



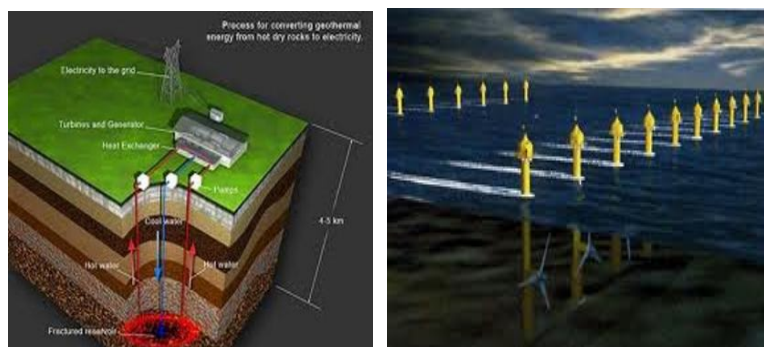
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΡΙΘΜΟΣ 1194

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ - ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ

ΜΠΟΖΝΕΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΟΥΡΔΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η παρουσίαση μιας όσο το δυνατόν ολοκληρωμένης εικόνας γύρω από το θέμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την γεωθερμία αλλά και τα θαλάσσια κύματα. Αναλύονται οι δύο κλάδοι, σχετικά με την έρευνα, την ανάπτυξη και την εφαρμογή της τεχνολογίας που έχει επιτευχθεί καθώς επίσης και τα οφέλη από την χρήση τους.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στους χώρους του Εργαστηρίου των Ηλεκτρονικών Ισχύος του Τμήματος Ηλεκτρολογίας.

Ευχαριστίες: Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Μπουρδόπουλο αφενός για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και αφετέρου για την δυνατότητα που μας παρείχε στα πλαίσια της πτυχιακής μας εργασίας να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο. Η αίσθηση της συνεχούς επικοινωνίας και συνεργασίας ήταν καταλυτική για την άρτια εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο: Γεωθερμική ενέργεια

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Σύντομη περιγραφή της Γης και της αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος.....	2
1.3	Ιστορική αναδρομή.....	4
1.4	Εφαρμογές της Γεωθερμίας.....	8
1.5	Η χρήση της Γεωθερμίας την σημερινή εποχή.....	12

Κεφάλαιο 2^ο: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την χρήση της Γεωθερμίας

2.1	Τύποι ενεργειακών σταθμών.....	15
2.1.1	Ξηρού ατμού.....	16
2.1.2	Ταχείας ατμοποίησης.....	18
2.1.3	Διπλού κυκλώματος.....	22
2.2	Περιγραφή των μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής.....	25
2.2.1	Συμβατικοί ατμοστρόβιλοι με εκτόνωση ατμού στην ατμόσφαιρα.....	25
2.2.2	Συμβατικοί ατμοστρόβιλοι με συμπιεστή.....	27
2.2.3	Ατμοστρόβιλοι με χρήση ρευστού χαμηλού σημείου ζέσεως σε κύκλο Rankine.....	28
2.3	Ο θερμοδυναμικός κύκλος Rankine.....	32
2.4	Συνδυασμένες ή υβριδικές εγκαταστάσεις.....	34
2.5	Απόδοση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.....	36
2.6	Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή για μικρά και μίνι δίκτυα.....	39

2.6.1 Περίπτωση εφαρμογής.....	41
2.7 Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή με σύνδεση στο δίκτυο	43
2.7.1 Περίπτωση εφαρμογής.....	43
2.8 Κινητές μονάδες	45
2.9 Οικονομική προσέγγιση στην χρήση της Γεωθερμίας	46
2.10 Συμπεράσματα - Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα.....	52

Κεφάλαιο 3^ο: Ενέργεια από τα θαλάσσια κύματα

3.1 Εισαγωγή.....	57
3.2 Ιστορική αναδρομή - Εξέλιξη της τεχνολογίας.....	60
3.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα	61
3.4 Δραστηριότητες στην Ευρώπη.....	64
3.5 Διεθνείς Δραστηριότητες	71
3.6 Δραστηριότητες στην Ελλάδα	72
3.7 Παραδείγματα εγκαταστάσεων για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων.....	73
3.8 Κατασκευή πειραματικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής από θαλάσσιο κυματισμό στην Ελλάδα	75

Κεφάλαιο 4^ο: Τεχνολογίες και Τύποι μηχανών για την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων

4.1 Περιγραφή του κύματος.....	78
4.2 Ιδιότητες των κυμάτων	81
4.3 Μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων	82
4.4 Είδη τεχνολογιών	84
4.4.1 Τεχνολογίες ακτογραμμής.....	84
4.4.2 Παράκτιες τεχνολογίες.....	86
4.4.3 Υπεράκτιες τεχνολογίες.....	88

4.5	Τύποι μηχανών	88
4.5.1	Πλωτά αρθρωτά συστήματα.....	89
4.5.2	Σημειακοί αποροφητήρες	94
4.5.3	Παλινδρομούσα στήλη νερού.....	99
4.5.4	Βυθισμένες συσκευές διαφοράς πίεσης.....	102
4.5.5	Συσκευές υπερπήδησης του νερού.....	103
4.6	Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα.....	106
4.7	Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα παλίρροιας.....	107
4.8	Σύγχρονες εξελίξεις	108
4.9	Σύγχρονες εξελίξεις & Περιπτώσεις εγκατεστημένων σταθμών.....	109
4.10	Γενικές αντιλήψεις και δυναμική για την ανάπτυξη της τεχνολογίας για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων.....	111
	Βιβλιογραφία.....	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Η Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια, καθαρή και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που μπορεί, να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε ορισμένες περιπτώσεις.

Οφείλεται στη Φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$,
- β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

1.2 Σύντομη περιγραφή της Γης και της αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος

Η προέλευση της θερμότητας της γης δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες που αναφέρονται στους μηχανισμούς που συμμετέχουν στην παραγωγή της.

Επικρατέστερη θεωρείται αυτή που αναφέρεται στη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου, του θορίου, του καλίου και άλλων στοιχείων. Η μάζα της γης είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την επιφάνειά της και καλύπτεται από υλικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η θερμότητά της να συγκρατείται στο εσωτερικό της.

Η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος, η μέση δε γεωθερμική βαθμίδα στις ηπείρους για μάζες που βρίσκονται σχετικά κοντά στην επιφάνεια είναι $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$, δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Σε πολύ μεγάλα βάθη, η θερμοκρασία δεν είναι με ακρίβεια γνωστή.

Οι θερμικές βαθμίδες υπολογίζονται θεωρώντας ότι η θερμότητα κινείται προς την επιφάνεια της Γης μόνο με τη θερμική αγωγή μέσω στερεών πετρωμάτων. Εντούτοις, η θερμική ενέργεια μεταδίδεται επίσης προς την επιφάνεια με μετακίνηση τεττηγμένων πετρωμάτων (μάγμα) και με την κυκλοφορία νερού μέσω επικοινωνούντων πόρων και ρωγμών. Αυτές οι διαδικασί-

ες υπερθέτονται στις περιφερειακές βαθμίδες όπου επικρατεί η αγωγή και προκαλούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια της Γης. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες είναι οι βασικοί υποψήφιοι για γεωθερμική διερεύνηση και ανάπτυξη.

Η εμπορική διερεύνηση και ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας μέχρι σήμερα έχει εστιαστεί σε φυσικούς γεωθερμικούς ταμειυτήρες – όγκους πετρωμάτων με υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 350°C), αλλά και με υψηλό πορώδες (διάκενο πόρων, συνήθως γεμάτοι με νερό) και υψηλή περατότητα (δυνατότητα μεταφοράς ρευστού). Η θερμική ενέργεια αντλείται με γεωτρήσεις στους ταμειυτήρες. Η θερμότητα του πετρώματος μεταφέρεται με αγωγή στο ρευστό, το οποίο στη συνέχεια ρέει προς το φρέαρ και έπειτα προς την επιφάνεια της Γης.

Εντούτοις, οι φυσικοί γεωθερμικοί ταμειυτήρες αποτελούν ένα μικρό μόνο μέρος του γήινου φλοιού (μικρότερο των 10 km). Το υπόλοιπο αφορά πετρώματα με σχετικά χαμηλή περατότητα, η θερμική ενέργεια των οποίων δεν μπορεί να αντληθεί χωρίς την τεχνητή θραύση τους με εκρηκτικές ύλες ή υδροβολή. Έχουν γίνει πειράματα που περιλαμβάνουν την τεχνητή θραύση θερμών πετρωμάτων και μπορεί κάποτε να αποδειχθεί οικονομικά εφικτή η εξαγωγή ενέργειας με την κυκλοφορία νερού μέσα από ένα δίκτυο τέτοιων τεχνητών καταγμάτων.

Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C), η γεωθερμική ενέργεια μπορεί

να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών και άλλων κτιρίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λ.π.

1.3 Ιστορική αναδρομή

Η παρουσία ηφαιστείων, θερμών πηγών, και άλλων θερμικών φαινομένων είχε οδηγήσει τους προγόνους μας στο συμπέρασμα ότι τα μέρη του εσωτερικού της γης ήταν ζεστά. Ωστόσο, πριν από μια περίοδο μεταξύ του δέκατου έκτου και δέκατου έβδομου αιώνα, όταν ανασκάφθηκαν τα πρώτα ορυχεία σε μερικές εκατοντάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, βάση των οποίων ο άνθρωπος συνήγαγε, από απλή φυσική αίσθηση, ότι η γήινη θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος.

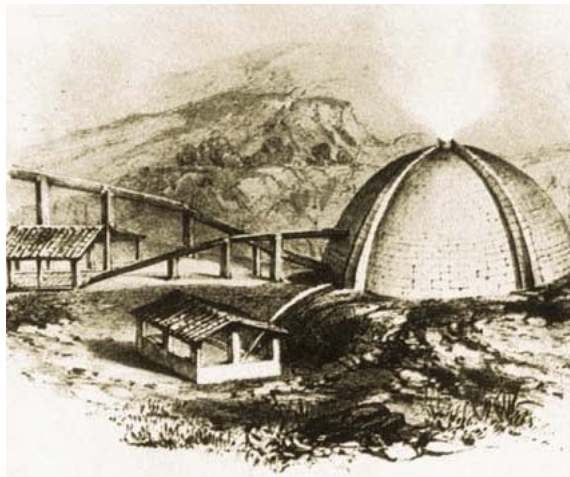
Οι πρώτες μετρήσεις με θερμόμετρο πραγματοποιήθηκαν πιθανώς το 1740 από τον De Gensanne, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort, στη Γαλλία (Buffon, 1778). Ως το 1870, η ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας», βοήθησε ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε πλήρως αυτά τα φαινόμενα ως θερμικό ισοζύγιο και τη θερμική ιστορία της Γης. Όλα τα σύγχρονα θερμικά πρότυπα της γης, στην πραγματικότητα, πρέπει να λάβουν υπόψη τη θερμότητα που παράγεται συνεχώς από την αποσύνθεση των μακρόβιων ραδιενεργών ισοτόπων του ουράνιου (U 238, U 235), του θορίου (θόριο 232) και του καλίου

(Κ 40), τα οποία είναι παρόντα στη γη (Lubimova, 1968). Άλλες πιθανές πηγές θερμότητας, όπως η αρχέγονη ενέργεια της πλανητικής προσαύξησης, δρουν αθροιστικά στην ραδιενεργή θερμότητα, σε αβέβαιες αναλογίες.

Η θερμική ενέργεια της γης είναι πολύ μεγάλη αλλά μόνο ένα μέρος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από την ανθρωπότητα. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές στις οποίες οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή φάση ή ατμού) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην ή κοντά στην επιφάνεια, δημιουργώντας έτσι γεωθερμικές πηγές για καινοτόμες τεχνικές στο εγγύς μέλλον, ωστόσο, μπορεί να προσφέρει νέες προοπτικές στον τομέα αυτό.

Σε πολλούς τομείς της ζωής, οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και των τεχνολογικών εξελίξεων, και ο γεωθερμικός τομέας είναι ένα καλό παράδειγμα αυτού. Στο πρώτο μέρος του 19ου τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνταν ήδη για το ενεργειακό περιεχόμενό τους. Μια χημική βιομηχανία συστάθηκε κατά την περίοδο αυτή στην Ιταλία (στη ζώνη γνωστή τώρα ως Larderello), για να εξαγάγει το βορικό οξύ από τα βορικά θερμά νερά που αναβλύζουν φυσικά ή από ειδικά διατηρηθέντων αβαθών γεωτρήσεων. Η βορικού οξέος γεωτρήσεις γίνονταν με βοριούχο νερό μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ξύλα από τα κοντινά δάση ως καύσιμο

Το 1827 ο Francesco Larderel, ιδρυτής αυτής της βιομηχανίας, ανέπτυξε ένα σύστημα που χρησιμοποιούσε τη θερμότητα των βορικών ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης.



Σχήμα 1.1 Φωτογραφία της βιομηχανίας που ίδρυσε ο Francesco Larderel για την εκμετάλλευση της θερμότητας των βορικών ρευστών.

Η εκμετάλλευση του φυσικού ατμού για τη μηχανική ενέργειά άρχισε τον ίδιο σχεδόν χρόνο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για να αυξήσει τα υγρά στους πρωτόγονους ανελκυστήρες αερίου και αργότερα στις παλινδρομικές και στις φυγοκεντρικές αντλίες και τα βαρούλκα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη διάτρηση ή την τοπική βιομηχανία βορικού οξέος. Μεταξύ του 1850 και του 1875 το εργοστάσιο Larderello κρατάει το μονοπώλιο στην Ευρώπη για τη παραγωγή βορικού οξέος. Μεταξύ του 1910 και του 1940 ο χαμηλής πίεσεως ατμός σε αυτό το μέρος της Τοσκάνης, είχε αρχίσει να χρησιμοποιείται για την θέρμανση βιομηχανιών, κτηρίων και θερμοκηπίων.

Άλλες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν επίσης τους γεωθερμικούς πόρους τους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης άρχισε να λειτουργεί στο Boise, Αϊντάχο (ΗΠΑ). Το 1928 η Ισλανδία, μια άλλη πρωτοπόρος στη αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, ξεκίνησε την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών της (κυρίως θερμών νερών) για λόγους οικιακής θέρμανσης.

Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, στο Larderello της Ιταλίας [1].



Σχήμα 1.2 Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκιπας Piero Ginori Conti.

Η επιτυχία της αυτής πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλ-

λευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε μια εμπορική επιτυχία. Ως το 1942 η εγκατεστημένη γεωθερμοληλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kW. Σύντομα, διάφορες χώρες επρόκειτο να ακολουθήσουν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Beru της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες.

1.4 Εφαρμογές της Γεωθερμίας

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και
- β) τη θέρμανση.

Το 1988, η εγκατεστημένη ισχύς για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο ήταν 5,15 GW, ενώ η εγκατεστημένη θερμική ισχύς ήταν 7 GW.

Στη δεκαετία του 1970, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης, δόθηκε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της γεωθερμίας, ακόμα και σε περιοχές με σχετικά χαμηλή γεωθερμική βαθμίδα, όπως είναι η λεκάνη του Παρισιού. Η παρουσία θερμού νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης του Παρισιού είχε ανα-

καλυφθεί ήδη από τη δεκαετία του 1950 ενώ διεξάγονταν έρευνες για πετρέλαιο, αλλά η πρώτη γεωθερμική γεώτρηση έγινε μόλις το 1962 στο Carrières-sur-seine.

Το πρόβλημα που ανέκυψε και έπρεπε να λυθεί ήταν αυτό της διάθεσης του γεωθερμικού ρευστού μετά τη χρήση του λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άλατα. Αυτό αντιμετωπίστηκε με τη διάνοιξη και δεύτερης γεώτρησης. Το νερό εξέρχεται από τη μια γεώτρηση (production well) και, αφού αφαιρεθεί από αυτό η περιεχόμενη θερμότητα, επιστρέφει στο έδαφος μέσω της άλλης γεώτρησης (injection well). Αφού λύθηκε το πρόβλημα, ο δρόμος ήταν ανοικτός για την αξιοποίηση της λεκάνης του Παρισιού. Σημαντική ανάπτυξη σημειώθηκε στα επόμενα χρόνια, με αποτέλεσμα σε 200.000 κατοικίες που καλύπτουν τις θερμικές τους ανάγκες από τη γεωθερμική ενέργεια να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 200.000 τόνων ισοδύναμου πετρελαίου ετησίως. Το 1986, με την μείωση της τιμής του πετρελαίου, μειώθηκαν και οι ρυθμοί ανάπτυξης της γεωθερμίας.

Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, για τηλεθέρμανση κτιρίων. Η παραγωγή ζεστού νερού για θέρμανση κατοικιών με την εκμετάλλευση της κανονικής γεωθερμικής βαθμίδας (70 °C στα 2.000 μέτρα) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο Παρίσι. Στην Ισλανδία το 50% των κτιρίων θερμαίνεται με τη χρήση ζεστού νερού. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία ποικίλλει από 0,024 έως 0,064 €/kWh.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να έχουμε αν μεταδώσουμε ένα μέρος της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικά ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με πολύ χαμηλό σημείο βρασμού, όπως είναι πχ το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο. Στη Ρωσία λειτουργεί πειραματικός σταθμός 680 kW με φρέον και στις ΗΠΑ σταθμός με ισοβουτάνιο, που θερμαίνεται με νερό θερμοκρασίας 81,5 °C.

Οι δυνατότητες που προσφέρει ο τρόπος αυτός της εκμετάλλευσης είναι τεράστιες και οι προοπτικές για το μέλλον θα είναι ακόμη μεγαλύτερες με την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας. Η ολική εγκατεστημένη ισχύς με εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας στον κόσμο για παραγωγή ηλεκτρισμού πλησιάζει σήμερα τα 5000 MW.

Η δυνατότητα για εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου δεν εξαρτάται μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από την οικονομικότητα της επένδυσης που πρέπει να γίνει. Η οικονομικότητα αυτή σχετίζεται με το "περιβάλλον" μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η επένδυση. Για παράδειγμα, οι τιμές των ορυκτών καυσίμων καθώς και οι δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν αυτά τα καύσιμα στο περιβάλλον καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την οικονομικότητα μιας τέτοιας επένδυσης. Η αξιοποίηση ενός γεωθερμικού πεδίου που σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή θεωρείται αντισυμβατική, ενδέχεται στο μέλλον να αποδειχθεί συμφέρουσα. Ένας παράγοντας που ενισχύει αυτή την άποψη είναι το γεγονός ότι η γεωθερμία έχει το πλεο-

νέκτημα ότι δεν μολύνει το περιβάλλον και δεν συμμετέχει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Άρα, όταν κάποτε το κοινωνικό κόστος της μόλυνσης του περιβάλλοντος ενσωματωθεί στο κόστος των ορυκτών καυσίμων, θα δοθεί σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της γεωθερμίας, ακόμα και σε περιοχές με μέση γεωθερμική βαθμίδα.

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν

- ηλεκτροπαραγωγή ($\theta > 90$ °C), (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με σύστημα διπλού κυκλώματος
- θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για $\theta > 60$ °C, με αερόθερμα για $\theta > 40$ °C, με ενδοδαπέδιο σύστημα $\theta > 25$ °C)
- ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για $\theta > 60$ °C, ή με υδροψυκτες αντλίες θερμότητας για $\theta < 30$ °C)
- θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ($\theta > 25$ °C), ή και για αντιπαγετική προστασία
- ιχθυοκαλλιέργειες ($\theta > 15$ °C) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους
- βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ($\theta > 60$ °C), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κ.τ.λ.
- θερμά λουτρά για $\theta = 25-40$ °C

1.5 Η χρήση της Γεωθερμίας την σημερινή εποχή

Μετά το 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στον Πίνακα 1 αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς:

Το 1995 (6.833 MW), το 2000 (7.974 MW) και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000 (Huttrer, 2001).

Στον ίδιο Πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (9.028 MW). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως.

Πίνακας 1.1 Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως 2003

Country	Power (MW)	Energy (TJ/yr)
Algeria	100	1586
Argentina	25.7	449
Armenia	1	15
Australia	34.4	351
Austria	255.3	1609
Belgium	3.9	107
Bulgaria	107.2	1637
Canada	377.6	1023
Caribbean Islands	0.1	1
Chile	0.4	7
China	2282	37 908
Colombia	13.3	266
Croatia	113.9	555
Czech Republic	12.5	128
Denmark	7.4	75
Egypt	1	15
Finland	80.5	484
France	326	4895
Georgia	250	6307
Germany	397	1568
Greece	57.1	385
Guatemala	4.2	117
Honduras	0.7	17
Hungary	472.7	4086
Iceland	1469	20170
India	80	2517
Indonesia	2.3	43
Israel	63.3	1713
Italy	325.8	3774
Japan	1167	26933
Jordan	153.3	1540
Kenya	1.3	10
Korea	35.8	753
Lithuania	21	599
Macedonia	81.2	510
Mexico	164.2	3919
Nepal	1.1	22
Netherlands	10.8	57
New Zealand	307.9	7081
Norway	6	32
Peru	2.4	49
Philippines	1	25
Poland	68.5	275
Portugal	5.5	35
Romania	152.4	2871
Russia	308.2	6144
Serbia	80	2375
Slovak Republic	132.3	2118
Slovenia	42	705
Sweden	377	4128
Switzerland	547.3	2386
Thailand	0.7	15
Tunisia	23.1	201
Turkey	820	15756
United Kingdom	2.9	21
USA*	3766	20302
Venezuela	0.7	14
Yemen	1	15
Total	15145	190699

Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρουσες τάσεις με το χρόνο. Μεταξύ των ετών 1975 και 1979 η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς σ' αυτές τις χώρες αυξήθηκε από 75 σε 462 MW. Στο τέλος της επόμενης πενταετίας (1984) έφτασε στα 1.495 MW, παρουσιάζοντας ένα ρυθμό αύξησης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων 500% και 223% αντίστοιχα (Dickson and Fanelli, 1988). Στα επόμενα 16 χρόνια, από το 1984 έως το 2000, υπήρξε μια περαιτέρω αύξηση της τάξης του 150%. Κατά το 2005, 72 χώρες έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το 1995, όταν είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το 2007 στα 28268 MW, παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το 2000, με μέση ετήσια αύξηση 12%. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας αυξήθηκε κατά 43% σε σχέση με το 2000 και ανήλθε στα 75.940 GWh/έτος (273.372 TJ/έτος). Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια το 2008 γινόταν σε 24 χώρες. Το 2007 η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανήλθε στα 9735 MW, σημειώνοντας αύξηση περισσότερων από 800 MW σε σχέση με το 2005.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

2.1 Τύποι ενεργειακών σταθμών

Πηγάδια ενός μιλίου ή βαθύτερα μπορούν να διανοιχθούν καταλήγοντας σε υπόγειους ταμειευτήρες ώστε να εκμεταλλευτούμε τον ατμό και το πολύ καυτό νερό, τα οποία ενεργοποιούν τουρμπίνες οι οποίες ενεργοποιούν ηλεκτρογεννήτριες. Ο τύπος του σταθμού καθορίζεται κυρίως από τη φύση της γεωθερμικής πηγής της εν λόγω θέσης. Η διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής από μία γεωθερμική πηγή γίνεται κυρίως μέσω μίας εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής με την βοήθεια κάποιου αμοστρόβιλου.

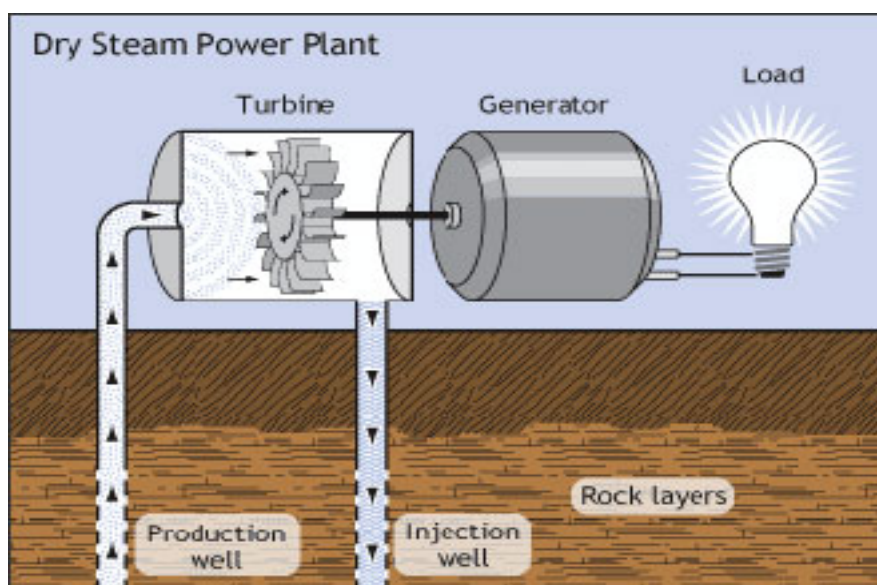
Τρεις είναι οι κύριοι τύποι των γεωθερμικών σταθμών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού σήμερα:

- α) Ξηρού ατμού
- β) Ταχείας ατμοποίησης
- γ) Διπλού κυκλώματος

Αυτοί εξηγούνται πιο λεπτομερώς στην συνέχεια

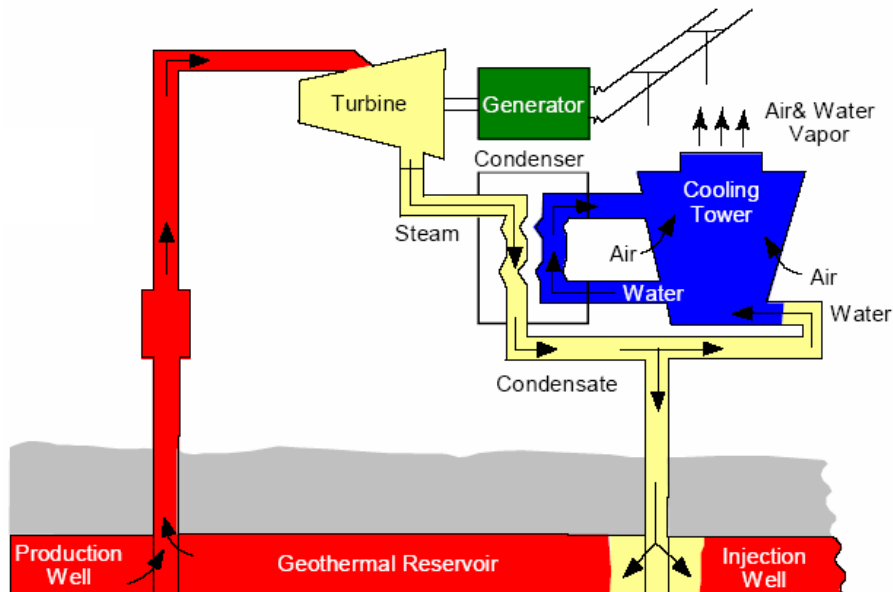
2.1.1 Ξηρού ατμού (Dry Steam)

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η λειτουργία ενός σταθμού ξηρού ατμού.



Σχήμα 2.1 Εικονική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός σταθμού ξηρού τύπου

Σε αυτόν τον τύπο σταθμών, γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιείται απευθείας ώστε να γυρίσουν οι τουρμπίνες. Αυτός ήταν ο πρώτος τύπος γεωθερμικής εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγής (Ιταλία, 1904). Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν τον ατμό όπως φθάνει από τις υδροθερμικές γεωτρήσεις παραγωγής (χωρίς την ανάγκη οποιουδήποτε εξοπλισμού διαχωρισμού και έγχυσης της άλμης), τον οποίο κατευθύνουν στη μονάδα στροβίλου/γεννήτριας για να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς. Ο ατμός έπειτα συμπυκνώνεται και επιστρέφει στο γεωθερμικό ταμιευτήρα μέσω μιας γεώτρησης επανέγχυσης



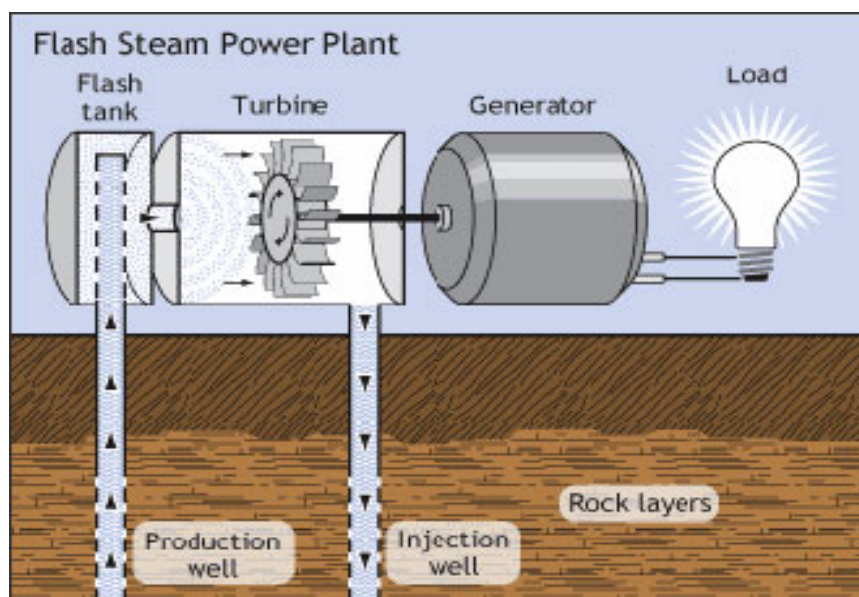
Σχήμα 2.2 Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας ξηρού ατμού

Στις ΗΠΑ, εγκαταστάθηκαν πρόσφτως μονάδες ξηρού ατμού ισχύος 55 και 110 MW στην περιοχή Geysers της Καλι-

φόρνιας, που αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή γεωθερμικής ισχύος στον κόσμο. Δυστυχώς, οι πηγές ατμού είναι οι σπανιότερες απ' όλες τις γεωθερμικές πηγές και υπάρχουν μόνο σε λίγες περιοχές στον κόσμο. Προφανώς, οι σταθμοί άμεσου ατμού δεν είναι εφαρμόσιμοι σε πηγές χαμηλής θερμοκρασίας.

2.1.2 Ταχείας ατμοποίησης (Flash Steam)

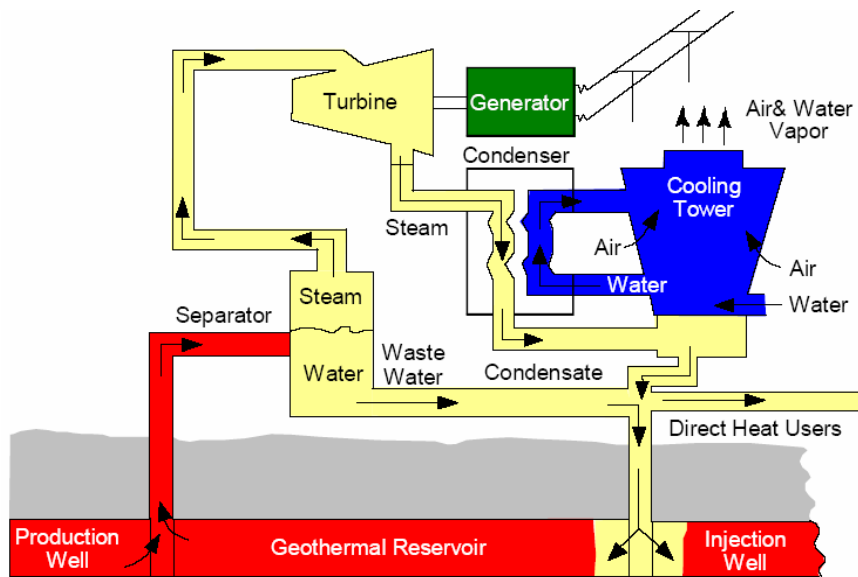
Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η λειτουργία ενός σταθμού ταχείας ατμοποίησης.



Σχήμα 2.3 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός σταθμού ταχείας ατμοποίησης.

Αυτοί οι ενεργειακοί σταθμοί, τραβούν καυτό νερό υψηλής πίεσης από μεγάλο βάθος, το μεταφέρουν σε χαμηλότερης πίε-

σης δεξαμενές και χρησιμοποιούν τον ξαφνικά παραγόμενο ατμό (flashed steam) ώστε να κινητοποιήσουν τις τουρμπίνες. Η συνηθέστερη διαδικασία είναι αυτή της ταχείας ατμοποίησης, η οποία χρησιμοποιεί διαχωριστές για την απόληψη του ατμού από ένα αναβλύζον γεωθερμικό φρέαρ. Αυτή φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

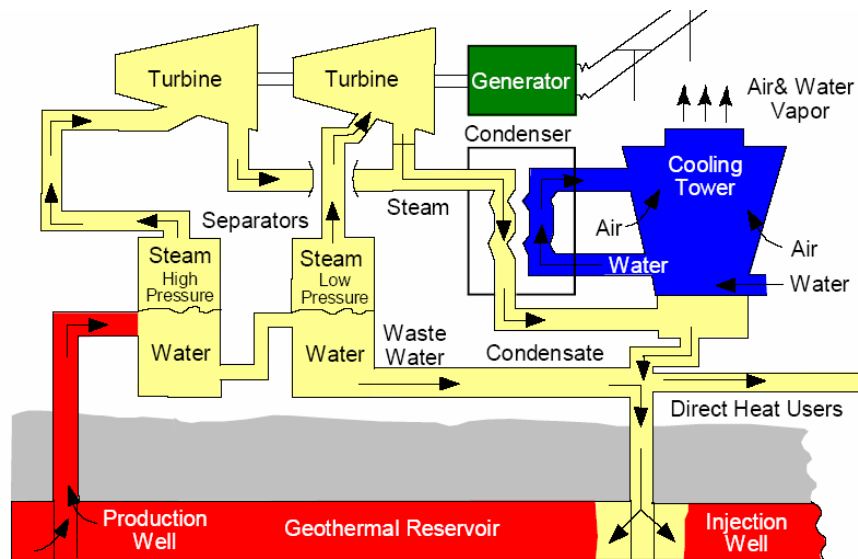


Σχήμα 2.4 Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας ταχείας ατμοποίησης.

Ειδικότερα, μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ταχείας ατμοποίησης (όπως φαίνεται στο σχήμα), διοχετεύει το ζεστό νερό από ένα υδροθερμικό παραγωγικό φρέαρ σε μία δεξαμενή ταχείας ατμοποίησης, όπου μια πτώση στην πίεση μετατρέπει το νερό σε ατμό. Ο ατμός περιστρέφει τη στροβιλογεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό, κατόπιν συμπυκνώνεται και, με όσο ζεστό νερό

δεν μετατράπηκε σε ατμό, επιστρέφει στον ταμιευτήρα μέσω μιας γεώτρησης επανέγχυσης.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής, μπορεί να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν δύο στάδια δεξαμενών ταχείας ατμοποίησης.



Σχήμα 2.5 Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας ταχείας ατμοποίησης δύο σταδίων.

Στην περίπτωση αυτή, το νερό που διαχωρίζεται στη δεξαμενή του πρώτου σταδίου οδηγείται στη δεξαμενή ταχείας ατμοποίησης του δεύτερου σταδίου όπου διαχωρίζεται περισσότερος (αλλά χαμηλότερης πίεσης) ατμός. Το νερό που απομένει στη δεξαμενή αυτή οδηγείται εν συνεχεία προς απόρριψη. Η επονομαζόμενη εγκατάσταση διπλής ταχείας ατμοποίησης παρέχει ατμό υπό δύο διαφορετικές πιέσεις στο στρόβιλο. Για τη μέγιστη αποδοτικότητα της διαδικασίας αυτής χρησιμοποιείται ένας

στρόβιλος διπλής εισόδου, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια του μεγαλύτερου μέρους του ατμού που διατίθεται για παραγωγή από το γεωθερμικό φρέαρ.

Εάν η πηγή έχει υψηλό επίπεδο αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών, μπορεί να είναι αναγκαία η ενσωμάτωση εξοπλισμού ελέγχου των επικαθήσεων στο δοχείο ταχείας ατμοποίησης του ατμού στην είσοδο της μονάδας και εξοπλισμού αποκατάστασης των στερεών στην έξοδο αυτής. Αυτό προφυλάσσει τον εξοπλισμό της μονάδας από απόφραξη και επιτρέπει τη διατήρηση ενός καθαρού υπόλοιπου άλμης για επανέγχυση στον ταμιευτήρα.

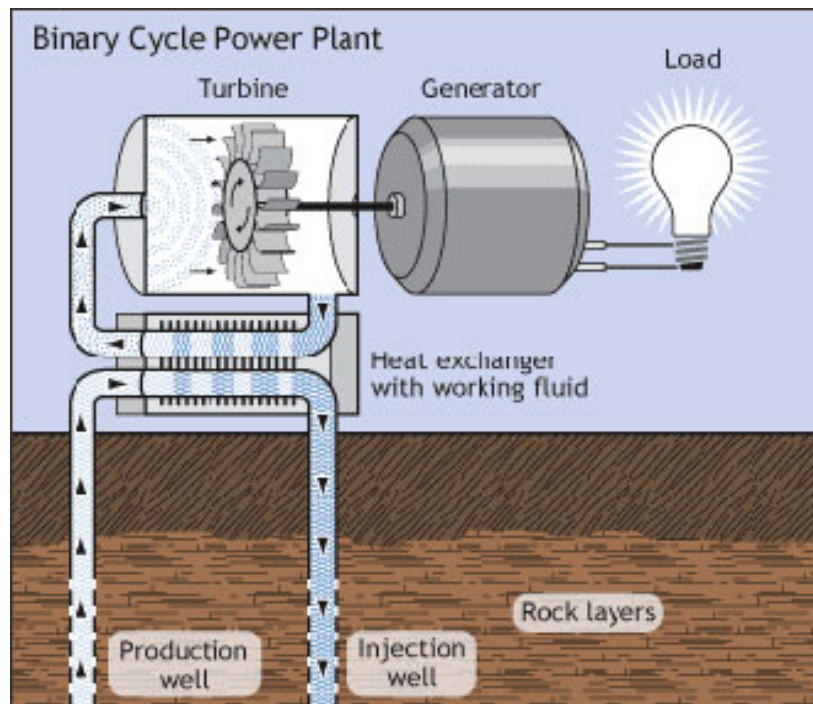
Εάν υφίστανται σημαντικές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση εξοπλισμού αποβολής των αερίων από το συμπυκνωτή για να μην αυξηθεί η αντίθλιψη στο σύστημα και, εξ' αιτίας αυτού, να μειωθεί η απόδοση της διαδικασίας.

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ταχείας ατμοποίησης υφίστανται σε μεγέθη από 5 έως πάνω από 100 MW. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ατμού, την περιεκτικότητα σε αέρια, τις πιέσεις, και το σχεδιασμό της μονάδας, απαιτούνται 6 έως 9 τόνοι ατμού ανά ώρα για να παραχθεί 1 MW ηλεκτρικής ισχύος. Οι μικρές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής (κάτω των 10 MW) συνήθως καλούνται μονάδες κεφαλής της πηγής, καθώς χρειάζονται τον ατμό από ένα μόνο φρέαρ και εγκαθίστανται πλησίον αυτού στην εξέδρα της γεώτρησης για τη μείωση του κόστους

των σωληνώσεων. Οι μονάδες αυτές συχνά δεν έχουν συμπυκνωτή και ονομάζονται μονάδες αντίθλιψης. Είναι φθηνές και απλές στην εγκατάσταση, αλλά μη αποδοτικές (συνήθως απαιτούνται 10-20 τόνοι ατμού ανά ώρα για κάθε MW ηλεκτρισμού) και μπορεί να έχουν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

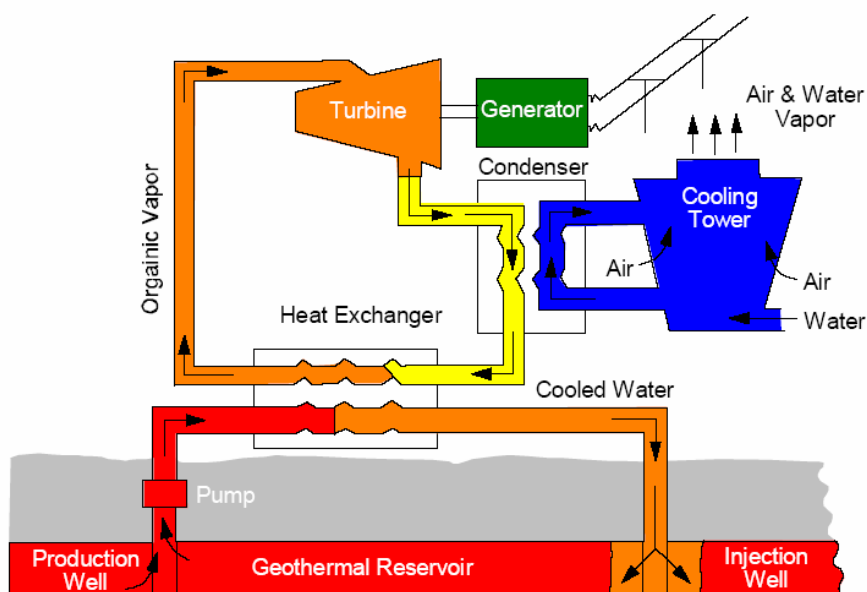
2.1.3 Διπλού κυκλώματος (Binary Cycle)

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η λειτουργία ενός σταθμού διπλού κυκλώματος.



Σχήμα 2.6 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός σταθμού διπλού κυκλώματος

Μια πιο αποδοτική αξιοποίηση της πηγής μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση σε πηγές με θερμοκρασία μικρότερη από 180°C . Η διαδικασία αυτή κανονικά χρησιμοποιείται όταν γίνεται άντληση των φρεάτων, και παρουσιάζεται στο προηγούμενο σχήμα. Η υπό πίεση γεωθερμική άλμη αποδίδει τη θερμική της ενέργεια σε ένα δεύτερο ρευστό σε εναλλάκτες θερμότητας (καλούμενοι λέβητες ή εξατμιστές) και επανεισάγεται μέσω ενός φρέατος εισαγωγής στον ταμιευτήρα. Σε μερικές μονάδες χρησιμοποιούνται δύο εναλλάκτες θερμότητας εν σειρά, ο πρώτος για προθέρμανση και ο δεύτερος για την εξάτμιση (εξατμιστής).



Σχήμα 2.7 Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας διπλού κυκλώματος.

Το δεύτερο ρευστό (γνωστό και ως “ρευστό ισχύος”) έχει χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού από τη γεωθερμική άλμη

και έτσι μετατρέπεται σε ατμό στην έξοδο των εναλλακτών θερμότητας, ενώ ως υγρό αντλείται χωριστά πριν διέλθει από αυτούς. Το ατμοποιημένο, υψηλής πίεσης ρευστό περνά στη συνέχεια μέσα από ένα στρόβιλο που οδηγεί μια ηλεκτρογεννήτρια, και όταν εξέρχεται από αυτόν συμπυκνώνεται σε συμβατικούς συμπυκνωτές και αντλείται πίσω στους εναλλάκτες. Αυτή η διαδικασία έχει ένα σαφές περιβαλλοντικό πλεονέκτημα, αφού και τα δύο ρευστά (γεωθερμικό και ισχύος) είναι απομονωμένα από το περιβάλλον.

Παλαιότερα, τα ρευστά ισχύος στους σταθμούς διπλού κυκλώματος χαμηλής θερμοκρασίας ήταν ψυκτικά ρευστά CFC (τύπου Freon). Στις σύγχρονες μονάδες χρησιμοποιούνται ψυκτικά ρευστά τύπου HFC (υδρογονάνθρακες – ισοβουτάνιο, πεντάνιο, κ.τ.λ.), όπου το συγκεκριμένο ρευστό επιλέγεται ώστε να είναι συμβατό με τη θερμοκρασία της γεωθερμικής πηγής. Οι σταθμοί διπλού κυκλώματος είναι οι πλέον κατάλληλοι για τις γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας. Τελευταία, διατίθεται στο εμπόριο ετοιμοπαράδοτος εξοπλισμός διπλού κυκλώματος σε μονάδες από 200 έως 1.000 KW.

2.2 Περιγραφή των μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής

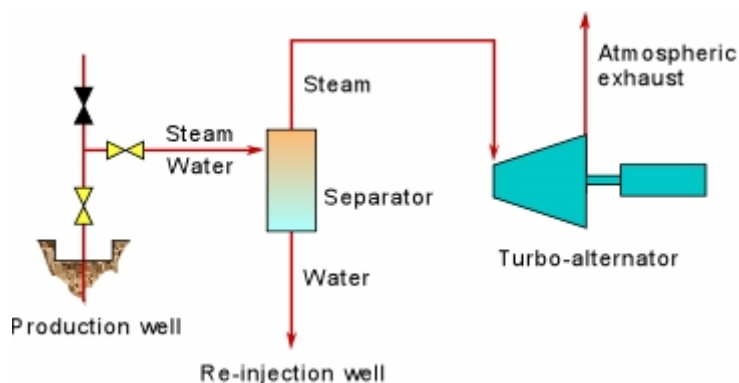
Τρεις είναι οι κύριοι μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής:

- α) Συμβατικοί ατμοστρόβιλοι με εκτόνωση ατμού στην ατμόσφαιρα
- β) Συμβατικοί ατμοστρόβιλοι με συμπίεστή
- γ) Ατμοστρόβιλοι με χρήση ρευστού χαμηλού σημείου ζέσεως σε κύκλο Rankine

2.2.1 Συμβατικοί ατμοστρόβιλοι με εκτόνωση του ατμού στην ατμόσφαιρα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά λαμβάνει χώρα σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς ατμοστρόβιλους ή με ατμοστρόβιλους οι οποίοι δεν λειτουργούν με ατμό ύδατος αλλά άλλου ρευστού (το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως), μέσα σε κλειστό κύκλωμα, λειτουργώντας σε κύκλο Rankine ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου.

Οι συμβατικοί ατμοστρόβιλοι απαιτούν γεωθερμικά ρευστά που έχουν θερμοκρασίες τουλάχιστον 150°C. Η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα (condensing type) ή χωρίς (back pressure type), οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με ατμοστρόβιλους όπου ο ατμός εκτονώνεται στην ατμόσφαιρα είναι απλούστερος και φθηνότερος. Αυτός φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 2.8 Σχηματικό διάγραμμα γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με διάθεση του ατμού απευθείας στην ατμόσφαιρα. Η ροή του γεωθερμικού ρευστού σημειώνεται με κόκκινο χρώμα.

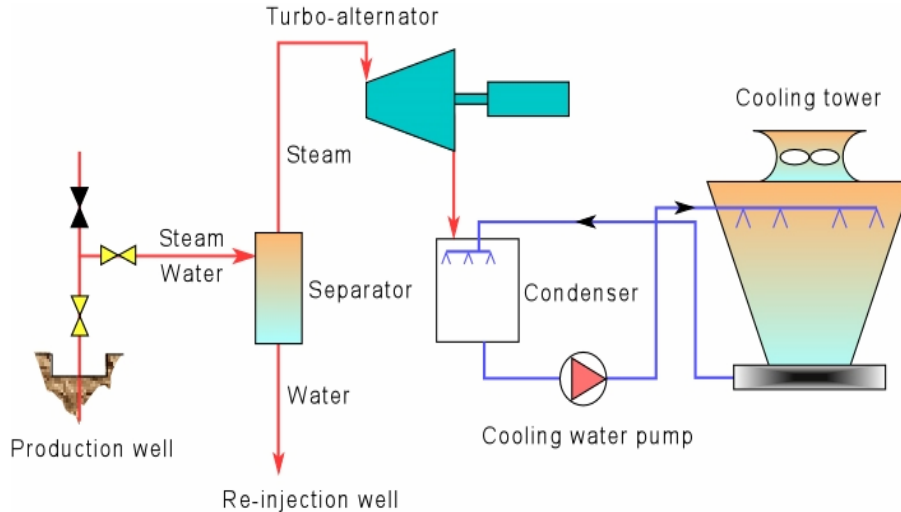
Ο ατμός που έρχεται, είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό, είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον ατμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Σε μια τέτοια μονάδα, η κατανάλωση ατμού (με ίδια πίεση εισόδου) ανά παραγόμενη κιλοβατώρα είναι περίπου διπλάσια από αυτήν σε μια μονάδα με συμπυκνωτές. Όμως, οι ατμοστρόβιλοι με εκτόνωση του ατμού στην ατμόσφαιρα είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε πιλοτικές ή εφεδρικές μονάδες, σε περιπτώσεις μικρών παροχών από μεμονωμένες γεωτρήσεις, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρισμού στη φάση των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων κατά την ανάπτυξη του πεδίου. Χρησιμο-

πιοούνται επίσης στις περιπτώσεις όπου ο ατμός περιέχει μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων (>12% κατά βάρος). Οι μονάδες διάθεσης του ατμού στην ατμόσφαιρα κατασκευάζονται και εγκαθίστανται πολύ γρήγορα και μπορούν να τεθούν σε λειτουργία μέσα σε περίπου 13-14 μήνες από την ημερομηνία παραγγελίας τους. Τέτοιου είδους μονάδες είναι συνήθως διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (2,5 έως 5 MW).

2.2.2 Συμβατικοί ατμοστρόβιλοι με συμπυκνωτή

Οι μονάδες με συμπυκνωτή εξαιτίας του ότι συνοδεύονται από περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό, είναι πιο περίπλοκες στο σχεδιασμό τους από τις προηγούμενες, και αυτές που είναι μεγαλύτερης ισχύος χρειάζονται διπλάσιο χρόνο κατασκευής και εγκατάστασης. Όμως, η κατανάλωση ατμού είναι περίπου μισή σε σχέση με την περίπτωση των ατμοστροβίλων ατμοσφαιρικής εκτόνωσης. Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις με συμπυκνωτές έχουν ισχύ 55-60 MW, όμως πρόσφατα κατασκευάστηκαν και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μονάδες με ισχύ 110 MW. Μια γεωθερμική μονάδα με συμβατικούς ατμοστρόβιλους με συμπιεστές φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

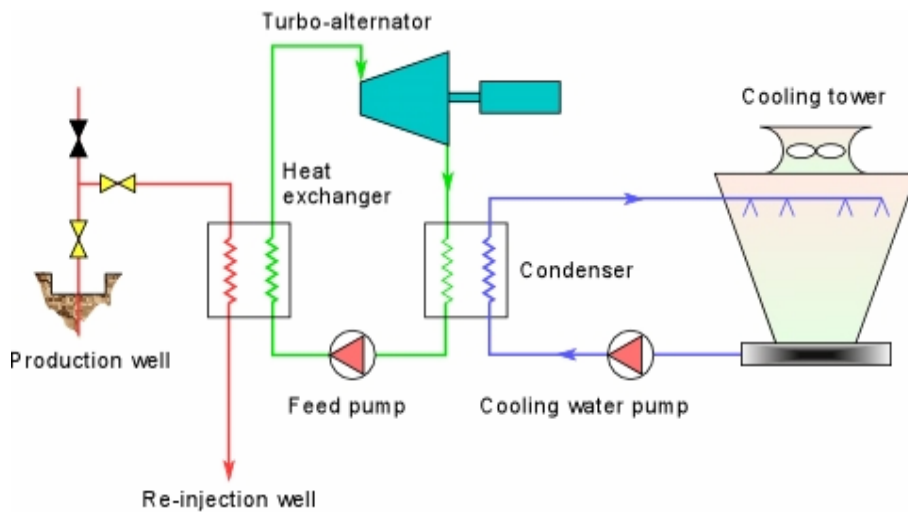


Σχήμα 2.9 Σχηματικό διάγραμμα μιας γεωθερμικής μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας με συμπυκνωτές. Η ροή των ρευστών υψηλής θερμοκρασίας σημειώνεται με κόκκινο χρώμα, ενώ του νερού ψύξης με μπλε.

2.2.3 Ατμοστρόβιλοι με χρήση ρευστού χαμηλού σημείου ζέσεως σε κύκλο Rankine

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας και από το υψηλής θερμοκρασίας νερό που εξέρχεται από τους διαχωριστές στα γεωθερμικά πεδία υγρής φάσης, σημειώνει αξιόλογη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της προόδου που επιτεύχθηκε στην τεχνολογία των ρευστών. Σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον, συνήθως οργανικό-ρευστό (ισο-πεντάνιο), το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και υψηλή τάση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες, αν

συγκριθεί με τον ατμό του νερού. Το δευτερεύον ρευστό χρησιμοποιείται άμεσα σε ένα συμβατικό κύκλο Rankine ως εξής: Το γεωθερμικό ρευστό προσφέρει θερμότητα στο δευτερεύον υγρό μέσω εναλλακτών θερμότητας, οπότε το τελευταίο εξατμίζεται. Ο ατμός που παράγεται κινεί έναν κανονικό στρόβιλο αξονικής ροής, στη συνέχεια ψύχεται και συμπυκνώνεται, οπότε ο κύκλος αρχίζει ξανά.



Σχήμα 2.10 Σχηματικό διάγραμμα μιας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό ρευστό σημειώνεται με το κόκκινο χρώμα, το δευτερεύον ρευστό με πράσινο και το νερό ψύξης με μπλε.

Εάν γίνει σωστή επιλογή του δευτερεύοντος ρευστού, τα συστήματα διπλού κυκλώματος μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούν γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 85-170°C. Το ανώτερο όριο ε-

ξαρτάται από τη θερμική σταθερότητα του οργανικού ρευστού και το κατώτατο όριο από οικονομοτεχνικούς παράγοντες: κάτω από αυτή τη θερμοκρασία, εξαιτίας του μεγέθους και της ικανότητας των απαιτούμενων εναλλακτών, το όλο πρόγραμμα ίσως κατέληγε ασύμφορο από οικονομική άποψη. Εκτός από τις περιπτώσεις χαμηλής-μέσης ενθαλπίας, τα συστήματα διπλού κυκλώματος θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου η εφαρμογή του κύκλου εκτόνωσης των ρευστών (flashing) θα πρέπει να αποφεύγεται (π.χ. για την αποφυγή απόφραξης των γεωτρήσεων). Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποβρύχιες αντλίες, ώστε να ρευστά να παραμένουν υπό σταθερή πίεση και σε υγρή φάση, ενώ η ενέργεια μπορεί να λαμβάνεται από το δεύτερο ρευστό με τη βοήθεια του συστήματος διπλού κυκλώματος

Τα συστήματα διπλού κυκλώματος κατασκευάζονται συνήθως σε μικρές αρθρωτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των οποίων η ισχύς ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες kW έως λίγα MW. Τέτοια συστήματα εντούτοις έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάζονται σε συστοιχία ώστε τελικά να δημιουργούνται μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνολικής ισχύος κάποιων δεκάδων MW.

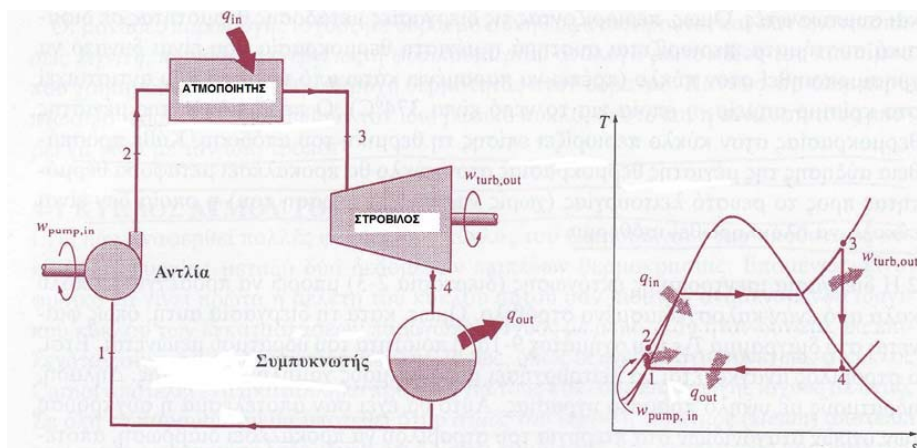
Το κόστος τους εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, ιδιαίτερα όμως από τη θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών, η οποία επηρεάζει το μέγεθος των στροβίλων, των εναλλακτών και του συστήματος ψύξης. Το συνολικό μέγεθος των

εγκαταστάσεων δεν επηρεάζει κατά πολύ το ειδικό κόστος, καθώς μια σειρά αρθρωτών μονάδων συνδέονται μεταξύ τους, για να επιτευχθεί τελικά μεγαλύτερη συνολική ισχύς. Η τεχνολογία των συστημάτων διπλού κυκλώματος είναι ένα οικονομικά συμφέρον και αξιόπιστο μέσο για τη μετατροπή σε ηλεκτρική της ενέργειας των ρευστών ενός γεωθερμικού συστήματος υγρής φάσης με θερμοκρασία μικρότερη από 170 °C.

Ένας νέος τύπος συστημάτων διπλού κυκλώματος, ο επανομαζόμενος κύκλος Kalina που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990, χρησιμοποιεί ως δευτερεύον ρευστό ένα μίγμα νερού-αμμωνίας. Το ρευστό αυτό εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες όταν διέρχεται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης και στη συνέχεια επαναθερμαίνεται πριν εισέλθει στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μετά τη δεύτερη εκτόνωση, οι κορεσμένοι ατμοί μεταφέρονται σε ένα θερμαντήρα και ακολούθως συμπυκνώνονται σε έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή. Ο κύκλος Kalina είναι πιο αποτελεσματικός από τα υπάρχοντα συστήματα διπλού κυκλώματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι πολύ πιο περίπλοκος.

2.3. Ο θερμοδυναμικός κύκλος Rankine

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ο κύκλος Rankine.



Σχήμα 2.11 Σχηματική διάταξη κύκλου Rankine και διάγραμμα T-s (Θερμοκρασίας-Εντροπίας).

Ο ιδανικός κύκλος Rankine, δηλαδή που δεν εμφανίζει εσωτερικές μη-αντιστρεπτότητες, αποτελεί το πρότυπο για κύκλους θερμικών μηχανών για παραγωγή ισχύος από ατμό.

Θερμοδυναμική ανάλυση του ιδανικού κύκλου Rankine

Ο ιδανικός κύκλος Rankine αποτελείται από τις ακόλουθες τέσσερις διεργασίες:

- 1-2 Ισεντροπική συμπίεση του χρησιμοποιούμενου ρευστού με αντλία (δηλαδή κατά την οποία αυξάνεται η πίεση σε μία υψηλή τιμή p_{High}) χωρίς όμως πρακτικά να μεταβάλλεται ο όγκος, αλλά ούτε και η θερμοκρασία του ρευστού

- 2-3 Θέρμανση του ρευστού στον ατμοποιητή καθώς επίσης και του παραχθέντος ατμού, υπό σταθερή πίεση (την υψηλή πίεση p_{High})
- 3-4 Αδιαβατική – ισεντροπική εκτόνωση σ' ένα στρόβιλο και την παραγωγή έργου
- 4-1 Ψύξη του ατμού του εξερχόμενου από τον στρόβιλο και υγροποίησή του στο συμπυκνωτή υπό σταθερή πίεση (Χαμηλή πίεση p_{Low})

Πιο αναλυτικά, το ρευστό εισέρχεται στην αντλία στην κατάσταση 1 με τη μορφή υγρού και συμπιέζεται ισεντροπικά στην υψηλή πίεση του κύκλου. Η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου, κατά τη διάρκεια αυτής της ισεντροπικής συμπίεσης αυξάνεται λίγο εξαιτίας της ελαφριάς μείωσης του ειδικού όγκου του ρευστού.

Στην συνέχεια το ρευστό εισέρχεται στον ατμοποιητή στην κατάσταση 2 ως συμπιεσμένο υγρό και εξέρχεται στην κατάσταση 3 ως υπέρθερμος ατμός. Ο ατμοποιητής είναι βασικά ένας μεγάλος εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο το γεωθερμικό ρευστό μεταδίδει θερμότητα στο ρευστό το οποίο εξατμίζεται ουσιαστικά υπό σταθερή πίεση και μετατρέπεται σε υπέθερμο ατμό.

Στην κατάσταση 3, ο υπέρθερμος ατμός εισέρχεται στο στρόβιλο στον οποίο εκτονώνεται ισεντροπικά και παράγει έργο. Κατά τη διεργασία αυτή, η πίεση και η θερμοκρασία των α-

τμών μειώνονται στις τιμές της κατάστασης 4 στην οποία οι ατμοί εισέρχονται στο συμπυκνωτή. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε σταθερή πίεση στο συμπυκνωτή, ο οποίος είναι βασικά ένας μεγάλος εναλλάκτης θερμότητας, απορρίπτοντας τη θερμότητα σ' ένα ψυκτικό μέσο. Ο ατμός αφήνει το συμπυκνωτή με τη μορφή κορεσμένου υγρού και εισέρχεται στην αντλία, ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο.

Το εμβαδό κάτω από μία καμπύλη σ' ένα διάγραμμα T-s παριστάνει τη θερμότητα που μεταφέρεται για εσωτερικά αντιστρεπτές διεργασίες. Έτσι, η περιοχή κάτω από την καμπύλη της διεργασίας 2-3 παριστάνει τη θερμότητα που προσφέρεται στο ρευστό μέσα στον ατμοποιητή, ενώ η περιοχή κάτω από την καμπύλη της διεργασίας 4-1 παριστάνει τη θερμότητα που αφαιρείται στο συμπυκνωτή. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο (δηλαδή η περιοχή που περιβάλλεται από τον κύκλο) είναι το καθαρό έργο που παράγεται στη διάρκεια του κύκλου.

2.4 Συνδυασμένες ή υβριδικές εγκαταστάσεις

Οι σταθμοί συνδυασμένου κύκλου συνήθως συνδυάζουν τις τεχνολογίες συμβατικού ατμοστροβίλου και διπλού κυκλώματος. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται υψηλότερες συνολικές αποδοτικότητες αξιοποίησης, καθώς ο συμβατικός ατμοστρόβιλος είναι πιο αποδοτικός στην παραγωγή ενέργειας από υψηλής θερμοκρασίας ατμό και του διπλού κυκλώματος από το μικρότερης θερμοκρασίας διαχωρισμένο νερό. Επίσης, αντικα-

θιστώντας το σύστημα συμπυκνωτή – πύργου ψύξης ενός συμβατικού σταθμού με αυτό το διπλού κυκλώματος η διαθέσιμη θερμότητα από τη συμπύκνωση του εξερχόμενου από τον ατμοστρόβιλο ατμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω παραγωγή ισχύος.

Έτσι, μπορούν να σχεδιαστούν οι ακόλουθες υβριδικές ή συνδυασμένες μονάδες:

- Εγκαταστάσεις οι οποίες συνδυάζουν τους τύπους σταθμών Ξηρού ατμού - Διπλού κυκλώματος
- Εγκαταστάσεις οι οποίες συνδυάζουν τους τύπους σταθμών Ταχείας ατμοποίησης - Διπλού κυκλώματος.
- Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις Ταχείας ατμοποίησης ενός-δύο σταδίων
- Υβριδικά Ορυκτά -Γεωθερμικά συστήματα.

Τέτοιες μονάδες έχουν κατασκευαστεί στις ΗΠΑ, τις Φιλιππίνες και τη Νέα Ζηλανδία, με μεγέθη από 10 έως πάνω από 100 MW. Οι αποδοτικότητες των μονάδων αυτών, από την άποψη της παραγόμενης ισχύος για τη συνολική ροή ρευστού (ατμού και νερού) των φρεάτων, είναι αρκετά υψηλότερες από των συμβατικών, λόγω κυρίως της πρόσθετης ισχύος που παράγεται με την αξιοποίηση της θερμότητας της άλμης.

2.5 Απόδοση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Συνοψίζοντας, σε έναν σταθμό παραγωγής γίνεται μετατροπή της ενέργειας από μία μορφή σε άλλη. Αν και το ενεργειακό περιεχόμενο του τελικού προϊόντος (ηλεκτρισμός) εκφράζεται συνήθως σε kWh, ο υπολογισμός της απόδοσης του σταθμού συχνά γίνεται σε μονάδες Btu (1 kWh είναι ενεργειακά ισοδύναμη με 3413 Btu). Ο σημαντικότερος υπολογισμός για ένα σταθμό παραγωγής αφορά το πόση από την τροφοδοτούμενη ενέργεια (καύσιμο) απαιτείται για να παραχθεί μια δεδομένη ποσότητα ηλεκτρισμού, και για να γίνει αυτός πρέπει να είναι γνωστή η αποδοτικότητα της μονάδας.

Συνήθως όταν εξετάζονται οι διάφορες θερμικές μηχανές υπολογίζεται ο συντελεστής απόδοσης n_{th} του κύκλου, ο οποίος ορίζεται ως

$$n_{th} = \frac{W}{Q} \quad (2.1)$$

όπου W είναι το παραγόμενο μηχανικό έργο και Q η προσφερόμενη θερμότητα. Βάσει του 2^{ου} θερμοδυναμικού νόμου δεν είναι εφικτό να μετατραπεί όλη η προσφερόμενη θερμότητα Q σε ωφέλιμο έργο W . Θεωρώντας ότι η θερμική μηχανή λειτουργεί μεταξύ δύο δεξαμενών θερμότητας με σταθερές θερμοκρασίες T_{High} και T_{Low} αντίστοιχα, με T_{High} να είναι η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής από όπου παίρνει την θερμότητα Q , και T_{Low} της ψυχρής δεξαμενής όπου αποδίδει το υπόλοιπο ποσό

θερμότητας $Q-W$, σε καμία περίπτωση αυτός ο συντελεστής δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από την τιμή

$$\eta_{th} = \frac{T_{High} - T_{Low}}{T_{High}} \quad (2.2)$$

Θερμική μηχανή που λειτουργεί με αυτόν τον συντελεστή είναι η μηχανή Carnot (κύκλος Carnot).

Η σύγχρονη προσέγγιση στη μέτρηση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων είναι η εφαρμογή του 2^{ου} θερμοδυναμικού νόμου ως βάση αξιολόγησης. Για το σκοπό αυτό έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως η έννοια του διαθέσιμου έργου ή ενέργειας. Οι γεωθερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής αποτελούν ένα άριστο παράδειγμα εφαρμογής της αποδοτικότητας αξιοποίησης η_u (βάσει του 2^{ου} νόμου). Δεδομένου ότι οι γεωθερμικοί σταθμοί δεν λειτουργούν υπό έναν κύκλο αλλά ως μια σειρά διεργασιών, δεν εφαρμόζεται η θερμική απόδοση του κύκλου η_{th} των συμβατικών εγκαταστάσεων.

Η μόνη περίπτωση όπου έχει νόημα η εφαρμογή της θερμικής απόδοσης του κύκλου η_{th} στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής είναι οι σταθμοί διπλού κυκλώματος. Όμως, και τότε η θερμική απόδοση πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αξιολόγηση του κλειστού κύκλου που περιλαμβάνει το δευτερεύων ρευστό, και όχι της συνολικής λειτουργίας που περιλαμβάνει τη ροή του γεωθερμικού ρευστού από τα φρέατα παραγωγής μέσα από την εγκατάσταση και, τελικά, πίσω στο σύστημα απόρριψης.

Η αποδοτικότητα αξιοποίησης η_u μετρά το πόσο καλά μία μονάδα μετατρέπει την ενέργεια (ή το διαθέσιμο έργο) της πηγής σε ωφέλιμη παραγωγή. Η αποδοτικότητα αξιοποίησης ενός γεωθερμικού σταθμού είναι:

$$\eta_u = \frac{W}{W_{\max}} = \frac{W}{m \cdot e} \quad (2.3)$$

όπου:

W είναι η καθαρή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

W_{\max} το μέγιστο δυνατό έργο που θα μπορούσε να παραχθεί

m η απαιτούμενη συνολική παροχή μάζας του γεωθερμικού ρευστού και

e η ειδική ενέργεια του ρευστού στις συνθήκες του ταμειυτήρα.

Το μέγιστο δυνατό έργο W_{\max} και η ειδική ενέργεια e του γεωθερμικού ρευστού μπορούν να υπολογιστούν θεωρώντας κάποιο συγκεκριμένο θερμοδυναμικό κύκλο και βάσει των συνθηκών του ταμειυτήρα (P_1, T_1) και στην “αδρανή κατάσταση” (P_0, T_0), δηλαδή στις συνθήκες περιβάλλοντος στη θέση εγκατάστασης.

Οι σταθμοί ξηρού ατμού λειτουργούν με εντυπωσιακές αποδοτικότητες αξιοποίησης συνήθως 15-50%, ενώ οι σταθμοί διπλού κυκλώματος παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποδοτικότητες (50-70%). Όλα αυτά αναφέρονται στη “μικτή” απόδοση μιας μονάδας, αλλά σε κάθε μονάδα υφίστανται και καταναλώσεις

ενέργειας απαραίτητες για τη λειτουργία της (π.χ. για τους ανεμιστήρες, τις αντλίες και τα συστήματα ελέγχου), γνωστά ως “παρασιτικά φορτία”. Η “καθαρή” απόδοση του σταθμού περιλαμβάνει την κατανάλωση και αυτών των συσκευών για την εκτίμηση της απόδοσης του σταθμού από την άποψη της καθαρής παραγωγής ισχύος που διατίθεται στον ιδιοκτήτη προς χρήση ή πώληση

2.6 Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή για μικρά και μίνι δίκτυα

Μικροί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έως 100 kW, και συνήθως 1-5 MW, μπορούν να παρέχουν κατανεμημένη παραγωγή σε μεγάλα δίκτυα ή να αποτελούν μια σημαντική πηγή παραγωγής για μικρότερα δίκτυα ισχύος. Αν και επικρατεί η αντίληψη ότι οι γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής είναι σταθμοί βάσης που λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα για 365 ημέρες το έτος, αυτό δεν ισχύει πάντα. Πράγματι, οι σταθμοί αυτοί μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να ακολουθούν τη ζήτηση του φορτίου, όπως μπορεί να απαιτείται σε εφαρμογές μίνι δικτύων. Οι μικρές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής κατασκευάζονται συνήθως με τη χρήση μιας πολυσυναρτησιακής προσέγγισης που μειώνει τις δαπάνες κατασκευής της μονάδας, και μπορούν να εγκατασταθούν δίπλα στις γεωτρήσεις, οπότε συνολικά το έργο έχει ελάχιστη περιβαλλοντική επίπτωση. Οι μονάδες αυτές έχουν διαδραματίσει ιδιαίτερο ρόλο στην ανάπτυξη και αποδοχή της γεωθερμίας. Ευκαιρίες για μικρά γεωθερμικά έργα υπάρ-

χουν σε πολλές περιοχές του αναπτυσσόμενου κόσμου. Οι αγροτικές περιοχές έχουν πιεστικές ενεργειακές ανάγκες και ο ηλεκτρισμός που παράγεται από μικρούς, τοπικούς γεωθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (με δυναμικό κάτω από 5MW) θα μπορούσε να καλύψει πολλές από αυτές. Αυτού του είδους οι σταθμοί θα μπορούσαν να καλύψουν τις αγορές αυτές σχεδόν εξ ολοκλήρου σε χώρες όπου ισχυρές εθνικές ή περιφερειακές πολιτικές προωθούν την εφαρμογή τους. Πάντως, για τα έργα αυτά συχνά απαιτείται κάποια κυβερνητική παρέμβαση, καθώς αντιμετωπίζουν ειδικές οικονομικές και λειτουργικές προκλήσεις που σχετίζονται με το μικρό τους μέγεθος. Το κλειδί για την επιτυχία ενός μικρής κλίμακας γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι το να μην κατασκευάζεται μία υπερμεγέθης σε σχέση με τη ζήτηση μονάδα, και να διερευνάται πάντοτε η δυνατότητα ενσωμάτωσης ενός συστήματος άμεσης χρήσης του ζεστού νερού για τη βελτίωση των οικονομικών της μονάδας.

2.6.1 Περίπτωση εφαρμογής

Θέση: Fang, Ταϊλάνδη



Σχήμα 2.12 Ο μικρός (300 kW) σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, τύπου διπλού κυκλώματος, στο Fang (Ταϊλάνδη) ο οποίος σχεδιάστηκε με την μέθοδο της πολυσυναρτησιακής προσέγγισης

Από το Δεκέμβριο του 1989, η Electricity Generating Authority (EGAT) της Ταϊλάνδης παράγει θερμικά ρευστά από τρεις αβαθείς γεωτρήσεις (βάθους 150 m) στη γεωθερμική περιοχή Fang, με παροχή περίπου 60 τόνους/ώρα (θερμοκρασία εισόδου 120 °C). Αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε μία μονάδα ORMAT 0,3 MW, (με 85-90% συντελεστή διαθεσιμότητας. Η προκαταρκτική οικονομική μελέτη έδειξε ότι το κόστος παραγωγής του ηλεκτρισμού είναι 6,3-8,6 \$/kWh (τιμές 1995), θεωρώντας επιτόκιο 5% και συντελεστή δυναμικού 90%

Περιγραφή: Επίσης, η EGAT εγκατέστησε μία παγολεκάνη κλιματισμού και ένα ξηραντήριο προϊόντων που χρησιμοποιούν το απορριπτόμενο από τη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ζεστό νερό (80 °C) για να επιδείξει την κάθετη αξιοποίηση στον τοπικό πληθυσμό. Το τμήμα επεξεργασίας τροφίμων του Royal Recommended Project κατασκευάζει τελευταία ένα νέο μεγαλύτερο ξηραντήριο που θα χρησιμοποιεί τη γεωθερμική πηγή για τη συντήρηση προϊόντων. Παράλληλα, το εθνικό πάρκο Mae Fang κατασκεύασε ένα δημόσιο λουτρό και μία σάουνα για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη περιοχή Fang είναι επιτυχής, έστω και σε πολύ μικρή κλίμακα, και το έργο αυτό – γνωστό ως το πρώτο "πολυδύναμο έργο" στην Ταϊλάνδη – μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες γεωθερμικές πηγές.

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: Η μονάδα ORMAT 300 kW είναι διπλού κυκλώματος. Το γεωθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 120 °C περνά από εναλλάκτη θερμότητας όπου θερμαίνει ένα ρευστό λειτουργίας με σημείο βρασμού μικρότερο από 100 °C. Αυτό είναι ένα οργανικό ρευστό, π.χ. ισοπεντάνιο, που ατμοποιείται και χρησιμοποιείται για την οδήγηση του στροβίλου, ενώ στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε ένα συμπυκνωτή κελύφους με σωληνώσεις. Τέλος, το ρευστό επιστρέφει στον εναλλάκτη και σχηματίζει κλειστό βρόχο. Το ψυγμένο ρευστό του ταμειυτήρα (80°C) χρησιμοποιείται για την παγολεκάνη κλιματισμού και το ξηραντήριο.

2.7 Γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή με σύνδεση στο δίκτυο

Οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες υψηλής θερμοκρασίας μπορούν να παράσχουν ατμό για την άμεση οδήγηση ατμοστροβίλων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Οι πρόσφατα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες συστημάτων διπλού κυκλώματος παρέχουν τη δυνατότητα χρήσης του μεγαλύτερου μέρους της θερμότητας της πηγής για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ κερδίζει έδαφος και ο συνδυασμός της συμβατικής ταχείας ατμοποίησης με την τεχνολογία διπλού κυκλώματος (συνδυασμένος κύκλος). Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μεγέθους έως 100 MW συνδέονται στα εθνικά δίκτυα και χρησιμοποιούνται συνήθως ως μονάδες βάσης, λειτουργώντας υπό πλήρη ισχύ 365 ημέρες το χρόνο. Αυτός ο τύπος παραγωγής είναι διαδεδομένος στην Ινδονησία και τις Φιλιππίνες.

2.7.1 Περίπτωση εφαρμογής

Θέση: Γεωθερμικό πεδίο Kamojang, Ιάβα, Ινδονησία

Περιγραφή: Το γεωθερμικό πεδίο Kamojang βρίσκεται στη δυτική Ιάβα της Ινδονησίας και ανακαλύφθηκε από τους Ολλανδούς το 1920, κατά την περίοδο του αποικισμού. Η αρχική διερεύνηση έγινε το 1973 με τη συνεργασία των κυβερνήσεων της Ινδονησίας και της Νέας Ζηλανδίας. Ήταν το πρώτο επιχειρησιακό γεωθερμικό πεδίο της Ινδονησίας και λειτουργεί εμπορικά παράγοντας ηλεκτρισμό από το 1983 (την περίοδο αυτή παρά-

γονται 140 MW). Το πεδίο βρίσκεται σε προστατευμένο και παραγωγικό δάσος και σε δάσος-βιότοπο. Περιβαλλοντικές μελέτες δείχνουν ότι οι γεωθερμικές δραστηρότητες δεν είχαν καμία επίπτωση στο φυσικό οικοσύστημα.

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: Τρεις μονάδες στροβίλων με συμπυκνωτές της Mitsubishi (1×30 MW και 2×55 MW) είναι σε χρήση. Αυτές τροφοδοτούνται με ατμό από 26 φρέατα με μέση βέλτιστη πίεση στην κεφαλή του φρέατος περίπου 15 bar (πίεση εισόδου στους στροβίλους 6,5 bar). Ο στρόβιλος των 30 MW λειτουργεί από το 1983 και οι μονάδες των 55 MW από το 1987. Η παραγωγή συνδέεται με μια γραμμή μεταφοράς 150 KV και αποδίδεται στο δίκτυο του Bandung. Οι στρόβιλοι εμφανίζουν υψηλή αξιοπιστία με μέσους συντελεστές ισχύος, διαθεσιμότητας και φορτίου 85%, 90% και 97,5% αντίστοιχα, παρότι κάθε στρόβιλος απαιτεί εκτεταμένη επισκευή κάθε χρόνο για την αφαίρεση από τα πτερύγια των επικαθίσεων πυριτίου. Μελέτες προσομοίωσης του ταμιευτήρα δείχνουν ότι το υφιστάμενο βεβαιωμένο δυναμικό έχει δυνατότητα παραγωγής 140 MW μέχρι το έτος 2021, που αντιστοιχεί σε ζωή 38 ετών για τη 1^η μονάδα (των 30 MW) και 34 ετών για τις άλλες δύο μονάδες (των 55 MW κάθε μια).

2.8 Κινητές μονάδες

Μικρές «κινητές», συμβατικές ή όχι, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσαν όχι μόνο να συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου μερικής αποτυχίας των νέων γεωτρήσεων, αλλά κυρίως να βοηθήσουν στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομονωμένων περιοχών. Το βιοτικό επίπεδο απομονωμένων κοινοτήτων θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά εάν υπήρχε η δυνατότητα να βασιστούν σε τοπικούς ενεργειακούς πόρους. Η ηλεκτρική ενέργεια θα διευκόλυνε πολλές, φαινομενικά απλοϊκές, αλλά, εξαιρετικά σημαντικές εργασίες, όπως η άντληση νερού για άρδευση και η ψύξη φρούτων και λαχανικών για συντήρηση σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η διευκόλυνση που παρέχουν οι «κινητές» μονάδες γίνεται περισσότερο εμφανής στις περιοχές που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε συμβατικά καύσιμα, και στις κοινότητες για τις οποίες το κόστος σύνδεσής τους με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι εξαιρετικά υψηλό, έστω και αν υπάρχουν γραμμές υψηλής τάσης σε κοντινές αποστάσεις. Τα έξοδα που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση αυτών των μικρών κοινοτήτων είναι απαγορευτικά, καθώς οι μετασχηματιστές που χρειάζεται να εγκατασταθούν και να συνδεθούν με δίκτυα υψηλής τάσης κοστίζουν περισσότερο από 675.000 δολάρια ΗΠΑ ο καθένας, ενώ η πιο απλή μορφή τοπικής διανομής ηλεκτρισμού στα 11 kV, με τη χρήση ξύλινων στύλων, κοστίζει το λιγότερο 20.000 δολ.χλμ. (τιμή δολαρίου 1994). Για σύγκριση, το κόστος κεφαλαίου (δολ.

ΗΠΑ 1998) ενός συστήματος διπλού κυκλώματος είναι της τάξης των 1500-2500 δολ./εγκατεστημένο kW, μη συμπεριλαμβανομένων των γεωτρητικών δαπανών. Οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ισχύ ανά άτομο στις περιοχές εκτός δικτύου θα κυμαίνονται μεταξύ 0,2 kW στις λιγότερο ανεπτυγμένες και 1,0 kW ή περισσότερο στις ανεπτυγμένες περιοχές. Μία μονάδα ισχύος 100 kW θα μπορούσε να εξυπηρετήσει 100-500 άτομα, ενώ αντίστοιχα μια μονάδα 1 MW 1000-5000 άτομα (Entingh et al., 1994).

2.9 Οικονομική προσέγγιση στην χρήση της Γεωθερμίας

Τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά που γίνεται εκτίμηση του κόστους της εγκατάστασης ή της λειτουργίας μιας γεωθερμικής μονάδας, και της αξίας των «προϊόντων» της γεωθερμικής ενέργειας, είναι πολύ περισσότερα και πιο σύνθετα σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Συνεπώς, θα πρέπει όλα αυτά τα στοιχεία να αξιολογούνται πολύ προσεκτικά πριν την εκπόνηση ενός γεωθερμικού προγράμματος. Στο σημείο αυτό, μόνο κάποιες γενικές ενδείξεις μπορούν να αναφερθούν, οι οποίες σε συνδυασμό με τις πληροφορίες για τις τοπικές συνθήκες και την αξία των διαθέσιμων ρευστών, θα βοηθούσαν ίσως το μελλοντικό επενδυτή στη λήψη των σημαντικών αποφάσεων.

Ένα σύστημα γεωθερμικού πόρου - εγκαταστάσεων (μονάδα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας) αποτελείται

από τις γεωθερμικές γεωτρήσεις, το δίκτυο μεταφοράς των ρευστών, τη μονάδα παραγωγής ή χρήσης και συχνά το σύστημα επανεισαγωγής. Η αλληλεπίδραση όλων αυτών των στοιχείων θα πρέπει να αναλύεται προσεκτικά διότι βαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το κόστος της αρχικής επένδυσης. Για παράδειγμα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μια μονάδα διάθεσης του ατμού στην ατμόσφαιρα αποτελεί την απλούστερη και φθηνότερη επιλογή συγκριτικά με μια μονάδα ίσης ισχύος που λειτουργεί με συμπυκνωτή.

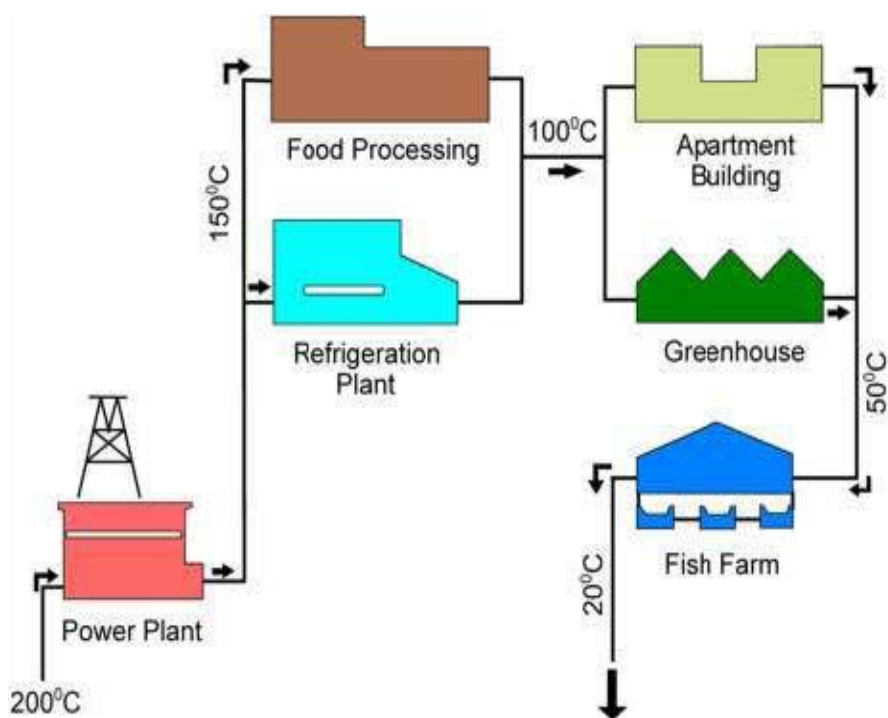
Παρόλα αυτά, απαιτούνται σχεδόν διπλάσιες ποσότητες ατμού και συνεπώς διπλάσιος αριθμός γεωτρήσεων παραγωγής, κάτι που αυξάνει πολύ το αρχικό κόστος. Έτσι λοιπόν, παρόλο που οι γεωτρήσεις είναι ακριβές, η γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού που λειτουργεί με συμπύκνωση αποδεικνύεται τελικά πιο φτηνή επιλογή, παρόλο που τελικά τις περισσότερες φορές η επιλογή της γίνεται για λόγους ανεξάρτητους του κόστους.

Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να μεταφερθούν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις μέσα σε θερμικά μονωμένους σωλήνες. Υπό ιδανικές συνθήκες το μήκος των σωληνώσεων μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 60 km. Όμως, το κόστος των σωληνώσεων, του απαιτούμενου βοηθητικού εξοπλισμού (αντλίες, βαλβίδες, κ.τ.λ.) και της συντήρησής τους, επιβαρύνουν πολύ τον προϋπολογισμό και μπορεί να ανεβάσουν σημαντικά το συνολικό λειτουργικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας της εγκατά-

στασης. Οπότε, η απόσταση μεταξύ του πόρου (γεωτρήσεις) και της εφαρμογής (εγκαταστάσεις) θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Το αρχικό κόστος επένδυσης μιας γεωθερμικής μονάδας εφαρμογής είναι συνήθως μεγαλύτερο, και σε κάποιες περιπτώσεις πολύ ανώτερο, από αυτό που απαιτείται για τη λειτουργία μιας αντίστοιχης μονάδας συμβατικών καυσίμων. Αντίθετα, η ενέργεια που καταναλώνεται σε μια γεωθερμική εγκατάσταση κοστίζει πολύ λιγότερο από τα συμβατικά καύσιμα και αντιστοιχεί συνήθως στο κόστος συντήρησης των διαφόρων επιμέρους τμημάτων της (σωληνώσεις, βαλβίδες, αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας κ.τ.λ.). Έτσι λοιπόν, οι υψηλότερες αρχικές δαπάνες λογικά αντισταθμίζονται από την εξοικονόμηση που γίνεται στην κατανάλωση ενέργειας. Ως εκ τούτου, το συνολικό σύστημα γεωθερμικού πόρου και εγκαταστάσεων θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να βρίσκεται σε λειτουργία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, ικανό για να γίνει απόσβεση της αρχικής επένδυσης, και, αν είναι δυνατό, ακόμη μεγαλύτερο.

Αξιοσημείωτα οικονομικά οφέλη μπορούν να προκύψουν από τη χρήση συνδυασμένων ολοκληρωμένων συστημάτων που παρέχουν μεγαλύτερους συντελεστές απόδοσης (για παράδειγμα, συστήματα που συνδυάζουν ψύξη και θέρμανση χώρων) ή συστήματα διαδοχικής (κλιμακωτής) εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, στα οποία οι εφαρμογές είναι συνδεδεμένες σε σειρά και η κάθε μια χρησιμοποιεί τα ρευστά που α-

πορρίπτονται από την προηγούμενη (για παράδειγμα, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας → θέρμανση θερμοκηπίων → κτηνοτροφία) όπως στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 2.13 Διαδοχική (κλιμακωτή) χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

Για τη μείωση του κόστους συντήρησης και της πιθανότητας διακοπής της λειτουργίας της, η τεχνική πολυπλοκότητα μιας γεωθερμικής μονάδας δε θα πρέπει να ξεπερνά το βαθμό που αυτή θα είναι προσβάσιμη από το τοπικό τεχνικό προσωπικό και τους εύκολα διαθέσιμους ειδικούς. Οι πολύ εξειδικευμένοι τεχνικοί ή οι κατασκευαστές θα πρέπει να είναι απαραίτη-

τοι μόνο για τις μεγάλης κλίμακας εργασίες συντήρησης ή στην περίπτωση εκτεταμένων ζημιών της μονάδας. Τέλος, εάν η γεωθερμική εφαρμογή αφορά στην παραγωγή καταναλωτικών αγαθών, θα πρέπει να προηγηθεί μια προσεκτική και εμπειροστατωμένη έρευνα αγοράς, ώστε να εξασφαλιστεί η διάθεση αυτών των προϊόντων. Επίσης, θα πρέπει υποχρεωτικά να προϋπάρχουν ή να συμπεριληφθούν στον αρχικό προϋπολογισμό οι απαραίτητες υποδομές για την οικονομικά συμφέρουσα μεταφορά των προϊόντων από το σημείο παραγωγής στον καταναλωτή.

Το πεδίο εφαρμογής των παραπάνω παρατηρήσεων καλύπτει όλες τις μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας και οποιεσδήποτε τοπικές συνθήκες, και γι' αυτό έχουν έναν καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα. Όσον αφορά στον αντικειμενικό υπολογισμό του ύψους της επένδυσης και του κόστους, προτείνεται το World Energy Assessment Report, που συντάχθηκε από το UNDP, το UN -DESA και το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας (World Energy Council) και το οποίο δημοσιεύτηκε το 2000. Τα στοιχεία του WEAR παρατίθενται στους Πίνακες 2.1 και 2.2, στους οποίους γίνεται επίσης η σύγκριση ανάμεσα στη γεωθερμική ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές (Friedleifsson, 2001).

Πίνακας 2.1 Ενεργειακό και επενδυτικό κόστος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Friedleifsson, 2001)

	Current energy cost US¢/kWh	Potential future energy cost US¢/kWh	Turnkey investment cost US\$/kW
Biomass	5 - 15	4 - 10	900 - 3000
Geothermal	2 - 10	1 - 8	800 - 3000
Wind	5 - 13	3 - 10	1100 - 1700
Solar (photovoltaic)	25 - 125	5 - 25	5000 - 10 000
Solar (thermal electricity)	12 - 18	4 - 10	3000 - 4000
Tidal	8 - 15	8 - 15	1700 - 2500

Πίνακας 2.2 Ενεργειακό και επενδυτικό κόστος για απευθείας χρήση θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές (Friedleifsson, 2001)

	Current energy cost US¢/kWh	Potential future energy cost US¢/kWh	Turnkey investment cost US\$/kW
Biomass (including ethanol)	1 - 5	1 - 5	250 - 750
Geothermal	0.5 - 5	0.5 - 5	200 - 2000
Wind	5 - 13	3 - 10	1100 - 1700
Solar heat low temperature	3 - 20	2 - 10	500 - 1700

2.10 Συμπεράσματα - Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Γενικά, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας. Οι τύποι αυτοί των προβλημάτων είναι ο σχηματισμός επικαθίσεων (ή όπως συχνά λέγεται οι καταλατώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, καθώς και ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδροθείου).

Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται άμεσα με την ιδιόζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών. Τα γεωθερμικά ρευστά λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα περιέχουν κατά κανόνα σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αλάτων και αερίων. Η αλλαγή των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των ρευστών στο στάδιο της εκμετάλλευσης μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες ευνοϊκές τόσο για τη χημική προσβολή των μεταλλικών επιφανειών, όσο και για την απόθεση ορισμένων διαλυμένων ή αιωρούμενων στερεών και την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών.

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων. Μερικές από τις πιο τυπι-

κές πρακτικές είναι ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της, η ρύθμιση του pH του ρευστού, η προσθήκη χημικών ουσιών (αναστολέων δημιουργίας επικαθίσεων) και τέλος, η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα, στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.

Οι διάφορες δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες επικεντρώνονται

- α) στην επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής (π.χ. χρήση πολυμερικών υλικών, εναλλακτών θερμότητας από τιτάνιο, Hastelloy κ.τ.λ.)
- β) στην επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα
- γ) στην προσθήκη αναστολέων διάβρωσης
- δ) στον ορθό σχεδιασμό της μονάδας.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ήπια μορφή ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι συχνά αμελητέες. Η υψηλότερη περιεκτικότητα των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας σε διαλυμένα άλατα και αέρια σε σχέση με τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας επιβάλλουν το διαχωρισμό των επιπτώσεων από την αξιοποίηση της γεωθερμίας. Τα προβλήματα από τη διάθεση των νερών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα (και σχεδόν μηδενικά) από ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται

για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί από την αρχή ότι στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, όπως στην περίπτωση των μονάδων με διπλό κύκλωμα, οι επιπτώσεις είναι ελάχιστες. Βεβαίως κατά τη φάση της έρευνας, της ανόρυξης των γεωτρήσεων, των δοκιμών και της κατασκευής της μονάδας μπορούν να υπάρξουν διαρροές και διάθεση γεωθερμικών νερών σε υδάτινους αποδέκτες, καθώς και αυξημένος θόρυβος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση των ρευστών υψηλής ενθαλπίας διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και ταξινομούνται σε συνάρτηση της αιτίας όπως τη χρήση γης, εκπομπές αερίων, τη διάθεση υγρών αποβλήτων, θόρυβο, δημιουργία μικροσεισμικότητας και καθιζήσεις. Η έκταση γης που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας (π.χ. για την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο για τις γεωτρήσεις, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης) είναι γενικά μικρότερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κ.τ.λ.).

Το CO₂ που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πεδίου, καθώς και την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, αν και οι εκπομπές του είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά και

με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες ΑΠΕ. Το H_2S , λόγω της έντονης οσμής του και της σχετικής τοξικότητάς του, είναι υπεύθυνο τις περισσότερες φορές για τη προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές H_2S ποικίλλουν από $<0,5$ gr/kWh μέχρι και 7 gr/kWh. Οι εκπομπές του H_2S μπορούν να ελεγχθούν σχετικά εύκολα και να μειωθούν σε συγκεντρώσεις 1 ppm με μια πληθώρα μεθόδων, όπως με τη διεργασία Stredford, με την καύση και επανεισαγωγή, με την οξειδωτική μέθοδο Dow κ.τ.λ. Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών νερών στους υδάτινους αποδέκτες. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της περιεκτικότητάς του σε διάφορα χημικά συστατικά, το γεωθερμικό ρευστό προτού διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες θα πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία και να μειωθεί η θερμοκρασία του. Τονίζεται ξανά ότι η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα.

Συγκρινόμενη με τις άλλες ΑΠΕ, η γεωθερμία δεν υστερεί σε περιβαλλοντικά οφέλη. Αυτό βέβαια έρχεται σε προφανή αντίθεση με την εντύπωση που κυριαρχεί ότι ορισμένες ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολική ενέργεια) δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η εντύπωση αυτή μεταβάλλεται όταν κανείς συνυπολογίσει τις επιπτώσεις οποιασδήποτε μορφής ενέργειας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής μιας τεχνολογίας, αλλά και την επιβά-

ρυνση στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Συνεχής παροχή ενέργειας, με υψηλό συντελεστή λειτουργίας (load factor), >90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Μηδενικές ή μικρές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον.
- Μικρή απαίτηση γης.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο.
- Αποτελεί τοπική μορφή ενέργειας με συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη της γεωθερμικής περιοχής.
- Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ

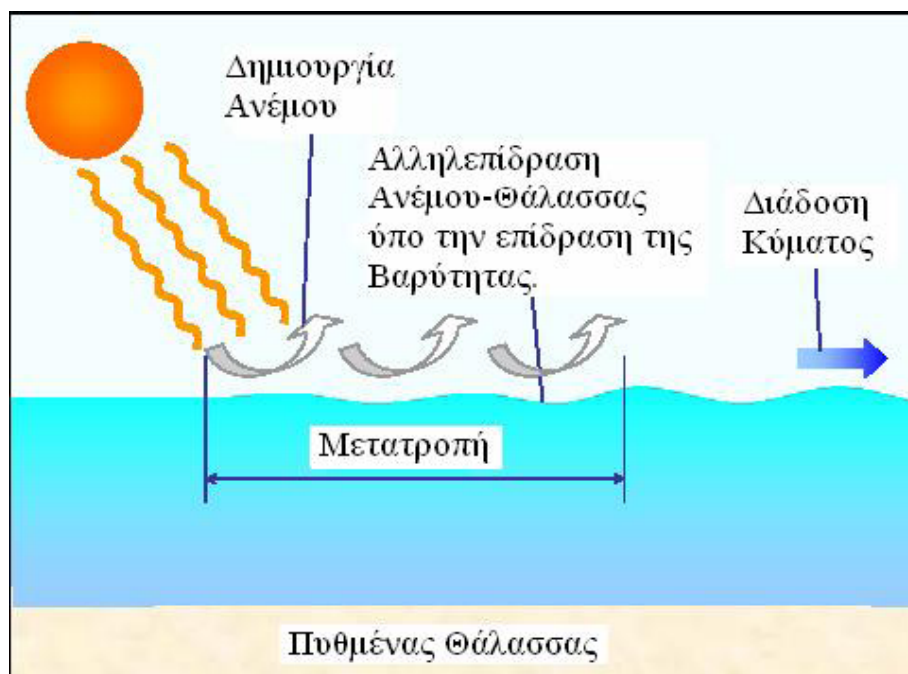
3.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων είναι ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη θάλασσα. Εάν ήσαστε πάντα στην παραλία ή τη θάλασσα, πιθανώς έχετε παρατηρήσει ότι το ύδωρ είναι πολύ ισχυρό καθώς ωθεί και τραβά. Τα κύματα είναι ένα υποπροϊόν της θάλασσας και προκαλούνται πραγματικά από τον αέρα που κινείται πάνω από το νερό.

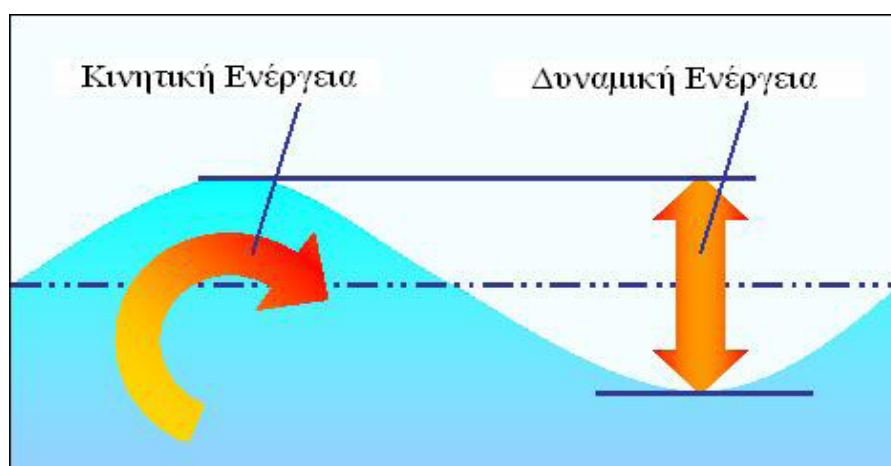
Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο ήλιος που θερμαίνει την ατμόσφαιρα, προκαλεί τον αέρα, και συνεπώς είναι ουσιαστικά ένα υποπροϊόν της ηλιακής ενέργειας. Τα θαλάσσια κύματα προκαλούνται από τον αέρα όπως φυσά πάνω από τη θάλασσα. Τα κύματα είναι μια ισχυρή πηγή ενέργειας.

Το πρόβλημα είναι ότι δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενέργεια για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλα ποσά. Κατά συνέπεια, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρι-

κού ρεύματος κυμάτων είναι σπάνιοι. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, αλλά μια από τις αποτελεσματικότερες λειτουργεί όπως μια μηχανή κυμάτων πισινών. Έτσι, σε μια πισίνα, ο αέρας φυσιέται μέσα και έξω από μια μηχανή εκτός από τη λίμνη, η οποία κάνει το νερό να μετακινείται πάνω-κάτω, προκαλώντας τα κύματα. Παρόμοια, σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων, η άφιξη των κυμάτων προκαλεί άνοδο και πτώση του νερού εντός του θαλάμου του σταθμού, το οποίο προκαλεί τον αέρα να κινείται μέσα και έξω από μια τρύπα στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτή τη τρύπα τοποθετούμαι μία τουρμπίνα, η οποία γυρίζει με την κίνηση του αέρα μέσα-έξω, με αποτέλεσμα η τουρμπίνα να λειτουργεί ως γεννήτρια. Ένα πρόβλημα σε αυτό το σχέδιο είναι ότι ο κινούμενος αέρας μπορεί να είναι πολύ θορυβώδης, εκτός και εάν εγκατασταθεί στο στρόβιλο σιγαστήρας. Ο θόρυβος δεν είναι τεράστιο πρόβλημα, δεδομένου ότι τα κύματα κάνουν αρκετό θόρυβο από μόνα τους. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την ταχύτητα του κύματος, το ύψος, το βάθος και τη ροή κάτω από το πλησιάζον κύμα, παράγοντας κατά συνέπεια την ενέργεια αποτελεσματικότερα και φτηνότερα από τις υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες.



Σχήμα 3.1 Σχηματική αναπαράσταση της αλληλεπίδρασης του ήλιου, του ανέμου, της θάλασσας και της βαρύτητας



Σχήμα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση της δημιουργίας του κύματος

Έχει υπάρξει μια σημαντική αλλαγή στη σκέψη σε όλο τον κόσμο σε ποιους τύπους ενεργειών πρέπει να χρησιμοποιήσουμε. Δυστυχώς, ο κόσμος τρέχει αυτήν την περίοδο στα απολιθωμένα καύσιμα όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Αυτά τα καύσιμα εκπέμπουν τον άνθρακα μαζί με άλλες επιβλαβείς χημικές ουσίες που μολύνουν την ατμόσφαιρα και συμβάλλουν στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχει υπάρξει μια τεράστια ώθηση να βρεθούν οι νέες μορφές ενέργειας. Πολλοί επιστήμονες και επιχειρηματίες έχουν στραφεί στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι ένας τύπος ενέργειας που βρίσκετε σε αφθονία έξω. Αντίθετα από το πετρέλαιο και τον άνθρακα, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας όπως η ενέργεια κυμάτων είναι απεριόριστες και εάν χρησιμοποιούνται σωστά μπορούν να βοηθήσουν τον κόσμο να αντιμετωπίσει τα ενεργειακά προβλήματα.

3.2 Ιστορική αναδρομή - Εξέλιξη της τεχνολογίας

Το έτος 1799 η πρώτη ευρεσιτεχνία για τη παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ήταν του Γάλλου Μηχανικού Pierre Girard. Δεν κατασκευάστηκε ποτέ. Για 200 περίπου χρόνια οι ευρεσιτεχνίες παρουσίασαν πλήθος ιδεών με πενιχρά όμως αποτελέσματα. Οι θιασώτες της παραγωγής ενέργειας από τη θάλασσα επανήλθαν τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1970,

όταν η τιμή του πετρελαίου εκτινάχθηκε από 7 \$ U.S. (1970) σε 38\$ U.S (1974). Τότε στις ΗΠΑ ξεκίνησε η αποτυχημένη τελικά προσπάθεια της εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας, ενώ στη Βρετανία επικεντρώθηκαν στην ενέργεια από τα κύματα. Η προσπάθεια έληξε σε πρώτη φάση άδοξα το 1983 με τη διαπίστωση ότι η τεχνολογία δεν ήταν ώριμη και το κόστος πολύ υψηλό. Αξιολόγηση που επαναλήφθηκε σε κυβερνητικό επίπεδο το 1992. Έκτοτε η κυματική ενέργεια επέστρεψε στις ρίζες της, δηλαδή στα πανεπιστημιακά εργαστήρια και στα μηχανουργεία των εφευρετών και υποστηρικτών της.

Εμπειρία που αποκτήθηκε από προηγούμενες αποτυχημένες προσπάθειες, καθώς και γνώσεις από την τεχνολογία εξόρυξης και παραγωγής πετρελαίου από το θαλάσσιο περιβάλλον οδήγησαν στην ανάπτυξη της νέας γενεάς μηχανών παραγωγής ενέργειας από τη θάλασσα. Σήμερα 50 τουλάχιστον προγράμματα βρίσκονται σε εξέλιξη, μερικά των οποίων και στην Ελλάδα.

3.3 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα

Ο θαλάσσιος κυματισμός συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις ΑΠΕ

- α) χαμηλοί δείκτες ρύπανσης σε επίπεδο κύκλου ζωής
- β) αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας
- γ) απεξάρτηση από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων

δ) προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης σε απομακρυσμένες ή και υποβαθμισμένες περιοχές, τόνωση της βιομηχανικής παραγωγής, δημιουργία θέσεων εργασίας κ.τ.λ.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση τεχνολογιών κυματικής ενέργειας, όπως ακουστική ή οπτική όχληση, επιπτώσεις σε χλωρίδα και πανίδα, παρενόχληση της ναυσιπλοΐας κ.τ.λ. θεωρούνται ήπιες. Αξιοσημείωτο είναι ότι η εγκατάσταση σταθμών κυματικής ενέργειας δεν απαιτεί δέσμευση γης. Η οπτική όχληση, καθώς και οι παρεμβάσεις στο περιβάλλον, ενδεχομένως να αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για παράκτιες εγκαταστάσεις, αν και εν γένει περιοχές με έντονη κυματική δραστηριότητα δεν ενδείκνυνται για άλλου είδους αξιοποίηση, όπως π.χ. ιχθυοκαλλιέργεια ή τουριστική εκμετάλλευση. Αντίθετα, παράκτιες εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας θα μπορούσαν με κατάλληλο σχεδιασμό να λειτουργήσουν παράλληλα σαν κυματοθραύστες για προστασία της ακτής ή λιμενοβραχίονες.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα τεχνολογιών κυματικής ενέργειας αφορούν την αξιοπιστία τους και το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα των κυμάτων συνεπάγεται μεγάλες καταπονήσεις στην περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων. Τούτο απαιτεί υψηλό βαθμό μηχανικής αντοχής των κατασκευών, με αποτέλεσμα μεγάλο κατασκευαστικό κόστος. Επιπλέον, η δυσπροσιτότητα υπεράκτιων ή υποβρύχιων εγκαταστάσεων δυσχεραίνει τον έλεγχο,

την συντήρηση ή την επισκευή τους και αυξάνει το λειτουργικό κόστος. Το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας μπορεί να αντισταθμιστεί μόνον με την αξιοποίηση του κυματικού δυναμικού στον μέγιστο δυνατό βαθμό, δηλαδή την επίτευξη υψηλών δεικτών απόδοσης.

Η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει μέχρι στιγμής σε σημαντική βελτίωση του δείκτη απόδοσης για τις περισσότερες τεχνολογίες, ενώ τα περιθώρια βελτίωσης παραμένουν μεγάλα. Για τον λόγο αυτό, εκτιμάται ότι η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη θα οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση του ηλεκτροπαραγωγικού κόστους, σε επίπεδα συγκρίσιμα με αυτά των συμβατικών μορφών ενέργειας ή άλλων ΑΠΕ. Ήδη το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος για ορισμένες τεχνολογίες έχει μειωθεί στα επίπεδα των 0.68€/kWh και αναμένεται περαιτέρω μείωσή του.

Μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Τα κύματα έχουν ακανόνιστη μορφή (πλάτος, φάση, διεύθυνση)
- Δυσκολία στην κατασκευή διατάξεων που να καλύπτουν λειτουργικά
- Πολλές μεταβλητές μεγάλου εύρους.
- Πιθανότητα κυμάτων ακραίας έντασης (10 φορές μεγαλύτερη της μέσης τιμής)
- Απαιτούνται διατάξεις ανθεκτικές σε παραγόμενη ισχύ ~100 φορές μεγαλύτερης της μέσης ισχύος. (Αύξηση κόστους)
- Η μέγιστη ένταση συναντάται σε κύματα μακριά από την ακτή

- Δυσκολία στην κατασκευή, συντήρηση και ασφάλεια διατάξεων σε μεγάλες αποστάσεις από τις ακτές
- Η συχνότητα των κυμάτων είναι πολύ μικρή
- Δυσκολία στον συνδυασμό με ηλεκτρογεννήτριες που λειτουργούν σε συχνότητες ~500 φορές μεγαλύτερες.
- Μικρή προσφορά ισχύος σχετικά με τις συνήθεις ανάγκες της Βιομηχανίας
- Τάση για δημιουργία γιγαντιαίων διατάξεων με εξαιρετικά υψηλό κόστος

3.4 Δραστηριότητες στην Ευρώπη

Στον τομέα της Κυματικής Ενέργειας διεξάγεται σήμερα έρευνα και ανάπτυξη σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, και σε ορισμένες από αυτές εδώ και πολλές δεκαετίες. Χώρες με υψηλό κυματικό δυναμικό προσβλέπουν στην κάλυψη σημαντικού ποσοστού των ενεργειακών αναγκών τους από σταθμούς κυματικής ενέργειας. Χώρες με μέτριας στάθμης, πλην όμως εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό, θα μπορούσαν να καλύψουν τοπικές ανάγκες σε παράκτιες περιοχές, νησιά ή να εκμεταλλευθούν αυτό το είδος ενέργειας συμπληρωματικά προς συμβατικές ή άλλου είδους ΑΠΕ. Στην Ιρλανδία, την Μ. Βρετανία, την Νορβηγία και την Πορτογαλία διεξάγεται έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα αυτό από μακρό χρονικό διάστημα. Οι χώρες αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλό κυματικό δυναμικό, με μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος της τάξης

των 30 – 70 kW/m. Μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα παρατηρείται επίσης στην Δανία και την Σουηδία, χώρες με παράδοση στην εκμετάλλευση ΑΠΕ, όπου τα επίπεδα κυματικής ενέργειας είναι χαμηλότερα, παραμένουν όμως εκμεταλλεύσιμα. Η Δανία βρέχεται δυτικά από την Β. Θάλασσα, όπου παρουσιάζονται αξιοποιήσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας, κυρίως στο βόρειο τμήμα, το οποίο είναι ακάλυπτο προς τον Ατλαντικό. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Δανίας εκτιμάται στις 30 TWh ετησίως, ενώ ο ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος κυμαίνεται μεταξύ 7 kW/m και 24 kW/m.

Οι ερευνητικές δραστηριότητες στην χώρα αυτή έχουν ξεκινήσει από την δεκαετία του '80. Το 1996 θεσπίστηκε εθνικό πρόγραμμα χρηματοδότησης Έρευνας & Ανάπτυξης (E&A) στον τομέα (Danish Wave Energy Programme), με προϋπολογισμό 5.3 MECU για την περίοδο 1998-2002, ενώ έχουν ιδρυθεί διάφοροι οργανισμοί, με σκοπό τον συντονισμό και την μεθόδευση των ερευνητικών δραστηριοτήτων (Danish Wave Energy Association, Danish Energy Agency, κ.ά.).

Ιρλανδία

Η Ιρλανδία έχει σημαντικούς πόρους κυματικής ενέργειας. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της χώρας αυτής εκτιμάται σε περίπου 187.5 TWh, σε ετήσια βάση. Στην Ιρλανδία δεν έχει θεσπιστεί εθνικό πρόγραμμα χρηματοδότησης E&A

στην κυματική ενέργεια, πλην όμως ακολουθείται μία πολιτική «ενθάρρυνσης» της χρηματοδότησης προγραμμάτων στον τομέα από κρατικούς οργανισμούς στα πλαίσια εθνικών προγραμμάτων E&A. Σημαντική είναι επίσης η συμμετοχή ιρλανδικών ερευνητικών κέντρων και βιομηχανιών σε προγράμματα E&A της ΕΕ.

M. Βρετανία

Η Μ. Βρετανία έχει μεγάλο μήκος ακτογραμμής προς τον Α. Ατλαντικό, ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό εκτιμάται στις 1000 TWh ανά έτος. Τα υψηλά επίπεδα κυματικής ενέργειας οδήγησαν σε συντονισμένη E&A για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, κατά τη διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης. Ένας μεγάλος αριθμός Πανεπιστημίων, Ερευνητικών Κέντρων, και βιομηχανικών και μελετητικών εταιριών εμπλέκεται στις δραστηριότητες E&A στην χώρα αυτή, τα κυριότερα από τα οποία είναι το Παν/μιο του Εδιμβούργου, το Παν/μιο του Belfast, η εταιρία OPD κ.ά. Έχουν θεσπισθεί διάφορα κρατικά προγράμματα χρηματοδότησης των ερευνητικών δραστηριοτήτων στην κυματική ενέργεια, το πλέον πρόσφατο ύψους περίπου 5 εκατομμύρια EURO για την περίοδο 2000-2003. Επίσης έχουν ιδρυθεί διάφοροι οργανισμοί για τον συντονισμό και την προώθηση των δραστηριοτήτων E&A (Marine Energy Technology Network, Sea Power Association, κ.ά.). Από τις τεχνολογίες, οι οποίες αναπτύσσονται στην Μ. Βρετανία, η πλέον εξελιγμένη είναι η «παλλόμενη

στήλη Limpet» της νήσου Islay, η οποία λειτούργησε με επιτυχία σε μικρή κλίμακα (75 kW) από το 1991, ενώ σχεδιάζεται μεγαλύτερος σταθμός βασιζόμενος στην τεχνολογία αυτή, ισχύος 500 kW.

Νορβηγία

Η Νορβηγία έχει μεγάλο μήκος ακτών προς τον Α. Ατλαντικό, όπου, όπως προαναφέρθηκε, παρουσιάζονται ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα κυματικής ενέργειας. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό εκτιμάται στις 400 TWh, σε ετήσια βάση. Η Ε&Α στην κυματική ενέργεια ξεκίνησε στην χώρα αυτή το 1973, ενώ η κρατική επιχορήγηση προγραμμάτων κυματικής ενέργειας ξεκίνησε συστηματικά το 1978. Στην δεκαετία του 1980 αναπτύχθηκαν δύο παράκτιοι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί κυματικής ενέργειας, ο "Multi -Resonant Oscillating Water Column" και ο "Tarchan", ονομαστικής ισχύος 500 kW και 350 kW αντίστοιχα. Και οι δύο αυτοί σταθμοί υπέστησαν σοβαρές ζημιές, ο πρώτος το 1988 και ο δεύτερος το 1991, όταν και σταμάτησε η λειτουργία τους. Η Νορβηγία, σαν πετρελαιοπαραγωγός χώρα, δεν έχει να επιδείξει ιδιαίτερες δραστηριότητες στον τομέα αυτό τα τελευταία χρόνια. Υπάρχουν σχέδια για επισκευή και επαναλειτουργία του Tarchan.

Πορτογαλία

Η Πορτογαλία, η οποία επίσης έχει μεγάλο μήκος ακτών προς τον Α. Ατλαντικό, διαθέτει σημαντικούς πόρους κυματικής

ενέργειας. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της ηπειρωτικής Πορτογαλίας εκτιμάται στις 45 TWh ανά έτος, ενώ σημαντικοί επίσης είναι οι εκμεταλλεύσιμοι πόροι κυματικής ενέργειας στην περιοχή των Αζόρων νήσων. Ε&Α στην κυματική ενέργεια στην Πορτογαλία διεξάγεται από το 1986, κατά κύριο λόγο στο Πολυτεχνείο της Λισσαβόνας και το ερευνητικό κέντρο IPETI. Οι επιχορηγήσεις των προγραμμάτων προέρχονται κατά κύριο λόγο από κρατικούς πόρους και από την ΕΕ. Σημαντικό επίτευγμα της ερευνητικής δραστηριότητας στην Πορτογαλία είναι ο ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός τύπου «μετατροπέα παλλόμενης στήλης» στις νήσους Αζόρες, ονομαστικής ισχύος 400 kW, ο οποίος λειτουργεί με επιτυχία εδώ και μία δεκαετία περίπου και τροφοδοτεί την νήσο Pico.

Σουηδία

Στην Σουηδία περιοχές με αξιοποιήσιμους πόρους εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα των ακτών της προς την Β. Θάλασσα, καθώς και σε ορισμένες περιοχές της Βαλτικής. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό εκτιμάται στις 5-10 TWh σε ετήσια βάση. Η Ε&Α στον τομέα της κυματικής ενέργειας ξεκίνησε το 1976, ενώ το 1979 ιδρύθηκε η «ερευνητική ομάδα κυματικής ενέργειας», αποτελούμενη από τέσσερα Τμήματα του Πολυτεχνείου Chalmers και μία βιομηχανία. Αποτελέσματα της συνεργασίας αυτής είναι το πλωτό σύστημα IPS, καθώς και το σύστημα Hose -Pump, τα οποία αναπτύχθηκαν μέσα στην δεκαετία του 1980.

Στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, που διαθέτουν ακτογραμμή, δηλ. το Βέλγιο, την Γαλλία, την Γερμανία, την Ελλάδα, την Ισπανία, την Ιταλία, την Ολλανδία και την Φιλανδία, δεν έχουν υπάρξει μέχρι στιγμής αξιόλογες δραστηριότητες στον τομέα της κυματικής ενέργειας.

Το Βέλγιο, η Γερμανία και η Ολλανδία δεν διαθέτουν μεγάλο μήκος ακτογραμμής, ενώ οι θαλάσσιες περιοχές από τις οποίες περιβρέχονται χαρακτηρίζονται από χαμηλή στάθμη κυματικής ενέργειας και μεγάλη κυκλοφοριακή πυκνότητα. Για τους λόγους αυτούς ο θαλάσσιος κυματισμός δεν θεωρείται εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας στις χώρες αυτές. Επίσης, τόσο στην Ισπανία όσο και την Φιλανδία, δεν έχουν καταγραφεί μέχρι στιγμής κάποιες δραστηριότητες στον τομέα.

Γαλλία

Η Γαλλία έχει μεγάλο μήκος ακτογραμμής τόσο προς τον Ατλαντικό όσο και προς την Μεσόγειο Θάλασσα. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Γαλλίας εκτιμάται στις 95 TWh σε ετήσια βάση. Στην Γαλλία δεν έχει υπάρξει μέχρι στιγμής κάποιο κρατικό πρόγραμμα επιχορήγησης E&A στην κυματική ενέργεια. Σε ερευνητικές δραστηριότητες, κυρίως στα πλαίσια ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων, εμπλέκεται το Παν/μιο της Νάντης (ECN).

Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει μία μεγάλη ακτογραμμή, μήκους περίπου 16.000 χλμ. Το υψηλό αιολικό δυναμικό πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος επάγει σχετικά έντονη κυματική δραστηριότητα στην περιοχή αυτή, με μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος της τάξης των 4-11 kW/m. Εντοπίζονται επίσης θαλάσσιες περιοχές «εστιασμού» κυματικής ενέργειας (“hot spots”), λόγω φαινομένων ανάκλασης και περίθλασης των κυμάτων. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο κυματικό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται το υψηλότερο της Μεσογείου, της τάξης των 5-9 TWh σε ετήσια βάση. Το δυναμικό αυτό θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην ηλεκτροδότηση μεγάλου αριθμού νησιών στο Αιγαίο. Η Ε&Α στον τομέα της κυματικής ενέργειας διεξάγεται στην Ελλάδα κυρίως στο ΚΑΠΕ και το ΕΜΠ, κατά κύριο λόγο στα πλαίσια ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων. Σημειώνονται επίσης ερευνητικές δραστηριότητες στο Παν/μιο Πατρών, με αντικείμενο την ανάπτυξη τεχνολογιών προστασίας ακτών, και στο ΑΠΘ.

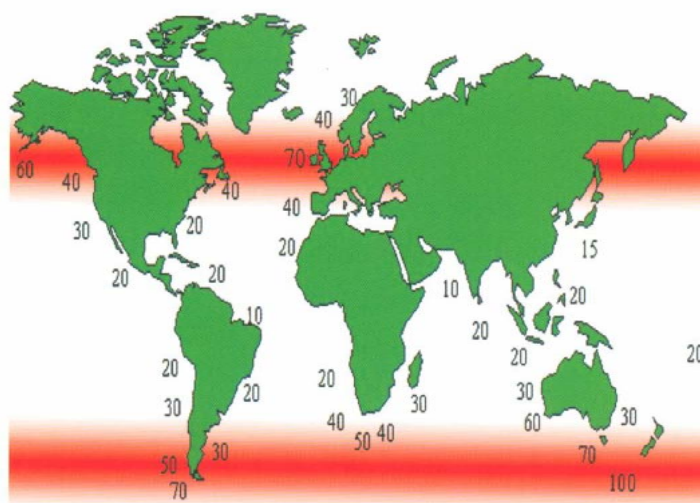
Ιταλία

Η Ιταλία έχει μεγάλο μήκος ακτογραμμής, και για το λόγο αυτό ο θαλάσσιος κυματισμός θα μπορούσε να αποτελέσει μία οικονομικά βιώσιμη πηγή ενέργειας, παρ' ότι ο ετήσιος μέσος όρος κυματικής ισχύος στις ιταλικές ακτές κυμαίνεται στα σχετικά χαμηλά επίπεδα των περίπου 5 kW/m. Ανοικτά της Σικελίας

οι τιμές είναι υψηλότερες, μέχρι 10 kW/m. E&A διεξάγεται κυρίως στο Πολυτεχνείο της Ρώμης και από διάφορες μελετητικές εταιρίες.

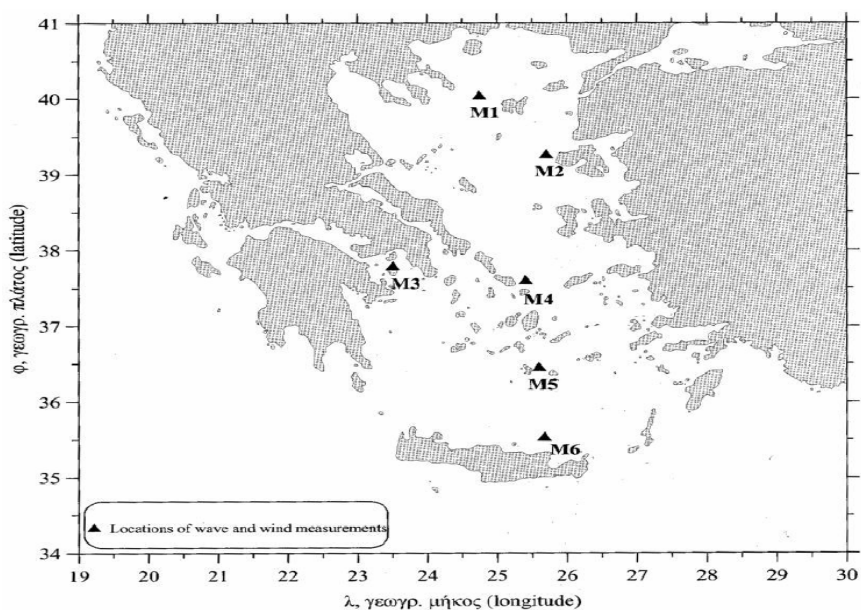
3.5 Διεθνείς δραστηριότητες

Σε παγκόσμιο επίπεδο το κυματικό δυναμικό σε πολλές περιοχές είναι πολύ σημαντικό. Παρατηρείται ότι το ψηλότερο δυναμικό καταγράφεται στην εύκρατη ζώνη. Όσον αφορά την Δυτική Ευρώπη το κυματικό δυναμικό σε πολλές περιοχές είναι υψηλό και μπορεί να φθάνει τα 70kW/m στις δυτικές ακτές της Ιρλανδίας.



Σχημα 3.3 Χάρτης διεθνούς κυματικού δυναμικού

3.6 Δραστηριότητες στην Ελλάδα



Σχήμα 3.4 Χάρτης Ελληνικού κυματικού δυναμικού

Στη Μεσόγειο το δυναμικό είναι αισθητά μικρότερο. Για τις Ελληνικές θάλασσες μια πρώτη εκτίμηση μπορεί να γίνει από τα δεκαετή κυματικά δεδομένα που δημοσιεύονται στον 'Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών

3.7 Παραδείγματα εγκαταστάσεων για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων

Σε διεθνή κλίμακα δεν έχουμε πολλές εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης αυτής της μορφής ενέργειας. Αυτό οφείλεται μάλλον στο ότι οι θαλάσσιες και οι παράκτιες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για την άντληση της ενέργειας των κυμάτων είναι δαπανηρές εγκαταστάσεις, έχουν μακρόχρονη απόσβεση λόγω της μικρής χρονικής εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων αφού η κατασκευή μένει ανενεργή για μεγάλο χρονικό διάστημα και έχουν πολύ ακριβή συντήρηση. Οι εγκαταστάσεις αυτές συνήθως εκμεταλλεύονται μόνο τη δυναμική ή μόνο την κινητική συνιστώσα της διαθέσιμης ενέργειας των κυμάτων.

Ως παράδειγμα αναφέρεται το πρόσφατα εγκατεστημένο στον Ατλαντικό ωκεανό κοντά στις ακτές τις Πορτογαλίας πρόγραμμα PELAMIS. Έχει 30 ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες των 750 kW εκμετάλλευσης της δυναμικής ενέργειας των κυμάτων από τη Σκοτσέζικη εταιρία Ocean Power Delivery LTD με συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ 2,25 MW και συνολικό κόστος 8 εκατομμύρια Ευρώ, δηλαδή 3,55 Ευρώ/ονομαστικό W. Η κάθε μονάδα αποτελείται από δύο πλωτά μέρη που η κίνηση τους λόγω των κυμάτων μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια αυτή κινεί με ένα ελαιοδυναμικό σύστημα την ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι παράκτιες εγκαταστάσεις επίσης είναι δαπανηρές εγκαταστάσεις. Ως παράδειγμα θα μπορώ να αναφέρω το πρό-

γραμμα LIMPET Land-Installed Marine-Powered Energy Transformer μία εγκατάσταση των 500 kW εγκατεστημένη στο νησί Islay της Σκωτίας από την εταιρία Wanegen. Στην εγκατάσταση αυτή η κατακόρυφη παλινδρομική κίνηση των κυμάτων χρησιμοποιείται ως έμβολο που πιέζει τον αέρα ενός θαλάμου με τη ροή του να περιστρέφει ένα στρόβιλο. Η πίεση του αέρα που περιστρέφει το στρόβιλο και αντίστοιχα την ηλεκτρική γεννήτρια είναι πολύ μικρή δεν ξεπερνά τα 0,2 bar. Ο στρόβιλος της γεννήτριας κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα έχει διάμετρο της πτερωτής του 2,5 m. Επειδή το σύστημα δεν μπορεί να ξεκινήσει από μόνο του λόγω της μεγάλης αδράνειας που έχει, υπάρχει ένας βοηθητικός κινητήρας που συντηρεί την περιστροφική κίνηση του στροβίλου. Τα συμπεράσματα για το υψηλό κόστος και το μικρό ενεργειακό όφελος γίνονται κατανοητά.

Στην Ελλάδα επίσης έχουν γίνει προσπάθειες με πιλοτικές μονάδες όπως αυτή των μηχανικών κ. Βασιλείου Β. και Αργυρίου Α. που δυστυχώς και αυτή η κατασκευή έχει όλα τα μειονεκτήματα των προσπαθειών στο εξωτερικό.

Το μεγάλο κόστος των εγκαταστάσεων αυτών και η μικρή αποτελεσματικότητά τους οφείλεται στους παρακάτω βασικούς παράγοντες:

- Το πολύ διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι εγκαταστάσεις αυτές, απαιτεί τα υλικά κατασκευής τους να είναι ανοξείδωτα ή να προστατεύονται απο-

τελεσματικά με βαφή αυξάνοντας το κόστος της εγκατάστασης .

- Το μεγάλο χρονικό διάστημα που σημαντικές επενδύσεις όπως συνήθως είναι αυτές οι εγκαταστάσεις μένουν ανενεργές λόγω καλοκαιρίας και ήρεμης θάλασσας και έτσι επιμηκύνουν το χρόνο απόσβεσης τους.
- Το μικρό ποσοστό ενέργειας που εκμεταλλεύονται οι εγκαταστάσεις αυτές αφού οι περισσότερες κατασκευάζονται για να αντλήσουν τη μία από τις δύο συνιστώσες της συνολικής ενέργειας των κυμάτων, τη δυναμική ή την κινητική της συνιστώσα.
- Το μεγάλο κόστος συντήρησης ειδικά των θαλάσσιων εγκαταστάσεων λόγω της πρόσβασης και των συνθηκών εργασίας του προσωπικού.
- Τη μικρή δυνατότητα που έχουν να συνδυασθούν με άλλες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

3.8 Κατασκευή πειραματικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής από θαλάσσιο κυματισμό στην Ελλάδα

Ο πειραματικός σταθμός κατασκευάστηκε στην Ψυτάλλεια, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ΠΑΒΕΤ 00ΒΕ142 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 48kW.

Ο τύπος ηλεκτρογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε στον πειραματικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ήταν γεννήτρια συνε-

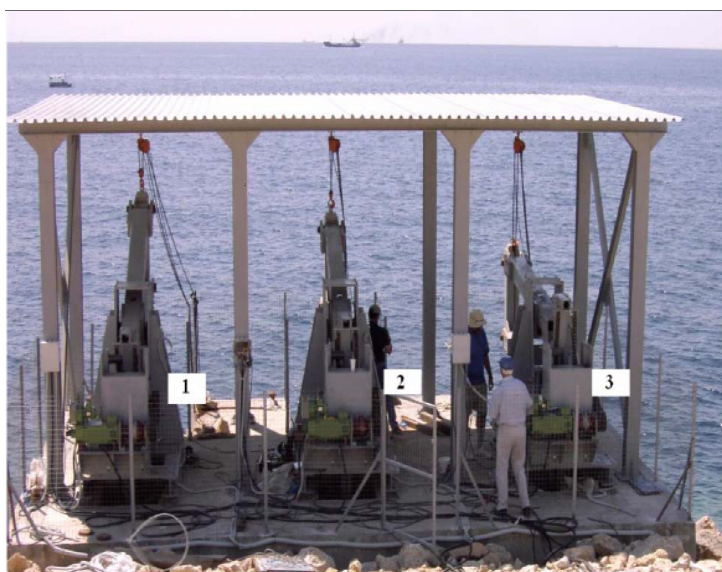
χούς ρεύματος ξένης διέγερσης. Βασικά κριτήρια της επιλογής του συγκεκριμένου είδους μηχανής, ήταν η απλή κατασκευή καθώς και η αξιοπιστία αλλά και η ευελιξία στον έλεγχο του όλου συστήματος. Η συγκεκριμένη επιλογή απαιτεί απλούστερες διατάξεις για τον έλεγχο της ροπής και της ταχύτητας, σε σχέση με άλλα είδη περιστρεφόμενων μηχανών όπως για παράδειγμα ασύγχρονες ή σύγχρονες γεννήτριες.



Σχήμα 3.5 Χωροταξική διεύθυνση του πειραματικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσιο κυματισμό στην Ψυτάλλεια. Πανοραμική άποψη της προβλήτας και του οικίσκου ελέγχου

Ο σταθμός αποτελείται από τρεις επιμέρους μηχανικές διατάξεις, καθεμία από τις οποίες παρέχει κινητήρια ροπή στην αντίστοιχη ηλεκτρική γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Στο προηγούμενο σχήμα απεικονίζεται μια γενική άποψη του πειραματικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής από θαλάσσιο κυματισμό,

όπου διακρίνονται η προβλήτα, ο οικίσκος ελέγχου, καθώς και η διάταξη των τριών επιμέρους ηλεκτρομηχανικών μονάδων απορρόφησης και μετατροπής της ενέργειας του θαλάσσιου κυματισμού σε ηλεκτρική. Η διαμόρφωση του μηχανισμού μετατροπής της κατακόρυφης κίνησης του κυλινδρικού πλωτήρα, που αποτέλεσε το μέσο απορρόφησης της ενέργειας του θαλάσσιου κυματισμού σε περιστροφική, βασίστηκε σε κατοχυρωμένη ευρεσιτεχνία. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μέσω κιβωτίου ταχυτήτων, για τον μετασχηματισμό του αριθμού των στροφών που εφαρμόζονται από το μηχανικό σύστημα στον άξονα της ηλεκτρογεννήτριας.



Σχήμα 3.6 Χωροταξική διευθέτηση του πειραματικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσιο κυματισμό στην Ψυτάλλεια. Χωροθέτηση των τριών όμοιων ηλεκτρομηχανικών διατάξεων ηλεκτροπαραγωγής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

4.1 Περιγραφή του κύματος

Τα υδάτινα χωρίζονται βασικά σε δύο κατηγορίες:

- α) μεγάλου βάθους, δηλαδή όπου το βάθος του πυθμένα είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με το μήκος του κύματος λ και
- β) μικρού βάθους όπου το βάθος του πυθμένα είναι αρκετά μικρό σε σχέση με το μήκος του κύματος λ .

Όταν γίνεται λόγος για θαλάσσια κύματα συνήθως εννοούμε κύματα μεγάλου βάθους.

Για στάσιμα κύματα μεγάλου βάθους, αποδεικνύεται [11] ότι η μετατόπιση μίας στοιχειώδους μάζας νερού δίνεται από την εξίσωση:

$$s_z(x, z, t) \cong \alpha \cdot \cos(\omega t) \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cdot e^{2\pi \cdot z/\lambda} \quad (4.1\alpha)$$

$$s_x(x, z, t) \cong \alpha \cdot \cos(\omega t) \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cdot e^{2\pi \cdot z/\lambda} \quad (4.1\beta)$$

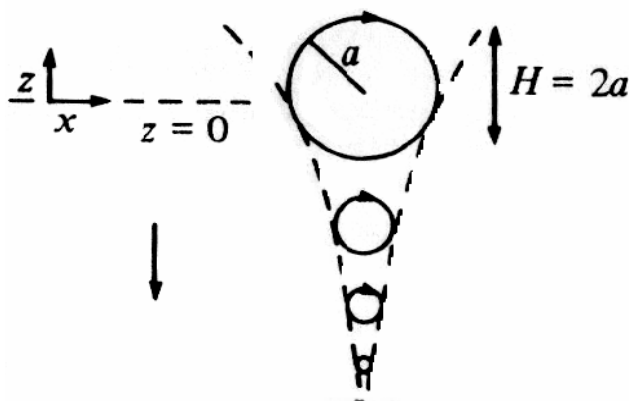
όπου s_z είναι η κατακόρυφη μετατόπιση (δηλαδή κατά τον άξονα z) και s_x η οριζόντια μετατόπιση (δηλαδή κατά τον άξονα x).

Αντίστοιχα η μετατόπιση μίας στοιχειώδους μάζας σε οδεύον κύμα δίνεται από τις εξισώσεις:

$$s_z(x, z, t) \cong \alpha \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cdot e^{2\pi \cdot z/\lambda} \quad (4.2\alpha)$$

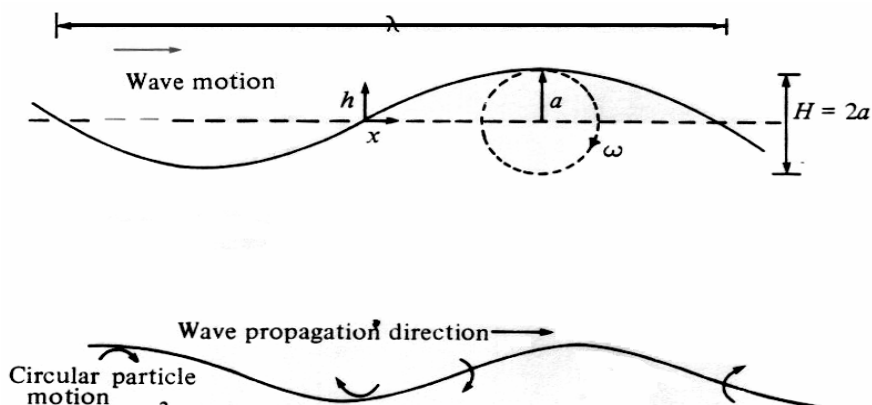
$$s_x(x, z, t) \cong \alpha \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cdot e^{2\pi \cdot z/\lambda} \quad (4.2\beta)$$

Σε αυτήν την περίπτωση κάθε στοιχειώδης μάζα νερού κάνει κυκλική κίνηση η ακτίνα της οποίας μειώνεται εκθετικά με το βάθος όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.1 Κυκλική κίνηση στοιχειώδους μάζας νερού σε οδεύον κύμα με ακτίνα κίνησης που ελαττώνεται σχεδόν εκθετικά αυξανόμενου του βάθους.

Για την επιφάνεια του νερού, δηλαδή για $z=0$, η κίνηση φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.2 Κίνηση των στοιχειωδών μαζών του νερού στα διάφορα σημεία του κύματος στην επιφάνεια του νερού.

Από αυτό το σχήμα προκύπτει ότι η ταχύτητα είναι μέγιστη προς τα εμπρός στις κορυφές του κύματος, μέγιστη προς τα πίσω στις κοιλάδες, ενώ στο επίπεδο της επιφάνειας $h=0$ είναι μέγιστη προς τα πάνω αμέσως μετά από κορυφή και προς τα κάτω πριν από αυτή.

Υποθέτοντας ότι η μόνη δύναμη επαναφοράς είναι το βάρος προκύπτει ότι η συχνότητα της κυκλικής κίνησης ω δίνεται από την επόμενη εξίσωση [11]:

$$\omega^2 = g \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4.3)$$

Αυτή η εξίσωση η οποία δείχνει πως εξαρτάται η συχνότητα από το μήκος κύματος ονομάζεται εξίσωση διασποράς.

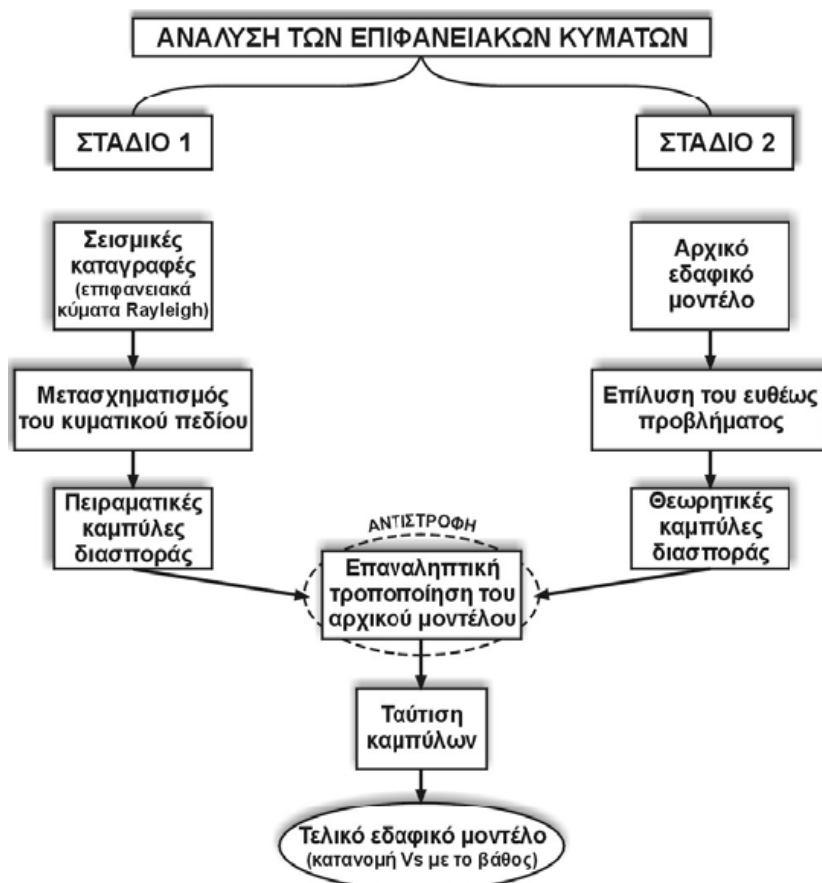
4.2 Ιδιότητες κυμάτων

- Τα κύματα επιφανείας αποτελούνται από τη σύζευξη ημιτονικών κυμάτων με διαφορετικά μήκη κύματος, φάση, και διεύθυνση.
- Η κίνηση κάθε σωματίου νερού είναι κυκλική. Η επιφάνεια του κύματος διαδίδεται προς μία κατεύθυνση, όχι όμως και τα σωματίδια του νερού.
- Το νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια παραμένει στην επιφάνεια
- Το πλάτος των κυκλικών κινήσεων των σωματίων νερού μειώνεται εκθετικά με το βάθος. Σε βάθος $\lambda/2\pi$ το πλάτος μειώνεται στο $1/e$ της τιμής του πλάτους στην επιφάνεια. Σε βάθη μεγαλύτερα του $\lambda/2$ η κίνηση είναι αμελητέα (μικρότερη από 5% σε σχέση με την επιφάνεια)
- Το πλάτος του κύματος στην επιφάνεια είναι πρακτικά ανεξάρτητο του μήκους κύματος, και εξαρτάται μόνο από την προϊστορία των ανέμων στην επιφάνεια. Το πλάτος σπανίως ξεπερνά το $1/10$ του μήκους κύματος.
- Όταν ένα κύμα «σπάει» και εμφανίζεται αφρός, τότε καταναλώνεται ενέργεια μειώνοντας τη διαθέσιμη ενέργεια των κυμάτων. Εκμετάλλευση ενέργειας κυμάτων (τύποι συστημάτων)
- Η ενέργεια των κυμάτων ανοιχτής θάλασσας διατίθεται με τη μορφή εναλλασσόμενων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων του νερού.

- Από τα κύματα κοντά στην ακτή εκμεταλλευόμαστε την προωστική δύναμη του μετώπου του κύματος για την κίνηση στροβιλοκινητήρων νερού ή αέρα.
- Κύματα που σπάζουν στην ακτή χρησιμοποιούνται για την πλήρωση φραγμάτων για να παραχθεί στη συνέχεια υδροηλεκτρική ενέργεια.

4.3 Μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων

Η ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων περιλαμβάνει τη λήψη καταγραφών πλούσιων σε επιφανειακά κύματα Rayleigh και την αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς τους, για τον καθορισμό της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων κατανεμημένης με το βάθος. Μια από τις κυριότερες διαδικασίες για την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς από τις καταγραφές. Η αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη φάση της επεξεργασίας. Από τη διαδικασία της αντιστροφής προσδιορίζονται οι παράμετροι του εδαφικού μοντέλου. Η μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh είναι δυνατό να χωριστεί σε δύο διακριτά στάδια όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.3 Διάγραμμα ροής που περιγράφει τη μεθοδολογία της ανάλυσης των κυμάτων Rayleigh.

Κατά το πρώτο στάδιο, από τις σεισμικές καταγραφές κοινής πηγής, οι οποίες θα πρέπει να περιλαμβάνουν σημαντική σεισμική ενέργεια κατανεμημένη στα επιφανειακά κύματα, προκύπτουν οι πειραματικές καμπύλες διασποράς. Ενώ στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι θεωρητικές καμπύλες διασποράς για οριζόντια στρωματωμένο εδαφικό μοντέλο, χρησιμοποιώ-

ντας την τεχνική Thomson-Haskell (Haskell, 1953, Schwab and Kporoff, 1972). Τροποποιώντας επαναληπτικά το εδαφικό μοντέλο επιτυγχάνεται η προσαρμογή της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική (διαδικασία που ονομάζεται αντιστροφή). Έτσι, εφόσον πραγματοποιηθεί ταύτιση των καμπύλων, προσδιορίζεται το τελικό εδαφικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων με το βάθος).

4.4 Είδη τεχνολογιών

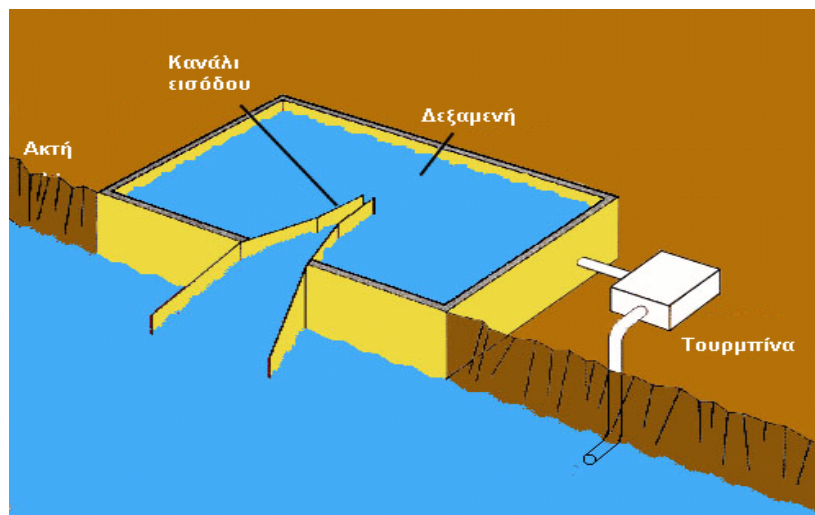
Υπάρχουν οι εξής τεχνολογίες σταθμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα κύματα:

- α) Τεχνολογίες ακτογραμμής
- β) Παράκτιες τεχνολογίες
- γ) Υπεράκτιες τεχνολογίες

Αυτές αναλύονται λεπτομερώς στην συνέχεια.

4.4.1 Τεχνολογίες ακτογραμμής

Το σύστημα TAPCHAN (tapered channel) το οποίο μέσω ενός καναλιού οδηγεί το νερό των κυμάτων σε μία δεξαμενή. Η λειτουργία μπορεί να γίνει κατανοητή με την βοήθεια του επόμενου σχήματος.

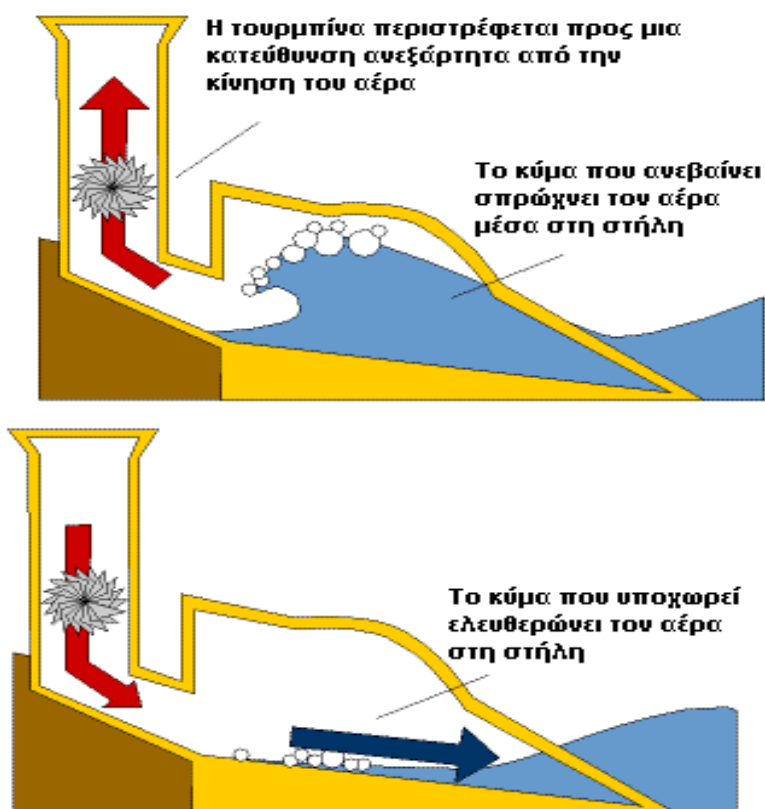


Σχήμα 4.4 Αναπαράσταση τεχνολογίας ακτογραμμής.

Το στένωμα του καναλιού αυξάνει το ύψος των κυμάτων περνώντας το νερό πάνω από τους τοίχους της δεξαμενής γεμίζοντας την. Η κινητική ενέργεια του κινούμενου κύματος καθώς αποθηκεύεται στη δεξαμενή μπορεί να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας. Επιπλέον το αποθηκευμένο νερό μπορεί να τροφοδοτήσει μια τουρμπίνα Kaplan όπως και σε ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο. Αυτό το σύστημα έχει μικρό κόστος λειτουργίας και μεγάλη αξιοπιστία. Δυστυχώς όμως δεν είναι κατάλληλο για όλες τις ακτές. Χρειάζεται περιοχές όπου υπάρχει συνεχής κυματισμός, παλίρροια μικρότερη του ενός μέτρου, αρκετό βάθος κοντά στις ακτές και κατάλληλη τοποθεσία για την δεξαμενή.

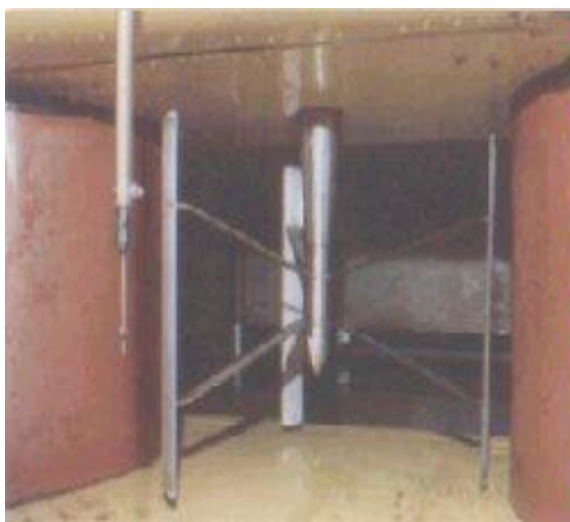
4.4.2 Παράκτιες τεχνολογίες

Μια άλλη μέθοδος χρησιμοποιείται για να παράγει ηλεκτρισμό σε δύο στάδια. Είναι σταθερή κατασκευή που αποτελείται από μια στήλη που περιέχει μια τουρμπίνη. Καθώς το κύμα μπαίνει στη στήλη σπρώχνει τον αέρα της στήλης να περάσει και να κινήσει μια τουρμπίνη, αυξάνοντας παράλληλα την πίεση του αέρα μέσα στην στήλη. Όταν το κύμα υποχωρεί ο πιεσμένος αέρας γυρίζει πίσω συνεχίζοντας να δίνει κίνηση στην τουρμπίνη.

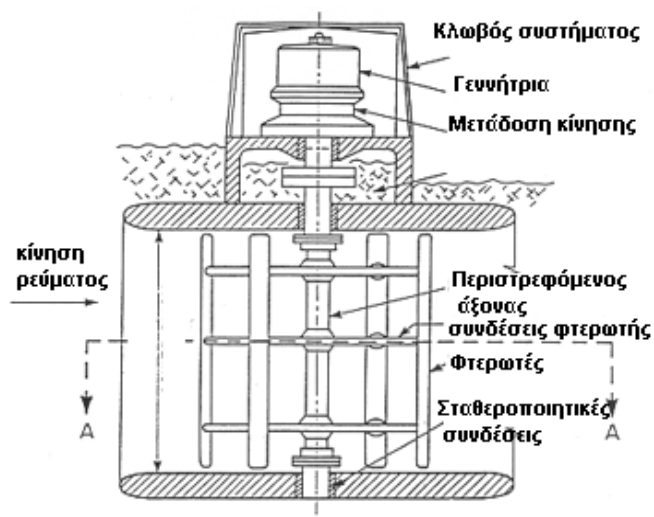


Σχήμα 4.5 Αναπαράσταση παράκτιας τεχνολογίας.

Οι υποθαλάσσιες τουρμπίνες εκμεταλλεύονται τα ωκεάνια ρεύματα και χρησιμοποιούν την ενέργειά τους για να κινήσουν αργόστροφες τουρμπίνες. Αυτές με τη σειρά τους θέτουν σε λειτουργία μια γεννήτρια όπως και οι νερόμυλοι.



Σχήμα 4.6 Φωτογραφία τουρμπίνας παράκτιας τεχνολογίας.



Σχήμα 4.7 Τα μέρη μιας τουρμπίνας παράκτιας τεχνολογίας.

4.4.3 Υπεράκτιες τεχνολογίες

Όταν στην ακτογραμμή δεν υπάρχουν κύματα ικανά να κινήσουν της τουρμπίνες των μηχανισμών της ακτογραμμής η της παράκτιας τεχνολογίας για να παράγουν ενέργεια, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες που μπορούν να παράγουν ενέργεια σε κάποια απόσταση από την ακτή. Αυτή η τεχνολογία λέγεται υπεράκτια.

4.5 Τύποι μηχανών

Στην υπεράκτια τεχνολογία υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τρόποι για την παραγωγή ενέργειας. Οι τεχνολογίες αυτές είναι:

- α) Πλωτά αρθρωτά συστήματα
- β) Σημειακοί απορροφητές ενέργειας (point absorbers)
- γ) Παλινδρομούσα στήλη νερού (Oscillating Water Column)
- δ) Συσκευές υπερπήδησης του νερού (Overtopping device)
- ε) Βυθισμένες συσκευές διαφοράς πίεσης (Submerged pressure differential)

4.5.1 Πλωτά αρθρωτά συστήματα

A) Πλωτά αρθρωτά συστήματα τα οποία στις αρθρώσεις φέρουν αντλίες.

Με τις κινήσεις του κυματισμού οι αντλίες συμπιέζουν υδραυλικό υγρό και δίνουν κίνηση σε υδραυλικούς κινητήρες. Το σύστημα Pelamis, της βρετανικής εταιρείας Pelamis Wave Power, ονομαστικής ισχύος 750 kW, έχει ήδη δοκιμασθεί με επιτυχία σε διασυνδεδεμένη λειτουργία, και ετοιμάζεται η εγκατάσταση κυματικών πάρκων με πολλές μηχανές Pelamis στις πορτογαλικές, σκοτσέζικες και βρετανικές ακτές.



Σχήμα 4.8 Φωτογραφία του συστήματος Pelamis, της βρετανικής εταιρείας Pelamis Wave Power.

Οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν ήδη αποδείξει την αξιοπιστία τους στην ανοικτή θάλασσα. Το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος παραμένει συγκριτικά υψηλό (0,08 - 0,10 Euro/kWh), διπλάσιο από τη μέση τιμή του ηλεκτρισμού σήμερα στην ΕΕ, ωστόσο η περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη αναμένεται να οδηγή-

σει στη μείωσή του. Pelamis, που πήραν την ονομασία τους από το λατινικό «θαλάσσιο φίδι». Οι μηχανές αυτές είναι μια σειρά κόκκινων μεταλλικών σωλήνων που επιπλέουν, καθεμία στο μέγεθος ενός μικρού τραίνου, συνδεδεμένων μεταξύ τους και με κατεύθυνση ίδια με αυτή των κυμάτων. Τα κύματα ταξιδεύουν μέσα από τους σωλήνες, προκαλώντας τους ταλάντωση, και ένα υδραυλικό σύστημα εκμεταλλεύεται αυτήν την κίνηση για να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια 750 KW.

Στην Πορτογαλία τα τρία «θαλάσσια φίδια» εγκαθίστανται σε απόσταση 5 χιλιομέτρων από την ακτή της βόρειας Πορτογαλίας, στην περιοχή Agucadoura, από όπου η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν θα αντλείται στο εθνικό πλέγμα. Κάθε μηχανή Pelamis έχει μήκος 170 μέτρα, πλάτος 3,5 και ζυγίζει 750 τόνους. Όταν θα βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία οι μηχανές θα παράγουν ενέργεια που θα μπορεί να τροφοδοτεί 1.500 νοικοκυριά, ενώ στο απώτερο μέλλον σχεδιάζεται η εγκατάσταση ακόμη 25 μηχανών Pelamis. Ενδιαφέρον για τη νέα τεχνολογία και για τη δημιουργία κυματικών πάρκων έχουν εκδηλώσει η Νορβηγία, η Ισπανία, η Γαλλία, η Νότια Αφρική και οι ΗΠΑ.

Το πρώτο σύστημα παραγωγής ενέργειας από τα κύματα για εμπορική εφαρμογή άρχισε να λειτουργεί στο νησάκι Ισλεϊ της Σκωτίας το 2000. Ο συλλέκτης ενέργειας του συστήματος αποτελείται από ένα πλάγιο θάλαμο από μπετόν που βρίσκεται πάνω στους βράχους και έχει πρόσβαση που επιτρέπει την ελεύθερη είσοδο και έξοδο του νερού των κυμάτων από τον κε-

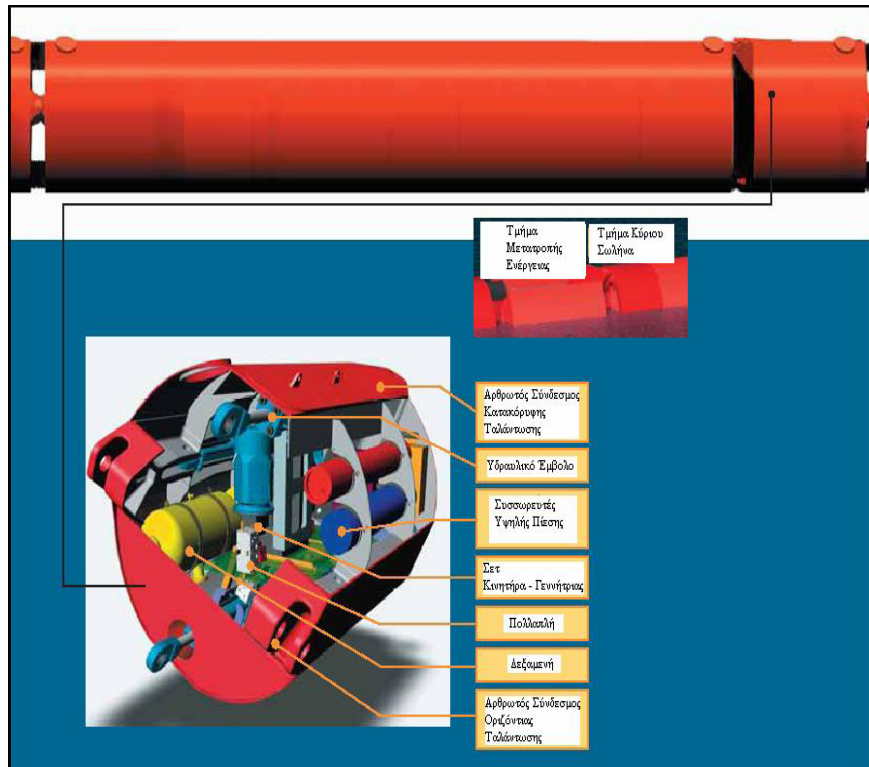
ντρικό θάλαμο. Όταν τα κύματα εισέρχονται στον θάλαμο, το επίπεδο του νερού ανεβαίνει και συμπιέζει τον αέρα στην κορυφή του θαλάμου ο οποίος κινεί μία τουρμπίνη.



Σχήμα 4.9 φωτογραφία Pelamis.



Σχήμα 4.10 Διάταξη μηχανών Pelamis μέσα στη θάλασσα.



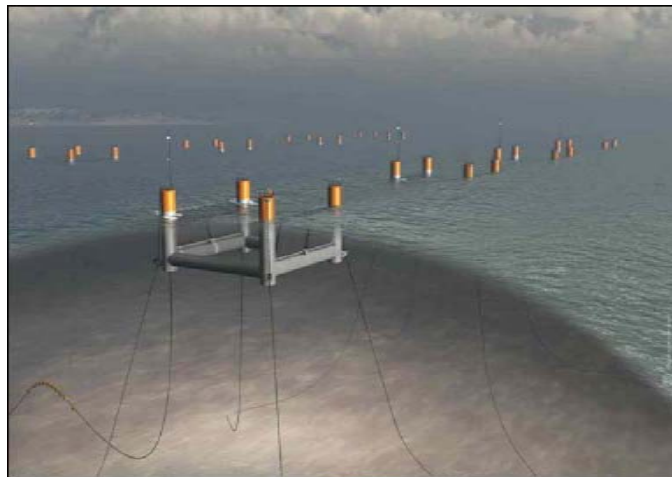
Σχήμα 4.11 Το εσωτερικό της μηχανής Pelamis.

Β) Πλωτά αρθρωτά συστήματα τα οποία λειτουργούν από κίνηση των στοιχείων του νερού κατά την οριζόντια κατεύθυνση, κατά τον θαλάσσιο κυματισμό.

Ένας βραχίονας παλινδρομεί σαν εκκρεμές στηριγμένος σε περιστρεφόμενη άτρακτο. Η διεύθυνση της ατράκτου είναι κάθετη στην κίνηση τόσο του νερού όσο και του βραχίονα. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι το Oyster, το Waveroller το Langlee System και το NeptuneTriton.



Σχήμα 4.12 Φωτογραφία μιας μονάδας Oyster.



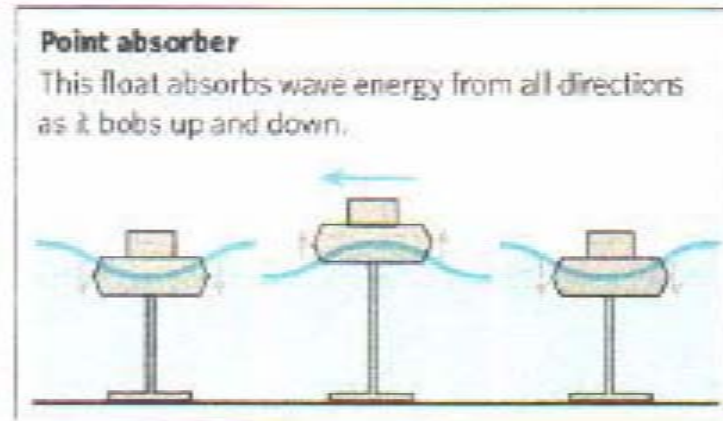
Σχήμα 4.13 Φωτογραφία μιας μονάδας Langlee System.



Σχήμα 4.14 Φωτογραφία μιας μονάδας Waveroller.

4.5.2 Σημειακοί απορροφητήρες

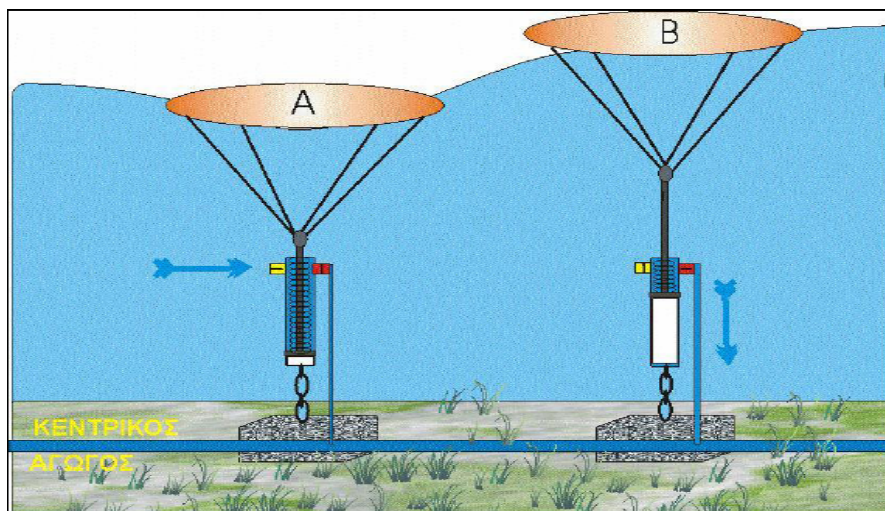
Σημειακοί απορροφητές ενέργειας (point absorbers) . Είναι πλωτές συνήθως κατασκευές, που απορροφούν την ενέργεια από όλες τις κατευθύνσεις μέσω της κίνησής τους στην επιφάνεια του νερού ή κοντά σε αυτήν. Το σύστημα ανάκτησης της ενέργειας (Power take -off) μπορεί να παίρνει διάφορες μορφές ανάλογα με τη διαμόρφωση της αντίδρασης στην κίνηση του πλωτήρα. Παραδείγματα αυτής της προσέγγισης είναι το Wave Star, το OPT, το Wave bob, το Fred Olsen & Co, το Manchester bobber.



Σχήμα 4.15 Σχηματική αναπαράσταση σημειακού αποροφητήρα.



Σχήμα 4.16 Φωτογραφία σημειακού αποροφητήρα.



Σχήμα 4.17 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός σημειακού απορροφητήρα.



Σχήμα 4.18 Βραχίονες της WAVE STAR που πάλλονται ανάλογα με τον κυματισμό για την παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.19 Φωτογραφία της μηχανής OPT όταν είναι έξω από τη θάλασσα.

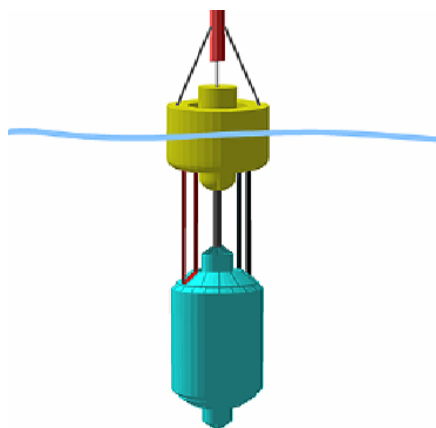


Σχήμα 4.20 Φωτογραφία τη μηχανής OPT κατά την λειτουργία της στην θάλασσα.



WAVEBOB

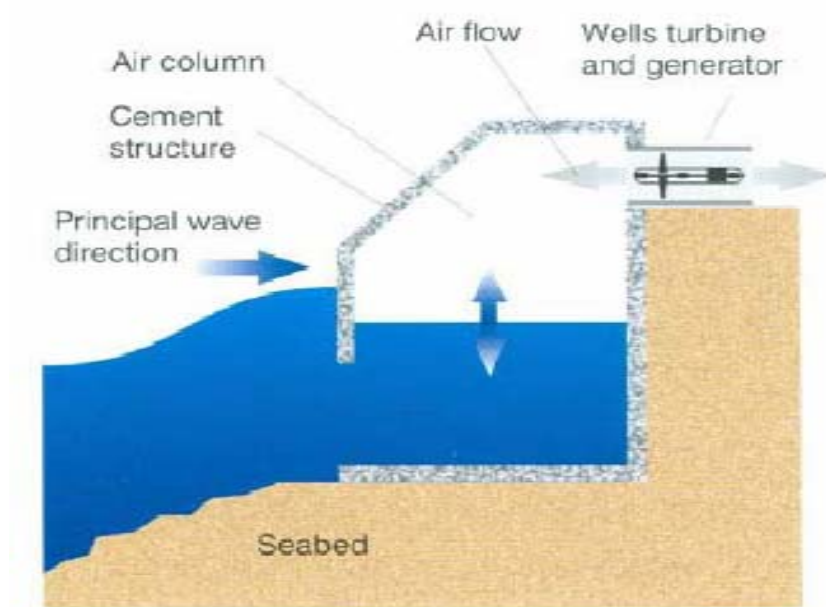
Σχήμα 4.21 Φωτογραφία της μηχανής WAVE BOB κατά την λειτουργία της στη θάλασσα.



Σχήμα 4.22 Σχηματική αναπαράσταση ολόκληρης της μηχανής WAVE BOB.

4.5.3 Παλινδρομούσα στήλη νερού

Παλινδρομούσα στήλη νερού (Oscillating Water Column). Είναι συσκευές που διαθέτουν μια ημιβυθισμένη κενή εσωτερικά κατασκευή σε μορφή θαλάμου. Ο θάλαμος είναι ανοικτός προς την μεριά της θάλασσας με το άνω τμήμα του ανοίγματος κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Στο εσωτερικό του, πάνω από την επιφάνεια του νερού, έχει μια στήλη αέρα. Τα κύματα κινούν παλινδρομικά τη στήλη του νερού στο εσωτερικό του θαλάμου η οποία με τη σειρά της συμπιέζει και εκτονώνει την υπερκείμενη στήλη αέρα. Όταν η στήλη νερού ανέρχεται ο εγκλωβισμένος αέρας οδηγείται προς και από την ατμόσφαιρα μέσω ενός αεροστροβίλου. Όταν η στήλη κατέρχεται, αναρροφάται αέρας από την ατμόσφαιρα μέσω του ίδιου αεροστροβίλου, που στρέφεται γενικά προς την ίδια κατεύθυνση ανεξάρτητα από την φορά κίνησης του αέρα. Η ροπή από την περιστροφική κίνηση του αεροστροβίλου χρησιμοποιείται για την κίνηση μια γεννήτριας και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συσκευές αυτές αρχικά σχεδιάστηκαν για εγκατάσταση επί της ακτής σε κυματοθραύστες ή άλλες κατασκευές. Στη συνέχεια δοκιμάστηκαν συσκευές αυτής της τεχνολογίας που επέτρεαν για εγκατάσταση στην ανοικτή θάλασσα με κατάλληλη αγκύρωση. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι το Wavegen, το Oceanlinx, το Ocean Energy Buoy.



Σχήμα 4.23 Σχηματική αναπαράσταση της παλινδρομούσες στήλης νερού κατά την εφαρμογή της επί της ακτής.



Σχήμα 4.24 Φωτογραφία της Oceanlinx πριν μπει στην θάλασσα.



Σχήμα 4.25 Φωτογραφία της μηχανής Ocean Energy Buoy.



Σχήμα 4.26 Φωτογραφίες της στήλης αέρα της μηχανής Wavegen.



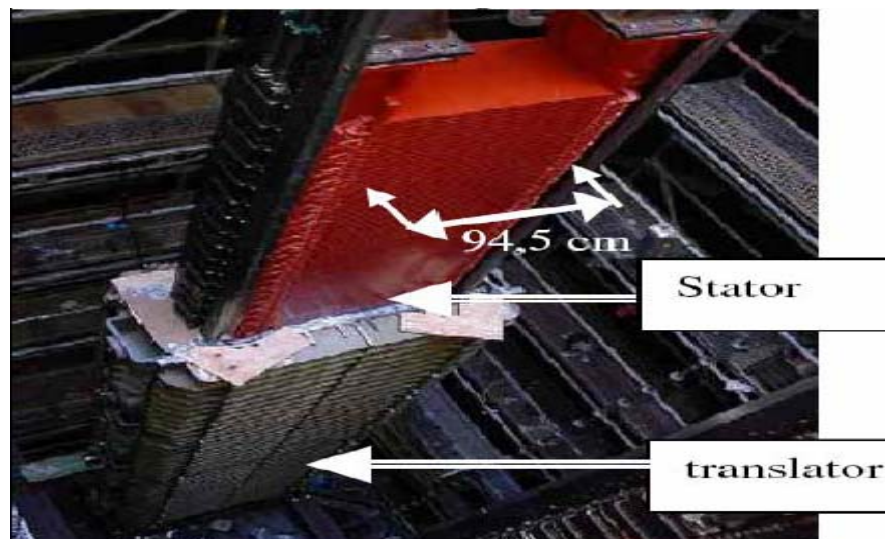
Σχήμα 4.27 Εσωτερικός χώρος μιας εγκατάστασης Wavegen.

4.5.4 Βυθισμένες συσκευές διαφοράς πίεσης

Βυθισμένες συσκευές διαφοράς πίεσης (Submerged pressure differential). Οι συσκευές αυτές τυπικά βρίσκονται κοντά στην ακτή και στηρίζονται στο βυθό. Η κίνηση του κύματος στην επιφάνεια διαφοροποιεί την υποκείμενη πίεση η οποία μεταφέρεται κατάλληλα στο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας. Παράδειγμα τέτοιων συσκευών είναι το AWS .



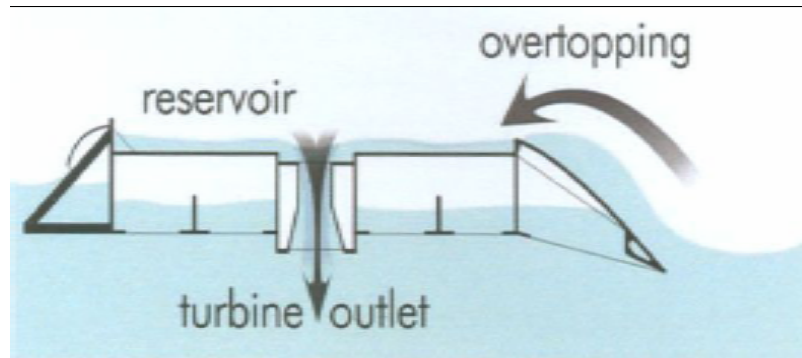
Σχήμα 4.28 Φωτογραφία της μηχανής AWS.



Σχήμα 4.29 Φωτογραφία από το εσωτερικό της μηχανής AWS.

4.5.5 Συσσκευές υπερπήδησης του νερού

Συσσκευές υπερπήδησης του νερού (Overtopping device). Είναι συσκευές που βασίζονται στη φυσική συλλογή του νερού, που συλλαμβάνεται σε μια ανοικτή δεξαμενή, το χείλος της οποίας βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και γεμίζει με τον θαλάσσιο κυματισμό. Το νερό επιστρέφει στη θάλασσα μέσω ενός συμβατικού υδροστροβίλου, μικρού ύψους πτώσης, ο οποίος μέσω γεννήτριας, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια παράγεται με χρήση της δυναμικής ενέργειας του νερού, που βρίσκεται στην ανοικτή δεξαμενή ψηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι το Wave Dragon , το Waveplane , το Seawaveslot



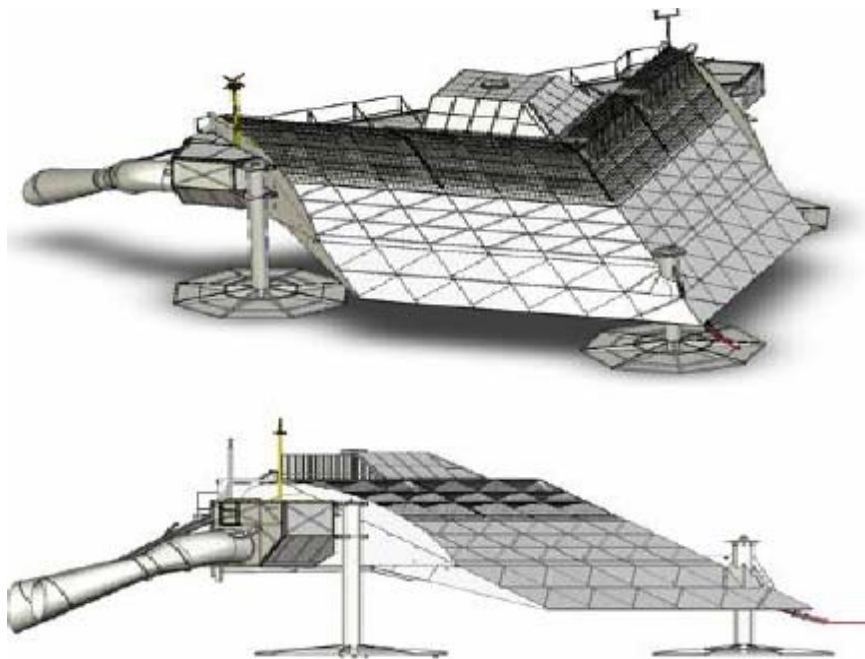
Σχήμα 4.30 Σχηματική αναπαράσταση μιας τυπικής μονάδος υπερπήδησης του νερού.



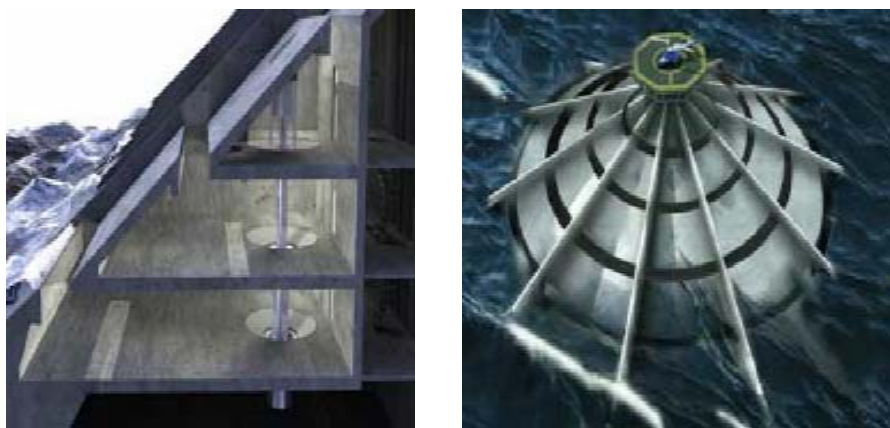
Σχήμα 4.31 Φωτογραφία μιας μηχανής υπερπήδησης.



Σχήμα 4.32 Φωτογραφία της παραπάνω μηχανής την περίοδο της συντήρησης της.



Σχήμα 4.33 Σκίτσογραφημα μιας μηχανής Waveplane.



Σχήμα 4.34 Φωτογραφίες μιας μηχανής Seawaveslot.

4.6 Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα

Αιτίες που δημιουργούν θαλάσσια ρεύματα είναι:

- α) παλίρροιες (εμφανίζουν τη μέγιστη ταχύτητά τους συνήθως στις παράκτιες περιοχές, εκεί που μπορούν να γίνουν τεχνικά έργα απόληψης της ενέργειας)
- β) άνεμος (αργά ρεύματα, όχι τόσο πρόσφορα για παραγωγή ενέργειας όσο τα παλιρροϊκά ρεύματα)
- γ) θερμοκρασιακές διαφορές και διαφορές στην αλατότητα (αργά ρεύματα στα βαθιά). Φυσική της θαλάσσιας παλιρροϊκής ενέργειας:

Η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από θαλάσσια παλιρροϊκά ρεύματα εκμεταλλεύεται την άνοδο και την πτώση της στάθμης των Ωκεανών που οφείλεται στην αλληλεπίδραση των

πεδίων βαρύτητας στα πλανητικά συστήματα του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης. Ημερήσια, δηλαδή περίπου 24h.

Κατά τη διάρκεια του έτους η κίνηση των ρευμάτων επηρεάζεται από την σχετική θέση των τριών πλανητών μεταξύ τους.

Η κατακόρυφη κίνηση της ανόδου και πτώσης της στάθμης των παλιρροιών συνοδεύεται και από οριζόντια κίνηση υδάτινων μαζών που αναφέρονται σαν παλιρροϊκά ρεύματα. Θα πρέπει κατά συνέπεια να γίνεται διάκριση μεταξύ παλιρροϊκής δυναμικής ενέργειας (tidal range energy) και κινητικής ενέργειας των σωματιδίων του νερού στη παλίρροια (tidal current energy).

4.7 Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα παλίρροιας

Δυναμικό της θαλάσσιας παλιρροϊκής ενέργειας:

Η παγκόσμια δυναμική παλιρροϊκή ενέργεια εκτιμάται σε 3 TW, το 1TW εξ αυτών είναι διαθέσιμο σε σχετικά ρηχά νερά. Στην Ευρώπη, η Αγγλία και η Γαλλία έχουν την σχετικά υψηλότερη ενέργεια της κατηγορίας αυτής με διαφορά στάθμης του νερού που φθάνει τα 10 m. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι τα θαλάσσια ρεύματα έχουν το δυναμικό να καλύψουν σημαντικό κομμάτι από τις μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες. Εκτιμάται ότι η εγκατεστημένη ισχύς στροβιλομηχανών εκμετάλλευσης της ενέργειας από τα θαλάσσια ρεύματα μπορεί να ξεπεράσει τα 12000 MW.

Θέσεις με υψηλές ταχύτητες ρευμάτων, ενδεικτικά:

Γύρω από τη Βρετανία και την Ιρλανδία

- Μεταξύ των νησιών της Μάγχης και της Γαλλίας.
- Στο στενό της Μερσίνας, μεταξύ Ιταλίας και Σικελίας
- Μεταξύ νησιών στο Αιγαίο
- Στη Νότιο – Ανατολική Ασία
- Στην Ανατολική και Δυτική ακτή του Καναδά.

4.8 Σύγχρονες εξελίξεις – Επίπεδο Τεχνολογίας

Συσκευή Kobold (Ponte di Archimede SpA, Ιταλία). Τουρμπίνα κατακόρυφου άξονα που κινεί ένα σύγχρονο κινητήρα. Η ανάπτυξη ξεκίνησε το 1995. Η διεύθυνση της περιστροφής του ρότορα, διαμέτρου 6 m, τριών πτερυγίων με μεταξύ τους απόσταση 5 m, είναι ανεξάρτητη από τη διεύθυνση του ρεύματος. Το σύστημα είναι εγκαταστημένο σε πλωτή πλατφόρμα, διαμέτρου 10m, έχει σχεδιασθεί για βάθη νερού μέχρι 30 m και μέγιστη ταχύτητα ρεύματος 2 m/sec. Παραγωγή 25 kW για 1.8 m/sec ταχύτητα ρεύματος, εκτιμώμενη παραγωγή 80kW για 3m/sec.

4.9 Σύγχρονες εξελίξεις & Περιπτώσεις εγκατεστημένων σταθμών

Κατακόρυφος πυλώνας, πακτωμένος στον πυθμένα, πάνω στον οποίο προσαρμόζεται ρότορας οριζόντιου άξονα, ο οποίος μπορεί να βγαίνει τελείως έξω από το νερό για συντήρηση. Πιλοτική εγκατάσταση σε βάθος νερού 30m, 1 Km στα ανοικτά του Foreland Point, Devon, U.K., 2003. Ο ρότορας έχει διάμετρο 15 m και μπορεί να παράγει 300 kW σε ταχύτητα ρεύματος 2.7 m/sec. Άδεια εγκατάστασης το 2006 στο Strangford Lough, Ireland, 1MW “twin rotor”.

Πειραματικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσιο κυματισμό συνολικής ισχύος 48 kW.



Σχήμα 4.35 Φωτογραφία ενός πυλώνα πακτωμένου στον πυθμένα της θάλασσας όπου πάνω του προσαρμόζετε ρότορας οριζοντίου άξονα.

Τα προαναφερθέντα μοντέλα που αναπτύχθηκαν, επιβεβαιώθηκαν σε επιδεικτικό πειραματικό σταθμό συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 48 kW που κατασκευάστηκε στην Ψυτάλλεια, στο πλαίσιο του έργου ΠΑΒΕΤ 00ΒΕ142, με τίτλο «Πειραματικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσιο κυματισμό». Ο σταθμός λειτούργησε πειραματικά, σε απομονωμένη λειτουργία από το δίκτυο, ενώ λόγω βλάβης στην προβλήτα, δεν ολοκληρώθηκε η διασυνδεδεμένη λειτουργία, όπως αρχικά είχε προβλεφθεί.

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας έγινε με τη χρήση στρεφόμενης γεννήτριας συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης. Βασικά κριτήρια της επιλογής του συγκεκριμένου είδους μηχανής ήταν η απλότητα της κατασκευής, καθώς και η αξιοπιστία και η ευελιξία στον έλεγχο της, παράγοντες που εξυπηρέτησαν τη λεπτομερή προσέγγιση και μοντελοποίηση του κατά τα άλλα πολύ σύνθετου συζευγμένου ηλεκτρομηχανικού συστήματος.

Η λειτουργία του σταθμού μελετήθηκε, πειραματικά, μέσω μετρήσεων που έγιναν κατά τη λειτουργία του, σχετικά με τα χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούσαν στο υδραυλικό, το μηχανικό και το ηλεκτρικό υποσύστημα. Η συλλογή και καταγραφή των μετρήσεων έγινε με τη βοήθεια μετρητικής διάταξης ελεγχόμενης από Η/Υ, με κατάλληλο για αυτό τον σκοπό λογισμικό.

Για τη μελέτη του συστήματος, αναπτύχθηκαν ειδικά υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης της συνολικής συμπεριφοράς

του συνόλου του πειραματικού σταθμού, καθώς και των επιμέρους συζευγμένων υδραυλικών–μηχανικών–ηλεκτρικών υποσυστημάτων του.

4.10 Γενικές αντιλήψεις και δυναμική για την ανάπτυξη της τεχνολογίας για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων

Δεν την θέλουν όλοι την ενέργεια της θάλασσας. Διχάζει η ενέργεια από τα κύματα. Ενθουσιασμός για το σταθμό στην Κορνουάλλη. Αρνητισμός στην Αμερική. Άγνωστες οι συνέπειες για τα αποδημητικά είδη ψαριών στον Ειρηνικό Ωκεανό, υποστηρίζουν οι περιβαλλοντολόγοι. Τα θαλάσσια ύδατα ίσως κάποια ημέρα θα παράγουν σημαντικό ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται. Τα ενεργειακά αυτά πάρκα τα ονομάζουν πεδία κυματικής ενέργειας, κάτι σαν «φάρμες κυμάτων» όπου η δύναμή τους θα συλλέγετε με σημαδούρες υψηλής τεχνολογίας σαν και αυτές που ήδη δοκιμάζονται στις ακτές του Όρεγκον. Και αυτά τα συστήματα θα παράγουν χάρη στα παιχνίδια της θάλασσας καθαρή ανανεώσιμη ενέργεια. Θεωρητικά η μέθοδος μπορεί να έχει παγκόσμια εφαρμογή, οπουδήποτε υπάρχει κυματική δραστηριότητα. Πολλοί φοβούνται όμως ότι η τεχνολογία αυτή θα μεταβάλλει τους χάρτες ναυσιπλοΐας. Οι ψαράδες φοβούνται μη πέσουν σε κάποια σημαδούρα αξίας πολλών εκατομμυρίων δολαρίων. Οι ανησυχίες για τη μεταβολή των κλιματικών συνθηκών είναι σίγουρα δεδομένες, αλλά εξίσου σίγουρη

ανησυχία που προκαλεί η ρύπανση από την παραγωγή ηλεκτρισμού από κάρβουνο και φυσικό αέριο. Γι' αυτούς ακριβώς τους λόγους το Όρεγκον αναζητεί λύσεις στο ενεργειακό πρόβλημα, στρέφοντας το βλέμμα και το ενδιαφέρον στη θάλασσα και τα κύματά της, που λυσομανά στις ακτές. Η κυματική «καθαρή» ενέργεια μοιάζει με τέλεια λύση σε μια περιοχή που πάντα βρισκόταν στις πρώτες θέσεις ανάμεσα στους παραγωγούς εναλλακτικής ενέργειας. Κι όμως οι αντιπαραθέσεις για τις αρνητικές συνέπειες, είτε στο περιβάλλον και την αλιεία είτε ακόμα και την εκπληκτική, γεμάτη μαγεία, εικόνα του Ειρηνικού έχουν ενισχυθεί. «Όλοι αναζητούμε την τέλεια λύση», υποστηρίζει η Φραν Ρεχτ της Επιτροπής Αλιειοκαλλιεργειών των Πολιτειών του Ειρηνικού. «Το θέμα που πρέπει να ερευνηθεί είναι κατά πόσο η κυματική ενέργεια είναι πράγματι όσο ωφέλιμη και αβλαβής, όσο όλοι πιστεύουν». Η πρώτη ομοσπονδιακή άδεια για την πραγματοποίηση δοκιμών σε μια «φάρμα κυμάτων» χορηγήθηκε τον περασμένο Φεβρουάριο σε εταιρεία που επιθυμεί να μελετήσει την περιοχή του ωκεανού κοντά στο Ρέντσποτ του Όρεγκον, 110 χλμ. από το Νιούπορτ. Τρεις ακόμα άδειες έχουν εγκριθεί από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Ρύθμισης Ενέργειας.

Ανυπέρβλητα εμπόδια. Η αισιοδοξία σε κάθε πειραματική ΑΠΕ, πρέπει να είναι συγκρατημένη, αφού τόσες απόπειρες απέτυχαν ή τα αποτελέσματα ήταν πενιχρά, Μήλος (γεωθερμί-

α), πρώτα αιολικά στο Αιγαίο, ενώ δεν υπάρχουν ειδήσεις από πολλά κυματικά έργα στη Σκωτία. Όπως συνέβη και με την αιολική ενέργεια, στις αρχές του 1980, η κυματική ενέργεια υποσχεται πολλά, ενώ έχει τη δυνατότητα να καλύπτει το 5 ως 10% των ενεργειακών αναγκών των ΗΠΑ. Ποιοι, άραγε, θα επωφεληθούν από την κυματική ενέργεια; Πιθανότεροι υποψήφιοι είναι το Όρεγκον, η Ουάσιγκτον και η βόρεια Καλιφόρνια, όπου ο Ειρηνικός Ωκεανός συναντά τις ΗΠΑ, αφού αποκτήσει δύναμη επί εκατοντάδες μιλιά υπό τους δυτικούς ανέμους. Εκεί τα δυνατά κύματα έχουν τη δυνατότητα να παράγουν τετραπλάσια ενέργεια από ότι αυτά της ανατολικής ακτής σύμφωνα, τουλάχιστον, με μελέτες του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας. Οι άδειες που εγκρίθηκαν αφορούν το Όρεγκον, όπου οι αγωγοί ηλεκτρισμού βρίσκονται κοντά στις ακτές και είναι έτσι ευκολότερη η διοχέτευση της κυματικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, στο Όρεγκον η πολιτειακή κυβέρνηση ενθαρρύνει τις επιχειρήσεις να αναζητήσουν νέες πηγές ενέργειας.

Με πολιτειακή υποστήριξη, το Oregon State University δοκιμάζει μια νέα σημαδούρα κυματικής ενέργειας που σχεδιάζει να αναπτύξει ανοικτά των ακτών την ερχόμενη άνοιξη. Η Finavera Renewables, μια канаδική εταιρεία με γραφεία στο Πόρτλαντ, έχει ήδη πραγματοποιήσει μελέτες κοντά στον φάρο Γιακουίνα και έχει και άδεια να κάνει περαιτέρω έρευνα στον Κόλπο Κους. Η Ocean Power Technologies, η εταιρεία που σχεδιάζει το έργο στο Ρίντσπορτ, έχει ήδη λάβει προκαταρκτική

άδεια για να δοκιμάσει το δυναμικό μιας κυματικής φάρμας που θα μπορεί να παράγει 50 MW ηλεκτρικού ρεύματος. Στην πραγματικότητα δοκιμάζονται πολλά είδη νέων τεχνολογιών. Το πρόγραμμα Ρίντσπορτ θα επιτρέψει την μετάδοση ενέργειας στην ακτή διά μέσω ενός αγωγού που στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν από μύλο ξυλείας. Η σύγκλιση της παλιάς τεχνολογίας και της νέας αντικατοπτρίζει αυτό που οι υπέρμαχοι της κυματικής ενέργειας χαρακτηρίζουν «προσήκουσα συμμετρία» σε μια περιοχή που εξελίχθηκε από οικονομία βασισμένη στις εξορύξεις σε μία που προσπαθεί να χρησιμοποιήσει φυσικούς πόρους, έτσι ώστε να διασωθεί κατά το δυνατόν το περιβάλλον.

Μια εντυπωσιακά ευχάριστη είδηση: Στην Agucadoura, στα νερά της Πορτογαλίας (μια χώρα ανάλογου μεγέθους και δυνατοτήτων με την Ελλάδα) μπήκε σε λειτουργία την 1^η Δεκεμβρίου η πρώτη φάση του πρώτου εμπορικού σταθμού Κυματικής ενέργειας Agucadoura. Ο Σταθμός αποτελείται σε πρώτη φάση από τρεις μονάδες Pelamis 750kW τα οποία καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες 1500 νοικοκυριών. Όταν το σύστημα ολοκληρωθεί θα παράγει ρεύμα για να καλύπτει 15.000 νοικοκυριά. Περισσότερα για το πως λειτουργεί το σύστημα και λεπτομέρειες μετά το άλμα. Το όλο έργο χρηματοδοτείται από την κρατική Energia de Portugal σε συνδυασμό με τις ιδιωτικές Efacec, Pelamis και Babcock & Brown. Η συνολική επένδυση μέχρι στιγμής έχει φτάσει τα 9 εκατομμύρια Ευρώ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ INTERNET

- [1] Alyssa Kagel, "The State of Geothermal Technology Part II: Surface Technology", A Publication by the Geothermal Energy Association for the U.S. Department of Energy, January 2008.
www.geo-energy.org
- [2] World Spaceflight News "21st Century Complete Guide to Geothermal Energy, Geothermal Heat Pumps, Electricity, Potential, Drilling, Photo Gallery, Geopowering the West, Department of Energy Renewable Energy Research and National Renewable Energy Lab NREL", Progressive Management (January 22, 2004).
- [3] L. M. Edwards, G. V. Chilingar, H. H. Rieke, W. H. Fertl "Handbook of Geothermal Energy", Gulf Pub Co (April 1, 1982).
- [4] Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Α., Δαλαμπάκης Π., Κολιός Ν., Κουτσινός Σ. & Φυτίκας Μ. (2005) «Απόψεις για την ορθολογική διαχείριση και αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων της χώρας», Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου «Η εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Προοπτικές και Προτεραιότητες προς το Στόχο του 2010» (23-25 Φεβρουα-

ρίου 2005), Μονάδα Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πόρων Ε.Μ.Π. & Κ.Α.Π.Ε, Αθήνα, σελ. 311-317.

[5] Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Α., Κολιός Ν. & Κουτσινός Σ. (2006), «Εφαρμογή των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σύστημα μιας γεώτρησης και η συμβολή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας», Πρακτικά 8ου Εθνικού Συνεδρίου του Ι.Η.Τ. για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας (Θεσ/νίκη 29-31/3/2006), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, σελ. 525-530

[6] http://www.naval.ntua.gr/presentations_hmerida/Mavrakos.pdf

[7] <http://www.physics4u.gr/energy/geotherme.html>

[8] <http://el.wikipedia.org/wiki>

[9] http://www.geothermal-energy.org/319,____.html

[10] <http://www.narucpartnerships.org/>

[11] Μαθήματα Φυσικής Πανεπιστημίου Berkeley, Φυσική Τόμος 3, "ΚΥΜΑΤΙΚΗ", Αθήνα 1986.

Η πρωτότυπη αγγλική έκδοση γράφτηκε από τον Frank. S. Crawford Jr., Prof. of Physics, Univ. of California, Berkeley.

Η ελληνική απόδοση έγινε από ομάδα του διδακτικού προσωπικού του Ε. Μ. Πολυτεχνείου.