



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΛΥΔΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥΔΗ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2021





ΛΥΔΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥΔΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5022

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΧΩΡΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπουσα:

Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, ΕΔΙΠ Τμήματος Γεωλογίας



© Λυδία Οικονομούδη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΧΩΡΟ– *Πτυχιακή Εργασία*

©Lydia Oikonomoudi, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

GEOHERMAL ELECTRICITY GENERATION-EXAMPLES FROM EUROPE–
Bachelor Thesis

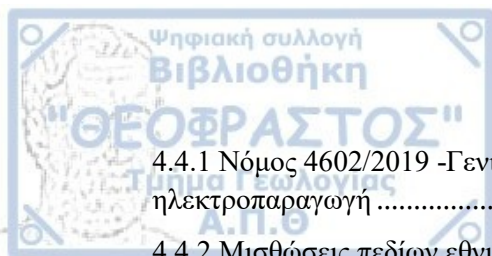
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.
Εικόνα Εξωφύλλου: Γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής Soultz-sous-Forêts, Γαλλία (©GEIE, 2009).



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	9
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	9
2.2 ΚΥΚΛΟΣ ΞΗΡΟΥ ΑΤΜΟΥ (Dry steam plant).....	11
2.3 ΚΥΚΛΟΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ ΔΙΦΑΣΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ (Flash steam plant).....	13
2.4 ΔΥΑΔΙΚΟΣΚΥΚΛΟΣ (binary cycle).....	15
2.5 ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Enhanced Geothermal Systems).....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	27
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	27
3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	33
3.2.1 Ιταλία.....	35
3.2.1.1 Το γεωθερμικό πεδίο Larderello.....	40
3.2.2 Γαλλία.....	44
3.2.3 Αυστρία.....	48
3.2.4 Πορτογαλία.....	49
3.2.5 Ουγγαρία.....	52
3.2.6 Κροατία.....	54
3.2.7 Γερμανία.....	58
3.2.8 Ισλανδία.....	62
3.2.9 Τουρκία.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	77
4.1 ΕΥΝΟΪΚΕΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ.....	77
4.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	79
4.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΜΗΛΟΥ ΚΑΙ ΝΙΣΥΡΟΥ.....	82
4.3.1 Μήλος.....	83
4.3.2 Νίσυρος.....	85
4.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	87



4.4.1 Νόμος 4602/2019 -Γενικές διατάξεις που σχετίζονται με τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή	89
4.4.2 Μισθώσεις πεδίων εθνικού ενδιαφέροντος	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97
Ελληνική βιβλιογραφία.....	97
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	98
Διαδικτυακές πηγές.....	108

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

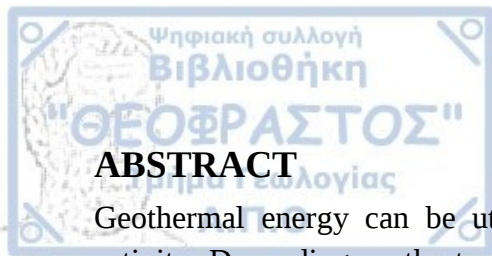
Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους και σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών, η εκμετάλλευσή της γίνεται άμεσα (ως θερμική ενέργεια) ή έμμεσα, με την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

Η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, για να είναι οικονομικά συμφέρουσα, απαιτεί θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 85-90°C. Οι τρεις βασικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται, και εξαρτώνται από τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των ρευστών, είναι ο κύκλος ξηρού ατμού, ο κύκλος εκτόνωσης διφασικών ρευστών και ο δυαδικός κύκλος.

Οι πρώτες προσπάθειες για τη χρήση της γεωθερμίας στην ηλεκτροπαραγωγή ξεκίνησαν στην Ιταλία, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Σήμερα, (29) χώρες αξιοποιούν με κάποια από τις παραπάνω τεχνολογίες τους γεωθερμικούς τους πόρους, (11) εκ των οποίων βρίσκονται στην Ευρώπη. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύ για ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη είναι η Ισλανδία, η Ιταλία και η Τουρκία. Σχεδόν όλες οι νέες γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια στον ευρωπαϊκό χώρο λειτουργούν με δυαδικό κύκλο.

Σημαντική συμβολή στη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή αναμένεται να έχει τις επόμενες δεκαετίες η αξιοποίηση των τεράστιων ποσοτήτων θερμότητας που βρίσκονται αποθηκευμένες σε θερμά ξηρά ή ημιπερατά πετρώματα, μέσω των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων. Σήμερα, εν λειτουργία μονάδες που συνδέονται με τέτοια συστήματα υπάρχουν στη Γερμανία και στη Γαλλία, ενώ υπό μελέτη και κατασκευή και σε άλλες χώρες, όπως η Μ. Βρετανία, η Τουρκία κλπ.

Στην Ελλάδα, βεβαιωμένοι γεωθερμικοί πόροι, κατάλληλοι για ηλεκτροπαραγωγή, υπάρχουν στη Μήλο και τη Νίσυρο, με θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 300°C. Ρευστά χαμηλότερων θερμοκρασιών (>100-120°C), που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες δυαδικού κύκλου, υπάρχουν σε τριτογενείς λεκάνες της βόρειας Ελλάδας και σε νησιά του κεντρικού και βορείου Αιγαίου. Μοναδικό παράδειγμα γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, αποτελεί η λειτουργία για μικρό χρονικό διάστημα μιας πιλοτικής μονάδας 2 MWe στη Μήλο, στο τέλος της δεκαετίας του 1980. Μετά την οριστική παύση της πριν από 30 χρόνια, καμία μεταγενέστερη προσπάθεια στον τομέα αυτό δεν ήταν επιτυχής, για λόγους που δεν σχετίζονται με τη γεωθερμία, αλλά περισσότερο με γραφειοκρατικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς λόγους.



ABSTRACT

Geothermal energy can be utilized in various ways and in many sectors of human activity. Depending on the temperature of the geothermal fluids, it is exploited directly (as thermal energy) or indirectly, for the production of electricity.

Geothermal power generation commonly requires temperatures higher than 85-90°C, in order to be economically viable. The three basic applied technologies, which depend on the thermodynamic characteristics of the fluids, are the “dry steam cycle”, the “flash steam cycle” and the “binary cycle”.

The first attempts to use geothermal energy for electricity generation took place in Italy in the beginning of 20th century. In 2020, twenty-nine (29) countries were exploiting their geothermal resources for power generation, using the above technologies; eleven of them belong to Europe. The countries with the highest installed geothermal power capacity in Europe are Iceland, Italy and Turkey. Almost all the new geothermal power plants in Europe operate with the binary cycle technology.

The exploitation of the enormous quantities of heat reserved in hot dry or semi-permeable geologic formations with the Enhanced Geothermal Systems (EGS) is expected to contribute significantly to the electricity generation industry in the coming decades. Today, units connected to such systems are operate in Germany and France, while such projects are under investigation or in the construction phase in other countries as well, such as Great Britain, Turkey, etc.

In Greece, confirmed geothermal resources, suitable for electricity generation, exist in Milos and Nisyros islands, with temperatures exceeding 300°C. Lower temperature fluids (> 100-120°C), which could be used in binary cycle units, exist in the tertiary basins of northern Greece and in some islands of the central and northern Aegean Sea. The sole case of geothermal power generation in Greece regards the 2 MWe pilot plant in Milos, which operated only for a very short period during the late 1980s. Since then, none of the past attempts to «restart» this sector was successful, for reasons not related to the availability of geothermal energy, but, rather, to bureaucratic, social and political obstacles.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «**Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία -Παραδείγματα από τον Ευρωπαϊκό χώρο**» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., υπό την επίβλεψη της Δρ. Μαρίας Παπαχρήστου, διδάσκουσας του μαθήματος «Γεωθερμία» και ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας.

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η παρουσίαση των μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη γεωθερμική ενέργεια, καθώς και η ανασκόπηση της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Τουρκίας.

Για το λόγο αυτό έγινε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα, με σκοπό τη συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων για την εξέλιξη της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι και σήμερα, με έμφαση στον Ευρωπαϊκό χώρο, συγκεντρώνοντας πλήθος δεδομένων από πολύ πρόσφατες αλλά και παλιότερες επιστημονικές δημοσιεύσεις, άρθρα και ιστοσελίδες.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις βασικές γεωθερμικές έννοιες (ταξινόμηση πεδίων και συστημάτων, χρήσεις της γεωθερμίας κλπ.), ως εισαγωγή για τα επόμενα κεφάλαια που επικεντρώνονται στο θέμα της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής και την κατάσταση στις ευρωπαϊκές χώρες και την Ελλάδα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία. Γίνεται μια σύντομη περιγραφή των εγκαταστάσεων των γεωθερμικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων, ενώ αναλύονται οι τρεις κύριοι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού από τους γεωθερμικούς πόρους. Αυτές είναι: (1) η μέθοδος ξηρού ατμού (dry steam), που είναι η παλαιότερη και πιο αποδοτική οικονομικά τεχνολογία, (2) η τεχνολογία της εκτόνωσης διφασικού ρευστού (flash steam), που αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο σε παγκόσμια κλίμακα και (3) η μέθοδος του δυαδικού κύκλου (binary cycle), η οποία παρέχει την δυνατότητα αξιοποίησης γεωθερμικών ρευστών χαμηλότερων θερμοκρασιών και προτιμάται σε όλες τις νέες μονάδες που κατασκευάστηκαν πρόσφατα, τόσο σε χώρες της Ευρώπης (π.χ. Γερμανία, Κροατία), όσο και στην Τουρκία. Επιπλέον, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην περιγραφή των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (EGS), που στοχεύουν στην αξιοποίηση της θερμότητας των ξηρών ή ημιπερατών πετρωμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται αναλυτικά η παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία, στην Ευρώπη. Περιλαμβάνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής παγκοσμίως, με έμφαση στον ευρωπαϊκό χώρο, ενώ στη συνέχεια δίνονται παραδείγματα από χώρες της Ευρώπης που παρουσιάζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη

στον συγκεκριμένο τομέα. Αυτές είναι η Ιταλία, η Γαλλία, η Αυστρία, η Πορτογαλία, η Ουγγαρία, η Κροατία, η Γερμανία και η Ισλανδία. Σημαντικό μέρος του κεφαλαίου, αποτελεί και η περίπτωση της Τουρκίας, η οποία την τελευταία πενταετία παρουσίασε θεαματική αύξηση στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ από γεωθερμία, καταλαμβάνοντας πλέον την τέταρτη θέση σε παγκόσμια κλίμακα, όσον αφορά στην εγκατεστημένη ισχύ. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο ιστορικό γεωθερμικό πεδίο Larderello της Ιταλίας, καθώς εκεί πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά η παραγωγή ηλεκτρισμού με τη χρήση γεωθερμικού υπέρθερμου ατμού. Επιπλέον, παρατίθενται στοιχεία για ορισμένα προγράμματα EGS, που είτε έχουν ήδη εφαρμοστεί στον χώρο της Ευρώπης, είτε βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας ή της ανάπτυξης, ενώ παρουσιάζονται και οι μελλοντικές παρεμβάσεις που σχεδιάζονται από τις διάφορες χώρες και αποσκοπούν στην περεταίρω ανάπτυξη της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής.

Το κεφάλαιο (4) εστιάζει στον ελλαδικό χώρο. Αρχικά, γίνεται σύντομη αναφορά στο γεωθερμικό δυναμικό και στον τρόπο που αυτό αξιοποιείται στη χώρα μας, ενώ στη συνέχεια περιγράφονται οι περιοχές που φαίνεται πως έχουν τους κατάλληλους για ηλεκτροπαραγωγή γεωθερμικούς πόρους, όπως είναι τα ηφαιστειακά νησιά της Μήλου και της Νισύρου, καθώς και άλλες περιοχές της νησιωτικής και ηπειρωτικής Ελλάδας (Λεκάνη Έβρου, Κως, Μέθανα, Σαμοθράκη κλπ). Επιπλέον, γίνεται ιστορική αναδρομή της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, με έμφαση βέβαια στην περίπτωση της Μήλου, όπου λειτούργησε για μικρό χρονικό διάστημα, η μοναδική γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου, γίνεται η παράθεση μερών της ισχύουσας ελληνικής νομοθεσίας, που αφορούν άμεσα ή έμμεσα την παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία. Ιδιαίτερη σημασία έχει δοθεί σε ορισμένες διατάξεις του πρόσφατου, εκσυγχρονισμένου, νόμου (ν. 4602/2019), που εκδόθηκε το 2019 και ρυθμίζει ποικίλα γεωθερμικά θέματα.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η συμβολή κάποιων ανθρώπων ήταν πολύ χρήσιμη και καθοριστική. Αρχικά, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην επιβλέπουσα της πτυχιακής μου Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, η οποία συνέβαλε στο να φέρω εις πέρας την εργασία που μου ανατέθηκε. Με βοήθησε στο να κινητοποιηθώ, να ψάξω, να διαβάσω και να κάνω ό,τι καλύτερο μπορώ για αυτή την εργασία. Έτσι, όταν την ολοκλήρωσα, συνειδητοποίησα πως αυτό ήταν το μεγάλο κέρδος που αποκόμισα, και την ευχαριστώ πολύ.



Επίσης, τις θερμότερες ευχαριστίες μου θα ήθελα να τις εκφράσω προς στην οικογένειά μου, ιδιαίτερα στους γονείς μου, οι οποίοι όλα τα χρόνια των σπουδών μου και όσο ζω είναι πάντα δίπλα μου, με στηρίζουν και με αγαπάνε.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την παρέα των πρώην συμφοιτητών μου από το Τμήμα Γεωλογίας, και νυν φίλους μου, γιατί σε αυτούς χρωστάω όλες τις όμορφες στιγμές των φοιτητικών μου χρόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωθερμική ενέργεια, είναι μια ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ορίζεται ως η θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια του στερεού φλοιού της γης, μέσα σε φυσικούς ατμούς, θερμά νερά ή μίγματα αυτών, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

Η ενέργεια αυτή, συγκεντρώνεται, ανάλογα με τις επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες, σε συγκεκριμένες περιοχές που ονομάζονται «γεωθερμικά πεδία». Εντός των γεωγραφικών ορίων των γεωθερμικών πεδίων αναπτύσσονται κατά βάθος τα «γεωθερμικά συστήματα». Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Ν. 3175/2003, άρθρο 2 και Ν. 4602/2019 άρθρο 2) ως γεωθερμικό πεδίο, ορίζεται ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος, μέσα στον οποίο εντοπίζεται γεωθερμικό δυναμικό, δηλαδή το σύνολο των γηγενών φυσικών θερμών ρευστών (επιφανειακών ή υπόγειων) και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που η θερμοκρασία τους υπερβαίνει τους 30°C.

Η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων/συστημάτων βασίζεται σε ποικίλα κριτήρια (θερμοκρασία, ενθαλπία, γεωλογικό περιβάλλον κλπ) ή θερμοκρασιακά όρια. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τρόποι κατηγοριοποίησής τους, έχει επικρατήσει όμως παραδοσιακά ο διαχωρισμός τους ανάλογα με την ενθαλπία και τη θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών (Nicholson, 1993; Dickson & Fanelli, 1995):

- Χαμηλής ενθαλπίας, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 90°C.
- Μέσης ενθαλπίας, όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από 90°C έως 150°C.
- Υψηλής ενθαλπίας, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 150°C.

Στην ελληνική νομοθεσία (ν. 4602/2019, άρθρο 2), τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται σε:

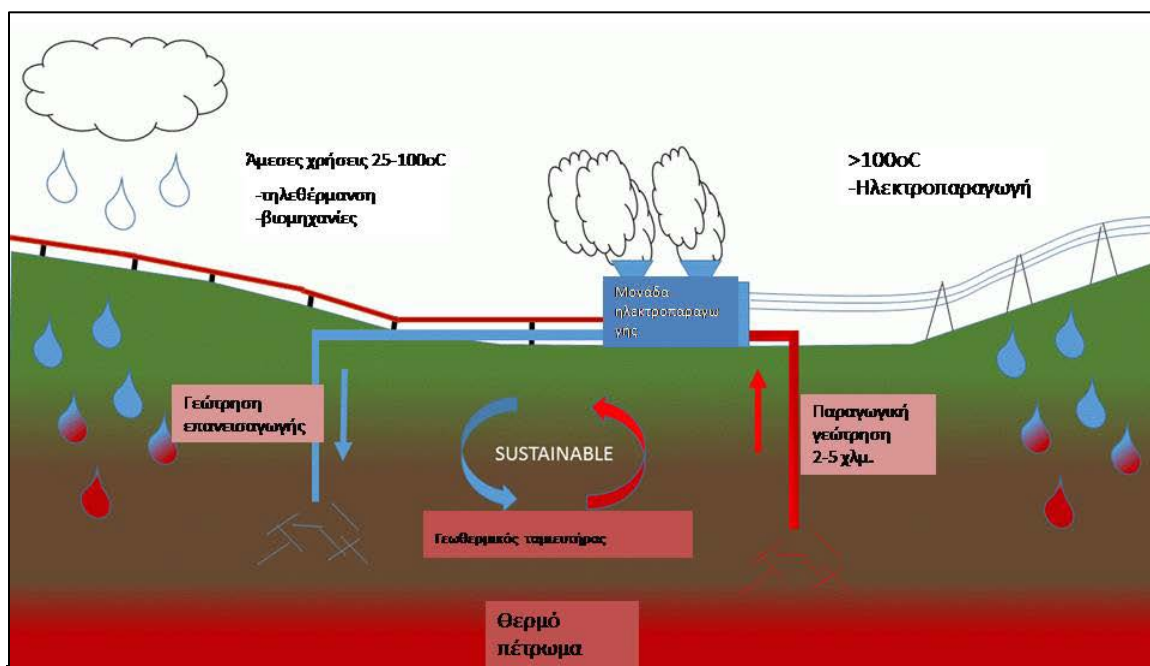
- **Τοπικού ενδιαφέροντος**, όταν η θερμοκρασία του γεωθερμικού προϊόντος (δηλαδή του αξιοποιήσιμου γεωθερμικού περιεχομένου) κυμαίνεται από 30 έως 90°C.
- **Εθνικού ενδιαφέροντος**, όταν η παραπάνω θερμοκρασία υπερβαίνει τους 90°C.

Η χώρα μας έχει ένα αρκετά πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό, λόγω ευνοϊκών γεωτεκτονικών συνθηκών που οδήγησαν στην ανάπτυξη σημαντικών γεωθερμικών συστημάτων σε σχετικά μικρά βάθη.

Βεβαιωμένα πεδία εθνικού ενδιαφέροντος (υψηλής θερμοκρασίας) έχουν ανακαλυφθεί σε δύο (2) περιοχές, στα ηφαιστειακά νησιά Μήλος και Νίσυρος. Πέραν αυτών, ισχυρές ενδείξεις για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 90°C υπάρχουν σε πολλές περιοχές της ηπειρωτικής και νησιωτικής χώρας, κυρίως στη βόρεια Ελλάδα και σε νησιά του βορείου και κεντρικού Αιγαίου (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004; Papachristou et al., 2016; 2019).

Πεδία τοπικού ενδιαφέροντος (χαμηλής θερμοκρασίας), εντοπίζονται διάσπαρτα στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας, όπως για παράδειγμα στις λεκάνες των Σερρών, Ξάνθης-Κομοτηνής, Ακροπόταμου (Καβάλας) και Έβρου καθώς και σε νησιά όπως η Χίος, η Λέσβος, η Σαμοθράκη, η Εύβοια κλπ.

Όσον αφορά τις χρήσεις της γεωθερμίας (Εικόνα 1), αυτές χωρίζονται σε *άμεσες* και *ηλεκτρικές*. Για τις άμεσες χρήσεις, αξιοποιούνται τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής (θερμοκρασία: 25-30-90°C) αλλά και μέσης (90-150°C) ενθαλπίας. Σ' αυτές, περιλαμβάνεται η λουτροθεραπεία, η θέρμανση και ο δροσισμός εσωτερικών χώρων, καθώς και πληθώρα αγροτικών και βιομηχανικών χρήσεων (π. χ. ξήρανση προϊόντων, θέρμανση θερμοκηπίων, αφαλάτωση, ιχθυοκαλλιέργειες, υδατοκαλλιέργειες κ. α.). Για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιούνται ρευστά υψηλής ή μέσης ενθαλπίας (θερμοκρασία >90°C), ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας.



Εικόνα 1: Γεωθερμική ενέργεια και χρήσεις (πηγή: www.e-mc2.gr)

Μια τρίτη κατηγορία, αποτελεί η αξιοποίηση της *αβαθούς γεωθερμίας*, δηλ. της θερμότητας που είναι αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς (πετρώματα και υδροφορείς) και δεν εμπίπτει στην κατηγορία «γεωθερμικό δυναμικό» της σχετικής νομοθεσίας, δηλ. η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 30°C.

Στην Ελλάδα, αξιοποιείται ένα πολύ μικρό ποσοστό του βεβαιωμένου γεωθερμικού δυναμικού και αυτό μόνο για άμεσες χρήσεις (Papachristou et al., 2019), όπως είναι, παραδοσιακά, η λουτροθεραπεία και ο αγροτικός τομέας (κυρίως για θέρμανση θερμοκηπίων).



Η αβαθής γεωθερμία είναι ένας κλάδος που αναπτύχθηκε σημαντικά και στην Ελλάδα τα τελευταία 10-15 χρόνια, και, παρά την οικονομική κρίση, συνεχίζει μια σταθερή και αυξητική πορεία, όσον αφορά στον αριθμό των εγκατεστημένων μονάδων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Σχετικά με την ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία, μετά την οριστική διακοπή λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας των 2MW στη Μήλο, δεν υπήρξε δυστυχώς κάποια θετική εξέλιξη, με το βεβαιωμένο δυναμικό υψηλής ενθαλπίας να παραμένει ανεκμετάλλευτο στη Μήλο και τη Νίσυρο.

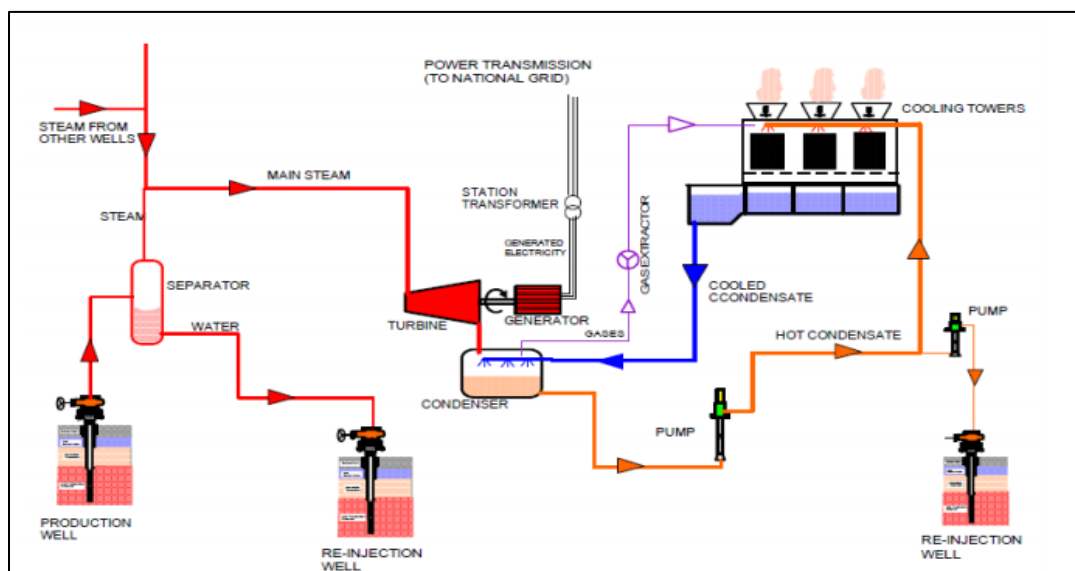
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες μεθόδους για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι υψηλή, υπερβαίνει δηλαδή τους 90°C.

Η κύρια διαφορά των γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής σε σχέση με τις συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες είναι η πηγή ενέργειας. Στην περίπτωση της γεωθερμίας, η φυσική θερμότητα της γης αντικαθιστά τον λέβητα ή τον πυρηνικό αντιδραστήρα και αποτελεί την «κινητήρια δύναμη» της μονάδας.

Μια εγκατάσταση γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής, αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: α) τις γεωτρήσεις παραγωγής (production wells) και επανεισαγωγής (re-injection wells), και β) τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (κύρια μονάδα), τα οποία συνυπάρχουν με υποδομές όπως τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής των γεωθερμικών ρευστών από και προς τις γεωτρήσεις και τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, οι πύργοι ψύξης (cooling towers) κλπ (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία
(πηγή: Karytsas&Mendrinou,2013)

Οι τρεις βασικές μέθοδοι (τεχνολογίες) γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής είναι:

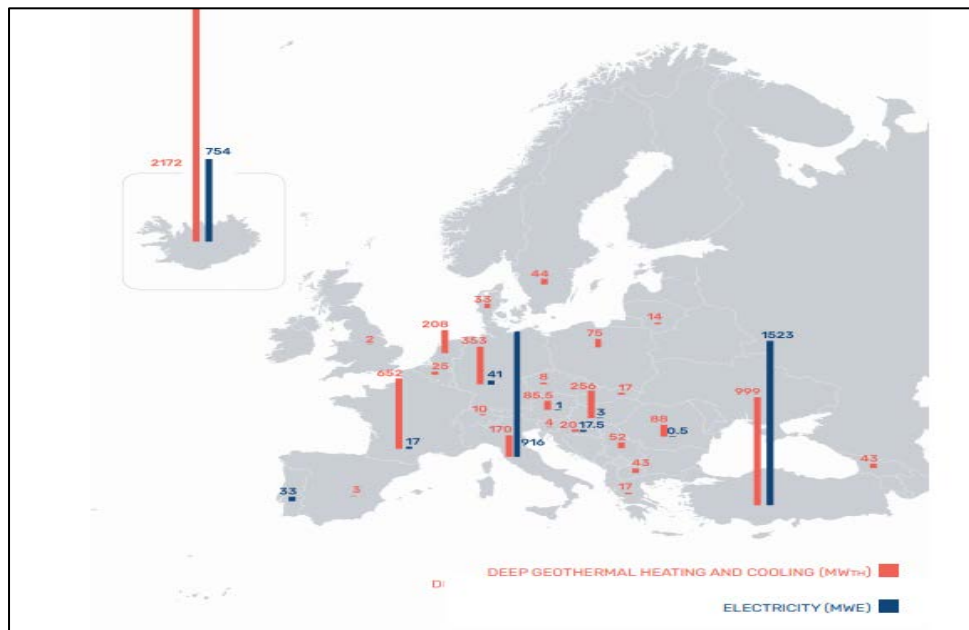
- 1) Ο κύκλος ξηρού ατμού (dry steam cycle)
- 2) Ο κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού (flash steam cycle)

3). Ο δυαδικός κύκλος (binary cycle)

Η επιλογή του τύπου της γεωθερμικής μονάδας και του χρησιμοποιούμενου «κύκλου» εξαρτάται τις συνθήκες που επικρατούν στο γεωθερμικό πεδίο, όπως η πίεση, η θερμοκρασία, ο χημισμός κλπ (Matek, 2016). Οι μονάδες που χρησιμοποιούν ξηρό ατμό είναι πολύ λίγες, δεδομένου ότι τα γεωθερμικά πεδία που παράγουν ξηρό ατμό είναι σπάνια. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι μονάδες εκτόνωσης διαφασικού ρευστού υπερτερούν από άποψη εγκατεστημένης ισχύος, όμως οι περισσότερες νέες μονάδες που κατασκευάζονται πλέον, κυρίως στην Ευρώπη, χρησιμοποιούν τον δυαδικό κύκλο.

Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, μπορεί να γίνει και από την αξιοποίηση της θερμότητας των θερμών και ξηρών ή ημιπερατών πετρωμάτων, μέσω της τεχνολογίας των *Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων* (Enhanced Geothermal Systems–EGS). Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται κατά βάση με μονάδες δυαδικού κύκλου.

Ηλεκτρική ισχύς από γεωθερμική ενέργεια παράγεται σε 29 χώρες παγκοσμίως, εκ των οποίων οι 11 είναι Ευρωπαϊκές (Εικόνα 3), συμπεριλαμβανομένης και της Τουρκίας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων σε όλον τον κόσμο έφτασε στα τέλη του 2019 τα 16 GW (Huttrer, 2020), παρουσιάζοντας αύξηση περίπου 27% μέσα στην πενταετία 2015-2020. Η εγκατεστημένη ισχύς τέτοιων μονάδων στην Ευρώπη ανήλθε σε 3.4 GW (Huttrer, 2020; EGEC, 2020). Η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη, που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.



Εικόνα 3: Μονάδες γεωθερμικής παραγωγής στην Ευρώπη (πηγή: EGEC, 2020)

2.2 ΚΥΚΛΟΣ ΞΗΡΟΥ ΑΤΜΟΥ (Dry steam plant)

Ο κύκλος ξηρού ατμού είναι η πρώτη και παλαιότερη μέθοδος που εφαρμόστηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Στη περίπτωση αυτή, ο (ξηρός) ατμός που παράγεται από το εσωτερικό της γης χρησιμοποιείται απευθείας στην θερμοηλεκτρική μονάδα ώστε να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Πρόκειται για τον πιο απλό και οικονομικό τύπο γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας.

Πειραματικά, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1904 στο γεωθερμικό πεδίο του Larderello (Ιταλία), ενώ σε εμπορικό επίπεδο το 1913, στην ίδια περιοχή, με την κατασκευή μιας μικρής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας 250 kW(www.britannica.com; Lund, 2004).

Ο περιορισμός της συγκεκριμένης τεχνολογίας, είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιοχές με γεωθερμικά πεδία που παράγουν ξηρό ατμό. Το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο ξηρού ατμού είναι το Geysers, βόρεια του San Francisco, στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Στο πεδίο αυτό, λειτουργούν σήμερα (22) ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες(Εικόνα 4), οι οποίες τροφοδοτούνται από 350 παραγωγικές γεωτρήσεις. Η εγκατεστημένη ισχύς στο συγκεκριμένο πεδίο ξεπερνά τα 1580 MW (Franco&Vaccaro, 2020), ενώ το 2019 το Geysers παρήγαγε περίπου το 20% της ενέργειας από ΑΠΕ στην Καλιφόρνια (www.wikipedia.org; www.statista.com). Γεωθερμικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες ξηρού ατμού υπάρχουν επίσης, εκτός από την Ιταλία (Εικόνα 5) και στις ΗΠΑ, στην Ινδονησία, στις Φιλιππίνες, στο Μεξικό κλπ.

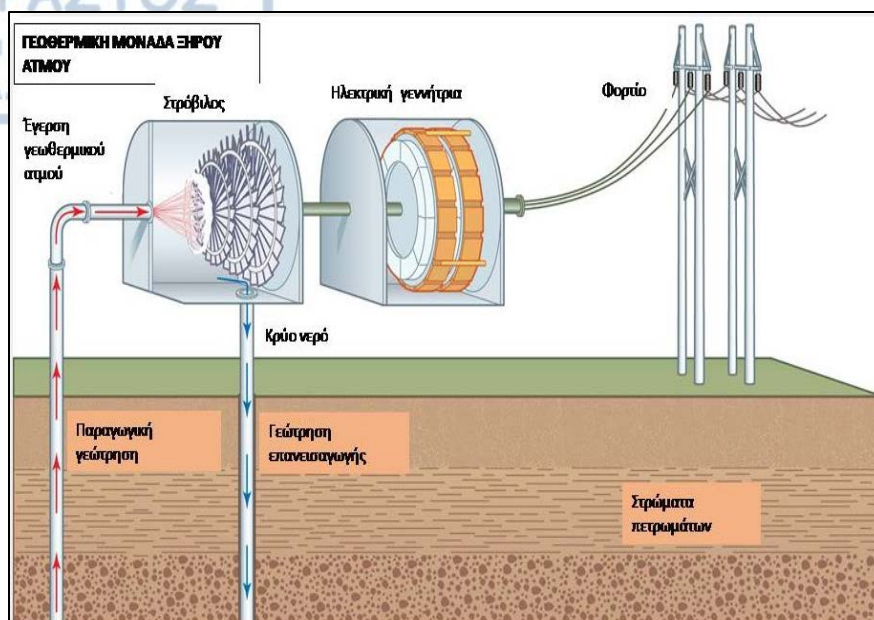


Εικόνα 4: Γεωθερμικό πεδίο The Geysers (ΗΠΑ). Κατασκευή γεωθερμικής γεώτρησης το 1977(αριστερά)-Γεωθερμικές μονάδες ξηρού ατμού(δεξιά)
(πηγές: www.wikipedia.org; www.marlimillerphoto.com)



**Εικόνα 5: Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα ξηρού ατμού στο Larderello της Ιταλίας
(www.power-technology.com)**

Στον κύκλο ξηρού ατμού, η διαδικασία ακολουθεί συνοπτικά τα εξής στάδια: ο ατμός αντλείται μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων από τον ταμιευτήρα και μεταφέρεται απευθείας σε έναν ατμοστρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με μία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό (Εικόνα 6). Στη συνέχεια, ο ατμός, με τη βοήθεια ενός συμπυκνωτή υγροποιείται, εισάγεται στον ταμιευτήρα, επανέρχεται στην αέρια φάση και τελικά, είναι ξανά διαθέσιμος προς χρήση. Η επιστροφή του συμπυκνωμένου ατμού στη εσωτερική της γης πραγματοποιείται με την βοήθεια των γεωτρήσεων επανεισαγωγής.



Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση μονάδας ξηρού ατμού (www.britannica.com)

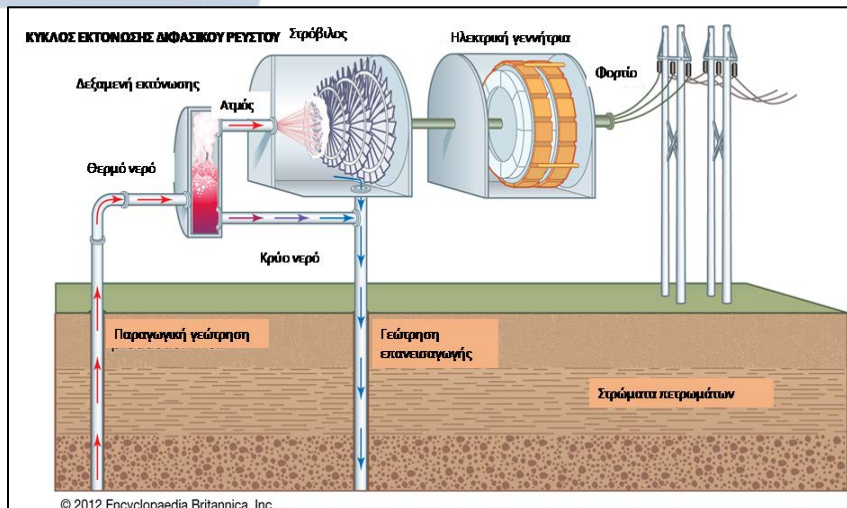
Εάν ο ατμός είναι απαλλαγμένος από βλαβερές χημικές ουσίες (π.χ. HCl), δεν απαιτείται κάποια προηγούμενη επεξεργασία. Στην αντίθετη περίπτωση, εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι απομάκρυνσης των συστατικών αυτών πριν την είσοδό του στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα. Ο κύκλος ξηρού ατμού μπορεί να λειτουργήσει με ή χωρίς συμπυκνωτή. Όταν δεν υπάρχει συμπυκνωτής, ο ατμός εξέρχεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004). Οι μονάδες χωρίς συμπυκνωτή έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας, όμως και πολύ μικρότερη απόδοση (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

2.3 ΚΥΚΛΟΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ ΔΙΦΑΣΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ (Flash steam plant)

Ο κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού, είναι η πιο συχνή και η πλέον αποδοτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία, καθώς τα γεωθερμικά συστήματα που παράγουν πολύ θερμό νερό ή διφασικά ρευστά είναι πολύ περισσότερα από τα συστήματα ξηρού ατμού (Wolfson, 2012).

Αν και υπάρχουν αρκετά κοινά με τη μέθοδο του ξηρού ατμού, η κύρια διαφορά τους είναι πως στον κύκλο εκτόνωσης, το γεωθερμικό ρευστό φτάνει στην επιφάνεια ως διφασική ροή ή ως πολύ θερμό νερό, με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C (συνήθως γύρω στους 180°C) και υπό συνθήκες υψηλής πίεσης. Στη συνέχεια, οδηγείται σε μια δεξαμενή εκτόνωσης, όπου η πίεση είναι χαμηλότερη, οπότε ένα μέρος του «εκτονώνεται», δηλαδή εξατμίζεται απότομα. Το διφασικό μίγμα, διαχωρίζεται σε έναν διαχωριστή φάσεων και από εκεί ο ατμός κατευθύνεται στους στροβίλους και στη

συνέχεια στην ηλεκτρική γεννήτρια για να γίνει η παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος (Εικόνα 7).



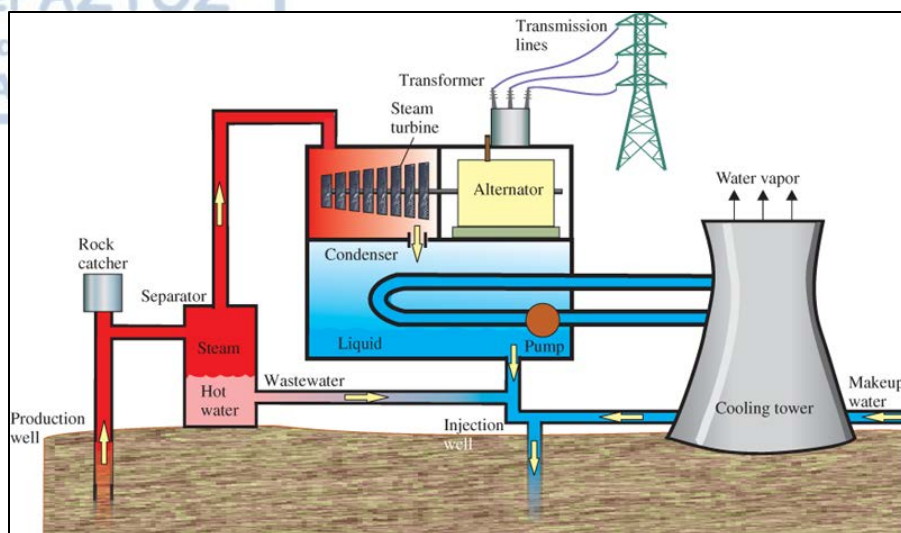
Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση μονάδας εκτόνωσης διφασικού ρευστού (www.britannica.com)

Αν το γεωθερμικό νερό μετά την πρώτη του χρήση, έχει κατάλληλη θερμοκρασία και πίεση, μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη ή και περισσότερες φορές (dual flash ή multistage flashing), παράγοντας με τον τρόπο αυτόν επιπλέον ατμό που θα χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή (Εικόνες 8 και 9) και ταυτόχρονα ενισχύοντας την απόδοση της μονάδας (IEA-ETSAP, 2010; Geothermal Association, 2014; Renewable Energy World, 2016).

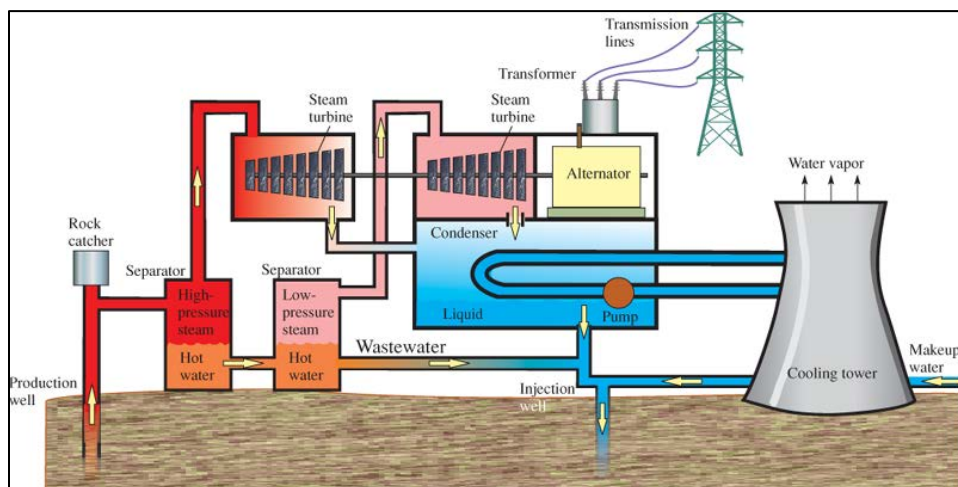
Το θερμό νερό που εξάγεται από τον διαχωριστή, είτε οδηγείται στον ταμιευτήρα μέσω γεωτρήσεων επανεισπαγωγής, είτε χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούν θερμική ενέργεια, όπως για παράδειγμα η θέρμανση χώρων (άμεσες χρήσεις). Όσον αφορά στον ατμό, αφού τροφοδοτήσει τους στροβίλους, μπορεί να ψυχθεί, να υγροποιηθεί με τη βοήθεια συμπυκνωτή και να επιστρέψει στον ταμιευτήρα για να χρησιμοποιηθεί ξανά.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούν τον κύκλο εκτόνωσης διφασικού ρευστού, διαφέρουν ως προς το μέγεθός τους, ανάλογα με το εάν σε αυτές γίνεται μονή (0.2-80 MW), διπλή (2-110 MW) ή τριπλή (60-150 MW) εκτόνωση του γεωθερμικού ρευστού (S&P Global Platts, 2016).

Μονάδες τέτοιου τύπου υπάρχουν σε πολλές περιοχές ανά τον κόσμο, όπως στην περιοχή Mount Amiata της Ιταλίας (μονή εκτόνωση), στο πεδίο Hellisheidi της Ισλανδίας (διπλή εκτόνωση), στο Kizildere της Τουρκίας (τριπλή εκτόνωση) (Uihlein, Andreas, 2018) κλπ.



Εικόνα 8: Κύκλος μονής εκτόνωσης διαφασικού νερού-μονή εκτόνωση (www.electricalacademia.com)



Εικόνα 9: Κύκλος διπλής εκτόνωσης διαφασικού ρευστού-διπλή εκτόνωση (www.electricalacademia.com)

2.4 ΔΥΑΔΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ (binary cycle)

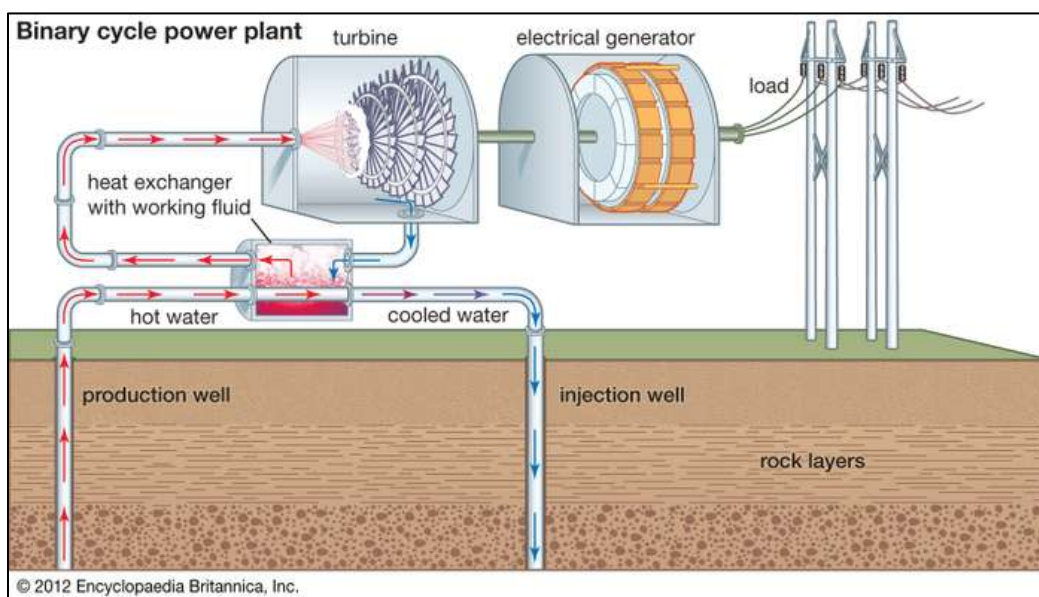
Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με τεχνολογία δυαδικού κύκλου, δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης ρευστών ενδιάμεσης θερμοκρασίας ($85-180^{\circ}\text{C}$), που υπό άλλες συνθήκες δεν θα ήταν κατάλληλα για ηλεκτροπαραγωγή.

Η βασική διαφορά με τις δύο μεθόδους που περιγράφηκαν παραπάνω, είναι πως τα γεωθερμικά ρευστά δεν έρχονται σε άμεση επαφή με τον στρόβιλο που τροφοδοτεί την ηλεκτρική γεννήτρια, αλλά χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση ενός δευτερεύοντος ρευστού (εργαζόμενου μέσου) με σημαντικά χαμηλότερο σημείο ζέσεως, οι ατμοί του οποίου (που βρίσκονται σε υψηλή πίεση) κινούν τον ατμοστρόβιλο της μονάδας (Εικόνα

10). Πρόκειται για ένα απολύτως «κλειστό» σύστημα, όπου δεν υπάρχει καμία διαφυγή αερίων στην ατμόσφαιρα και δεν παρατηρούνται παρά ελάχιστα έως καθόλου προβλήματα διαβρώσεων ή επικαθίσεων στις εγκαταστάσεις της μονάδας, αφού το γεωθερμικό ρευστό επανεισάγεται κατευθείαν στον ταμιευτήρα.

Η εναλλαγή θερμότητας επιτελείται μέσα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου οδηγούνται τα γεωθερμικά ρευστά αφού ανέλθουν στην επιφάνεια. Μετά τη χρήση τους στον αμοστρόβιλο, οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται σε συμπυκνωτή, συμπιέζονται, υγροποιούνται και επιστρέφουν στον εναλλάκτη. Από την άλλη, το γεωθερμικό ρευστό, μετά τον εναλλάκτη επανεισάγεται μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων στον ταμιευτήρα, είτε απευθείας ή αφού πρώτα χρησιμοποιηθεί και σε άλλες, άμεσες εφαρμογές με μικρότερες απαιτήσεις σε θερμικά φορτία.

Ο δυαδικός κύκλος, συχνά χρησιμοποιείται συνδυαστικά σε ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες με τον κύκλο εκτόνωσης διφασικού ρευστού (flash-binary power plant) (Parada,2013).



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μονάδας δυαδικού κύκλου (www.britannica.com)

Η πρώτη μονάδα δυαδικού κύκλου τέθηκε στη λειτουργία στην πόλη Petropavlovsk της Ρωσίας το 1967, ενώ στην Αμερική οι πρώτες μονάδες που χρησιμοποίησαν αυτή τη μέθοδο, λειτούργησαν στις αρχές τις δεκαετίας του 1980 (www.electricalacademia.com).

Στην Ευρώπη, γεωθερμικές μονάδες δυαδικού κύκλου, συναντώνται σε πολλές χώρες, όπως στην Τουρκία, την Αυστρία, την Κροατία, την Γερμανία και την Πορτογαλία(Uihlein, 2018),ενώ σύμφωνα με την πιο πρόσφατη (Ιούνιος 2020) έκθεση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Γεωθερμίας, όλες οι νέες μονάδες που κατασκευάστηκαν

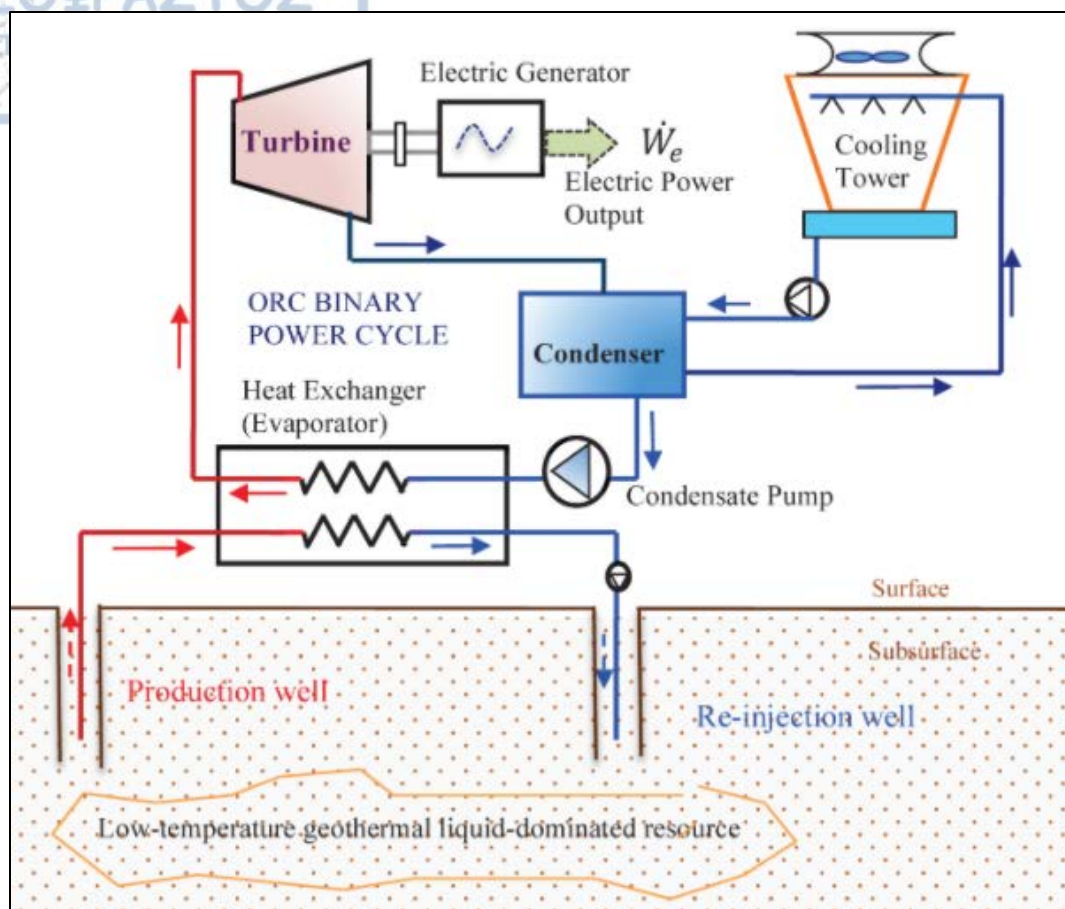


πρόσφατα ή βρίσκονται υπό κατασκευή στην Ευρώπη και την Τουρκία, χρησιμοποιούν δυαδικό κύκλο (EGEC-Geothermal Market Report, 2020).

Οι βασικοί τύποι δυαδικού κύκλου είναι δύο: ο κύκλος οργανικού ρευστού Rankine (ORC-Organic Rankine Cycle) και ο κύκλος Kalina.

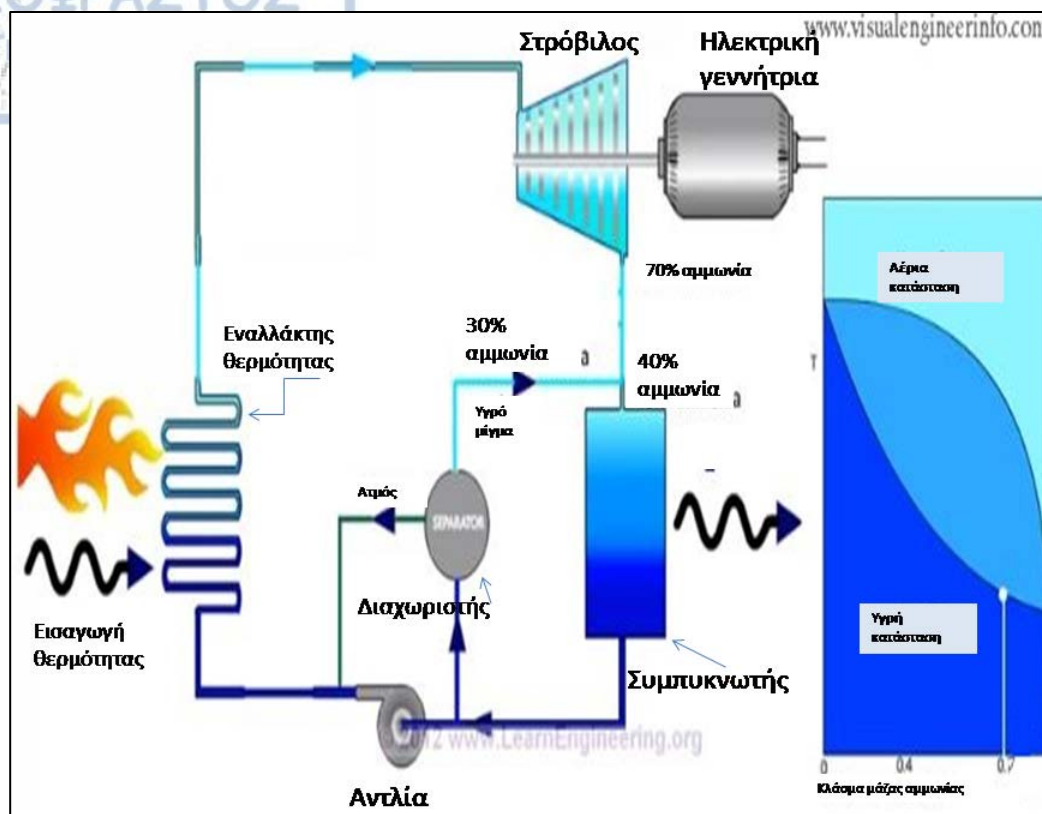
Η διάταξη και το μοντέλο λειτουργίας κάθε δυαδικού κύκλου (ORC ή Kalina), έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και υπάρχουν πολλές παραλλαγές, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, δηλαδή κατά κύριο λόγο τη θερμοκρασία και την πίεση των γεωθερμικών ρευστών, τις απαιτήσεις σε θερμικά φορτία κλπ.

Στον οργανικό κύκλο Rankine, ως δευτερεύοντα ρευστά συνήθως χρησιμοποιούνται οργανικές ενώσεις (π.χ. ισοπεντάνιο, ισοβουτάνιο) αλλά και αμμωνία. Η χρήση του, σε γεωθερμικές μονάδες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο του δυαδικού κύκλου (Εικόνα 11), δοκιμάστηκε για πρώτη φορά από την ORMAT στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Hijriawan et al., 2019). Το 2016 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς με τη χρήση του οργανικού κύκλου Rankine ήταν 2701MW παγκοσμίως (Tartière et al., 2017).



Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση του κύκλου Rankine σε γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής (www.intechopen.com)

Ο κύκλος Kalina (Εικόνα 12), ο οποίος αποτελεί μετεξέλιξη του ORC (Λώλος, 2010), αναπτύχθηκε πειραματικά για πρώτη φορά, από τον Alexander Kalina και χρησιμοποιεί ως δευτερεύον ρευστό (εργαζόμενο μέσο) ένα διμερές μίγμα δύο υγρών με διαφορετικά σημεία βρασμού, η σύσταση του οποίου μεταβάλλεται σε διάφορα σημεία του κύκλου, σε αντίθεση με τον κύκλο Rankine που χρησιμοποιεί καθαρές ουσίες ή μίγμα σταθερής σύστασης (Λώλος, 2010). Η αμμωνία και το νερό είναι τα δύο πιο κοινά υγρά που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή.



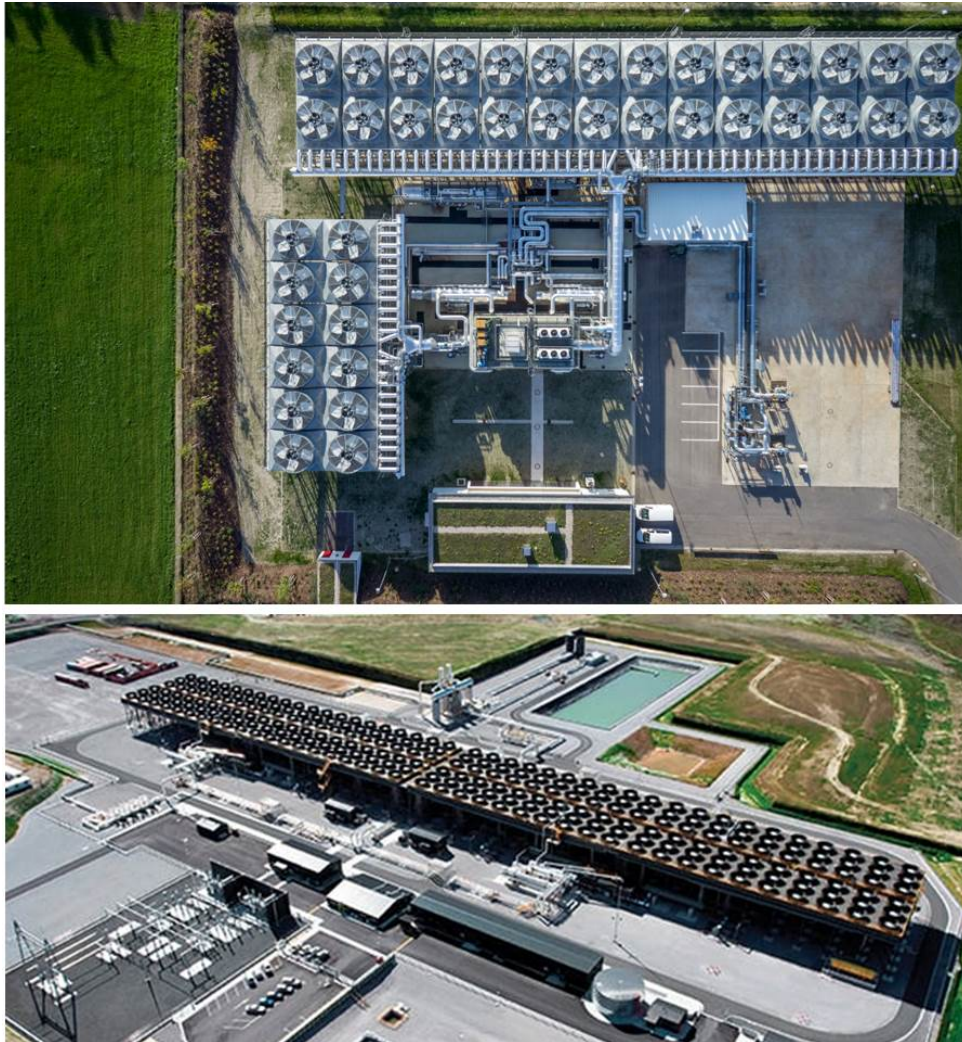
Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση του κύκλου Kalina (www.visualengineerinfo.com)

Οι πρώτες επιστημονικές δημοσιεύσεις για τον κύκλο Kalina έγιναν τη δεκαετία του 1980 (Kalina, 1984; Kalina & Liebowitz, 1987). Η πρώτη εμπορική εφαρμογή του για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε το 2000 στο πεδίο της πόλης Husavíktur στην Ισλανδία (Λώλος, 2010). Στην εγκατάσταση αυτή χρησιμοποιήθηκε νερό 121°C , για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 2 MW, που κάλυπτε το 70-80% των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια των κατοίκων της πόλης (2500 κάτοικοι).

Γεωθερμικές μονάδες που χρησιμοποιούν ή χρησιμοποίησαν στο παρελθόν κύκλο Kalina, υπάρχουν στις ΗΠΑ, στην Ισλανδία, στη Γερμανία, Ιαπωνία, Κίνα, Τουρκία κλπ (Petrone, 2014).

Σε σχέση με τον κύκλο Rankine, ο κύκλος Kalina είναι πιο περίπλοκος στη διάταξή του, όμως έχει μεγαλύτερη απόδοση (Rashid, 2016), ιδίως για γεωθερμικά ρευστά γύρω στους 150°C (Desideri & Bidini, 1997). Η υψηλότερη απόδοσή του κυμαίνεται περίπου μεταξύ 20 και 50% συγκριτικά με τον OCR κύκλο (Petrone, 2014), αυτό όμως εξαρτάται εν πολλοίς από τις τοπικές συνθήκες και το μέγεθος της μονάδας.

Τα δυαδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής, ανεξαρτήτως τύπου, εξαιτίας της μικρής δυναμικότητά τους (έως λίγα MWe), συναντώνται κατά κύριο λόγο ως αρθρωτές μονάδες που τοποθετούνται σε συστοιχία (Εικόνα 13).



Εικόνα 13:Συστοιχία αρθρωτών ORC μονάδων στο Μόναχο (πάνω), εγκατεστημένης ισχύος 5.6 Mwe (www.bloomberg.com), και στη Νέα Ζηλανδία (κάτω)-82Mwe (www.powermag.com)

Οι μονάδες που χρησιμοποιούν δυαδικό κύκλο παρουσιάζουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα, έναντι των άλλων τεχνολογιών:

- (i) δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης γεωθερμικών ρευστών χαμηλότερων θερμοκρασιών, άρα πεδίων μέσης ενθαλπίας, τα οποία είναι αριθμητικά περισσότερα σε σχέση με τα πεδία υψηλής ενθαλπίας, και
- (ii) πρόκειται για ένα απολύτως κλειστό κύκλωμα, αφού το γεωθερμικό και το δευτερεύον ρευστό δεν έρχονται σε επαφή μέσα στον εναλλάκτη, μηδενίζοντας (ή ελαχιστοποιώντας) τις εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα, ενώ ταυτόχρονα

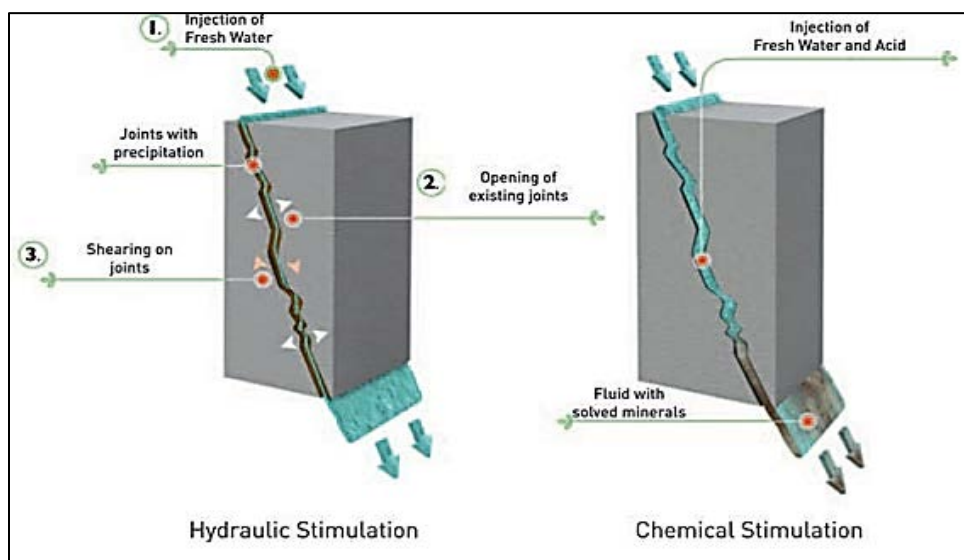
περιορίζεται σημαντικά η πιθανότητα διάβρωσης ή επικαθίσεων, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται γεωθερμικά ρευστά με σημαντική περιεκτικότητα σε μη συμπυκνώσιμα αέρια και διαβρωτικά συστατικά.

2.5 ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Enhanced Geothermal Systems)

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα τεχνολογικά επιτεύγματα στον τομέα της γεωθερμίας παρουσίασαν σημαντική πρόοδο, επεκτείνοντας το φάσμα των πιθανών πόρων που δύνανται να αξιοποιηθούν για γεωθερμικές χρήσεις.

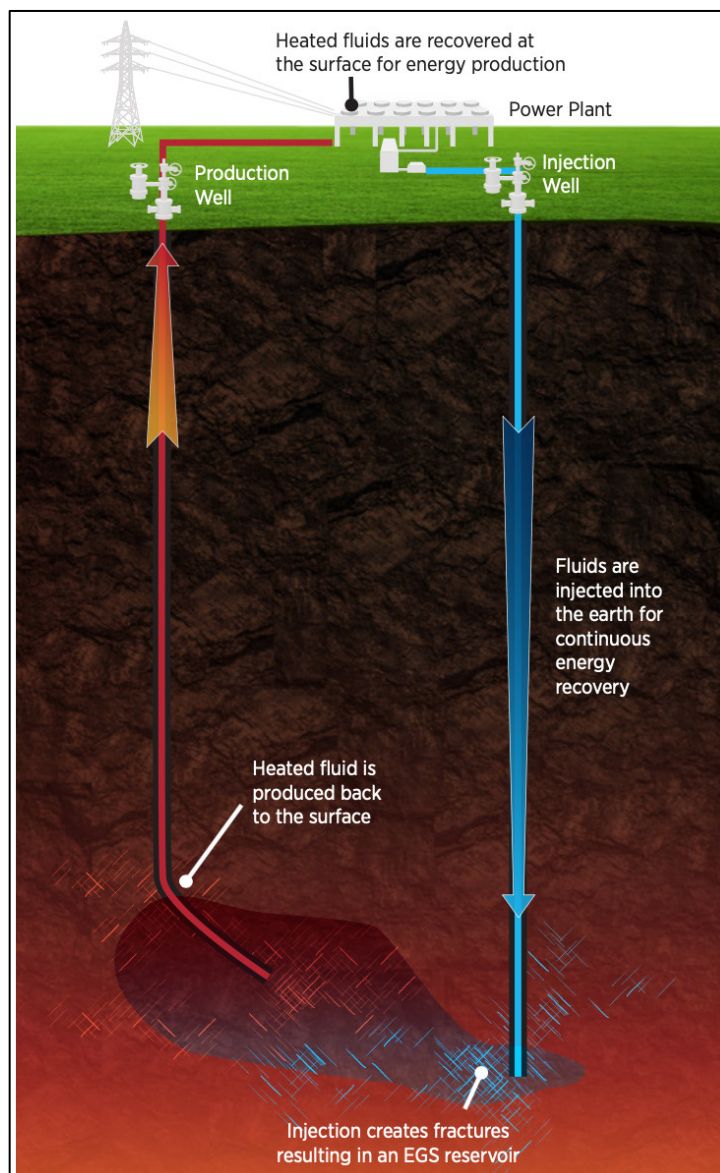
Μέχρι σχετικά πρόσφατα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος αξιοποιούνταν μόνο οι υδροθερμικοί πόροι, δηλαδή τα γεωθερμικά συστήματα με ταμιευτήρες κορεσμένους σε νερό υψηλής θερμοκρασίας ή ατμό (Goldstein et al., 2011). Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της γήινης θερμότητας, βρίσκεται αποθηκευμένο μέσα σε ξηρά και αδιαπέραστα ή ημιπερατά (Hot Dry Rocks-HDR) πετρώματα, όπως γρανίτες, ψαμμίτες κλπ.

Η εκμετάλλευση της θερμότητας αυτής κατέστη δυνατή με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των **Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων-EGS** (Bronicki, 2016), η οποία στοχεύει στη δημιουργία τεχνητών ταμιευτήρων θερμού νερού. Αυτό επιτελείται μέσω της δημιουργίας (ή και ενίσχυσης) της περατότητας των «ξηρών» και θερμών πετρωμάτων που συνήθως αναπτύσσονται σε μεγάλα βάθη (>1,5km) κάτω από την επιφάνεια της γης, με διάφορες τεχνικές διέγερσης, όπως είναι η υδραυλική ή η χημική θραύση (Εικόνα 14) (Goldstein et al., 2011).



Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση της υδραυλικής (αριστερά) και της χημικής (δεξιά) διέγερσης για την αύξηση της περατότητας πετρωμάτων στα EGS (Koelbel&Genter, 2017)

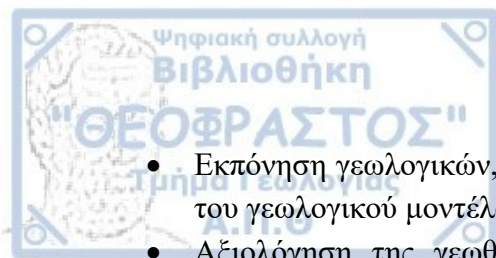
Η απόληψη της θερμότητάς τους επιτελείται μέσω εισπίεσης νερού από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων εισαγωγής και της ανάκτησής του, σε αυξημένη πλέον θερμοκρασία, μέσω παραγωγικών γεωτρήσεων (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων(www.vox.com)

Τα βασικά στάδια δημιουργίας και λειτουργίας ενός βελτιωμένου γεωθερμικού συστήματος (EGS) μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (US Department of Energy, 2012; Olasolo et al., 2016):

1: Εύρεση, ταυτοποίηση και χαρακτηρισμός της κατάλληλης θέσης



- Εκπόνηση γεωλογικών, γεωφυσικών και λοιπών ερευνών με στόχο την ανάπτυξη του γεωλογικού μοντέλου της πιθανής θέσης.
- Αξιολόγηση της γεωθερμικής βαθμίδας, της περατότητας, των τάσεων που επικρατούν στο βάθος, των μηχανικών ιδιοτήτων της βραχώμαζας και διερεύνηση της ύπαρξης ή όχι ρευστών μέσα στο υπό εξέταση πέτρωμα.
- Διερεύνηση της ύπαρξης (ή όχι) των κατάλληλων χαρακτηριστικών για τη δημιουργία ενός τεχνητού ταμιευτήρα.

2: Δημιουργία του τεχνητού γεωθερμικού ταμιευτήρα

- Διάνοιξη της γεώτρησης εισαγωγής (injection well) μέσα στο θερμό ξηρό ή χαμηλής περατότητας πέτρωμα.
- Εισπίεση νερού κατάλληλης πίεσης και θερμοκρασίας στο επιθυμητό βάθος, ώστε να προκληθεί η δημιουργία ενός δικτύου διαρρήξεων μέσα στο πέτρωμα. Η διαδικασία αυτή, συνεχίζεται μέχρι τη δημιουργία κατάλληλου όγκου διαρρηγμένου πετρώματος και τελικά του τεχνητού ταμιευτήρα με τις επιθυμητές ιδιότητες (παροχή, θερμοκρασία, όγκος, βιωσιμότητα).
- Κατασκευή και λειτουργία μιας παραγωγικής γεώτρησης (production well) που διαπερνά το δίκτυο διαρρήξεων που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο.

Μέσω του κλειστού συστήματος κυκλοφορίας (γεώτρηση εισαγωγής→κυκλοφορία μέσα στον τεχνητό ταμιευτήρα→γεώτρηση επανεισαγωγής), το νερό κινείται μέσα στον «βελτιωμένο» τεχνητό ταμιευτήρα, απορροφώντας τη θερμότητα του περιβάλλοντος πετρώματος, η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται στην επιφάνεια μέσω της παραγωγικής γεώτρησης.

3: Λειτουργία της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής και συντήρηση του ταμιευτήρα

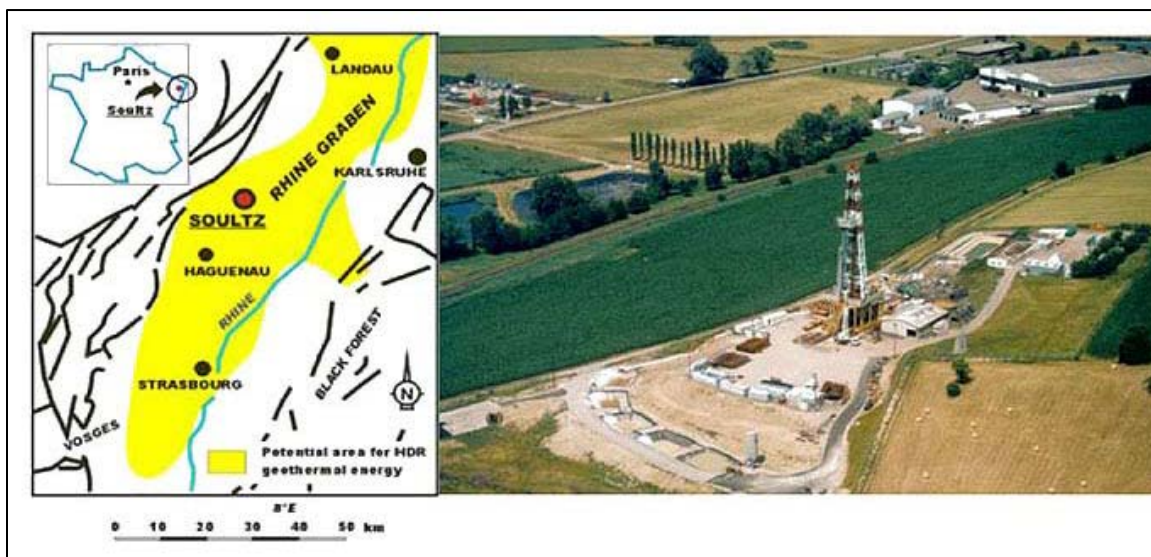
- Το θερμό νερό που φτάνει στην επιφάνεια, είτε εκτονώνεται και μετατρέπεται σε ατμό (flash cycle), είτε θερμαίνει ένα δευτερεύον εργαζόμενο ρευστό το οποίο ατμοποιείται (binary cycle).
- Ο παραγόμενος ατμός περιστρέφει τον στρόβιλο και έτσι παράγεται ηλεκτρισμός.
- Το (γεωθερμικό) νερό επανεισάγεται στον τεχνητό ταμιευτήρα, μέσω της γεώτρησης εισαγωγής, και με τον τρόπο αυτό ολοκληρώνεται ο κύκλος κυκλοφορίας του νερού.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία, έγινε αρχικά γνωστή ως πρόγραμμα «Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων»-HDR. Ως αφετηρία του, θεωρείται η προσπάθεια στις αρχές της δεκαετίας του 1970, μιας ομάδας επιστημόνων από το Los Alamos των ΗΠΑ (Los Alamos National Laboratory-LANL), να δημιουργήσουν μια φυσική δεξαμενή θερμότητας (δηλ. έναν ταμιευτήρα) μέσα σε θερμό πέτρωμα που εκτείνονταν σε βάθος μεταξύ 4 km και 5 km κάτω από την επιφάνεια της γης, με τελικό στόχο να καταστεί εφικτή η ανάκτηση

ποσοτήτων θερμότητας ικανών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Olasolo et al., 2016).

Το πρόγραμμα, ξεκίνησε το 1973, σε συνεργασία με επιστημονικές ομάδες από την Γερμανία και την Ιαπωνία, σε μια περιοχή 40 km δυτικά του Los Alamos. Μετά από πολυετείς πειραματισμούς, το 1984 η παραγωγή ισχύος από το τεχνητό γεωθερμικό σύστημα έφτασε τα 10MW (Olasolo et al., 2016). Το συγκεκριμένο πείραμα, σημείωσε τεράστιας σημασίας επιτυχία, δεδομένου ότι είχε πλέον αναπτυχθεί η κατάλληλη τεχνολογία, αλλά και η τεχνογνωσία, για την εκμετάλλευση της θερμότητας πολύ θερμών τεχνητών «υδροθερμικών» πόρων.

Το πρώτο σημαντικό και εμβληματικό HDR έργο στην Ευρώπη, ξεκίνησε το 1988 στην περιοχή Soultz-sous-Forêts, 50 km βόρεια του Στρασβούργου (Εικόνα 16). Στο πρόγραμμα, συμμετείχαν επιστημονικοί φορείς και ομάδες από τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία, την Ελβετία και το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ ακολούθησε και η σταδιακή ενοποίηση διαφόρων HDR προγραμμάτων ανά την Ευρώπη. Η πρώτη πιλοτική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα λειτούργησε στην περιοχή το 2009, ενώ η εμπορική παραγωγή ξεκίνησε το 2016.



Εικόνα16: Γεωτρήσεις μεγάλου βάθους στην περιοχήSoultz-sous-Forêts (www.deutsche-rohstoffagentur.de)

Κάποιες από τις πιο σημαντικές χρονολογίες-ορόσημα στην ιστορία των HDR/EGS, είναι οι κάτωθι (Tenzler,2001;Breede et al., 2013; Hogarth&Holl, 2017):

- ✓ 1973: Έναρξη των πρώτων πειραμάτων EGS στην περιοχή Fenton Hill (Los Alamos) των ΗΠΑ.
- ✓ 1975: Προετοιμασία για τη λειτουργία της πρώτης EGS πιλοτικής μονάδας στην περιοχή Bad Urach της Γερμανίας.
- ✓ 1977: Έναρξη κατασκευής γεωτρήσεων στο Bad Urach για τη λειτουργία της πρώτης πιλοτικής μονάδας EGS.
- ✓ 1981-2001: Πιλοτικά EGS προγράμματα στην Ιαπωνία (Hijiori και Ogachi).
- ✓ 1986: Έναρξη του κοινού ευρωπαϊκού γερμανικού-γαλλικού προγράμματος EGS στο Soultz-sous-Forêts (Γαλλία) για τη δημιουργία μιας πιλοτικής μονάδας.
- ✓ 1987-1988: Ξεκινά η πρώτη γεώτρηση στην περιοχή Soultz-sous-Forêts, που θα φτάσει σε βάθος 2000 m (θερμοκρασία=140°C).
- ✓ 1996: Έναρξη EGS προγράμματος στη Βασιλεία της Ελβετίας. Ήταν το πρώτο πρόγραμμα EGS σε αστικό περιβάλλον.
- ✓ 2000: Έναρξη προγράμματος EGS στην περιοχή Cooper Basin (Habanero) της Αυστραλίας. Η πιλοτική παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 1 MWe ξεκίνησε το 2013, με στόχο τα 40 Mwe το 2015 και τα 450 Mwe στο τελικό στάδιο εφαρμογής: Ήταν το πρώτο EGS έργο στην Αυστραλία και ένα από τα μεγαλύτερα στον κόσμο, το οποίο όμως σταμάτησε οριστικά, για οικονομικούς λόγους, τον Δεκέμβριο του 2015.
- ✓ 2003: Έναρξη του έργου EGS στο Landau της Γερμανίας. Πρόκειται για την πρώτη EGS γεωθερμική μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.
- ✓ 2006/2007: Διακόπτεται το EGS πρόγραμμα της Βασιλείας, εξαιτίας της αυξημένης δραστηριότητας επαγόμενης σεισμικότητας. Το έργο σταμάτησε οριστικά το 2009.
- ✓ 2009: Έναρξη EGS προγράμματος στο Αννόβερο (Γερμανία), όπου η παραγωγή και επανεισαγωγή νερού θα γίνονται από την ίδια γεώτρηση (single-well concept). Έναρξη προγράμματος EGS στο St. Gallen της Ελβετίας.
- ✓ 2010: Εφαρμογή νέων γεωτρητικών τεχνικών («side-leg»-διχαλωτή γεώτρηση εισαγωγής) στο EGS έργο στο Insheim της Γερμανίας, με σκοπό τη μείωση της επαγόμενης σεισμικότητας.
- ✓ 2016: Εμπορική γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή από την EGS μονάδα στο Soultz-sous-Forêts.
- ✓ 2018: Τερματισμός όλων των εργασιών στην περιοχή Pohang της Νότιας Κορέας λόγω σοβαρών σεισμικών συμβάντων που συνδέθηκαν με την ανάπτυξη EGS.

Όπως και οι υπόλοιπες τεχνολογίες, έτσι και τα Βελτιωμένα Γεωθερμικά Συστήματα, μπορούν να αξιοποιηθούν για την συνεχή παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ισχύος σε 24ωρη βάση. Θεωρητικά, σε αντίθεση με τα υδροθερμικά συστήματα, η τεχνολογία των EGS, μπορεί να εφαρμοστεί οπουδήποτε στον κόσμο. Υπάρχουν όμως σοβαρές επιφυλάξεις σχετικά με την οικονομικότητα αυτών των εγχειρημάτων, που εν πολλοίς

εξαρτάται από το βάθος των γεωτρήσεων, τις θερμοκρασίες και τη διαθέσιμη αγορά ενέργειας.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό ζήτημα που έχει προκύψει και συνδέεται με τη λειτουργία των EGS, είναι η αύξηση της σεισμικότητας σε κάποιες περιοχές (Charléty et al., 2007; Cuenot et al., 2008; H  ring et al., 2008; Schmittbuhl et al., 2014; Buijze et al., 2019). Υπάρχουν αρκετές καταγεγραμμένες περιπτώσεις, με πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτές της Βασιλείας (Ελβετία) και της Pohang (Νότια Κορέα), όπου καταγράφηκαν σεισμοί μεγ  θους $M_L=3,4$ (2006) και $M_L=5,5$ (2017), αντίστοιχα, και οι οποίοι συνδέθηκαν με τη λειτουργία   ργων EGS. Στην Pohang, ο σεισμός προκάλεσε τραυματισμούς και υλικές ζημι  ς που ξεπ  ρασαν τα 75 εκατομμ  ρια δολ  ρια. Στη Βασιλεία, η   ξηση της σεισμικότητας προκάλεσε μ  νο υλικ  ς ζημι  ς, τ  σο στο αστικό περιβάλλον   σο και στις εγκαταστάσεις του   ργου. Και στις δ  ο αυτές περιπτώσεις, οι εργασίες και τα   ργα διακόπηκαν οριστικά. Σημει  νεται β  βαια,   τι η ανάπτυξη των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων δεν συνδέονται πάντα με   ξηση της σεισμικότητας στις περιοχές του αναπτ  σσονται, καθ  ς αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες,   πως το βάθος των γεωτρήσεων, το   δος του γεωλογικού υποβάθρου και των διατρηθέντων σχηματισμών, η   δη υπάρχουσα σεισμικότητα της περιοχής, η πίεση επανεισαγωγής κλπ (Buijze et al., 2019). Σε κάθε περίπτωση πάντως, η εξ  λειψη    η μείωση του κινδ  νου της επαγ  μενης σεισμικότητας αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη των EGS και τη μετάβασή τους από την πιλοτική στη βιομηχανική εφαρμογή.

Οι δυνατότητες που μπορεί να προκύψουν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων είναι τεράστιες. Με βάση μια πιθανότητα της τάξεως του 85%, από αρκετούς ερευνητές θεωρείται πως η συνολική εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς με χρήση των EGS θα   χει φτάσει τα 70 GWe   ως το 2050 (Lu, 2018).

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται στοιχεία για τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης και της Τουρκίας. Αρχικά, γίνεται σύντομη ιστορική αναδρομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία παγκοσμίως, ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία για την Ευρώπη. Έμφαση δίνεται στο γεωθερμικό πεδίο του Larderello (Ιταλία), εφόσον αποτελεί την πρώτη περιοχή όπου έγινε αξιοποίηση της γεωθερμίας για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ αναλύονται και τα σημαντικά EGS προγράμματα που βρίσκονται σε εξέλιξη σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες. Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 17), απεικονίζεται η γεωγραφική εξάπλωση των περιοχών όπου πραγματοποιείται γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή.



Εικόνα 16: Περιοχές γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής ανά τον κόσμο (www.thinkgeoenergy.com)

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή ξεκίνησε πειραματικά στην Ιταλία (γεωθερμικό πεδίο Larderello) το 1904 από τον Ginori Conti. Η πρώτη εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, κατασκευάστηκε το 1913 στην ίδια περιοχή (Εικόνα 18) και είχε ισχύ 250 kW_e (Lund, 1999a). Οι ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες χρησιμοποιούν την τεχνολογία του ξηρού ατμού (dry steam plants) (Lund, 2004).

Η πρώτη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα εκτός Ευρώπης λειτούργησε το 1958 στο Wairakei της Νέας Ζηλανδίας (Εικόνα 19) (Lund, 1999a). Το ομώνυμο γεωθερμικό πεδίο, σε αντίθεση με αυτό του Larderello, δεν παράγει ξηρό ατμό, αλλά διφασικό μίγμα ατμού και νερού. Για το λόγο αυτό, κατέστη αναγκαία η ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνολογίας που θα επέτρεπε την παραγωγή ηλεκτρισμού από διφασικά ρευστά υψηλής

θερμοκρασίας. Η γεωθερμική μονάδα στο Wairakei ήταν η πρώτη παγκοσμίως που λειτούργησε με την τεχνολογία του κύκλου εκτόνωσης διαφασικού ρευστού (flash steam) (Lund, 2004).



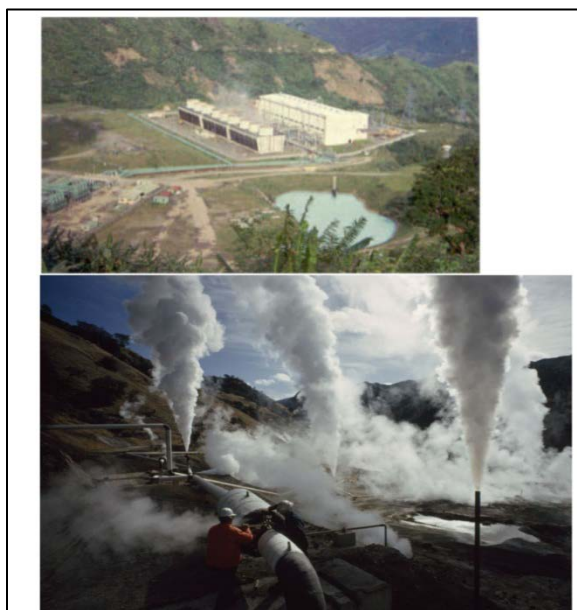
Εικόνα 17: Κατασκευή των πρώτων γεωθερμικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων στο πεδίο Larderello, Ιταλία(www.enel.it)



Εικόνα 18: Πάνω: γεωθερμικό πεδίο Wairakei, Νέα Ζηλανδία. Κάτω: γεώτρηση στο ίδιο πεδίο τη δεκαετία του 1950 (Lund,2004)

Το 1959, κατασκευάστηκε η πρώτη εμπορική γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής της αμερικάνικης ηπείρου, στο γεωθερμικό πεδίο ξηρού ατμού Pathé του κεντρικού Μεξικού, με εγκατεστημένη ισχύ 3.5 MW. Η μονάδα λειτούργησε ως το 1972, οπότε εγκαταλείφθηκε οριστικά εξαιτίας προβλημάτων παραγωγής που προέκυψαν λόγω ανεπαρκών ποσοτήτων ατμού (Lund, 2004).

Κατά την ίδια περίπου χρονική περίοδο, η εταιρεία Pacific Gas & Electric (PG&E) της Βόρειας Καλιφόρνιας, υπέγραψε σύμβαση για την αγορά ατμού από την επιχείρηση Magma-Thermal (Lund, 2004). Αυτή, ήταν και η πρώτη εμπορική συμφωνία για παραγωγή γεωθερμικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ η πρώτη μονάδα στο συγκεκριμένο πεδίο λειτούργησε το 1960 (Εικόνα 20).



Εικόνα 19: Γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στο πεδίο Geysers στην Καλιφόρνια (Lund, 2004; www.nationalgeographic.org)

Στη συνέχεια, ακολούθησαν και άλλες χώρες με κατάλληλους φυσικούς πόρους που ανέπτυξαν την ηλεκτροπαραγωγή με χρήση της γεωθερμίας, όπως η Ιαπωνία, η Ισλανδία, η Ρωσία κ.α. (Lund, 2004).

Με την πάροδο του χρόνου, οι μονάδες δυαδικού κύκλου, κυρίως ORC, άρχισαν να πληθαίνουν, καθώς με την τεχνολογία αυτή παρέχεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης γεωθερμικών ρευστών χαμηλότερης θερμοκρασίας. Επειδή σε κάποιες περιπτώσεις, η απόδοση των εν λόγω μονάδων είναι συγκριτικά χαμηλή και τα οικονομικά οφέλη σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες αμφισβητήσιμα, η λειτουργία τους πολλές φορές συνδυάζεται με άλλες εφαρμογές με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις, όπως τα συστήματα τηλεθέρμανσης. Τέτοια παραδείγματα συναντώνται και στην Ευρώπη από τη

δεκαετία του 2000, όπως στη Γερμανία (2003) και στην Αυστρία (2000) (Lund, 2004; Quick et al., 2010).

Η τεχνολογία που φαίνεται να είναι η πιο αποδοτική παγκοσμίως από άποψη παραγόμενης ισχύος, είναι η εκτόνωσης διαφασικού ρευστού (flash steam), που υπερτερεί στην Ισλανδία. Παρόλα αυτά, λόγω γεωλογικών/γεωθερμικών συνθηκών, στην Ευρώπη (Πορτογαλία, Γερμανία, Γαλλία κλπ) αλλά και στη Τουρκία, χρησιμοποιείται κυρίως ο δυαδικός κύκλος. Στην Ιταλία, η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή επιτυγχάνεται με τη μέθοδο του ξηρού ατμού (Bertani, 2015; Uihlein, 2018; EGEC, 2020; Hutterer, 2020).

Στις ΗΠΑ, την Ισλανδία, τη Μεγάλη Βρετανία, τη Γερμανία, την Κίνα, την Πορτογαλία και την Ολλανδία (Hutterer, 2020) υπάρχουν σε εξέλιξη πολλά προγράμματα EGS, τα οποία συνδέονται με μονάδες ORC (Γαλλία, Γερμανία).

Στον Πίνακα 1, παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν τη γεωθερμική παραγωγή κατά τα πρώτα 50 χρόνια εμπορικής παραγωγής (1940-1990) (Lund, 1999b; Soltani et al., 2019), ενώ στον Πίνακα 2 απεικονίζεται ο ρυθμός ανάπτυξης της παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση της γεωθερμίας από το 1940 μέχρι και σήμερα, καθώς υπάρχει και πρόβλεψη για το 2025 (Lund, 1999b; Soltani et al., 2019; Hutterer, 2020).

Πίνακας 1: Παγκόσμια γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή από το 1940 έως το 1990
(πηγές: Lund, 1999b; Soltani et al., 2019)

ΕΤΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MWe)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΧΩΡΕΣ
1940	130	1	Ιταλία
1950	293	1	Ιταλία
1960	386	4	+ Νέα Ζηλανδία, Μεξικό, ΗΠΑ
1970	678	6	+ Ιαπωνία, Ε. Σ. Σ. Δ
1975	1310	8	+ Ισλανδία, Ελ Σαλβαδόρ
1980	2110	14	+ Κίνα, Ινδονησία, Κένυα, Τουρκία, Φιλιππίνες, Πορτογαλία
1985	4764	17	+ Ελλάδα, Γαλλία, Νικαράγουα
1990	5832	20	+ Ταϊλάνδη, Ταϊβάν, Αργεντινή, Αυστραλία - Ελλάδα

Πίνακας 2: Ρυθμός ανάπτυξης της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος με χρήση της γεωθερμίας από το 1940 έως το 2020 και πρόβλεψη για το 2025(Lund, 1999b; Soltani et al., 2019; Hutterer,2020)

ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ(%)
1940-1960	5.6
1960-1970	5.8
1970-1980	12
1980-1990	10.7
1990-2000	3.2
2000-2005	5
2005-2010	15.3
2010-2015	25.7
2015-2020	25.7
2020-2025(Πρόβλεψη)	19

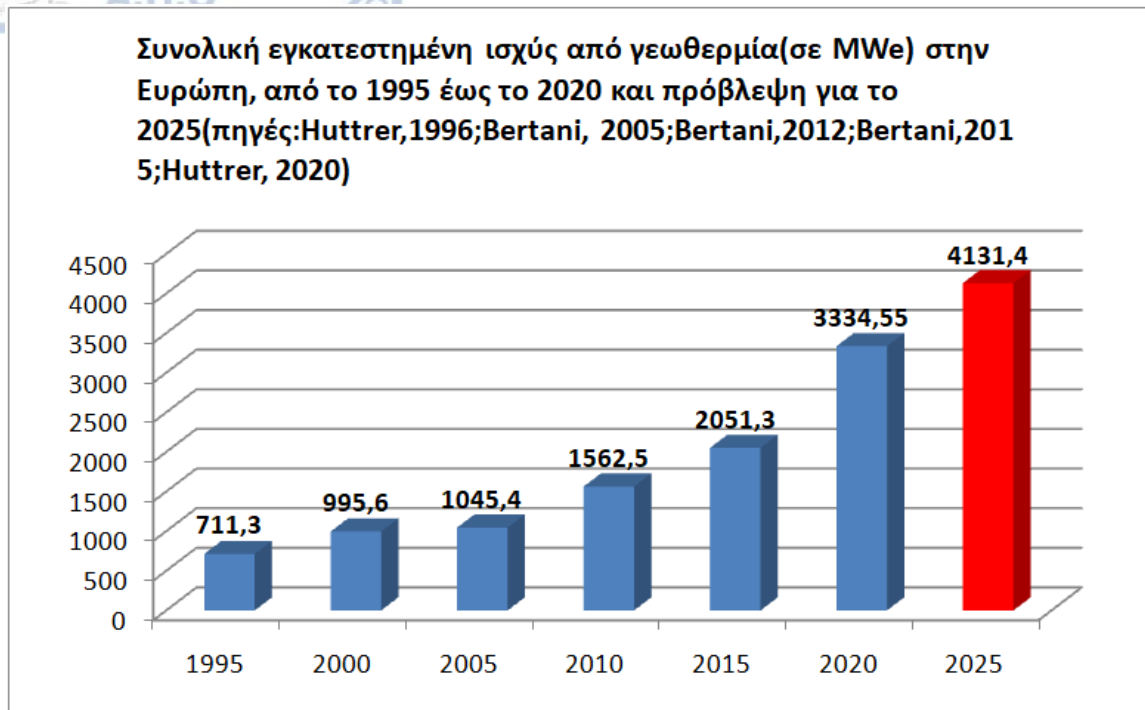
Σύμφωνα με τον Πίνακα 3, τα τελευταία 20 χρόνια, η εγκατεστημένη ισχύς σχεδόν διπλασιάστηκε, ενώ έως το 2025 αναμένεται να αυξηθεί κατά σχεδόν 3.4GWe (Bertani, 2015;Hutterer, 2020).

Πίνακας 3: Συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς με χρήση της γεωθερμίας σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1990 ως το 2020 και πρόβλεψη για το 2025 (Bertani, 2015;Hutterer, 2020)

ΕΤΟΣ	ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ(MWe)
1990	5834
1995	6832
2000	7972
2005	8933
2010	10897
2015	12283
2020	15950
Πρόγνωση για το 2025	19361

Η αυξητική τάση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία αφορά και τον Ευρωπαϊκό χώρο (Πίνακας 4). Το 2015, στις ευρωπαϊκές χώρες, η εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε σε 2.13 GWe (Bertani, 2015), ενώ κατά την πενταετία 2015-2020 αυξήθηκε κατά περίπου 1.3 GWe.

Πίνακας 4: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς από γεωθερμία στην Ευρώπη για το διάστημα 1995-2020 και πρόβλεψη για το 2025 (Huttrer,1996;Bertani,2005; Bertani,2012; Bertani,2015; Huttrer, 2020)



Οι 10 χώρες με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ (Πίνακας 5), είναι: (1) οι Ηνωμένες Πολιτείες, (2) η Ινδονησία, (3) οι Φιλιππίνες, (4) η Τουρκία, (5) η Κένυα, (6) το Μεξικό, (7) η Νέα Ζηλανδία, (8) η Ιταλία, (9) η Ιαπωνία και (10) η Ισλανδία (Huttrer, 2020).

Πίνακας 5: Οι 10 χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή για το έτος 2020 (Huttrer,2020)

Country	MWe Installed in 2020		Country	MWe Installed in 2020
1. U.S.A	3,700		6. Mexico	1,105
2. Indonesia	2,289		7. New Zealand	1,064
3. Philippines	1,918		8. Italy	916
4. Turkey	1,549		9. Japan	550
5. Kenya	1,193		10. Iceland	755

Η κατάσταση στην Ευρώπη, απεικονίζεται στον Πίνακα 6 και αφορά την περίοδο από το 1995 μέχρι και το 2020. Έως το 2015 οι μεγαλύτεροι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση της γεωθερμίας ήταν η Ιταλία και η Ισλανδία. Ωστόσο, πολύ σημαντική ανάπτυξη του τομέα αυτού παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια στην Τουρκία, καθώς από το 2015



και έπειτα ήταν η χώρα που παρουσίασε την μεγαλύτερη αύξηση εγκατεστημένης ισχύος φτάνοντας τα 1152 MWe (Huttrer, 2020).

Πίνακας 6: Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη (1995 - 2020) και προβλέψεις για το 2025(Huttrer,1996;Bertani,2005; Bertani, 2012; Bertani,2015;Huttrer,2020)

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΑΠΟ ΤΟ 1995 ΕΩΣ ΤΟ 2020 ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ 2025(πηγές:Huttrer,1996;Bertani, 2005; Bertani,2012; Bertani,2015;Huttrer, 2020)							
ΧΩΡΑ	1995(MW)	2000(MW)	2005(MW)	2010(MW)	2015(MW)	2020(MW)	Πρόβλεψη για το 2025(MW)
Αυστρία	0	0	1.2	1.4	1.2	1.25	2.2
Γαλλία	4.2	4.2	15	16	16	17	~25
Γερμανία	0	0	0.2	7.1	27	43	43
Ισλανδία	50	170	202	575	665	755	755
Ιταλία	631.7	785	791	843	916	916	636
Πορτογαλία	5	16	16	29	29	33	43
Τουρκία	20.4	20.4	20	91	397	1549	2600
Ρουμανία	0	0	0	0	0.1	-	-
Βέλγιο	0	0	0	0	0	0.8	0.2
Κροατία	0	0	0	0	0	16.5	24
Ουγγαρία	0	0	0	0	0	3	3
Σύνολο(MW)	711.3	995.6	1045.4	1562.5	2051.3	3334.55	4131.4

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6, 11 ευρωπαϊκές χώρες(συμπεριλαμβανομένης της Τουρκίας), παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από γεωθερμία (Gavriliuc et al., 2019;EGEC, 2020).

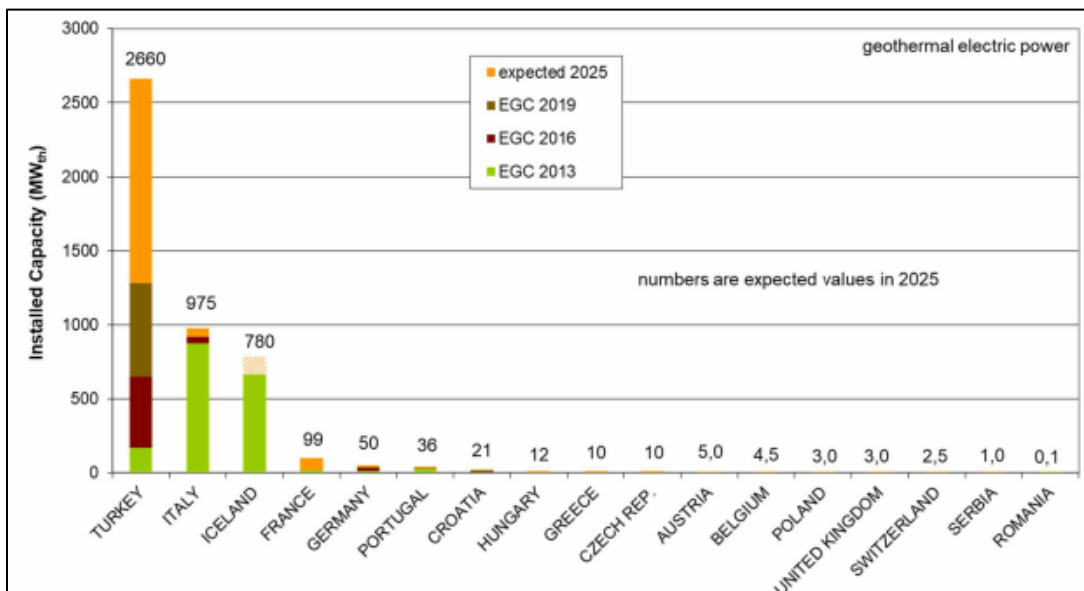
Κατά το διάστημα 2015-2020, πέντε χώρες παγκοσμίως παρήγαγαν γεωθερμική ενέργεια για πρώτη φορά, εκ των οποίων οι τρεις είναι ευρωπαϊκές: Βέλγιο (0.8 MWe), Κροατία (16.5 MWe) και Ουγγαρία (3 MWe) (Huttrer, 2020).

3.2ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

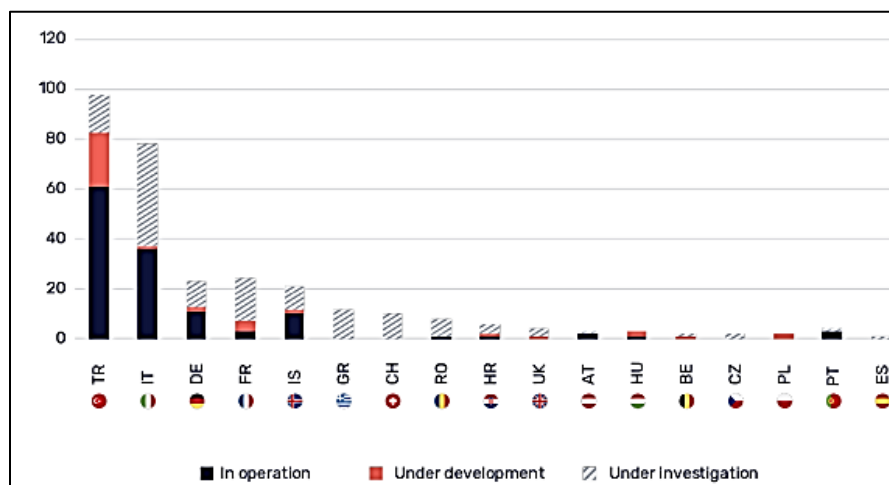
Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ και βέβαια από γεωθερμία, απασχολεί όλο και περισσότερο τις ευρωπαϊκές χώρες, αφού αυξάνεται συνεχώς ο αριθμός αυτών που την εντάσσουν στο εθνικό τους πλάνο για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.

Η κατάσταση στην Ευρώπη από το 2013 έως το 2019 παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 21 (Sanner,2019). Με βάση τις προβλέψεις των ίδιων των κρατών, όπως παρουσιάστηκαν στο Ευρωπαϊκό (2019) και στο Παγκόσμιο Συνέδριο Γεωθερμίας (2020), ως το 2025 συνολικά 18 ευρωπαϊκές χώρες θα εφαρμόζουν τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, αφού στην υπάρχουσα αγορά προβλέπεται να συμμετέχουν και η Τσεχία, η Πολωνία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελβετία, η Σερβία, η Ισπανία, η Σλοβακία

και η Ελλάδα. Η εξέλιξη αυτή αφορά τόσο στη λειτουργία νέων μονάδων, όσο και γενικά στην έναρξη των γεωθερμικών εργασιών με σκοπό την ηλεκτροπαραγωγή (Εικόνα 22) (EGC, 2020).



Εικόνα 20: Εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς για ηλεκτροπαραγωγή στην Ευρώπη (Sanner,2019)



Εικόνα21: Γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ανά χώρα στην Ευρώπη σε λειτουργία, υπό κατασκευή και υπό μελέτη (EGEC, 2020)

Στη συνέχεια, δίνονται αναλυτικά στοιχεία για τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στην Ιταλία, τη Γαλλία, την Αυστρία, την Πορτογαλία, την Ουγγαρία, την Κροατία, τη Γερμανία και την Ισλανδία επειδή οι χώρες αυτές έχουν παρουσιάσει την μεγαλύτερη πρόοδο σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ακόμη, στοιχεία θα δοθούν και για την Τουρκία.

3.2.1 Ιταλία

Η Ιταλία ήταν η πρώτη χώρα στον κόσμο που ασχολήθηκε με τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, αξιοποιώντας το πεδίο ξηρού ατμού στο Larderello ήδη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Μέχρι και σήμερα, η Ιταλία αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες δυνάμεις στον τομέα αυτό, καταλαμβάνοντας την όγδοη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο με 36 συνολικά ηλεκτροπαραγωγικές γεωθερμικές μονάδες (Manzella et al., 2019; Uihlein, 2018; EGEC, 2020, Hutterer, 2020). Επιπλέον, μία μονάδα βρίσκεται υπό κατασκευή, ενώ (20) επιπλέον έργα είναι υπό εξέλιξη (EGEC, 2020). Η γεωθερμία, καλύπτει το 2.1% των εθνικών αναγκών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ καλύπτει περισσότερο από το 30% των αναγκών της επαρχίας της Τοσκάνης (Hutterer, 2020).

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμικούς πόρους αναπτύχθηκε σε δύο κύριες φάσεις. Η πρώτη, διήρκησε από το 1930 έως και τα μέσα του 1970 και σχετιζόταν με την αξιοποίηση ενός σχετικά ρηχού ανθρακικού γεωθερμικού ταμιευτήρα, που έφτανε σε βάθος έως και 1000m. Η δεύτερη φάση, αφορά στο διάστημα από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 μέχρι και σήμερα. Κατά τη διάρκεια της, οι βαθιές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, σε συνδυασμό με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών μετά τη χρήση τους στους αβαθείς ταμιευτήρες, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της γεωθερμικής παραγωγής (Cappetti et al., 2010; Manzella et al., 2019).

Όλες οι γεωθερμικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της χώρας βρίσκονται στην Τοσκάνη (κεντρική Ιταλία) και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές Larderello, Travale-Radicondoli και Monte Amiata. Στην τελευταία, υπάρχουν τα γεωθερμικά πεδία Bagnore και Piancastagnaio (Εικόνα 23) (Manzella et al., 2019). Το 2018, μισθώθηκε από την δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού, ENEL Green Power (EGP), μία νέα περιοχή, νοτιοανατολικά του Larderello, κοντά στη λίμνη Boracifero (Lago Boracifero), όπου και κατασκευάστηκε μια νέα γεωθερμική μονάδα. Σε κάποια από τις γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή αυτή, η EGP συντόνισε και υλοποίησε μεταξύ του 2015 και του 2018, ερευνητικό έργο, που είχε ως στόχο τη δοκιμή νέου εξοπλισμού, κατάλληλου για διάτρηση και λειτουργία σε συνθήκες εξαιρετικά υψηλής θερμοκρασίας και αυξημένων πιέσεων (Baccarin et al., 2019).



Εικόνα 22: Περιοχές των γεωθερμικών πεδίων της Ιταλίας, που αξιοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με χρήση της γεωθερμίας (Cappetti et al., 2010)

Στο γεωθερμικό πεδίο του Larderello (Εικόνα 24), έχει ερευνηθεί έκταση περίπου 250 km² και έχουν διανοιχθεί 200 ερευνητικές και παραγωγικές γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις αυτές, παράγουν υπέρθερμο ατμό που βρίσκεται υπό πίεση (2-15 bar), ενώ η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 150°C έως 270°C. Η περιεκτικότητα του ατμού σε μη συμπυκνώσιμα αέρια κυμαίνεται από 1 ως 10% κατά βάρος.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις (22) εν λειτουργία μονάδες των περιοχών Larderello και Boracifero ανέρχεται 595 MWe. Όλες οι μονάδες λειτουργούν με ξηρό ατμό (Uihlein, 2018; Manzella et al., 2019; EGEC, 2020). Στη μονάδα Cornia 2 της περιοχής Lago Boracifero, γίνεται συμπαραγωγή και με βιομάζα (EGEC, 2020).

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, ξεκίνησε να εφαρμόζεται η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα μετά τη χρήση τους στις μονάδες, καθώς και προγράμματα έρευνας σε μεγαλύτερα βάθη, που στόχο είχαν την επίτευξη της βιωσιμότητας του ταμιευτήρα και την αύξηση της παραγωγής ατμού, αντίστοιχα (Cappetti et al., 2010). Οι γεωθερμικοί πόροι που αξιοποιούνται, βρίσκονται μέσα σε έναν σχετικά ρηχό ανθρακικό ταμιευτήρα αλλά και στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο, σε βάθος μεγαλύτερο των 3.000-4.000 m (Bertani et al., 2005; Manzella et al., 2019).



Εικόνα 23: Περιοχή Larderello στην Ιταλία τη δεκαετία του 1950. Στο βάθος φαίνονται οι πύργοι ψύξης μιας γεωθερμικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής (www.thinkgeoenergy.com)

Στο πεδίο Travale-Radicondoli, η έκταση που έχει ερευνηθεί ανέρχεται σε 50 km². Έχουν πραγματοποιηθεί 38 γεωτρήσεις που παράγουν υπέρθερμο ατμό. Η πίεση του ατμού κυμαίνεται από 8 έως 20 bars και η θερμοκρασία του από 190 έως και 250°C. Η κατά βάρος περιεκτικότητα των μη συμπυκνώσιμων αερίων κυμαίνεται από 5 ως 6.5%. Στην περιοχή, λειτουργούν (8) μονάδες ξηρού ατμού και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι 200 MWe (Uihlein, 2018; Manzella et al., 2019; EGEN, 2020). Στην περιοχή αυτή, οι βαθιές ερευνητικές γεωτρήσεις, υπέδειξαν την ύπαρξη περατών στρωμάτων στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο, στα ίδια βάθη και με ίδιες θερμοκρασίες και πιέσεις στον ταμιευτήρα με το πεδίο του Larderello. Έτσι, συμπεραίνεται πως αυτά τα δύο γεωθερμικά πεδία (Larderello και Travale-Radicondoli) αποτελούν μέρη ενός ενιαίου γεωθερμικού συστήματος (Manzella et al., 2019). Σε κάποιες γεωτρήσεις στο Travale-Radicondoli, βρέθηκαν παραγωγικά στρώματα μέσα σε γρανίτη, σε βάθη περίπου 4000 m (Manzella et al., 2019). Η εύρεση αυτών των γεωλογικών στρωμάτων παρείχε νέες προοπτικές για την έρευνα σε μεγάλα βάθη και την ανάπτυξη νέων προγραμμάτων στη συγκεκριμένη περιοχή (Cappetti et al., 2010). Δυστυχώς, η υπερεκμετάλλευση του πεδίου προκάλεσε δραματικές αλλαγές στον ταμιευτήρα και προβλήματα παραγωγής. Για το λόγο αυτό ξεκίνησε πρόγραμμα εντατικών δοκιμών τεχνητού εμπλουτισμού του ταμιευτήρα μέσω επανέγχυσης των ρευστών (Manzella et al., 2019).



Εικόνα 24: Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας Piancastagnaio 4 και 5, στην περιοχή Monte Amiata (Cappetti et al., 2010)

Στην περιοχή Monte Amiata (Εικόνα 25) τα δύο γεωθερμικά πεδία, Bagnore και Piancastagnaio, ερευνήθηκαν αρχικά στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και στις αρχές του 1960. Ο γεωθερμικός ταμιευτήρας ανιχνεύθηκε μέσα σε έναν ρηχό ανθρακικό ταμιευτήρα και περιέχει ξηρό ατμό. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, πραγματοποιήθηκαν βαθιές γεωτρήσεις και στα δύο πεδία με πολύ θετικά αποτελέσματα. Μέσω της έρευνας, αποκαλύφθηκε η παρουσία διερρηγμένων στρωμάτων μέσα στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο, που βρίσκεται κάτω από τον ανθρακικό ταμιευτήρα, σε βάθος από 2500 έως 4000 m. Αυτός ο δεύτερος βαθύτερος ταμιευτήρας, κυριαρχείται από γεωθερμικά ρευστά σε υγρή φάση, τα οποία βρίσκονται υπό πολύ μεγάλη πίεση, γύρω στα 200 bars, έχουν θερμοκρασία 300-350°C και η άντληση γίνεται από βάθος 3000 m (Bertini et al., 2005). Ωστόσο, παρά το τεράστιο γεωθερμικό δυναμικό που έχει αυτός ο ταμιευτήρας, υπάρχουν προβλήματα αποδοχής από τις τοπικές κοινότητες, οι οποίες εμπόδισαν την περαιτέρω ανάπτυξη των υπάρχοντων πεδίων και την ανέγερση νέων μονάδων παραγωγής ενέργειας (Cappetti et al., 2010; Hutterer, 2020). Σήμερα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις (6) εν λειτουργία μονάδες είναι 121 MWe. Οι μονάδες αυτές, χρησιμοποιούν την μέθοδο της εκτόνωσης διαφασικού ρευστού (single flash), εκτός από μία που λειτουργεί με την τεχνολογία του οργανικού κύκλου Rankine (ORC-binary cycle) (Uihlein, 2018; Manzella et al., 2019; EGEN, 2020).

Η διαχείριση του συνόλου των μονάδων γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ιταλία ανήκει στην ENELGP. Ο σταθμός ελέγχου όλων των μονάδων βρίσκεται στο Larderello, απ' όπου γίνεται η ανάλυση ή και διόρθωση των διαφόρων παραμέτρων κάθε μονάδας. Έτσι λοιπόν, εξασφαλίζεται η καλύτερη λειτουργία της κάθε μονάδας, ενώ συγχρόνως μειώνονται αρκετά τα λειτουργικά κόστη τους (Manzella et al., 2019; Cappetti et al., 2010; www.thinkgeoenergy.com).

Η αξιοποίηση της γεωθερμίας για ηλεκτροπαραγωγή, εξαιρείται από τη γενικότερη ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την εκμετάλλευση κάθε είδους φυσικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας. Η ENELGP έχει επενδύσει στην τεχνολογική εξέλιξη με σκοπό την περιβαλλοντική συμμόρφωση των γεωθερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, με αξιοσημείωτη επιτυχία, που επιβεβαιώνεται από τη λήψη των πιστοποιήσεων ISO 14001 και EMAS το 2005 και το 2010, αντίστοιχα. Βασικός άξονας αυτής της προσπάθειας, και στο πλαίσιο μιας στρατηγικής συνεχούς βελτίωσης των συνθηκών ηλεκτροπαραγωγής, ήταν η υιοθέτηση της τεχνολογίας AMIS (Εικόνα 26), που στοχεύει στη μείωση των εκπομπών υδραργύρου και υδρόθειου, προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά των ιταλικών γεωθερμικών μονάδων (Bonciani et al., 2013). Η απομάκρυνση του υδραργύρου επιτυγχάνεται με απορρόφηση από συγκεκριμένους προσροφητικούς παράγοντες, ενώ το υδρόθριο οξειδώνεται καταλυτικά, μετατρέπεται σε SO₂ και στη συνέχεια καθαρίζεται, χρησιμοποιώντας γεωθερμικό νερό από τους πύργους ψύξης. Όλες οι παράμετροι λειτουργίας αυτής της νέας τεχνολογίας, παρακολουθούνται από τον απομακρυσμένο σταθμό στο Larderello (Sabatelli et al., 2009). Η πρώτη εγκατάσταση AMIS ξεκίνησε στις αρχές του 2002 στη περιοχή Mt. Amiata, όπου υπήρχαν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα (Cappetti et al., 2010). Από τον Δεκέμβριο του 2012, λειτουργούν 26 μονάδες AMIS, που απορροφούν το 85% των συνολικών εκπομπών υδρόθειου, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της οσμής (Bonciani et al., 2013).



Εικόνα 25: Μονάδα AMIS στον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής Pianstagnaio 3 στην περιοχή Monte Amiata (Bonciani et al., 2013)

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι η οπτική όχληση από την παρουσία των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων. Στην Ιταλία, το πρόβλημα αυτό μετριάστηκε μέσω

κάποιων αισθητικών παρεμβάσεων στις εγκαταστάσεις, όπως η επιλογή κατάλληλων χρωμάτων, τα οποία καθιστούν δυνατή την εναρμόνιση αυτών με το γύρω τοπίο. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Chiusdino 1, ισχύος 20 MWe, που τέθηκε σε λειτουργία το 2010 και βρίσκεται στην περιοχή Travale-Radicondoli, νοτιοανατολικά του Larderello (Εικόνα 27). Στη μονάδα αυτή, χρησιμοποιήθηκε πράσινο χρώμα για τα κτίρια και τον εξοπλισμό που βρίσκεται έξω από τη μονάδα για να συμβαδίζει με τη βλάστηση.



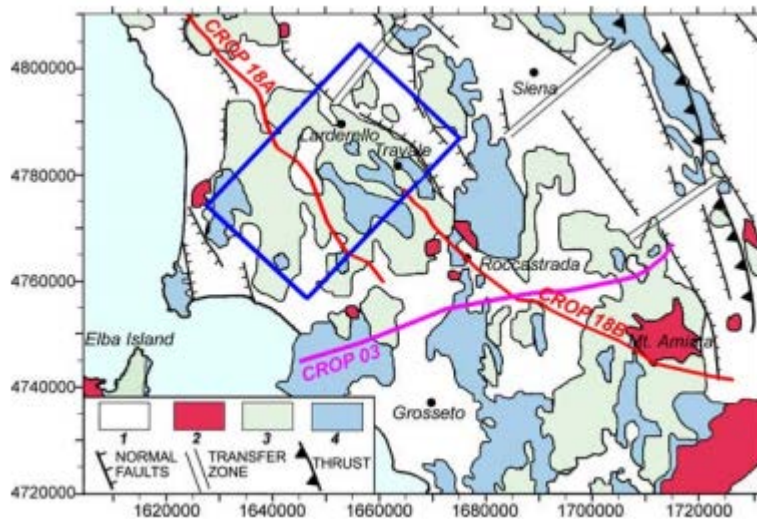
Εικόνα 26: Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής Chiusdino 1 στην περιοχή Travale-Radicondoli της Ιταλίας (Bonciani et al., 2013)

Οι τελευταίες γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάστηκαν στην Ιταλία το 2015. Δαπανήθηκαν 263 εκατομμύρια δολάρια από συμπράξεις με τον ιδιωτικό τομέα κατά το διάστημα 2015-2019 (Huttrer, 2020), για τις εργασίες και την ανάπτυξη του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, ειδικά όσον αφορά τη μείωση των μη συμπυκνώσιμων αερίων. Κατά την ίδια χρονική περίοδο, διανοίχθηκαν 28 γεωτρήσεις στις περιοχές Lardarello και Travale-Radicondoli.

3.2.1.1 Το γεωθερμικό πεδίο Larderello

Το γεωθερμικό πεδίο Larderello, βρίσκεται, όπως προαναφέρθηκε, στην κεντρική Ιταλία, στην περιοχή της Τοσκάνης. Η απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και οι θόλοι μάγματος που υπάρχουν στα ανώτερα τμήματα του μανδύα στη συγκεκριμένη περιοχή, αποτελούν τις πιο σημαντικές και ενεργές τεκτονικές διεργασίες σε όλη την έκταση της Αλπικής-Μεσογειακής ζώνης παραμόρφωσης (deformation area) (Εικόνα 28). Η ηφαιστειο-τεκτονική δραστηριότητα ξεκινά από την περίοδο του Μειόκαινου (Carmignani et al., 1994; Brunet et al., 2000) με ροές μάζας και θερμότητας από τον άνω μανδύα, η οποία σχετίζεται και με την ύπαρξη πιο επιφανειακών θερμικών ανωμαλιών. Όλα τα παραπάνω, τεκμηριώνουν την ύπαρξη ενός μηχανισμού μεταφοράς της

θερμότητας, με κατακόρυφη ροή μάζας, ο οποίος συσσωρεύει μεγάλη ποσότητα γεωθερμικών πόρων σε προσβάσιμα βάθη του άνω φλοιού (Vedova et al., 2008).



Εικόνα 27: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Larderello. Δείχνονται σε αυτόν και οι κύριες τεκτονικές δομές (βλ. 1,2,3,4 στο υπόμνημα) (Vedova et al., 2008)

Στο γεωθερμικό πεδίο του Larderello, η σύσταση του υπέρθερμου ατμού και των γεωθερμικών ρευστών, φαίνεται να συμφωνούν με τη σύσταση του ανώτατου μανδύα στην περιοχή (Magro et al., 2003). Γενικά, θεωρείται πως το πεδίο αποτελεί ένα μεγάλο υδροθερμικό σύστημα που τροφοδοτείται με μετεωρικά νερά, τα οποία θερμαίνονται από μαγματικές εστίες που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη και στη συνέχεια ανέρχονται στον λεπτό ηπειρωτικό φλοιό (Baldi et al., 1993; Vedova et al., 2008).

Δύο τύποι γεωθερμικών ταμιευτήρων αξιοποιούνται στο πεδίο αυτό. Ο πρώτος είναι ο «ρηχός ταμιευτήρας», βάθους 700-1000m, ο οποίος αποτελείται από κατακλαστικά πετρώματα (εβαπορίτες) που τοποθετούνται στη βάση ενός ιζηματογενούς γεωλογικού καλύμματος. Ο δεύτερος, είναι ο «βαθύς ταμιευτήρας», που εντοπίστηκε στο διαρρηγμένο μεταμορφωμένο υπόβαθρο, σε βάθος 2000-4500 m. Ο γεωθερμικός ατμός που βρίσκεται στα περατά στρώματα του μεταμορφωμένου υποβάθρου, έχει θερμοκρασίες που συχνά ξεπερνούν και τους 400°C (Barelli et al., 2000; Vedova et al., 2008).

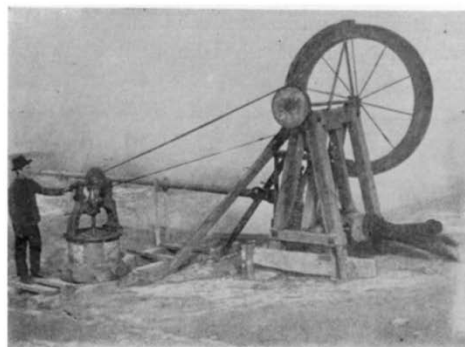
Οι φυσικές εκδηλώσεις θερμότητας της περιοχής, ήταν ήδη γνωστές από τη ρωμαϊκή εποχή, οπότε και το θερμό νερό των πηγών χρησιμοποιούνταν για λουτροθεραπεία (Burgassi, 2012; www.reuk.co.uk). Στο δεύτερο μισό του 18^{ου} αιώνα, ο Giovanni Targioni Tozzetti, μετά από ενδελεχή ανάλυση των πόρων του Larderello, ξεκίνησε τις πρώτες μελέτες σχετικά με την προέλευση των γεωθερμικών φαινομένων (Burgassi, 2012).

Όσον αφορά στη σύγχρονη ιστορία του Larderello, αυτή ξεκινά στις αρχές του περασμένου αιώνα, όταν ο κόμης Francois De Larderel ξεκίνησε τη βιομηχανική εκμετάλλευση του βορικού οξέος που ανακαλύφθηκε στα τέλη του 18^{ου} αιώνα στις περιοχές του πεδίου όπου υπήρχαν φυσικές εκδηλώσεις γεωθερμικού ατμού (Minissale, 1991). Για την εξαγωγή του βορικού οξέος από το γεωθερμικό νερό, απαιτούνταν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, η οποία προερχόταν από την καύση ξύλων. Ο De Larderel, ήθελε να αντικαταστήσει την καύση των ξύλων με τη χρήση των γεωθερμικών ρευστών. Έτσι, εφηύρε ένα κάλυμμα για τις θέσεις συγκέντρωσης πολύ θερμών ρευστών ("covered lagoons"), που λειτουργούσε σε συνδυασμό με ένα σύστημα κυκλοφορίας του ατμού μέσα σε μεμονωμένους σωλήνες, με στόχο τη χρήση του ως πηγή θερμότητας (Εικόνα 29). Ταυτόχρονα, σκέφτηκε τρόπους για το πώς θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει αυτόν τον φυσικό ατμό ως κινητήρια δύναμη, αλλά και πως θα μπορούσε να τον ανακτήσει από το εσωτερικό της γης με τη χρήση γεωτρήσεων (Burgassi, 2012).

Παρόλο που ο De Larderel, ήταν ο πρώτος που μελέτησε τη χρήση του γεωθερμικού ατμού ως κινητήρια δύναμη, δυστυχώς, εκείνη την εποχή, γύρω στο 1836, η τεχνολογία δεν επέτρεπε κάτι τέτοιο. Εξελίξεις στον τομέα αυτό υπήρχαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, στην ίδια περιοχή από τον πρίγκιπα Piero Ginori Conti (Burgassi, 2012), ο οποίος, στις 4 Ιουλίου του 1904, ενεργοποίησε τους πρώτους λαμπτήρες με ενέργεια που προερχόταν από τον υπέρθερμο ατμό του γεωθερμικού πεδίου. Αυτή ήταν και η αρχή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση της γεωθερμίας (Εικόνα 30). Το 1912 όλες οι μικρές εταιρείες που παρήγαγαν βορικό οξύ ομαδοποιήθηκαν σε μια ενιαία εταιρεία ονόματι "Societ boraficera di Larderello" και εκείνο το διάστημα, εγκαταστάθηκε ακόμη και ο πρώτος στρόβιλος που οδήγησε στην παραγωγή ενέργειας, που έφτασε τα 250 kW.



Εικόνα 28: Η "Σκεπαστή λίμνη" (Covered Lagoon) στο Larderello για την συλλογή του βορικού οξέος από τα γεωθερμικά ρευστά (Dickson and Fanelli, 2004; www.web.mit.edu)



Εικόνα 29: Ο Piero Ginori Conti και η πρώτη μηχανή γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής (πάνω αριστερά). Η πρώτη απόπειρα από τον De Larderel για την χρήση του γεωθερμικού ατμού ως κινητήρια δύναμη (πάνω δεξιά). Γεωθερμική γεώτρηση στο πεδίο του Larderello (κάτω) (Burgassi, 2012; www.reuk.co.uk)

Μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή γεωφυσικές έρευνες και δοκιμές παραγωγής, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση της παραγωγικής γεώτρησης (Burgassi, 2012).

Το 1916, ο σταθμός παραγωγής ενέργειας ήταν ήδη σε θέση να παράγει 2750 kW, ποσό ενέργειας που ήταν ικανό να τροφοδοτήσει με ηλεκτρικό ρεύμα τόσο το χωριό Larderello, όσο και την κοντινή πόλη της Volterra (www.thinkgeoenergy.com). Το 1939, κατασκευάστηκε η μεγάλη γεωθερμική μονάδα Larderello 2 και το 1943 ακολούθησε η ίδρυση της εταιρείας Larderello SpA, η οποία μέχρι το 1963 είχε (11) εν λειτουργία μονάδες. Την ίδια χρονιά, εξαγοράστηκε από την δημόσια εταιρεία ηλεκτρισμού της Ιταλίας (ENEL), η οποία κατέχει την ιδιοκτησία των γεωθερμικών μονάδων της περιοχής μέχρι και σήμερα.

Με βάση τα πιο πρόσφατα δημοσιευμένα στοιχεία (Uihlein, 2018; Manzella et al., 2019; EGEC, 2020), στην περιοχή λειτουργούν (22) γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (Εικόνα 31) και η εγκατεστημένη ισχύς έχει φτάσει περίπου στα 0.6 GWe.



Εικόνα 30: Σύγχρονη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή του Larderello(www.reuk.co.uk)

3.2.2 Γαλλία

Στη Γαλλία, σήμερα λειτουργούν τρεις γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Οι δύο, βρίσκονται στο νησί της Γουαδελούπης (μονάδες Bouillante 1 και Bouillante 2), στις Γαλλικές Δυτικές Ινδίες και η τρίτη στην κοιλάδα του Άνω Ρήνου, στην περιοχή της Αλσατίας (μονάδα Soultz-sous-Forêts). Οι δύο πρώτες χρησιμοποιούν τη μέθοδο μονής και διπλής εκτόνωσης, ενώ η τρίτη τον οργανικό κύκλο Rankine (Uihlein, 2018; Boissavay et al., 2019; EGEC, 2020).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Γουαδελούπη, γίνεται με γεωθερμικά ρευστά που προέρχονται από ταμειυτήρες ηφαιστειακών πετρωμάτων, και καλύπτει περίπου το 5% των αναγκών του νησιού (Boissavy et al., 2019). Στο Soultz-sous-Forêts, όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα θερμά ρευστά προέρχονται από μεγάλα βάθη Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων.

Η περιοχή Soultz-sous-Forêts, βρίσκεται στη βορειοανατολική Γαλλία, σε απόσταση 50 km από το Στρασβούργο. Γεωλογικά, τοποθετείται σε ένα τεκτονικό βύθισμα του Τριτογενούς (Genter et al., 2010), όπου 1400 m ιζημάτων, ασβεστόλιθων και ψαμμιτών, καλύπτουν το κρυσταλλικό γρανιτικό υπόβαθρο (Koelbel&Genter, 2017). Η τεκτονική αυτή κοιλάδα, χαρακτηρίζεται από την παρουσία πολλών κανονικών ρηγμάτων, τα οποία διαπερνούν τόσο τα πετρώματα του ιζηματογενούς καλύμματος, όσο και τους παλαιοζωικούς γρανίτες του υποβάθρου (Genter et al., 2010). Η περιοχή, συνδέεται με θετική γεωθερμική ανωμαλία που αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τους Haas & Hoffmann το 1929.

Το έργο Soultz-sous-Forêts, ξεκίνησε το 1987. Μέχρι το 2005, διανοίχθηκαν τέσσερις βαθιές γεωτρήσεις (GPK-1 έως GPK-4), οι οποίες έφτασαν μέχρι τους γρανίτες του γεωλογικού υποβάθρου, σε βάθος 5 km (Genter et al., 2010; Schill et al., 2017).

Η αρχικά χαμηλή διαπερατότητα των γρανιτών, βελτιώθηκε με τεχνικές υδραυλικής και χημικής διέγερσης, δημιουργώντας έτσι έναν «τεχνητό» γεωθερμικό ταμειυτήρα (Gérard et al., 2006). Μετά τη διέγερση, πραγματοποιήθηκαν επιτυχώς αρκετές δοκιμές βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης κυκλοφορίας (Nami et al., 2008). Μέσα από τη συνεχή εφαρμογή διέγερσης, η φυσική διαπερατότητα των κρυσταλλικών υπόγειων πετρωμάτων βελτιώθηκε κατά 20 φορές. Ενώ η χημική διέγερση ήταν σχεδόν ασεισμική, η υδραυλική θραύση, προκάλεσε χιλιάδες μικροσεισμούς, οι οποίοι μετρήθηκαν από το εκτεταμένο σεισμικό δίκτυο παρακολούθησης που αναπτύχθηκε στην περιοχή και εντοπίστηκαν σε πραγματικό χρόνο (Koelbel & Genter, 2017).

Η πιλοτική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, εξοπλισμένη με την τεχνολογία του οργανικού κύκλου Rankine (ORC), σχεδιάστηκε και εγκαταστάθηκε μεταξύ 2007 και 2009, με εγκατεστημένη ισχύ 1.5 MWe. Η εμπορική εκμετάλλευση, ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2016, αφότου η μονάδα ανακαινίστηκε πλήρως κατά το διάστημα 2015-2016 (Εικόνα 32). Η παρακολούθηση της επαγόμενης σεισμικότητας γίνεται μόνιμα μέσω ενός δικτύου σεισμικών σταθμών που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην επιφάνεια (Baujard et al., 2018).

Η ιδιοκτησία της μονάδας ανήκει στο "GEIE -Exploitation Minière de la Chaleur" ενώ η λειτουργία και η συντήρηση της, πραγματοποιείται από την ES Géothermie. Η τροφοδοσία της σε ρευστά γίνεται από την παραγωγική γεώτρηση GPK-2, η οποία

παράγει 30 kg/s γεωθερμικού ρευστού που φτάνει στην επιφάνεια με θερμοκρασία 150°C. Δεδομένου ότι το γεωθερμικό ρευστό έχει πολύ υψηλή αλατότητα (100 g/l), η θερμότητα του αξιοποιείται μέσω μιας σειράς εναλλακτών θερμότητας με τους οποίους έχει εξοπλιστεί η μονάδα ORC. Η γεωθερμική άλμη επανεγχύεται στον ταμιευτήρα στους 70°C, μέσω των δύο γεωτρήσεων επανεισαγωγής, GPK-3 και GPK-4. Η εγκατεστημένη ισχύς της νέας μονάδας είναι 1.7 MWe.



Εικόνα32:Γεωθερμικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στο Soultz-sous-Forets (Ravier et al., 2019;www.ademe.fr)

Οι γεωθερμικές μονάδες Bouillante στη Γουαδελούπη (Εικόνα 33), έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 15 MWe ενώ η καθαρή παραγωγή ενέργειας ανέρχεται σε 10 MWe. Οι εγκαταστάσεις στην περιοχή, κατασκευάστηκαν σε δύο φάσεις που ολοκληρώθηκαν το 1996και το 2011, αντίστοιχα (Huttrer, 2020).Η μονάδα Bouillante 1 παράγει περίπου 4 MWe ηλεκτρικής ισχύος, ενώ η μονάδα Bouillante 2 έχει ισχύ 11 MWe (EGEC, 2020). Το 2017, ξεκίνησαν έρευνες για την επέκταση του πεδίου, με τελικό στόχο την κατασκευή δύο νέων γεωθερμικών γεωτρήσεων σε βάθη μεταξύ 1000 και 1600 m. Η πρόσθετη ισχύς αναμένεται να είναι περίπου 10 MWe και εάν τα αποτελέσματα από τις γεωτρήσεις είναι επιτυχή, μια νέα μονάδα που θα χρησιμοποιεί την τεχνολογία ORC θα

τεθεί σε λειτουργία το 2022. Επιπλέον, γίνονται γεωθερμικές έρευνες στη Μαρτινίκα, καθώς και στο νησί La Réunion (Boissavy et al., 2019; Hutterer, 2020).



Εικόνα 31: Γεωθερμικός σταθμός Bouillante στη Γαλλία (www.repowermap.org)

Μια σημαντική εξέλιξη στον τομέα της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στη Γαλλία, είναι η εκχώρηση αδειών για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (Boissavy et al., 2019). Στην Αλσατία, υπάρχουν δύο μονάδες που συνδέονται με Βελτιωμένα Γεωθερμικά Συστήματα η μία ηλεκτροπαραγωγική, στο Soultz-sous-Forêts, που περιγράφηκε παραπάνω, και η άλλη στο Rittershoffen, η οποία παρέχει υπέρθερμο νερό για βιομηχανική χρήση, εγκατεστημένης ισχύος 24 MWth. Οι μέχρι σήμερα μελέτες δείχνουν ότι οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες που βρίσκονται υπό εκμετάλλευση στις δύο περιοχές, επικοινωνούν μεταξύ τους (Mouchot et al., 2018; Boissavy et al., 2019).

Η αξιοποίηση της γεωθερμίας για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ερευνάται και σε άλλες θέσεις στην κοιλάδα του Άνω Ρήνου, όπως κοντά στο Στρασβούργο, στις περιοχές Vendenheim και Illkirch, όπου έχουν γίνει δύο βαθιές γεωθερμικές γεωτρήσεις, βάθους 3500 και 5000 m, με στόχο τη συμπαραγωγή 10 Mwe ηλεκτρικής και 20 MWth θερμικής ενέργειας (Boissavy et al., 2019; Hutterer, 2020).

Επιπλέον, η εταιρεία «Electricity de Strasbourg», ξεκίνησε την πρώτη τρισδιάστατη σεισμική έρευνα, σε μια έκταση 180 km², για τον προσδιορισμό της γεωθερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε μεγάλα βάθη. Τελικός στόχος του είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωθερμικού ταμιευτήρα, γεγονός που θα βοηθήσει και στη σωστή χωροθέτηση των μελλοντικών γεωθερμικών γεωτρήσεων (Boissavy et al., 2019).

Η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς από γεωθερμία στη Γαλλία, αναμένεται να φθάσει τα 53 Mwe μέχρι το 2030 (Boissavy et al., 2019), με την κατασκευή και λειτουργία νέων μονάδων αλλά και τη διεξαγωγή ερευνών, που όλες δίνουν έμφαση στη μελέτη και τη χρήση των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων-EGS (EGEC, 2020).

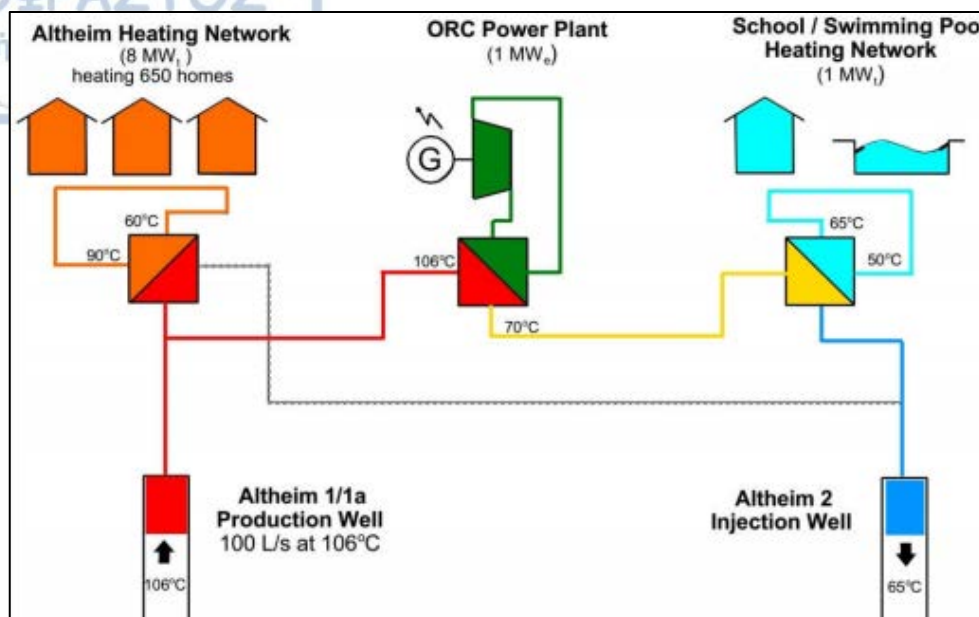
Οι δύο βασικότερες προκλήσεις για το μέλλον της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στη χώρα είναι: (1) η αύξηση της παραγωγής καθαρής και απαλλαγμένης από συμβατικά καύσιμα ενέργειας στα γαλλικά νησιά (Γαλλικές Δυτικές Ινδίες και La Réunion), η οποία με ένα λογικό κόστος, θα μπορέσει να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες μεθόδους παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και (2) η απόκτηση αξιόλογης εμπειρίας σε έργα EGS για να αναπτυχθεί η παραγωγή ενέργειας με την τεχνολογία αυτή σε μεγαλύτερη κλίμακα, ως το 2050 (Boissavy et al., 2019).

3.3.3 Αυστρία

Παρόλο που η Αυστρία καλύπτει αρκετό μέρος των ενεργειακών της αναγκών από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από γεωθερμικές πηγές είναι αμελητέα, με ποσοστό μικρότερο του 0.1% (Goldbrunner&Goetzl, 2019).

Η Αυστρία έχει δύο εν λειτουργία γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (Altheim και Bad Blumau), που έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ περίπου 1.2 MWe. Λειτουργούν και οι δύο με δυαδικό κύκλο και, συγκεκριμένα, με ORC. Υπό έρευνα, βρίσκεται η περιοχή Ruppertiwinkel/Salzburg, όπου αναμένεται η κατασκευή μια μονάδας των 8 MWe και οι εργασίες έχει προγραμματιστεί να ξεκινήσουν εντός του 2021 (Goldbrunner&Goetzl, 2019; EGEC, 2020).

Η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής στο Altheim βρίσκεται στη Μολασσική Λεκάνη, κοντά στα σύνορα με τη Γερμανία και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, επειδή η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για ποικίλες διαδοχικές χρήσεις (Εικόνα 34). Στην περιοχή ζουν περίπου 5000 κάτοικοι και υπάρχουν αρκετές βιομηχανικές επιχειρήσεις μεσαίου μεγέθους. Εκεί, αξιοποιούνται γεωθερμικά ρευστά μέσης ενθαλπίας που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για τηλεθέρμανση περίπου 1500 νοικοκυριών της περιοχής με ενεργειακές απαιτήσεις της τάξεως των 10 MWth. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ORC, ισχύος 1 MWe. Τέλος, ένα μέρος του νερού, πριν εισαχθεί πίσω στον ταμιευτήρα μέσω της γεώτρησης επανεισαγωγής, χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ενός σχολείου και εσωτερικών πισινών, ισχύος 1 MWth (www.fondazioneinternazionale.org).



Εικόνα 32: Σχηματική αναπαράσταση μονάδας που χρησιμοποιεί την γεωθερμική ενέργεια για διάφορες διαδοχικές χρήσεις (άμεσες και παραγωγή ηλεκτρισμού)(www.indico.ictp.it)

Η δεύτερη γεωθερμική μονάδα της χώρας, στο Bad Blumau, βρίσκεται κοντά στον ποταμό Safen, στο νοτιοανατολικό άκρο της Αυστρίας και η εγκατεστημένη ισχύς της είναι 0.2 Mwe (Goldbrunner&Goetzl, 2019). Η μοναδική γεώτρηση που την τροφοδοτεί έχει θερμοκρασία 110°C, ενώ κατά την επανεισαγωγή των ρευστών στο έδαφος, έχει μειωθεί στους 50°C (Huttrer, 2020). Η μονάδα στο Bad Blumau είναι το πρώτο γεωθερμικό έργο που αναπτύχθηκε στην Αυστρία από τον ιδιωτικό τομέα, μετά την αναδιάρθρωση του ενεργειακού τομέα στη χώρα. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η γεωθερμία χρησιμοποιείται και για την τηλεθέρμανση του Rogner Bad Blumau Hotel & Spa. Η γεωθερμική μονάδα λειτουργεί από τον Ιούλιο του 2001, αποτρέποντας, ήδη, στο πρώτο μόνο έτος, την διαφυγή περισσότερων από 1100 κιλά εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα (Legmann, 2003).

Η αυστριακή κυβέρνηση σχεδιάζει μια νέα ενεργειακή και κλιματική στρατηγική για την περίοδο 2021 έως 2030, και ίσως έτσι να προσφέρεται μια νέα ευκαιρία για την προώθηση της ενσωμάτωσης της γεωθερμίας στο νέο εθνικό πλάνο της χώρας (Goldbrunner&Goetzl, 2019).

3.3.4 Πορτογαλία

Στην Πορτογαλία, η παρουσία γεωθερμικών πόρων υψηλής ενθαλπίας περιορίζεται στα ηφαιστειακά νησιά του αρχιπελάγους των Αζόρων, που βρίσκονται στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό και επηρεάζονται από την τριπλή σύνδεση των πλακών της Βόρειας Αμερικής, της Ευρασίας και της Αφρικής, όπου υπάρχει έντονη σεισμική και

ηφαιστειακή δραστηριότητα (Nunes et al., 2019). Τα γεωθερμικά πεδία, τα οποία αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά το 1980, βρίσκονται στις περιοχές Ribiera Grande και Pico Vermelho στο νησί San Miguel, ενώ στη συνέχεια, οι έρευνες επεκτάθηκαν, ώστε να συμπεριλάβουν και το πεδίο Pico Alto στο νησί Terciera. Η τρέχουσα συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις Αζόρες είναι περίπου 33 MWe, ενώ η τελική παραγωγή ανέρχεται στα 26 MWe. Προγραμματίζεται η παραγωγή 10 MWe επιπλέον, αλλά η κατασκευή των εγκαταστάσεων δεν έχει ξεκινήσει ακόμη (Huttrer, 2020). Στην ηπειρωτική χώρα, προς το παρόν, εκτός από λίγες εφαρμογές που αφορούν την τηλεθέρμανση σε ιαματικά λουτρά, δεν υπάρχουν έργα άμεσης χρήσης που να βασίζονται σε βαθιές γεωτρήσεις και ούτε προβλέπεται να πραγματοποιηθούν στο άμεσο μέλλον (Nunes et al., 2019).

Το γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας Ribeira Grande, βρίσκεται στο κεντρικό ηφαίστειο Fogo. Στον ταμιευτήρα, κυριαρχούν ρευστά με θερμοκρασία που φτάνει τους 245°C. Υπάρχουν δύο μονάδες γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν με τη μέθοδο του Οργανικού Κύκλου Rankine (Nunes et al., 2019; EGEC, 2020). Η πρώτη μονάδα που λειτούργησε στο συγκεκριμένο γεωθερμικό πεδίο αναπτύχθηκε σε δύο φάσεις: 5.8 MWe εγκαταστάθηκαν τον Μάρτιο του 1994, ενώ η εγκατάσταση επιπλέον 9 MWe ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 1998. Η μονάδα τροφοδοτείται από ρευστά που προέρχονται από βάση 1080 έως 2030 m μέσω τεσσάρων παραγωγικών γεωτρήσεων. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της μονάδας είναι 14.8 Mwe (Nunes et al., 2019). Τον Νοέμβριο του 2006 τέθηκε σε λειτουργία η δεύτερη μονάδα, Pico Vermelho, με εγκατεστημένη ισχύ 13 MWe, αντικαθιστώντας την πιλοτική μονάδα των 3 MWe, που λειτουργούσε από το 1980. Αυτή, τροφοδοτείται από (5) παραγωγικές γεωτρήσεις, ενώ η επανεισαγωγή των ρευστών γίνεται μέσω (3) γεωτρήσεων. Το βάθος τους κυμαίνεται από τα 850 έως τα 1200 m. Η μονάδα αυτή προβλέπεται να επεκταθεί στο άμεσο μέλλον, με αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος κατά 5 MWe (Nunes et al., 2019; EGEC, 2020).

Το δεύτερο νησί των Αζόρων όπου λαμβάνει χώρα γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, είναι το Terceira. Το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής αναπτύσσεται σε ένα σύνθετο τεκτονικό περιβάλλον, με τέσσερα κεντρικά ηφαίστεια Cinco Picos, Guilherme Moniz, Santa Bárbara και Pico Alto, αλλά και τη βασαλτική ζώνη Fissural, που τοποθετείται στο κεντρικό και νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού (Nunes, 2000). Το ηφαίστειο Pico Alto, που είναι το νεότερο, κυριαρχείται από πυριτικούς σχηματισμούς πυροκλαστών, θόλων και από λάβες τραχειτικής και ρυολιθικής σύστασης. Στο νησί αυτό, ο πιλοτικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, Pico Alto των 4 MWe (Εικόνα 35), λειτουργεί από τον Αύγουστο του 2017 με τη μέθοδο του δυαδικού κύκλου (ORC). Για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει κατασκευαστεί μια παραγωγική γεώτρηση και τρεις γεωτρήσεις επανεισαγωγής, σε βάθη που κυμαίνονται από 1100 έως 1890 m (Nunes et al., 2019; EGEC, 2020).



Εικόνα 33: Η γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής Pico Alto στις Αζόρες, Πορτογαλία (www.thinkgeoenergy.com)

Παραδοσιακά, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα Νησιά των Αζόρων βασιζόταν στην κατανάλωση πετρελαίου. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 περισσότερο από το 90% της ενέργειας προερχόταν από ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, τις τελευταίες δύο δεκαετίες το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής άρχισε προοδευτικά να αυξάνεται (www.eurogeologists.eu). Σήμερα, η παραγωγή ενέργειας από γεωθερμικούς πόρους καλύπτει το 42% της ηλεκτρικής κατανάλωσης του νησιού San Miguel, το 10.8% της ηλεκτρικής κατανάλωσης του νησιού Terceira και το 25.7% της συνολικής ζήτησης των νησιών του αρχιπελάγους. Η γεωθερμία, αναμένεται να διαδραματίσει έναν ακόμη πιο σημαντικό ρόλο σε αυτή την αυτόνομη περιφέρεια της Πορτογαλίας, συνδυαστικά και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδίως με την αιολική (Nunes et al., 2019).

Κατά τα έτη 2013 και 2014, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη γεωλογική, υδρογεωλογική, γεωχημική και γεωφυσική εξερεύνηση στις Αζόρες (Εικόνα 36). Οι έρευνες είχαν ως στόχο τη συλλογή περαιτέρω δεδομένων που σχετίζονται με τη γεωθερμική κατάσταση και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου εννοιολογικού μοντέλου, ως ένα εργαλείο διαχείρισης για την επαναξιολόγηση των γεωθερμικών πόρων, αλλά και για το σχεδιασμό και τον εντοπισμό νέων θέσεων για γεωτρήσεις (TARH & ISOR, 2016). Στο πλαίσιο αυτό, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία (Νοέμβριος 2020), προβλέπεται η κατασκευή έως 8 γεωτρήσεων για την επέκταση υφιστάμενων γεωθερμικών εγκαταστάσεων σε δύο νησιά των Αζόρων (San Miguel και Terceira), με στόχο τη μέγιστη συνολική εγκατάσταση 12.5 MW ηλεκτρικής ισχύος (www.thinkgeoenergy.com).



**Εικόνα 34: Κατασκευή νέων γεωθερμικών γεωτρήσεων στα νησιά των Αζόρων, Πορτογαλία
(www.thinkgeoenergy.com)**

3.3.5 Ουγγαρία

Στην Ουγγαρία, γεωθερμικοί ταμιευτήρες έχουν βρεθεί σε δύο τύπους πετρωμάτων (Nádor et al., 2019). Οι βαθύτεροι ταμιευτήρες, βρίσκονται μέσα στο υπόβαθρο της λεκάνης της Παννονίας, που αποτελείται από ανθρακικούς παλαιοζωικούς-μεσοζωικούς σχηματισμούς και κρυσταλλικά πετρώματα. Τα γεωθερμικά ρευστά εντοπίστηκαν σε βάθος 2000 m, ή και μεγαλύτερο και η θερμοκρασία τους υπερβαίνει τους 100-120°C.

Οι ρηχοί ταμιευτήρες, βρίσκονται στα ιζήματα που πληρούν την προαναφερθείσα λεκάνη και αποτελούνται από μια αλληλουχία ποικίλων λεπτών πορωδών στρωμάτων, ηλικίας Μειόκαινου-Πλειόκαινου. Οι γεωθερμικοί πόροι βρίσκονται σε βάθη 700-2000 m και η θερμοκρασία τους κυμαίνεται από 60 έως 90°C.

Πέραν αυτών, έχουν ανιχνευθεί πόροι υψηλής θερμοκρασίας σε στρώματα διαρρηγμένων δολομιτών που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη (3500-4000 m). Ακόμη, σε γρανιτικούς σχηματισμούς μεγάλου βάθους, έχουν μετρηθεί υψηλές θερμοκρασίες $\geq 200^\circ\text{C}$, αλλά και έχουν διαπιστωθεί, ευνοϊκά χαρακτηριστικά, που καθιστούν τους συγκεκριμένους γεωλογικούς σχηματισμούς αξιόλογους στόχους προγραμμάτων EGS (Nádor et al., 2019).

Σήμερα, στην Ουγγαρία βρίσκεται σε λειτουργία μια γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, στην περιοχή Tura (Εικόνα 37), μια μικρή αγροτική πόλη, που απέχει 40 km από τη Βουδαπέστη. Το έργο αυτό, είναι το πρώτο του είδους του στη χώρα. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, τα θερμά ρευστά θα

χρησιμοποιούνται και για τη θέρμανση παρακείμενων θερμοκηπίων τομάτας (www.mannvit.com).

Η εν λόγω μονάδα, τέθηκε σε λειτουργία το 2017 και χρησιμοποιεί την τεχνολογία του δυαδικού κύκλου (ORC). Η πρώτη γεωθερμική γεώτρηση πραγματοποιήθηκε στη συγκεκριμένη περιοχή το 1963, για αγροτικούς σκοπούς (Boda, 2016). Τα γεωθερμικά ρευστά, βρίσκονται μέσα σε ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού. Η γεώτρηση παραγωγής, αντλεί 6000 l/min ρευστών θερμοκρασίας 125°C, από βάθος 1500 m. Τα γεωθερμικά ρευστά επανεισάγονται στο σύνολό τους μετά τη χρήση τους στον ταμιευτήρα, μέσω δύο γεωτρήσεων επανεισαγωγής (Uihlein, 2018; Nádor et al., 2019; EGEC, 2020).

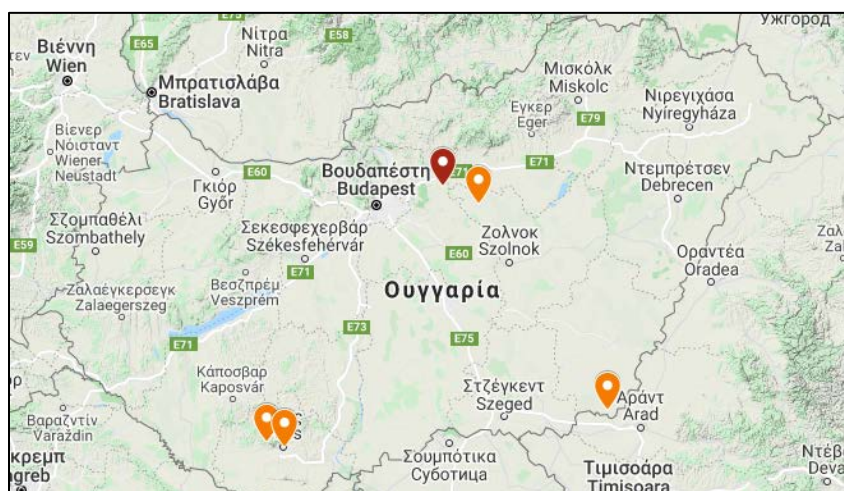
Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε την παραγωγή 3 MWe. Ωστόσο, η πραγματική ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μόνο 2.3 MWe, εκ των οποίων μόλις το 1 Mwe αφορά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή. Έτσι, τελικά η καθαρή παραγόμενη ισχύς ανέρχεται στο 1.3 MWe. Όσο για τη θέρμανση του συγκροτήματος θερμοκηπίων τομάτας (έκτασης 110 στρεμμάτων), αυτή δεν έχει επιτευχθεί ακόμη, αλλά προβλέπεται να συμβεί στο άμεσο μέλλον (Nádor et al., 2019; Hutterer, 2020).



Εικόνα 35: Η γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής Tura στην Ουγγαρία (www.hsorka.is)

Στη νοτιοανατολική Ουγγαρία, υπάρχουν πολύ καλές προοπτικές για την ανάπτυξη έργων EGS, στους παλαιοζωικούς και μεσοζωικούς σχηματισμούς, όπου έχουν καταγραφεί θερμοκρασίες 200°C σε γεωτρήσεις πετρελαίου (Huttrer, 2020). Στα κεντρικά και νότια της χώρας (Εικόνα 38), στις περιοχές Jászberény και Battonya, αντίστοιχα, υπάρχουν υπό ανάπτυξη γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (EGEC, 2020), με τις σχετικές άδειες και μισθώσεις να έχουν ήδη υπογραφεί. Η προγραμματισμένη ηλεκτρική ισχύς στο Jászberény είναι 2–5 MWe, ανάλογα με τα αποτελέσματα των ερευνών. Στην περιοχή Battonya η μονάδα προβλέπεται ότι θα έχει καθαρή ηλεκτρική ισχύ 9.8 MWe, αλλά το έργο τέθηκε σε αναστολή το 2018 (Nádor et al., 2019).

Τέλος, ένα σημαντικό έργο γεωθερμικής έρευνας, που χρηματοδοτήθηκε από το «Πρόγραμμα Λειτουργίας Οικονομίας, Ανάπτυξης και Καινοτομίας», βρίσκεται υπό εξέλιξη στην περιοχή νότια των όρεων Mecsek, με σκοπό την εκτίμηση του γεωθερμικού δυναμικού και την παραγωγή ενέργειας, η οποία θα τροφοδοτήσει την πόλη Pécs (Εικόνα 38) (Nádor et al., 2019).

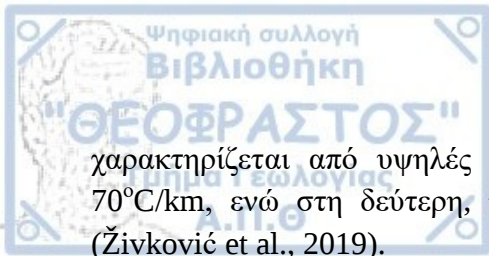


Εικόνα 36: Περιοχές της Ουγγαρίας όπου δύναται να αναπτυχθεί η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (πορτοκαλί σημεία), αλλά και η περιοχή όπου βρίσκεται η πρώτη εν λειτουργία μονάδα της χώρας (κόκκινο σημείο) (GoogleMaps)

3.3.6 Κροατία

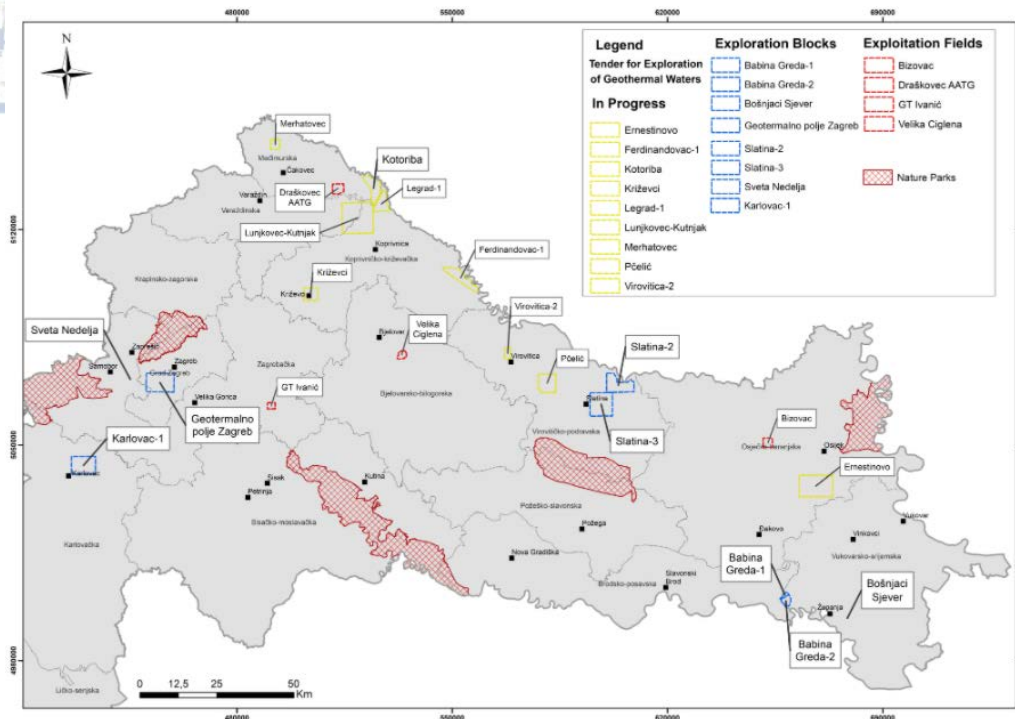
Η Κροατία είναι μία χώρα με σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό. Η μέση γεωθερμική βαθμίδα είναι 60% υψηλότερη από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, αφού η θερμοκρασία αυξάνεται κατά μέσο όρο περίπου 4.9°C/100 m (πολλαπλάσια της μέσης τιμής στο γήινο φλοιό) (Croatian Hydrocarbon Agency-CHA, 2020).

Με βάση τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, στην Κροατία, διακρίνονται δύο γεωθερμικές περιοχές: (1) η Παννονική περιοχή, στο βορρά και (2) η Δειναρική, στο νότο. Η πρώτη,



χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές γεωθερμικής βαθμίδας, που κυμαίνεται από 50-70°C/km, ενώ στη δεύτερη, η τιμή αυτή είναι πολύ χαμηλότερη, συχνά <20°C/km (Živković et al., 2019).

Επίσης, εξαιτίας της έρευνας και της παραγωγής ορυκτών καυσίμων που πραγματοποιήθηκε στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας, κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, αποκαλύφθηκαν και αρκετοί γεωθερμικοί ταμιευτήρες. Οι δύο σημαντικότεροι τύποι ταμιευτήρων, έχουν ηλικίες πετρωμάτων που ξεκινούν από το Μεσοζωικό και φτάνουν ως το Νεογενές, ενώ τα γεωθερμικά ρευστά συναντώνται μέσα σε κλαστικά ιζήματα, αλλά και σε ογκώδη ανθρακικά πετρώματα. Στους ανθρακικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, φαίνεται πως η ροή θερμότητας είναι πιο έντονη και οι θερμοκρασίες που έχουν σημειωθεί υψηλότερες, όπως για παράδειγμα στις περιοχές Velika Ciglena (175°C), Kutnjak Lunjkovec (140°C) και Slatina (190°C) (Živković et al., 2019). Άλλες περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της γεωθερμίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι: η Rečica-Karlovac, στην κεντρική Κροατία, οι τοποθεσίες Draškovec, Kotoriba, Legrad-1, Merhatovec και Ferdinandovac-1, στα βορειοδυτικά της χώρας και η Babina Greda στα ανατολικά. Η εικόνα 39, απεικονίζει πιο αναλυτικά τις γεωθερμικές περιοχές που ήδη έχει ξεκινήσει η αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων για ηλεκτρικούς σκοπούς, αλλά και αυτές που βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας (CHA, 2020).



Εικόνα 37: Χάρτης Κροατίας όπου απεικονίζονται τα γεωθερμικά πεδία που βρίσκονται ήδη υπό εκμετάλλευση (κόκκινο, κίτρινο πλαίσιο), καθώς και εκείνα που ερευνώνται, για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (μπλε πλαίσιο) (Croatian Hydrocarbon Agency, 2020)

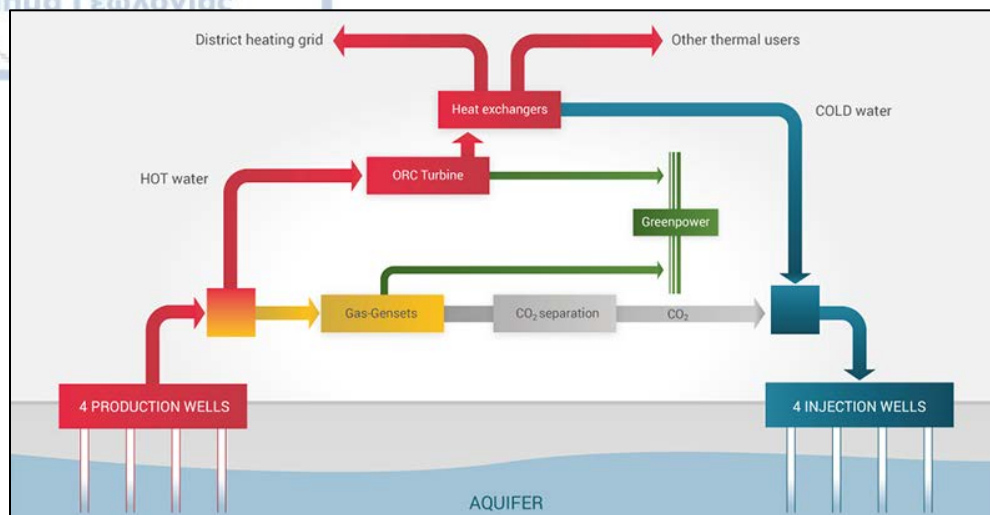
Στα τέλη του 2018, τέθηκε σε πιλοτική λειτουργία η πρώτη γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής στη χώρα, ενώ η πλήρης λειτουργία της ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2019. Η μονάδα Velika 1 (Εικόνα 40), βρίσκεται στην τοποθεσία Velika Ciglena κοντά στην πόλη Bjelovar, που τοποθετείται περίπου 85 km ανατολικά της πρωτεύουσας. Αυτή, προμηθεύει σχεδόν όλη την ευρύτερη περιοχή με ηλεκτρικό ρεύμα. Με την έναρξή της, δημιουργήθηκαν δέκα θέσεις εργασίας στην τοπική κοινότητα και κατά τη διάρκεια της διετούς κατασκευαστικής περιόδου, περίπου 15 τοπικές εταιρείες εργάστηκαν για λογαριασμό της. Η ανέγερση της Velika 1, ήταν ένα σημαντικό επίτευγμα για τον εθνικό γεωθερμικό τομέα, καθώς η θέση αυτή είχε ήδη διερευνηθεί από τη δεκαετία του 1980 (Huttrer, 2020; www.thinkgeoenergy). Στη μονάδα, λειτουργούν δύο ζεύγη (doublets) γεωτρήσεων παραγωγής-επανεισαγωγής, σε βάθη από 2526 έως 4790 m. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 16.5 MWe, ωστόσο η τελική παραγόμενη ισχύς είναι περίπου 10 MWe (Živković et al., 2019). Η παραγωγή ενέργειας, γίνεται με τη χρήση της τεχνολογίας ORC, που χρησιμοποιεί γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 170°C.



Εικόνα 38: Γεωθερμική μονάδα Velika 1 (www.industryglobalnews24.com)

Σχετικά με τις μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση της γεωθερμίας, μία μονάδα με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 18.6 MWe και θερμική ισχύ 15 MWth (www.geothermalresourcescouncil.blogspot.com), βρίσκεται υπό ανάπτυξη στο Draskovec, ενώ βρίσκεται υπό διερεύνηση η δημιουργία νέων μονάδων στις περιοχές (1) Karlovac (5.5MW), (2) Babina Greda 1 (11MW), (3) Babina Greda 2 (11MW), (4) Slatina-2 (20MW), (5) Slatina-3 (25MW) (EGEC, 2020).

Η περιοχή Draškovec βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας. Η μονάδα που αναπτύσσεται, θα λειτουργεί με ένα υβριδικό σύστημα το οποίο θα χρησιμοποιεί τόσο την γεωθερμική ενέργεια, όσο και τα μη συμβατικά αέρια υδρογονανθράκων (unconventional hydrocarbon gases) που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 41). Τα αέρια, θα διαχωριστούν από το νερό και θα καούν σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος φυσικού αερίου. Ακόμη, το CO₂ που προέρχεται από την καύση, καθώς και το θερμό νερό, μετά τη χρήση του, σε ποσοστό 98% θα επανεισάγονται στον ταμιευτήρα (AAT Geothermae, 2018). Ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας, θα διοχετεύεται σε άμεσες χρήσεις, όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι χαμηλότερες. Επιπροσθέτως, μία μονάδα, που πρόκειται να αναπτυχθεί με αυτή την υβριδική τεχνολογία, βρίσκεται υπό εξέλιξη στην περιοχή Kotoriba, όπου έχουν καταγραφεί θερμοκρασίες 192°C στο γεωθερμικό πεδίο. Ωστόσο, δεν έχει ανακοινωθεί ακόμα το χρονοδιάγραμμα που αφορά την κατασκευή της (Huttrer, 2020).



Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση της υβριδικής τεχνολογίας που θα χρησιμοποιεί γεωθερμική ενέργεια συνδυαστικά με άλλες μορφές για διάφορες χρήσεις (ηλεκτρικές και άμεσες) στη περιοχή Dražkovec (www.geothermalresourcescouncil.blogspot.com)

Επιπλέον, τον Σεπτέμβριο του 2019, ανακοινώθηκε ότι μια γεωθερμική μονάδα δυαδικού κύκλου των 19.9 MWe, πρόκειται να κατασκευαστεί στο Legrad, κοντά στην πόλη Korčunica, στο βόρειο τμήμα της Κροατίας. Η εγκατάσταση αναμένεται να παρέχει περίπου 165 GWh ενέργειας/έτος (Huttrer, 2020).

Κατά την περίοδο 2015-2019, επενδύθηκαν περίπου (7) εκατομμύρια δολάρια σε έργα γεωθερμικής ενέργειας, προερχόμενα όλα από τον ιδιωτικό τομέα (Huttrer, 2020). Με βάση τους επιβεβαιωμένους γεωθερμικούς πόρους της χώρας, μια συντηρητική μελλοντική εκτίμηση περιλαμβάνει, τόσο την παραγωγή 100 Mwe γεωθερμικής ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και την αντικατάσταση του 25% της σημερινής κατανάλωσης φυσικού αερίου από τη γεωθερμία (για θέρμανση) (Kolbah et al., 2019; Živković et al., 2019).

3.3.7 Γερμανία

Η Γερμανία δεν διαθέτει «κλασσικά» πεδία υψηλής ενθαλπίας, δηλαδή φυσικούς γεωθερμικούς ταμιευτήρες με ικανές ποσότητες ατμού που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με κύκλο ξηρού ατμού (Quick et al., 2010). Οι σημαντικότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που φιλοξενούν θερμά ρευστά (χαμηλής και μέσης ενθαλπίας) σε βάθος μεγαλύτερο από 1.000 m βρίσκονται στην Βόρεια Γερμανική λεκάνη (North German Basin), στην Μολασσική Λεκάνη της νότιας Γερμανίας (South German Molasse Basin) και στην Κοιλάδα του Άνω Ρήνου (Upper Rhine Graben) (Moeck, 2014; Weber et al., 2019) (Εικόνα 42). Ορισμένες τοποθεσίες των ανωτέρω περιοχών (όπως οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί της Λεκάνης της Νότιας

Γερμανίας), ενδείκνυνται και για την εφαρμογή βελτιωμένων γεωθερμικών συστημάτων, καθώς σε όλες, η θερμοκρασία σε βάθος 3 km είναι μεταξύ 100-130°C (Jain et al., 2015).

Στη Βόρεια Γερμανική Λεκάνη, οι πρώτοι γεωθερμικοί ταμιευτήρες που ταυτοποιήθηκαν, βρίσκονται σε Μεσοζωικούς ψαμμίτες (Hurter&Haenel 2002, Feldrapp et al., 2008). Γεωθερμικά ρευστά που φιλοξενούνται σε ψαμμίτες του ανατολικού τμήματος της λεκάνης, αξιοποιήθηκαν επιτυχώς για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στις περιοχές Neustadt-Glewe, Neubrandenburg και Waren (Weber et al., 2019).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης της Νότιας Γερμανίας είναι κυρίως μολασσικά ιζήματα του Τριτογενούς, αλλά και ιζήματα ηλικίας Κρητιδικού, Μέσου-Ανώτατου Ιουρασικού και Τριαδικού. Ο γεωθερμικός ταμιευτήρας που αναπτύσσεται μέσα σε καρστικά δολομιτικά πετρώματα του Ανώτατου Ιουρασικού, είναι ένας από τους σημαντικότερους της λεκάνης αυτής, αλλά και της κεντρικής Ευρώπης γενικότερα. Οι θερμοκρασίες, κυμαίνονται από 40°C στα βόρεια τμήματα του, ενώ μπορεί να φτάσει ως τους 160°C στα νότια. Θερμοκρασίες κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή, έχουν μετρηθεί νότια της πόλης του Μονάχου, όπου και λειτουργούν ορισμένες γεωθερμικές μονάδες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια (Weber et al., 2019).

Στην Κοιλάδα του Άνω Ρήνου, μέσα στους γεωθερμικούς ταμιευτήρες, συναντώνται, κυρίως, η ιζηματογενή ακολουθία Muschelkalk και οι ψαμμιτικοί σχηματισμοί Bunter (και τα δύο τριαδικής ηλικίας), που διαπερνούνται από ρήγματα. Γεωθερμικά ρευστά έχουν βρεθεί και μέσα σε στρώματα ιζηματογενών πετρωμάτων του Τριτογενούς, του Ιουρασικού και του Περμίου (Hurter&Haenel, 2002; Weber et al., 2019). Οι θερμοκρασίες μπορούν σε ορισμένες θέσεις της κοιλάδας να ξεπεράσουν τους 165°C (Mouchot et al., 2018).

Λόγω της φύσης των γεωθερμικών ρευστών, η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στην Γερμανία βασίζεται στην τεχνολογία του δυαδικού κύκλου (κύκλος ORC ή Kalina) (EGEC, 2020). Ένα μεγάλο μέρος του γεωθερμικού δυναμικού της Γερμανίας, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή μέσω των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (Paschen et al., 2003). Όμως μέχρι σήμερα τα γεωθερμικά έργα επικεντρώνονται στην εκμετάλλευση υδροθερμικών πόρων που βρίσκονται μέσα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς (Weber et al., 2019).

Η πρώτη γεωθερμική μονάδα αναπτύχθηκε στο Neustadt-Glewe το 2003, ενώ το 2007 αξιοποιήθηκε για ηλεκτροπαραγωγή το γεωθερμικό πεδίο στην περιοχή Landau (Εικόνα 43), που αποτέλεσε και την πρώτη κερδοφόρα γεωθερμική μονάδα της Γερμανίας (Quick et al., 2010).



Εικόνα 40: (αριστερά) Οι βασικές γεωθερμικές περιοχές της Γερμανίας (www.cleanenergywire.org), (δεξιά) Χάρτης της Γερμανίας που δείχνει(κίτρινο χρώμα) τις περιοχές όπου λαμβάνει χώρα γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Weber et al., 2019)



Εικόνα 41: Η γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής Landau της Γερμανίας (Quick et al., 2010)

Στη Γερμανία, έχουν κατασκευαστεί δέκα μονάδες γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν με τον δυαδικό κύκλο (Kalina ή ORC) (Εικόνα 44). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σήμερα φτάνει τα 43 Mwe (Huttrer, 2020). Τα τελευταία χρόνια, τέθηκαν σε λειτουργία τέσσερις νέες γεωθερμικές μονάδες: στο Grünwald/Laufzorn

(Οκτώβριος 2014, 4.3 MWe), στο Traunreut (2016, 5.5 MWe), στο Taufkirchen (4.3 MWe, 2018), και στο Holzkirchen (2019, 3.6 MWe). Όλες βρίσκονται στη Μολασσική λεκάνη, στη νότια Γερμανία. Η μονάδα των 3.36 MWe στο Unterhaching έκλεισε στα τέλη του 2017, ενώ πρόσφατα αναστάλθηκε και η λειτουργία της μονάδας στο Landau. Για το λόγο αυτό, η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς παρουσίασε μόνο μικρή αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια (Weber et al., 2019; EGEN, 2020;Huttrer, 2020).



Εικόνα 42: Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα στη περιοχή της Βαυαρίας
(www.turboden.com)

Όσον αφορά στα μελλοντικά σχέδια της Γερμανίας για ενίσχυση της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής, τον Οκτώβριο του 2019 ανακοινώθηκε ότι θα κατασκευαστεί νέα μονάδα δυαδικού κύκλου στο Garching, βορειοανατολικά του Μονάχου. Εκεί, δύο γεωτρήσεις έχουν ήδη ολοκληρωθεί και οι πρώτες δοκιμές δείχνουν ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς 4.5 Mwe (Weber et al., 2019; Huttrer, 2020). Επίσης, υπό ανάπτυξη βρίσκεται και μια μονάδα στην περιοχή Kirchweidach της Βαυαρίας (EGEN, 2020).

Επιπροσθέτως, δώδεκα προγράμματα που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία, βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο, με την πλειονότητά τους να υλοποιείται στην περιοχή της Βαυαρίας. Δύο από αυτά, στις περιοχές Mauerstetten και Lohmen, αφορούν στην αξιοποίηση Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (EGEN, 2020).

Η ανάπτυξη της γεωθερμίας, έχει σημαντική πολιτική αλλά και κοινωνική υποστήριξη στη Γερμανία. Η πρώτη, έχει υλοποιηθεί μέσω ευνοϊκών οικονομικών κινήτρων, χρηματοδότησης έργων, φοροαπαλλαγών κλπ. Ωστόσο, η πρόοδος στον γεωθερμικό τομέα υστερεί σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρόλο που

υπάρχουν καλές συνθήκες τόσο για εφαρμογές θέρμανσης, όπως επίσης και για ηλεκτροπαραγωγή, σε διάφορες τοποθεσίες (Weber et al., 2019).

3.3.8 Ισλανδία

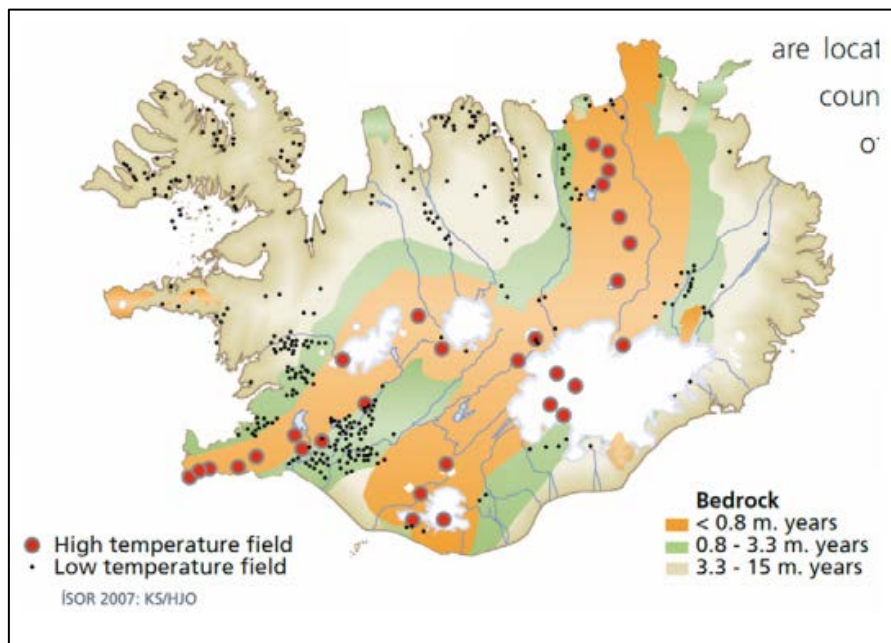
Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η Ισλανδία ήταν μία από τις φτωχότερες χώρες της Ευρώπης και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της βασιζόταν σε ένα επισφαλές και ρυπογόνο μίγμα εισαγόμενου άνθρακα και τοπικής τύρφης. Ωστόσο, τα χρόνια που ακολούθησαν, αποφασίστηκε η σταδιακή απαλλαγή από ορυκτά καύσιμα και η αξιοποίηση των άφθονων γεωθερμικών της πόρων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (www.unenvironment.org).

Η Ισλανδία, αποτελεί το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα πώς μια χώρα μπορεί να αξιοποιήσει με τον πλέον βέλτιστο τρόπο τους ενεργειακούς της πόρους, παράγοντας «καθαρή» ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της, καθώς σήμερα σχεδόν το 100% της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως από γεωθερμία και υδροηλεκτρική ενέργεια) (Richter, 2020). Αυτός ο μετασχηματισμός συνέβαλε σημαντικά στην αξιοσημείωτη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των Ισλανδών καθώς και στην αύξηση του κατά κεφαλήν εισοδήματός τους. Όσον αφορά τις χρήσεις της γεωθερμίας, το 45% της παραγόμενης ενέργειας απορροφάται για τη θέρμανση χώρων, το 39% στην παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό χρησιμοποιείται για βιομηχανικές χρήσεις, λιώσιμο του χιονιού, κ. α (Richter, 2020).

Η Ισλανδία βρίσκεται ακριβώς πάνω στην μεσοωκεάνια ράχη του Ατλαντικού, που αποτελεί το όριο μεταξύ των τεκτονικών πλακών της Βόρειας Αμερικής και της Ευρασίας. Εξαιτίας της θέσης της αποτελεί ένα από τα πιο ενεργά τεκτονικά μέρη στη γη και γι' αυτό, στο σύνολο της έκτασής της, έχει μεγάλο αριθμό ηφαιστειών και θερμών επιφανειακών εκδηλώσεων. Οι σεισμοί στην Ισλανδία είναι συχνοί, ωστόσο σπάνια προκαλούν σοβαρές ζημιές. Περισσότερα από 200 ηφαίστεια βρίσκονται κατά μήκος της ενεργής ηφαιστειακής ζώνης που εκτείνεται από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά τμήματά της. Τουλάχιστον (25) πεδία υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200°C έχουν βρεθεί πάνω σε αυτή την ηφαιστειακή ζώνη (Εικόνα 45). Αρκετά πεδία, εκ των οποίων μερικά είναι ήδη γνωστά, συναντώνται και στις ράχες του ωκεάνιου πυθμένα και εκτείνονται τόσο στο νοτιοδυτικό όσο και στο βόρειο θαλάσσιο τμήμα της χώρας (Ragnarsson, 2013; Ragnarsson et al., 2018).

Ο γεωθερμικός ατμός από τα πεδία υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε οχτώ περιοχές. Σε τρεις από αυτές, γίνεται συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Ragnarsson et al., 2018). Η γεωθερμική ενέργεια καταλαμβάνει σημαντικό μερίδιο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας παρουσιάζοντας ραγδαία αύξηση τις τελευταίες δύο δεκαετίες, καθώς από το 2000 έως το 2020 έχουν

προσθεθεί συνολικά 585 MWe εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος (Bertani, 2005;Huttrer, 2020). Σήμερα, η συνολική εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς από όλες τις ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες έχει φτάσει τα 755 MWe (Huttrer, 2020).



Εικόνα 43: Ηφαιστειακές ζώνες και γεωθερμικά πεδία της Ισλανδίας (Ragnarsson, 2013)

Οι περισσότερες από τις (8) μονάδες γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής που βρίσκονται σε λειτουργία, χρησιμοποιούν την μέθοδο της εκτόνωσης διφασικού ρευστού (μονή ή διπλή εκτόνωση) και οι υπόλοιπες το δυαδικό κύκλο (EGEC, 2020).

Η μονάδα *Bjarnarflag*, είναι η πρώτη που παρήγαγε ηλεκτρισμό με χρήση της γεωθερμίας (Εικόνα 46). Η λειτουργία της ξεκίνησε το 1969 με εγκατεστημένη ισχύ 3.2 MWe, ενώ σήμερα έχει φτάσει τα 5 MWe (Ragnarsson, 2013;Huttrer, 2020). Στη μονάδα χρησιμοποιείται η μέθοδος της μονής εκτόνωσης (Ragnarsson, 2015) και ο ατμός για την παραγωγή της ενέργειας προέρχεται από το γεωθερμικό πεδίο Námafjall, στη βόρεια Ισλανδία. Η μονάδα λειτουργεί συνεχώς μέχρι σήμερα, με εξαίρεση δύο μικρές περιόδους μεταξύ των ετών 1978-1980 και 1985-1988. Η πρώτη αναστολή λειτουργίας οφείλονταν σε καταστροφές στις γεωτρήσεις παραγωγής εξαιτίας της ηφαιστειακής δραστηριότητας στην περιοχή και η δεύτερη αφορούσε στην αποκατάσταση του σταθμού παραγωγής ενέργειας (Ragnarsson et al., 2018). Η έρευνα για την περαιτέρω ανάπτυξη του πεδίου Námafjall είχε θετικά αποτελέσματα, αφού ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη η επέκταση της μονάδας. Μετά το πέρας των εργασιών, η εγκατεστημένη ισχύς της θα φτάνει τα 90 MWe (Ragnarsson et al., 2018; EGEC, 2020).



Εικόνα 44: Η γεωθερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής Bjarnaflag, Ισλανδία
(www.northlandscapes.com)

Το 1978, σε απόσταση περίπου 10 km από τη μονάδα Bjarnaflag, ξεκίνησε η λειτουργία της γεωθερμικής μονάδας *Krafla* (Εικόνα 47), στην οποία γίνεται διπλή εκτόνωση του γεωθερμικού ατμού. Η εγκατεστημένη ισχύς αρχικά ήταν 8 MWe, το 1984 έφτασε τα 30 MWe και σήμερα τα 60 MWe (Huttrer, 2020). Στο συγκεκριμένο πεδίο έχουν πραγματοποιηθεί (40) γεωτρήσεις. Παράγονται 110 kg/s κορεσμένου ατμού υψηλής πίεσης (6.7 bar) και 36 kg/s κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης (1.2 bar). Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών κυμαίνεται από 122 έως 172°C (Ragnarsson et al., 2018). Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη δημοσιευμένη έκθεση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Γεωθερμίας (EGEC, 2020), διερευνάται η περαιτέρω ανάπτυξη του πεδίου, με στόχο την εγκατάσταση δύο επιπλέον σταθμών, 40 MWe και 135 MWe εγκατεστημένης ισχύος, έκαστος.

Το 1976, ξεκίνησε η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στη μονάδα *Svartsengi*, η οποία ήταν η πρώτη μονάδα συμπαραγωγής στη χώρα. Η μονάδα αυτή, βρίσκεται στην χερσόνησο Reykjanes (Εικόνα 48), απέχει περίπου 40 km από το Ρέικιαβικ και εξυπηρετεί τις ανάγκες περίπου 23.000 κατοίκων. Τα υψηλής αλατότητας γεωθερμικά ρευστά έχουν θερμοκρασία που κυμαίνεται από 103 έως και 240°C. Η συνολική παραγωγή από τον γεωθερμικό ταμιευτήρα ανέρχεται στα 450 kg/s και περίπου το 60% των ρευστών επανεισάγεται μετά τη χρήση τους πίσω σε αυτόν. Η μονάδα σήμερα έχει (3) σταθμούς που λειτουργούν με την μέθοδο της εκτόνωσης διφασικού ρευστού και (7)

που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του δυαδικού κύκλου (ORC), έτσι ώστε να αξιοποιούνται και τα ρευστά χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από το σύνολο των σταθμών είναι 190 MWth για την παραγωγή ζεστού νερού (Regnarsson et al., 2018) και 76.4 MWe για ηλεκτροπαραγωγή (Huttrer, 2020), εκ των οποίων 8.4 MWe προέρχονται από τους σταθμούς ORC (Regnarsson et al., 2018). Επίσης, ένα μέρος των ρευστών αφού χρησιμοποιηθούν, τροφοδοτούν τις εγκαταστάσεις λουτροθεραπείας Blue Lagoon (Εικόνα 48), που αποτελούν το πιο δημοφιλές θέρετρο για λουτροθεραπεία στην Ισλανδία (Regnarsson et al., 2018; www.nsenergybusiness.com).



Εικόνα 45: Η γεωθερμική μονάδα Krafla (www.nsenergybusiness.com)

Στην μονάδα Svartsengi ήδη πραγματοποιείται το δεύτερο πρόγραμμα βαθιών γεωτρήσεων (Iceland Deep Drilling Project-IDDP-2) για την περαιτέρω εξερεύνηση του γεωθερμικού πεδίου (EGEC, 2020). Το πρόγραμμα αυτό στοχεύει στην αξιοποίηση των υπερκρίσιμων ρευστών που βρίσκονται σε πολύ μεγάλα βάθη (>3km), και αποτελεί ένα εμβληματικό και σημαντικό έργο που όταν ολοκληρωθεί θα ανοίξει νέους ορίζοντες για την αξιοποίηση της γεωθερμίας σε ηφαιστειακά περιβάλλοντα. Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στη γεώτρηση που κατασκευάστηκε στην περιοχή το 2016 ήταν μεγαλύτερες των 500°C.

Η γεωθερμική μονάδα Reykjanes, βρίσκεται στην ίδια περιοχή με την Svartsengi και έχει εγκατεστημένη ισχύ 100 MW (Huttrer, 2020; HS Orka). Η λειτουργία της ξεκίνησε το 2006. Σε αυτήν, δύο ατμοστρόβιλοι, ισχύος 50 MWe έκαστος, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με την μέθοδο της μονής εκτόνωσης διφασικού ρευστού. Τα γεωθερμικά

ρευστά που χρησιμοποιούνται έχουν θερμοκρασία 210°C και βρίσκονται υπό πίεση 18 bar (Regnarsson et al., 2018). Η επέκταση της μονάδας αυτής βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας και έχει ως στόχο την εγκατάσταση επιπλέον 80 MWe (Regnarsson et al., 2018; EGEC, 2020).



Εικόνα 46: Γεωθερμικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες στο πεδίο Reykjanes και το δημοφιλές θέρετρο/spa Blue Lagoon στην ίδια περιοχή (www.shutterstock.com; www.nsenenergybusiness.com)

Η μονάδα *Nesjavellir* (Εικόνα 49), βρίσκεται στο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας Hengill, βόρεια του ομώνυμου ηφαιστείου και άρχισε να λειτουργεί το 1990. Ο αρχικός στόχος ήταν η παραγωγή θερμού νερού που θα χρησιμοποιούνταν σε διάφορες άμεσες χρήσεις στην περιοχή του Ρέικιαβικ, που βρίσκεται σε απόσταση 27 km. Έτσι, τα πρώτα οκτώ χρόνια λειτούργησε μόνο η θερμική μονάδα, ενώ το 1998 ξεκίνησε και η λειτουργία της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας (μονής εκτόνωσης). Το μίγμα των γεωθερμικών ρευστών, έχει θερμοκρασία 192°C και πίεση 12 bar. Η ηλεκτροπαραγωγή τα πρώτα χρόνια πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια δύο ατμοστροβίλων ισχύος 30 MWe ο καθένας, ενώ το 2001 ένας ακόμη στρόβιλος αύξησε την ισχύ της μονάδας στα 90 MWe. Τέλος, το 2005 η μονάδα έφτασε στην σημερινή εγκατεστημένη ισχύ των 120 MWe, ύστερα από την τοποθέτηση και του τέταρτου στροβίλου (Regnarsson et al., 2018; Huttner, 2020).

Στο ίδιο γεωθερμικό πεδίο, σε απόσταση περίπου 11 km από την μονάδα *Nesjavellir*, υπάρχει η γεωθερμική μονάδα συμπαραγωγής *Hellisheidi* (Εικόνα 50). Η μονάδα λειτούργησε σταδιακά σε πέντε φάσεις, από το 2006 έως το 2011. Στην πρώτη φάση το 2006, εγκαταστάθηκαν δύο σταθμοί συνολικής ισχύος 90 MWe. Το 2007 και το 2008, εγκαταστάθηκαν 123 MWe επιπλέον, μέσω τριών νέων σταθμών. Κατά την τελευταία

φάση, το 2011, αυξήθηκε περαιτέρω η εγκατεστημένη ισχύς, κατά 90 MWe, οπότε συνολικά η μονάδα έχει σήμερα 303 MWe (Huttrer, 2020). Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών κυμαίνεται από 124 έως 178°C, ενώ οι τιμές της πίεσης είναι μεταξύ 1.25 και 8.5 bar. Όλοι οι σταθμοί λειτουργούν με τη μέθοδο μονής εκτόνωσης διφασικού ρευστού (Regnarsson et al., 2018). Συνολικά, έχουν πραγματοποιηθεί (61) γεωθερμικές γεωτρήσεις, σε βάθη από 1000 έως 2200 m (www.mannvit.com).



Εικόνα 47: Η μονάδα Nesjavellir που παράγει ηλεκτρισμό με τη βοήθεια της γεωθερμίας
(πηγή:www.mannvit.com)

Στη μονάδα Hellisheidi, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή ενός καινοτόμου πιλοτικού προγράμματος, του CarbFix, που ξεκίνησε το 2012, τρία χιλιόμετρα νοτιοδυτικά των εγκαταστάσεων της μονάδας. Το πρόγραμμα, αποσκοπεί στην ανάπτυξη μιας ασφαλούς, οικονομικά αποδοτικής και περιβαλλοντικά ευνοϊκής διαδικασίας και τεχνολογίας, η οποία θα καταφέρει να μειώσει ακόμη περισσότερο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Η βασική ιδέα του περιλαμβάνει μια διαδικασία, κατά την οποία το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα επιβλαβή αέρια που εκπέμπονται από μεγάλες μεμονωμένες πηγές, (όπως είναι οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής), θα «συλλαμβάνονται» και θα επιστρέφουν στο υπέδαφος. Ωστόσο, στο βάθος όπου επιστρέφουν, δεν αποθηκεύονται πια σε αέρια μορφή, που θα μπορούσε να διαφύγει και πάλι στην ατμόσφαιρα, αλλά ως ορυκτά, με σύσταση τέτοια που να ταιριάζει με τη σύσταση των βασαλτικών πετρωμάτων του υποβάθρου της περιοχής. Με απλά λόγια, βρέθηκε ένας τρόπος για να μετατραπούν τα αέρια σε ορυκτά και έτσι να αποθηκευτούν μόνιμα μέσα στη γη (www.intelligentliving.com; www.ldeo.columbia.edu). Τα αποτελέσματα αυτής της πιλοτικής εφαρμογής ήταν επιτυχή, αφού μέχρι το τέλος του 2018, 66.000 τόνοι αερίων (2/3 CO₂ και 1/3 H₂S) που συλλέχθηκαν και επανεγχύθηκαν στο υπέδαφος, μετατράπηκαν σε ορυκτά, επιτυγχάνοντας μείωση των εκπομπών της μονάδας κατά 40%.

Η μετατροπή αυτή πραγματοποιήθηκε σε διάστημα μικρότερο των δύο ετών, γεγονός εντυπωσιακό, αφού πριν το εν λόγω πείραμα επικρατούσε η άποψη πως για κάτι τέτοιο απαιτούνταν χιλιάδες χρόνια (www.intelligentliving.co).



Εικόνα 48: Γεωθερμική μονάδα Hellisheidi (www.nsenerybussiness.com)

Μετά την μονάδα Hellisheidi, ακολούθησε η κατασκευή της μονάδας *Theistareykir* των 90 MWe, στην βόρεια Ισλανδία, κοντά στη μονάδα *Krafla*. Το γεωθερμικό πεδίο *Theistareykir* βρισκόταν υπό έρευνα από το 1973. Οι κατασκευαστικές εργασίες ξεκίνησαν το 2015, τα πρώτα 45 MWe τέθηκαν σε λειτουργία τον Νοέμβριο του 2017 και τα άλλα 45 MWe τον Απρίλιο του 2018. Η πρώτη γεώτρηση μεγάλου βάθους πραγματοποιήθηκε το 2002, ενώ μέχρι και το 2017 είχαν διατρηθεί συνολικά (18) σημεία (Regnarsson et al., 2018). Τα ρευστά που αξιοποιούνται από τον γεωθερμικό ταμειυτήρα με την τεχνολογία της μονής εκτόνωσης διαφασικού ρευστού, έχουν θερμοκρασία περίπου 178°C και πίεση 8.5 bar, ενώ η ροή τους ανέρχεται στους 560 tons/hour (Regnarsson et al., 2018; Hutterer, 2020). Το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειας, απορροφάται από ένα νέο εργοστάσιο παραγωγής πυριτικού μετάλλου (silicon metal) που βρίσκεται στην κοντινή πόλη *Husavik*. Στην πόλη αυτή, έως τον Ιανουάριο του 2008, λειτουργούσε μία ακόμη ηλεκτροπαραγωγική μονάδα των 2 MWe, που χρησιμοποιούσε τον κύκλο *Kalina*. Η λειτουργία της διακόπηκε λόγω τεχνικών προβλημάτων (Regnarsson et al., 2018).

Όσον αφορά στην μελλοντική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία σχεδιάζει την εκτεταμένη αξιοποίηση ρευστών και συστημάτων με θερμοκρασίες μικρότερες των 150°C, έχοντας ήδη προχωρήσει τις διαδικασίες για την προμήθεια του εξοπλισμού μικρών μονάδων (units) δυαδικού κύκλου. Η κάθε μονάδα θα έχει τη δυνατότητα παραγωγής περίπου 150 kW ηλεκτρικής ισχύος και προβλέπεται εγκατάστασή τους σε

αρκετές περιοχές της χώρας. Η πρώτη μονάδα που χρησιμοποίησε αυτήν την τεχνολογία βρίσκεται στην περιοχή Fludir, όπου γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 116°C χρησιμοποιούνται για την παραγωγή 0.6 MWe ηλεκτρικής ισχύος. Μετά την ηλεκτροπαραγωγή, το νερό με θερμοκρασία 76°C χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση (Huttrer, 2020).

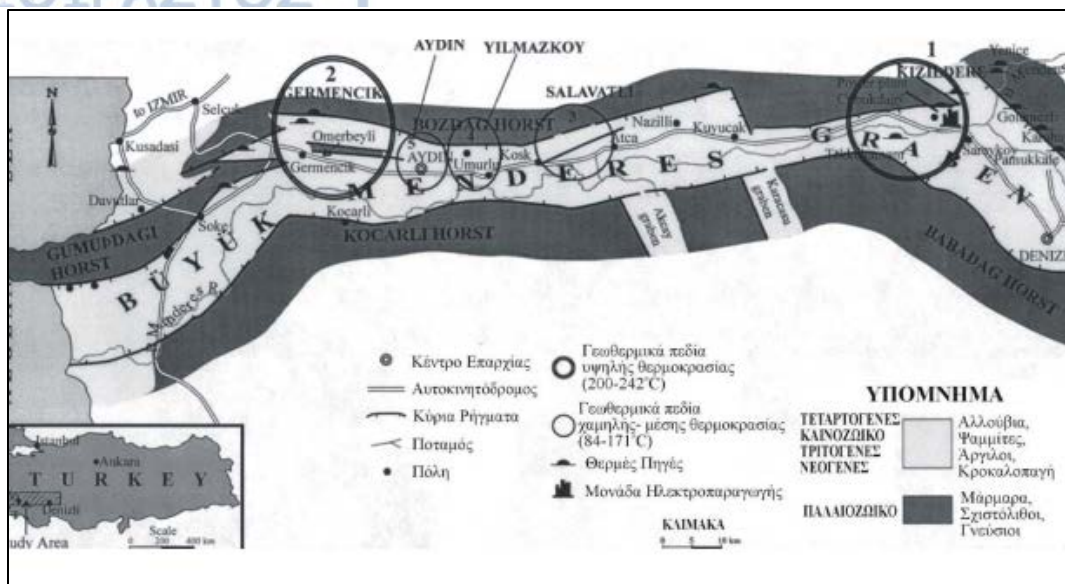
Επιπλέον, εκτός από την επέκταση που πραγματοποιείται ή εξετάζεται στις ήδη υπάρχουσες γεωθερμικές μονάδες Bjarnarflag, Krafla και Reykjanes, η κατασκευή μονάδων γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής διερευνάται σε άλλες έξι περιοχές της χώρας: Eldvorp, Stora Sandvik, Sandfell, Sveifluhals, Meitillinn και Grauhnukar (EGEC, 2020).

3.3.9 Τουρκία

Η Τουρκία, λόγω πολύ ευνοϊκών γεωτεκτονικών συνθηκών, έχει σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό. Η χώρα βρίσκεται στην ορογενετική ζώνη των Άλπεων-Ιμαλαΐων, ενώ χαρακτηρίζεται από τη δράση εφελκυστικής τεκτονικής αλλά και από την ύπαρξης πρόσφατης ηφαιστειότητας (Αρβανίτης, 2010). Η γεωθερμική ενέργεια στη γειτονική χώρα χρησιμοποιείται για ποικίλες χρήσεις, όπως είναι κυρίως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η θέρμανση χώρων, βιομηχανικές εφαρμογές και για ιαματικό τουρισμό και λουτροθεραπεία (Simsek, 2009).

Θεωρητικά, το γεωθερμικό δυναμικό της χώρας αγγίζει τα 31500 MW (Erdin&Ozkaya, 2019). Το 78% των γεωθερμικών περιοχών εντοπίζονται στη δυτική Ανατολία, το 9% στην κεντρική Ανατολία, το 7% στην περιοχή του Μαρμαρά, το 5% στην ανατολική Ανατολία και το 1% σε άλλες περιοχές. Το 90% των γεωθερμικών πεδίων είναι χαμηλής και μέσης ενθαλπίας, ενώ το υπόλοιπο 10% το καταλαμβάνουν τα πεδία υψηλής ενθαλπίας (Erdin&Ozkaya, 2019).

Η πλειονότητα των γεωθερμικών πεδίων της χώρας, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ενδείκνυνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, συναντώνται κατά μήκος των βασικών τεκτονικών βυθισμάτων και ρηγμάτων που χαρακτηρίζουν την περιοχή της Δυτικής Ανατολίας. Πιο συγκεκριμένα, η τεκτονική λεκάνη Büyük Menderes (Εικόνα 51), παρουσιάζει ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, καθώς στην έκτασή της έχουν βρεθεί οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. Aydin-Germencik (231°C), Denizli-Kizildere (242°C) Tekkehamam (168°C) κ.α.) (Αρβανίτης, 2010). Ο ανώτερος στρωματογραφικά γεωθερμικός ταμιευτήρας εντοπίζεται σε πλειοκαινικούς ασβεστόλιθους και μειοκαινικά κροκαλοπαγή, στις περιοχές Denizli και Aydin, αντίστοιχα. Ο βαθύτερος ταμιευτήρας αναπτύσσεται μέσα σε μάρμαρα και χαλαζίτες του υποβάθρου.

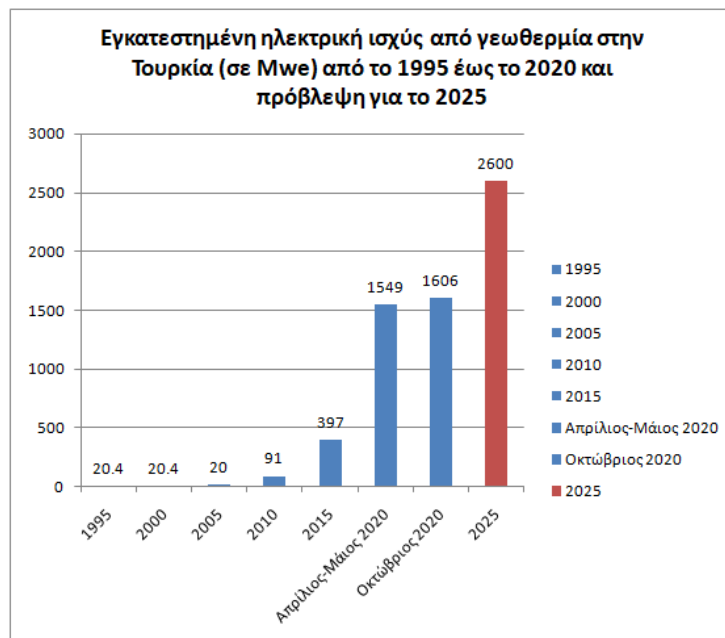


Εικόνα 49: Το τεκτονικό βύθισμα Büyük Menderes, στη Δυτική Ανατολία της Τουρκίας. Απεικονίζονται τα κύρια ρήγματα, οι βασικοί γεωλογικοί σχηματισμοί και τα σημαντικότερα πεδία υψηλής ενθαλπίας (Αρβανίτης, 2010)

Το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό των γεωθερμικών συστημάτων που αναπτύσσονται σε βάθη από 0 έως 3 km, εκτιμάται σε 4500 MWe. Η Τουρκία αποτελεί μία από τις χώρες που έχει ξεκινήσει η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων, με γεωτρήσεις που έχουν φτάσει ως τα 4500 m. Οι γεωτρήσεις έδειξαν, ότι στα γεωθερμικά πεδία Kizildere και Tekkehamam, οι θερμοκρασίες σε μεγάλο βάθος μέσα σε μάρμαρα, είναι περίπου 240°C, ενώ έχουν καταγραφεί και θερμοκρασίες άνω των 295°C. Το γεωθερμικό δυναμικό που θα μπορούσε να προκύψει από συστήματα EGS, εκτιμάται σε περίπου 20000 MWe. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των γεωθερμικών πόρων της Τουρκίας, είναι η παρουσία σημαντικών ποσοτήτων CO₂ που δημιουργούνται από αντιδράσεις μεταξύ των ανθρακικών πετρωμάτων που φιλοξενούν τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες και των γεωθερμικών ρευστών (Mertoglu et al., 2019;Huttrer, 2020).

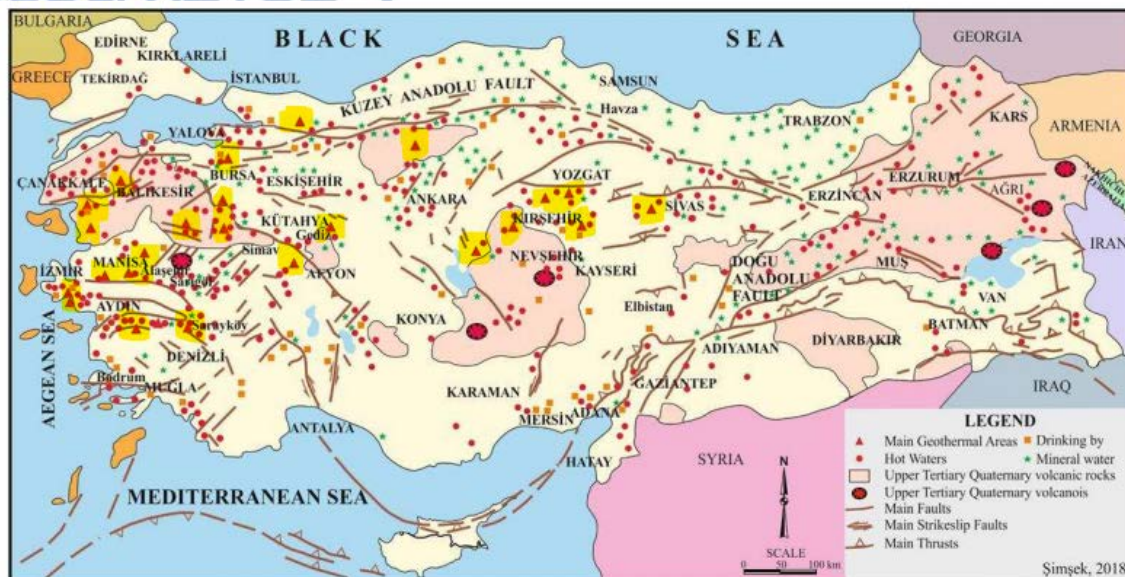
Οι πρώτες γεωθερμικές έρευνες στην Τουρκία ξεκίνησαν κατά τη δεκαετία του 1960, από τη Γενική Διεύθυνση Έρευνας και Εξερεύνησης Ορυκτών(MTA) (Simsek, 2009). Ωστόσο, η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή άρχισε να αναπτύσσεται σημαντικά μετά τη δεκαετία του 2000, όταν ο ενεργειακός τομέας, και ιδιαίτερη η γεωθερμική βιομηχανία υπέστη εκ βάθρων αναμόρφωση (www.dailydabah.com). Η νέα νομοθεσία για τη γεωθερμία σε συνδυασμό με τα πολλά οικονομικά κίνητρα που δόθηκαν στον ιδιωτικό τομέα, συνέβαλαν στην κατακόρυφη αύξηση των επενδύσεων στη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Mertoglu et al., 2019), η οποία καταγράφηκε κυρίως τη δεκαετία 2010-2020.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 52), παρουσιάζεται η εξέλιξη της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Τουρκία κατά την περίοδο 1995-2020, με ενδεικτική την ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης γεωθερμικής ηλεκτρικής ισχύος κατά την τελευταία πενταετία (2015-2020). Πιο αναλυτικά, το 1995 η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς από γεωθερμία ήταν περίπου 20 MWe. Μέχρι το 2010 η παραγωγή έφτασε τα 91 MWe. Κατά το διάστημα 2010-2015 εγκαταστάθηκαν επιπλέον 306 MWe, με αποτέλεσμα, το 2015, η ηλεκτρική ισχύς από γεωθερμία να ανέρχεται στα 397 MWe. Στο τέλος του 2020, η εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 1606 MWe (Huttrer, 2020; www.thinkgeoenergy.com).



Εικόνα 50: Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς από γεωθερμία στην Τουρκία, κατά το διάστημα 1995-2020 και πρόβλεψη για το 2025 (Huttrer, 1996; Bertani, 2005; Bertani, 2012; Bertani, 2015; Huttrer, 2020; www.thinkgeoenergy.com)

Στον χάρτη της εικόνας 53, με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι (24) κύριες γεωθερμικές περιοχές όπου μέχρι στιγμής λαμβάνει χώρα γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή: (1) Afyon, (2) Aydin Germencik, (3) Aydin Gumuskoy, (4) Aydin Kuyucak, (5) Aydin Pamukoren, (6) Aydin-Hidirbeyli, (7) Aydin Morali, (8) Aydin Salavatli, (9) Aydin-Sultanhisar, (10) Aydin-Umurlu, (11) Aydin Yilmaskoy, (12) Canakkale-Babadere, (13) Canakkale-Tuzla, (14) Denizli Saraykoy, (15-20) Denizli Kizildere I,II,IIIU1a,IIIU1b,IIIU2a,IIIU2b, (21) Denizli Tosunlar, (22) Manisa Alasehir, (23) Manisa Salihli και (24) Aydin-Incirliova (Simsek, 2018).



Εικόνα 51: Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Τουρκίας που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμίας. Με κίτρινο χρώμα έχουν σημειωθεί οι τοποθεσίες όπου πραγματοποιείται η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Simsek, 2018; Mertoglu et al., 2019)

Το γεωθερμικό πεδίο Kizildere, που βρίσκεται στην επαρχία Denizli, ανακαλύφθηκε το 1965 (Kaya et al., 2009). Τα γεωθερμικά ρευστά έχουν θερμοκρασία που κυμαίνεται από 147°C έως 245°C, σε βάθος 2900 m. Το 1983, λειτούργησε η πρώτη (κρατική) μονάδα γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής. Αρχικά, η εγκατεστημένη ισχύς, από ρευστά έξι γεωτρήσεων, προβλεπόταν να φτάσει τα 15 MWe. Ωστόσο, για αρκετά χρόνια, η μονάδα λειτουργούσε με ισχύ 5 MWe, λόγω προβλημάτων παραγωγής, εξαιτίας των επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) στις σωληνώσεις των γεωτρήσεων. Τρεις νέες γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν το 1987, οπότε η μέση εγκατεστημένη ισχύς αυξήθηκε στα 9 MWe. Το 2013, με την τοποθέτηση ενός τριπλού ατμοστρόβιλου ισχύος 60 MWe, και τη λειτουργία δύο μονάδων δυαδικού κύκλου 20 MWe, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς αυξήθηκε στα 95 MWe (Aksoy, 2014), ενώ μέχρι το 2019, η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς από όλες τις γεωθερμικές μονάδες του πεδίου έφτασε τα 266.5 MWe (Εικόνα 54) (EGEC, 2020).

Η πρώτη εγκατάσταση δυαδικού κύκλου ORC στην επαρχία Aydin, (Πίνακας 7), πραγματοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Σήμερα στην περιοχή λειτουργούν τόσο μονάδες εκτόνωσης διφασικών ρευστών όσο και ORC (Agahi, 2012).



Εικόνα 52: Γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στο Kizildere (www.zorluenerji.com)

Η εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου Salavatli-Aydin, αποτελεί ορόσημο για τη γεωθερμική ιστορία της Τουρκίας, καθώς εκεί έγινε η πρώτη επένδυση από τον ιδιωτικό τομέα, με την ανέγερση της γεωθερμικής μονάδας Dora-I (δυαδικού κύκλου). Η κατασκευή της ξεκίνησε το 2003 και ολοκληρώθηκε το 2006, οπότε και η εγκατεστημένη ισχύς ανερχόταν σε 7.35 MWe. Το πρόβλημα των επικαθίσεων CaCO_3 , το οποίο αρχικά αντιμετωπίστηκε με μηχανικό καθαρισμό, επιλύθηκε επιτυχώς με την εφαρμογή αναστολέα διάβρωσης (inhibitor), διαδικασία που αποτέλεσε πρότυπο και για άλλες γεωθερμικές μονάδες της χώρας. Επιπλέον, στη μονάδα αυτή, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά και η επανεισαγωγή σε ποσοστό 100% των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα. Ακολούθησε η κατασκευή της δεύτερης γεωθερμικής μονάδας ενέργειας, Dora-II, η οποία λειτούργησε για πρώτη φορά το 2010 με εγκατεστημένη ισχύ 9.5 MWe. Επίσης, κατασκευάστηκε θερμοκηπιακή μονάδα έκτασης 40.000 m², η οποία θερμαίνεται από τα γεωθερμικά ρευστά, μετά τη χρήση τους στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Η τεχνική και οικονομική επιτυχία των μονάδων Dora-I και II, αύξησε το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της γεωθερμίας στην Τουρκία, και τελικά οδήγησε στην έκδοση νέου γεωθερμικού νόμου το 2007, με τον οποίο ρυθμίζονται τα δικαιώματα εκμετάλλευσης και αδειοδότησης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας. Τον Αύγουστο του 2013, τέθηκε σε λειτουργία η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα Dora-IIIa, εγκατεστημένης ισχύος 17 MWe. Παρόλο που η υψηλότερη θερμοκρασία ρευστών που καταγράφηκε στο γεωθερμικό πεδίο έφτασε τους 212°C, το μέσο εύρος των θερμοκρασιών των ρευστών που τροφοδοτούν τις μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι μεταξύ 165°–185°C. Οι μονάδες

Dora-I και Dora-II συνδέονται με δύο γεωτρήσεις παραγωγής και τρεις επανεισαγωγής. Η μονάδα Dora-IIIα χρησιμοποιεί τέσσερις παραγωγικές γεωτρήσεις και τρεις επανεισαγωγής (Aksoy, 2014). Μέχρι το 2019, στο συγκεκριμένο γεωθερμικό πεδίο κατασκευάστηκαν δύο επιπλέον γεωθερμικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ να φτάνει πλέον τα 68.4 MWe (EGEC, 2020).

Στο δυτικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής του Aydin, υπάρχει το γεωθερμικό πεδίο Germencik, όπου επίσης λαμβάνει χώρα γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή. Η πρώτη γεωθερμική γεώτρηση (OB-1), πραγματοποιήθηκε το 1982 και επιβεβαίωσε την ύπαρξη γεωθερμικού ταμιευτήρα υψηλής ενθαλπίας με ρευστά θερμοκρασίας που φτάνει μέχρι τους 276°C (Yamanturk & Dogruoz, 2020). Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και για τη θέρμανση θερμοκηπίων και άλλες άμεσες χρήσεις.

Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Τουρκία (Efeler), βρίσκονται στην περιοχή Germencik, Incirliova με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 260 MWe (Todorovic, 2020) από οχτώ ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες (Efe 1 έως Efe 8). Οι πρώτες δύο μονάδες τέθηκαν σε λειτουργία κατά το διάστημα 2014-2015 (www.guris.com.tr), ενώ η τελευταία μονάδα (Efe 8, 50 MWe) λειτούργησε τον Δεκέμβριο του 2020 (EGEC, 2020; Todorovic, 2020). Μία ακόμη μονάδα (Efe 9), εγκατεστημένης ισχύος 36 MWe βρίσκεται υπό κατασκευή (EGEC, 2020).

Στο γεωθερμικό πεδίο Pamukören-Aydin λειτούργησε το 2013 μια γεωθερμική μονάδα δυαδικού κύκλου (ORC) με εγκατεστημένη ισχύ 45 MWe. Υπάρχουν δύο σταθμοί παραγωγής (22.5 MWe έκαστος), οι οποίοι τροφοδοτούνται από οχτώ (8) γεωτρήσεις. Οι μέσες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των ρευστών στις μονάδες είναι 161°C και 80°C, αντίστοιχα (Aksoy, 2014). Στο τέλος του 2019, η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς από γεωθερμία στην περιοχή έφτασε τα 144.5 MWe, προερχόμενη από τέσσερις (4) πλέον μονάδες ORC (EGEC, 2020).

Άλλες περιοχές όπου πραγματοποιείται η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, είναι η Tuzla-Çanakkale, όπου η βαθύτερη γεώτρηση έφτασε στα 1100 m και η υψηλότερη θερμοκρασία που σημειώθηκε είναι 170°C, αλλά και το γεωθερμικό πεδίο Babadag-Denizli με γεωθερμικά ρευστά που έχουν ελάχιστη θερμοκρασία 101°C (Aksoy, 2014).

Ο Πίνακας 7, περιλαμβάνει τα πιο πρόσφατα (Ιούνιος 2020) δημοσιευμένα στοιχεία (EGEC, 2020), δίνοντας μια συνοπτική εικόνα για τις μονάδες γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Τουρκία. Έτσι, μέχρι το τέλος του 2019 υπήρχαν σε λειτουργία 64 γεωθερμικές μονάδες, οι οποίες κατανέμονται σε 24 γεωθερμικές περιοχές. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ως το διάστημα αυτό, είχε φτάσει τα 1547.3 MWe (EGEC, 2020). Η πλειονότητα των μονάδων χρησιμοποιεί την τεχνολογία του δυαδικού

κύκλου (ORC), ενώ στο γεωθερμικό πεδίο Kizildere, επικρατεί η μέθοδος της εκτόνωσης διφασικού ρευστού. Ακόμη, από το 2015 μέχρι το τέλος του 2019, έχουν διανοίχθηκαν 200 νέες γεωτρήσεις παραγωγής και 90 επανεισαγωγής (Huttrer, 2020).

Πίνακας 7: Γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στην Τουρκία. (EGEC, 2020)

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΤΟΥΡΚΙΑ.ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΟΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ			
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ (MWe)
Afyon	1	ORC	3
Aydin Germencik	9	7 ORC/2 DF	269.4
Aydin Gumuskoy	1	ORC	13.2
Aydin Kuycuk	1	ORC	18
Aydin Pamukoren	4	ORC	144.5
Aydin-Hidirbeyli	4	ORC	92
Aydin Morali	1	ORC	24
Aydin Salavatli	5	ORC	68.4
Aydin-Sultanhisar	2	ORC	36.5
Aydin-Umurlu	2	ORC	24
Aydin Yilmazkoy	2	ORC	50
Canakkale-Babadere	1	ORC	8
Canakkale-Tuzla	1	ORC	7.5
Denizli Saraykoy	4	ORC	90.8
Denizli-Kizildere	2	1 SF/1 ORC	21.5
Denizli-Kizildere II	1	TF+ORC	80
Denizli-Kizildere III U1a	1	FLASH	60
Denizli-Kizildere III U1b	1	ORC	23
Denizli-Kizildere III U2a	1	FLASH	60
Denizli-Kizildere III U2b	1	ORC	22
Denizli Tosunlar	1	ORC	3.8
Manisa Alasehir	15	14 ORC/1 DF+ORC	362.7
Manisa Salihli	1	ORC	15
Aydin- Incirliova	2	ORC	50
			TOTAL:1547.3
ORC=Οργανικός κύκλος Rankine/FLASH=Εκτόνωση διφασικού ρευστού/SF=Μονή εκτόνωση/DF=Διπλή εκτόνωση/TF=Τριπλή εκτόνωση			

Τον Οκτώβριο του 2020, τρεις νέες γεωθερμικές μονάδες τέθηκαν σε λειτουργία. Αυτές είναι η Nezihe Beren (GPP) των 20 MWe, η Emirler 3.5 MWe (Εικόνα 55) και η Kiper Nazilli 10 MWe (www.thinkgeoenergy.com). Επιπλέον, 19 μονάδες βρίσκονται υπό

ανάπτυξη, ενώ σε στάδιο έρευνας βρίσκεται η κατασκευή ακόμη (14) γεωθερμικών μονάδων (EGEC, 2020).



Εικόνα 53: Η νέα γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα Emirler, που τέθηκε σε λειτουργία τον Οκτώβριο του 2020 (www.thinkgeoenergy.com)

Στην Τουρκία, η εγχώρια παραγωγή ενέργειας δεν επαρκεί για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών, ενώ η ενεργειακή ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί κατά 4-6% ετησίως έως το 2023. Ως εκ τούτου, η κυβέρνηση σκοπεύει να αυξήσει το ποσοστό των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, με στόχο μέχρι το 2023, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς που θα παραχθεί από αυτές να καλύπτει το 30% της ηλεκτρικής κατανάλωσης (Erdin & Ozkaya, 2019).

Όσον αφορά στη γεωθερμία, μέχρι το 2025, στόχος είναι τα 2600 MWe εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος (Mertoglu et al., 2019) από υδροθερμικούς πόρους. Επιπλέον, η Τουρκία φιλοδοξεί κατά τα επόμενα 20 χρόνια να προχωρήσει και στην εντατική αξιοποίηση EGS συστημάτων (Mertoglu et al., 2019).

Οι επενδύσεις για έρευνα και ανάπτυξη της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής την τελευταία πενταετία, ανήλθαν σε 2.3 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ για την κατασκευή γεωτρήσεων δαπανήθηκαν 1.2 δις δολάρια. Τα ποσά αυτά καλύφθηκαν σε ποσοστό 90% από τον ιδιωτικό τομέα και το υπόλοιπο 10% από δημόσιες επενδύσεις (Huttrer, 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ

4.1 ΕΥΝΟΪΚΕΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Οι ευνοϊκές γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες που επικρατούν στον ελλαδικό χώρο, σε συνδυασμό με την έντονη ηφαιστειότητα, οδήγησαν στην δημιουργία πολυάριθμων γεωθερμικών πεδίων όλων των κατηγοριών (χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας) σε όλη σχεδόν την έκταση της χώρας. Βασικό χαρακτηριστικό στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι πως η γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη σε προσβάσιμα, σχετικά μικρά βάθη, οπότε η αξιοποίησή της είναι σχετικά εύκολη και οικονομικά συμφέρουσα (Kolios et al., 2009). Πιο συγκεκριμένα, οι γεωθερμικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής, έχουν ταυτοποιήσει την ύπαρξη (32) περιοχών γεωθερμικού ενδιαφέροντος, στις οποίες τοποθετούνται (45) «αποδεδειγμένα» και «πιθανά» γεωθερμικά πεδία (Papachristou et al., 2019). Στο χάρτη της Εικόνας 56, απεικονίζονται οι κύριες γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας.

Η αξιοποίηση της γεωθερμίας στην Ελλάδα αφορά μόνο πόρους χαμηλής ενθαλπίας/θερμοκρασίας (30-90°C) και την αβαθή γεωθερμία. Οι υδροθερμικοί πόροι κυρίως χρησιμοποιούνται στον αγροτικό τομέα (θέρμανση εδάφους και θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιέργειες, υδατοκαλλιέργειες) και σε εγκαταστάσεις λουτροθεραπείας (Papachristou et al., 2016), ενώ αξιοσημείωτη αύξηση, παρουσιάζει κατά τα τελευταία χρόνια η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας μέσω των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Papachristou et al., 2018). Αντίθετα, η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, στην Ελλάδα είναι μηδενική.

Μετά την παύση λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας 2 MWe που λειτούργησε για μικρό διάστημα στη Μήλο, όλα τα εγχειρήματα για την ανάπτυξη του γεωθερμικού ηλεκτροπαραγωγικού τομέα στη χώρα μας απέτυχαν. Η αδυναμία ολοκλήρωσης τέτοιων προσπαθειών οφείλεται σε ένα σύνολο παραγόντων, όπως είναι η αρνητική αντίδραση των τοπικών κοινωνιών σε ορισμένες περιοχές (π.χ. Μήλος), γραφειοκρατικά και οικονομικά εμπόδια, τεχνικής φύσεως επιπλοκές, μη ευνοϊκό θεσμικό πλαίσιο κλπ (Papachristou et al., 2018; 2019).

Τα αποτελέσματα των γεωθερμικών ερευνών σε διάφορες περιοχές της χώρας ήταν θετικά, βεβαιώνοντας την ύπαρξη δύο πεδίων υψηλής ενθαλπίας (στα νησιά Μήλο και Νίσυρο). Τα δεδομένα δείχνουν επίσης την παρουσία γεωθερμικών συστημάτων μέσης ενθαλπίας στη βόρεια Ελλάδα και σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου, κυρίως στις οπισθοτόξιες περιοχές, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή μέσω δυαδικού κύκλου (Kolios et al., 2009; Papachristou et al., 2016).

Σύμφωνα με την πρόσφατη νομοθεσία για τη γεωθερμία (Ν. 4602/2019), τα γεωθερμικά πεδία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ταξινομούνται ως πεδία «εθνικού ενδιαφέροντος», ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηρίζονται ως «τοπικού ενδιαφέροντος».



Εικόνα 54: Κυριότερες γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας (www.igme.gr; www.oryktosploutos.net)

Στο γεωθερμικό πεδίο της Μήλου, εκτιμάται πως το γεωθερμικό δυναμικό κυμαίνεται από 120 ως 150 MWe, χωρίς όμως αυτό να έχει επιβεβαιωθεί από βαθιές παραγωγικές γεωτρήσεις. Αντίστοιχα στη Νίσυρο, το δυναμικό μπορεί να είναι μεταξύ 50 και 60 MWe (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004; Μενδρινός & Καρύτσας, 2010). Αυτές οι δύο περιοχές θα αναλυθούν εκτενέστερα σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο της παρούσας εργασίας.



Σημαντικές ενδείξεις για την παρουσία ταμιευτήρων υψηλής θερμοκρασίας ($>90^{\circ}\text{C}$), υπάρχουν και στα νησιά Κίμωλος, Πολύαιγος, Γυαλί κ.α. (Χαραλαμπίδης, 2018).

Στην ηπειρωτική Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στη Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, οι πολύχρονες γεωθερμικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν κυρίως από το ΙΓΜΕ, σε συνδυασμό με δεδομένα που προέκυψαν από ερευνητικές γεωτρήσεις υδρογονανθράκων μεγάλου βάθους, έδειξαν πιθανούς γεωθερμικούς πόρους μέσης ενθαλπίας ($90\text{-}150^{\circ}\text{C}$), στον Στρυμονικό Κόλπο (πεδίο Ακροπόταμου Καβάλας), στο Δέλτα Έβρου (πεδίο Αρίστηνου), στο Δέλτα Νέστου (πεδίο Ερατεινού-Χρυσούπολης) και στη Σαμοθράκη (Kolios et al., 2009).

Στις τριτογενείς λεκάνες της βόρειας Ελλάδας, στα ανώτερα στρώματα των γεωλογικών σχηματισμών του υποβάθρου μετρήθηκαν θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 120°C . Για παράδειγμα, στο γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού-Χρυσούπολης, η γεωθερμική βαθμίδα υπερβαίνει κατά 3-4 φορές τη μέση τιμή, ενώ σε βάθος 1377 m η θερμοκρασία των ρευστών άγγιξε τους 122°C (Kolios et al., 2009). Στο γεωθερμικό πεδίο του Αρίστηνου, ανατολικά της Αλεξανδρούπολης, σε βάθος μόλις 360 m μετρήθηκαν θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 90°C , μέσα σε πυροκλαστικά πετρώματα.

Στην περιοχή του Στρυμονικού κόλπου, κατά την περίοδο 2002-2006, κατασκευάστηκαν (6) ερευνητικές γεωθερμικές γεωτρήσεις. Στο πεδίο του Ακροπόταμου Καβάλας σε δύο γεωτρήσεις σε βάθος 275 και 515 m, οι θερμοκρασίες ήταν περίπου 90°C , ενώ η παροχή των ρευστών είναι πολύ μεγάλη.

Προοπτικές για γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή υπάρχουν και στη νησιωτική χώρα (π.χ. Λέσβος, Κίμωλος, Χίος, Σαμοθράκη κλπ). Η «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.», έχει τα δικαιώματα έρευνας και διαχείρισης των γεωθερμικών πόρων στη Λέσβο και την Κίμωλο (Papachristou et al., 2018). Στη Λέσβο, γεωθερμικές γεωτρήσεις βάθους 0.2-1.4 km, έδειξαν θερμοκρασίες εύρους $80\text{-}90^{\circ}\text{C}$ (Μενδρινός & Καρύτσας, 2010). Στη Χίο, η θερμοκρασία έφτασε τους 80°C σε βάθος γεώτρησης μικρότερο των 500 m (Μενδρινός & Καρύτσας, 2010). Στη Σαμοθράκη, τρεις πολύ ρηχές γεωτρήσεις (40-120 m) που πραγματοποιήθηκαν κοντά σε θερμές πηγές, παράγουν γεωθερμικά ρευστά με μέγιστες θερμοκρασίες πάνω από 99°C (Kolios et al., 2009), ενώ με τη βοήθεια γεωθερμομέτρων εκτιμήθηκε πως η αρχική θερμοκρασία ίσως ξεπερνά τους 200°C (Dotsika, 1991).

4.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι πρώτες γεωθερμικές έρευνες στην Ελλάδα ξεκίνησαν από τις περιοχές που ήταν πιθανότερο να βρεθούν γεωθερμικοί πόροι υψηλής ενθαλπίας, κατάλληλοι για ηλεκτροπαραγωγή, όπως είναι αυτές που ανήκουν στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Μέθανο, Σουσάκι).

Τα αποτελέσματα των πρώτων ερευνητικών προγραμμάτων στη Μήλο, έδειξαν την παρουσία εκτεταμένης γεωθερμικής ανωμαλίας στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα του νησιού. Το 1984 κατασκευάστηκε πιλοτική γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα 2 MWe που λειτούργησε ελάχιστα και σταμάτησε οριστικά το 1989, εξαιτίας τεχνικών αστοχιών και προβλημάτων, αλλά και των ισχυρών αρνητικών αντιδράσεων της τοπικής κοινωνίας. Τις δεκαετίες που ακολούθησαν, δυστυχώς δεν υπήρξε κάποια ιδιαίτερη εξέλιξη στον τομέα της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, ενώ τα βεβαιωμένα πεδία υψηλής ενθαλπίας στη Μήλο και τη Νίσυρο παραμένουν ανεκμετάλλευτα. Από τη δεκαετία του 1990 μέχρι και σήμερα, η γεωθερμική έρευνα επικεντρώθηκε στη χαμηλή ενθαλπία, από όπου όμως προέκυψαν και τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν για μέσης ενθαλπίας πόρους, κατάλληλους για ηλεκτροπαραγωγή.

Το 2011, διενεργήθηκε διεθνής διαγωνισμός, για τη μίσθωση των δικαιωμάτων της έρευνας και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών πεδίων στα δέλτα του Νέστου και του Έβρου, στη Χίο και στη Σαμοθράκη. Δυστυχώς όμως, παρόλο που ο διαγωνισμός ολοκληρώθηκε και αναδείχθηκε ο πλειοδότης, καμία σύμβαση δεν υπογράφηκε τελικά, και το έργο ακυρώθηκε (Papachristou et al., 2016).

Τα δικαιώματα εκμετάλλευσης των βεβαιωμένων γεωθερμικών πόρων υψηλής ενθαλπίας σε Μήλο και Νίσυρο, ανήκουν στην εταιρεία «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α. Ε.», από το 1985 και το 1986, αντίστοιχα (Papachristou et al., 2019). Στην ίδια εταιρεία έχουν παραχωρηθεί και τα δικαιώματα που αφορούν στη διερεύνηση του γεωθερμικού δυναμικού που δύνανται να έχουν τα νησιά Λέσβος και Κίμωλος, καθώς και οι ηπειρωτικές περιοχές Μέθανα και Ακροπόταμος, που τοποθετούνται στην Πελοπόννησο και στην Κεντρική Μακεδονία, αντιστοίχως (Papachristou et al, 2016; 2019). Στις περιοχές αυτές, θα μπορούσε να υλοποιηθεί πρόγραμμα κατασκευής μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, με την εκτιμώμενη εγκατεστημένη ισχύ να κυμαίνεται από 5 ως 8 MWe. Οι άμεσες χρήσεις που μπορούν να συνδυαστούν με την ηλεκτροπαραγωγή, είναι για παράδειγμα η αφαλάτωση, οι υδατοκαλλιέργειες, τα θερμοκήπια, η θέρμανση/ψύξη κλπ (ΔΕΗ Ανανεώσιμες-ΔΕΗΑΝ, 2013; www.oryktosploutos.net).

Στο πλαίσιο αυτό, το 2017 η «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α. Ε.» ανακοίνωσε διεθνή πρόσκληση ενδιαφέροντος για την επιλογή στρατηγικού εταίρου, ο οποίος θα αναλάβει τη χρηματοδότηση, την ανάπτυξη και τη διαχείριση μικρών (5-8 MWe) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος σε τέσσερις περιοχές: σύμπλεγμα Μήλου-Κιμώλου, Νίσυρος, Λέσβος και Μέθανα. Η διαδικασία επιλογής ολοκληρώθηκε με επιτυχία τον Ιούλιο του 2018, με την εταιρεία «ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.» να έχει ανακηρυχθεί ως ο υψηλότερος πλειοδότης που θα κατέχει το 51% της κοινοπραξίας με τη «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α. Ε.». Οι πρώτες γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής πρόκειται να εγκατασταθούν στη Λέσβο (8 MWe) και τα Μέθανα (5 MWe). Μέσω της επιτυχούς

λειτουργίας των εν λόγω μονάδων, οι εταίροι ευελπιστούν στην αλλαγή της αρνητικής στάσης των κατοίκων στη Μήλο και στη Νίσυρο, έτσι ώστε να διευκολυνθεί και η εκμετάλλευση των πεδίων υψηλής ενθαλπίας που βρίσκονται στα νησιά αυτά, στο άμεσο μέλλον (Papachristou et al., 2019;Huttrer, 2020).

Στη Βόρεια Ελλάδα, αλλά και σε νησιά όπως η Λέσβος και η Χίος, οι τοπικές κοινωνίες έχουν πολύ θετική στάση απέναντι στην προοπτική ανάπτυξης της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Δήμος Αλεξανδρούπολης, ο οποίος εκπονεί εδώ και αρκετά χρόνια γεωθερμικό πρόγραμμα στο πεδίο του Αρίστηνου για την έρευνα και αξιοποίηση ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. Επιπρόσθετα όμως, ο Δήμος έχει δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για έρευνα σε μεγαλύτερα βάθη (>500m), με στόχο την εύρεση ρευστών κατάλληλων για ηλεκτροπαραγωγή, τα οποία είναι σχεδόν βέβαιο ότι υπάρχουν (Papachristou et al., 2018). Στα μελλοντικά σχέδια των δημοτικών αρχών περιλαμβάνεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε δημόσια κτίρια, μέσω μιας γεωθερμικής μονάδας εγκατεστημένης ισχύος 2-3 MWe. Σημειώνεται ότι στην έρευνα και την ανάπτυξη των πόρων υψηλής θερμοκρασίας (>90°C), αρωγοί αναμένεται να είναι η εταιρεία «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.», καθώς και το «Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας- ΚΑΠΕ» (Papachristou et al., 2018).

Πίνακας 8: Σχεδιασμός γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα (EGEC, 2020)

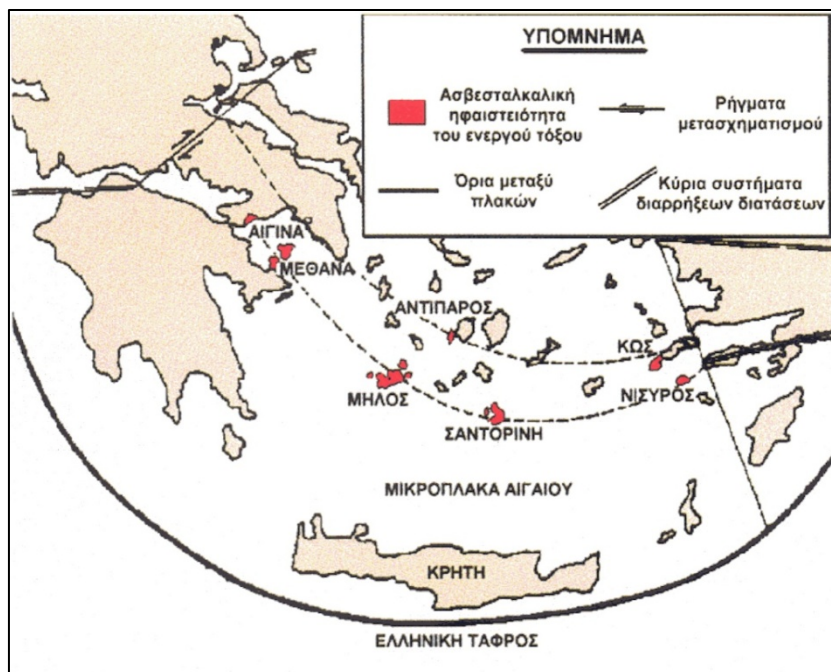
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MWe)	ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ/ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΤΟΥΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ
ΜΗΛΟΣ	GHS Milou	5	Ανάπτυξη πόρων/2029
ΚΙΜΩΛΟΣ	GHS Kimolou	5	Εξερεύνηση/2027
ΛΕΣΒΟΣ	GHS Lesvou	8	Εξερεύνηση/2027
ΝΙΣΥΡΟΣ	GHS Nisyrou	5	Ανάπτυξη πόρων/2029
ΜΕΘΑΝΑ	GHS Methanon	5	Εξερεύνηση/2027
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	-	5	Προκαταρκτική έρευνα/2030

Στον Πίνακα 8, παρατίθενται τα πιο πρόσφατα στοιχεία (Ιούνιος 2020) για τον σχεδιασμό της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, όπως δημοσιεύτηκαν από το «Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Γεωθερμίας - EGEC», μέχρι το 2030 προβλέπονται ερευνητικές εργασίες ή/και γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στη

Μήλο, την Κίμωλο, τη Λέσβο, τη Νίσυρο, τα Μέθανα και τη Σαντορίνη. Η διαχείριση των εργασιών στις πέντε προαναφερθείσες περιοχές θα γίνει από την κοινοπραξία των εταιρειών «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.» και «ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.». Όσον αφορά στη Σαντορίνη, ο Δήμος Θήρας έχει υπογράψει μνημόνιο συνεργασίας με τη ΔΕΗ Α.Ε., με σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων ηλεκτροπαραγωγής από τους γεωθερμικούς πόρους του νησιού, χωρίς όμως μέχρι σήμερα να έχει γίνει κάτι ουσιαστικό προς αυτήν την κατεύθυνση.

4.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΜΗΛΟΥ ΚΑΙ ΝΙΣΥΡΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε, στα νησιά της Μήλου και της Νισύρου υπάρχουν τα δύο βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Ελλάδας. Οι δύο αυτές περιοχές, αποτελούν μέρη του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου (Εικόνα 57). Το τόξο αυτό, δημιουργήθηκε κατά το τελικό στάδιο της υποβύθισης της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την ελληνική τάφρο και πιο συγκεκριμένα, κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου (Φυτίκας, 1977). Λόγω της έντονης ηφαιστειακής δράσης σε συνδυασμό την εφελκυστική τεκτονική του Τεταρτογενούς στον χώρο του νοτίου Αιγαίου, ευνοείται η κυκλοφορία και η συγκέντρωση γεωθερμικών ρευστών υψηλής θερμοκρασίας (κυρίως εξαιτίας των ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης) (Σημαιοάκης, 1985). Οι γεωθερμικές έρευνες έδειξαν πως το εκτιμώμενο γεωθερμικό δυναμικό και από τα δύο νησιά υπερβαίνει τα 250 MWe, ενώ το βεβαιωμένο δυναμικό τους είναι τουλάχιστον 25 MWe (Papachristou et al., 2018).



Εικόνα 55: Ενεργό Ηφαιστειακό Τόξο Νοτίου Αιγαίου (www.blogs.sch.gr)

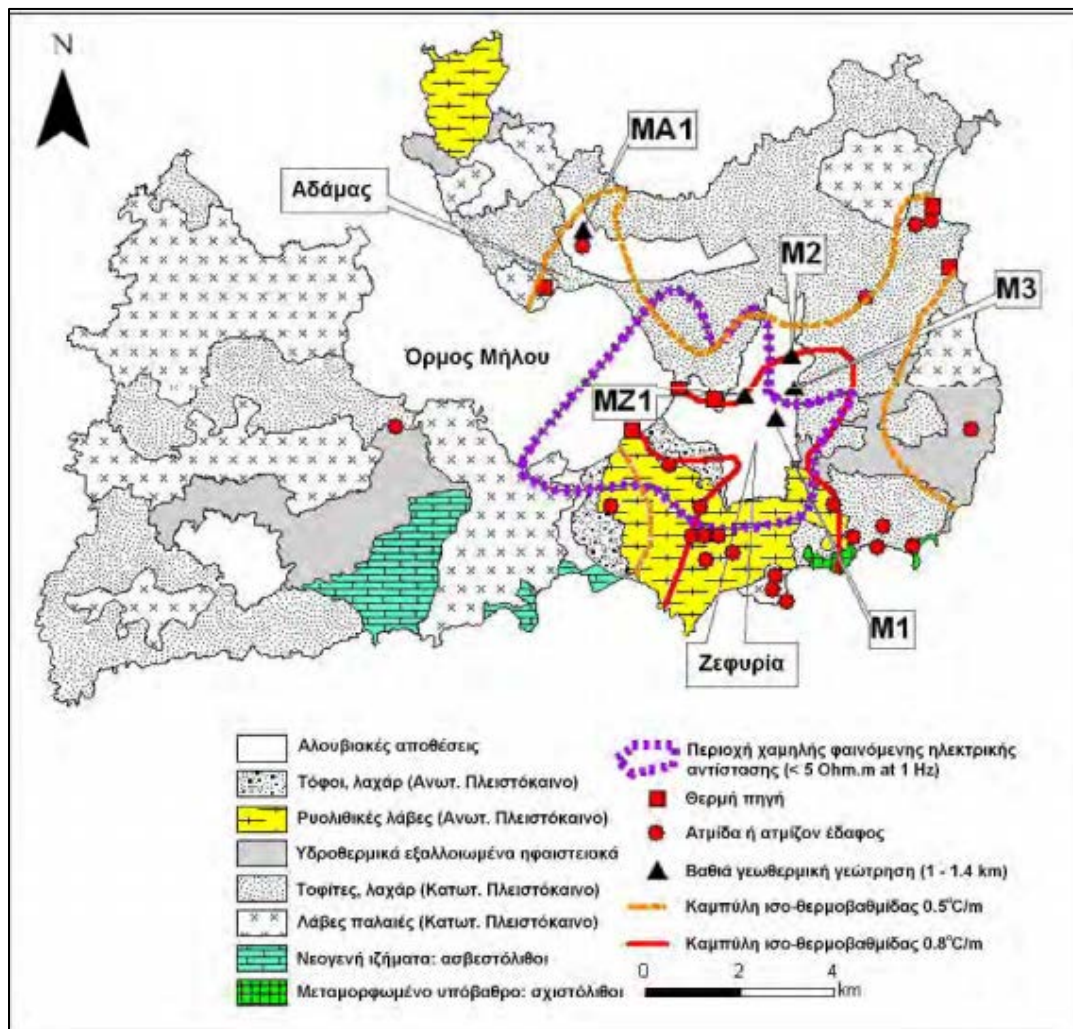
4.3.1 Μήλος

Οι πρώτες γεωθερμικές έρευνες στο νησί ξεκίνησαν το 1971 από το ΙΓΜΕ. Περιελάμβαναν λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση, αποτύπωση των επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας, δειγματοληψία νερών και αερίων και γεωφυσικές διασκοπήσεις. Κατά την πρώτη φάση έγιναν επίσης (48) μικρής διαμέτρου θερμομετρικές γεωτρήσεις για την εκτίμηση της γεωθερμικής βαθμίδας (Fytikas et al., 2008), αλλά και για την αναζήτηση των καταλληλότερων θέσεων διάνοιξης γεωτρήσεων μεγάλου βάθους (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Τα αποτελέσματα των ερευνών επιβεβαίωσαν την ύπαρξη γεωλογικών δομών με ευνοϊκά χαρακτηριστικά, που θα μπορούσαν να απαρτίζουν ένα γεωθερμικό σύστημα υψηλής ενθαλπίας. Η εκτεταμένη θερμική ανωμαλία εντοπίστηκε σε δύο περιοχές του νησιού (ανατολικά και κεντρικά). Στην περιοχή Ζεφυρία, στο ανατολικό τμήμα του νησιού, η γεωθερμική βαθμίδα ανέρχεται περίπου σε 78°C/100 m, ενώ τα γεωθερμικά ρευστά που βρέθηκαν σε βάθος 800-1400 m, έχουν θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 300 ως 323°C (Karytsas et al., 2004).

Οι παραπάνω θετικές ενδείξεις οδήγησαν κατά τα έτη 1975 και 1976, στην πραγματοποίηση (2) βαθιών ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων, υπό την επίβλεψη της ΔΕΗ και της ιταλικής ENEL (Εικόνα 58). Πρώτα κατασκευάστηκε η γεωθερμική γεώτρηση MZ1, σε απόσταση 0.5 km από την Ζεφυρία, που έφτασε σε βάθος 1080 m. Ακολούθησε η διάτρηση της MA1, σε κοντινή απόσταση (1 km) από τον Αδάμαντα της Μήλου. Η γεώτρηση αυτή, έφτασε τα 1163 m και η μέγιστη θερμοκρασία των ρευστών ήταν 308°C (Καμακάρης, 2010). Μετά το πέρας των δοκιμών που έγιναν σε αυτές, οριοθετήθηκε το πρώτο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας της χώρας, με δυνατότητες ηλεκτροπαραγωγής (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Το σχέδιο ανάπτυξης της περιοχής προέβλεπε την αξιοποίηση του πεδίου σε τρία στάδια: (1) διάτρηση 3-4 επιπλέον παραγωγικών γεωτρήσεων και κατασκευή πιλοτικής γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας, (2) δημιουργία μιας γεωθερμικής μονάδας με εγκατεστημένη ισχύ 30 MWe, αφού προηγηθεί η διάνοιξη των απαραίτητων γεωτρήσεων και (3) αύξηση της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία κατά 60 MWe, μέσω της εγκατάστασης δύο επιπλέον μονάδων, συνδυαστικά με την ανάλογη αύξηση των παραγωγικών γεωτρήσεων (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

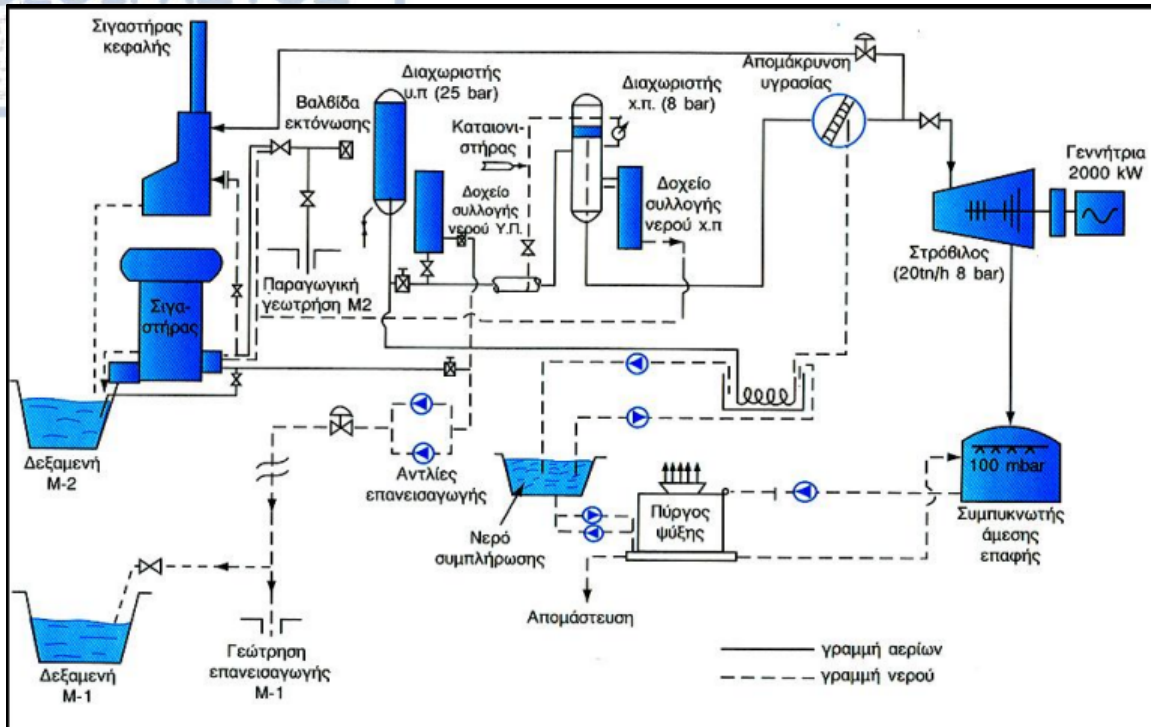
Τον Νοέμβριο του 1981 ολοκληρώθηκε η κατασκευή τριών νέων γεωτρήσεων παραγωγής, M1 (1180 m), M2 (1381 m) και M3 (1017 m) στην τοποθεσία της Ζεφυρίας (Εικόνα 58). Οι εκτιμήσεις από τις πρώτες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις έδειξαν ότι υπάρχει το κατάλληλο δυναμικό για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 24 MWe.

Η γεωθερμική έρευνα συνεχίστηκε και τα επόμενα χρόνια (1982-1984 και 1985-1987), με περαιτέρω γεωφυσικές διασκοπήσεις καθώς και ηφαιστειολογικές, πετρολογικές, ορυκτολογικές, τεκτονικές και γεωμορφολογικές μελέτες, με την συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Mendrinou et al., 2010).



Εικόνα 56: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της νήσου Μήλου, όπου απεικονίζονται και οι θέσεις των (5) συνολικά βαθιών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν (Μενδρινός& Καρύτσας, 2010)

Το 1984, η ΔΕΗ ανέθεσε στην εταιρεία Mitchubishi Heavy Industries την κατασκευή πιλοτικής μονάδας γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής, η οποία θα λειτουργούσε με τη μέθοδο της εκτόνωσης διαφασικού ρευστού, με συμπυκνωτή και πύργο ψύξης (Φυτίκας& Ανδρίτσος, 2004) και θα είχε εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 2 MWe. Το έργο αυτό ολοκληρώθηκε κατά τους πρώτους μήνες του 1986. Η επανεισαγωγή της υγρής φάσης των ρευστών γινόταν μέσω της γεώτρησης M1 (Εικόνα 59), σε θερμοκρασία 220°C και υπό πίεση 25 bar (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).



Εικόνα 57: Σχηματική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας της πιλοτικής γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας της Μήλου (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η μονάδα, λειτούργησε συνολικά μόνο (9) μήνες μέσα σε διάστημα σχεδόν τριών ετών και, δυστυχώς, στις αρχές του 1989 η λειτουργία της σταμάτησε οριστικά. Ένα από τα βασικά προβλήματα που οδήγησαν στην διακοπή αυτή ήταν οι επικαθίσεις (θειούχα άλατα βαρέων μετάλλων και πυριτικές ενώσεις) που σχηματίστηκαν σε διάφορα μέρη των εγκαταστάσεων της μονάδας, ήδη από τα πρώτα στάδια της λειτουργίας της. Ωστόσο, κυρίαρχη αιτία ήταν οι αρνητικές αντιδράσεις του ντόπιου πληθυσμού της Ζεφυρίας, λόγω της δυσάρεστης οσμής από τις αέριες εκπομπές υδρόθειου (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Δυστυχώς, την εποχή εκείνη δεν είχε προβλεφθεί η απομάκρυνση των εκπομπών υδροθείου, κυρίως επειδή επρόκειτο για μία μικρή και πιλοτική μονάδα.

Από τότε μέχρι και σήμερα, το γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας στη Μήλο, παραμένει αναξιοποίητο, αν και με βάση τα πρόσφατα στοιχεία αναμένεται να υπάρξει αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων μέχρι το 2029 (EGEC, 2020). Έχει εκτιμηθεί (Fytikas et al., 2008) ότι η ηλεκτρική ισχύς από το εν λόγω πεδίο μπορεί να τροφοδοτήσει όχι μόνο τη Μήλο, αλλά και τα γειτονικά νησιά Φολέγανδρο και Κίμωλο.

4.3.2 Νίσυρος

Η Νίσυρος ανήκει γεωγραφικά στα Δωδεκάνησα και δομείται σχεδόν εξολοκλήρου από πετρώματα ηφαιστειακής προέλευσης (ρυόλιθους, δακίτες κ.α.), τα οποία κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου αποτέθηκαν πάνω στο ασβεστολιθικό της μεσοζωϊκό

υπόβαθρο. Η γεωτεκτονική θέση του νησιού, η πρόσφατη ηφαιστειότητα, η ύπαρξη μαγματικών θαλάμων σε πολύ μικρά βάθη, η παρουσία πολλαπλών πολύ νέων υδροθερμικών εκδηλώσεων κλπ, ήταν οι βασικές ενδείξεις για την ύπαρξη ενός πολύ σημαντικού γεωθερμικού πεδίου στο υπέδαφος της Νισύρου.

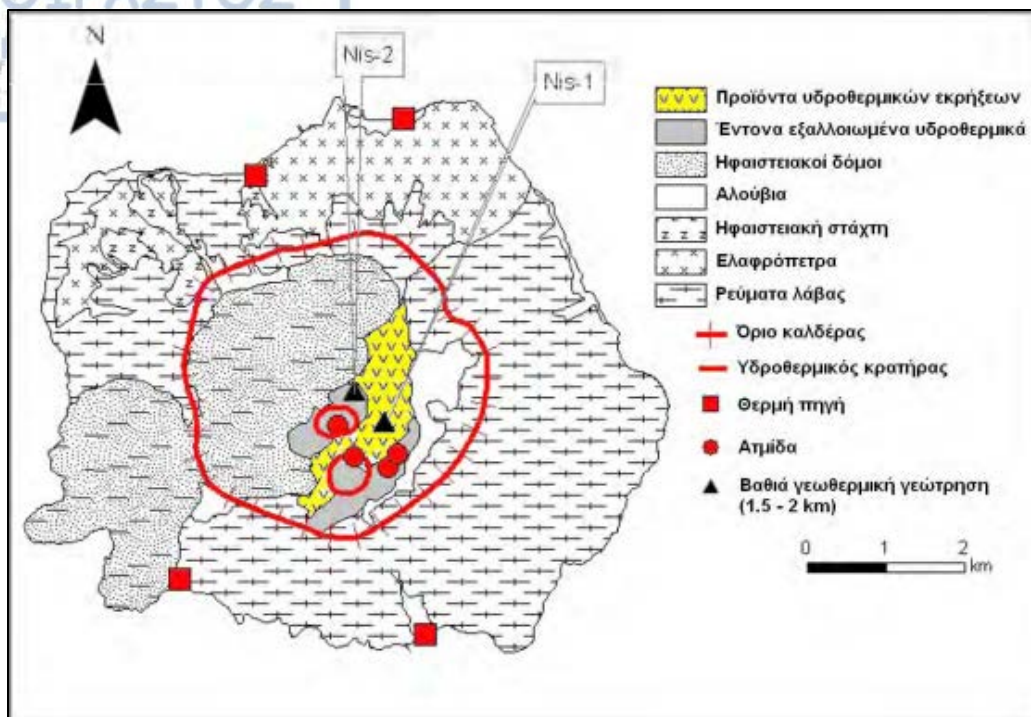
Η γεωθερμική έρευνα διεξήχθη από ΙΓΜΕ τη δεκαετία του 1970 και τελικά επιβεβαίωσε και οριοθέτησε το δεύτερο βεβαιωμένο πεδίο υψηλής ενθαλπίας, με γεωθερμική βαθμίδα που φτάνει έως και 20 φορές μεγαλύτερη από τη μέση τιμή. Οι γεωχημικές έρευνες έδειξαν την παρουσία δύο διαφορετικών γεωθερμικών συστημάτων. Ρηχοί (100-500 m) ταμιευτήρες με θερμοκρασία 120-170°C προφανώς υπάρχουν σε όλη την έκταση του νησιού (Kavouridis et al., 1999), ενώ στο κεντρικό τμήμα του νησιού, κάτω από την καλδέρα υπάρχουν ρευστά με θερμοκρασία 275-350°C, σε βάθη 1000-1500 m (Vrouzi, 1985).

Το 1982, η ΔΕΗ προχώρησε στην κατασκευή (2) ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων μεγάλου βάθους, Nis-1 και Nis-2 μέσα στην καλδέρα (Εικόνα 61), βάθους 1550 και 1820 m, αντίστοιχα. Οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών ξεπέρασαν τους 350°C (Vrouzi, 1985; Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004; Fytikas et al., 2008). Τα ρευστά χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή αλατότητα (Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων 100g/l), η οποία προκάλεσε σημαντικά τεχνικά προβλήματα κατά τις δοκιμές παραγωγής, λόγω της απόθεσης τεράστιων ποσοτήτων αλάτων στον πυθμένα των γεωτρήσεων.

Μετά την αρνητική έκβαση της προσπάθειας γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής στη Μήλο, τις κοινωνικές αντιδράσεις που επηρέασαν και τους κατοίκους της Νισύρου, αλλά και τα τεχνικά θέματα που δημιουργήθηκαν στις γεωτρήσεις της Νισύρου, το γεωθερμικό πεδίο παρέμεινε εντελώς αναξιοποίητο. Σημειώνεται ότι ο αρχικός σχεδιασμός, περιελάμβανε τη λειτουργία δύο γεωθερμικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 10 MWe.

Υπήρχαν κατά διαστήματα διάφορες προτάσεις για την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών της Νισύρου, όπως η εκμετάλλευση των πιο ρηχών ταμιευτήρων (350-800 m), με θερμοκρασίες από 99-180°C, που θα μπορούσαν να συνδυαστούν με την τεχνολογία δυαδικού κύκλου για ηλεκτροπαραγωγή και στη συνέχεια για άμεσες χρήσεις (π.χ. αφαλάτωση).

Σύμφωνα πάντως με τον προγραμματισμό της ΔΕΗ, προβλέπεται, όπως και για τη Μήλο, ανάπτυξη του γεωθερμικού δυναμικού της Νισύρου τα επόμενα χρόνια με τη λειτουργία μικρής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας 5 MWe.



Εικόνα 58: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Νισύρου, όπου βρίσκονται τοποθετημένα και τα σημεία των (2) βαθιών γεωτρήσεων, που υλοποιήθηκαν (Μενδρινός & Καρύτσας, 2010)

4.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Ένας από τους λόγους που η γεωθερμία δεν είχε την αναμενόμενη ανάπτυξη στην Ελλάδα, θεωρείται από πολλούς και η απουσία του κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου. Το 2003 ψηφίστηκε ο πρώτος νόμος-πλαίσιο αποκλειστικά για τη γεωθερμία, ο οποίος στη συνέχεια συμπληρώθηκε από πολλές διατάξεις που ρύθμιζαν επιμέρους θέματα έρευνας, εκμετάλλευσης και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού.

Το 2019 τέθηκε σε ισχύ ο νέος γεωθερμικός νόμος 4602/2019 που περιέχει αλλαγές στην ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων και στους όρους/διαδικασίες έρευνας και αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού, σε συμφωνία με την προσπάθεια για αναμόρφωση του ενεργειακού τοπίου που επιχειρείται στην Ελλάδα με ενεργή συμμετοχή όλων των ΑΠΕ (Εθνικό Πλάνο για την Ενέργεια και το κλίμα, www.oryktosploutos.net).

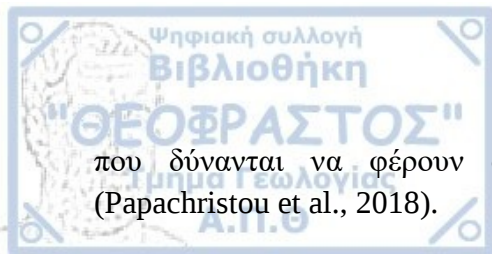
Η χωροθέτηση των γεωθερμικών εγκαταστάσεων είναι ένα σημαντικό ζήτημα, που σχετίζεται με το περιβαλλοντικό αντίκτυπο από τη λειτουργία τους. Αξιοσημείωτη προϋπόθεση για την ορθή χωροθέτησή τους, αποτελεί η συνεργασία πολλαπλών επιστημονικών και τοπικών φορέων. Το 2008, εγκρίθηκε το «Ειδικό Πλαίσιο

Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης» (ΦΕΚ-2464-B-03.12.2008), που αναφέρεται αποκλειστικά τις ΑΠΕ. Στόχος ήταν η θέσπιση κανόνων, πολιτικών και κριτηρίων που θα διέπουν την χωροθέτηση των ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητά τους, αλλά και η εναρμόνισή τους με το ανθρωπογενές και το φυσικό περιβάλλον. Επιπλέον, με βάση το πλαίσιο αυτό, καθορίστηκαν και οι περιοχές αποκλεισμού ή ασυμβατότητας των γεωθερμικών εγκαταστάσεων (π.χ. περιοχές Natura 2000, Υγρότοποι Διεθνούς Σημασίας, περιοχές με αρχαιολογικές ζώνες προστασίας κλπ).

Με την εφαρμογή του νόμου 3734/2009, *«Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»*, ευνοείται η ανάπτυξη των γεωθερμικών πόρων της χώρας με στόχο την συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Ο ν. 3851/2010 *«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»*, εκδόθηκε με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία 28/2009, και στόχευε στην σταδιακή βελτίωση και αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ στη χώρα μας. Με τον ίδιο νόμο καθορίστηκε η τιμή της ηλεκτρικής γεωθερμικής κιλοβατώρας (Feed-in Tariff) στα 99.45 €/MWh, ενώ συγχρόνως αναλύθηκε και το συγκριτικό κόστος που απαιτείται για τη λειτουργία μιας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού. Για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι διατάξεις που εντάσσονται στον *Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ) (ΦΕΚ Β' 1227/14. 06. 2011)*.

Ο ν. 4414/2016 *«Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης-Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στη αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις»*, είναι σημαντικός, αφού εισάγει και θεσμοθετεί την έννοια της «Λειτουργικής Ενίσχυσης» για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Συχνότερα, αυτή θα παρέχεται υπό τη μορφή μιας «Διαφορικής Προσαύξησης (feed-in-premium)», και αρκετά σπάνια μέσω «Σταθερών Εγγυημένων Τιμών (feed-in-tariff)». Ο υπολογισμός της «Λειτουργικής Προσαύξησης», βασίζεται σε μια καθορισμένη τιμή αναφοράς, η οποία απουσία της «Επενδυτικής Ενίσχυσης», ανέρχεται σε : (1) 139 €/MWh για μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία με εγκατεστημένη ισχύ μέχρι και 5 MWe και (β) 108 €/MWh για γεωθερμικές μονάδες, των οποίων η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς υπερβαίνει τα 5 MWe. Στον εν λόγω νόμο, εντάσσονται και οι νομοθετικές αλλαγές μεταξύ του παλιού και του καινούργιου θεσμικού πλαισίου, αλλά και οι προϋποθέσεις



που δύνανται να φέρουν οι ενδιαφερόμενοι για τις αναφερόμενες ενισχύσεις (Papachristou et al., 2018).

Ο νόμος 4513/2018 «Ενεργειακές κοινότητες και άλλες διατάξεις», εισάγει την ίδρυση και λειτουργία «Ενεργειακών Κοινοτήτων», οι οποίες μπορούν να δραστηριοποιούνται στους τομείς των ΑΠΕ, της συμπαραγωγής θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής ισχύος, της ορθολογικής χρήσης ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης, των βιώσιμων μεταφορών, της διαχείρισης της ζήτησης και παραγωγής, της διανομής και προμήθειας ενέργειας σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Papachristou et al., 2019). Μέλη των εν λόγω κοινοτήτων μπορεί να είναι δημόσια ή ιδιωτικά νομικά πρόσωπα ή / και τοπικές αρχές. Η γενική ιδέα, είναι οι πολίτες να συμμετέχουν άμεσα και ενεργά σε έργα που αφορούν την παραγωγή ενέργειας, ως παραγωγοί και καταναλωτές ταυτόχρονα. Οι «Ενεργειακές Κοινότητες» είναι, κατά κανόνα, μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί, με βασική αρχή που τους διέπει, να διαδίδουν τα οφέλη στα μέλη τους και στην τοπική κοινότητα.

Ο νόμος 4602 ψηφίστηκε τον Μάρτιο του 2019 και πρακτικά αντικαθιστά τον νόμο 3175/2003 και αναλύεται περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο.

Επιπλέον στον νέο Περιβαλλοντικό Νόμο, ν. 4685/2020 «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», άρθρο 10, αναφέρεται πως η διάρκεια των συμβάσεων μίσθωσης δικαιωμάτων έρευνας και διαχείρισης γεωθερμικού πεδίου υψηλής θερμοκρασίας του άρθρου 30 του ν. 4342/2015 (Α' 143), μπορεί να παρατείνεται για πέντε (5) επιπλέον χρόνια, από την ημερομηνία λήξης τους. Η διάταξη αυτή αφορά άμεσα στα (4) γνωστά γεωθερμικά πεδία που ανήκουν στην εταιρεία «ΔΕΗ Ανανεώσιμες» (Μήλου, Νισύρου, Λέσβου και Μεθάνων).

Τέλος, οι διατάξεις του Μεταλλευτικού Κώδικα (ν.δ.210/1973), αλλά και γενικά της μεταλλευτικής νομοθεσίας εφαρμόζονται και για το γεωθερμικό δυναμικό, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά με τις διατάξεις του ν. 4602/2019.

4.4.1 Νόμος 4602/2019-Γενικές διατάξεις που σχετίζονται με τη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή

Οι διατάξεις του ν. 4602/2019 δημιουργούν ένα πιο απλοποιημένο, εκσυγχρονισμένο, ευέλικτο, με περισσότερα προσφερόμενα οφέλη πλαίσιο για τη γεωθερμία, ενώ συγχρόνως, δημιουργεί καταλληλότερες συνθήκες και για την προσέλκυση επενδύσεων στον τομέα αυτό, που θα ενισχύσουν ποικίλους τομείς της εθνικής οικονομίας.

Οι κύριες τροποποιήσεις που επήλθαν, συνοπτικά, είναι οι εξής (www.enomothesia.gr; www.oryktosploutos.net):

- ο Αλλαγές στην κατηγοριοποίηση των γεωθερμικών πεδίων και κατάργηση των εννοιών «βεβαιωμένο» και «πιθανό» πεδίο. Σύμφωνα με τις νέες διατάξεις (άρθρο 2), τα γεωθερμικά πεδία θα διαχωρίζονται σε «εθνικού» (θερμοκρασία ρευστού μεγαλύτερη των 90°C) και «τοπικού» (θερμοκρασία ρευστού μεταξύ 30 και 90°C) ενδιαφέροντος. Επιπλέον, οι μη χαρακτηρισμένοι με βάση κάποιο ΦΕΚ γεωθερμικοί χώροι, όπου εκτιμάται πως υπάρχει γεωθερμικό δυναμικό θερμοκρασίας μέχρι 90°C, ορίζονται πλέον ως «Περιοχές Γεωθερμικού Ενδιαφέροντος- ΠΓΘΕ».
- ο Σύμφωνα με τους ορισμούς του άρθρου 2, υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ του δικαιώματος της «Εκμετάλλευσης» και της «Διαχείρισης» του γεωθερμικού δυναμικού. Η έννοια της «εκμετάλλευσης», εστιάζει κυρίως στις παραγωγικές διαδικασίες άντλησης του γεωθερμικού προϊόντος και των υποπροϊόντων του, ενώ η «διαχείριση», αποσκοπεί στην ολοκληρωμένη, ορθολογική και βιώσιμη αξιοποίηση του συνόλου του γεωθερμικού πεδίου.
- ο Το άρθρο 5, εκτός των άλλων, προβλέπει αύξηση στη διάρκεια μίσθωσης του δικαιώματος διαχείρισης και εκμετάλλευσης ή μόνον εκμετάλλευσης. Η αρχική διάρκεια, ανέρχεται στα τριάντα χρόνια, με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για μέχρι και είκοσι επιπλέον έτη.
- ο Στο πλαίσιο των «Σχεδίων Ανάπτυξης Γεωθερμικού Δυναμικού», παρέχεται η δυνατότητα αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού στα πεδία αρμοδιότητας, στο συντονιστή της αποκεντρωμένης διοίκησης, με απώτερο στόχο την προστασία της βιωσιμότητας του φυσικού πόρου, καθώς και την ορθολογική χρήση του.
- ο Ενίσχυση του ρόλου της «Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών-ΕΑΓΜΕ», που αντικατέστησε το ΙΓΜΕ και αποτελεί τον θεσμοθετημένο σύμβουλο της ελληνικής επικράτειας, σε θέματα γεωθερμίας. Ταυτόχρονα, δίνεται ιδιαίτερη σημασία και στη συνεργασία της ΕΑΓΜΕ, τόσο με το «Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας-ΥΠΕΝ», όσο και με τις αποκεντρωμένες διοικήσεις, για την έμπρακτη υποστήριξη της αρχής στη διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων. Ωστόσο, οι αποκεντρωμένες διοικήσεις, για να υποβοηθηθούν στην υλοποίηση του έργου τους, κατέχουν και το δικαίωμα επιλογής και ανεξαρτήτων της ΕΑΓΜΕ, επιστημονικών συμβούλων, νομικών προσώπων ιδιωτικού ή δημοσίου δικαίου, αλλά ακόμη και μεμονωμένων επιστημόνων.

- ο Ιδιαίτερα σημαντική είναι η σύσταση εθνικού μητρώου σημείων αξιοποίησης γεωθερμίας (Ε.Μ.Σ.Α.Γ.Ε), που προβλέπει το άρθρο 16 του ισχύοντος νόμου, αλλά και η οργάνωση ηλεκτρονικών πληροφοριακών πυλών στις ιστοσελίδες της ΕΑΓΜΕ και του ΥΠΕΝ.

4.4.2 Μισθώσεις πεδίων εθνικού ενδιαφέροντος

Στο παρόν υποκεφάλαιο, δίνεται βαρύτητα σε ορισμένους κανονισμούς του ισχύοντος νόμου (ν. 4602/2019-άρθρα 4 και 5), που αφορούν στις μισθώσεις γεωθερμικών πεδίων «εθνικού» ενδιαφέροντος, καθώς αυτά συνδέονται άμεσα με την γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή.

Αναφορικά με το άρθρο 4, η έρευνα, διαχείριση και εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού, των πεδίων «εθνικού» ενδιαφέροντος, υπάγονται στην αρμοδιότητα του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας (www.e-nomothesia.gr).

Το άρθρο 5, ρυθμίζει την εκμίσθωση των δικαιωμάτων έρευνας, εκμετάλλευσης και διαχείρισης γεωθερμικού δυναμικού στα πεδία «εθνικού» ενδιαφέροντος και τις μη χαρακτηρισμένες περιοχές (www.e-nomothesia.gr). Πιο συγκεκριμένα:

- ο Η εκμίσθωση του δικαιώματος έρευνας, διαχείρισης και εκμετάλλευσης γεωθερμικού δυναμικού καθίσταται εφικτή ύστερα από διαγωνισμό με προσφορές.
- ο Η διάρκεια της μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας ορίζεται μέχρι πέντε (5) έτη με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από τον μισθωτή για δύο (2) επιπλέον έτη, με την επιφύλαξη της παραγράφου 9 του άρθρου αυτού.
- ο Η διάρκεια μίσθωσης του δικαιώματος εκμετάλλευσης ή εκμετάλλευσης και διαχείρισης ορίζεται μέχρι τριάντα (30) έτη, με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από τον μισθωτή μέχρι είκοσι (20) επιπλέον χρόνια.
- ο Οι ειδικότεροι όροι και η διαδικασία εκμίσθωσης καθορίζονται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- ο Η εκμετάλλευση μπορεί να λαμβάνει χώρα συγχρόνως με την έρευνα. Επίσης, καθίσταται εφικτή η πιλοτική εκμετάλλευση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της έρευνας, υπό την προϋπόθεση να έχει εντοπιστεί γεωθερμικό δυναμικό και να έχει καταβληθεί το σχετικό μίσθωμα για το σκοπό αυτό.
- ο Την προτεραιότητα στην υλοποίηση γεωθερμικών ερευνών για λογαριασμό του δημοσίου (διάτρηση γεωτρήσεων και πραγματοποίηση δοκιμαστικών αντλήσεων), κατέχει η ΕΑΓΜΕ. Ωστόσο, ύστερα από έγκριση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας, αντίστοιχες έρευνες δύνανται να ανατεθούν, τόσο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται εδώ και περισσότερα από 100 χρόνια για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Η πρώτη πειραματική απόπειρα, αλλά και η εμπορική εφαρμογή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τον τρόπο αυτό, έλαβε χώρα στο γεωθερμικό πεδίο Larderello της Ιταλίας. Στη συνέχεια, ακολούθησε η αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων για ηλεκτροπαραγωγή στη Νέα Ζηλανδία, το Μεξικό, τις ΗΠΑ, την Ιαπωνία, την Ισλανδία κλπ (Lund, 2004).

Οι πρώτες γεωθερμικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες λειτούργησαν σε πεδία ξηρού ατμού, τα οποία όμως είναι πολύ λίγα παγκοσμίως, και εν συνεχεία σε πεδία υψηλής ενθαλπίας που παράγουν διφασικά ρευστά. Κατά αντιστοιχία, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν αρχικά η μέθοδος ξηρού ατμού (dry steam) (π.χ. στο Larderello, Ιταλία και Geysers, ΗΠΑ) και εν συνεχεία η μέθοδος εκτόνωσης διφασικού ρευστού (π.χ. Ισλανδία και Ν. Ζηλανδία).

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η ηλεκτροπαραγωγή κατέστη εφικτή ακόμη και από ρευστά χαμηλότερης θερμοκρασίας ή και από μη υδροθερμικούς γεωθερμικούς πόρους, όπως είναι τα θερμά-ξηρά ή ημιπερατά πετρώματα. Στην πρώτη περίπτωση, η λειτουργία των ηλεκτροπαραγωγικών γεωθερμικών μονάδων βασίστηκε στην χρήση της τεχνολογίας του δυαδικού κύκλου (binary cycle), Kalina ή ORC, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε γεωθερμικού πεδίου. Στην Ευρώπη, οι πρώτες χώρες που ανέπτυξαν την εν λόγω μέθοδο ήταν η Αυστρία (2000) και η Γερμανία (2003) (Lund, 2004; Quick et al., 2010). Στις μέρες μας, η χρήση του δυαδικού κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο καθώς εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις νέες μονάδες, ιδιαίτερα στον χώρο της Ευρώπης (Πορτογαλία, Κροατία, Γερμανία κ. α.), αλλά και στην Τουρκία (Huttrer, 2020).

Η αξιοποίηση της θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε μεγάλο βάθος (συνήθως >1.5 km), μέσα σε θερμά και ξηρά ή ημιπερατά πετρώματα, επιτελείται μέσω της εφαρμογής των Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων (EGS), με τη δημιουργία «τεχνητών» γεωθερμικών ταμιευτήρων στους γεωλογικούς σχηματισμούς που πληρούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις. Οι δυνατότητες που μπορεί να προκύψουν από την χρήση των EGS για την παραγωγή ενέργειας στο μέλλον είναι τεράστιες, καθώς αυξάνεται το φάσμα των πόρων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες χρήσεις (ηλεκτρικές και άμεσες). Βασική πρόκληση ωστόσο, αποτελεί η επίλυση των διαφόρων προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν μέσω της εφαρμογής τους (π.χ. αύξηση σεισμικότητας, αυξημένο κόστος γεωτρήσεων κλπ). Γενικά, με μια πιθανότητα που ανέρχεται στο 85%, εκτιμάται πως η γεωθερμική ισχύς που θα εγκατασταθεί με τη

βοήθεια αυτών των «βελτιωμένων» συστημάτων, θα φτάσει τα 70 GWe, παγκοσμίως, ως το 2050 (Lu, 2018). Έργα EGS, έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια σε ορισμένες χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ισλανδία, η Μεγάλη Βρετανία, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Πορτογαλία (Huttrer, 2020). Παρόλο που αυτά, δεν εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στον ευρωπαϊκό χώρο, οι μονάδες Soultz της Γαλλίας και Landau της Γερμανίας, αποτέλεσαν τις πρώτες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες με χρήση των EGS, εμπορικής κλίμακας.

Σήμερα, η γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή, λαμβάνει χώρα σε 29 χώρες παγκοσμίως, εξ' αυτών οι 11 ευρωπαϊκές, συμπεριλαμβανομένης και της Τουρκίας. Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς, στα τέλη του 2019 είχε ανέλθει στα 16 GWe. Ο μεγαλύτερος παραγωγός ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι οι ΗΠΑ, και ακολουθούν η Ινδονησία, οι Φιλιππίνες και η Τουρκία. Η Ιταλία και η Ισλανδία, από τον ευρωπαϊκό χώρο, καταλαμβάνουν την όγδοη και δέκατη θέση, αντίστοιχα. Επιπλέον, κατά την τελευταία πενταετία, (5) νέες χώρες εντάχθηκαν στην παγκόσμια αγορά, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια με χρήση της γεωθερμίας (Χιλή, Βέλγιο, Ονδούρα, Κροατία, Ουγγαρία). Επιπροσθέτως, εκτιμάται πως μέχρι το 2025, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς θα αυξηθεί κατά περίπου 3.4 GWe (Huttrer, 2020).

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ηλεκτροπαραγωγής είναι σημαντική για την αποδοτικότητα της μονάδας και το οικονομικό κέρδος. Σε παγκόσμια κλίμακα, όσον αφορά στην εγκατεστημένη ισχύ, επικρατεί η τεχνολογία εκτόνωσης διφασικού ρευστού. Στην Ευρώπη, με εξαίρεση την Ισλανδία και την Ιταλία, υπερτερεί η μέθοδος του δυαδικού κύκλου, με βάση των αριθμό των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων. Όσον αφορά τα EGS, μόνο στη Γαλλία γίνεται μέχρι στιγμής εμπορική εφαρμογή τους, ενώ πολλά σχετικά έργα αναπτύσσονται και ερευνώνται σε διάφορες χώρες (π.χ. ΗΠΑ, Τουρκία, Γερμανία, Ουγγαρία, Γαλλία κλπ).

Η Ευρώπη από το 1995 μέχρι σήμερα παρουσιάζει μια συνεχόμενη αυξητική τάση στην ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία, φτάνοντας τα 3.4 GWe εγκατεστημένης ισχύος στα τέλη του 2019. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ραγδαία αύξηση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία στην Τουρκία, καθώς κατά τα πέντε τελευταία (5) έτη κατάφερε να εγκαταστήσει περισσότερα από 1152 MWe ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία.

Η Ισλανδία είναι η μόνη ευρωπαϊκή χώρα που έχει επιτύχει σχεδόν το 100% της ηλεκτρικής της ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (υδροηλεκτρική και γεωθερμική ενέργεια), αποδεικνύοντας έμπρακτα τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την χρήση της «καθαρής» ενέργειας. Η Ισλανδία πλέον παρέχει την τεχνογνωσία που έχει αποκτήσει στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρισμού και σε άλλες χώρες του κόσμου, ενώ συγχρόνως συνεχίζει

να καινοτομεί. Αξιοσημείωτη είναι η δραστική μείωση των βλαβερών εκπομπών των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών, που επιτεύχθηκε χάριν στη μετατροπή των εκπεμπόμενων αερίων σε ορυκτά, καθώς και η διερεύνηση της δυνατότητας ανάκτησης πολύ μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας από υπερκρίσιμα ρευστά.

Η Ιταλία είναι η πρώτη χώρα στον κόσμο που ασχολήθηκε με την γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή και παρόλο που τα τελευταία χρόνια δεν έχει αυξήσει ιδιαίτερα την εγκατεστημένη ισχύ της, διατηρεί έναν ισχυρό ρόλο σε παγκόσμιο επίπεδο. Αξίζει να αναφερθούν οι σημαντικές προσπάθειες που έχουν καταβληθεί για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των γεωθερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. σταθμοί AMIS, πιστοποιήσεις, μείωση οπτικής όχλησης), ενώ καινοτομία αποτέλεσε και η κατασκευή της μονάδας Cornia 2, η οποία λειτουργεί με μια υβριδική τεχνολογία που χρησιμοποιεί τόσο τη γεωθερμία, όσο και τη βιομάζα για την παραγωγή ηλεκτρισμού (Dal Porto et al., 2016; EGEN, 2020). Επιπλέον και η Κροατία έχει αρχίσει να αναπτύσσει μια παρόμοια υβριδική τεχνολογία στις περιοχές Draskovec και Kotoriba, η οποία συνδυάζει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τη γεωθερμία και τα μη συμβατικά αέρια υδρογονανθράκων (AAT Geothermae, 2018; Hutterer, 2020).

Όσον αφορά στην Ελλάδα, το γεωθερμικό δυναμικό παρουσιάζει αξιόλογες προοπτικές για την παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς έχει ήδη ταυτοποιηθεί η ύπαρξη δύο πεδίων υψηλής θερμοκρασίας στα νησιά Μήλος και Νίσυρος. Ακόμη, θετικές ενδείξεις για την ύπαρξη πεδίων ενδιάμεσης θερμοκρασίας που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την ηλεκτροπαραγωγή με χρήση του δυαδικού κύκλου, έχουν καταγραφεί σε αρκετές νησιωτικές και ηπειρωτικές περιοχές της χώρας (π.χ. νησιά Σαμοθράκη, Λέσβος, Χίος Κως, λεκάνες Έβρου, Νέστου, Ακροπόταμος Καβάλας κλπ). Ωστόσο μέχρι στιγμής δεν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με χρήση της γεωθερμίας. Η προσπάθεια, πρωτοποριακή για την εποχή, που είχε γίνει κατά τη δεκαετία του 1980 στη Μήλο, με την κατασκευή και λειτουργία μιας πιλοτικής μονάδας εκτόνωσης διαφασικού ρευστού, δεν ολοκληρώθηκε επιτυχώς, αφού η μονάδα λειτούργησε για μικρό χρονικό διάστημα και έκλεισε οριστικά το 1989. Έτσι, η γεωθερμία στην Ελλάδα βρίσκει εφαρμογή μόνο σε άμεσες χρήσεις (θέρμανση θερμοκηπίων, ιαματικά λουτρά κλπ) και μέσω των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Το νέο νομοθετικό πλαίσιο για τη γεωθερμία που τέθηκε σε ισχύ το 2019, σε συνδυασμό με τον εθνικό ενεργειακό μετασχηματισμό που εισάγει τη γεωθερμική ενέργεια ως αναπόσπαστο κομμάτι του «Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα», θέτοντας συγκεκριμένους στόχους για το 2030, φιλοδοξούν να συμβάλουν στην πρόοδο και την ανάπτυξη του ηλεκτροπαραγωγικού γεωθερμικού τομέα στην Ελλάδα, στο άμεσο μέλλον. Αυτό όμως παραμένει αμφίβολο, δεδομένου ότι καμία ενέργεια, σε πρακτικό τουλάχιστον επίπεδο, δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Σχετικά με τα μελλοντικά σχέδια των ευρωπαϊκών χωρών, που αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία, τα στοιχεία είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, αφού εκτιμάται πως μέχρι το 2025 η **πρόσθετη** εγκατεστημένη ισχύς, από το σύνολο των χωρών, θα ξεπεράσει το 1 GWe. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δημοσιευμένα στοιχεία από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Γεωθερμίας (Ιούνιος 2020), εκτιμάται πως ακόμη περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες θα εντάξουν την γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή στο ενεργειακό τους ισοζύγιο ως το 2025 (Τσεχία, Πολωνία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ελβετία, Σερβία, Ισπανία, Σλοβακία). Σε όλη την Ευρώπη, βρίσκονται υπό ανάπτυξη (36) μονάδες, ενώ (90) ερευνητικά προγράμματα βρίσκονται σε εξέλιξη σε διάφορες περιοχές, που αφορούν στην ανέγερση νέων μονάδων, αλλά και στην εξερεύνηση κατάλληλων πόρων για ηλεκτροπαραγωγή (EGC, 2020). Αρκετά από τα προγράμματα αυτά, σχετίζονται με την ανάπτυξη των «Βελτιωμένων Γεωθερμικών Συστημάτων», κυρίως στη Γαλλία, την Ουγγαρία, τη Γερμανία, την Τουρκία και την Ελβετία.

Συνοψίζοντας, η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας παρουσιάζει συνεχή άνοδο, λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της τεχνολογικής ανάπτυξης και της ανάγκης των ανθρώπων για μια καλύτερη ποιότητα ζωής. Ωστόσο, περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που προέρχονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, προωθούν την ένταξη των ανανεώσιμων και βιώσιμων πηγών ενέργειας στα ενεργειακά ισοζύγια των κρατών, ως μια κατάλληλη λύση, που μπορεί να προσφέρει πολλά οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη στις διάφορες χώρες και τις τοπικές κοινωνίες τους.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία έχει ορισμένα πλεονεκτήματα όπως η συνεχής παροχή, η ύπαρξη ενός τεράστιου ανεκμετάλλετου δυναμικού, καθώς και ένα ευρύ φάσμα πιθανών εφαρμογών που την καθιστούν μια ενδιαφέρουσα και βιώσιμη λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κόσμου μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (ειδικά του CO₂). Οι μελλοντικές τάσεις στον τομέα της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής, φαίνεται να εστιάζουν στην ανέγερση μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, έτσι ώστε να γίνεται ολοκληρωμένη αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών των πεδίων. Τέτοιες μονάδες στην Ευρώπη ήδη λειτουργούν σε ορισμένες χώρες όπως είναι η Αυστρία, η Γερμανία και η Ισλανδία. Επίσης, αξιοσημείωτη αύξηση αναμένεται στον αριθμό των μονάδων που λειτουργούν με τη μέθοδο του δυαδικού κύκλου, τόσο εξαιτίας της δυνατότητας αξιοποίησης γεωθερμικών πεδίων ενδιάμεσων θερμοκρασιών που είναι αριθμητικά περισσότερα, όσο και λόγω των ελάχιστων, έως μηδενικών εκπομπών τους στην ατμόσφαιρα, καθώς αποτελούν εντελώς «κλειστά» συστήματα. Επιπλέον, οι συνεχείς έρευνες που αποσκοπούν στην ευρύτερη εμπορική εφαρμογή των EGS και στην εξέλιξη της τεχνολογίας τους, φαίνεται πως θα συνεχιστούν, καθώς τα αποθέματα θερμότητας που βρίσκονται αποθηκευμένα στα θερμά και ξηρά ή ημιπερατά

πετρώματα θα διευρύνουν σε σημαντικό βαθμό τους διαθέσιμους πόρους που θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν για ηλεκτροπαραγωγή.

Πολύ σημαντική παράμετρο, στην «πράσινη» ενέργεια, που αποζητείται πλέον από τις περισσότερες χώρες, αποτελεί η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που οφείλονται στην παραγωγή ενέργειας από γεωθερμία και άλλες ανανεώσιμες πηγές. Στο πλαίσιο αυτό, αναφορικά με την ενίσχυσης της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού, η υιοθέτηση από τις διάφορες χώρες καλών πρακτικών που έχουν ήδη εφαρμοστεί σε ορισμένες περιοχές, αποτελούν μια καλή αρχή για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Μερικά παραδείγματα τέτοιων πρακτικών, που θα προσδώσουν επιπλέον πλεονεκτήματα στη γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή είναι: (1) η εγκατάσταση σταθμών τύπου AMIS για την μείωση των εκπομπών CO₂, (2) η μετατροπή των αέριων βλαβερών εκπομπών σε ορυκτά και αποθήκευση τους στο εσωτερικό της γης σε στερεά μορφή, (3) η πλήρης επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, (4) ο περιορισμός της οπτικής όχλησης από τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις, (5) η ανάπτυξη τεχνολογιών που θα μειώνουν την επαγόμενη σεισμικότητα και θα μειώνουν το κόστος εφαρμογής στα EGS, (6) περαιτέρω ανάπτυξη υβριδικών τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά και μονάδων συμπαραγωγής για την κατά το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη, ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού, (7) προσπάθεια για συναίνεση, εκπαίδευση και ενίσχυση της συμμετοχής των τοπικών κοινωνιών στα ενεργειακά ζητήματα που αφορούν τη γεωθερμία, καθώς είναι μια τοπικού χαρακτήρα μορφή ενέργειας, που μπορεί να συνεισφέρει στην οικονομική ευημερία των περιοχών όπου λαμβάνει χώρα (π.χ. παροχή θέσεων εργασίας και φθηνής ενέργειας, μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα).



Ελληνική βιβλιογραφία

Αρβανίτης, Α., 2010. Γεωθερμία στην Τουρκία. *Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.*

Βαρβιτσιώτη, Ε., 2020. Επισκόπηση των εξελίξεων και προοπτικών του ρυθμιστικού τοπίου της αξιοποίησης γεωθερμικού δυναμικού στην Ελλάδα. *Climate Change Policies & Business Conference, 22 Οκτωβρίου 2020.*

ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ, 2013. Ανάπτυξη γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα. *Παρουσίαση, Νοέμβριος 2013, Αθήνα.* [online] Available at: <https://www.oryktosploutos.net/2018/05/blog-post-31/>.

Διακογιάννης, Γ., 2014. Χωροθέτηση μονάδων παραγωγής Ενέργειας από Γεωθερμία. Προτάσεις για την αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων της Ελλάδας. *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 95 σελ.*

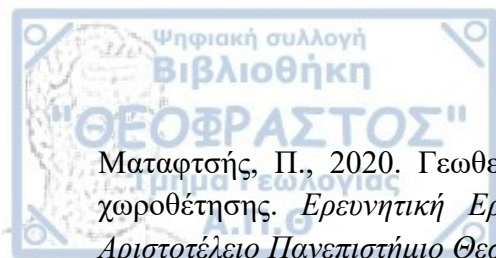
Καμακάρης, Β., 2010. Η Γεωθερμική Έρευνα στη Νήσο Μήλο-Αξιολόγηση Γεωθερμικών Δεδομένων. *Διπλωματική Εργασία, Τομέας Μεταλλευτικής, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 169 σελ.*

Κατσένης, Η., 2012. Θαλάσσια γεωλογική δομή και σεισμική στρωματογραφία της καλδέρας της Σαντορίνης. *Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 60 σελ.*

Κολιός, Ν., Αρβανίτης, Α. και Κουτσινός, Σ., 2009. Διερεύνηση της δυνατότητας ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμικά ρευστά μέσω θερμοκρασιών σε Μακεδονία και Θράκη (Βόρεια Ελλάδα). *Διεθνές Forum «Η Γεωθερμική ενέργεια στο Προσκήνιο», 11-12 Δεκεμβρίου 2009, Θεσσαλονίκη.*

Κουρεμπελέ, Μ., 2010. Σχεδιασμός της επέκτασης του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της Μήλου. Εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού για κλιματισμό. *Διπλωματική Εργασία, Δ. Π. Μ. Σ στην «Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων» με κατεύθυνση: «Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 82 σελ.*

Λώλος, Π. Α., 2010. Βελτιστοποίηση Κύκλου Kalina. *Διδακτορική διατριβή, Τομέας Θερμότητας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 281 σελ.*



Ματαφτσή, Π., 2020. Γεωθερμικές Πηγές Ενέργειας: Βασικοί ορισμοί & ζητήματα χωροθέτησης. *Ερευνητική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας & Ανάπτυξης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 45 σελ.

Μενδρινός, Δ. και Καρύτσας, Κ., 2010. Αναζητώντας γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα για ηλεκτροπαραγωγή και τηλεθέρμανση. *Παρουσίαση, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*.

Παπαχρήστου, Μ., Ανδρίτσος, Ν., Αρβανίτης, Α. και Δαλαμπάκης, Π., 2018. Εξέλιξη της αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και την Ευρώπη. *Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής, 11^ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, 14-16 Μαρτίου 2018, Θεσσαλονίκη*.

Σημιαϊάκης, Κ., 1985. Γεωθερμική έρευνα νησιώτικου συμπλέγματος Μήλου υπέρ Δ.Ε.Η. – Συμπεράσματα νεοτεκτονικής μελέτης. *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα*.

Τερζής, Κ., 2016. Γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμογές στη νησιωτική Ελλάδα. *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ. Ε, Α. Ε.Ι. Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα*, 92 σελ.

Φυτίκας, Μ., 1977. Γεωλογική και Γεωθερμική μελέτη της νήσου Μήλου. *Γεωλογικές και Γεωφυσικές μελέτες ΙΓΜΕ Τομ. XVIII Vol. Νο1, Αθήνα. α*.

Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν., 2004. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

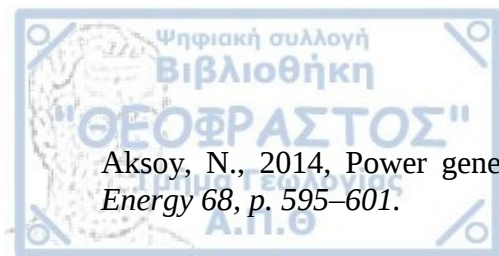
Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν., 2008. Γεωθερμικές εφαρμογές στις Κυκλάδες και εφαρμογές υψηλής ενθαλπίας, *Συνέδριο IENE, Σύρος*.

Χαραλαμπίδης, Α., 2018. Αξιοποίηση γεωθερμικού δυναμικού βορείου Ελλάδος. *Διπλωματική Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Δίκαιο και Μηχανική της Ενέργειας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 132 σελ.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

AAT Geothermae, 2018. Advanced geothermal power plant with internalization of carbon compounds AAT Geothermae (in Croatian). *AAT Geothermae, Prelog*.

Agahi, R., 2012. Pamukuren Geothermal Organic Rankine Cycle Power Plant in Turkey. *GRC Transactions, Vol. 36*.



Aksoy, N., 2014, Power generation from geothermal resources in Turkey. *Renewable Energy* 68, p. 595–601.

Annexes, 2020.ECEG-Geothermal Market Report, 2019. Ninth Edition, June 2020.

Annexes, 2020.ECEG-Geothermal Market Report, 2019, Key Findings. Ninth Edition, June 2020.

Baldi, P., Bertini, G. and Ceccarelli, A., 1993. Geothermal fields of central Italy. *Res Geol* 16:69–81.

Baccarin, F., Busing, H., Buske, S., Dini, A., Manzella, A. and Rabbel W., 2019. Understanding supercritical resources in continental crust. *Proceedings of the European Geothermal Congress 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Barasa Kabeyi, M.J., 2019. Geothermal Electricity Generation, Challenges, Opportunities and Recommendations. *IJASRE* 5, 53–95.

Barelli, A., Bertini, G., Buonasorte, G., Cappetti, G. and Fiordelisi, A., 2000. Recent deep exploration results at the margins of the Larderello Travale geothermal system. *In: proc World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan, pp* 965–970.

Baujard, C., Genter, A., Cuenot, N., Mouchot, J., Maurer, V., Hehn, R., Ravier, G., Seibel, O., Vidal, J., 2018. Experience from a successful soft stimulation and operational feedback after 2 years of geothermal power and heat production in Rittershoffen and Soultz-sous-Forêts plants (Alsace, France). *Geothermal Resource Council, GRC2018, October 14-17, Reno, Nevada, USA, 2241-2252*.

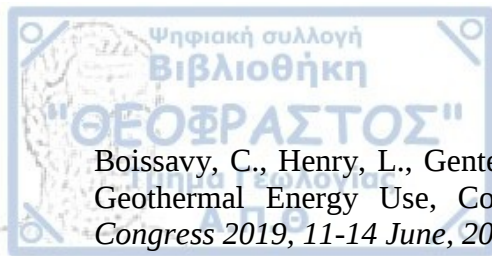
Bertani, R., Bertini, G., Cappetti, G. and Marocco, B., 2005. An update of the Larderello-Travale/Radicondoli deep geothermal system. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2005, Antalia, Turkey*.

Bertani, R., 2012. Geothermal power generation in the world 2005–2010 update report. *Geothermics* 41, 1–29.

Bertani, R., 2015. Geothermal Power Generation in the World - 2010–2015 Update Report. *WGC-World Geothermal Congress 2015, 9-25 April 2015, Melbourne, Australia*.

Bertini, G., Cappetti, G. and Fiordelisi A., 2005. Characteristics of Geothermal Fields in Italy. *Giornale di Geologia Applicata* p.247-254.

Boda, K., 2016. Fostering geothermal development in Hungary: Opportunities and bottlenecks. *UNU-GTP Geothermal Training Programme, United Nations University, Reykjavik, Iceland*.



Boissavy, C., Henry, L., Genter, A., Pomart, A., Rocher, P., Schmidlé-Bloch, V., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for France. *EGC-European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Bonciani, R., Lenzi, A., Luperini, F., Sabatelli, F., 2013. Geothermal power plants in Italy: increasing the environmental compliance. *EGC-European Geothermal Congress 2013, January 2013*.

Breede, K., Dzebisashvili, K., Liu, X., Falcone, G., 2013. A systematic review of enhanced (or engineered) geothermal systems: past, present and future. *Geothermal Energy 1.1:1-27*.

Bronicki, L. Y., 2016. Introduction to geothermal power generation. *Geothermal Power Generation. Woodhead Publishing, 1-3*.

Brunet C., Monie P., Jolivet L. and Cadet J. P., 2000. Migration of compression and extension in the Tyrrhenian Sea, insights from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on micas along a transect from Corsica to Tuscany. *Tectonophysics 321:127–155*.

Buijze, L., Bijsterveldt, L., Cremer, H., Jaarsma, B., Paap, B., Wassing, B., Wees, J.-D., Yperen, G., 2019. Review of induced seismicity in geothermal systems worldwide and implications for geothermal systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences, 98*.

Burgassi, P., 2012. Historical notes on the discovery and development of geothermal resource in Larderello (Tuscany Region, Italy), [online] Available at: www.yadda.icm.edu.pl.

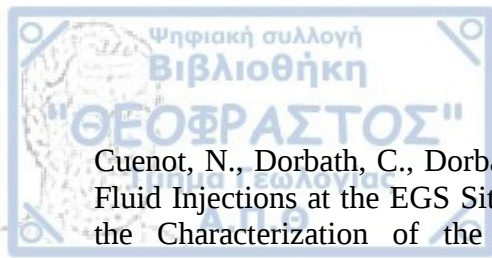
Cappetti, G., Romagnoli, P. and Sabatelli, F., 2010. Geothermal Power Generation in Italy - 2005-2009 Update Report. *WGC-World Geothermal Congress, 25-29 April, 2010, Bali, Indonesia*.

Carmignani L., Decandia F. A., Fantozzi P. L., Lazzarotto A., Liotta D. and Meccheri M., 1994. Tertiary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy). *Tectonophysics 238:295–315*.

CHA-Croatian Hydrocarbon Agency, 2020. Geothermal Energy in Croatia, [online] Available at: www.azu.hr.

Charl  ty, J., Cuenot, N., Dorbath, L., Dorbath, C., Haessler, H., & Frogneux, M., 2007. Large earthquakes during hydraulic stimulations at the geothermal site of Soultz-sous-Forêts. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(8), 1091-1105*.

CLEAG, Geothermal Pilot Plant in Croatia, [online] available et: <https://www.smu.edu>



Cuenot, N., Dorbath, C., Dorbath, L., 2008. Analysis of the Microseismicity Induced by Fluid Injections at the EGS Site of Soultz-sous-Forêts (Alsace, France): Implications for the Characterization of the Geothermal Reservoir Properties. *Pure and applied Geophysics*, 165 (5), 797–828.

Dal Porto, F., Pasqui, G., and Fedeli, M., 2016. Geothermal power plant production boosting by biomass combustion: Cornia 2 case study. *European Geothermal Congress 2016, 19-24 September 2016, Strasbourg, France*, p.19-24.

Desideri, U., Bidini, G., 1997. Study of possible optimization criteria for geothermal power plants, *Energy Conversion and Management, Energy Conversion and Management*, 38 (15-71), 1681-1691.

Dickson, M.H., Fanelli, M., *Geothermal energy: utilization and technology*. 2013.

Dobson, P., Dwivedi, D., Millstein, D., Krishnaswamy, N., Garcia, J., Kiran, M., 2020. Analysis of curtailment at The Geysers geothermal Field, California. *Geothermics* 87, 101871.

Dotsika, E., 1991. Utilisation du géothermomètre isotopique sulfate-eau en milieux de haute température sous influence marine potentielle: les systèmes géothermaux de Grèce. *Thèse en Science, Univ. Paris-Sud*, 184 pp.

Erdin, C., Ozkaya, G., 2019. Turkey's 2023 Energy Strategies and Investment Opportunities for Renewable Energy Sources: Site Selection Based on ELECTRE. *Sustainability* 11, 2136.

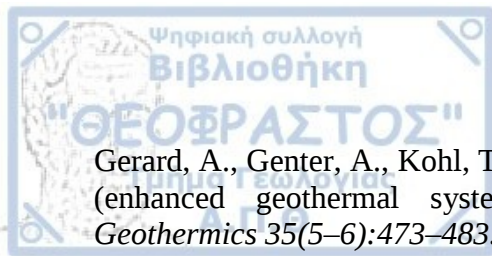
ETSAP, I., 2010. Technology Brief Biomass for Heat and Power. *Energy Technology Systems Analysis Program, Paris*.

Feldrappe, H., Obst, K. and Wolfgramm, M., 2008. Mesozoic sandstone aquifers of the North German Basin and their potential for the geothermal utilization. *Z. geol. Wiss.*, 36, Berlin, 199-222.

Franco, A., Vaccaro, M., 2020. Sustainable Sizing of Geothermal Power Plants: Appropriate Potential Assessment Methods. *Sustainability* 12, 3844.

Gavriliuc, R., Rosca, M., Cucueteanu, D., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Romania. *EGC-European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Genter, A., Goerke, X., Graff, J.-J., Cuenot, N., Krall, G., Schindler, M., Ravier, G., 2010. Current Status of the EGS Soultz Geothermal Project (France). *WGC-World Geothermal Congress, 25-29 April 2010, Bali, Indonesia*.



Gerard, A., Genter, A., Kohl, T., Lutz, P., Rose, P. and Rummel, F., 2006. The deep EGS (enhanced geothermal system) project at Soultz-sous-Forêts (Alsace, France). *Geothermics* 35(5–6):473–483.

Goldbrunner, J., Goetzl, G., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Austria. *EGC-European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Goldstein, B. A., Hiriart, G., Tester, J., Bertani, B., Bromley, R., Gutierrez-Negrin, L., ...& Zui, V. I., 2011. Great expectations for geothermal energy to 2100. *In Proceedings 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Vol. 700*.

Häring, M.O., Schanz, U., Ladner, F., Dyer, B.C., 2008. Characterization of the Basel 1 enhanced geothermal system. *Geothermics* 37, 469–495.

Hijriawan, M., Pambudi, N.A., Biddinika, M.K., Wijayanto, D.S., Kuncoro, I.W., Rudiyanto, B., Wibowo, K.M., 2019. Organic Rankine Cycle (ORC) in geothermal power plants. *Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1402.No. 4*.

Hogarth, R., & Holl, H. G., 2017. Lessons learned from the Habanero EGS Project. *Transactions, Geothermal Resources Council, 41*.

Huttrer, G., 2020. Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report. *In Proceedings World Geothermal Congress Vol. 2020, p. 1)*

Hurter, S. and Haenel, R., 2002. Atlas of Geothermal Resources in Europe. *Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg*.

Jain, C., Vogt, C. and Clauser, C., 2015. Maximum potential for geothermal power in Germany based on engineered geothermal systems. *Journal "Geothermal Energy"*.

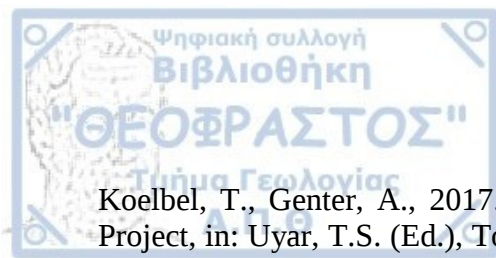
Kalina, Alexander I., 1984. Combined-cycle system with novel bottoming cycle. 737-742.

Karytsas, C., Mendrinou, D., and Radoglou, G., 2004. The current geothermal exploration and development of the geothermal field of Milos island in Greece. *GHC Bulletin, June*.

Karytsas, C. and Mendrinou, D., 2013. Global Geothermal Power Market. *European Geothermal Congress, 3-7 June 2013, Pisa, Italy*.

Kavouridis, T., Kuris, D., Leonis, C., Liberopoulou, V., Leontiadis, J., Panichi, C., La Ruffa, G., Caprai, A., 1999. Isotope and chemical studies for a geothermal assessment of the island of Nisyros Greece. *Geothermics* 28, 219-239.

Kaya, T., Kindap, A., 2009. Kizildere- New geothermal power plant in Turkey. *International Geothermal Days, Conference and Summer School, Slovakia*.



Koelbel, T., Genter, A., 2017. Enhanced Geothermal Systems: The Soultz-sous-Forêts Project, in: Uyar, T.S. (Ed.), *Towards 100% Renewable Energy. Springer Proceedings in Energy. Springer International Publishing, Cham*, pp. 243–248.

Kolbah, S., Škrlec, M., Tumara, D., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Croatia. *EGC-European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Legmann, H., 2003. The Bad Blumau geothermal project: a low temperature, sustainable and environmentally benign power plant. *Geothermics, Selected Papers from the European Geothermal Conference 2003* 32, 497–503.

Lu, S.-M., 2018. A global review of enhanced geothermal system (EGS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, 2902–2921.

Lund J.W., 1999. Examples of individual downhole heat exchangers systems in Klamath Falls. *GeoHeat Center Quarterly Bulletin*, 20, 20–24.

Lund J.W., 1999. Large downhole heat exchanger in Turkey and Oregon. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 20, 17–19.

Lund, J.W., 2004. 100 years of geothermal power production. *GHC Bull*, September, 2004.

Mannvit Engineering, Geothermal Power Plants, [online] Available at: <https://geothermalcommunities.eu>

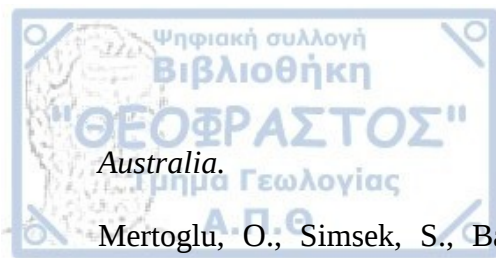
Manzella, A., Serra, D., Cesari, G., Bargiacchi, E., Cei, M., Conti, P., Giudetti, G., Lupi, M., Vaccaro, M., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Italy. *EGC-European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Magro, G., Ruggieri, G., Gianelli, G., Bellani, S. and Scandiffio, G., 2003. Helium isotopes in paleofluids and present-day fluids of the Larderello geothermal field: constraints on the heat source. *J Geophys Res* 108-B1:1–12.

Matek, B., 2016. Annual US & Global Geothermal Power Production Report, *Geothermal Energy Association, Washington, USA*, 36 pp.

Mendrinou, D., Polyzou, O. and Karytsas, C., 2010. Geothermal exploration in Greece. *Centre for Renewable Energy Sources, 19th Km Marathon Avenue, 19009 Pikermi, Greece*.

Mertoglu, O., Simsek, S., Basarir, N., 2015. Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015). *World Geothermal Congress 2015, 19-25 April 2015, Melbourne*,



Australia.

Mertoglu, O., Simsek, S., Basarir, N., Paksoy, H., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Turkey. *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June 2019, Den Haag, The Netherlands.*

Mignan, A., Landtwing, D., Kästli, P., Mena, B., Wiemer, S., 2015. Induced seismicity risk analysis of the 2006 Basel, Switzerland, Enhanced Geothermal System project: Influence of uncertainties on risk mitigation. *Geothermics* 53, 133–146.

Minissale, A., 1991. The Larderello geothermal field: A review. *Article in Earth Science Reviews*, 31(1991) 133-151, Elsevier Science Publisher B. V., Amsterdam.

MND, 2014. Altheim in Upper Austria-an example of cascaded geothermal energy use. *Geothermal Workshop Veli Losinj*, [online] Available at: <https://www.fondazioneinternazionale.org>

Moeck, I., 2014. Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867-882.

Mouchot, J., Genter, A., Cuenot, N., Seibel, O., Scheiber, J., Bosia, C., Ravier, G., 2018. First Year of Operation from EGS Geothermal Plants in Alsace, France: Scaling Issues. *43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, February 12-14, 2018, Stanford University, Stanford, California.*

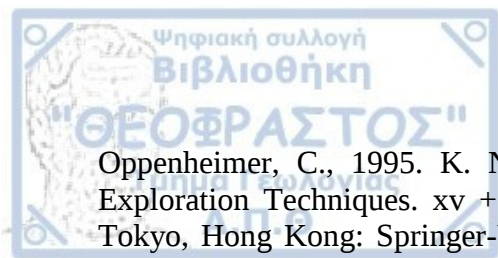
Nádor, A., Kujbus, A., Tóth, A., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Hungary. *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands.*

Nami, P., Schellschmidt, R., Schindler, M. and Tischner, T., 2008. Chemical stimulation operations for reservoir development of the deep crystalline HDR/EGS system at Soultz-sous-Forêts (France). *Proceedings of the 33rd workshop on geothermal reservoir engineering, 28–30 Jan 2008, Stanford, CA.*

Nunes, J.C., 2000. Notas sobre a geologia da Ilha Terceira (Açores). *Açoreana*, 9 (2), Ponta Delgada, 205-215.

Nunes, J.C., Coelho, L., Carvalho, J.M., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Portugal. *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands.*

Olasolo, P., Juárez, M.C., Morales, M.P., D'Amico, S., Liarte, I.A., 2016. Enhanced geothermal systems (EGS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, 133–144.



Oppenheimer, C., 1995. K. N. Nicholson, 1993. Geothermal Fluids. Chemistry and Exploration Techniques. xv + 263 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag. Price DM 138.00, Ös 1076.40, SFr 138.00 (hard covers). ISBN 3 540 56017 3. *Geological Magazine* 132, 125–126.

Papachristou, M., Mendrinou, D., Dalampakis, P., Arvanitis, A., Karytsas, K. and Andritsos N., 2016. Geothermal Energy Use, Country Update for Greece. *European Geothermal Congress 2016, 19-26 September 2016, Strasbourg, France*.

Papachristou, M., Arvanitis, A., Mendrinou, D., Dalabakis, P., Karytsas, C. and Andritsos, N., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Greece (2016-2019). *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Parada, A.F.M., 2013. Geothermal binary cycle power plant principles, operation and maintenance. *Report*, 20, 443-476.

Paschen, H., Oertel, D. and Grünwald, R., 2003. Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. *TAB-Arbeitsbericht Nr. 84, Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Berlin*.

Petroprom, 2015. Altheim in Upper Austria-an example of cascaded geothermal energy use. *International School on Geothermal Development, 11-12-2015, Trieste*, [online] Available at: <http://indico.ictp.it>

Petrou A., 2014. Operational Optimization of the Geothermal Power Plant Unterhaching. *Diploma thesis*.

Preene, M., & Younger, P. L., 2014. Can you take the heat?—Geothermal energy in mining. *Mining Technology*, 123(2), 107-118..

Quick, H., Michael, J., Huber, H., 2010. History of International Geothermal Power Plants and Geothermal Projects in Germany. *World Geothermal Congress, 25-29 April 2010, Bali, Indonesia*.

Ragnarsson, Á., 2013. Geothermal Energy Use, Country Update for Iceland. *European Geothermal Congress, 3-7 June 2013, Pisa, Italy*.

Ragnarsson, Á., 2015. Geothermal Development in Iceland 2010-2014. *World Geothermal Congress 2015, 19-15 April 2015, Melbourne, Australia*.

Ragnarsson, Á., Steingrímsson, B., Thorhallsson, S., 2018. Geothermal Country Update for Iceland. *7th African Rift Geothermal Conference, 31 October-2 November, 2018, Kigali, Rwanda*.

Ravier, G., Seibel, O., Pratiwi, A.S., Mouchot, J., Genter, A., Ragnarsdóttir, R., Sengelen,



X., 2019. Towards an optimized operation of the EGS Soultz-sous-Forêts power plant (Upper Rhine Graben, France). *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Richter, A., 2020. Preparing for WGC 2020- a short history of geothermal in Iceland. [online] Available at: <https://www.thinkgeoenergy.com>

Sabatelli, F., Mannari, M. and Parri, R., 2009. Hydrogen sulphide and mercury abatement: development and successful operation of AMIS technology, *GRC Transactions*.

Sanner, B., 2019. Summary of EGC 2019 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe. *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June, 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Schmittbuhl, J., Lengliné, O., Cornet, F., Cuenot, N. and Genter, A., 2014. Induced seismicity in EGS reservoir: the creep route. *Geothermal Energy*, 2 (1), 1-13.

Simsek, S., 2009. New wide development of geothermal power production in Turkey. *International Geothermal Days Slovakia*.

Soltani, M., Moradi Kashkooli, F., Dehghani-Sani, A. R., Nokhosteen, A., Ahmadi-Joughi, A., Gharali, K., Mahbaz S. B. and Dusseault M. B., 2019. A comprehensive review of geothermal energy evolution and development. *International Journal of Green Energy*.

TARH & ÍSOR, 2016. Conceptual model of the Pico Alto Geothermal Field, Terceira Island, Azores, Final Report. *EDA RENOVÁVEIS S.A. Internal Report*, 73 pp.

Tartière, T., & Astolfi, M., 2017. A world overview of the organic Rankine cycle market. *Energy Procedia*, 129, 2-9.

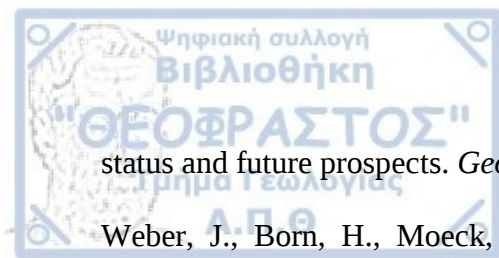
Tenzer H., 2001. Development of hot dry rock technology. *GHC Bulletin*.

Uihlein, A., 2018. JRC Geothermal Power Plant Dataset. European Commission. *Joint Research Centre (JRC)* [Dataset] PID: <http://data.europa.eu/89h/jrc-10128-10001>.

US Department of Energy, 2012. Corporate Overview. [online] Available at: <https://www.energy.gov>

Vedova, B.D., Vecellio, C., Bellani, S., Tinivella, U., 2008. Thermal modeling of the Larderello geothermal field (Tuscany, Italy). *Article in International Journal of Earth Sciences*.

Vrouzi, F., 1985. Research and development of geothermal resources in Greece: Present



status and future prospects. *Geothermics*, Vol. 14, No. 2/3, pp. 213-227.

Weber, J., Born, H., Moeck, I., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Germany 2016 – 2018. *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June 2019, Den Haag, The Netherlands*.

Wolfson R., 2012. The Geothermal Resource in Energy, Environment and Climate, 2nd ed., New York, NY: W. W. Norton & Company.

Živković, S., Kolbah, S., Škrlec, M. and Tumara, D., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Croatia. *European Geothermal Congress 2019, 11-14 June 2019, Den Haag, The Netherlands*.



Διαδικτυακές πηγές

www.e-mc2.gr/el/vivliothiki/energeia-energy/geothermia (ανακτήθηκε 5/5/2020).

www.energypress.gr/news/geothermia-stin-ellada-os-ananeosimi-pigi-energeias
(ανακτήθηκε 3/11/2020).

www.britannica.com/science/geothermal-energy#ref1135649 (ανακτήθηκε 3/11/2020).

www.britannica.com/science/flash-steam-geothermal-power (ανακτήθηκε 3/11/2020).

<https://en.wikipedia.org/wiki/Geyser> (ανακτήθηκε 3/11/2020)

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Geothermal_electricity (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.statista.com/statistics/525206/geothermal-complexes-worldwide-by-size/
(ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.spglobal.com/platts/en/about-platts/media-center/press-releases/2016/101316-a-new-type-of-drilled-but-uncompleted-duc-wells-product-from-global-platts (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.marlimillerphoto.com/geothermal.html (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.power-technology.com/projects/the-geysers-geothermal-california/ (ανακτήθηκε 23-12-2020).

<https://electricalacademia.com/renewable-energy/types-geothermal-power-plants-geothermal-electric-power-generation/> (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.intechopen.com/books/new-developments-in-renewable-energy/orc-based-geothermal-power-generation-and-co2-based-egs-for-combined-green-power-generation-and-co2- (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.visualengineerinfo.com/2020/03/kalina-cycle-power-plant-how-does-it.html
(ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.powermag.com/new-zealands-geothermal-industry-is-poised-for-the-future/ (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-03/coal-reaching-100-a-ton-in-europe-boosts-greener-alternatives (ανακτήθηκε 23-12-2020).



[www.deutsche-rohstoffagentur.de/EN/Themen/Energie/Bilder/Ene_Geothermie_Soultz_Lokation_BILD_1_p_en.html;jsessionid=DEEDDC0B2D6C54BAEC435280BD4133D7.2_cid292?view=render\[NeuesFenster\]](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/EN/Themen/Energie/Bilder/Ene_Geothermie_Soultz_Lokation_BILD_1_p_en.html;jsessionid=DEEDDC0B2D6C54BAEC435280BD4133D7.2_cid292?view=render[NeuesFenster]) (ανακτήθηκε 23-12-2020).

www.vox.com/energy-and-environment/2020/10/21/21515461/renewable-energy-geothermal-egs-ags-supercritical (ανακτήθηκε 20.01.2021)

www.bbc.com/future/article/20161221-the-most-extreme-geothermal-plant-in-the-world (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.northlandscapes.com/portfolio/commercial/bjarnarflag-geothermal-power-plant-iceland (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.eurogeologists.eu/franco-the-role-of-geothermal-in-the-energy-transition-in-the-azores-portugal/ (ανακτήθηκε 05-1-2021).

www.thinkgeoenergy.com/study-in-germany-on-flexibility-of-combined-geothermal-heat-and-power-generation/ (ανακτήθηκε 7-1-2021).

www.thinkgeoenergy.com/preparing-for-wgc-2020-a-short-history-of-geothermal-in-iceland/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.repowermap.org/installations/357823163/en/Geothermal-Energy-Bouillante,-Guadeloupe (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.thinkgeoenergy.com/geothermal-markets-opportunities-in-croatia-france-switzerland-igc-invest-nov-17-2020/ (ανακτήθηκε 7-1-2021).

www.thinkgeoenergy.com/croatias-first-geothermal-plant-officially-inaugurated/ (ανακτήθηκε 6-1-2021).

www.mannvit.com/projects/geothermal-plant-in-tura-hungary/ (ανακτήθηκε 6-1-2021).

www.power-technology.com/projects/hellisheidi-geothermal-power-plant/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.hsorka.is/en/power-plants/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.unenvironment.org/news-and-stories/story/iceland-world-leader-clean-energy-supports-africas-push-geothermal-power (ανακτήθηκε 21-1-2021).

www.shutterstock.com/search/iceland+geothermal+power+plant (ανακτήθηκε 14-1-2021).



www.thinkgeoenergy.com/industrial-geothermal-energy-utilisation-celebrates-200-years-at-larderello-italy/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.britannica.com/place/Larderello (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.enelgreenpower.com/media/photo/2020/03/larderello-tuscany-history (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.reuk.co.uk/wordpress/geothermal/larderello-worlds-first-geothermal-power-station/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.geodrillinginternational.com/deep-geothermal/news/1376089/new-small-scale-geothermal-power-plant-in-iceland (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.nsenergybusiness.com/features/geothermal-energy-plants-iceland/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.web.mit.edu/nature/archive/student_projects/2009/bjorn627/TheGeothermalCity/History.html (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.intelligentliving.co/iceland-co2-stone/ (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.ldeo.columbia.edu/news-events/first-iceland-power-plant-turns-carbon-emissions-stone (ανακτήθηκε 14-1-2021).

www.turboden.com/case-histories/1257/swm-stadtwerke-munchen (ανακτήθηκε 7-1-2021).

www.geothermalresourcescouncil.blogspot.com/2019/07/croatia-186-mwe-75-mwth-draskovec.html?m=1

www.cleanenergywire.org/factsheets/geothermal-energy-germanys-largely-untapped-renewable-heat-source

<https://industryglobalnews24.com/velika-1-the-unveiling-of-croatia-s-first-geothermal-power-plant>

www.mannvit.com/projects/hellisheidi-geothermal-power-plant/ (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.intechopen.com: An overview of Geothermal Energy Production in Germencik-Yamanturk & Dogruoz, 2020 (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.zorluenerji.com.tr/en/industrial-and-power-plant-construction/projects/completed-projects/geothermal-power-plants (ανακτήθηκε 14/1/2021).



www.verkis.com/projects/energy-production/geothermal-energy/germencik-geothermal-power-plant (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.balkangreenenergynews.com/guris-installs-50-mw-geothermal-power-plant-in-turkey-in-record-time/ : Guris installs 50 MW geothermal power plant in Turkey in record time- Todorovic, 2020 (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.ee.co.za/article/kizildere-ii-geothermal-energy-turkey.html(ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.energycentral.com/news/ormat-successfully-starts-three-geothermal-power-plants-turkey-more-come (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.guris.com.tr/EN,1776/geothermal-power-plants.html (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.thinkgeoenergy.com/third-geothermal-power-plant-starting-operations-in-turkey-in-october-2020/ (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.dailysabah.com/energy/2019/09/09/turkey-global-role-model-in-geothermal-power-development (ανακτήθηκε 14/1/2021).

www.oryktosploutos.net/2018/01/blog-post_8-8/ (ανακτήθηκε 26-02-2021).

www.oryktosploutos.net/2018/05/blog-post-31/ (ανακτήθηκε 26-02-2021).

www.oryktosploutos.net/2018/01/blog-post_16-9/ (ανακτήθηκε την 26-02-2021).

www.oryktosploutos.net/2020 : Διαβούλευση α) Νέου Κανονισμού ΓΘ Εργασιών και β) διαδικασίας μίσθωσης του δικαιώματος διαχείρισης ΓΘ δυναμικού - Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος(ανακτήθηκε 26-02-2021).

www.oryktosploutos.net/2019/03/46022019-45-932019/ : Ν. 4602/2019 (ΦΕΚ Α45, 9.3.2019) (ανακτήθηκε 26-02-2021).

www.e-nomothesia.gr/kat-periballon/nomos-4602-2019-phek-45a-9-3-2019.html(ανακτήθηκε 20-02-2021)

www.e-nomothesia.gr/law-news/nomoskhedio-gia-ten-ekmetalleuse-kai-diaxeirisi-toy-geothermikoy-dynamikoy.html (ανακτήθηκε 20-02-2021)

www.oryktosploutos.net/2020/05/blog-post-6/ (ανακτήθηκε 26-02-2021).

www.oryktosploutos.net/2020: Θεσμικό πλαίσιο για τη γεωθερμία (ανακτήθηκε 26-02-2021).



http://oryktos.blogspot.com/2014/12/blog-post_28.html(γεωθερμικό
Νισύρου)(ανακτήθηκε 26-02-2021).

πεδίο

www.oryktosploutos.net/2016/02/blog-post_18-16/ (ανακτήθηκε 26-02-2021).

<https://blogs.sch.gr/dparaskevop> (γεωλογικοί σχηματισμοί της Μήλου) (ανακτήθηκε 27-02-2021)

www.enel.it

