



9 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΚΥΜΑΤΑ, ΠΑΛΙΡΡΟΙΕΣ, ΩΚΕΑΝΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



9.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να προέλθει από τις τεράστιες ποσότητες ενέργειας που υπάρχουν στις θάλασσες και τους ωκεανούς έχει αποτελέσει το αντικείμενο σειράς ερευνητικών έργων που έχουν ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1960 και συνεχίζονται μέχρι τώρα με διάφορες μορφές και σε διαφορετικές φάσεις ανάπτυξης. Σήμερα πολύ λίγες εμπορικές εγκαταστάσεις έχουν αναπτυχθεί που παράγουν αξιολογικά αποτελέσματα και αυτά ιδιαίτερα στον τομέα της αξιοποίησης της παλιρροϊκής ενέργειας. Το εύρος των πιθανών εφαρμογών είναι πολύ μεγάλο και δεν μπορεί να εξαντληθεί στα πλαίσια της παρούσας έκδοσης. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει συνοπτική παρουσίαση τριών τομέων εφαρμογών αξιοποίησης της ενέργειας που προέρχεται από τις θάλασσες και τους ωκεανούς: της παλιρροϊκής ενέργειας, της ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα και της ενέργειας που μπορεί να προέλθει από τη θερμοκρασιακή βαθμίδα των ωκεανών, η οποία μερικές φορές ονομάζεται στη βιβλιογραφία ωκεάνια ενέργεια.

9.2 Η ενέργεια από την παλίρροια [tidal energy]

9.2.1 Προέλευση

Η ενέργεια από την παλίρροια [tidal energy] οφείλεται στην ύπαρξη των βαρυτικών δυνάμεων μεταξύ της Γης και της Σελήνης (Kaltschmitt et al, 2007). Το φαινόμενο είναι αρκετά πολύπλοκο για να αναλυθεί στις λεπτομέρειές του, αλλά γενικά (και λίγο απλουστευτικά) μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω: Η Γη και η Σελήνη περιστρέφονται γύρω από ένα κοινό κέντρο βαρύτητας, η θέση του οποίου προσ-



διορίζεται από τη μάζα των δύο αυτών ουράνιων σωμάτων (όπως προβλέπουν οι νόμοι της κλασικής μηχανικής) και βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο μάζας της Γης. Η μάζα του νερού των ωκεανών ακολουθεί την περιστροφική κίνηση της Γης γύρω από τον εαυτό της, καθώς και την ελλειπτική κίνησή της γύρω από τον Ήλιο. Σ' αυτή την κίνηση η μάζα των νερών των ωκεανών επηρεάζεται από την ελκτική δύναμη της Σελήνης. Η δύναμη της Σελήνης εξαρτάται από τη σχετική θέση Γης-Σελήνης και συνεπώς αυξομειώνεται σε *περιοδικά* χρονικά διαστήματα. Αυτός ο συνδυασμός διαφορετικής έντασης της δύναμης που ασκεί η Σελήνη στα διαφορετικά τμήματα της μάζας των ωκεανών και της περιστροφικής κίνησής τους προκαλεί τα παλιρροιακά φαινόμενα και τους δίνει τον *περιοδικό* χαρακτήρα τους.¹

9.2.2 Ιστορική αναδρομή

Η ενέργεια από την παλίρροια αποτελεί μια από τις παλαιότερες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε από τους ανθρώπους. Μύλοι που αξιοποιούν την ενέργεια της παλίρροιας λειτουργούσαν στις ισπανικές, γαλλικές και βρετανικές ακτές από το 787 μ.Χ.² Αυτοί οι μύλοι αποτελούνταν από μια δεξαμενή αποθήκευσης του νερού, το οποίο εισερχόταν κατά τη φάση της πλημμυρίδας στη δεξαμενή και ξαναγύριζε προς τα πίσω κατά τη φάση της άμπωτης περνώντας διαμέσου μιας φτερωτής του νερού [waterwheel]. Έτσι λοιπόν οι παλίρροιες προσέφεραν μηχανική ενέργεια για να περιστρέφουν τους νερόμυλους και να αλέθουν τους σπόρους³. Στον εικοστό αιώνα, καθώς οι ανάγκες για μεγάλης κλίμακας ενεργειακούς σταθμούς άρχισαν σταδιακά να αυξάνονται, δημιουργήθηκε ενδιαφέρον για κατασκευές που θα μπορούσαν να μετατρέπουν την ενέργεια από την παλίρροια σε ηλεκτρική ενέργεια. Διάφορες κατασκευές μελετήθηκαν και προτάθηκαν αλλά μέχρι το 2010 μόνο τέσσερις εγκαταστάσεις λειτουργούσαν⁴. Η μεγαλύτερη από αυτές βρίσκεται στη Γαλλία στην περιοχή της Βρετάνης κοντά στο νησί St Malo (La Rance Estuary). Είναι δυναμικότητας 240 MW (για να υπάρχει σύγκριση, αρκεί να αναφερθεί ότι ένα μεγάλο συμβατικό εργοστάσιο άνθρακα ή ένα πυρηνικό εργοστάσιο είναι δυναμικότητας της τάξης των 1.000 MW) και κατασκευάστηκε μεταξύ των ετών 1961-1967. Από τότε λειτουργεί συνεχώς χωρίς σοβαρά προβλήματα (εκτός από ένα που

¹ Για περισσότερη ανάλυση βλ. Boyle, 2004, σελ. 198-203, επίσης Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 27, καθώς και <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf> (7/4/2011).

² Βλ. Ocean Energy Council στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/Tidal-Energy/Tidal-Energy.html> (17/5/2011).

³ Στο Λονδίνο το 1580 κάτω από τη London Bridge εγκατέστησαν τεράστιες υδραυλικές φτερωτές που αξιοποιώντας το φαινόμενο της παλίρροιας προμήθευαν με φρέσκο νερό την πόλη για περίπου 250 χρόνια.

⁴ <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf> (12/2/2011).

αφορούσε τη γεννήτρια το 1975) και εκτιμάται ως ένα πολύ επιτυχημένο έργο. Οι άλλες εγκαταστάσεις που λειτουργούν βρίσκονται στον Καναδά (Annapolis 18 MW πειραματική εγκατάσταση στη Nova Scotia, 1984), στη Ρωσία (Kislava Guba 0,4 MW στο Murmansk, 1968) και στην Κίνα (Jangxia 3,9 MW στη θάλασσα της ανατολικής Κίνας, 1985).

9.2.3 Τεχνικές αξιοποίησης της παλίρροιας – Αρχές λειτουργίας

Μέχρι σήμερα η ενέργεια από την παλίρροια μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο τεχνικές:

- με την κατασκευή φραγμάτων κατά μήκος των εκβολών ποταμών ή ανοιγμάτων κόλπων που έχουν υψηλό παλιρροιακό δυναμικό⁵
- με τη δημιουργία μηχανολογικών κατασκευών που τοποθετούνται στη θάλασσα και αξιοποιούν τα παλιρροϊκά ρεύματα [tidal streams]⁶.

α) Υδατοφράκτες [barrages]

Ο παραδοσιακός τρόπος για την αξιοποίηση της παλίρροιας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κατασκευή υδατοφράκτη-φράγματος κατά μήκος της εκβολής ενός ποταμού ή ενός στενού κόλπου (θαλάσσιου περάσματος) για να ελέγχονται η πλημμυρίδα και η άμπωτη (οι δύο φάσεις της παλίρροιας). Ουσιαστικά πρόκειται για την ίδια τεχνική που χρησιμοποιείται και στα κλασικά υδροηλεκτρικά έργα. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τρία βασικά κατασκευαστικά στοιχεία: το *φράγμα*, που δημιουργεί τη λεκάνη συγκέντρωσης του νερού, *τους υδροστρόβιλους με τις ηλεκτρογεννήτριες* (που εγκαθίστανται στο κατώτερο σημείο του φράγματος) και τέλος τις *υδραυλικές θύρες* για την είσοδο και την έξοδο του νερού.

Στην περίπτωση που γίνεται αξιοποίηση της άμπωτης [ebb] για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [ebb generation], το φράγμα ανοίγει στη φάση της πλημμυρίδας [flood] για να υποδεχτεί το νερό, το οποίο οδηγείται σε μια λεκάνη [basin]. Στη συνέχεια το φράγμα κλίνει και ξαναανοίγει στη φάση της άμπωτης (που το νερό της θάλασσας αποσύρεται και η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στη λεκάνη και

⁵ Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Boyle et al, 2004, σελ. 204-209 και Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 503-504.

⁶ Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Boyle et al, 2004, σελ. 230-240.

τη θάλασσα γίνεται μέγιστη) όταν το νερό από τη λεκάνη συγκέντρωσης οδηγείται στους υδροστροβίλους και στη συνέχεια επιστρέφει στη θάλασσα. Η μηχανική ενέργεια των υδροστροβίλων τροφοδοτεί τις ηλεκτρογεννήτριες⁷, οι οποίες (όπως σε ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο) εκμεταλλεύονται την υδραυλική κεφαλή που δημιουργείται (δηλαδή το ύψος απ' το οποίο πέφτει το νερό) για να τεθούν σε κίνηση και να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια⁸.

Βέβαια, υπάρχει και η δυνατότητα η εγκατάσταση να σχεδιαστεί έτσι ώστε οι υδροστροβίλοι να λειτουργούν είτε μόνο στη φάση της άμπωτης [ebb generation], είτε μόνο στη φάση της πλημμυρίδας [flood generation] (με διαφορετικό τρόπο απ' αυτόν που περιγράφηκε) είτε και στις δύο φάσεις [two-way generation]⁹. Βέβαια, μια λύση δύο φάσεων (παρ' όλο που φαίνεται να είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον, καθώς προσομοιάζει περισσότερο με τη φυσική λειτουργία του φαινομένου της παλίρροιας και ίσως είναι λίγο πιο αποτελεσματική ενεργειακά) είναι πιο περίπλοκη τεχνικά και περισσότερο δαπανηρή¹⁰.

Τα φράγματα, εκτός από τις υδραυλικές θυρίδες [sluice gates] που έχουν για την είσοδο και την έξοδο του νερού, μπορούν να έχουν θυρίδες [ship locks] που ανοίγουν για να επιτρέπουν τη ναυσιπλοΐα.

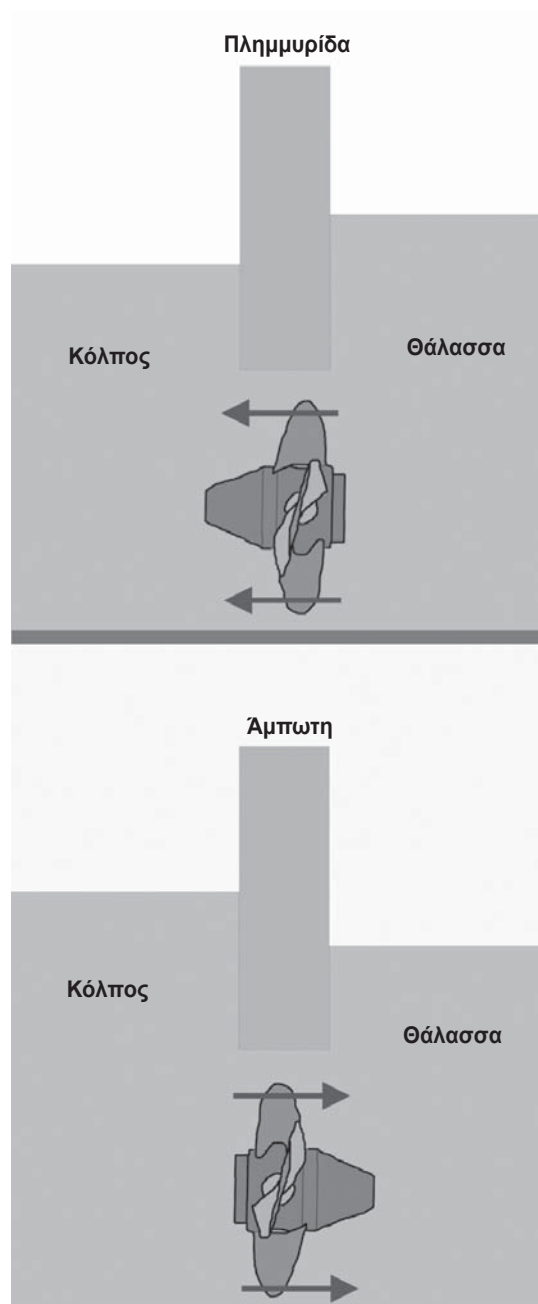
Επειδή οι παλίρροιας έχουν έναν κύκλο 12,4 h, οι υδραυλικές γεννήτριες μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια δύο φορές κατά τη διάρκεια ενός κύκλου 24,8 h. Συνεπώς, παρ' όλο που μπορεί να προβλεφθεί το χρονικό διάστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι αδύνατον να υπάρχει ομαλή παροχή ενέργειας στο δίκτυο καθ' όλο το 24ωρο. Για να μειωθεί αυτό το πρόβλημα έχει προταθεί η λύση για τη λειτουργία των υδραυλικών γεννητριών και στις δύο φάσεις κάτι που αυξάνει τη χρονική περίοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στο 24ωρο,

⁷ Το σύστημα υδροστροβίλων-γεννητριών μερικές φορές στη βιβλιογραφία ονομάζεται υδραυλικές γεννήτριες.

⁸ Η δυναμική ενέργεια του νερού που βρίσκεται στη λεκάνη μετατρέπεται σε κινητική καθώς πέφτει προς τους υδροστροβίλους, όπου μετατρέπεται σε μηχανική περιστροφική ενέργεια και στη συνέχεια μεταφέρεται στις ηλεκτρογεννήτριες, όπου εξαιτίας των τεράστιων ηλεκτρομαγνητών που υπάρχουν παράγεται μέσω του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής η ηλεκτρική ενέργεια. Το ύψος του νερού μπορεί να φτάσει από λίγα μέτρα έως 16,4 m στο Bay of Fundy του Καναδά. Για τα διάφορα ύψη νερού που μπορεί να φτάσει η παλίρροια βλ. Πίνακα [table 1] στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf> (10/6/2012).

⁹ Στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο η φάση της άμπωτης (Annapolis) όσο και αυτή των δύο φάσεων (La Rance, Kislaya Guba).

¹⁰ <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf>. Άλλοι συγγραφείς δε συμμερίζονται αυτή την άποψη και υποστηρίζουν πως το υψηλότερο αρχικό κόστος αντισταθμίζεται (και τελικά αποπληρώνεται) από την υψηλότερη ενεργειακή παραγωγή (Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 503).



Σχήμα 9.1 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας των υδροστροβίλων στη φάση της πλημμυρίδας [flood] και της άμπωτης [ebb].
(Πηγή: commons.wikimedia.org)

καθώς και η λύση της χρησιμοποίησης του περίσσιου ηλεκτρικού ρεύματος (ή ρεύματος από το δίκτυο) για να αντλείται νερό το οποίο θα αποθηκεύεται σε δύο ή περισσότερους ταμιευτήρες (με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους) και το οποίο θα χρησιμοποιείται στη συνέχεια σε άλλες χρονικές στιγμές (αποθήκευση υδραυλικής ενέργειας).



Εικόνα 9.1 Η εγκατάσταση Rance Tidal Power Station που αξιοποιεί την παλίρροια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βρίσκεται στις εκβολές του ποταμού Rance, στη Βρετανία της Γαλλίας. Ήταν ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός αξιοποίησης της παλίρροιας παγκοσμίως και άρχισε τη λειτουργία του το 1966, ενώ με μέγιστη ισχύ στα 250 MW αποτελεί το μεγαλύτερο τέτοιου είδους υδροηλεκτρικό σταθμό στον κόσμο.

(Πηγή: commons.wikimedia.org)

Β) Κατασκευές για τα παλιρροϊκά ρεύματα [tidal streams]

Η ιδέα για αυτού του είδους τις κατασκευές είναι η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας που έχει το νερό καθώς κινείται οριζόντια¹¹ εξαιτίας των παλιρροϊκών φαι-

¹¹ Σε αντίθεση με τις κατασκευές των φραγμάτων όπου γίνεται η αξιοποίηση της κατακόρυφης κίνησης των μαζών του νερού, οι οποίες, αφού ανυψώνονται μέσα στη λεκάνη συγκέντρωσης κατά τη φάση της πλημμυρίδας, στην συνέχεια πέφτουν από το δεδομένο ύψος στους υδροστροβίλους μετατρέποντας διαδοχικά τη βαρυτική δυναμική ενέργεια του νερού σε μεταφορική κινητική και στη συνέχεια σε μηχανική περιστροφική ενέργεια των υδροστροβίλων και τέλος σε ηλεκτρική ενέργεια στις γεννήτριες.

νομένων¹². Αυτά τα ρεύματα τείνουν να είναι συγκεντρωμένα ανάμεσα σε στενά θαλάσσια περάσματα [channels], κάτι που κάνει πιο εύκολη την αξιοποίησή τους. Οι τοποθεσίες που έχουν προταθεί για αξιοποίηση βρίσκονται διεσπαρμένες σε όλο τον κόσμο. Για παράδειγμα, στις δύο κυριότερες τοποθεσίες που έχουν προταθεί στη Μ. Βρετανία το θεωρητικό δυναμικό ανέρχεται σε μεγέθη της τάξης των 3,6 GW για το ρεύμα στο βόρειο κανάλι της θάλασσας της Ιρλανδίας ή της τάξης των 6,1 GW για την περιοχή του Pentland Firth στη Σκωτία.¹³

Τα ρεύματα αυτού του είδους έχει προταθεί να αξιοποιηθούν μέσα από συστοιχίες κατασκευών που περιέχουν μηχανές περιστροφικών ελίκων¹⁴, οι οποίες είναι αγκυρωμένες στο βυθό. Οι μηχανές αυτές μοιάζουν με εκείνες των ανεμογεννητριών και μπορεί να είναι είτε οριζόντιου είτε κατακόρυφου άξονα.

Η βασική φυσική αρχή που διέπει τη λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των ανεμογεννητριών, δηλαδή η ισχύς που παράγουν εξαρτάται από την πυκνότητα του νερού (d), το εμβαδό (A) της επιφάνειας που σαρώνει ο έλικας, καθώς και από την τρίτη δύναμη της ταχύτητας του νερού:

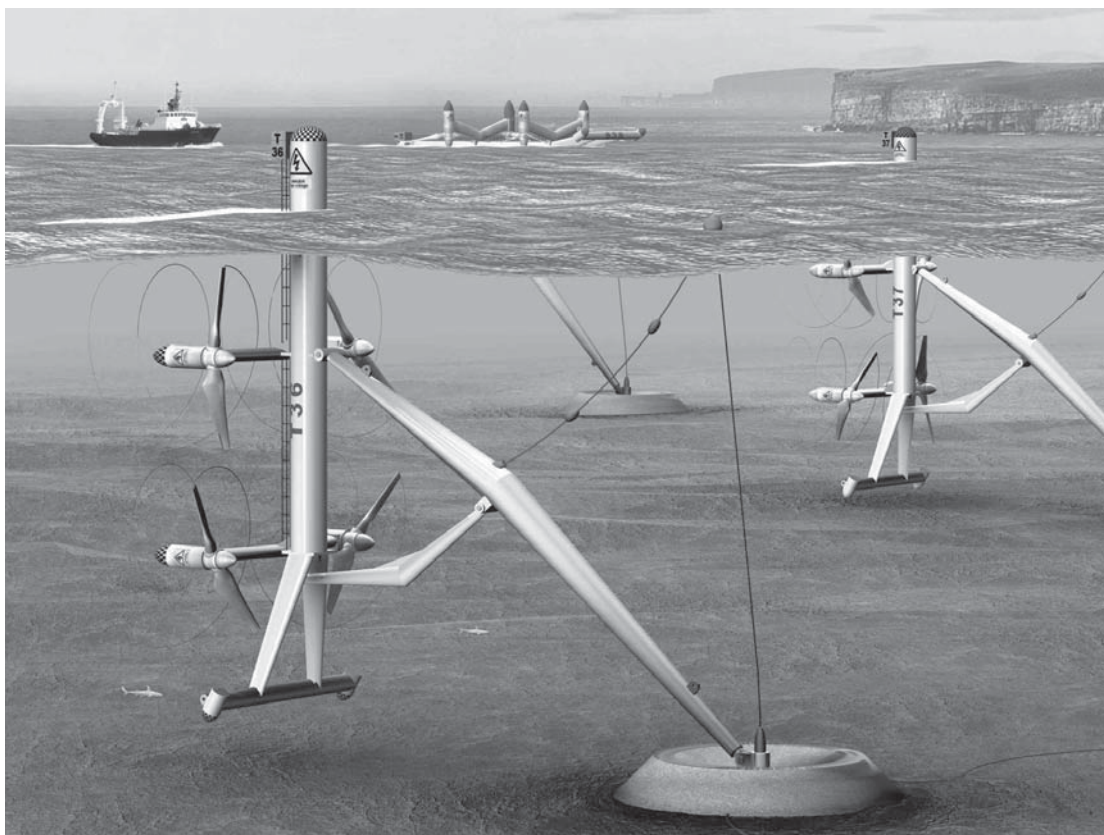
$$P \sim d A v^3$$

Αν και οι τυπικές τιμές της ταχύτητας των ρευμάτων είναι μικρότερες από αυτές του αέρα (3 ms^{-1} και 7 ms^{-1} αντίστοιχα), η πυκνότητα του νερού είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα και έτσι η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από μια γεννήτρια ίδιας διαμέτρου είναι *μεγαλύτερη* για τα παλιρροϊκά ρεύματα από ό,τι για την ανεμογεννήτρια.

¹² Όπως επισημαίνεται στο Boyle et al, 2004, σελ. 230, παρ' όλο που χρησιμοποιείται ο όρος παλιρροϊκά ρεύματα [tidal streams], αυτός δεν αποδίδει με ακρίβεια όλες τις φυσικές ροές ρευμάτων που εμφανίζονται στη θάλασσα. Ορισμένα απ' αυτά τα ρεύματα, ειδικότερα τα μεγαλύτερα απ' αυτά που εμφανίζονται σε ακτές όπως το Gulf Stream, είναι το αποτέλεσμα σύνθετων αλληλεπιδράσεων μεταξύ θερμών και ψυχρών στρωμάτων θαλάσσιου νερού και στην κυριολεξία προέρχονται από την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη. Συνεπώς, θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι η αναφορά δεν είναι για παλιρροϊκά ρεύματα αλλά γενικότερα για ωκεάνια ρεύματα [ocean currents ή ocean streams].

¹³ Boyle et al, 2004, σελ. 230. Για την προνομιακή δυνατότητα τοποθεσιών στη Βρετανία για την παραγωγή ενέργειας από την παλίρροια βλ. http://www.tidalenergy.eu/tidal_energy_uk.html (10/8/2011).

¹⁴ Έχουν γίνει προτάσεις για πολλά είδη «πρωτοποριακών» κατασκευών για την καλύτερη εκμετάλλευση αυτών των ρευμάτων. Για λεπτομέρειες βλ. <http://www.gcktechnology.com/GCK/Images/ms0032%20final.pdf> (7/9/2011) καθώς και Boyle et al, 2004, σελ. 232-38.



Σχήμα 9.2 Σχηματική αναπαράσταση ενός τύπου παλιρροϊκής γεννήτριας που συχνά αναφέρεται και ως παλιρροϊκός μετατροπέας ενέργειας [tidal energy converter] (TEC).
(Πηγή: commons.wikimedia.org)

Βέβαια, τα προβλήματα που πρέπει να λυθούν στην περίπτωση των γεννητριών για τα παλιρροϊκά ρεύματα (και γενικά όλης της κατασκευής της συστοιχίας) είναι πολύ μεγαλύτερα απ' αυτά των ανεμογεννητριών και γι' αυτό σήμερα η τεχνολογία των ανεμογεννητριών θεωρείται *ώριμη*, ενώ αυτή των παλιρροϊκών ρευμάτων βρίσκεται σε *νηπιακή* φάση. Αυτό αποδεικνύεται κι από το γεγονός ότι, ενώ χιλιάδες ανεμογεννήτριες σε όλο τον κόσμο συνεισφέρουν πια μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας του πλανήτη, μόνο πειραματικές κατασκευές γεννητριών για παλιρροϊκά ρεύματα έχουν εγκατασταθεί τα τελευταία χρόνια¹⁵.

¹⁵ Βέβαια, αυτό δεν αναιρεί το γεγονός ότι η τεχνολογία των κατασκευών για τα παλιρροϊκά ρεύματα μπορεί τα επόμενα χρόνια να ωριμάσει και να αποτελέσει μια ακόμα αξιοσημείωτη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας σε τοπικό επίπεδο. Άλλωστε χρειάζεται να επισημανθεί ότι η διείσδυση μιας μορφής ανανεώσιμης ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα κάθε χώρας εξαρτάται όχι μόνο από τεχνολογικούς αλλά και από κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Αυτή τη στιγμή το πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής αποτελεί ανασχετικό παράγοντα

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προβλέπονται από τις μελέτες πριν την κατασκευή ενός έργου που αφορά την κατασκευή μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης της ενέργειας από παλίρροια με φράγμα-υδατοφράκτη είναι αμφισβητήσιμες από πάρα πολλές περιβαλλοντικές οργανώσεις ή τοπικούς φορείς, ανάλογα με τη γενικότερη θετική ή αρνητική τοποθέτησή τους για την εκτέλεση του έργου. Η πράξη αποδεικνύει ότι καμιά μελέτη δεν μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός έργου ούτε να υπολογίσει όλες τις παραμέτρους¹⁶. Μόνο η στενή παρακολούθηση του έργου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του αλλά και στη συνέχεια της λειτουργίας του μπορεί να δώσει ακριβέστερες απαντήσεις (κι αυτές δεν τις αποδέχονται όλοι με τον ίδιο τρόπο). Η περιορισμένη εμπειρία που υπάρχει από τη λειτουργία κατασκευών -εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της παλιρροϊκής ενέργειας δε δίνει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα σημεία που επισημαίνονται παρακάτω λαμβάνουν υπόψη τους τόσο την εμπειρία από τη λειτουργία των τεσσάρων έργων που υπάρχουν σήμερα (ιδιαίτερα του μεγαλύτερου απ' αυτά, δηλαδή του La Rance Estuary στη Γαλλία) όσο και περιβαλλοντικές μελέτες που έχουν γίνει στην Μ. Βρετανία για την (προτεινόμενη) κατασκευή ορισμένων φραγμάτων παλιρροϊκής ενέργειας (ιδιαίτερα του Severn Barrage στη νοτιοδυτική ακτή)¹⁷.

για την επένδυση σ' αυτή την τεχνολογία. Οι σοβαρές επιφυλάξεις για την επιτυχία εγχειρημάτων αυτού του είδους μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία, π.χ., Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 509.

¹⁶ Υπάρχουν τόσες πολλές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ώστε το τελικό αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι αβέβαιο.

¹⁷ Η κατασκευή του συγκεκριμένου έργου έχει προς το παρόν ανασταλεί καθώς η βρετανική κυβέρνηση αποφάσισε να μην το χρηματοδοτήσει άμεσα (χωρίς να αποκλείει την κατασκευή του στο μέλλον, εφόσον βρεθούν και ιδιωτικά κεφάλαια που θα επενδυθούν) έπειτα από τη «μελέτη σκοπιμότητας» [feasibility study] που δημοσιεύτηκε τον Οκτώβριο του 2010. Η απόφαση αυτή ελήφθη «στο πλαίσιο της εξέτασης των ευρύτερων κλιματικών και ενεργειακών στόχων της Βρετανίας, συμπεριλαμβανομένης και της εξέτασης των σχετικών δαπανών, των ωφελειών και των επιπτώσεων του έργου σε σύγκριση με άλλες επιλογές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλές εκπομπές άνθρακα» http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/meeting_energy/wave_tidal/severn_tidal_power/severn_tidal_power.aspx. (10/9/2012).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να χαρακτηριστούν θετικές ή αρνητικές, το σίγουρο όμως είναι ότι (ιδιαίτερα για μεγάλα έργα) εμφανίζονται τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου όσο και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του¹⁸.

Γενικά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εγκαταστάσεων με υδατοφράκτες-φράγματα για την εκμετάλλευση της παλιρροϊκής ενέργειας μοιάζουν μ' αυτές που αφορούν στα υδροηλεκτρικά φράγματα αλλά δεν είναι ταυτόσημες ούτε όσον αφορά το μέγεθος ούτε την ποικιλία. Οι βασικότερες επιπτώσεις (θετικές-αρνητικές) είναι οι παρακάτω:

- Η κατασκευή ενός φράγματος προκαλεί αλλαγές στη στάθμη και την ταχύτητα κίνησης των νερών μπροστά και πίσω από το φράγμα (δηλαδή στη λεκάνη). Αυτό επηρεάζει διάφορες ιδιότητες του νερού (καθαρότητα, αλατότητα), καθώς και τα χαρακτηριστικά του υδρότοπου¹⁹ ιδιαίτερα όσον αφορά τα πουλιά και τα ψάρια που ζουν στην περιοχή. Για παράδειγμα, μπορεί να αναφερθεί ότι πριν την κατασκευή του φράγματος υπάρχουν οι περιοχές όπου το νερό αποσύρεται κατά τη διάρκεια της άμπωτης και το ίζημα που παραμένει είναι γεμάτο από ασπόνδυλα που αποτελούν τροφή για μια σειρά από πουλιά. Μετά την κατασκευή του φράγματος αυτές οι περιοχές είναι μονίμως πλημμυρισμένες, με αποτέλεσμα αυτά τα πουλιά να στερούνται την τροφή τους και να απομακρύνονται από την περιοχή.
- Η κατασκευή ενός φράγματος προκαλεί το μπλοκάρισμα της μετανάστευσης των ψαριών που κινούνται από και προς το ποτάμι (ή τον κόλπο), αλλά και τον κατατεμαχισμό τους, καθώς περνάνε μέσα από τους στροβίλους. Βέβαια, για τη μείωση αυτού του προβλήματος έχει προταθεί η κατασκευή περασμάτων των ψαριών που θα τα διευκόλυνε στη διάσχιση του φράγματος²⁰.

¹⁸ Εδώ χρειάζεται να επισημανθεί κάτι που ισχύει για όλες τις ΑΠΕ. Δεν υπάρχει ενεργειακό έργο χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακόμα και η πιο ήπια ή πιο καθαρή μορφή ΑΠΕ έχει κάποιες μορφής και κάποιες έντασης επίπτωση στο περιβάλλον. Το *κρίσιμο* σημείο είναι ότι πάντα πρέπει να υπάρχει η *σύγκριση* με τις συμβατικές πηγές ενέργειας και τότε μπορούν να γίνουν φανερά τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ ιδιαίτερα όταν επιλέγεται η κατάλληλη μορφή και η εγκατάσταση πραγματοποιείται στη σωστή (για τον τόπο) κλίμακα.

¹⁹ Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Boyle et al, 2004, σελ. 210-14.

²⁰ Στην περίπτωση του La Rance υπάρχουν ενδείξεις για καταστροφές των ψαριών, ενώ και στην περίπτωση του Annapolis στον Καναδά υπήρξε σημαντική θνησιμότητα για τα ψάρια. Τα μέτρα που πάρθηκαν στον Καναδά συνίστανται στην εγκατάσταση μιας υποθαλάσσιας γεννήτριας παραγωγής ήχων που προειδοποιεί τα ψάρια να μην πλησιάσουν στις τουρμπίνες, και η δημιουργία ενός περάσματος [fish pass] για τα ψάρια στο φράγμα.

- Σε μερικές περιπτώσεις (όπως σε αυτή του Severn Barrage) εκφράζονται ανησυχίες για τις επιπτώσεις στη ναυσιπλοΐα στην περιοχή. Βέβαια, σε τέτοιες περιπτώσεις πάντα προβλέπεται η δημιουργία θυρίδων [ship locks] που επιτρέπουν τη διέλευση των πλοίων (αυτές ήδη υπάρχουν τουλάχιστον στην εγκατάσταση του La Rance).
- Η κατασκευή ενός φράγματος συνεπάγεται αλλαγές (κάποιοι τις εκτιμούν ως θετικές²¹) στην οικονομία της περιοχής. Συνήθως δημιουργείται περιοχή για θαλάσσιες αθλοπαιδιές και ψάρεμα, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του τουρισμού στην περιοχή και την τόνωση της τοπικής οικονομίας. Επίσης δημιουργείται αύξηση της απασχόλησης του ντόπιου πληθυσμού τόσο κατά τη φάση της κατασκευής όσο και κατά τη φάση της λειτουργίας του σταθμού.
- Ιδιαίτερα για την περίπτωση του σταθμού La Rance Estuary στη Γαλλία η λειτουργία του έδειξε (τουλάχιστον σύμφωνα με την άποψη των υποστηρικτών του έργου) ότι δεν πρόκειται για καταστροφή του περιβάλλοντος αλλά για μια μεγάλη μεταβολή που συντελέστηκε στο τοπικό οικοσύστημα, η οποία όμως με την πάροδο του χρόνου εγκαθιστά μια *καινούρια ισορροπία* ανάμεσα στη χλωρίδα και την πανίδα και τον καινούριο χώρο. Ενώ αρχικά το φράγμα προκάλεσε μια σοβαρή μεταβολή στη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής (τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την αρχική λειτουργία του), σταδιακά η ισορροπία αποκαταστάθηκε. Στη θέση πουλιών που απομακρύνθηκαν καινούρια είδη (κυρίως μεταναστευτικών) εμφανίστηκαν (που βρήκαν κατάλληλο το καινούριο περιβάλλον) και η ποσότητα των ψαριών (όσον αφορά το ψάρεμα) μεγάλωσε²². Σε παρόμοια συμπεράσματα (δηλαδή στο ότι κάποια είδη θα εξαφανιστούν ή θα μειωθούν, ενώ κάποια άλλα θα αυξηθούν, όπως επίσης και ότι κάποια καινούρια είδη θα εμφανιστούν) κατέληξε και η περιβαλλοντική μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την κατασκευή του παλιρροϊκού φράγματος στο Severn Barrage (Boyle et al, 2004).

²¹ Συνήθως οι τοπικές αρχές και ένα τμήμα του ντόπιου πληθυσμού, ενώ ένα άλλο τμήμα και πολλές περιβαλλοντικές οργανώσεις εκτιμούν ότι αυτές οι αλλαγές θα αλλοιώσουν τον ιδιαίτερο χαρακτήρα της περιοχής και πέρα από τη σοβαρή αλλοίωση του περιβάλλοντος θα απομακρύνουν τους περιβαλλοντικά ευαίσθητους επισκέπτες.

²² Βλ. Boyle et al, 2004, σελ. 211. Βέβαια, εδώ χρειάζεται να τονιστεί ότι η πηγή πληροφόρησης για την περίπτωση του La Rance Estuary είναι η ίδια η επιχείρηση που κατασκεύασε και λειτουργεί το έργο (επιχείρηση ηλεκτρισμού της Γαλλίας, EDF).

9.2.4 Παρούσα κατάσταση και προοπτικές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μέχρι το 2010 λειτουργούσαν μόνο τέσσερις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αξιοποίηση της παλίρροιας (όλες οι εγκαταστάσεις είναι του τύπου των υδατοφρακτών-φραγμάτων). Οι βασικοί (οικονομικοί-κοινωνικοπολιτικοί και τεχνολογικοί) λόγοι για τους οποίους δεν έχει προχωρήσει (μέχρι τώρα) η συγκεκριμένη μορφή των ΑΠΕ είναι (με συντομία) οι εξής:

- Το μεγάλο κόστος της αρχικής επένδυσης και η μεγάλη περίοδος ανταπόδοσης των κεφαλαίων που δεν κάνει την επένδυση ελκυστική για ιδιώτες επενδυτές και δημιουργεί δισταγμούς για τις κρατικές επιχειρήσεις.
- Η αυξημένη τιμή της ηλεκτρικής kWh (τουλάχιστον στις παρούσες συνθήκες) που παρέχει αυτή η μορφή ΑΠΕ.
- Η μη συνεχής (περιοδική) παροχή ενέργειας που δίνουν αυτές οι εγκαταστάσεις, γεγονός που δεν επιτρέπει ακόμη τον ανταγωνισμό (σ' αυτό το πεδίο) με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι αντιδράσεις περιβαλλοντικών οργανώσεων και ομάδων του πληθυσμού (τοπικού ή όχι) σε σχέση με τις ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εγκαταστάσεων.
- Η δυνατότητα που υπάρχει (προς το παρόν) για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των χωρών με συμβατικές πηγές ενέργειας με οικονομικό²³ κόστος μικρότερο απ' αυτό της συγκεκριμένης μορφής ΑΠΕ.
- Τα προβλήματα που παρουσιάζει η τεχνολογική υποδομή των εγκαταστάσεων που δεν επιτρέπει την μεγαλύτερη απόδοση των εγκαταστάσεων.²⁴
- Τα προβλήματα που υπάρχουν για την ενσωμάτωση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν αυτές οι εγκαταστάσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο (κάτι που υπάρχει σχεδόν σε όλες τις μορφές των ΑΠΕ) εξαιτίας του περιοδικού χαρακτήρα της παραγωγής τους αλλά και των απομακρυσμένων τόπων (σε μερικές περιπτώσεις) στους οποίους βρίσκονται.

²³ Η έννοια του περιβαλλοντικού κόστους (που πρέπει να εκτιμάται πολύ σοβαρά, γιατί επιβαρύνει όχι μόνο τις σημερινές αλλά, κυρίως, τις αυριανές γενιές) δεν αποτελεί μέχρι τώρα παράγοντα που λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τις κυβερνήσεις.

²⁴ Εδώ χρειάζεται να επισημανθεί πως η πολύ μικρή διάδοση αυτών των εγκαταστάσεων δεν επιτρέπει στους κατασκευαστές να επενδύσουν στη βελτιστοποίηση των μηχανών. Μια πολιτική απόφαση που θα προωθούσε αυτή τη μορφή ΑΠΕ θα οδηγούσε σε βελτίωση των ιδιοτήτων του τεχνολογικού εξοπλισμού (όπως δείχνει και η εμπειρία με άλλες μορφές ΑΠΕ, όπως, π.χ., τα φωτοβολταϊκά και η αιολική ενέργεια).

Η προοπτική για αυτήν τη μορφή ΑΠΕ είναι προς το παρόν *αβέβαιη* εξαιτίας των λόγων που μόλις περιγράφηκαν. Όμως, επειδή το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα προβλέπεται να αυξάνεται διαρκώς (καθώς τα αποθέματα λιγοστεύουν), η πιθανότητα να στραφούν οι χώρες που διαθέτουν αυτή την πηγή ενέργειας στην αξιοποίησή της δεν μπορεί να αποκλειστεί. Στη Μ. Βρετανία όπου υπάρχουν μια σειρά από προτάσεις εκμετάλλευσης της παλιρροϊκής ενέργειας οι αρχές δεν έχουν αποκλείσει στο μέλλον να υλοποιηθούν τουλάχιστον ορισμένα απ' αυτά τα έργα. Επίσης δεν πρέπει να παραβλεφθούν οι προσπάθειες που γίνονται για τις μηχανές που θα εκμεταλλεύονται τα παλιρροϊκά ρεύματα [tidal streams], οι οποίες ακόμη βρίσκονται στην αρχική φάση ανάπτυξής τους και δεν υπάρχει μέχρι τώρα κάποια τεκμηριωμένη εκτίμηση των πιθανών δυνατοτήτων ανάπτυξής τους.

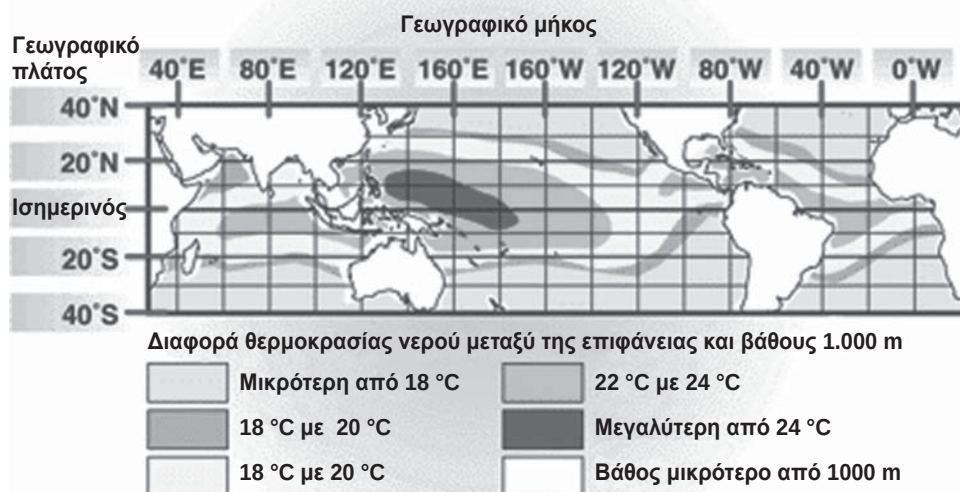
Ολοκληρώνοντας μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η παλιρροϊκή ενέργεια είναι μορφή ΑΠΕ που ακόμα δεν έχει εισχωρήσει παρά σε ελάχιστο βαθμό στο ενεργειακό μείγμα των χωρών στις οποίες είναι διαθέσιμη εξαιτίας οικονομικών, τεχνολογικών και κοινωνικοπολιτικών λόγων. Η προοπτική για το άμεσο μέλλον δεν είναι ιδιαίτερα ευοίωνη, αλλά παραμένει μια εναλλακτική επιλογή που υπό ορισμένες προϋποθέσεις είναι αρκετά ελπιδοφόρα. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν προς το παρόν εγκαταστάσεις ούτε σχέδια για το μέλλον καθώς δεν υπάρχουν μεγάλης δυναμικότητας παλιρροϊκά ρεύματα.

9.3 Ωκεάνια ενέργεια

Ο όρος ωκεάνια ενέργεια χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για να περιγράψει τη θερμική ενέργεια που περιέχεται στους ωκεανούς και που υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή σε συντομογραφία ΩΜΘΕ (Ωκεάνια Μετατροπή Θερμότητας) [Ocean Thermal Energy Conversion – OTEC].

9.3.1 Οι φυσικές αρχές

Το 20% της συνολικής ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη Γη απορροφάται από τους ωκεανούς στα γεωγραφικά πλάτη των τροπικών και αποθηκεύεται υπό τη μορφή θερμικής ενέργειας. Η θεωρητική δυνατότητα εκμετάλλευσης αυτής της ενέργειας ιδιαίτερα στις περιοχές της Γης που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό είναι σχετικά υψηλή²⁵. Αυτή η δυνατότητα εδράζεται στη μορφή που έχει η θερμοκρασιακή βαθμίδα του νερού των ωκεανών σε συνάρτηση με το βάθος. Το Σχήμα 9.3 δείχνει σε μια απλή χρωματική αναπαράσταση τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού του ωκεανού στα γεωγραφικά πλάτη του ισημερινού.



Σχήμα 9.3 Η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού του ωκεανού μεταξύ της επιφάνειας και του βάθους των 1.000 m στα γεωγραφικά πλάτη του ισημερινού.

(Πηγή: commons.wikimedia.org)

²⁵ Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 506.

Επανεξιλημμένες μετρήσεις δείχνουν ότι η θερμοκρασία του νερού στα επιφανειακά στρώματα του ωκεανού κυμαίνεται μεταξύ 22°C και 28°C στη διάρκεια του έτους, ενώ σε πολύ μεγαλύτερα βάθη (πάνω από 1.000 m) είναι σταθερή σε επίπεδα κάτω των 10°C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σύμφωνα με τη θερμοδυναμική θεωρία, είναι δυνατόν οι θερμοκρασιακές διαφορές ενός ρευστού (στη συγκεκριμένη περίπτωση του νερού) να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ανοικτού ή κλειστού κύκλου Rankine [Open ή Closed Rankine – ORC processes]. Ο κύκλος αυτός αξιοποιεί τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μιας ψυχρής και μιας θερμής δεξαμενής²⁶. Η ψυχρή δεξαμενή είναι ουσιαστικά τα βαθιά ψυχρά τμήματα του θαλασσινού νερού (θερμοκρασίας 4-7°C στα 1.000 m), ενώ η θερμή δεξαμενή είναι τα θερμά επιφανειακά τμήματα (θερμοκρασίας 22-28°C). Η απόδοση ενός τέτοιου κύκλου εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ψυχρής και θερμής δεξαμενής, που στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να φτάσει (το μέγιστο) περίπου στους 20K. Με τέτοιες θερμοκρασιακές διαφορές ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος θα μπορούσε να φτάσει σε αποδόσεις της τάξης του 1-3%²⁷. Επιπλέον οι ποσότητες του νερού που θα έπρεπε να διακινούνται θα ήταν τεράστιες. Έχει υπολογιστεί ότι για τη λειτουργία μιας εγκατάστασης ΩΜΘΕ ισχύος 1 MW χρειάζεται μια παροχή ζεστού νερού 4 m³/s και ψυχρού 2 m³/s. Η εγκατάσταση με τη μεγαλύτερη ισχύ που θα μπορούσε να κατασκευαστεί με τα τωρινά τεχνολογικά δεδομένα είναι της τάξεως των 100 MW και θα χρειαζόταν συνολική παροχή νερού σαν αυτή που έχει ο ποταμός Colorado στις εκβολές του²⁸.

9.3.2 Τεχνολογική υποδομή

Η δημιουργία μιας εμπορικά αξιοποιήσιμης εγκατάστασης ΩΜΘΕ συνεπάγεται πολύ μεγάλες οικονομικο-τεχνολογικές προκλήσεις που μέχρι σήμερα δεν έχουν ξεπεραστεί. Αυτός είναι και ο βασικότερος λόγος που μέχρι σήμερα έχουν λειτουργήσει μόνο ορισμένες πειραματικές εγκαταστάσεις μικρής ισχύος. Για παράδειγμα, το 1979 στη Χαβάη λειτούργησε μια εγκατάσταση ΩΜΘΕ κλειστού κύκλου ισχύος 50 kW για μερικούς μήνες, ενώ μια εγκατάσταση ΩΜΘΕ ανοικτού κύκλου ισχύος 210 kW λειτούργησε επίσης στη Χαβάη μεταξύ 1993 και 1998. Με τα σημερινά οικονομικο-τεχνολογικά δεδομένα μια εμπορικά βιώσιμη εγκατάσταση ΩΜΘΕ κλειστού κύ-

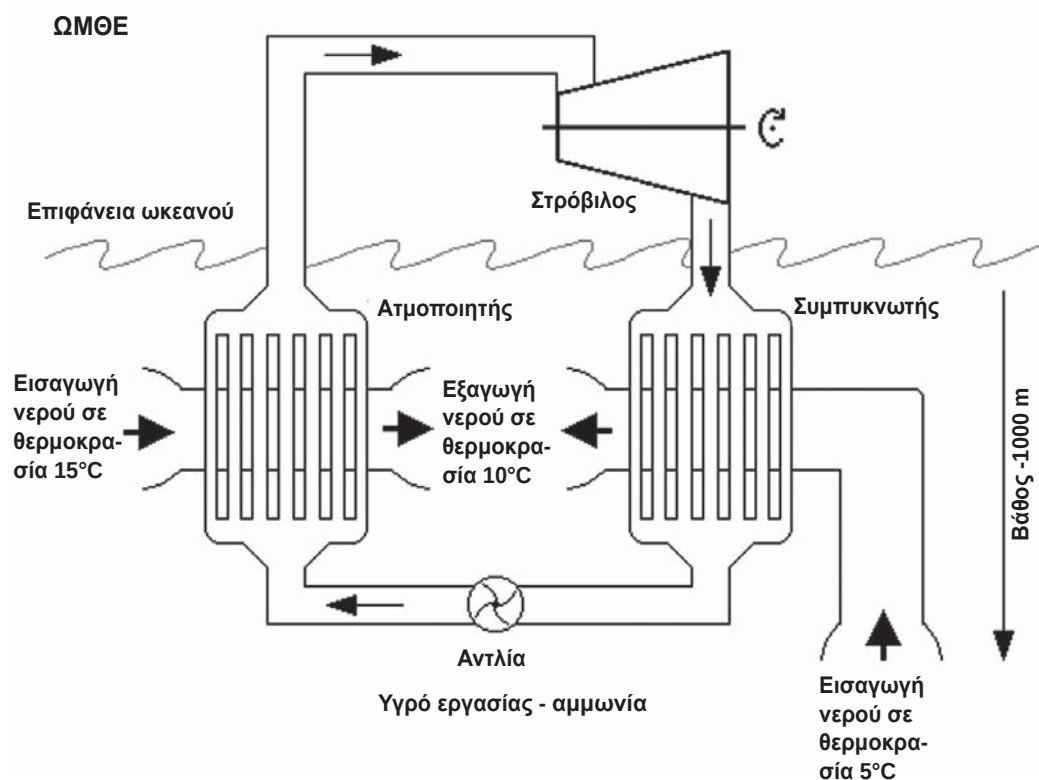
²⁶ Ο όρος *δεξαμενή* έχει εδώ τη θερμοδυναμική σημασία του όρου, δηλαδή ενός συστήματος που έχει σταθερή θερμοκρασία παρ' όλες τις ανταλλαγές θερμότητας που συμβαίνουν μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος.

²⁷ Kaltschmitt et al, 2007, σελ. 507, άλλη βιβλιογραφική πηγή μεγαλώνει αυτό το (θεωρητικό) ποσοστό στο ~7%, Breeze, 2005, σελ. 2060.

²⁸ Breeze, 2005, σελ. 207.

κλου δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 40 MW. Για τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις ΩΜΘΕ ανοικτού κύκλου τα μεγέθη ισχύος είναι πολύ μικρότερα και κυμαίνονται γύρω στα 2,5 MW.

Μια τυπική εγκατάσταση ΩΜΘΕ που θα μπορούσε να δημιουργηθεί εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αν και η δεξαμενή του κρύου νερού μπορεί να βρεθεί στα 500 m, στην πράξη ένα βάθος 1.000 m θεωρείται αναγκαίο. Ο σωλήνας μεταφοράς του κρύου νερού θα πρέπει να είναι μήκους 2.000 m ή μεγαλύτερου αν η μονάδα είναι εγκατεστημένη στην ακτή, ενώ η κατάσταση διευκολύνεται αν είναι εγκατεστημένη σε πλωτή εξέδρα²⁹.



Σχήμα 9.4 Διάγραμμα μιας εγκατάστασης ΩΜΘΕ κλειστού κύκλου Rankine που χρησιμοποιεί ως υγρό εργασίας [working fluid] την αμμωνία.
(Πηγή: commons.wikimedia.org)

Για να υλοποιηθεί μια εγκατάσταση σαν αυτή που αναφέρθηκε παραπάνω πρέπει να ξεπεραστούν ορισμένες τεχνολογικές προκλήσεις. Οι κυριότερες απ' αυτές σχετίζονται με την κατασκευή του σωλήνα που πρέπει να μεταφέρει το κρύο νερό

²⁹ Breeze, 2005, σελ. 206.

από βάθη της τάξης των 1.000 m και το μήκος του μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο³⁰, και την κατασκευή των τεράστιων αντλιών που πρέπει να μεταφέρουν από τα μεγάλα βάθη τις τεράστιες ποσότητες νερού χωρίς να αυξάνεται η θερμοκρασία. Επίσης οι τεράστιες χωρητικότητες εναλλάκτες που θα χρειαστούν είναι πολύ σημαντικοί για τις ΩΜΘΕ εγκαταστάσεις, ενώ στις περιπτώσεις πλωτών εγκαταστάσεων σημαντικό παράγοντα αποτελούν και οι αγκυρώσεις [moorings] της πλωτής εξέδρας.

ΩΚΕΑΝΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Επειδή δεν έχουν, ακόμη, δημιουργηθεί μεγάλες εμπορικές εγκαταστάσεις ΩΜΘΕ, οι επιδράσεις στο περιβάλλον από τη δημιουργία εγκαταστάσεων ΩΜΘΕ εικάζονται από μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουν γίνει στα πλαίσια προτεινόμενων έργων. Η βασικότερη περιβαλλοντική επίπτωση προκύπτει από την ανάγκη να αντλούνται τεράστιες ποσότητες νερού από βάθη της τάξης των 1.000 m και στη συνέχεια να επιστρέφονται σε μικρότερα βάθη. Επειδή το θερμό επιφανειακό νερό στις εγκαταστάσεις ΩΜΘΕ αντλείται από βάθη της τάξης των 20 m, το κρύο νερό πρέπει να επιστρέφεται σε βάθη μεγαλύτερα από τα 60 m. Η διακίνηση αυτών των τεράστιων μαζών νερού διαφορετικής θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει μεγάλες αλλαγές στο τοπικό θαλάσσιο περιβάλλον και οι μέχρι σήμερα περιβαλλοντικές έρευνες δεν έχουν μελετήσει σε βάθος τέτοια προβλήματα.

Μια άλλη πιθανή περιβαλλοντική επίπτωση βρίσκεται στις χημικές κατεργασίες που χρειάζεται να γίνονται στους εναλλάκτες θερμότητας στις εγκαταστάσεις ΩΜΘΕ κλειστού κύκλου για την προστασία τους από πιθανό κίνδυνο βιολογικής μόλυνσης [biofouling]. Τέτοιες χημικές κατεργασίες περιλαμβάνουν τη χρήση χημικών ουσιών, όπως το χλώριο, που μέρος τους θα απελευθερώνεται στη θάλασσα³¹.

Επίσης η λειτουργία υπεράκτιων [offshore] εγκαταστάσεων δημιουργεί κινδύνους διαρροής στο θαλάσσιο περιβάλλον μικρών ποσοτήτων συμβατικού καυσίμου (πετρέλαιο, λάδι κ.λπ.) ή του θερμοδυναμικού υγρού που κυκλοφορεί σε μια εγκατάσταση ΩΜΘΕ κλειστού κύκλου.

³⁰ Σε μια εγκατάσταση 40 MW που έχει προταθεί για τη Χαβάη το μήκος του αγωγού προβλέπεται πάνω από 3,5 km.

³¹ Breeze, 2005, σελ. 210.

9.4 Ενέργεια από θαλάσσια κύματα

Η θάλασσα περιέχει μια μορφή ενέργειας που προκύπτει από τα επιφανειακά κύματα που δημιουργούνται κυρίως στους ωκεανούς. Αυτό το ενεργειακό δυναμικό δεν είναι ισομερώς κατανομημένο γεωγραφικά ούτε μπορεί να αξιοποιηθεί (με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα) σε μεγάλο βαθμό. Οι περιοχές με το υψηλότερο ενεργειακό δυναμικό θαλάσσιων κυμάτων βρίσκονται κυρίως σε ακτές με δυτικό προσανατολισμό που βρέχονται από τους μεγάλους ωκεανούς. Το Σχήμα 9.5 δείχνει αυτή την εικόνα με την ετήσια ισχύ των θαλάσσιων κυμάτων σε μονάδες ισχύος ανά μονάδα ύψους του κύματος (kW m^{-1}) στις διάφορες περιοχές του πλανήτη.



Σχήμα 9.5 Η ετήσια ισχύς των θαλάσσιων κυμάτων σε μονάδες ισχύος ανά μονάδα ύψους του κύματος (kW m^{-1}) σε διάφορες περιοχές της Γης.
(Πηγή: www.geni.org)

Οι μεγαλύτερες δυνατότητες για την αξιοποίηση της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων (με βάση τα σημερινά δεδομένα) βρίσκονται σε εγκαταστάσεις που μπορούν να δημιουργηθούν στις ακτές που προσπίπτουν τα κύματα ή σε πλωτές εγκαταστάσεις δίπλα στις ακτές. Οι πλωτές εγκαταστάσεις σε μεγαλύτερη απόσταση από τις ακτές [off-shore devices] που θα μπορούν να αξιοποιήσουν το μεγάλο ενεργειακό δυναμικό των θαλάσσιων κυμάτων βρίσκονται σε πολύ πρώιμο ερευνητικό στάδιο.

9.4.1 Ιστορική αναδρομή

Παρ' όλο που η δυνατότητα αξιοποίησης της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είχε επισημανθεί πριν από περισσότερα από 100 χρόνια, έπρεπε να φτάσουμε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και στην πρώτη πετρελαϊκή κρίση για να αρχίσει η χρηματοδότηση της σχετικής έρευνας³². Η ανάπτυξη αυτών των προγραμμάτων οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων πρωτότυπων συσκευών που εγκαταστάθηκαν σε ακτές της βόρειας Ευρώπης. Το 1985 δημιουργήθηκε στις ακτές ενός νησιού της Νορβηγίας μια κατασκευή ισχύος 350 kW με το όνομα TAPCHAN [TAPered CHANnel]. Η κατασκευή προμήθευε με ηλεκτρικό ρεύμα το δίκτυο της Νορβηγίας και κατά τη διάρκεια λειτουργίας της προτάθηκαν διάφορες βελτιώσεις που θα αύξαναν την απόδοσή της. Όμως αυτή η συγκεκριμένη εγκατάσταση ήταν εξειδικευμένη και προσαρμοσμένη στις ειδικές μορφολογικές συνθήκες της περιοχής, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αξιοποιηθεί εμπορικά σε άλλες περιοχές του κόσμου³³, μολοντί η αρχή λειτουργίας της έχει προταθεί και για άλλα έργα. Επίσης το 1989 αναπτύχθηκε στα νησιά Islay της Σκωτίας μια κατασκευή του Queen's University του Belfast με το όνομα Oscillating Water Column (OWC), που από το 1991 μέχρι το 1999 (όχι σε συνεχή διαστήματα) προμήθευε με ηλεκτρικό ρεύμα το τοπικό δίκτυο³⁴.

Αν και το ερευνητικό πρόγραμμα της Μ. Βρετανίας επιβραδύνθηκε το χρονικό διάστημα 1990-1999, σε άλλες χώρες της Ευρώπης αλλά και στις ΗΠΑ, Αυστραλία, Ιαπωνία κ.λπ. χρηματοδοτήθηκαν αρκετά προγράμματα μέσα από τα οποία δημιουργήθηκαν μια σειρά από ερευνητικές εγκαταστάσεις που δοκιμάστηκαν σε διάφορες περιοχές του κόσμου³⁵. Σήμερα διάφορες ερευνητικές δραστηριότητες

³² Ιδιαίτερα στη Μ. Βρετανία όπου το ενεργειακό δυναμικό είναι πολύ μεγάλο.

³³ Για περισσότερα Boyle et al, 2004, σελ. 300-301.

³⁴ Για περισσότερα βλ. ο.π., σελ. 301-302.

³⁵ Για περισσότερα βλ. ο.π., σελ. 324-331.

Βρίσκονται σε εξέλιξη για την ανάπτυξη διαφορετικών τύπων συσκευών αξιοποίησης της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων.

9.4.2 Κατηγορίες μηχανικών κατασκευών για την αξιοποίηση της ενέργειας των θαλάσσιων κυμάτων

Η ιδιαιτερότητα των κατασκευών-συσκευών που μπορούν να αξιοποιήσουν την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη ενεργειακή μετατροπή χρειάζεται εντελώς πρωτότυπες συσκευές-κατασκευές. Οι μηχανικοί που έχουν εμπλακεί στη δημιουργία αυτών των κατασκευών έχουν επινοήσει μια σειρά από πρωτότυπες λύσεις που έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους και δεν είναι εύκολο να κατηγοριοποιηθούν. Ο πιο απλός τρόπος κατηγοριοποίησης είναι ο διαχωρισμός των κατασκευών-συσκευών ανάλογα με το αν είναι εγκατεστημένες στις ακτές ή κοντά σε αυτές, και σε αυτές που είναι εγκατεστημένες σε απομακρυσμένα σημεία από τις ακτές. Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη αναφορά σ' αυτές τις συσκευές-κατασκευές³⁶.

α) Συσκευές-κατασκευές εγκατεστημένες στις ακτές ή κοντά σε αυτές

● Παλλόμενη υδάτινη στήλη [*Oscillating water columns*]

Αυτού του είδους οι μετατροπείς ενέργειας είναι οι κατασκευές που έχουν δοκιμαστεί περισσότερο στην κατηγορία των εγκαταστάσεων πάνω ή κοντά στις ακτές³⁷. Η κεντρική ιδέα της κατασκευής είναι ένας σωλήνας κλειστός στο ένα άκρο του και ανοικτός στο άλλο. Το νερό των κυμάτων εισβάλλει από το ανοικτό άκρο που τοποθετείται λίγο κάτω από το επίπεδο της θάλασσας και ανυψώνει τη στάθμη του νερού που βρίσκεται μέσα στο σωλήνα. Η διαδοχική άνοδος και η κάθοδος της στάθμης του νερού συμπιέζει και αποσυμπιέζει τον όγκο του αέρα που βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα στο σωλήνα. Στο κλειστό άκρο του σωλήνα είναι εγκατεστημένο ένα είδος αεροστροβίλου που οι διαδοχικές αυξομειώσεις της πίεσης του αέρα τον αναγκάζουν να περιστραφεί και μέσω μιας ηλεκτρογεννήτριας να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

³⁶ Περισσότερα μπορεί κάποιος να βρει στο Breeze, 2005, σελ. 211-214 και στο Boyle et al, 2004, σελ. 312-323.

³⁷ Σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, στην Ιαπωνία κ.λπ.



Σχήμα 9.6 Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την αρχή λειτουργίας παλλόμενης υδάτινης στήλης [Oscillating water column].

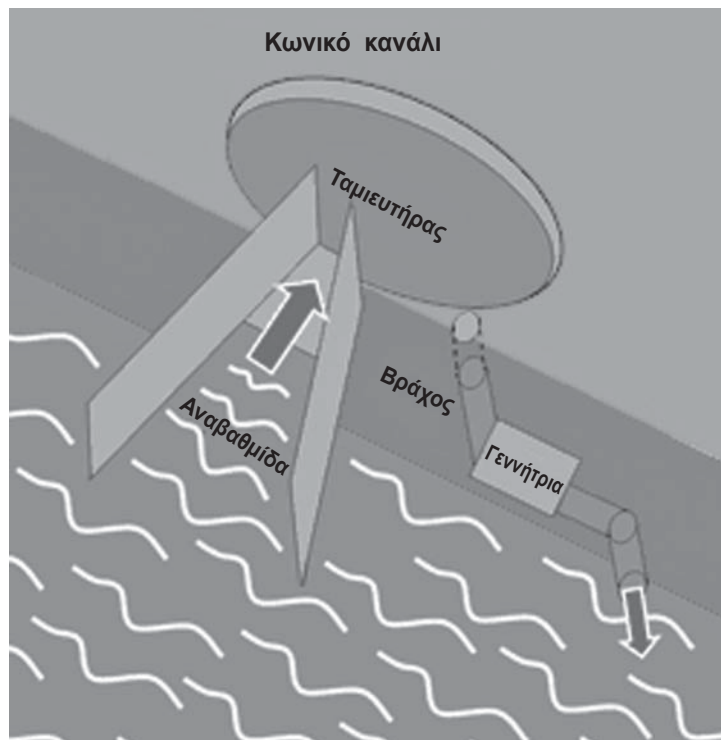
(Πηγή: mpoweruk.com)

● Κωνικά κανάλια [Tapered channels]

Πρόκειται για κατασκευές που μπορούν να δημιουργηθούν στις ακτές. Τέτοια κατασκευή ήταν αυτή που δημιουργήθηκε το 1985 στις ακτές ενός νησιού της Νορβηγίας με το όνομα TAPCHAN [TAPered CHANnel]. Η βασική ιδέα της κατασκευής είναι να δημιουργηθεί μέσω μιας δεξαμενής θαλασσινού νερού μια ικανή υδραυλική κεφαλή που θα μπορεί να κινήσει έναν υδροστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (στη συνέχεια) από μια ηλεκτρογεννήτρια. Η κατασκευή λειτουργεί ως εξής: Τα κύματα που προσπίπτουν στην ακτή οδηγούνται μέσω ενός καναλιού προς το εσωτερικό. Το κανάλι έχει κωνικό σχήμα, με την είσοδό του να είναι πλατιά και συνεχώς να στενεύει προς το εσωτερικό του. Έτσι, το νερό που εισέρχεται καθώς ταξιδεύει προς το εσωτερικό ανυψώνει τη στάθμη του μέχρι το σημείο που αυτή υπερβαίνει το ύψος των τειχών του καναλιού και υπερχειλίζει σε μια δεξαμενή που βρίσκεται σε κάποιο ύψος από τη στάθμη της θάλασσας. Στη συνέχεια διοχετεύεται προς έναν υδατοστρόβιλο και επιστρέφει στη θάλασσα.

Η τεχνολογία αυτής της κατασκευής είναι σχετικά απλή αλλά το κατασκευαστικό κόστος μπορεί να είναι μεγάλο³⁸.

³⁸ Breeze, 2005, σελ. 212.



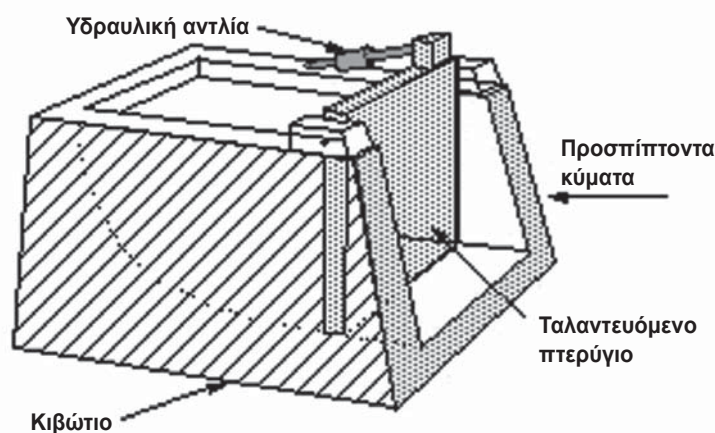
Σχήμα 9.7 Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την αρχή λειτουργίας ενός κωνικού καναλιού [Tapered channel].
(Πηγή: mpoweruk.com)

● Ταλαντούμενα περυγία [Oscillating flaps]

Η ενέργεια των κυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταλάντωση ενός είδους ταλαντούμενου περυγίου που η κίνησή του θα τροφοδοτεί ένα είδος ηλεκτρογεννήτριας. Η πιο γνωστή συσκευή που αξιοποιεί αυτή την αρχή λειτουργίας είναι το λεγόμενο pendulo που κατασκευάστηκε στην Ιαπωνία. Περιλαμβάνει ένα είδος κιβωτίου που η μια πλευρά του είναι ανοικτή προς τη θάλασσα μέσω ενός περυγίου τοποθετημένου οριζόντια το οποίο μπορεί να κινείται όταν πάνω του προσπίπτουν τα κύματα. Τα κύματα, καθώς εισέρχονται και αποσύρονται από το εσωτερικό του κιβωτίου, προκαλούν την ταλάντωση του περυγίου που μεταφέρει αυτή την κινητική ενέργεια σε ένα είδος ηλεκτρογεννήτριας, παράγοντας με αυτό τον τρόπο ηλεκτρική ενέργεια.

Τέτοιου είδους συσκευές έχουν ήδη κατασκευαστεί και δοκιμάζονται, ενώ μια εγκατάσταση της τάξεως των 200 kW έχει σχεδιαστεί για να λειτουργήσει στη Σρι-Λάνκα³⁹.

³⁹ ο.π. σελ. 213.



Σχήμα 9.8 Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την αρχή λειτουργίας μιας συσκευής ταλαντευόμενου πτερυγίου [Oscillating flap].
(Πηγή: worldenergy.org)

β) Συσκευές-κατασκευές εγκατεστημένες σε απομακρυσμένα σημεία από τις ακτές

Οι συσκευές-κατασκευές που περιγράφηκαν παραπάνω θα μπορούσαν πιθανώς να αξιοποιηθούν και σε σημεία που θα ήταν απομακρυσμένα από τις ακτές. Η συνειδητοποίηση όμως της πολύ μεγαλύτερης ενέργειας που περιέχουν τα κύματα που εμφανίζονται σε σημεία μακρύτερα από τις ακτές έχει οδηγήσει τους μηχανικούς στο να πειραματιστούν με ειδικά σχεδιασμένες συσκευές που να μπορούν να αξιοποιήσουν την ενέργεια των κυμάτων με διαφορετικούς τρόπους απ' αυτούς που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα. Παρακάτω θα γίνει σύντομη αναφορά σε ορισμένες απ' αυτές τις κατασκευές-συσκευές.

● Επιπλέουσες αντλίες [float pumps]

Διαφόρων τύπων συσκευές έχουν αναπτυχθεί σε μια σειρά από χώρες (Σουηδία, Δανία, Ολλανδία) και η βασική τους λειτουργία στηρίζεται στο εξής: ένας σωλήνας που επιπλέει στη θάλασσα διαθέτει ένα είδος πτερυγίου το οποίο κινείται πάνω κάτω καθώς τα κύματα προσπίπτουν πάνω του. Η κινητική ενέργεια του πτερυγίου με διάφορους τρόπους (ανάλογα με το είδος της συσκευής) μεταφέρεται σε ένα είδος στροβίλου, που με τη σειρά του τροφοδοτεί μια ηλεκτρογεννήτρια⁴⁰.

⁴⁰ Για περισσότερα βλ. Breeze, 2005, σελ. 213 και Boyle et al, 2004, σελ. 317-330.

- **Νερόφιδο [water snakes]**

Μια συσκευή που ονομάζεται Pelamis και έχει το σχήμα ενός φιδιού (για αυτό και το όνομα νερόφιδο) αποτελείται από μια σειρά επιπλεόντων κυλινδρικών τμημάτων που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η συσκευή είναι προσδεδεμένη στο ένα άκρο της. Καθώς τα κύματα προσπίπτουν πάνω της τα κυλινδρικά τμήματα κινούνται και οι υδραυλικοί κύλινδροι απάγουν αυτή την ενέργεια και τη μεταφέρουν σε ηλεκτρογεννήτριες. Η συσκευή που έχει σχεδιαστεί είναι ισχύος 750 kW, μήκους 150 m, διαμέτρου 3,5 m και αποτελείται από πέντε κυλινδρικά τμήματα⁴¹. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί έξι τέτοιες συσκευές έπειτα από παραγγελίες εταιρειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.⁴²



Εικόνα 9.2 Η συσκευή Pelamis εν ώρα λειτουργίας στα νερά της Σκοτίας.
(Πηγή: Pelamis Wave Power)

⁴¹ Boyle et al, 2004, σελ. 322, για περισσότερα βλ. <http://www.oceanpd.com>.

⁴² <http://www.oceanpd.com>.

● Πιεζοηλεκτρικές συσκευές [Piezoelectric devices]

Μια συσκευή που είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης και ονομάζεται Energy Harvesting Eel έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος των ΗΠΑ. Αποτελείται από μια σειρά φύλλων πιεζοηλεκτρικού⁴³ υλικού. Καθώς τα κύματα προσπίπτουν πάνω στα φύλλα δημιουργούν αύξηση της πίεσης και συνεπώς τις προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος⁴⁴.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι επιπτώσεις των συσκευών που εγκαθίστανται στις ακτές είτε κοντά σ' αυτές στο περιβάλλον είναι αρκετά ήπιες. Συνίστανται κυρίως σε οπτική όχληση, καθώς και σε όχληση θορύβου. Κατά τη φάση της κατασκευής των εγκαταστάσεων μπορούν να υπάρξουν επιδράσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον αλλά αυτές προβλέπονται να είναι προσωρινές και ήπιες. Για τις συσκευές που θα βρίσκονται σε σημεία απομακρυσμένα απ' τις ακτές οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις προβλέπονται επίσης πολύ μικρές. Ένας κίνδυνος εντοπίζεται σε πιθανή επίδραση στη ναυσιπλοΐα, αλλά με μια προσεκτική σήμανση και τοποθέτηση των συσκευών σε σημεία έξω από τις ναυσιπλοϊκές γραμμές τα προβλήματα μπορούν να μειωθούν αισθητά.

⁴³ Πιεζοηλεκτρικό υλικό είναι το υλικό που, όταν αυξάνεται η πίεση πάνω του, δημιουργεί στο εσωτερικό του τις συνθήκες για την κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος.

⁴⁴ Για περισσότερα βλ. George W. Taylor, Joseph R. Burns, Sean M. Kammann, William B. Powers, and Thomas R. Welsh, 2001, *The Energy Harvesting Eel: A Small Subsurface Ocean/River Power Generator*, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 26, no. 4, October.

