



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΝΘΟΥΛΑΣ Κ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

Επιβλέπων: κ. Καραβίτης Χρίστος

Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»
ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
«ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΝΘΟΥΛΑΣ Κ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

Επιβλέπων: κ. Καραβίτης Χρίστος

Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την2012

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Αθήνα, 2012

(Υπογραφή)

.....
Ανθούλα Κ. Οικονόμου

Κάτοχος Διεπιστημονικού – Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
Στην Επιστημονική Περιοχή: Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων με
ειδίκευση : Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος

© 2012

– All rights reserved

Περίληψη

Η ενεργειακή κρίση έχει γίνει όλο και περισσότερο έκδηλη σε κάθε τμήμα της καθημερινής μας ζωής, επηρεάζοντας την σε σημαντικό βαθμό. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας φαίνεται να αποτελούν τη λύση του προβλήματος καθώς βαθμιαία επεκτείνονται όλο και περισσότερο στο χώρο της ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του φαινομένου της γεωθερμίας και της θέσης της ανάμεσα στις υπόλοιπες μορφές Α.Π.Ε. Παρουσιάζεται το σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και την Ε.Ε. και η κατηγοριοποίηση των χρήσεων της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών, σε άμεσες χρήσεις χαμηλής ενθαλπίας και σε ηλεκτρικές χρήσεις υψηλής ενθαλπίας.

Γίνεται αναφορά στο εθνικό νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την ανάπτυξη των γεωθερμικών έργων, αλλά και στη διαδικασία που απαιτείται για την υλοποίηση των έργων αυτών με τα αντίστοιχα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα.

Τέλος, επιλέγεται ένα έργο από κάποιες τεχνολογίες Α.Π.Ε., όπως τα αιολικά, φωτοβολταϊκά, ηλιοθερμικά, ΜΥΗΣ και γεωθερμία, το οποίο διαθέτει τα μέσα ενεργειακά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας που ανήκει στην Ελληνική Επικράτεια, με σκοπό τον προσδιορισμό της οικονομικής αποδοτικότητας των έργων αυτών μέσω της χρήσης των κάτωθι οικονομικών δεικτών: καθαρά παρούσα αξία, εσωτερικός βαθμός απόδοσης, περίοδος αποπληρωμής των επενδύσεων, απόδοση της επένδυσης και λόγος οφέλους-κόστους.

Λέξεις Κλειδιά

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, γεωθερμία, νομοθετικό πλαίσιο

Abstract

The energy crisis has become increasingly evident in every part of our daily life, affecting significantly. Renewable energy sources seem to be the solution of the problem and gradually expand more and more in the energy sector.

The purpose of this study is to analyze the phenomenon of geothermal energy and its position among other forms of RES. Presents the current status of use of geothermal energy in Greece and the EU and categorizing the uses of geothermal energy depending on the temperature of the fluids in direct uses low enthalpy and electrical uses high enthalpy.

Reference is made to the national legislative framework for the development of geothermal projects, but also in the process required for the implementation of such projects with their respective advantages and disadvantages.

Finally, a project selected from some RES technologies such as wind, photovoltaic, small hydroelectric, solar thermal and geothermal energy, which has the characteristics in energy technology belonging to Greek territory, in order to determine the economic viability of these projects using the following financial ratios: net present value, internal rate of return, payback period on investment, return on investment and benefit-cost ratio.

Key Words

Renewable Energy Sources (RES), geothermal energy, legislative framework

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν και με βοήθησαν για την πραγματοποίηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	3
2.1 Γενικά.....	3
2.2 Οι κύριες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	5
2.2.1 Η αιολική ενέργεια.....	5
2.2.2 Η ηλιακή ενέργεια.....	5
2.2.3 Η υδροηλεκτρική ενέργεια	6
2.2.4 Η γεωθερμική ενέργεια	7
2.2.5 Η ενέργεια από βιομάζα	7
2.2.6 Θαλάσσιο δυναμικό	9
2.3 Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	9
2.4 Πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε.	10
2.5 Α.Π.Ε. στην Ελλάδα – παρούσα κατάσταση.....	11
2.6 Η κατάσταση των ενεργειακών επενδύσεων στην Ευρώπη το 2011	13
2.7 Ενεργειακό μείγμα ευρωπαϊκής ένωσης 2000 και 2011	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	18
3.1 Γεωθερμική ενέργεια	18
3.2 Σύντομο ιστορικό της γεωθερμίας.....	19
3.3 Σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμίας.....	24
3.4 Γεωθερμικά συστήματα	26
3.5 Ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων	30
3.6 Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας.....	34
3.6.1 Άμεσες χρήσεις.....	35
3.6.2 Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας.....	39
3.6.2.1. Τηλεθέρμανση	39
3.6.2.2 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού	41
3.6.2.3 Θέρμανση θερμοκηπίων.....	42
3.6.2.4 Ιχθυοκαλλιέργειες	43
3.6.2.5 Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών και άλλες χρήσεις.....	44
3.6.2.6 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας.....	46
3.6.3 Γεωθερμία μέσης και υψηλής ενθαλπίας	48
3.6.3.1 Κύκλος απευθείας χρήσης του ατμού	49

3.6.3.2 Κύκλος εκτόνωσης διαφασικού ρευστού	50
3.6.3.3 Δυαδικός κύκλος.....	52
3.6.3.4 Συνδυασμένος κύκλος ατμού και δυαδικού συστήματος.....	54
3.6.3.5 Κύκλος εκτόνωσης της συνολικής ροής.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ

Ε.Ε.	56
4.1 Ελλάδα	56
4.1.1 Δυνατότητες και προοπτικές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα	57
4.2 Ισπανία	60
4.3 Πορτογαλία.....	61
4.4 Γαλλία	63
4.5 Γερμανία.....	63
4.6 Σλοβακία	64
4.7 Ουγγαρία	65
4.8 Βουλγαρία	66
4.9 Τουρκία	67
4.10 Αυστρία.....	67
4.11 Ισλανδία	68
4.12 Παγκόσμια γεωθερμική παραγωγή ενέργειας	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΘΝΙΚΟ ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ- ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....

73	73
5.1 Νομικό Πλαίσιο γεωθερμίας στην Ελλάδα	73
5.2 Διαδικασία ανάπτυξης γεωθερμικών έργων.....	79
5.2.1 Αναγνώριση και διερεύνηση	79
5.2.2 Διερευνητική γεώτρηση	80
5.2.3 Μελέτη σκοπιμότητας.....	82
5.2.4. Ανάπτυξη.....	84
5.2.4.1 Παραγωγική γεώτρηση.....	84
5.2.4.2 Σχεδίαση του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.....	85
5.2.4.3 Κατασκευή και εκκίνηση λειτουργίας.....	85
5.3 Πλεονεκτήματα και προβλήματα της γεωθερμικής ενέργειας	86
5.3.1 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας	86
5.3.2 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης	89

5.3.2.1 Αποθέσεις μετάλλων	90
5.3.2.2 Υδρολογικές αλλαγές	90
5.3.2.3 Διάβρωση	90
5.3.2.4 Ρύπανση.....	91
5.3.2.5 Επανέγχυση	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΡΓΩΝ Α.Π.Ε.	94
6.2 Το εξωτερικό κόστος της ενέργειας.....	95
6.3 Α.Π.Ε. και κόστος παραγωγής	95
6.4 Διαμόρφωση κόστους παραγωγής	96
6.5 Κόστος εγκατάστασης σταθμού ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια	97
6.6 Ορισμός δείγματος.....	98
6.7 Αξιολόγηση επενδύσεων.....	105
6.8 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης	106
6.8.1. Η Καθαρά Παρούσα Αξία	106
6.8.2 Εσωτερικό βαθμός απόδοσης έργων Α.Π.Ε.	107
6.8.3. Περίοδος αποπληρωμής έργων Α.Π.Ε.	109
6.8.4 Απόδοση της επένδυσης.....	109
6.8.5 Λόγος οφέλους-κόστους.....	110
6.9 Αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης για γεωθερμία	110
6.10 Αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης λοιπών έργων Α.Π.Ε.	112
6.11 Συγκριτική αξιολόγηση οικονομικής αποδοτικότητας έργων Α.Π.Ε.	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:	127
Απαιτούμενες άδειες και εγκρίσεις για την ανάπτυξη γεωθερμικών έργων	127

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ:

Σχήμα 2.1: Μερίδιο νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά τεχνολογία στην Ε.Ε. (2011)	15
Σχήμα 2.2: Καθαρή εγκαταστημένη ισχύ ενεργειακών επενδύσεων ανά τεχνολογία στην Ε.Ε. την χρονική περίοδο 2000-2011 (GW).....	15
Σχήμα 2.3: Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σε watt ανά πληθυσμό χώρας.....	17
Σχήμα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος.....	28
Σχήμα 3.2: Πρότυπο (μοντέλο) ενός γεωθερμικού συστήματος.....	29
Σχήμα 3.3: Μορφές γεωθερμικής ενέργειας κατά σειρά ενδιαφέροντος χρήσεων σήμερα και προοπτικής στο εγγύς μέλος, από αριστερά προς τα δεξιά.....	30
Σχήμα 3.4: Γραφική παράσταση που δείχνει τις διάφορες κατηγορίες των γεωθερμικών πόρων.....	33
Σχήμα 3.5: Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών.....	35
Σχήμα 3.6: Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά, (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση.....	38
Σχήμα 3.7: Το τροποποιημένο διάγραμμα Lindal.....	39
Σχήμα 3.8: Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας- άμεση θέρμανση χώρων.....	40
Σχήμα 3.9: Τηλεθέρμανση	40
Σχήμα 3.10: Συστήματα θέρμανσης σε γεωθερμικά θερμοκήπια.....	43
Σχήμα 3.11: Εφαρμογές θέρμανσης ιχθυοκαλλιεργειών στην Ευρώπη.....	44
Σχήμα 3.12: Διαδικασία ανάκτησης διοξειδίου του άνθρακα.....	45
Σχήμα 3.13: Γενική αρχή τη αντλίας θερμότητας.....	47
Σχήμα 3.14: Κατανομή τύπων γεωθερμικών μονάδων το 2004.....	49
Σχήμα 3.15: Σκαρίφημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρό ατμό.....	50
Σχήμα 3.16: Σκαρίφημα παραγωγής ατμού (και εν συνεχεία ηλεκτρισμού) με εκτόνωση διαφασικού γεωθερμικού ρευστού.....	51
Σχήμα 3.17: Σκαρίφημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο του δυαδικού κύκλου	52
Σχήμα 3.18: Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με συνδυασμένο κύκλο.....	54
Σχήμα 4.1: Εγκατεστημένη ικανότητα από το 1950 μέχρι το 2015 και την παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια.....	70

Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάπτυξης γεωθερμικών έργων.....	79
Σχήμα 5.2: Συγκρίσεις εκπομπών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής διαφόρων καυσίμων.....	86
Σχήμα 5.3: Συντελεστές διαθεσιμότητας τριών τύπων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής..	87
Σχήμα 6.1: Τιμές δείκτη I.R.R συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες (χωρίς επιχορήγηση).....	116
Σχήμα 6.2: Τιμές δείκτη I.R.R συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες (με επιχορήγηση).....	116
Σχήμα 6.3: Τιμές δείκτη Payback period συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες (χωρίς επιχορήγηση)	117
Σχήμα 6.4: Τιμές δείκτη Payback period συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες(με επιχορήγηση)	117

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη ισχύς ενεργειακών επενδύσεων ανά τεχνολογία.....	14
Πίνακας 2.2: Εγκατεστημένη ισχύς (MW) ενεργειακών επενδύσεων ανά τεχνολογία στην Ε.Ε.....	16
Πίνακας 3.1: Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως το 2000 και στις αρχές του 2003	25
Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων.....	34
Πίνακας 3.3: Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ενέργειας σε άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας και σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού στον κόσμο κατά το 2000.....	36
Πίνακας 4.1: Γεωθερμικές εφαρμογές στην Ελλάδα.....	57
Πίνακας 4.2: Συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ικανότητα από 1950 έως τέλος του έτους 2010 και βραχυπρόθεσμη πρόγνωση.....	70
Πίνακας 4.3: Εγκατεστημένη ικανότητα παραγωγής και ενέργειας για το έτος 2005, το έτος 2010 και πρόβλεψη για το έτος 2015.....	72
Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά έργων Α.Π.Ε. δείγματος.....	98
Πίνακας 6.2: Τεκμαρτό (μέσο) κόστος ανά τεχνολογία σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές στην αγορά των Α.Π.Ε.....	102
Πίνακας 6.3: Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας.....	103

Πίνακας 6.4 Παραδοχές και αποτελέσματα για γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας (διάφορα σενάρια).....	110
Πίνακας 6.5 Παραδοχές και αποτελέσματα για γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας (διάφορα σενάρια).....	111
Πίνακας 6.6: Παραδοχές και αποτελέσματα για αιολικά πάρκα (διάφορα σενάρια).....	112
Πίνακας 6.7: Παραδοχές και αποτελέσματα για φωτοβολταϊκό και μικρό υδροηλεκτρικό (διάφορα σενάρια).....	114
Πίνακας 6.8: Παραδοχές και αποτελέσματα για ηλιοθερμικά (διάφορα σενάρια)....	115
Πίνακας 6.9: Συνολική παρουσίαση οικονομικών δεικτών για όλες τις τεχνολογίες..	118

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1: Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα.....	22
Εικόνα 3.2: Η καλυμμένη «λιμνούλα» (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19 ^{ου} αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος.....	23
Εικόνα 3.3: Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό.....	24

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 3.1.: Απεικόνιση θερμότερων γεωθερμικών περιοχών.....	26
Χάρτης 3.2: Οι κυριότερες γεωθερμικές περιοχές και χρήσεις στην Ευρώπη.....	37
Χάρτης 4.1: Εγκατεστημένη ικανότητα το 2010 παγκόσμια	71
Χάρτης 4.2: πρόβλεψη της εγκατεστημένης ικανότητας κατά το έτος 2015	71
Χάρτης 5.1: Κατανομή ανά διοικητική περιφέρεια των χαρακτηρισθέντων γεωθερμικών πεδίων	77

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Α.Ε.Π.: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

Α.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Γ.Α.Θ.: Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Γ.Δ.: Γεωθερμικό Δυναμικό

Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.: Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ: Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας

Δ.Τ.Κ.: Δείκτης Τιμών Καταναλωτή

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

Ε.Π.Ο.: Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων

Ε.Σ.Α.: Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης

Η.Π.Α.: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Κ.Α.Π.Ε.: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Κ.Π.Α.: Καθαρά Παρούσα Αξία

Λ.Π.Α.: Λόγος Παρούσας Αξίας

Μ.Π.Ε.: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Μ.Υ.Η.Σ.: Μικρός Υδρο-Ηλεκτρικός Σταθμός

Ο.Τ.Α.: Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης

Ρ.Α.Ε.: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

Τ.Ι.Π.: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου

Υ.Α.: Υπουργική Απόφαση

Υ.ΠΕ.ΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

C.F.: Capacity factor

I.R.R.: Internal Rate of Return

P.I.: Profitability Index

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για πολλές χώρες, οι Α.Π.Ε. αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η πρόοδος που σημειώθηκε στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικότερα της γεωθερμίας στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες τα τελευταία χρόνια.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής.

Μετά από το πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, γεωθερμική, βιομάζα και θαλάσσιο δυναμικό) καθώς και στη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από την φυσική προσφορά των Α.Π.Ε. με χρήση των υπάρχουσών τεχνολογιών. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού γίνεται μια συνοπτική περιγραφή της κατάστασης των ενεργειακών επενδύσεων στην Ευρώπη.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το φαινόμενο της γεωθερμίας, με αναφορά στις περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές στην γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας και ειδικότερα στις τεχνολογίες για την ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωθερμικό προφίλ άλλων χωρών όπως και η παγκόσμια γεωθερμική παραγωγή ενέργειας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική παρουσίαση του νομοθετικού πλαισίου που διέπει την ανάπτυξη των γεωθερμικών έργων, όπως και της διαδικασίας που απαιτείται για την υλοποίηση των έργων αυτών με τα αντίστοιχα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα που προκύπτουν.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομική βιωσιμότητα επενδύσεων από Α.Π.Ε. και ακολούθως πραγματοποιείται οικονομική αξιολόγηση για ένα έργο από κάθε τεχνολογία (αιολικά, φ/β, γεωθερμία& ηλιοθερμικά) το οποίο διαθέτει τα μέσα ενεργειακά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας που ανήκει στην Ελληνική Επικράτεια.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία καθώς και τον υπολοίπων τεχνολογιών του δείγματος, όπου λήφθηκαν υπόψη τα στοιχεία κόστους κάθε τεχνολογίας και οι παραδοχές των υπολογισμών.

Η εργασία ολοκληρώνεται συνοψίζοντας κυρίως τα συμπεράσματα από την πραγματοποίηση της οικονομικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Γενικά

Σύμφωνα με τον ορισμό του άρθρου 2 της οδηγίας 2001/77/ΕΚ «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)» είναι: οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η κυματική ενέργεια, η παλιρροϊκή ενέργεια, η ενέργεια από βιομάζα, ή άλλα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή ανεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή. [1]

Για πολλές χώρες, οι Α.Π.Ε. αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.[1]

Όπως αναφέρεται και από τον Ελληνικό Σύνδεσμο Ηλεκτροπαραγωγών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακα και πετρέλαιο).

Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. [1]

Η χρήση των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) συνεπώς διεκδικεί δυναμικά μία θέση ανάμεσα στις λεγόμενες συμβατικές μορφές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, που αποτελούν τις κύριες πηγές κάλυψης των ενεργειακών μας αναγκών. Η θέρμανση χώρων, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων είναι μερικές από αυτές τις ανάγκες του αιώνα που διανύουμε. Είναι αναμενόμενο ότι η ανάγκη για ενέργεια συνεχώς θα μεγαλώνει, αφού ο πληθυσμός της γης αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου πολλαπλασιάζει τις δραστηριότητές του, οι οποίες τελικά απαιτούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για κατανάλωση. [2]

Χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν εξαντλούνται αλλά διαρκώς ανανεώνονται και δύνανται να μετατρέπονται σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια. Καταρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Επιπρόσθετα, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, οι οποίες δεν αποδεδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ο όρος «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών.[2]

2.2 Οι κύριες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

2.2.1 Η αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια μια από τις παλαιότερες μορφές φυσικής ενέργειας, αξιοποιήθηκε από πολύ νωρίς για την παραγωγή μηχανικού έργου και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας.

Η αιολική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας παρέχει δυναμικό για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών, χωρίς σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένα σύστημα αιολικής ενέργειας μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ή ηλεκτρική με χρήσεις σε μια πληθώρα εφαρμογών, όπως φόρτιση μπαταριών, άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές ή ως υβριδικό σύστημα παροχής ηλεκτρισμού σε απομακρυσμένα νησιά ή χωριά χωρίς παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. [3]

Σύμφωνα με τον ορισμό του άρθρου 2 της οδηγίας 2001/77/EK «Αιολικές εγκαταστάσεις» είναι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού που λειτουργούν είτε με τη μορφή μεμονωμένων ανεμογεννητριών (Α/Γ), είτε με τη μορφή αιολικών πάρκων, δηλαδή συστοιχίας ανεμογεννητριών.

2.2.2 Η ηλιακή ενέργεια

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα τα οποία επωφελούνται από την ενέργεια, η οποία παράγεται από τον ήλιο:

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοια στοιχεία συχνά ενσωματώνονται στις στέγες. Τα φωτοβολταϊκά προσφέρουν το πρόσθετο πλεονέκτημα να μπορούν να προμηθεύσουν ενέργεια σε αραιοκατοικημένες περιοχές, οι οποίες δεν καλύπτονται από τα δίκτυα ηλεκτροδότησης, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και προωθώντας την αειφόρο ανάπτυξη. [3]

Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας αξιοποιούν την θερμότητα του ήλιου, πρώτα συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία με τη βοήθεια κατόπτρων για να θερμάνουν νερό ή κάποιο άλλο μέσο και μετά μετατρέποντας τον ατμό σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας. Η ηλιακή θερμική ενέργεια είναι πολλά υποσχόμενη για τις

πόλεις, όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση τείνει να είναι μεγάλο πρόβλημα. Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας ανοίγουν προοπτικές για μελλοντικές μεταφορές ενέργειας από θερμές αναπτυσσόμενες σε ψυχρές ανεπτυγμένες χώρες. [3]

Μία σχετικά απλή μέθοδος επίσης είναι το να χρησιμοποιούμε την ενέργεια από τον ήλιο για να θερμαίνουμε το νερό. **Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες** χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω τους για να ζεστάνουν το νερό της βρύσης (και, σε μικρότερη έκταση, για να ζεστάνουν νερό για τη θέρμανση χώρων). [3]

Η ηλιακή ενέργεια σήμερα είναι 90% φθηνότερη από ότι στην δεκαετία του 1970. Στα σπίτια που διαθέτουν ηλιακή οροφή μπορεί να παράγεται περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζονται ορισμένες ώρες της ημέρας, η οποία δυνητικά θα μπορούσε να μεταπωλείται στις τοπικές εταιρείες ηλεκτρισμού. [3]

2.2.3 Η υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. [4]

Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει καταφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει. [4]

Η υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι η πιο σημαντική και ευρεία χρησιμοποιούμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. **Αντιπροσωπεύει το 19% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού και το 6% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας.** Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν σήμερα περίπου 45.000 μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα σε λειτουργία. Η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδροηλεκτρισμού είναι ο Καναδάς και ακολουθούν οι Η.Π.Α. και η Βραζιλία. [3]

2.2.4 Η γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια έχει να κάνει με τη χρήση της θερμότητας της Γης για την παραγωγή ενέργειας. Οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού. Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες. [3]

Η σχετικά σταθερή θερμοκρασία των ανώτερων 15 μέτρων της επιφάνειας της Γης (ή των υπογείων υδάτων), που τυπικά είναι γνωστή ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ψύξη κτιρίων. Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί μία σειρά από σωλήνες για να κυκλοφορεί υγρό μέσω του θερμού εδάφους. Το χειμώνα, που το έδαφος είναι θερμότερο από τα κτίρια στην επιφάνεια, το υγρό απορροφά αυτή την θερμότητα η οποία εν συνεχεία συμπυκνώνεται μέσω γεωεναλλακτών ή συλλεκτών θερμότητας, και μεταφέρεται στα κτίρια. Το καλοκαίρι, που το έδαφος είναι δροσερότερο, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία: η αντλία μεταφέρει θερμότητα από τα κτίρια στο έδαφος. [3]

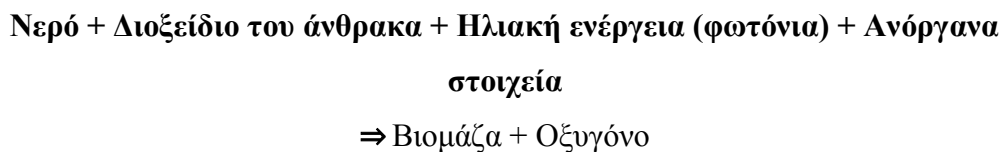
Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της Γης, η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Εάν διαθέτουμε θερμά υπόγεια ύδατα, μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε απευθείας σε σταθμούς υδροθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Εάν δε διαθέτουμε, το νερό μπορεί να αντληθεί μεταξύ καυτών στρωμάτων βράχου και μετά να το επαναφέρουμε στην επιφάνεια σε υψηλή θερμοκρασία μέσω μιας δεύτερης διάνοιξης πηγαδιού.[3]

Με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, δεν απαιτείται καμία καύση ορυκτών καυσίμων. Οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας εκπέμπουν μόνο περίσσεια ατμού και πολύ λίγα ίχνη αερίων. [3]

2.2.5 Η ενέργεια από βιομάζα

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια

σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας.

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σ' αυτήν, εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας. [7]

Η ενέργεια από βιομάζα αντλείται από φυτικό και ζωικό υλικό, όπως το ξύλο από τα δάση, τα υπολείμματα από τις γεωργικές και δασικές διαδικασίες, και τα βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα [3].

Η βιομάζα μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:

Παραδοσιακή βιομάζα που γενικά περιορίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε χρήσεις μικρής κλίμακας. Περιλαμβάνει τα καυσόξυλα και το κάρβουνο για οικιακή χρήση, την ήρα του ρυζιού, άλλα φυτικά υπολείμματα και την κοπριά ζώων. Η παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται σε ανοιχτά τζάκια για μαγείρεμα και για θέρμανση εξακολουθεί να είναι πολύ σημαντική στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω της έλλειψης εναλλακτικών λύσεων.

Σύγχρονη βιομάζα που συνήθως αφορά χρήσεις μεγάλης κλίμακας και σκοπό να υποκαταστήσει τις συμβατικές ενεργειακές πηγές των ορυκτών καυσίμων. Περιλαμβάνει ξερά κλαδιά από το δάσος και τα γεωργικά υπολείμματα, τα οικιακά απόβλητα, τα βιοαέρια και τα βιοκαύσιμα από ενεργειακές καλλιέργειες (όπως έλαια

από φυτά ή/και φυτά που περιέχουν άμυλο και σάκχαρα). Η σύγχρονη βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας.[3]

Η βιομάζα σε όλες τις εφαρμογές της (παραγωγή ενέργειας, θέρμανση, καύσιμα) συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος και τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων, ανεξάρτητα αν χρησιμοποιούνται απόβλητα ή ειδικές καλλιέργειες.[3]

2.2.6 Θαλάσσιο δυναμικό

Οι ωκεανοί καταλαμβάνουν περισσότερα από τα δύο τρίτα της επιφάνειας του πλανήτη και αντιπροσωπεύουν μια θεωρητικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η προσέγγιση του τεράστιου θαλάσσιου δυναμικού για ενεργειακή εκμετάλλευση παραμένει θεωρητική, καθώς η διαθέσιμη ενέργεια βρίσκεται είτε σε υψηλή διάχυση, καθιστώντας απαγορευτική την οικονομική εκμετάλλευση, είτε βρίσκεται σε περιοχές πολύ μακριά από τις αγορές ενέργειας. Υπάρχουν μέρη όμως κοντά σε ακτές, όπου βρίσκεται συγκεντρωμένη θαλάσσια ενέργεια σε διάφορες μορφές και επομένως σε τέτοιες περιπτώσεις η μελλοντική αξιοποίηση τους διαθέτει καλές προοπτικές, ιδιαίτερα αν βρίσκονται κοντά σε πιθανές αγορές ενέργειας.

Οι κύριες μορφές εμφάνισης του θαλάσσιου δυναμικού είναι οι παρακάτω:

- Τα παλιρροιακά ή θαλάσσια ρεύματα
- Η ενέργεια των κυμάτων
- Η θερμοκρασιακή διαφορά επιφάνειας-πυθμένα των ωκεανών
- Η διαφορά αλμυρότητας ύδατος ή οσμωτική ενέργεια.[9]

2.3 Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Από τεχνικής πλευράς, το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (δηλ. η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από την φυσική προσφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με χρήση υπαρχουσών τεχνολογιών) είναι πολύ μεγαλύτερο από την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη είναι σχεδόν 7.000 φορές περισσότερη από την τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Θεωρητικά, η τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσε να καλυφθεί με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε συνολική περιοχή επιφάνειας 700χλμ. x 700χλμ [3].

Το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι επίσης τεράστιο. Μόνο το θεωρητικό δυναμικό σε τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 5 m/s σε ύψος 10 μέτρων, ανέρχεται σε σύνολο τουλάχιστον 500.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Αυτό ισοδυναμεί σε 35 φορές περισσότερη ενέργεια από την παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα. [3]

Επίσης τεράστιο είναι και το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομάζα θα μπορούσε να καλύψει το 24% των ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2020 [5].

Τέλος το χαμηλότερο όριο του παγκόσμιου δυναμικού της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στα 50 GWe περίπου και η αντίστοιχη τιμή για τις άμεσες χρήσεις σε 1 TWth.[10]

Ωστόσο, τόσο το θεωρητικό δυναμικό όσο και τεχνολογικό δυναμικό δεν αντιστοιχούν στο οικονομικά διαθέσιμο δυναμικό από τη στιγμή που θα ληφθούν υπόψη τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες αντίστοιχα.

2.4 Πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης Α.Π.Ε. είναι τα εξής:

- 1. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας** (ήλιος, άνεμος, ποτάμια, οργανική ύλη, κ.α.) και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, κλπ.
- 2. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο**, γι' αυτό και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το ευρύ κοινό.
- 3. Αποτελούν (μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας) την κατ' εξοχήν περιβαλλοντικά φιλική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα** στην ατμόσφαιρα και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε μείωση των εκπομπών και από άλλους ρυπαντές, όπως είναι π.χ. τα οξείδια του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή, τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, τα αιωρούμενα σωματίδια, κ.α.

4. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
5. Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής (δίκτυα, δρόμοι, κλπ.) και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
6. Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, κ.α.).
7. Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
8. Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε. σχεδιάζονται συνήθως για να καλύπτουν τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, και έχουν μικρό σχετικά χρόνο κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
9. Οι επενδύσεις των Α.Π.Ε. δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
10. Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, τηλεθέρμανση οικισμών ή και μικρών πόλεων με ατμό ή ζεστό νερό που προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση γεωργικής και δασικής βιομάζας, κ.α.).[9]

2.5 Α.Π.Ε. στην Ελλάδα – παρούσα κατάσταση

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπολογικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [11]

Η χώρα μας βρίσκεται σε μια περιοχή εξαιρετικά ηλιόλουστη, όπου υπάρχουν πλούσιοι υδάτινοι πόροι και πνέουν συχνά ισχυροί άνεμοι. Η Ελλάδα διαθέτει σχεδόν

ανεξάντλητο δυναμικό κάθε μορφής Α.Π.Ε. Ενδεικτικά, σύμφωνα με μελέτη για τις ανανεώσιμες πηγές στη Μεσόγειο, η οικονομικά εκμεταλλεύσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα από κάθε μορφής Α.Π.Ε ανέρχεται σε 55.000 GWh το χρόνο, ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό υπερβαίνει τις 218.000 GWh [3].

Η γεωγραφική της θέση (γεωγρ. πλάτος 33°) εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας [11]

Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2700 ώρες τον χρόνο. Στην Δυτική Μακεδονία και στην Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της κυμαινόμενη από 2200 έως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και στη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως [13]. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειάς της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4,3 kWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας [14]. Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρη της επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Εκτιμάται ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει το ένα τρίτο των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό. [15] (Η κατανάλωση ηλεκτρισμού αντιστοιχούσε σε 58,7 TWh το 2005).

Ακόμα, η συνύπαρξη ηπειρωτικού – νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. [11].

Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της ανάγλυφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα. [11]

Εκτιμάται ότι το σύνολο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της Ελλάδας είναι 10.000 GWh/έτος (με θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό 80.000 GWh και τεχνικά εκμεταλλεύσιμο 21.500 GWh). Το 10% περίπου του δυναμικού αυτού (1.000

GWh) θεωρείται ότι είναι δυνατό να αξιοποιηθεί μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων (μέχρι 5 MW)[16].

Επιπλέον η “πράσινη” ενέργεια από τα έγκατα της γης, δηλαδή η παραγωγή ενέργειας από το πλήθος των θερμών πηγών που υπάρχουν διάσπαρτες στις χερσαίες αλλά και στις νησιώτικες περιοχές της χώρας. Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα γνωστά στοιχεία, το ενεργειακό απόθεμα που υπάρχει κάτω από τη γη με τη μορφή ζεστού νερού αντιστοιχεί σε πάνω από 1.000 θερμικά MW ετησίως. Το άμεσα αξιοποιήσιμο δυναμικό ξεπερνά σε ισχύ τα 200 MWt και μπορεί να αντικαταστήσει 160.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος.[4]

Τέλος η βιομάζα. Στην Ελλάδα, τα κατ’ έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας [6]. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας [6,7]

2.6 Η κατάσταση των ενεργειακών επενδύσεων στην Ευρώπη το 2011

Το 2011 αποτελεί χρονιά ρεκόρ για την Ευρώπη αναφορικά με την εγκατάσταση των ενεργειακών επενδύσεων. Πραγματοποιήθηκαν ενεργειακές επενδύσεις συνολικής ισχύος 44 GW σημειώνοντας αύξηση 3,9% σε σύγκριση με τις επενδύσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2010.

Τα περισσότερα από αυτά (32 GW/71,3%) αφορούσαν έργα Α.Π.Ε. Οι εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών σταθμών άγγιξε τα 21GW (46,7%) και ακολουθούσαν τα αιολικά.

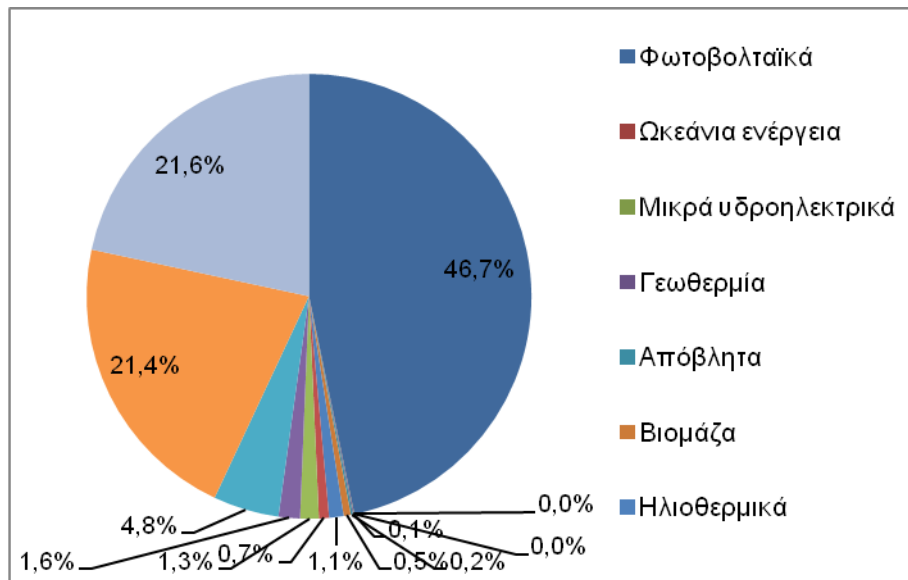
Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη ισχύς ενεργειακών επενδύσεων ανά τεχνολογία (MW)

Τεχνολογία	Ισχύς (MW)
Φωτοβολταϊκά	21.000
Ωκεάνια ενέργεια	5
Μικρά υδροηλεκτρικά	9
Γεωθερμία	32
Απόβλητα	69
Βιομάζα	234,1
Ηλιοθερμικά	472
Πυρηνική ενέργεια	331
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	606
Μαζούτ	700
Άνθρακας	2.147
Αιολική ενέργεια	9.616
Φυσικό αέριο	9.718,3

Πηγή: E.W.E.A. (European statistics 2011)

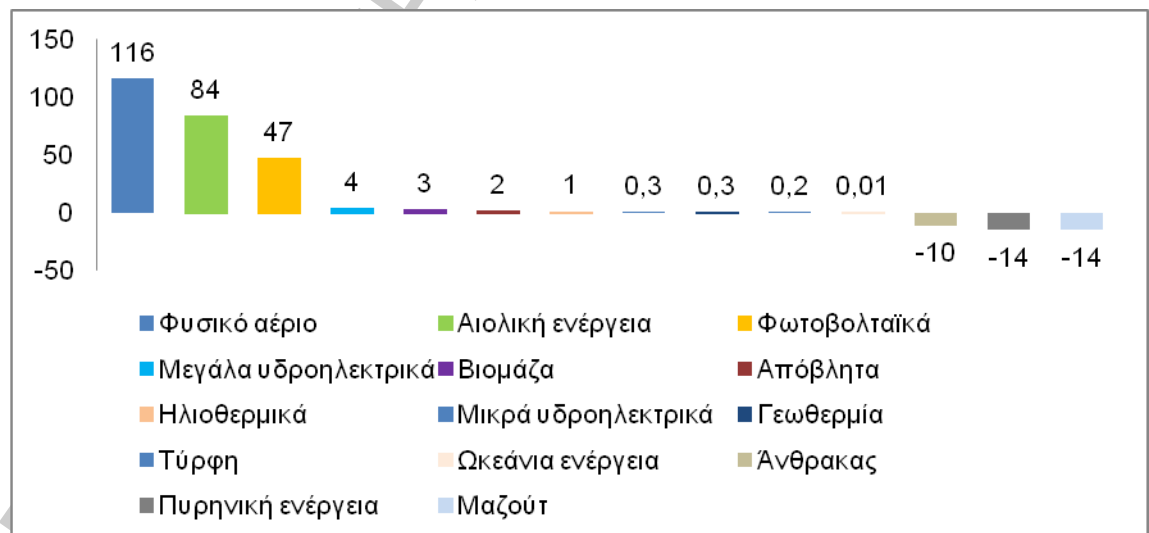
Συγκεκριμένα για την τεχνολογία των αιολικών, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (EWEA) το συνολικό εγκατεστημένο δυναμικό των αιολικών πάρκων στην Ευρωπαϊκή Ένωση το περασμένο έτος (2011) σημείωσε αύξηση 11%. Συγκεκριμένα, η έκθεση της EWEA αποκαλύπτει ότι πέρυσι η αιολική ισχύς αυξήθηκε κατά 9,6GW, στα 94GW, κάτι που οφείλεται κυρίως στη δημιουργία ή την επέκταση αιολικών πάρκων σε Γερμανία και Σουηδία καθώς και στην κατασκευή νέων παράκτιων έργων στη Βρετανία.

Η ισχύς που προστέθηκε ήταν ελαφρώς μειωμένη σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά, κυρίως λόγω της μείωσης των νέων εγκαταστάσεων σε ώριμες αγορές, π.χ. της Γαλλίας και της Ισπανίας. Όπως σημειώνει ωστόσο η EWEA, τα τελευταία 17 χρόνια ο κλάδος της αιολικής ενέργειας καταγράφει μέση ετήσια ανάπτυξη της τάξεως του 16%. Συνολικά, η Γερμανία είναι η ευρωπαϊκή χώρα με το μεγαλύτερο εγκατεστημένο δυναμικό, ενώ ακολουθούν Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία και Βρετανία. Στη χώρα μας, το μερίδιο της αιολικής ενέργειας επί του συνόλου της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος διαμορφώνεται, κατά την ίδια πηγή, στο 5,2%. [20]



Σχήμα 2.1: Μερίδιο νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά τεχνολογία στην Ε.Ε. (2011), Πηγή: E.W.E.A. (European statistics 2011)

Καθαρή αύξηση στην εγκατεστημένη ισχύ την χρονική περίοδο 2000-2011 παρατηρούμε στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο (116 GW), από αιολικά πάρκα (84,2 GW) και από τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς (47,4 GW).



Σχήμα 2.2: Καθαρή εγκατεστημένη ισχύ ενεργειακών επενδύσεων ανά τεχνολογία στην Ε.Ε. την χρονική περίοδο 2000-2011 (GW), Πηγή: E.W.E.A. (European statistics 2011)

Οι υπόλοιπες Α.Π.Ε. (υδροηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα, απόβλητα, ηλιοθερμικά, γεωθερμία και ωκεάνια) παρουσιάζουν αύξηση αλλά με μικρότερο βαθμό σε σχέση με την αιολική και ηλιακή ενέργεια.

Αντίθετα σημαντική μείωση παρουσιάστηκε στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μαζούτ (14,2 GW) πυρηνικά (13,5 GW) και άνθρακα (10,3 GW). Συγκεκριμένα το 2011 παρουσιάστηκε μια απότομη μείωση της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας λόγω του πρόωρου παροπλισμού μια σειράς αντιδραστήρων στην Γερμανία.

2.7 Ενεργειακό μείγμα ευρωπαϊκής ένωσης 2000 και 2011

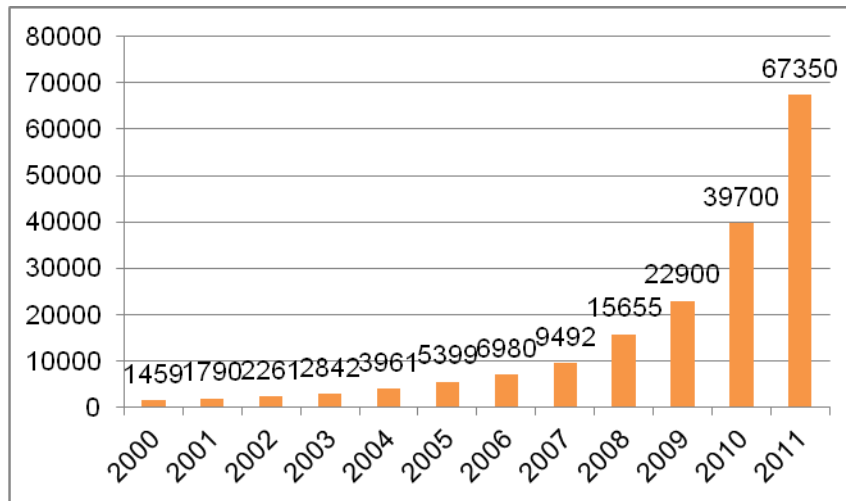
Το 2000, οι νέες εγκαταστάσεις έργων Α.Π.Ε. διέθεταν συνολική ισχύ 3,5 GW. Τα τελευταία 11 χρόνια υπήρξε μια δυναμική ανάπτυξη έργων Α.Π.Ε. με αποτέλεσμα στο τέλος του 2011 η συνολική τους εγκατεστημένη ισχύ να φτάνει στα 32 GW.

Πίνακας 2.2: Εγκατεστημένη ισχύς (MW) ενεργειακών επενδύσεων ανά τεχνολογία στην Ε.Ε. (2000)

Τεχνολογία	Ισχύς (MW)
Φωτοβολταϊκά	188
Μικρά υδροηλεκτρικά	4.514
Γεωθερμία	604
Απόβλητα	2.054
Βιομάζα	2.790
Τύρφη	1.868
Πυρηνική ενέργεια	128.471
Μεγάλα	105.552
Μαζούτ	66.518
Άνθρακας	159.482
Αιολική ενέργεια	12.877
Φυσικό αέριο	89.801

Πηγή: E.W.E.A. (European statistics 2011)

Το σχήμα 2.4 δείχνει την εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως την χρονική περίοδο 2000-2011.



Σχήμα 2.3: Εξέλιξη της εγκαταστημένης ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως, Πηγή: E.P.I.A. (Market report 2011)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

3.1 Γεωθερμική ενέργεια

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

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής είναι εφικτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες, σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, εξασφαλίζουν ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα. Γεωθερμική ενέργεια περιέχεται και σε ξηρά-θερμά πετρώματα σε μεγάλα βάθη, σε γεωπεπιεσμένους σχηματισμούς και σε λιωμένα πετρώματα (μάγματα), αλλά είναι δύσκολη η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα.

Αντίθετα, αναπτύσσεται συνεχώς η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας, από ρηγά ρευστά ή πετρώματα, έστω και αν έχουν μικρή θερμοκρασία. Κυριότερος στόχος της Γεωθερμίας είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των γεωθερμικών περιοχών, δηλαδή των περιοχών εκείνων που παρουσιάζουν θετικές θερμικές ανωμαλίες και ευνοϊκές γενικά συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

Σε μερικές περιοχές της γης παρατηρούνται ασυνήθιστα υψηλές τιμές της θερμικής ροής, δηλαδή της μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια. Αυτές οι περιοχές, με θετική θερμική ανωμαλία, έχουν βεβαίως προτεραιότητα στη γεωθερμική έρευνα και αξιοποίηση. Όμως, με τις σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις και σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη τιμή της ενέργειας, την ορατή προοπτική

εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων και την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, γίνονται ενδιαφέρουσες και περιοχές με μικρότερες θερμικές ανωμαλίες ή και χωρίς καμία ανωμαλία. Αρκεί οι περιοχές αυτές να διαθέτουν αξιόλογες ποσότητες ρευστών σε μικρά σχετικά βάθη, μέχρι 3000 m. Το βάθος αυτό θεωρείται γενικά ως το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων Γεωθερμίας με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα.

Περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένη θερμική ροή είναι συνήθως οι περιοχές ενεργού μαγματισμού, δηλαδή όπου υπάρχουν λιωμένα πετρώματα σε μικρά σχετικά βάθη. Εκμεταλλεύσιμες όμως γεωθερμικές συνθήκες μπορεί να υπάρχουν και σε άλλες περιοχές, αρκεί να είναι ευνοϊκές οι γεωλογικές συνθήκες, σε συνδυασμό με ενδιαφέροντες κλιματολογικούς και χωροταξικούς παράγοντες (π.χ. περιοχές πυκνοκατοικημένες ή βιομηχανικά ανεπτυγμένες, με αυξημένες ανάγκες σε θερμική ενέργεια κτλ.). Οι ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες μπορεί να επιτρέψουν τη δημιουργία υπόγειων ταμιευτήρων θερμών ρευστών σε ικανοποιητικές ποσότητες και θερμοκρασίες.

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

Οι γνώσεις μας για τον πλανήτη γη είναι ουσιαστικά επιφανειακές και ό,τι γνωρίζουμε για το εσωτερικό του προέρχεται από έμμεσες πληροφορίες. Υποθέτουμε βάσιμα ότι η γη είναι θερμή στο εσωτερικό της. Αυτό αποδεικνύεται περίτρανα από τα λιωμένα πετρώματα (μάγματα), θερμοκρασίας μέχρι και 1200°C, τα οποία φθάνουν στην επιφάνεια με τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά επίσης ενδεικτικές της θερμότητας του εσωτερικού της γης, είναι οι υδροθερμικές εκρήξεις, οι θερμοπίδακες υπέρθερμου νερού (**geysers**), οι ατμίδες, τα θερμά εδάφη, οι θερμές πηγές και οι λεκάνες ιλύος. [21]

3.2 Σύντομο ιστορικό της γεωθερμίας

Είναι εδώ και αιώνες γνωστό ότι η θερμοκρασία σε μεταλλευτικές στοές, βαθιά πηγάδια κτλ. είναι υψηλότερη της επιφανειακής και παραμένει σταθερή στο χρόνο. Η πρώτη φορά που μετρήθηκε με θερμομέτρο η θερμοκρασία στο εσωτερικό της γης ήταν το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Σήμερα

η μέτρηση της θερμοκρασίας της γης πραγματοποιείται κυρίως μέσα σε γεωτρήσεις και γνωρίζουμε ότι η θερμοκρασία αυξάνει με το βάθος, με μέσο ρυθμό 1°C για κάθε 30 m ή καλύτερα 30°C ανά km. Ο ρυθμός αυτός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος καλείται *γεωθερμική βαθμίδα*. [21]

Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξή της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20^ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας». Πράγματι, σε όλα τα σύγχρονα πρότυπα (μοντέλα) της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η θερμότητα που συνεχώς παράγεται από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισότοπων του ουρανίου (U^{238} , U^{235}), του θορίου (Th^{232}) και του καλίου (K^{40}), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης (Lubimova, 1968). Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και άλλες δυνητικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια» από την εποχή δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη. Μέχρι τη δεκαετία του 1980 τα μοντέλα αυτά δεν βασίζονταν σε κάποιες ρεαλιστικές θεωρίες. Τότε όμως αποδείχθηκε ότι αφενός δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας που δημιουργείται στο εσωτερικό της γης και της θερμότητας που διαφεύγει από τη γη προς στο διάστημα, και αφετέρου ότι ο πλανήτης μας ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό του.

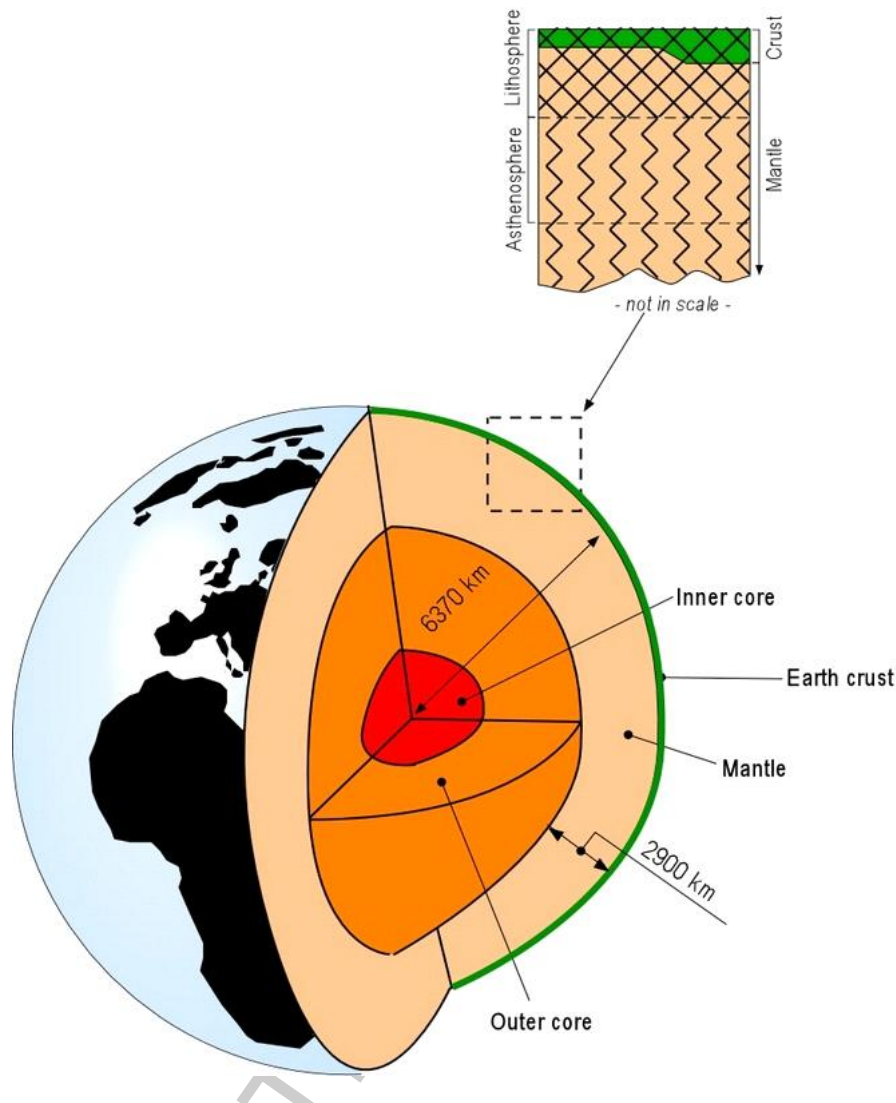
Ως μια γενική ιδέα της φύσης και της κλίμακας του εμπλεκόμενου φαινομένου, μπορεί να αναφερθεί η λεγόμενη «θερμική ισορροπία», όπως διατυπώθηκε από τους Stacey and Loper (1988). Σύμφωνα με αυτήν, η ολική ροή θερμότητας από τη γη (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 42×10^{12} W. Από αυτά, 8×10^{12} W προέρχονται από το φλοιό, που αντιπροσωπεύει μόνο το 2% του συνολικού όγκου της γης αλλά είναι πλούσιος σε ραδιενεργά ισότοπα, $32,3 \times 10^{12}$ W προέρχονται από το μανδύα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 82% του συνολικού όγκου της γης, και $1,7 \times 10^{12}$ W προέρχονται από τον πυρήνα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 16% του συνολικού όγκου της γης και δεν περιέχει ραδιενεργά ισότοπα (βλέπε Σχήμα 3.1, ένα σχήμα της εσωτερικής δομής της γης).

Αφού η ραδιενεργή θερμότητα του μανδύα εκτιμάται σε 22×10^{12} W, η μείωση της θερμότητας στο συγκεκριμένο τμήμα της γης είναι $10,3 \times 10^{12}$ W. Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις και υπολογισμούς, που βασίζονται σε μεγαλύτερο αριθμό

δεδομένων, η ολική θερμική ροή της γης είναι περίπου 6% υψηλότερη από τις τιμές που χρησιμοποίησαν οι Stacey and Loper το 1988. Ούτως ή άλλως όμως, η διαδικασία ψύξης παραμένει αργή. Η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350°C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια, παραμένοντας περίπου στους 4000°C στη βάση του. Έχει υπολογιστεί ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των $12,6 \times 10^{24}$ MJ και του φλοιού $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Armstead, 1983).

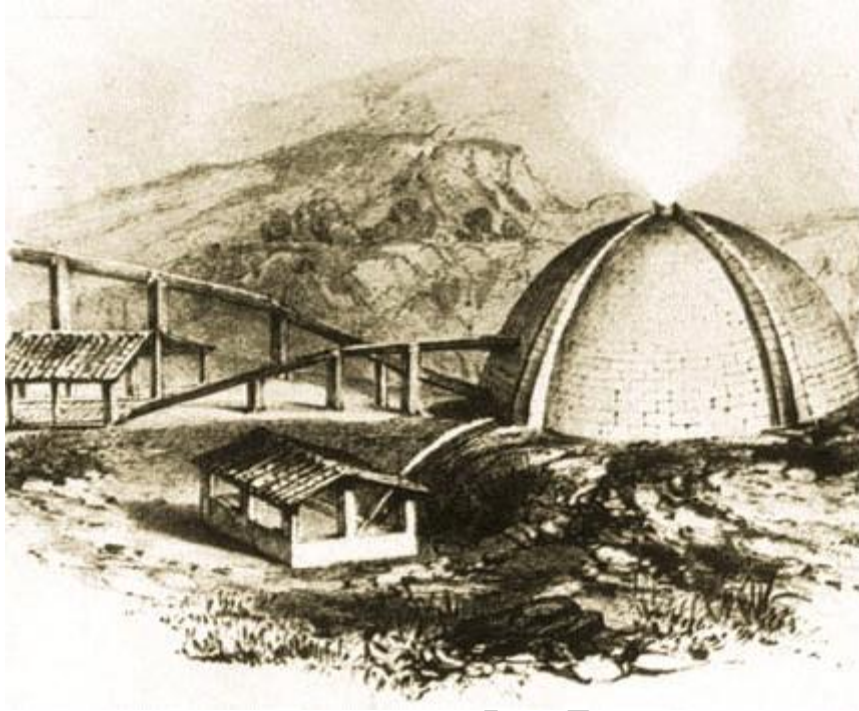
Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως μόνο τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι *γεωθερμικοί πόροι* (geothermal resources). Πιθανώς, στο άμεσο μέλλον, νέες πρωτοποριακές τεχνικές θα μας προσφέρουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα αυτόν. [53]

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΚΟ



Εικόνα 3.1: Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα, πηγή: International Geothermal Association

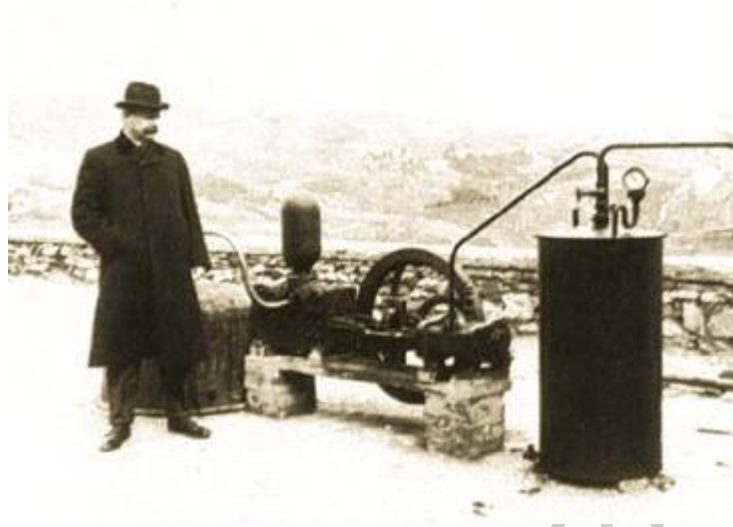
Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού. Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Εκείνη την περίοδο, στην Τοσκάνη της Ιταλίας, και συγκεκριμένα στην περιοχή του Larderello, λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις. Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλούμενα δάση της περιοχής, ανέπτυξε ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης (Σχήμα 3.2).



Εικόνα 3.2: Η καλυμμένη «λιμνούλα» (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19^{ου} αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος. πηγή: International Geothermal Association

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Ανάμεσα στο 1850 και 1875, οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη. Μεταξύ του 1910 και του 1940, στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης ο χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Εν τω μεταξύ, ολόένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης (district heating) τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Άινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών.

Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας (Σχήμα 3.3).



Εικόνα 3.3: Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκηπας Piero Ginori Conti. πηγή: International Geothermal Association[53]

Η επιτυχία αυτής της πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλλευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμο-ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kWe. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berru της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες.[53]

3.3 Σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμίας

Μετά το 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στον Πίνακα 2.1 αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς: 1995 (6.833 MWe), 2000 (7.974 MWe)

και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000 (Huttrer, 2001). Στον ίδιο Πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (9.028 MWe). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως.

Πίνακας 3.1: Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως το 2000 και στις αρχές του 2003.

ΧΩΡΑ	1995(Mwe)	2000 (Mwe)	1995-2000 (αύξηση σε Mwe)	1995-2000 (αύξηση %)	2003 (Mwe)
Αργεντινή	0,67	-	-	-	-
Αυστραλία	0,15	0,15	-	-	0,15
Αυστρία	-	-	-	-	1,25
Κίνα	28,78	29,17	0,39	1,35	28,18
Κόστα Ρίκα	55	142,5	87,5	159	162,5
Ελ Σαλβαδορ	105	161	56	53,3	161
Αιθιοπία	-	7	7	-	7
Γαλλία	4,2	4,2	-	-	15
Γερμανία	-	-	-	-	0,23
Γουατεμάλα	-	33,4	33,4	-	29
Ισλανδία	50	170	120	240	200
Ινδονησία	309,75	589,5	279,75	90,3	807
Ιταλία	631,7	785	153,3	24,3	790,5
Ιαπωνία	413,7	546,9	133,2	32,2	560,9
Κένυα	45	45	-	-	121
Μεξικό	753	755	2	0,3	953
Νέα Ζηλανδία	286	437	151	52,8	421,3
Νικαράγουα	70	70	-	-	77,5
Φιλιππίνες	1227	1909	682	55,8	1931
Πορτογαλία	5	16	11	220	16
Ρωσία	11	23	12	109	73
Ταϊλάνδη	0,3	0,3	-	-	0,3
Τουρκία	20,4	20,4	-	-	20,4
ΗΠΑ	2816,7	2228	-	-	2020
Σύνολο	6833,35	7972,52	1728,54	1038,35	8396,21

(Πηγή: Huttrer, 2001)

Οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη του τομέα της γεωθερμίας είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ακόμα και με τις σημερινές, σχετικά χαμηλές, τιμές του πετρελαίου. Το μεγαλύτερο έργο αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως βρίσκεται στα Geysers στη Βόρεια Καλιφόρνια και η εγκατεστημένη ισχύς να υπερβαίνει τα 1300 MW (με τη προοπτική να διπλασιαστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα). Ήδη η παραγωγή καλύπτει το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας της Βόρειας Καλιφόρνιας.

Στον χάρτη 3.1 φαίνονται οι περιοχές με το θερμότερο γεωθερμικό δυναμικό.



Χάρτης 3.1: Απεικόνιση θερμότερων γεωθερμικών περιοχών πηγή: <http://hellenicgeothermal.com/how.html>

Σύμφωνα με ανακοίνωση του αμερικανικού συνδέσμου γεωθερμίας, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς της γεωθερμίας έχει φτάσει πλέον τα 11.224 MW, με τις ΗΠΑ να έχουν τη μερίδα του λέοντος με 3.187 MW εγκατεστημένα. Σύμφωνα με την έρευνα που εκπόνησε ο σύνδεσμος, η ανάπτυξη του κλάδου κατά την περίοδο 2011-2012 οφείλεται τόσο στις φιλικές κρατικές πολιτικές, όσο και στις ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια και στην οικονομική ανάπτυξη που παρατηρήθηκε κατά τόπους. Όσον αφορά τις ίδιες τις ΗΠΑ, σημειώνεται ότι αν και παραμένουν ηγέτης, η αβέβαιη πολιτική της κυβέρνησης έχει οδηγήσει σε επιβράδυνση, ενώ οι φοροελαφρύνσεις που προσφέρονται στις επενδύσεις της γεωθερμίας πρόκειται να λήξουν στα τέλη του 2013.

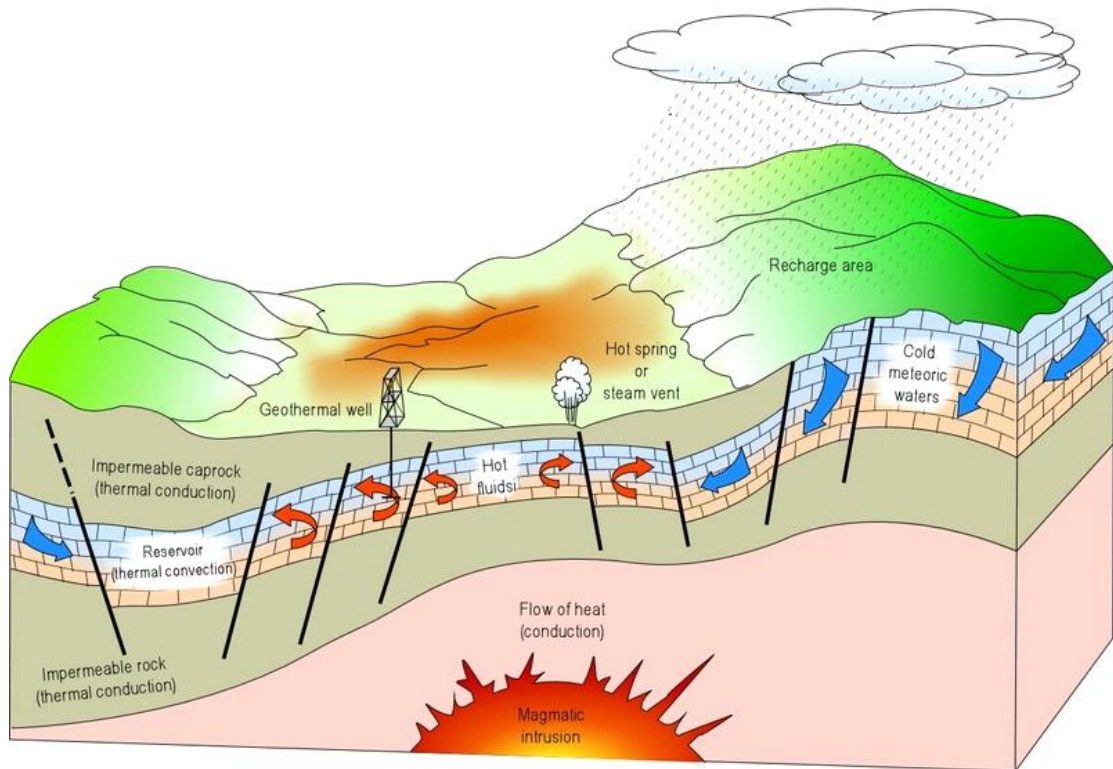
Εκτός Αμερικής, πρωταγωνιστές αναδεικνύονται χώρες όπως η Τουρκία, η Κένυα και η Ινδονησία. Μάλιστα, η Τουρκία χαρακτηρίστηκε ως η πιο υποσχόμενη αγορά στην περιοχή της Ευρώπης, με γεωθερμικό δυναμικό 2.000 μεγαβάτ.[23]

3.4 Γεωθερμικά συστήματα

Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται στις περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα, και κυρίως στις περιοχές γύρω από τα περιθώρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής. Στην πρώτη περίπτωση, τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C

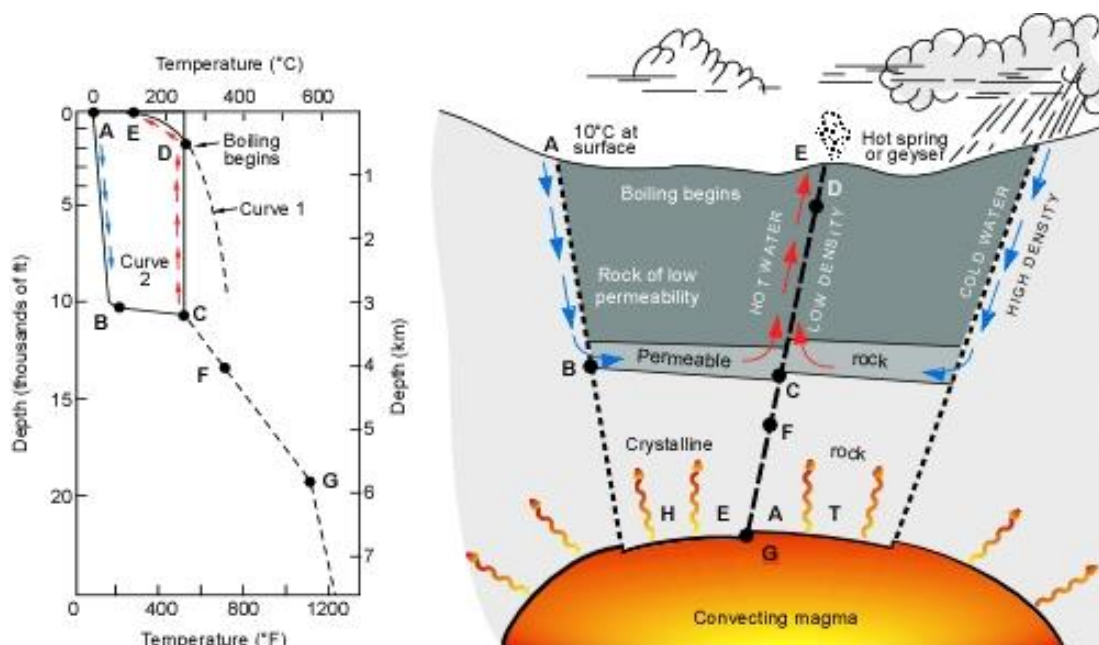
σε οικονομικά και προσβάσιμα βάθη. Στη δεύτερη περίπτωση, οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές τιμές μέχρι και μεγαλύτερες από 400°C.

Τι είναι όμως ένα «γεωθερμικό σύστημα» και τι συμβαίνει μέσα σε αυτό; Σχηματικά μπορεί να περιγραφεί ως «ένα σύστημα» που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελείται από «κινούμενο νερό» το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια «πηγή» σε μια «δεξαμενή» θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια (Hochstein, 1990). Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία: την *εστία θερμότητας*, τον *ταμιευτήρα* και το *ρευστό*, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής (>600°C) θερμοκρασίας μαγματική διείδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) ή, στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα, η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γης, η οποία όπως αναφέρθηκε αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδατοπερατά πετρώματα, που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά αντλούν θερμότητα. Πάνω από τον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό γενικά νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις. Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις μετεωρικής προέλευσης, το οποίο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο σε χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO₂, H₂S, κλπ. Στο σχήμα 3.1 αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα ιδανικό γεωθερμικό σύστημα.



Σχήμα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος, πηγή: International Geothermal Association

Ο μηχανισμός που διέπει τη λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων εν γένει ελέγχεται από τη μεταφορά θερμότητας μέσω της (συναγωγής/ κυκλοφορίας) των ρευστών (fluid convection). Στο σχήμα 3.2 παριστάνεται σχηματικά ο μηχανισμός στην περίπτωση ενός υδροθερμικού συστήματος ενδιάμεσης θερμοκρασίας. Η θερμική συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω της θέρμανσης και, κατ' επέκταση, της θερμικής διαστολής των ρευστών σε ένα πεδίο βαρύτητας. Η ενέργεια που προκαλεί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ουσιαστικά η θερμότητα που προσφέρεται από την εστία στη βάση του συστήματος κυκλοφορίας. Η πυκνότητα των ρευστών που θερμαίνονται μειώνεται, οπότε αυτά παρουσιάζουν τάσεις ανόδου προς μικρότερα βάθη, ενώ αντικαθίστανται στη συνέχεια από ρευστά μικρότερης θερμοκρασίας και μεγαλύτερης πυκνότητας, που προέρχονται από τα περιθώρια του γεωθερμικού συστήματος. Λόγω της θερμικής συναγωγής προκαλείται λοιπόν θερμοκρασιακή αύξηση στο ανώτερο τμήμα του γεωθερμικού συστήματος, καθώς οι θερμοκρασίες στα κατώτερα τμήματα μειώνονται (White, 1973).



Σχήμα 3.2: Πρότυπο (μοντέλο) ενός γεωθερμικού συστήματος.

Η γραμμή (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού. Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μια τυπικής διαδρομής κυκλοφορίας του ρευστού από το σημείο A (τροφοδοσία) προς το σημείο E (αποφόρτιση) (Από White, 1973)

Οι διεργασίες που μόλις περιγράφηκαν πιθανώς να φαίνονται πολύ απλές, όμως η κατασκευή ενός καλού προτύπου (μοντέλου), το οποίο να αντιστοιχεί σε ένα πραγματικό γεωθερμικό σύστημα, είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Μια τέτοια εργασία απαιτεί πολύπλευρες ικανότητες, ειδικές γνώσεις και μεγάλη εμπειρία, ιδιαίτερα όταν αφορά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Εξάλλου, τα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται στη φύση με πάρα πολλές ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες, οι οποίες σχετίζονται με διάφορους συνδυασμούς γεωλογικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών που μπορεί να οδηγήσουν σε διάφορους τύπους συστημάτων.

Από τα τρία στοιχεία ενός γεωθερμικού συστήματος, η εστία θερμότητας είναι το μόνο που απαραίτητως πρέπει να έχει φυσική προέλευση. Εάν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, τα άλλα δύο στοιχεία μπορεί να είναι και «τεχνητά». Για παράδειγμα, τα γεωθερμικά ρευστά που αντλούνται από τον ταμιευτήρα και χρησιμοποιούνται ως η κινητήρια δύναμη ενός γεωθερμικού αμοστρόβιλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν μετά την ενεργειακή εκμετάλλευσή τους να επανεισαχθούν στον ταμιευτήρα μέσω συγκεκριμένων *γεωτρήσεων επανεισαγωγής (injection wells)*. Έτσι λοιπόν, η

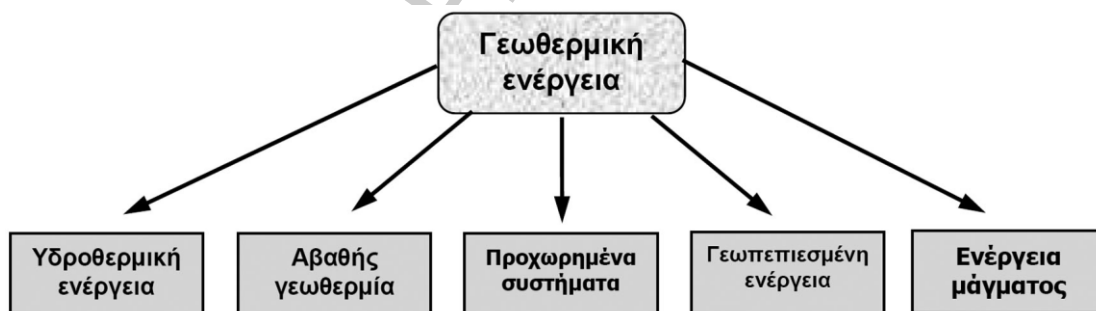
φυσική τροφοδοσία ενός ταμιευτήρα μπορεί να συνοδευθεί και να συμπληρωθεί από μια τεχνητή επανατροφοδοσία.[53]

3.5 Ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι:

- το είδος των γεωθερμικών πόρων,
- ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών,
- ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά,
- το είδος της εστίας θερμότητας,
- αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα, κ.ά.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών που ανέρχονται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως **υψηλής θερμοκρασίας** (για θερμοκρασίες πάνω από 150° C), **μέσης θερμοκρασίας** (για θερμοκρασίες 100 - 150° C) και **χαμηλής θερμοκρασίας** (για θερμοκρασίες μικρότερες από 100° C). Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων, όπως απεικονίζονται στο κάτωθι σχήμα :



Σχήμα 3.3: Μορφές γεωθερμικής ενέργειας κατά σειρά ενδιαφέροντος χρήσεων σήμερα και προοπτικής στο εγγύς μέλος, από αριστερά προς τα δεξιά

Πηγή: Γεωθερμία και τυποποίηση Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλη

1. Τα **υδροθερμικά συστήματα ή πόροι (hydrothermal systems or resources)**, τα οποία είναι υπόγεια φυσικά, θερμά ρευστά και βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με ανοδική κυκλοφορία του νερού (υγρό ή ατμός), το οποίο θερμαίνεται από μία εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζεται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα είναι

ουσιαστικά τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και *συστήματα συναγωγής (convective systems)* ή *δυναμικά συστήματα*, επειδή η θερμότητα μεταφέρεται με το μηχανισμό της συναγωγής. Άλλα υδροθερμικά συστήματα μεταφοράς οφείλονται στην κυκλοφορία μετεωρικού νερού μέσω ρηγμάτων και περατών σχηματισμών, όπου, λόγω μεγάλου βάθους ή μαγματικών διεισδύσεων, θερμαίνεται και ακολουθεί ανοδική πορεία.

2. Τα *γεωπιεσμένα συστήματα (geopressed systems)*, τα οποία αποτελούνται από ρευστά που έχουν εγκλωβιστεί από μη περατά πετρώματα σε μεγάλο βάθος. Μέσα στους περατούς ιζηματογενείς σχηματισμούς υπάρχει ζεστό νερό που παγιδεύτηκε κατά την απόθεση των ιζημάτων, εγκλωβισμένο από στεγανά περιβάλλοντα πετρώματα, υπό πίεση αρκετά μεγαλύτερη της υδροστατικής που αντιστοιχεί στο βάθος. Περιέχουν επίσης και μεγάλες ποσότητες μεθανίου. Παρόλο που τεχνολογικά η εκμετάλλευσή τους φαίνεται εφικτή, το μεγάλο κόστος που προκύπτει από την εκμετάλλευση σε μεγάλα βάθη και από τη χρονική διάρκειά της, καθιστούν τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες υπό πίεση μη αξιοποιήσιμους.

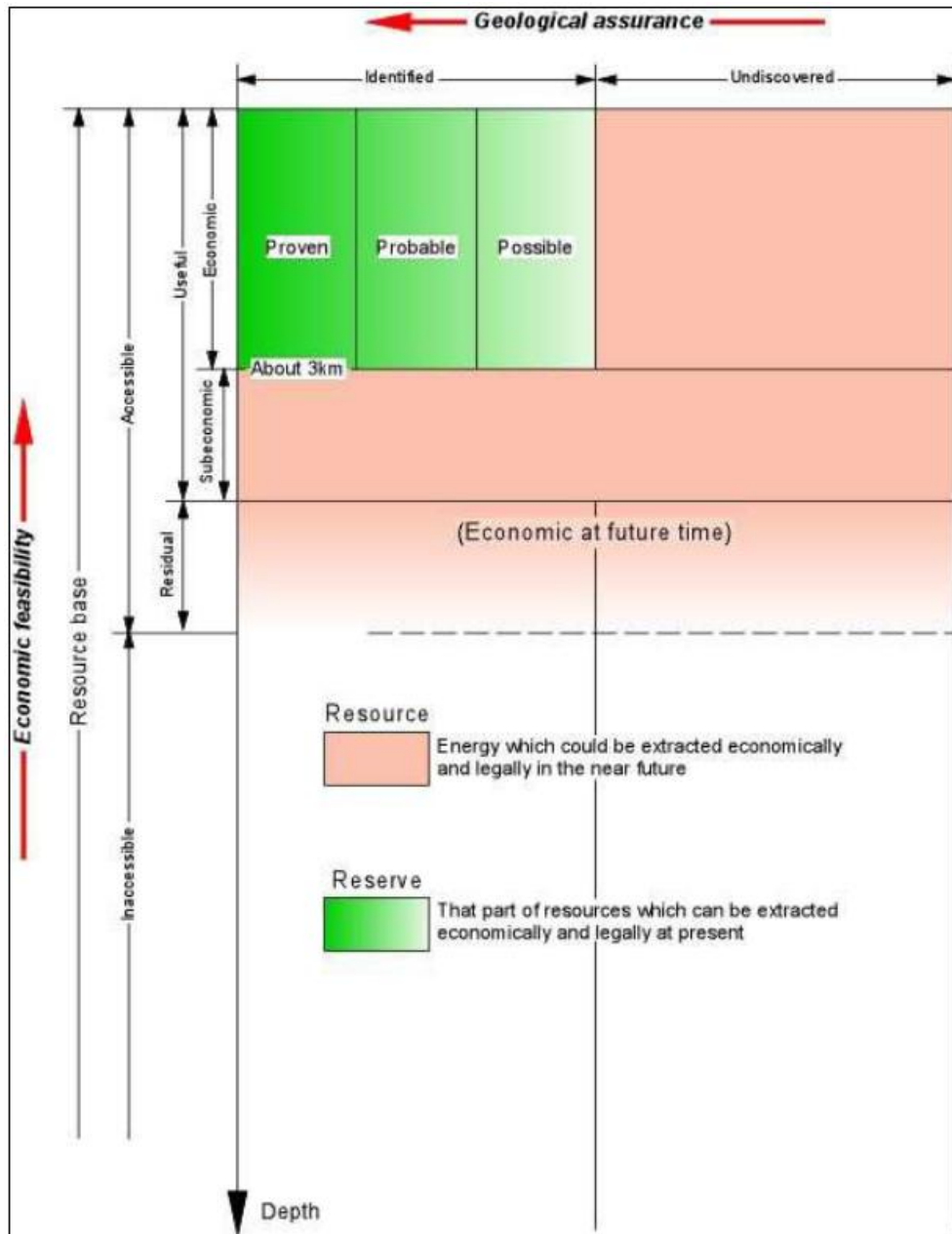
3. Τα *μαγματικά συστήματα (magma systems)*, στα οποία η απόληψη της θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος, γίνεται με συμβατική τεχνολογία και μικρό σχετικά κόστος.

4. Τα συστήματα βαθιών *θερμών-ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock systems)*, όπου η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή, όμως η έλλειψη ρωγματώσεων δεν επιτρέπει την κυκλοφορία και ύπαρξη νερού. Το σύστημα αυτό, συνήθως υψηλής θερμοκρασίας, επιτρέπει την εισαγωγή κρύου νερού από γεώτρηση, τη θέρμανση του στον τεχνικό ταμιευτήρα και την εξαγωγή ως ζεστού νερού από άλλη γεώτρηση. Αν και τεχνολογικά φαίνεται εφικτή η αξιοποίηση των βαθιών θερμών-ξηρών πετρωμάτων, η εκτίμηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος και του ρυθμού απωλειών πρέπει να αξιολογηθούν ώστε να καταστεί οικονομικά βιώσιμη μια τέτοια εκμετάλλευση.

5. *Συστήματα αγωγιμότητας*, τα οποία αναφέρονται σε γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας που θερμαίνονται με αγωγή και εμφανίζονται σε ιζηματογενείς λεκάνες.

[45]

Σύμφωνα με τους Muffler & Cataldi (1978), ο γενικός όρος «γεωθερμικός πόρος» αναφέρεται στην προσβάσιμη βασική πηγή (accessible resource base). Η προσβάσιμη βασική πηγή είναι ουσιαστικά όλη η θερμική ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από συγκεκριμένη περιοχή μεταξύ της επιφάνειας της γης και ενός συγκεκριμένου βάθους στο φλοιό. Αυτή η ενέργεια ξεκινά από την τοπική μέση ετήσια θερμοκρασία. Η προσβάσιμη πηγή περιλαμβάνει τον *ωφέλιμο προσβάσιμο πόρο* (*useful accessible resource base*), εκείνο δηλαδή το τμήμα της γεωθερμικής ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί με οικονομικά συμφέροντα και νόμιμο τρόπο, κάποια στιγμή στο σχετικά άμεσο μέλλον (μέσα σε λιγότερο από 100 χρόνια). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τους *ταυτοποιημένους οικονομικά συμφέροντες πόρους* (*identified economic resources*), οι οποίοι είναι γνωστοί και ως *αποθέματα* (*reserves*) και αναφέρονται στις ποσότητες της γεωθερμικής ενέργειας μίας συγκεκριμένης περιοχής που μπορούν να αξιοποιηθούν με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας, και οι οποίοι πόροι είναι γνωστό ότι υπάρχουν και έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα γεωτρητικών, γεωχημικών, γεωφυσικών και άλλων γεωλογικών ερευνών-μελετών. Το σχήμα 3.4 παρουσιάζει σε γραφική μορφή τους παραπάνω και άλλους όρους, που μπορούν να χρησιμοποιούνται από τους ειδικούς στη γεωθερμία.



Σχήμα 3.4: Γραφική παράσταση που δίνει τις διάφορες κατηγορίες των γεωθερμικών πόρων (Από Muffler & Cataldi, 1978). Ο κάθετος άξονας παριστάνει το βαθμό της οικονομικής επιτευξιμότητας, ενώ ο οριζόντιος το βαθμό της γεωλογικής βεβαιότητας.[52]

Το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων είναι αυτό που βασίζεται στην **ενθαλπία** των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία λειτουργούν ως ο φορέας «μεταφοράς» της θερμότητας από τα βαθιά και θερμά πετρώματα προς την επιφάνεια. Η **ενθαλπία**, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής «αξίας» τους. Άλλωστε, η λέξη

ενθαλπία προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη ενθάλπω που σημαίνει θερμαίνω [25].

Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας), σύμφωνα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους. Στον πίνακα που ακολουθεί, αναφέρονται οι χαρακτηριστικοί τρόποι ταξινόμησης, όπως αυτοί προτάθηκαν από διάφορους συγγραφείς. Όπως ακριβώς και για την ορολογία, μια κοινώς αποδεκτή μέθοδος ταξινόμησης θα βοηθούσε στην αποφυγή συγχύσεων και παρανοήσεων. Όμως, μέχρι να γίνει αυτό, θα πρέπει κάθε φορά και κατά περίπτωση να δηλώνουμε τις τιμές των θερμοκρασιών ή το εύρος τους, διότι όροι όπως «χαμηλή», «ενδιάμεση» «υψηλή» δεν έχουν πάντα την ίδια ερμηνεία και πολλές φορές είναι παραπλανητικοί. [52]

ΕΝΘΑΛΠΙΑ	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Χαμηλή Ενθαλπία	< 90	<125	<100	≤150	≤190
Μέση Ενθαλπία	90-150	125-225	100-200	-	-
Υψηλή Ενθαλπία	>150	>225	>200	>150	>190

Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων (°C) [24]

- (a) Muffler and Cataldi (1978).
- (b) Hochstein (1990).
- (c) Benderitter and Cormy (1990).
- (d) Nicholson (1993).
- (e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)

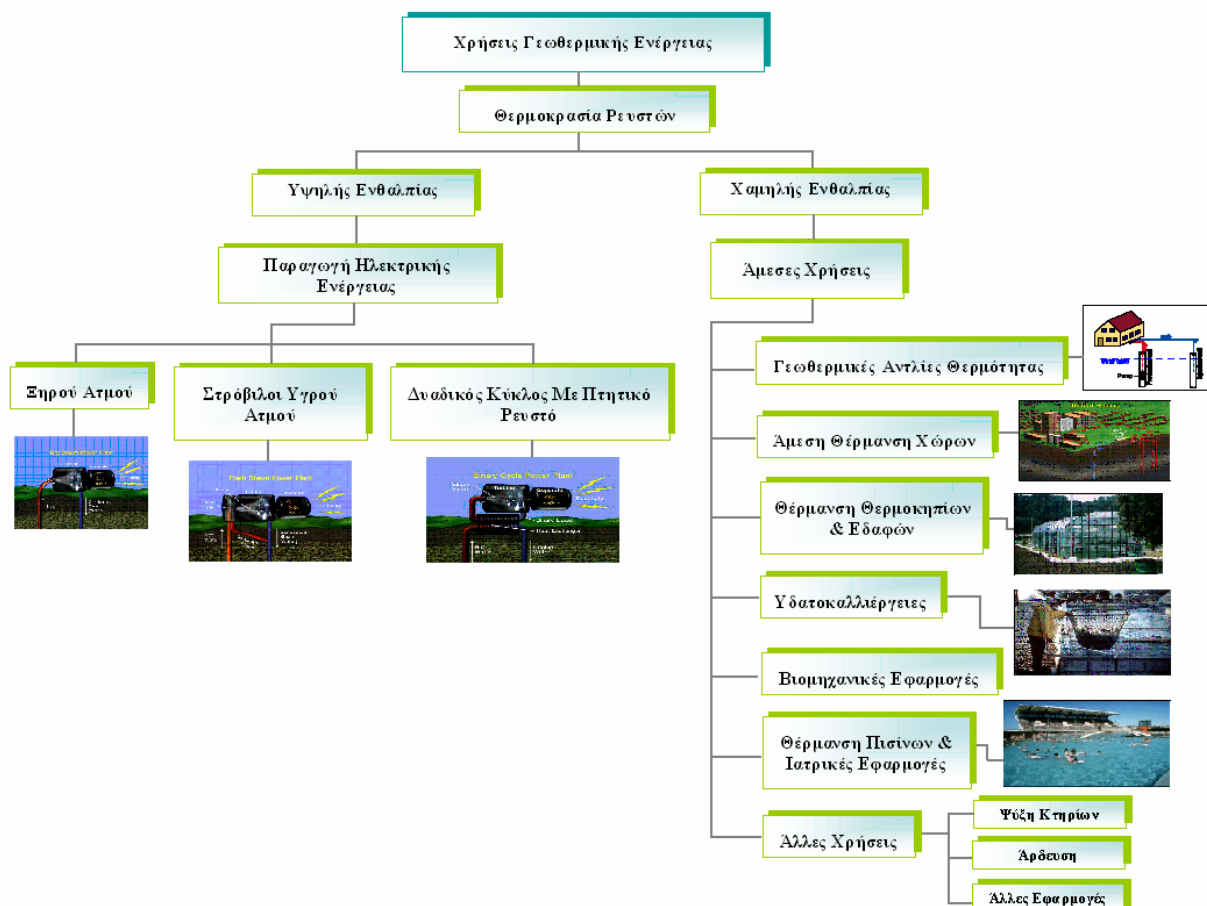
3.6 Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** (electrical uses) και σε **άμεσες χρήσεις** (direct uses). Στη δεύτερη κατηγορία γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι δυνατές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι αυτές που φαίνονται στο υπ' αριθμ. 3.5. σχήμα.

Οι περισσότερες καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

Ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για

την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών.



Σχήμα 3.5: Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών

3.6.1 Άμεσες χρήσεις

Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας μπορούν να ταξινομηθούν στις κατηγορίες:

- θέρμανση χώρων,
- αγροτικές χρήσεις,
- υδατοκαλλιέργειες,
- βιομηχανικές χρήσεις,
- λουτροθεραπεία (και πισίνες) και
- αντλίες θερμότητας.

Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας σε 58 χώρες στον κόσμο (Πίνακας 3.3) ανήλθε το έτος 2000 στα 15.145 MWt, σημειώνοντας αύξηση κατά 75% σε σχέση με το 1995. Η ενεργειακή χρήση στην

ίδια χρονιά ανήλθε σε 191 GJ/έτος σημειώνοντας αύξηση 69% σε σχέση με το 1995 ή 11% σε ετήσια βάση. Η τιμή αυτή της ενεργειακής παραγωγής αντιστοιχεί σε 4,3 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ.Ι.Π.) ανά έτος. Συγκριτικά σημειώνεται ότι εξοικονομούνται περίπου 20 εκατ. Τ.Ι.Π./έτος από την αξιοποίηση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πίνακας 3.3: Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ενέργειας σε άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας και σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού στον κόσμο κατά το 2000

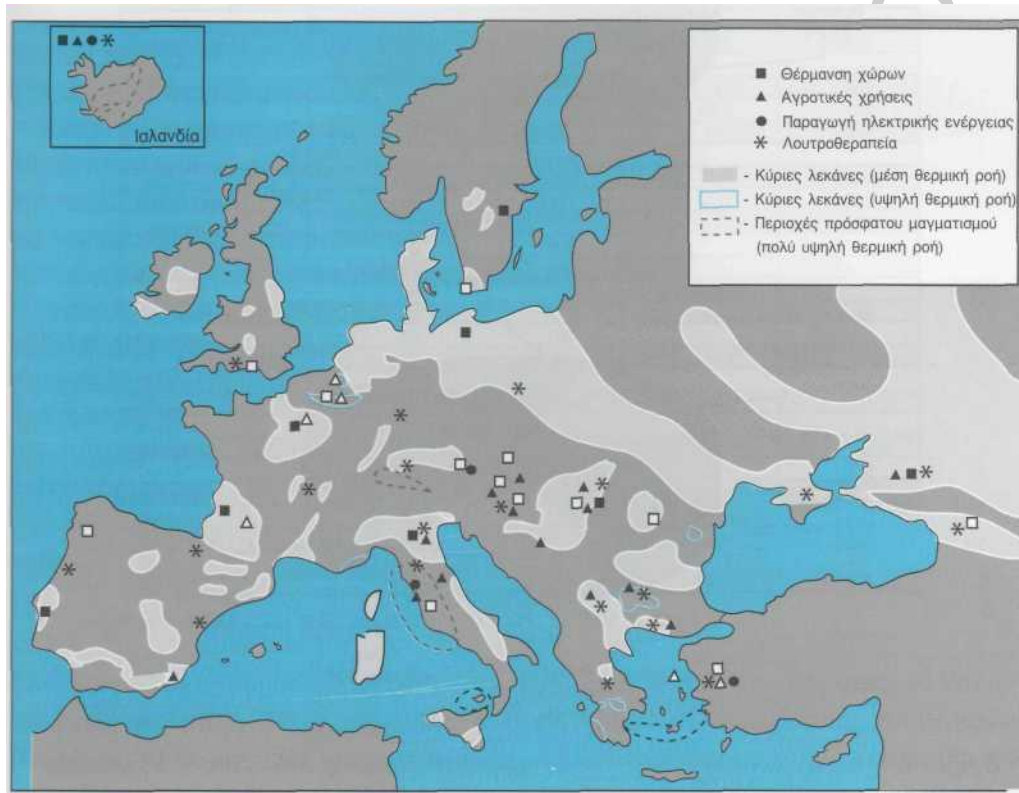
	Άμεσες Χρήσεις		Παραγωγή ηλεκτρισμού	
	Εγκατεστημένη Ισχύς, MW _e	Ετήσια παραγωγή, GWh	Εγκατεστημένη Ισχύς, MW _e	Ετήσια παραγωγή, GWh
Αιθιοπία			8,5	30
Αλγερία	100	441		
Αργεντινή	26	125		
Αυστρία	255	447	1*	2
Βουλγαρία	107	455		
Γαλλία	326	1360	4,2	25
Γερμανία	397	436		
Γεωργία	250	1752		
Γουατεμάλα	4	33	33,4	216
Ελ Σαλβαντόρ			161	800
Ελβετία	547	663		
Ελλάδα	57	107		
Η.Π.Α	3766	5640	2228	15470
Ιαπωνία	1167	7482	547	3532
Ινδία	80	700		
Ινδονησία	2	12	590	4575
Ιορδανία	153	428		
Ισλανδία	1469	5603	170	1138
Ισραήλ	63	476		
Ιταλία	326	1048	785	4400
Καναδάς	378	284		
Κένυα			45	367
Κίνα	2282	10531	29,2	100
Κοσταρική			143	592
Κροατία	164	154		
Μεξικό	104	1089	755	5680
Νέα Ζηλανδία	308	1967	437	2268
Νικαράγουα			70	583
Ουγγαρία	473	1135		
ΠΔΓΜ	81	142		
Πολωνία	69	76		
Πορτογαλία	6	10	16	94
Ρουμανία	152	797		
Ρωσική Δημοκρατία	307	1703	23	85
Σερβία	80	660		
Σλοβακία	132	588		
Σλοβενία	42	196		
Σουηδία	377	1147		
Τουρκία	820	4377	20,4	120
Τυνησία	23	56		
Φιλιππίνες			1909	9181
Άλλες χώρες	91	722		
Σύνολο	15145	52976	7975	49261

Πηγή: Lund and Freeston. 2001, Hutter 2001.

* Η μονάδα κύκλου Rankine στην Αυστρία τέθηκε σε ισχύ το 2001

Σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ευρώπης υπάρχουν άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας. Στον υπ' αριθμ. 3.2 χάρτη αποτυπώνονται οι κυριότερες περιοχές στην Ευρώπη με γεωθερμικό

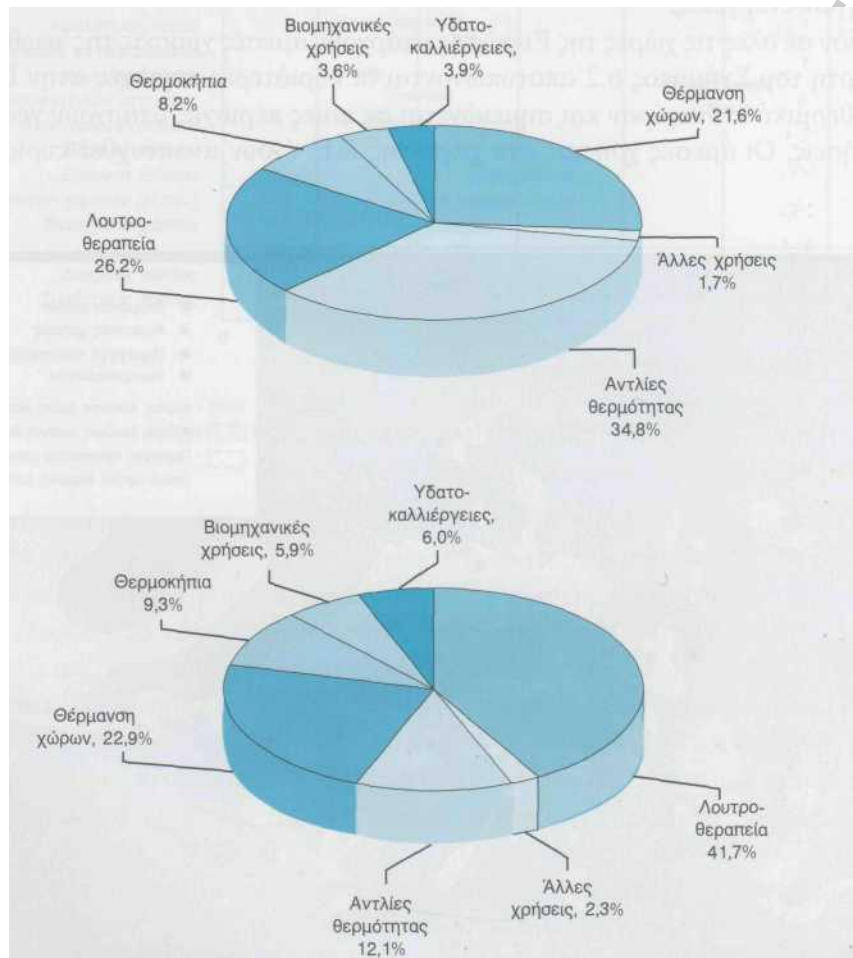
ενδιαφέρον και σημειώνεται σε ποιες περιοχές υπάρχουν γεωθερμικές χρήσεις. Οι άμεσες χρήσεις στο χώρο της Ε.Ε. έχουν αναπτυχθεί κυρίως στην Ιταλία, τη Γαλλία, τη Γερμανία και τη Σουηδία, αν και το είδος των χρήσεων ποικίλλει από χώρα σε χώρα, εξαιτίας των γεωλογικών και κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε κράτος, της ενεργειακής κατάστασης, του νομικού πλαισίου προώθησης των Α.Π.Ε. κτλ.



Χάρτης 3.2: Οι κυριότερες γεωθερμικές περιοχές και χρήσεις στην Ευρώπη, πηγή: Νικόλαος Β. Ανδρίτσος- Μιχάλης Δ. Φύτικας, «Γεωθερμία», 2004

Έτσι, στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων, στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, ενώ στη Γερμανία και τη Σουηδία οι μόνες άμεσες χρήσεις είναι ουσιαστικά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Στην υπόλοιπη Ευρώπη, η Ισλανδία, η Γεωργία, η Ρωσική Δημοκρατία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στη θέρμανση χώρων. Στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε ολόκληρη την πόλη του Reykjavik η θέρμανση των κτηρίων γίνεται με ζεστό νερό, το οποίο θερμαίνεται με γεωθερμική ενέργεια σε απόσταση 30 km μακριά από την πόλη.

Τέλος σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στην Κίνα και τη Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων και οι βιομηχανικές χρήσεις.

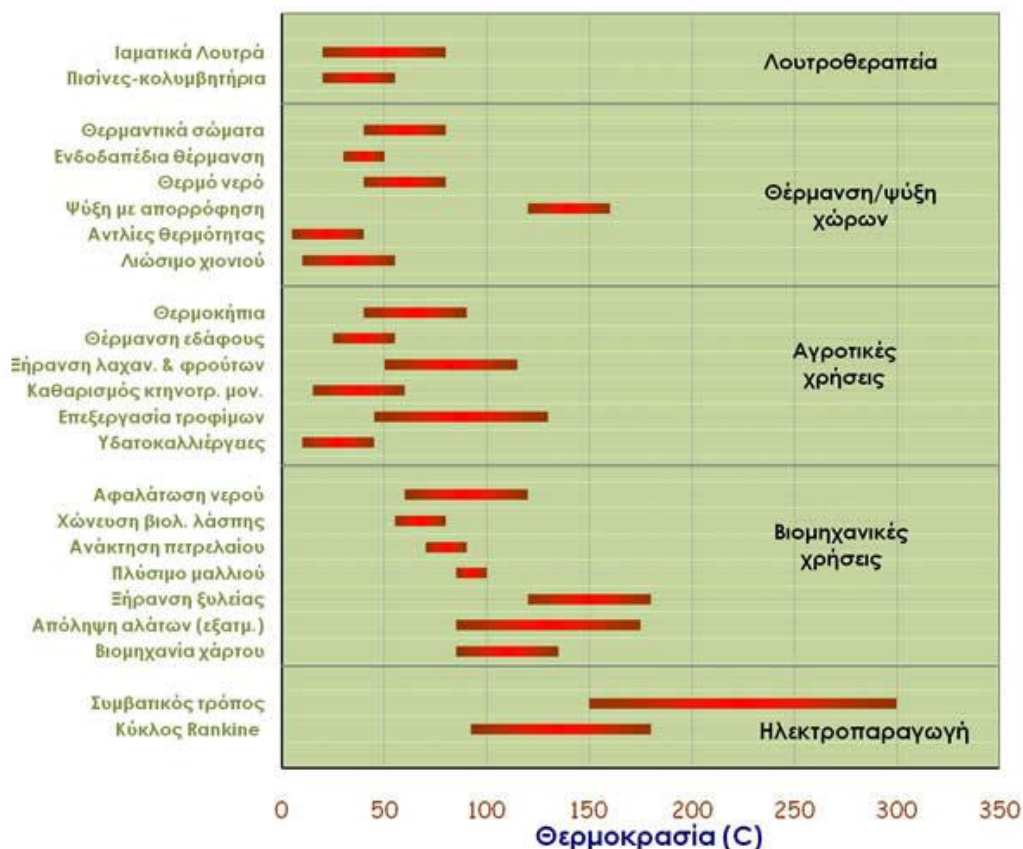


Σχήμα 3.6: Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά, (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση (Lund and Freeston, 2001).

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκεται σε διεθνές επίπεδο πολλές εφαρμογές στη γεωργία, τη γεωργική βιομηχανία, την κτηνοτροφία – ιχθυοκαλλιέργεια και τη θέρμανση χώρων.

Η τεχνολογία που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών αυτής της κατηγορίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό και είναι ευρύτατα γνωστή. Συνιστάται κυρίως στη χρήση εναλλακτών θερμότητας ή σε μερικές περιπτώσεις, στην απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών.

Συνολικά, οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολλαπλές και άμεσα εξαρτώμενες από την θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή την θερμοκρασία του υπεδάφους.



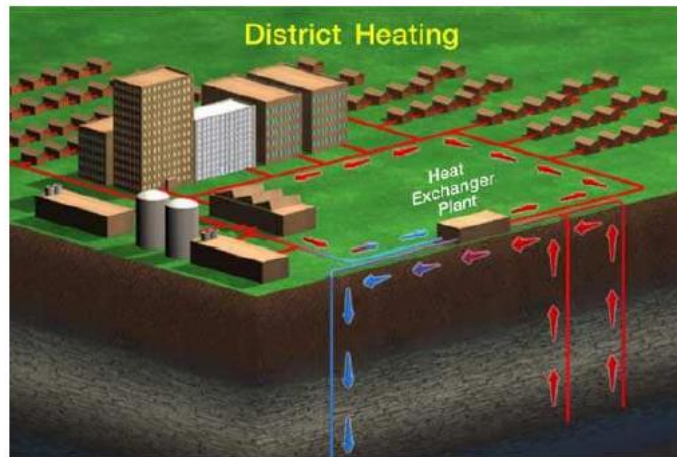
Σχήμα 3.7: Το τροποποιημένο διάγραμμα Lindal.[28]

3.6.2 Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

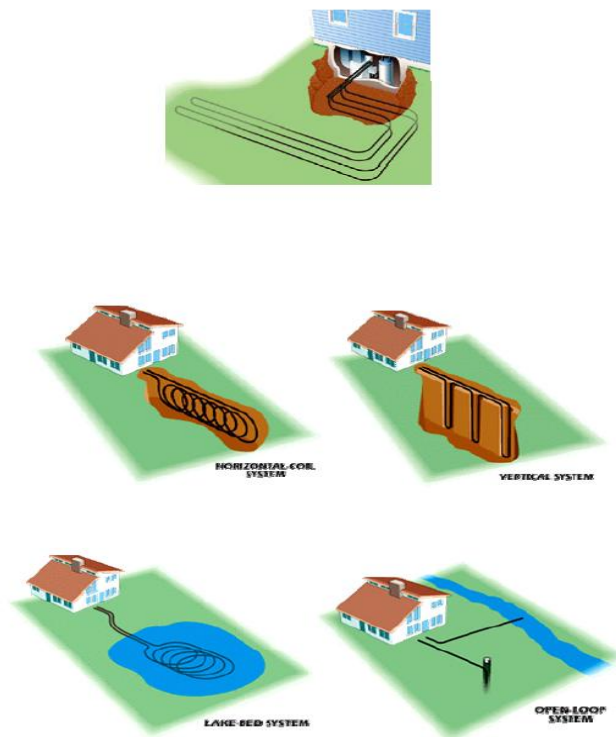
Οι πλέον συνήθεις και τεχνικοοικονομικά συμφέρουσες χρήσεις που εφαρμόζονται κατά την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι:

3.6.2.1. Τηλεθέρμανση

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων ευρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες. Με την εφαρμογή τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια δύνανται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης διότι η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και κυρίως λειτουργίας.



Σχήμα 3.8: Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας- άμεση θέρμανση χώρων[22]



Σχήμα 3.9: Τηλεθέρμανση [22]

Οι θερμικές απαιτήσεις εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι θερμοκρασίες σχεδιασμού από τη χρήση (κατοικίες $18-20^{\circ}\text{C}$, γραφεία $17-18^{\circ}\text{C}$ κ.λπ.). Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον 65°C . Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση τηλεθέρμανσης με τη χρήση γεωθερμικής

ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί στο 50-60% του κόστους πετρελαίου.

3.6.2.2 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Το πρόβλημα της επάρκειας γλυκού νερού είναι αρκετά έντονο σε πολλές περιοχές του κόσμου, αλλά και της Ελλάδας (ιδιαίτερα σε ορισμένα νησιά) και γίνεται καθημερινά εντονότερο με την αλόγιστη χρήση του. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- (1) Με απευθείας συμπύκνωση γεωθερμικού ατμού. Μπορεί να εφαρμοσθεί στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και της Νισύρου.
- (2) Με εξάτμιση θαλασσινού νερού σε συνθήκες μερικού κενού.
- (3) Με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη γεωθερμία.

Η αφαλάτωση του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού έχει καταστεί απόλυτα αναγκαία σε πολλές νησιώτικες και παραθαλάσσιες περιοχές της χώρα μας, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ήδη, η αφαλάτωση εφαρμόζεται σε πολλά νησιά και ξενοδοχειακές μονάδες με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας το κόστος παραγωγής στα νησιά είναι ιδιαίτερα υψηλό. Συγχρόνως, ορισμένες μεγάλες βιομηχανίες εφαρμόζουν τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μισό αφαλατωμένο νερό παράγεται με τεχνολογίες μεμβρανών και το άλλο μισό με θερμικές μεθόδους. Στη χώρα μας, με το πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό πολλών νησιών, είναι δυνατή η θερμική αφαλάτωση με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών.

Δύο είναι οι βασικές τεχνικές για τη θερμική αφαλάτωση του νερού. Η πρώτη και παλαιότερη μέθοδος είναι η *πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση* (multistage flash distillation, MSF) και η δεύτερη μέθοδος είναι η *απόσταξη πολλαπλού φαινομένου*. Για μεγαλύτερες μονάδες συνιστάται η χρήση της μεθόδου MSF, που είναι και αποδοτικότερη. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου MED είναι ότι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας και ότι η λειτουργία της μονάδας γίνεται σε μικρότερη θερμοκρασία (ακόμη και μικρότερη από 70°C), με αποτέλεσμα να μη δημιουργούνται ιδιαίτερα προβλήματα επικαθίσεων (CaSO₄ και CaCO₃). [21,29]

3.6.2.3 Θέρμανση θερμοκηπίων

Οι χρήσεις και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτάται από τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια, από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων και από το είδος της καλλιέργειας. [29]

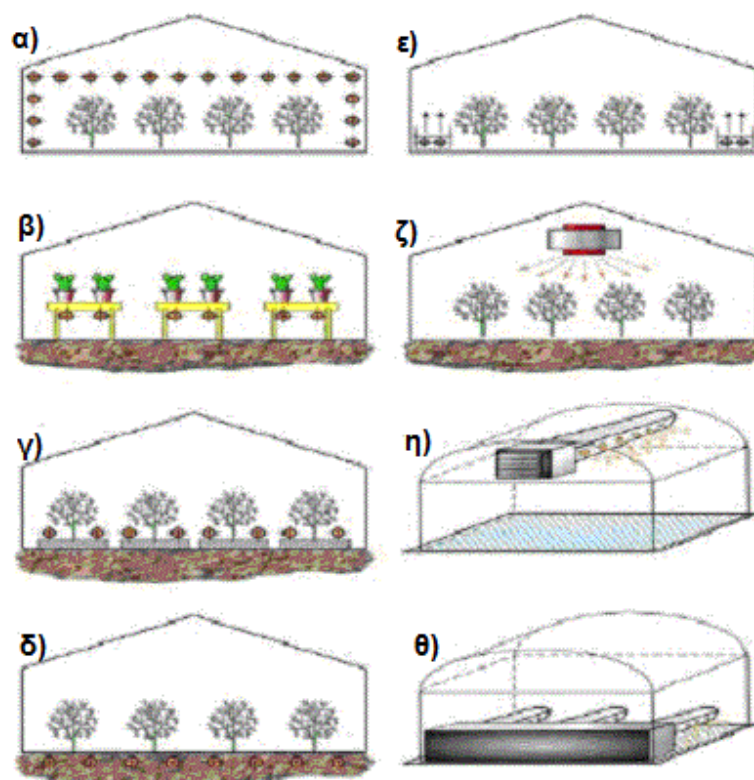
Τα θερμαινόμενα θερμοκήπια και εδάφη χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής και την πρωίμιση καλλιεργειών.

- Οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η γεωθερμία να αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές, λόγω του μικρού κόστους της.
- Τα θερμοκήπια και η θέρμανση εδαφών απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C.

Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού.

Στο υπ' αριθμ. 3.10 σχήμα απεικονίζονται εγκαταστάσεις θέρμανσης με φυσική κίνηση του αέρα (φυσική συναγωγή):

- εναέριοι σωλήνες θέρμανσης
- θέρμανση πάγκων
- σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά
- θέρμανση εδάφους Εγκαταστάσεις θέρμανσης με εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή)
- πλευρική τοποθέτηση σωλήνων
- εναέρια αερόθερμα
- αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά
- αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά (von Zabeltitz, 1986) [22].



Σχήμα 3.10: Συστήματα θέρμανσης σε γεωθερμικά θερμοκήπια.

Μια πάρα πολύ κοινή περίπτωση, για τα δεδομένα του ελλαδικού χώρου είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο γεωθερμικά ρευστά $40 - 55^{\circ}\text{C}$. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται περί τις 150.000 kcal/h το στρέμμα για μία περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο, 1.250 ωρών (Load Factor 14%) διατηρώντας μία εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον 14°C .

Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου το στρέμμα ή περί τα 2.400.000 δρχ./έτος το στρέμμα.

3.6.2.4 Ιχθυοκαλλιέργειες

Η απαραίτητη θερμοκρασία στο νερό της δεξαμενής της ιχθυοκαλλιέργειας κυμαίνεται από 14 έως 30°C , ανάλογα με το είδος της.

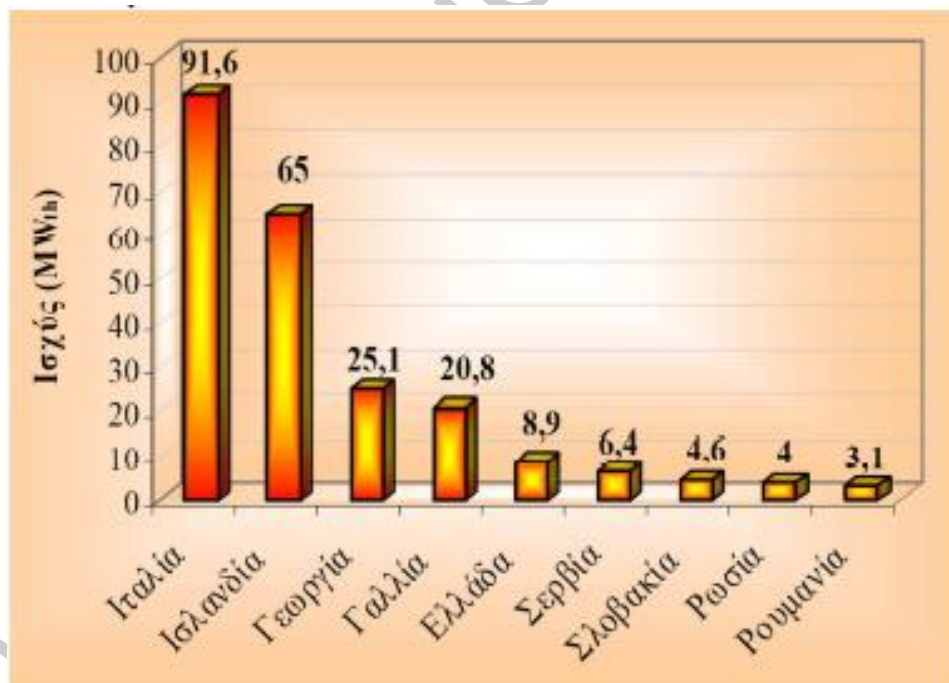
Η ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο, θερμοκρασίας 25 έως 35°C , είτε από το απορριπτόμενο νερό από τη

θέρμανση θερμοκηπίων. Στη δεύτερη περίπτωση εκτιμάται ότι από τα απορριπτόμενα νερά 5 στρεμμιάτων γυάλινου θερμοκηπίου με τριαντάφυλλα δύναται να θερμανθεί δεξαμενή χελοτροφείου όγκου 500 m^3 . [29]

Η γεωθερμία συμβάλλει με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε ιχθυοκαλλιέργειες ψαριών, θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδας) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες).

- Η θέρμανση πραγματοποιείται είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού.
- Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κλπ).
- Οι υδατοκαλλιέργειες απαιτούν την παρουσία γεωθερμικού ρευστού σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 20°C .

Η εγκατεστημένη ισχύς για υδατοκαλλιέργειες στην Ευρώπη κατά το 2005 ανήλθε σε 230 MWth.



Σχήμα 3.11: Εφαρμογές θέρμανσης ιχθυοκαλλιεργειών στην Ευρώπη, [22]

3.6.2.5 Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών και άλλες χρήσεις

Τα γεωθερμικά ρευστά δεν περιέχουν μόνο θερμότητα, αλλά αρκετές φορές περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ουσίες, στερεές ή αέριες. Στοιχεία που θεωρητικά θα

μπορούσαν να ανακτηθούν είναι ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, το μαγνήσιο, αντιμόνιο, το βόριο, το στρόντιο κλπ.

Από τα αέρια που βρίσκονται στα γεωθερμικά ρευστά το μόνο που μπορεί να τύχει εκμετάλλευσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

- **Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα**

Το CO_2 , που υπάρχει σε πολλά γεωθερμικά πεδία μπορεί κάλλιστα να δεσμευτεί στις επιφανειακές εγκαταστάσεις και να αξιοποιηθεί ως εμπορικό παραπροϊόν. Για παράδειγμα στο Kizildere της Τουρκίας, παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανακτώνται και μεγάλες ποσότητες του αερίου αυτού για τις ανάγκες της βιομηχανίας αναψυκτικών, ενώ η Ισλανδία καλύπτει όλες τις ανάγκες της σε CO_2 από γεωθερμικά ρευστά. Μικρές ή μεγαλύτερες μονάδες ανάκτησης του CO_2 υπάρχουν επίσης στην Κένυα, τις Η.Π.Α., τη Ν. Ζηλανδία και το Ταϊβάν.

Το CO_2 χρησιμοποιείται ως πυροσβεστικό μέσο, στη συντήρηση τροφών, ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία, ως μέσο για τη δευτερογενή εξόρυξη πετρελαίου και αλλού. Οι παραπάνω όμως χρήσεις προϋποθέτουν μεγάλες ποσότητες αερίου, οι οποίες μπορούν να ανακτηθούν ύστερα από συστηματική εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων και αξιοποίηση δικτύου γεωτρήσεων. Σε τοπική κλίμακα, η ανάκτηση μικρών ποσοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία εμφιάλωσης ανθρακούχων ποτών ή ως πρόσθετο της ατμόσφαιρας θερμοκηπίων.[21]



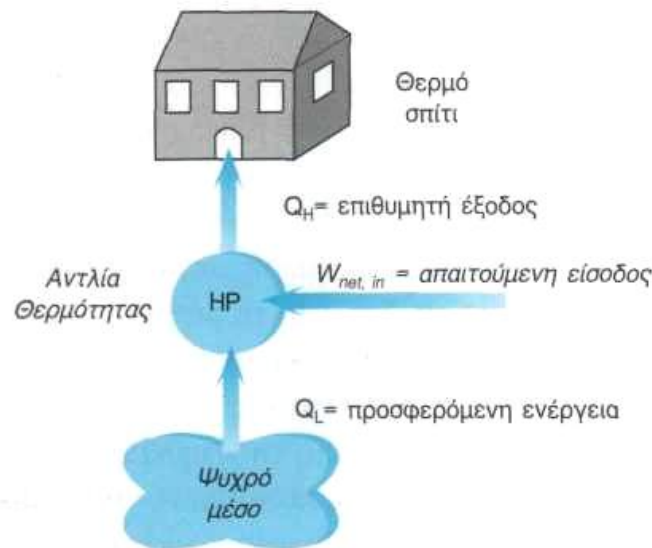
Σχήμα 3.12: Διαδικασία ανάκτησης διοξειδίου του άνθρακα, πηγή: Νικόλαος Β. Ανδρίτσος-Μιχάλης Δ. Φύτικας, «Γεωθερμία», 2004

3.6.2.6 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

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

Τα βασικά εξαρτήματα μίας αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστή, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια την πηγή ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση.

Η πιο συνηθισμένη πηγή ενέργειας για τις αντλίες θερμότητας είναι ο *ατμοσφαιρικός αέρας* (συστήματα αέρα-αέρα, τα κοινά κλιματιστικά), με σοβαρό μειονέκτημα όμως ότι δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σε θερμοκρασίες μικρότερες των 5°C. Τα τελευταία 30 χρόνια βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν για πηγή θερμότητας το έδαφος και το νερό (υπόγειο ή επιφανειακό) και ονομάζονται **γεωθερμικές αντλίες θερμότητας** (Γ.Α.Θ.). Η μορφή της ενέργειας αυτής καλείται **αβαθής γεωθερμία**. Οι Γ.Α.Θ. δεν παρουσιάζουν προβλήματα, ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπως συμβαίνει με τις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα. Τα υπόγεια νερά και το έδαφος, ως πηγές θερμότητας, υπερτερούν σημαντικά σε σχέση με τον αέρα, επειδή έχουν καθόλη σχεδόν τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία.



Σχήμα 3.13: Γενική αρχή τη αντλίας θερμότητας [21]

Μειονέκτημα των νερών είναι ότι η διαθεσιμότητα τις είναι συνήθως περιορισμένη. Οι αντλίες θερμότητας γνωρίζουν πραγματική άνθηση τα τελευταία χρόνια, σημειώνοντας ετήσια αύξηση σχεδόν μεγαλύτερη του 10%. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη των Γ.Α.Θ. σημειώθηκε στις Η.Π.Α. και τη Δυτική Ευρώπη (Γερμανία, Ελβετία, Σουηδία). στην οποία έχουν ήδη εγκατασταθεί περισσότερες από 360.000 μονάδες με συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύ 3280MWt (Anonymus, 2003, Sanner et all, 2003).

Στις Η.Π.Α. υπάρχουν σήμερα εγκατεστημένες περίπου 500.000 μονάδες Γ.Α.Θ., με μέση δυναμικότητα 12 kw (Lund 2003). Από αυτές τις μονάδες, ποσοστό 46% είναι κατακόρυφα κλειστά συστήματα, ποσοστό 38% οριζόντια κλειστά συστήματα και 16% ανοικτά συστήματα. Στη χώρα μας, η χρήση τους δεν είναι διαδεδομένη και μόνο περιορισμένες προσπάθειες έχουν γίνει για τη θέρμανση κτιριακών χώρων. (Sanner et all, 2003).

Τα κύρια σχήματα με τα οποία λειτουργούν οι Γ.Α.Θ. είναι οι αντλίες που λειτουργούν με υπόγεια νερά (ground water open loop) σχετικά ψυχρά (10- 15°C), ή και κάπως θερμότερα (20- 35°C), οι αντλίες που λειτουργούν με επιφανειακά υγρά (surface water) και οι αντλίες που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος.(ground coupled)

Η επιλογή του ψυκτικού μέσου στις Γ.Α.Θ. εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας της συσκευής. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου είναι: να

μην είναι τοξικό, διαβρωτικό ή εύφλεκτο υγρό, να είναι σταθερό στις θερμοκρασίες εφαρμογής και να διατίθεται σε χαμηλό κόστος. Τα χαρακτηριστικά αυτά τα πληρούσαν ιδανικά οι χλωροφθοράνθρακες, των οποίων όμως η χρήση έχει απαγορευτεί από το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Ψυκτικά που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι R17a, R134a, R407c, R410κ.α [21]

3.6.3 Γεωθερμία μέσης και υψηλής ενθαλπίας

Η Γεωθερμία υψηλής και μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

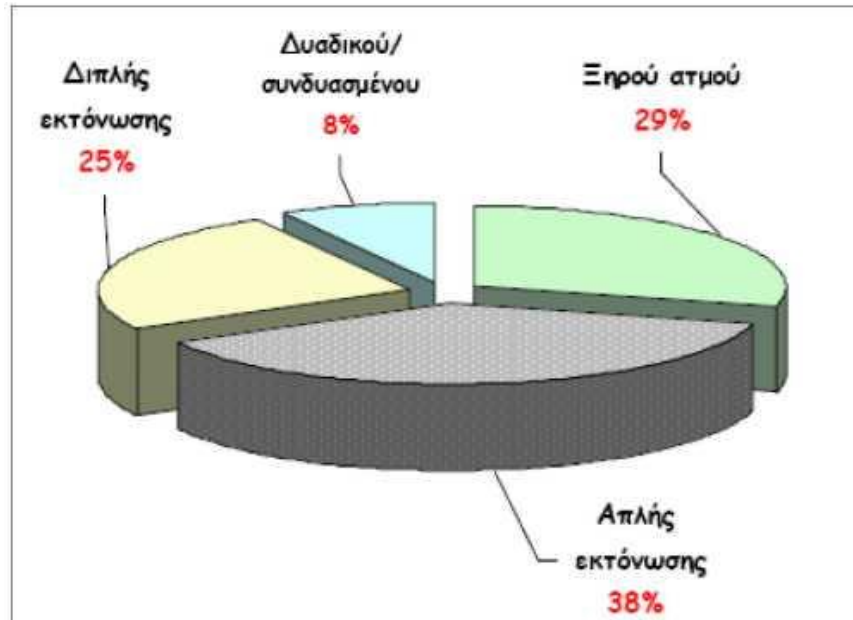
- Μπορεί να προσφέρει θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης.
- Είναι από τις πιο καθαρές για το περιβάλλον μορφές ενέργειας.

Διακρίνονται οι ακόλουθες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας:

- χρήση ξηρού ατμού
- χρήση ακαριαίου ατμού
- δυαδικός κύκλος ή κύκλος Rankine

Ο τύπος (κύκλος) της μονάδας ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενεργείας σε ηλεκτρική καθορίζεται συνήθως από το είδος του πεδίου (ξηρός ατμός, διφασικό ρευστό), από τη θερμοκρασία και την πίεση των ρευστών (δηλαδή από την ενθαλπία τους), από τη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών (π.χ. ποσοστό μη-συμπυκνώσιμων αερίων, παρουσία αλάτων), από τη δυναμικότητα της μονάδας και από την τάση των ρευστών για δημιουργία επικαθίσεων και διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών.

Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα είναι ο κύκλος ξηρού ατμού, ο κύκλος (απλής & διπλής) εκτόνωσης διφασικού ρευστού, ο δυαδικός κύκλος και ο κύκλος συνολικής ροής (συνδυασμένος). Η ποσοστιαία κατανομή τους ανά τον κόσμο εμφανίζεται στο σχήμα 3.14.



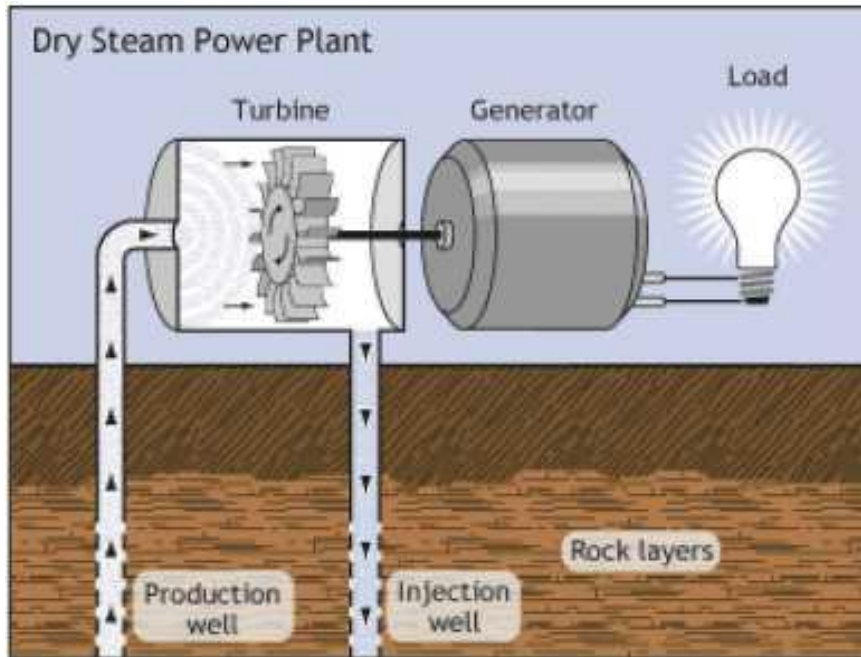
Σχήμα 3.14: Κατανομή τύπων γεωθερμικών μονάδων το 2004 (Bertam, 2005).

3.6.3.1 Κύκλος απευθείας χρήσης του ατμού

Ο κύκλος απευθείας χρήσης του ατμούς απλά κύκλος ατμού (*direct steam expansion*) είναι ο απλούστερος τύπος γεωθερμικής μονάδας και ο τύπος που απαιτεί το μικρότερο κόστος κεφαλαίου. Εφαρμόζεται στα ολιγάριθμα πεδία που παράγουν υπέρθερμο γεωθερμικό ατμό (Larderello και Amiata, Ιταλία, The Geysers, Η.Π.Α. κ.ά.). Συνοπτικά, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.15, ατμός από μία ή περισσότερες γεωτρήσεις οδηγείται κατευθείαν σε ένα στρόβιλο, χωρίς καμιά επεξεργασία ή ύστερα από επεξεργασία για την αφαίρεση του HCl ή άλλων επιβλαβών ουσιών που βρίσκονται στον ατμό. Η μονάδα μπορεί να έχει συμπυκνωτή (*condensing type*), όπου η πίεση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, με τυπική τιμή 0,12 bara, ή όχι (*backpressure type*), δηλαδή ο ατμός εξέρχεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα. Η επιλογή του τύπου γίνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του ατμού σε μη συμπυκνώσιμα αέρια. Για ατμό με μεγάλη περιεκτικότητα σε μη συμπυκνώσιμα αέρια (της τάξης του 50% mol/mol) δε συνιστάται η χρήση συμπυκνωτή. Πρέπει, πάντως, να σημειώσουμε ότι ο τύπος χωρίς συμπυκνωτή παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερη απόδοση (σχεδόν τη μισή) από ότι ο τύπος με συμπυκνωτή, έχει όμως απλούστερη λειτουργία και μικρότερο κόστος (δεν απαιτείται συμπυκνωτής, πύργος ψύξης και σύστημα άντλησης του νερού ψύξης).

Οι συμπυκνωτές είναι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για την υγροποίηση του ατμού με την απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας του. Οι

συμπυκνωτές διακρίνονται σε *έμμεσης επαφής*, όταν ο ατμός και το ψυκτικό μέσο διαχωρίζονται από την επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, και σε συμπυκνωτές *άμεσης επαφής*, όταν τα ρεύματα ατμού και ψυκτικού μέσου (νερού) αναμιγνύονται και εγκαταλείπουν το συμπυκνωτή ως ένα μονό ρεύμα. Οι τελευταίοι είναι φθηνότεροι από τους συμπυκνωτές έμμεσης επαφής και απαιτούν μικρότερες ποσότητες νερού.

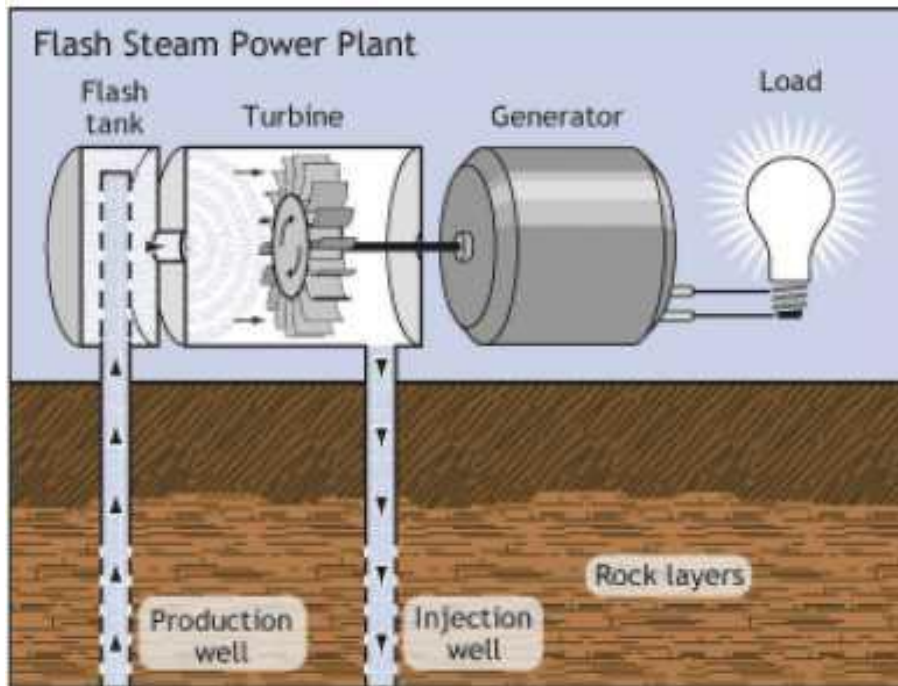


Σχήμα 3.15: Σκαρίφημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρό ατμό. Πηγή: "Energy Efficiency and Renewable Energy"

3.6.3.2 Κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού

Ο κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού (flash condensing type) χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που έχουμε νερό σε υψηλή θερμοκρασία (>150°C) και πίεση (τυπικά παραδείγματα Wairakei N. Ζηλανδίας, Salton Sea Η.Π.Α., LATERA Ιταλίας και Μήλος). Στον τύπο αυτόν, το γεωθερμικό ρευστό είτε έρχεται ως διφασική ροή από τη γεώτρηση είτε εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης και μετατρέπεται σε διφασικό μίγμα. Το μίγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.16. Αν η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού το επιτρέπουν, τότε το υγρό μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά (dual flashing) ή και περισσότερες φορές (multistage flashing), ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, που θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας. Από την άλλη μεριά βεβαίως, η ύπαρξη διπλής (ή πολλαπλής) εκτόνωσης προσθέτει επιπλέον

κατασκευαστικό κόστος. Σημειώνεται επίσης ότι για γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλατότητας (Salton Sea, Μήλος κ.ά.) ο ατμός ψεκάζεται με νερό πριν από το στρόβιλο, για να απομακρυνθούν οι ποσότητες αλάτων που συμπαρασύρονται από τον ατμό.



Σχήμα 3.16: Σκαρίφημα παραγωγής ατμού (και εν συνεχεία ηλεκτρισμού) με εκτόνωση διφασικού γεωθερμικού ρευστού. Πηγή: "Energy Efficiency and Renewable Energy"

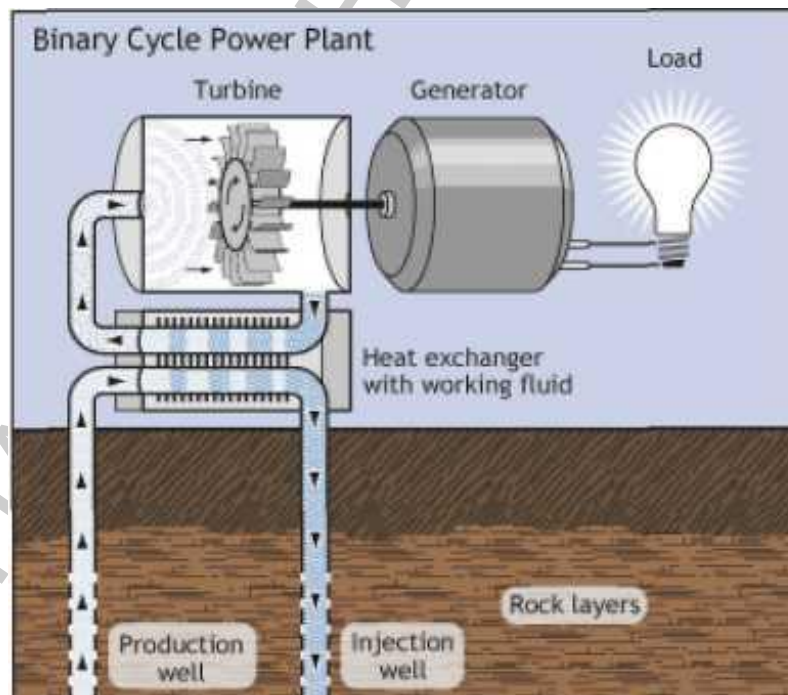
Αν η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού το επιτρέπουν, τότε το υγρό μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη (dual flashing) ή και περισσότερες φορές (multistage flashing), ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός που θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας. Από την άλλη μεριά βεβαίως, η ύπαρξη διπλής (ή πολλαπλής) εκτόνωσης προσθέτει επιπλέον κατασκευαστικό κόστος. Σημειώνεται επίσης ότι για γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλατότητας (Salton Sea, Μήλος κ.α.) ο ατμός ψεκάζεται με νερό πριν από το στρόβιλο προκειμένου να απομακρυνθούν οι ποσότητες αλάτων που συμπαρασύρονται από τον ατμό.

Οι μονάδες εκτόνωσης διφασικού ρευστού μπορεί να διαθέτουν συμπυκνωτή ή όχι, όπως στον κύκλο ατμού, με τα ίδια περίπου πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πλειονότητα των μονάδων χωρίς συμπυκνωτή είναι σχετικά μικρές (1-5 MWe) και χαρακτηρίζονται από χαμηλές αποδόσεις (60%), σε αντίθεση με την ισχύ των μονάδων με συμπυκνωτή που φτάνει τα 60 MWe και με απόδοση που προσεγγίζει

το 85%. Το νερό στους συμπυκνωτές ψύχεται σε πύργους ψύξης είτε με φυσική συναγωγή είτε με εξαναγκασμένη. Τα συστήματα εκτόνωσης του διαφασικού ρευστού αποτελούν την πλέον αποδοτική τεχνολογία, όταν η θερμοκρασία των ρευστών υπερβαίνει τους 150°C.

3.6.3.3 Δυαδικός κύκλος

Ο *δυαδικός κύκλος* (binary fluid cycle) ή *κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό* (organic Rankine cycle) χρησιμοποιείται με ρευστά θερμοκρασίας 85-175°C. Επειδή τα πεδία μέσης ενθαλπίας είναι περισσότερα, ο δυαδικός τύπος τείνει να επικρατήσει. Τα κύρια τμήματα ενός δυαδικού συστήματος είναι ο εναλλάκτης γεωθερμικού νερού-δευτερεύοντος ρευστού (ψυκτικού), ο ατμοστρόβιλος, η ηλεκτρική γεννήτρια, ο συμπυκνωτής (συνήθως εναλλάκτης αυλών και κελύφους), η αντλία κυκλοφορίας του ψυκτικού, η αντλία επανεισαγωγής (αν απαιτείται) και οι απαραίτητες βαλβίδες ελέγχου. Συνοπτικά, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 3.17, το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό και αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, κτλ.), το οποίο έχει μικρότερο σημείο ζέσεως σε σχέση με το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στο στρόβιλο, και εν συνέχεια στο συμπυκνωτή.



Σχήμα 3.17: Σκαρίφημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο του δυαδικού κύκλου.
Πηγή: "Energy Efficiency and Renewable Energy"

Τέλος το ρευστό από το συμπυκνωτή συμπιέζεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου. Τα δυαδικά συστήματα είναι μικρές, αρθρωτές (modular) μονάδες, των οποίων η ισχύς ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες kWe μέχρι περίπου 3 MWe. Τα πλεονεκτήματα του δυαδικού κύκλου είναι τα εξής:

- (1) Κάνει δυνατή την ανάκτηση μεγαλύτερης ποσότητας θερμότητας, με την απόρριψη των ρευστών σε χαμηλότερη θερμοκρασία.
- (2) Μπορεί να χρησιμοποιηθούν γεωθερμικά νερά μέσης ενθαλπίας, επειδή το σημείο ζέσεως των οργανικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλότερο από 100°C. Με κατάλληλη επιλογή του δευτερεύοντος ρευστού, τα δυαδικά συστήματα μπορεί να λειτουργήσουν και με θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών μέχρι και 85°C.
- (3) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαφασικό μίγμα, αν και καλό θα ήταν να αποφεύγεται η χρήση του.
- (4) Περιορίζει ουσιαστικά τα προβλήματα διάβρωσης και σχηματισμού επικαθίσεων στον εναλλάκτη, ενώ δεν παρουσιάζει καμία περιβαλλοντική επίπτωση, αφού γίνεται επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα.
- (5) Κάνει δυνατή την αξιοποίηση ρευστών που περιέχουν διαβρωτικά συστατικά και σημαντικές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων.

Από την άλλη μεριά, μία μονάδα δυαδικού κύκλου παρουσιάζει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- (1) Κάνει απαραίτητη τη χρήση εναλλάκτη, ο οποίος είναι γενικά μία δαπανηρή συσκευή, που συνήθως παρουσιάζει έντονα προβλήματα διάβρωσης. Αντιμετωπίζονται με τη χρήση ανθεκτικών μετάλλων ή κραμάτων (τιτάνιο, Hastelloy).
- (2) Τα οργανικά ρευστά που χρησιμοποιούνται είναι πτητικά, ορισμένα από αυτά είναι τοξικά, ενώ πολλές οργανικές ουσίες είναι επιβλαβείς στη στρατοσφαιρική στιβάδα του όζοντος και θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή διαρροών.
- (3) Η μικρή δυναμικότητα των μονάδων αποτελεί το σοβαρότερο μειονέκτημα του κύκλου. Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται πολλές μικρές μονάδες σε συστοιχία. Πάντως, δεκάδες τέτοιες μονάδες έχουν εγκατασταθεί τα τελευταία δέκα χρόνια σε

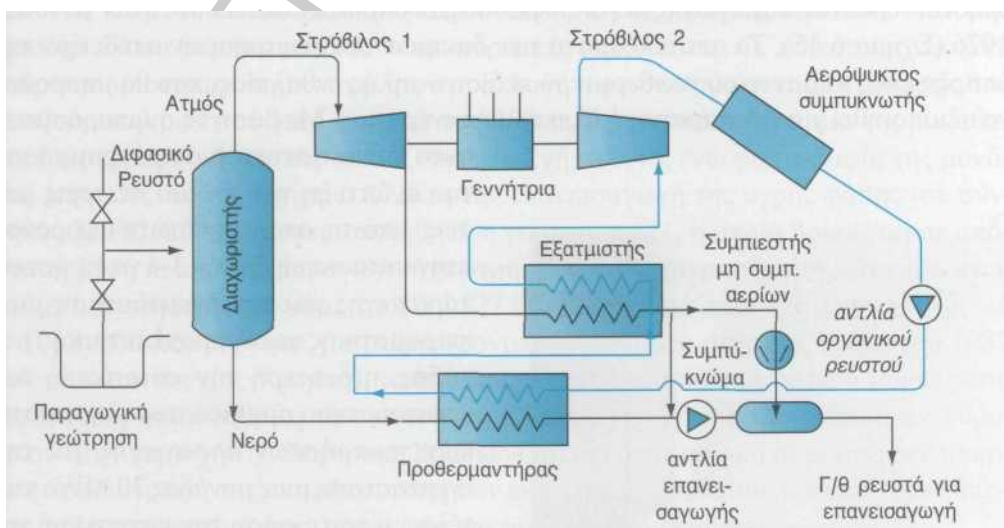
όλον τον κόσμο και ιδιαίτερα στις δυτικές πολιτείες των Η.Π.Α., όπου η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τέτοιων μονάδων υπερβαίνει τα 250 MWe.

(4) Το κόστος των δυαδικών συστημάτων είναι υψηλότερο από το κόστος των συστημάτων ατμού. Για μικρότερης δυναμικότητας μονάδες το κόστος ανά kW μεγαλώνει

Ένας νέος τύπος δυαδικού κύκλου αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990, ο κύκλος Kalina. Ο κύκλος αυτός είναι περισσότερο αποδοτικός από τον κύκλο Rankine, αλλά περισσότερο σύνθετος. Ως δευτερεύον ρευστό χρησιμοποιείται μίγμα αμμωνίας-νερού σε αναλογία 70/30. Το μίγμα αυτό εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες και διέρχεται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης και ακολούθως επαναθερμαίνεται πριν περάσει από το στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μικρές μονάδες του κύκλου αυτού λειτουργούν ήδη στο Husavik της Ισλανδίας (2 MWe) και στην Ιαπωνία.

3.6.3.4 Συνδυασμένος κύκλος ατμού και δυαδικού συστήματος

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ο λεγόμενος *συνδυασμένος κύκλος* (combined cycle), ο οποίος αποτελεί το συνδυασμό του κύκλου εκτόνωσης του διφασικού ρευστού και του δυαδικού κύκλου, με συνέπεια τη σημαντική αύξηση της απόδοσης της μονάδας. Όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 3.18, γίνεται περαιτέρω αξιοποίηση της θερμότητας από τη συμπύκνωση του ατμού από τον κύριο στρόβιλο και μέρος της θερμότητας της υγρής φάσης για τη λειτουργία ενός δυαδικού κύκλου. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι η συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου γίνεται με αέρα (αερόψυκτος συμπυκνωτής) και ότι το σύνολο των γεωθερμικών ρευστών επανεισάγονται στον ταμιευτήρα.



Σχήμα 3.18: Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με συνδυασμένο κύκλο.

3.6.3.5 Κύκλος εκτόνωσης της συνολικής ροής

Στις μονάδες εκτόνωσης του διφασικού ρευστού, ένα μέρος μόνο της θερμότητας των ρευστών αξιοποιείται, δηλαδή η ενθαλπία του ατμού που διαχωρίζεται. Στον τύπο της μονάδας εκτόνωσης της συνολικής ροής (total flow expansion), γίνεται εκτόνωση όλου του ρευστού με τη βοήθεια κατάλληλου ακροφυσίου (nozzle) και το διφασικό ρευστό (σε μορφή τζετ) κινεί μία περιστρεφόμενη συσκευή (π.χ. στρόβιλο τύπου Pelton), που μετατρέπει την ορμή σε περιστροφική κίνηση. Ο ατμός από το διφασικό στρόβιλο οδηγείται κατόπιν σε ένα συμβατικό ατμοστρόβιλο. Τουλάχιστον 40% περισσότερη ισχύς επιτυγχάνεται με τον κύκλο αυτό σε μία συγκεκριμένη γεώτρηση. Πιλοτικές μονάδες που χρησιμοποιούσαν αυτό τον κύκλο, λειτούργησαν με επιτυχία στο Coso Hot Springs της Καλιφόρνιας και στο Cerro Prieto του Μεξικού, ενώ μία μονάδα 9 MWe λειτούργησε για κάποια χρόνια στο Desert Peak της Νεβάδας.[31]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Ε.Ε.

4.1 Ελλάδα

Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Με τις σημερινές γνώσεις μας από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και από άλλες ενδείξεις στα γεωθερμικά πεδία, εκτιμάται ότι το βεβαιωμένο συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας (με βάση την απόρριψη των νερών σε θερμοκρασίες περίπου 25 °C) ανέρχεται σε 700-800 MW_{th}, περίπου

Οι ορατές εκμεταλλεύσεις τη γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σε χρήσεις μόνο θέρμανσης (όπως τηλεθέρμανση κτιρίων, θερμοκήπια, ξηραντήρια αγροτικών προϊόντων και ιχθυοκαλλιέργειες) μπορούν μέχρι το έτος 2000 να αγγίζουν τα 150 MW_{th}, εγκατεστημένης ισχύος, εξοικονομώντας 17.000 περίπου τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ.Ι.Π.) το έτος.

Στην πράξη όμως σήμερα η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας στην χώρα μας είναι ασήμαντη έως μηδαμινή.

Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένα στην χώρα μας μόλις 200 στρ. γεωθερμικών θερμοκηπίων με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 20 MW_{th} που εξοικονομούν 2000 Τ.Ι.Π. το έτος. Αυτό συμβαίνει παρ' όλο που οι συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ρευστών είναι συμφέρουσες και παρ' όλο που τα γεωθερμικά πεδία συμπίπτουν γεωγραφικά με εύφορες πεδιάδες με μεγάλη γεωργική παραγωγή.

Οι άμεσες θερμικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα στο τέλος του 2008 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους έφθασε το 2008 τα 115 MWth έναντι περίπου των 57 MWth που ήταν το 2000 και των 75 MWth το 2005. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής αύξησης αποδίδεται στη ραγδαία διάδοση των συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Οι υπόλοιπες εφαρμογές δεν παρουσιάζουν σαφή διαφοροποίηση τα τελευταία 10 χρόνια, αν και υπάρχει μια μικρή αύξηση της επιφάνειας που πραγματοποιείται θέρμανση εδάφους για πρωίμηση σπαραγγιών. Αρκετά γεωθερμικά θερμοκήπια (σε Νιγρίτα Σερρών, Λαγκαδά, Ελαιοχώρια Χαλκιδικής και Ν. Κεσσάνη

Ξάνθης), καθώς και η μικρή μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο είναι εκτός λειτουργίας για λόγους που δεν σχετίζονται άμεσα με τη γεωθερμία. Επίσης, παρά τη σημαντική συμμετοχή της λουτροθεραπείας και των ανοιχτών και κλειστών κολυμβητικών δεξαμενών (πισινών) στη συνολική ισχύ, αυτός ο τομέας (με μερικές εξαιρέσεις) δεν έχει δείξει καμιά τάση επέκτασης ή χρήσης των γεωθερμικών νερών για τη θέρμανση των κτιριακών εγκαταστάσεων. Τέλος, εξαιτίας διοικητικών-διαχειριστικών προβλημάτων αναστάλη η ολοκλήρωση ενός προγράμματος ισχύος 2 MW_a, στον Λαγκαδά Θεσσαλονίκης για τη θέρμανση και ψύξη δημόσιων κτιρίων με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιώντας ρηχές γεωτρήσεις με νερά θερμοκρασίας 20-40°C.

Χρήση	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW _{th}) - 2008	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW _{th}) - 2000	Ετήσια Χρήση Ενέργειας (10 ¹² J) - 2008
Θέρμανση χώρων	1,4	1,13	16
Θέρμανση θερμοκηπίων & Θέρμανση εδάφους	28	20,6	248
Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	0,8	0	4
Υδατοκαλλιέργειες*	9,3	-	76
Ιαματικός Τουρισμός & Λουτροθεραπεία	36,0	35,0	182
Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας	40	0,4	200
Σύνολο	115,5	57,13	726

* Ιχθυοκαλλιέργειες & Καλλιέργεια *Spirulina*

Πίνακας 4.1: Γεωθερμικές εφαρμογές στην Ελλάδα (τέλος 2008)[34]

4.1.1 Δυνατότητες και προοπτικές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα

Οι δυνατότητες που υπάρχουν στην Ελλάδα για αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλες, αφού το γεωθερμικό δυναμικό που έχει εντοπισθεί είναι τεράστιο. Η συστηματική γεωθερμική έρευνα που πραγματοποιείται πάνω από 30 χρόνια από το Ι.Γ.Μ.Ε. οδήγησε στην εντοπισμό και μελέτη γεωθερμικών πεδίων σε όλη την επικράτεια. Τα γεωθερμικά πεδία, ανάλογα με το βαθμό μελέτης τους και τη γνώση των χαρακτηριστικών τους, ταξινομούνται ως «βεβαιωμένα και πιθανά», σύμφωνα με τον Νόμο 3175/2003. Σε εφαρμογή του Νόμου αυτού εκδόθηκαν και δημοσιεύθηκαν στα ΦΕΚ 1012/Β719-7-2005 και ΦΕΚ 161/Β75-2-2008 οι Υπουργικές Αποφάσεις βάσει των οποίων 25 περιοχές της χώρας χαρακτηρίζονται ως βεβαιωμένα ή/και πιθανά γεωθερμικά πεδία. Με την κατάταξη και αναγνώριση από την Πολιτεία μιας περιοχής ως γεωθερμικού

πεδίου δίνεται η δυνατότητα στην αρμόδια Περιφέρεια να προχωρήσει τις διαδικασίες μίσθωσης και διαχείρισης του πεδίου με την προκήρυξη σχετικής διακήρυξης και με πλειοδοτικό διαγωνισμό. Η πρώτη προκήρυξη για πλειοδοτικό διαγωνισμό μίσθωσης γεωθερμικού πεδίου έγινε με την ΑΠ 2141/2-8-2007 διακήρυξη από την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης και αφορούσε το «βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού Καβάλας». Πλειοδότης του διαγωνισμού αναδείχθηκε ο Δήμος Χρυσούπολης.

Για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα καθίσταται επιτακτική ανάγκη να επιλυθούν κάποια προβλήματα του νομοθετικού πλαισίου, το οποίο διέπει την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, με τροποποίηση κάποιων διατάξεων του Ν.3175/2003. Οι τροποποιήσεις, που έχουν προωθηθεί νομοθετικά από το αρμόδιο Υπουργείο Ανάπτυξης αποσκοπούν: (α) να ανοίξουν το δρόμο για την αξιοποίηση της γεωθερμίας και από μικρούς χρήστες-επενδυτές, κυρίως σε αγροτικές εφαρμογές και θερμικές χρήσεις, (β) να επιλύσουν προβλήματα μίσθωσης πιθανών και βεβαιωμένων γ/θ πεδίων στην ίδια περιοχή και (γ) να διαμορφώσουν το πλαίσιο για μελλοντική θέσπιση οικονομικών κινήτρων για οικιακές χρήσεις θέρμανσης - ψύξης.

Χωρίς να παραγνωρίζεται η άμεση αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου των γεωθερμικών ρευστών για την παραγωγή θερμότητας, σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της γεωθερμίας στην Ελλάδα πρέπει να αποκτήσει και η εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών για Ηλεκτροπαραγωγή και επομένως για Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Εξαιτίας της ατυχούς κατάληξης της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 2 MWe στη Μήλο, που έκλεισε το 1989 εξαιτίας έκλυσης υδρόθειου (H₂S) στην ατμόσφαιρα και έντονων διαμαρτυριών των κατοίκων, η ανανέωση του ενδιαφέροντος για ηλεκτροπαραγωγή στη Μήλο και τη Νίσυρο με μονάδες κύκλου εκτόνωσης (flash cycle units) δεν είναι πιθανή. Από την άλλη πλευρά, η εγκατάσταση μικρών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με δυαδικό κύκλο (Organic Rankine Cycle, ή Kalina) δεν μπορεί να αποκλεισθεί. Προς την κατεύθυνση αυτή αξίζει να διερευνηθούν οι δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρισμού με το δυαδικό κύκλο από γεωθερμικά ρευστά μέσης ενθαλπίας (θερμοκρασίας 90-175°C) και στις βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες του Ελλαδικού χώρου και ιδιαίτερα στις λεκάνες Στρυμόνα, Δέλτα Ποταμού Νέστου, Ξάνθης-Κομοτηνής και Έβρου. Η δυνατότητα ηλεκτροπαραγωγής με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών μέσης ενθαλπίας θα πρέπει να τύχει ιδιαίτερης προσοχής στην Ελλάδα. Στην Κεντρική Ευρώπη (Γερμανία, Αυστρία) κατασκευάζονται γεωτρήσεις βάθους 2-3,5 km για

την παραγωγή ρευστών θερμοκρασίας 100-120°C, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή (ΣΗΘ). Σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας, οι γεωθερμικές συνθήκες είναι σαφώς πιο ευνοϊκές και τέτοιας τάξης θερμοκρασίες μπορούν να εντοπισθούν σε μικρότερα βάθη, με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος κατασκευής των γεωτρήσεων. Υπάρχουν όμως κι άλλες, μεγαλύτερης έκτασης περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον, όπου λόγω της καλής γεωθερμικής βαθμίδας (ίσης ή μεγαλύτερης της μέσης γήινης) σε συνδυασμό με ευνοϊκές τεκτονικές και στρωματογραφικές συνθήκες, πιθανολογείται βάσιμα η ύπαρξη αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών με θερμοκρασίες >120°C, που μπορούν να δώσουν συνολικά αρκετές εκατοντάδες MWe. Οι περιοχές των δύο προαναφερθέντων κατηγοριών βρίσκονται κυρίως στις ιζηματογενείς λεκάνες της Βόρειας και Κεντρικής - Ανατολικής Ελλάδος.

Αυξημένη θερμική ροή παρουσιάζεται σε νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, όπως στη Σαμοθράκη, Λέσβο, Χίο, Λήμνο, Ικαρία κ.α. Για παράδειγμα, στον χώρο των Λουτρών Θερμών Σαμοθράκης γεώτρηση βάθους μόλις 40 m παράγει με αρτεσιανή ροή νερά θερμοκρασίας 94-99°C, στα Νένητα της Χίου έχουν εντοπισθεί νερά θερμοκρασίας μέχρι 82°C σε βάθος 300-380 m, ενώ στη Λέσβο έχουν μετρηθεί θερμοκρασίες 92°C και 86°C σε γεωτρήσεις βάθους 200 m στη Στύψη και στην Άργεννο αντίστοιχα. Η αυξημένη θερμική ροή των νησιών του Ανατολικού Αιγαίου θα μπορούσε να αξιοποιηθεί τόσο σε άμεσες χρήσεις όσο και σε ηλεκτροπαραγωγή με την ανόρυξη γεωτρήσεων σε μεγαλύτερα βάθη για τον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών ακόμη μεγαλύτερης θερμοκρασίας. Τα τελευταία χρόνια η Δ.Ε.Η. διεξάγει ερευνητικές εργασίες στη Λέσβο, με σκοπό την εγκατάσταση και λειτουργία μιας γεωθερμικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής με δυαδικό κύκλο ORC. Στα πλαίσια αυτής της ερευνητικής προσπάθειας εντοπίστηκαν θερμοκρασίες 90-107°C σε γεωτρήσεις βάθους 300-1085 m στις περιοχές Άργεννου και Στύψης.

Στη Μακεδονία και Θράκη, στην Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα καθώς και σε πολλά νησιά του Αιγαίου υπάρχουν εκτεταμένες γρανιτικές διεισδύσεις και γνευσιακοί σχηματισμοί. Τα πετρώματα αυτά είναι γεμάτα διακλάσεις, έχουν όμως σχεδόν μηδενικό πορώδες και υδροπερατότητα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συγκρατήσουν ποσότητες νερού. Η αναζήτηση της δυνατότητας ενεργειακής εκμετάλλευσης τους προβάλλει αρκετά ελκυστική, ιδιαίτερα στις περιοχές όπου οι τεράστιοι γρανιτικοί όγκοι

συνδυάζονται με αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα. Ενεργειακά μπορούν να αξιοποιηθούν με την εφαρμογή της τεχνολογίας των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (Enhanced Geothermal Systems, E.G.S.) σε συνδυασμό ίσως και με το δυαδικό κύκλο Rankine ή Kalina.

Τέλος, τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ) φαίνεται να αποτελούν μια εύκολη, οικονομικά προσιτή, πρόταση εφαρμογής, η οποία είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον, έχει γρήγορη απόσβεση και μπορεί να υλοποιηθεί - χωρίς ιδιαίτερες γραφειοκρατικές διαδικασίες - από κάθε ενδιαφερόμενο, που επιθυμεί μια εναλλακτική πηγή ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη του χώρου, όπου ζει, κινείται και εργάζεται. Η θεαματική αύξηση τους τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα επιβεβαιώνει όλα τα παραπάνω. Η παροχή κάποιων οικονομικών κινήτρων θα μπορούσε να δώσει ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων. Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση συστημάτων ΓΑΘ στα νεο-ανεγειρόμενα δημόσια κτίρια περιοχών, που βρίσκονται μακριά από γεωθερμικά πεδία, μπορεί να προχωρήσει άμεσα και με ταχείς ρυθμούς. Ήδη το Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠ.ΑΝ.) σε συνεργασία με την Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδος (Κ.Ε.Δ.Κ.Ε.), το Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ι.Τ.Α.) και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) ξεκίνησαν την υλοποίηση του Προγράμματος «ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ», το οποίο εκτός της εφαρμογής δράσεων και αποδεδειγμένων καλών πρακτικών για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κυρίως στον κτιριακό τομέα (δημοτικά κτίρια) με έργα αναβάθμισης των υφιστάμενων κτιρίων προβλέπει μεταξύ άλλων και την εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.[34]

4.2 Ισπανία

Η έρευνα ο υπολογισμός και η αξιολόγηση των γεωθερμικών πηγών στην Ισπανία άρχισε την δεκαετία του 70' με μια γενική γεωλογική και γεωχημική αποτύπωση των ήδη γνωστών θερμικών πηγών και της θερμικής δραστηριότητας. Κατά την διάρκεια των χρόνων που ακολούθησαν κάθε μια από τις περιοχές που επιλέγηκαν ερευνήθηκαν διεξοδικά χρησιμοποιώντας τεχνικές από το πεδίο διαφορετικών επιστημών (όπως γεωλογία, γεωφυσική, γεωχημεία). Επιπλέον έγιναν γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη έτσι ώστε να αξιολογηθεί περαιτέρω το γεωθερμικό δυναμικό κάποιων περιοχών. Οι περιοχές στις οποίες επικεντρώθηκαν οι περισσότερες έρευνες ήταν στα Νοτιο-

ανατολικά (Granada, Almería και Murcia) στα Βορειο-ανατολικά (Barcelona, Gerona and Tarragona), Βορειοδυτικά (Orense, Pontevedra και Lugo) καθώς επίσης και στο κέντρο της Ιβηρικής χερσονήσου δηλαδή στη Μαδρίτη. Επίσης ερευνήθηκαν οι περιοχές Albacete, Lérida, León, Burgos και Mallorca.

Οι γεωθερμικές πηγές που έχουν αξιολογηθεί σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις αντιστοιχούν σε πεδία χαμηλής ενθαλπίας 50 έως 90 °C. Η μόνη περιοχή όπου ενδέχεται να υπάρχει υψηλή θερμοκρασία είναι στο ηφαιστειακό αρχιπέλαγος των Καναρίων Νήσων. Πόροι θερμών ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock) έχουν αξιολογηθεί στα νησιά Lanzarote και La Palma. Στη νήσο Tenerife, η παρουσία περιοχών υψηλής θερμοκρασίας έχει ήδη ερευνηθεί αλλά δεν έχουν βρεθεί βιώσιμα σε εμπορικό επίπεδο γεωθερμικοί ταμιευτήρες.

Απ' την άλλη τα χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία έχουν ήδη αντικείμενο εκμετάλλευσης σε μικρή όμως κλίμακα. Για παράδειγμα τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται για την παροχή θέρμανσης και ζεστού νερού στους χώρους όπου λειτουργούν ιαματικές πηγές και συγκεκριμένα στις περιοχές Lugo, Arnedillo (στη La Rioja), Fitero (στη Navarra), Montbrió del Camp (στη Tarragona), Archena (στη Murcia) και στη Sierra Alhamilla (στην Almería). Στην περιοχή της Orense και της Lérida τα γεωθερμικά ύδατα χρησιμοποιούνται για την θέρμανση των σπιτιών και των σχολείων. Χρήση της γεωθερμίας σε θερμοκήπια παρατηρείται κυρίως στις περιοχές Montbrió del Camp (Tarragona), Cartagena και Mazarrón (στη Murcia), καθώς και στη Zújar (στην Granada).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει παρατηρηθεί ένας συνεχώς αυξητικός ρυθμός ανάπτυξης των αντλιών θέρμανσης καθώς έχει γίνει πλήθος εγκαταστάσεων με τη χρήση μάλιστα διαφορετικών τεχνικών συστημάτων: κλειστής κυκλοφορίας (κάθετης ή οριζόντιας) και ανοιχτής κυκλοφορίας (με υπόγεια ύδατα) και μάλιστα όχι μόνον για θέρμανση αλλά επίσης για ψύξη. Υπολογίζεται ότι μέχρι στιγμής έχουν παραχθεί από γεωθερμικές αντλίες θέρμανσης περίπου 120 MWth.

4.3 Πορτογαλία

Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της Πορτογαλίας προσδιορίζουν ένα πλήθος διαφορετικών συνθηκών και ποικιλομορφίας για τις γεωθερμικές πηγές. Στην κυρίως

χώρα όπου οι κρυσταλλικοί βράχοι καλύπτουν περίπου το 60% της περιοχής τα θερμικά νερά χαρακτηρίζονται από αρκετά μειονεκτήματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι 27 γεωθερμικές πηγές αναβλύζουν θερμοκρασίες μεταξύ 25 έως 75 °C και χρησιμοποιούνται κυρίως για λουτροθεραπείες. Επίσης τρεις μικρές χαμηλής ενθαλπίας εγκαταστάσεις για άμεση χρήση λειτουργούν κανονικά σε ξενοδοχεία.

Ένα πλήθος από μελέτες σκοπιμότητας έχουν ήδη πραγματοποιηθεί οι οποίες αποδεικνύουν επαρκής συνθήκες για περαιτέρω χρήση. Στην ιζηματογενή λεκάνη, και συγκεκριμένα στην περιοχή της Λισσαβόνας, όπου κατοικεί το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών στον τομέα της θέρμανσης, οι χαμηλότεροι κρητιδικοί ταμιευτήρες με θερμοκρασίες άνω των 50°C φάνηκαν ότι είναι επαρκής για περιορισμένη παράλληλη χρήση γεωθερμικών εφαρμογών. Ωστόσο τεχνικές δυσκολίες εμπόδισαν την περαιτέρω λειτουργία των δύο εφαρμογών που υπήρχαν στην περιοχή. Πάντως το δυναμικό το οποίο μέχρι στιγμής έχει ήδη ερευνηθεί κυρίως για την χρήση αντλιών θέρμανσης είναι υψηλό. Εντούτοις δεν είναι διαθέσιμη καμιά Έκθεση σχετικά με την ακριβή κατάσταση στις εφαρμογές των γεωθερμικών αντλιών θέρμανσης.

Στο ηφαιστειακό αρχιπέλαγος στα νησιά Αζόρες, γεωθερμικές πηγές υψηλής ενθαλπίας είναι προϊόν εκμετάλλευσης για την παραγωγή ενέργειας από το 1980 και συγκεκριμένα στο νησί São Miguel Island. Οι δύο γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, η Pico Vermelho και η Ribeira Grande, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3 + 13 MWe, παρέχουν περίπου το 25% των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού. Επιπλέον από το 2006 μια νέα μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού ολοκληρώθηκε, για την αντικατάσταση του Pico Vermelho με ισχύ 10 MW.

Στο νησί Terceira εντοπίστηκε ένα νέο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας και συγκεκριμένα στο κεντρικό τμήμα του νησιού, έπειτα από επιτυχημένες δοκιμές άντλησης οι οποίες έδειξαν θερμοκρασίες που φτάνουν περίπου τους 234°C. Ένα επιπλέον πρόγραμμα άντλησης με σκοπό την επιβεβαίωση των μέχρι τώρα πορισμάτων έχει ήδη προγραμματισθεί με τελικό στόχο την κατασκευή γεωθερμικής μονάδας ηλεκτρισμού συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 12 MWe ισχύ που είναι ικανή να καλύψει των 50% των αναγκών σε ηλεκτρισμό στο νησί Terceira.

4.4 Γαλλία

Η Γαλλία ανέπτυξε ταχύτατα τον τομέα της γεωθερμίας εξαιτίας μιας πληθώρας παραγόντων οι οποίοι έχουν να κάνουν κυρίως με την δημιουργία ελκυστικών οικονομικών συνθηκών, κατάλληλων πολιτικών αποφάσεων από πλευράς κυβερνήσεων και της γενικότερης οργανωτικής δομής που αναπτύχθηκε.

Η γεωθερμική ενέργεια στη Γαλλία χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση και ψύξη ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα επενδυτικά προγράμματα είναι πιλοτικά. Η συνεισφορά της γεωθερμίας στην παραγωγή ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ότι αυτή της ηλιακής ενέργειας ή ακόμα και της αιολικής ενώ αντιστοιχεί περίπου σε 200.000 τόνους πετρελαίου κατ' έτος. Συγκεκριμένα η γεωθερμία στη Γαλλία προσμετρά περίπου το 10% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για σκοπούς θέρμανσης στα αστικά κέντρα ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο η συνεισφορά αυτή αποτελεί το 0,4%.

Η γεωθερμία στη Γαλλία αυξήθηκε με δραματικούς ρυθμούς μεταξύ του 1980 και 1985 αρκετά χρόνια μετά την κατασκευή του πρώτου έργου το οποίο αποπερατώθηκε το 1969. Κατά την διάρκεια των επόμενων δεκαετιών που ακολούθησαν και με αφορμή τις δύο πετρελαϊκές κρίσεις και την απότομη άνοδο του πετρελαίου, κατασκευάστηκαν στην Γαλλία 70 γεωθερμικά έργα και υποδομές τα οποία άρχισαν να παρέχουν θέρμανση και ζεστό νερό για περίπου 200.000 νοικοκυριά. Σήμερα η Γαλλία και η Ισλανδία κυριαρχούν στην Ευρώπη αναφορικά με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

4.5 Γερμανία

Στην Γερμανία η χρήση γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας είναι σχετικά καινούργιος τομέας δράσεις συγκριτικά με άλλες χώρες. Ωστόσο το γεωθερμικό δυναμικό έχει ήδη αναγνωριστεί και η αξιοποίηση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας έχει ήδη αρχίσει σε μεγάλη κλίμακα.

Σύμφωνα με τις έρευνες που έχουν γίνει στον τομέα της υδροθερμικής ενέργειας πάνω από το 29% των αναγκών για θέρμανση στη Γερμανία μπορούν να καλυφθούν από την γεωθερμική ενέργεια. Μέχρι στιγμής ήδη υπάρχουν πάνω από 30 εγκαταστάσεις για άμεση θέρμανση με ισχύ τουλάχιστον 2 MW κυρίως στη βόρειο λεκάνη της Γερμανίας, στη Νότια λεκάνη Molassis και στην κοιλάδα του Άνω Ρήνου. Όλες αυτές οι

εγκαταστάσεις μαζί προσφέρουν πάνω από 105 MWth ενώ ο αριθμός των εγκαταστάσεων αυτών συνεχώς αυξάνεται.

Στην περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρισμού από γεωθερμικές πηγές της Γερμανίας η δραστηριότητα βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Το 2004 λιγότερο από 0,4% της συνολικής πρωτογενούς παραγόμενης ενέργειας στην Γερμανία προερχόταν από την γεωθερμία. Αυτό άλλαξε μετά την θέσπιση του νόμου για τις ΑΠΕ ο οποίος εισήγαγε ένα σύστημα δασμολόγησης (feed-in-tariffs), σύμφωνα με το οποίο η τιμή ανά μονάδα κιλοβατώρας από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με γεωθερμία ανέρχεται στα 0,20 Ευρώ. Με τον νόμο λοιπόν αυτό υπήρξε μία απότομη αύξηση από νέες μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού οι οποίες μόλις έχουν αρχίσει να λειτουργούν. Το 2008 η γεωθερμική μονάδα ηλεκτρισμού στο Unterhaching εισήχθη στο σύστημα με εγκατεστημένη ισχύ 3,36 MW (η συγκεκριμένη μονάδα είναι συνδυασμένου κύκλου και μεταφέρει θέρμανση σε περισσότερα από 2.500 νοικοκυριά). Τα επόμενα χρόνια το μερίδιο στην παραγωγή ενέργειας από γεωθερμικές πηγές αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. Περισσότερες μονάδες, συνολικής ισχύος 8 – 10 MW, αναμένεται να λειτουργήσουν κατά το 2010 στις περιοχές Sauerlach, Dürnrhaar, Riedstadt, Speyer, Gross Schoenebeck, Kirchstockach και Mauerstetten.

Τα έργα τα οποία έχουν δρομολογηθεί για το επόμενο διάστημα, σύμφωνα με την γερμανική κυβέρνηση, είναι γύρω στα 150 συνολικής επενδυτικής αξίας 4 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Κατά μέσον όρο ο ρυθμός ανάπτυξης που έχει η γεωθερμική ενέργεια στην Γερμανία είναι το λιγότερο 14%. Για την περαιτέρω αύξηση της χρήσης της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας υπάρχουν στην Γερμανία διάφοροι χρηματοδοτικοί μηχανισμοί οι οποίοι υποστηρίζονται από το γερμανικό δημόσιο.

4.6 Σλοβακία

Η Σλοβακία είναι μια χώρα πλούσια σε χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμική ενέργεια ενώ υπάρχουν πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και χρήση ενέργειας από θερμικά ύδατα. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για δραστηριότητες αναψυχής, στη γεωργία, και για κεντρική θέρμανση. Η αποτελεσματικότητα της γεωθερμικής ενέργειας υπολογίζεται γύρω στο 30% εξαιτίας της εποχιακής χρήσης. Το δυναμικό της γεωθερμικής ενέργειας είναι γύρω στα 21.556 TJ/έτος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στη Σλοβακία η θερμοκρασία ανεβαίνει κατά μέσον όρο 3°C κάθε 100 μέτρα. Τα γεωθερμικά ύδατα χρησιμοποιούνται σε 35 περιοχές προσφέροντας ένα συνολικό δυναμικό της τάξεως των 75 MWth και αντίστοιχα την δημιουργία 1,218 TJ/έτος. Στη Σλοβακία υπάρχουν 25 πιθανές περιοχές γεωθερμικών πηγών με θερμοκρασίες πάνω από 150°C και σε βάθος μεγαλύτερο των 5.000 μέτρων. Το πιο πλούσιο απ' αυτά θεωρείται το Kosice το οποίο εκτιμάται ότι κατέχει ένα δυναμικό των 300 MW. Στην συγκεκριμένη περιοχή σχεδιάζεται να κατασκευαστούν 8 ζεύγη πηγαδιών με συνολική παραγωγή 100 MWth με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για την κεντρική θέρμανση της πόλης Kosice.

Η Σλοβακία είναι ένα από τα ευρωπαϊκά κράτη με τις μεγαλύτερες προσδοκίες για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας. Η αποτελεσματική χρήση αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας για τη Σλοβακία με σκοπό να περιοριστούν οι συμβατικές πηγές ενέργειας, να δοθεί ώθηση στον τομέα του τουρισμού και να υπάρξει περαιτέρω ανάπτυξη στην περιφέρεια.

4.7 Ουγγαρία

Το μεγαλύτερο τμήμα της Κεντρικής Ευρώπης έχει μόνον χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικές πηγές. Ωστόσο η Ουγγαρία εξαιτίας της μοναδικής της γεωλογικής της θέσης η οποία βρίσκεται στην λεκάνη Pannonian, ένα θερμό δηλαδή γεωθερμικό σημείο το οποίο αποτελεί εξαίρεση στον κανόνα. Εντούτοις ενώ όλες οι πηγές χαμηλής και μέσης ενθαλπίας στην Ουγγαρία έχουν ευρύτατα αξιοποιηθεί, απ' την άλλη οι πηγές υψηλής ενθαλπίας δεν έχουν ερευνηθεί και οι περισσότερες απ' αυτές παραμένουν αναξιοποίητες. Η γεωθερμική κλίση της Ουγγαρίας είναι υψηλότερη συγκριτικά με τον παγκόσμιο μέσον όρο κι έτσι σε μερικά σημεία η θερμοκρασία φτάνει έως και 58,9°C.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα τέλη ύδρευσης στην Ουγγαρία για τη χρήση γεωθερμικών πηγών έχουν αυξηθεί σημαντικά το τελευταίο διάστημα, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται το κόστος λειτουργίας. Η μεγάλη κατανάλωση νερού απ' την μια και οι δράσεις για εξοικονόμηση ενέργειας από την άλλη πρόκειται να αποτελέσει μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για το μέλλον της Ουγγαρίας. Επιδοτήσεις απαλλαγμένες από επιτόκιο, δάνεια μακράς διάρκειας με χαμηλό τόκο ή επιχορηγήσεις για δραστηριότητες Έρευνας και Ανάπτυξης (R&D) είναι κάποια από τα αναγκαία μέτρα για την ώθηση της

γεωθερμίας. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν εκτιμήσεις για το ποσοστό αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού της Ουγγαρίας ωστόσο υπολογίζεται γενικά ότι το 11 με 12% των αναγκών σε θέρμανση για τα αστικά κέντρα μπορεί να καλυφθεί από τη γεωθερμία και μάλιστα με οικονομικό βιώσιμο τρόπο.

Εντούτοις το ποσοστό αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ουγγαρίας παρά τις σημαντικές αποδεδειγμένες πηγές είναι ακόμα χαμηλό (0,16%). Επιπλέον δεν υπάρχει ακόμα στην Ουγγαρία κάποια γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού. Αυτό δεν οφείλεται όπως διατυπώθηκε και παραπάνω στην έλλειψη υψηλής ενθαλπίας πεδίων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι καλύτερες πηγές υψηλής ενθαλπίας στην Ουγγαρία βρίσκονται στην Νοτιο-ανατολική πλευρά κοντά στις πόλεις Szeged, Szentes, και Hödmezővásárhely. Οι θερμοκρασίες στις περιοχές αυτές είναι μεταξύ 80 και 90°C.

4.8 Βουλγαρία

Η Βουλγαρία κατέχει ένα ικανό μέγεθος γεωθερμικών αποθεμάτων και είναι πλούσια σε χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά ύδατα. Η Βουλγαρία πρέπει να σημειωθεί ότι έχει ήδη φτάσει να χρησιμοποιεί το 30% του γεωθερμικού δυναμικού της χρήση η οποία αντιστοιχούσε περίπου σε 107MWt, κυρίως για θέρμανση χώρων, θερμοκήπια, πόσιμο νερού και για λουτροθεραπείες.

Ωστόσο προς το παρόν δεν υπάρχουν γεωθερμικά αποθέματα για την κατασκευή μονάδων ηλεκτρισμού. Υπάρχουν προσεγγιστικά στη Βουλγαρία περί τις 1000 θερμικές πηγές οι οποίες βρίσκονται κυρίως στο νότιο τμήμα της χώρας όπου συναντιόνται σε μικρό βάθος ενώ εκείνες που βρίσκονται προς το Βόρειο τμήμα της Βουλγαρίας εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη. Επί παραδείγματι στο το Νότιο τμήμα της χώρας ένα γεωθερμικό πεδίο μπορεί να εντοπιστεί σε βάθος 100-15000 μέτρα ενώ αντίθετα στο βορρά η άντληση θα πρέπει να φτάσει πολλές φορές και τα 5000 μέτρα βάθος.

Η πλειονότητα αυτών των σε μεγάλο βάθος γεωτρήσεων έχουν ολοκληρωθεί και χρηματοδοτηθεί κατά καιρούς κυρίως από τις κυβερνήσεις ενώ αν είχαν γίνει παρόμοιες προσπάθειες από ιδιωτικούς επενδυτές θα υπήρχε σημαντική μείωση του κόστους επένδυσης.

4.9 Τουρκία

Η Τουρκία είναι φτωχή σε ορυκτά μέταλλα αλλά πολύ πλούσια σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως γεωθερμία, ηλιακή και αιολική ενέργεια, και βιομάζα. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για άμεσες χρήσεις αλλά και για παραγωγή ηλεκτρισμού. Η ευρεία διασπορά των υδροθερμικών φαινομένων οφείλεται στην έντονη τεκτονική αλλά και ηφαιστειακή δραστηριότητα γεγονός το οποίο υποδεικνύει μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό.

Κοντά στις 1500 θερμικές πηγές και πάνω από 170 γεωθερμικά πεδία με θερμοκρασίες άνω των 242°C έχουν ήδη ανακαλυφθεί στην Τουρκία η οποία βρίσκεται στην Μεσογειακή πλευρά της ζώνης μεταξύ των Άλπεων και των Ιμαλαΐων. Η Τουρκία είναι μια πολύ ενεργή γεωλογικά χώρα με συνεχείς κινήσεις των τεκτονικών πλακών και ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι περισσότερες γεωθερμικές πηγές της Τουρκίας είναι χαμηλής και μέσης ενθαλπίας. Οι περισσότερες απ' αυτές είναι μοιρασμένες στο κέντρο και στις δυτικές περιοχές της Τουρκίας ενώ άλλες στην κεντρική και ανατολική Ανατολία, όπου παρατηρείται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Υψηλής ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται στην δυτική Ανατολία όπου λειτουργούν και μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού.

Περίπου 274 γεωθερμικά πεδία είναι γνωστά αυτή τη στιγμή στην Τουρκία ενώ 25 απ' αυτά έχουν ήδη αξιοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα σε άμεσες και έμμεσες γεωθερμικές χρήσεις. Ωστόσο τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία χρησιμοποιούνται κυρίως για λουτροθεραπείες.

Το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό της Τουρκίας υπολογίζεται γύρω στα 3.700 MWt εκ των οποίων γύρω στα 1450 MWt, κυρίως από 9 γνωστά πεδία μέσης και υψηλής ενθαλπίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. [32]

4.10 Αυστρία

Στην Αυστρία είναι εγκατεστημένες τρεις μικρές δυαδικές εγκαταστάσεις. Μία από αυτές είναι στο Altheim, όπου γεωθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 106 °C, χρησιμοποιείται για άμεση θέρμανση αλλά και για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Οι διάφορες άμεσες χρήσεις περιλαμβάνουν:

1. τηλεθέρμανση (50,03 MWt και 602,4 TJ/yr)·
2. θέρμανση θερμοκηπίου (1,80 MWt και 29,0 TJ/yr)·
3. βιομηχανική θερμότητα (2,15 MWt και 31,3 TJ/yr)·
4. κολύμβηση και θερμά λουτρά (8,87 MWt και 185,0 TJ/yr)·
5. γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (600,0 MWt και 2.880 TJ/yr)

Τα εμπόδια στην γεωθερμική ανάπτυξη αυτής της χώρας είναι σημαντικά και αναμένεται μόνο μια μέτρια αύξηση μέχρι και 6 MW για το 2015 (Bertani), λόγω της έλλειψης της δημόσιας υποστήριξης και των χαμηλών feed in terriffs στην ηλεκτροπαραγωγή.[33]

4.11 Ισλανδία

Η γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ισλανδία έχει αυξηθεί σημαντικά από το 2005 (περίπου 370 MW, 184%, η υψηλότερη τιμή μεταξύ των χωρών με αντίστοιχη γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού), με την εγκατάσταση των νέων συστημάτων σε Nesjavellir (30 MW), Hellisheidi (η παραγωγή άρχισε μετά το 2005: 5 μονάδες των 213 MW), Svartsengi (30 MW) και Reykjanes (2x50 MW).

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της χώρας είναι 575 MW, και επιπλέον 230 MW είναι υπό κατασκευή. Η χώρα με τους 300.000 κατοίκους τροφοδοτείται με 100% ρεύμα από Α.Π.Ε., με 25% της ηλεκτρικής της ενέργειας και 90% των αναγκών θέρμανσης από γεωθερμική ενέργεια. Η συμβολή της γεωθερμικής ενέργειας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας συνοψίζεται στο 62%, πιθανότατα η υψηλότερη στον κόσμο.

Λόγω της θέσης της, η Ισλανδία έχει πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη γεωθερμικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό, χρησιμοποιείται τόσο για παραγωγή ηλεκτρισμού όσο και για άμεσες εφαρμογές θέρμανσης. Παρέχει το 62% του πρωτογενούς ενεργειακού εφοδιασμού του έθνους, με τη θέρμανση χώρων να είναι η σημαντικότερη άμεση χρήση, παρέχοντας το 89% της συνολικής θέρμανσης χώρων της χώρας. Το μεγαλύτερο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης είναι στο Ρέικιαβικ όπου 197.404 άνθρωποι εξυπηρετούνται με εγκατεστημένο δυναμικό παραγωγής 1.264 MWt και φορτίου αιχμής 924 MWt. Άλλα δύο μεγάλα αστικά συστήματα κεντρικής θέρμανσης βρίσκονται στην χερσόνησο Reykjanes που εξυπηρετεί 20.000 περίπου

άτομα και το σύστημα Akureyri στην βόρεια Ισλανδία εξυπηρετεί περίπου 23.000 άτομα.

Το εγκατεστημένο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας και η ετήσια χρήση είναι:

1.380 MWt και 17.483 TJ/ έτος για τηλεθέρμανση·

40 MWt και 677 TJ/ έτος για θέρμανση θερμοκηπίου

67 MWt και 1.835 TJ/ έτος για ιχθυοκαλλιέργεια·

65 MWt και 1.642 TJ/ έτος για βιομηχανική διαδικασία παραγωγής θερμότητας

200 MWt και 1.448 TJ/ έτος για τήξη χιονιού

70 MWt και 1.256 TJ/ έτος για θερμά λουτρά και κολύμβηση,

4 MWt και της 20ής TJ/ έτος για γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

· για ένα σύνολο 1.826 MWt και 24.361 TJ/ yr (Ragnarsson, 2010).

4.12 Παγκόσμια γεωθερμική παραγωγή ενέργειας

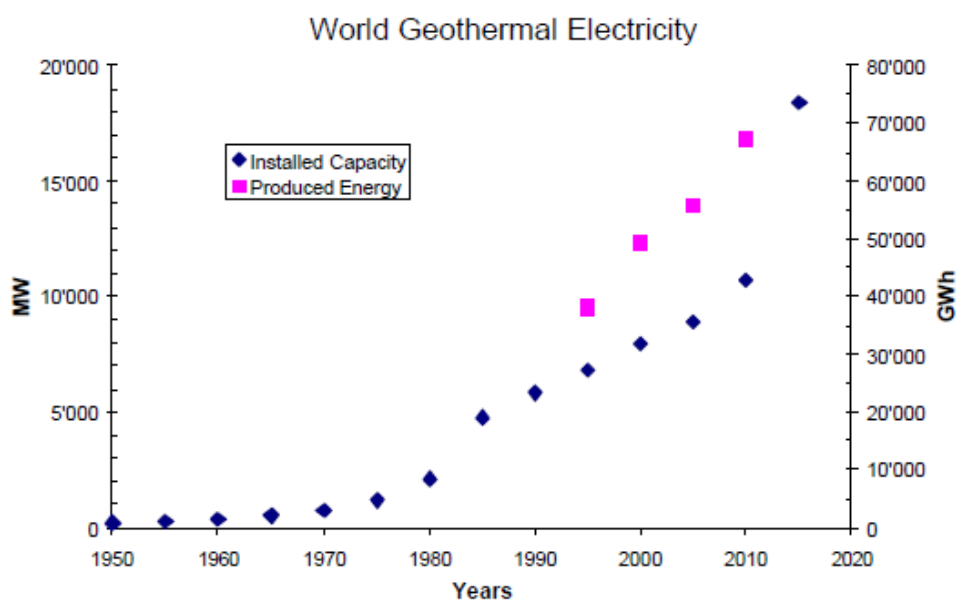
Στον πίνακα 4.2 και στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το συνολικό παγκόσμιο εγκατεστημένο δυναμικό από γεωθερμία, από το 1950 έως τέλος του 2010 και μια βραχυπρόθεσμη πρόγνωση μέχρι το 2015.

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα στοιχεία από όλες τις χώρες που σήμερα παράγουν γεωθερμική ενέργεια, με το έτος 2005 και την ενημέρωση για το έτος 2010 οι τιμές του εγκατεστημένου παραγωγικού δυναμικού και της παραγωγής ενέργειας ανά έτος, η αύξηση από το 2005 τόσο σε απόλυτες τιμές όσο και σε ποσοστό, και αναφορά της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης του έτους μέχρι το 2015 για την παραγωγική δυναμικότητα. Στον χάρτη 4.1 παρουσιάζεται ο παγκόσμιος χάρτης του 2010 της εγκατεστημένης γεωθερμικής ικανότητας, ενώ στον χάρτη 4.2 εμφανίζεται η πρόβλεψη για το έτος 2015.

Πίνακας 4.2: συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ικανότητα από 1950 έως τέλος του το έτος 2010 και βραχυπρόθεσμη πρόγνωση.

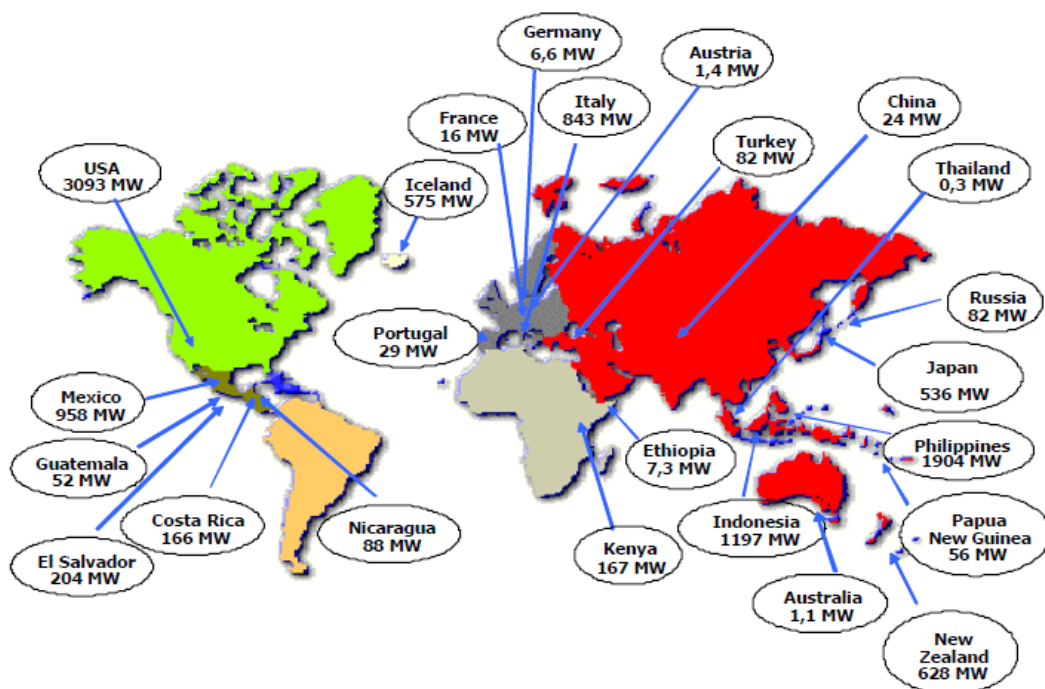
Year	Installed Capacity MW	Produced Energy GWh
1950	200	
1955	270	
1960	386	
1965	520	
1970	720	
1975	1,180	
1980	2,110	
1985	4,764	
1990	5,834	
1995	6,833	38,035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,715	67,246
2015	18,500	

Πηγή: Ruggero Bertani, «Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report»



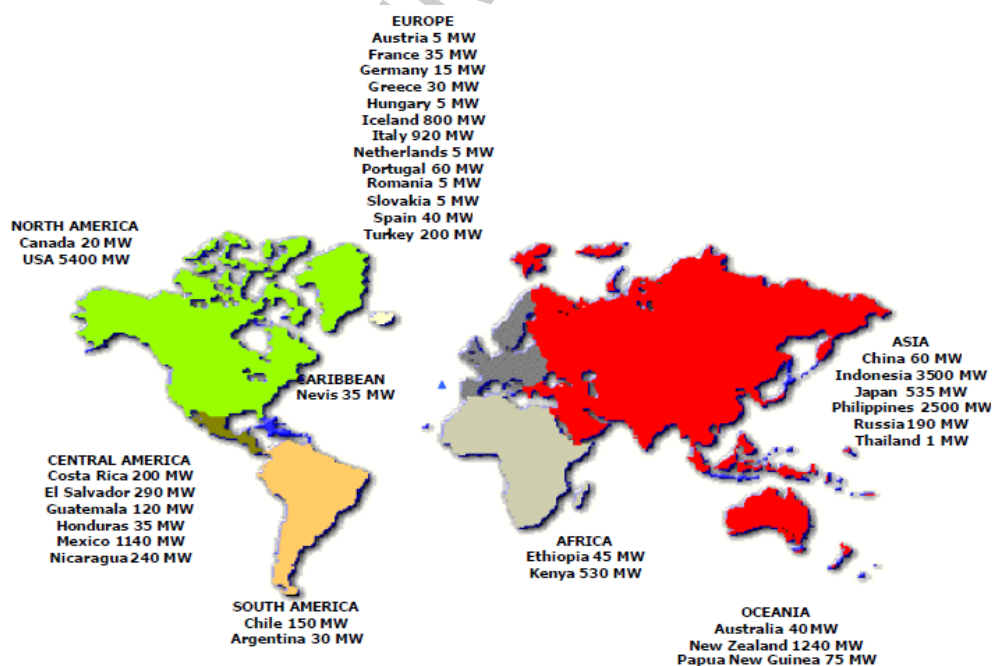
Σχήμα 4.1: Εγκατεστημένη ικανότητα από το 1950 μέχρι το 2015 (αριστερά, MW) και την παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια (δεξιά, GWh).

Πηγή: Ruggero Bertani, «Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report»



Χάρτης 4.1: Εγκατεστημένη ικανότητα το 2010 παγκόσμια [10.7 GW].

Πηγή: Ruggero Bertani, «Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report»



Χάρτης 4.2: Πρόβλεψη της εγκατεστημένης ικανότητας κατά το έτος 2015 [18,5 GW].

Πηγή: Ruggero Bertani, «Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report»

Πίνακας 4.3: Εγκατεστημένη ικανότητα παραγωγής και ενέργειας για το έτος 2005, το έτος 2010, και πρόβλεψη για το έτος 2015

COUNTRY	Installed in 2005	Energy in 2005	Installed in 2010	Energy in 2010	Forecast for 2015	Increase since 2005			
	MW	GWh	MW	GWh	MW	MW	GWh	Capacity %	Energy %
ARGENTINA	0	0	0	0	30	0	0		
AUSTRALIA	0.2	0.5	1.1	0.5	40	1	0	633%	-5%
AUSTRIA	1.1	3.2	1.4	3.8	5	0	1	27%	19%
CANADA	0	0	0	0	20	0	0		
CHILE	0	0	0	0	150	0	0		
CHINA	28	96	24	150	60	-4	54	-13%	57%
COSTA RICA	163	1,145	166	1,131	200	3	-14	2%	-1%
EI SALVADOR	151	967	204	1,422	290	53	455	35%	47%
ETHIOPIA	7.3	0	7.3	10	45	0	10	0%	
FRANCE	15	102	16	95	35	2	-7	10%	-7%
GERMANY	0.2	1.5	6.6	50	15	6	49	2,774%	3,249%
GREECE	0	0	0	0	30	0	0		
GUATEMALA	33	212	52	289	120	19	77	58%	36%
HONDURAS	0	0	0	0	35	0	0		
HUNGARY	0	0	0	0	5	0	0		
ICELAND	202	1,483	575	4,597	800	373	3,114	184%	210%
INDONESIA	797	6,085	1,197	9,600	3,500	400	3,515	50%	58%
ITALY	791	5,340	843	5,520	920	52	180	7%	3%
JAPAN	535	3,467	536	3,064	535	1	-404	0%	-12%
KENYA	129	1,088	167	1,430	530	38	342	29%	31%
MEXICO	953	6,282	958	7,047	1,140	5	766	1%	12%
NEVIS	0	0	0	0	35	0	0		
NEW ZEALAND	435	2,774	628	4,055	1,240	193	1,281	44%	46%
NICARAGUA	77	271	88	310	240	11	39	14%	15%
PAPUA-NEW GUINEA	6.0	17	56	450	75	50	433	833%	2547%
PHILIPPINES	1,930	9,253	1,904	10,311	2,500	-26	1,058	-1%	11%
PORTUGAL	16	90	29	175	60	13	85	78%	94%
ROMANIA	0	0	0	0	5	0	0		
RUSSIA	79	85	82	441	190	3	356	4%	419%
SPAIN	0	0	0	0	40	0	0		
SLOVAKIA	0	0	0	0	5	0	0		
THAILAND	0.3	1.8	0.3	2.0	1	0	0	0%	11%
THE NETHERLAND	0	0	0	0	5	0	0		
TURKEY	20	105	82	490	200	62	385	308%	368%
USA	2,564	16,840	3,093	16,603	5,400	530	-237	21%	-1%
TOTAL	8,933	55,709	10,715	67,246	18,500	1,783	11,538	20%	21%

Πηγή: Ruggero Bertani, «Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΘΝΙΚΟ ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

5.1 Νομικό Πλαίσιο γεωθερμίας στην Ελλάδα

Από τη μεταπολίτευση και μετά υπάρχει ένα διάσπαρτο νομικό καθεστώς που εμπεριέχεται σε νόμους περιφερειακούς ως προς το θέμα της γεωθερμίας, όπως:

- Ο Ν.210/1973 για το Μεταλλευτικό Κώδικα.
- Ο Ν. 1475/1984 για την αξιοποίηση του Γεωθερμικού Δυναμικού.
- Η από 31.12.1993 Υπουργική Απόφαση για τον καθορισμό μισθώματος.
- Ο Ν. 2244/1994 για τη Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.
- Ο Ν. 2467/1998 για τη Μεταφορά Αρμοδιοτήτων Υπ. Ανάπτυξης.
- Ο Ν. 2773/1999 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Μόλις το 2003 συντάχθηκε και ψηφίστηκε ο Ν. 3175 με τίτλο «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 207/29.08.2003), ο οποίος σε γενικές γραμμές θέτει το αναπτυξιακό πλαίσιο, αφήνει όμως πλήθος σημαντικών θεμάτων να καλυφθούν από μεταγενέστερες υπουργικές αποφάσεις.[27]

Ο Νόμος 3175/2003 αντικατέστησε τον προηγούμενο νόμο 1475/84.

Σκοπός του νόμου αυτού είναι η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας. Η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη και εξυπηρετεί το γενικό συμφέρον. Ο Υπουργός Ανάπτυξης, με απόφασή του, μπορεί να ορίζει ότι το δικαίωμα διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού κατισχύει του δικαιώματος εκμετάλλευσης άλλων μεταλλευτικών ή λατομικών ορυκτών, εφόσον κατά την κρίση του η συγκεκριμένη εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι μεγαλύτερης σημασίας για την εθνική οικονομία (άρθρο 1).

Σύμφωνα με τον ως άνω νόμο (Ν. 3175/2003) και ειδικότερα με το άρθρο 2 αυτού, δίνονται οι κάτωθι ορισμοί:

- *Γεωθερμικό δυναμικό* είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπογείων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους είκοσι πέντε βαθμούς Κελσίου (25°C).

- *πεδίο* είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό.
- *Προϊόν* του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο.
- *Παραπροϊόντα* θεωρούνται άλλα προϊόντα που συμπαράγονται εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού πεδίου.
- *Υποπροϊόν* θεωρείται το γεωθερμικό ρευστό που απομένει, ύστερα από την απόληψη των κατά των ανωτέρω προϊόντων και παραπροϊόντων.

Ο Ν. 3175/2003 περιλαμβάνει τις κάτωθι διατάξεις:

- Για την αξιοποίηση γ/θ πεδίου απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο χαρακτηρισμός του ως «βεβαιωμένου» ή «πιθανού» με Υπουργική Απόφαση και δημοσίευση σε ΦΕΚ.
- Για να χαρακτηριστεί ένα γ/θ πεδίο ως «πιθανό», πρέπει να έχει προηγηθεί συστηματική έρευνα για τη διαπίστωση των φυσικο-χημικών χαρακτηριστικών του και του δυναμικού του.

Τα γεωθερμικά πεδία, ανάλογα με το βαθμό μελέτης τους και τη γνώση των χαρακτηριστικών τους, ταξινομούνται ως «βεβαιωμένα και πιθανά»:

- *Βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο* είναι το πεδίο του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι πιστοποιημένα με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας με ερευνητικές εργασίες.
- *Πιθανό γεωθερμικό πεδίο* είναι το πεδίο του οποίου τα χαρακτηριστικά εκτιμώνται από προκαταρκτικά ερευνητικά έργα.
- *Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου* είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση προϊόντος και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεση τους σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων.

Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- *Χαμηλής Θερμοκρασίας* όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25 °C -90 °C

- *Υψηλής Θερμοκρασίας* όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90 °C.
- Τόσο για «πιθανά» γεωθερμικά πεδία, όσο και για χώρους που δεν έχουν ερευνηθεί εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας.
 - Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (25-90°C) η αρμοδιότητα ανήκει στις Περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερη των 90°C αρμόδιο είναι το Υ.Π.Ε.Κ.Α.
 - Στην περίπτωση βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης, σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 25 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για πέντε ακόμα χρόνια. Η διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου περιλαμβάνει το σύνολο των δραστηριοτήτων, χρήσεων και εφαρμογών που απαιτεί η ολοκληρωμένη ορθολογική αξιοποίησή του για γεωργική, οικιστική, βιοτεχνική, βιομηχανική και ηλεκτροπαραγωγική εκμετάλλευση.
 - Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης ρυθμίζονται οι ειδικότεροι όροι και η διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος έρευνας και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας. Η εκμίσθωση και διαχείριση των πιθανών και βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται από το Γενικό Γραμματέα Περιφέρειας ενώ η εκμίσθωση και διαχείριση μη ερευνημένων χώρων και των γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας διενεργείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης.
 - Ο μισθωτής κάθε γεωθερμικού πεδίου έχει την υποχρέωση μεταξύ άλλων κατάθεσης εγγυητικών επιστολών εκπλήρωσης των όρων της σύμβασης καθώς και την υποχρέωση εκτέλεσης και πιστής εφαρμογής των ερευνητικών προγραμμάτων και οικονομοτεχνικών μελετών, άλλως κηρύσσεται έκπτωτος. Ως προς τα δικαιώματά του, δικαιούται μεταξύ άλλων να διαχειρίζεται στο πλαίσιο της εγκεκριμένης μελέτης και να διαθέτει τα προϊόντα, παραπροϊόντα και υποπροϊόντα του πεδίου.
 - Οι ειδικότεροι όροι και οι διαδικασίες της εκμίσθωσης θα ρυθμίζονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης. Η εκμίσθωση και η διαχείριση των πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται σύμφωνα με το μεταλλευτικό κώδικα. Το δικαίωμα του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση γεωθερμικού δυναμικού εκμισθώνεται ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό με γραπτές σφραγισμένες

προσφορές. Η διάρκεια της μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας ορίζεται μέχρι πέντε έτη, με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για δύο επιπλέον έτη. Για χώρους που δεν έχουν ερευνηθεί ή για πιθανά γεωθερμικά πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας. Εφόσον μετά τη λήξη της ερευνητικής περιόδου πιστοποιηθεί βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο και υποβληθεί από το μισθωτή ακριβής, επαρκής και συμφέρουσα κατά την κρίση του εκμισθωτή οικονομοτεχνική μελέτη διαχείρισης του πεδίου, παρέχεται στο μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης

- Το 30% του εισπραττόμενου μισθώματος προορίζεται για τους Ο.Τ.Α., στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το πεδίο.
- Τα δικαιώματα εκμίσθωσης μπορούν να εκχωρηθούν σε τρίτους μόνο ύστερα από έγκριση του Δημοσίου.
- Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης θεσπίζεται Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών (ΦΕΚ Β1530/07.11.2005), που θα ρυθμίζει τους όρους και τον τρόπο διενέργειας γεωθερμικών εργασιών. Όποιος ερευνά ή διαχειρίζεται ή εκμεταλλεύεται γεωθερμικά πεδία χωρίς να έχει αποκτήσει σχετικό δικαίωμα, τιμωρείται ποινικώς με φυλάκιση τουλάχιστον τριών (3) μηνών και διοικητικώς με πρόστιμο από χίλια ευρώ έως εκατό χιλιάδες ευρώ, ανάλογα με τη βαρύτητα και τη συχνότητα της παραβάσεως.
- Απαγορεύεται η έρευνα, διαχείριση, εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων χωρίς το σχετικό δικαίωμα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Γ.Δ. επιτρέπεται μόνο ύστερα από διαγωνισμό και την έκδοση άδεια παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 2773/1999 (ΦΕΚ286Α', «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»).
- Αντιμετωπίζεται και η δυνατότητα θέρμανσης- ψύξης χώρων με εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών με θερμοκρασίες < 25°C (αβαθής γεωθερμίας), για την οποία αρμόδια είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση.
- Δικαιώματα έρευνας ή εκμετάλλευσης Γ.Δ., που έχουν παραχωρηθεί μέχρι την έκδοση του Νόμου αυτού, παραμένουν ισχυρά με τους ίδιους όρους. Επέκταση αυτών μπορεί να γίνει μόνο με τις διαδικασίες του νέου νόμου.

- Επιτρέπεται η εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους ύστερα από άδεια του Υ.Α. και γνωμάτευση της Ρ.Α.Ε. (Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας).

Με την έκδοση του ΦΕΚ Β'208/05.02.2004 «Χαρακτηρισμός Γεωθερμικών Πεδίων», καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά και ο βαθμός αξιοπιστίας των εκτιμήσεων προκειμένου να χαρακτηριστεί ένα Γεωθερμικό πεδίο βεβαιωμένο ή πιθανό, ενώ με την έκδοση των ΦΕΚ 1012/Β7/19-7-2005 και ΦΕΚ 161/Β75-2-5452008 χαρακτηρίστηκαν και κατατάχθηκαν σε κατηγορίες τα γεωθερμικά πεδία όπως απεικονίζονται στον ακόλουθο χάρτη.

Από τον χάρτη 5.1 διακρίνουμε το πλήθος των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας, τα οποία είναι διάσπαρτα σε όλη τη χώρα και αυτά της υψηλής ενθαλπίας τα οποία απεικονίζονται μόνο κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου νοτίου Αιγαίου.



Χάρτης 5.1: Κατανομή ανά διοικητική περιφέρεια των χαρακτηρισθέντων γεωθερμικών πεδίων, πηγή: ΙΓΜΕ

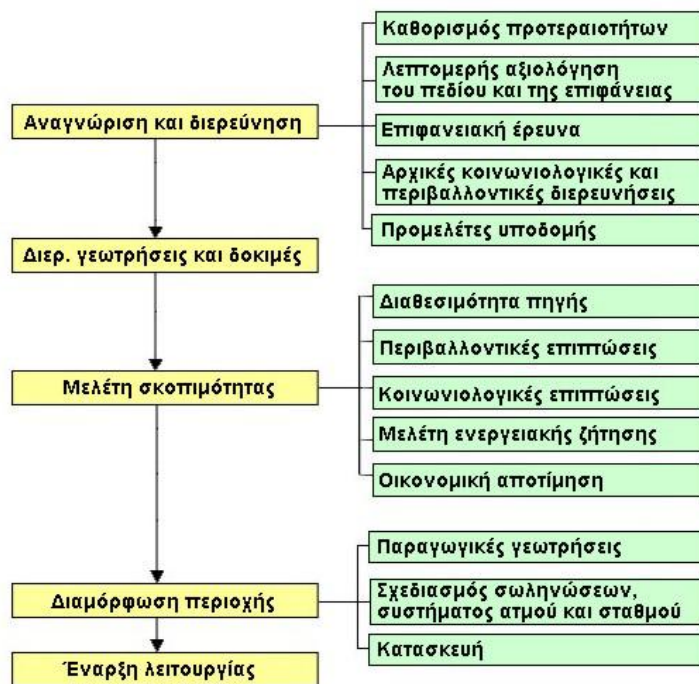
Οι Νόμοι 3468/2006, 3851/2010 και 4001/2011 για Α.Π.Ε. αφορούν σε θέματα ηλεκτροπαραγωγής, ενώ με τον Ν.3851/2010 καθορίζεται η τιμή της παραγόμενης γεωθερμικής MWh_e (99,45 €/MWh_e + 20% προσαύξηση).

Οι κυριότεροι νεωτερισμοί και βελτιώσεις που εισάγονται με το νέο νόμο είναι :

- Ίση αντιμετώπιση των υποψηφίων μισθωτών του Γ.Δ. ύστερα από διαγωνισμό, οι όροι του οποίου είναι διοικητικά ίδιοι και η πλειοδοσία προκύπτει από τα στοιχεία, τις μελέτες και τις ικανότητες των υποψηφίων.
- Προκήρυξη διαγωνισμού με πρωτοβουλία της δημόσιας αρχής, που αφορούν σε ενιαία κατά το δυνατόν γεωθερμικά πεδία (και όχι κατατεμαχισμένα) και για κάθε πεδίο χωριστά. Οι ειδικοί όροι των διαγωνισμών και η διαδικασία εκμίσθωσης ρυθμίζονται από την απόφαση του ΥΠΕΚΑ. και είναι ενιαίοι.
- Ο διαχειριστής πεδίου θα πρέπει να έχει τα τεχνικά προσόντα και να μπορεί να προβεί στις αναγκαίες επενδύσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη υποδομή για παραγωγή και διάθεση σε τρίτους έτοιμης ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής).

Αποφασιστικό ρόλο για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας των εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα (όπου υπάρχει σημαντικό έλλειμμα) πιστεύεται ότι θα παίξουν οι κατάλληλοι διαχειριστές των βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων, τα οποία είναι αρκετά και το βεβαιωμένο δυναμικό τους ανέρχεται σε πολλές εκατοντάδες MW.

5.2 Διαδικασία ανάπτυξης γεωθερμικών έργων



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάπτυξης γεωθερμικών έργων

Όπως συμβαίνει με όλα τα μεγάλου μεγέθους έργα, τα σχετικά με τη γεωθερμία έργα αναπτύσσονται ακολουθώντας μία σειρά λογικών σταδίων, τα οποία συνοψίζονται στο διάγραμμα ροής του σχήματος 5.1. Κανονικά, οι αποφάσεις για τη μετάβαση στα επόμενα στάδια λαμβάνονται σταδιακά καθ' όλη την πορεία του έργου.

5.2.1 Αναγνώριση και διερεύνηση

Οι γεωθερμικές πηγές συνήθως εντοπίζονται και καθορίζονται από ένα κλιμακούμενο πρόγραμμα εντατικότερης (και πιο δαπανηρής) διερεύνησης που οδηγεί τελικά σε μία σειρά γεωτρήσεων για να περιγραφεί με βεβαιότητα η πηγή. Από τις αναγνωριστικές έρευνες θα προσδιοριστούν οι καταλληλότερες πιθανές περιοχές με την αναγνώριση του ευνοϊκού γεωλογικού τοπίου και τον εντοπισμό οποιωνδήποτε θερμών πηγών ή άλλης θερμικής επιφανειακής εκδήλωσης. Οι αναγνωριστικές μελέτες περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση κάθε θερμής πηγής ή άλλων επιφανειακών θερμικών ιδιομορφιών και τον προσδιορισμό των ευνοϊκών γεωλογικών δομών.

Η χημική σύσταση των εκβαλλόμενων ρευστών αποκαλύπτει πληροφορίες για τον βαθύτερο ταμιευτήρα, π.χ. για τη θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά του ρευστού. Οι

γεωλογικές μελέτες παρέχουν πληροφορίες για την πιθανή κατανομή και έκταση των υδροφόρων οριζόντων, καθώς και για το πιθανό καθεστώς της θερμικής πηγής και της ροής θερμότητας. Οι περιοχές που προσδιορίζονται ως έχουσες υψηλό δυναμικό ή ευνοούνται λόγω της εγγύτητας τους σε κάποιο κέντρο χρήσης της ενέργειας θα διερευνηθούν με πιο αναλυτικές επιστημονικές μεθόδους.

Πέρα από τις λεπτομερείς γεωλογικές και γεωχημικές μελέτες, μπορεί να εφαρμοσθεί μία σειρά γεωφυσικών τεχνικών περιλαμβανομένων των ερευνών ειδικής αντίστασης, βαρύτητας και μαγνητισμού. Η διερεύνηση της ειδικής αντίστασης, ειδικότερα, μπορεί να εντοπίσει ανωμαλίες άμεσα συνδεδεμένες με την παρουσία γεωθερμικών ρευστών. Η ερμηνεία όλων αυτών των μελετών οδηγεί στον καθορισμό προτεραιοτήτων για τους στόχους των προγραμμάτων ερευνητικών γεωτρήσεων. Με την εφαρμογή της ενδεδειγμένης επιστημονικής μεθόδου και ανάλυσης κατά τις αρχικές αυτές φάσεις αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχίας των επακόλουθων γεωτρήσεων και αναπτύξεων.

Εάν από τη διερεύνηση προκύψουν πολύ καλές ενδείξεις για την παρουσία χρήσιμου θερμικού ταμιευτήρα, η πηγή εξετάζεται με τη διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων έτσι ώστε να μπορέσουν να μετρηθούν οι πραγματικές υπεδάφειες θερμοκρασίες και να δοκιμαστεί η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα. Συνεπώς, το πρόγραμμα διερεύνησης πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αναδειχθεί τελικά ο αναμενόμενος τύπος της πηγής, η ποσότητα της ενέργειας που αναμένεται να παραχθεί από το έργο και το χρονικό πλαίσιο της ανάπτυξης.

Εξάλλου, πολλά γεωθερμικά πεδία με προοπτικές βρίσκονται σε μακρινές θέσεις και συχνά σε ενεργές ηφαιστειακές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι απαιτήσεις για υποδομές μπορεί να είναι μεγάλες και, πιθανότατα, δαπανηρές. Σ' αυτές μπορεί να περιλαμβάνονται έργα οδοποιίας, γέφυρες, λιμενικές εγκαταστάσεις και επικοινωνίες, ενώ, εάν υλοποιηθεί το έργο, εν συνεχεία οι δαπάνες δικτύωσης για τη διανομή της ισχύος μπορεί να είναι πολύ υψηλές.

5.2.2 Διερευνητική γεώτρηση

Τα αποτελέσματα των διάφορων διερευνητικών γεωλογικών δραστηριοτήτων που περιγράφονται παραπάνω, στην πλειοψηφία των έργων ανάπτυξης της γεωθερμίας οδηγούν σε μια φάση διερευνητικών γεωτρήσεων. Τα γεωθερμικά φρέατα, είτε είναι

διερευνητικά είτε παραγωγικά, διανοίγονται με τη χρήση τεχνολογιών περιστροφικής γεώτρησης που έχουν υιοθετηθεί κατά μεγάλο μέρος από τη βιομηχανία πετρελαίου, και σε μικρότερη κλίμακα από τις έρευνες για νερό και ορυκτά. Οι τεχνολογίες αυτές τροποποιούνται ώστε να αντεπεξέρχονται στις σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες και τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών πετρωμάτων που απαντώνται.

Συνήθως, τα γεωθερμικά φρέατα διανοίγονται σε βάθη που κυμαίνονται από 200 έως 1500m για τα πεδία χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας, και από 700 έως 3000m περίπου βάθος για τα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Οι γεωτρήσεις διανοίγονται με γεωτρύπανο σε μία σειρά από στάδια, όπου το κάθε στάδιο έχει μικρότερη διάμετρο από το προηγούμενο, και καθένα από αυτά κλείνεται με χαλύβδινα πλαίσια, τα οποία τσιμεντάρονται επί τόπου πριν τη διάνοιξη του επόμενου σταδίου. Το τελικό τμήμα/ τα της γεώτρησης κλείνεται με ένα μη-τσιμενταρισμένο διάτρητο χιτώνιο. Η διάταξη μιας τυπικής γεωθερμικής γεώτρησης μπορεί να είναι κατακόρυφη (ευθεία) ή κεκλιμένη.

Στόχος αυτής της φάσης είναι να αποδειχθεί η ύπαρξη μιας εκμεταλλεύσιμης πηγής και να προδιαγραφούν η έκταση και τα χαρακτηριστικά της. Ένα πρόγραμμα διερευνητικών γεωτρήσεων μπορεί να περιλάβει φρέατα αβαθούς θερμοκρασιακής κλίσης, φρέατα διερεύνησης "λεπτής οπής", και παραγωγικού μεγέθους φρέατα διερεύνησης. Ο αριθμός και ο τύπος των γεωτρήσεων που θα περιληφθούν σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα καθορίζονται από το μέγεθος και το στόχο του έργου.

Τα φρέατα θερμοκρασιακής κλίσης διανοίγονται με τρυπάνια συχνά σε βάθη που κυμαίνονται από 2 έως 200m (σε σπάνιες περιπτώσεις μέχρι 500m βάθος) και με διάμετρο από 50 έως 150mm. Τα φρέατα διερεύνησης κυμαίνονται από 200 έως 3000m βάθος, με διάμετρο τελικής οπής από 100 έως 220mm. Τα φρέατα αυτά πρέπει να διανοίγονται με μια εξέδρα γεώτρησης πλήρως εξοπλισμένη ώστε να λειτουργεί υπό τις συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης της πηγής.

Η στρατηγική των διερευνητικών γεωτρήσεων περιλαμβάνει τη διάνοιξη τριών έως πέντε φρεάτων, ανάλογα με το μέγεθος του προγραμματισμένου έργου.

5.2.3 Μελέτη σκοπιμότητας

Οι λεπτομερείς αποτιμήσεις της πηγής και οι μελέτες σκοπιμότητας ενοποιούν τις πληροφορίες από τις έρευνες επιφανείας και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων ώστε να εκτιμηθεί η βιώσιμη παραγωγική ικανότητα ενός ταμιευτήρα με τη χρήση της υφιστάμενης τεχνολογίας ανάπτυξης. Άλλες μελέτες περιλαμβάνουν εκτιμήσεις:

- των δαπανών για υποδομές,
- της ζήτησης ισχύος,
- του κόστους των σχετικών με την προετοιμασία της θέσης, την εγκατάσταση και την εκκίνηση της λειτουργίας εργασιών μηχανικού,
- των σχετικών περιβαλλοντικών και κοινωνιολογικών προγραμμάτων και δαπανών,
- των απαιτούμενων οδών, κτηρίων και υπηρεσιών,
- της διαδικτύωσης και σύνδεσης με τα δίκτυα.

Εξάλλου, στη φάση αυτή πρέπει να λάβει χώρα ο προκαταρκτικός σχεδιασμός των συστημάτων και των σωληνώσεων συλλογής του ατμού, αλλά και να γίνει η επιλογή της τεχνολογίας, του μεγέθους και της σχεδίασης του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Το κόστος των γεωθερμικών εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής βαρύνεται πολύ με τις αρχικές δαπάνες. Η διάνοιξη των φρεάτων και η κατασκευή των σωληνώσεων αρχίζουν πριν από την κατασκευή της μονάδας, ενώ για το σχεδιασμό του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι αναγκαία η πληροφορία για την πηγή από τη γεώτρηση.

Η τελική ανάπτυξη του πεδίου ολοκληρώνεται μαζί με τη μονάδα. Οι σχετικές με την κατασκευή και λειτουργία ενός γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής δαπάνες ποικίλλουν ευρέως και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι:

- ο τύπος της πηγής (ατμός ή ζεστό νερό),
- η θερμοκρασία της πηγής,
- η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα,
- το μέγεθος της εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής (διαβάθμιση),
- ο τύπος της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής (μονοβάθμιας ακαριαίας ατμοποίησης, δυαδικού κύκλου, κλπ.),
- οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί,
- το κόστος του κεφαλαίου,

- το κόστος των εργατικών.

Οι τρεις πρώτοι παράγοντες επηρεάζουν τον αριθμό των γεωτρήσεων που πρέπει να διανοιχτούν για μια δεδομένη ισχύ της εγκατάστασης. Οι επόμενοι τρεις παράγοντες καθορίζουν το κόστος του συστήματος μετατροπής της ενέργειας, και οι δύο τελευταίοι το κόστος λειτουργίας της μονάδας, δηλ. την εξόφληση των οφειλών και τη λειτουργία και συντήρηση (Λ&Σ).

Οι δαπάνες κεφαλαίου ανά kW μεταβάλλονται αντιστρόφως προς τη θερμοκρασία και την ονομαστική ισχύ, ενώ οι ετήσιες δαπάνες Λ&Σ αυξάνονται με την ονομαστική ισχύ αλλά δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του ρευστού. Αυτές οι δαπάνες είναι ευμενείς όταν συγκρίνονται με αυτές των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και είναι απολύτως ευμενείς για τις απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται συνήθως από ντιζελομηχανές.

Οι δαπάνες Λ&Σ για τις γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής εξαρτώνται επίσης από τη συμβατική τιμή του ηλεκτρισμού. Δηλαδή, η υψηλότερη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά σημαντικό το να παραμένει εν λειτουργία ο σταθμός όσο το δυνατό πλησιέστερα στο 100% του χρόνου, και τότε δικαιολογούνται οι υψηλότερες δαπάνες συντήρησης. Οι περισσότερες γεωθερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής έχουν συντελεστή διαθεσιμότητας άνω του 90% (δηλ. μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό πάνω από το 90% του χρόνου), αλλά όταν οι συντελεστές διαθεσιμότητας ανέρχονται στο 97 ή 98% μπορεί αυτές να είναι πολύ πιο δαπανηρές.

Οι τρεις πιο βασικές παράμετροι όσον αφορά το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι το μέγεθος της εγκατάστασης, η θερμοκρασία της πηγής και το βάθος του παραγωγικού φρέατος. Προφανώς, το κόστος αυτό μειώνεται με την αύξηση των τιμών των πρώτων δύο από τις ανωτέρω παραμέτρους, ενώ αυξάνεται (σχεδόν γραμμικά) με την αύξηση του βάθους του παραγωγικού φρέατος.

Με το μοναδιαίο κόστος παραγωγής από ντίζελ να κυμαίνεται από 10 μέχρι και 20 cents/kWh, η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί πολύ ελκυστική επιλογή, ειδικά για τις απομακρυσμένες εκτός δικτύου περιοχές και τα μικρά νησιά, όπου η παραγωγή από ντίζελ είναι συχνά η μόνη λύση. Εξάλλου, μπορεί να είναι ελκυστική η άμεση χρήση

του απορριπτόμενου από την ηλεκτροπαραγωγή νερού χαμηλής θερμοκρασίας και είναι προς όφελος της ανάπτυξης ολόκληρης της μονάδας η δυνατότητα αυτή να εκτιμηθεί σε αρχικό στάδιο, ώστε η όποια ρύθμιση να μπορέσει να ενσωματωθεί στα σχέδια των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας-ατμού του πεδίου.

5.2.4. Ανάπτυξη

5.2.4.1 Παραγωγική γεώτρηση

Ως απόληξη μιας επιτυχούς φάσης διερεύνησης, μπορεί να αναληφθεί άμεσα ή μετά από την ολοκλήρωση μιας πιο μακροπρόθεσμης περιόδου δοκιμών της πηγής και μελετών σκοπιμότητας η δέσμευση ανάπτυξης μιας αρχικής φάσης παραγωγής ενός έργου. Θα αναπτυχθεί μία στρατηγική παραγωγικών γεωτρήσεων με βάση το φρέαρ διερεύνησης και δεδομένα της πηγής, από την οποία θα προκύψουν οι θέσεις των γεωτρήσεων, οι κατατομές των οπών και των πλαισίων, και μια αλληλουχία για τις γεωτρήσεις. Οι θέσεις των γεωτρήσεων διατάσσονται έτσι ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ των φρεάτων και συνήθως είναι τέτοιες ώστε οι παραγωγικές ζώνες κάθε φρεάτος να διαχωρίζονται από μία απόσταση 300 έως 500m.

Προφανώς απαιτούνται πλήρως εξοπλισμένες για γεωθερμική παραγωγή εξέδρες γεώτρησης διαστασιολογημένες στο μέγεθος του παραγωγικού φρεάτος. Η σχεδίαση των παραγωγικών φρεάτων και η διαδικασία γεώτρησης είναι παρόμοιες με αυτές που υλοποιούνται κατά τη διερευνητική φάση του έργου, όπως περιγράφηκε ήδη. Εντούτοις, στην περίπτωση όπου αντιμετωπίζονται πολύ υψηλές διαπερατότητες του ταμιευτήρα, μπορεί να απαιτούνται φρέατα μεγάλης διαμέτρου. Η διάνοιξη τέτοιων φρεάτων είναι συνήθης σε ταμιευτήρες όπου υπερισχύει ο ατμός, όπως είναι το γεωθερμικό πεδίο Darajat στην Ινδονησία.

Το κόστος των παραγωγικών γεωτρήσεων είναι σε γενικές γραμμές το ίδιο με αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω για τα φρέατα διερεύνησης/παραγωγής, εντούτοις είναι σύνηθες να υπεισέρχεται κάποια μείωση σ' αυτά τα κόστη καθώς αποκτάται εμπειρία σε κάθε πεδίο. Η διάνοιξη ενός παραγωγικού φρεάτος μεγάλης διαμέτρου συνήθως είναι περίπου 20% πιο ακριβή από ενός φρεάτος τυποποιημένου μεγέθους. Ανάλογα με τη φύση της πηγής, θα απαιτηθεί επίσης ένας αριθμός φρεάτων επανέγχυσης.

5.2.4.2 Σχεδίαση του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής

Από μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των μελετών των πηγών, των περιβαλλοντικών και κοινωνιολογικών επιπτώσεων, του δυναμικού παραγωγής και της ζήτησης ισχύος σχεδιάζεται μια κατάλληλα διαστασιολογημένη εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής. Στη σχεδίαση, η οποία πέραν του σταθμού περιλαμβάνει ακόμη τις σωληνώσεις και τα συστήματα συλλογής του ατμού, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, όπως η θερμοκρασία της πηγής, η χημεία και η περιεκτικότητα σε αέρια του ρευστού, και το κατάλληλο μέγεθος της μονάδας. Οι μεταβλητές σχεδίασης βελτιστοποιούνται για να εξασφαλιστεί ότι οι σχεδιαστικές λύσεις που επιλέγονται είναι οι πιο οικονομικά αποτελεσματικές και ενεργειακά αποδοτικές.

5.2.4.3 Κατασκευή και εκκίνηση λειτουργίας

Ένα γεωθερμικό έργο μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Παραδοσιακά, τα γεωθερμικά έργα αναπτύσσονταν μέσω ενός αριθμού ξεχωριστών συμβάσεων κατασκευής και προμήθειας, ενώ το σχεδιασμό και τη διαχείριση τους αναλάμβαναν σύμβουλοι μηχανικοί. Τελευταία, η τάση είναι να εφαρμόζεται η μέθοδος της ολοκληρωμένης μελέτης και εκτέλεσης ("με το κλειδί στο χέρι"). Τα πλεονεκτήματα της είναι ότι παρέχει μεγαλύτερο περιθώριο για καινοτομία στους προμηθευτές, μειώνει τους κινδύνους υπέρβασης του κόστους και, το πιο σημαντικό, αποδίδει την ευθύνη και την υπαιτιότητα για την απόδοση της μονάδας σε μία οντότητα.

Συχνά, αυτός ο τύπος μεθόδου υλοποίησης είναι επωφελής, καθώς δύναται να προσελκύσει χρηματοδότηση για το έργο. Ένα παράδειγμα χρηματοδοτούμενου γεωθερμικού έργου που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο υλοποίησης με πολλαπλές συμβάσεις είναι ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στο Kamojang της δυτικής Ιάβας (βλ. περίπτωση εφαρμογής). Πάντως, οι πιο πρόσφατες γεωθερμικές αξιοποιήσεις στην Ινδονησία, όπως στο Salak και το Wayang Windu, έχουν κατασκευαστεί με χρήση της μεθόδου ολοκληρωμένης μελέτης και εκτέλεσης. [44]

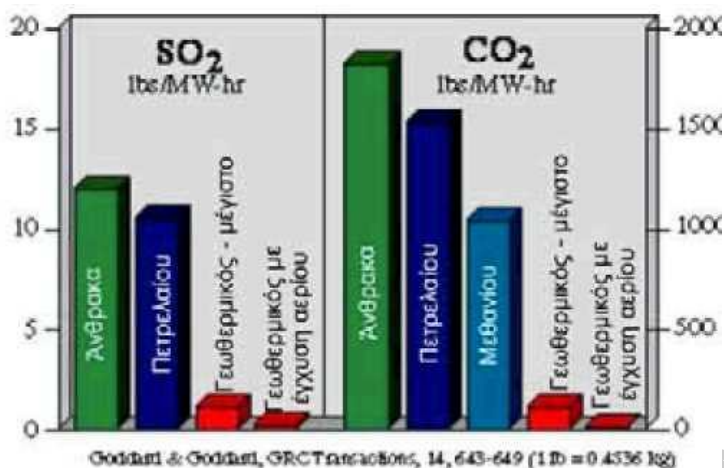
5.3 Πλεονεκτήματα και προβλήματα της γεωθερμικής ενέργειας

5.3.1 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται εμπορικά σε μία κλίμακα εκατοντάδων MW για περισσότερο από τρεις δεκαετίες δεδομένου ότι διαθέτει διάφορα θετικά γνωρίσματα που την καθιστούν ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας και μερικές άλλες ΑΠΕ. Ειδικότερα:

- Αποτελεί έναν τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα από άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

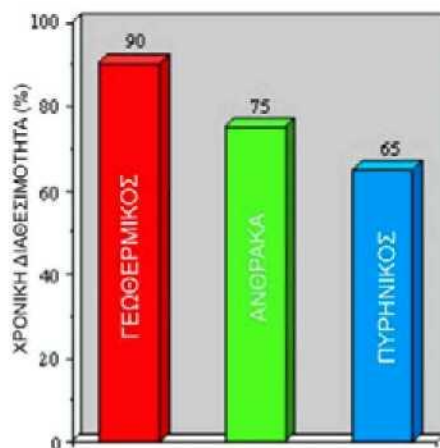
Επιπλέον, η νεώτερη γενιά των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπει μόνο 136 gr διοξειδίου του άνθρακα ανά kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο, έναντι των 453 gr/kWh CO₂ μιας μονάδας με καύσιμο φυσικό αέριο ή των 1042 gr/kWh CO₂ από ένα θερμικό σταθμό άνθρακα. Στο σχήμα 5.2 παρέχεται μια σύγκριση των εκπομπών SO₂ (κύριο αίτιο της όξινης βροχής) και CO₂ (ένα αέριο του θερμοκηπίου και της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής) μεταξύ εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο άνθρακα και πετρέλαιο, και γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με ή χωρίς έγχυση των αερίων αποβλήτων πίσω στο έδαφος.



Σχήμα 5.2: Συγκρίσεις εκπομπών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής διαφόρων καυσίμων

Αυτή τη στιγμή, οι ΑΠΕ με το μέγιστο δυναμικό και τις χαμηλότερες εκπομπές στην Ευρώπη, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, είναι η υδραυλική και η γεωθερμική ενέργεια. Σημειώνεται επίσης ότι οι συντελεστές δυναμικού των υδροηλεκτρικών και των γεωθερμικών σταθμών στην Ευρώπη είναι τη στιγμή αυτή πάνω από 70%, ενώ οι τυπικές τιμές για τα ηλιακά και τα αιολικά συστήματα είναι 20-35%. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να παράγεται η ονομαστική ενέργεια, εξαρτάται κυρίως από τη φύση της πηγής και κατά δεύτερο λόγο από τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

Η εμπειρία δείχνει ότι η διαθεσιμότητα των γεωθερμο-ηλεκτρικών μονάδων συχνά είναι άνω του 90%. Το ιστόγραμμα του σχήματος 5.3 παρουσιάζει μία σύγκριση των ποσοστών του χρόνου, κατά μέσο όρο, που οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής γεωθερμίας, άνθρακα και πυρηνικών είναι διαθέσιμες για να παράγουν ηλεκτρισμό (δηλ. το συντελεστή διαθεσιμότητας). Υπό αυτές τις περιστάσεις, ο συντελεστής της εγκατάστασης, που ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που η μονάδα πραγματικά παράγει ενέργεια, είναι σχεδόν ίσος με το συντελεστή διαθεσιμότητας.



Σχήμα 5.3: Συντελεστές διαθεσιμότητας τριών τύπων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Τόσο οι υψηλής όσο και οι χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικοί σταθμοί ισχύος μπορούν να κατασκευαστούν ως πολυσυναρτησιακές μονάδες. Αυτή η προσέγγιση μειώνει την δαπάνη αρχικού κεφαλαίου και κατανέμει την επένδυση, ενώ καθιστά εφικτή την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας της πηγής πριν αρχίσει η πλήρης λειτουργία και επιτρέπει την απολαβή εσόδων στην πρώτη δυνατή ευκαιρία, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την οικονομική απόδοση ολόκληρου του σχήματος και μειώνοντας την έκθεση σε γεωλογικούς κινδύνους ή ρίσκα εξόρυξης.

Τα κόστη, συνεπώς και η οικονομική βιωσιμότητα των έργων γεωθερμικής ενέργειας, εξαρτώνται αυστηρά από τις ειδικές συνθήκες της θέσης και τον τύπο της εφαρμογής. Σημειώνεται ότι, το κόστος παραγωγής του ηλεκτρισμού είναι πιο ευαίσθητο στο ειδικό κόστος διάνοιξης των φρεάτων και στην παραγωγικότητα κάθε φρεάτος, που κυμαίνεται σημαντικά μεταξύ διαφορετικών χωρών. Η διακύμανση των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων που ενέχονται στην υλοποίηση των γεωθερμικών έργων (το ειδικό κόστος του πεδίου συν το κόστος εγκατάστασης) σημαίνει ότι κάθε ένα από αυτά έχει ένα μοναδικό κόστος παραγωγής και δεν είναι δυνατή μια ευρεία γενίκευση.

Η συνολική ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας καθορίζεται επίσης με τη σύγκριση της τόσο με τις συμβατικές όσο και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συνήθως το κόστος της ενέργειας στηρίζεται σε τυποποιημένες χρηματοοικονομικές αναλύσεις. Η χρηματοδότηση των γεωθερμικών έργων από τις υπηρεσίες διεθνούς

χρηματοδότησης τελευταία βασίζεται στη διεξαγωγή μιας ανάλυσης ελαχίστου κόστους, ως μέρος της διαδικασίας τους για δανειοδότηση των ενεργειακών έργων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη το χαμηλότερο κόστος των συμβατικών καυσίμων, ειδικά του φυσικού αερίου, με αυστηρά οικονομικά κριτήρια καθιστά ανταγωνιστικές μόνο τις καλύτερες από τις γεωθερμικές πηγές. Εντούτοις, η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να γίνει πιο ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας εάν η σύγκριση δεν περιοριζόταν αυστηρά στα οικονομικά κριτήρια αλλά λαμβάνονταν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως τα σκιάδια κόστη και οι οικονομικές συνέπειες τους (γνωστά ως "εξωτερικά κόστη").

Τα σχετικά *εξωτερικά κόστη* της συμβατικής παραγωγής γίνονται *εξωτερικά οφέλη* στην περίπτωση της γεωθερμίας (όπως και για τις άλλες ΑΠΕ), και αποτελούν μία παράμετρο που αλλάζει ουσιαστικά το επίπεδο ανταγωνιστικότητας προς όφελος της γεωθερμικής ενέργειας. Αυτά μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε χρηματικούς όρους και θα πρέπει να αποτελούν έναν αναγνωρισμένο παράγοντα για λόγους σύγκρισης. Εάν μεταξύ των παραμέτρων της επένδυσης περιληφθούν οι εξωτερικοί παράγοντες, τότε μπορούν να πραγματοποιηθούν τα πλήρη κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

Η απαλλαγή του επενδυτή από αυτή την "προστιθέμενη αξία" δεν πρέπει να ληφθεί ως επιδότηση αλλά ως αναδιάρθρωση των οικονομικών οφελών που απορρέουν από το έργο. Έχει υπολογιστεί ότι το εξωτερικό κόστος των συμβατικών καυσίμων είναι 10 φορές σχεδόν μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος των ανανεώσιμων και το 50% σχεδόν του συνολικού οικονομικού κόστους (έναντι 1% στην περίπτωση των ΑΠΕ). Η ποσοτικοποίηση των εξωτερικοτήτων αποτελεί κρίσιμη πτυχή για τη δίκαιη εκτίμηση της γεωθερμικής ενέργειας, με την οποία επίσης αποφεύγεται η επιβολή προστίμων σε έργα που αξιολογούνται καθαρά στη βάση μιας ανάλυσης ταμειακών ροών.[44]

5.3.2 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης

Στα κύρια προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται οι αποθέσεις μετάλλων, οι μεταβολές στις υδρολογικές συνθήκες και η διάβρωση του εξοπλισμού. Προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν κατά το χειρισμό των γεωθερμικών αποβλήτων, τόσο του νερού όσο και του ατμού.

5.3.2.1 Αποθέσεις μετάλλων

Σε μερικά πεδία όπου επικρατεί το νερό μπορεί να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το ζέων γεωθερμικό ρευστό. Για παράδειγμα, η απόθεση πυριτίου στα φρέατα προκάλεσε προβλήματα στο πεδίο του Salton Sea (Καλιφόρνια). Συχνότερα, μπορεί να περιοριστεί η ανάπτυξη ενός πεδίου από το σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου στα φρέατα ή στα πετρώματα της περιοχής, όπως για παράδειγμα συνέβη στην Τουρκία και τις Φιλιππίνες. Τα πεδία με ζεστά νερά και υψηλά ολικά ανθρακικά άλατα τελευταία αντιμετωπίζονται με καχυποψία. Κατά την απόρριψη των θερμών υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια, η απόθεση πυριτίου στους αγωγούς και τους διαύλους του νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

5.3.2.2 Υδρολογικές αλλαγές

Η εκτεταμένη παραγωγή από τα φρέατα αλλάζει τις τοπικές υδρολογικές συνθήκες. Η ελάττωση της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκαλέσει βρασμό στο νερό των πετρωμάτων (που οδηγεί σε μεταβολές των χαρακτηριστικών του ρευστού της γεώτρησης), τη διείδυση κρύου νερού από τις παρυφές του πεδίου, ή μεταβολές στη χημεία του νερού λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των αερίων. Μετά από την παρατεταμένη άντληση ζεστού νερού από πετρώματα μικρής αντοχής μπορεί να συμβεί τοπική γαιόχωση (μέχρι μερικά μέτρα) και να μειωθεί σε ένταση η αρχική φυσική θερμική δραστηριότητα. Κάποιες μεταβολές συμβαίνουν σε όλους τους τομείς και απαιτείται η καλή κατανόηση της γεωλογίας και της υδρολογίας ενός συστήματος προκειμένου να μπορέσει να συνταιριαστεί ο ρυθμός άντλησης της γεώτρησης με τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα αυτής να παρέχει ρευστό.

5.3.2.3 Διάβρωση

Τα γεωθερμικά νερά προκαλούν την ταχεία διάβρωση των περισσότερων κραμάτων μετάλλων, αλλά αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα κατά τη χρήση τους εκτός από τις περιοχές όπου αντλούνται υψηλής θερμοκρασίας όξινα ύδατα (πολύ σπάνια), για παράδειγμα σε ενεργές ηφαιστειακές ζώνες. Το σύνηθες βαθύ γεωθερμικό νερό έχει σχεδόν ουδέτερο pH. Οι κυριότερες επιπτώσεις διάβρωσης μετάλλων που πρέπει να αποφεύγονται είναι η διάβρωση με στίγματα σουλφιδίου και χλωριδίου ορισμένων ανοξειδωτών και υψηλής αντοχής χαλύβων και η ταχεία διάβρωση των κραμάτων χαλκού. Το υδρόθειο, ή τα προϊόντα οξειδωσής του, προκαλεί επίσης την πιο ταχεία

από την κανονική υποβάθμιση των οικοδομικών υλικών, π.χ. του σκυροδέματος, των πλαστικών, και των βαφών.

5.3.2.4 Ρύπανση

Από τις μη ηχομονωμένες γεωτρήσεις εκροής μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120 dB), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να ψεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και τα κτίρια. Με την εφαρμογή ορθών πρακτικών μπορούν να μειωθούν οι επιδράσεις αυτές σε αποδεκτά επίπεδα. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, λόγω της χαμηλότερης αποδοτικότητας τους, εκπέμπουν περισσότερους υδρατμούς ανά μονάδα ισχύος από τους σταθμούς με ορυκτά καύσιμα. Ο ατμός από τους σιγαστήρες των κεφαλών των φρεάτων και τους πύργους ψύξης των σταθμών μπορεί να προκαλέσει τοπικά μια αυξημένη τάση για σχηματισμό ομίχλης και χειμερινού πάγου.

Τα απόβλητα γεωθερμικά νερά που ελευθερώνονται σε υδάτινους διαύλους μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα θερμικής ρύπανσης, εκτός εάν αραιώνονται κατά 100:1 τουλάχιστο. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να έχουν τέσσερα κύρια ρεύματα αποβλήτων. Μεγάλοι όγκοι απορριπτόμενου ζεστού αλατούχου νερού παράγονται στα υδροθερμικά πεδία. Μη καθαρός υδρατμός αναδύεται από τους πύργους ψύξης των σταθμών, οι οποίοι παράγουν επίσης μια ροή συμπυκνώματος που περιέχει ποικίλες συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων, ανθρακικών αλάτων, και βορίου. Απόβλητα αέρια διαφεύγουν από τις εξόδους απαερίωσης των αντλιών.

Οι γεωθερμικοί ατμοί ποικίλουν ευρέως ως προς τα περιεχόμενα αέρια (συχνά 0,1-5%), τα οποία είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και αμμωνία. Η απαγωγή του υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις εάν δεν διασκορπίζεται επαρκώς, και σ' ένα μεγάλο γεωθερμικό σταθμό κοντά σε κοινότητες με χαμηλή ανοχή στις οσμές χρειάζεται μία μονάδα παγίδευσης του θείου (διεργασίας Stretford).

Η επίπτωση της διασποράς των σουλφιδίων στα δέντρα και τα φυτά φαίνεται να είναι μικρή. Η χαμηλή συγκέντρωση ραδονίου στον ατμό (3-200 nanocuries/kg ή 0,1-7,4 kilobecquerels/kg), όταν διασκορπίζεται είναι απίθανο να έχει επιπτώσεις στην υγεία. Ο υδράργυρος των γεωθερμικών ρευστών (1-10 $\mu\text{g}/\text{kg}$) τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά οι δημιουργούμενες συγκεντρώσεις δεν είναι επικίνδυνες.

Η σύσταση των γεωθερμικών νερών ποικίλλει ευρέως. Στις πρόσφατες ηφαιστειακές περιοχές αυτά είναι συνήθως αραιά (< 0,5%) αλατούχα διαλύματα, αλλά τα νερά στις ιζηματογενείς λεκάνες ή τις ενεργές ηφαιστειακές περιοχές έχουν ιδιαίτερα μεγάλη συγκέντρωση σε άλμες. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά, τα περισσότερα γεωθερμικά νερά περιέχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις βορίου, φθοριδίων, αμμωνίας, πυριτίου, υδρόθειου και αρσενικού. Στα συνήθη αραιά γεωθερμικά νερά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, π.χ. σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, ψευδαργύρου, καδμίου και θαλλίου, σπάνια υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα για το πόσιμο νερό επίπεδα. Πάντως, οι συμπυκνωμένες άλμες μπορεί να περιέχουν ικανά επίπεδα βαρέων μετάλλων.

Λόγω της σύνθεσης τους, τα απόβλητα γεωθερμικά νερά ή συμπυκνώματα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις παροχές πόσιμου ή αρδευτικού νερού και την υδρόβια ζωή. Η αμμωνία μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη φυκιών στους υδάτινους διαύλους και να ευνοήσει τον ευτροφισμό τους, ενώ η εισχώρηση του βορίου στα αρδευτικά ύδατα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ευαίσθητα φυτά, όπως τα εσπεριδοειδή. Μικρές ποσότητες ιζήματος μεταλλικού σουλφιδίου, που περιέχουν αρσενικό, αντιμόνιο και υδράργυρο, μπορεί να συσσωρευτούν στα ιζήματα των ρυακιών και να προκαλέσουν ανεπιθύμητα υψηλές (πάνω από 0,5 ppm) συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια.

5.3.2.5 Επανεγγυση

Το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανεγγυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στα έγκατα μέσω φρεάτων απόρριψης. Η επανεγγυση του συμπυκνώματος ατμού εμφανίζει λίγα προβλήματα και εφαρμόζεται στην Ιταλία και τις Η ΠΑ. Μια πιο δύσκολη περίπτωση επανεγγυσης συνιστούν οι πολύ μεγαλύτεροι όγκοι του διαχωριζόμενου απόβλητου ζεστού νερού (περίπου 50 μετρικοί τόνοι ανά MW_e) στα πεδία υπερίσχυσης νερού.

Η απόθεση πυριτίου και ανθρακικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει αποφράξεις στις σχισμές των πετρωμάτων, εάν δεν ικανοποιούνται οι κατάλληλες θερμοκρασιακές, χημικές και υδρολογικές συνθήκες στο βάθος απόρριψης. Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητη πριν την επανεγγυση η χημική επεξεργασία της άλμης. Η επιλεκτική επανεγγυση του νερού στο θερμικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των πιέσεων του υδροφόρου ορίζοντα και στην απόληψη περισσότερης

θερμότητας από το πέτρωμα. Ένα επιτυχές σύστημα επανέγχυσης νερού λειτουργεί για αρκετά χρόνια στο Ahuacharan του Ελ Σαλβαδόρ.[44]

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΡΓΩΝ Α.Π.Ε.

6.1 Εισαγωγή

Η εγκατάσταση και εκμετάλλευση ενός συστήματος Α.Π.Ε. αποτελεί μια επένδυση. Σε κάθε επένδυση δεσμεύονται σήμερα οικονομικοί πόροι, με την προσδοκία κάποιων ωφελειών στο μέλλον. Οι περισσότερες επενδύσεις σε Α.Π.Ε., ανεξάρτητα από το φορέα που τις υλοποιεί, χαρακτηρίζονται από σημαντικό αρχικό κόστος επένδυσης, σχετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας, ενώ τα οφέλη προκύπτουν από την παραγωγή ή την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, το κόστος γης και έργων υποδομής, το ενεργειακό δυναμικό της περιοχής, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας και τη διάρκεια ζωής της, η αξία της ενέργειας που παράγεται ή υποκαθίσταται, το κόστος του χρήματος, το νομοθετικό πλαίσιο και οι κανόνες της αγοράς.

Η προώθηση της επένδυσης προϋποθέτει τη μελέτη, τον προγραμματισμό και τον συντονισμό πολλών δραστηριοτήτων υπό το πρίσμα:

- Επιχειρηματικό: δέσμευση οικονομικών πόρων, ανάληψη ευθυνών, πρωτοβουλιών και κινδύνων.
- Τεχνικό: επιλογή τεχνολογίας, τεχνικός σχεδιασμός.
- Χρηματοδοτικό: εξασφάλιση των αναγκαίων χρηματικών κεφαλαίων για την ταμειακή εξυπηρέτηση της επένδυσης.
- Οικονομικό: εξασφάλιση της οικονομικής αποδοτικότητας μετά από έλεγχο των χρηματικών εισροών και εκροών.
- Χωροταξικό: επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας.
- Περιβαλλοντικό: έλεγχος των επιπτώσεων στο φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον.
- Κοινωνικό: έλεγχος των επιπτώσεων στο κοινωνικό περιβάλλον.[47]

6.2 Το εξωτερικό κόστος της ενέργειας

Είναι ευρύτερα γνωστό ότι η παραγωγή και χρήση της ενέργειας συνοδεύεται από ποικίλες και σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον, οι οποίες μέχρι σήμερα σε μεγάλο βαθμό αγνοήθηκαν κατά τον ενεργειακό σχεδιασμό, τόσο κατά τη λήψη των αποφάσεων όσο και τη διαμόρφωση των τιμών. Οι επιπτώσεις αυτές συμβάλλουν στην μεταβολή του επιπέδου κοινωνικής ευημερίας, συνιστούν επομένως ένα περιβαλλοντικό κόστος το οποίο όμως δεν εντάσσεται στο ισχύον σύστημα αξιών. Η αποτίμηση αυτού του περιβαλλοντικού κόστους είναι μια ιδιαίτερα περίπλοκη διαδικασία, και γι αυτό απαιτεί την έκφραση σε χρηματικούς όρους μιας σειράς μη εμπορεύσιμων αγαθών όπως είναι η ανθρώπινη ζωή, η βιοποικιλότητα, η εξαντλησιμότητα των φυσικών πόρων, κ.λ.π.

Την τελευταία δεκαετία σημαντικές προσπάθειες προς την κατεύθυνση αυτή έχουν καταβληθεί από την επιστημονική κοινότητα και παρά το γεγονός ότι αρκετά μεθοδολογικά προβλήματα εξακολουθούν να υφίστανται έχει επιτευχθεί η αποτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους από τη χρήση διαφόρων ενεργειακών συστημάτων και τεχνολογιών. Έτσι το «εξωτερικό κόστος» αποδεικνύεται ιδιαίτερα υψηλό για τα συμβατικά καύσιμα και κατά σειρά σημασίας για τον άνθρακα (περισσότερο για το λιγνίτη), για τα πετρελαιοειδή (περισσότερο για το μαζούτ), αλλά και για το φυσικό αέριο. Αντίθετα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εμφανίζονται πιο φιλικές προς το περιβάλλον και η χρήση τους συνοδεύεται ουσιαστικά από αμελητέο περιβαλλοντικό κόστος.

Γίνεται επομένως αυτονόητο ότι η ενσωμάτωση του περιβαλλοντικού κόστους στη διαδικασία λήψης των ενεργειακών αποφάσεων μεταβάλλει την κυρίαρχη αντίληψη περί κόστους των διαφόρων χρησιμοποιούμενων πηγών ενέργειας. Αποδεικνύεται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι τεχνικά εφικτό, οικονομικά αποδεκτό και περιβαλλοντικά επιβεβλημένο να παίξουν έναν πολύ σημαντικότερο ρόλο από εκείνον που τους προσδιορίζει το ισχύον σύστημα αξιών.[47]

6.3 Α.Π.Ε. και κόστος παραγωγής

Σήμερα το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού ή θερμότητας από Α.Π.Ε., σε σύγκριση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων είναι σε αρκετές περιπτώσεις υψηλότερο. Ωστόσο, το

μέσο κόστος παραγωγής επηρεάζεται ελάχιστα λόγω της περιθωριακής ακόμα συμμετοχής των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

Το πραγματικό ερώτημα είναι αν μακροπρόθεσμα η προώθηση της χρήσης των Α.Π.Ε. θα επηρεάσει αρνητικά το κόστος παραγωγής της ενέργειας και επομένως το κόστος διαβίωσης των πολιτών και την ανταγωνιστικότητα των εγχώριων προϊόντων. Ωστόσο, οι τάσεις που διαμορφώνονται διεθνώς δεν αφήνουν περιθώρια πραγματικής ανησυχίας.

Έτσι, είναι σαφές ότι το κόστος των τεχνολογιών Α.Π.Ε. μειώνεται ραγδαία με την επέκταση της χρήσης τους και συνεπώς με τη μαζική παραγωγή τους. Ορισμένες τεχνολογίες είναι ήδη ανταγωνιστικές και προβλέπεται ότι το ίδιο θα συμβεί και με πολλές από τις υπόλοιπες.

Αντίθετα είναι εξίσου σαφές ότι με την βαθμιαία κατανόηση του εξωτερικού κόστους που συνεπάγεται η παραγωγή ενέργειας, η χρήση των συμβατικών καυσίμων θα επιβαρυνθεί είτε άμεσα με φόρους είτε έμμεσα με περιορισμούς εκπομπών ρύπων που οδηγούν σε ειδικές επενδύσεις υψηλού κόστους.[47]

6.4 Διαμόρφωση κόστους παραγωγής

Το συνολικό κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. εξαρτάται από το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του εξοπλισμού, το κόστος λειτουργίας του έργου, το κόστος επανάκτησης των κεφαλαίων της επένδυσης και το κόστος της εξυπηρέτησης της χρηματοδότησης της επένδυσης (δανεισμός). Ορισμένες από τις ανωτέρω κατηγορίες κόστους είναι ανάλογες της εγκατεστημένης ισχύος του έργου, άλλες είναι ανάλογες με την παραγόμενη ενέργεια και άλλες αποτελούν σταθερό χρηματικό έξοδο ανεξαρτήτως του μεγέθους του έργου (σταθερά & μεταβλητά κόστη).[47]

Οι κατηγορίες που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το κόστος παραγωγής είναι:

A. Το συνολικό κόστος που απαιτείται μέχρι την έναρξη λειτουργίας του έργου και αφορά:

- i. Το κόστος ανάπτυξης του έργου (μελέτες, αδειοδότηση, κόστος γης).
- ii. Το κόστος κατασκευής του έργου το οποίο αναλύεται στις αντίστοιχες επιμέρους κατηγορίες κόστους για την προμήθεια του εξοπλισμού, ανάλογα με

την κάθε τεχνολογία ΑΠΕ και την μεταφορά και εγκατάστασή του.

- iii. Το κόστος κατασκευής των έργων σύνδεσης.
- iv. Το χρηματοοικονομικό κόστος στη διάρκεια κατασκευής (τόκοι βραχυπρόθεσμου δανεισμού, απόδοση κεφαλαίων, κλπ.).

B. Οι ετήσιες δαπάνες (μεταβλητές/σταθερές) κατά τη διάρκεια λειτουργίας, οι οποίες αναλύονται σε πολλές διαφορετικές συνιστώσες, σχετίζονται συνήθως και με την παραγωγή του υπό εξέταση σταθμού Α.Π.Ε. Ειδικότερα στα έξοδα λειτουργίας του έργου περιλαμβάνονται:

- i. το κόστος επισκευών και συντήρησης του έργου το οποίο αντιστοιχεί συνήθως σε ποσοστό επί του προϋπολογισμού του έργου ή σε ποσοστό επί της παραγόμενης ενέργειας.
- ii. το κόστος για την ασφάλιση του έργου κατά πολλαπλών κινδύνων καθώς και το κόστος για την ασφάλιση των ετήσιων εσόδων τα οποία υπολογίζονται ως ποσοστό του αντίστοιχου ασφαλιζόμενου ποσού
- iii. οι δαπάνες μισθοδοσίας
- iv. το κόστος διοίκησης και λογιστικής παρακολούθησης του έργου.
- v. το κόστος εξυπηρέτησης των τόκων και των χρεολυσίων του έργου.
- vi. το κόστος επανάκτησης του κεφαλαίου της επένδυσης (αποσβέσεις), καθώς και το εναλλακτικό κόστος των ιδίων κεφαλαίων (επιθυμητή απόδοση επένδυσης)
- vii. η φορολόγηση των εσόδων.
- viii. διάφορα άλλα έξοδα λειτουργίας, παροχές σε τρίτους, ενοίκια, υλικά άμεσης ανάλωσης και λοιπά γενικά ή απρόβλεπτα έξοδα. Επίσης το κόστος που αντιστοιχεί στην πληρωμή του τέλους προς τους Ο.Τ.Α. και τους φορείς διαχείρισης (για την περίπτωση των Μ.Υ.Η.Σ.).

Ειδικά για τις τεχνολογίες της βιομάζας και του βιοαερίου (σε μικρότερο βαθμό και για τους ηλιοθερμικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν επικουρικό καύσιμο), στο κόστος λειτουργίας θα πρέπει να προστεθεί και το κόστος εξασφάλισης της πρώτης ύλης ή καυσίμου (προμήθεια, μεταφορά, επεξεργασία, κλπ), που απαιτείται για την λειτουργία του σταθμού.[47]

6.5 Κόστος εγκατάστασης σταθμού ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια

Το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια έχει μεγάλο εύρος και εξαρτάται από παράγοντες όπως η τεχνολογία του σταθμού

παραγωγής, ο αριθμός και το βάθος των γεωτρήσεων, η θερμοκρασία και η παροχή του γεωθερμικού ρευστού. Το εύρος αυτό κυμαίνεται μεταξύ 1.550-3.100 €/kW για εγκαταστάσεις διαχωρισμού ατμού (flashsteam) και 2.000-4.000 €/kW για εγκαταστάσεις δυαδικού κύκλου (binary cycle). Για τα ελληνικά δεδομένα (γεωθερμικά πεδία μέτριας θερμοκρασίας <math><180^{\circ}\text{C}</math> σε σχετικά μικρά βάθη) η τεχνολογία δυαδικού κύκλου είναι περισσότερο κατάλληλη. Η τεχνολογία των Εξελιγμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (Enhanced Geothermal Systems) δεν αναλύεται περαιτέρω καθώς δεν υπάρχει σχεδιασμός για εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων στην Ελλάδα στο εγγύς μέλλον.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μονάδες δυαδικού κύκλου είναι εφικτή από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (έως και 75°C) ωστόσο πρακτικά χρησιμοποιούνται πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερες ή ίσες των 90°C . Για χαμηλές θερμοκρασίες το κόστος κατασκευής των μονάδων είναι αρκετά αυξημένο κυρίως εξαιτίας των απαιτήσεων για μεγάλο μεγέθους εναλλάκτες θερμότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τεχνολογία αυτή δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη σε σημαντική κλίμακα, το τυπικό κόστος εγκατάστασης θεωρήθηκε ίσο με:

- i. 6.000€/kW για μονάδες χαμηλής θερμοκρασίας
- ii. 4.000€/kW για μονάδες υψηλής θερμοκρασίας

Αντίστοιχα, τα ετήσια έξοδα λειτουργία και συντήρησης (σταθερά και μεταβλητά) των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια εκτιμώνται περίπου στο 5,5% του εκάστοτε συνολικού κόστους κατασκευής, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους για νέες γεωτρήσεις.[51]

6.6 Ορισμός δείγματος

Για την οικονομική αξιολόγηση των έργων Α.Π.Ε. που ακολουθεί θεωρήθηκε σκόπιμο να επιλεγεί ένα έργο από κάθε τεχνολογία το οποίο θα διαθέτει τα μέσα ενεργειακά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας που ανήκει στην Ελληνική Επικράτεια. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των έργων Α.Π.Ε. του δείγματος που επιλέξαμε.[51]

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά έργων Α.Π.Ε. δείγματος

Τεχνολογία	Ισχύς έργου (MW)	Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας (CF-%)
Αιολικό πάρκο-Διασυνδεδεμένο δίκτυο	30	24,5%
Αιολικό πάρκο- Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	10	30%
Μικρό-υδροηλεκτρικό	5	35%
Φωτοβολταϊκό-Διασυνδεδεμένο δίκτυο	2	15,5%
Φωτοβολταϊκό-Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	2	16,5%
Ηλιοθερμικό χωρίς σύστημα αποθήκευσης	2	18%
Ηλιοθερμικό με σύστημα αποθήκευσης	30	20%
Γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας	0,5	85%
Γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας	20	90%

6.6.1 Παραδοχές υπολογισμών

Πριν τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών των έργων Α.Π.Ε. του δείγματος, οι οποίοι υπολογίστηκαν με την χρήση κατάλληλου λογισμικού για κάθε τεχνολογία σε αυτή την ενότητα του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι παραδοχές που λάβαμε για τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών.

Αναλυτικά:

Χρηματοδοτικό σχήμα:

- Το ποσοστό των ιδίων κεφαλαίων των επενδύσεων είναι το 25%.
- Το ποσοστό των ξένων κεφαλαίων, (δανεισμού) είναι το 75%.

- Οι επενδύσεις δεν λαμβάνουν καμία μορφή επιχορήγησης, μολονότι όλες οι τεχνολογίες εκτός από τα φωτοβολταϊκά δικαιούνται με βάση τον νέο αναπτυξιακό νόμο, ν.3908/2011.

Αναφορικά με την κρατική επιχορήγηση, πρέπει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το ν.3908/2011 για την ενίσχυση των ιδιωτικών επενδύσεων, καθορίζονται τρεις ζώνες με κριτήριο το επίπεδο ανάπτυξης σε σύγκριση με το μέσο όρο της χώρας, ενώ οι επιχειρήσεις κατηγοριοποιούνται σε μεγάλες, μεσαίες, μικρές και πολύ μικρές. Το ποσοστό ενίσχυσης κάθε επενδυτικού σχεδίου κυμαίνεται από 15 - 40% και εξαρτάται από το μέγεθος του φορέα της επένδυσης και από την γεωγραφική περιοχή στην οποία υλοποιείται.

Ειδικά στα μεγάλα επενδυτικά σχέδια (ελάχιστου ύψους επένδυσης 50 εκ. ευρώ), στο ν.3908/2011 προβλέπεται σταδιακή απομείωση του αρχικού ποσοστού επιχορήγησης που προβλέπεται για τη συγκεκριμένη περιοχή για κάθε επιπλέον 50 εκατ. € αρχικό κόστος επένδυσης.

Ειδικότερα:

- i. για το τμήμα μέχρι πενήντα εκατομμύρια (50.000.000) ευρώ παρέχεται το 100% του κατά περίπτωση ανώτατου ορίου περιφερειακής ενίσχυσης,
- ii. για το τμήμα που υπερβαίνει τα πενήντα εκατομμύρια (50.000.000) ευρώ μέχρι και εκατό εκατομμύρια (100.000.000) ευρώ παρέχεται το 50% του κατά περίπτωση ανώτατου ορίου περιφερειακής ενίσχυσης,
- iii. για το τμήμα που υπερβαίνει τα εκατό εκατομμύρια (100.000.000) ευρώ παρέχεται το 30% του κατά περίπτωση ανώτατου ορίου περιφερειακής ενίσχυσης.

Ειδικά για τα έργα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε., πρέπει να επισημανθεί ότι όσα από αυτά επιχορηγηθούν στο πλαίσιο αυτό του ν.3908/2011, δεν δικαιούνται την επιπρόσθετη προσαύξηση στην τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (για τις κατηγορίες έργων που προβλέπονται στο ν.3851/10).

Στην περίπτωση σύναψης δανείου για την κάλυψη μέρους της χρηματοδότησης του έργου, προβλέπεται κάθε έτος η καταβολή τοκοχρεολυσίων. Χαρακτηριστικά μεγέθη του δανείου αποτελούν το δανειακό κεφάλαιο, το επιτόκιο δανεισμού, ο χρόνος εξόφλησης του, ο τρόπος αποπληρωμής (σταθερό ή μεταβλητό τοκοχρεολύσιο) και η

πιθανή περίοδος χάριτος (δηλαδή το χρονικό διάστημα που δεν υπάρχει υποχρέωση καταβολής χρεολυτικών δόσεων).

Η εκταμίευση του δανείου γίνεται είτε με την έναρξη λειτουργίας του έργου είτε στο στάδιο της κατασκευής. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος εξυπηρέτησης του ποσού που θα προέλθει από δανεισμό για την κάλυψη του κεφαλαίου κίνησης. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τόκοι της περιόδου μέχρι τη στιγμή που θα πραγματοποιούνται εισπράξεις από την λειτουργία του έργου προκειμένου να εξυπηρετηθεί το δάνειο. Η εν λόγω περίπτωση συνήθως ρυθμίζεται μέσω περιόδου χάριτος, οι τόκοι της οποίας κεφαλαιοποιούνται και αυξάνουν το αρχικό ποσό του δανείου.

- Η διάρκεια ζωής όλων των επενδύσεων είναι 20 έτη.
- Η περίοδος αποπληρωμής του μακροπρόθεσμου δανείου είναι τα 10 έτη.
- Τα ετήσια λειτουργικά έξοδα κάθε έργου αντιπροσωπεύουν το 3% των ακαθάριστων εσόδων από την λειτουργία των έργων.
- Το ειδικό τέλος που αποδίδουν οι παραγωγοί Α.Π.Ε. (εκτός των φωτοβολταϊκών) σε ετήσια βάση στους Ο.Τ.Α. που είναι εγκαταστημένα τα έργα αποτελούν το 3% των ακαθάριστων εσόδων από την λειτουργία των έργων.

Η λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. επιβαρύνεται με ειδικό τέλος που παρακρατείται από τα έσοδα του έργου (άμεσα στην πηγή) και αποδίδεται στους οικιακούς καταναλωτές και στους Ο.Τ.Α. των περιοχών όπου εγκαθίστανται τα έργα. Το ειδικό τέλος ισούται με το 3% επί του κύκλου εργασιών του έργου, εξαιρούμενων των Φ/Β και των συστημάτων Α.Π.Ε. που εγκαθίστανται σε κτίρια, τα οποία απαλλάσσονται από το συγκεκριμένο τέλος. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα σε προστατευόμενες περιοχές επιβαρύνονται με επιπλέον τέλος 1% που αποδίδεται στους φορείς διαχείρισης των εν λόγω περιοχών.

Σημαντική παράμετρος που επιδρά στο κόστος παραγωγής αποτελεί το φορολογικό καθεστώς που θα εφαρμοστεί. Ο τελικός φορολογικός συντελεστής, εξαρτάται από τον τύπο της επιχείρησης καθώς και το φορολογικό πλαίσιο που διέπει τη διαδικασία μερισμάτων και συμμετοχών σε ένα εταιρικό σχήμα.

Σε επίπεδο επιχείρησης, ο συντελεστής αυτός βρίσκεται στο 20% αλλά εάν συνυπολογιστεί η τελική φορολόγηση σε επίπεδο φυσικού προσώπου των μετόχων/εταίρων εταιρίας, συνολικά ανάγεται στο 40% των συνολικών κερδών.

- Προκαταβολή φόρου 65%
- Φ.Π.Α. στα έσοδα 9%.
- Συντελεστής προεξόφλησης 10%.

Το επιτόκιο προεξόφλησης, είναι μια καθαρά επενδυτική παράμετρος που αντανακλά την ελάχιστη αποδεκτή απόδοση μιας επένδυσης. Συγκεκριμένα το επιτόκιο προεξόφλησης ενσωματώνει το επιθυμητό επενδυτικό επιτόκιο μιας ασφαλούς επένδυσης (κόστος ευκαιρίας) προσαυξημένο με έναν αποδεκτό συντελεστή ασφαλείας (κόστος ρίσκου). Η αβεβαιότητα που υπάρχει στην πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών σε σχέση με το βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας κάθε τεχνολογίας αλλά και άλλες παραμέτρους (π.χ. την είσπραξη οφειλών από τρίτους, τη διαμόρφωση του κόστους πρώτων υλών, το ευρύτερο οικονομικό περιβάλλον, κ.α.) σχετίζεται άμεσα με το ρίσκο της κάθε επένδυσης. Οι ανωτέρω παράμετροι συνυπολογίζονται στο επιτόκιο προεξόφλησης, το οποίο διαφοροποιείται μεταξύ άλλων βάσει του βαθμού ωριμότητας των διαφόρων τεχνολογιών Α.Π.Ε. (π.χ. άλλο επιτόκιο προεξόφλησης για χερσαία αιολικά πάρκα και Φ/Β και άλλο για σχετικά νέες τεχνολογίες/εφαρμογές όπως γεωθερμικοί και ηλιοθερμικοί σταθμοί).

- Τραπεζικό επιτόκιο 9%.
- Επιτόκιο για το βραχυδάνειο 9%.
- Ετήσιος ρυθμός αποσβέσεων 10%.

Οι αποσβέσεις αντιπροσωπεύουν τη σταδιακή μείωση της αξίας των πάγιων περιουσιακών στοιχείων μίας επένδυσης (δηλαδή του κόστους κατασκευής) και πραγματοποιούνται για την επανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου και την τυχόν αντικατάσταση του εξοπλισμού μετά το πέρας της διάρκειας ζωής του.

Οι ετήσιες χρηματοροές (ετήσια έσοδα και δαπάνες) της επένδυσης μεταβάλλονται σύμφωνα με συγκεκριμένα μακροοικονομικά μεγέθη που επηρεάζουν την οικονομική απόδοση της επένδυσης.

Τα βασικότερα μακροοικονομικά μεγέθη είναι τα εξής:

- Ο δείκτης τιμών καταναλωτή (Δ.Τ.Κ.) ο οποίος επηρεάζει άμεσα τα λειτουργικά έξοδα του έργου, αλλά και το ενδεχόμενο κόστος προμήθειας πρώτων υλών-καυσίμου

για τις μονάδες.

Ο ρυθμός αύξησης της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα με τον Δ.Τ.Κ. (ποσοστό 50% για όλες τις τεχνολογίες εκτός Φ/Β που είναι 25%) και επηρεάζει άμεσα τα έσοδα του έργου.

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, λαμβάνεται υπόψη μεσοσταθμικά πληθωρισμός της τάξης του 2% συνυπολογίζοντας και τις βραχυπρόθεσμες εκτιμήσεις για την εξέλιξη της Ελληνικής Οικονομίας.

- Ρυθμός μεταβολής κεφαλαίου κίνησης: Ετήσια αύξηση αποθεμάτων 5%, ετήσιος ρυθμός αύξησης του κόστους συντήρησης πέραν του πληθωρισμού 2%.
- Διανομή αποτελέσματος: τακτικό αποθεματικό 5% και κέρδη εις νέον 5%.
- Ποσοστό μείωσης capacity factor ετησίως: 0,5% την πρώτη περίοδο και 1% την δεύτερη περίοδο.
- Ρυθμός αύξησης του κόστους ασφάλισης πέραν του πληθωρισμού: 2%.

Ως μέσο κόστος ανά κιλοβάτ για κάθε τεχνολογία υιοθετείται το μέσο κόστος ανά κιλοβάτ για κάθε τεχνολογία, όπως αυτό έχει προσδιοριστεί στην σημερινή αγορά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.[47,51]

Πίνακας 6.2: Τεκμαρτό (μέσο) κόστος ανά τεχνολογία σύμφωνα με τις ισχύουσες τιμές στην αγορά των Α.Π.Ε.

Τεχνολογία	Τεκμαρτό κόστος σύμφωνα με την αγορά
Αιολικό πάρκο-Διασυνδεδεμένο δίκτυο	1.350 €/kW
Αιολικό πάρκο- Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	1.550 €/kW
Μικρό-υδροηλεκτρικό	1.700€/kW
Φωτοβολταϊκό-Διασυνδεδεμένο δίκτυο	1.600 €/kW
Φωτοβολταϊκό-Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	2.000 €/kW
Ηλιοθερμικό χωρίς σύστημα αποθήκευσης	3.200€/kW
Ηλιοθερμικό με σύστημα αποθήκευσης (3 ώρες)	4.600€/kW
Γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας	6.000€/kW
Γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας	4.000€/kW

Για τον προσδιορισμό των ακαθάριστων εσόδων από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ελήφθησαν υπόψη οι τιμές που προβλέπονται στο νέο νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Νόμος 3851/2010 ,ΦΕΚ Α' 85/04-06-10) καθώς και η απόφαση του υπουργού Υ.ΠΕ.ΚΑ. (Γραφείου τύπου ΥΠΕΚΑ,01.02.2012) αναφορικά με την αναδιάρθρωση των εγγυημένων τιμών για τα φωτοβολταϊκά.

Σαφώς στον προσδιορισμό των ακαθάριστων εσόδων λαμβάνεται υπόψη και η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την εγκατεστημένη ισχύ του σταθμού Α.Π.Ε. και τον συντελεστή χρησιμοποίησης (capacity factor) που αντιστοιχεί στον εκάστοτε σταθμό. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι συνάρτηση κυρίως του διαθέσιμου δυναμικού (π.χ. αιολικού δυναμικού) και των τεχνολογικών παραμέτρων εκμετάλλευσης του διαθέσιμου δυναμικού.[47,51]

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ευρώ ανά μεγαβατόρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο.

Πίνακας 6.3: Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη διασυνδεδεμένα Νησιά
Αιολική ενέργεια (>50kw)	87,85 €/MWh	99,45€/MWh
Αιολική ενέργεια (<50kw)	250€/MWh	
Υδροηλεκτρικά	87,85 €/MWh	
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	264,85€/MWh	
Ηλιοθερμικοί σταθμοί με σύστημα αποθήκευσης τουλάχιστον 2 ώρες	284,85€/MWh	
Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας	150€/MWh	
Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας	99,45€/MWh	
Βιομάζα (<1MW)	200€/MWh	
Βιομάζα (>1MW)	175€/MWh	
Βιομάζα (>1MW)	150€/MWh	

Βιοαέριο από Χυτά και βιολογικούς καθαρισμούς (<2MW)	120€/MWh	
Βιοαέριο από Χυτά και βιολογικούς καθαρισμούς (>2MW)	99,45€/MWh	
Βιοαέριο από οργανικά υπολείμματα(<1MW)	220€/MWh	
Βιοαέριο από οργανικά υπολείμματα(>1MW)	200€/MWh	
Φωτοβολταϊκά		
Αύγουστος 2012	180€/MWh	225€/MWh
Φεβρουάριος 2013	171,90€/MWh	214,88€/MWh
Αύγουστος 2013	164,16€/MWh	205,21€/MWh
Φεβρουάριος 2014	156,78€/MWh	195,97€/MWh
Αύγουστος 2014	149,72€/MWh	187,15€/MWh
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,3Χμ.ΟΤΣ _{v-1}	1,4Χμ.ΟΤΣ _{v-1}
Λοιπές Α.Π.Ε.	87,85€/MWh	

6.7 Αξιολόγηση επενδύσεων

Η διαδικασία αξιολόγησης της επένδυσης διαφοροποιείται εν μέρει ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία γίνεται. Συγκεκριμένα, άλλες παραμέτρους κόστους και οφέλους θα συμπεριλαμβάνει ένας ιδιώτης επενδυτής και άλλες ένας δημόσιος φορέας ή και το ίδιο το κράτος. Στην πρώτη περίπτωση, εφαρμόζεται η ιδιωτικό-οικονομική (χρηματική) αξιολόγηση, δηλαδή εξετάζεται, αν η επένδυση αποφέρει χρηματικό κέρδος στον επιχειρηματία επενδυτή για τα κεφάλαια που διέθεσε. Η ανάλυση στηρίζεται αποκλειστικά στις χρηματικές (ταμειακές) ροές της επένδυσης και αγνοεί τις ευρύτερες επιπτώσεις της στην εθνική οικονομία, στην τοπική ανάπτυξη, στην απασχόληση και στο περιβάλλον.

Σήμερα η πολλαπλότητα και η σοβαρότητα των επιδράσεων απαιτεί συνολική αξιολόγηση. Η ιδιωτική χρηματική αποδοτικότητα αποτελεί απαραίτητο όρο για την υλοποίηση και επιβίωση της επένδυσης. Αντίστοιχα τα οφέλη, που μπορεί να

προκύψουν από την επένδυση για το κοινωνικό σύνολο, μπορεί να στρέψει προς άλλες κατευθύνσεις την τελική λήψη απόφασης. Στην περίπτωση που μια επένδυση εμφανίζεται χρήσιμη για το κοινωνικό σύνολο, αλλά μη αποδοτική για τον επενδυτικό φορέα, το κράτος ως φορέας του κοινωνικού συμφέροντος μπορεί να μετατρέψει με διάφορα κίνητρα (επιδότησεις, χαμηλότοκα δάνεια) την κοινωνικά συμφέρουσα πρόταση σε ελκυστική και για τον ιδιώτη επενδυτή.

Η απόφαση για την προώθηση μιας επένδυσης είναι ιδιαίτερα σημαντική και επομένως είναι απαραίτητη η διερεύνηση της χρηματο-οικονομικής αποδοτικότητας του εξεταζόμενου σχεδίου επένδυσης για τον επενδυτή. Η διαδικασία της οικονομικής ανάλυσης περιλαμβάνει σύνθεση των στοιχείων κόστους και οφέλους της επένδυσης. Πιο αναλυτικά πρέπει να εκτιμηθούν τα εξής στοιχεία:

- Το συνολικό κόστος της επένδυσης και η σχεδιαζόμενη χρονική κατανομή των εκροών.
- Το κατάλληλο χρηματοδοτικό σχήμα, δηλαδή το ύψος του μετοχικού κεφαλαίου, η επιχορήγηση και το δάνειο.
- Ο προβλεπόμενος χρόνος ζωής της επένδυσης.
- Η προβλεπόμενη παραγωγή και τα αναμενόμενα έσοδα.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Η πιθανή υπολειμματική αξία της επένδυσης.
- Το νομικό και οικονομικό περιβάλλον μέσα στο οποίο θα λειτουργήσει η επιχείρηση και το οποίο καθορίζει το ύψος των φορολογικών συντελεστών, το ρυθμό απόσβεσης των πάγιων περιουσιακών στοιχείων και το ύψος του πληθωρισμού. [46,48,52]

6.8 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα οικονομικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της οικονομικής αποδοτικότητας των έργων Α.Π.Ε. του δείγματος. Αυτά είναι οι δείκτες: καθαρά παρούσα αξία, εσωτερικός βαθμός απόδοσης, περίοδος αποπληρωμής των επενδύσεων, απόδοση της επένδυσης και λόγος οφέλους-κόστους. [46,48,52]

6.8.1. Η Καθαρά Παρούσα Αξία

Το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας είναι το πιο συνηθισμένο κριτήριο αποδοτικότητας των επενδύσεων, γνωστή με τα αρχικά Κ.Π.Α. Είναι η αξία που

προκύπτει αν προεξοφλήσουμε την παρούσα αξία, για κάθε έτος χωριστά, τη διαφορά μεταξύ όλων των μελλοντικών χρηματικών εισροών και εκροών για ολόκληρο το χρόνο ζωής της επένδυσης, με βάση ένα συντελεστή προεξόφλησης.

$$\text{Κ.Π.Α.} = \frac{A_1}{(I+i)^1} + \frac{A_2}{(I+i)^2} + \dots + \frac{A_n}{(I+i)^n} - H$$

όπου: A_1, A_2, \dots, A_n = Οι ετήσιες ταμειακές ροές οι οποίες μπορεί να είναι ίσες ή όχι, θετικές ή αρνητικές.

H = Η αρχική δαπάνη της επένδυσης στο έτος 0.

i = Το επιτόκιο προεξόφλησης

n = Η ωφέλιμη ζωή του έργου.

Η έννοια της παρούσας αξίας έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί αντιπροσωπεύει και εκφράζει όλες τις ροές της επένδυσης στην αξία που έχουν σήμερα, δηλαδή τη στιγμή που παίρνει απόφαση ο επενδυτής.

Σύμφωνα με την θεωρία, όταν μια επένδυση έχει θετική καθαρά παρούσα αξία τότε είναι αποδεκτή γιατί θα αυξηθεί το ενεργητικό της επιχείρησης. Όταν μια επένδυση έχει αρνητική καθαρά παρούσα αξία, τότε απορρίπτεται γιατί όχι μόνο δεν επιφέρει κέρδος αλλά μειώνει την αξία της επιχείρησης. Όταν μια επένδυση έχει καθαρά παρούσα αξία ίση με μηδέν, γίνεται αποδεκτή μόνο όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική επένδυση, γιατί δεν επιφέρει κέρδος. [46,48,52]

6.8.2 Εσωτερικό βαθμός απόδοσης έργων Α.Π.Ε.

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (Ε.Σ.Α.) είναι το υπολογιζόμενο επιτόκιο (δηλ. η εσωτερική αποδοτικότητα), όπου η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών είναι ίση με την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών. Με άλλα λόγια είναι ο συντελεστής που εξισώνει την συνολική παρούσα αξία των εισροών με την παρούσα αξία των εκροών του σχεδίου επένδυσης. Δηλαδή είναι ένα μοναδικό «εσωτερικό επιτόκιο», που κάνει την Κ.Π.Α. να είναι ίση με μηδέν.

$$\text{Ε.Σ.Α.} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{(ταμειακές εισροές-ταμειακές εκροές)}}{(I+\kappa)^t}$$

Δηλαδή ο Ε.Σ.Α. (κ) είναι το εκτιμώμενο επιτόκιο, που μηδενίζει το άθροισμα των παραπάνω προεξοφλούμενων ροών. Η διαδικασία και η τεχνική υπολογισμού του κριτηρίου αυτού είναι περίπου ίδια με αυτή της Κ.Π.Α.:

1. Υπολογίζονται οι σχετικές ταμειακές ροές από τα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία του σχεδίου επένδυσης.
2. Καθορίζεται το ποσό που απαιτείται για την επένδυση.
3. Καθορίζεται το ποσοστό κόστους του κεφαλαίου.
4. Γίνεται προεξόφληση της Κ.Π.Α., όχι όμως με ένα δεδομένο επιτόκιο της κεφαλαιαγοράς (όπως γίνεται για την εκτίμηση της Κ.Π.Α.), αλλά με εναλλακτικά επιτόκια.
5. Αν η προεξόφληση με το χαμηλό επιτόκιο (έστω κ₁) δίνει Κ.Π.Α. >0, τότε δοκιμάζουμε ένα μεγαλύτερο επιτόκιο (έστω κ₂). Αν στο επιτόκιο αυτό η Κ.Π.Α. <0, τότε ο ακριβής εσωτερικός συντελεστής βρίσκεται ανάμεσα στα δύο επιτόκια (κ₁, κ₂) με τον τύπο της γραμμικής παρεμβολής.

$$\kappa = \kappa_1 + \frac{\kappa_2 - \kappa_1}{\text{ΚΠΑ1} - \text{ΚΠΑ2}} \times \text{ΚΠΑ1}$$

Αν ο Ε.Σ.Α. είναι μεγαλύτερος από το κόστος κεφαλαίου, τότε η επένδυση εγκρίνεται. Αν ο Ε.Σ.Α. είναι μικρότερος από το κόστος κεφαλαίου, τότε η επένδυση απορρίπτεται και τέλος, αν ο Ε.Σ.Α. είναι ίσος με το κόστος κεφαλαίου, η επένδυση μας είναι αδιάφορη.

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι ένα υπολογιζόμενο επιτόκιο, το οποίο αντανακλά το μεγαλύτερο επιτόκιο που θα μπορούσε να πληρώσει ο επενδυτικός φορέας ή επιχειρηματίας, χωρίς να χάσει όλα τα χρήματα που διέθεσε στην επένδυση και στην περίπτωση ακόμα, που όλα τα χρήματα για την χρηματοδότηση της επένδυσης προέρχονται από δανεισμό.

Ο Ε.Σ.Α. μιας συμβατικής επένδυσης, δείχνει την πραγματική αποδοτικότητα της συνολικής επένδυσης και μπορεί έτσι να προσδιορίσει αμέσως τους όρους δανεισμού του σχεδίου επένδυσης, δεδομένου ότι καθορίζει το μέγιστο επιτόκιο που θα μπορούσε να πληρωθεί από τον επενδυτή, χωρίς να κινδυνεύει να χάσει τα κεφάλαια. Τέλος, μια

επένδυση με την μέθοδο αυτή μπορεί να γίνει δεκτή, όταν ο Ε.Σ.Α. είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο που ισχύει στον συγκεκριμένο κλάδο του σχεδίου επένδυσης. Αν υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές επενδύσεις, τότε επιλέγεται αυτή που παρουσιάζει μεγαλύτερο Ε.Σ.Α., εφόσον υπερβαίνει το κατώτερο αποδεκτό επιτόκιο. [46, 48, 52]

6.8.3. Περίοδος αποπληρωμής έργων Α.Π.Ε.

Η περίοδος επανείσπραξης δείχνει το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο ένα επενδυτικό έργο θα αποδώσει την αρχική του επένδυση. Συγκρίνουμε την περίοδο επανείσπραξης του επενδυτικού προγράμματος με την απαιτούμενη μέγιστη χρονική περίοδο της επιχείρησης για την επένδυση. Εάν η περίοδος επανείσπραξης είναι μικρότερη ή ίση με την απαιτούμενη περίοδο, το επενδυτικό πρόγραμμα γίνεται δεκτό.

Η μέθοδος δίνει μια ένδειξη του κινδύνου και της ρευστότητας της επένδυσης. Όμως, δεν λαμβάνει υπόψη τις καθαρές ταμειακές ροές μετά την περίοδο επανείσπραξης καθώς επίσης και το μέγεθος και τη διαχρονική αξία του χρήματος, δηλαδή το χρόνο πραγματοποίησης των καθαρών ταμειακών ροών. Όταν συγκρίνουμε δύο ή περισσότερα προγράμματα θα πρέπει να προτιμάμε εκείνα που έχουν τις μικρότερες περιόδους επανείσπραξης.

Το κριτήριο εφαρμόστηκε και εφαρμόζεται ευρέως, καθώς κατά μία έννοια εκφράζει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το επενδυμένο κεφάλαιο βρίσκεται «υπό κίνδυνο». Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση. [46, 48, 52]

6.8.4 Απόδοση της επένδυσης

Η μέθοδος του δείκτη αποδοτικότητας (profitability index, P.I.) συγκρίνει την παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών με την αρχική επένδυση σε μία σχετική βάση.

$$P.I. = PVCF / \text{Αρχική Επένδυση}$$

- i. Αν $P.I. > 1$ τότε η επένδυση είναι αποδεκτή.
- ii. Αν $P.I. < 1$ τότε η επένδυση δεν είναι αποδεκτή.

Η μέθοδος του P.I. συνδέεται στενά με την προσέγγιση της NPV. Αν η παρούσα αξία των ταμειακών ροών υπερβαίνει την αρχική επένδυση, η καθαρή παρούσα αξία θα είναι

θετική και ο PI θα είναι μεγαλύτερος της μονάδας, πράγμα που σημαίνει ότι η επένδυση θα πρέπει να γίνει αποδεκτή. [46, 48, 52]

6.8.5 Λόγος οφέλους-κόστους

Το κριτήριο του λόγου οφέλους – κόστους (Benefit – Cost Ratio), γνωστό και ως Λόγος Παρούσας Αξίας – Λ.Π.Α. (Present Value Ratio), υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Λ.Π.Α.} = \sum_{\tau=1}^{\nu} \text{TP}_{\tau} (1+\varepsilon)^{-\tau} / E_0$$

όπου: τ = το έτος

ν = η διάρκεια ζωής του σχεδίου σε έτη

TP_{τ} = η ταμιακή ροή κατά το αντίστοιχο έτος

ε = το επιτόκιο προεξόφλησης

Το συγκεκριμένο κριτήριο αξιοποιεί δηλαδή την παρούσα αξία των καθαρών ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια της ζωής του σχεδίου προς το σύνολο της αρχικής επένδυσης. Κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης αποτελεί η σχέση του λόγου με τη μονάδα.

Πιο συγκεκριμένα:

- Αν $\text{Λ.Π.Α.} > 1$, τότε η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα.
- Αν $\text{Λ.Π.Α.} = 1$, τότε η επένδυση θεωρείται οριακή, μπορεί να υλοποιηθεί όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση.
- Αν $\text{Λ.Π.Α.} < 1$, η επένδυση απορρίπτεται. [46, 48, 52]

6.9 Αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης για γεωθερμία

Στη παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία.

Για τον προσδιορισμό της οικονομικής αποδοτικότητας των έργων της συγκεκριμένης τεχνολογίας, καθώς και τον υπολοίπων τεχνολογιών του δείγματος λήφθηκαν υπόψη τα στοιχεία κόστους κάθε τεχνολογίας και οι παραδοχές των υπολογισμών που αναφέρθηκαν αναλυτικά σε προηγούμενη ενότητα. Με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού εξήχθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα για ορισμένους οικονομικούς δείκτες. [51, 46, 48, 52]

Πίνακας 6.4: Παραδοχές και αποτελέσματα για γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας (διάφορα σενάρια)

Σταθερές παραδοχές για όλα τα σενάρια				
Τυπικό μέγεθος μονάδας (MW)	0,5			
Μέσο κόστος επένδυσης (€/KW)	6.000			
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (% επένδυσης)	5.5%			
Ενεργειακή απόδοση -CF %	85%			
Ποσοστό απορρόφησης ενέργειας%	98%			
Τιμή πώλησης (€/MWh)	150			
Συνολική επένδυση (χιλ. €)	3.000			
Ονομαστικό επιτόκιο δανεισμού	9%			
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	10 έτη			
Διάρκεια ζωής επένδυσης	20 έτη			
Πληθωρισμός	2%			
Ειδικό τέλος ΟΤΑ (%)	3%			
Φορολογία φορέα υλοποίησης	20%			
% προσαύξηση τιμής πώλησης (% Δ.Τ.Κ.)	50%			
Διαφορετικές παραδοχές για κάθε σενάριο				
	Βασικό Σενάριο	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	25%	40%	25%	25%
Ποσοστό δανειακών κεφαλαίων	75%	60%	50%	25%
Ποσοστό επιχορήγησης	0%	0%	25%	50%
Αποτελέσματα για κάθε σενάριο				
	Βασικό Σενάριο	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
IRR συνολικής επένδυσης (%)	17.2%	15.4%	26.9%	37.9%
Payback period Απλή (έτη)	6.3	6.5	3.6	2.7
Payback period Έντοκη (έτη)	10.9	11.2	4.6	3.3
R.O.I.	0.8	0.5	1.6	2.5
B./C.	1.8	1.5	2.6	3.5

Με βάση τις τιμές που λαμβάνουν οι συγκεκριμένοι οικονομικοί δείκτες αποδεικνύεται ότι η υλοποίηση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας είναι μία συμφέρουσα επένδυση. Η εν λόγω επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα, διαθέτει αρκετά υψηλούς εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται μεταξύ 17% και 38%, και όταν αυτή λαμβάνει κρατική επιχορήγηση η αποπληρωμή της γίνεται πολύ γρήγορα.

Ακόμα καλύτερους οικονομικούς δείκτες, σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί διαθέτουν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας. Γεγονός αναμενόμενο καθώς διαθέτουν κατά μέσο όρο λίγο καλύτερους

συντελεστές εκμεταλλευσιμότητας (+5%), και παρόλο που η κάθε παραγόμενη μεγαβατόρα από την συγκεκριμένη τεχνολογία αποζημιώνεται λιγότερο από αυτή που παράγεται από γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας το ανά μονάδα κόστος υλοποίησης μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας είναι χαμηλότερο. [51, 46,48,52]

Πίνακας 6.5: Παραδοχές και αποτελέσματα για γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας (διάφορα σενάρια)

Σταθερές παραδοχές για όλα τα σενάρια				
Τυπικό μέγεθος μονάδας (MW)	20			
Μέσο κόστος επένδυσης (€/KW)	4.000			
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (% επένδυσης)	5.5%			
Ενεργειακή απόδοση -CF %	90%			
Ποσοστό απορρόφησης ενέργειας%	98%			
Τιμή πώλησης (€/MWh)	99.45			
Συνολική επένδυση (χιλ. €)	80.000			
Ονομαστικό επιτόκιο δανεισμού	9%			
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	10 έτη			
Διάρκεια ζωής επένδυσης	20 έτη			
Πληθωρισμός	2%			
Ειδικό τέλος ΟΤΑ (%)	3%			
Φορολογία φορέα υλοποίησης	20%			
% προσαύξηση τιμής πώλησης (% Δ.Τ.Κ.)	50%			
Διαφορετικές παραδοχές για κάθε σενάριο				
	Βασικό Σενάριο	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	25%	40%	25%	25%
Ποσοστό δανειακών κεφαλαίων	75%	60%	50%	25%
Ποσοστό επιχορήγησης	0%	0%	25%	50%
Αποτελέσματα για κάθε σενάριο				
	Βασικό Σενάριο	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
IRR συνολικής επένδυσης (%)	18.3%	15.9%	29.4%	41.7%
Payback period Απλή (έτη)	5.4	6.1	3.3	2.4
Payback period Έντοκη (έτη)	10.3	10.6	4.1	2.9
R.O.I.	0.8	0.5	1.6	2.5
B./C.	1.8	1.5	2.6	3.5

6.10 Αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης λοιπών έργων Α.Π.Ε.

Προκειμένου να παρουσιαστεί μια πιο σφαιρική εικόνα για την οικονομική αποδοτικότητα των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας θεωρήθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν οικονομικές

αξιολογήσεις και για άλλες τεχνολογίες Α.Π.Ε. Υπενθυμίζεται ότι ως δείγμα για κάθε τεχνολογία επιλέχθηκαν έργα που διαθέτουν μέση ενεργειακή αποδοτικότητα και ισχύ. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις συγκεκριμένες αξιολογήσεις.

Πίνακας 6.6: Παραδοχές και αποτελέσματα για αιολικά πάρκα (διάφορα σενάρια)

	Αιολικό πάρκο- Διασυνδεδεμένο δίκτυο		Αιολικό πάρκο- Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	
	Χωρίς επιχορήγησ η	Με επιχορήγησ η	Χωρίς επιχορήγησ η	Με επιχορήγησ η
Τυπικό μέγεθος μονάδας (MW)	30	30	10	10
Μέσο κόστος επένδυσης (€/KW)	1.350	1.350	1.550	1.550
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (% επένδυσης)	2%	2%	3%	3%
Ενεργειακή απόδοση -CF %	24.5%	24.5%	30%	30%
Ποσοστό απορρόφησης ενέργειας%	98%	98%	98%	98%
Τιμή πώλησης (€/MWh)	87.85	87.85	99.45	99.45
Συνολική επένδυση (χιλ. €)	40.500	40.500	15.500	15.500
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	25%	25%	25%	25%
Ποσοστό δανειακών κεφαλαίων	75%	45%	75%	45%
Ποσοστό επιχορήγησης	0%	30%	0%	30%
Ονομαστικό επιτόκιο δανεισμού	9%	9%	9%	9%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	10 έτη	10 έτη	10 έτη	10 έτη
Διάρκεια ζωής επένδυσης	20 έτη	20 έτη	20 έτη	20 έτη
Πληθωρισμός	2%	2%	2%	2%
Ειδικό τέλος ΟΤΑ (%)	3%	3%	3%	3%
Φορολογία φορέα υλοποίησης	20%	20%	20%	20%
% προσαύξηση τιμής πώλησης (% Δ.Τ.Κ.)	50%	50%	50%	50%
IRR συνολικής επένδυσης (%)	12.6%	21.6%	17.8%	27.9%
Payback period Απλή (έτη)	11.8	6	10	4.8
Payback period Έντοκη (έτη)	16.9	9	12	5.9
R.O.I.	0.4	1.6	1.2	2.3
B./C.	1.4	2.6	2.2	3.3

Τα αιολικά πάρκα είναι μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες Α.Π.Ε. στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Διαθέτουν κατά μέσο όρο συντελεστές εκμεταλευσιμότητας 25%-

30% και όχι ιδιαίτερα υψηλό ανά μονάδα κόστος υλοποίησης σε σχέση με την ενεργειακή τους απόδοση. Είναι όμως ιδιαίτερα δύσκολα να εντοπιστούν κατάλληλα μέρη για την ανάπτυξής τους.

Με βάση τους ανωτέρω πίνακες προκύπτει τα αιολικά πάρκα διαθέτουν κατά μέσο όρο εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται μεταξύ 12% και 28%, ανάλογα με την κεφαλαιουχική διάρθρωση της κάθε επένδυσης. Τα αιολικά πάρκα που αναπτύσσονται στα νησιά διαθέτουν καλύτερους οικονομικούς δείκτες, αν και έχουν υψηλότερο κόστος υλοποίησης σε σχέση με αυτά που αναπτύσσονται στην ηπειρωτική Ελλάδα, καθώς διαθέτουν υψηλότερους συντελεστές εκμεταλευσιμότητας.

Στον πίνακα 6.7 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την οικονομική αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών και των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Τα φωτοβολταϊκά διαθέτουν εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται μεταξύ 15% και 18% και δεν λαμβάνουν καμιά μορφή επιχορήγησης. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι παλαιότερα (πριν την τελευταία προσαρμογή στις ταρίφες των φωτοβολταϊκών, Αύγουστος 2012) οι συγκεκριμένες επενδύσεις διάθεταν εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που ξεπερνούσαν το 25%.

Σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά, οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί δύναται να λάβουν επιχορήγησης, η οποία μπορεί να φτάσει υπό προϋποθέσεις έως και το 50%. Μάλιστα η λήψη της επιχορήγησης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.7 κρίνεται αναγκαία για την βιωσιμότητα των συγκεκριμένων επενδύσεων, που δίχως αυτή αργούν να αποσβεστούν.

Πίνακας 6.7: Παραδοχές και αποτελέσματα για φωτοβολταϊκό και μικρό-υδροηλεκτρικό (διάφορα σενάρια)

	Φωτοβολταϊκό		Μικρό-υδροηλεκτρικό	
	Διασυνδεδεμένο δίκτυο	Μη διασυνδεδεμένο	Χωρίς επιχορήγηση	Με επιχορήγηση
Τυπικό μέγεθος μονάδας (MW)	2	2	5	5
Μέσο κόστος επένδυσης (€/KW)	1.600	2.000	1.700	1.700
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (% επένδυσης)	2%	2%	3.4%	3.4%
Ενεργειακή απόδοση - CF %	15.5%	16.5%	35%	35%

Ποσοστό απορρόφησης ενέργειας%	98%	98%	98%	98%
Τιμή πώλησης (€/MWh)	180	225	87.85	87.85
Ετήσια μείωση παραγόμενης ενέργειας %	1%	1%	-	
Συνολική επένδυση (χιλ. €)	3.600	4.000	8.500	8.500
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	25%	25%	25%	25%
Ποσοστό δανειακών κεφαλαίων	75%	75%	75%	45%
Ποσοστό επιχορήγησης	0%	0%	0%	30%
Ονομαστικό επιτόκιο δανεισμού	9%	9%	9%	9%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	10 έτη	10 έτη	10 έτη	10 έτη
Διάρκεια ζωής επένδυσης	20 έτη	20 έτη	20 έτη	20 έτη
Πληθωρισμός	2%	2%	2%	2%
Ειδικό τέλος ΟΤΑ (%)	0%	0%	4%	4%
Φορολογία φορέα υλοποίησης	20%	20%	20%	20%
% προσαύξηση τιμής πώλησης (% Δ.Τ.Κ.)	50%	50%	20%	20%
IRR συνολικής επένδυσης (%)	15.1%	17.3%	10.5%	21.9%
Payback period Απλή (έτη)	10.1	7.8	11.4	4.4
Payback period Έντοκη (έτη)	13.1	11.5	18.7	6.4
R.O.I.	0.7	1	0.1	1.1
B./C.	1.7	2	1.1	2.1

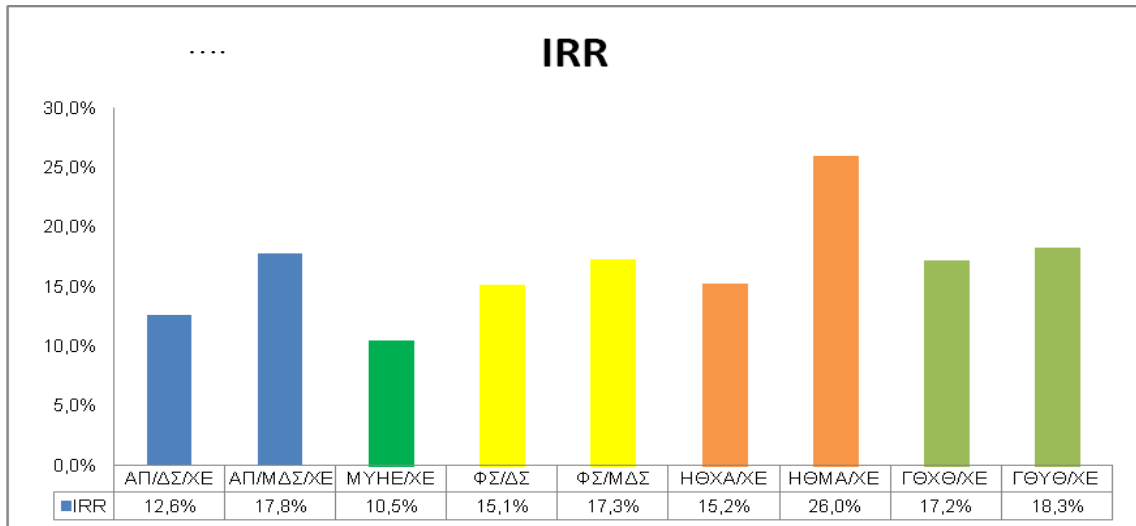
Τα ηλιοθερμικά είναι μια μη ώριμη τεχνολογία στην Ελλάδα. Κανένα έργο μέχρι στιγμής δεν έχει τεθεί σε λειτουργία μολονότι οι συγκεκριμένες ενεργειακές επενδύσεις παρουσιάζουν αρκετό ενδιαφέρον λόγω των ιδιαίτερα καλών ενεργειακών χαρακτηριστικών και οικονομικών τους αποδόσεων. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.8 που ακολουθεί τα ηλιοθερμικά διαθέτουν εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται μεταξύ 15% και 39%. Δύναται να λάβουν επιχορήγηση και θεωρούνται ιδιαίτερα αποδοτικές επενδύσεις. [51, 46, 48, 52]

Πίνακας 6.8: Παραδοχές και αποτελέσματα για ηλιοθερμικά (διάφορα σενάρια)

	Ηλιοθερμικό χωρίς σύστημα αποθήκευσης		Ηλιοθερμικό με σύστημα αποθήκευσης	
	Χωρίς επιχορήγηση	Με επιχορήγηση	Χωρίς επιχορήγηση	Με επιχορήγηση
Τυπικό μέγεθος μονάδας (MW)	2	2	30	30
Μέσο κόστος επένδυσης (€/KW)	3200	3200	4600	4600
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (% επένδυσης)	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
Ενεργειακή απόδοση -CF %	18%	18%	30%	30%
Ποσοστό απορρόφησης ενέργειας%	98%	98%	98%	98%
Τιμή πώλησης (€/MWh)	264.85	264.85	284.85	284.85
Συνολική επένδυση (χιλ. €)	6.400	6.400	138.000	138.000
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	25%	25%	25%	25%
Ποσοστό δανειακών κεφαλαίων	75%	45%	75%	45%
Ποσοστό επιχορήγησης	0%	30%	0%	30%
Ονομαστικό επιτόκιο δανεισμού	9%	9%	9%	9%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου	10 έτη	10 έτη	10 έτη	10 έτη
Διάρκεια ζωής επένδυσης	25 έτη	25 έτη	25 έτη	25 έτη
Πληθωρισμός	2%	2%	2%	2%
Ειδικό τέλος ΟΤΑ (%)	3%	3%	3%	3%
Φορολογία φορέα υλοποίησης	20%	20%	20%	20%
% προσαύξηση τιμής πώλησης (% Δ.Τ.Κ.)	50%	50%	50%	50%
IRR συνολικής επένδυσης (%)	15.2%	25.7%	26%	38.6%
Payback period Απλή (έτη)	8.5	4	4.1	2.7
Payback period Έντοκη (έτη)	12.6	5.2	5.5	3.2
R.O.I.	0.7	1.7	1.8	2.8
B./C.	1.7	2.7	2.8	3.8

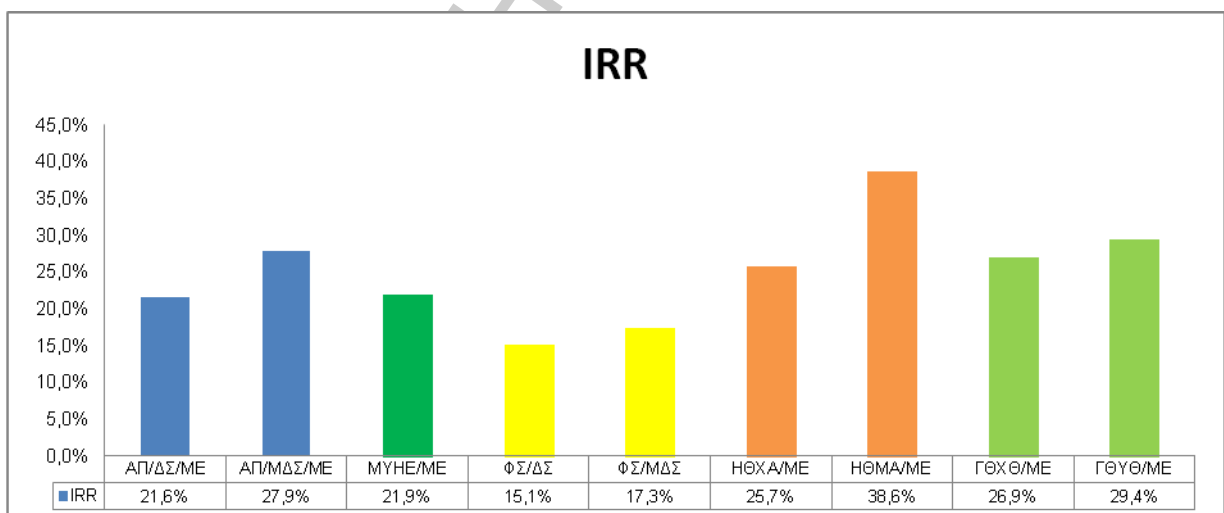
6.11 Συγκριτική αξιολόγηση οικονομικής αποδοτικότητας έργων Α.Π.Ε.

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα επιχειρηθεί να γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση για όλες τις τεχνολογίες Α.Π.Ε. του δείγματος με βάση τα οικονομικούς δείκτες που επιλέξαμε.

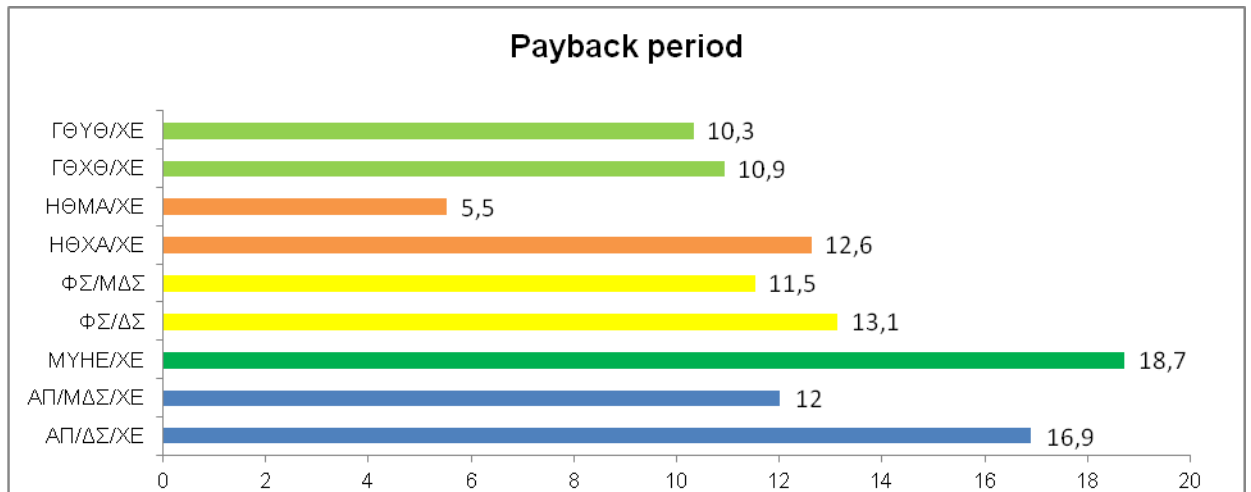


Σχήμα 6.1: Τιμές δείκτη I.R.R συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες (χωρίς επιχορήγηση)

Θεωρώντας ότι καμία τεχνολογία δεν λαμβάνει κάποια μορφή επιχορήγησης προκύπτει ότι τα ηλιοθερμικά διαθέτουν τους υψηλότερους εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης και κυρίως αυτά που πρόκειται να εγκατασταθούν στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο. Ακολουθούν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία και τα φωτοβολταϊκά. Τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται όταν τα έργα Α.Π.Ε. επιχορηγούνται. Την τρίτη θέση καταλαμβάνουν τα αιολικά πάρκα που προσφέρουν την ενέργεια τους στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο στην θέση των φωτοβολταϊκών καθώς τα τελευταία δεν επιδοτούνται. [51,46,48, 52]



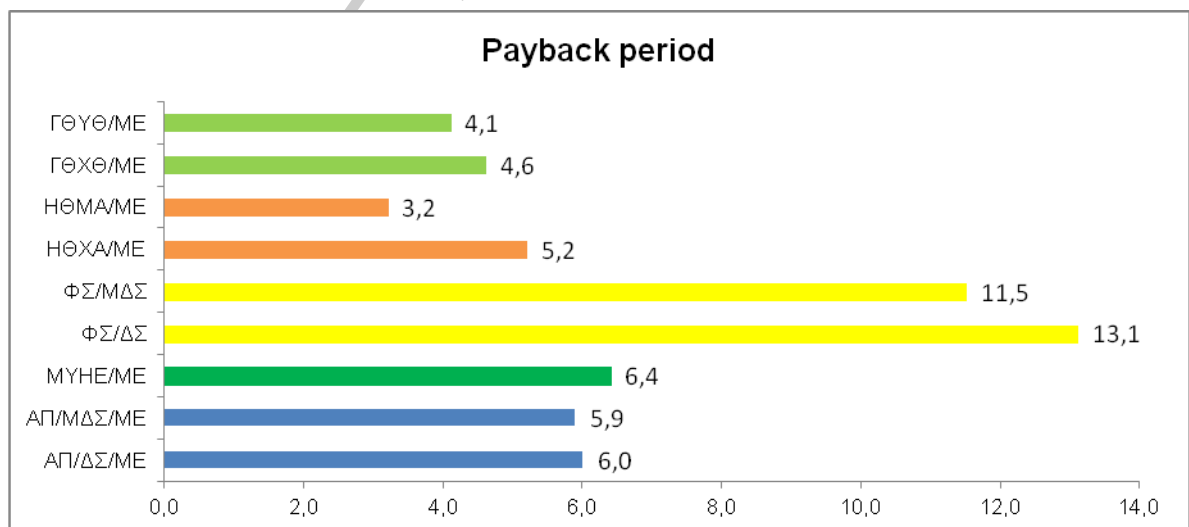
Σχήμα 6.2: Τιμές δείκτη I.R.R συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες (με επιχορήγηση)



Σχήμα 6.3: Τιμές δείκτη Payback period συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες (χωρίς επιχορήγηση)

Η σειρά κατάταξης των έργων Α.Π.Ε. δεν περιμέναμε να διαφοροποιηθεί με βάση τον δείκτη payback period και σε σχέση με τον δείκτη I.R.R. καθώς και οι δύο τους σχετίζονται άμεσα. Αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι μόνο τα ηλιοθερμικά αποπληρώνονται κατά μέσο όρο σε κάτω από τα 10 έτη αν καμία τεχνολογία δεν επιδοτηθεί.

Η εικόνα αντιστρέφεται όταν τα έργα Α.Π.Ε. επιδοτούνται, καθώς όλα τα έργα αποπληρώνονται πριν την πάροδο των 10 ετών, εκτός φυσικά από τα φωτοβολταϊκά που όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν επιδοτούνται πλέον.



Σχήμα 6.4: Τιμές δείκτη Payback period συνολική επένδυσης για όλες τις τεχνολογίες(με επιχορήγηση)

Αναφορικά με τον δείκτη R.O.I, που όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες, προκειμένου οι επενδύσεις να είναι αποδοτικές θα πρέπει ο συγκεκριμένος δείκτης να λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 1. Με βάση τον πίνακα 6.9 που ακολουθεί αυτό επιτυγχάνεται για όλες τις τεχνολογίες (εκτός των φωτοβολταϊκών που συνδέονται στο διασυνδεδεμένο δίκτυο) μόνο όταν οι εν λόγω επενδύσεις λαμβάνουν κάποιο είδος επιχορήγησης. Σε αντίθετη περίπτωση μόνο τα αιολικά πάρκα και οι ηλιοθερμικοί σταθμοί που συνδέονται στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο λαμβάνουν τιμές μεγαλύτερες του 1.

Ο δείκτης B./C. για όλες τις τεχνολογίες του δείγματος ανεξαρτήτως αν λαμβάνουν επιχορήγηση ή όχι λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες τιμές. Μάλιστα κυμαίνεται μεταξύ 1.1 και 3.8. Αναμενόμενο με βάση τα ανωτέρω είναι ότι η τεχνολογία που λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές στον εν λόγω δείκτη είναι τα ηλιοθερμικά με σύστημα αποθήκευσης που λειτουργούν στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Πίνακας 6.9: Συνολική παρουσίαση οικονομικών δεικτών για όλες τις τεχνολογίες

	IRR συνολικής επένδυσης (%)	Payback period Απλή (έτη)	Payback period Έντοκη (έτη)	R.O.I.	B./C.
Αιολικό πάρκο-Διασυνδεδεμένο δίκτυο	12.6%	11.8	16.9	0.4	1.4
με επιχορήγηση	21.6%	6	6	1.6	2.6
Αιολικό πάρκο- Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	17.8%	10	12	1.2	2.2
με επιχορήγηση	27.9%	4.8	5.9	2.3	3.3
Μικρό-υδροηλεκτρικό	10.5%	11.4	18.7	0.1	1.1
με επιχορήγηση	21.9%	4.4	6.4	1.1	2.1
Φ/Β-Διασυνδεδεμένο δίκτυο	15.1%	10.1	13.1	0.7	1.7
Φ/Β-Μη Διασυνδεδεμένο δίκτυο	17.3%	7.8	11.5	1	2
Ηλιοθερμικό χωρίς σύστημα αποθήκευσης	15.2%	8.5	12.6	0.7	1.7
με επιχορήγηση	25.7%	4	5.2	1.7	2.7
Ηλιοθερμικό με σύστημα αποθήκευσης	26%	4.1	5.5	1.8	2.8
με επιχορήγηση	38.6%	2.7	3.2	2.8	3.8
Γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας	17.2%	6.3	10.9	0.8	1.8
με επιχορήγηση	26.9%	3.6	4.6	1.6	2.6
Γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας	18.3%	5.4	10.3	0.8	1.8
με επιχορήγηση	29.4%	3.3	4.1	1.6	2.6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την τελευταία δεκαετία υπήρξε μια δυναμική ανάπτυξη έργων Α.Π.Ε. στην Ε.Ε., με την αιολική και ηλιακή ενέργεια να παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο βαθμό ανάπτυξης και με μικρότερο βαθμό να ακολουθούν οι υπόλοιπες Α.Π.Ε (υδροηλεκτρικά, βιομάζα, απόβλητα, ηλιοθερμικά, γεωθερμία).

Η γεωθερμία αποτελεί μια αξιόλογη πηγή ενέργειας η οποία τυχαίνει ήδη εκμετάλλευσης παγκοσμίως. Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκεται σε διεθνές επίπεδο πολλές εφαρμογές στη γεωργία, τη γεωργική βιομηχανία, την κτηνοτροφία, ιχθυοκαλλιέργεια και τη θέρμανση χώρων. Συγκριτικά με την γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας, πολύ πιο σημαντικές είναι οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής και μέσης ενθαλπίας.

Η Γαλλία και η Ισλανδία κυριαρχούν στην Ευρώπη αναφορικά με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας.

Η ανάπτυξη των μορφών Α.Π.Ε. και ειδικότερα της γεωθερμίας εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, οι οποίοι έχουν να κάνουν κυρίως με τη δημιουργία ελκυστικών οικονομικών συνθηκών, κατάλληλων πολιτικών αποφάσεων από πλευράς κυβερνήσεων, ανάπτυξη της γενικότερης οργανωτικής δομής και κατάλληλοι χρηματοδοτικοί μηχανισμοί.

Από την επεξεργασία των χαρακτηριστικών των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας που αξιολογήθηκαν αναφορικά με την οικονομική τους αποδοτικότητα, προέκυψε ότι οι συγκεκριμένες ενεργειακές επενδύσεις διαθέτουν αρκετά υψηλούς μέσους εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται κατά μέσο όρο μεταξύ 17% και 38%. Τις υψηλότερες τιμές στον συγκεκριμένο δείκτη τις λαμβάνουν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία υψηλής θερμοκρασίας καθώς διαθέτουν καλύτερους συντελεστές εκμεταλλευσιμότητας (+5%) και μικρότερο ανά μονάδα κόστος υλοποίησης από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας. Οι συγκεκριμένες επενδύσεις χαρακτηρίζονται οικονομικά αποδοτικές ακόμα και αν δεν λάβουν καμία μορφή επιχορήγησης.

Αναφορικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες Α.Π.Ε. που εξετάστηκαν προέκυψε ότι τα ηλιοθερμικά αν και μια μη ώριμη τεχνολογία στην Ελληνική αγορά διαθέτει τους καλύτερους οικονομικούς δείκτες σε σχέση με τις υπόλοιπες Α.Π.Ε.. Οι εν λόγω επενδύσεις δύναται να αποσβεστούν σε λιγότερα από δέκα χρόνια ακόμα και αν δεν επιδοτηθούν. Ακολουθούν τα αιολικά πάρκα που διαθέτουν κατά μέσο όρο εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που κυμαίνονται μεταξύ 12% και 28%, τα φωτοβολταϊκά που στον ίδιο δείκτη λαμβάνουν τιμές μεταξύ 15% και 18% και τελευταία έρχονται τα μικρά υδροηλεκτρικά που η επιχορήγηση τους τις περισσότερες φορές κρίνεται αναγκαία για την βιωσιμότητα τους.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, www.hellasres.gr.
- [2] Site για την Οικολογία, <http://www.oikologio.gr/>
- [3] WWF Ελλάδα, <http://climate.wwf.gr/>
- [4] Ινστιτούτο Κοινωνικής Οικονομίας για την Εναλλακτική Ενέργεια: <http://www.oikoenergeia.gr/>.
- [5] Ενέργεια και Περιβάλλον, Εφημερίδα Έθνος, <http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=13122&subid=2&pubid=149130>.
- [6] Αναστασία Μπένου, Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός, MSC, Τμήμα Γεωθερμικής Ενέργειας Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/pdf/4_benou.pdf
- [7] ΚΑΠΕ, Βιομάζα, http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
- [8] ΚΑΠΕ, http://www.cres.gr/kape/datainfo/plaisio/national_ape_geotherm.htm
- [9] Ζερβός Αρθούρος (2008), «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
- [10] Μ. Φυτίκας και Ν. Ανδρίτσος, (2005), «Παγκόσμιο συνέδριο γεωθερμίας: Παρούσα κατάσταση στον κόσμο και την Ελλάδα και προοπτικές»
- [11] Εταιρεία Retd Ae, Renewable Energy Technology & Development <http://www.retd.gr/index.php?cat=2&page=4&language=gr>
- [12] <http://www.investingreece.gov.gr/default.asp?pid=36§orid=51&la=2>
- [13] Π.Ε.Π. Δυτικής Μακεδονίας, Ηλεκτρονική Ενημερωτική Πλατφόρμα για Θέματα Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας", (<http://www.allaboutenergy.gr/>).
- [14] Αικατερίνη Πολυχρονιάδου (2004), Τεχνοοικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στα Κτίρια του Ξενία, Μυτιλήνη.
- [15] Greenpeace, <http://www.greenpeace.org/raw/content/greece/press/118523/32557.pdf>
- [16] Ιωάννης Βούλγαρης, (2005), «Πηγές Ενέργειας και Μετατροπή τους σε Ηλεκτρική Ενέργεια», Θεσσαλονίκη.
- [17] ΤΕΕ, (2009), “Τεχνολογίες και Εφαρμογές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Νησιωτικές Περιοχές”, Ρόδος: http://library.tee.gr/digital/m2385/m2385_me_energias.pdf

- [18] European Wind Energy Association (2012), «European statistics 2011».
- [19] European Photovoltaic Industry Association (2012), «Market report 2011».
- [20] Depot News.com, «EE: Αύξηση 11% των αιολικών πάρκων το 2011», (2012), <http://www.depot-news.com/website/index.php/2011-10-19-13-12-27/903---11-----2011.html>
- [21] Νικόλαος Β. Ανδρίτσος- Μιχάλης Δ. Φύτικας, (2004) «Γεωθερμία», Εκδότης: Τζιόλα
- [22] Κατσαπρακάκης Δημήτρης, «Γεωθερμία», http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/anan_piges_enegreias/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1.pdf
- [23] Νέα Ενέργεια, (23 Μαΐου 2012), <http://www.neaenergia.gr/index.php/eidiseis/geothermia/sta-11.224-megabat-i-egkatestimeni-isxis-geothermikon-ergon-pagkosmios.html>
- [24] International Geothermal Association (IGA), http://www.geothermal-energy.org/319,____.html
- [25] Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A.Cengel, Michael A. Boles
- [26] Geothermal in the World, International Geothermal Association, <http://www.geothermal-energy.org>
- [27] Ολυμπία Πολύζου, 2007, Διδακτορική διατριβή με τίτλο «Γεωθερμία- Βιώσιμη Ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες», Αθήνα
- [28] <http://www.builditgreen.gr/index.php/geothermia/geothermia-usages>
- [29] geothermal κεφάλαιο 8, <http://imarinakiss.webs.com/geothermal.pdf>
- [30] "Energy Efficiency and Renewable Energy
- [31] Τεχνολογικό Παρατηρητήριο Ενέργειας Δυτικής Μακεδονίας, http://tw.innopolos-wm.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=61
- [32] Geothermal Finance and Awareness in European Regions.<http://www.geofar.eu/>
- [33] Ruggero Bertani, (2010), «Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report», Proceedings World Geothermal Congress 2010
- [34] Ν. Ανδρίτσος, Α. Αρβανίτης, Μ. Παπαχρήστου και Μ. Φυτίκας, (2009), «Κατάσταση και προοπτικές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα».

- [35] ΔΕΣΜΗΕ, Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρισμού με Εκμετάλλευση της Γεωθερμικής Ενέργειας, <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/diakikasia-adeiodotisis/stathmoi-paragogis-ilektrismoy-me-ekmetalleysi-tis-geothermikis-energeias/>
- [36] Γούσια Ελένη (2008), Χωροταξικός Σχεδιασμός και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ευρωπαϊκή Εμπειρία και προοπτικές στην Ελλάδα, Αθήνα
- [37] ΚΑΠΕ, Νομικό Πλαίσιο Α.Π.Ε. (γεωθερμία) http://www.cres.gr/kape/datainfo/plaisio/national_ape_geotherm.htm
- [38] ΔΕΗ Ανανεώσιμες
- [39] Ρ.Α.Ε.
- [40] Μιχαήλ Δ. Φυτίκας Γ. Βουγιουκλάκης, (1993) «Ηφαιστειακή δομή και εξέλιξη Κιμώλου και Πολυαίγου (νησιωτικό σύμπλεγμα Μήλου)», Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας; Τόμ. 28, Αρ. 2 (1993); 221-237, Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.
- [41] Επιχειρησιακό πρόγραμμα δήμου Κιμώλου, 2012-2014, static.diavgeia.gov.gr/doc/β41χωε8-ω5λ
- [42] Οργανισμός αντισεισμικού και σχεδιασμού και προστασίας, <http://www.oasp.gr/node/207>
- [43] <http://gym-kimol.kyk.sch.gr/geologia.htm>
- [44] ΚΑΠΕ, (2001) «Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ», Αθήνα Πρόγραμμα Leonardo Da Vinci.
- [45] Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλη, 2008, Γεωθερμία και τυποποίηση
- [46] Αρτίκης Π. Γεώργιος (2002) , "Χρηματοοικονομική Διοίκηση, Αποφάσεις Επενδύσεων", Εκδόσεις INTERBOOKS, Αθήνα.
- [47] Ζερβός Αρθούρος (2008), «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
- [48] Καλιαμπάκος Δ., Δαμίγος Δ. (2008) «Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων-Χρηματοοικονομική και κοινωνική αξιολόγηση επενδύσεων», Αθήνα.
- [49] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2010), Νόμος 3851/2010(ΦΕΚΑ'85/04-06-10):«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες

διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», Υ.ΠΕ.ΚΑ

[50] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2011), «Κανονισμός Αδειών Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοση (Αριθ. ΥΑΠΕ/Φ1/14810/25.10.2011), Υ.ΠΕ.ΚΑ.

[51] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2012), Έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης", Υ.ΠΕ.ΚΑ.

[52] Fred Weston-Eugene F. Brigham, (1986), «Βασικές Αρχές της Χρηματοοικονομικής Διαχείρισης και Πολιτικής», Εκδόσεις Παπαζήση Αθήνα.

[53] Mary H . Dickson και Mario Fanelli, Τί είναι Γεωθερμική Ενέργεια;: Μετάφραση : Μιχάλης Φυτίκας και Μαρία Παπαχρήστου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:**Απαιτούμενες άδειες και εγκρίσεις για την ανάπτυξη γεωθερμικών έργων**

Με τον Ν.3468/2006, αρθ. 4, όπως αντικαταστάθηκε με τον Ν.3851/2010, αρθ.2, §12 έγινε ο κάτωθι διαχωρισμός των έργων, όπου:

Α) γεωθερμικοί σταθμοί με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του μισού (0,5) MW, εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη διαπιστωτική απόφαση.

- Απαιτείται Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας εφόσον ο επενδυτής σκοπεύει επιπλέον να διανέμει και θερμική ενέργεια σε τρίτους
- Απαιτείται η συνυπογραφή Σύμβασης Πώλησης Γεωθερμικού Προϊόντος με τον κάτοχο του δικαιώματος διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου.
- Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για την διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος και θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης (έκδοση απόφασης ΕΠΟ ή απαλλαγής), όπου απαιτείται.
- Απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από την υποχρέωση ΕΠΟ. Αυτή εκδίδεται από την ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. της οικείας Περιφέρειας εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα (αρθ.8, §13 του Ν.3468 όπως τροποποιήθηκε με τον Ν.3851, αρθ.3, §2 και ισχύει). Για την απόδειξη της άπρακτης παρέλευσης, ο ενδιαφερόμενος πρέπει στα επόμενα στάδια να προσκομίζει σχετική βεβαίωση της Περιφέρειας, ή εναλλακτικά, αντίγραφο του αιτήματός του με τον αριθμό πρωτοκόλλου και την ημερομηνία κατάθεσής του, μαζί με υπεύθυνη δήλωση για την παρέλευση του 20ημέρου χωρίς έκδοση ούτε απαλλαγής, ούτε αρνητικής απόφασης. Κατ' εξαίρεση απαιτείται ΕΠΟ εάν:
 - α) το έργο εγκαθίσταται εντός περιοχής Natura 2000 ή σε απόσταση < 100m από αιγιαλό, ή
 - β) γειτνιάζει σε απόσταση <150m με άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας, η δε αθροιστική ισχύς υπερβαίνει το όριο των 500 kW.
- Εφόσον πρόκειται να εκτελεστούν δομικά έργα, απαιτούνται Οικοδομικές Άδειες.
- Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης.

- Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας
- Δεν απαιτείται Δοκιμαστική Λειτουργία.
- Δεν απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης ούτε Άδεια Λειτουργίας

B) Γεωθερμικοί σταθμοί με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μεγαλύτερη του μισού (0,5) MW.

- Απαιτείται Άδεια Παραγωγής ή και Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας εφόσον ο επενδυτής σκοπεύει επιπλέον να διανέμει και θερμική ενέργεια σε τρίτους (μπορεί να εκδοθεί ως ενιαία άδεια.)
- Απαιτείται η συνυπογραφή Σύμβασης Πώλησης Γεωθερμικού Προϊόντος με τον κάτοχο του δικαιώματος διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου. Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για την διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος και θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης.
- Απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Χορηγείται κατόπιν αιτήσεως που συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) τύπου ανάλογου με την κατηγορία του έργου.
- Εφόσον πρόκειται να εκτελεστούν δομικά έργα, απαιτούνται Οικοδομικές Άδειες.
- Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης. Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας.
- Απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης.
- Απαιτείται Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία που γίνεται κατόπιν αιτήσεως προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει *βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών* (ΥΑ.13310/2007, ΦΕΚ.Β'1153, άρθ.14).
- Απαιτείται Άδεια Λειτουργίας.[35]

Ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 2008

Κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας

1. Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι απόλυτα συνυφασμένη με την ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου στο οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό. Εκ του γεγονότος τούτου, σε συνδυασμό με την

σπανιότητα της σχετικής ενεργειακής ύλης, ως περιοχές προτεραιότητας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας ορίζονται οι περιοχές της χώρας που διαθέτουν εκμεταλλεύσιμο γεωθερμικό δυναμικό, όπως ιδίως η Πολυχνίτος της Λέσβου, η Μήλος και η Νίσυρος, για τις οποίες έχει ήδη βεβαιωθεί η ύπαρξη γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας.

2. Ως ζώνες αποκλεισμού των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή ως περιοχές στις οποίες δεν επιτρέπεται η εγκατάστασή τους, ορίζονται καταρχήν οι περιοχές εντός σχεδίων πόλεων και εντός ορίων οικισμών και οι εν γένει κατοικημένες περιοχές.

3. Στις περιπτώσεις όμως που έχει ήδη εξακριβωθεί η ύπαρξη γεωθερμικού δυναμικού και λόγω της μοναδικής και σημειακής δυνατότητας χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, δεν είναι εκ των προτέρων δυνατός ο καθορισμός άλλων κατηγοριών ζωνών αποκλεισμού (εκτός των πόλεων, οικισμών και κατοικημένων περιοχών). Στις περιπτώσεις αυτές, οι ειδικότερες προϋποθέσεις χωροθέτησης των ανωτέρω εγκαταστάσεων πρέπει να εξετάζονται στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης του έργου, ώστε, με βάση και τις διαθέσιμες τεχνολογίες και τεχνικές, να αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση οι ενδεχόμενες επιπτώσεις στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον που προέρχονται από τις σχετικές εκμεταλλεύσεις.

4. Ειδικώς, όμως, για την παραχώρηση του δικαιώματος άσκησης διερευνητικών εργασιών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κατηγορίες ζωνών αποκλεισμού. [36]