Τονίζεται πως η μέγιστη διάρκεια της άδειας αυτής είναι τα (5) έτη.

Βάσει αυτής της νομοθεσίας, τα οριζόντια συστήματα αβαθούς γεωθερμίας δεν χρειάζονται αδειοδότηση για να εγκατασταθούν, αντίθετα τα κάθετα συστήματα τα οποία φτάνουν σε βάθος μεγαλύτερο των 30 μέτρων είναι αναγκαίο να αδειοδοτηθούν από την περιβαλλοντική υπηρεσία. Ταυτόχρονα το ίδιο πλαίσιο ορίζει ως μέγιστο βάθος γεώτρησης των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας τα 300 m [(14)].

Στην Σλοβενία έχουν εκδοθεί συστάσεις σχετικά με την χρήση των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας οι οποίες διευκρινίζουν τον σχεδιασμό του ενεργειακού συστήματος, τον τρόπο με τον οποίον είναι ορθότερο να γίνεται η προκαταρκτική έρευνα και η διασφάλιση περιβαλλοντικών απαιτήσεων.

Πίνακας 10. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Σλοβενίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Πράξη εξόρυξης 14/2014	Έκδοση άδειας εξερεύνησης και εκμετάλλευσης γεωθερμικών ρευστών με μέγιστη διάρκεια τα 5 έτη. Απαραίτητη προϋπόθεση λήψεις άδειας η έγγραφη συγκατάθεση του ιδιοκτήτη της γης που βρίσκεται πάνω από τα ρευστά. Ορισμός ως μέγιστο βάθος συστημάτων κανονικής γεωθερμίας τα 300m. Απαλλαγή από την αδειοδότηση τα συστήματα κανονικής γεωθερμίας.

3.8 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Σουηδία

Η Σουηδία παρουσιάζει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσοστό της χρήσης ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη κτιρίων είναι περίπου το 70%. Από αυτό το ποσοστό, σημαντικό μέρος αποτελείται από συστήματα κανονικής γεωθερμίας. Ο σουηδικός κώδικας δόμησης (BBR) περιορίζει την μέγιστη χρήση ενέργειας ανά τετραγωνικό το έτος (kWh/m²/year) καθώς και την ηλεκτρική ισχύ (kW) ανάλογα με την γεωγραφική θέση [(15)]. Ο εθνικός νόμος 1998:899 που ρυθμίζει τις επικίνδυνες για το περιβάλλον δραστηριότητες ορίζει πως για την εγκατάσταση γεωθερμικών συστημάτων απαιτείται άδεια που εκδίδεται από το τοπικό δημοτικό συμβούλιο. Το τοπικό συμβούλιο έχει το δικαίωμα να αρνηθεί ή να επιβάλει προϋποθέσεις με σκοπό την προστασία του της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η συγκεκριμένη άδεια δεν απαιτείται για τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας που λειτουργούν με κλειστό βρόχο [(16)]. Ταυτόχρονα, ο σουηδικός οργανισμός προστασίας του περιβάλλοντος ρυθμίζει την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης εδάφους στις προστατευόμενες περιοχές. Απαγορεύεται αυστηρά η διάνοιξη γεωτρήσεων σε όλες τις ζώνες προστασίας πρώτου βαθμού (σύμφωνα με την Σουηδική νομοθεσία είναι τα ύδατα στα οποία ένας υποθετικός ρυπαντής χρειάζεται έως 12 ώρες μέχρι να ρυπάνει την περιοχή εισόδου τους) και απαιτούνται ειδικές συνθήκες για την υλοποίηση γεωτρήσεων σε ζώνες προστασίας δεύτερου βαθμού (σύμφωνα με την Σουηδική νομοθεσία είναι τα ύδατα στα οποία ένας υποθετικός ρυπαντής χρειάζεται πάνω από 12 ώρες και λιγότερο από 24 ώρες μέχρι να ρυπάνει την περιοχή εισόδου τους) .

Στην Σουηδία εκδόθηκε ‘οδηγός γεωτρήσεων’ (Normbrunn guide) ο οποίος θέτει τις απαιτήσεις για την υλοποίηση των γεωθερμικών γεωτρήσεων. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πρότυπο το οποίο περιέχει απαιτήσεις σχετικά με τον τρόπο εκσκαφής. Ταυτόχρονα περιλαμβάνει απαιτήσεις για τον εξοπλισμό που χρειάζεται η διαδικασία εκσκαφής και η τοποθέτηση του εναλλάκτη. Επιπλέον, αναφέρει με συμβουλευτικό χαρακτήρα, τις ελάχιστες αποστάσεις που θα πρέπει να υπάρχουν μεταξύ των παραγωγικών γεωτρήσεων και των ιδιοκτησιών [(17)].

Ταυτόχρονα, αναπτύχθηκαν κατευθυντήριες γραμμές από τη Γεωλογική Υπηρεσία της Σουηδίας (SGU). Έτσι έγινε μία τυποποίηση της διαδικασίας υλοποίησης γεωτρήσεων. Σε αυτή την τυποποίηση περιλαμβάνονται οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ δύο παραγωγικών γεωτρήσεων με σκοπό την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας, ο τρόπος στεγανοποίησης των γεωτρήσεων, ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να γίνονται οι δοκιμές πίεσης αλλά και η μεθοδολογία των ελέγχων που θα πρέπει να γίνονται με σκοπό την διασφάλιση της ποιότητας της εγκατάστασης.

Η πιστοποίηση ποιότητας ‘PMark’ χρησιμοποιείται για τη διασφάλιση της ποιότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση γεωθερμικών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, διασφαλίζει την καταλληλότητα των εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται ορίζοντας υψηλές απαιτήσεις κατασκευής [(18)]. Η Γεωλογική Υπηρεσία της Σουηδίας εξουσιοδοτείται βάσει του προηγούμενου νόμου να συλλέγει τις πληροφορίες από όλες τις γεωτρήσεις σε εθνικό επίπεδο και στην συνέχεια να τις αναρτά στην εθνική βάση

δεδομένων όπου παρουσιάζονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με τις γεωθερμικές γεωτρήσεις από το 1976.

Πίνακας 11. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Σουηδίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος 1998:899	Έκδοση γεωθερμικής άδειας από το τοπικό συμβούλιο
Σουηδικός κώδικας δόμησης (BBR)	Περιορισμός μέγιστης ισχύς και μέγιστης χρήσης ανά τετραγωνικό το έτος ανάλογα με την γεωγραφική θέση.
Οδηγός γεωτρήσεων (Normbrunn guide)	Πρότυπο σχετικά με τις απαιτήσεις εκσκαφής και την ορθή τοποθέτηση των εναλλακτών.

3.9 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Τουρκία

Η Τουρκία παρουσιάζει πλούσια γεωθερμική δραστηριότητα, μάλιστα έως το 2018 συγκαταλεγόταν μεταξύ των 10 κρατών παγκοσμίως με την μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης γεωθερμικών συστημάτων (407 MW). Στις 6 Μαρτίου του 2007 εκδόθηκε ο νόμος 5685 περί γεωθερμικών πόρων και μεταλλικού νερού (Regulation amending the Regulation implementing Law No. 5685 on geothermal resources and natural mineral waters). Σκοπός του συγκεκριμένου νόμου είναι ο καθορισμός των κανόνων και των αρχών αυτών που οδηγούν στην αποτελεσματική εξερεύνηση, ανάπτυξη και προστασία των γεωθερμικών και φυσικών υδάτινων πόρων με σκοπό την οικονομική χρήση σύμφωνα με τους κανόνες προστασίας του περιβάλλοντος. Βάσει νόμου ξεκαθαρίζεται πως οι γεωθερμικοί πόροι ανήκουν στο κράτος της Τουρκίας και είναι απαραίτητη η έκδοση ειδικών αδειών ώστε να πραγματοποιηθούν ενέργειες που σχετίζονται με τους συγκεκριμένους πόρους. Η Γενική Διεύθυνση Μεταλλευτικών Υποθέσεων του τούρκικου κράτους εκδίδει άδεια ‘εξερεύνησης’ για γεωθερμικούς πόρους εφόσον η περιοχή που γίνεται αίτηση αδειοδότησης δεν ξεπερνά τα 5.000 εκτάρια. Η διάρκεια της άδειας είναι (3) έτη και υπάρχει δυνατότητα παράτασης (1) έτους ακόμα με την σύμφωνη γνώμη της αρμόδιας διεύθυνσης. Σε περίπτωση που η διερεύνηση των γεωθερμικών πόρων οδηγήσει σε θετικό αποτέλεσμα ο κάτοχος της άδειας ‘εξερεύνησης’ μπορεί να αιτηθεί άδεια ‘λειτουργίας’ η οποία διαρκεί (30) χρόνια και έχει την δυνατότητα παράτασης για άλλα (10) έτη. Τονίζεται πως κατά την διάρκεια λειτουργίας θα πρέπει να υπάρχει στην εγκατάσταση υπεύθυνος μηχανικός ο οποίος θα πρέπει να είναι κάτοχος του ανάλογου διπλώματος.

Ο ίδιος νόμος απαιτεί την έκδοση άδειας και για τα συστήματα αβαθούς. Ταυτόχρονα, βρίσκεται σε ισχύ και ο νόμος 5627 περί ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων του 2007 (Energy efficiency Law No. 5627). Σύμφωνα λοιπόν με τον συγκεκριμένο νόμο τα κτήρια αξιολογούνται ανάλογα με την ενεργειακή τους κατανάλωση στις κατηγορίες από A έως G. Όπου το γράμμα A δηλώνει την χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση, ενώ το G την μεγαλύτερη. Ορίζεται λοιπόν πως τα νέα κτήρια θα πρέπει να βρίσκονται έστω στην ενεργειακή κατηγορία D [(19)].

Πίνακας 12. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Τουρκίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος 5685 περί γεωθερμικών πόρων και μεταλλικού νερού	Έκδοση άδειας εξερεύνησης διάρκειας 3 ετών (+1 παράτασης) και στην συνέχεια άδειας εκμετάλλευσης διάρκειας 30 ετών (+10 παράτασης).
Νόμος 5627 περί ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων του 2007	Κατηγοριοποίηση κτηρίων βάσει της ενεργειακής τους αποδοτικότητας. (Κατηγορία A έως G). Υποχρέωση κατασκευής νέων κτηρίων κατηγορίας D και πάνω.

3.10 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κροατία

Η Κροατία διαθέτει κατάλληλο γεωθερμικό δυναμικό για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα της χώρας. Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός πως η γεωθερμική βαθμίδα που παρατηρείται στο Βόρειο τμήμα της χώρας (0,04 - 0,07 °C/m) είναι υψηλότερη από την μέση τιμή που παρατηρείται στις βόρειες και κεντρικές ευρωπαϊκές χώρες (περίπου 0,016°C/m) [(20)].

Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών που καλύπτεται από την λεγόμενη ‘Πράξη Εξόρυξης’ (Mining Act, Official Gazette, 56/13) όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακούς σκοπούς. Αντίθετα, αν το ρευστό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε άλλη χρήση καλύπτεται από την ‘πράξη για το νερό’ (Water Act, Official Gazette, 56/13). Από τις δύο αυτές πράξεις απορρέει πως για την οποιαδήποτε χρήση του γεωθερμικού ρευστού απαιτείται να εκδοθεί άδεια και να γίνεται παρακολούθηση των πόρων η οποία θα γίνεται με την μορφή αναφοράς (report). Ορίζεται πως κάτοχος των γεωθερμικών πόρων που βρίσκονται εντός της Κροατίας είναι το κράτος. Οι ιδιώτες ωστόσο έχουν το δικαίωμα χρήσης των γεωθερμικών πόρων εφόσον προμηθευτούν άδεια παραχώρησης. Δύο είναι οι κατηγορίες άδειας παραχώρησης των γεωθερμικών πόρων στην Κροατία. Η πρώτη ονομάζεται ‘παραχώρηση εξόρυξης’ (mining concession) και απαιτείται για τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η δεύτερη ονομάζεται ‘water concession’ και απαιτείται για όλες τις υπόλοιπες χρήσεις των γεωθερμικών πόρων. Η συγκεκριμένες άδειες χορηγούνται μέσω δημοσίου διαγωνισμού σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα τα οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι κροατικής προέλευσης. Ως μέγιστη δυνατή διάρκεια αυτών των αδειών ορίζονται τα (40) χρόνια. Τονίζεται πως για οποιαδήποτε χρήση είναι απαραίτητη η έκδοση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Η αβαθής γεωθερμία αναφέρεται στην κροατική νομοθεσία ως ‘θερμότητα που είναι αποθηκευμένη μέσα στα πρώτα 400 m του φλοιού της γης. Ωστόσο, στην χώρα της Κροατίας παρατηρείται έλλειψη στο νομικό κομμάτι που σχετίζεται με την ρύθμιση της αβαθούς γεωθερμίας. Τα έργα αβαθούς γεωθερμίας ρυθμίζονται από τον κατασκευαστικό κανονισμό υπό την επίβλεψη του Υπουργείου Κατασκευής και Χωροταξίας με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών. Όσον αφορά τον σχεδιασμό συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας επίσης δεν υπάρχει συγκεκριμένο εθνικό πρότυπο και η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι να ακολουθούνται πρότυπα διεθνούς χαρακτήρα [(21,22)].

Πίνακας 13. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Κροατίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Πράξη Εξόρυξης του 2009	Άδεια παραχώρησης γεωθερμικών ρευστών με σκοπό την παραγωγή ηλ. ενέργειας μέγιστης διάρκειας 40 έτη.
Πράξη για το νερό του 2009	Άδεια παραχώρησης γεωθερμικών ρευστών με σκοπό όλες τις χρήσεις. εκτός της παραγωγής ηλ. ενέργειας μέγιστης διάρκειας 40 έτη.

3.11 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Ελλάδα

Ο νόμος όπου στηρίζεται η νομοθεσία σχετικά με την γεωθερμία στον ελλαδικό χώρο είναι ο 4602/2019 (ΦΕΚ 45/Α/9-3-2019) . Σκοπός του συγκεκριμένου νόμου είναι η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στον ελλαδικό χώρο.

Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από 5 μέρη και συνολικά 91 άρθρα και εγκρίθηκε στις 8 Μαρτίου του 2019.

Επίκεται λοιπόν, μια σειρά από Υπουργικών Αποφάσεων οι οποίες εξειδικεύουν τις ρυθμίσεις του ισχύοντος νόμου 4602/2019 (ΦΕΚ Α 45) για την «Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας».

Ο ν. 4602/2019 ήταν ο νόμος που εκσυγχρόνισε το ρυθμιστικό πλαίσιο για την γεωθερμία και αντικατέστησε τον ν.3175/2003 (ΦΕΚ Α΄ 207). Εισήγαγε το νέο ρυθμιστικό πλαίσιο για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας τόσο για υψηλές όσο και για χαμηλές θερμοκρασίες.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι βασικές διατυπώσεις του νόμου 4602/2019 στον τομέα της γεωθερμίας :

1. Τροποποίηση της κατηγοριοποίησης των πεδίων και κατάργηση των εννοιών «πιθανό» και «βεβαιωμένο» πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, τα γεωθερμικά πεδία θα διακρίνονται σε τοπικού (θερμοκρασία ρευστού 30-90⁰C) και εθνικού ενδιαφέροντος (θερμοκρασία ρευστού άνω των 90⁰C). Επιπρόσθετα, οι ευρύτεροι χώροι μέσα στους οποίους υπάρχουν ενδείξεις παρουσίας γεωθερμικού δυναμικού θερμοκρασίας έως 90⁰C και δεν έχουν ακόμα χαρακτηριστεί με κάποιο ΦΕΚ, ορίζονται ως «Περιοχές Γεωθερμικού Ενδιαφέροντος» (ΠΓΘΕ).

2. Αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας καθορισμού γεωθερμικού δυναμικού κατά 5⁰C, δηλαδή από τους 25⁰C, στους 30⁰C, παρέχοντας τη δυνατότητα αξιοποίησης αρκετών γεωργικών γεωτρήσεων για άρδευση.

3. Διαφοροποίηση του δικαιώματος της «Εκμετάλλευσης» του γεωθερμικού δυναμικού από αυτό της «Διαχείρισης».

4. Απλοποίηση της διαδικασίας εκμίσθωσης στα πεδία τοπικού ενδιαφέροντος, καθώς σε περίπτωση αίτησης ενδιαφερομένου, η οικεία αποκεντρωμένη διοίκηση προχωρεί σε δημόσια πρόσκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος, διάρκειας 30 ημερών, η οποία δημοσιοποιείται με ανάρτηση στο κατάστημα της οικείας υπηρεσίας, καθώς και στον ιστότοπο αυτής και κοινοποιείται στους οικείους Δήμους.

5. Πρόβλεψη στην περίπτωση που η μίσθωση του δικαιώματος εκμετάλλευσης γεωθερμικού δυναμικού πραγματοποιείται για τον σκοπό κάλυψης θερμικών αναγκών σχολείων πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης καθώς και κέντρων υγείας και νοσοκομείων, να μην υφίσταται υποχρέωση προσκόμισης εγγυητικής επιστολής καλής εκτέλεσης της σύμβασης μίσθωσης.

6. Αύξηση της διάρκειας μίσθωσης του δικαιώματος διαχείρισης και εκμετάλλευσης ή μόνο εκμετάλλευσης (αρχική διάρκεια μέχρι τριάντα (30) έτη, με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή έως είκοσι (20) επιπλέον έτη.

7. Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στα πεδία αρμοδιότητας του συντονιστή της αποκεντρωμένης διοίκησης, στο πλαίσιο Σχεδίων Ανάπτυξης Γεωθερμικού Δυναμικού, με απώτερο σκοπό την ορθολογική χρήση και την προστασίας της ανανεωσιμότητας του φυσικού πόρου.

8. Πρόβλεψη δημιουργίας μητρώων καταγραφής και παρακολούθησης γεωθερμικών σημείων, καθώς και οργάνωσης διαδικτυακών πληροφοριακών πυλών στην ιστοσελίδα του ΥΠ.ΕΝ. και της Ε.Α.Γ.Μ.Ε.

9. Εμφάνιση στο ρόλο της Ε.Α.Γ.Μ.Ε ως ο θεσμοθετημένος σύμβουλος της Ελληνικής Πολιτείας σε θέματα γεωθερμίας και στη συνεργασία της με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και με τις αποκεντρωμένες διοικήσεις για την υποστήριξη του έργου της διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων. Παροχή δυνατότητας στις αποκεντρωμένες διοικήσεις να επιλέξουν, πέραν της Ε.Α.Γ.Μ.Ε., με επιστημονικούς συμβούλους, από οποιονδήποτε επιστημονικό, ερευνητικό ή ακαδημαϊκό φορέα, είτε ακόμα και με μεμονωμένους επιστήμονες, προκειμένου να βοηθηθούν στο έργο τους [(23)].

Σημειώνεται πως ως μέγιστος αρμόδιος της ρύθμισης των γεωθερμικών ζητημάτων βάσει του παραπάνω νόμου ορίζεται ο Υπουργός Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Στον ίδιο νόμο αναφέρεται ρητά πως η εκμίσθωση του δικαιώματος έρευνας, διαχείρισης και εκμετάλλευσης γεωθερμικού δυναμικού στα πεδία εθνικού ενδιαφέροντος γίνεται ύστερα από δημόσιο διαγωνισμό με προσφορές. Επίσης ορίζεται πως η διάρκεια της μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας μέχρι πέντε (5) έτη με δικαίωμα παράτασης από την πλευρά του μισθωτή για δύο (2) επιπλέον έτη, ενώ η διάρκεια μίσθωσης του δικαιώματος εκμετάλλευσης ορίζεται μέχρι τριάντα (30) έτη, με δικαίωμα παράτασης από τον μισθωτή μέχρι είκοσι (20) επιπλέον έτη.

Επίσης, η ίδια διαδικασία δημόσιου διαγωνισμού ακολουθείται αντίστοιχα στα πεδία τοπικού ενδιαφέροντος. Ωστόσο σε αυτή την περίπτωση, η διάρκεια της μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας ορίζεται μέχρι τρία (3) έτη με δικαίωμα παράτασης από τον μισθωτή για ένα (1) επιπλέον έτος. Δεν αλλάζει η διάρκεια μίσθωσης του δικαιώματος εκμετάλλευσης αφού και σε αυτήν την περίπτωση φτάνει έως τα τριάντα (30) έτη, με δικαίωμα παράτασης από τον μισθωτή μέχρι είκοσι (20) επιπλέον έτη.

Τονίζεται επίσης πως απαραίτητη συνθήκη για την εκμίσθωση είναι η καταβολή στο Ελληνικό Δημόσιο ετήσιου αναλογικού μισθώματος και ελάχιστου αναλογικού μισθώματος.

Αξιοσημείωτο είναι πως σύμφωνα με τον ν.4602/2019, οι διατάξεις του Μεταλλευτικού Κώδικα (ν.δ. 210/1973) και γενικότερα της μεταλλευτικής νομοθεσίας εφαρμόζονται και για το γεωθερμικό δυναμικό, εκτός και αν ορίζεται διαφορετικά από τον ν.4602/2019.

Σημαντικό κρίνεται επίσης ότι με τον ν.4602/2019, εγκαθιδρύθηκε μια απλούστευση της κατηγοριοποίησης των γεωθερμικών πεδίων, με έμφαση σε όσα το γεωθερμικό ρευστό τους δεν υπερβαίνει τους 90°C. Μέσω του νόμου αυτού υπάρχει η προσδοκία αξιοποίησης της γεωθερμίας όπου θεωρείται ότι μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη ευρύτερων περιοχών καθώς και στη δημιουργία οικονομικών δραστηριοτήτων, στη χώρα.

Η ελληνική νομοθεσία απαιτεί άδεια για την εγκατάσταση γεωθερμικών συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας. Αυτή εκδίδεται από την Διεύθυνση ανάπτυξης της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης όπου βρίσκεται το ακίνητο το οποίο προτείνεται η εγκατάσταση. Για την αδειοδότηση είναι υποχρεωτικό να προσκομισθεί μελέτη η οποία θα πρέπει να φέρει την υπογραφή του ενδιαφερόμενου και του μηχανικό που έχει δικαίωμα υπογραφής σχετικών μελετών. Επισημαίνεται ωστόσο, πως η Ελλάδα δεν διαθέτει επίσημο πρότυπο για την μελέτη και εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας [(23)].

Πίνακας 14. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην Ελλάδα.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος 4602/2019 (ΦΕΚ 45/Α/9-3-2019)	Κατηγοριοποίηση πεδίων σε πεδία εθνικού και τοπικού ενδιαφέροντος. Μίσθωση πεδίου εθνικού ενδιαφέροντος μέχρι 5 έτη (+2 παράτασης) για έρευνα και μέχρι 30 έτη (+20 παράτασης) για εκμετάλλευση. Μίσθωση πεδίου τοπικού ενδιαφέροντος μέχρι 3 έτη (+1 παράτασης) για έρευνα και μέχρι 30 έτη (+20 παράτασης) για εκμετάλλευση. Απαίτηση άδειας εγκατάστασης συστημάτων κανονικής γεωθερμίας

3.12 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κύπρο

Στην Κύπρο, το 2016 οι ΑΠΕ αντιπροσώπευαν το 9,35% κατανάλωσης ενέργειας [(24)], βέβαια από αυτό το ποσοστό το μεγαλύτερο μέρος καταλάμβανε η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Η χρήση αντλιών θερμότητας μέσω γεωθερμίας περιοριζόταν σε περίπου 160 εγκαταστάσεις, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 9,5 MWt. Εκτιμάται ότι το μερίδιο που καταλάμβαναν τότε τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας ήταν της τάξης του 0,09% (ή 1551 toe) [(25)] του μείγματος ενέργειας της χώρας. Το βασικό νομοθετικό σημείο στην χώρα της Κύπρου είναι ο νόμος Περί Προώθησης και Ενθάρρυνσης της Χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ν.112/2013). Ο συγκεκριμένος νόμος αφορά την προώθηση και ενθάρρυνση της χρήσης των ΑΠΕ που ουσιαστικά ακολουθεί την Ευρωπαϊκή οδηγία. Ενδιαφέρον προκαλεί πως ο νόμος αυτός στο άρθρο 22, εισάγει ένα προαιρετικό πρόγραμμα πιστοποίησης για τους εγκαταστάτες των γεωθερμικών συστημάτων. Πρέπει να τονιστεί το γεγονός πως το νομοθετικό πλαίσιο στην Κύπρο δεν παρέχει αυστηρή τεχνική καθοδήγηση και οδηγίες σχετικά με το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας, με αποτέλεσμα να δημιουργείται σύγχυση και να περιορίζεται η ανάπτυξη των γεωθερμικών συστημάτων.

Πίνακας 15. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Κύπρου.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος Περί Προώθησης και Ενθάρρυνσης της Χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ν.112/2013)	Εισαγωγή προαιρετικού προγράμματος πιστοποίησης για τους εγκαταστάτες κανονικής γεωθερμίας.

3.13 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Ιταλία

Η Ιταλία ως χώρα έχει μεγάλη παράδοση στην χρήση γεωθερμικών συστημάτων (από το 1905). Παράλληλα, στην Νότια Ιταλία παρουσιάζεται πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό λόγω ενεργών ηφαιστειών. Κατά την χρονική περίοδο από το 2005 έως το 2015 η διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της χώρας αυξήθηκε από 7,5% σε 17,5%.

Ωστόσο, σε αυτά τα στατιστικά στοιχεία δεν εμπεριέχονται οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αφού στο ιταλικό κράτος δεν απαιτείται υποχρεωτική εγγραφή των συστημάτων αυτών σε

κάποιο μητρώο. Ταυτόχρονα, παρατηρείται ανομοιομορφία από νομικής άποψης. Στην Ιταλία γίνεται μια κατανομή αρμοδιοτήτων μεταξύ των εθνικών και των τοπικών αρχών, και διακρίνονται ανάλογα με τους παρακάτω παράγοντες:

- το βάθος που βρίσκεται το γεωθερμικό ρευστό
- την θερμοκρασία του γεωθερμικού υγρού
- το μέγεθος εγκατάστασης [(26)].

Σε εθνικό επίπεδο, το νομοθετικό διάταγμα 28/2011, περί προώθησης της ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili,) είναι αυτό που ορίζει την χρήση γεωθερμίας στην χώρα. Μέσω αυτού του διατάγματος γίνεται αντιληπτό πως η εξερεύνηση και η χρήση γεωθερμικών πόρων με σκοπό την παραγωγή ενέργειας σε όλη την επικράτεια του κράτους θα πρέπει να εξυπηρετεί το δημόσιο συμφέρον. Ο νόμος αυτός επίσης ορίζει πως εντός της ιταλικής επικράτειας οι γεωθερμικοί πόροι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την θερμοκρασία που βρίσκονται τα ρευστά τους. Οι τρεις κατηγορίες είναι :

- υψηλή ενθαλπία, που χαρακτηρίζεται από θερμοκρασίες ρευστού πάνω 150°C
- μέσης ενθαλπίας, που χαρακτηρίζεται από θερμοκρασίες ρευστού μεταξύ 90°C και 150°C.
- χαμηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες ρευστού < 90 ° C

Οι υπεύθυνες αρχές έκδοσης αδειών εξερεύνησης και αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που σχετίζονται με γεωθερμικούς πόρους είναι το Υπουργείο Οικονομικής Ανάπτυξης σε συνεργασία με το Υπουργείο Περιβάλλοντος. Η μέγιστη διάρκεια της άδειας εξερεύνησης είναι 5 έτη ενώ της άδειας εκμετάλλευσης είναι 30 έτη. Η εξερεύνηση και η αξιοποίηση ιαματικών λουτρών εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης άδειας. Ταυτόχρονα, πρέπει να τονιστεί πως απαγορεύεται αυστηρά η εγκατάσταση συστημάτων γεωθερμίας κοντά σε περιοχές όπου υπάρχει πόσιμο νερό. Στην Ιταλία ωστόσο, δεν υπάρχουν αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές στην νομοθεσία σχετικά με τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλο περιθώριο ευελιξίας των συστημάτων αυτών [(27)].

Πίνακας 16. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Ιταλίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Διάταγμα 28/2011 περί προώθησης της ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.	Διαχωρισμός κατηγοριών γεωθερμικών ρευστών σε ρευστά υψηλής θερμοκρασίας (>150°C), ρευστά μέσης ενθαλπίας(>90°C και <150°C) και ρευστά χαμηλής ενθαλπίας (<90°C). Έκδοση άδειας εξερεύνησης μέγιστης διάρκειας 5 ετών και άδειας εκμετάλλευσης μέγιστης διάρκειας 30 ετών.

3.14 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Γερμανία

Οι νόμοι που ρυθμίζουν την χρήση γεωθερμικών συστημάτων στην Γερμανία υπάρχουν τόσο σε ομοσπονδιακό επίπεδο (Bund) όσο και σε εθνικό επίπεδο (Länder). Η χρήση γεωθερμικής ενέργειας στη Γερμανία ορίζεται από την πράξη εξόρυξης ‘Bundesberggesetz vom 13. August 1980’, η οποία ισχύει σε εθνικό επίπεδο.

Σύμφωνα με την συγκεκριμένη πράξη οι γεωθερμικοί πόροι δεν είναι ιδιοκτησία του ιδιοκτήτη της γης, αλλά ανήκουν στην ομοσπονδιακή διοίκηση (bergfreier Rohstoff). Συνεπώς, η εξερεύνηση και η εκμετάλλευση αυτού του είδους των πόρων ρυθμίζεται από τις αρχές και χορηγείται σε ιδιώτες. Το πρώτο βήμα είναι η χορήγηση άδειας για την εξερεύνηση και αφού διαπιστωθεί η ύπαρξη γεωθερμικού ρευστού, δίνεται άδεια για την εκμετάλλευση. Η άδεια που απαιτείται για την χρήση γεωθερμίας περιλαμβάνει όλες τις περιβαλλοντικές προϋποθέσεις και συνεπώς δεν είναι απαραίτητο να ληφθεί επιπλέον περιβαλλοντική άδεια. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι βάσει αυτού του νόμου, εάν κριθεί απαραίτητο μέσω δικαστικής απόφασης, είναι δυνατή η εξερεύνηση και η εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών από χωρικές περιοχές χωρίς την συγκατάθεση του νόμιμου ιδιοκτήτη της γης. Προβλέπεται σε αυτήν την περίπτωση οικονομική αποζημίωση για τον ιδιοκτήτη του ακινήτου.

Από την άλλη πλευρά, οι εγκαταστάσεις αβαθούς γεωθερμίας ρυθμίζονται σε εθνικό επίπεδο από τον νόμο για τους υδάτινους πόρους (Wasserhaushaltsgesetz, vom 31. Juli 2009), ο οποίος ορίζει πως η χρήση τέτοιων συστημάτων απαιτεί ειδική άδεια από την υπηρεσία ύδρευσης. Όσον αφορά την τοποθέτηση των συστημάτων αυτών, στην Γερμανία υπάρχει το πρότυπο VDI4640, το οποίο αποτελεί την κατευθυντήρια γραμμή για την ασφαλή και λειτουργική τοποθέτηση των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας [(28)] .

Πίνακας 17. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Γερμανίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
πράξη εξόρυξης του 1980	Ορισμός χορήγησης άδειας για την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων η οποία περιλαμβάνει και όλες τις περιβαλλοντικές προϋποθέσεις και είναι δυνατόν να εκδοθεί χωρίς την συγκατάθεση του νόμιμου ιδιοκτήτη της γης.
Νόμος για τους υδάτινους πόρους του 2009	Ορισμός ειδικής άδειας για τα συστήματα κανονικής γεωθερμίας

3.15 Νομικό πλαίσιο γεωθερμίας στην Λετονία

Η στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης της Λετονίας θέτει ως στόχο μέχρι το 2030 η μισή παραγωγή ενέργειας της χώρας να προέρχεται από ΑΠΕ.

Το νομοθετικό πλαίσιο που εστιάζει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στη Λετονία αποτελείται από τρία βασικά νομοθετικά σημεία.

Τον νόμο για την ενέργεια (energy law, 1998), τον νόμο για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (Electricity Market Law, 2005) και από την ΥΑ αριθ. 262 με τίτλο Κανονισμοί σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια με χρήση ΑΠΕ (Regulations regarding the production of electricity using RES and the procedures for the determination of the price).

Ωστόσο η χρήση της γεωθερμίας νομοθετικά στην Λετονία ρυθμίζεται από τον 'νόμο για τα υπόγεια βάθη του 1996 (Law on Subterranean Depths of 1996). Ο συγκεκριμένος νόμος ορίζει τις διαδικασίες για ολοκληρωμένη, ορθολογική και περιβαλλοντικά ασφαλή χρήση του υπεδάφους καθώς και τις απαιτήσεις για τη χρήση και την προστασία του υπεδάφους. Εντύπωση δημιουργεί το γεγονός πως ο νόμος αυτός ορίζει ότι το υπέδαφος και όλοι οι ορυκτοί πόροι ανήκουν στον νόμιμο ιδιοκτήτη της γης που μπορεί να χρησιμοποιήσει το υπέδαφος όπως αυτός επιθυμεί. Ορίζεται επίσης πως το υπουργείο περιβάλλοντος είναι υπεύθυνο για την επίβλεψη και την προστασία των γεωθερμικών πόρων, καθώς και για την ορθολογική χρήση των πόρων αυτών. Ταυτόχρονα, διευκρινίζεται πως είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν γεωλογικές έρευνες πριν από την εξαγωγή γεωθερμικών πόρων από το εσωτερικό της γης. Πρέπει να ειπωθεί πως στην Λετονία δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία αναφορικά με την αβαθή γεωθερμία. Συμπερασματικά, πολλά κενά προκύπτουν από την υφιστάμενη νομοθετική κατάσταση της Λετονίας και επομένως κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη σύγχρονου νομοθετικού πλαισίου [(29)].

Πίνακας 18. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Λετονίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος για την ενέργεια του 1998	Οριοθέτηση των γενικών κανονισμών παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας.
Νόμος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας του 2005	Ορισμός της τιμολογιακής πολιτικής του ενεργειακού καθεστώτος της χώρας
Νόμος για τα υπόγεια βάθη του 1996	Ορισμός υποχρεωτικών ερευνών πριν την εξαγωγή γεωθερμικών πόρων.

3.16 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Πορτογαλία

Στην Πορτογαλία, οι ΑΠΕ ταυτίζονται με ένα μεγάλο μερίδιο του ενεργειακού μείγματος της χώρας. Το 2014, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσώπευαν το 25,4% του συνολικού ενεργειακού μείγματος πρωτογενούς ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα τα ποσοστά ήταν:

- βιοκαύσιμα και ενέργεια από απόβλητα (12,6%),
- υδροηλεκτρική ενέργεια (6,4%)
- αιολική ενέργεια (4,9%),
- γεωθερμική (0,8%)
- ηλιακή ενέργεια (0,6%) [(30)].

Η Πορτογαλία ανέπτυξε ενδιαφέρον για την γεωθερμική ενέργεια κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης της δεκαετίας του 70. Ο κύριος λόγος ήταν η προσπάθεια που γινόταν για την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας στο Σάο Μιγκέλ, στις Αζόρες. Συνεπώς δημιουργήθηκε η ανάγκη θέσπισης ενός συνόλου κανονισμών που αφορούσαν την έρευνα και την αξιοποίηση τέτοιων πόρων. Η πρώτη αναφορά των γεωθερμικών πόρων στην εθνική νομοθεσία της Πορτογαλίας έγινε το 1976 στον νόμο n° 560-C/76, κατά τον οποίο τα γεωθερμικά πεδία ορίζονταν επισήμως ως δημόσια περιουσία. Στην συνέχεια ακολούθησε η νομοθετική αναθεώρηση σχετικά με την έρευνα και την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων (Decreto-Lei n° 87/90). Η συγκεκριμένη αναθεώρηση ορίζει πως για την έκδοση άδειας χρήσης γεωθερμικών πόρων είναι απαραίτητη η προσκόμιση αίτησης η οποία θα πρέπει να απευθύνεται στον υπουργό Ενέργειας και να παραδοθεί στην Γενική διεύθυνση Ενέργειας. Η συγκεκριμένη αίτηση θα πρέπει να περιέχει :

- Την ακριβή Προσδιορισμό της επιθυμητής περιοχής όπου γίνεται αίτηση για γεωθερμική δραστηριότητα
- Το γενικό σχέδιο των εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν, δεόντως τεκμηριωμένο.
- Το προγραμματισμένο οικονομικό κεφάλαια που πρόκειται να επενδυθεί
- Αποδεικτικά στοιχεία ότι ο αιτών είναι τηρεί τα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια υλοποίησης του έργου [(31)].

Εφόσον η αίτηση γίνει δεκτή, το κράτος δημοσιεύει την συγκεκριμένη αίτηση στην Πορτογαλική εφημερίδα της κυβερνήσεως (Diário da República), σε εφημερίδα της έδρας του δήμου όπου βρίσκεται η περιοχή που έχει γίνει αίτηση για εκμετάλλευση ή έρευνα και σε δύο εφημερίδες μεγάλης αναγνωσιμότητας, όπου υποχρεωτικά η μία θα πρέπει να εδρεύει στην Λισαβόνα και η άλλη στο Πόρτο. Μέσω αυτής της κίνησης, επιτρέπεται να γίνει τεκμηριωμένη ένσταση από τρίτα μέρη εντός 30 ημερών.

Ωστόσο, η τελευταία αναφορά στους γεωθερμικούς πόρους στο πορτογαλικό νομικό σύστημα έγινε το 2015 με τον νόμο n° 54/2015. Ο συγκεκριμένος νόμος δεν τροποποίησε τις διαδικασίες αδειοδότησης. Σε αυτόν τον νόμο τα γεωθερμικά πεδία ορίζονται ως τα ρευστά και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο του εδάφους, των οποίων η θερμοκρασία μπορεί να είναι χρήσιμη προς οικονομική εκμετάλλευση. Ορίζεται επίσης πως για να επιτραπεί η εκμετάλλευση οποιουδήποτε γεωθερμικού πόρου εντός της χώρας θα πρέπει απαραίτητα να τηρούνται οι παρακάτω συνθήκες :

- η προστασία του περιβάλλοντος
- η αποκατάσταση του τοπίου
- η διασφάλιση της ποιότητας του νερού,
- υλοποίηση μελέτης πιθανών επιπτώσεων της θερμοκρασίας του γεωθερμικού πεδίου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητα.

Θα πρέπει να τονιστεί πως δεν υπάρχει σαφές νομικό πλαίσιο στην Πορτογαλία σχετικά με την αβαθή γεωθερμία. Μάλιστα οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν συμπεριλαμβάνονται σε κανένα νομικό πλαίσιο περί γεωθερμίας. Αποτέλεσμα αυτού είναι πως εντός της χώρας γίνεται παραγωγή αντλιών θερμότητας ιδιαίτερα χαμηλού επιπέδου από τεχνικής άποψης, γεγονός που θα μπορούσε να υπονόμηση την ανάπτυξη των τεχνολογιών αβαθούς γεωθερμίας στην χώρα [(32)].

Πίνακας 19. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Πορτογαλίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος n° 560-C/76 του 1976	Ορισμός γεωθερμικών πόρων ως δημόσια περιουσία.
Νομοθετική αναθεώρηση σχετικά με την έρευνα και την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων (Decreto-Lei n° 87/90).	Ορισμός άδειας για έρευνα ή εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών μέσω δημοσίου διαγωνισμού και υποχρεωτική δημοσίευση σε (3) εγχώριες εφημερίδες.
Νόμος n° 54/2015	Ορισμός των συνθηκών που θα πρέπει να τηρούνται ώστε να γίνει εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων

3.17 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Αυστραλία

Οι νόμοι που σχετίζονται με την γεωθερμία στην χώρα της Αυστραλίας δεν είναι ίδιοι σε όλο το ομοσπονδιακό κράτος, αντιθέτως η κάθε πολιτεία παρουσιάζει τις δικές της νομικές απαιτήσεις.

- Έτσι λοιπόν, στην Βικτόρια το νομικό πλαίσιο κινείται κάτω από τον νόμο ‘για τους ενεργειακούς πόρους’,(Geothermal Energy Resources Act 2005) Η συγκεκριμένη πράξη χωρίζεται σε 15 παραγράφους και αποσκοπεί στη διευκόλυνση και τη ρύθμιση της εξερεύνησης και της εξόρυξης γεωθερμικών πόρων. Προωθώντας έτσι, την βιώσιμη ανάπτυξη και την χρήση γεωθερμικών συστημάτων. Ορίζει πως οι γεωθερμικοί πόροι ανήκουν στο κράτος και πως το κράτος έχει το δικαίωμα να επιδιώξει μερίδιο των κερδών που προκύπτει από την χρήση πόρων γεωθερμικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, προωθεί την διαφάνεια, την δικαιοσύνη και την αποτελεσματική χρήση της γης καθώς και του περιβαλλοντικού σχεδιασμού. Με σκοπό την έκδοση άδειας ‘εξερεύνησης’ αξιολογούνται αιτήσεις με βάση το προτεινόμενο πρόγραμμα εργασίας, το κοινωνικό όφελος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξερεύνησης. Οι άδειες εξερεύνησης μπορούν να διαρκέσουν έως και 15 χρόνια. Στην συνέχεια είναι αναγκαία η έκδοση άδειας ‘εξόρυξης’ οι οποίες επίσης μπορούν να διαρκέσουν έως 15 ετών [(33)].
- Στην Δυτική Αυστραλία το νομοθετικό πλαίσιο που ρυθμίζει την χρήση γεωθερμικής ενέργειας λέγεται ‘Πράξη για το πετρέλαιο και τους ενεργειακούς πόρους’ (Petroleum and Geothermal Energy Resources Act 1967) Η συγκεκριμένη πράξη ξεκίνησε να ισχύει από τις 5 Σεπτεμβρίου του 1969 και αναθεωρήθηκε το 2014. Αυτή η πράξη σχετίζεται με την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση πετρελαϊκών πόρων καθώς και γεωθερμικών πόρων και αντικατέστησε τον ‘Πετρελαϊκό Νόμο’ του 1936. Μέσω του νόμου αυτού δημιουργήθηκε σύστημα αδειών για την εξερεύνηση και την μίσθωση με σκοπό την εξόρυξη, όπως και για την χρήση γεωθερμικών πόρων. Απαγορεύει την εξερεύνηση και εκμετάλλευση χωρίς άδειες και ορίζει ως κάτοχο των γεωθερμικών πόρων το κράτος [(34)].
- Στην Νέα Νότια Ουαλία η ρυθμιστική διάταξη που βρίσκεται σε ισχύ είναι ο κανονισμός για ορυχεία, (Mining Regulation 2010). Ο νόμος ξεκίνησε να ισχύει στις 15 Νοεμβρίου του 2015. Ο παρών κανονισμός για ορυχεία, αποτελείται από 83 τμήματα τα οποία διαιρούνται σε έντεκα μέρη. Μέσω του νόμου αυτού καθίσταται αδίκημα η εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων χωρίς να υπάρχει σχετική εξουσιοδότηση και σχετική δήλωση δραστηριότητας. Ωστόσο όσον αφορά την διαδικασία εξερεύνησης η πολιτική που έχει θεσπιστεί είναι να δίνεται άδεια ‘εξερεύνησης’ στον πρώτο αιτούντα από χρονολογικής άποψης. Η άδεια αυτή διαρκεί (5) χρόνια και υπάρχει δυνατότητα ανανέωσης για ακόμη (5). Εάν η εξερεύνηση αποφέρει καρπούς, η επόμενη διαδικασία είναι η έκδοση μισθωτηρίου για τους γεωθερμικούς πόρους. Σε αυτό το σημείο, η εταιρεία που θέλει να προχωρήσει στην εργολαβία του έργου θα πρέπει να αποδείξει την οικονομική της και την τεχνική της

ικανότητα να εκτελέσει το έργο. Τέλος, θα πρέπει να βρεθεί οικονομική συμφωνία με τον ιδιοκτήτη της γης όπου βρίσκονται οι γεωθερμικοί πόροι [(35)].

- Στην Νότια Αυστραλία η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ρυθμίζεται υπό την πράξη πετρελαίου και γεωθερμικής ενέργειας (Petroleum and Geothermal Energy Act 2000). Η συγκεκριμένη πράξη, αποτελείται από 138 παραγράφους χωρισμένες σε 16 τμήματα. Αποσκοπεί στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού και ευέλικτου ρυθμιστικού συστήματος για τις βιομηχανίες που περιλαμβάνουν την εξερεύνηση και την ανάκτηση πετρελαίου και αλλά και γεωθερμικών πόρων. Ταυτόχρονα, αποσκοπεί και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την χρήση τέτοιων πόρων. Η συγκεκριμένη πράξη ορίζει πως προκηρύσσεται ανοικτός διαγωνισμός για περιοχές που δυνητικά μπορεί να έχουν γεωθερμικούς πόρους. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας αδειοδότησης, ο αιτών θα πρέπει να υποβάλει οικονομική προσφορά και να αποδείξει πως έχει τις τεχνικές και οικονομικές ικανότητες ώστε να ολοκληρώσει το έργο [(36)].
- Στο Κουίνσλαντ η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ρυθμίζεται υπό την πράξη για την γεωθερμική ενέργεια (Geothermal Energy Act 2010). Αυτή η πράξη, αποτελείται από 419 τμήματα χωρισμένα σε εννέα κεφάλαια, αποσκοπεί στην ενθάρρυνση και τη διευκόλυνση της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας, Κύριος τρόπος επίτευξης αυτού του σκοπού είναι η χορήγηση εξουσιοδοτήσεων (geothermal tenures) για την χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Ο νόμος διασφαλίζει επίσης την ελαχιστοποίηση των συγκρούσεων με άλλες χρήσεις γης και καθιστά ξεκάθαρο πως οι γεωθερμικοί πόροι ανήκουν στο Κουίνσλαντ. Ταυτόχρονα τονίζει πως για την εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων είναι απαραίτητο να γίνονται εισφορές στο κράτος, χωρίς όμως να ξεκαθαρίζει ποιο είναι το ακριβές ποσό. Όσον αφορά την διαδικασία ώστε να ξεκινήσει η χρήση γεωθερμικών πόρων, πραγματοποιείται πρόσκληση υποβολής προσφορών και στην συνέχεια ο νικητής λαμβάνει την λεγόμενη ‘άδεια εξερεύνησης’. Οι προσφορές πρέπει να περιλαμβάνουν το προτεινόμενο πρόγραμμα εργασίας καθώς και αποδεικτικά στοιχεία ότι ο αιτών διαθέτει τους τεχνικούς και οικονομικούς πόρους ώστε να πραγματοποιήσει την προτεινόμενη εργασία [(37)].
- Στην Τασμανία η χρήση γεωθερμίας ρυθμίζεται μέσω της πράξης για την ανάπτυξη των ορυκτών πόρων (Mineral Resources Development Act 1995). Αυτή η πράξη, εμπεριέχει 208 τμήματα χωρισμένα σε 10 μέρη και αναφέρεται στην ανάπτυξη και την ορθολογικότερη χρήση των ορυκτών πόρων στην Τασμανία. Ταυτόχρονα αναφέρεται στην οικονομική αλλά και στην περιβαλλοντική διαχείριση των χρήσεων γης, ενώ καταργεί την πράξη για ορυχεία (Mining Act 1929). Βάσει της συγκεκριμένης πράξης, οι εταιρείες πρέπει να υποβάλουν αίτηση για περιοχές που θέλουν να εξερευνήσουν με σκοπό την χορηγείται της ‘Ειδικής Άδειας Εξερεύνησης’ [(38)].

Πίνακας 20. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Αυστραλίας.

Πολιτεία	Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Βικτόρια	Νόμος για τους ενεργειακούς πόρους του 2005	Ορισμός αδειών εξερεύνησης με διάρκεια .
Δυτική Αυστραλία	Πράξη για το πετρέλαιο και τους ενεργειακούς πόρους του 1967	Ορισμός αδειών εξερεύνηση και μίσθωσης με σκοπό την εξόρυξη.
Νέα Νότια Ουαλία	Κανονισμός για ορυχεία του 2010	Έκδοση άδειας εξερεύνησης στον πρώτο χρονολογικά αιτούντα και στην συνέχεια άδεια μίσθωσης βάσει οικονομικών και τεχνικών αποδείξεων.
Νότια Αυστραλία	Πράξη πετρελαίου και γεωθερμικής ενέργειας του 2020	Ορισμός δημοσίου διαγωνισμού για την έρευνα και εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων βάσει οικονομικών και τεχνικών κριτηρίων.
Κουίνσλαντ	Πράξη για την γεωθερμική ενέργεια του 2010	Ορισμός αδειών για την χρήση γεωθερμικών πόρων που δίνονται βάσει δημοσίου διαγωνισμού.
Τασμανία	Πράξη για ορυχεία	Ορισμός αίτησης που θα πρέπει να υποβάλλεται με σκοπό την έρευνα γεωθερμικών ρευστών.

3.18 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Νέα Ζηλανδία

Η γεωθερμική ενέργεια στην Νέα Ζηλανδία ορίζεται βάσει του νόμου για την διαχείριση των πόρων του 1991 (The Resource Management Act) ως «Ενέργεια που προέρχεται ή παράγεται εντός της γης από φυσικά φαινόμενα θερμότητας, και περιλαμβάνει όλο το γεωθερμικό ρευστό ». Ο ίδιος νόμος ορίζει ως γεωθερμικό ρευστό « το ρευστό που θερμαίνεται μέσα στη γη από φυσικό φαινόμενα σε θερμοκρασία τουλάχιστον 30 βαθμών Κελσίου ». Ταυτόχρονα, ορίζει ως «υπόγεια ύδατα» όλα τα ρευστά που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης και η θερμοκρασία τους είναι χαμηλότερη των 30 βαθμών Κελσίου. Ο νόμος αυτός αποτελείται από 15 μέρη χωρισμένα σε 433 ενότητες. Ο γενικός σκοπός αυτού του νόμου είναι να προωθήσει τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων και να καλύπτει τις περιοχές χρήσης της γης, της παράκτιες θαλάσσιες περιοχές καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος. Σημαντικό επίσης στοιχείο είναι πως στην νομοθεσία της Νέας Ζηλανδίας απουσιάζει πλήρως το κομμάτι της αβαθούς γεωθερμίας [(39)].

Πίνακας 21. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Νέας Ζηλανδίας.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος για την διαχείριση των πόρων του 1991	Ορισμός του γεωθερμικού πόρου ως ρευστό θερμοκρασίας τουλάχιστον 30°C. Πλήρης απουσία νομοθετικού πλαισίου συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.

3.19 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στον Καναδά

Από νομοθετικής άποψης η χώρα του Καναδά είναι αρκετά πίσω. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως οι γεωθερμικοί πόροι και τα υπόγεια ύδατα ανήκουν στην βασίλισσα του Καναδά. Ωστόσο, οι πόροι αυτοί διαχειρίζονται από τις διάφορες επαρχίες του Καναδά.

Το νομοθετικό πλαίσιο που ρυθμίζει την χρήση γεωθερμικών πόρων στο κράτος του Καναδά είναι η πράξη περί γεωθερμικών πόρων (Geothermal Resources Act,[RSBC 1996] Chapter 171),

Η συγκεκριμένη πράξη που χωρίζεται σε 6 τμήματα καθορίζει το νομικό καθεστώς για την εξερεύνηση και εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων. Στο πρώτο τμήμα ορίζεται ως γεωθερμικός πόρος: η φυσική θερμότητα της γης και κάθε μορφή σύστασής που παράγει προστιθέμενη αξία από αυτήν, συμπεριλαμβανομένου του ατμού, των υδρατμών που θερμαίνονται από τη φυσική θερμότητα της γης και όλων των χημικών ενώσεων που είναι διαλυμένες στον ατμό ή τους υδρατμούς που λαμβάνονται από ένα πηγάδι. Τονίζεται πως σε

αυτόν τον ορισμό δεν συμπεριλαμβάνονται ρευστά των οποίων η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω των 80°C. Ορίζεται πως η χρήση των γεωθερμικών πόρων είναι αποκλειστικό δικαίωμα του κράτους και κανένας ιδιώτης δεν μπορεί να κάνει χρήση αυτών εκτός αν ο ιδιώτης τηρεί τους παρακάτω όρους :

1. Ο ιδιώτης κατέχει συμβόλαιο μίσθωσης του γεωθερμικού πόρου και έχει παρουσιάσει σχέδιο προγραμματισμού σχετικά με την δραστηριότητα που πρόκειται να πράξει.
2. Το συγκεκριμένο σχέδιο προγραμματισμού έχει γίνει αποδεκτό από την Εθνική επιτροπή πετρελαίου και φυσικού αερίου.
3. Ο ιδιώτης είναι ο μισθωτής της τοποθεσίας όπου βρίσκεται η γεώτρηση η οποία θα εκμεταλλευτεί τον γεωθερμικό πόρο.

Εάν τα συγκεκριμένα κριτήρια τηρούνται μπορεί να συνεχίσει η διαδικασία αδειοδότησης. Η άδεια η οποία εκδίδεται θα πρέπει να καθορίζει αυστηρά τα όρια της γεωγραφικής τοποθεσίας στην οποία μπορεί να γίνουν τεχνικές δραστηριότητες και αναφέρεται ρητά πως ο κάτοχος της άδειας θα πρέπει να πληρώσει ένα καθορισμένο ενοίκιο για την χρήση των γεωθερμικών πόρων το οποίο θα καθορίζεται ανάλογα με την περίπτωση [(40)].

Όσον αφορά τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας ρυθμίζονται βάσει της πράξης για τα ύδατα (water act, R.S.C., 1985, c. C-11). Η συγκεκριμένη πράξη είναι αρκετά ελαστική και δεν απαιτεί κάποια άδεια για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί στην χώρα του Καναδά, συνεπώς δεν έχουν θεσπιστεί όρια θερμοκρασίας ή ελάχιστες αποστάσεις τοποθέτησης συστημάτων. Από την άλλη πλευρά υπάρχει συγκεκριμένο πρότυπο (CSA-448-02) το οποίο δίνει με ακρίβεια οδηγίες για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας [(41)].

Πίνακας 22. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα του Καναδά.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Πράξη περί γεωθερμικών πόρων του 1996	Ορισμός γεωθερμικών πόρων ως περιουσία της βασίλισσας του Καναδά. Ορισμός του γεωθερμικού πόρου ως ρευστό θερμοκρασίας τουλάχιστον 80°C.
Πράξη για τα ύδατα του 1985	Ελαστικό νομοθετικό πλαίσιο για συστήματα αβαθούς γεωθερμίας, δίχως απαίτηση έκδοσης αδειών.

3.20 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κίνα

Στην Κίνα η ρύθμιση της χρήσης της γεωθερμίας πραγματοποιείται μέσω του νόμου ‘των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας’ (The Renewable Energy Law, 28/2/2005). Ο νόμος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελείται από 33 άρθρα τα οποία χωρίζονται σε 33 κεφάλαια. Επισημαίνεται πως πέρασε από τροποποίηση το 2009. Πρόκειται για μια πολιτική - πλαίσιο που καθορίζει τις γενικές προϋποθέσεις ώστε οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να γίνουν η πιο σημαντική πηγή ενέργειας στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας. Καλύπτει όλες τις σύγχρονες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανόμενης της γεωθερμικής ενέργειας. Η έρευνα και η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναφέρεται ως προτιμότερη λύση για την ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Σύμφωνα με τη νομοθεσία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το Συμβούλιο της Επικρατείας είναι υπεύθυνο για τη συνολική εφαρμογή και διαχείριση της ανάπτυξης και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε εθνικό επίπεδο. Θέτει μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους για το συνολικό όγκο ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα έργα παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα πρέπει να λάβουν διοικητική άδεια για να προχωρήσουν στην ανάπτυξη του έργου. Όλη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ θα μπορεί να πωληθεί σε εγγυημένες τιμές, οι οποίες θα καθοριστούν από το Συμβούλιο της Επικρατείας. Οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύου θα μπορούν να ανακτήσουν το επιπλέον κόστος που σχετίζεται με αυτό το καθεστώς μέσω των δικών τους τιμών πώλησης. Εντύπωση προκαλεί πως δεν υπάρχει συγκεκριμένο κεφάλαιο που να αναφέρεται στην γεωθερμική ενέργεια, συνεπώς οι διαδικασίες χρήσης της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας είναι ιδιαίτερα ελαστικές στην Κίνα [(42)]. Ωστόσο, στην Κίνα είναι σε ισχύ το πρότυπο (GB50366-2005) περί σχεδιασμού και εγκατάστασης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας το οποίο αποτελεί την βασική κατευθυντήρια γραμμή για την τοποθέτηση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας [(43)].

Πίνακας 23. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Κίνας

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του 2005	Προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Απουσία συγκεκριμένου κεφαλαίου που να αναφέρεται ειδικά στην γεωθερμική ενέργεια.

3.21 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Ινδονησία

Στην Ινδονησία δύο είναι τα βασικά νομοθετικά πλαίσια στα οποία στηρίζεται η χρήση της γεωθερμίας. Το πρώτο είναι ο νόμος 21 του 2014 σχετικά με την γεωθερμία (Law of the Republic of Indonesia No. 21 of 2014 about Geothermal).

Ο νόμος 21/2014 αποτελείται από 88 άρθρα χωρισμένα σε 12 κεφάλαια. Βασικός σκοπός του συγκεκριμένου νόμου είναι να παρουσιάσει τις αρχές τις οποίες θα πρέπει να ακολουθεί η χρήση της γεωθερμίας. Αυτές είναι :

- αποδοτικότητα
- δικαιοσύνη
- οικονομική βελτιστοποίηση στη χρήση ενεργειακών πόρων
- προσιτή τιμή
- βιωσιμότητα
- προστασία και ασφάλεια
- προστασία του περιβάλλοντος

Εντύπωση προκαλεί πως το συγκεκριμένο προεδρικό διάταγμα ξεκινά αναφέροντας πως 'η γεωθερμία είναι ανανεώσιμος φυσικός πόρος και πως οι φυσικοί πόροι που υπάρχουν στο έδαφος της Δημοκρατίας της Ινδονησίας ως δώρο του Παντοδύναμου Θεού έχουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη της αιφόρου ανάπτυξης προκειμένου να επιτευχθεί η ευημερία του λαού της Ινδονησίας'. Μέσω του νόμου ορίζεται πως η γεωθερμία είναι μια πηγή θερμικής ενέργειας που περιέχεται μέσα σε ζεστό υγρό, ατμό και στερεών επιφανειών σε συνδυασμό με άλλα μέταλλα και αέρια τα οποία βρίσκονται αδιαχώριστα εντός ενός γεωθερμικού συστήματος. Αναφέρεται ρητά πως οι γεωθερμικοί πόροι αποτελούν κρατική ιδιοκτησία και πρέπει να χρησιμοποιούνται με μοναδικό σκοπό την ευημερία του συνολικού πληθυσμού της χώρας. Ταυτόχρονα ορίζεται πως για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων (πλην αυτών που προορίζονται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αναλύονται στην συνέχεια) αποτελεί απαραίτητη συνθήκη η έκδοση ειδικής άδειας η οποία εκδίδεται από το υπουργείο εσωτερικών. Για την έκδοση της συγκεκριμένης άδειας είναι απαραίτητη η προσκόμιση εγγράφων που να αποδεικνύουν :

- Τα στοιχεία της εταιρείας
- Τον αριθμό φορολογικού μητρώου που αποδίδεται από το υπουργείο εσωτερικών
- Την κατηγορία εργασιών που υπάρχει πρόθεση να γίνει
- Την περιοχή που θα γίνει η χρήση
- Το σχέδιο και τα στάδια ανάπτυξης της περιοχής μετά την χρήση

Απαγορεύεται ρητά η μεταφορά της άδειας σε άλλη εταιρεία υπό οποιαδήποτε μορφή και ορίζεται ως μέγιστος χρόνος αδειοδότησης τα (37) έτη. Μετά την λήξη των (37) ετών υπάρχει η δυνατότητα παράτασης άλλων (20) ετών. Για να γίνει αίτηση επέκτασης ο κάτοχος της άδειας θα πρέπει να κάνει αίτηση επέκτασης μετά τα (5) πρώτα χρόνια αδειοδότησης και πριν

τα (3) τελευταία χρόνια που προβλέπει η άδεια. Το υπουργείο εσωτερικών απαντά γραπτώς στην αίτηση αυτή υποχρεωτικά τουλάχιστον (1) έτος μετά την αίτηση. Ο κάτοχος της άδειας υποχρεούται να πληρώνει φόρους ανάλογα με την παραγωγή που προκύπτει από τα γεωθερμικά ρευστά, τοπικές εισφορές αλλά και κρατικές εισφορές [(44)].

Το δεύτερο νομοθετικό πλαίσιο είναι το προεδρικό διάταγμα Νο. 76/2000 σχετικά με τις διεργασίες παραγωγής ενέργειας από γεωθερμία (Presidential Decree No. 76/2000 on the operation of geothermal resources for power generation). Αυτό εκδόθηκε το 2000 και προβλέπει την κατάλληλη εκμετάλλευση και εξερεύνηση των γεωθερμικών πόρων, την προστασία και τη διαχείρισή τους, την παραχώρηση αδειών και παραχωρήσεων, προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας, αποτρέποντας την κατάχρηση και τη ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος. Στο προεδρικό διάταγμα αυτό λοιπόν αναφέρεται πως η περαιτέρω εξερεύνηση και εκμετάλλευση με σκοπό την παραγωγή ενέργειας από ιδιωτικές επιχειρήσεις και συνεταιρισμοί αναλαμβάνονται βάσει συνεργασίας με κράτος και διοργανώνεται διαγωνισμός όπου οι εταιρείες υποβάλουν προσφορές οι οποίες κρίνονται από τεχνικής και οικονομικής άποψης. Η εταιρεία με την καλύτερη προσφορά δέχεται την άδεια 'λειτουργίας' και ταυτόχρονα υποχρεούται μέσα σε (5) ημερολογιακά έτη από εκείνη την στιγμή να έχει ξεκινήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [(45)].

Θα χρειαστεί να τονιστεί πως στην νομοθεσία της Ινδονησίας δεν υπάρχει καμία αναφορά σχετικά με γεωθερμικά συστήματα αβαθούς γεωθερμίας.

Πίνακας 24. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην χώρα της Ινδονησίας

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Νόμος 21 του 2014 σχετικά με την γεωθερμία	Ορισμός αδειοδότησης μέγιστης ισχύος τα 37 έτη με δυνατότητα παράτασης για ακόμη 20 έτη.
Π.Δ. 76/2000 σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής ενέργειας από γεωθερμία	Ορισμός της διαδικασίας δημοσίου διαγωνισμού για την κατοχύρωση των δικαιωμάτων χρήσης γεωθερμικών πόρων.

3.21 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στις Φιλιππίνες

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις Φιλιππίνες βασίζεται στην πράξη ν. 9513 περί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του 2008 (Renewable Energy Act of 2008, Republic Act No. 9513). Το διάταγμα αυτό, που αποτελείται από εννέα κεφάλαια, θεσπίζει το πλαίσιο για την επιτάχυνση της ανάπτυξης, την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και την ανάπτυξη ενός στρατηγικού προγράμματος για την αύξηση της χρήσης τους. Καθορίζει τις απαιτήσεις που θα πρέπει να πληρούνται για την εκτέλεση ενεργειακών δραστηριοτήτων και καθιερώνει τη δημιουργία του Γραφείου Διαχείρισης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ταυτόχρονα, ορίζει την γεωθερμία ως ορυκτό πόρο, επιτρέποντας έτσι σε ξένες εταιρείες την αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων. Τοποθετεί τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως τομέα πρωταρχικού επενδυτικού ενδιαφέροντος [(46)] .

Παράλληλα στις Φιλιππίνες η χρήση συγκεκριμένα των συστημάτων γεωθερμίας ρυθμίζεται υπό το προεδρικό διάταγμα ν. 1442 (Μια πράξη για την προώθηση και την ανάπτυξη των γεωθερμικών πόρων, Presidential Decree No. 1442, An Act Promoting the Exploration and Development of Geothermal Resources). Βάσει του συγκεκριμένου προεδρικού διατάγματος η κυβέρνηση μπορεί αυτόνομα να πράξει με σκοπό την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας. Μπορεί επίσης να παραχωρήσει τις διαδικασίες μέσω συμβάσεων παροχής υπηρεσιών οι οποίες απονέμονται μετά από δημόσιο διαγωνισμό ή μέσω απευθείας ανάθεσης, σε κάποιο εγχώριο ή ξένο ανάδοχο που πρέπει να μπορεί να αποδείξει τις τεχνικές και οικονομικές ικανότητες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση των συμβάσεων. Ορίζεται πως η αμοιβή του ανάδοχου δεν μπορεί να υπερβαίνει το σαράντα τα εκατό (40%) των κερδών της επιχείρησης, αφαιρώντας κάθε μορφής λειτουργικού εξόδου το οποίο μπορεί να έχει ο ανάδοχος. Επίσης ορίζεται πως ο ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να δεχτεί ανά πάσα στιγμή κρατικό έλεγχο σχετικά με τον προγραμματισμό, την λειτουργία, τα λογιστικά και οποιοδήποτε άλλο στοιχείο το κράτος κρίνει απαραίτητο για έλεγχο. Ωστόσο, δεν υπάρχει αναφορά στον στην νομοθεσία της χώρας που να αφορά συστήματα αβαθούς γεωθερμίας.

Πίνακας 25. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στις Φιλιππίνες

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Πράξη 9513 περί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του 2008	Ορισμός γεωθερμικών ρευστών ως ορυκτούς πόρους. Επιτρέπει την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων σε ξένες εταιρείες.
Πράξη για την προώθηση και την ανάπτυξη των γεωθερμικών πόρων ν. 1442	Ορισμός των διαδικασιών παραχώρησης των γεωθερμικών ρευστών και ταυτόχρονα ορίζεται ως μέγιστη αμοιβή του αναδόχου το (40%) των κερδών που προκύπτουν από την αξιοποίηση γεωθερμικών πόρων.

3.22 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στην Κένυα

Ο βασικός νόμος ο οποίος ρυθμίζει την χρήση γεωθερμίας στην Κένυα είναι η πράξη 12 του 1982 περί γεωθερμικών πόρων (Geothermal Resources Act no. 12 of 1982). Ο συγκεκριμένος νόμος αφορά την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων, δηλαδή όπως ορίζεται, οποιοδήποτε προϊόντος που προέρχεται και παράγεται εντός της γης από φυσική θερμότητα. Όλοι οι γεωθερμικοί πόροι στο κράτος της Κένυας, εάν δεν έχουν ήδη κατοχυρωθεί εγγράφως από το νόμο σε οποιοδήποτε άλλο πρόσωπο, κατοχυρώνονται στην κυβέρνηση. Ο νόμος αυτός ορίζει τον Υπουργό Ενέργειας υπεύθυνο να εξουσιοδοτήσει την εξερεύνηση και να χορηγήσει άδειες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, δεν επιτρέπεται η υλοποίηση γεωτρήσεων με σκοπό την εκμετάλλευση γεωθερμικών πόρων χωρίς γραπτή εξουσιοδότηση ή άδεια από τον Υπουργό ενέργειας. Η χορηγούμενη από τον υπουργό ενέργειας άδεια δεν μπορεί να υπερβαίνει τα (30) έτη και μπορεί να αναφέρεται στο σύνολο ή σε κάποιο μερίδιο περιοχής γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Υπάρχει η δυνατότητα να ανανέωσης για μια περίοδο που δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 5 έτη. Η άδεια αυτή παρέχει το δικαίωμα να εξερεύνησης, γεώτρησης, εξαγωγής και χρήσης γεωθερμικών πόρων. Η συγκεκριμένη άδεια δίνεται με το αντίτιμο συμφωνημένου ενοικίου το ποσό του οποίου δεν ορίζεται από τον νόμο αλλά κρίνεται ανάλογα με την περίπτωση. Ο νόμος ωστόσο, απαιτεί από τον κάτοχο της άδειας να πληρώνει το ετήσιο ενοίκιο εκ των προτέρων και εάν η πληρωμή δεν πραγματοποιηθεί εντός 3 μηνών από την απόκτηση προκύπτει πρόστιμο 10 τοις εκατό (10%). Τονίζεται πως δεν υπάρχει νομοθεσία περί γεωθερμικών συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας στην Κένυα [(47)].

Πίνακας 26. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στην Κένυα

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Πράξη 12 περί γεωθερμικών πόρων του 1982	Ορισμός της διαδικασίας αδειοδότησης για τα γεωθερμικά ρευστά που δεν έχουν ήδη κατοχυρωθεί. Μέγιστη διάρκεια αδειών είναι τα 30 έτη με δυνατότητα παράτασης για 5 ακόμη έτη.

3.23 Νομικό πλαίσιο Γεωθερμίας στις Η.Π.Α.

Στις Η.Π.Α. το σύνολο των εθνικών νόμων αναγράφεται στον κώδικα των Ηνωμένων πολιτειών Αμερικής (U.S.A. code). Ο κώδικας αυτός χωρίζεται σε 54 τίτλους (titles) από τους οποίους ο 30^ο τίτλος ονομάζεται ορυκτό έδαφος και εξόρυξη (Mineral land and mining). Ο συγκεκριμένος τίτλος με την σειρά του διαιρείται σε 32 κεφάλαια. Το 23^ο κεφάλαιο ονομάζεται ‘γεωθερμικοί πόροι’ (geothermal resources). Αποτελείται από 28 παραγράφους και αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η εκμετάλλευση του υπεδάφους. Ορίζει ως υπεύθυνο για την χρήση των γεωθερμικών πεδίων τον γραμματέα εσωτερικών. Συνεπώς, ο γραμματέας εσωτερικών καθορίζει τους κανονισμούς που κρίνει σκόπιμο για την εφαρμογή των διατάξεων. Αυτοί οι κανονισμοί μπορούν να περιλαμβάνουν, χωρίς περιορισμό, διατάξεις οι οποίες να αναφέρουν :

- την πρόληψη των αποβλήτων
- την ανάπτυξη και τη διατήρηση γεωθερμικών και άλλων φυσικών πόρων
- την προστασία του δημοσίου συμφέροντος
- την παραίτηση από μισθώσεις, τις συμβάσεις ανάπτυξης νέων γεωθερμικών συστημάτων, τις διαδικασίες γεώτρησης
- την αναστολή λειτουργίας ή παραγωγής, την αναστολή ή μείωση ενοικίων ή δικαιωμάτων
- την κατάθεση εγγυητικών ομολόγων για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους όρους της μίσθωσης και την προστασία της χρήσης γης και των πόρων
- την διατήρηση από τον μισθωτή ενός ενεργού προγράμματος ανάπτυξης
- την προστασία της ποιότητας του νερού και άλλων περιβαλλοντικών στοιχείων.

Επίσης στον κώδικα τον Η.Π.Α. εμπεριέχεται το 24^ο κεφάλαιο ονομάζεται Γεωθερμική ενεργειακή έρευνα, ανάπτυξη και επίδειξη (Geothermal energy research, development and demonstration). Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται για την σωστή λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων από τεχνικής και επιστημονικής άποψης. Καθοδηγεί τον προγραμματισμό, την έρευνα και ανάπτυξη και τον τρόπο που πρέπει να γίνεται η εκπαίδευση από επιστημονικής και τεχνικής άποψης. Ορίζει ως υπεύθυνο αυτών των καθηκόντων τον γραμματέα ενέργειας [(48)].

Πίνακας 27. Συνοπτική παρουσίαση νομοθετημάτων στις Η.Π.Α.

Νομοθέτημα	Σύντομη Περιγραφή
Κώδικας των Ηνωμένων πολιτειών Αμερικής	Ορισμός του γραμματέα εσωτερικών ως υπεύθυνο για τον καθορισμό των θεμάτων εκμετάλλευσης του υπεδάφους. Ορισμός του γραμματέα ενέργειας ως υπεύθυνο των διαδικασιών που πρέπει να ακολουθούνται από τεχνικής και οικονομικής άποψης για την ορθολογική χρήση των γεωθερμικών πόρων.

Βιβλιογραφία 3^{ου} κεφαλαίου

1. Dumas Ph., (2019). Policy and Regulatory Aspects of Geothermal Energy: A European Perspective. Geothermal Energy and Society. Lectures Notes in Energy, (67). Διαθέσιμο από: www.springer.com
2. Tsagarakis K., Efthymiou L., Michopoulos A., Mavragani A., Andelkovic A., Antolini F., Bacic M., Bajare D., Baralis M., Bogusz W., Burlon S., Figueira J., Serdar Genç M., Javed S., Jurelionis A., Koca K., Ryzinky G., Urchueguia J., Zlender B., (2018). A review of the legal framework in shallow geothermal energy in selected European countries: Need for guidelines. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com>
3. GeoPLASMA – CE. Shallow geothermal energy in Europe. Διαθέσιμο από: <https://portal.geoplasma-ce.eu/>
4. ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) 2012. Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. Technical Report 002/12.
5. Organisation for Economic co – operation and development (2021). OECD.Stat. Διαθέσιμο από: <https://stats.oecd.org/>
6. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Διαθέσιμο από : <https://eur-lex.europa.eu/>
7. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the Council of 19 may 2010 on the energy performance of buildings. Διαθέσιμο από : <https://eur-lex.europa.eu/>
8. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products.
9. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
10. Directive 2006/118/EC of the European parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and Deterioration.
11. AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie), LaGéothermie En France : etude du marche en 2015, (2015).

12. CFMS/SYNTEC INGENIERIE/SOFFONS-FNTP, Recommandations pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des geostructures thermiques,
13. Law on Mining and Geological Explorations of Serbia, Official Gazette of the Republic of Serbia, number 101/2015
14. Mining Act, Ur. L. RS 14/2014 (2014) National law of Slovenia
15. BBR25: Boverkets Byggregler, Boverkets Författningssamling (In English: the Swedish Building Code), the National Board of Housing, Building and Planning (Boverket)
16. Ordinance Concerning Environmentally Hazardous Activities and the Protection of Public Health, 1998:899
17. NORMBRUNN –16: Vägledning För Att Borra Brunn (In English: Guideline for Drilling of Wells), Geological Survey of Sweden
18. Certified Products Värmsystem, Rör, Rördelar Och Kopplingar (In English: Certified Products' Heating Systems, Pipes, Pipe Fittings and Couplings)
19. Law Related to Energy Efficiency, Date of Acceptance: 18/04/2007, No: 5627, Ankara, Turkey, Official Gazette (2007)
20. Kurevija T., Domagoj V., Macenic M., (2014). Impact of geothermal gradient on ground source heat pump system modeling. Διαθέσιμο από: <https://www.researchgate.net/>
21. Mining Act, Official Gazette, 56/13 (May 10th 2013) and 14/14 (February 5th, 2014), Republic of Croatia
22. Water Act, Official Gazette, 56/13 (May 10th 2013) and 14/14 (February 5th, 2014), Republic of Croatia
23. Νόμος 4602/2019 - ΦΕΚ 45/Α/9-3-2019. : Έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού της Χώρας, σύσταση Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ιδιοκτησιακός διαχωρισμός δικτύων διανομής φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις.
24. Eurostat, Energy Statistics e Main Data, (2018). Διαθέσιμο από: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>.

25. Michopoulos A., Zachariadis T., (2016). Geothermal Energy Use, Country Update for Cyprus European Geothermal Congress, Strasbourg, France.
26. Legislative Decree 11 February 2010 n.22, “Re-organisation of Search and Management of Geothermal Resources”
27. Legislative Decree 3 March 2011 n.28, “Implementation of Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable resources”
28. VDI, Verein Deutscher Ingenieure, Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen [Part 2: Thermal use of the underground—ground source heat pump systems], VDI-4640/2, 2001
29. Skapare I., (2014). Utilisation of Geothermal Water in the Riga/Jurmala Region of Latvia for Recreation and Health. Pre-feasibility Study for an Outdoor Thermal Swimming Pool, Geothermal Training Programme, Reports.
30. IEA, Energy Policies of IEA Countries e Portugal 2016 Review. International Energy Association Report, 2016.
31. Decreto-Lei n.º90/90. Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos. Ministerio da Indústria e Energia. Diário da República n.º63/1990.
32. Bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional. Assembleia da República. Diário da República n.º 119/2015.
33. Geothermal Energy Resources Act 2005, No. 7 of 2005. Authorised Version No. 022. (2015)
34. Petroleum and Geothermal Energy Resources, Act 1967. Long title amended by No. 35 of 2007. (2007)
35. Mining Regulation 2010, (2010). New South Wales.
36. Petroleum and Geothermal Energy Act 2000, (2017). Version: 22.2.2018. South Australia.
37. Geothermal Energy Act 2010, (2019). State of Queensland.

38. An Act to provide for the development of mineral resources consistent with sound economic, environmental and land use management and to repeal the Mining Act 1929, (2017). Tasmania.
39. Resource Management Act 1991 No 69, An Act to restate and reform the law relating to the use of land, air, and water, (2018).
40. Geothermal resources act [RSBC 1996] chapter 171. Canada, (2016).
41. Haehnlein S, Bayer P, Blum P., (2010). International legal status of the use of shallow geothermal energy. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com>
42. The Renewable Energy Law of 28/2/2005, China. (2016)
43. China Academy of Building Research, (2005). Technical code for ground-source heat pump system, GB 50366-2005.
44. President of the republic of Indonesia, (2014). Law of the Republic of Indonesia No. 21 of 2014 about Geothermal.
45. The government of the republic of Indonesia, (2000). Presidential Decree No. 76/2000 on the operation of geothermal resources for power generation.
46. Republic of Philipinnes, Congress of Philipinnes (2008). Republic act No. 9513, an act promoting the development, utilization and commercialization of renewable energy resources and for other purposes.
47. The Republic of Kenya, (1990). Geothermal Resources Act (Cap. 314A).
48. Office of the Law Revision Counsel (2021). United States Code. Διαθέσιμο από: <https://uscode.house.gov/>

4. Οικονομική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων παγκοσμίως.

Η οικονομική προσέγγιση της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτάται από παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του συστήματος που εξετάζεται. Για παράδειγμα, οι οικονομικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εγκαταστάσεις των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας διαφέρουν σημαντικά από εκείνες που αφορούν εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας [(1)].

Προκειμένου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να είναι ανταγωνιστική για την αγορά είναι σημαντικό οι εγκαταστάσεις να κατασκευαστούν με γνώμονα την οικονομική βιωσιμότητα τους.

Η επίτευξη της οικονομικής βιωσιμότητας της εγκατάστασης ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια σύνθετη διαδικασία δεδομένου ότι επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Αυτοί είναι:

- Η χημική κατάσταση που βρίσκεται το γεωθερμικό ρευστό και το βάθος όπου βρίσκεται.
- Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού.
- Η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα.
- Το μέγεθος της μονάδας παραγωγής.
- Ο τύπος της μονάδας παραγωγής.
- Το εργατικό κόστος [(2)].

Οι τρεις πρώτοι παράγοντες επηρεάζουν τον αριθμό των γεωτρήσεων που πρέπει να διανοιχτούν και σχετίζονται περισσότερο με το μέγεθος που θα έχει η γεωθερμική μονάδα παραγωγής. Η χημική κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο γεωθερμικός πόρος αποτελεί κύριο κριτήριο επιλογής του τύπου της γεωθερμικής μονάδας [(2)].

Μια μονάδα παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας για να είναι ανταγωνιστική στην αγορά, πρέπει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας να βρίσκεται κάτω ή ακριβώς στην τιμή ισορροπίας που σχηματίζεται από την τομή της καμπύλης προσφοράς και ζήτησης της αγοράς ενέργειας [(1)].

4.1 Οικονομική προσέγγιση γεωθερμικών συστημάτων κανονικής (αβαθούς) γεωθερμίας

Το κόστος της εγκατάστασης μιας αντλίας θερμότητας (ΑΘ) ποικίλει ανάλογα με τις εκάστοτε τοπικές συνθήκες όπου περιλαμβάνεται το κόστος εργασίας, το γεωλογικό υπόβαθρο, τις συνθήκες γεώτρησης, τον τύπο και τη κλίμακα του συστήματος που θα εγκατασταθεί καθώς και τον εξοπλισμό που θα επιλεγεί.

Παρόλο όμως που οι ΑΘ είναι εμπορικά διαθέσιμες παγκοσμίως η χρήση τους συγκριτικά με τη χρήση των ορυκτών καυσίμων με σκοπό τη θέρμανση χώρου είναι σε χαμηλό επίπεδο στην αγορά, λόγω του σχετικά υψηλού κόστους εγκατάστασης [(3)].

Το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος αναλύεται ως εξής:

- Εκσκαφή και τοποθέτηση υπόγειων αγωγών (έως και 60% επί του συνολικού κόστους)
- Αντλία θερμότητας (έως και 30% επί του συνολικού κόστους)
- Δίκτυο διανομής (έως και 21% επί του συνολικού κόστους)
- Εργασίες εγκατάστασης (έως και 7% επί του συνολικού κόστους) [(3)].

Σημαντικός παράγοντας που καθορίζει το κόστος εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων είναι η κατηγορία του συστήματος που εγκαθίσταται. Τα κατακόρυφα συστήματα παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος συγκριτικά με τα οριζόντια λόγω του αυξημένου κόστους εκσκαφής.

Το βάθος της εκσκαφής αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για τον προσδιορισμό του κόστους των εγκαταστάσεων και εν τέλει σε συνδυασμό με το λειτουργικό κόστος, καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων [(4)].

Το λειτουργικό κόστος (operational cost) για αυτές τις εγκαταστάσεις εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, υπολογίζεται με την χρήση του επόμενου τύπου:

$$\text{λειτουργικό κόστος} = C_{GSHP} \cdot h \cdot C_e + C_{CP} \cdot h \cdot C_e$$

Πίνακας 28. Αντιστοιχία συμβόλων λειτουργικού κόστους. Πηγή : [(4)]

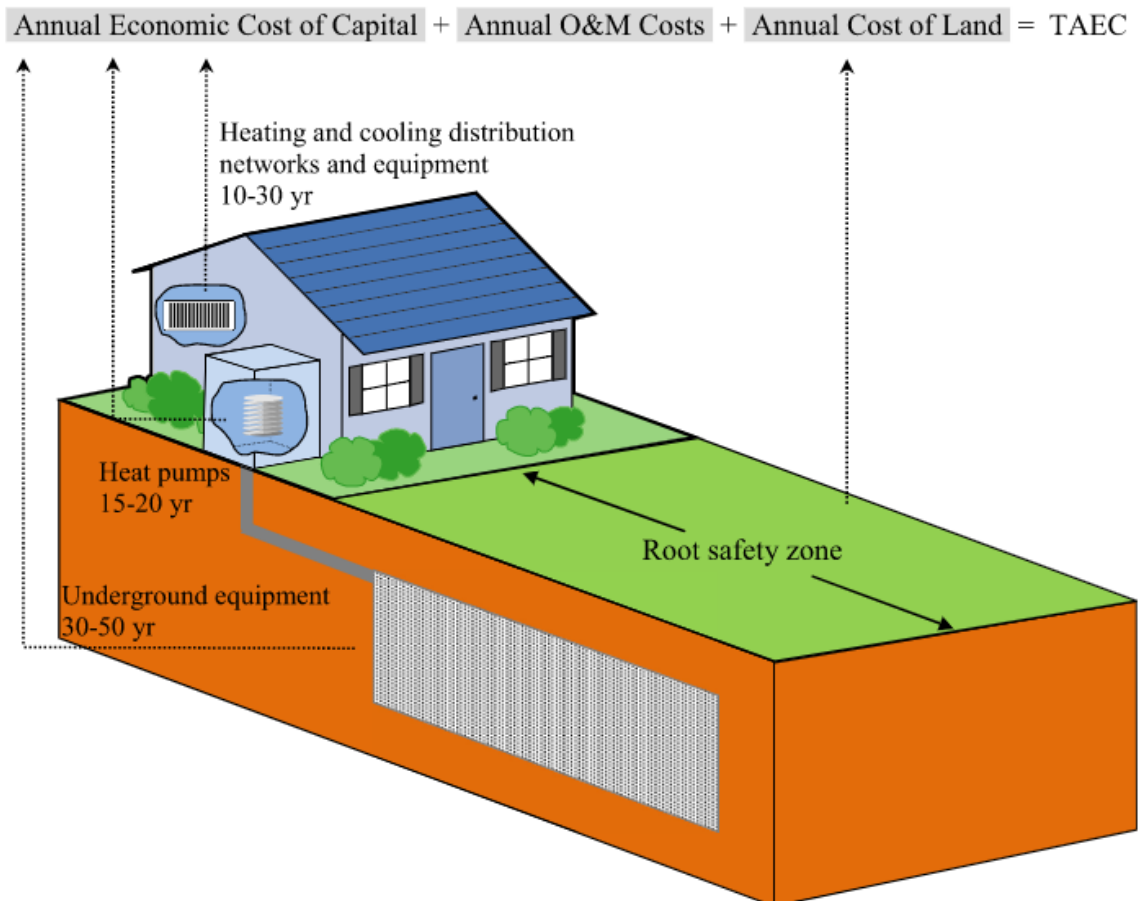
Σύμβολο	Σημασία
C_{com}	Ηλεκτρική Κατανάλωση του συμπιεστή (kW)
C_{CP}	Ηλεκτρική Κατανάλωση της αντλίας (kW)
h	Ωρες λειτουργίας
C_e	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (Euro/kWh)

Τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στον χρόνο. Πιο συγκεκριμένα :

- Η αντλία θερμότητας παρουσιάζει χρόνο ζωής από 15 έως 20 χρόνια
- Το σύστημα διανομής θερμότητας και ψύξης παρουσιάζει χρόνο ζωής από 10 έως 30 χρόνια
- Οι υπόγειες σωληνώσεις παρουσιάζουν χρόνο ζωής 30 έως 50 χρόνια.

Ταυτόχρονα, σημαντικός παράγοντας που κρίνει την βιωσιμότητα ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας είναι το ολικό οικονομικό ετήσιο κόστος ((Total annual economic cost, TAEC). Αυτό υπολογίζεται ως άθροισμα των παρακάτω παραγόντων :

- Του ετήσιου οικονομικού κόστους κεφαλαίου
- Των λειτουργικών εξόδων
- Ετήσια κόστος μίσθωσης γης (όταν αυτή είναι απαραίτητη) [(5)].



Εικόνα 28. Λειτουργικά κόστη και διάρκεια χρόνος ζωής επιμέρους στοιχείων συστημάτων [(5)]

4.1.1 Εφαρμοσμένα Οικονομικά στοιχεία συστημάτων κανονικής γεωθερμίας

Το 2021 πραγματοποιήθηκε προσπάθεια οικονομικής αξιολόγησης των συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας, έχοντας σαν μοντέλο δύο κατακόρυφα συστήματα κανονικής γεωθερμίας στην περιοχή της Ισπανίας, χρησιμοποιώντας την μέθοδο G.POT. Τα χαρακτηριστικά των μοντέλων φαίνονται στον επόμενο πίνακα [(6)].

Πίνακας 29. Χαρακτηριστικά μοντέλων. πηγή : [(6)]

Χαρακτηριστικά	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2
Επιφάνεια κατοικίας (m^2)	200	200
SPF (Seasonal performance Factor)	5,22	5,22
Μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}C$)	18,2	16,7
Θερμική ζήτηση (kWh)	3200	16400
Ψυκτική ζήτηση (kWh)	4200	6000
Θερμική αγωγιμότητα εδάφους (W/m^3k)	0,60-4,10	0,60-4,10
Θερμοχωρητικότητα εδάφους MJ/m ³ K	1,45-2,90	1,45-2,90
Ημέρες ανάγκης θέρμανσης	100-150	100-150
Ημέρες ανάγκης ψύξης	20-140	20-140
Χρόνια προσομοίωσης	50	50
Μήκος εναλλάκτη (m)	100	100

Εξήχθησαν λοιπόν, τα παρακάτω αποτελέσματα :

Πίνακας 30. Οικονομικά αποτελέσματα συστημάτων κανονικής γεωθερμίας. πηγή: [(6)]

Αποτελέσματα	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2
Κόστος γεώτρησης (€/m)	65	65
Συνολικό Κόστος εγκατάστασης (€)	14,186	10,283
Λειτουργικά κόστη (€/έτος)	229	617
Σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας, LCOE (€/kWh)	0,088	0,073

Σημειώνεται πως ο υπολογισμός των λειτουργικών εξόδων έγινε θεωρώντας την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος ίση με 0,15 €/kWh. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το συνολικό κόστος της εγκατάστασης παρουσιάζει αρκετά υψηλή τιμή. Ωστόσο, τα λειτουργικά έξοδα που παρουσιάζονται είναι ιδιαίτερα χαμηλά.

4.2 Οικονομική επισκόπηση γεωθερμικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμίας είναι ραγδαία αναπτυσσόμενος τα τελευταία χρόνια. Απόδειξη αυτού αποτελεί το γεγονός πως την χρονική περίοδο 2015-2019, αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 14,247 δισεκατομμύρια \$. [(7)]

Με σκοπό να γίνει αξιολόγηση των επενδύσεων στον ενεργειακό τομέα κρίθηκε απαραίτητο να βρεθεί ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ αυτών. Κύρια μέθοδος αξιολόγησης ενεργειακών εγκαταστάσεων αποτελεί η σύγκριση του σταθμισμένου κόστους ενέργειας (Levelized Cost Of Energy, LCOE). Το σταθμισμένο κόστος ενέργειας προσδιορίζει την τιμή του μοναδιαίου κόστους παραγωγής ενέργειας σε ολόκληρη την διάρκεια ζωής του έργου.

Το σταθμισμένο κόστος ενέργειας εξαρτάται από :

- Το κόστος επένδυσης
- Τον μέσο ρυθμό παραγωγής ενέργειας
- Την διάρκεια ζωής
- Τον συντελεστή χρησιμοποίησης

Και υπολογίζεται ως :

$$LCOE = \frac{\text{'Αθροισμα του κόστους κατά όλο τον χρόνο ζωής του έργου}}{\text{'Αθροισμα της ενέργειας που παρήχθηκε κατά ολόκληρη την ζωή του έργου}}$$

Ταυτόχρονα καθοριστικός παράγοντας της οικονομικής βιωσιμότητας τέτοιων έργων αποτελεί το κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Μπορεί να γίνει χρήση του παρακάτω τύπου για τον υπολογισμό του κόστους κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος πριν τη διασύνδεση της μονάδας με το δίκτυο [(8)]:

$$cost /KW = \frac{C_{Drill} + C_{BOP}}{C_{PW@20} \cdot F \cdot \Delta T \cdot n - P}$$

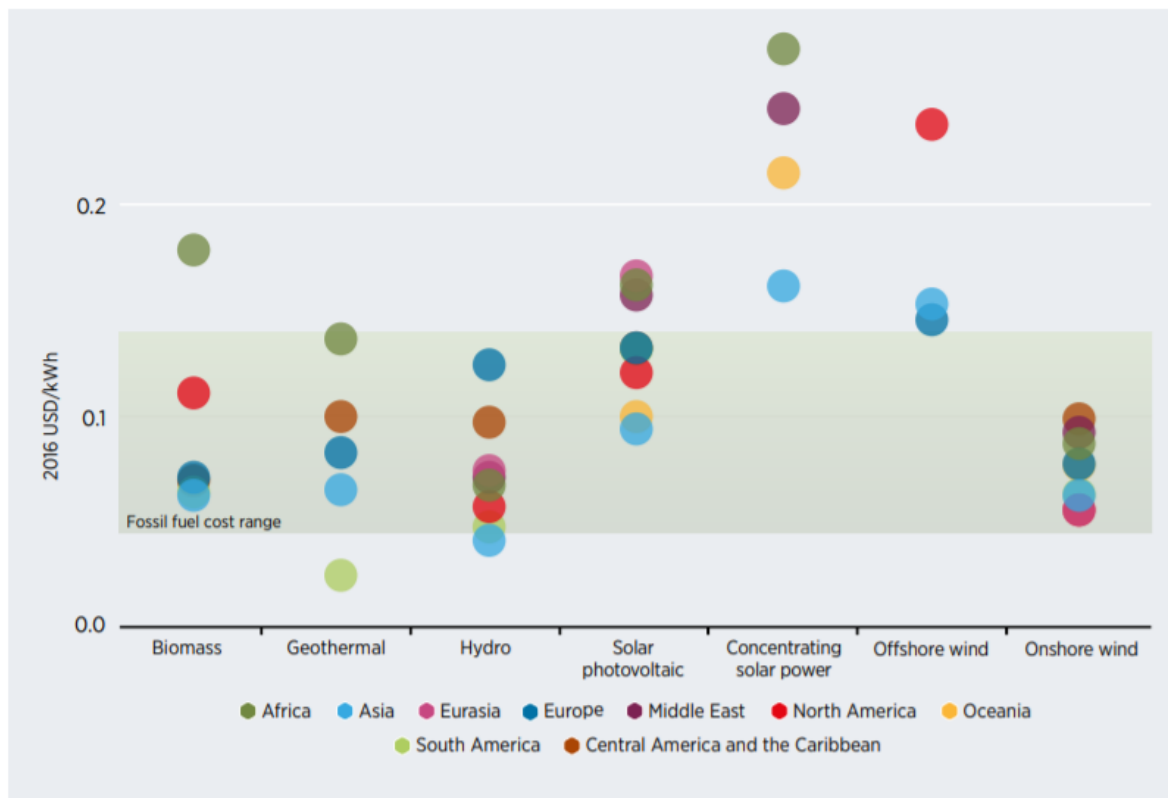
Πίνακας 31. Αντιστοιχία συμβόλων κόστους κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Πηγή : [(8)].

Πίνακας αντιστοιχίας συμβόλων	
$cost /KW$	Κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος (\$/KW)
C_{Drill}	Κόστος γεώτρησης (\$)
C_{BOP}	Κόστος εξοπλισμού μονάδας
$C_{PW@20}$	4,185 (KJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
F	Η ροή του ρευστού
P	Παρασιτικές απώλειες
N	Θερμική απόδοση
ΔT	Η ποσότητα θερμότητας που αντλείται (°C)

Μπορεί να γίνει αντιληπτό πως οι παράμετροι αυτοί δεν είναι ανεξάρτητοι. Προκύπτει εύλογα ότι το κόστος γεώτρησης εξαρτάται από το βάθος της γεώτρησης. Αντίστοιχα, το βάθος όπου θα αντληθεί το ρευστό εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ταμιευτήρα. Ταυτόχρονα η απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας (ΔT), [(8)].

4.2.1. Στατιστικά στοιχεία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία σε παγκόσμια κλίμακα

Στην συνέχεια παρουσιάζεται συγκριτικό διάγραμμα που παρουσιάζει τα σταθμισμένα κόστη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με στοιχεία από το έτος 2016 και 2017, χωρισμένα ανάλογα με την γεωγραφική τους θέση.



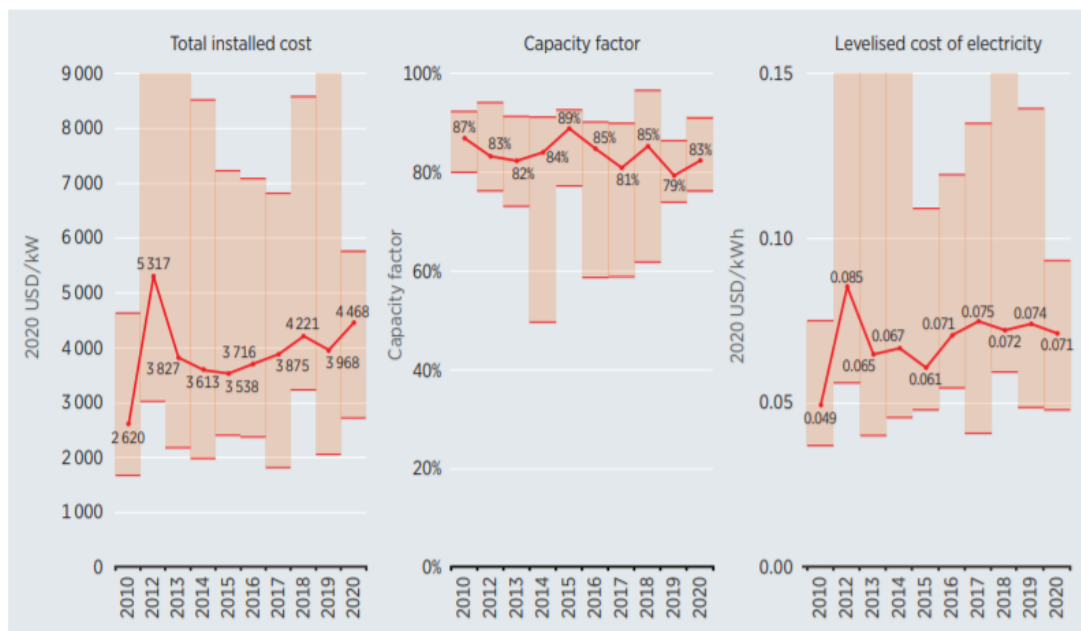
Εικόνα 28. Σταθμισμένα κοστολόγια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για το έτος 2016 και 2017.

Πηγή : [(9)]

Στην προηγούμενη εικόνα παρουσιάζονται τα ενδεικτικά σταθμισμένα κοστολόγια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως.

Μέσω της εικόνας γίνεται αντιληπτό πως το σταθμισμένο κόστος ενέργειας των μονάδων ΑΠ.Ε. είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την τοποθεσία που βρίσκεται η κάθε εγκατάσταση.

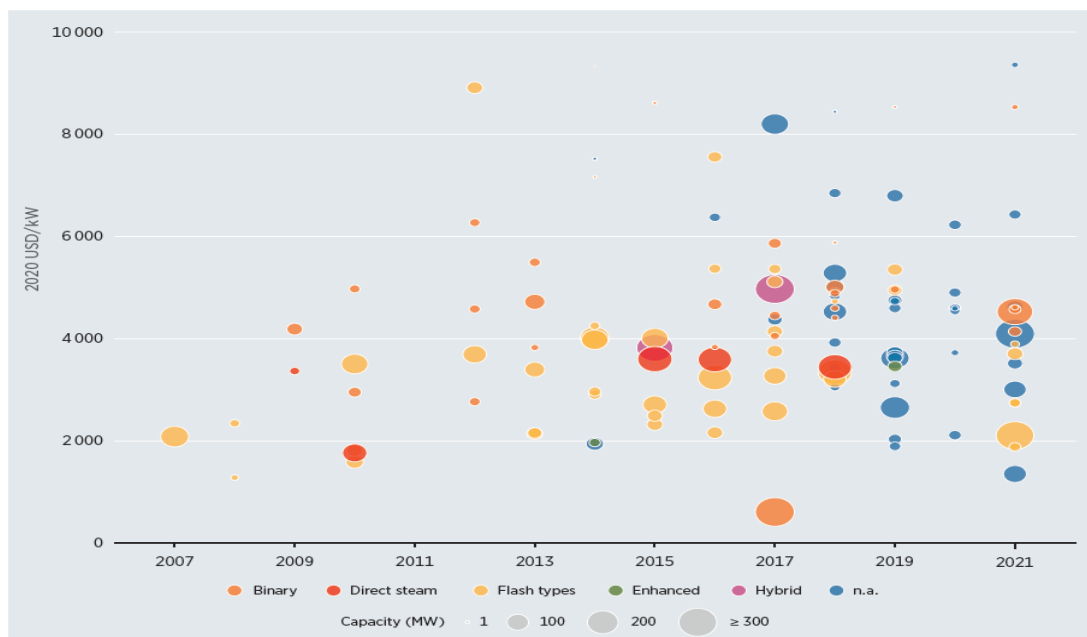
Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και η εικόνα 29 όπου εμφανίζεται το μέσο συνολικό κόστος εγκατάστασης παγκοσμίως, ο συντελεστής χρησιμοποίησης καθώς και το σταθμισμένο κόστος της ενέργειας (LCOE) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμίας για τη χρονική περίοδο 2010-2020. Πηγή: [(9)].



Εικόνα 29. Συνολικό κόστος ανά KW εγκατάστασης ισχύος παγκοσμίως, συντελεστής χρησιμοποίησης και ισοσταθμισμένο κόστος αναφορικά με τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμίας. Πηγή: [(9)]

Παρατηρώντας τα γραφήματα, προκύπτει πως όσον αφορά στο συνολικό κόστος εγκατάστασης υπήρξε ένα άλμα στην τιμή το 2012, το οποίο στην συνέχεια ομαλοποιήθηκε βέβαια, ωστόσο τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται αύξηση των τιμών αυτών. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor) εμφανίζεται αρκετά υψηλός, η χαμηλότερη τιμή που παρατηρείται είναι το 79% το 2019 ενώ η υψηλότερη παρουσιάζεται το 2015 (89%). Η ίδια απότομη αύξηση των τιμών το 2012 παρατηρείται και στο ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας, το οποίο τότε έφτασε την μέγιστη τιμή των 0,085 \$/kWh. Τα τελευταία 5 χρόνια η τιμή του δείκτη φαίνεται να έχει σταθεροποιηθεί κοντά στα 0,072 \$/kWh. Το 2020 η τιμή του δείκτη ήταν 0,071\$/kWh.

Αποτελεί γεγονός πως ανάλογα τον τύπο της εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαφοροποιούνται και τα κόστη κεφαλαίου των μονάδων. Στο επόμενο διάγραμμα μπορεί κανείς να παρατηρήσει το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανά kWh, τεχνολογία και ισχύ για την χρονική περίοδο από το 2007 έως 2021.



Εικόνα 30. Συνολικό κόστος κεφαλαίου γεωθερμικής ενέργειας ανά kW, τεχνολογία και εγκατεστημένη θερμική ισχύ για τη χρονική περίοδο 2007-2021.

Πηγή: [(9)].

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς από το πάνω διάγραμμα, οι τιμές εγκατάστασης γεωθερμικής ενέργειας ανά εγκατεστημένη ισχύ παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Η ελάχιστη τιμή που παρατηρείται είναι 560 \$/kW, ωστόσο αυτή η τιμή οφείλεται στο γεγονός πως η συγκεκριμένη μονάδα δυαδικού κύκλου εγκαταστάθηκε σε ήδη γνωστό γεωθερμικό πεδίο και ταυτόχρονα είχε μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ, με αποτέλεσμα το κόστος να μειώνεται. Αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή παρατηρείται για μονάδα υγρού ατμού (8900\$/kW) χαμηλής δυναμικότητας. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μερίδιο των γεωθερμικών συστημάτων κατανέμεται μεταξύ των 2000 \$/kW και των 5000 \$/kW.

4.2.2 Παράγοντες που συμβάλουν στα ενεργειακά κοστολόγια των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί πως βασικός οικονομικός παράγοντας για την υλοποίηση ενός γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί η οικονομική βιωσιμότητα του. Η κύρια συνιστώσα η οποία επηρεάζει την οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου σταθμού είναι το αρχικό κόστος επένδυσης, λόγω του ότι σε αυτής της μορφής τα έργα παρουσιάζεται ιδιαίτερα υψηλό. Το κόστος αυτό χωρίζεται σε 2 κατηγορίες:

- το κόστος των εργασιών που διενεργούνται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (surface costs). Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται τα κόστη εξερεύνηση της περιοχής, τον σχεδιασμό, τη κατασκευή και τη λειτουργία της υποδομής.
- το κόστος των εργασιών που διενεργούνται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (subsurface costs). Αυτή η κατηγορία αφορά κυρίως το κόστος γεώτρησης.

Θα χρειαστεί να τονιστεί πως ανασταλτικός παράγοντας για την ανάπτυξη τέτοιων επενδύσεων αποτελεί η επενδυτική αβεβαιότητα, εφόσον η ποσότητα και η παροχή των γεωθερμικών πόρων είναι γνωστές πριν την ολοκλήρωση της γεώτρησης εισάγοντας μεγάλο επενδυτικό κίνδυνο. [(11)]

Η πρώτη κίνηση που γίνεται ώστε να βεβαιωθεί πως η υλοποίηση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα λύση είναι η έρευνα και η μελέτη του υπεδάφους. Αρχικά συλλέγονται τα γεωμορφολογικά στοιχεία του χώρου και αν αυτά δείξουν θετικές προοπτικές γίνονται 3 με 5 ερευνητικές γεωτρήσεις, ανάλογα με την περίπτωση, προκειμένου να υπολογιστή η κλίση της θερμοκρασίας του εδάφους. Το κόστος αυτό, ενδεικτικά κυμαίνεται από 5.000.000 \$ έως 10.000.000 \$ για μία μονάδα 50 MW και προσδιορίζεται περίπου στο 1.000.000 \$ για μία μονάδα 5 MW [(12)]

Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία διερεύνησης είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί διάνοιξη παραγωγικών γεωτρήσεων. Το κόστος αυτής της διεργασίας διαμορφώνεται ανάλογα με την ποσότητα των γεωτρήσεων, το βάθος τους και τα φυσικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους. Ωστόσο, καθοριστικός παράγοντας κρίνεται πως είναι η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών αφού θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ανθεκτικότερα υλικά για υψηλότερες θερμοκρασίες, τα οποία θα αυξάνουν το συνολικό κόστος. Αυτή η διαδικασία παρουσιάζει ενδεικτικό κόστος για μονάδες μεταξύ των 5 και των 50 MW από 2.500.000 \$ έως 50.000.000 \$ [(13)]

Όσον αφορά το κόστος των εργασιών που πρέπει να γίνουν στην επιφάνεια της γης, βάσει μελέτης που έγινε για σταθμούς συνολικής εγκατεστημένης ισχύος μεταξύ των 20 και των 60 MW, διαπιστώθηκε πως είναι γραμμικό ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του σταθμού. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως το κόστος αυτό αντιστοιχεί σε 977 \$/kW, με τυπικό σφάλμα 10%. [(14)]

Μάλιστα, μετά την ανάλυση δεδομένων προτάθηκε εμπειρικός τύπος ο οποίος προκύπτει από την ευθεία τάσης κόστους υπαρκτών γεωθερμικών μονάδων.

$$\text{Κόστος εργασιών στην επιφάνεια (Million \$)} = (-0,9 \pm 4,6) + (1,0 \pm 0,1) \times \text{εγκ. ισχύς (MW)}$$

Η συγκεκριμένη ευθεία παρουσιάζει συντελεστή $R^2 = 0,97$.

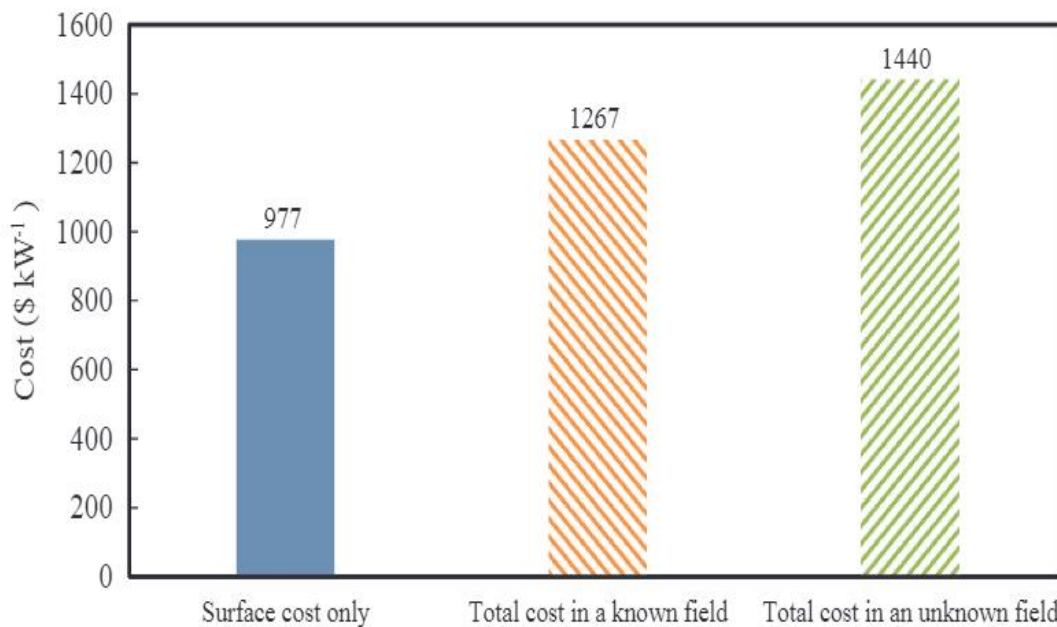
Ταυτόχρονα, διαπιστώνεται πως τα έξοδα που συνδέονται με την διενέργεια εργασιών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους διαφοροποιούνται σημαντικά στην περίπτωση που η μονάδα

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρόκειται να κάνει χρήση ήδη γνωστού γεωθερμικού πεδίου ή στην περίπτωση που θα χρειαστεί να γίνουν διαδικασίες εξερεύνησης. [(14)]

Πίνακας 32. Ενδεικτικά κόστη εργασιών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας (20-60 MW). Πηγή : [(14)]

Απαιτούμενες εργασίες	Κόστος (\$/kW)	Εύρος κόστους με την εφαρμογή τυπικής απόκλισης (\$/kW)
Εργασίες πάνω από την επιφάνεια του εδάφους	977	762-1192
Εργασίες σε ανεξερεύνητα γεωθερμικά πεδία	1267	1062-1692
Εργασίες σε ήδη γνωστά γεωθερμικά πεδία	1440	1122-1992

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα μπορεί να γίνουν καλύτερα κατανοητά παρατηρώντας και το παρακάτω διάγραμμα. Μία μέση διαφορά των 173 \$/kW παρατηρείται μεταξύ των δύο περιπτώσεων.

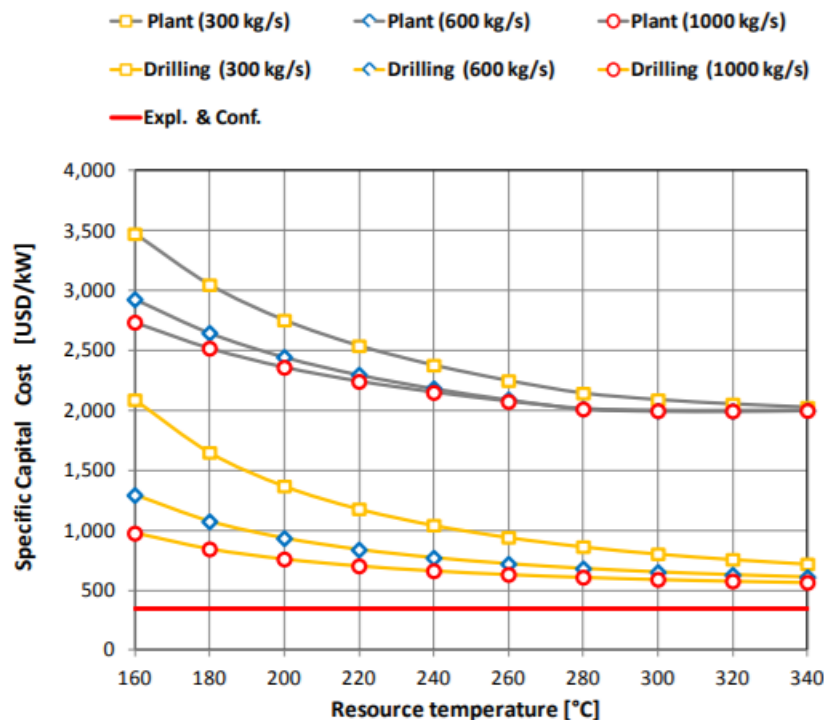


Εικόνα 31. Ανάλυση κόστους μονάδας γεωθερμικής ενέργειας εγκατεστημένης ισχύς 20 - 60MW. Πηγή: [(15)].

4.2.2.1 Ολικό κόστος ανά εγκατεστημένη ισχύ σταθμών παραγωγής ηλ. ενέργειας

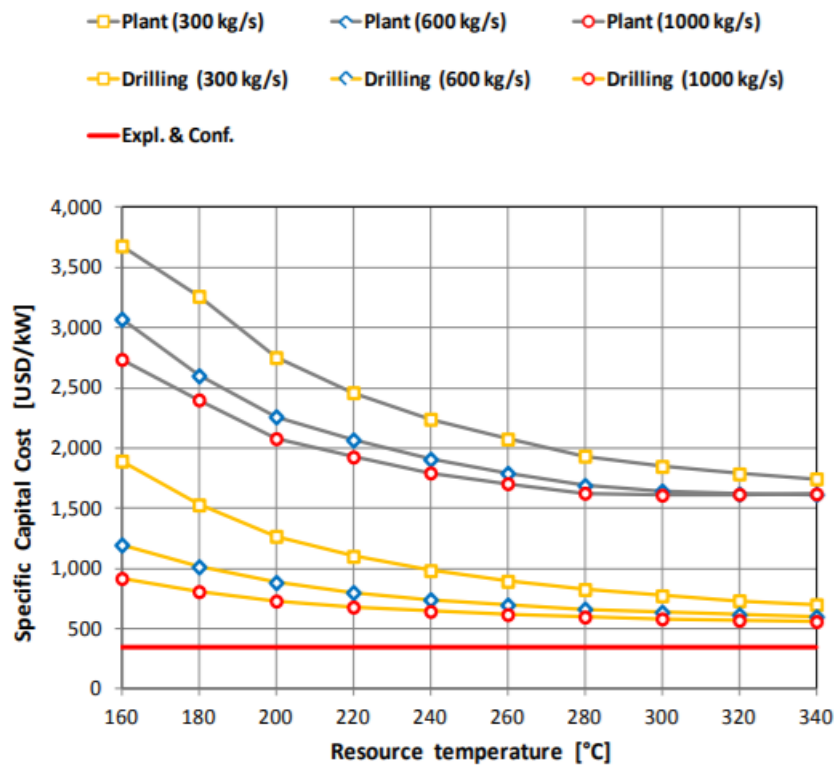
Στην συνέχεια γίνεται μία προσπάθεια να ανάλυσης του κόστους κεφαλαίου ανά εγκατεστημένη ισχύ (kW) που απαιτείται να επενδυθεί για την υλοποίηση μίας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας γεωθερμικά ρευστά. Γίνεται ανάλυση για παροχή 300,600 και 1000 kg/s. Παρουσιάζονται τα έξοδα κεφαλαίου, τα οποία είναι κατηγοριοποιημένα σε αυτά που αφορούν την γεώτρηση, την επίγεια μονάδα και την διαδικασία έρευνας και επιβεβαίωσης ύπαρξης γεωθερμικού ρευστού.

Όσον αφορά τα κόστη εξερεύνησης και επιβεβαίωσης του γεωθερμικού πεδίου σε όλες τις περιπτώσεις είναι σταθερά και ίσα με 346 \$/kW Πηγή: [(16)].



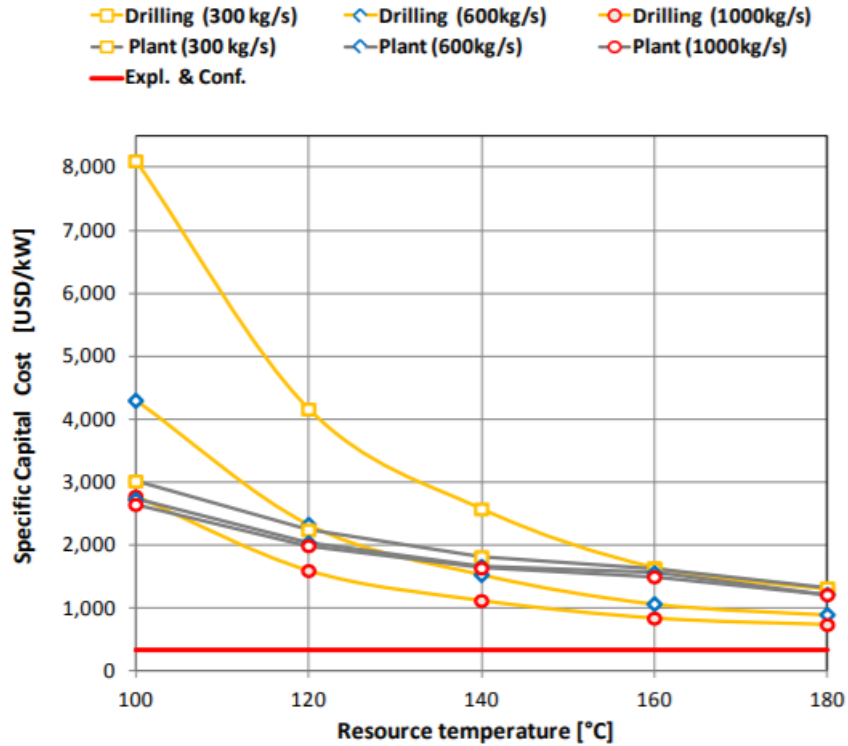
Εικόνα 32. Κόστος κεφαλαίου ανά εγκατεστημένη ισχύ για μονάδα παραγωγής ηλ. Ενέργειας υγρού ατμού απλής εκτόνωσης . Πηγή: [(16)].

Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις υγρού ατμού μονής εκτόνωσης παρατηρείται μείωση κόστους ανά εγκατεστημένη ισχύ σε όλες τις κατηγορίες (εκτός από τα έξοδα έρευνας και επιβεβαίωσης πεδίου που είναι σταθερά) όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η παροχή του γεωθερμικού ρευστού. Παρατηρείται πως το μοναδιαίο κόστος της εγκατάστασης κυμαίνεται από 2.028 έως 3.474 \$/kW. Αντίστοιχα το μοναδιαίο κόστος γεώτρησης κυμαίνεται από 566 έως 2.090



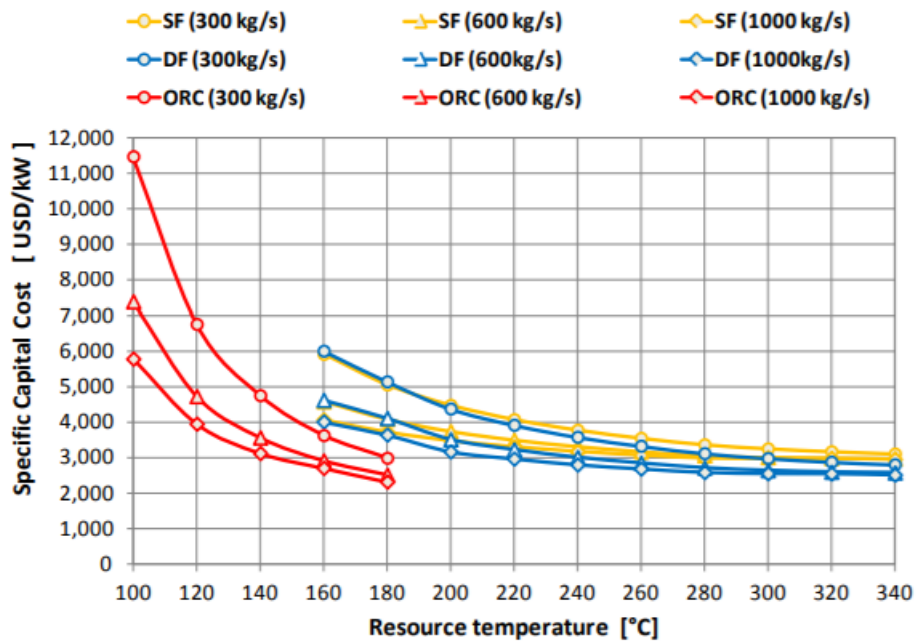
Εικόνα 33. Κόστος κεφαλαίου ανά εγκατεστημένη ισχύ για μονάδα παραγωγής ηλ. Ενέργειας υγρού ατμού διπλής εκτόνωσης. Πηγή: [(16)].

Όπως και στην μονάδα απλής εκτόνωσης παρατηρείται μείωση του κόστους κεφαλαίου ανά εγκατεστημένη ισχύ όσο αυξάνονται η παροχή και η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών. Οι τιμές για τα κοστολόγια της γεώτρησης κυμαίνονται από 560 έως 1.893 \$/kW και από 1.594 έως 3,761 \$/kW. Αντίστοιχα, η κατασκευή της επίγειας μονάδας κυμαίνεται από 1.616 έως 3.761 \$/kw.



Εικόνα 34. Κόστος κεφαλαίου ανά εγκατεστημένη ισχύ για μονάδα παραγωγής ηλ. Ενέργειας ORC. Πηγή: [(16)].

Αντίστοιχα με τις προηγούμενες μονάδες, παρατηρείται μείωση του κόστους κεφαλαίου ανά εγκατεστημένη ισχύ όσο αυξάνονται η παροχή και η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών. Οι τιμές για τα κοστολόγια γεώτρησης κυμαίνονται από 8.103 έως 741 \$/kW και από 1.594 έως 3,761 \$/kW. Αντίστοιχα, για την κατασκευή της επίγειας μονάδας κυμαίνεται από 1.215 έως 3.020 \$/kw.



Εικόνα 35. Συγκριτικό κόστος κεφαλαίου. Πηγή: [(16)].

Με σκοπό την σύγκριση του κόστους κεφαλαίου των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμικών ρευστών παρουσιάζεται συγκριτικό διάγραμμα.

Συμπεραίνεται λοιπόν πως ο κύκλος υγρού ατμού διπλής εκτόνωσης παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με τον κύκλο υγρού ατμού απλής εκτόνωσης για θερμοκρασία γεωθερμικού ρευστού πάνω από 200°C και στις τρεις περιπτώσεις παροχής (300,600,1000 kg/s).

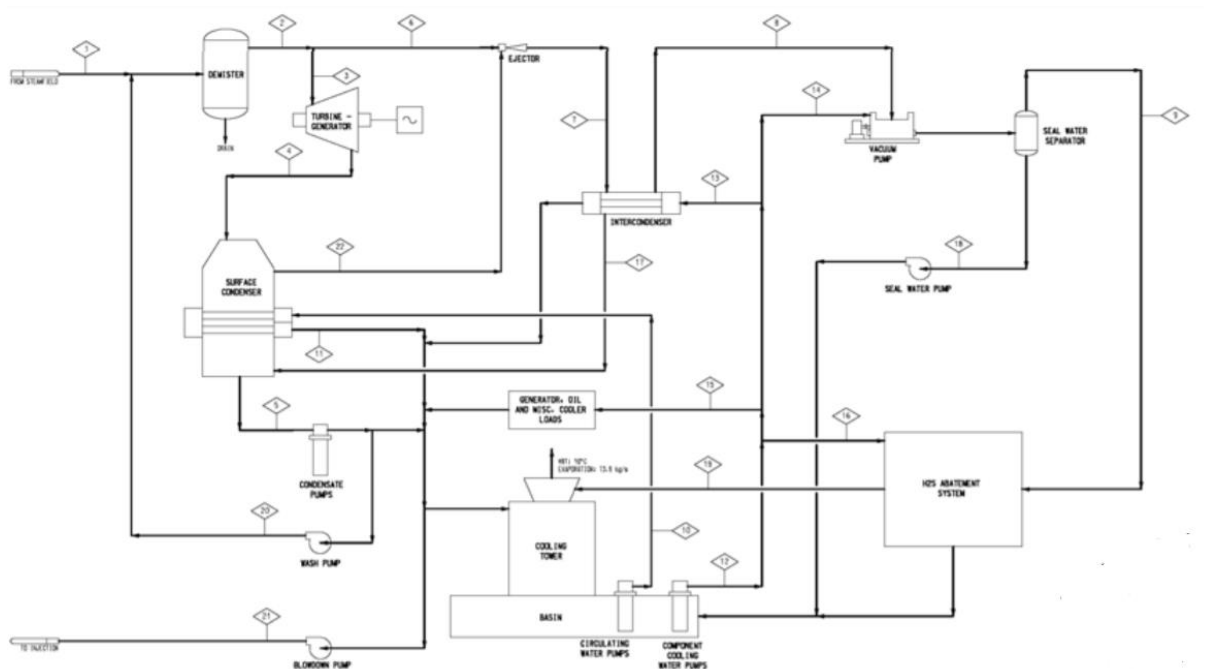
Αντίθετα, για θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών μεταξύ 180 και 200°C, ο κύκλος απλής εκτόνωσης παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές από τον κύκλο διπλής εκτόνωσης. Τέλος, για γεωθερμικά ρευστά τα οποία παρουσιάζουν θερμοκρασίες μεταξύ 160 και 180°C, το κόστος των μονάδων ORC εμφανίζει χαμηλότερες τιμές από τους κύκλους υγρού ατμού.

4.2.3 Εφαρμοσμένη Οικονομική προσέγγιση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

4.2.3.1 Κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (υγρού ατμού, μονής εκτόνωσης) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 50 MW.

Παρουσιάζεται το ενδεικτικό κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (υγρού ατμού, μονής εκτόνωσης) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 50 MW. Το σύστημα εκμεταλλεύεται γεωθερμικό πεδίο θερμοκρασίας 300°C και παροχής 380 kg/s και τα έξοδα αναφέρονται στο 2010.

Παρατίθεται το διάγραμμα ροής των διεργασιών με σκοπό την καλύτερη κατανόησης του υπό συζήτηση σταθμού.



Εικόνα 36. Διάγραμμα ροής σταθμού παραγωγής υγρού ατμού 50MW. Πηγή: [(17)].

Στον επόμενο πίνακα μπορεί να παρατηρήσει κανείς τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος με σκοπό να δημιουργηθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το κόστος που προκύπτει.

Πίνακας 33. Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδας 50MW. Πηγή: [(17)].

Τεχνικά χαρακτηριστικά εξαρτημάτων	Τιμές
Αριθμός γεωτρήσεων	5
Συνολική παροχή γεωθερμικού ρευστού	380 kg/s
Ισχύς στροβίλου	55 MW
Ισχύς αντλίας	700 kW
Ισχύς πύργου ψύξης	175 kW

Έχοντας σχηματίσει μία εικόνα του συστήματος, παρουσιάζεται συνοπτικά ο πίνακας με τα κοστολόγια του συγκεκριμένου έργου.

Πίνακας 34. Κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (υγρού ατμού, μονής εκτόνωσης) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 50 MW. Πηγή: [(17)].

Κόστος	Τιμή (\$)	Τιμή (\$/kW)
Ερευνητικό στάδιο	818.000	16,36
Έξοδα γεώτρησης	85.000.000	1.700
Έξοδα αγοράς συστήματος τροφοδοσίας του ρευστού	27.360.000	547
Εξοπλισμός	65.680.000	1.353
Εργασίες (300.000 εργατοώρες)	19.532.000	391
Κατασκευαστικό κόστος	130.072.000	2.601
Ολικό κόστος εγκατάστασης	243.250.000	4.865

Τα βασικά εξαρτήματα που συνδράμουν στο κόστος εξοπλισμού είναι ο στρόβιλος, η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο συμπυκνωτής, ο πύργος ψύξης και οι αντλίες ανακυκλοφορίας.

3.2.3.2 Κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (υγρού ατμού, μονής εκτόνωσης) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 40 MW.

Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση του κόστους ίδιου συστήματος, το οποίο αυτή την φορά παρουσιάζει ισχύ εξόδου 40 MW.

Πίνακας 35. Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδας 40MW. Πηγή: [(17)].

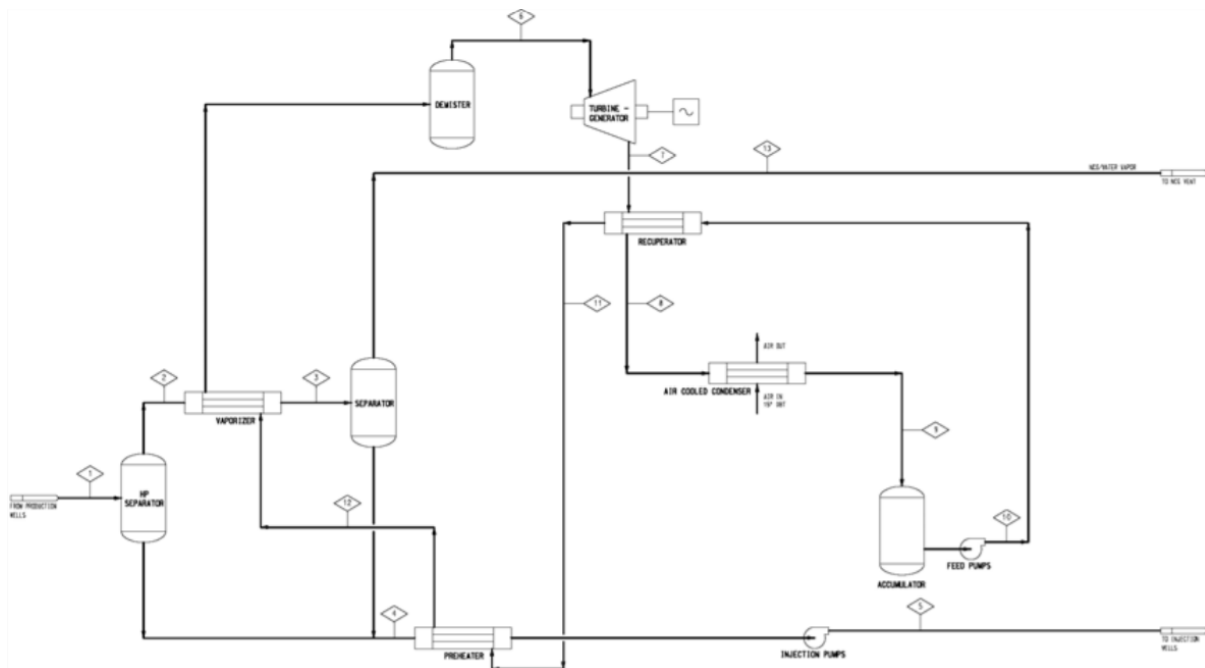
Κόστος	Τιμή (\$)	Τιμή (\$/kW)
Ερευνητικό στάδιο	658.000	16,45
Έξοδα γεώτρησης	70.000.000	1.750
Έξοδα αγοράς συστήματος τροφοδοσίας του ρευστού	22.104.000	553
Εξοπλισμός	56.274.000	1.407
Εργασίες (275.000 εργατοώρες)	15.183.000	380
Κατασκευαστικό κόστος	107.545.000	2.689
Ολικό κόστος εγκατάστασης	200.306.000	5.008

Λόγω του μικρότερου όγκου εργασιών, οι εργατοώρες μειώθηκαν από 350.000 σε 275.000 συγκριτικά με την μονάδα παραγωγής 50MW.

3.2.3.3. Κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Διαδίκου τύπου 50 MW) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 50 MW.

Συνεχίζοντας, αναλύεται το κόστος ενός τυπικού σταθμού δυαδικού κύκλου το οποίο λειτουργεί με την χρήση ισοπεντάνιου ως εργαζόμενο μέσο, μονής βαθμίδας και με αερόψυκτο συμπυκνωτή. Η συνολική παροχή γεωθερμικού ρευστού είναι 458 kg/s.

Αντίστοιχα με τον κύκλο υγρού ατμού, παρατίθεται το διάγραμμα ροής των διεργασιών με σκοπό την καλύτερη κατανόησης του υπό συζήτηση σταθμού.



Εικόνα 37. Διάγραμμα ροής συστήματος δυαδικού κύκλου 50 MW. Πηγή: [(17)].

Στον επόμενο πίνακα μπορεί να παρατηρήσει κανείς τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος με σκοπό να δημιουργηθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το κόστος που προκύπτει.

Πίνακας 36. Τεχνικά χαρακτηριστικά εξαρτημάτων. Πηγή: [(17)].

Τεχνικά χαρακτηριστικά εξαρτημάτων	Τιμές
Αριθμός γεωτρήσεων	5
Συνολική παροχή γεωθερμικού ρευστού	458 kg/s
Ισχύς στροβίλου	14,4 MW
Πλήθος στροβίλων	4
Ισχύς αντλίας	850 kW

Πίνακας 37. Κόστος μονάδας. Πηγή: [(17)].

Κόστος	Τιμή (\$)	Τιμή (\$/kW)
Ερευνητικό στάδιο	864.000	17,28
Έξοδα γεώτρησης	100.000.000	2.000
Έξοδα αγοράς συστήματος τροφοδοσίας του ρευστού	32.976.000	660
Εξοπλισμός	87.010.000	1.478
Εργασίες (300.000 εργατοώρες)	8.0002.000	262
Κατασκευαστικό κόστος	133.300.000	2.666
Ολικό κόστος εγκατάστασης	267.140.000	5.343

Πέρα από το κόστος της εγκατάστασης, για να γίνει μία σύγκριση του κόστους των σταθμών αυτών θα πρέπει να συνυπολογιστεί το κόστος αδειοδότησης και τα απρόοπτα έξοδα, τα οποία ενδεικτικά, υπολογίζονται να είναι το (5%) του συνολικού κόστους του γεωθερμικού σταθμού. Στην συνέχεια λοιπόν παρουσιάζεται πίνακας με το τελικό απαιτούμενο ποσό που απαιτείται να επενδυθεί ώστε να υλοποιηθούν οι συγκεκριμένες μονάδες,

Πίνακας 38. Κόστος σταθμών παραγωγής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας το 2010 στις Η.Π.Α. Πηγή : Πηγή: [(17)].

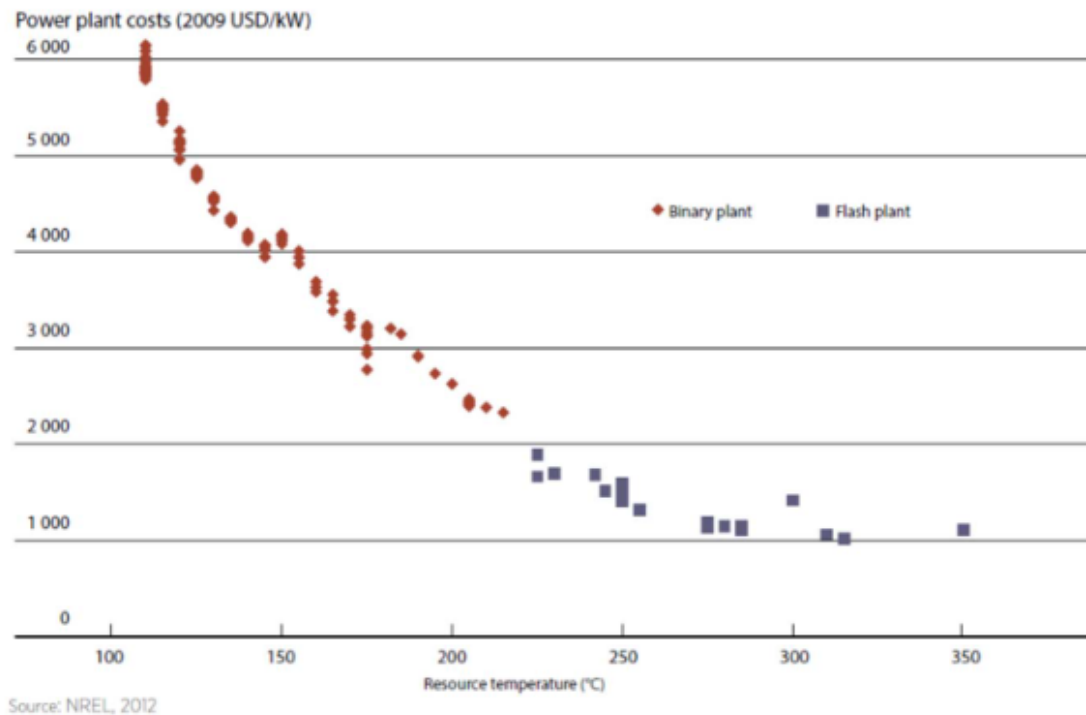
Παράμετρος	50 MW υγρού ατμού	40 MW υγρού ατμού	50 MW διαδίκου κύκλου
Ολικό κόστος εγκατάστασης	\$243.250.000	\$200.306.000	\$267.140.000
Κόστη αδειοδότησης	\$16.009.000	\$13.183.000	\$17.581.000
Ολικό κόστος επένδυσης	\$259.259.000	\$213.489.000	\$284.721.000
Απρόσμενα κόστη	5%	5%	5%
Τελικό απαιτούμενο ποσό	\$272.222.000	\$224.164.000	\$298.957.000

Όπως παρατηρείται από τις τιμές που προκύπτουν, μία μικρότερης ισχύος μονάδα παραγωγής παρουσιάζει χαμηλότερο ολικό κόστος συγκριτικά με μία μονάδα μεγαλύτερης ισχύος. Ωστόσο το ειδικό κόστος ανά εγκατεστημένη ισχύ μονάδα ακολουθεί την ακριβώς αντίστροφη πορεία.

Επίσης, το συγκεκριμένο σύστημα υγρού ατμού παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή συγκριτικά με το διάδικό σύστημα. Ωστόσο αυτό παρατηρείται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των γεωθερμικών ρευστών που χρησιμοποιούνται.

Τα δυαδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μειωμένο κόστος κατά περίπου 10% έναντι των μονάδων υγρού ατμού σε χαμηλές θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών και ενθαλπίες κοντά στα 486 kJ/kg. Αντίθετα, όταν τα γεωθερμικά ρευστά βρίσκονται σε ενθαλπίες κοντά στα 1165 kJ/kg, τα συστήματα υγρού ατμού πλεονεκτούν κατά περίπου 15% του συνολικού κόστους [(18)]

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται διάγραμμα το οποίο πραγματεύεται το κόστος ανά εγκατεστημένη ισχύ (\$/kW) των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμίας στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, για υψηλές θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών προτιμώνται οι κύκλοι υγρού ατμού λόγω χαμηλότερου κόστους. Αντίστοιχα, με την ίδια αιτιολόγηση, για χαμηλές θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών προτιμώνται οι δυαδικοί κύκλοι. Επίσης, μέσω του διαγράμματος προκύπτει εύλογα η ύπαρξη αυξητικής τάσης του κόστους ανά εγκατεστημένη ισχύ (\$/kW) όσο μειώνεται η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών.



Εικόνα 38. Κόστος ανά εγκατεστημένη ισχύ (\$/kW) των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις Η.Π.Α. Πηγή: [(19)].

4.2.4 Παγκόσμια Οικονομική επισκόπηση

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανοδική πορεία στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτή η πρόοδος συμπεριλαμβάνει και την αύξηση της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Περίπου 22,262 δισεκατομμύρια \$ επενδύθηκαν παγκοσμίως στην γεωθερμική ενέργεια κατά την περίοδο 2015-2019, τόσο με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (64%) όσο και με σκοπό την αξιοποίηση μέσω θερμικών χρήσεων (36%). Ο μέσος όρος της επένδυσης ανά κράτος ήταν 420 εκατομμύρια \$. Οι συνολικές επενδύσεις διαμορφώθηκαν με τον παρακάτω τρόπο ανά ήπειρο:

- 6,3% του συνόλου επενδύθηκε στην Αφρική (1,412 δισεκατομμύρια \$)

- 10,2% του συνόλου επενδύθηκε στην Αμερική από 11 χώρες (2,275 δισεκατομμύρια \$)
 - 74,2% του συνόλου επενδύθηκε στην Ασία από 11 χώρες (16,506 δισεκατομμύρια \$)
 - 8,7% του συνόλου επενδύθηκε στην Ευρώπη από 22 χώρες (1,926 δισεκατομμύρια \$)
 - 0,6% του συνόλου επενδύθηκε στην Ωκεανία από 2 χώρες (0,143 δισεκατομμύρια \$)
- Πηγή: [(20)].

4.2.4.1. Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Αργεντινή

Στην αργεντινή τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιείται προσπάθεια προώθησης των Α.Π.Ε. Η προσπάθεια αυτή σηματοδοτείται από την πράξη n° 27191 του 2015, η οποία καθορίζει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα πρέπει να φτάσουν το 20% του ενεργειακού μείγματος παραγωγής ενέργειας έως το έτος 2025. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, το κράτος ξεκίνησε ένα πρόγραμμα προώθησης και τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. Έως σήμερα, βάσει του προγράμματος 2 feed in tariffs για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάστηκαν. Η πρώτη ήταν 59.70 \$/MW το 2016 ενώ η δεύτερη 40.40 \$/MWh το 2018. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί πως στην Αργεντινή κανένα γεωθερμικό έργο δεν εισάχθηκε σε αυτή την διαδικασία.

Ωστόσο, πραγματοποιούνται επενδύσεις στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας.

Συνολικά στην χώρα υπολογίζεται ότι από το 1995 έως το 2019, προσεγγιστικά επενδύθηκαν 25,2 εκατομμύρια \$ για εξερεύνηση και εξακρίβωση της ύπαρξης γεωθερμικών πεδίων. Από αυτά τα 7,1 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν την χρονική περίοδο από το 2015 έως το 2019. Το μεγαλύτερο ποσοστό των επενδύσεων αυτών προήλθαν από τον ιδιωτικό τομέα. Αντίστοιχα, από το 2010 έως το 2014 επενδύθηκαν 15 εκατομμύρια \$ με σκοπό την ανάπτυξη γεωθερμικών συστημάτων, περιλαμβάνοντας σε αυτό το ποσό τις παραγωγικές γεωτρήσεις και τον απαιτούμενο μηχανολογικό εξοπλισμό. Στον επόμενο πίνακα παρατηρούνται οι επενδύσεις στην χώρα της Αργεντινής από το 1995 το 2019 [(21)].

Πίνακας 39. Επενδύσεις στην χώρα της Αργεντινής. Πηγή : [(21)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών συστημάτων (M\$)	Ποσοστό ιδιωτικής χρηματοδότησης (%)	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	4,8	1,2	80	20
2000-2004	1,5	3,5	85	15
2005-2009	5,3	6,5	80	20
2010-2014	6,5	15	80	20
2015-2019	7,1	-	75	25

4.2.4.2 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Αυστραλίας

Η χρήση της γεωθερμίας στην Αυστραλία παρουσιάζει πτωτική τάση τα τελευταία χρόνια. Όλοι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είχαν υλοποιηθεί πριν το 2015 σταμάτησαν να λειτουργούν. Ταυτόχρονα, η χρηματοδότηση της γεωθερμικής έρευνας έχει μειωθεί με αποτέλεσμα να προκηρύσσονται λιγότερα χρηματοδοτούμενα προγράμματα για τη μελέτη των γεωθερμικών πεδίων και συστημάτων. Ωστόσο, τα προηγούμενα χρόνια η Αυστραλία είχε γίνει τόπος μεγάλου επενδυτικού ενδιαφέροντος στον τομέα της γεωθερμίας. Στην χώρα, προσεγγιστικά επενδύθηκαν από το 1995 έως το 2014 συνολικά, 553,2 εκατομμύρια \$ για την εξερεύνηση και εξακρίβωση της ύπαρξης γεωθερμικών πεδίων. Ενώ 471 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν για την ανάπτυξη των πεδίων αυτών, συμπεριλαμβανομένων και των παραγωγικών γεωτρήσεων. Για την χρονική περίοδο από το 2010 έως το 2014, 100 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν με θερμικές χρήσεις, ενώ 455 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν με σκοπό την υλοποίηση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μεγάλη διαφορά των επενδύσεων παρατηρείται για την επόμενη πενταετία, αφού ενδεικτικά, από το 2015 έως το 2019 επενδύθηκαν 2,3 εκατομμύρια \$ με σκοπό την εξερεύνηση των γεωθερμικών πεδίων και 23 εκατομμύρια \$ προς όφελος θερμικών χρήσεων. Το μεγαλύτερο μερίδιο (περίπου το 60%) επενδύθηκε με σκοπό την υλοποίηση υδάτινων πάρκων διασκέδασης. Μόλις 2,5 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν με σκοπό την υλοποίηση του γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ενέργειας στο Winton 0,32 MWe εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος, τύπου ORC. Το μεγαλύτερο μερίδιο των επενδύσεων προήλθε από πρωτοβουλίες του ιδιωτικού τομέα. Στον επόμενο πίνακα παρατηρούνται οι επενδύσεις στην χώρα της Αυστραλίας από το 1995 το 2019. Σημειώνεται πως οι τιμές που αναφέρονται στην χρονική περίοδο 2015 – 2019 είναι ενδεικτικές [(22)].

Πίνακας 40. Επενδύσεις στην χώρα της Αυστραλίας. Πηγή : [(22)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	-	-	-	-	-
2000-2004	1,7	25	-	-	30
2005-2009	74	262	14	-	8
2010-2014	285	63	63	285	10
2015-2019	2,3	-	23	2,5	13

4.2.4.3 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα του Βελγίου

Για μεγάλο χρονικό διάστημα το Βέλγιο επικεντρωνόταν κυρίως στα συστήματα κανονικής γεωθερμίας. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ενδιαφέρον για ένα μεγαλύτερο σύνολο γεωθερμικών εφαρμογών. Μάλιστα, 2016 ξεκίνησε η λειτουργία του πρώτου γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ενέργειας στην περιοχή Hainaut. Πρόκειται για έναν σταθμό συμπαραγωγής ηλεκτρικής ισχύος 0,8 MW_e και θερμικής ισχύος 15MW. Ο σταθμός έχει την δυνατότητα να παρέχει στο δίκτυο 2 GWh/έτος. Από το 2005 έως το 2014, οι επενδύσεις εντοπίζονται κυρίως στο στάδιο της έρευνας και εξερεύνησης των γεωθερμικών πεδίων. Προσεγγιστικά στο κράτος, την περίοδο 2015-2019, 10.393.920 εργατοώρες αφιερώθηκαν με σκοπό την ανάπτυξη γεωθερμικής ενέργειας, είτε σε ερευνητικό – ακαδημαϊκό, είτε σε κατασκευαστικό επίπεδο. Συνολικά, δαπανήθηκαν 8,5 εκατομμύρια \$ με σκοπό την έρευνα των γεωθερμικών πεδίων. Αντίστοιχα, οι δαπάνες για ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων προς χρήση, συμπεριλαμβανομένης της υλοποίησης παραγωγικών γεωτρήσεων ανήλθαν στα 30 εκατομμύρια \$. Ταυτόχρονα, 1,25 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν για τον σταθμό στην Hainaut και 2 εκατομμύρια \$ για θερμικές χρήσεις.

Από αυτά τα έξοδα, το 20% χορηγήθηκε από το δημόσιο. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις επενδύσεις στο Βέλγιο από το 2005 έως το 2019. [(23)]

Πίνακας 41. Επενδύσεις στην χώρα του Βελγίου. Πηγή: [(23)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
2005-2009	0,26	-	-	-	-
2010-2014	14,42	2,7	-	-	96
2015-2019	8,5	30	2	1,25	20

4.2.4.4 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Γαλλίας

Στην Γαλλία παρατηρείται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και θερμικές χρήσεις, καθώς ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι η χρήση της τηλεθέρμανσης. Η εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση και ψύξη, το 2019 έφτανε σχεδόν τα 2600 MWth. Από αυτά, περίπου 600 MWth αποδίδονται στα συστήματα τηλεθέρμανσης που εκμεταλλεύονται το γεωθερμικό πεδίο στην περιοχή του Παρισιού, ωστόσο το μεγαλύτερο μερίδιο συνδέεται με την μεγάλη ανάπτυξη που έχει προκύψει στην χώρα το επίπεδο της κανονικής γεωθερμίας. Η Γαλλία έχει σε λειτουργία και (2) σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας βρίσκεται στην περιοχή Guadeloupe, είναι τύπου υγρού ατμού διπλής εκτόνωσης και παρουσιάζει εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 15 MWe. Ο δεύτερος βρίσκεται στην περιοχή Alsace, είναι διαδίκου τύπου και η συνολική ηλεκτρική εγκατεστημένη ισχύς του είναι 1,5 MWe. Όπως είναι εύλογο λοιπόν στην χώρα της Γαλλίας παρουσιάζεται εκτεταμένη επενδυτική δραστηριότητα η οποία αναμένεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο τα επόμενα χρόνια εφόσον αναμένεται να μπει σε ισχύει το πρόγραμμα σταθερής τιμής αγοράς (feed in tariff) για την γεωθερμική ενέργεια ποσού κοντά στα 250€/MWh.

Από το 2005 έως το 2019 επενδύθηκαν προσεγγιστικά 157 εκατομμύρια \$ με σκοπό την εξερεύνηση και την επιβεβαίωση γεωθερμικών ρευστών, ενώ επενδύθηκαν 170 εκατομμύρια για την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων καθώς και για την υλοποίηση παραγωγικών γεωτρήσεων.

Επίσης επενδύθηκαν 139 εκατομμύρια \$ για την υλοποίηση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και 280 εκατομμύρια \$ για θερμικές χρήσεις, το μεγαλύτερο ποσό αυτού αναφέρεται στην υλοποίηση συστημάτων τηλεθέρμανσης. Από αυτές τις τιμές το 30% προερχόταν από δημόσια κονδύλια. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις επενδύσεις στην Γαλλία από το 2005 έως το 2019 [(24)].

Πίνακας 42. Επενδύσεις στην χώρα της Γαλλίας. Πηγή: [(24)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
2005-2009	46	43	50	49	30
2010-2014	61	47	150	50	30
2015-2019	50	80	90	40	30

4.2.4.5 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Κροατίας

Στην Κροατία το 2018 ξεκίνησε να λειτουργεί ο πρώτος γεωθερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην τοποθεσία Velika Ciglena. Ο συγκεκριμένος σταθμός είναι τεχνολογίας ORC και λειτουργεί με γεωθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 170 °C, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του είναι 16,5 MWe. Γίνονται έρευνες για να εξακριβωθεί η δυνατότητα εγκατάστασης σε δύο ακόμη περιοχές (Legrad και Kotoriba). Η Κροατία σε γενικές γραμμές παρουσιάζει μικρή χρήση γεωθερμικών συστημάτων. Το 2019 παρήχθησαν μονάχα 360 TJ θερμικής ενέργειας από γεωθερμία. Από αυτή την άποψη, προκύπτει εύλογα ότι από επενδυτικής απόψεως δεν υπάρχει μεγάλη δραστηριότητα. Προσεγγιστικά, από το 2010 έως το 2019 επενδύθηκαν 4,5 εκατομμύρια \$ για την εξερεύνηση γεωθερμικών πεδίων και 7,5 εκατομμύρια για την ανάπτυξη τους. Ωστόσο, 40 εκατομμύρια \$ επενδύθηκαν για την υλοποίηση του προαναφερόμενου γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Velika Ciglena. Οι επενδύσεις στην Κροατία χρηματοδοτήθηκαν κατά 100% από τον ιδιωτικό τομέα [(25)].

Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις επενδύσεις στην Κροατία από το 1995 έως το 2019

Πίνακας 43. Επενδύσεις στην χώρα της Κροατίας Πηγή: [(25)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	0	0	0	0	0
2000-2004	0	1	1	0	0
2005-2009	0	0,5	0,5	0	0
2010-2014	0,5	3	3	0,5	0
2015-2019	4	3	1	40	0

4.2.4.6 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Ουγγαρίας

Η Ουγγαρία είναι γνωστό πως διαθέτει μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό. Το 2019, περισσότερες από 900 γεωτρήσεις παρήγαγαν 90 εκατομμύρια m^3 γεωθερμικού ρευστού. Το μεγαλύτερο μέρος των θερμικών εφαρμογών αποτελείται από εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης, θέρμανση θερμοκηπίων και θερμά λουτρά.

Παράλληλα το 2018, εγκαινιάστηκε στην Tura ο πρώτος γεωθερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σταθμός είναι τεχνολογίας ORC και έχει εγκατεστημένη ισχύ 3.0 MWe. Το γεωθερμικό ρευστό το οποίο εκμεταλλεύεται βρίσκεται σε θερμοκρασία 125 °C και η παροχή του είναι περίπου 6.000 l/min.

Στην χώρα, προσεγγιστικά από το 1995 έως το 2019 επενδύθηκαν περίπου 14,05 εκατομμύρια \$ για την έρευνα γεωθερμικών ρευστών ενώ για την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων, συμπεριλαμβανόμενης των γεωτρήσεων, επενδύθηκαν 3,35 εκατομμύρια \$. Περίπου το 45% των επενδύσεων αυτών προήλθαν με την χρήση κρατικών κονδυλίων. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις επενδύσεις στην Ουγγαρία από το 1995 έως το 2019 [(26)].

Πίνακας 44. Επενδύσεις στην χώρα της Ουγγαρίας. Πηγή: [(26)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	0,25	0,10	-	-	60
2000-2004	0,30	1,15	-	-	20
2005-2009	3,70	2,80	-	-	30
2010-2014	3,80	4,80	-	-	35
2015-2019	6	5,50	-	-	40

4.2.4.7 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Νέας Ζηλανδίας

Στην Νέα Ζηλανδία, το 2019 είχε να επιδείξει πάνω από 1000 MWe εγκατεστημένης γεωθερμικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από γεωθερμικούς πόρους αντικατοπτρίζει περίπου το 18% της εθνικής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στις Α.Π.Ε. (περίπου το 80% του ενεργειακού μείγματος).

Στην χώρα σήμερα αξιοποιούνται περί τα 129 γεωθερμικά πεδία.

Η Νέα Ζηλανδία διανύει μία περίοδο ανάπτυξης και στις θερμικές χρήσεις της γεωθερμίας. Από το 2010μ έως το 2014 γίναν μεγάλες επενδύσεις στον τομέα της παραγωγής ενέργειας.

Υλοποιήθηκαν 4 σταθμοί, συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 314 MWe. Συγκεκριμένα αυτοί ήταν:

- Ο σταθμός Nga Awa Purna. Υγρού ατμού τριπλής εκτόνωσης και εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύς 140 MWe (2010)
- Ο σταθμός TOPP1, δυαδικού τύπου και εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύς 23 MWe (2013)
- Ο σταθμός Te Mihi, υγρού ατμού διπλής εκτόνωσης και εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύς 166 MWe (2014)
- Ο σταθμός Te hi o manī, δυαδικού τύπου και εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύς 25MWe (2018)

Από το 1995 έως το 2019, στην Νέα Ζηλανδία, προσεγγιστικά δαπανήθηκαν 196 εκατομμύρια \$ με σκοπό την εξερεύνηση και την έρευνα γεωθερμικών πεδίων. Αντίστοιχα, την ίδια χρονική περίοδο επενδύθηκαν 1.309 εκατομμύρια \$ για την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων, συμπεριλαμβάνοντας το αναγκαίο ποσό υλοποίησης γεωτρήσεων. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός πως από το 2015 έως το 2019 δεν υπήρξαν επενδύσεις στο κομμάτι της εξερεύνησης και της έρευνας, αντιθέτως επενδύθηκαν 60\$ για την ανάπτυξη των ήδη γνωστών γεωθερμικών πεδίων. Η Νέα Ζηλανδία στρέφει την προσοχή της σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή με την χρήση γεωθερμικών ρευστών, αυτό γίνεται φανερό και από τις επενδύσεις που γίνονται. Από το 1995 έως σήμερα επενδύθηκαν συνολικά 1,674 δις \$ με σκοπό την υλοποίηση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις επενδύσεις στην Νέα Ζηλανδία από το 1995 έως το 2019 [(27)].

Πίνακας 45. Επενδύσεις στην χώρα της Νέας Ζηλανδίας. Πηγή: [(27)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσια χρηματοδότησης (%)
1995-1999	5	36	-	143	30
2000-2004	15	48	-	95	80
2005-2009	105	577	-	690	58
2010-2014	71	588	18	691	39
2015-2019	0	60	0	55	0

4.2.4.8.Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Σουηδίας

Στην Σουηδία τα γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται αποκλειστικά από συστήματα χαμηλής ενθαλπίας και από συστήματα κανονικής γεωθερμίας. Μάλιστα περισσότερο από το 95% της εγκατεστημένης γεωθερμικής ισχύος το 2019 αποτελούσαν από αβαθή γεωθερμικά συστήματα με σκοπό την θέρμανση χώρου και θέρμανση ζεστού νερού χρήσης (περίπου 591.000 συστήματα).

Δεν αναπτύσσονται εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Σουηδία μέσω γεωθερμικών συστημάτων. Από επενδυτικής άποψης, από το 1995 έως σήμερα έχουν επενδυθεί 27 εκατομμύρια \$ με σκοπό την έρευνα και την αξιολόγηση των πεδίων. Από το ποσό αυτό, το 40% αποτελούσαν δημόσια κονδύλια [(28)].

4.2.4.9 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα του Μεξικού

Το Μεξικό αποτελεί μία χώρα με πλούσια γεωθερμική δραστηριότητα. Στην χώρα πραγματοποιείται παραγωγή ηλεκτρικής από το 1982 που εγκαινιάστηκε ο πρώτος σταθμός (Cerro Prieto). Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία στην χώρα, το 2019 ανερχόταν στις 1005,8 MWe. Οι σταθμοί εκμεταλλεύονται γεωθερμικά ρευστά από 5 πεδία σε ολόκληρη την χώρα. (Cerro Prieto, Los Azufres, Los Humeros, Las Tres Vírgenes, και Domo de San Pedro). Το 2016 εγκαινιάστηκε το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής στην περιοχή Domo de San Pedro συνολικής εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος 35,5 MWe και αποτελείται από τρεις μονάδες υγρού ατμού, μονής εκτόνωσης. Επίσης, το 2019 προστέθηκε μονάδα υγρού ατμού, μονής εκτόνωσης, εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος 26,5 MWe στο πεδίο Los Azures. Μία αντίστοιχη, προστέθηκε το 2016 Los Humeros, με την διαφορά ότι η μονάδα στο Los Humeros παρουσίαζε εγκατεστημένη ισχύ 26,6 MWe. Οι υπόλοιπες χρήσεις της γεωθερμίας βρίσκονται σε αρκετά πρώιμο επίπεδο λόγω της μεγάλης βαρύτητας που έχει δοθεί στην ηλεκτροπαραγωγή. Το 99,6% των θερμικών χρήσεων της γεωθερμίας στην χώρα αποδίδεται σε θερμά λουτρά. Συνολικά από το 1995 έως το 2019 στο Μεξικό επενδύθηκαν 155,18 εκατομμύρια \$ με σκοπό την έρευνα και εξερεύνηση γεωθερμικών πόρων. Αντίστοιχα, την ίδια περίοδο επενδύθηκε 1,378 δισεκατομμύριο \$ με σκοπό την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων. Συνολικά στην χώρα από το 1995 έως το 2015 επενδύθηκαν 1,526 δις \$ με σκοπό την υλοποίηση γεωθερμικών σταθμών. Μεγάλη εντύπωση προκαλεί το ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις επενδύσεις στο Μεξικό από το 1995 έως το 2019 [(29)].

Πίνακας 46. Επενδύσεις στην χώρα του Μεξικού. Πηγή: [(29)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Χρήσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	7,41	246,64	0	254,05	100
2000-2004	11,61	315,17	0	326,77	100
2005-2009	15,65	237,69	0	253,34	100
2010-2014	64,61	265,67	0	330,28	95
2015-2019	55,90	313,29	7,10	362,09	78

4.2.4.10 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Πολωνίας

Η Πολωνία δεν κάνει χρήση γεωθερμικών πόρων με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφού τα γεωθερμικά πεδία που βρίσκονται στην χώρα αποτελούνται 100% από πεδία χαμηλής ενθαλπίας. Από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει έντονη γεωθερμική δραστηριότητα όσον αφορά τις θερμικές χρήσεις (750,03 MWth το 2018). Η οικονομία του κράτους βρίσκεται σε ανάκαμψη μετά το 2010, αυτό γίνεται αντιληπτό και από τις επενδύσεις στον γεωθερμικό τομέα

Σημαντικές επενδύσεις σημειώνονται στο κράτος της Πολωνίας, τόσο για έρευνά και εξερεύνηση των γεωθερμικών πεδίων, όσο και για την δημιουργία παραγωγικών γεωτρήσεων και την υλοποίηση γεωθερμικών συστημάτων. Από το 1995 έως το 2019 επενδύθηκαν 123,1 εκατομμύρια \$ με σκοπό την έρευνα και εξερεύνηση γεωθερμικών πεδίων, ενώ για την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων και την δημιουργία παραγωγικών γεωτρήσεων επενδύθηκαν 86,26 εκατομμύρια \$. Όσον αφορά την έρευνα και εξερεύνηση από τα 123,1 εκατομμύρια \$ τα 102,2 επενδύθηκαν από το 2010 έως το 2019. Αντίστοιχα, όσον αφορά την ανάπτυξη των γεωθερμικών πεδίων από το συνολικό ποσό των 86,26, την ίδια χρονική περίοδο επενδύθηκαν τα 51,8\$. Ταυτόχρονα, την ίδια χρονική περίοδο επενδύθηκαν 613 εκατομμύρια \$ με σκοπό την θερμική χρήση. Οι επενδύσεις προήλθαν κυρίως από τον ιδιωτικό τομέα (75-80 %). Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στην Πολωνία από το 1995 έως το 2019 [(30)].

Πίνακας 47. Επενδύσεις στην χώρα της Πολωνίας. Πηγή: [(30)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Επενδύσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	5,6	8,10	40,8	-	95
2000-2004	0,3	11,36	37,91	-	95
2005-2009	15	15	100	-	20
2010-2014	64,5	19,3	313	-	20
2015-2019	37,7	32,5	300	-	25

4.2.4.11 Οικονομική προσέγγιση στις Η.Π.Α.

Οι Η.Π.Α. έχουν να επιδείξουν μεγάλη δραστηριότητα στον τομέα της γεωθερμίας, αποτελεί την πρώτη χώρα παγκοσμίως σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση γεωθερμίας. Για πρώτη φορά παράχθηκε ηλεκτρική ενέργεια με την χρήση γεωθερμικών ρευστών στις αρχές τις δεκαετίας του 1960, όταν εγκαινιάστηκε η πρώτη μονάδα του υγρού ατμού στο Geysers. Έως το 2019 στις Η.Π.Α. ήταν εγκατεστημένα 3,478 MWe ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμικές μονάδες. Από το 2015 έως το 2019 μάλιστα υλοποιήθηκαν ακόμη 5 επενδύσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας.

- Διάδικη μονάδα Don Cambell complex, με τίτλο Don Cambell phase 2, ισχύος 19MWe (2015)
- Διαδυκή μονάδα στο McGiness Hill, με τίτλο McGiness Hill phase 2, ισχύος 45MWe (2015)
- Διαδυκή μονάδα στο McGiness Hill, με τίτλο McGiness Hill phase 3, ισχύος 48MWe (2018)
- Διαδυκός μονάδα στην περιοχή Wabuska, με τίτλο Wabuska 3, ισχύος 3Mwe (2018)
- Διαδυκός σταθμός στην περιοχή Toungstn Mounten, με τίτλο Toungstn Mounten, ισχύος 27 MWe.

Το 2018, έγινε αναβάθμιση του δυαδικού σταθμού στο Lighting dock, με αποτέλεσμα να φτάσει τα 11MWe εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος.

Από το 2000 ως το 2019 προσεγγιστικά, επενδύθηκαν 1,823 δισεκατομμύρια \$ για εξερεύνηση και έρευνα γεωθερμικών πεδίων, ενώ κατά το ίδιο διάστημα επενδύθηκαν 1,299 εκατομμύρια \$ με σκοπό την ανάπτυξη των πεδίων αυτών. Επίσης οι επενδύσεις με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία την ίδια περίοδο, ανήλθαν από σε 1,423 δισεκατομμύρια \$. Το μεγαλύτερο μέρος της χρηματοδότησης προήλθε από τον ιδιωτικό τομέα. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στις Η.Π.Α. από το 2000 έως το 2019 [(31,32)].

Πίνακας 48. Επενδύσεις στις Η.Π.Α. Πηγή: [(32)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Επενδύσεις παραγωγής Ηλ. Ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
2000-2004	250	200	200	20
2005-2009	500	100	500	5
2010-2014	713	750	375	30
2015-2019	360,4	249	348	-

4.2.4.12 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Ελλάδας

Η Ελλάδα όπως έχει ήδη αναφερθεί παρουσιάζει ενδιαφέρον γεωθερμικό δυναμικό, ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος του παραμένει ανεκμετάλλευτο. Έως το 2019 στην Ελλάδα έχουν παρατηρηθεί 40 περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος, από τις οποίες οι 32 αποτελούν επιβεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία. Τα επιβεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στη Μήλο και στη Νίσυρο παραμένουν ανεκμετάλλευτα, τριάντα χρόνια με την παύση λειτουργίας του γεωθερμικού σταθμού παραγωγής ενέργειας στην Μήλο. Ταυτόχρονα, οι προσπάθειες εκμετάλλευσης πόρων μέσης ενθαλπίας δεν ολοκληρώθηκαν με επιτυχία.

Συνεπώς δεν παρατηρούνται μεγάλες επενδύσεις στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, από το 2010 έως το 2019 επενδύθηκαν προσεγγιστικά 2,664 εκατομμύρια \$ για την έρευνα και την εξερεύνηση γεωθερμικών πεδίων, ενώ 12,841 εκατομμύρια δολάρια \$ επενδύθηκαν για την ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των γεωτρήσεων. Την αντίστοιχη περίοδο, σημειώθηκαν επενδύσεις συνολικού ποσού 27,09 εκατομμυρίων \$ για την υλοποίηση μονάδων θερμικής εκμετάλλευσης της γεωθερμίας. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στην Ελλάδα από το 2010 έως το 2019 [(33)].

Πίνακας 49. Επενδύσεις στην Ελλάδα. Πηγή: [(33)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Επενδύσεις θερμικής εκμετάλλευσης	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
2010-2014	1,068	0,041	7,49	12,9
2015-2019	1,596	12,8	19,6	37

4.2.4.13 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Κένυα

Η Κένυα παρουσιάζει μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό. Το 2019 είχε εγκατεστημένα 865 MWe ηλεκτρικής ισχύος με την χρήση γεωθερμίας. Μάλιστα παρουσιάζει αρκετές επενδύσεις τα τελευταία χρόνια στον τομέα αυτόν. Από το 2015 έως το 2019 αύξησε το δυναμικό της κατά 218,2 MWe.

Στην αύξηση του δυναμικού συντέλεσε η δυαδική μονάδα Oropower4, ηλεκτρικής ισχύος 45 MWe και η μονάδα Olkaria V συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 173,2 MWe. Οι δύο αυτές μονάδες βρίσκονται στην περιοχή Olkaria.

Συνολικά στο ενεργειακό μείγμα της χώρας, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας αποτελεί περίπου το 29%. Ο μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στην περιοχή Olkaria έχει την δυνατότητα παραγωγής 698,7 MWe. Η πολιτική πορεία στην Κένυα, δίνει βάση στην ανάπτυξη γεωθερμικών έργων και έχει θέσει τον φιλόδοξο στόχο έως το 2030 να παράγονται στην χώρα 5,000 MWe. Παράλληλα, στην χώρα είναι εγκατεστημένα 18,5 MWth θερμικής ισχύος, με το μεγαλύτερο τους μέρος να αποδίδεται στις θερμές πηγές (8,7 MWth) και στην θέρμανση θερμοκηπίων (5,3 MWth). Εύλογα προκύπτει λοιπόν, πως σε αυτήν την χώρα υπάρχει μεγάλη επενδυτική δραστηριότητα. Από το 1995 έως το 2019 επενδύθηκαν συνολικά 75.825 εκατομμύρια \$ για έρευνα γεωθερμικών πεδίων και 1.509 εκατομμυρίων \$ με την ανάπτυξη των ήδη γνωστών γεωθερμικών πεδίων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ραγδαία ανάπτυξη αφού, από το σύνολο των επενδύσεων, την χρονική περίοδο από το 2010 έως το 2019 επενδύθηκαν 65,9 εκατομμύρια \$ για έρευνα γεωθερμικών πεδίων, και το ίδιο χρονικό διάστημα επενδύθηκαν 1.298 εκατομμύρια \$ για την ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων. Από το 2010 έως το 2019 επενδύθηκαν επίσης 1,714 δισεκατομμύρια \$ με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μεγάλος μέρος της χρηματοδότησης προήλθε από τον δημόσιο τομέα.

Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στην Κένυα από το 1995 έως το 2019 [(34)].

Πίνακας 50. Επενδύσεις στην χώρα της Κένυας Πηγή: [(34)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Επενδύσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	8,8	5	0	13,8	100
2000-2004	0,125	20	8	194	87
2005-2009	1	186	0	195	76
2010-2014	16,5	1.004	1,2	1.138	78,9
2015-2019	49,5	294	0,1	576	84

4.2.4.14 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Ιταλίας

Η Ιταλία παρουσιάζει μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό. Στην συγκεκριμένη χώρα παρατηρείται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία αλλά και θερμικές χρήσεις της γεωθερμίας. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται στην Τοσκάνη, στις δύο «ιστορικές» περιοχές Larderello και Travale, καθώς και στο όρος Αμιάτα. Από το 2014 έως το 2018 η Ιταλία αύξησε την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος μέσω γεωθερμίας με την δημιουργία δύο νέων μονάδων στο γεωθερμικό πεδίο του όρους Αμιάτα. Η μία ήταν η Gruppo Binario Bagnore 3, τύπου ORC και εγκατεστημένης ισχύος 1 MWe. Ενώ η άλλη ήταν η Bagnore 4, τύπου υγρού ατμού και εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος 40 MWe.

Οι θερμικές χρήσεις είναι ευρέως διαδεδομένη σε ολόκληρη την ιταλική επικράτεια. Ο μόνος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμίας στην Ιταλία είναι η Enel Green Power. Το 2018, η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς ήταν 915,5 Mwe. Από επενδυτικής άποψης, από το έτος 2010 έως το 2018, επενδύθηκαν προσεγγιστικά 103 εκατομμύρια \$ για έρευνα και εξερεύνηση γεωθερμικών πεδίων και 636 εκατομμύρια \$ για την ανάπτυξη ήδη γνωστών γεωθερμικών πεδίων. Το 100% των επενδύσεων προήλθε από τον ιδιωτικό τομέα. Η χρηματοδότηση των εργασιών αυτών προήλθε 100 % από ιδιωτικούς πόρους. Παρουσιάζεται στην συνέχεια ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στην Ιταλία από το 2010 έως το 2018 [(35)].

Πίνακας 51. Επενδύσεις στην χώρα της Ιταλίας. Πηγή: [(35)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Επενδύσεις παραγωγής Ηλ. Ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
2010-2014	56	420	521	0
2015-2018	47	216	257	0

4.2.4.15 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Ισλανδίας

Η Ισλανδία κάνει χρήση της γεωθερμικής ενέργειας τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για εφαρμογές θερμότητας. Το 90% της θέρμανσης κατοικιών στην χώρα επιτυγχάνεται με την χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, παρατηρείται αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από την γεωθερμία τις τελευταίες δύο δεκαετίες, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης από τον βιομηχανικό τομέα. Οι περισσότεροι σταθμοί παραγωγής ενέργειας υλοποιήθηκαν πριν το 2010.

Ωστόσο, το 2017 υλοποιήθηκε ο γεωθερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή Theistareykir. Ο συγκεκριμένος σταθμός αποτελείται από δύο μονάδες υγρού ατμού απλής εκτόνωσης, εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος 45 MWe η κάθε μία, για ένα σύνολο 90MWe. Εντύπωση προκαλεί το ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό χρηματοδότησης που προήλθε από δημόσια κονδύλια (100% από το 1995 έως το 2009).

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στην Ισλανδία την χρονική περίοδο 1995-2019 [(36)].

Πίνακας 52. Επενδύσεις στην χώρα της Ισλανδίας Πηγή: [(36)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Θερμικές χρήσεις (\$M)	Επενδύσεις παραγωγής Ηλ. ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
1995-1999	13	76	20	175	100
2000-2004	37	72	10	80	100
2005-2009	58	881	37	985	100
2010-2014	20	40	10	260	75
2015-2019	50	175	35	220	85

4.2.4.16 Οικονομική επισκόπηση στην χώρα της Ινδονησίας

Στην Ινδονησία παρουσιάζεται ραγδαία αύξηση στην χρήση της γεωθερμικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια. Ενδεικτικά, το 2019 το σύνολο της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος ήταν 1.948 MWe. Είναι γεγονός πως η κυβέρνηση της Ινδονησίας προωθεί την χρήση της γεωθερμίας μέσω της νομοθεσίας αποσκοπώντας στο να προσελκύσει επενδυτές. Πράγματι, συντελεστής της ραγδαίας ανάπτυξης της γεωθερμικής ενέργειας της χώρας αποτέλεσε ο προσδιορισμός νέας τιμής για το feed in tariff της γεωθερμίας στα 0,105 \$/kw.

Την χρονική περίοδο από το 2015 έως το 2019 παρατηρήθηκε πλούσια επιχειρηματική δραστηριότητα. Η μονάδα υγρού ατμού, απλής εκτόνωσης στο Lahendong επεκτάθηκε και έφτασε την εγκατεστημένη της ισχύ στα 120 MWe. Υλοποιήθηκε ο γεωθερμικός σταθμός στην περιοχή Sarulla, υγρού ατμού, απλής εκτόνωσης, συνολικής εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος 330 MWe. Παράλληλα κατασκευάζονταν ακόμα τέσσερις σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές Mwaralbuh (80 MWe), Sorik Marapi (45 MWe), Lumut Balai (55 MWe), Sokori (5 MWe). Μεγάλο ενδιαφέρον εκδηλώθηκε και για την έρευνα και επιβεβαίωση ύπαρξης γεωθερμικών πεδίων. Ιδιαίτερα την χρονική περίοδο από το 2015 έως το 2019, 3,083 δισεκατομμύρια \$ επενδύθηκαν για αυτόν τον σκοπό. Ταυτόχρονα, την ίδια χρονική περίοδο επενδύθηκαν 2,523 δισεκατομμύρια ευρώ με σκοπό την υλοποίηση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ο πίνακας με τις ενδεικτικές επενδύσεις στην Ινδονησία την χρονική περίοδο 1995-2019 [(37)]

Πίνακας 53. Επενδύσεις στην χώρα της Ινδονησίας. Πηγή: [(37)]

Χρονική Περίοδος	Έρευνα, εξερεύνηση και επιβεβαίωση πεδίου (M\$)	Ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων (M\$)	Επενδύσεις παραγωγής Ηλ. Ενέργειας	Ποσοστό δημόσιας χρηματοδότησης (%)
2005-2009	60	501	659	0
2010-2014	69	700-800	400-450	2
2015-2019	70	3083	2523	2

4.2.5 Οικονομικό-κοινωνική συνεισφορά

Από κοινωνικής άποψης, η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας αντιμετωπίζει το πρόβλημα πως λαμβάνει μικρότερη κοινωνική αποδοχή συγκριτικά με άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργεια [(38)]. Ορισμένοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή της γεωθερμίας είναι η περιορισμένη γνώση του κοινού για την τεχνολογία, η δυσμενής κάλυψη από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης ή ο φόβος πιθανής επίδρασης στην θερμοκρασία των ρευστών [(39)]

Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη του γεωθερμικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας συμβάλει στη βελτίωση του τοπικού βιοτικού επιπέδου, παρέχοντας τοπικές πηγές ενέργειας. Εφόσον βασίζεται σε εγχώριους πόρους, μειώνεται η ποσότητα εισαγόμενης ενέργειας από άλλες χώρες και έτσι προωθείται η κυκλική οικονομία. Συνεπώς διατηρείται μεγαλύτερο οικονομικό κεφάλαιο εντός της χώρας [(40)]. Κατά την ανάπτυξη ενός γεωθερμικού έργου γίνονται κάποιες δαπάνες για υπηρεσίες, εξοπλισμό καθώς για την πληρωμή φόρων. Αυτές οι δαπάνες βοηθούν στη δημιουργία πρόσθετων έμμεσων θέσεων εργασίας, περισσότερης οικονομικής δραστηριότητας και αύξησης των φορολογικών εσόδων [(41)].

Ταυτόχρονα, οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζονται μεγάλο εργατικό δυναμικό, δημιουργώντας έτσι πρόσθετες θέσεις εργασίας [(42)].

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την IGA (International Geothermal Association), για την χρονική περίοδο 2015-2019, εκτιμήθηκε πως 34.500 άτομα (πανεπιστημιακής κατάρτισης) εργάζονται στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας. Ο διαχωρισμός ανά ήπειρο ήταν ο παρακάτω :

- 5,1% του ποσοστού εργαζόταν στην Αφρική
- 11,4% του ποσοστού εργαζόταν στην Αμερική
- 44,0% του ποσοστού εργαζόταν στην Ασία
- 33,1% του ποσοστού εργαζόταν στην Ευρώπη
- 6,4% του ποσοστού εργαζόταν στην Ωκεανία [(20)].

Βιβλιογραφία 4^{ου} κεφαλαίου

1. Glassley W.E., (2015). Geothermal Energy. Renewable Energy and the Environment, 2nd edition.
2. Soltani M., Kashkooli F., Souri M., Rafiei B., Jabarifar M., Gharali K., Nathawani J., (2021). Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [online]. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
- 3 Yuan Y., Xu T., Jiang Z., Feng B., (2021). Prospects of power generation from the deep fractured geothermal reservoir using a novel vertical well system in the Yangbajing geothermal field, China. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
4. Casasso A., Pestotnik S., Rajverb D., Ježb J., Prestorb J, Sethia R., (2021). Assessment and mapping of the closed-loop shallow geothermal potential in Cerkno (Slovenia). Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
5. Tsagkarakis K., (2019). Shallow geothermal energy under the microscope: Social, economic, and institutional aspects. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
4. IRENA (2021). Renewable Power Generation Costs in 2020. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
5. MIT (2006). The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, [online]. Διαθέσιμο από: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2006/11/MITEI-The-Future-of-Geothermal-Energy.pdf>
6. Ramos-Escudero A., Gil-García C., Socorro Garcia-Gscales M., Morina Garcia A., (2021). Energy, economic and environmental GIS-based analysis of shallow geothermal potential in urban areas—A Spanish case example. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
7. Hutter G., (2020). Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report Διαθέσιμο από : www.sciencedirect.com
8. Huddleston–Holmes C., Hayward J.A., (2011). The potential of geothermal energy, [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.researchgate.net/publication/228591316>
9. IRENA 2017. Geothermal Power - Technology Brief. Διαθέσιμο από: www.irena.org
11. Anderson A., Rezaei B., (2019). Geothermal technology: Trends and potential role in a sustainable future. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
12. Deloitte. Geothermal risk mitigation strategies report, vol. 28 (2008)

13. Lukawksi M., Anderson B., Augustine C., Capuano Jr E., Beckers F., Livesay B., Tester J., (2014). Cost analysis of oil, gas, and geothermal well drilling. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
14. Stefansson V., (2001). Investment cost for geothermal power plants. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
15. Soltani M., Kashkooli F., Souri M., Rafiei B., Jabarifar M., Gharali K., Nathawani J., (2021). Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [online]. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
16. Salas J., (2014). Fleasibility Study: Cost estimation for geothermal development. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
17. McGowin C., (2010). Engineering and Economic Evaluation of Geothermal Power Plants
18. Bombarda P., Macchi E., (2010). Optimum cycles for geothermal power plants. Διαθέσιμο από: <https://www.semanticscholar.org/>
19. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Διαθέσιμο από: <https://www.nrel.gov/>
20. Lund J., Toth A., (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
21. Chiodi A. L., Filipovich R., (2020). Geothermal Country Update of Argentina: 2015-2020. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
22. Beardsmore G., Davidson D., Payne D., Pujol M., Ludovic R., (2020). Australia — Country Update. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
23. Hoes H., Dupont N., Lagrou D., Peticlerc E., (2020). Status and Development on Geothermal Energy Use in Belgium, a New Momentum for the Growth of Deep Geothermal Energy Production. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
24. Boissavy C., Schmidlé-Bloch V., Pomart A., Lahlou R., (2020). France Country Update. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
25. Kolbah S., Živković S., Škrlec M., Tumara D., (2020). Croatia Country Update 2020 - Finally the start of power production. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
26. Toth A., (2020). Country Update for Hungary. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/

27. Daysh S., Carey B., Doorman P., Luketina K., White B., Zarrouk S., (2020). 2015 -2020 New Zealand Country Update. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
28. Gehlin S., Andersson O., Rosberg J., (2020). Country Update for Sweden 2020. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
29. Gutiérrez-Negrín L., Felix I., Romo-Jones J., Quinjano-Leon J., (2020). Geothermal energy in Mexico: update and perspectives
30. B. Kepinska (2020). Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2015 – 2019. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
31. Lund J., Sifford A., Hamm S., Anderson A., (2019). The United States of America Direct Utilization Update 2019. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
32. Robertson-Tait A., Harvey W., Hamn S., Boyd L., (2020). The United States of America Country Update 2020 – Power Generation. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
33. Papachristou M., Dalampakis P., Arvanitis A., Mendrinou D., Andristos N., (2020). Geothermal developments in Greece – Country update 2015-2020. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
34. Omenda P., Mangi P., Ofwona C., Mwangi M., (2020). Country Update Report for Kenya 2015-2019. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
35. Serra D., Cei M., Lupi M., (2020). Geothermal Energy Use, Country Update for Italy (2015-2019). Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
36. Ragnarsson A., Steingrímsson B., Thorhallsson S., (2020). Geothermal Development in Iceland 2015-2019. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
37. Darma S., Imani Y., Shidqi N., Riyanto D., Daud Y., (2020). Country Update: The Fast Growth of Geothermal Energy Development in Indonesia. Διαθέσιμο από: www.geothermal-energy.org/
38. Popovski k. (2018). Political and public acceptance of geothermal energy, Lectures on the sustainable use and operating policy for geothermal resources. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com
39. Dowd A.M., Boughen N., Ashworth P., Carr-Cornish S., (2019). Geothermal technology in Australia: Investigating social acceptance. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

40. Acheing Ogola P., Davidsdottir B., Fridleifsson (2011). Lighting villages at the end of the line with geothermal energy in eastern Baringo lowlands, Kenya – Steps towards reaching the millennium development goals (MDGs). Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

41. Alfaro P., Siefeld G., Campen B., Dobson P., Fuentes V., Reed A., Palma-Behnke R., Morata D., (2015). Geothermal Barriers, policies and economics in Chile - Lessons for the Andes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp 1390 -1401. Διαθέσιμο από: www.sciencedirect.com

42. Kiraison H.S., (2017). Socio-economic Aspects of Geothermal Development – A case study of Olkaria Geothermal Project in Kenya. Exploration and Development of Geothermal Resources, November 9-29, Kenya.

5. Συμπεράσματα

Συμπεραίνεται ότι η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να αποτελέσει βασική προϋπόθεση για την διασφάλιση ενός ασφαλούς και βιώσιμου ενεργειακού μέλλοντος στην Ευρώπη, καθώς παρατηρούνται μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης όσον αφορά τα γεωθερμικά συστήματα. Ανοδική φαίνεται να είναι η πορεία της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως όσον αφορά τις θερμικές χρήσεις αλλά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, συμπεραίνεται πως μεγάλο πλεονέκτημα της κανονικής γεωθερμίας είναι το γεγονός πως μπορεί να γίνει χρήση της σε όλα τα σημεία του πλανήτη και πως παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλά λειτουργικά κοστολόγια. Από την άλλη πλευρά, σήμερα, τα συστήματα αξιοποίησης της παρουσιάζουν αυξημένο αρχικό κόστος συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για θέρμανση, ψύξη και παροχή ζεστού νερού χρήσης.

Επίσης, σημαντικό στοιχείο που εξήχθη είναι πως τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και γενικώς γίνεται μία προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος μέσω παγκόσμιων συμφωνιών και κρατικών νομοθεσιών. Αυτή η προσπάθεια ευνοεί την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, άρα και της γεωθερμικής ενέργειας.

Ωστόσο, παρατηρείται πως η ανάπτυξη της χρήσης των γεωθερμικών συστημάτων δεν αναπτύσσεται με τον ίδιο ρυθμό παγκοσμίως. Κάποιες χώρες όπως η Κένυα, οι Φιλιππίνες και οι Η.Π.Α. παρουσιάζουν ραγδαία ανάπτυξη, ενώ άλλες χώρες όπως η Σουηδία, η Ουγγαρία και η Πολωνία παρουσιάζουν μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης.

Η Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης των γεωθερμικών χρήσεων, εφόσον κατέχει πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό, ωστόσο η ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών αργούν χαρακτηριστικά. Γεγονός είναι πως εντός της χώρας δεν γίνεται χρήση μεσαίων και υψηλών γεωθερμικών ρευστών και πως οι επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα παραμένουν σε χαμηλό επίπεδο.

Από οικονομικής άποψης, διαπιστώθηκε πως όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οικονομική αποδοτικότητα των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άρρηκτα με την θερμοκρασία που βρίσκεται το γεωθερμικό ρευστό που χρησιμοποιείται. Για υψηλότερες θερμοκρασίες προτιμώνται παγκοσμίως οι σταθμοί παραγωγής υγρού ή ξηρού ατμού. Αντίστοιχα για σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες ρευστών Όπου είναι εφικτή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προτιμώνται οι δυαδικοί κύκλοι.

Συνολικά, από το 2015 έως το 2019 επενδύθηκαν περίπου 22,262 δισεκατομμύρια \$ στην γεωθερμική ενέργεια, τόσο με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (64%) όσο και με σκοπό την αξιοποίηση μέσω θερμικών χρήσεων (36%). Οι επενδύσεις παρουσιάζονται ανομοιόμορφα κατανεμημένες στον παγκόσμιο χάρτη. Χώρες όπως η Ελλάδα και το Βέλγιο παρουσιάζουν πολύ χαμηλά επίπεδα επενδύσεων, αντίθετα χώρες όπως η Ινδονησία και η Κένυα παρουσιάζουν δισεκατομμύρια \$ σε επενδύσεις την τελευταία δεκαετία. Συμπεραίνεται πως παγκοσμίως το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηματοδοτήσεων προέρχεται από ιδιωτικά

κεφάλαια τόσο για έρευνα και εξερεύνηση πιθανών γεωθερμικών ρευστών όσο και για την υλοποίηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας.

Ταυτόχρονα, από κοινωνικής άποψης, η χρήση της γεωθερμίας δημιουργεί πρόσθετες άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας αυξάνοντας το βιοτικό επίπεδο της κοινωνίας.

Από νομικής απόψεως, συμπεραίνεται πως οι περισσότερες χώρες που εξετάστηκαν ορίζουν τους γεωθερμικούς πόρους ως ιδιοκτησία του κράτους. Εξαιρέση αποτελεί η χώρα του Καναδά που ορίζει κάτοχο των γεωθερμικών πόρων την βασίλισσα του κράτους και η Λετονία που ορίζει ως ιδιοκτήτη των γεωθερμικών πόρων τον κάτοχο της γης που βρίσκεται πάνω από τα γεωθερμικά ρευστά. Σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί συνήθης πρακτική η έκδοση αδειών για την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση των γεωθερμικών αυτών ρευστών. Οι συγκεκριμένες άδειες δεν παρουσιάζουν κάποια παγκόσμια μορφή τυποποίησης, αντίθετα το κάθε κράτος πράττει αυτοβούλως ορίζοντας αυτόνομα τις διαδικασίες έκδοσης αδειών και τον μέγιστο χρόνο ισχύς τους. Επίσης παρατηρείται η έλλειψη ενός κοινού προτύπου εγκατάστασης συστημάτων κανονικής γεωθερμίας, το οποίο θα διευκόλυνε τις διαδικασίες και θα αύξανε την χρήση των συστημάτων αυτών. Στην συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας με τα κύρια νομοθετικά πλαίσια σε παγκόσμιο επίπεδο.

Πίνακας 54. Συγκεντρωτικός πίνακας βασικών νομοθεσιών γεωθερμίας.

Κράτος	Κύρια νομοθετικά πλαίσια	Κύρια Χαρακτηριστικά
Γαλλία	Εθνικός κώδικας εξόρυξης Διάταγμα n° 74-498 του 1978	Διαχωρισμός κατηγοριών γεωθερμικών ρευστών σε ρευστά υψηλής θερμοκρασίας (>150°C) και ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας (<150°C). Μέγιστη διάρκεια άδειας εξερεύνησης γεωθερμικών ρευστών υψηλής θερμοκρασίας έως 5 χρόνια και άδειας εκμετάλλευσης έως 50. Μέγιστη διάρκεια άδειας εξερεύνησης γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας έως 3 χρόνια και άδειας εκμετάλλευσης έως 30.
Σερβία	ΥΑ n. 2015-15 της 8/1/2015 Νόμος περί Μεταλλευτικών και Γεωλογικών Εξερευνήσεων 101/2015	Απαλλαγή διαδικασίας αδειοδότησης για κοιτάσματα βάθους >10m και <200 m με εγκατεστημένη ισχύ <500 Kwt . Διαχωρισμός κατηγοριών γεωθερμικών ρευστών σε: υποθερμικά (>30°C) Χαμηλής ενθαλπίας (>30°C και <100°C) Μέσης/υψηλής ενθαλπίας (>100°C). Απαλλαγή διαδικασίας αδειοδότησης για συστήματα αβαθούς γεωθερμίας εγκ. Ισχύς > 1 MWt.

Σλοβενία	Πράξη εξόρυξης 14/2014	Έκδοση άδειας εξερεύνησης και εκμετάλλευσης γεωθερμικών ρευστών με μέγιστη διάρκεια τα 5 έτη. Απαλλαγή από την αδειοδότηση τα συστήματα κανονικής γεωθερμίας που δεν υπερβαίνουν τα 300m.
Σουηδία	Νόμος 1998:899 Σουηδικός κώδικας δόμησης Πιστοποίηση ποιότητας 'PMark'	Έκδοση γεωθερμικής άδειας από το τοπικό συμβούλιο Περιορισμός μέγιστης ισχύς και μέγιστης χρήσης ανά τετραγωνικό το έτος ανάλογα με την γεωγραφική θέση. Διασφάλιση της ποιότητας των εναλλακτών που χρησιμοποιούνται.
Τουρκία	Νόμος 5685 περί γεωθερμικών πόρων και μεταλλικού νερού	Έκδοση άδειας εξερεύνησης διάρκειας 3 ετών) με δυνατότητα παράτασης ενός έτους) και στην συνέχεια άδειας εκμετάλλευσης διάρκειας 30 ετών (με δυνατότητα παράτασης 10 ετών).
Κροατία	Πράξη Εξόρυξης του 2009 Πράξη για το νερό του 2009	Άδεια παραχώρησης γεωθερμικών ρευστών με σκοπό την παραγωγή ηλ. ενέργειας μέγιστης διάρκειας 40 έτη. Άδεια παραχώρησης γεωθερμικών ρευστών με σκοπό όλες τις χρήσεις, εκτός της παραγωγής ηλ. ενέργειας μέγιστης διάρκειας 40 έτη.
Ελλάδα	Νόμος 4602/2019 (ΦΕΚ 45/Α/9-3-2019)	Κατηγοριοποίηση πεδίων σε πεδία εθνικού και τοπικού ενδιαφέροντος. Μίσθωση πεδίου εθνικού ενδιαφέροντος μέχρι 5 έτη (με την δυνατότητα παράτασης δύο επιπλέον ετών) για έρευνα και μέχρι 30 έτη (με την δυνατότητα παράτασης 20 επιπλέον ετών) για εκμετάλλευση. Μίσθωση πεδίου τοπικού ενδιαφέροντος μέχρι 3 έτη (με δυνατότητα παράτασης ενός έτους) για έρευνα και μέχρι 30 έτη (με δυνατότητα παράτασης 20 ετών) για εκμετάλλευση.
Κύπρος	Νόμος Περί Προώθησης και Ενθάρρυνσης της Χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (v.112/2013)	Εισαγωγή προαιρετικού προγράμματος πιστοποίησης για τους εγκαταστάτες κανονικής γεωθερμίας.
Ιταλία	Διάταγμα 28/2011	Διαχωρισμός κατηγοριών γεωθερμικών ρευστών σε ρευστά υψηλής θερμοκρασίας (>150°C), ρευστά μέσης ενθαλπίας(>90°C και <150°C) και ρευστά χαμηλής ενθαλπίας (<90°C).

		Έκδοση άδειας εξερεύνησης μέγιστης διάρκειας 5 ετών και άδειας εκμετάλλευσης μέγιστης διάρκειας 30 ετών.
Λετονία	Νόμος για τα υπόγεια ύδατα	Ιδιοκτήτης των γεωθερμικών πόρων ορίζεται ο ιδιοκτήτης της γης.
Πορτογαλία	Νόμος 87/90 σχετικά με την έρευνα και την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων	Ορισμός άδειας για έρευνα ή εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών μέσω δημοσίου διαγωνισμού και υποχρεωτική δημοσίευση σε 3 εγχώριες εφημερίδες.
Νέα Ζηλανδία	Νόμος για την διαχείριση των πόρων του 1991	Ορισμός του γεωθερμικού πόρου ως ρευστό θερμοκρασίας τουλάχιστον 30°C. Πλήρης απουσία νομοθετικού πλαισίου συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.
Καναδάς	Πράξη περί γεωθερμικών πόρων του 1996	Ορισμός γεωθερμικών πόρων ως περιουσία της βασίλισσας του Καναδά. Ορισμός του γεωθερμικού πόρου ως ρευστό θερμοκρασίας τουλάχιστον 80°C.
Κίνα	Νόμος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του 2005	Απουσία συγκεκριμένου κεφαλαίου που να αναφέρεται ειδικά στην γεωθερμική ενέργεια.
Ινδονησία	Νόμος 21 του 2014 σχετικά με την γεωθερμία	Ορισμός αδειοδότησης μέγιστης ισχύος τα 37 έτη με δυνατότητα παράτασης για ακόμη 20 έτη.
	Π.Δ. 76/2000 σχετικά με τις διεργασίες παραγωγής ενέργειας από γεωθερμία	Ορισμός της διαδικασίας δημοσίου διαγωνισμού για την κατοχύρωση των δικαιωμάτων χρήσης γεωθερμικών πόρων.
Φιλιππίνες	Πράξη 9513 περί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του 2008	Ορισμός γεωθερμικών ρευστών ως ορυκτούς πόρους. Επιτρέπει την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων σε ξένες εταιρείες.
	Πράξη για την προώθηση και την ανάπτυξη των γεωθερμικών πόρων ν. 1442	Ορισμός των διαδικασιών παραχώρησης των γεωθερμικών ρευστών και ταυτόχρονα ορίζεται ως μέγιστη αμοιβή του αναδόχου το (40%) των κερδών που προκύπτουν από την αξιοποίηση γεωθερμικών πόρων.

Κένυα

Πράξη 12 περί γεωθερμικών πόρων
του 1982

Ορισμός της διαδικασίας
αδειοδότησης για τα γεωθερμικά
ρευστά που δεν έχουν ήδη
κατοχυρωθεί. Μέγιστη διάρκεια
αδειών είναι τα 30 έτη με δυνατότητα
παράτασης για 5 ακόμη έτη.
